



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Değişken Hızlı Rüzgâr Türbinlerinde Kullanılan Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör ile Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritması

Ayşe Çiftçi^{a,*}, Mustafa Dursun^b

^{a,b} Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh. Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ayseciftci81@hotmail.com

ÖZET

Rüzgâr türbininden maksimum güç çekme işlemi enerjinin verimli ve optimum kullanımı açısından önemli bir konudur. Bu çalışmada şebekeye bağlı rüzgâr türbininde en yüksek değerde güç elde edebilmek için maksimum güç nokta takibi (MGNT) arama algoritması geliştirilmiştir. Algoritma olarak rüzgâr türbininde kanat uç hız oranı yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca alan yönlendirmeli vektör kontrol tekniği kullanılarak hem şebeke tarafı hem de generatör tarafı kontrol edilmiştir. Bu teknik ile sabit mıknatıslı senkron generatörde aktif ve reaktif güç, doğru akım (DA) bara gerilimi, generatör açısal hızı gibi değerlerin istenilen seviyede tutulması sağlanmıştır.

Yapılan bu çalışmada generatör belirlediğimiz bir rüzgâr hızı ile optimum devir sayısı ile çalıştırılmış ve mevcut rüzgâr enerjisi potansiyelinden maksimum seviyede yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: MGNT, Kanat uç hız oranı, Vektör kontrol.

Maximum Power Point Tracking Algorithm with Permanent Magnet Synchronous Generator Used In Variable Speed Wind Turbines

ABSTRACT

Maximum power extraction from the wind turbine is an important issue in terms of efficient and optimum use of the energy. In this study, a maximum power point tracking (MPPT) search algorithm was developed to obtain the highest power in the grid connected wind turbine. The tip speed ratio (TSR) method is used in the wind turbine as an algorithm. In addition, both the grid side and the generator side are controlled using field oriented vector control technique. In a permanent magnet synchronous generator are kept at desired level of values as active and reactive power, direct current (DA) bus voltage, generator angular velocity with this technique.

In this study, the generator was operated at an optimum speed with a wind speed which we determined and utilized at the maximum level from the potential of current wind energy.

Key words: MPPT, TSR, Vector control.

I. GİRİŞ

Son yıllarda, fosil kaynakların fiyatlarındaki artışlar ve tükenme sebeplerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeler başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlilerinden biri rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisinden elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için generatör kullanılmaktadır. Rüzgâr türbininde genelde asenkron generatörler ve sabit mıknatıslı senkron generatörler kullanılmaktadır. Büyük güçlü rüzgâr türbinlerinde asenkron generatör düşük gerilim iyileştirme yeteneği gibi birçok ilgili çalışmada kullanılmaktadır [1-4]. Ancak kullanılan generatörden daha fazla maksimum güç almak için senkron generatörler tercih edilmektedir. Generatörden maksimum güç elde edebilmek için kullanılsabit mıknatıslı senkron generatörler ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bunları kısaca verecek olursak,

Sabit mıknatıslı senkron generatörden oluşan rüzgâr türbinlerinde dolaylı ve direk kontrol yöntemlerinde çeşitli sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Bu sezgisel yöntemler içerisinde yapay zeka, yapay sinir ağları, bulanık mantık kontrolü ve genetik algoritma ile çeşitli parametrelerin tahminleri gerçekleştirilmektedir. Dolaylı kontrol yönteminde parametre tahminleri ile sabit mıknatıslı senkron generatörden oluşan rüzgâr türbininin daha etkin ve verimli çalışması sağlanmaktadır [5-8]. Sezgisel yöntemler ve parametre tahmininde çevrim dışı kullanılan rüzgâr türbininde maksimum güç nokta takibi öngörülmüştür. Bu yöntemler hızla değişen çevresel koşullara ve kısmi bölgelendirme koşullarına uygun değildir. Doğrudan kontrol yöntemi, değişen atmosferik koşullara karşı maksimum güç noktalarını etkileşimli olarak bulan arama algoritmaları içermektedir. İlgili çalışmada, maksimum güç izleme (MGİ), doğrudan kontrol yöntemlerinden olan kanat uç hız oranı yöntemi ile sağlanmıştır. Kanat uç hız oranı kontrol yöntemi ile optimum değerin bulunması amaçlanmıştır. Bu yöntem, performans katsayısı C_p 'nin de optimum değerini alabilmesini sağlamaktadır. Bu optimum değer generatörün açısal hızının değiştirilmesi ile elde edilmiştir [9-10].

Bu çalışmada düşük güçlü bir rüzgâr türbinine kanat uç hız oranı algoritması ve kullanılan Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG)'e alan yönlendirmeli vektör kontrol yöntemi uygulanarak türbinden maksimum elektrik enerjisi üretilmesi istenmektedir. Üretilen elektrik enerjisi arka arkaya bağlı üç fazlı bir çevirici sistemi kullanılarak şebekeye aktarılmıştır. Çalışma MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir ve sistemin çeşitli parametreleri grafiksel olarak sunulmuştur.

II. GENERATOR MODELİ

Daimi mıknatıslı senkron generatörler rotorunda uyarım sargısı yerine sabit mıknatıslar barındıran generatör türleridir. Bu mıknatıslar rüzgâr türbininin mekanik güç ile hareket ettirdiği rotorda bir manyetik alan oluştururken, güç dönüştürücüleri vasıtasıyla statora ulaşan şebeke akımı da statorda bir manyetik alan oluşturmaktadır. Bu iki manyetik alan generatörün optimum hızla dönmesi sonucu kilitleyip bir senkronizasyon oluşturmaktadırlar. SMSG'ler değişken rüzgâr hızlarında yüksek verimlilikte çalışma sağlayabilmelerinden ötürü rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminde sıkça tercih edilmektedirler. Aşağıda SMSG'nin dinamik modeli stator referans düzleminde matematiksel denklemlerle gösterilmektedir.

