

可変翼枚数風力発電装置の制御に関する研究 Studies on Maximum Power Tracking Control for Wind Turbine Generator System with Controlling the Number of Blades

学籍番号 06606 氏名 中内 誠

指導教員 山下 健一郎

概要

近年、燃料枯渇問題や環境問題の対策として、より環境負荷の少ない発電方式が求められている。本研究室でも、新型の小型風車として翼枚数を可変することのできる風力発電装置を提案した。これまでの研究では、同提案装置が6枚翼型風車と同等の高い始動性を有すること、3枚翼型風車と等しい高効率運転が可能であること、最大効率を保つためには最適な負荷調整が必要であることなどが明らかとなった^[1]。そこで本研究では提案装置の最大電力追従制御について検討を行う。まず、供試装置を用いた実験的検討を行った結果、同一の周速比に対して2つの出力係数が存在することが明らかとなった。このため、本提案装置の高効率運転を行うためには、これら2つのうち、より高い出力係数を選定する必要があることが判明した。

1. まえがき

近年、分散型独立電源として小型の風力発電システムが注目されている。小型の風力発電装置は、決して風況の良好とは言えない公園や市街地などでも使用される場合がある^{[2][3]}。そのため、このような風車には効率だけでなく、始動性も高いことが望まれている。

そこで筆者らは、プロペラ型風車の翼枚数による特性の違いに注目し、翼枚数の多い風車および少ない風車双方の利点を有する装置として、可変翼枚数風力発電装置を提案した。図1に提案した風力発電装置の構造を示す。図示のように、前後に配置された3枚翼ロータのブレードの重ね角 θ を同図(b)の簡易可変翼枚数機構を用いて調整することにより、翼枚数を等価的に6枚および3枚に切り換えることができる。

これまでの研究では同提案装置が多翼型風車と同等の高い始動性を有すること、通常3枚翼型風車と等しい高効率運転が可能であること、最大効率を保つためには最適な負荷調整が必要であることなどが明らかとなった^[1]。そこで本研究では提案装置を実際に運用するための制御として最大電力追従制御に着目し、これについて検討を行う。

2. 可変翼枚数風力発電装置の出力特性解析

本章では、製作した供試装置を用いて出力特性に関する様々な検討を行う。図2はその一例で、周速比 λ (ブレード先端速度と風速の比)に対する出力係数 C_p (風車の効率)を示したものである。図中の破線で囲んだプロット点は供試装置の出力特性を示したおり、破線は供試装置と同じ形状のブレードを有する3枚翼型風車および6枚翼型風車の出力特性を示した。図より、供試装置の出力係数 C_p は $\lambda=9$ のときに最大となり、 $\lambda \geq 9$ の領域では6枚翼型風車の特性に類似しており、 $\lambda \leq 9$ の領域においては3枚翼型風車の特性に類似している。また、 $\lambda=9$ に対する C_p が2つ存在することがわかる。本風車の効率を最大に保つためにはこれらの C_p から、より高い C_p を選定する必要があることが判明した。

