

RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN GENERATÖRLER

Erkan DURSUN¹, Ahmet Korhan BİNARK²

¹Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü, İSTANBUL

²Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, İSTANBUL

erkandursun@marmara.edu.tr; akorhan@marmara.edu.tr

Özet

Her enerji krizinden sonra 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. Rüzgar türbinleri rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Rüzgar türbini teknolojisi aerodinamik, mekanik, meteoroloji, elektrik gibi bir çok disiplini içinde barındıran bir konudur. İlk kez 1891' de Danimarka'lı mühendis Paul LaCour'un rüzgar türbininden elektrik enerjisi elde etmesinden bu yana geçen süre içerisinde rüzgar türbinlerinde farklı generatör tipleri kullanılmıştır. Bu çalışmada rüzgar türbinlerinde kullanılan generatör tipleri incelenmiş; avantajları ve dezavantajları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : *Rüzgar Türbinleri, Generatör Tipleri*

Abstract

Wind Turbines which are taken their energy from everlasting winds, are clean, low cost and reducing dependency on foreign countries that remembered after every energy crisis. Because of these characteristics, interests on wind turbines are increasing nowadays. Wind turbine is a system that converts kinetic energy to mechanical energy, later mechanical energy to electrical energy. Wind turbine technology includes aerodynamic, mechanic, meteorology and electrical subjects. Several kind of generators have been used in turbines since 1891 that Paul LaCours wind turbine. In this study, generator types are examined which used in wind turbines and advantages and disadvantages are explained

Keywords: *Wind Turbines, Types of Generators*

1. GİRİŞ

Bir rüzgar türbini genel olarak kule, generatör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki generatöre aktarılır. [1; 2].

2. RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN GENERATÖRLER

Temel olarak bir rüzgar türbinine asenkron, senkron ve doğru akım generatörlerinden herhangi biri bağlanabilir[3].

Asenkron Generatör

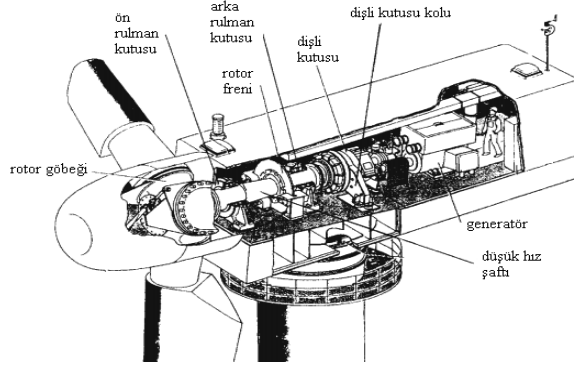
- a) Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG)
- b) Rotoru Sargılı Asenkron Generatör (RSAG)
 - Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG)
 - OptiSlip® Generatör (OSG)

Senkron Generatör

- a) Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Generatör (RSSG)
- b) Sürekli Miknatıslı Senkron Generatör (SMSG)

Doğru Akım Generatörü**Diğer Tip Generatörler**

Anahtarlı Relüktans Generatör (ARG) [1;3;4].



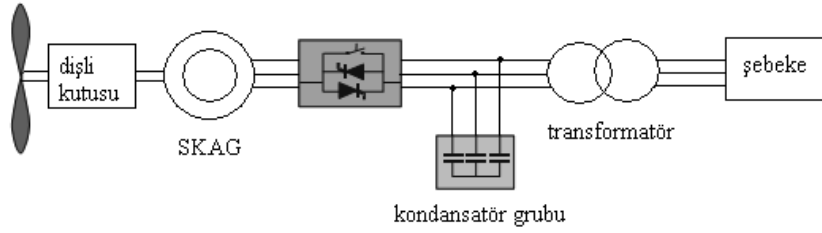
Şekil 1. Rüzgar türbini ana parçalarının yer aldığı, nacelle

2.1. ASENKRON GENERATÖR

Rüzgar türbinleri içerisinde çok yaygın olarak kullanılan bir generatör tipidir. Sağlamlık, mekanik olarak basitlik, büyük tiplerde üretilebilmesi, fiyatının düşüklüğü gibi avantajları vardır. En büyük dez avantajı duran kısım statorun, reaktif miknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. Ani rüzgar artışlarında oluşan tork 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[2; 4].

2.1.1. Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG)

SKAG hem sabit hızlı rüzgar türbinlerinde hemde 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 [1; 2].

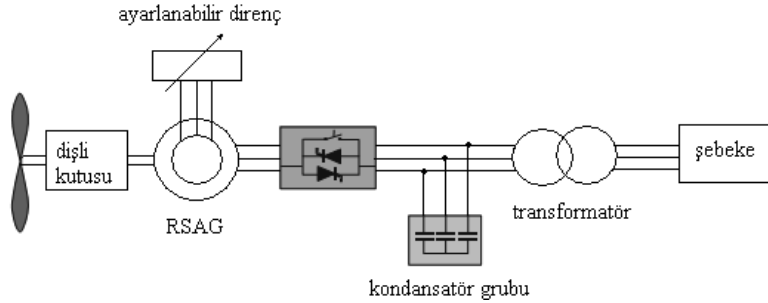


Şekil 2. Rüzgar türbinine akuple edilmiş SKAG'ün şebekeye bağlantısı

Sincap kafesli asenkron makinalar, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar. Dezavantajları; generatör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşıklaştırmasıdır. 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[1; 4].

