

学 位 論 文 の 要 旨

氏 名

宮川 隆寛

学位論文題目

巻線形誘導発電機風力発電システムの制御法と
タワーシャドー効果の抑制

本論文では巻線形誘導発電機による風力発電システムの構成を示し、特に風車を用いた風力発電において生ずるタワーシャドー効果を抑制する制御法について提案する。風車による風力発電においては、タワーシャドー効果により発電機の回転速度が変動し、結果として、発電出力も変動する。そのため、この効果を抑制し、指令電力に相当する電力を系統に加えることが可能な制御法が必要とされる。本研究では巻線形誘導発電機の出力制御としてベクトル制御を用いることでタワーシャドー効果を抑制できることをシミュレーションで確認した。

第1章ではこの研究の背景について述べている。特に、風力発電に巻線形誘導発電機を用いると回転速度が超同期速度から次同期速度までの広範囲における発電が可能であり、小容量の二次励磁で制御が可能な発電方式であることについて説明している。

第2章ではシステム構成について全体の制御ブロックを示し、各部の動作について述べている。特に巻線形誘導発電機の定常時における特性を調べるため、ベクトル図や等価回路を用いて電圧、電流の関係を表し、シミュレーションより定常時の特性を求めた。

第3章では特に系統と並列に接続するときには過大電流が流入するのを妨げるため連結前に巻線形誘導発電機の固定子電圧と系統の電圧が等しくなるように回転子電圧を調整して過大電流の流入を妨げている。また、電力制御用シミュレーションソフト PSIM を用いて系統との並列接続時に過大電流の流入を妨げ速やかに定常に到達することをシミュレーションで確認した。

第4章では変速時の出力制御を定常時の特性を用いたフィードフォワード制御について述べている。タワーシャドー効果による回転速度の変化に対して発電出力の影響をどれくらい抑えることが出来るのかを確認した。

第5章ではベクトル制御法を用いた制御法について述べている。特に、制御性能の確認のため、有効電力および無効電力の指令値や回転速度の変化に対する電力変動をシミュレーションで確認した。この結果から本ベクトル制御法を用いることでタワーシャドー効果による影響を抑えることが可能であることを確認した。

第6章では5章で述べたベクトル制御に加え、風車特性を考慮したタワーシャドー効果の抑制をおこなった。

第7章では、本研究で得られた結果について第1章から第6章までを総括した。

論文審査の要旨

報告番号	理工論 第 56 号		氏 名	宮川 隆寛
審査委員	主 査	田中 哲郎		
	副 査	川畑 秋馬		柚木 謙一

学位論文題目 巻線形誘導発電機風力発電システムの制御法とタワーシャドー効果の抑制
(A Control Method of Wind Power System Using a Wound-Rotor Induction Generator and Suppression of Tower Shadow Effect)

審査要旨

提出された学位論文及び論文目録等を基に学位論文審査を実施した。本論文は巻線形誘導発電機による風力発電システムの構成を提案し、特に風車を用いた風力発電において発生するタワーシャドー効果を抑制する制御法について述べたもので、全7章より構成されている。

第1章は緒論である。本研究の背景と目的について説明している。

第2章では、巻線形誘導発電機を用いた風力発電システムにおける発電出力を制御するための、回転子電圧（二次励磁電圧）の調整法について述べている。提案システムにおける巻線形誘導機の回転子および固定子の定常時電圧・電流ベクトルについて説明し、動作確認のため電力解析用ソフトであるPSIMを用いたシミュレーションをおこなっている。

第3章では、提案システムが系統並列時に生じさせる突入電流や電圧降下を抑制する制御法を提案し、良好な結果を得ている。

第4章では、風車変速時における電力制御法について述べている。指令電力追従に必要な回転子電圧の定常値を数値表から読み込み、回転子電圧の指令値とすること（フィードフォワード制御）で、速やかな定常状態への移行が可能となることを示している。同時に、このような静的モデルに基づくフィードフォワード制御では、過渡時のオーバシュートを抑制できないことを明らかにしている。さらに、二次励磁電圧と発電電力の関係をモデル化し制御則に取り入れることで、オーバシュートも含めた出力変動を抑制可能な非干渉制御法について説明している。

