



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

**ELEKTRİK ÜRETİMİ İÇİN DÜŞÜK GÜÇLÜ
RÜZGAR ENERJİ SİSTEMİ TASARIMI**

Ahmet TOPRAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı**

**HAZİRAN-2011
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet TOPRAK tarafından hazırlanan “Elektrik Üretimi için Düşük Güçlü Rüzgar Enerji Sistemi Tasarımı” adlı tez çalışması 22/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Yrd. Doç. Dr. Mustafa YAĞCI

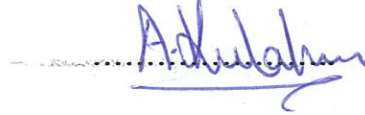
Danışman

Doç. Dr. Ramazan AKKAYA

Üye

Yrd. Doç. Dr. A. Afşin KULAKSIZ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Bayram SADE
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Ahmet TOPRAK

22.06.2011

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ELEKTRİK ÜRETİMİ İÇİN DÜŞÜK GÜÇLÜ RÜZGAR ENERJİ SİSTEMİ TASARIMI

Ahmet TOPRAK

**Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Ramazan AKKAYA

2011, 82 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Ramazan AKKAYA
Yrd. Doç. Dr. Mustafa YAĞCI
Yrd. Doç. Dr. A. Afşin KULAKSIZ**

Enerji ihtiyacının sürekli artması, bunun yanında ise mevcut kaynakların kısıtlı ve tükenebilir olması, insanoğlunu alternatif enerji kaynakları bulma ve geliştirme yoluna itmiştir. Özellikle son yıllarda klasik enerji kaynaklarına ek olarak, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalar ve araştırmalar yapılmakta, uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Bu durumda ilk akla gelen rüzgar türbinleri, kaynağını sürekli yenilenen rüzgardan alan, temiz, maliyeti düşük, dış ülkelere bağımlılığı azaltan sistemlerdir. Bu özelliklerinden dolayı günümüzde rüzgar türbinlerine olan ilgi artmaktadır.

Bu çalışmada, inverter birimi PWM tekniği ile kontrol edilen tek fazlı bir rüzgar enerji sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Uygulama için Selçuk Üniversitesi Bozkır MYO Yerleşkesi'ne 400 Wh enerji kapasiteli şebekeden bağımsız bir rüzgar türbini kurulmuştur. 5 m yüksekliğindeki su deposu üzerine kurulan rüzgar türbini; değişken hızlı, üç kanatlı olup kule yüksekliği 4,5 m'dir. Sistem; dahili şarj birimine sahip 400 Watt (12V DC) gücünde bir rüzgar türbini, 12 Volt 200 Amper/saat'lik bir jel akü, inverter ve çıkış transformatöründen oluşmaktadır. İnverterin kontrolü ve PWM sinyallerinin üretilmesi, 8 bitlik PIC16F877 mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmiştir. Çıkışta 220 V, 50 Hz frekanslı PWM AC dalga şekilleri elde edilmiş ve değişken yük durumunda çıkış geriliminin sabit kalması sağlanmıştır. Sistem MATLAB simulink ortamında simüle edilmiş, simülasyon ve deney sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Generatör, İnverter, Mikrodenetleyici, PWM, Rüzgar Türbinleri.

ABSTRACT

MS THESIS

LOW POWER WIND ENERGY SYSTEM DESING FOR ELECTRIC GENERATION

Ahmet TOPRAK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ramazan AKKAYA

2011, 82 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Ramazan AKKAYA

Assist. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI

Assist. Prof. Dr. A. Afşin KULAKSIZ

The continuous increase of the energy demand and finiteness of exhaustion of present energy resources have forced the people to find and develop new sources of energy. As a result of this fact, there are many studies and research activities being conducted and new applications are developed. Wind turbines are among the most preferred being a clean, low cost and renewable energy source also it reduces the dependence on other countries. Therefore the interest on wind turbines is increasing.

In this study, we have designed and realized a mono phase wind energy system whose inverter unit is controlled by the PWM technique. As an application, a wind turbine of 400 W capacities was installed on Bozkır MYO Campus of Selçuk University. The installed turbine, which is on the 5 m high water tank, is of the variable speed type with three blades and the tower height is 4,5 m. The system is composed of a 400 W (12 V) wind turbine with an internal charging unit, a gel battery of 12 Volt 299 Ah, an inverter and an output transformer. Control of the inverter and production of PWM signals is realized by using an 8-bit PIC16F877 microcontroller. We have obtained PWM AC signal output of 220 V rms amplitude and 50 Hz frequency and the output voltage is stabilized. System was simulated in the simulink module of MATLAB and it was observed that the results of simulation and experiment were in agreement.

Keywords: Generator, Inverter, Microcontroller, PWM, Wind Turbines.

ÖNSÖZ

Çalışmamda bana her zaman destek veren, bilgilerini, yardımlarını ve tecrübesini benden esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Ramazan AKKAYA'ya ve beni her zaman destekleyen sevgili eşim Ayşegül TOPRAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet TOPRAK

KONYA-2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİ.....	10
3.1. Rüzgar Enerjisi	10
3.2. Rüzgar Türbinleri.....	12
3.3. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması.....	15
3.2.1. Eksenine Göre Türbin Çeşitleri	15
3.2.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri	16
3.2.1.2. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri	17
3.2.2. Kanat Sayılarına Göre Türbin Çeşitleri	19
3.2.3. Güçlerine Göre Türbin Çeşitleri	21
3.3. Rüzgar Türbinin Mekanik Aksamaları	22
3.4. Rüzgar Türbinlerinin Elektrik Sistemi.....	25
3.5. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler.....	26
3.5.1. Asenkron Generatörler.....	28
3.5.1.1. Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG).....	28
3.5.1.2. Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generatör (RSAG)	29
3.5.2. Senkron Generatörler	31
3.5.2.1. Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Generatör (RSSG).....	31
3.5.2.2. Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG).....	32
3.5.3. Anahtarlama Relüktans Generatör (ARG)	33
4. RÜZGAR ENERJİ SİSTEMİ GÜÇ DÖNÜŞÜM ELEMANLARI.....	35
4.1. AC/DC Dönüştürücü.....	35
4.1.1. Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucu	35
4.1.2. Tek Faz Köprü Doğrultucu	38
4.1.2.1. Tek Faz Kontrolsüz Köprü Doğrultucu	38
4.1.2.2. Tek Faz Tam Kontrollü Köprü Doğrultucu	39
4.1.2.3. Tek Faz Yarı Kontrollü Köprü Doğrultucu	39
4.1.3. Üç Fazlı Kontrolsüz Köprü Doğrultucu.....	41
4.2. DC/DC Dönüştürücü.....	42
4.2.1. Buck Dönüştürücü	42
4.2.2. Boost Dönüştürücü	44
4.2.3. Buck-Boost (Inverting) Dönüştürücü	46

4.3. Akü.....	48
4.4. İnverterler.....	48
4.4.1. Temel İnverter Yapısı ve Çalışma Prensibi	49
4.4.2. Gerilim Beslemeli İnverterler	51
4.4.2.1. Tek Fazlı Yarım Köprü Bağlantı	51
4.4.2.2. Tek Fazlı Köprü Bağlantı	53
4.4.3. Push Pull İnverter.....	54
4.4.4. Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) İnverter	55
4.5. Transformatör	57
5. GERÇEKLEŞTİRİLEN RÜZGAR ENERJİ SİSTEMİ.....	60
5.1. Rüzgar Türbini	60
5.2. Şarj Regülatörü	62
5.3. Akü.....	62
5.4. Tek Fazlı İnverter Tasarımı	63
5.4.1. Kontrol Devresi.....	64
5.4.2. MOSFET Sürme Katı	65
5.4.3. Köprü İnverter Katı.....	67
5.5. Transformatör	67
5.6. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar.....	67
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	74
EKLER	76
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

B	: Manyetik Akı Yoğunluğu (T)
f	: Frekans (Hz)
H	: Manyetik Alan Şiddeti (A/m)
l	: Nüvenin Ortalama Manyetik Yol Uzunluğu (m)
N	: Sarım Sayısı (sarım)
S	: Nüvenin Kesit Alanı (m ²)
θ	: Manyetik Akı (Wb)
Ω	: Ohm (ohm)
w	: Açısal Frekans (rad/s)
R	: Türbin Yarıçapı (m)
V	: Rüzgar Hızı (m/s)
β	: Türbin Kanat Açısı (derece)
λ	: Kanat Uç-hız Oranı (tsr)
w_t	: Türbinin Açısal Dönüş Hızı (rad/s)
μ	: Manyetik Geçirgenlik (H/m)
μ_0	: Boşluğun Manyetik Geçirgenliği (H/m)
μ_r	: Malzemenin Manyetik Geçirgenliği (H/m)
ρ	: Hava Yoğunluğu (= 1.225 kg/m ³)

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
SPWM	: Sinusoidal PWM (Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu)
TÜREB	: Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
BinTEB	: Bin Ton Eşdeğer Petrol
YERT	: Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri
DERT	: Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri
DAG	: Doğru Akım Generatörü
ARG	: Anahtarlama Relüktans Generatör
SMSG	: Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör
RSSG	: Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Generatör
OSİG	: OptiSlip İndüksiyon Generatör
ÇBAG	: Çift Beslemeli Asenkron Generatör
RSAG	: Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generatör (RSAG)
SKAG	: Sincap Kafesli Asenkron Generatör
IGBT	: Insulated Gate Bipolar Transistor (Kapıdan Yalıtımlı Bipolar Transistör)
BJT	: Bipolar Junction Transistor (Bipolar Jonksiyon Transistör)
MOSFET	: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (Metal Oksit Yarıiletken Alan Etkili Transistör)

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacının sürekli artması, bunun yanında ise mevcut kaynakların kısıtlı ve tükenebilir olması, insanoğlunu alternatif enerji kaynakları bulma ve geliştirme yoluna itmektedir. Bunun yanı sıra dünyanın yaşanabilirlik ortamının korunması ve sürekliliğinin sağlanması amacıyla yapılan ulusal ve uluslararası hukuki düzenlemeler ve enerji üretim, iletim ve tüketiminden kaynaklanan çevresel etki ve sorunlar da enerji üretim sistemleri ve kaynak seçiminde çevresel etkilerin de dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bugün büyük miktarda ve küresel ölçekte çevre kirliliğine sebep olan klasik fosil yakıt kaynaklı enerji üretim sistemleri yerine hem çevresel etkileri daha az, hatta hiç olmayan, hem de devamlılığı ve yenilenebilirliği olan yeni enerji kaynaklarının bulunması ve geliştirilmesi gereklidir. Enerji üretirken çevreyi kirletmek, ardından temizlemek ve arıtmak yerine çevreyi kirletmeyen enerji üretim sistemlerinin ve kaynaklarının geliştirilmesi; üretilen enerjinin bir kısmının da arıtma için kullanılması yerine, bu enerjinin temiz üretim sistemlerinin geliştirilmesi için harcanması muhtemelen daha akıllıca olacaktır. Bu sebeple, günümüzde klasik enerji kaynaklarına ek olarak, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde çalışmalar ve araştırmalar yapılmakta, uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Fosil yakıtlar içindeki karbon, havadaki oksijen ile birleştiğinde CO₂ (tam yanma halinde) veya CO (yarım yanma halinde veya yanma havasının az olması) gazları ortaya çıkmaktadır. Yine yakıt içerisinde eser miktarda bulunan kurşun, kükürt gibi elementler, yanma sıcaklığında oksijen ile birleşerek insan sağlığı açısından önemli tehdit oluşturan bileşenler (SO_x, PbO, NO_x ...) oluşturmaktadır. Bu yanma ürünleri atmosfere bırakılmakta ve atmosfer içerisinde birikmektedir. Fotosentez, çürüme gibi tabii dönüşümler bu birikime engel olsa da, aşırı yakıt tüketimi kısa süreli bir birikime neden olmaktadır. Atmosfer içinde biriken yanma gazları, güneş ve yer arasında tabii olmayan katman meydana getirmekte, insan ve bitki hayatı üzerinde negatif etkiye neden olmaktadır. Sera etkisi olarak da bilinen bu etki ve insan sağlığı bugün önemle üzerinde durulan olgulardır. Dolayısıyla endüstrinin veya toplumun enerji talebi

düşünülürken, seçilecek enerji türünün çevre ve insana olan etkisi de düşünölmek durumundadır.

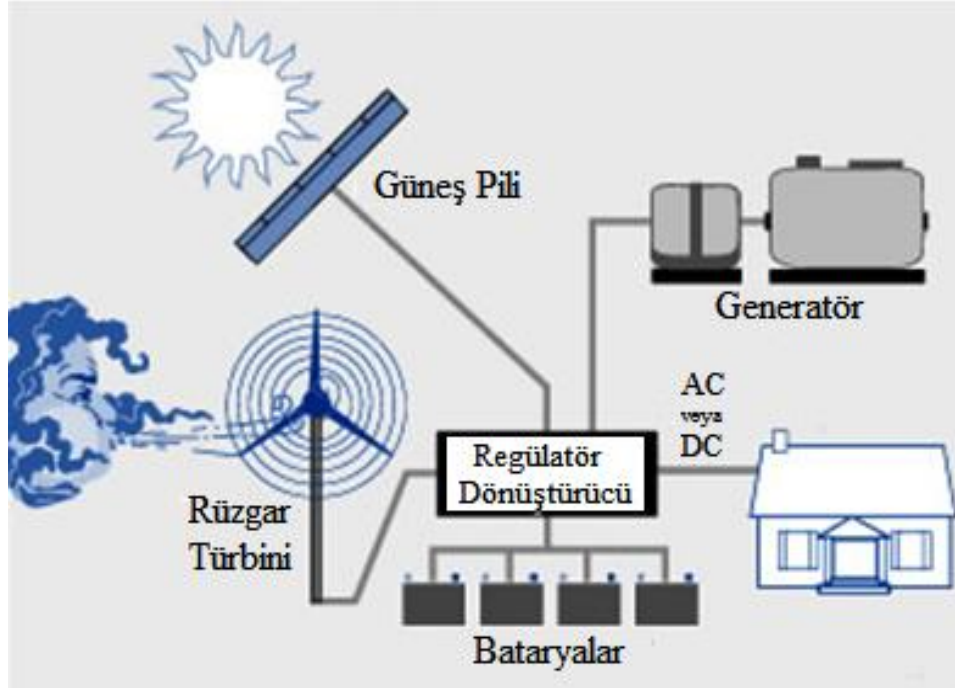
Özellikle çevre kirliliğı ile ilgili problemler ve petrol yataklarının kısa bir süre sonra tükenecek olmasının verdiği endişe insanları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmektedir. Bu kaynaklarla ilgili projeler daha fazla destek bulmakta ve yapılan araştırmalar da hızla artmaktadır.

Birleşmiş Milletler enerji kaynaklarını, “yenilenebilir” ve “yenilenemez enerji kaynakları” olmak üzere iki ana grupta toplamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgar, biokütle, su gücü, dalga gücü, okyanus akıntıları ve jeotermal enerjidir. Yenilenemez enerji kaynakları, maddenin tekrar kullanılamayacağı bir enerji kaynağı olarak tanımlanır. Kömür, petrol, doğalgaz ve uranyum bu grup içinde yer almaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekliliğı olan ve hiç bitmeyecekleri varsayılan kaynaklardır. Dünyadaki petrol rezervlerinin 40 yıl, doğalgaz rezervlerinin 67 yıl ve kömür rezervlerinin 227 yıl sonra tükeneceğı tahmin edilmektedir. Dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık olarak %64,5’i fosil yakıtlardan (%38,7 kömür, %18,3 doğal gaz, %7,5 petrol), %7’si nükleer enerjiden, %16,5’i hidrolik enerjiden ve %13’ü diğör yenilenebilir enerji kaynaklarından gerçekleşmektedir. Bu rakamlar yenilenebilir enerji kaynaklarının bundan sonra çok daha önemli olacağını ve bu alana yapılacak yatırımların hızla artacağını göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına su enerjisi, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, dalga ve gel-git enerjisi, jeotermal enerji, hidrojen enerjisi ve okyanus enerjisi örnek verilebilir. Bu kaynakların en önemlilerinden bir tanesi rüzgar enerjisidir. Rüzgar kaynaklı enerji üretimi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde en ileri ve ticari olarak mevcut olanı, aynı zamanda en hızlı gelişenidir. Rüzgar enerjisi yaygın olarak kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisinin bu kadar gelişmesinin nedeni olarak; atmosferde doğal olarak oluşması, kolay kurulumu, teknolojik geliştirilebilirlik ve kullanışlılığının yanında giderek ucuzlayan maliyeti gösterilebilir. Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretim sürecinin karbondan bağımsız olması, yani atmosfer kirliliğine sebebiyet vermemesi nedeniyle bu kaynak “temiz enerji” olarak da nitelendirilmektedir.

Rüzgar enerjisini, elektrik şebekesinin gitmediğı uzak yerleşim merkezlerinde, adalarda, kırsal alanlarda, ormanlık ve dağlık bölgelerdeki birimlerde (TV, radyo istasyonları ve telekomünikasyon vericileri) elektrik enerjisi temininde, sulama ve pompa sistemlerinde, zirai uygulamalarda ve enterkonnekte sistemi beslemek amacı ile kullanmak mümkündür. Ev tipi rüzgar türbinleri şebekeden uzak, rüzgar verimi yüksek

bölgelerde bireysel kullanım için son derece uygundur. Bunun yanında rüzgarla elektrik üretiminin tek sebebinin zorunluluk olduğunu söylenemez. Yenilenebilir enerjiye gönül veren çevre dostları da teknolojinin gelişmesi ve fiyatların ucuzlamasına paralel olarak elektriklerini bu şekilde üretmeyi tercih etmektedirler. İlerleyen yıllarda rüzgar türbini satış fiyatlarının giderek azalacağı tahmin edilmektedir. Şekil 1.1’de rüzgar türbini, güneş paneli ve fosil yakıtlı generatörün ortak kullanıldığı hibrid sistemin bir evin enerjisini sağlaması gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Rüzgar Türbini, Güneş Paneli ve Fosil Yakıtlı Generatörün Ortak Kullanıldığı Hibrid Sistem

Rüzgar türbininde üretilen elektriğin evlerde kullanılması için bazı devre elemanlarının düzenlenmesi gerekebilir. Yine bataryalar elde edilen enerjiyi kullanılmadığı süre içinde depo etmeye yarar. Günümüz rüzgar türbinleri bünyelerinde şarj kontrol üniteleri (şarj regülatörü) taşırlar. Bu sayede akülerin zarar görmesi de engellenmiş olur. Bunun yanında rüzgardan elde edilen enerjiyi ev aletlerinde kullanmak için alternatif akıma ihtiyaç duyulur. Bunu sağlamak için inverter denilen dönüştürücüler kullanılır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında inverter birimi PWM tekniği ile kontrol edilen tek fazlı bir rüzgar enerji sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 1’de yenilenebilir enerji ve rüzgar enerjisine genel bir giriş yapılmış.

Bölüm 2’de rüzgar enerjisi sistemi ve inverter tasarımı konusunda daha önce yapılan bilimsel çalışmalardan bahsedilmiştir.

Bölüm 3’te rüzgar enerji sistemleri, rüzgar türbinlerinin sınıflandırılması, rüzgar türbinlerinin mekanik aksamaları ve rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörler hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm 4’te bir rüzgar enerji sistemini oluşturan temel kısımlar incelenmiştir. Doğrultucu, DC/DC dönüştürücü, akü, inverterlerin çalışma şekilleri ve sınıflandırılması, son olarak transformatörlerin kullanım amacı anlatılmıştır.

Bölüm 5’de inverter birimi PWM tekniği ile kontrol edilen tek fazlı bir rüzgar enerji sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi anlatılmıştır. Gerçekleştirilen sisteme ilişkin devre şemaları ve çalışma prensipleri ayrıntılı olarak açıklanmış, deneysel ve simülasyon sonuçları verilmiştir.

Bölüm 6’da bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve konuyla ilgili çalışma yapmak isteyebilecek araştırmacılar için öneriler yer almaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sarıtaş ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada, 700 VA gücünde bir Kesintisiz Güç Kaynağı (KGK) tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sistem, giriş güç katı, batarya doldurucusu, sürücü birimi, evirici birimi, çıkış güç katı, örnekleme birimi, kontrol birimi ve 2x12 V kuru akü içermektedir. Kuru aküdeki 24 V DC gerilim, sürekli olarak 50 Hz frekansta 220 V AC'ye çevrilerek elektronik aletlere ON-LINE güç sağlamaktadır. KGK sistemi, üç durumlu çıkışa sahip olup darbe genişlik modülasyonu (PWM) tekniği ile çalışır. PWM sinyalleri, sürücü ve kontrol ünitesi üzerinden invertere uygulanarak KGK'nın çıkış gerilimini regüle eder. Sistemin ön panelindeki dört LED göstergesi; düşük akü seviyesi, akü doldurma, aşırı akım ve KGK on/off durumlarını görüntüler. Sisteme, batarya seviyesinin düştüğünü duyurmak için bir de sesli uyarı eklenmiştir. KGK sisteminin aşırı yük/kısa devre koruması ve filtrelenmiş çıkışı vardır. Sistem, giriş gücü kesildiğinde 15-30 dakikalık kesintisiz enerji sağlayabilmektedir.

Picone (2004) tarafından yapılan çalışmada, büyük ölçüde saf sinüs dalga çıkışı üzerinde durulmuştur. Saf sinüs dalga çıkışı bir mikroişlemci ve yüksek frekanslı anahtarlama kullanımı ile elde edilmiştir. DC/AC güç inverteri 12 Volt DC ile kullanılmıştır. Sonra bu DC gerilim fonksiyonel bir 120 Volt AC güç kaynağına çevrilmiştir. Bu güç kaynağı sürekli olarak 300 watt güç temin yeteneğine sahiptir. Çıkış olarak sinüs dalgaya çok yakın bir sinyal üretilmiştir. Yüksek frekanslı anahtarlama kullanılarak ve mikroişlemciden dijital sinyal elde edilerek tasarım gerçekleştirilmiştir. Gerilim yükselmesi, sıcaklık ve kısa devre koruması mikroişlemci kullanılarak izlenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi, güçteki önemli faktör verimliliğidir. Bu doğrudan güç kaynağının çıkış sinyali ile ilgilidir. Bu nedenle, çıkış mümkün olduğunca saf sinüs dalgaya yakın olmalıdır.

Tuncer ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada, bir üç-fazlı 5-seviyeli kaskad inverterin tasarımı için aşamalar verilmiştir. Güç devresinin fiziksel gerçekleştirilmesinde karşılaşılan problemler ve bu problemlere getirilen uygun çözümler sunulmaktadır. Tasarlanan inverterden elde edilen deneysel sonuçlar ayrıca verilmiştir.

Schreiber (2007) tarafından yapılan çalışmada, bir çözüm önerisi sunulmaktadır: IGBT'ler ve diyot, soğutucu, DC kondansatörleri, sürücü ve koruma, harici güç ünitesi ve PWM kontrol devresi (bir bağımsız ünite) içeren, üç faz invertere yerleştirilmiş, bir IGBT güç elektroniği ünitesidir. Bu tür üniteler paralel bağlanabilir. Örneğin, burada sunulan, sabit mıknatıs generatörlü (PMG) ve 4 MW çevirici rüzgar sistemi 4-quadrant sürücüsüdür. Burada; orta gerilimde, değişken-hızlı, orta gerilim PM generatörlerinin gerilim ve güç sınırlaması olmaksızın ve onaylanmış yarı iletken ve malzemeler kullanılarak, daha yüksek rüzgar santral güçleri elde etmenin metodu anlatılmıştır.

Emniyetli (2007) tarafından yapılan çalışmada, rüzgar enerjisinin Türkiye'deki potansiyel kullanım alanları incelenmiş ve ne tipte ve büyüklükte türbin kullanılabileceği belirlenmiştir. Daha sonra böyle bir türbinin aerodinamik tasarımı saptanıp, beklenen performansı hesaplanmış ve buna bağlı olarak da üretilecek enerjinin maliyetinin ne düzeyde olabileceği öngörülmeğe çalışılmıştır. Weibull dağılımı yardımıyla mevcut rüzgar verileri kullanılarak potansiyeli yüksek bölgeler tespit edilmiştir. Türbin güçlerindeki değişime göre maliyet ve rotor süpürme alanlarında değişimin ne olduğu incelenmiş ve diğer bazı faktörlerde göz önüne alınarak türbin gücü olarak 600 kW seçilmiştir. Tasarlanan türbinin performansı ve çeşitli bölgelerde üretmesi beklenen yıllık enerji miktarları hesaplandıktan sonra, bu yörelerde üretilecek enerjinin birim maliyetinin ne düzeyde olabileceğini bulmak için, EWEA tarafından verilen değerler 5 adet 600 kW'lık türbinden oluşacak 3 MW'lık bir rüzgar çiftliği üzerinde kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre potansiyel olarak ele alınan yörelerde elektrik enerjisi üretiminin birim maliyetinin 2,8-5,1 cent/kWh arasında değişeceği görülmüştür.

Ortaç (2007) tarafından yapılan çalışmada, Flyback DC-DC Çevirici güç kaynağı devresi kullanılmıştır. DC girişten kare dalga üretilerek, daha sonra referans sinüs elde edilmiş ve PWM modülasyonu yapılarak güç transistörleriyle anahtarlama yapılmıştır. İçerisinde sinüs bilgisi saklı olan kare dalganın, Push-Pull topolojisi kullanarak trafo ile genliği arttırılmış ve LC filtrede süzülerek, AC çıkış elde edilmiştir.

Ata ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada, Celal Bayar Üniversitesi, Kırkağaç MYO Yerleşkesi'ne, 3kWh enerji kapasiteli otonom (şebeke bağlantısız) bir rüzgar türbini kurulmuştur. Kurulu olan rüzgar türbini; değişken hızlı, üç kanatlı olup kule yüksekliği 15 metredir. Sistem, 24 adet 2V 200 Ah sabit sistem aküsü ve 1 adet inverter'den oluşmaktadır. Elektrik enerjisi eldesi, daimi mıknatıslı senkron makine

aracılığı ile sağlanmaktadır. Sistem yarı otomatik olarak kumanda elamanları aracılığı ile çalıştırılmaktadır. Türbin üzerinde gerekli ölçümler yapılarak $C_p-\lambda$ eğrisi çizilmiştir. Son olarak yıllık bazda elde edilecek enerji miktarı, kurulan rüzgar türbinine en yakın ölçüm lokasyonu olan Akhisar (10m) ölçümleri baz alınarak hesaplanmıştır.

Bayram (2007) tarafından yapılan çalışmada, bilgisayar ve benzeri özellikteki elektronik cihazların düzgün çalışabilmeleri için şehir şebekelerinin bozucu ve zarar verici kirliliklerinden koruyan ve enerji kesilmesi halinde yükü besleyen bir kesintisiz güç kaynağı tasarımı yapılmış ve gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kesintisiz güç kaynağı, Hat Etkileşimli (Line-Interactive) olarak ve enerji kesilmesi halinde yükü 10 dakika gibi bir süre besleyecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemde kontrol birimi olarak 8 bitlik PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. 220V 50Hz sinüs benzeşimli çıkış verebilmektedir. Sistem; doğrultucu, akü şarj edici, akü grubu, inverter, çıkış transformatörü ve çıkış bilgilerini bilgisayara aktaran bir arayüzden oluşmaktadır. İnverter katı, çıkış transformatörü orta uçlu push-pull yapıdadır. İnverterin anahtarlama, mikrodenetleyicinin ürettiği PWM sinyali ile yapılmaktadır. Kullanılan mikrodenetleyici sayesinde sistemin donanımsal kısmı azalmış, maliyeti ucuzlamış ve çeşitli kontroller bu mikrodenetleyici ile gerçekleştirilmiştir.

Şimşek (2007) tarafından yapılan çalışmada genel olarak; rüzgara özgü tanımlar ve rüzgar enerjisi incelenmiş olup rüzgar enerjisinin Türkiye’de ve Dünya’daki durumu ile ilgili teorik ve istatistiki bilgiler verilmiştir. Özelde ise, Sivas Meraküm Tepe’ye ait 2005 yılı günlük rüzgar hızı verileri incelenmiştir. Bu bağlamda Meraküm Tepe’nin; rüzgar enerjisi potansiyeli ve rüzgar frekans dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca bölge şartlarında kurulması tasarlanan 2300 kW ve 5 kW gücündeki iki farklı rüzgar türbininin üreteceği elektriğin birim fiyatı hesaplanmıştır.

Elmas ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, üç-seviyeli diyot-tutmalı bir inverter tasarlanarak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen üç-seviyeli inverter ile, iki-seviyeli inverterlerin beslediği asenkron motorun faz akımları ve fazlar arası gerilimleri karşılaştırılmıştır. Uygulama sonuçlarına göre üç-seviyeli inverterin beslediği asenkron motorun faz akımları ve fazlar arası gerilimlerinin harmonik bileşenlerinin iki seviyeli invertere göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Aydın (2008) tarafından yapılan çalışmada, bir evin yıllık ortalama elektrik enerjisi tüketimi hesaplanmış olup; Şebekenin ulaşamadığı bir yerde, ihtiyacı karşılamak için gerekli türbin gücü ve depolama sisteminin belirlenmesi gibi hesaplamalar yapılmıştır. Bu amaçla en ekonomik türbin seçiminin belirlenmesi ve

ihtiyacı karşılamak için gerekli türbin maliyetleri de değerlendirilerek; elde edilen elektrik enerjisi ile sistemin kendisini geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Türbinlerin maliyetleri de dikkate alınarak, Şebekeden bağıntısız bir yerde bir evin elektrik enerji ihtiyacını otonom rüzgar enerjisi çevrim sistemi ile karşılayabilecek ekonomik türbin seçimi yapılmış ve kıyaslanan türbinlerin yıllık üretecekleri enerji miktarları bulunmuştur. Çalışmalar sonucunda; İzmir bölgesindeki bir evin, belirlenen elektrik enerjisi ihtiyacının 3 kW'lık bir türbinle ekonomik olarak karşılanmasının uygun olduğu neticesine varılmıştır.

Demirtaş (2008) tarafından yapılan çalışmada, güneş ve rüzgar enerjilerini elektrik enerjisine dönüştürebilen bir hibrit enerji santrali tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Rüzgar türbininden ve güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjilerini aynı doğru akım (DC) barada birleştirilmesi ve inverter yardımıyla yüke yönlendirilmesine yönelik “Maksimum Güç Noktası Takibi” (MPPT)'li iki adet yükseltici konvertör yapılmıştır. Her iki konvertörde bir mikro denetleyici üzerinden kontrol edilmekte ve sistemin akım ve gerilim bilgileri burada değerlendirilmektedir. Ayrıca güneş panellerinden elde edilecek enerjiyi en verimli şekilde üretebilmek amacıyla güneş takip mekanizması ve kontrol devreleri tasarlanmıştır. Sistem parçaları arasındaki iletişimi sağlamak için haberleşme modülleri tasarlanarak sistemin sürekli olarak kayıt yapabilmesi sağlanmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla sistemin günlük, haftalık ve aylık olarak akım, gerilim, güç ve enerji değerleri kaydedilerek verimi incelenmiştir.

