回転型周波数変換装置の制御装置の設計

|  |  |
| --- | --- |
| E06066 仲尾佳那 | 指導教員 藤田吾郎 |

1. はじめに

近年，地球温暖化や大気汚染などの環境問題が顕在化しつつある。これらの対策として，温室効果ガスや硫黄酸化物等の大気汚染物質を発生しないクリーンな新エネルギーが求められている。新エネルギーの中でも風力発電のエネルギー源である風力は無尽蔵で水や空気を汚染せず，核燃料を使用しないため，その実用性は非常に高いとされている。

現在，日本でも2010年までに風力発電を300万kW導入することを目標としている [1]。しかし，風力発電の出力はその変動が大きく不安定であり，さらに，予測が難く出力制御も難しい。この電源を商用系統に導入した際に電圧変動や周波数変動などの電力品質低下が懸念され，近年の導入への障壁となっている。

今日，この問題の解決策として，風力発電出力安定化，出力制御について研究が行われている。本稿では，この解決策の一つとして，ウィンドファームと商用系統の間に安定化装置を導入し，商用系統に悪影響を与えない連系方式として「回転型周波数変換装置」を提案する。

2.　回転型周波数変換装置

2.1　回転型周波数変換装置の構成

本研究では，将来の風力発電システムの単機大容量化と系統導入容量の増加に対応した問題点を解決する連系方式として，可変速機（以下 DFM: Double-Fed-Machine）を応用した回転型周波数変換装置（以下 RFC: Rotary Frequency Converter）を提案する。図1に提案する連系方式の構成を示す。基本的な考え方は次の通りである。

1. 従来の個々の発電機ごとに設置される可変速風力発電システムではなく，ウィンドファ－ム全体としての設備として設置する。
2. 半導体応用の静止型の系統連系装置ではなく，コスト上も安く慣性エネルギーが活用できる回転型の系統連系装置とする。
3. 連系装置は同期機と可変速機を軸で直結させた構造の回転型連系装置を適用する。本装置は，既に発表論文にてシミュレ－ションによりその基本特性を把握している。

RFCは図1に示すようにDFMと同期機を軸直結させた構造とし，ウィンドファーム側を同期機，商用系統側をDFMで連系する。同期電動機（SM）の端子電圧一定制御（AVR）により連結軸の回転数を安定化し，DFMにおいて電力エネルギーに再変換し出力電力を平滑化する。回転速度はウィンドファ－ム側系統の周波数と同期させる。ウィンドファ－ム側系統の周波数と商用系統周波数とのすべり周波数は連系装置のDFMの可変速範囲（定格の10～20％程度）で吸収する。すなわち，連系装置の機械的回転速度はウィンドファーム側系統の周波数とともに変化するが，DFMの内部磁束は商用系統側と常に同期を維持するようにインバータにより制御される[2]。



図1　回転型周波数変換装置

2.2　回転型周波数変換装置の制御

本研究で提案するLFCでは，二次励磁可変速機の二次励磁を制御することでDFMの出力電圧と出力有効・無効電力を独立に制御することが可能である。電圧可変運転時のベクトル図を，図2に示した。また，出力有効・無効電力可変運転時のベクトル図を図3に示した。どちらの場合も，濃線が定常（可変前）運転状態を示しており，薄線が可変後の運転状態を示している。つまり，二次励磁を制御することで，濃線から薄線へ運転状態を移行することが読み取れる。

3.　制御実験

3.1　制御実験目的

RFCの構成要素の一つである同期電動機の動作特性や制御応答はすでに明らかになっており，信頼性の高い数値解析モデルも存在している。しかし，RFCの系統連系側に用いられるDFMの数値解析モデルは存在し実際にDFMを用いたシステムは存在するが，その制御要件や運転特性について公開されているものは数少ない。そこで本稿では，DFMのミニュチュア試作機を用い制御応答特性や機器的な制約を明確にすることを目的としDFMの実験機を用いた制御実験を行った。

3.2　制御実験プログラム

RFCにおけるDFMの出力電圧・周波数は，連系系統側の電圧，有効・無効電力，周波数により決定される。しかし，本稿ではDFMの制御特性を把握するため，制御目標値を任意に決定することを可能にした。これにより，制御目標値にランプ状，ステップ状の変化を与え制御応答を確認することが可能となる。また，外乱として負荷変動を導入した場合の応答も記録し確認できる仕様とした。DFMの出力制御である電圧制御，及び周波数制御に用いた制御プログラムのフローチャートを図4に示した。図4に示した通り，電圧制御，周波数制御ともにPI制御を用いている。DFMの出力電圧及び出力周波数を各々独立に制御を行う。



図2　出力電圧制御



図3　有効・無効電力制御



図4　制御フローチャート

3.2 実験機からの制約

本研究では，既存の三相巻線型三相誘導電動機を改良し用いた可変速発電機を実験用として用いている。また，二次励磁機構に用いているインバータも作成した。このインバータのキャリア波の振幅は5Vである。変調率が1を超えるとインバータが破損してしまうので，制御プログラムからの励磁信号を変調率が1を超えないように決定する必要がある。今回製作した制御プログラムにはインバータ保護のために出力信号の上限を定めるプログラムが組み込まれている。

3.3　電圧・周波数制御実験

今回製作したプログラムの制御特性を把握するために，電圧と周波数の両方に別々の外乱を与え，制御実験を行った。今回は電圧制御の結果のみを記載する。

基本特性の一つとして，安定運転状態からのステップ応答を観測した。まず，100Vで安定運転し，実験開始5s後に，目標電圧を120Vに設定した。そのときの制御状況を図5に示す。次に，100Vで安定運転し，実験開始5s後に，目標電圧を80Vに設定した。そのときの制御状況を図6に示す。なお，電圧制御におけるPIパラメータ$K\_{VP}=0.8,K\_{VI}=0.01$は限界感度法を用いて決定した。



図5　電圧制御結果1



図6　電圧制御結果2

4.　実験結果・考察

　電圧制御においては，図5，図6より上・下方向のステップ応答に対して追従し，安定することが確認できた。応答特性としては，追従に0.73[s]程度制御遅れがある。これは，制御機器部分の遅れも含まれており可変速機の応答のみではない。しかし，可変速機の制御特性を把握するには制御機器の応答を考慮する必要があると考える。さらに，制御ゲインについての限界感度法では最適化に限界があり，制御ゲインの最適化を行えば応答速度を上げることができると考える。

4.　今後の展望

　今後は，可変速機のみの制御特性把握を検討するとともに制御ゲインの最適化を検討したい。また，今回得られた制御結果をもとに可変速機の数値解析モデルを作成し系統RFCの数値解析モデルを完成させたいと考える。

参考文献

1. 有限責任中間法人　日本風力発電協会，「風力発電の現状と導入拡大に向けて」(2009-4)
2. 竹本泰敏・藤田吾郎・横山隆一・小柳薫・舟橋俊久, 「回転型周波数変換装置の実験的検証」，電気学会論文誌B, Vol.128, No.6 (2008)