

DÜŞÜK GÜÇLÜ RÜZGAR TÜRBİNLERİ İÇİN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASINI İZLEYEN BİR AKÜ ŞARJ SİSTEMİ

Şükrü Ertike¹, Deniz Yıldırım², Efe Turhan³, Taha Taner İnal⁴

İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü,
34469, Maslak, İstanbul.

¹ertike@itu.edu.tr, ²deniz@ieee.org
³efeturhan@gmail.com, ⁴tahataner@gmail.com

ABSTRACT

In this study, a small wind turbine-generator system with an energy maximizer converter for battery charging will be presented. The modeling of the wind turbine depends on the test data of the system which include the following relations: the power coefficient C_p , versus tip speed ratio TSR, the wind speed versus the generator output power and the shaft speed versus the generator output power. The maximum power point tracking (MPPT) strategy depends on that model and does not use a mechanical speed sensor. This paper describes how to constitute a model and design an MPPT controller without a speed sensor for a small wind turbine system. Simulation results show that a reasonable turbine model can be obtained from the test data and the proposed MPPT strategy can yield a satisfactory performance without a mechanical speed sensor.

Anahtar sözcükler: Düşük Güçlü Rüzgar Türbinleri, Maksimum Güç Noktası Takibi, Rüzgar Enerjisi.

1. GİRİŞ

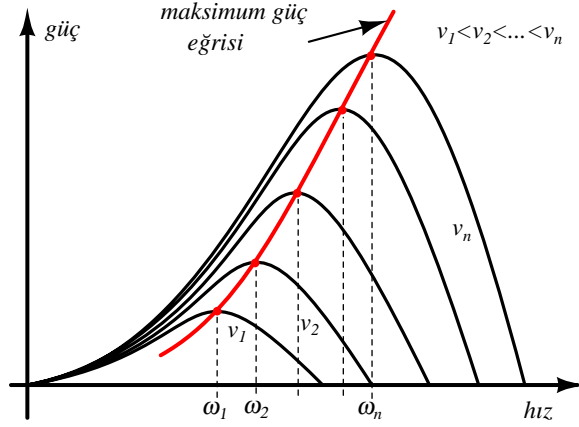
Düşük güçlü rüzgar enerjisi sistemleri, düşük maliyetleri nedeniyle şehir merkezinden uzaktaki yerleşim yerlerinde evlerin, küçük işletmelerin ve elektrik şebekesinden uzaktaki haberleşme sistemlerinin elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasında önemli bir alternatif olmaktadır. Bu sistemlerin temel bileşenleri, küçük güçlü rüzgar türbinleri, generatörler ve generatör-yük arasında kullanılan güç elektroniği devreleridir. Her bir bileşenin düşük maliyetli, yüksek güvenilirlikli ve yüksek verimli olacak şekilde tasarlanmasına yönelik araştırmalar sürekli devam etmektedir.

Sistem maliyetini artırmadan toplam verimi yükseltmenin en kestirme yollarından biri, güç elektroniği devrelerinin hız algılayıcısı kullanmadan türbini maksimum güç noktalarında çalıştıracak şekilde denetlenmeleridir. Türbin karakteristiğinin bilindiği ve bilinmediği durumlar için çeşitli maksimum güç noktasını izleme yöntemleri geliştirilmiştir. Hız algılayıcısı gerektiren anemometre metodu, algılayıcısız olan hesaplama metodu ve bulanık mantık gibi yoğun hesaplamalı maksimum güç noktasını takip eden algoritmalara örnekler [1], [2] ve [3] numaralı çalışmalarda verilmiştir.

Bu çalışmada üniversite öğrencilerini düşük güçlü rüzgar enerjisi sistemleriyle ilgili araştırmaya teşvik etmek ve bu konuya yeni katkılar oluşturmak amacıyla *The 2009 International Future Energy Challenge* (IFEC) [4] isimli bir uluslararası yarışma organizasyonu kapsamında “*Low Cost Wind Turbine Energy Maximizer*” (Düşük maliyetli, rüzgar türbininden maksimum enerji alıcısı) konulu bir yarışma IEEE Power Electronics Society ve Power Sources Manufacturers Association desteğiyle düzenlenmektedir. İstanbul Teknik Üniversitesi, bu yarışmaya *ITU PowerBee* [5] isimli bir öğrenci ekibiyle katılmaktadır. Yarışma kapsamında, geniş bir devir sayısı aralığında rüzgar türbinini maksimum güç noktasında çalıştırarak 12V’luk bir aküyü gerekli koruma düzeneklerini de içerecek şekilde şarj edecek bir güç elektroniği devresi tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, söz konusu yarışma için yapılan çalışmaların bir kısmını teşkil eden, rüzgar türbini modellenmesi ve düşük güçlü rüzgar türbinlerinin geniş bir hız aralığında hız algılayıcısı olmaksızın maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak için önerilen yöntem verilerek, benzetim sonuçları sunulacaktır.