Üze ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, rüzgâr enerjisinin Türkiye'deki potansiyel kullanım alanları ve uygulanabilirliği araştırılmıştır. Tasarlanan türbin için devreye giriş hızı 4 m/s, nominal hız 12,5 m/sn, devreden çıkış hızı ise 22 m/sn olarak seçilmiştir. Nominal güç 600 kW, kanat sayısı 3 kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yapılan basitleştirmeler de göz önüne alınarak incelendiğinde, tasarım, mevcut türbinlerin verileri ve benzer çalışmaların yer aldığı makaleler ile kıyaslandığında uygun sonuçlar vermiştir. Ayrıca tasarım esnasında, türbinin kullanılacağı rüzgâr koşulları ile saha seçiminin en az türbin performansı kadar önemli olduğu görülmüştür.

Yalçın (2009) tarafından yapılan çalışmada, frekansı 5 Hz-50 Hz arasında değiştirilebilen bir fazlı inverter tasarımı yapılmıştır. Bir fazlı asenkron motorun hız kontrolüne uygun olarak inverter çıkış gerilimi frekans (V/f) değeri sabit tutularak, asenkron motor uygulamalarında hız kontrolü sırasında momentin sabit kalması sağlanmaya çalışılmıştır. İnverter çıkış gerilimi ve frekansı programlanmış harmonik

eliminasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu yöntemle, her bir çalışma frekansı için, istenilen çalışma frekansı ve ana harmonik genliği ayarlanırken, 3., 5., 7., 9., 11. ve 13. gerilim harmoniklerinin eliminasyonu amaçlanmıştır. Gerçek zaman uygulama sonucu yapılan ölçümlerde, çok küçük hata paylarıyla V/f oranının sabit tutulduğu ve eliminasyonu istenilen gerilim harmoniklerinin ihmal edilebilir değerlere indirildiği gözlemlenmiştir.

3. RÜZGAR ENERJİ SİSTEMLERİ

3.1. Rüzgar Enerjisi

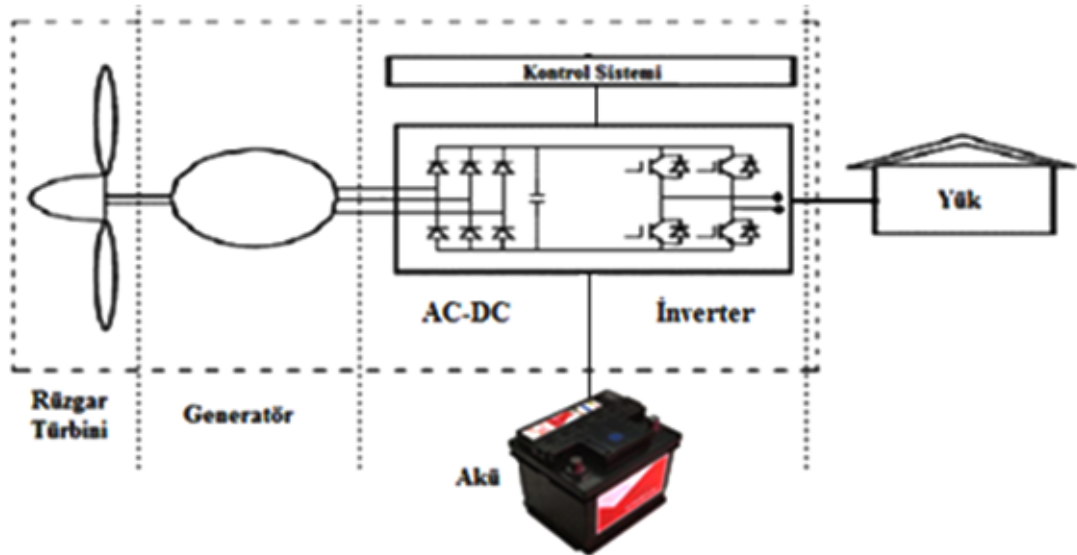
Yeryüzünün ihtiyacı olan enerjinin tümü güneşten sağlanır. Güneşin yer yüzeyini ve atmosferi farklı derecede ısıtmasından “rüzgar” adı verilen hava akımı oluşur. Dünyamıza güneşten sağlanan enerjinin bir kısmı hava hareketleri tarafından harcanmaktadır. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %1-2’si rüzgar enerjisine dönüşür. Yani rüzgar enerjisine, hıza (kinetik enerjiye) dönüşmüş güneş enerjisi denilebilir. Yerkürede ortaya çıkan sıcaklık ve buna bağlı basınç farklılıkları rüzgarın oluşmasına neden olmaktadır. Hava hareketlerine harcanan enerji oldukça fazladır. Dünyadaki tüm rüzgarların enerjilerinin kurumsal olarak 1/50’si tüm dünyanın enerji gereksinimini karşılayabilir. Ancak tüm teknik ve ekonomik sorunlar bu enerjiden tam olarak yararlanmayı engellemektedir. Dünyada çeşitli bölgelerde kurulan rüzgar enerjisi üretimi deneme aygıtları bazen hasara uğramış, bazen de rüzgar değişikliğinden dolayı verimli sonuç alınamamıştır. Rüzgar, yelkenli gemilerin ulaşımında, değirmenlerde un üretimi ve su çıkarılmasında kullanımının yanı sıra türbinlerde ısı ve elektrik elde edilmesinde de kullanılır.

Rüzgar enerjisinin özellikleri genel olarak şunlardır (Türkmen, 2005);

- Atmosferde bol ve serbest halde bulunur.
- Yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır.
- Enerjisi, hızının küpü ile orantılıdır.
- Yoğunluğu düşüktür.
- Enerjisinin depolanması, başka bir enerjiye çevrilmesi mümkündür.
- Çevre kirliliği oluşturmaz

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi atmosferde serbest halde bulunur. Taşıma sorunu yoktur ve kullanımı daha yüksek bir teknoloji gerektirmez. Rüzgar enerjisinden faydalanmak yeni bir olay değildir. Rüzgar enerjisinden mekanik ve elektrik dönüşüm olmak üzere iki şekilde yararlanılmaktadır. Rüzgar enerjisi

mekanik enerjiye çevrilerek su pompalanmasında yatay ve düşey eksenli sistemlerle kullanılmıştır. Özellikle kırsal kesimlerde elektrik üretiminde şebeke bağlantılı AC uygulamaları, şebeke bağlantısı olmayan AC/DC uygulamaları, uzak DC sistem uygulamaları yapılmaktadır. Rüzgar elektrik sistemlerinde dönüşüm düzenleri doğru akım, alternatif akım (değişken frekans, değişken veya sabit gerilim-sabit frekans, değişken veya sabit gerilim) şeklindedir. Bu enerjiden iki farklı şekilde yararlanılır. Bunlardan birisi, çok eskilerden beri bilinen rüzgar enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesidir. Yel değirmenleri ve yelkenli kayıklar buna örnek verilebilir. Mısır'da M.Ö. 3000 yıllarında bile rüzgar çarkları kullanılmıştır. Rüzgar enerjisinin ikinci tür kullanım şekli ise rüzgar enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi yani elektrik enerjisinin üretilmesidir. Bu yöntem, rüzgar enerjisinin endirekt kullanım yöntemi olarak bilinir. Bu yöntemde, rüzgar türbini yardımı ile rüzgar enerjisi hareket enerjisine ve bir generatör yardımı ile de elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Rüzgar türbinleri, rüzgardan elde ettikleri kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektedirler. Şekil 3.1'de enerji depolamalı tipik bir rüzgar enerji sistemi görülmektedir. Rüzgar enerji sistemlerinin temel bileşenleri; rüzgar türbini, elektrik generatörü, statik güç dönüştürücü birimi, enerji depolama birimi (akü) ve kontrol mekanizmasıdır. Elektrik çıkışı, uygulamaya göre bir yüke ya da güç şebekesine bağlanır.



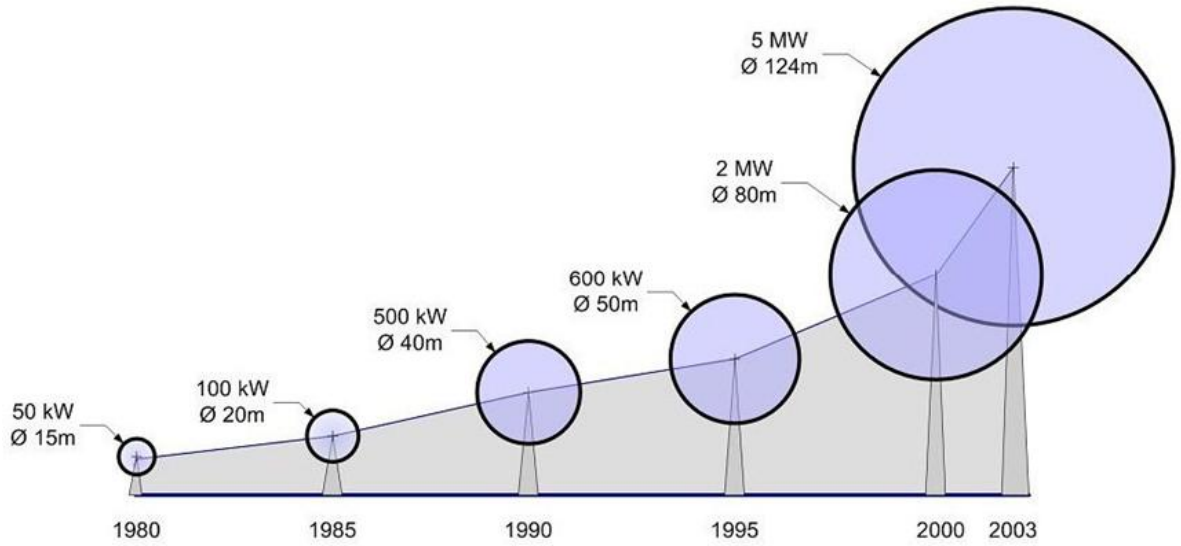
Şekil 3.1. Tipik Bir Rüzgar Enerji Sistemi

Elektrik enerjisinin çıkışından yararlanma şekilleri ise; akü grubunda depolama, diğer yöntemlerle depolama ve konvansiyonel şebeke sistemine bağlantı olmak üzere

adlandırılırlar. Enerji depolamak için yaygın olarak kullanılan aküler genellikle kurşun plakalı, asitli olan akülerdir. Aşırı şarj, deşarj veya uzun süre boş kalma olayı akülerin ömrünü kısaltabilir. Bunun yanında DC'yi AC'ye çeviren dönüştürücüler sayesinde 1 kW'a kadar çıkış gücü sağlanarak bazı cihazların çalıştırılması mümkün olabilir.

3.2. Rüzgar Türbinleri

Rüzgar enerjisinden faydalanarak mekanik enerji elde etmeye yarayan makinelere rüzgar türbini denir. Rüzgar türbinlerinin kW'lardan MW'lara kadar geniş bir kapasitesi vardır. Rüzgar enerji sistemlerinde rüzgardan alınabilen güçten elektriksel güç çıkışına kadar olan tüm dönüşümün verimi %25-35 arasındadır. Örneğin 3 m'lik bir pervane çapına sahip türbinle, yaklaşık 30-35 km/h'lik rüzgar hızında 1 kW elektrik gücü elde etmek için 7-8 metrekairelik süpürme alanı gerekmektedir. Şekil 3.2'de Rüzgar türbininin yıllara göre gelişimi görülmektedir (Köse ve Özgören, 2005).



Şekil 3.2. Rüzgar Türbininin Yıllara Göre Gelişimi (Köse ve Özgören, 2005).

Ortalama bölgesel rüzgar hızı, rüzgar sistemlerinin dizaynında ve ekonomik analizlerinde önemli bir faktördür. Rüzgar türbininin elektrik enerjisine dönüştürdüğü enerjinin miktarı için rüzgar hızı çok önemlidir. Rüzgar enerjisi rüzgar hızının küpü ile orantılıdır. Eğer rüzgar hızı iki katına çıkarsa sekiz kat daha fazla enerji elde edilir (Newton'un ikinci hareket kanunu). Rüzgar türbininden elde edilecek güç ve moment sırasıyla aşağıdaki gibi verilebilir (Özer ve Yılmaz, 2005).

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot C_p(\beta, \lambda) \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3 \text{ Watt} \quad (3.1)$$

$$T_t = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_p(\beta, \lambda)}{\lambda} \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^3 \cdot V^2 \text{ Nm} \quad (3.2)$$

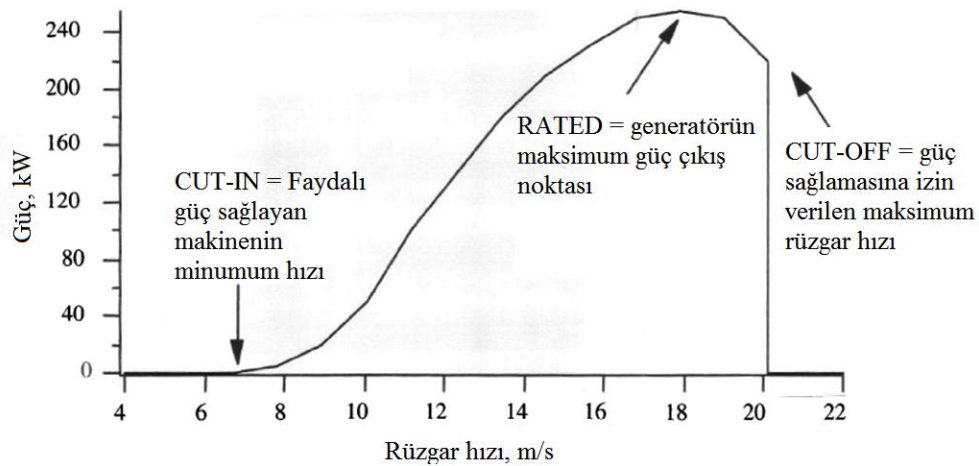
Burada ρ hava yoğunluğu ($= 1.225 \text{ kg/m}^3$), R türbin yarıçapı, V rüzgar hızı (m/s), β türbin kanat açısı, λ ise kanat uç-hız oranıdır.

Uç hız oranı (TSR), rüzgar hızı tarafından bölünmüş türbinin uç hızıdır. w_t türbinin açısal dönüş hızı (rad/s) olmak üzere uç hız oranı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\lambda = \frac{w_t \cdot R}{V} \quad (3.3)$$

(3.1) ve (3.3) numaralı denklemlerde görüldüğü gibi, rüzgar türbininin güç katsayısı (C_p), uç-hız oranı ve kanat açısının bir fonksiyonudur ve buna bağlı olarak türbinin çalışma koşulları rüzgardan elde edilecek güç miktarını belirler.

Çıkış gücü rüzgar hızıyla değişerek, Şekil 3.3'de görüldüğü gibi çıkış gücünün göbek yüksekliğindeki rüzgar hızının bir fonksiyonu olarak değişimini veren bir grafik oluşturur. Grafik, bileşen analizi yapmaksızın türbinin enerji üretiminin tahmin edilmesini sağlar (Savory, 2009).



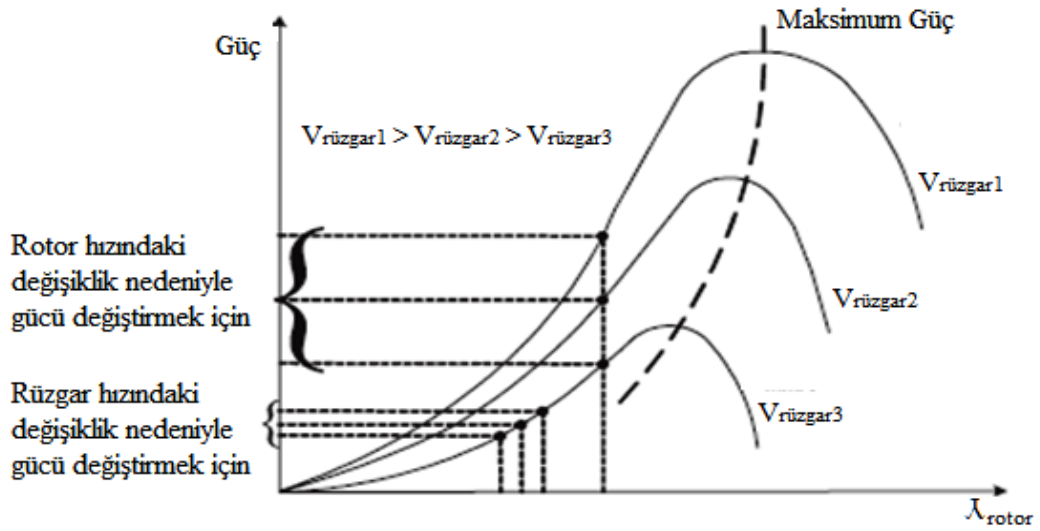
Şekil 3.3. Rüzgar Hızına Göre Güç değişimi

Denklem (3.1)'de hem süpürme alanı hem de hava yoğunluğu sabittir. Bu yüzden rüzgar türbininin çıkışında maksimum güç elde etmek için güç katsayısı

optimize edilmelidir. C_p 'yi optimize etmek için yük değiştirilerek rotor hızı w_{opt} optimize edilir.

$$w_{opt} = \frac{\lambda_{opt} \cdot V}{R} \quad (3.4)$$

Burada, optimum uç hız oranı λ_{opt} , sabit kanatlı türbinler için türbin kanat tasarımına bağlı bir sabittir. Bu yüzden her bir rüzgar hızında maksimum güç üretimi için farklı bir rotor hızı olacaktır. Şekil 3.4, bir kaç farklı rüzgar hızı için rotor hızının fonksiyonu olarak üretilen ideal gücü göstermektedir.

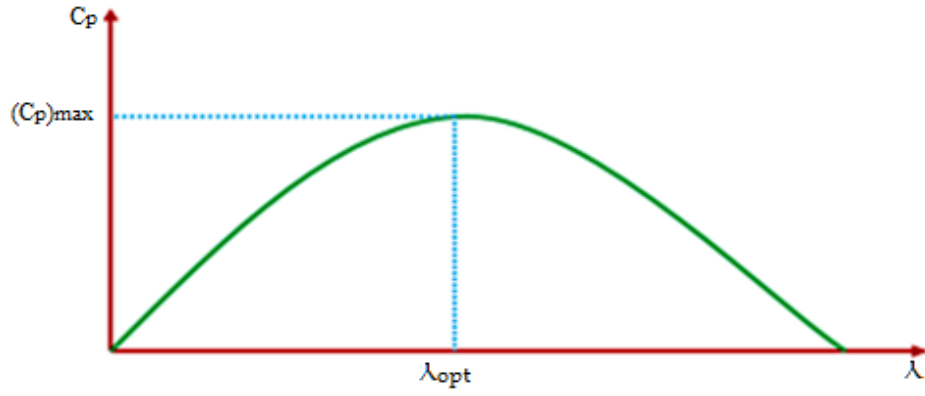


Şekil 3.4. Rüzgar Türbin Karakteristiği

Rüzgar türbinlerinin genel karakteristikleri göz önüne alındığında, sabit kanat açılı bir türbinin güç katsayısı ile uç-hız oranı arasındaki ilişki aşağıdaki denklemle ifade edilir (Özer ve Yılmaz, 2005).

$$C_p = A e^{-B(\lambda - \lambda_{opt})^2} \quad (3.5)$$

Bu denklemde A maksimum güç katsayısını B eğrinin biçimini ve λ_{opt} ise türbinin maksimum güç noktasına karşılık gelen optimum uç-hız oranını ifade etmektedir. Şekil 3.5’de görüldüğü gibi “uç hız oranının” non-liner fonksiyonu olan güç katsayısı daha etkindir (Kassem, 2010).



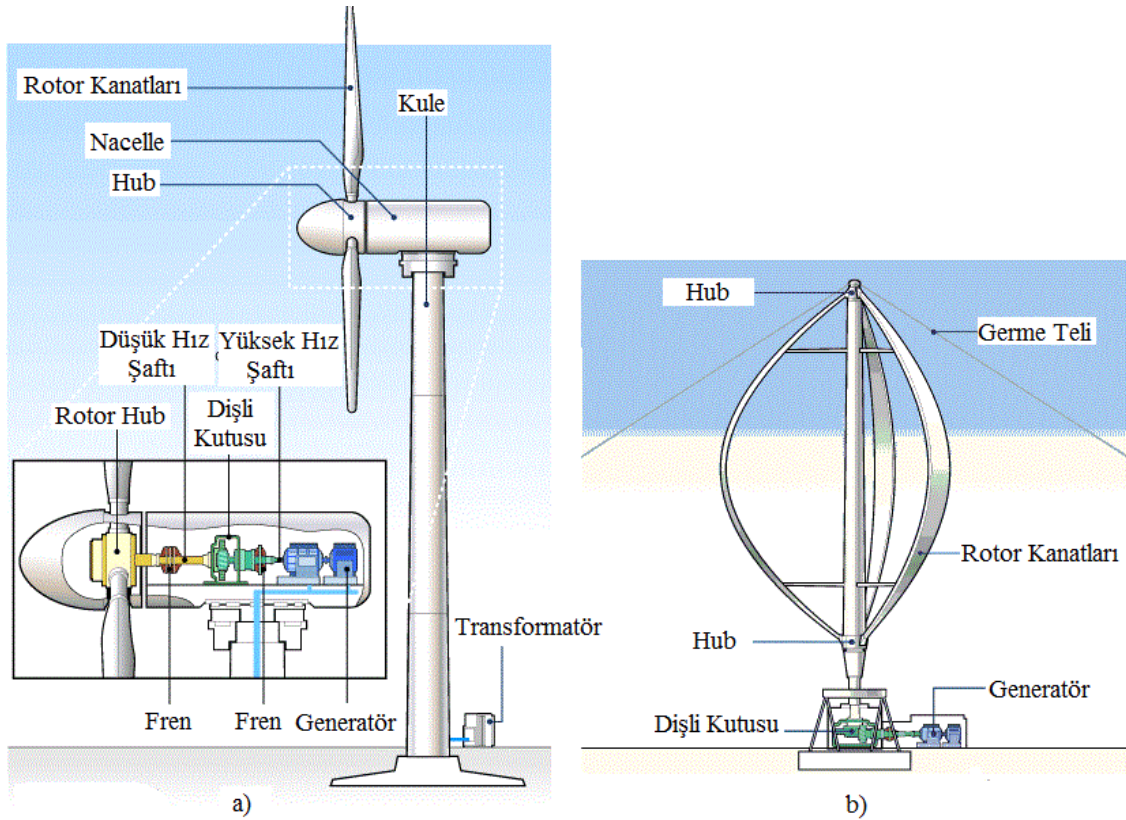
Şekil 3.5. Uç Hız Oranına Göre Güç Katsayısının Değişimi

3.3. Rüzgar Türbinlerinin Sınıflandırılması

Rüzgar türbinleri için, dönme eksenini, kanat sayısı, güç, generatör yapısı ve kontrol sistemlerine göre değişik sınıflandırmalar yapılmaktadır.

3.2.1. Eksenine Göre Türbin Çeşitleri

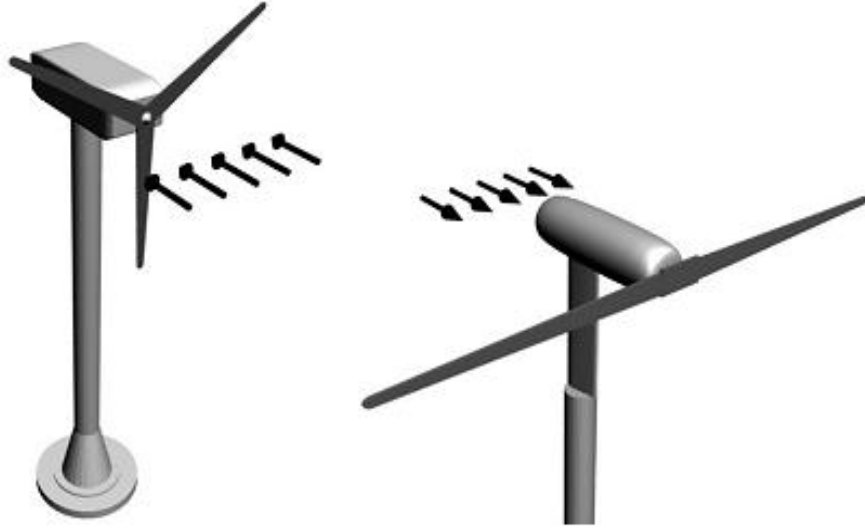
Rüzgar türbinleri Şekil 3.6’da görüldüğü gibi dönme eksenine göre “Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri” (YERT) ve “Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri” (DERT) olmak üzere iki sınıfa ayrılır.



Şekil 3.6. a) Yatay Eksenli Rüzgar Türbini b) Düşey Eksenli Rüzgar Türbini

3.2.1.1. Yatay Eksenli Rüzgar Türbinleri

Bu tip türbinlerde dönme eksenini rüzgar yönüne paraleldir. Kanatları ise rüzgar yönüyle dik açı yaparlar. Ticari türbinler genellikle yatay eksenlidir. Rotor, rüzgarı en iyi alacak şekilde, döner bir tabla üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Yatay Eksenli Rüzgar Türbini

Bu türbinlerde rotor kanatlarının sayısı azaldıkça rotor daha hızlı dönmektedir. YERT genel olarak yerden 20-30 m yüksekte ve çevredeki engellerden 10 m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmelidir. Rüzgar hızının, rotor kanadı uç hızına bölünmesi ile elde edilen orana “kanat uç hız oranı (λ)” denir. Eğer;

$\lambda = 1 \div 5$ Çok kanatlı rotor,

$\lambda = 6 \div 8$ Üç kanatlı rotor,

$\lambda = 9 \div 15$ İki kanatlı rotor,

$\lambda > 15$ Tek kanatlı rotor kullanılır.

YERT, farklı sayıda rotor kanadına sahip olan ve rüzgarı önden alan veya rüzgarı arkadan alan sistemler olarak da çeşitlilik gösterirler.

Rüzgarı Önden Alan Makineler: Yıllardır yaygın olarak kullanılan bu makinelerde rotor yüzü rüzgara dönüktür. En önemli üstünlüğü kulenin arkasında olacak rüzgar

gölgeleme etkisine çok az maruz kalmasıdır, yani rüzgar kuleye eğilerek varır. Kule yuvarlak ve düz olsa bile kanadın kuleden her geçişinde türbinin ürettiği güç biraz azalır. Bu nedenle rüzgar çekilmesinden dolayı kanatların sert yapılması gerekir ve kanatların kuleden uzakta yerleştirilmesi gerekir. Ayrıca, önden rüzgarlı makineler, rotoru rüzgara karşı döndürmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duyarlar.

Rüzgarı Arkadan Alan Makineler: Bu makinelerin rotorları kule arkasına konulur. Bunların önemli üstünlüğü rüzgara karşı dönmek için “Yaw” mekanizmasına gerek duymayışlarıdır. Eğer gövde ve rotor uygun tasarlanırsa, gövde rüzgarı pasif olarak izler. Daha önemli bir üstünlük kanatların esnek özelliğe sahip olmasıdır. Bu, hem ağırlık hem de makinenin güç dinamiği açısından önemli bir üstünlüktür.

Böylece bu makinenin avantajları; önden rüzgarlı makinelere göre daha hafif yapılması sonucu kule yükünün azalmasıdır. Ancak, kanat kuleden geçerken meydana gelen güç dalgalanması, türbine önden rüzgarlı makinelerden daha çok zarar verir.

3.2.1.2. Düşey Eksenli Rüzgar Türbinleri

Türbin mili düşeydir ve rüzgarın geliş yönüne diktir. Savonius tipi, Darrieus tipi gibi çeşitleri vardır. Daha çok deneysel amaçlı üretilmiştir. Ticari kullanımı çok azdır.

Bu türbinlerin üstünlükleri şöyle sıralanabilir (Emniyetli, 2007):

- Generatör ve dişli kutusu yere yerleştirildiği için, kuleye gerek yoktur. Böylece kule masrafı olmaz.
- Türbini rüzgar yönüne çevirmeye, dolayısıyla dümen sistemine ihtiyaç yoktur.
- Türbin mili hariç diğer parçaların bakım ve onarımı kolaydır.
- Elde edilen güç toprak seviyesinde olduğundan, nakledilmesi kolaydır.

Sakıncaları ise şöyledir:

- Yere yakın oldukları için alt noktalardaki rüzgar hızları düşüktür.
- Verimi düşüktür.
- Çalışmaya başlaması için bir motor tarafından ilk hareketin verilmesi gerekir, bu yüzden ilk hareket motoruna ihtiyacı vardır.

- Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gerekir, bu da pek pratik değildir.
- Türbin mili yataklarının değişmesi gerektiğinde, makinenin tamamının yere yatırılması gerekir.

Darrieus Tipi: Şekil 3.8’de görüldüğü gibi Darrieus tipi düşey eksenli rüzgar türbininde, düşey şekilde yerleştirilmiş iki tane kanat vardır. Kanatlar, yaklaşık olarak türbin mili uzun eksenli olan elips oluşturacak biçimde yerleştirilmiştir. Kanatların içbükey ve dışbükey yüzeyleri arasındaki çekme kuvveti farkı nedeniyle dönme hareketi oluşur. Yapısı gereği Darrieus tipi rüzgar türbinlerinde, devir başına iki kere en yüksek moment elde edilir. Rüzgarın tek yönden estiği düşünülürse; türbinin verdiği güç, sinüs şeklinde bir eğri oluşturur.



Şekil 3.8. Darrieus Tipi Rüzgar Türbini

Savonius Tipi: Savonius türbinleri, iki ya da üç adet kepçeye benzer kesitin birleşimi şeklindedir. En yaygını iki adet kepçenin bulunduğu durumdur ve “S” şeklini andıran bir görüntüsü vardır. Savonius türbininde akışkan içbükey kanat üzerinde türbülanslı bir yol izler ve burada dönel akışlar meydana gelir. Bu dönel akışlar Savonius türbinin performansını düşürür, bu nedenle elektrik üretiminde pek fazla kullanılmazlar. Şekil

3.9’da görülen Savonius tipi türbin daha çok su pompalama amaçlı ve rüzgar ölçümlerinde anemometre olarak kullanılırlar.