3. 提案システムの最大電力追従制御法

本章では前章の結果を基に、本風力発電装置の最大電力追

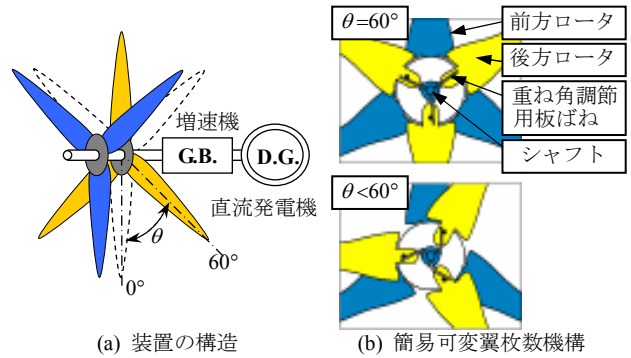


図1. 供試可変翼枚数風力発電装置の構造

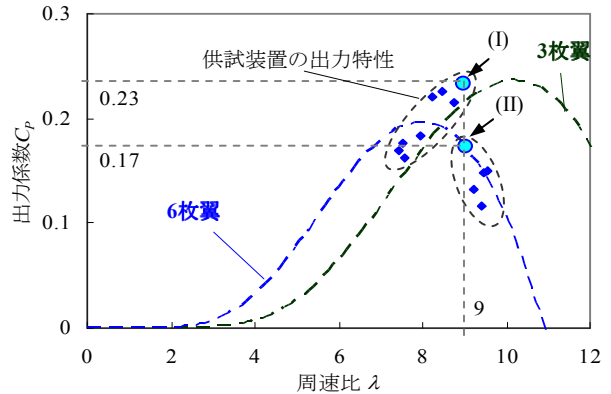


図2. 周速比 λ に対する出力係数 C_p

従制御法について検討する。風車の出力を最大にするためには C_p を最大に保つ必要がある。また、 C_p は λ により大きく変動するため、これを調整するためには風車の回転速度を制御すればよい。そこで、本システムの最大電力追従制御法としては、負荷電流調整による回転速度制御を用いることとする。

負荷電流調整により、回転速度を制御するためには最大電力を得ることのできる最適な電機子電流の値を知る必要がある。これを電機子電流指令値 I_{arref} として導出すると次式となる。

$$I_{arref} = \frac{K\omega_i^3 - (R\omega_i^2 + G_{loss}\omega_i)}{V_a} \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{2} C_{pmax} \rho A \left(\frac{R}{\lambda'} \right)^3 \quad (2)$$

但し、 ω_i :ロータの機械角速度、 R :制動係数、 G_{loss} :ギヤによる損失トルク、 V_a :発電機電機子電圧、 C_{pmax} :出力係数最大値、 ρ :空気密度、 A :受風面積、 R :ブレード半径、 λ' :出力係数が最大となる場合の周速比。
前章で述べたように、同一の周速比 λ に対する出力係数 C_p

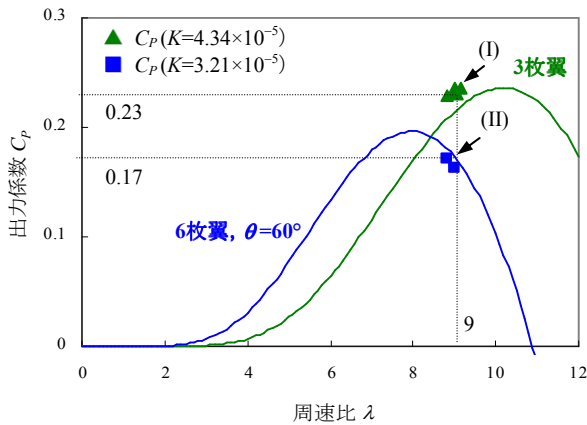


図3 提案した制御法を用いて制御した場合の C_p

が複数存在する場合でも各 C_p の値により(2)式の K の値が異なる。図2中の点(I)の場合は $K=4.34 \times 10^{-5}$ となり、点(II)の場合には $K=3.21 \times 10^{-5}$ となるため、(1)式を用いれば同一の λ に対する任意の C_p を選定することが可能であると考えられる。

4. 最大電力追従制御法の実験的検討

本章ではまず、提案した制御法の有用性について検討する。図3はその結果で、種々な風速において、(1)式を用いて電機子電流 I_a を電機子電流指令値 $I_{a\text{ref}}$ となるように調節した場合の出力特性である。図より、点(I)の K の値から得られた電機子電流指令値 $I_{a\text{ref}}$ ((1)式を用いた場合、いずれの場合も最大電力点を追従可能であること、点(II)の K から得られた指令値を用いた場合は風車の負荷が適正負荷よりも小さくなるため、6枚翼型風車の特性となることが判明した。以上より、提案装置に対する最大電力追従制御として本制御法が有用であることが明らかとなった。