Şekil 1 farklı rüzgar hızlarında rüzgar türbini güç eğrilerini devir sayısının bir fonksiyonu olarak göstermektedir. Buradan görülebileceği gibi rüzgar türbini çıkış gücü verilen bir rüzgar hızı için tek bir devir sayısında maksimuma ulaşmaktadır. Rüzgar türbinleri, türbin rotor hızının rüzgar hızıyla değişmesine olanak vererek farklı rüzgar hızlarındaki maksimum gücü elde edecek şekilde kontrol edilmektedir.



Şekil 1. Farklı rüzgar hızlarında türbin güç eğrileri.

2. SİSTEMİN TANITIMI

Şekil 2'de düşük güçlü bir rüzgar enerjisi sistemi ana bileşenleriyle görülmektedir. Bu sistemde, üç fazlı bir kalıcı mıknatıslı senkron generatör (KMSG) rüzgar türbinine doğrudan bağlanmıştır. Generatör çıkışındaki alternatif gerilim, üç fazlı kontrolsüz bir doğrultucu ve C_d kondansatörü ile doğru gerilime çevrilmektedir. Rüzgar hızının aşırı yüksek olduğu

durumlarda, gerek türbini aşırı hızlardan korumak gerek doğrultucu çıkışındaki gerilimin aşırı yükselmesini önlemek için C_d kondansatörüne paralel olarak bir frenleme direnci, R_B , M_B MOSFET'i üzerinden bağlanmıştır. Akü ise bir alçaltıcı tip doğru akım çeviricisi (ADAÇ) üzerinden doldurulmaktadır. ADAÇ, türbinin geniş bir hız aralığında maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayacak ve aküyü güvenli bir şekilde dolduracak şekilde denetlenmektedir.

3. TÜRBİN MODELİ

Bu bölümde, maksimum güç noktası takip (MGNT) sisteminin tasarlanacağı rüzgar türbinin, test verilerine dayalı olarak modellenmesi açıklanacaktır.

v (m/sn) hızı ile hareket eden, ρ (kg/m^3) yoğunluğundaki hava kütleinin A (m^2) kesit alanına sahip bir türbine aktardığı güç, (1) bağıntısı ile verilmektedir, [6].

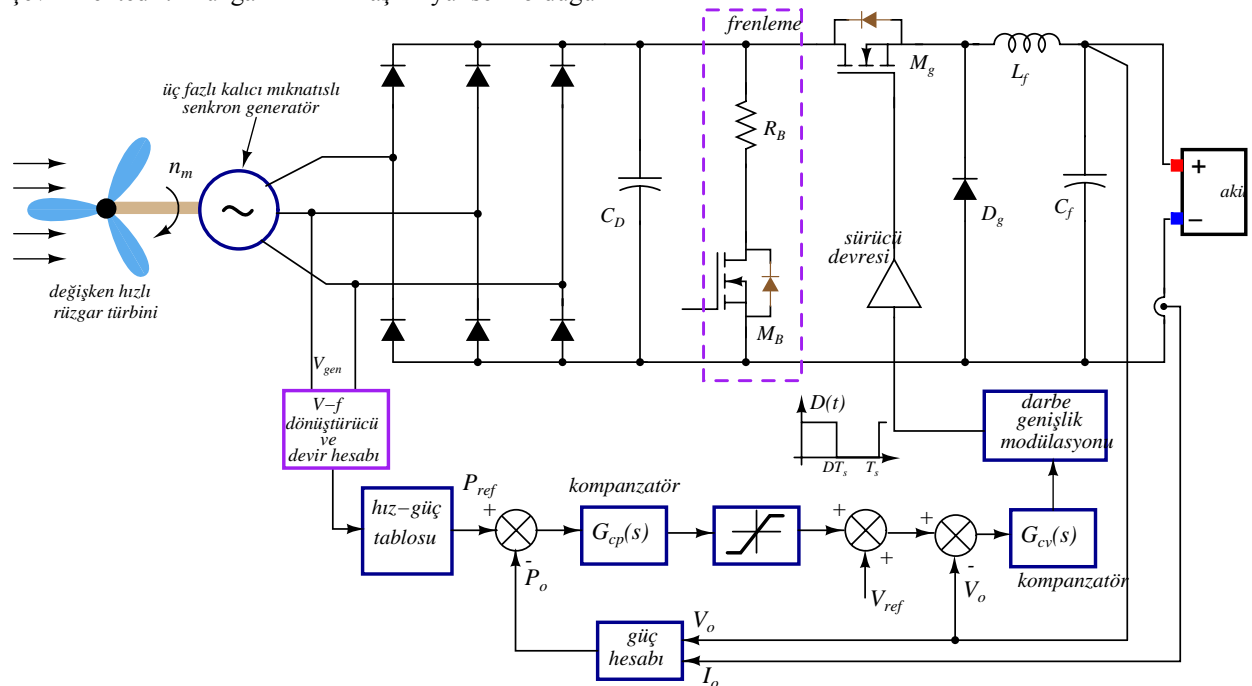
$$P_T = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