Şekil 3.9. Savonius Tipi Rüzgar Türbini

3.2.2. Kanat Sayılarına Göre Türbin Çeşitleri

Kanat sayısına bağlı olarak rüzgar türbinleri tek kanatlı, çift kanatlı, üç kanatlı ve çok kanatlı olarak sınıflandırılabilir.

Tek Kanatlı Rüzgar Türbinleri: Tek kanatlı rüzgar türbininin yapılmasının sebebi, kanat sayısına göre dönme hızının yüksek olması ve bu sayede makine kütlesini ve rotorun döndürme momentini azaltmaktır. Ek olarak rotor kanadı, kanat üzerindeki yapısal yükleri azaltacak mekanizma ve kanat mekanizma hareketinin pürüzsüz olabilmesi için, tek menteşe ile sabitleştirilip, 2 karşı ağırlıkla dengelenmelidir. Diğer taraftan tek kanatlı rotorlarda, ilave yüklerden ortaya çıkan aerodinamik balanssızlık ve mekanizma hareketinin kontrol altında tutulması için rotor göbeği çok iyi yapılmalıdır. En önemli ticari dezavantajı, yüksek hızlarda kanat uç hızının sebep olduğu rotorun aerodinamik gürültü seviyesidir.

Çift Kanatlı Rüzgar Türbinleri: Üç kanatlı türbinlere göre rotor maliyetinin azaltılmak istenmesi bu türbin fikrini doğurmuştur. Birçok ülkede 10 ile 100 m rotor çaplı ölçülerde rüzgar türbinleri tasarlanıp, Avrupa ve ABD’de çalışmaya başlamıştır. Bu ticari rüzgar türbinlerinden sadece birkaç tanesi prototip durumundan, seri üretime geçebilmiştir. İki kanatlı rotorun balansı, bir kanatlı rotora göre daha düzgündür. Fakat iki kanatlı rotorun sebep olduğu dinamik hareketleri önlemek için rotora kadran sistemi ilave edilmiştir. Bu kadran, rotor şaftına dikey ve iki rotor kanadına yerleştirilir. Üç kanatlı rotorla karşılaştırıldığında en büyük avantajı; kanat uç hızlarının yüksek olmasıdır. Bu rüzgar türbinin gürültü seviyesinin yüksek olması ve düşük rüzgar hızlarında (3 m/s) çalıştırılması dezavantajıdır. Günümüzde iki kanatlı rotor, şimdi birkaç ünitedir ve en az bir an için artan piyasaya dikkat edilecek olursa iki kanatlı rotora hiçbir eğilim bulunmamaktadır.

Üç Kanatlı Rüzgar Türbinleri: Üç kanatlı modern türbinler, dünyanın her tarafında kullanılmaktadır. Üç kanat kullanılmasının asıl sebebi, dönme hareketinin daha düzgün olmasıdır. Bu türbinde, türbinin yarısı üzerinde depolanan yüklerden dolayı salınım yapan atalet momenti olmadığından, rotor göbeği içinde titreşimi önleyici pahalı parçalara gerek yoktur. Kanat uç hızı 70 m/sn altında olduğundan gürültünün düşüklüğü, sarsıntısız döndükleri için göz estetiğini bozmamaları önemli avantaj olup, halk tarafından kabulünü sağlamıştır. Şekil 3.10’da üç kanatlı rüzgar türbini görülmektedir.

Küçük güçlü rüzgar türbinlerinde, üç kanatlı rotor kullanıldığında güç problemleri ortaya çıkar. Bu problemin çözümü için düşük devirde dönen rotorun devir sayısını $1/n$ oranında arttıran dişliler kullanılır ve “Cut-in” (türbinin çalışmaya başlama hızı) olarak adlandırılan hız değerine ulaşıncaya kadar, generatör boşa çalıştırılır.



Şekil 3.10. Üç Kanatlı Rüzgar Türbini

Çok Kanatlı Rüzgar Türbinleri: Çok Kanatlı rüzgar türbinleri (rüzgar gülleri) gelişmemiş ilk örneklerdir. Yıllarca sadece su pompalanmasında kullanılan bu türbinler, bu işlemdeki moment gereksiniminin karşılanabilmesi amacıyla, çok kanatlı olarak üretilmiştir. Çok kanatlı rüzgar türbinleri düşük hızda çalışırlar. Türbin kanatlarının genişlikleri, pervane göbeğinden uçlara gidildikçe artış gösterir. Pervane mili, dişli kutusuna bağlanarak, generatör milinin devir sayısı artırılır ve otomobillerde uygulama alanı bulan generatörler kullanılır. Rüzgargülleri, rüzgargülü pervane düzleminin rüzgar hız vektörünü her zaman dik olarak alabilmesi için de rüzgargülü yönlendiricisi taşımaktadırlar.

3.2.3. Güçlerine Göre Türbin Çeşitleri

Güçlerine göre rüzgar türbinleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi 10 kW’a kadar olan türbinler küçük güçlü rüzgar türbinleri, 10 kW - 250 kW arası olan türbinler orta güçlü rüzgar türbinleri ve 250 kW’tan büyük türbinler ise büyük güçlü rüzgar türbinleri olarak değerlendirilebilir.

Büyük güçlü türbinlere kıyasla, küçük güçlü türbinler teknolojik altyapı, bilgi birikimi ve yatırım açısından ulusal kaynaklarla daha kolay gerçekleştirilebilirler. Şu anda küçük güçlü rüzgar türbinlerinin tamamında sürekli mıknatıslı senkron generatörler kullanılmakta, elde edilen değişken genlik ve frekanstaki alternatif akım doğrultularak akülere depo edilmekte ya da uygun güç elektroniği devreleri yardımıyla şebekeye paralel bağlanabilmektedir.



Şekil 3.11. Güçlerine göre Rüzgar Türbinleri

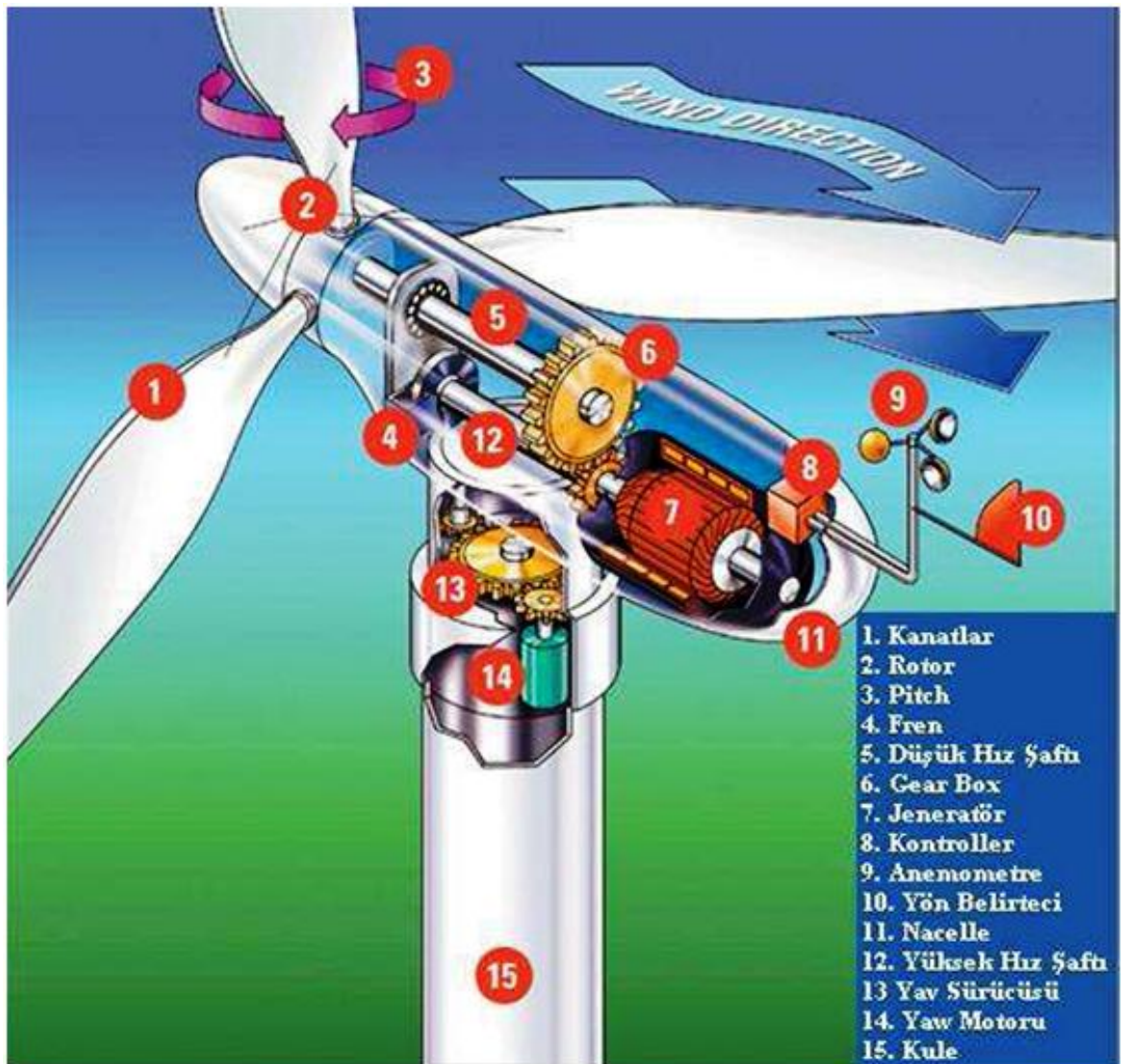
3.3. Rüzgar Türbinin Mekanik Aksamaları

Rüzgar türbinleri rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bir rüzgar türbini genel olarak; kule, elektrik generatörü, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve rüzgar pervanesinden oluşur.

Bir rüzgar türbini, çevredeki engellerin rüzgarı kesemeyeceği yükseklikte bir kule ve bunun üzerine yerleştirilmiş bir gövde ve rotordan oluşmaktadır. Kulenin yüksek olması, ayrıca yeryüzüne yakın rüzgar profilinin yüksek hızdaki kısmını kullanmaya da yarar. Rüzgarın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin hızı artırılarak, gövdedeki generatöre aktarılır. Generatörden elde edilen elektrik enerjisi aküler vasıtasıyla depolanarak veya doğrudan alıcılara ulaştırılarak kullanılır.

Türbin bileşenleri

Türbinler, tasarım ve yapısına göre farklı elemanlardan oluşabilir. Ancak, her türbinde özellikleri farklı da olsa aynı fonksiyonu icra eden benzer bileşenler vardır. Bir türbinde yer alan belli başlı bileşenler; Şekil 3.12’de görüldüğü gibi rüzgar hızı ölçme cihazı (anemometre), kanatlar, fren düzeni, kontrol sistemi, dişli kutusu, generatör, yüksek ve düşük hız şaftları, gövde (yatak), pitch, rotor, kule rüzgar vanası, yaw motoru ve tahrik gurubundan oluşmaktadır (Demir, 2007).



Şekil 3.12. Rüzgar Türbini İç Aksamları

Anemometre: Rüzgar hızını ölçüp elektronik kontrol sistemine ileten bir ölçüm cihazıdır.

Kanatlar: Türbinlerin çoğu iki veya üç kanatlı olarak tasarlanmaktadır. Kanatlara çarpan rüzgar, kanatları kaldırarak döndürmektedir. Kanat yapısı türbinin önden veya arkadan rüzgar almasına göre değişmektedir.

Frenler: Acil durumlarda, mekanik, elektriksel veya hidrolik olarak uygulanan bir disk ile rotorun hareketinin durdurulmasını sağlayan sistemlerdir.

Kontrolör (Kontrol Sistemi): Türbinlerin, saatte, 3 ile 5 m/sn'lik rüzgar hızlarında, dönme hareketini başlatan, bu hareketi yöneten ve saatte 120 m/sn'yi aşan yüksek hızlarda durduran beyin fonksiyonu icra eden kritik bir sistemdir. Türbinler fırtınalı havada ve özellikle saatte 120 m/sn'yi aşan rüzgar hızlarında, aşırı ısındığından generatörleri çalıştırmazlar.

Dişli kutusu: Dişli kutuları, düşük ve yüksek hız şaftlarının yataklandığı mekanizmalardır. Generatörlerin elektrik üretebilmeleri için dakikada, 1200–1550 devirlik bir döndürme yükü almaları gerekmektedir. Dişli kutuları, rotorun bağlandığı düşük dönüşlü şafttan gelen dakikada 30–60'lık dönme yükünü, yüksek hız şaftına 1200–1500 devirlik bir hıza yükselten makinelerdir. Dişli kutularının ağır olması, kule ömrünü olumsuz etkilemektedir. Günümüzde araştırmaların büyük bir bölümü, dişli kutuların eliminasyonuna yönelmiştir. Dişli kutuların elimine edilmesi ile rotor doğrudan generatörlere bağlanabilecektir.

Generatör: Elektik üreten makinelerdir. Sincap kafesli indüksiyon generatörü, rotoru sargılı indüksiyon generatörü, sabit mıknatıslı senkron generatör ve rotoru sargılı senkron generatör olmak üzere çeşitli yapılarda imal edilirler.

Yüksek hız şaftı: Generatörü süren, eğer mevcutsa dişli kutusu ile generatör arasında bulunan şafttır.

Düşük hız şaftı: Kanatların bağlandığı mil olup dakikada 30–60 devirle dönmektedir.

Türbin: Kule üzerine yerleştirilen montaj platformu olup, rotor, dişli kutusu, şaftlar, generatör, kontrolör ve frenleme düzeninin yuvalandığı ana rotor gövdeye monte edilmiş olup, kapasitesine göre bir teknisyenin içinde tamirat yapabileceği kadar serbest alana sahiptir.

Pitch: Aşırı yüksek veya düşük hızlarda kanatların dönüşünü kontrol eden döndürme mekanizmasıdır.

Rotor: Kanatlar ve dişli kutusunun yuvalandığı kapalı mekana rotor adı verilir.

Kule: Yuvarlak veya kafes şeklinde tasarlanan, çelikten yapılmış, tepe düzlemine türbin gövdesinin yerleştirilmesini sağlayan direklerdir.

Rüzgar Vanası: Rüzgar yönünü ölçerek, değişimlere göre, yaw (kuyruk) motoru ile haberleşmeyi sağlayan, türbini rüzgar yönüne taşıyan mekanizmadır.

Yaw (Kuyruk) Tahrik: Üç kanatlı türbinlerin rotorları, rüzgara doğru konuşlanır. Rüzgarın hız değişimine göre, rotor kafasını, rüzgara dik tutacak tarzda ayarlayan mekanizmalardır, iki kanatlı rotorlar, kafalarını rüzgar doğrultusuna ters konuşturduklarından, kuyruk kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymazlar.

Kuyruk motoru: Kuyruk tahrik sistemini hareketlendiren motordur. Türbin teknolojisi, başlangıçta basit tekniklerle tasarlanmıştır. Ancak, rüzgar türbini, karmaşık bilgisayar modelleri ve tasarım araçlarına ihtiyaç duymaktadır. Gelişen tasarım teknolojileri, tasarım ve konstrüksiyon araçları, rüzgar türbinlerinin karmaşık modelini basitleştirmiştir. Yeni tasarım ve konstrüksiyon bilgileri, her türlü sınır şartlarına ve değişkenlere kolay adapte olabilmektedir.

3.4. Rüzgar Türbinlerinin Elektrik Sistemi

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan rüzgar türbinleri, bir, iki ve üç kanatlı olan ve yüksek hızda çalışabilen makinelerdir. Yüksek hızda çalışmalarının nedenleri:

- Eşit çaptaki yüksek hızlı bir rüzgar türbini düşük hızlı bir rüzgar türbininden daha hafif dolayısı ile daha ekonomiktir.
- Dönme hızları yüksek olduğu için gerekli çevrim oranı daha düşüktür. Bu nedenle dişli kutusu daha hafiftir.
- Elektrik generatörlerinin çalışmaya geçmesi için gerekli başlangıç momenti düşüktür.

Türbin kanatları sabit veya değişken açılı olurlar. Bazı tasarımlarda pervane frenlediğinde açığı arttıran özel bir düzenleyici (regülatör) kullanılır. Sabit açılı kanat

yüksek hızlı rüzgar makinelerinde, generatör başlama esnasında motor gibi davranır ve dönme hızı nominal hıza ulaştığında generatöre dönüşür. Regülatör sistemleri olmayan rüzgar pervaneleri de vardır. Bu tür rüzgar pervanelerinin çalışmaya başlaması özellikle makinenin λ_0 uç hız oranı (tip speed ratio), yüksek ise daha zordur. Bu gibi makinelerde burulmuş kanatlar tercih edilmelidir.

Genellikle rüzgar, pervaneyi bir dişli kutusu üzerinden hareket ettirerek elektrik generatörünü sürer. Dişli teknolojisinde ortaya çıkan gelişmeler ve düşük hızlı elektrik generatörlerinin maliyetinin yüksek olması, küçük sistemler dışında pervanenin generatör tarafından doğrudan sürülmemesi eğilimine yol açmaktadır.

3.5. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler

Rüzgar türbin generatörü, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Rüzgar türbin generatörleri diğer generatörlerle karşılaştırıldığında bazı farklılıklar görülmektedir. Bu farklılığı oluşturan en önemli sebep, rüzgar generatörü, hidroelektrik santrallerde çalışan generatörlerin aksine, rüzgar hızındaki ani değişimler sonucu değişik mekanik güçlerde çalışmaktadır.

Büyük türbin generatörleri (100 kW'tan yukarı) fazlar arası değeri 690 V olan 3 fazlı gerilim üretirler. Üretilen bu gerilim, transformatör aracılığıyla 10 kV ile 30 kV arasındaki bir değere yükseltilir. Yükseltilen bu gerilim, dağıtım şebekesine veya enterkonnekte şebekeye verilir. Küçük güçlü generatörlerle güç elde etmek için küçük boyutlu pervaneler kullanılır. Eğer büyük pervane kullanılırsa kuvvetli esen rüzgarlarda sadece generatörün kapasitesi kadar güç üretilecektir ve rüzgarın çoğu boşa harcanacaktır. Diğer taraftan, büyük güçlü generatörler, kuvvetli rüzgar hızlarında çok verimli olacak, ancak düşük rüzgar hızlarında dönmeleri zor olacak veya dönemeyeceklerdir. Bu durumda, imalatçılar, pervane boyutunun ideal kombinasyonuna karar vermek için farklı rüzgar hızlarında, rüzgar hızlarının dağılımına ve rüzgarın enerji içeriğine bakarlar. Farklı rüzgar türbinine göre de generatör boyutu belirlenir.

Generatörler her zaman çok bölmeli statorlara sahip olarak üretilirler. Stator ile rotor arasındaki hava aralığının minimum olacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Generatörlerin aşırı ısınmasını önlemek için, stator ve rotor, tek parça olarak değil de bir tarafı yalıtılmış ince sacların preslenerek birbirine yapıştırılmasıyla elde edilir. Bunun sonucunda fuko ve histerisiz akımları azaltılarak stator ve rotorun aşırı ısınması önlenmiş olur.

Bazı üreticiler, hem düşük ve hem de yüksek rüzgar hızlarında çalışan generatörler üretirler. Bunun için makinenin imalatı, farklı sayıda kutup olacak şekilde yapılır. Bir anahtar yardımıyla değişen kutup sayısı, generatörün hızını da değiştirir. Böyle generatörler değişik hızlarda çalışarak değişik güçler üretebilirler. Bu nedenle düşük rüzgar hızına sahip bölgelerde kullanılmak üzere fazla kutup sayısına sahip olan generatörler üretmeye gayret edilmiş ve bu sayede üretilen elektrik enerjisinin daha ucuza mal olduğu görülmüştür. Bu yapının üstünlüklerinden biri de alçak rüzgar hızlarında rotor hızının azaltılmasıdır. Bu sayede rüzgarın değişik hızlarından en iyi şekilde yararlanılır.

Bir generatör, üç fazlı şebekeye bağlanacaksa çıkış frekansının şebeke frekansı ile aynı olması gerekir. Eğer statordaki mıknatısların sayısı iki katına çıkarılırsa, manyetik alandan dolayı makinenin yarı hızda dönmesi sağlanmış olur. Kutup sayılarını değiştirerek hız da değiştirilebilir.

Rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörlerin çoğu 4 veya 6 kutupludur. Bu yüzden, yüksek hızlı generatörler diğerlerine nazaran daha küçüktür ve maliyet açısından da daha ucuzdur. Generatörü maksimum momentle çalıştırmak, rotorun büyüklüğüne bağlıdır. İhtiyaç duyulan güç çıkışına göre generatörler arasında düşük hızlı, pahalı veya yüksek hızlı, ucuz olarak seçim yapılabilir.

Türbinin ürettiği mekanik enerjiyi minimum kayıpla elektrik enerjisine dönüştürmek için farklı hız ve çıkış kombinasyonları kullanılmaktadır. Temel olarak bir rüzgar türbinine asenkron, senkron ve doğru akım generatörlerinden biri bağlanabilir.

Doğru akım generatörleri, güvenilirliklerinin düşük olması ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgar enerjisi sektöründe kullanılmaktadır. DAG'lar küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinde, özellikle elektriğin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler. Son yıllarda mekaniksel komütatörlü DAG'ların komütatörü elimine etmek için sürekli mıknatıslı olarak tasarlanmasına başlanmıştır. Bu tertibatta üretilen alternatif akım yarı iletken doğrultucular yardımıyla doğru akıma dönüştürülür. Fırçasız doğru akım makineleri olarak da isimlendirilen bu makineler, sürekli mıknatısların kapasitelerinin ve güçlerinin sınırlı olması nedeniyle, küçük güçlü rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadırlar (Dursun ve Binark, 2008).

3.5.1. Asenkron Generatörler

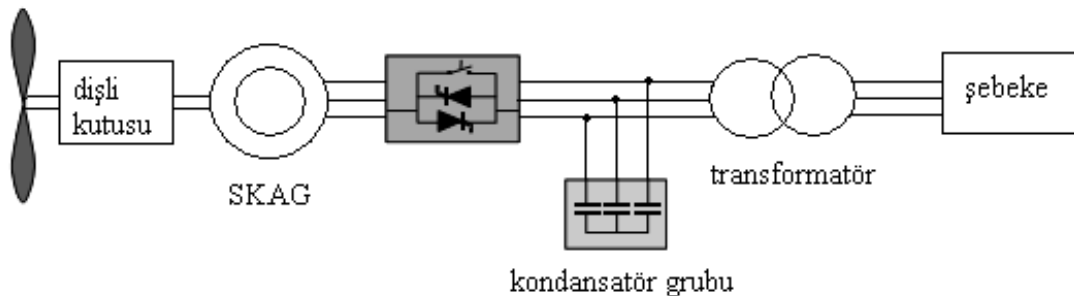
Rüzgar türbinleri içerisinde çok yaygın olarak kullanılan bir generatör tipidir. Sağlamlık, mekanik olarak basitlik, büyük tiplerde üretilebilmesi, fiyatının düşüklüğü gibi avantajları vardır. En büyük dezavantajı statorunun (duran kısım), reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. (Dursun ve Binark, 2008)

Sincap kafesli asenkron makinelerin rotorunda sargı olmaması yani bir uyarma devresinin olmaması gerekli reaktif enerjinin dışarıdan sağlanması anlamına gerekir. Generatör çalışma durumunda şebekeye reaktif veremediği gibi ihtiyacı olan bu enerjiyi dışarıdan almak zorundadır. Bu ise terminallerine bağlanan bir paralel kondansatör grubu ile sağlanabilir. Eğer bu yapılmazsa generatör çalışma anında şebekeye aktif güç verirken, şebekeden ters yönde reaktif akış söz konusu olabilmektedir. (Ergür, 2006)

Ani rüzgar artışlarında oluşan moment titreşimlerini azaltmada çok iyidir. Asenkron generatörler rotor yapılarındaki farklılığa göre ikiye ayrılırlar, rotoru sincap kafesli (kısa devre çubuklu) asenkron generatör ve rotoru bilezikli (sargılı) asenkron generatör.

3.5.1.1. Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG)

SKAG hem sabit hızlı rüzgar türbinlerinde hem de değişken hızlı rüzgar türbinlerinde kullanılır. Manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor olukları mile paralel olarak değil meyilli olarak açılarak pres alüminyum döküm rotor sargısı elde edilir. (Dursun ve Binark, 2008)



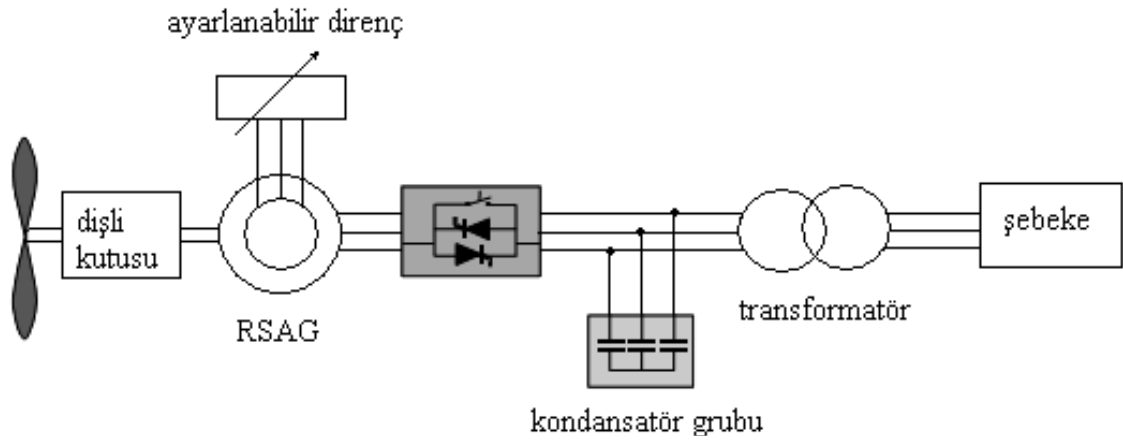
Şekil 3.13. Rüzgar Türbinine Akuple Edilmiş SKAG'ün Şebekeye Bağlantısı

Sincap kafesli asenkron makineler, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar. Dezavantajları;

generatör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşıktırmasıdır. Moment-hız eğrisi lineerdir. Böylece rüzgar gücündeki dalgalanmalar direkt olarak şebekeye iletilir. Bu geçişler özellikle rüzgar türbininin şebeke bağlantısı sırasında kritiktir. Bu noktalarda nominal akımdan 7-8 kat daha hızlı akım geçişi olur ki bu sistemin dezavantajları arasında yer alır. (Dursun ve Binark, 2008)

3.5.1.2. Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generatör (RSAG)

Bir RSAG’de rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarı da yapılabilir. Dezavantajı ise pahalı olması ve SKAG kadar sağlam olmamasıdır. (Dursun ve Binark, 2008)

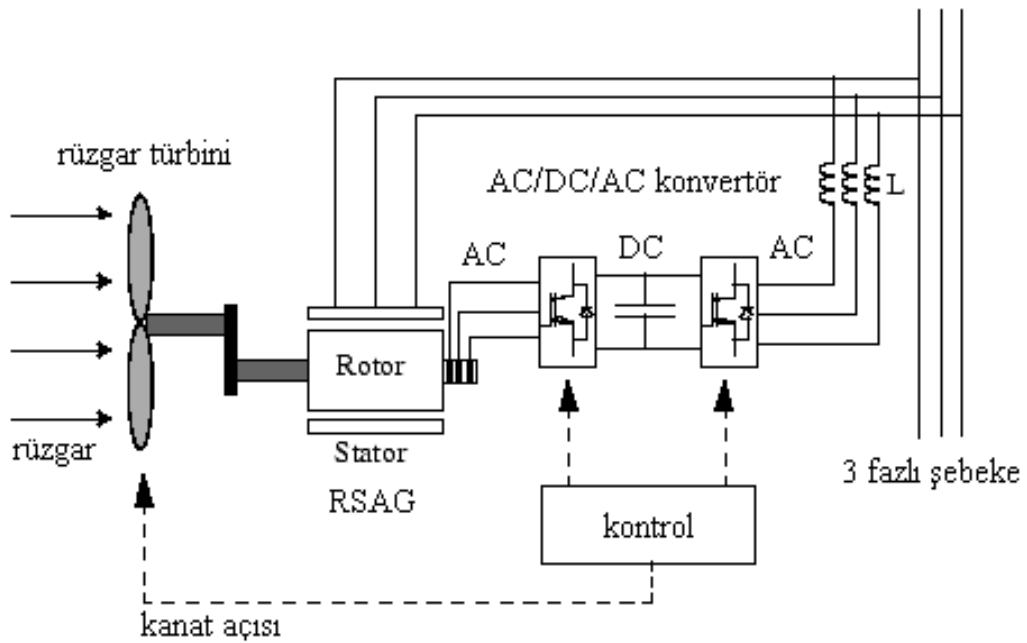


Şekil 3.14. Rüzgar Türbinine Akuple Edilmiş RSAG’ün Şebekeye Bağlantısı

Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG): Çift beslemeli asenkron generatör, stator sargıları direkt olarak sabit frekanslı 3 fazlı şebekeye bağlı bir RSAG ile rotor sargılarına monte edilmiş iki yönlü back-to-back konverterlerden meydana gelmiştir. Genellikle, rotor tarafındaki konverter kontrol sistemi, elektromanyetik momenti regüle eder ve generatörün manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter kontrol sistemi ise, DA linkini regüle eder. ÇBAG değişik rüzgar hızı uygulamalarına imkan sağlar, ancak sınırlıdır. ÇBAG’nün avantajları; offshore

olarak isimlendirilen açık deniz rüzgar santrali uygulamaları gibi büyük güç sistemleri için uygun olmasıdır. ÇBAG'nün en büyük dezavantajı ise bilezik tertibatının düzenli bakıma olan ihtiyacıdır. (Dursun, Binark 2008)

Asenkron generatörlü rüzgar türbinleri tasarım olarak, senkron türbinlerinden daha farklıdır. Asenkron generatörlü türbinler, daha pahalıdır. Büyük rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörler genellikle, 690 Volt'luk üç fazlı alternatif akım üretirler. Üretilen enerji, şebekeye yükseltilerek aktarılır. Büyük üreticiler 50 Hz'lik rüzgar türbini modelinden yararlanır. Elektrik generatörü çoğunlukla bir indüksiyon generatörü veya asenkron generatörüdür. Modern rüzgar türbinlerinde 10.000 kW'lık bir üretim gücü hedeflenmiştir. Halen 10 MW'lık türbinler test aşamasında olup, yakın gelecekte daha büyük güçte türbinlerin de kullanılacağı bir gerçektir.