2.1.2. Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generator (RSAG)

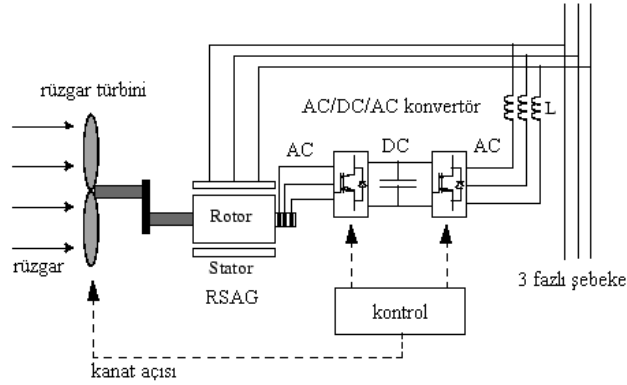
Bir RSAG'de rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile, rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarı da yapılabilir. Dezavantajı ise pahalı olması ve SKAG kadar sağlam olmamasıdır[1; 2].



Şekil 3. Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG'ün şebekeye bağlantısı

2.1.2.1. 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 IGBT konvertörden meydana gelmiştir. Genellikle, rotor tarafındaki konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku 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. [1; 5; 6]. ÇBAG'ün avantajları; offshore olarak isimlendirilen açık deniz rüzgar santrali uygulamaları gibi büyük güç sistemleri için uygun olmasıdır. ÇBAG'nin en büyük dezavantajı ise bilezik tertibatının düzenli bakıma olan ihtiyacıdır.[1; 3; 7].



Şekil 4. Rüzgar türbinine akuple edilmiş ÇBAG'ün şebekeye bağlantısı

2.1.2.2. OptiSlip® İndüksiyon Generatör (OSİG)

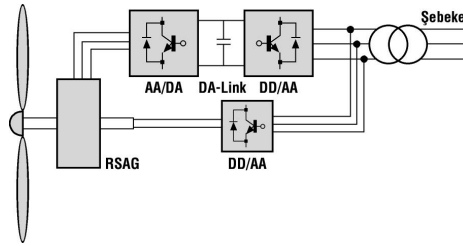
OSG, rüzgarın ani ve sert esmesi sırasında rüzgar türbinindeki yükleri çok hızlı güç elektroniği elemanları kullanarak minimuma indirmek için Danimarkalı şirket Vestas® tarafından geliştirilmiştir. Optislip® generatör rotoru sargılı asenkron generatör ile şafta yerleştirilmiş ayarlanabilir harici rotor dirençlerinden oluşur. Herhangi bir bileziğe ihtiyacı yoktur. Generatörün kayması, rotor şaftına bağlı bir konvertör aracılığıyla toplam rotor direncinin düzenlenmesi ile değiştirilir. Bu değişim rüzgar hızına ve yüke bağlı olarak elektronik devre ile %1 ile %10 arasında değişmektedir. Böylelikle ani rüzgar artışlarında oluşan mekanik yükler ve güç dalgalanmalarının azaltılması hedeflenmiştir. Dezavantajı ise reaktif güç kontrolünün zayıf olmasıdır [1].

2.2. SENKRON GENERATÖR

Senkron generatörler, aynı büyüklükteki asenkron generatörlere göre daha pahalı ve mekanik 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 [8].

2.2.1. Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Generatör (RSAG)

Manyetik alan kutup sargısının bulunduğu makinenin hareketli parçası rotorda üretilir. Rotorda ki kutup 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. Bu sargıda oluşan gerilim alternatiftir, zamana göre değişir. RSAG' nın hızı, döner alanın frekansı ve kutup sayısına göre değişir [8].

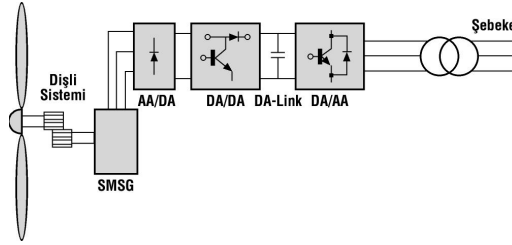


Şekil 5. Rüzgar türbinine akuple edilmiş RSAG' ün şebekeye bağlantısı

Stator tarafındaki konverter elektromanyetik torku, şebeke tarafındaki konverter ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü regüle eder [1; 3]. Elektromanyetik tork üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için RSSG' nin verimi yüksektir. RSSG kullanılmasının en büyük faydası, makinenin güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir. Bunun sonucu olarak, stator akımı bir çok işletim durumunda minimize edilebilir. Bu generatörlerin kutup eğimi indüksiyon makinalarına 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 daimi mıknatıslı senkron generatör (DMSG) ile kıyaslandığında bir dezavantajdır[3; 4; 5; 8].

2.2.2. Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG)

SMSG 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. SMSG' nin statoru sargılıdır ve rotoruna sürekli mıknatıslar yerleştirilmiştir. SMSG' nin çok yaygın kullanılan tipleri; radyal akılı, aksiyal akılı ve çapraz akılı SMSG'lerdir.



Şekil 6. Rüzgar türbinine akuple edilmiş SMSG' ün şebekeye bağlantısı

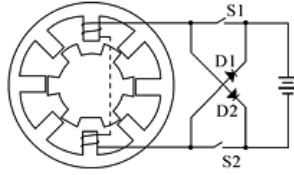
SMSG'ler harekete geçme anında senkronizasyonda ve gerilim regülasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir. Ayrıca sürekli mıknatısların fiyatları çok yüksektir. Bir diğer dezavantajı ise mıknatısların manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değişmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısa devre durumlarında mıknatısların manyetik özelliklerini kaybettiği bilinmektedir. SMSG'lerin rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrolünün sağlanması gereklidir [1; 9;10].

2.3. DOĞRU AKIM GENERATÖRÜ

Doğru akım generatörleri, güvenilirliklerinin düşük olması ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgar enerjisi sektöründe kullanılmaktadır. DAG' ler 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 makinaları olarak da isimlendirilen bu makineler, sürekli mıknatısların kapasitelerinin ve güçlerinin sınırlı olması nedeniyle, küçük güçlü rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadırlar [8].

2.4. ANAHTARLI RELUKTANS GENERATÖR (ARG)

Son yıllarda ARG, iyi mekanik güvenilirlik, yüksek tork-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 uyarım ve üretim olmak üzere iki aşamada çalışır. ARG iki anahtar ve her faz başına iki diyottan oluşur. Uyarım aşamasında S1 ve S2 anahtarları açık olup, statordaki sargılar harici elektriksel devre tarafından uyarılır ve manyetik enerji ortaya çıkar. Üretim aşamasında S1 ve S2 anahtarları kapalı olup, D1 ve D2 diyotları üzerinden manyetik ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştür [1; 10].



Şekil 7. Anahtarlı relüktans generatör

3. SONUÇLAR

Rüzgar türbinlerinde kullanılacak olan generatörün seçiminde göz önüne alınacak en önemli kriter, rüzgar türbininin yerleşeceği bölgenin rüzgar özelliğinin belirlenmesidir. Seçilen generatör; farklı rüzgar değişimlerinden minimum etkilenip, maksimum verimle çalışabilmelidir. Değişken hızlı rüzgarlarda kullanılan generatorler frekans dönüştürücülere ve güç elektroniği elemanlarına ihtiyaç duyar. Fakat son yıllarda gerek güç elektroniğinde kaydedilen ilerlemeler, gerekse yarı iletken teknolojisinin maliyetinin her geçen gün azalması, rüzgar güç sistemlerinde bu yapının kullanımını oldukça cazip hale getirmiştir.

Kaynağını sürekli yenilenen rüzgardan alan rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerini, ne zaman ki "alternatif" yerine "birincil" enerji olarak tanımlarsak, Türkiye için önemli bir enerji kaynağını görmezden gelmemiş oluruz.

4. KAYNAKLAR

1. Ackermann, T.,(2005). “Wind Power in Power Systems”, John Wiley & Sons, Ltd.
2. Mergen, A.F.,Zorlu, S.,(2005). “ Elektrik Makineleri II Asenkron Makineler”, Birsen Yayınevi Sh.17.
3. Uyar, M., Gençoğlu, M.T., ve Yıldırım, S., (2005). “ Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri”, YEKSEM 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,Sh.173-178.
4. Hansen, L.H., Madsen, P.H., Blaabjerg, F., Christensen, H.C., Lindhard, U., Eskildsen,K., (2001). “Generators and Power Electronics Technology for Wind Turbines”, Industrial Electronics Society, IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE 29 Nov.-2 Dec. 2001, Vol. 3, pp.2000 – 2005.
5. Dubois, M. R., Polinder, H., Ferreira, J. A., (2000). “Comparison of Generator Topologies for Direct-drive Wind Turbines”, in IEEE NordicWorkshop on Power and Industrial Electronics, IEEE, New York, pp. 22–26.
6. Muller, S. Deicke, M. De Doncker, R.W., (2002). “Doubly Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines,” IEEE Industry Applications Magazine, 8, 3, pp. 26-33.
7. Bogalecka, E., (1993). “Power Control of a Doubly Fed Induction Generator without Speed or PositionSensor”, in EPE 5th European Conference on Power Electronics and Application, Vol. 8, pp. 224–228.
8. Mergen, A.F.,Zorlu, S.,(2005). “ Elektrik Makineleri III Senkron Makineler”, BirsenYayınevi.
9. Jianzhong, Z., Ming C., Zhe C., (2008). “Optimal Design of Stator Interior Permanent Magnet Machine with Minimized Cogging Torque for Wind Power Application”, Energy Conversion and Management, Vol. 49, Issue 8, August 2008, pp. 2100- 2105.
10. Pan, Z., Jin. Y. , Zhang, H., (2004). “Study on Switched Reluctance Generator”, Journal of Zhejiang University.