第5章では、ベクトル制御法を用いた電力制御について述べている。提案システムは巻線形誘導発電機システムに固定子磁束上でのベクトル制御を適用したものであり、有効電力・無効電力の瞬時制御、およびタワーシャドー効果の影響の抑制が可能であることをシミュレーションにより明らかにしている。

第6章では、第5章で述べたベクトル制御に加え、風車特性を考慮し、風速を入力としたときのタワーシャドー効果による発電出力変動の抑制について述べている。

第7章は結論である。第1章から第6章で得た結果についてまとめたものである。

以上、本論文は巻線形誘導発電機による風力発電システムの制御に関する総合的な研究で、特にタワーシャドー効果の抑制を目標に検討を行い、固定子磁束上でのベクトル制御を用いることで、有効電力・無効電力の瞬時制御、およびタワーシャドー効果の影響の抑制が可能であることをシミュレーションにより明らかにした。これは、エネルギー変換工学に大きく寄与する。よって、審査委員会は博士（工学）の学位論文として合格と判定する。

学 力 確 認 結 果 の 要 旨

報 告 番 号	理工論 第 56 号		氏 名	宮川 隆寛
審 査 委 員	主 査	田中 哲郎		
	副 査	川畑 秋馬		柚木 謙一

平成21年2月16日15時から行われた学位論文発表会において、審査委員3名を含む18名の前で学位論文の内容が説明され、その後、以下に示すような質疑応答が行われた。いずれの質疑に対しても満足すべき回答を得ることができた。

〔質問〕誘導発電機の極数が4極と6極のものを用いているが、これはどうしてか？

〔回答〕当初、6極機で研究を始めたが、今後の実験との比較のため、実験装置に合わせて4極機に変更したためである。

〔質問〕3章の突入電流制御で系統電圧に合わせるように発電機出力電圧を制御しているが、このとき出力電力のPI制御において積分器に偏差が累積するのではないか？

〔回答〕突入電流制御が働いている間は、電力指令を零としており、そのため偏差の累積は起こらない。

〔質問〕6章で、電力指令のステップ応答において、有効電力と無効電力に細かな変動が残っているが、この変動は本質的にとれないものなのか？

〔回答〕PI制御のパラメータが4つあり調整が難しいが、これらのパラメータ調整で変動を取り除くことは可能と思われる。

〔質問〕タワーシャドー効果の影響を抑制するのにベクトル制御は必ず必要か？

〔回答〕ベクトル制御でなくても可能であるが、現在、ベクトル制御は一般的になっており、性能を考えるとベクトル制御が最善と考える。

〔質問〕シミュレーションで与えるタワーシャドー効果の定量的な根拠は何か？

〔回答〕メーカーは詳しいデータを出していないが、定格の±5%程度を見込んで与えている。

〔質問〕主にシミュレーションを用いて研究結果を導いているが、実機に適用できるのか？

〔回答〕風力発電はMWクラスへ大型化が進んでおり、このクラスになるといきなり実験は難しい。新しい提案はシミュレーション結果をみて、実用化を検討するというのが通常の手順であり、問題ないと考える。

〔質問〕風車特性を表すモデルが、式を見る限りでは簡単すぎるのではないか？

〔回答〕本研究で用いた風車特性のモデルは、多くの教科書や論文で採用されている標準的なモデルである。

〔質問〕現状、風力発電システムに巻線形誘導発電機はあまり使われていないと思うが、この研究で巻線形誘導発電機のメリットを示せたか？

〔回答〕巻線形誘導発電機が用いられない理由の1つは、同期発電機、かご形誘導発電機はブラシレスだが、巻線形誘導発電機にはブラシがありメンテナンス性に劣る点があるためである。しかし、本研究で提案したシステムには出力電力制御の点ですぐれた機能性があり、このような機能性は他の方式の発電機では実現できない。この機能性を優位と見れば、実用化につながると考える。

以上の質疑応答およびその他の質疑に対する応答、ならびに、語学力についても専門に関する学術論文の英文和訳の課題に対して適切な和訳がなされていることから、審査委員会は、申請者が博士（工学）の学位を与えるに十分な学力と見識を有するものと認定した。