Şekil 3.15. Rüzgar Türbinine Akuple Edilmiş ÇBAG'ün Şebekeye Bağlantısı

OptiSlip İndüksiyon Generatör (OSİG): OSİG, rüzgarın ani ve sert esmesi sırasında rüzgar türbinindeki yükleri çok hızlı güç elektroniği elemanları kullanarak minimuma indirmek için Danimarkalı Şirket Vestas tarafından geliştirilmiştir. Optislip generatör rotoru sargılı asenkron generatör ile şafta yerleştirilmiş ayarlanabilir harici rotor dirençlerinden oluşur. Herhangi bir bileziğe ihtiyacı yoktur. Generatörün kayması, rotor şaftına bağlı bir konverter aracılığıyla toplam rotor direncinin düzenlenmesi ile değiştirilir. Bu değişim rüzgar hızına ve yüke bağlı olarak elektronik devre ile %1 ile

%10 arasında değişmektedir. Böylece ani rüzgar artışlarında oluşan mekanik yükler ve güç dalgalanmalarının azaltılması hedeflenmiştir.

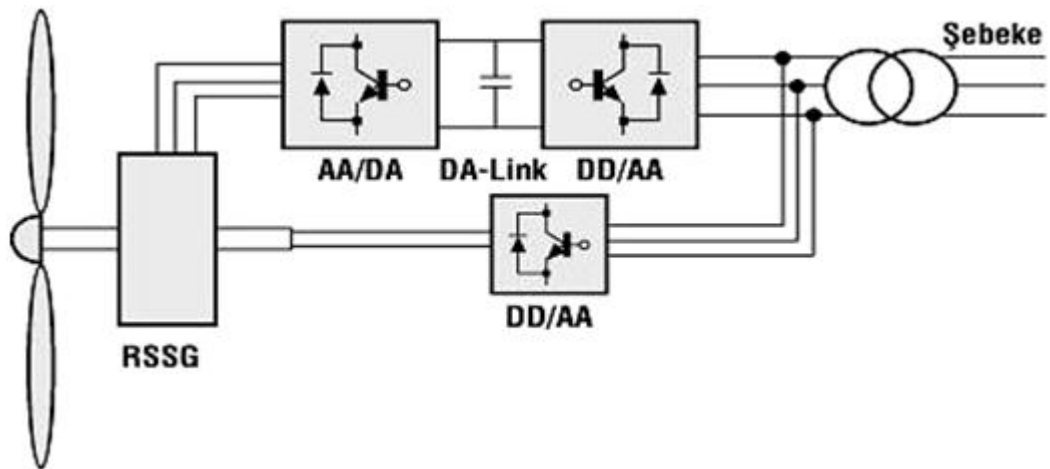
Dezavantajı ise reaktif güç kontrolünün zayıf olmasıdır. (Dursun ve Binark, 2008)

3.5.2. Senkron Generatörler

Senkron generatörler, aynı büyüklükteki asenkron generatörlere göre daha pahalı ve mekaniki olarak daha karmaşıktır. Senkron generatör, harici bir yükü besleyen üç fazlı sargıların oluşturduğu bir stator ve manyetik alanı oluşturan bir rotordan meydana gelir. Senkron generatörler sabit hızlı sistemler için daha uygundur. Bu nedenle sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalışırlar. Rotorun oluşturduğu manyetik alan, ya sürekli mıknatıslardan ya da sargılardan akan doğru akımdan üretilir. (Dursun ve Binark, 2008)

3.5.2.1. Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Generatör (RSSG)

Manyetik alan, kutup sargısının bulunduğu makinenin hareketli parçası olan rotorda üretilir. Rotor sargısı doğru akımla beslenerek hava aralığında zamana göre değişmeyen genliği sabit manyetik alan meydana getirir. Bu manyetik alan, rotorun döndürülmesi ile statora yerleştirilmiş sargının düzlemlerinden değişik açılarda geçer ve gerilimi indükler. Stator sargılarında oluşan bu gerilim alternatiftir ve zamana göre değişir. RSSG'nün hızı, döner alanın frekansı ve kutup sayısına göre değişir (Dursun ve Binark, 2008).

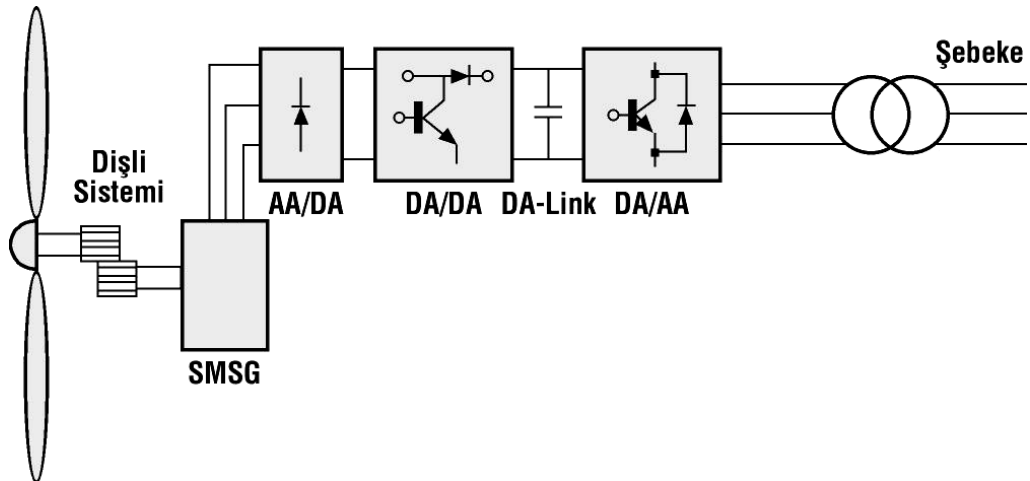


Şekil 3.16. Rüzgar Türbinine Akupile Edilmiş RSSG'nin Şebekeye Bağlantısı

Stator tarafındaki konverter elektromanyetik momenti, şebeke tarafındaki konverter ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü regüle eder. Elektromanyetik moment üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için RSSG'nün verimi yüksektir. RSSG kullanılması en büyük faydası, makinenin güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir. Bunun sonucu olarak, stator akımı birçok işletim durumunda minimize edilebilir. Bu generatörlerin kutup eğimi indüksiyon makinelerine göre daha küçük olabilir. Bu durum dişli kutusunu ortadan kaldırabilir. Asenkron generatörlerin aksine senkron generatörlerin, reaktif güç kompanzasyon sistemine ihtiyacı yoktur. Rotorda sargı devresinin bulunması sürekli mıknatıslı senkron generatör (MSG) ile kıyaslandığında bir dezavantajdır (Dursun ve Binark 2008).

3.5.2.2. Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (MSG)

MSG herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle rüzgar türbini uygulamalarında önerilmektedir. En büyük artısı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Generatör hızı, herhangi dişli kutusuna gerek kalmadan kontrol edilebilir. MSG'nün statoru sargılıdır ve rotoruna sürekli mıknatıslar yerleştirilmiştir. MSG'nün çok yaygın kullanılan tipleri; radyal akılı, aksiyal akılı ve çapraz akılı MSG'lerdir. (Dursun ve Binark 2008)



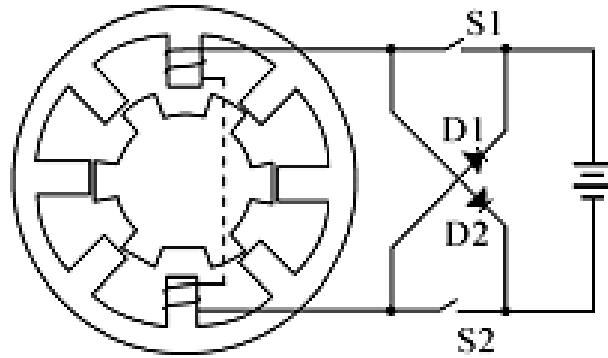
Şekil 3.17. Rüzgar Türbinine Akuple Edilmiş MSG'ün Şebekeye Bağlantısı

MSG'ler yol alma anında senkronizasyonda ve gerilim regülasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir. Ayrıca sürekli mıknatısların fiyatları çok yüksektir. Bir diğer

dezavantajı ise mıknatısların manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değişmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısa devre durumlarında mıknatısların manyetik özelliklerini kaybettikleri bilinmektedir. SMSG'lerin rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrolünün sağlanması gereklidir (Dursun ve Binark, 2008).

3.5.3. Anahtarlamalı Relüktans Generatör (ARG)

Son yıllarda ARG, iyi mekanik güvenilirlik, yüksek moment-güç oranı, yüksek verim ve düşük maliyetten dolayı rüzgar enerjisi uygulamalarında tercih edilen generatördür. ARG'nin statorunda bulunan her çıkık kutuba çoklu sargılar yerleştirilmiştir. ARG uyartım ve üretim olmak üzere iki aşamada çalışır. ARG iki anahtar ve faz başına iki diyottan oluşur. Uyartım aşamasında S_1 ve S_2 anahtarları açık olup, statordaki sargılar harici elektriksel devre tarafından uyartılır ve manyetik enerji ortaya çıkar. Üretim aşamasında S_1 ve S_2 anahtarları kapalı olup, D_1 ve D_2 diyotları üzerinden manyetik ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür (Dursun ve Binark 2008).



Şekil 3.18. Anahtarlı Relüktans Generatör

Tablo 3.1'de yukarıda açıklanan Rüzgar türbin generatörlerinin genel bir karşılaştırılması yapılmıştır, avantaj ve dezavantajları özetlenmiştir.

Tablo 3.1. 6 Adet Rüzgar Türbin Generatör Konseptinin Avantajları ve Dezavantajları (Kim ve Lu, 2010)

	Avantajları	Dezavantajları
SKAG Sincap Kafesli Asenkron Generatör	Tasarımı, montajı ve kontrolü kolay Robust operation (Sağlam çalışma) Düşük maliyet	Düşük enerji verimi Aktif/reaktif güç kontrolü yoktur Yüksek mekanik stres Yüksek dişli kutusu kaybı
SMSG Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör	Yüksek enerji verimi Yüksek aktif/reaktif güç kontrolü Fırça/bilezik yokluğu Düşük mekanik stres Rotorda bakır kaybı yoktur	PM materyalin yüksek maliyeti PM'in demanyetizasyonu Kompleks montaj süreci Yüksek PEC maliyeti Yüksek PEC kaybı Büyük boyutlar
RSSG Rotoru Sargılı Senkron Generatör	Yüksek enerji verimi Yüksek aktif/reaktif güç kontrolü Fırça/bilezik yokluğu Düşük mekanik stres	Bakır sargıların yüksek maliyeti Yüksek PEC maliyeti Yüksek PEC kaybı Büyük boyutlar
DFIG Çift Beslemeli İndüksiyon Generatör	Yüksek enerji verimi Yüksek aktif/reaktif güç kontrolü Düşük PEC maliyeti PEC ile düşük kayıp Daha az mekanik stres Kompakt boyutlar	Fırça/bilezik varlığı Yüksek dişli kutusu kaybı
ÇBAG Fırçasız Çift Beslemeli İndüksiyon Generatör	Yüksek enerji verimi Yüksek aktif/reaktif güç kontrolü Düşük PEC maliyeti PEC ile düşük kayıp Fırça/bilezik yokluğu Daha az mekanik stres Kompakt boyutlar	Early technical stage (ilk teknik safha) Kompleks kontrol edilebilirlik ve tasarım Yüksek dişli kutusu kaybı
ÇBRG Fırçasız Çift Beslemeli Relüktans Generatör	Yüksek enerji verimi Yüksek aktif/reaktif güç kontrolü Düşük PEC maliyeti PEC ile düşük kayıp Fırça/bilezik yokluğu Rotorda bakır kaybı yoktur Daha az mekanik stres Kolay montaj	Early technical stage (ilk teknik safha) Kompleks kontrol edilebilirlik ve tasarım Yüksek dişli kutusu kaybı DFIG'den daha büyük boyut

4. RÜZGAR ENERJİ SİSTEMİ GÜÇ DÖNÜŞÜM ELEMANLARI

Rüzgar türbinine bağlı generatörün yapısına bağlı olarak AC ya da DC güç elde edilir. Genellikle uygulamalarda daha çok senkron ve asenkron generatörler kullanıldığından AC çıkış gücü elde edilmektedir. Çıkışta elde edilen AC gerilim dalga şekillerinin şebeke ya da yükün ihtiyacına uygun hale getirilmesi ve akülerde depolanabilmesi için çeşitli güç elektroniği dönüştürücüleri kullanılır.

4.1. AC/DC Dönüştürücü

Bir doğrultucu devresi AC kaynağı DC yüke bağlayan devredir. Elde edilen DC gerilim aküde olduğu gibi sabit olmayıp ortalama gerilim seviyesinin üzerine bindirilmiş alternatif akım bileşeni içerir. Aşağıda bahsedilen devrelerin tamamı DC gerilim vermesine rağmen; çıkıştaki AC dalgalanması, ortalama gerilim seviyesi, verimi ve AC beslemedeki yükleme tesirleri açısından farklılık arz ederler.

4.1.1. Tek Faz Yarım Dalga Doğrultucu

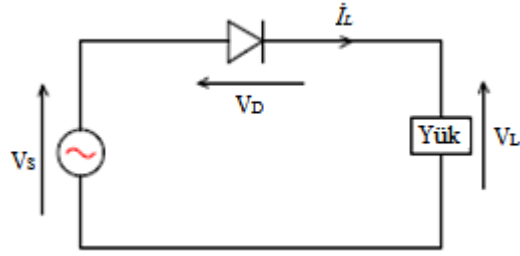
Şekil 4.1’de kontrolsüz tek fazlı yarım dalga doğrultucu görülmektedir. Dalga şekilleri çizilirken diyotun ideal anahtar gibi davrandığı kabul edilmiştir. Şekil 4.2.a’da yük saf omik iken Şekil 4.2.b’de ise indüktans içermektedir. Omik yük için diyot gerilimi düşümü ihmal edilirse yük akımı:

$$I_L = \frac{V_s}{R} \quad (4.1)$$

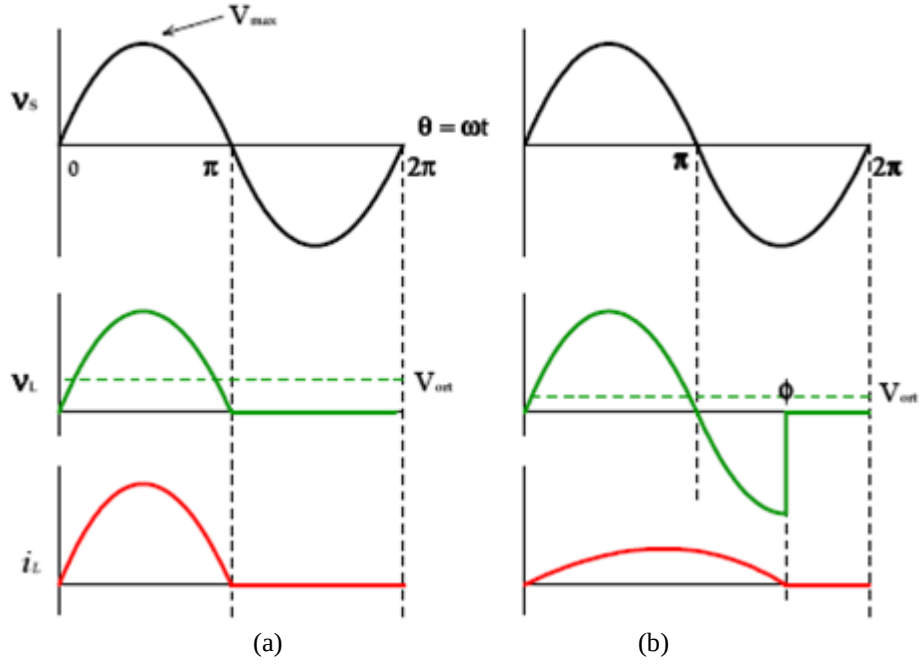
(Pozitif yarı periyot) olur. Ortalama gerilim:

$$V_{ort} = \frac{V_{\max}}{\pi} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{\max} \sin \theta d\theta \quad (4.2)$$

olur.



Şekil 4.1. Tek Faz Yarıml Dalgı Doğrultucu



Şekil 4.2. Tek Faz Yarıml Dalgı Doğrultucu Dalgı Şekilleri

Çoğu DC yükler (DC motorlar) gerilimin ortalama değeriine tepki gösterirler, dolayısıyla efektif değeri ile pek ilgilenmez. Ancak DC gerilimdeki dalgalanmalar istemeyen kayıplara yol açar. Devredeki diyotun seçimi için hem akım hem de gerilim dikkate alınmalıdır. Yüklerin neredeyse tamamı indüktans içerir. Bu durumda Şekil 4.2.b'deki dalgı şekilleri elde edilir. Yük Gerilimi:

$$V_L = R_{i_L} + L \frac{di_L}{dt} \quad (4.3)$$

olur. Buradan akım dalgı şekli elde edilebilir. Gerilimin ortalama değeri ise:

$$V_{ort} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\theta=0} V_{max} \sin \theta d\theta \quad (4.4)$$

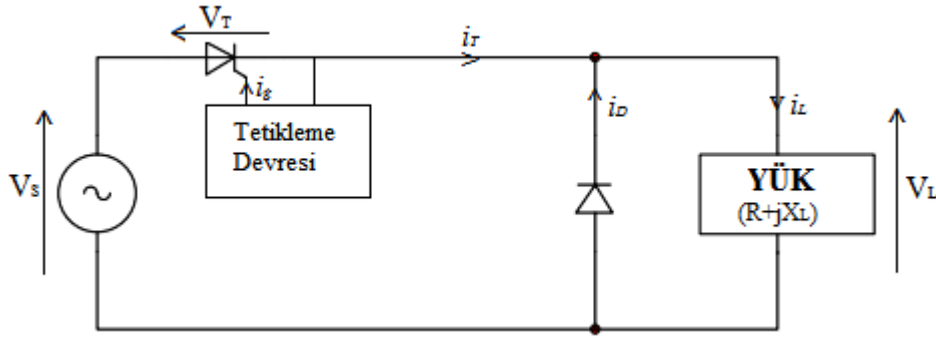
olur.

Tek faz yarım dalga devresi tristör kullanılarak kontrol edilebilir. Şekil 4.3’de devre yapısı, Şekil 4.4’de ise dalga şekilleri görülmektedir. α tetikleme açısına bağlı olarak yük akımı ve gerilimi değişmektedir. Akım seviyesi diyot tutma akımı seviyesinin altına düşerse yük akımı kesintili olur. Şekil 4.4.b’deki yük geriliminin ortalama değeri;

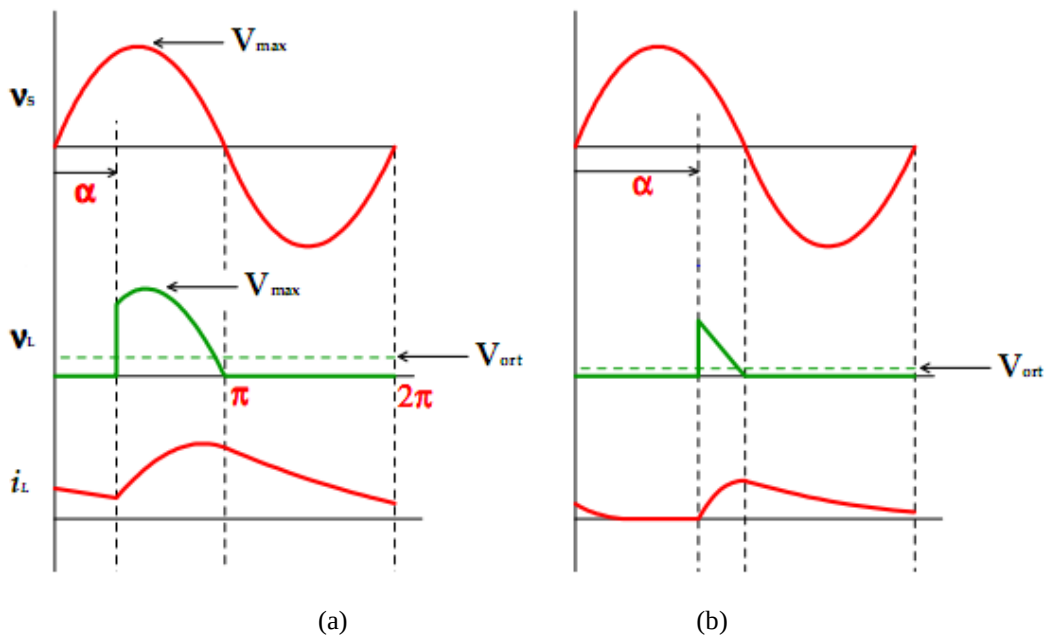
$$V_{ort} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_{\max} \sin \theta d\theta \quad (4.5)$$

$$V_{ort} = \frac{V_{\max}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (4.6)$$

olur. α arttıkça gerilimin ortalama değeri düşer ve 180° ’de sıfır olur.



Şekil 4.3. Tek Faz Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucu

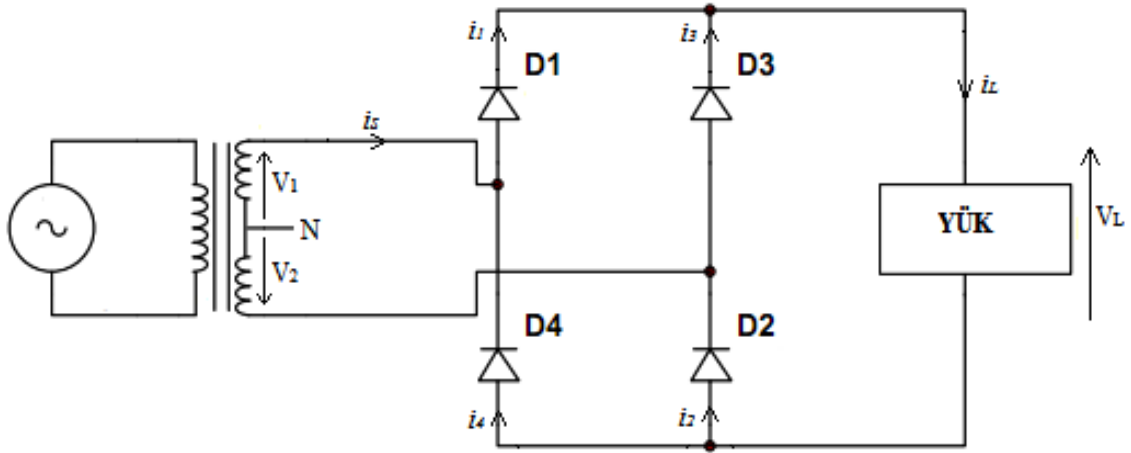


Şekil 4.4. Tek Faz Kontrollü Yarım Dalga Doğrultucu Dalga Şekilleri

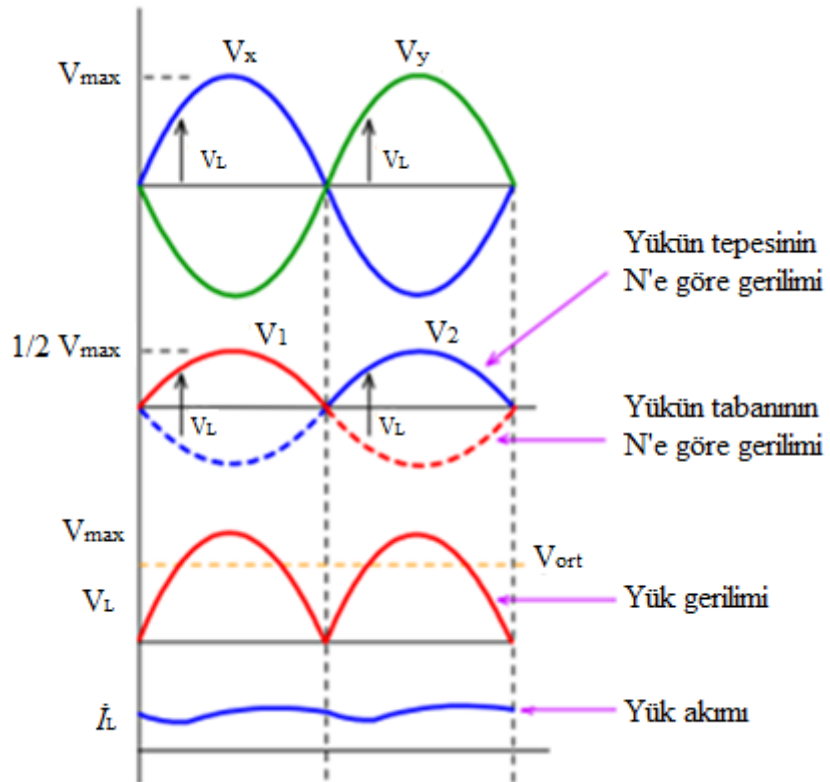
4.1.2. Tek Faz Köprü Doğrultucu

4.1.2.1. Tek Faz Kontrolsüz Köprü Doğrultucu

Şekil 4.5’de tek faz köprü devresi görülmektedir. Tek faz köprü bağlantısı iki tane yarım dalga bağlantısının seri bağlanmasından elde edilmiştir. Şekil 4.6’da dalga şekilleri görülmektedir.



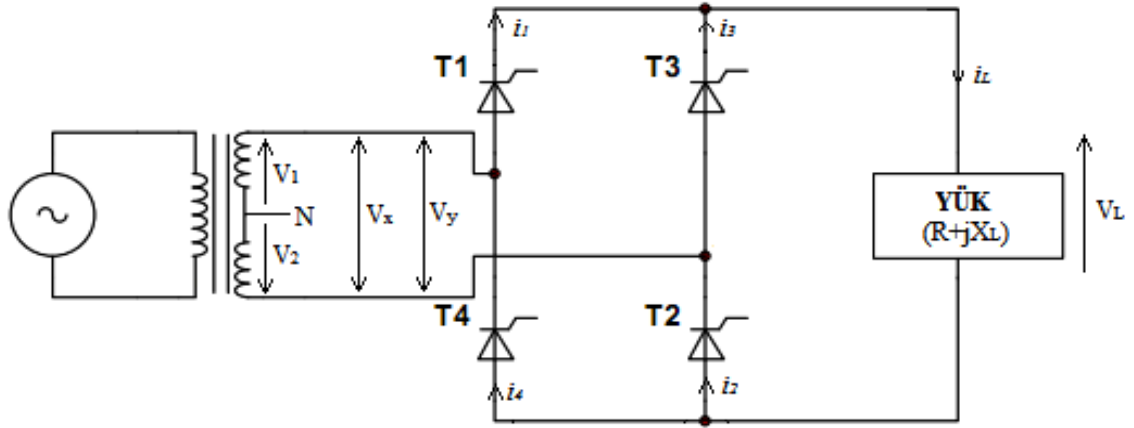
Şekil 4.5. Tek Faz Köprü Doğrultucu



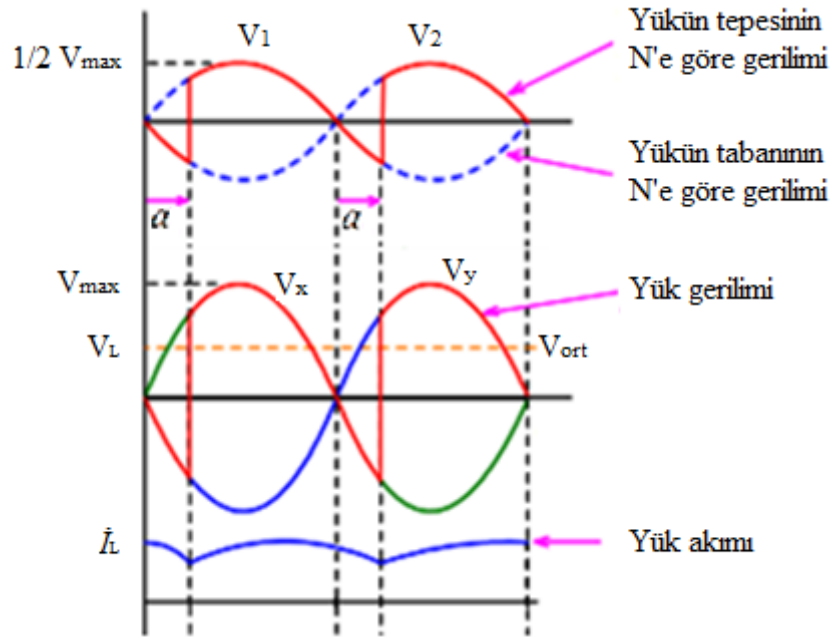
Şekil 4.6. Tek Faz Köprü Doğrultucu Dalga Şekilleri

4.1.2.2. Tek Faz Tam Kontrollü Köprü Doğrultucu

Şekil 4.7’de tam kontrollü doğrultucu görülmektedir. Tristörler tetiklenene kadar iletim söz konusu olmaz. Akımın geçebilmesi için Şekil 4.7’deki devrede T_1 ve T_2 , T_3 ve T_4 grup halinde her yarı periyotta aynı anda tetiklenmelidir.