Burada C_p güç katsayısı olarak tanımlanıp, (2) ile verilen rotor uç hızının rüzgar hızına oranına (TSR), λ , ve türbin kanat açısına bağlıdır,

$$\lambda = \frac{u}{v} = \frac{\omega R}{v} \quad (2)$$

bu eşitlikte R (m) rotor yarıçapı, ω (rad/s) kanat ucu açısal hızı ve u (m/s) kanat ucu hızını göstermektedir.

Türbin rotorunda oluşan moment ise (3) bağıntısı ile tanımlanır.



Şekil 2. Düşük güçlü bir rüzgar enerjisi sistemi.

$$T_T = \frac{P_T}{\omega} = C_T \frac{1}{2} \rho \pi R^3 v^2 \quad (3)$$

Burada moment katsayısı, $C_T = C_p / \lambda$ olarak tanımlanır.

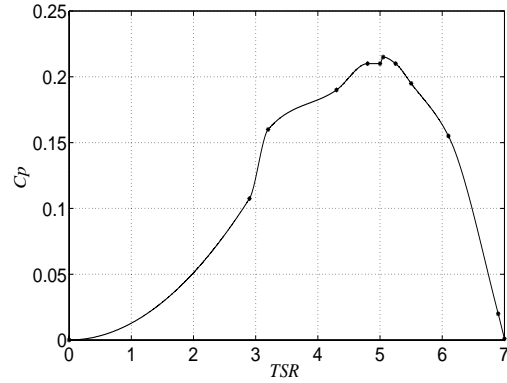
Güç katsayısına ilişkin kesin bir bağıntı olmaması nedeniyle, benzetim uygulamalarında C_p ve dolayısıyla C_T katsayılarına birer polinom fonksiyonuyla yaklaşılr [6], [7].

$$C_p = a_0 + \sum_{k=1}^n a_k \lambda^k \quad (4)$$

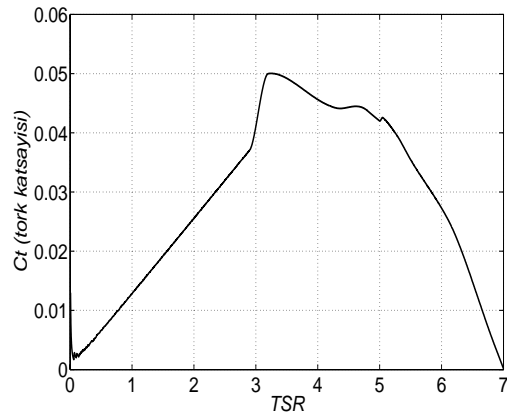
$$C_T = \sum_{k=1}^n a_k \lambda^{k-1} \quad (5)$$

Bu çalışmada kullanılan rüzgar türbinine ilişkin güç katsayısı ve TSR arasındaki ilişki, IFEC ofisi tarafından sağlanan ölçüm sonuçlarına dayanmaktadır, [8]. Şekil 3'de, söz konusu türbine ait $C_p - TSR$ ölçüm değerleri ve bu değerlere uydurulan eğri görülmektedir, $C_T - TSR$ arasındaki ilişki ise Şekil 4'te verilmektedir.