Denklem 2.1 sırasıyla 3 fazlı stator referans düzlemindeki anlık stator gerilimlerini, stator direncini, faz akımlarını, faz akımları ile mıknatısların oluşturduğu akı bağlarını vermektedir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_a \\ \lambda_b \\ \lambda_c \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Burada v_a , v_b , v_c üç faz stator gerilimleridir ve i_a , i_b ve i_c üç faz stator akımlarıdır. R stator sargı direncini temsil etmektedir. Akı bağları durağan çerçeve ile döner çerçeve arasındaki θ_r açısının fonksiyonu olarak öz indüktanslar ve ortak endüktanslar ele alınarak denklem 2.2'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \lambda_a \\ \lambda_b \\ \lambda_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} & L_{ac} \\ L_{ba} & L_{bb} & L_{bc} \\ L_{ca} & L_{cb} & L_{cc} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \lambda_r \cos(\theta_r) \\ \lambda_r \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \lambda_r \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

L_{aa} , L_{bb} , L_{cc} 3 faz öz indüktansları; L_{ab} , L_{ac} , L_{ba} , L_{bc} , L_{ca} , L_{cb} bu fazların ortak indüktansı; λ_r , rotor akı bağı olarak verilmektedir.

Stator referans düzlemde denklemlerin doğrusal olmaması ve bileşenlerin birbirine bağlı olması, SMSG dinamik modelinin bu düzlemde incelenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle dinamik model bir başka düzleme aktarılır. Çalışmada rotor referans düzlemi tercih edilmiştir. Rotor referans düzleminde 3 faz stator gerilimleri park dönüşümü ile $-dq$ referans çerçevesinde stator akımlarına veya akı bağlantılarına dönüşür. Aşağıda rotor referans düzlemindeki SMSG dinamik model denklemleri görülmektedir [11].

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_o \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) \\ [-\sin(\theta_r)] & -\sin\left[\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right)\right] & -\sin\left[\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right)\right] \\ \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Ters park dönüşümü ile tekrar 3 fazlı stator düzlemine geçilir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_r) & [-\sin(\theta_r)] & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \cos\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left[\left(\theta_r - \frac{2\pi}{3}\right)\right] & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \cos\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left[\left(\theta_r + \frac{2\pi}{3}\right)\right] & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_o \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

SMSG'nin $-dq$ referans çerçevesindeki gerilim fonksiyonları ise 2.5 ve 2.6 denklemleri ile verilir. L_d ve L_q düzlemdeki stator endüktansları; V_d ve V_q , anlık stator gerilimleri; i_{ds} ve i_{qs} , anlık stator akımları; ω_e , generator elektriksel açısal hızıdır.

$$V_q = R i_q \cdot L_q \frac{di_q}{dt} + \omega_s L_d i_d + \omega_s \lambda_r \quad (2.5)$$

$$V_d = R i_d \cdot L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_s L_q i_q \quad (2.6)$$

Aşağıdaki denklem ise generatör elektriksel tork değerini vermektedir. P, kutup çifti sayısı olarak kullanılmıştır.

$$T_e = \frac{3}{2} P (\lambda_r i_q + (L_d - L_q) i_q i_d) \quad (2.7)$$

III. ALAN YÖNLENDİRMELİ VEKTÖR KONTROLÜ

Çalışmada alan yönlendirmeli vektör kontrolü hem generatör tarafına ve hem de şebeke tarafına uygulanmaktadır. Generator tarafına sadece dolaylı akım kontrolü uygulanırken, şebeke tarafına hem dolaylı akım kontrolü hem de gerilim kontrolü uygulanmaktadır.

A. GENERATÖR TARAFI VEKTÖR KONTROLÜ

Generatör vektör kontrolü generatör akı bağı ve torkunun hızlıca cevap vermesi amacıyla yüksek enerji dönüşümü gereksiniminden ötürü yapılan dekuplajı tasvir etmektedir. Makine torku park dönüşüm ile stator akımının 3 fazlı stator düzleminden -dq referans düzlemine geçişi ile dolaylı olarak kontrol edilir. Aşağıda SMSG vektör kontrol denklemleri ile blok diyagramı şekil 1’de verilmektedir. δ , tork açısı; ω_r , rotor açısal hızı; i_s , stator akımı; i_q , tork üreten stator akım bileşeni; i_d , akı üreten stator akım bileşenidir. Denklem 3.7 generatör tork denklemini göstermektedir. λ_{af} , fazör alan akı bağı; i_{fr} , fazör alan akımını; L_m , ortak endüktansı ifade etmektedir [12].