Şekil 4.7. Tek Faz Tam Kontrollü Köprü Doğrultucu

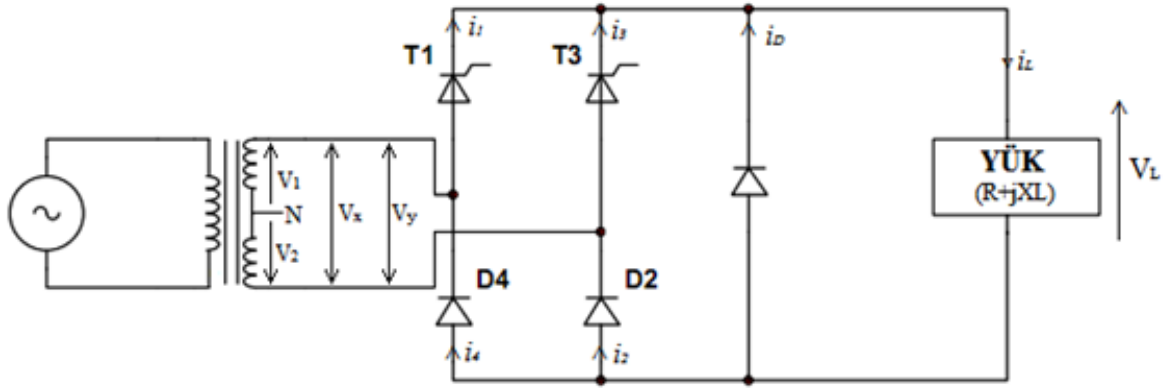


Şekil 4.8. Tek Faz Tam Kontrollü Köprü Doğrultucu Dalga Şekilleri

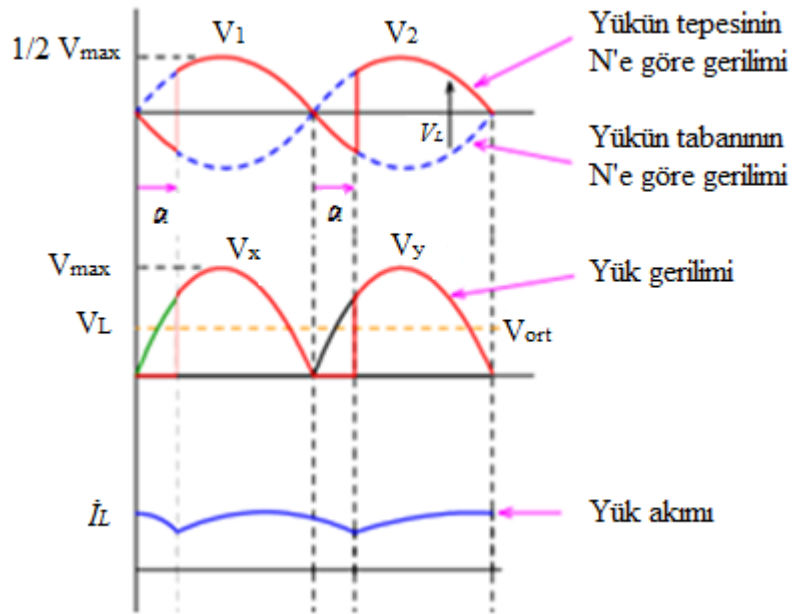
4.1.2.3. Tek Faz Yarı Kontrollü Köprü Doğrultucu

Şekil 4.9’deki yarı kontrollü bağlantıda görüldüğü gibi, iki tristör ve iki diyot kullanarak ortalama DC gerilimi kontrol etmek mümkündür. Yüke giren akım

tristörlerden geçerken dönüş yolu da diyotlarla sağlanmaktadır. Bir N (besleme nötrü) noktası tanımlayarak ve yük uçlarının bu noktaya olan potansiyel değişimlerini inceleyerek dalga şekillerini elde edebiliriz.



Şekil 4.9. Tek Faz Yarı Kontrollü Köprü Doğrultucu



Şekil 4.10. Tek Faz Yarı Kontrollü Köprü Doğrultucu Dalga Şekilleri

Dalga şekillerinden de görüldüğü gibi yük gerilimi asla negatif olmaz. Gecikme açısı $\alpha=180^\circ$ olunca ortalama gerilim sıfıra düşer. Yük uçlarına ters paralel bağlı olan diyot (serbest geçiş diyonu) hem yük geriliminin negatif olmasını önler, hem de indüktif olma durumu için yük akımını üzerine alır. Şebeke geriliminin sıfırdan geçtiği ve T_1 iletimde olduğu bir durumda dönüş akımı D_2 üzerinden şebekeye dönmektedir. T_3 tristörü α kadar tetiklenmeyeceğinden bu süre zarfında yükün indüktif akımı T_1 ve D_4

üzerinden akmak isteyecek ve D_2 akımını D_4 'e devredecektir. Aynı zamanda serbest geçiş diyotu da yük akımını üzerine alacağından T_1 tristörü sönecektir. Ortalama değeri;

$$V_{ort} = \frac{V_{\max}}{\pi} \cos \alpha \quad (4.7)$$

Ancak devredeki iki tristörün gerilim düşümleri dahil edilmemiştir ve yük akımının sürekli olduğu kabul edilmiştir.

4.1.3. Üç Fazlı Kontrolsüz Köprü Doğrultucu

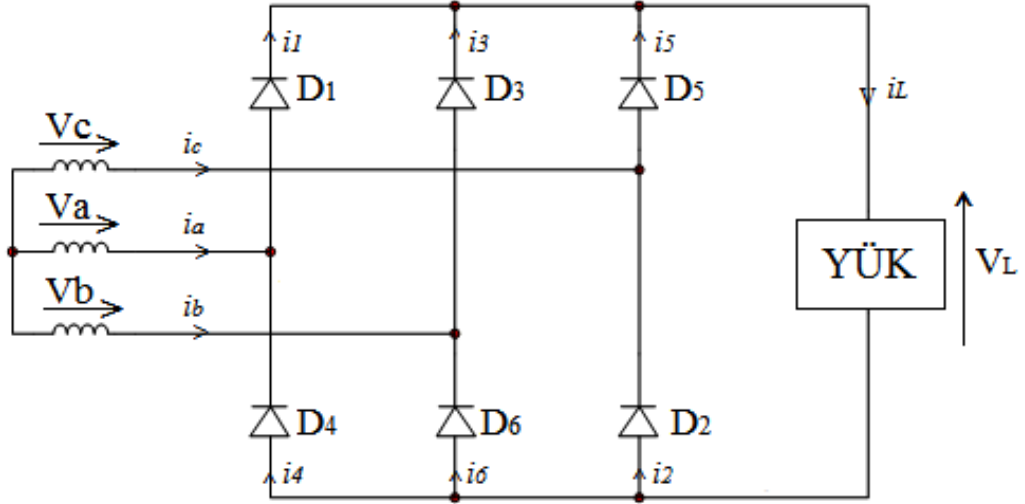
3 faz köprü (tam dalga) devresi Şekil 4.11'de görülmektedir. Yük bir adet 3 fazlı yarım dalga bağlantısıyla beslenirken dönüş yine diğer bir 3 fazlı yarım dalga bağlantısıyla sağlanmaktadır. Nötr bağlantısına gerek yoktur. Şekil 4.12'deki dalga şekilleri incelenirse; yük geriliminin, yükün üst noktası ile alt noktasının yıldız noktasına potansiyelleri arasındaki fark olduğu görülür. Maksimum değeri, fazlar arası gerilimin maksimum değerine eşittir.

$$V_{faz-faz} = \sqrt{3} V_{faz-nötr} \quad (4.8)$$

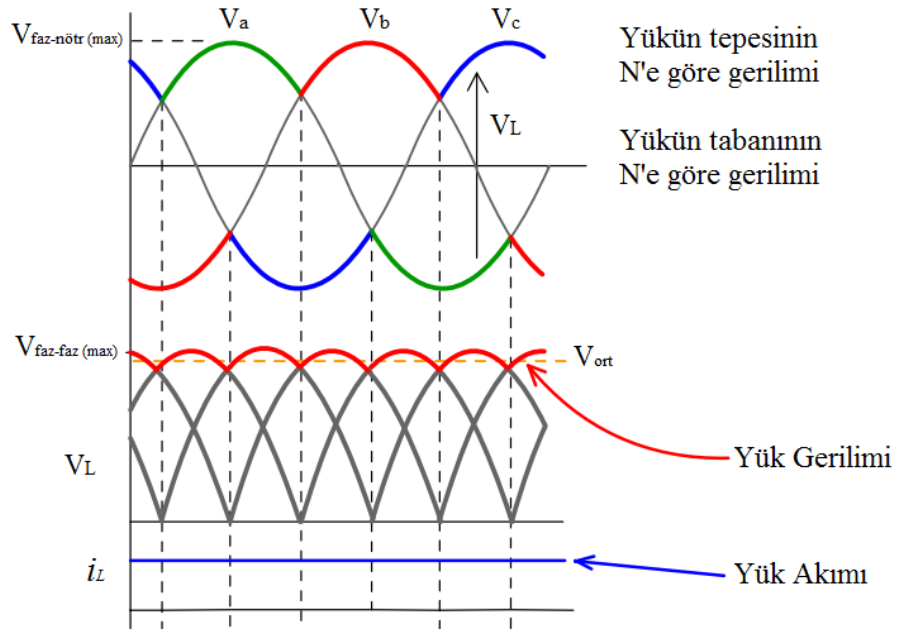
Şekil 4.11'deki trafonun sekonderi yıldız bağlıdır, ancak üçgen bağlama da yapılabilir. Yıldız-Üçgen trafo kullanmanın sebebi 3. harmoniği azaltmaktır. Yük geriliminin ortalama değeri:

$$V_{ort} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{faz-nötr(max)} = \frac{3}{\pi} V_{faz-faz(max)} \quad (4.9)$$

Aynı anda iki diyot iletimdedir, ancak bunların gerilim düşümü ihmal edilmiştir. Diyotlar $1/3$ periyot (120°) boyunca yük akımının tamamını iletirler. AC besleme akımı simetrik olmasına rağmen basamaklı yapıdadır. Ancak, dalga şekli bir fazlı köprü devresine göre daha sinüsoidaldir.



Şekil 4.11. Üç Fazlı Köprü Doğrultucu



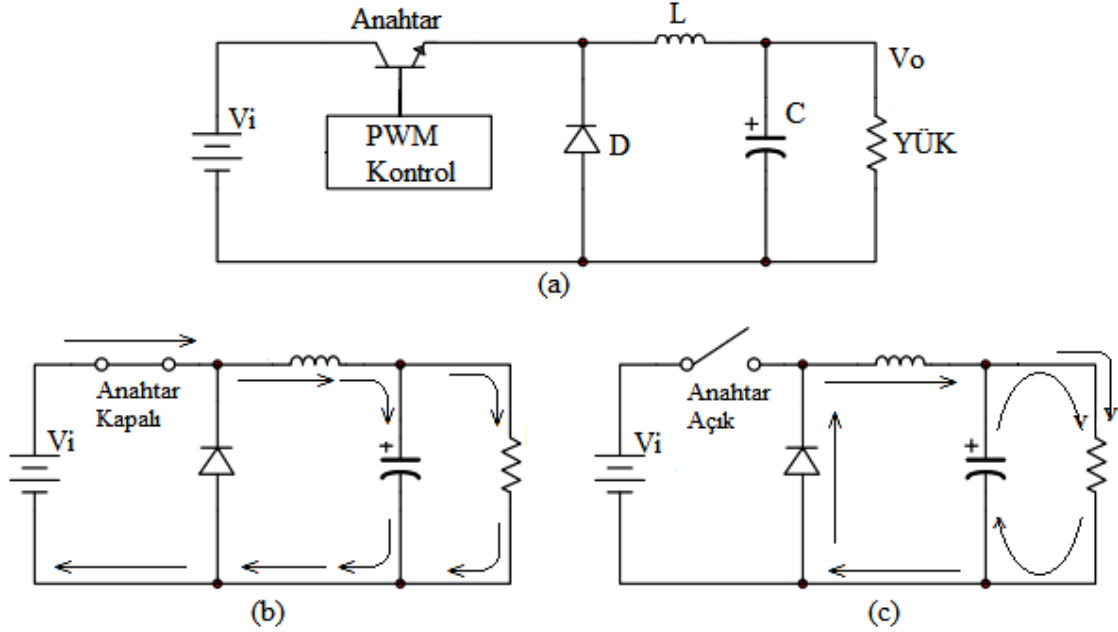
Şekil 4.12. Üç Fazlı Köprü Doğrultucu Dalga Şekilleri

4.2. DC/DC Dönüştürücü

4.2.1. Buck Dönüştürücü

En yaygın olarak kullanılan anahtarlama dönüştürücü buck tipidir. DC giriş gerilimini daha düşük seviyede aynı polaritede bir gerilime çevirir.

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi buck konvertörünün kullandığı transistör, giriş geriliminin bobin ile olan bağlantısını açıp kapatır. Şekil 4.11.b ve Şekil 4.11.c’de anahtarın açık ve kapalı olması durumlarına göre devrede akan akımlar gösterilmektedir.

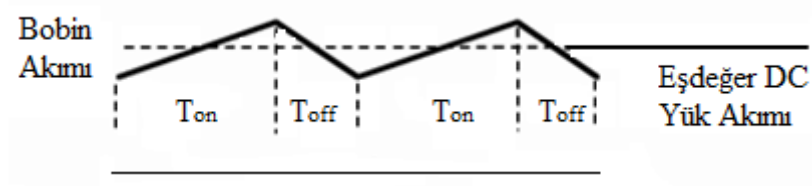


Şekil 4.11. Buck Dönüştürücü

Anahtar kapandığında, giriş gerilimi bobin üzerinde akmaya başlar. Bobin giriş ve çıkışındaki gerilim farkı bobinin üzerinden geçen akıma karşı koymasından dolayıdır. Böylece akım yavaş yavaş yükselir. Açık kalma süresi boyunca bobin akımı kapasitör ve yük üzerinden akar. Çıkış kapasitesi bu süre boyunca şarj olur.

Anahtar açıldığında giriş gerilimi uygulanmış bobin, kaldırılmış olur. Fakat bobin akımı bir anda bitmez. Bobin, akımı bir süre daha sabit olarak akıtmaya çalışır. Akan akım diyot üzerinden geçerek devreyi tamamlar. Bobin akımı da enerjisi azaldığından zamanla düşmeye başlar. Bu sırada kapasitör de depoladığı enerjiyi yük üzerinde harcar. Kapasitör ve bobin akımları anahtar kapalı olduğu süre içerisinde yükü beslemeye çalışırlar.

Şekil 4.12’de bobin akımının durumu görülmektedir. T_{on} süresi boyunca bobin akımı yükselmekte ve T_{off} süresinde de bir düşme oluşmaktadır. Regüle edilmiş DC yük gerilimi ise bobin akımının ortalaması kadardır. Dalga şeklindeki tepeden tepeye olan dalgalanma, bobin ripple akımı olarak adlandırılır.



Şekil 4.12. Bobin Akımının Durumu

Anahtar kapalı olduğunda indüktans üzerindeki akım aşağıdaki denklemdeki kadar artar.

$$\Delta I_L = \frac{V_i - V_0}{L} t_{on} \quad (4.10)$$

Anahtar açıldığı zaman, indüktansın üzerindeki gerilim ters döner ve depolanmış enerji D diyotu üzerinden yüke aktarılır. Bu periyotta indüktans üzerindeki akım düşümü aşağıdaki denklemdeki kadardır.

$$\Delta I_L = \frac{V_0}{L} T(1 - \lambda) \quad (4.11)$$

ve çıkış gerilimi,

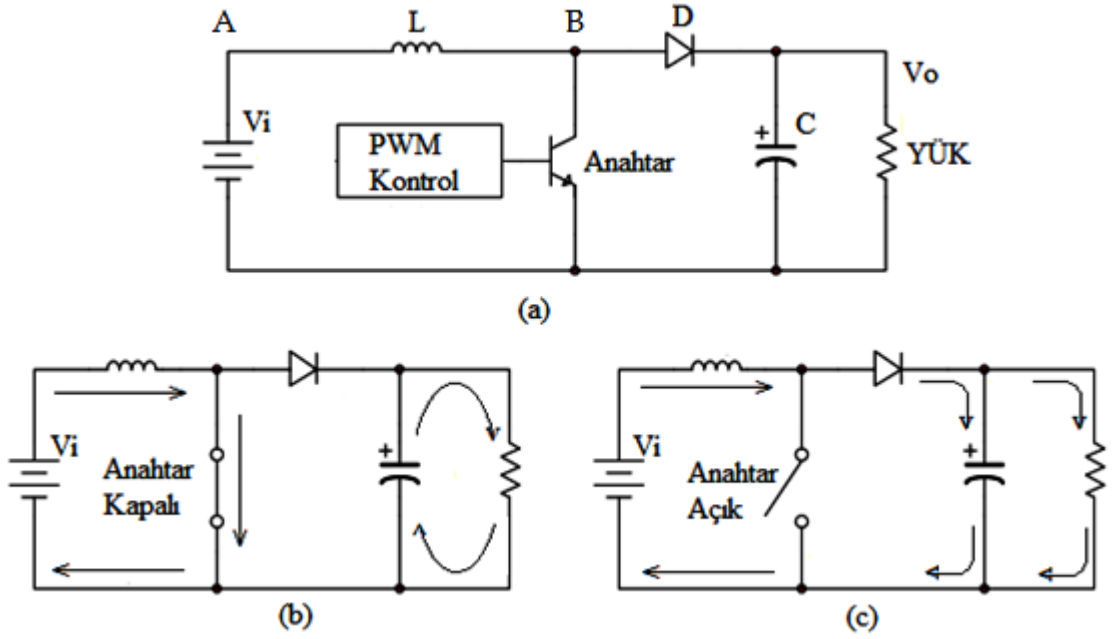
$$V_0 = \lambda V_i \quad \text{olur.}$$

Görev periyodu değiştirilerek çıkış gerilimi ayarlanabilir. Görev periyodu 1'den küçük olduğundan, çıkış gerilimi her zaman girişten düşük olacaktır. (Ortaç, 2007)

L indüktansı C kondansatörü ile beraber LC alçak geçiren filtresi oluşturur. Burada L indüktansı akım sınırlayıcı görevi üstlendiği gibi alçak geçiren filtrenin de bir elemanıdır.

4.2.2. Boost Dönüştürücü

Boost regülatör DC giriş gerilimini, aynı polaritede daha yüksek bir DC çıkış gerilimine çevirir. Şekil 4.13'de bir boost tipi regülatör görülmektedir. Altında ise bu regülatörün anahtarının açık ve kapalı durumlarında, devrede akacak akımın durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Boost Dönüştürücü

Anahtar iletme sokulduğunda, indüktansın akımı minimum değerinden, maksimum değerine lineer olarak artar. Anahtar iletimde olduğu durumda, yükü besleyen kondansatörün boşalmaması için D diyotu kullanılır. Anahtarın iletimi kesildiği zaman indüktans akımı, maksimum değerinden, minimum değerine azalır. İndüktansta depolanan enerji, A noktasında B noktasına göre daha büyük bir gerilim oluşturur. Böylece, yüke doğru ek bir akım akarak çıkış gerilimi yükseltilmiş olur. Anahtarın iletim zamanında, tüm giriş gerilimi indüktans üzerine uygulanır (Ortaç, 2007).

$$V_i = L \frac{di_L}{dt} \quad (4.12)$$

indüktans akımı ise,

$$i_L = I_{L_{\min}} + \frac{V_i}{L} t \quad (4.13)$$

$t = t_{on}$ değerinde maksimum akımı elde ederiz.

$$i_L = I_{L_{\min}} + \frac{V_i}{L} t_{on} \quad (4.14)$$

Anahtarın iletimi kesildiğinde yani t_{off} zamanında ise,

$$V_i - V_0 = L \frac{di_L}{dt} \quad (4.15)$$

burada indüktansın akımı,

$$i_L = \frac{V_i - V_0}{L} t + I_{L_{\min}} \quad (4.16)$$

$t = t_{off}$ değerinde minumum akımı elde ederiz.

$$i_L = \frac{V_i - V_0}{L} t_{off} + I_{L_{\max}} \quad (4.17)$$

Bu denklemleri kullanarak çıkış gerilimini bulursak,

$$V_0 = V_i \left(1 + \frac{t_{on}}{t_{off}}\right) = \frac{V_i}{1 - \lambda} \quad (4.18)$$

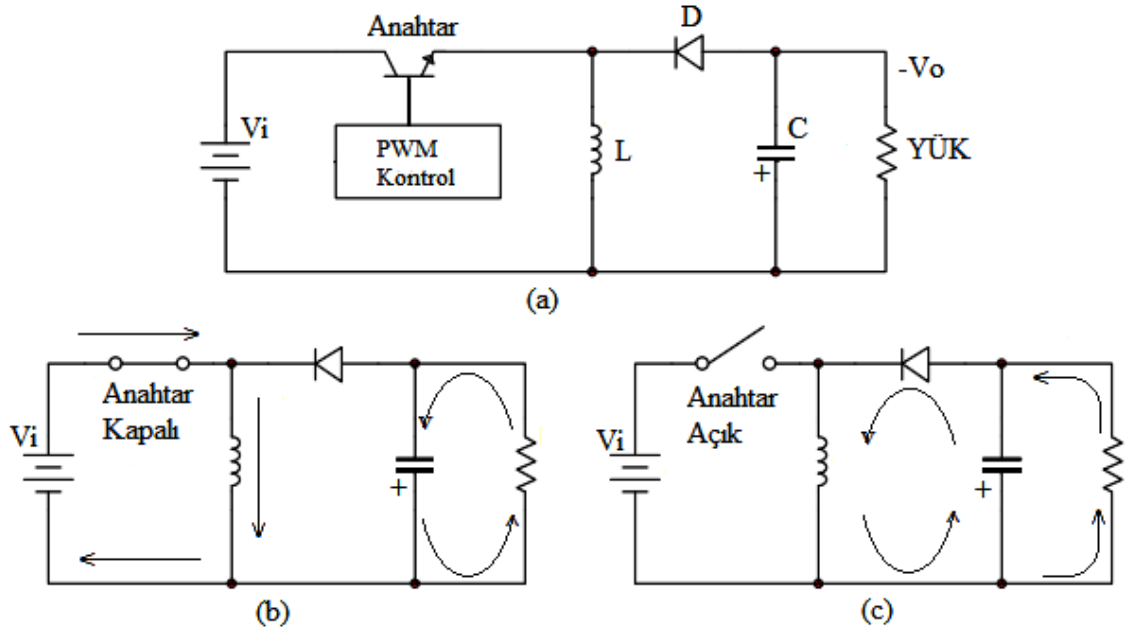
Bu denklemden görüldüğü gibi, görev periyodu sıfır dışında ne olursa olsun, çıkış gerilimi girişten her zaman büyük olur.

4.2.3. Buck-Boost (Inverting) Dönüştürücü

Buck-Boost veya inverting (tersleyici) regülatör, DC giriş gerilimini işleyerek DC çıkış gerilimi elde eder. Bu gerilim girişe göre ters polaritededir. Negatif çıkış gerilimi girişe göre daha yüksek ya da daha düşük büyüklükte olabilir. Şekil 4.14’de inverting regülatörün yapısı gösterilmiştir.

Anahtar kapatıldığında indüktans üzerinde giriş gerilimi oluşur ve indüktans akımı lineer olarak maksimum değerine yükselir. Bu durumda diyot kesimdedir.

Anahtar açıldığında ise diyot iletme geçer ve indüktansta depolanan enerji çıkış kondansatörüne veya yüke aktarılır.



Şekil 4.14. Buck-Boost (İnverting) Dönüştürücü

Bu dönüştürücüde, diğer dönüştürücülerin aksine, çıkışa transfer edilecek gücün tamamı indüktans üzerinde depolanan enerji vasıtasıyla iletilir. Bu da ancak düşük güçlü sistemler için uygundur. Anahtar kapalı olduğu durumda indüktans akımı aşağıdaki denklemdeki gibi artar.

$$\Delta I_{L_i} = \frac{V_i}{L} t_{on} = \frac{V_i}{L} T \quad (4.19)$$

Anahtar açıldığında ise diyot iletme geçer ve indüktans akımı kesilmeden, aşağıdaki denklemdeki gibi azalarak çıkışa akmaya devam eder.

$$\Delta I_{L_o} = \frac{V_o}{L} t_{off} = \frac{V_o}{L} (1 - \lambda) T \quad (4.20)$$

Giriş akımı çıkış akımına eşit olduğunda kalıcı duruma ulaşılır.

$$\frac{V_i}{L} dt = \frac{V_o}{L} (1 - \lambda) T \quad (4.21)$$

Bu denklemden çıkış gerilimi aşağıdaki gibi bulunur.

$$V_0 = \frac{\lambda.V_i}{1-\lambda} \quad (4.22)$$

Bu denklemden, değişken giriş ve görev periyoduna bağlı olarak sabit bir çıkış gerilimi üretebileceğimiz görülmektedir.

4.3. Akü

Aküler, kimyasal enerjiden elektrik enerjisi üreten düzeneklerdir. Akülerin en büyük avantajı elektrik enerjisini taşınabilir kılmasıdır. Bir akünün, şarj işlemiyle kazandığı ve deşarj işleminde verebildiği enerjiye akünün kapasitesi denir. Kapasitenin birimi “Amper Saat” tir. Kısaca “Ah” harfleri ile ifade edilir. Aküler, çok uzun süre kullanılacağı ve acil durumlarda çok kısa süre içerisinde çok büyük bir yükü beslemesi gerekebileceğinden bazı özelliklere sahip olmalıdırlar (Doğan, 2006).

Buna göre bir akü;

- Uzun ömürlü ve dayanıklı değildir.
- Az bakım gerektirmelidir.
- Ucuz olmalıdır.
- Çevreye zarar vermemelidir.

4.4. İnverterler

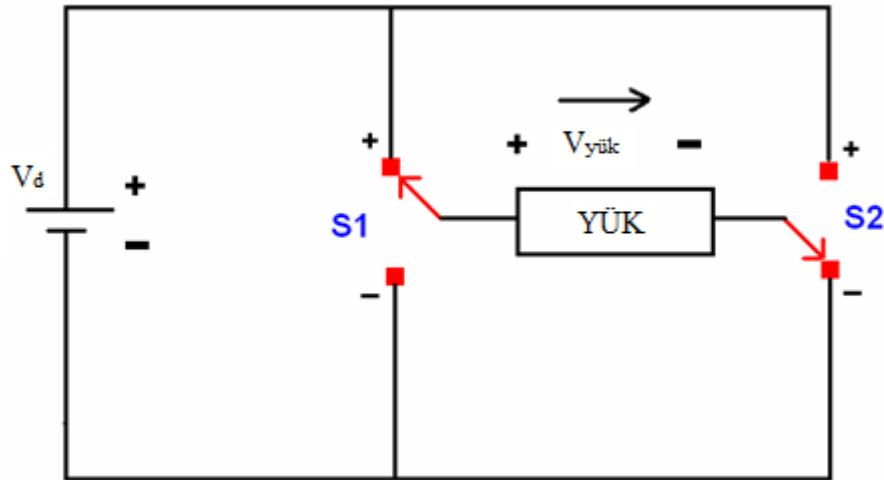
İnverterler doğru akımı alternatif akıma çeviren DC-AC dönüştürücülerdir. Bir inverterin görevi girişindeki bir doğru gerilimi, çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmektir. Çıkışta elde edilen gerilim ve frekans değerleri sabit veya değişken olabilir. Girişteki DC gerilim değiştirilmek ve inverter kazancı sabit tutulmak suretiyle, değişken bir çıkış gerilimi elde edilebilir.

İnverterler, gerilim beslemeli ve akım beslemeli olmak üzere iki gruba ayrılır. Gerilim beslemeli inverterler sabit DC gerilimle beslendiği halde, akım beslemeli inverterler bir akım kaynağı tarafından beslenirler. Bir gerilim kaynağına seri indüktans bağlanmak suretiyle, bu kaynak bir akım kaynağına dönüştürülebilir. Bir geri besleme çevrimi yardımıyla gerilim değiştirilerek istenen akım elde edilebilir. Bir gerilim

beslemeli inverter, akım kontrol modunda çalıştırılabilir. Benzer şekilde bir akım kontrollü inverter, gerilim kontrol modunda çalıştırılmak üzere kontrol edilebilir. Aralarındaki tek fark, genellikle akım kontrollü inverterler çok güç gerektiren AC motor sürücülerinde tercih edilmektedir. Bir fazlı gerilim veya akım beslemeli inverter genel olarak; yarım köprü, H-köprüsü veya orta uçlu transformatörle gerçekleştirilen push-pull bağlantıda olabilir. Tek fazlı inverterler aralarında bağlanarak üç fazlı veya çok fazlı AC sistemler elde edilebilir.

4.4.1. Temel İnverter Yapısı ve Çalışma Prensipleri

Daha önceden bahsedildiği üzere, inverterler, girişine uygulanan doğru gerilimden, yapısında bulunan güç elektroniği anahtarlama elemanlarının uygun sıra ve zamanda iletme ve kesime sokularak istenen genlik ve frekansta alternatif gerilim üreten güç elektroniği çeviricileridir. Uygun tasarımla bir fazlı ya da çok fazlı inverterler yapılabilir. Şekil 4.16’da tek fazlı temel inverter yapısı gösterilmiştir (Yalçın, 2009).



Şekil 4.16. Temel İnverter Yapısı

Şekil 4.16’da görülen devrede; V_d , inverteri besleyen doğru gerilimi, S_1 ve S_2 ideal anahtarları, $V_{yük}$, yük uçlarında görülen gerilimi, YÜK ise direnç, indüktans veya kapasite kombinasyonlarından oluşabilen lineer yükü ya da herhangi bir nonlineer yükü temsil etmektedir. Devrenin yapısına dikkat edilirse 6 farklı çalışma durumu olduğu görülür.

Birinci durumda S_1 anahtarı (+) konumda ve S_2 anahtarı (-) konumda olabilir. Bu durumda yük uçlarında sıfır gerilim görülür.

İkinci durumda S_1 anahtarı (+) konumda ve S_2 anahtarı da (-) konumda olabilir. Bu durumda yük uçlarında $+V_d$ gerilimi görülür.

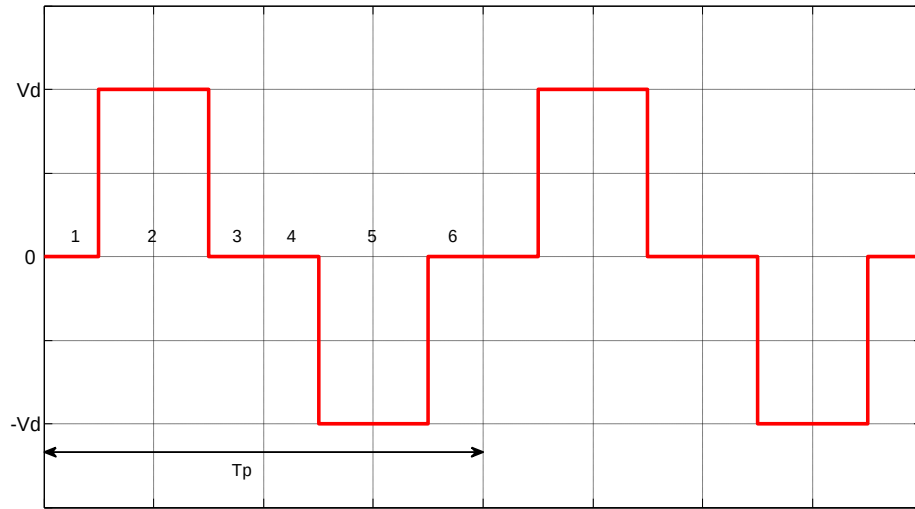
Üçüncü durumda S_1 anahtarı (+) konumda ve S_2 anahtarı (+) konumda olabilir. Bu durumda yük uçlarında sıfır gerilim görülür.

Dördüncü durumda S_1 anahtarı (-) konumda ve S_2 anahtarı (-) konumda olabilir. Bu durumda yük uçlarında sıfır gerilim görülür.

Beşinci durumda S_1 anahtarı (-) konumda ve S_2 anahtarı (+) konumda olabilir. Bu durumda yük uçlarında $-V_d$ gerilimi görülür.