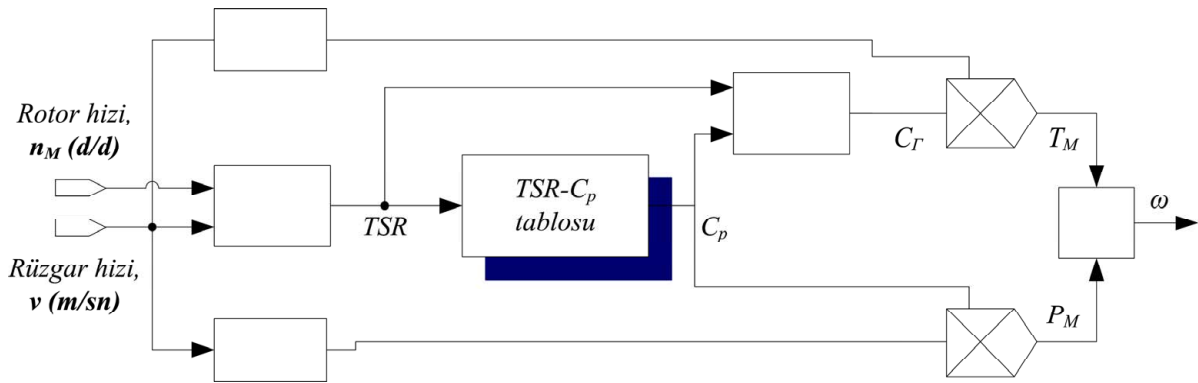
Rüzgar türbini için PSIM programında [9] oluşturulan benzetim modeli Şekil 5'te gösterilmiştir. Modelde, C_p değerleri, Şekil 3'deki eğri aracılığıyla oluşturulan bir tablo ile elde edilmektedir. Tablonun girişi ilgili hızdaki TSR değeri, çıkışı ise güç katsayısı C_p dir. Modelden benzetim sonucunda farklı rüzgar hızları için elde edilen, türbin rotorunda oluşan mekanik güç P_{mk} ile rotor hızı ve moment T_m ile rotor hızı arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



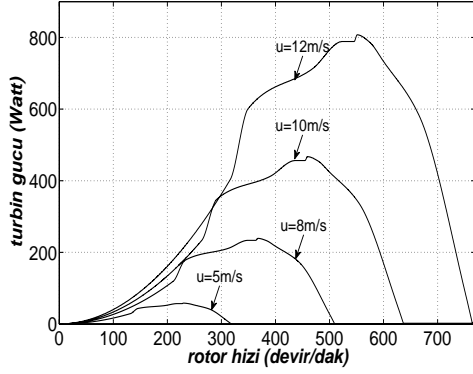
Şekil 3. Modelleneyecek rüzgar türbinine ait $C_p - TSR$ eğrisi.



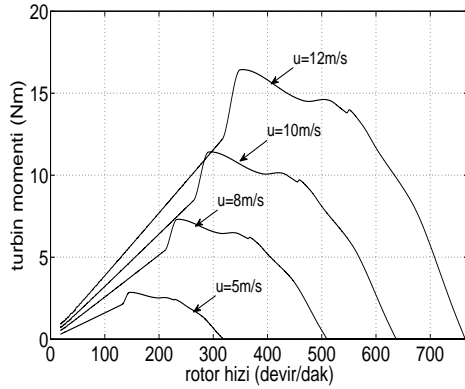
Şekil 4. Modelleneyecek rüzgar türbinine ait $C_T - TSR$ eğrisi.



Şekil 5. Rüzgar türbininin benzetim modeli



Şekil 6. Türbin rotorundaki mekanik gücün farklı rüzgar hızları için rotor hızı ile değişimi



Şekil 7. Türbin rotorundaki momentin farklı rüzgar hızları için rotor hızı ile değişimi

Şekil 3, 4, 6 ve 7'den görüldüğü üzere, $C_p - TSR$ ölçüm değerlerinden hareketle oluşturulan $C_p - TSR$ eğrilerine dayanan modellerde, ilgili eğriler birden fazla lokal maksimum noktalarına sahiptir.

4. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ YÖNTEMİ (MGNT)

Bu çalışmada önerilen MGNT yöntemi, türbin için verilen $C_p - TSR$ ölçüm verilerine dayanmaktadır. IFEC ofisi tarafından sağlanan test verilerine göre, [8], Şekil 6'dan hareketle türbinin çalıştığı maksimum güç noktaları ve bu noktalara karşılık düşen rotor hızları belirlenebilir. Bu yaklaşımla oluşturulacak rotor hızı-maksimum türbin gücü tablosu yardımıyla, ölçülen rotor hızına göre bir maksimum güç referans değeri, P_{ref} , elde edilebilir. Kutup sayısı bilinen generatörün elektriksel frekansının ölçülmesiyle, rotor hızı kolaylıkla hesaplanabilir. Böylece, sadece elektriksel büyüklüklerin ölçülmesiyle oluşturulan bir MGNT yöntemi elde edilebilir.

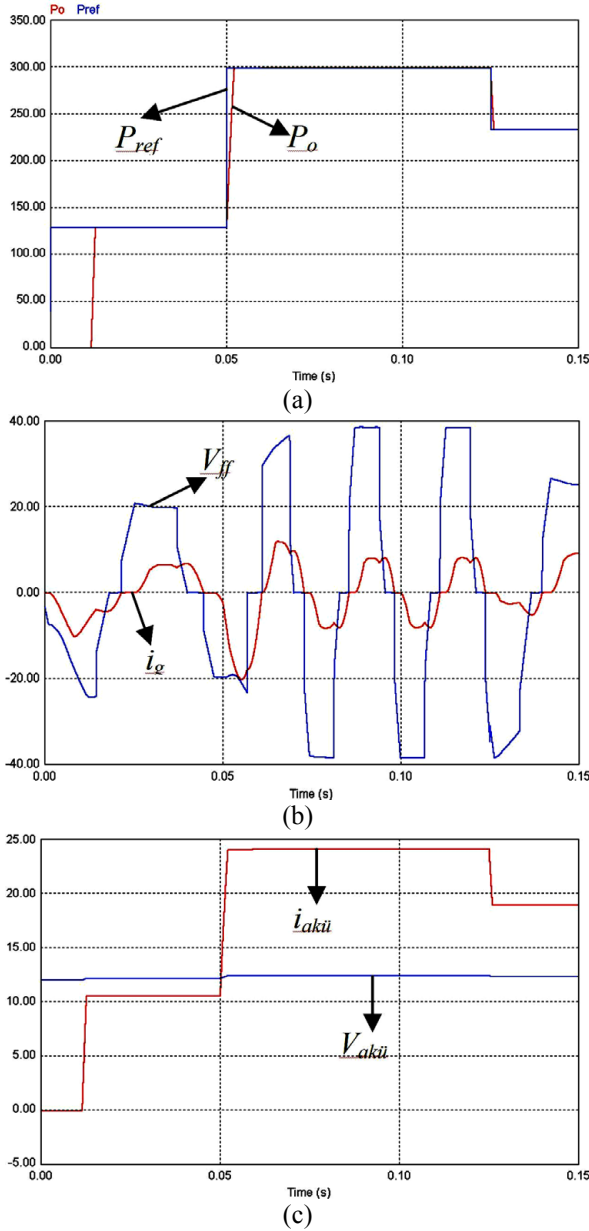
Şekil 2'de alçaltıcı tip doğru akım çeviricisinin denetim sistemine ilişkin blok diyagram görülmektedir. ADAÇ'ın çalışma oranının değiştirilmesiyle türbinin maksimum güç noktasında çalıştırılması hedeflenmektedir. ADAÇ'ın denetim sisteminde, güç ve gerilim olmak üzere iki çevrim bulunmaktadır. ADAÇ çıkış gerilimi ve akımı

ölçülerek aküye aktarılan güç, P_o , hesaplanmakta ve generatörün elektriksel frekansı ölçülerek, tablo aracılığıyla türbinin çalışması gereken güç referans değeri, P_{ref} , elde edilmektedir. Çıkış gücü ve referans güç arasındaki fark G_{cp} kompanzatoründen geçirilip V_{ref} gerilimiyle toplanarak, akü referans gerilim değeri oluşturulmaktadır. Bu değer, ölçülen çıkış gerilimiyle karşılaştırılmakta ve oluşan hata işareti G_{cv} kompanzatoründen geçirilerek kontrol gerilimi elde edilmektedir. Darbe genişlik modülatörü ile de ADAÇ'ın türbini maksimum güç noktasında yükleyerek aküyü şarj etmesi sağlanmaktadır. Özetle, ADAÇ'ını çıkış gerilimini değiştirerek (dolaylı olarak güç akımını) aküye aktarılan güç ayarlanabilmekte ve buna bağlı olarak türbin farklı bir güç noktasında çalıştırılabilmektedir.