さて、(1)式より、制御に必要な検出量としては発電機電機子電流 I_a 、ロータの機械角速度 ω_t ならびに発電機電機子電圧 V_a が挙げられるが、 ω_t を元に V_a を算出することにより、検出量の削減が可能であると考えられる。そこで、 I_a 、 ω_t を検出し、 V_a を ω_t より推定した場合の電機子電流指令値を算出した。本装置に採用している永久磁石直流発電機の出力電圧 V_a は無負荷の場合 ω_t に比例するので V_a を推定する際、これを用いることとした(実験の結果、 $V_a = 0.1003\omega_t$)。その結果、算出した電機子電流指令値 $I_{a\text{ref}}$ は V_a を検出した場合と比較して低い値となった。これは、発電機の電圧降下や電機子反作用があるため、 V_a の推定値が本来の値より大きくなるためであると考えられる。従って、 V_a を推定するためには、発電機の電圧降下や電機子反作用の影響を考慮する必要があることがわかった。そこで、これについて検討を行うため、供試装置に用いた発電機の電圧変動特性を測定した。図4はその結果で、発電機の電機子電流に対する電機子抵抗 R_a の電圧降下を考慮した電機子電圧を示したものである。図中のプロット点は V_a の実測値であり、点線は電機子反作用を考慮しない V_a の推定値($V_a = 0.1003\omega_t - R_a I_a$)である。図より、軽負荷時を除けばいずれの回転速度においても推定値と実測値の差には線形関係があることがわかる。そこで、電機子電圧の推定にはこの線形関係を用いることとする。これにより得られた機械角速度から電機子電圧を推定する方程式は次式となる。

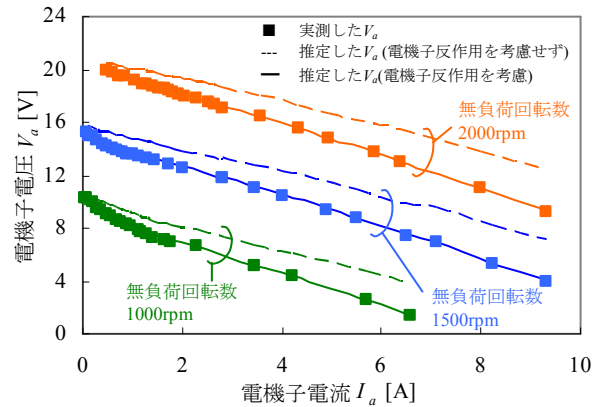


図4 供試装置に用いた発電機の電圧変動率

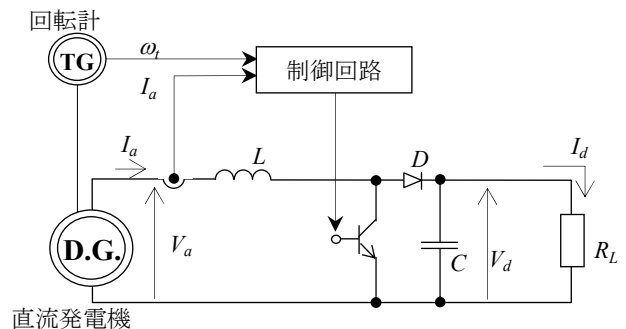


図5 提案する制御システム

$$V_a = 0.1003\omega_t - (R_a + 0.27)I_a - 0.6 \dots \dots \dots (3)$$

図中の実線は(3)式により推定された電機子電圧 V_a の特性であり、図示のように実測値と一致していることから、(3)式を用いることにより V_a を推定可能であることが判明した。

以上のことから提案する制御システムの構成例として昇圧チョップを用いた制御回路を図5に示す。本制御では図示のように、発電機の回転角速度 ω_t 、電機子電流 I_a を検出する。これらから推定された電機子電圧 V_a と ω_t を用いて、制御回路において電機子電流指令値 $I_{a\text{ref}}$ を算出する。また、検出した I_a が $I_{a\text{ref}}$ となるように V_d を調整するものである。このような制御システムを用いることにより、 ω_t と I_a の検出のみで可変翼枚数風力発電装置の最大電力追従制御が可能であると考えられる。

5. むすび

本研究では可変翼枚数風力発電システムの最大電力を追従する制御法を提案した。その結果、実験より得られた出力係数最大値などから電機子電流の最適値を算出することにより、同一周速比において複数の最大電力点のあらわれる可変翼枚数風力発電装置の高効率運転が可能であることが判明した。また、発電機の線形性を利用しロータの回転角速度から発電機の電機子電圧を推定することにより検出しなければならない値を減らすことが可能であることが明らかとなった。

参考文献

- [1] 中内誠, 山下健一郎:「可変翼枚数風力発電装置の最大電力追従制御に関する研究」, pp.162-164, 八王子産学公連携機構 第7回研究成果発表講演会, (2007)
- [2] 牛山泉:「風力エネルギーの基礎」, オーム社, (2005)
- [3] 牛山泉:「風車工学入門」, オーム社, (2002)