Son ve altıncı durumda ise S_1 anahtarı (-) konumda ve S_2 anahtarı da (-) konumda olabilir. Bu durumda yük uçlarında sıfır gerilim görülür.

Bu durumların sırasıyla gerçekleşmesi ve periyodik olarak devam etmesi sonucu yük uçlarında oluşacak $V_{yük}$ gerilim dalga şekli Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Şekil 4.17’de birinci durumun olduğu kısım (1), ikinci durumun olduğu kısım (2), üçüncü durumun olduğu kısım (3), dördüncü durumun olduğu kısım (4), beşinci durumun olduğu kısım (5) ve altıncı durumun olduğu kısım (6) ile sembolize edilmiştir.



Şekil 4.17. İnverter Çıkış Gerilimi

Şekil 4.17’den görüldüğü üzere, bu sıralı ve periyodik dört durumlu çalışma sonucu yük uçlarında periyodu “ T_p ” olan kare dalga alternatif bir gerilim oluşur. Oluşan gerilim dalga şeklinin frekansı ise $1/T_p$ olur. Şekil 4.17’den de görüldüğü üzere çalışma durumlarının süreleri değiştirilerek çıkış geriliminin frekansı da değiştirilebilir. Elde edilen gerilim dalga şekli alternatif olmasına rağmen sinüzoidal değildir. Bu dalga şekli, frekansı $1/T_p$ olan ana harmonik gerilime ilave olarak ana harmonik frekansının katlarında harmonik bileşenleri içerir. Bu da tasarımcıları harmonik bileşenleri en aza

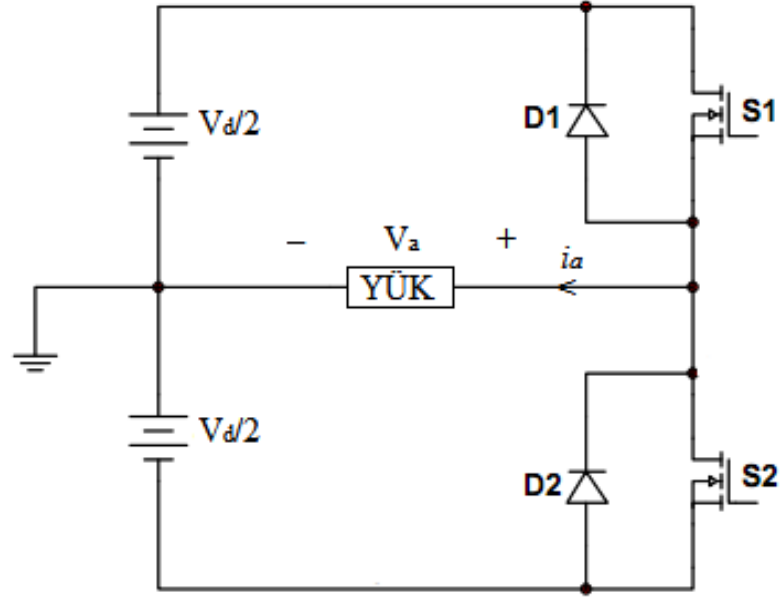
indirgeyecek gerilim dalga şekilleri elde edecek tasarımlar yapmaya zorlamaktadır.

Teorik hesaplamalar sonucu görülmüştür ki, alternatif gerilim dalga şekli sinüs formuna ne kadar çok benzetilirse, harmonik bileşenlerin genliği o derece az olmaktadır. Bu yaklaşım, inverter tasarımı için oldukça ilkel ama bir o kadar da temel bir genellemedir. İnverter çalışmada karşılaşılan bu harmonik problemleri çözmek için birçok anahtarlama yöntemleri geliştirilmiştir. Darbe genlik bindirimli anahtarlama, kare dalga anahtarlama, tek ve çift yönlü darbe genişlik modülasyonlu anahtarlama ve programlanmış harmonik eliminasyonu bu yöntemlerden bazılarıdır.

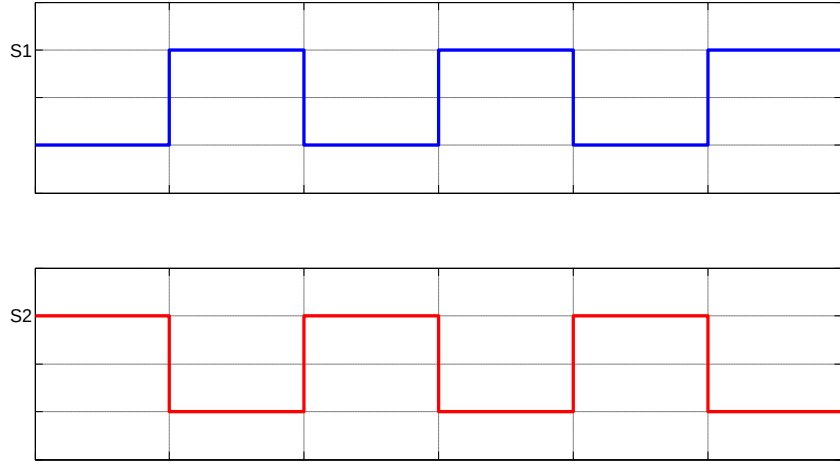
4.4.2. Gerilim Beslemeli İnverterler

4.4.2.1. Tek Fazlı Yarım Köprü Bağlantı

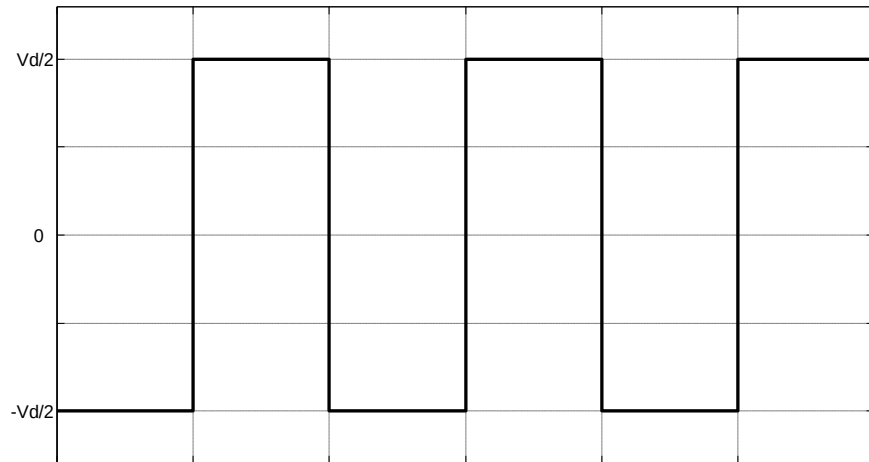
Gerilim beslemeli inverterin girişindeki DC gerilim, bir doğrultucu üzerinden, mevcut AC şebekeden, bir aküden, bir yakıt pilinden veya bir güneş pilinden temin edilebilir. Beslenmek istenen AC yükün gücüne ve cinsine göre inverterler, tek fazlı ya da üç fazlı olabilirler. Şekil 4.18’de tek fazlı yarım köprü bağlantıda gerilim beslemeli bir inverterin bağlantı şeması ile yükün rezistif olması halinde anahtarların üzerindeki gerilim ve yük akımının değişimleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir. Her köprü kolunda kontrollü bir yarı iletken eleman ve bir diyot ters paralel bağlanmıştır. S_1 ve S_2 MOSFET’leri periyodik olarak ilettime sokularak yük uçlarında kare dalga şeklinde bir AC gerilim elde edilir. Yükün uçlarındaki V_a gerilimi; S_1 ’in iletimde olduğu yarım periyot süresince $V_d/2$ ye, S_2 ’nin iletimde bulunduğu diğer yarım periyotta ise $-V_d/2$ ye eşittir. S_1 ve S_2 ’nin aynı anda iletimde bulunması inverter girişindeki kaynakların bu MOSFET’ler üzerinden kısa devre olmasına sebep olur. Bu durum, hem kaynak hem de MOSFET’ler için tehlikelidir. S_1 ve S_2 ’nin aynı anda iletimde olmaması bir lojik devre ile sağlanmalıdır. Şekil 4.19’da S_1 ve S_2 anahtarlarının sürme sinyalleri ve Şekil 4.20’de yükün rezistif olması durumunda çıkış gerilimi dalga şekilleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere bu bağlantı için orta uçlu bir DC gerilim kaynağına ihtiyaç vardır. Kesimde bulunan MOSFET, V_d gerilimine maruz kalmaktadır (Elmas, 2006).



Şekil 4.18. Tek Fazlı Yarım Köprü Bağlantı



Şekil 4.19. S_1 ve S_2 Anahtarlarının Sürme Sinyalleri

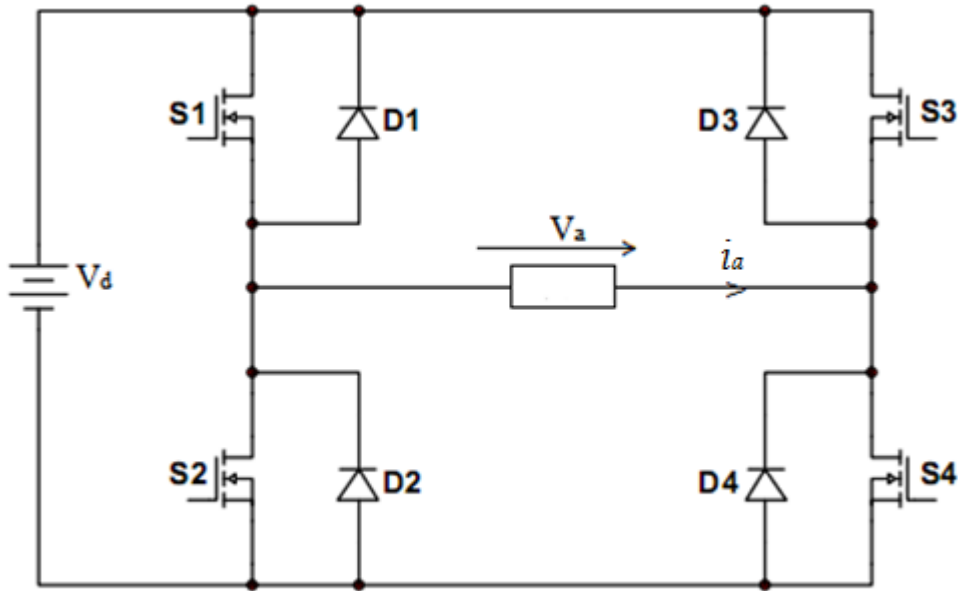


Şekil 4.20. Çıkış (Yük) Geriliminin Değişimi

4.4.2.2. Tek Fazlı Köprü Bağlantı

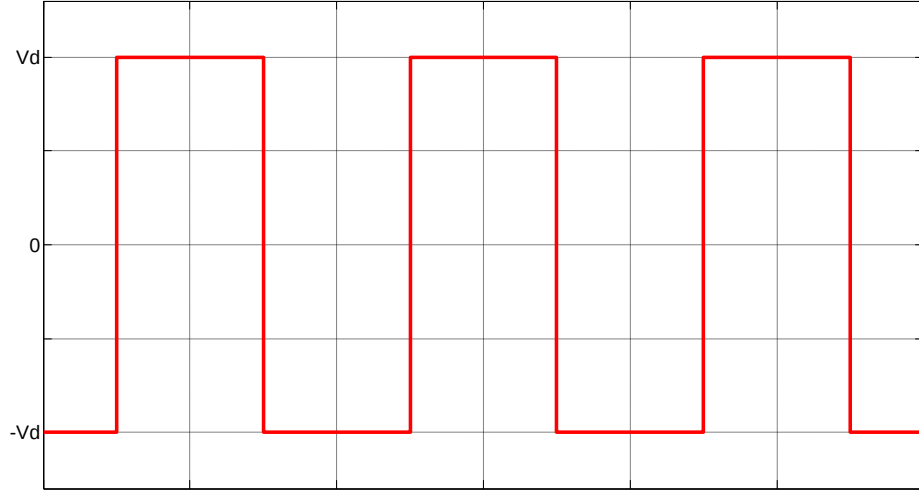
Şekil 4.21’de tek fazlı köprü inverter devresi gösterilmiştir. D_1 , D_2 , D_3 ve D_4 diyotları serbest geçiş diyotlarıdır. Yük, herhangi bir lineer ya da nonlineer yük olabilir. V_d , invertere uygulanan doğru gerilimdir.

Şekil 4.21’de görülen tek fazlı köprü inverter devresinde, S_1 ve S_4 elemanları ile S_2 ve S_3 elemanları eşlenik çalışmaktadır. S_1 ve S_4 anahtarları birlikte ilettime sokulursa, yükün uçlarında $+V_d$ giriş gerilimi oluşur. Diğer yarım periyotta bu kez S_2 ve S_3 birlikte ilettime geçirilirse, yük gerilimi yön değiştirerek $-V_d$ değerine eşit olur. Şekil 4.22’de görüldüğü üzere kare dalga şeklinde değişen bir yük gerilimi elde edilir (Elmas, 2006).



Şekil 4.21. Tek Fazlı Köprü Bağlantı

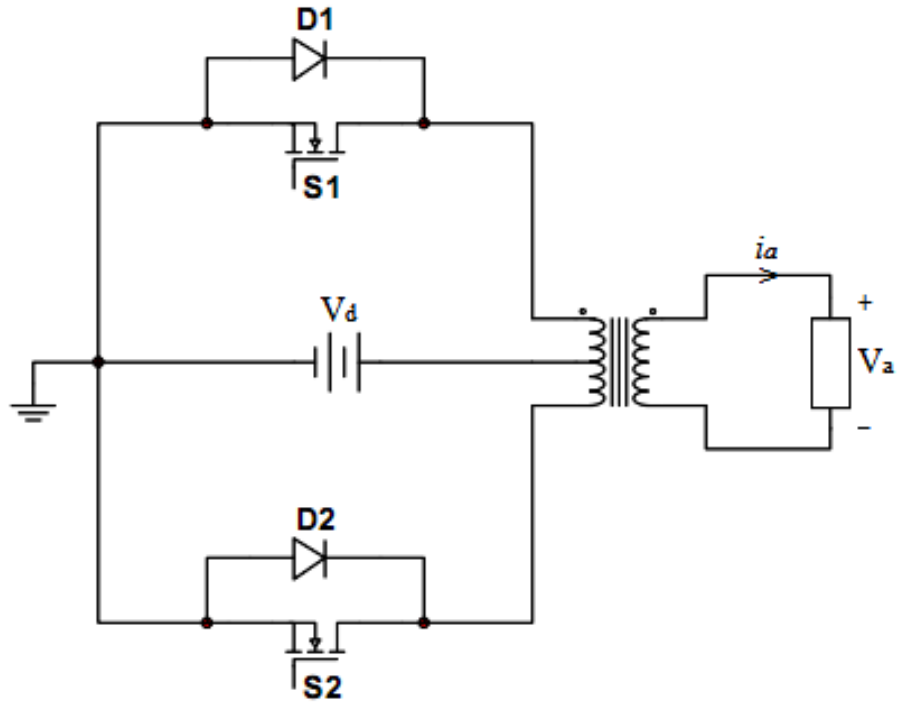
S_1 ve S_2 ile S_3 ve S_4 anahtarlama elemanlarının hiçbir zaman aynı anda ilettime sokulmaması gerekir. Devre yapısından görüldüğü üzere, bu anahtar çiftleri aynı anda ilettime sokulduğunda kısa devre oluşur ve elemanlar yanar. Tasarıma göre anahtarlama elemanları uygun şekilde kontrol edilerek inverter çıkışında farklı gerilim dalga şekilleri oluşturulabilir.



Şekil 4.22. Yük üzerindeki gerilim değişimi

4.4.3. Push Pull İnverter

Bir push-pull inverter devresi Şekil 4.23’de en basit şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Push-Pull İnverter

Primer tarafta orta ucu bulunan bir transformatöre ihtiyaç vardır. i_a çıkış akımının sürekli olduğu kabul edilir. i_a ’nın yönü ne olursa olsun $V_a = V_d/n$ değerine

eşittir. Burada “n” olarak gösterilen terim transformatörün primeri ile sekonder sarım sayısının oranıdır. Benzer olarak S_2 anahtarı açık, S_1 anahtarı kapalı olduğunda $V_a = -V_d/n$ değerine eşit olur.

4.4.4. Darbe Genişlik Modülasyonlu (PWM) İnverter

İnverterlerde istenilen en önemli şey, çıkış işaretinin genliğini ve frekansını ayarlayabilmektir. Ayrıca çıkışın harmoniksiz olması yani sinüzoidal olması istenir. Ancak inverter çıkışında ana harmoniğe çok yakın ve genlikleri büyük harmonikler oluşmaktadır. Bu harmonikler yükü çok etkilemektedir. İnverterlerde çıkış harmonik bileşenlerinin büyüklüğünü azaltmak ve çıkış genliğini ayarlamak amacı ile PWM kullanılır.

PWM, temel elektronik devre elemanlarıyla gerçekleştirildiği gibi özel PWM entegre devreleri ve mikroişlemciler yardımıyla da gerçekleştirilmektedir.

Genel olarak PWM sinyalleri yüksek frekanslı bir üçgen taşıyıcı dalga ile istenen çıkış frekansındaki bir referans sinüs dalganın karşılaştırılmasından elde edilir. Referans dalganın tepe değerinin (V_R) üçgen taşıyıcı dalganın tepe değerine (V_C) oranına Modülasyon İndeksi denir ve M_a ile gösterilir.

$$M_a = \frac{V_R}{V_{C_R}} \quad (4.23)$$

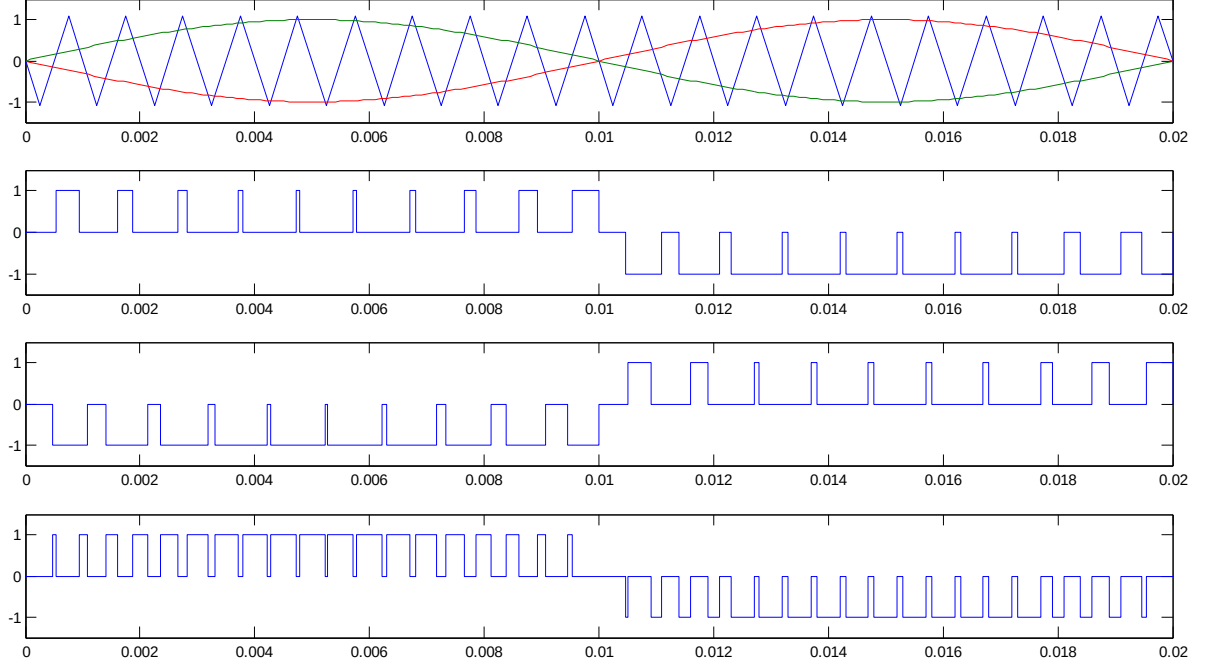
Modülasyon indeksinin değiştirilmesi çıkış gerilimi ana harmonik genliğini ayarlar.

$$m_f = \frac{f_s}{f_{m_s}} \quad (4.24)$$

Üçgen taşıyıcı dalga frekansının (f_s) referans dalga frekansına (f_m) oranı frekans modülasyon oranıdır ve m_f ile gösterilir. m_f 'nin en az 9 olması istenir. m_f ne kadar büyük olursa harmonik bileşenler ana harmonikten o derece uzaklaşır.

Şekil 4.24'de PWM dalga şekillerinin elde edilmesi için referans dalga olarak sinüs ve taşıyıcı dalga olarak üçgen dalgalar kullanılmıştır. Burada sinüsün genliğini

değiştirerek darbe sayısını değiştirmek mümkündür. Üçgen dalganın frekansı PWM anahtarlama frekansını belirlerken sinüsoidal referans dalganın frekansı çıkış frekansını belirler.



Şekil 4.24. Sinüs PWM

PWM için değiştirilebilen üç kontrol girişi vardır. Bunlar; modülasyon indeksi M_a , frekans modülasyon oranı m_f ve sinüs referans dalgasının frekansı f_m 'dir. PWM de kullanılan dalgaların özelliklerini ve bu dalgaların frekans ve genliklerinde yapılacak değişikliklerin inverterin çıkışına etkileri aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Referans sinüs dalga:

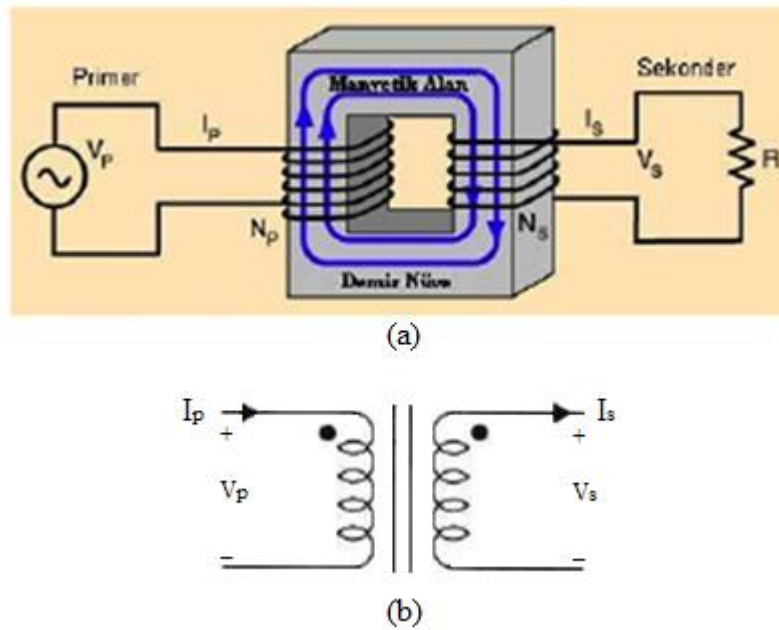
- Referans işareti olarak kullanılan sinüs dalgası, kontrol işareti olarak ta adlandırılır. Genliği V_R ve frekansı f_m 'dir. Bu f_m frekansına modülasyon frekansı da denir.
- Sinüs işaretinin frekansı f_m , inverterin çıkış frekansıdır. Dolayısı ile inverterin çıkış frekansını sinüs işaretinin frekansını değiştirerek ayarlayabiliriz.
- İnverterin çıkış gerilimindeki ana harmoniğin genliğini azaltmak ya da arttırmak için üçgen dalganın genliği V_C sabit tutularak sinüs dalgasının genliği yani modülasyon indeksi M_a azaltılır veya artırılır.

Taşıyıcı üçgen dalga:

- Taşıyıcı olarak kullanılan üçgen dalganın genliği V_C ve frekansı f_s dir. Bu f_s frekansına inverterin anahtarlama frekansı da denir.
- Taşıyıcı dalganın frekansı referans işaretin frekansına göre çok büyüktür ve inverterin anahtarlama frekansını belirler.
- Üçgen dalganın genliği ve frekansı genellikle sabit tutulur.

4.5. Transformatör

Transformatörler, elektriksel olarak izole edilmiş fakat manyetik olarak birleştirilmiş bobinlerden oluşur. İki veya daha fazla sargı, ortak bir manyetik akıyı tamamen veya kısmen paylaşırlar. Ortak akı, yalnız bir sargı veya birkaç sargı tarafından üretilebilir. Şekil 4.25’de iki sargıdan oluşan bir transformatör ve sembolü görülmektedir (Megep).



Şekil 4.25. (a) İki sargılı bir transformatör ve (b) sembolü

Burada ortak akı, iki sargı tarafından paylaşılmaktadır. Şekil 4.25.b’de sağ ve sol taraflardaki iki sargı arasında bulunan iki çizgi, manyetik nüveyi ifade eder. Sol taraftaki sargı genellikle amper sarımının kaynağı olarak çizilir ve primer sargısı olarak adlandırılır. Diğer sargı da sekonder sargısı olarak adlandırılır. Noktalar ile işaretlenmiş sargı uçları, gerilimlerin polaritelerini belirler.

Kayıpların ihmal edildiği ideal bir transformatörde primer ve sekonder akım ve gerilimleri arasında sarım sayıları ile orantılı olarak Faraday kanununa göre aşağıdaki gibi bir bağıntı vardır;

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (4.25)$$

$$P_p = V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s = P_s \quad (4.26)$$

Transformatörler, yukarıda belirtilen özellikleri ile birçok uygulamada belirli bir güçte, gerilim yükseltici veya gerilim düşürücü olarak ve ayrıca bazı uygulamalarda da izolasyon amacı ile kullanılmaktadır. Şebeke gerilimlerini, daha düşük olan cihazların çalışma gerilimine eşit değere düşürürler veya daha düşük kaynak gerilimlerini cihazların daha yüksek olan çalışma gerilimine yükseltirler.

Transformatörlerde sekonder sargıda gerilim indüklenmesi, primer sargıdan geçen akımın manyetik nüve üzerinde oluşturduğu manyetik akıya bağlıdır. Manyetik akı;

$$\phi = B.S \quad (4.27)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Burada B manyetik akı yoğunluğu, S ise nüvenin kesit alanıdır. Manyetik akı yoğunluğu;

$$B = \mu.H \quad (\mu = \mu_0 \cdot \mu_r) \quad (4.28)$$

şeklinde ifade edilir. Burada μ ; manyetik geçirgenliği, μ_0 ; boşluğun manyetik geçirgenliğini, μ_r ; kullanılan nüve malzemesinin manyetik geçirgenliğini, H ise manyetik alan şiddetini ifade etmektedir. Manyetik alan şiddeti;

$$H = \frac{N_1 \cdot I_1}{l} \quad (4.29)$$

denklemleri ile hesaplanır. Burada N_1 primer sarım sayısı, I_1 primer sargılarından geçen akım ve l ise nüvenin manyetik yolunun ortalama uzunluğudur. Yukarıdaki ifadeler birleştirilirse manyetik akı, aşağıdaki denklemle ifade edilir;

$$\phi = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N_1 \cdot I_1}{l} \cdot S \quad (4.30)$$

Son ifadeden de görüldüğü gibi elde edilen manyetik akı, nüve olarak kullanılan malzemenin manyetik geçirgenliği ile doğru orantılıdır. Buna göre, nüve olarak manyetik geçirgenliği yüksek olan malzemeler tercih edildiğinde, manyetik geçirgenliği düşük malzemelere göre azalan kesit alanı ihtiyacından dolayı nüve ebatları küçülmektedir. Bir başka ifade ile aynı manyetik akıyı sağlamak için düşük manyetik geçirgenliğe sahip malzeme seçilecek olursa, yüksek manyetik geçirgenliğe sahip malzemeye göre daha ağır ve daha büyük bir nüve kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden son yıllarda silisyumlu çelik nüveler yerine manyetik geçirgenliği oldukça büyük olan ferit nüveler tercih edilmektedir.

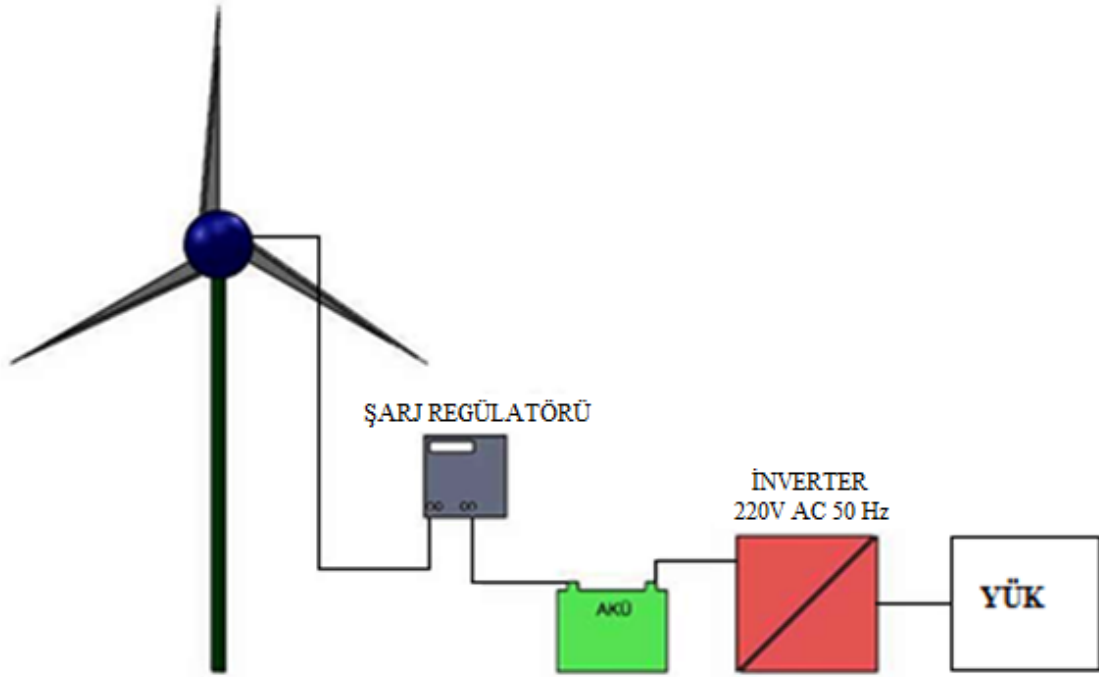
Ferit nüvelerin bir başka tercih nedeni ise Eddy Akımı kayıplarının az olmasıdır. Bu kayıplar aşağıdaki şekilde gösterilir;

$$W_e = \frac{k_e \cdot f^2 \cdot t^2 \cdot B_{eff}^2}{\rho} \quad (4.31)$$

Burada; k_e ; sabit bir katsayı, f ; çalışma frekansı, t ; nüve kalınlığı, B_{eff} ; uygulanan gerilimin efektif değerine karşılık gelen akı yoğunluğu, ρ ise nüve malzemesinin özgül direncidir. Ferit malzemelerin özgül dirençlerinin yüksek olduğu dolayısıyla iletkenliklerinin düşük olduğu göz önüne alındığında özellikle yüksek frekanslarda silisyumlu çelik malzemelere göre oldukça düşük eddy akımı kayıplarına sahip olduğu açıktır. Kayıplar nüvenin ısınması olarak kendini göstermektedir. Dolayısıyla ferit nüvelerde ısınma problemi minimuma indirilmiştir.