$$i_a = i_s \sin(\omega_r t + \delta) \quad (3.1)$$

$$i_b = i_s \sin\left(\omega_r t + \delta - \frac{2}{3}\pi\right) \quad (3.2)$$

$$i_c = i_s \sin\left(\omega_r t + \delta + \frac{2}{3}\pi\right) \quad (3.3)$$

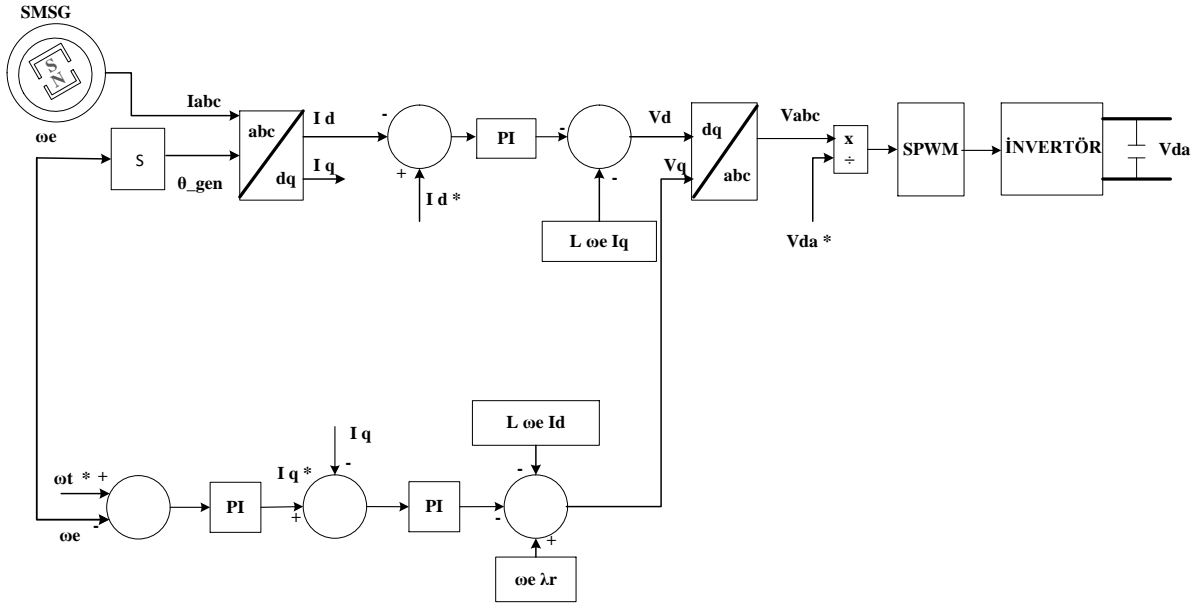
$$\begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\omega_r t) & \cos\left(\omega_r t - \frac{2}{3}\pi\right) & \cos\left(\omega_r t + \frac{2}{3}\pi\right) \\ \sin(\omega_r t) & \sin\left(\omega_r t - \frac{2}{3}\pi\right) & \sin\left(\omega_r t + \frac{2}{3}\pi\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$i_q = i_s \sin\delta \quad (3.5)$$

$$i_d = i_s \cos\delta \quad (3.6)$$

$$T_e = \frac{3}{2} 2P \left[\frac{1}{2} (L_d - L_q) i_s^2 \sin 2\delta + \lambda_{af} i_s \sin\delta \right] \quad (3.7)$$

$$\lambda_{af} = i_{fr} L_m \quad (3.8)$$



Şekil 1. Generatör taraflı eviricinin vektör kontrolü

B. ŞEBEKE TARAFI VEKTÖR KONTROLÜ

Şebeke taraflı vektör kontrolü ise hem dolaylı akım hem de gerilim kontrolü olarak uygulanmaktadır. Dolaylı akım kontrolü şebekeye verilecek olan gücün kalitesini denetlerken, gerilim kontrolü şebekeye verilecek olan aktif ve reaktif gücü denetlemektedir. Şebeke gerilimiyle senkron dönen referans çerçevesindeki şebeke bağlantısının dinamik modeli aşağıdaki denklemlerle verilir. V_d ve V_q , şebeke gerilim bileşenleri; V_{id} ve V_{iq} , evirici gerilim bileşenleri; i_d , aktif güç üreten şebeke akım bileşeni; i_q , reaktif güç üreten şebeke akım bileşeni; L ve R , sırasıyla şebeke endüktans ve direncini, ω_g , şebekeaçısal hızını temsil etmektedir [13].

$$V_d = V_{id} - R_{id} - L \frac{di_d}{dt} + \omega_g L i_q \quad (3.9)$$

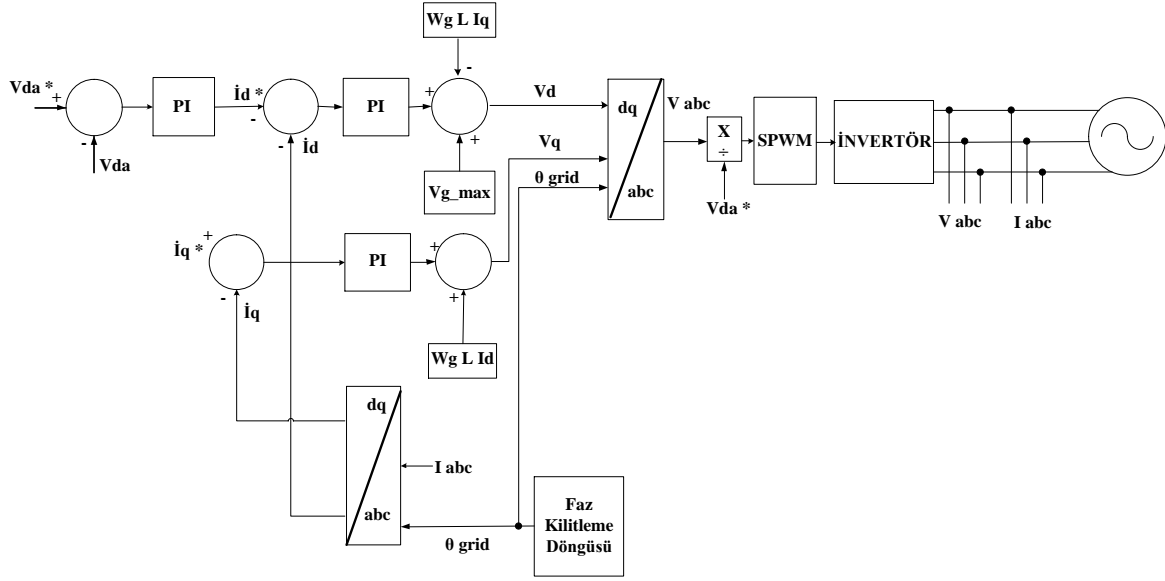
$$V_q = V_{iq} - R_{iq} - L \frac{di_q}{dt} - \omega_g L i_d \quad (3.10)$$

Aktif ve reaktif güç ise aşağıdaki denklemler ile verilir.

$$P = \frac{3}{2} V_d i_d \quad (3.12)$$

$$Q = \frac{3}{2} V_d i_q \quad (3.13)$$

Aşağıda çalışmada kullanılan şebeke taraflı vektör kontrolü algoritması görülmektedir.



