風力発電機に作用する風速の推定法

学生員 小玉 成人 正員 松坂 知行 (八戸工業大学) 正員 猪股 登 (東北電力)

An estimating method of wind speed acting on a wind generator.
Naruhito Kodama, Non-member (Hachinohe Institute of Technology)
Tomoyuki Matsuzaka, Member (Hachinohe Institute of Technology)
Noboru Inomata, Member (Tohoku Electric Power Company)

The 500kW wind generator was developed as one of NEDO's projects, and several tests on its performance have been made so far. Based on the measurement data, we performed the modeling of the NEDO 500kW wind generator, and have investigated a method to reduce power variations under fluctuating wind conditions in complex terrain. In a control system design of a wind generator, It is important to obtain effective wind speed to drive a wind turbine. This paper presents an estimating method of wind speed acting on a wind turbine using a wind generator itself. The result showed that estimating wind speed almost agrees measured wind speed.

キーワード: 風力発電機, モデリング, 出力変動, 風速観測器

1. まえがき

風力エネルギーは再生可能で環境を汚染しないエネルギーであるという観点から、近時我が国においても実用化が推進されている。また NEDO プロジェクトの一つとして 500kW の大型風力発電機が開発され、竜飛ウィンドパークで諸特性が試験され、このデータを基に著者等はモデル構築、制御方策の検討を行ってきた。風力発電機の制御系の設計で難しい問題は、駆動エネルギーである風速の変動を正確に把握することである。風速の変動を把握できれば外乱抑制方策が立てられるが、風車に作用する風速を正確に求めることは必ずしも容易なことではない。そこで、本論文は風力発電機そのものを用いた作用風速の推定方法を提案するものである。基本的には風力発電機の動的モデルと、制御のために実測されるピッチ角、出力を用いて風速の観測器を構成し、観測器の出力から作用風速を求める方法である。本方法を NEDO 500kW 機の同定モデルに適用した結果、ハブ上で測定された実測値とほぼ一致し、風車に作用する風速として妥当であることが確認できたので報告する。

2. 風力発電機

まず今回の研究の対象としている NEDO 500kW 機的主要な構成について述べる。つぎに観測器を構築するために、この風車システムのモデリングについて述べる。

〈2.1〉風車の構成 NEDO 機の構成を図 1 に示す。

NEDO 機は、定格出力 500(kW)、ハブの高さ 38(m)、ブレードの長さ 19(m)の 3 枚羽根構成であり、出力の制御はピッチ角を変えることにより行われる。また、ナセル上に風速計を設置し、ハブの高さでの風速を測定できるようにしている。

図 1 風車の構成

Fig.1. Structure of the windmill.

(2.2) モデリング 風速の観測器を構築するために、風力発電機の風車および発電機のモデリングを行う⁽¹⁾。

風車トルクおよび発電機トルクの式は(1),(2)式となる。

$$T_w(t) = \frac{C_p(\lambda(t), \beta(t)) V_w^3(t) \rho A}{2\Omega(t)} \dots\dots\dots(1)$$

$$T_g(t) = K_g \Omega(t) \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 $V_w(t)$ ：風速、 ρ ：空気密度、 A ：風車の回転断面積、 $\Omega(t)$ ：風車の機械的角速度、 C_p ：出力係数、 $\lambda(t) = R\Omega(t)/V_w(t)$ ：周速比、 R ：風車の半径、 K_g ：定数

つぎに、風車の動特性は次式で表される。

$$T_w(t) = J \left(\frac{d\Omega(t)}{dt} \right) + T_g(t) \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 J ：風車の慣性モーメント

(1)～(3)式より、風力発電機の角速度、風速、ピッチ角の微小変化に対する関係式が以下のように導かれる。

$$J\Delta\dot{\Omega}(t) = (\gamma + K_g)\Delta\Omega(t) + \alpha\Delta V_w(t) + \delta\Delta\beta(t) \dots\dots\dots(4)$$

ここに、 $\Delta\beta(t)$ ：ピッチ角の微小変化、 $\Delta V_w(t)$ ：風速の変化、 $\Delta\Omega(t)$ ：角速度の変化

3. 風速の推定

つぎに、風速の観測器の構築を行う。(4)式をもとに風車に作用する風速は、発電機出力と実ピッチ角から次式を用いて逆算することができる。

$$\Delta V_w(s) = \frac{sJ + (\gamma + K_g)}{K_g\alpha} \Delta P(s) - \frac{\delta}{\alpha} \Delta\beta(s) \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 K_g ：定数、 $\Delta P(s) = K_g\Delta\Omega(s)$ ：発電機出力

しかし、このままでは微分を含んでしまうために実現が困難であり、またノイズの影響を受けやすくなってしまう。そこで、(5)式の微分の近似として次式に示す疑似微分を用いた観測器を提案する。

$$\Delta \hat{V}_w(s) = \left(\frac{J}{K_g\alpha T} \left(1 - \frac{1}{sT+1} \right) + \frac{\gamma + K_g}{K_g\alpha(sT+1)} \right) \Delta P(s) - \frac{\delta}{\alpha(sT+1)} \Delta\beta(s) \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 T ：疑似微分の時定数

得られた観測器を用い、図 2,3 に示す実測されたピッチ角と発電機出力より作用風速を推定した。その結果を図 4 に示す。図示のように、ハブ上の風速とはほぼ一致している。また、他のデータ区間に対しても風速の推定を行い、それぞれ相関を計算した結果を表 1 に示す。これらの結果から推定した風速が風車に作用する風速として妥当であると思われる。

表 1 相関

Table 1. Correlation.

	data1	data2	data3	data4	data5
相関係数	0.9112	0.8606	0.7824	0.7555	0.7513

図 2 ピッチ角
Fig.2. Pitch angle.

図 3 発電機出力
Fig.3. Generated power.

図 4 ハブ風速との比較

Fig.4. Hub wind speed and estimated wind speed.

4. まとめ

本論文は実測されたピッチ角および発電機出力から作用風速を推定する観測器を提案し、推定風速とハブ風速を比較したところ作用風速として妥当であることが確認できた。

(平成 12 年 02 月 23 日受付, 再受付)

文 献

- (1) Naruhito Kodama, Tomoyuki Matsuzaka, Sayoshi Yamada: " Modeling and analysis of the NEDO 500 kW wind generator", Proc. of NESC'99, Osaka, 235(1999)