5. GERÇEKLEŞTİRİLEN RÜZGAR ENERJİ SİSTEMİ

Bu tez çalışmasında, blok diyagramı Şekil 5.1’de verilen rüzgar enerji sistemi için PWM tekniği ile kontrol edilen bir inverter tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.



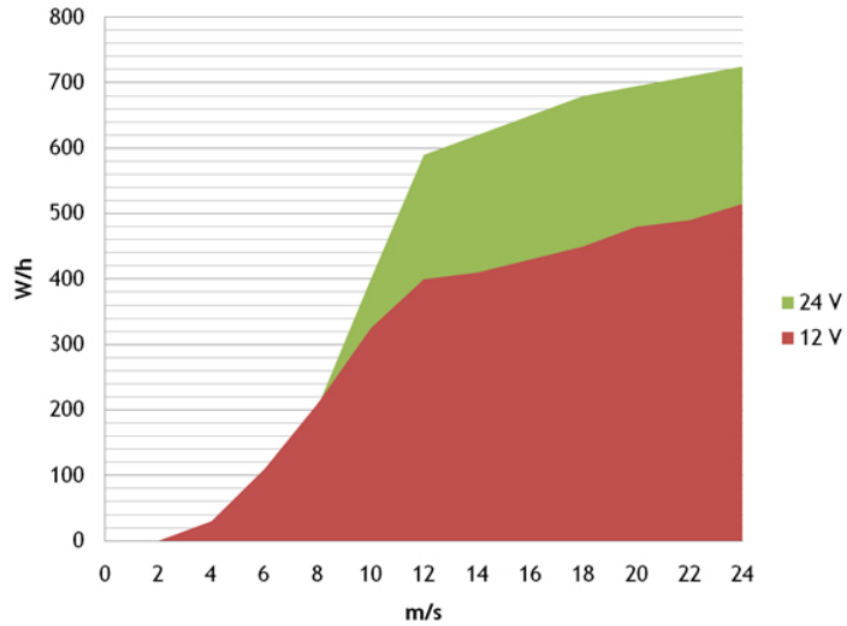
Şekil 5.1. Tasarlanan ve Gerçekleştirilen Sistem

5.1. Rüzgar Türbini

Bu çalışmada “Tornado 600S” marka rüzgar türbini kullanılmıştır. Tornado 600S 12V/24V çalışan entegre şarj kartlı yeni nesil rüzgar türbini olup 12 V DC nominal 400 W ve 24 V DC nominal 600 W güce sahiptir. Ayrıca tek anahtar sayesinde 12/24 V sisteme göre ayarlanabilir. Rüzgar türbininde 3 fazlı sürekli mıknatıslı senkron generatör bulunmaktadır.

119 cm rotor çapı ve yeni nesil karbon-fiberoptik yapı kanatları sayesinde 2,5 m/sn rüzgar hızında start ve 3 m/sn rüzgar hızında aküleri şarj etmeye başlar. Şekil 5.2’de rüzgar hızına bağlı olarak 12 V ve 24 V’luk çıkış için üretilen gücün değişimi görülmektedir. Akülerin full şarj olmasıyla generatör otomatik frenlenir ve yıpranması

önlenir, böylece generatörün uzun ömürlü olması sağlanır. Tablo 5.1’de kullanılan rüzgar türbinin özellikleri verilmiştir.



Şekil 5.2. Rüzgar hızına bağlı olarak 12 V ve 24 V’luk çıkış için üretilen gücün değişimi

Tablo 5.1. Tornado 600S Rüzgar Türbininin Özellikleri

Kanat Sayısı	3
Rotor Çapı	119 cm
Net Ağırlık	6,3 kg
Hız Kontrolü	Akü şarj hız kontrolü
Sistem Gerilimi	DC 12V / DC 24V
Nominal Güç	400W (12V)
Maksimum Güç	550W (12V) / 750W (24V)
Start Rüzgar Hızı	2,5 m/sn
Şarj Rüzgar Hızı	3,0 m/sn
Nominal Rüzgar Hızı	12,5 m/sn
Devre Dışı Geçiş	25 m/sn
Rüzgara Dayanma Hızı	60 m/sn

Şekil 5.3’de görüldüğü gibi rüzgar türbini Bozkır Meslek Yüksekokul’u sınırları içerisindeki, küçük bir tepe üzerinde bulunan 5 m yüksekliğindeki kullanılmayan su deposu üzerine monte edilen 4,5 m yüksekliğindeki bir kule üzerine kurulmuştur. Rüzgar türbini çalışırken oluşan titreşimleri azaltmak için türbin kulesi üç adet çelik halatla depo üzerine sabitlenmiştir. Türbin üzerindeki şarj biriminden aküler kontrollü olarak şarj edilmektedir.



Şekil 5.3. Şarj Regülatörü ve Akü Birimini de İçeren Rüzgar Türbininin Montajı Yapılmış Hali

5.2. Şarj Regülatörü

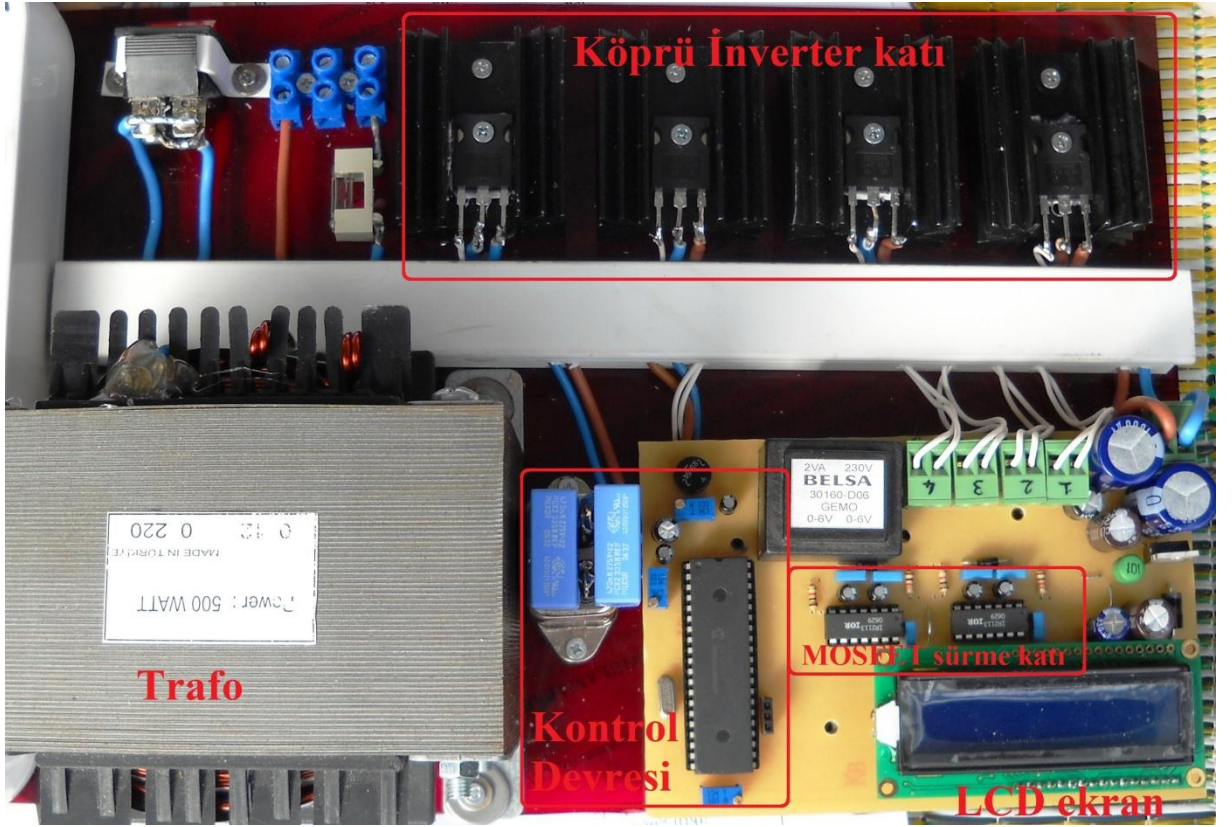
Dahili elektronik sistemi bataryaları Tornado 600S'den gelecek yüksek gerilimden korur, türbin pervane hızını kontrol eder ve esnek bir batarya şarj regülatörü gibi davranır. Dahili regülatör bataryanın gerilimini algılar ve şarj edip etmemeye karar verir. Batarya gerilimi ayar noktasıyla eşleştiğinde regülatör, türbinin aküyü şarj etmesini durdurur.

5.3. Akü

Rüzgar yokken yükü kesintisiz olarak belirli bir süre besleyebilmek için kullanılmaktadır. Seçilecek akünün, yükü istenen süre kadar besleyebilecek kapasitede olması gerekmektedir. Bu süre, yüke ve kullanım alanına göre birkaç dakikadan birkaç saate kadar değişmektedir. Gerçekleştirilen sistemde bir adet 12 Volt 200 Amper/saat'lik bir jel akü kullanılmıştır.

5.4. Tek Fazlı İnverter Tasarımı

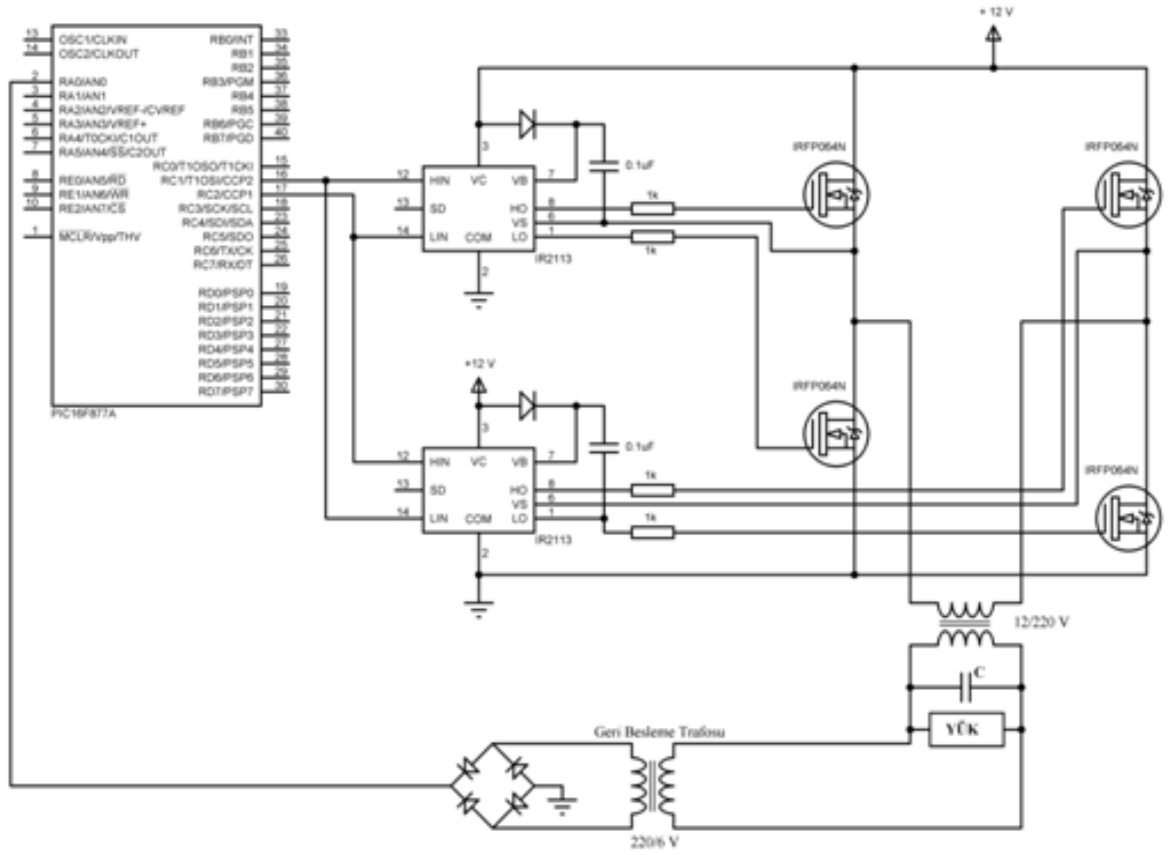
Bu çalışmada, tek fazlı köprü inverter tasarlanmıştır. İnverter çalışma frekansı 1 kHz'dir. Anahtarlama yöntemi olarak PWM yöntemi kullanılmıştır. İnverter devresinin üstten görüntüsü Şekil 5.4'de ve devre şeması da Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.4. Gerçekleştirilen İnverter Devresinin Üstten Görünüşü

Tasarlanan bir fazlı inverter Şekil 5.4'de görüldüğü gibi üç kısımdan oluşmaktadır:

1. Kontrol devresi
2. MOSFET sürme katı
3. Köprü inverter katı

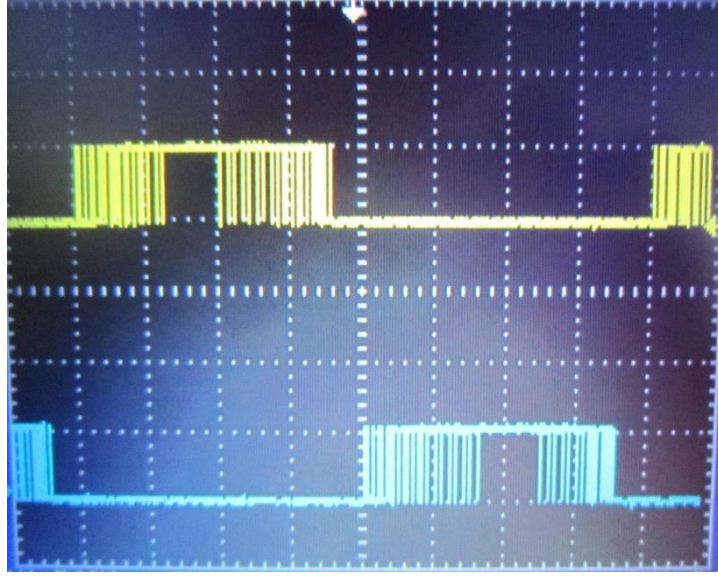


Şekil 5.5. İnverter Devre Şeması

5.4.1. Kontrol Devresi

Kontrol işlemi, bu devrede bulunan PIC16F877 mikrodnetleyicisi ile yapılmaktadır. Bu kısım köprü inverter devresindeki MOSFET'lerin uygun şekilde anahtarlanmasını kontrol eder.

PIC mikrodnetleyici ile inverter çıkış gerilimi ve frekansı, 220 V 50 Hz olacak şekilde PWM sinyalleri üretilmiştir. Çalışma frekansları ve ilgili anahtarlama zamanları, MOSFET kontrol devresindeki mikrodnetleyiciye kaydedilerek bir çevrim tablosu oluşturulmuştur. Mikrodnetleyici, çevrim tablosundan ilgili frekans değeri için anahtarlama sürelerini alır ve MOSFET sürme devresine uygun anahtarlama sinyallerini çıkışa gönderir. Şekil 5.6'da PIC mikrodnetleyici çıkışlarında üretilen sinüsoidal PWM anahtarlama sinyalleri görülmektedir.

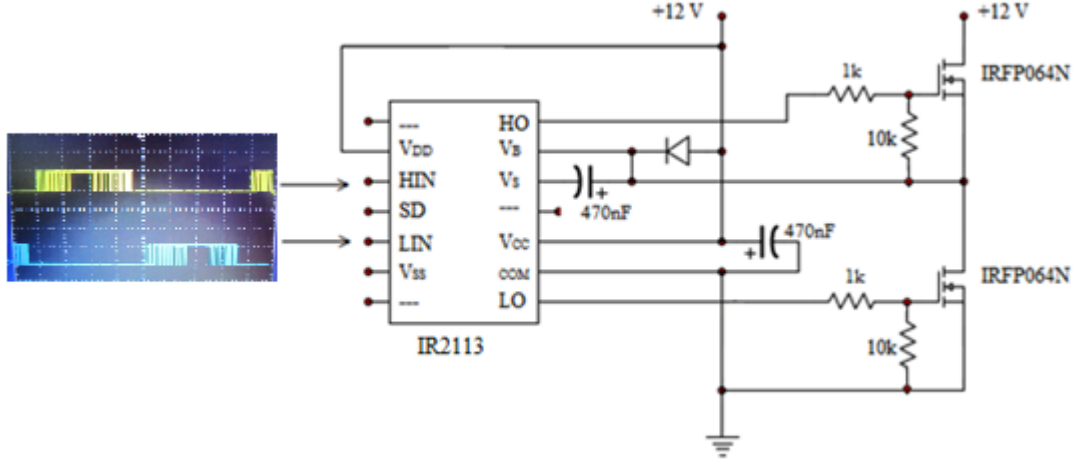


Şekil 5.6. PIC mikrodnetleyici tarafından üretilen PWM anahtarlama sinyalleri (5V/div).

Çıkışta elde edilen gerilimden gerilim düşürücü bir trafo ile alınan geri besleme sinyali PIC mikrodnetleyicinin iki numaralı girişine bağlanarak değişik yük durumları için çıkış gerilimi 220 V 50 Hz’de sabit tutulması sağlanmıştır.

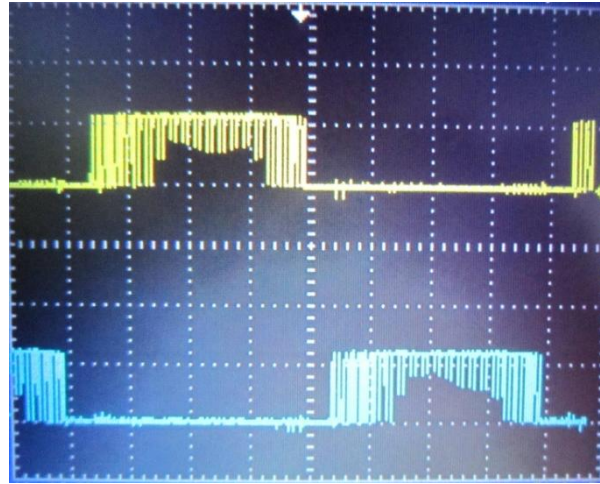
5.4.2. MOSFET Sürme Katı

Tasarımda, güç elektroniği yarı iletken anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılmıştır. Güç elektroniği dönüştürücülerinde kullanılan yarı iletken elemanlar anahtarlama elemanı olarak kullanıldığından lineer bölgede değil doyum bölgesinde çalıştırılırlar. Bu sebeple, MOSFET’in kapı-emiter arasına, üretici firma tarafından belirlenen iletme ve kesime sokulmasını sağlayan gerilim uygulanır. n-kanal bir MOSFET, kapı-emiter arasına pozitif gerilim uygulandığında iletme geçerek kollektör-emiter arasında akım akmasına izin verir. Kapı-emiter arasına negatif gerilim uygulandığında ise kesime gider ve kollektör-emiter arasındaki akım akışını durdurur. Genel olarak MOSFET’ler -20 V ile +20 V kapı gerilimi aralığında çalışırlar. Tasarımda kullanılan IRFP064N serisi MOSFET’ler için üretici firma tarafından kapı gerilimi çalışma aralığı -12 V +12 V olarak belirlenmiştir. Bu MOSFET’leri iletme sokmak için kapı-emiter arasına +12 V ve kesime sokmak için 0 V uygulanmıştır. Tasarımda kullanılan MOSFET sürme devresi Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Tasarımda Kullanılan MOSFET Sürme Devresi

MOSFET sürme devresi, MOSFET kontrol devresinden gelen anahtarlama sinyallerine göre köprü inverter katında bulunan MOSFET’lerin iletim ya da kesime sokulma işlemini yapar. MOSFET sürme devresinin çalışması Şekil 5.7’de gösterilen sürme devresi üzerinden açıklanabilir. Kontrol devresinde üretilen PWM sinyalleri Şekil’de görüldüğü gibi IR2113’e uygulanır. IR2113, kontrol sinyalini MOSFET’i sürecektir, aynı zamanda MOSFET kontrol devresini yüksek gerilim seviyesinde bulunan köprü inverter katından elektriksel olarak yalıtır. IR2113 girişine lojik 1 uygulandığında, MOSFET kapı-emiter girişine +12 V gerilim uygulanır, böylece MOSFET iletime sokulur. IR2113’ün girişine lojik 0 uygulandığında, kapı-emiter girişine 0 V uygulanarak MOSFET kesime sokulur. Şekil 5.8’de S1 ve S2 MOSFET’lerin kapı sürme sinyalleri görülmektedir.



Şekil 5.8. S1 ve S2 MOSFET’lerin Kapı Sürme Sinyallerinin Değişimi (10 V/div).

Kolektör-emiter arası gerilim altında olan MOSFET'in kapı devresinin boşta kalması MOSFET'e zarar verir. Her ne kadar tasarımda kapı devresi boşta değilse de, herhangi bir problemten dolayı kapı devresinin boşta kalma ihtimalini engellemek için, kapı-emiter arasına paralel 10k'lık bir direnç bağlanmıştır (IR2113 Datasheet).

5.4.3. Köprü İnverter Katı

Köprü inverter katı, Şekil 5.5'de gösterilen devrede IRFP064N serisi MOSFET'lerin birbirine bağlanarak ve bu bağlantının uygun noktalarından yüke çıkarılan uçlarından oluşmaktadır. Laboratuvar ortamında oluşturulan deney düzeneğinde köprü inverter katı Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

Köprü inverter katı, tasarımın amacının olduğu asıl kısımdır. Amaçlanan çıkış gerilim dalga şekli bu blokta oluşturulur ve yüke uygulanır.

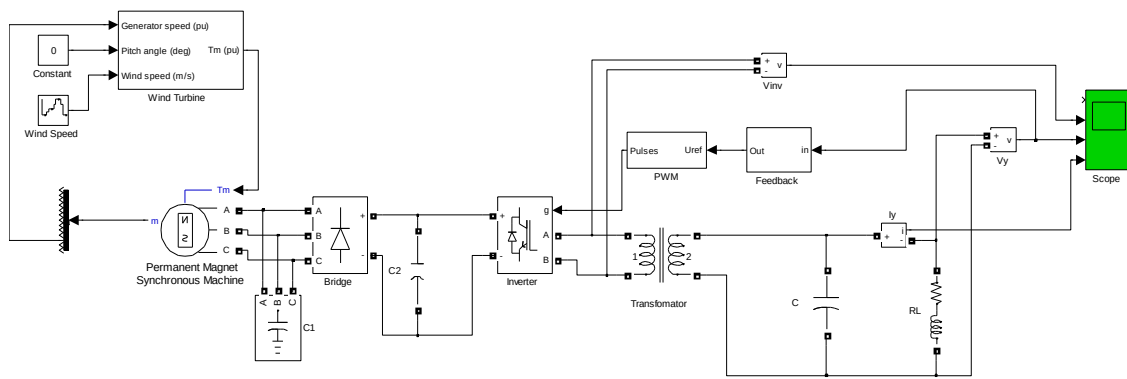
5.5. Transformatör

Bu çalışmada transformatör, inverter ile alternatif gerilime dönüştürülen akü gerilimini yükün ihtiyaç duyduğu seviyeye yükseltmek için kullanılmıştır. Gerçekleştirilen sistemde dönüştürme oranı 12/220 olan 500 W'lık bir trafo kullanılmıştır.

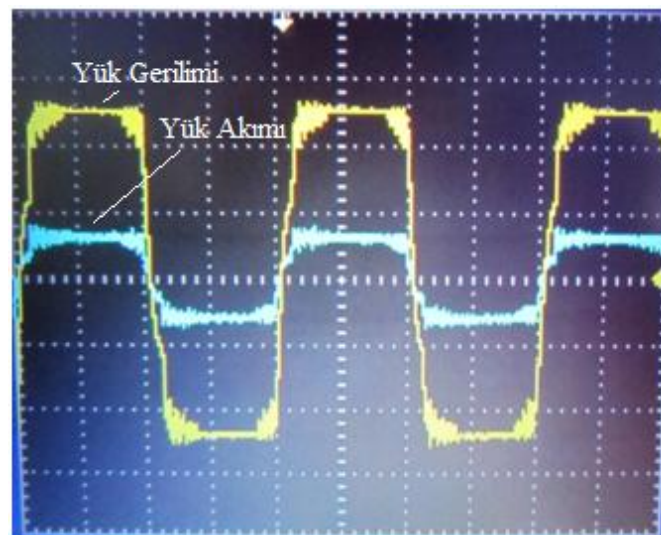
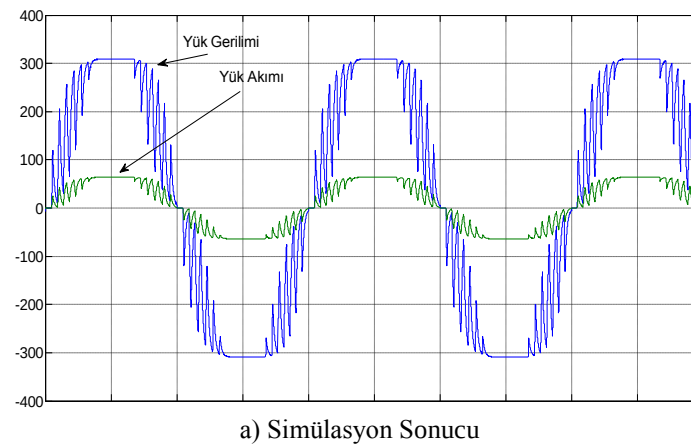
5.6. Simülasyon ve Deneysel Sonuçlar

Gerçekleştirilen sistemin çıkışında yük uçlarındaki gerilimler ve içinden geçen akımların değişimleri MATLAB ortamında simülasyonu ve deneysel sistem üzerinden osilaskop görüntüsü olarak elde edilmiştir. Rüzgar enerji sisteminin MATLAB ortamında oluşturulan simulink modeli Şekil 5.9'da görülmektedir.

Şekildeki simulink modelinden ve deneysel sistem üzerinden 100 W'lık akkor flamanlı lambadan oluşan omik yük, 100 W'lık omik yüke 10 mH'lık endüktans eklenerek elde edilen omik-endüktif yük ve 60 W'lık bir fazlı AC fan motoru için elde edilen çıkış akım ve geriliminin değişimine ilişkin simülasyon ve deneysel sonuçlar filtreli ve filtresiz olarak aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



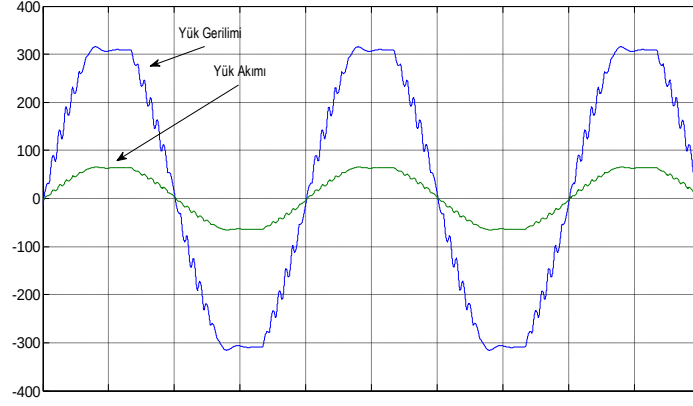
Şekil 5.10.a'da 100 W'lık omik yük için simülasyon sonuçları ve Şekil 5.10.b'de deneysel sonuçlar görülmektedir.



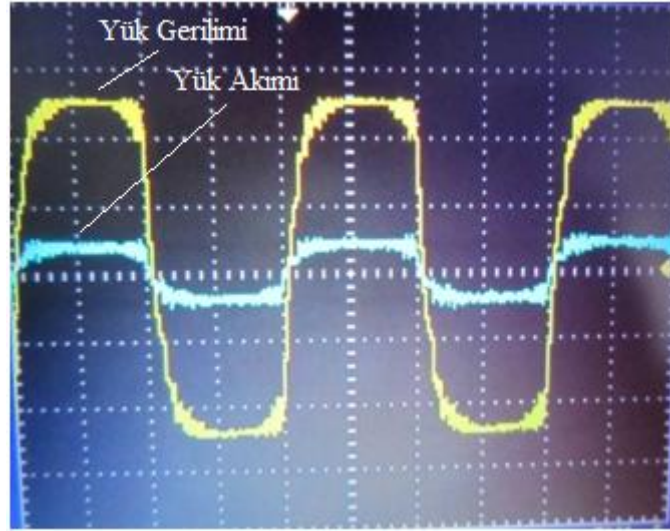
Şekil 5.10. 100 W'lık Omik Yük Üzerindeki Gerilim ve Akımın Değişimi

Şekilde görüldüğü gibi gerilim ve akım dalga şekilleri omik yük için aynı fazda olup simülasyon ve deneysel sonuçlar birbiriyle uyumludur.

Şekil 5.11.a'da omik-endüktif yük (100 W'lık lamba ve seri bağlı 10 mH'lik endüktans) için simülasyon sonuçları ve Şekil 5.11.b'de deneysel sonuçlar görülmektedir.



a) Simülasyon Sonucu

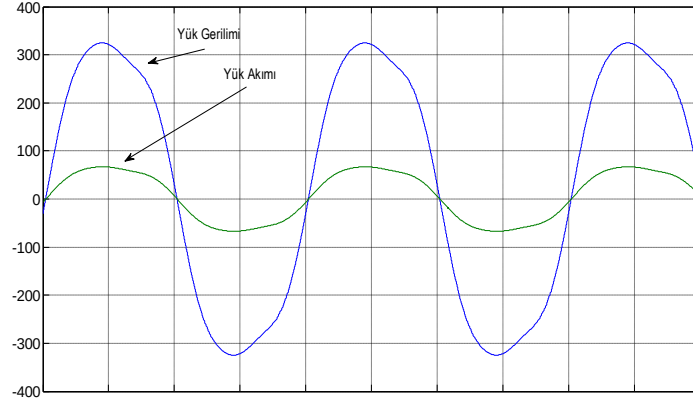


b) Deneysel Sonuç

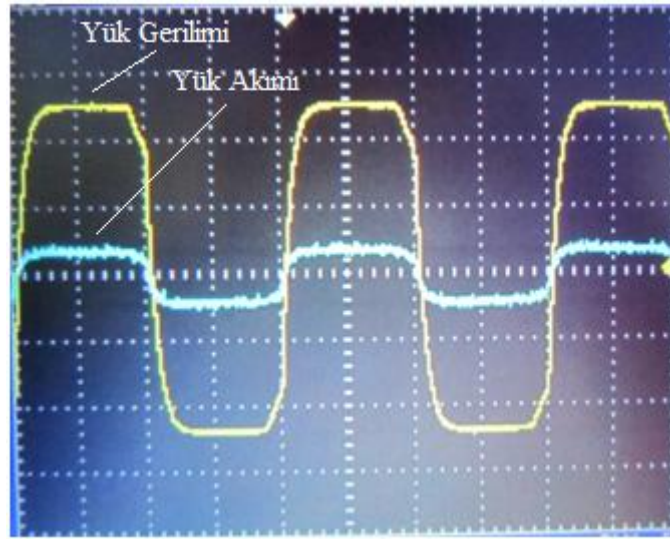
Şekil 5.11. 100 W'lık Lamba ve Seri Bağlı 10 mH'lik Endüktanstan Oluşan Omik-Endüktif Yük Üzerindeki Gerilim ve Akımın Değişimi.