PSIM programında ile yapılan benzetimlerde önerilen MGNT yönteminin başarımı incelenmiştir. Şekil 8'de, Şekil 2'de verilen sistemin benzetim ortamında rüzgar hızının basamak şeklinde değiştirilmesi sonucunda elde edilen karakteristik dalga şekilleri verilmiştir. Şekil 8(a)'da rüzgar hızı ile birlikte değişen referans güç değeri, P_{ref} , ve aküye aktarılan güç, P_o , birlikte görülmektedir ve bu geçici süreçte generatörün bir fazına ilişkin akım, i_g , ve faz arası gerilim, V_{ff} , dalga şekilleri Şekil 8(b) de gösterilmektedir. Şekil 8(c) ise yine bu süreçte akü gerilimi, $V_{akü}$, ve akımının, $i_{akü}$, değişimini göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, düşük güçlü bir rüzgar türbininin modellenmesi ve gerçekleşmesinde mekanik bir algılayıcının kullanılmadığı bir maksimum güç noktası izleme yöntemi sunulmuştur. Türbin modeli ve MGNT yöntemi, ilgili rüzgar türbinin testlerinden elde edilen $C_p - TSR$ ölçümlerine dayanmaktadır. $C_p - TSR$ arasındaki deneysel ilişki, eğri uydurularak sürekli hale getirilmiş ve benzetim sonuçlarından hareketle $C_p - TSR$ tablosu oluşturulmuştur. Önerilen MGNT yöntemi, kolay uygulanabilir ve yüksek başarımda çalışabilir olmakla birlikte, türbin test verilerine dayandığından güvenilirliği de test verilerinin ne kadar doğru alındığına bağlıdır. Önerilen MGNT yönteminin sadece belirli bir türbin için en iyi başarımı vereceği aşikardır. Bununla birlikte, ilgili $C_p - TSR$ tablosunun elde edilmesi ve kompanzator katsayılarının ayarlanmasıyla başka herhangi bir türbin içinde kullanılabilir. Çalışma noktalarının, türbinin güç-hız eğrilerinin (bkz. Şekil 6) sol tarafında (gücün hızla değişiminin pozitif olduğu bölge) oluşmaması için mevcut yöntem, literatürde verilen tepe tırmanma algoritmalarıyla desteklenerek güvenilirliği artırılabilir.



Şekil 8. Benzetim sonuçları (a) referans güç ve çıkış gücü, (b) generatör faz arası gerilimi ve faz akımı, (c) akü gerilimi ve akımı.

KAYNAKLAR

- [1] Moor, G. D. and Beukes, H. J., "Maximum Power Point Trackers for Wind Turbines," *IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference*, vol.3, pp. 2044–2049, June 20-25, 2004.
- [2] Mirecki, A., Roboam, X., Richardeau, F., "Architecture Complexity and Energy Efficiency of Small Wind Turbines," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, Issue 1, pp. 660 – 670, Feb. 2007.
- [3] De Broe, A. M., Drouilhet, S., Gevorgian, V., "A peak power tracker for small wind turbines in battery charging applications" *IEEE Transaction on Energy Conversion*, vol. 14, Issue 4, pp. 1630 – 1635, Dec. 1999.
- [4] <http://www.energychallenge.org>: The 2009 International Future Energy Challenge internet sitesi.
- [5] <http://www.powerbee.itu.edu.tr>: İstanbul Teknik Üniversitesi 2009 FEC takımı internet sitesi.
- [6] Z. Lubosny, *Wind Turbine Operation in Electric Power Systems*, Springer Press, 2003.
- [7] I. Schiemenz, M. Stiebler, "Control of a permanent magnet Synchronous Generator Used in a Variable Speed Wind Energy System", *Electric Machines and Drives Conference IEMDC 2001*, 872 – 877, 2001.
- [8] Freere, P. *FEC 0809 Measured Wind Turbine Characteristics*, Monash University, Australia, August 22, 2008.
- [9] *PSIM User's Guide*, Powersim Inc., 2003