Şekil 2. Şebekeye bağlı eviricinin vektör kontrolü

IV. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ (MGNT)

Türbin farklı hızlarda döndüğünde bu hızlardan maksimum verim alabilmek için bir MGNT algoritması ile generatorü optimum hız veya moment referansında çalıştırmak gerekir. Bunun için yapılan denetime MGNT tabanlı denetim denmektedir. MGNT sistemleri optimum rüzgâr hızında optimum generator açısal hızını (ω_{opt}) sağlayabilmelidir. Ayrıca herhangi bir rüzgâr hızında bu hıza özgü maksimum güç sağlanabilecek tek bir optimum açısal hız ile bu açısal hızda rüzgârdan maksimum fayda sağlamayı da mümkün kılmalıdır. Bunun için değişen rüzgâr hızı ile maksimum gücü temin edebilecek optimum açısal hız kontrolünün sürekli yapılması gerekmektedir. Optimum açısal hız değeri denklem 4.1 ile verilmektedir.

$$\omega_{opt} = \frac{\lambda_{opt} * V}{R} \quad (4.1)$$

Denklemden görüldüğü üzere optimum açısal hız, optimum lamda (λ_{opt}) değeri gerektirir. Lamda (λ) kanat uç hız oranını ifade eden literatürde genel kabul görmüş birimsiz bir değişkendir. Değeri türbinden türbine farklılık göstermekle birlikte, rüzgâr hızından bağımsız olarak sabittir.

$$\lambda = \frac{\omega_t * R}{V} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2'de görüldüğü gibi türbin açısal hızının (ω_t) rüzgâr hızına (V) oranıdır. Optimum lamda değerinin sağlanmasıyla ve türbin kanat açısı beta (β) değerinin maksimum güç elde edebilmek

amacıyla 0 derecede tutulmasıyla, maksimum C_p türbin güç katsayısı elde edilmektedir. C_p güç katsayısı λ ve β değerlerinin bir fonksiyonudur [10]. Denklem 4.3 ile verilmektedir.

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (4.3)$$

Burada c_1 - c_6 katsayıları rüzgâr türbini tasarım karakteristiğine bağlı katsayılardır [14]. Bu katsayılar sabit değerler olup türbin tasarım kriterlerine göre türbinden türbine değişebilmektedir. Çalışmadaki rüzgâr türbininde bu katsayılar $c_1=0.5176$, $c_2=116$, $c_3=0.4$, $c_4=5$, $c_5=21$, $c_6=0.0068$ olarak belirlenmiştir. λ_i , C_p güç katsayısını hesaplamada kullanılan bir değişken olup denklem 4.4 ile verilmektedir.

$$(4.4)$$

C_p güç katsayısı aynı zamanda türbin ile mekanik enerjiye çevrilebilen rüzgâr gücünün (P_t), rotor alanındaki mevcut rüzgâr gücüne (P) oranıdır. Denklem 4.5 ile verilmektedir [15].

$$C_p = \frac{P_t}{P} = \frac{P_t}{\frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3} \quad (4.5)$$

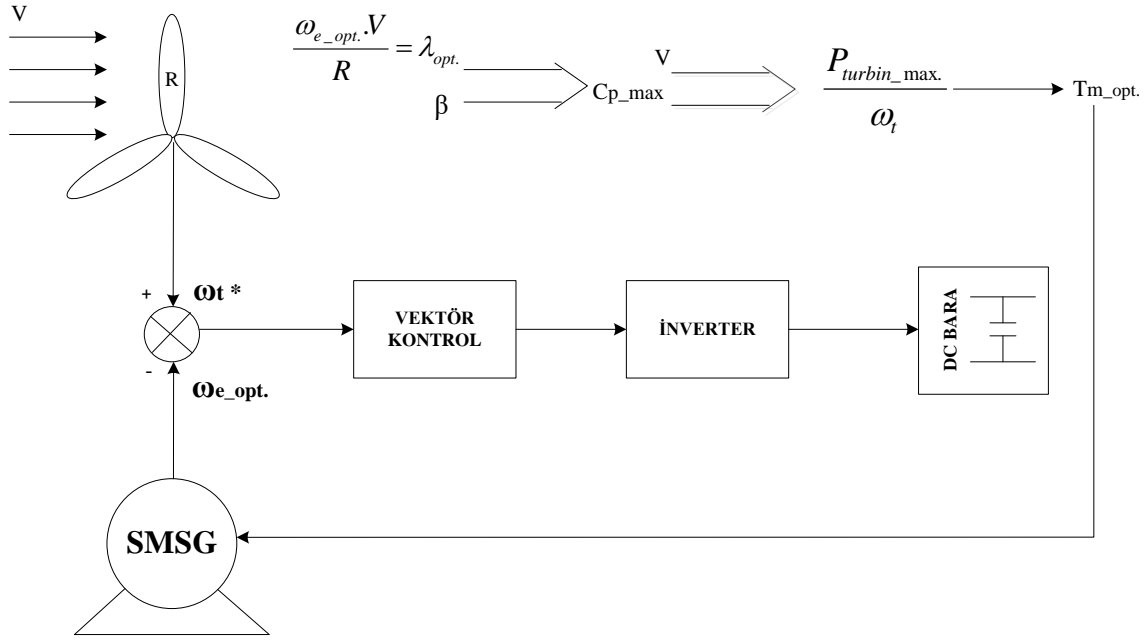
Rüzgâr türbini mekaniksel gücü denklem 4.6 ile bulunabilmektedir.

$$P_t = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \rho A V^3 \quad (4.6)$$

Bu formülde ρ , hava yoğunluğu (kg/m^3); A , rüzgâr türbininin taradığı alan (m^2). Elde edilen mekaniksel güç türbin açısal hızına bölünerek, generatörün tahrik edilmesini sağlayan türbin mekaniksel tork bileşeni elde edilmektedir, denklem 4.7 ile gösterilmektedir.

$$T_m = \frac{P_t}{\omega_t} \quad (4.7)$$

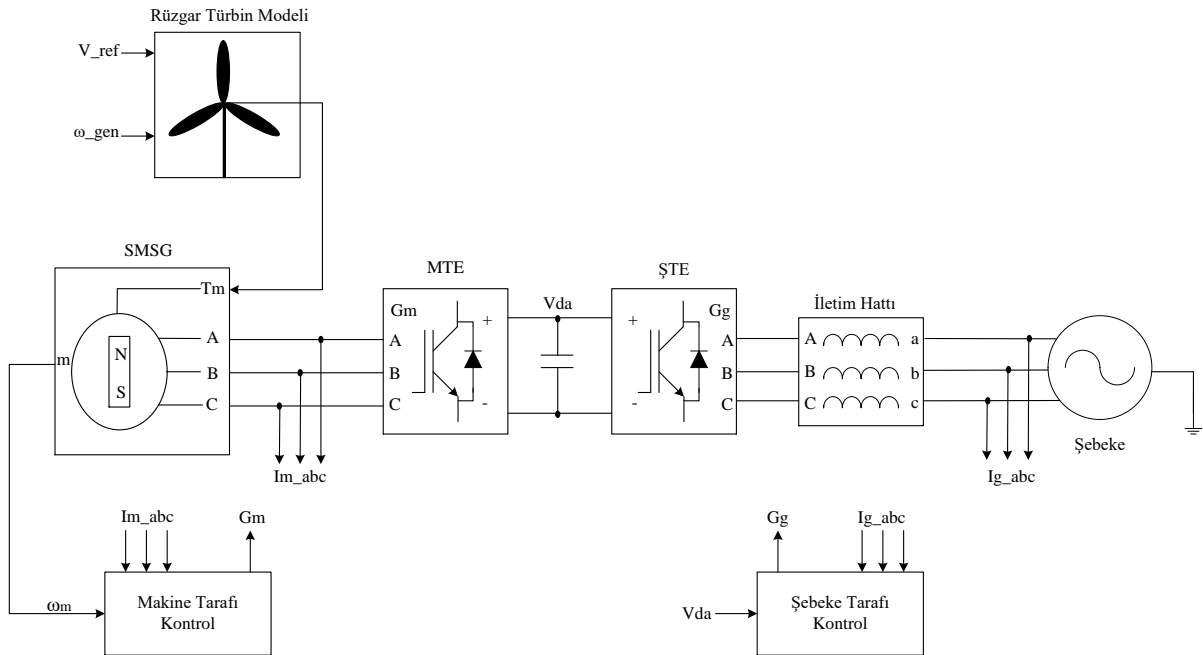
Üretilen bu tork değeri generator rotorunun mekaniksel olarak uyartılmasını sağlamaktadır. Generatörün anlık açısal hızının, referans alınan rüzgâr türbini anlık açısal hız değerine çekilmesiyle MGNT sağlanmış olur. Dişli sistemlerde bu referans değeri önce dişli çevrim oranı ile çarpılmalı daha sonra ortaya çıkan değer referans türbin anlık açısal hız değeri olarak kullanılmalıdır. Şekilde 3'te sistemde kullanılan MGNT algoritması gösterilmiştir.



Şekil 3. Maksimum güç nokta takip algoritması

V. SIMULASYON ÇALIŞMASININ İNCELENMESİ

Şekil 4' te çalışmanın MATLAB/Simulink modeli görülmektedir. Şekilde çalışmada kullanılan rüzgâr türbini modeli, SMSG, iki seviyeli-üç fazlı PWM anahtarlama modu kullanan makine tarafı evirici (MTE) ve şebeke tarafı evirici (ŞTE) dönüştürücü blokları ile sistemin ürettiği gücün aktarıldığı şebeke görülmektedir.



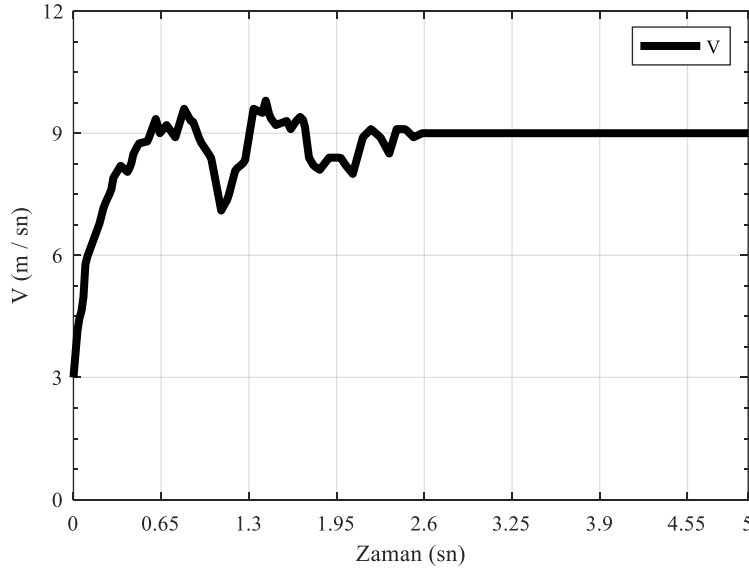
Şekil 4. Çalışmanın MATLAB/SİMULİNK modeli

Çalışmada generatörün ürettiği AA çıkış geriliminin iki seviyeli üç fazlı anahtar modlu dönüştürücü ile sabit DA bara gerilimine dönüştürülmesi ve bir eviriciyle şebekeye aktarılması gerçekleştirilmiştir. Anahtar modlu dönüştürücü çıkışı herhangi bir rüzgâr hızında türbinden maksimum güç elde etmek ve şebekeyi beslemek için PWM tekniğiyle tetiklenen IGBT'lerin görev döngüsünü yöneterek kontrol edilmektedir.

Şebeke taraflı evirici ise rüzgâr hızı değişimleri sırasında üretilen gücün genliğini ve frekansını düzenlemek için kullanılmıştır. Kararsız rüzgâr nedeniyle değişken hızla çalışan SMSG'nin çıkışı değişken genlik ve frekansa sebep olmaktadır. Bu değişken genlik ve frekans, sabit genlik ve frekansla çalışan şebekenin kullanılabilmesi için sabitlenmek istenmiştir. Bunun için sabit gerilim değerli bir DA bara kullanılmıştır. Şebeke taraflı eviricide baranın sabit gerilim değeri kullanılarak şebekenin AA akım ve gerilim değerleri yine şebekeye uygun frekans ve genlikli hale getirilmektedir.

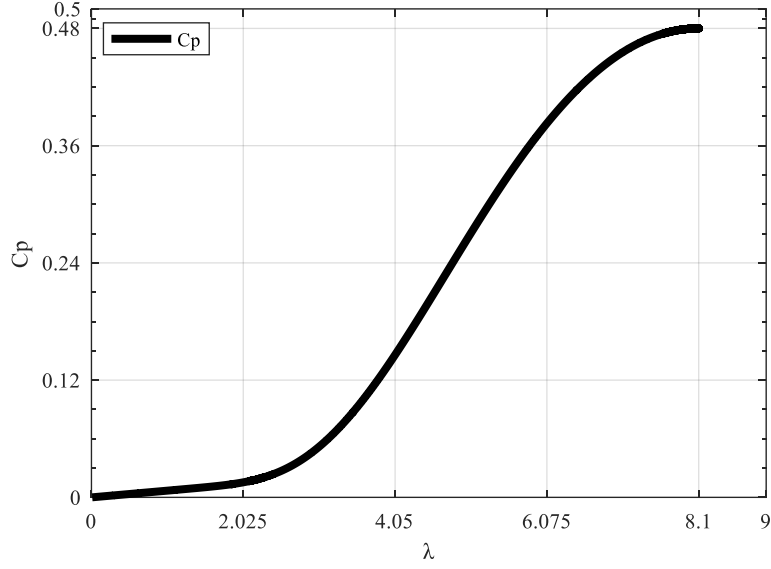
Rüzgâr hızındaki ani azalış nedeniyle oluşabilecek gerilim düşümü şebeke sistemi tarafından telafi edilmektedir. Aşırı rüzgâr esmesi sırasında ise, rüzgâr türbininin pasif (stall) kontrol ile kontrol edildiği varsayılmaktadır, bu kontrolün anlatımına değinilmemiştir.

Çalışmada hem değişken hem de optimum rüzgâr hız değeri olan 9 m/s sabit rüzgâr hızıyla çalışılmıştır. Şekil 5' te ilk olarak sisteme verilen değişken hızlı rüzgâr ve devamında 9 m/s sabit optimum hızlı rüzgâr görülmektedir.



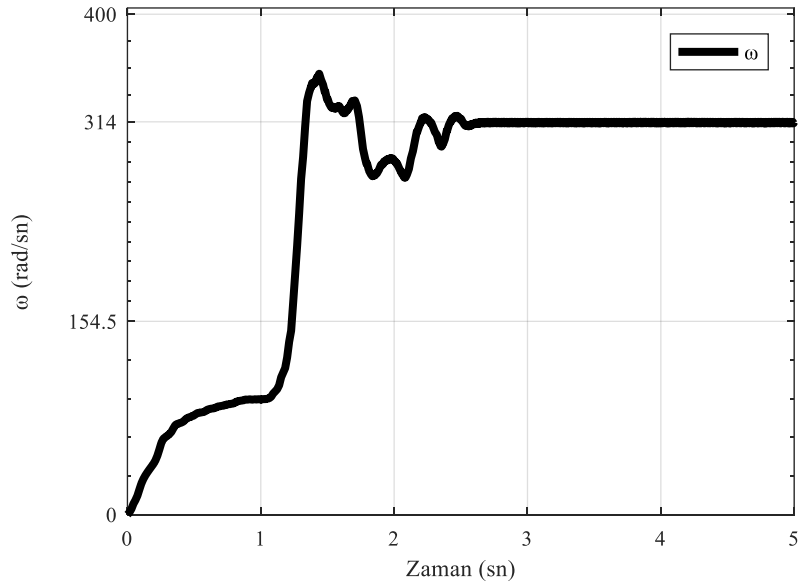
Şekil 5. Rüzgâr Hız Referansı

Türbin kanat açısı beta değerinin maksimum güç elde edebilmek için 0 derecede tutulması gerekmektedir. Bu sayede aynı lamda değerinde türbin güç katsayısı C_p 'nin maksimum değeri 0.48 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6' da tüm referans rüzgâr hızlarındaki lamda değerleri ile bu değerlere ait C_p güç katsayıları görülmektedir.



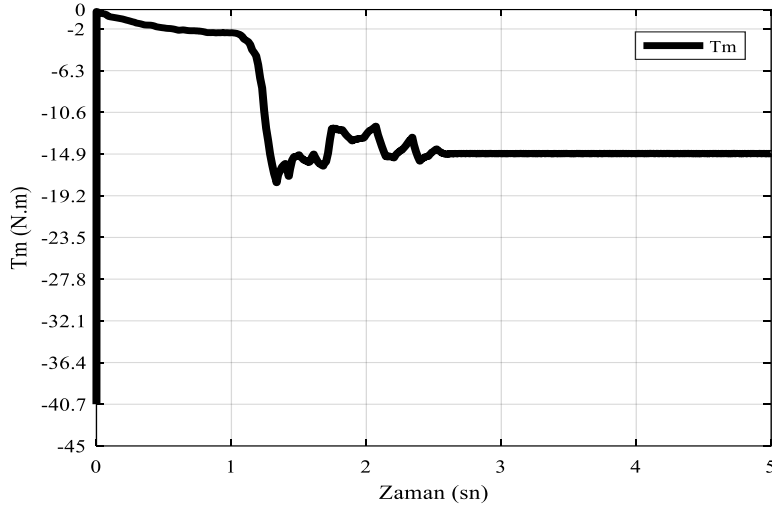
Şekil 6. Türbin Güç Katsayısı

Generatör 314 rad/s açılal hız ve 14.9 N.m tork değeri ile optimum çalışma noktasını yakalamıştır. Bu değerler Şekil 7 ve Şekil 8’de görölmektedir.



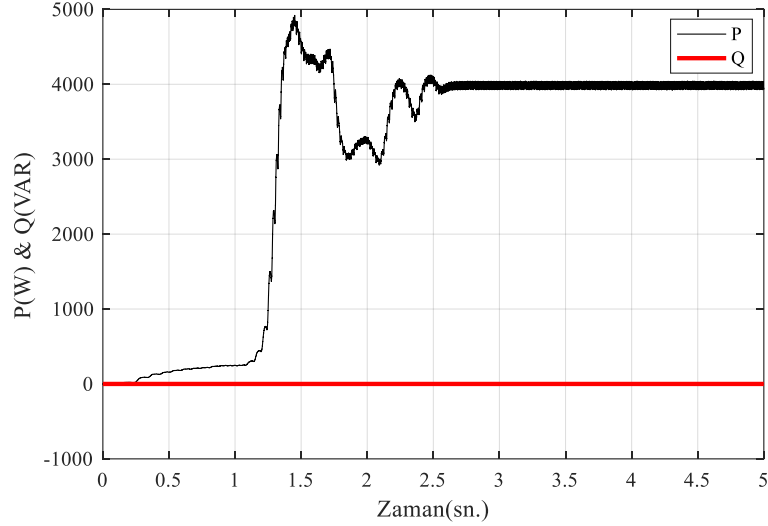
Şekil 7. Generator Açılal Hızı

Çalışmada 9 m/s rüzgâr hızında optimum lamda değeri ortalama 8.1 olarak belirlenmiştir. Türbin bu veriler ile istenen 14.9 N.m tork değerine yaklaşık olarak 2.6 sn. de ulaşmıştır.



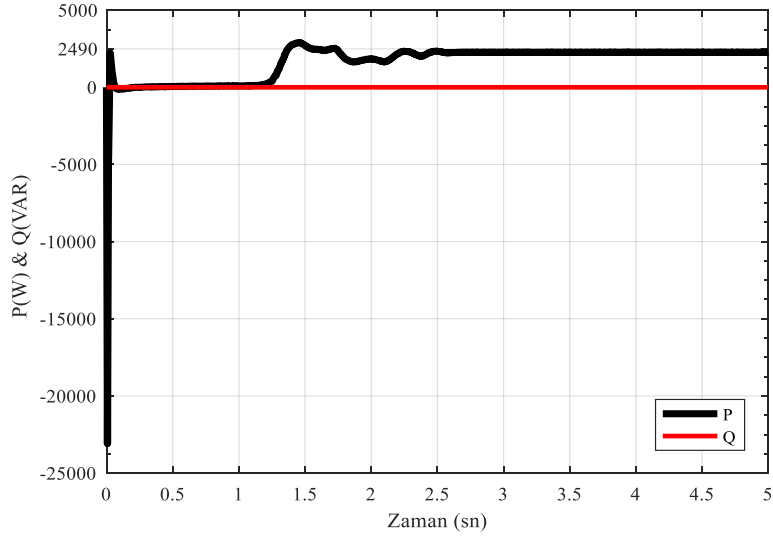
Şekil 8. Generator Mekaniksel Torku

Şekil 8’de generatörden elde edilen mekaniksel torkun açısal hıza bağlı olarak 2.6 sn. civarında istenilen değerine oturduğu görülmektedir. Şekil 9’da ise generatörün ürettiği aktif ve reaktif güç görülmektedir. Çalışmada reaktif güç oluşması istenmediğinden bu güç 0 referans değerinde tutulmuştur. Aktif güç ise generatör açısal hız grafiğini takip ederek sistemin istenilen hız değerlerinde maksimum gücü çekebilmesi sağlanmıştır ve 2.6 sn. sonunda 4000W değerinde sabit kalmıştır.



Şekil 9. Generatör Aktif ve Reaktif Gücü

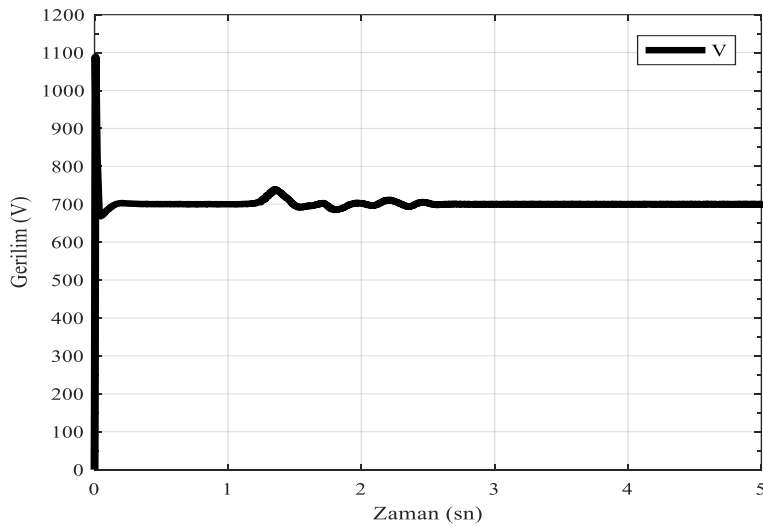
Şebekeye basılan aktif ve reaktif güçler ise Şekil 10 ile verilmektedir. Reaktif güç oluşumunun önlenmesi şebeke tarafında da kontrol altında tutulmuştur.



Şekil 10. Şebeke Aktif ve Reaktif Gücü

Şekil 7'den generatörün rüzgâr türbininin hızını takip edebilme başarısı görülürken, şekil 6'da da çalışma için en uygun lamda değerinin 8.1 ve maksimum güç katsayısının 0.48 olarak elde edildiği açıkça görülmektedir.

Generatör taraflı kontrol ile şebeke taraflı kontrol arasında 700 V gerilim değeri ile çalışan DA bara bulunmaktadır. Barayı oluşturan 1000 μ F değerli bir kapasitans, bara gerilimini sürekli sabit tutmak ve filtreleme yapmak amacı ile kullanılmıştır. Şekil 11'de baranın sabit tutulmaya çalışılan 700 V gerilim değeri görülmektedir.



Şekil 11. DA Bara Gerilimi

DA baradan elde edilen DA akım şebeke taraflı evirici vasıtasıyla AA akımadönüştürülmüş ve şebeke tarafına iletilmiştir.

VI. SONUÇ

Bu çalışmada rüzgâr hızı önce değişken hızlarda ve sonra sabit 9 m/s optimum rüzgâr hızında verilmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10 ile generatörün değişken rüzgâr hızlarıyla eş zamanlı olarak hızını ayarladığı ve buna göre güç ürettiği görülmüştür. Rüzgâr türbini 9 m/s rüzgâr hızında generatör optimum tork değeri olan 14.9 N.m değerini üretmiştir. Türbin generatörünün MGNT uygulamasını başarıyla gerçekleştirdiği, farklı hızlardaki maksimum güç noktalarında optimum lamda ve maksimum C_p güç katsayısı değerlerini üretebildiği Şekil 6'daki değerlerde görülmektedir. Bu optimum ve maksimum değerler ile elde edilen maksimum güç şebekeye aktarılmıştır. MATLAB/Simulink ortamında çalışmanın benzetimi yapılmış, rüzgâr hızı, generatörün ürettiği güç, şebekeye basılan güç, lamda- C_p eğrisi ve diğer sistem grafikleri benzetim sonuçları olarak verilmiştir.

Sonuç olarak, generatör tarafında kullanılan MGNT algoritması ile generatör, belirlediğimiz bir rüzgâr hızı için çalışabileceği optimum devir sayısı ile çalıştırılmış ve mevcut rüzgâr enerjisi potansiyelinden maksimum seviyede verim elde edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Döşoğlu, M. Kenan. "Hybrid low voltage ride through enhancement for transient stability capability in wind farms." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 78 (2016): 655-662.
- [2] Döşoğlu, M. Kenan. "A new approach for low voltage ride through capability in DFIG based wind farm." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 83 (2016): 251-258.
- [3] Döşoğlu, M. Kenan, and A. B. Arsoy. "Enhancement of a reduced order doubly fed induction generator model for wind farm transient stability analyses." *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences* 24.4 (2016): 2124-2134.
- [4] Döşoğlu, M. Kenan. "Enhancement of SDRU and RCC for low voltage ride through capability in DFIG based wind farm." *Electrical Engineering* (2016), doi:10.1007/s00202-016-0403-4.
- [5] LI, Hong-ru, and Shu-sheng GU. "Neural-network-based adaptive observer of position and speed of PMSM [J]." *Proceedings of the Csee* 12 (2002): 006.
- [6] Hasanien, Hany M., and S. M. Muyeen. "Design optimization of controller parameters used in variable speed wind energy conversion system by genetic algorithms." *IEEE Transactions on Sustainable Energy* 3.2 (2012): 200-208.
- [7] Singh, Mukhtiar, and Ambrish Chandra. "Application of adaptive network-based fuzzy inference system for sensorless control of PMSG-based wind turbine with nonlinear-load-compensation capabilities." *IEEE transactions on power electronics* 26.1 (2011): 165-175.
- [8] Li, Hui, K. L. Shi, and P. G. McLaren. "Neural-network-based sensorless maximum wind energy capture with compensated power coefficient." *IEEE transactions on industry applications* 41.6 (2005): 1548-1556.

- [9] D. Verma, S. Nema, A.M. Shandilya, Soubhagya Dash, Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol.54 2016 1018-1034.
- [10] Y. K. Ersagun, Rüzgâr Enerji Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takibi Yöntemleri, EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Tokat-TÜRKİYE, (2016) 115.
- [11] Nantao Huang, Simulation of Power Control of a Wind Turbine Permanent Magnet Synchronous Generator System, Yüksek Lisans Tezi, Marquette Üniversitesi, Wisconsin-USA, (2013).
- [12] M. Zhang, Maximum Power Point Tracking Control of the Permanent Magnet Synchronous Generator based Wind Turbine, Yüksek Lisans Tezi, University of Liverpool, Liverpool-İngiltere (2012)
- [13] Ali H. Kasem Alaboudy, Ahmed A. Daoud, Sobhy S.Desouky, Ahmed A. Salem, Ain Shams Engineering Journal, 4(1) ,2013, 75.
- [14] Oscar Barambones, Sliding Mode Control Strategy for Wind Turbine Power Maximization. Energies 2012,5, 2310-2330.
- [15] M. Ragheb and A. M. Ragheb, Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio, Intech, (2011).