100 W'lık lambaya 10 mH'lik bir endüktif yük seri olarak bağlanmıştır. Önceki duruma göre çok az bir faz kayması olmuş, akım ve gerilim dalga şekilleri hem simülasyon hem de deneysel sonuçlarda biraz daha düzelmiştir.

Şekil 5.12.a'da omik-endüktif yük (100 W'lık lamba ve seri bağlı 10 mH'lik endüktans) için simülasyon sonuçları ve Şekil 5.12.b'de deneysel sonuçlar görülmektedir. Çıkış gerilimi 10 mikrofaraatlık bir kondansatörle filtrelenmiştir.



a) Simülasyon Sonucu

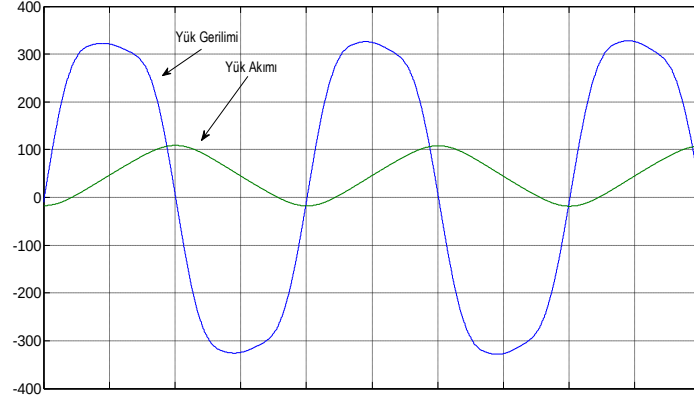


b) Deneysel Sonuç

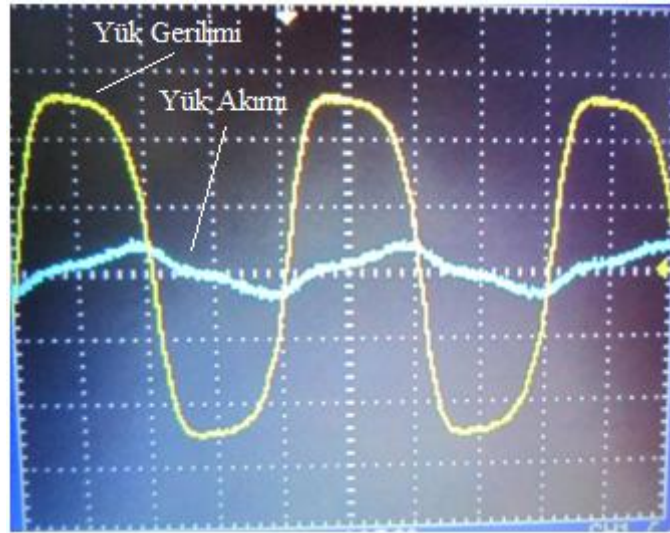
Şekil 5.12. 100 W'lık Lamba ve Seri Bağlı 10 mH'lik Endüktanstan Oluşan Omik-Endüktif Yük Üzerindeki Filtreli (C=10 mikrofaraat) Gerilim ve Akımın Değişimi.

Omik-endüktif yük uçlarına bağlanan 10 mikrofaraatlık kondansatör sebebiyle omik-endüktif yükteki küçük faz kayması kompanze edilmiş ve birim güç faktöründe akım çekilmiştir. Ayrıca dalga şekilleri üzerindeki pikler filtrelenmiştir.

Şekil 5.13.a'da 60 W'lık fan motoru için simülasyon sonuçları ve Şekil 5.13.b'de deneysel sonuçlar görülmektedir. Çıkış gerilimi 10 mikrofariatlık bir kondansatörle filtrelenmiştir.



a) Simülasyon Sonucu



b) Deneysel Sonuç

Şekil 5.13. 60 W'lık Fan Motoru Üzerindeki Filtreli (C=10 mikrofariat) Gerilim ve Akımın Değişimi.

60 W'lık fan motorunun bağlanması durumunda şekilde görüldüğü gibi filtre kondansatörü ve motorun endüktansının da etkisiyle çıkış gerilimi sinüse daha çok yaklaşmış, çıkış akımı biraz daha düzelmiş ve faz farkı artmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, elektrik enerjisi üretimi için; inverter birimi PIC 16F877 mikrodenetleyicisi tarafından üretilen PWM sinyalleri ile kontrol edilen tek fazlı düşük güçlü bir rüzgar enerji sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sistemde aküleri şarj etmek için dahili şarj birimine sahip bir rüzgar türbini kullanılmıştır. Çıkış gerilimi, sinüsoidal PWM tekniği ve geri besleme kullanılarak sabit tutulmuştur.

MATLAB/SIMULINK programı kullanılarak sistemin simülasyonu yapılmıştır. Tüm simülasyon sonuçlarının deneysel sonuçlar ile uyduğu gösterilmiştir. MATLAB/SIMULINK programında kullanılan elemanlar ideal olarak kabul edilir. Bu nedenle gerçek hayatta kullanılan devre çıkış sinyalleri ile bilgisayar ortamında elde edilen çıkış sinyalleri arasında az da olsa bazı farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Bu durum simülasyon ve deneysel sonuçlarda açıkça görülmektedir.

Deneysel sistem üzerinde çıkışa yük bağlandıkça çıkış gerilimi düşmekte bu durumda PIC mikrodenetleyici geri beslemeye bağlı olarak çıkış gerilimini 220 V'ta sabit tutmak için PWM darbe genişliklerini değiştirmekte buda darbe sayısının azalmasına ve çıkış geriliminin kare dalgaya dönüşmesine neden olmaktadır.

Burada gerçekleştirilen rüzgar enerji sistemi düşük güçlü bir sistem olmakla birlikte daha yüksek güçlerde de gerçekleştirilebilir. Mevcut sistem bu haliyle düşük güç ihtiyacı olan uygulamalarda rahatça kullanılabilir.

6.2. Öneriler

Bundan sonra konuyla ilgili çalışma yapacak araştırmacılar, ilk olarak inverterin gücünü yükseltebilirler. Bunun için güç seviyesi daha yüksek anahtarlar kullanılmalı ya da aynı güç seviyesindeki anahtarlar paralel bağlanmalıdır. Ayrıca trafonun gücü de artırılmalıdır. Yalnız bu durumda maliyetin ve inverterin boyutlarının artacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

İkinci olarak Mevcut durumda çıkış geriliminin seviyesinin korunması için PWM darbe sayıları azalmakta ve çıkış gerilimi kare dalgaya dönüşmektedir. Bu da çıkış geriliminin dalga şeklini sinüsten uzaklaştırmaktadır. Çıkışta sinüse yakın dalga şekilleri elde etmek için dönüştürme oranı 12/220 yerine 12/240 gibi bir oranda olmalıdır. Böylece yüke bağlı olmaksızın çıkışta 220 V 50 Hz frekanslı AC çıkış gerilimi elde edilebilir.

Üçüncü olarak, dönüştürücü güç anahtarlarına uygulanan PWM sinyallerinin frekansı artırılabilir. Böylece inverter çıkış gerilimi ve yük akımı daha düzgün hale gelebilir. Ancak bunun için klasik mikrodenetleyicilerin yerine daha yüksek frekanslarda çalışabilen DSP (Digital Signal Processor) kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akkaya, R., 2008, Yenilenebilir enerji sistemlerinde güç elektroniği uygulamaları, *Yüksek Lisans Ders Notları*
- Aphiratsakun, N., Bhaganagarapu, S.R., Techakittiroj, K., 2005, Implementation of a Single-phase unipolar inverter using DSP TMS320F241, *Assumption University, Thailand*
- Barbu, C., 2009, Wind energy systems-challenges for the future, *Symposium on Control & Modeling of Alternative Energy Systems, April 2-3.*
- Bayram, Y., 2007, PIC kontrollü kesintisiz güç kaynağı tasarımı ve gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.*
- Carrasco, J. M., Bialasiewicz, J. T., Guisado, R. C. P., Leon, J. I., 2006, Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: a survey, *Ieee Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, No. 4, August.*
- Demir, F. N., 2007, Rüzgar türbinleri, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 6-18.*
- Dursun, E., Binark, A.K, 2008, Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler, VII. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul, 667-673.*
- Druga, M., Nichita, C., Barakat, G., Ceanga, E., 2009, Stand-alone wind power system operating with a specific storage structure, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09), Valencia (Spain).*
- Doğan, H., 2006, Uzay vektör PWM kontrollü tek fazlı kesintisiz güç kaynağının tasarımı ve gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 29-44.*
- Emniyetli, G., 2007, Evsel elektrik ihtiyacının karşılanması için rüzgar türbini tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 20-30.*
- Ergür, Ö., 2006, Rüzgar Türbinleri İle enerji Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 30-31.*
- Ghita, C., Deaconu, D. I., Chirila, A. I., 2009, Lab model for a low power wind turbine system, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09), Valencia (Spain).*
- Gürdal, O., 2000, Güç Elektroniği, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

- Kassem, M., 2010, The International Conference on Renewable Energies, MD, *Engineer Fidel Ibrahim Assad academy for military engineering*, Syria.
- Kim, H.S., Lu, D., D., 2010, Wind energy conversion system from electrical perspective – a survey, *Smart Grid and Renewable Energy*, Australia, 120-122.
- Köse, F., Özgören M., 2005, Rüzgar enerjisi potansiyeli ölçümü ve rüzgar türbini seçimi, *Mühendis ve Makine*, Cilt 46 Sayı: 551.
- Ortaç, O., 2007, DA/AA Dönüştürücü, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-29.
- Özer, Z., Yılmaz, A. S., YEKSEM 2005, Rüzgar türbinlerinin kanat açılarının yapay sinir ağı tabanlı denetimi, 1-5.
- Panda, S., Mishra, A., Srinivas, B., 2009, Control of voltage source inverters using PWM/SVPWM for adjustable speed drive applications, *National Institute Of Technology Rourkela*, Rourkela,
- Sarıtaş, M., Aydemir, M.T., Dalbaz, A., 2002, 700 VA Kesintisiz güç kaynağı devresinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 17 (1), 33-42.
- Savory, E., 2009, Energy conversion, *Department of Mechanical and Material Engineering University of Western Ontario*.
- Türkmen, T. T., 2005, Lokal bir rüzgar santrali tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 4-29.
- Toprak, A., 2009, Rüzgar türbinleri ve generatörleri, Yüksek Lisans Semineri, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Yalçın, F., 2009, Bir fazlı inverter tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 6-40.
- Yılmazlar, İ., 2007, Single phase inverter desing for LCD TV, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 16-35.

EKLER

EK-1: Rüzgar Enerjisinin Tarihçesi ve Türkiye’deki Durumu

Rüzgar enerjisi günümüzden çok öncelere dayanmaktadır. Sanılanın aksine ilk defa Asya medeniyetlerinden olan Çin, Tibet, Hindistan, Afganistan ve İran’da kullanıldığı bilinmektedir. Rüzgar türbinleri kullanımına ait ilk bilgiler Büyük İskender tarafından M.Ö. 200-300 yıllarında basit yapıdaki yatay eksenli rüzgar türbinleri hakkındadır. Ayrıca M.Ö. 700 yıllarında Farslılarında düşey eksenli rüzgar türbinleri kullandığı somut kanıtlardan bilinmektedir.

Rüzgar gücü kullanımı, Asya’dan Avrupa’ya 10. yüzyıl civarında geçmiştir. Bu geçişin ilk belirtileri olarak 11. ve 12. yüzyılda rüzgar güllerinin kullanıldığı bilinmektedir. Mesela 1190’lı yıllarda Alman Haçlıları rüzgar güllerini Suriye’ye getirmiştir. Dolayısı ile ortaçağ döneminde rüzgar enerjisinin Avrupa’da kullanıldığını görmekteyiz. O dönemlerde ve hala günümüzde birçok ülkede çiftçiler tarafından kullanılan rüzgar gülleri daha çok kuyulardan su çekmek amacıyla yönelik olarak kullanılmıştır. Hollanda ve Akdeniz’deki birçok adada bunların örnekleri görülmektedir.

Endüstri devrimi ile beraber, 18. yüzyılda buhar makinelerinin ortaya çıkması sonucu dünya, enerji gücünün temini için termodinamik işlemlere dayanan makinelerden yararlanmaya başlamıştır. Özellikle kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıtların kullanımı ile beraber, bu makineler daha avantajlı duruma gelmiştir. İstenildiği zaman enerji kaynağı sağladıkları için, rüzgar enerjisinden daha popüler hale gelmiştir. Bu yüzden 19. yüzyıl ve 20. yüzyıl ortalarına kadar rüzgar enerjisinin önemi azalmıştır. Sadece Amerika, Rusya ve Avustralya gibi nüfusu dağınık olarak bulunan ülkelerde rüzgar enerjisi çiftçiler tarafından su çekmek için kullanılmıştır.

Günümüzde rüzgar enerjisine olan rağbet arttığından, potansiyel belirleme ile ilgili birçok çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar hem teorik hem pratik amaçlı olmaktadır.

Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretmeyi ilk düşünen Poul La Cour (1846-1908) Askov Danimarka'da yaşamıştır. Rüzgardan elektrik üreten ilk türbini 1891 yılında yapmıştır. La Cour Askov Folk High School'da rüzgar enerjisi ile ilgili çeşitli dersler vererek konunun önemini anlatmaya çalışmıştır. Askov Folk High School'da 1897 yılında La Cour tarafından yapılan rüzgar türbini 89 W gücünde idi. 1905 yılında La Cour Rüzgar Elektrikçileri Birliği'nin kuruculuğunu yapmış ve bunun sonucunda rüzgar kuvvetinin elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımı yaygınlaşmıştır. Diğer taraftan 1918 yılına ulaşıldığında, Danimarka'da elektrik üretim amaçlı 120 adet rüzgar türbini bulunmakta idi. Güçleri 20 ile 35 kW arası değişen bu türbinler, toplam 3 MW kurulu gücüne ulaşmıştı.

İkinci dünya savaşı yıllarında Danimarkalı bir şirket tarafından doğru akım üreten 2 ve 3 kanatlı rüzgar türbinleri inşa edilmiştir. 1951 yılından sonra doğru akım üreten generatörler, yerini yavaş yavaş alternatif akım üreten 35 kW asenkron generatörlere bırakmaya başlamışlardır. 1956-1957 yıllarında 200 kW gücünde ilk Gedser rüzgar türbini yapılmıştır. 1960'lı yıllardan sonra rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üretimi ekonomik nedenlerle azalma göstermiştir. Daha ucuz olan fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz vb.) kullanılarak yapılan termik santraller revaçta olmaya başlamıştır. Fakat 1970'li yıllarda meydana gelen petrol krizi insanoğlunu tekrar alternatif enerji kaynakları aramaya itmiştir. Rüzgar, güneş, jeotermal vb. gibi alternatif enerji kaynaklarının yenilenebilir olması, çevre kirliliğine yol açmaması, ham maddeye gereksinim duymaması gibi sebeplerden dolayı tekrar kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde rüzgar enerjisi sektörü dev bir sektör haline gelmiştir. Kullanılan mevcut rüzgar gücü, dünyadaki toplam elektrik enerjisi üretiminde %1'lik bir paya sahipken, önümüzdeki dönemde bu oranın artacağı tahmin edilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri 2020 yılında elektrik enerjisinin %5'in rüzgar gücünden temin etmeyi amaçlamaktadır.

Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli: Türkiye'de genel amaçlı rüzgar ölçümleri diğer ölçümlerle birlikte Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü tarafından uzun yıllardır yapılmaktadır.

Ülke genelinde yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı plan ve programların yapılabilmesi, bu kaynakların her birinin potansiyellerinin belirlenmesiyle mümkündür. Bu amaçla, ilk adım olarak, DMİ Genel Müdürlüğüne ait istasyonların 1970-1980 yılları arasındaki kayıtları değerlendirilerek ülke genelinde doğal rüzgar

enerji dağılımı, aylık rüzgar ölçümleri baz alınarak tespit edilmiştir. Sonuçlar “Türkiye Rüzgar Enerjisi Doğal Potansiyeli” çalışması olarak yayınlanmıştır.

Bu çalışma sonucunda;

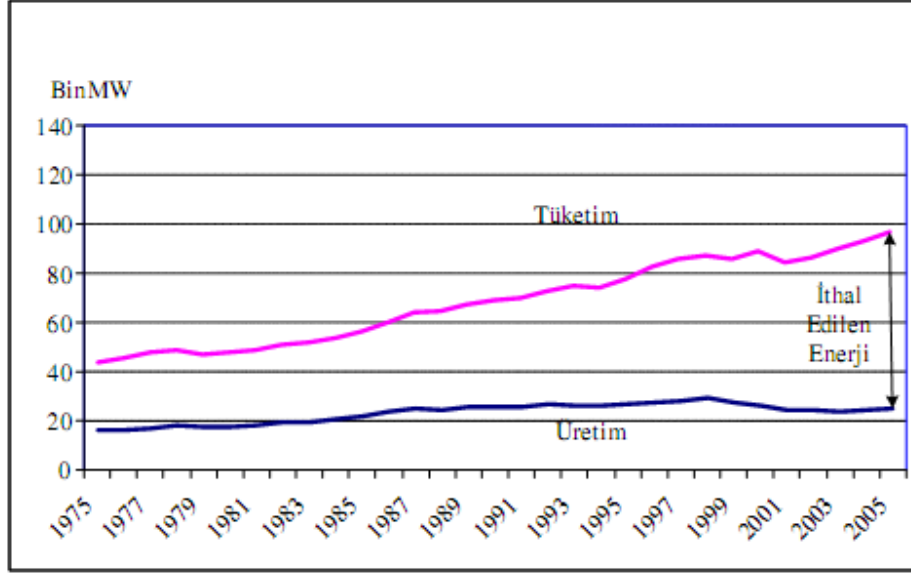
- Marmara Denizi kıyıları ve iç kısımları
- Ege denizi ve güneybatı Akdeniz kıyıları
- Doğu Akdeniz kıyıları
- Orta Anadolu’da tuz gölünün güneyi
- Güneydoğu Anadolu olmak üzere rüzgar bakımından zengin altı bölge belirlenmiştir (Türkmen 2005).

Türkiye’deki rüzgar enerjisi kaynakları teorik olarak Türkiye’nin elektrik ihtiyacının tamamını karşılayabilecek yeterliliktedir. Fakat rüzgar enerjisinin sisteme girişinin tutarlı bir biçiminde gerçekleşmesini kolaylaştırmak üzere gerekli altyapı tasarlanmalıdır.

Türkiye'nin teknik potansiyeli 83.000 MW’tır. Bu, Türkiye’nin biran önce kullanması gereken önemli bir rüzgar enerjisi potansiyeli olduğunu göstermektedir. Türkiye’nin Anadolu ve Avrupa kısımlarına dengeli bir dağılımla seçilen 20 meteorolojik istasyon çevresinde Türkiye Rüzgar Atlası çalışmaları 1989 yılında tamamlanmıştır. Bu çalışma meteoroloji istasyonlarında toplanan verilerin rüzgar enerjisinden yararlanmak amacıyla yapılacak çalışmalarda kullanılabilir düzeyde olmadığını kanıtlamıştır. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB)’nin kuruluşundan sonra yatırımcılar, akademisyenler, imalatçılar ve diğerleri Türkiye’de rüzgar enerjisi gelişimini desteklemek üzere bir araya geldiler. 1996 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)’nin Türkiye’de rüzgar enerjisi kullanımına ilişkin politikası pek iyimser değildi. Resmi açıklamalar Türkiye’de rüzgar enerjisi gelişimine çok şans tanımıyorlardı. Son üç yıldır, TÜREB’nin çabaları ve ETKB ile Elektrik İşleri Etüt İdaresinin TÜREB çalışmalarına katılımı sonrası Türkiye’deki rüzgar enerjisi potansiyeli kabul görmeye başlamıştır.

Türkiye’deki Enerji Üretim ve Tüketimi: Ülkemiz, Enerji ve Tabii Kaynaklar bakanlığı verilerine göre 2005 yılı itibarıyla birincil enerji kaynaklarından 25.185 bin ton eşdeğer petrol (BinTEP) enerji üretmiş, 91.576 BinTEP enerji tüketmiştir. Şekil 1’de görüldüğü gibi tüketilen enerji ile üretilen arasındaki fark ithal edilen enerjiyi

göstermektedir. Bu değer ise 66.391 BinTEP'dir. Türkiye tükettiği genel enerjinin %70'ini dış kaynaklardan sağlayan bir ülkedir. Yani ihtiyacı olan enerjinin yarıdan fazlasını ithal etmektedir. Bu da enerji konusunda ülkemizin dışa bağımlı olduğunun çok açık bir göstergesidir. Ülkemizdeki hızlı sanayileşme nedeni ile yıllık enerji ihtiyacımız 60 GW civarındadır.

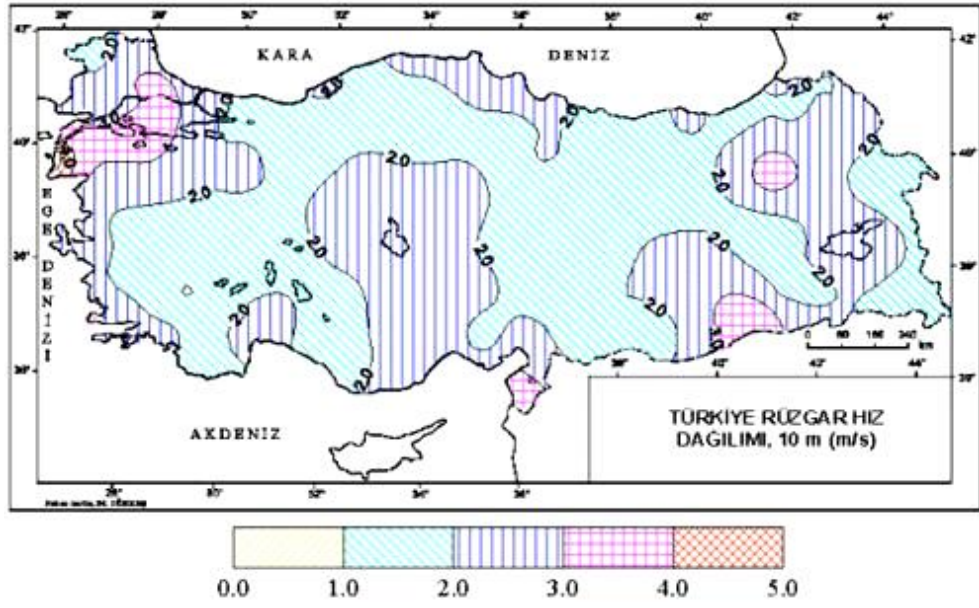


Şekil 1. Türkiye'nin Yıllara Göre Enerji Üretim ve Tüketimi

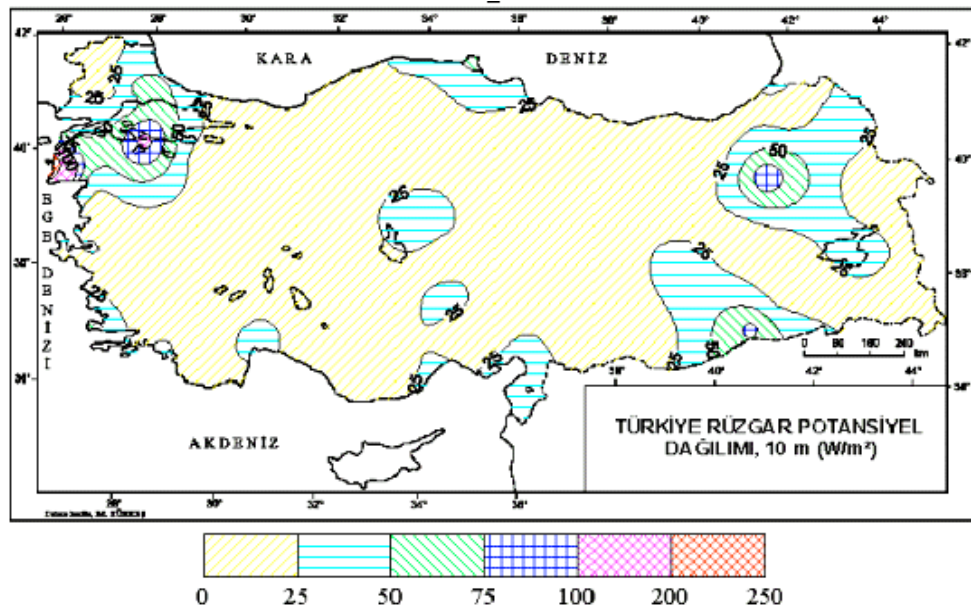
Bu rakamlar bile ülkemizde enerji kapasitesinin alternatifli olarak geliştirilmesini ve enerjinin tasarruflu kullanılmasının önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bununla birlikte enerji taleplerinin karşılanmasında, yerli/ithal kaynak oranı, enerji güvenliği, dünya enerji piyasalarındaki arz gelişmeleri ve ekonomikliği göz önüne alınarak optimize edilmelidir. Türkiye'nin sahip olduğu birincil enerji kaynaklarının %50'sini çok düşük ısı değerli ve yüksek küllü linyitler oluşturmaktadır.

Hızlı bir sanayileşme süreci içinde olan ülkemizde zorunlu olarak elektrik talebi artmaktadır. Rüzgar enerjisi, daha düşük kurulum maliyeti ve yap-işlet-devret mantığı ile kurulacak olan tesislerde ülkemiz için artan enerji talebini bir miktarda olsa karşılayacak düzeye gelmektedir. Türkiye de rüzgar enerjisi kullanımının artırılmasına yönelik olarak, Türkiye rüzgar haritası çıkarılmış ve bölgelere göre kurulabilecek tesislerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Türkiye'de rüzgar hızı ve potansiyeli dağılım haritaları şekil 2 ve şekil 3'de verilmiştir.

Kurulu rüzgar gücünün artırılması için gerekli lisans ve üretim çalışmaları son birkaç yılda hızlanmıştır.

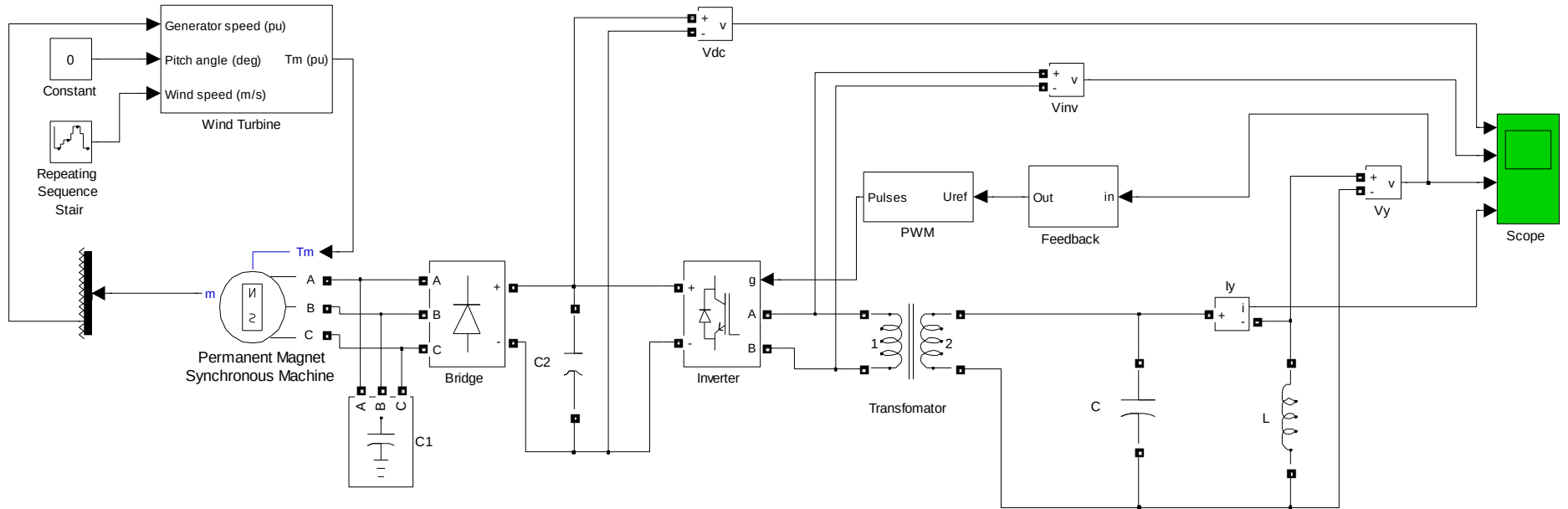


Şekil 2. Rüzgar Hızı Dağılım Haritası



Şekil 3. Rüzgar Hızı Potansiyel Dağılımı

EK-2: Gerçekleştirilen Sistemin MATLAB Simulink Modeli



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : AHMET TOPRAK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : BOZKIR 07.07.1979
Telefon : 0532 3536004
Faks : 0332 4261444
e-mail : ahmettoprak42@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Z.K. Anadolu Denizcilik Meslek Lisesi, İstanbul	1997
Üniversite	: S.Ü. Endüstriyel Elektronik, Konya	2003
	: F.Ü. Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elazığ	2007
Yüksek Lisans	: S.Ü. FBE Elektrik-Elektronik Müh. A.B.D., Konya	2011
Doktora	: ---	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2007-Devam	S.Ü. Bozkır MYO	Öğretim Görevlisi

UZMANLIK ALANI

Yenilenebilir Enerji, Rüzgar Enerjisi, Elektrik Makineleri.

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR