

系統連系保護機能付き 電圧変動補償装置の開発

Development of Voltage Fluctuation Compensator having a Function to Prevent Islanding of a Grid- connected Wind Energy Conversion System

岡本 光明*
M. Okamoto

多田 知史**
S. Tada

蓑輪 義文***
Y. Minowa

川上了 司**
R. Kawakami

西村 莊治***
S. Nishimura

Synopsis

Nowadays, Many of wind power generation system are installed in Japan. The wind power generation systems are possible to cause voltage fluctuation and islanding phenomenon in the power distribution line.

Then, we developed voltage fluctuation compensator with new principle protection function for islanding phenomenon.

This paper describes design, plot-type equipment and test results of this equipment.

1. ま え が き

近年、風力発電システムの導入例が増えているが、大容量化に伴って電圧変動問題が顕在化し、電圧変動対策に無効電力補償装置（SVC：Static Var Compensator）を設置する例が増加している。一方、風力発電システムは、系統の停電時に単独運転保護を行う必要があり、単独運転保護装置の設置や電力会社からの転送遮断を行なっている。しかし、単独運転保護装置はコストや運用上の課題があり、また保護機能として自律方式が望まれている。

そこで、風力発電などの分散電源用として新しい原理に基づく能動式単独運転保護機能を一体化した電圧変動補償装置を開発した。

本装置は、電圧型自励式インバータで構成されており、風力発電機の有効・無効電力を検出してインバータから補償電力を出力する。また、能動式単独運転保護機能は、系統に存在しない非整数次高調波電流を系統に注入し、同次調波電圧・電流を計測してリアルタイムに系統インピーダンスを求め、停電時のインピーダンス変化を検出して単独運転状態を判断する「次数間高調波注入方式」を採用している。本装置では、次数間高調波電流は電圧

変動補償電流に重畳して出力することでインバータを一体化した特徴を有している。

本論文では、開発した装置の仕様、構成、および関西電力（株）黒川風力発電所で実施している現地試験結果について報告する。

2. 風力発電システムの系統連系に関する課題

風力発電システムは、現在は誘導発電機を用いるシステムが主流である。一般的に誘導発電機タイプの風力発電機は、起動時には電動機モードで定格回転数まで加速し、定格回転数になった時点で発電モードに移行して発電を行う。発電機の種類にもよるが、起動時は電動機モードであるため、定格容量の1.5倍程度の電流が流れる場合があり、連系点電圧変動の課題を有する。

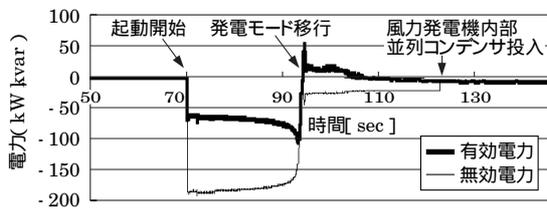
黒川風力発電所は、定格容量30kW/150kWの風力発電機が設置されている。6.6kV受電で、配電線長は配電用変電所まで約20kmである。図1に風力発電機起動時の電力特性例を示す。比較的配電線長が長いので、図1(a)に示すように、起動時には有効電力最大値100kW、無効電力最大値180kvar（遅相）、最大起動時間約30秒、電圧低下約5%というデータが観測されている。⁽¹⁾

最近では600kW機などの大容量機を設置する事例が増えており、黒川風力発電所のデータから推察すると、系統インピーダンス条件によっては10%近い電圧低下が

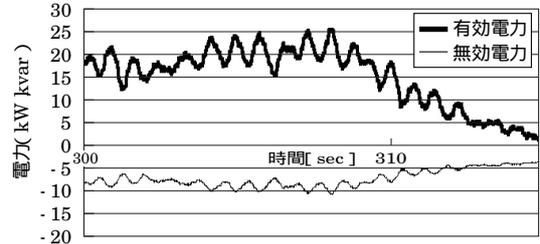
* 関西電力（株）

** エネルギー事業部 新エネルギーシステム部

*** 技術開発センター システム開発グループ



(a) 起動時の電力



(b) 発電時の電力

図1 風力発電機の電力特性

生じる可能性がある。また、風力発電機は風速に応じて発電電力が周期的に変動するので、大容量機の場合はフリック対策も必要となる。図1(b)に風力発電機発電時の電力特性を示す。風速による電力変動以外に、タワーシャドウ効果によるものと思われる1Hz近傍の電力変動が現れている。

風力発電システムのように常時生じる電圧変動対策としては、一般的には無効電力を調整して電圧を制御することができるSVCを用いる場合が多い。また電力系統の停電発生時には発電設備の単独運転を早急に検出して系統から確実に解列する必要がある、「電力系統連系技術要件ガイドライン」において、単独運転検出方式(能動的方式)の適用が定められている。

しかし、電力変動により系統に諸変動を引き起こす可能性や、単独運転検出装置が複数台設置された場合には相互干渉による検出不感帯が生じ、確実に単独運転検出ができない可能性が考えられる。検出時限については、数秒～10秒程度を要する課題が残されている。また、変電所側配電線遮断器の「切」情報を送信して停止を行う転送遮断方式もあるが、通信信号線等の通信設備を新たに設ける必要がある。

よって、系統への影響が小さく、複数台設置された場合でも相互干渉を受けない、高速(0.5～1秒程度)検出

が可能な単独運転検出方式が必要となる。

3. 電圧変動補償装置

今回開発した装置は、基本的には無効電力による電圧調整が主機能であるが、今後の風力発電システム設置諸条件を考慮し、二次電池を用いて有効電力補償による補償評価も行えるようにした。

装置容量は、電圧変動の改善率を50%に設定して起動時の有効・無効電力をそれぞれ50%補償するために、有効電力50kW、無効電力100kvarに決定した。

また、風力発電機は誘導発電機を用いているために遅相無効電力が生じるが、発電機内に力率改善コンデンサを有しており、30kW発電モードの定常無効電力はほぼ0kvar、150kW発電モードの定常無効電力は遅相約50kvarである。よって、その平均値の25kvarの進相コンデンサを併用して補償無効電力を進相増しにすることで変換器容量を低減した。変換器容量は、有効電力50kW、無効電力75kvarの平方和90kVAを基本とし、さらに次数間高調波注入電力10kVAを見越して、変換器容量は定格100kVAとした。

また、直流回路については、大電流を出力可能なサイクル充放電用鉛電池を用いた。

図2にシステム構成を、図3に制御ブロックを示す。

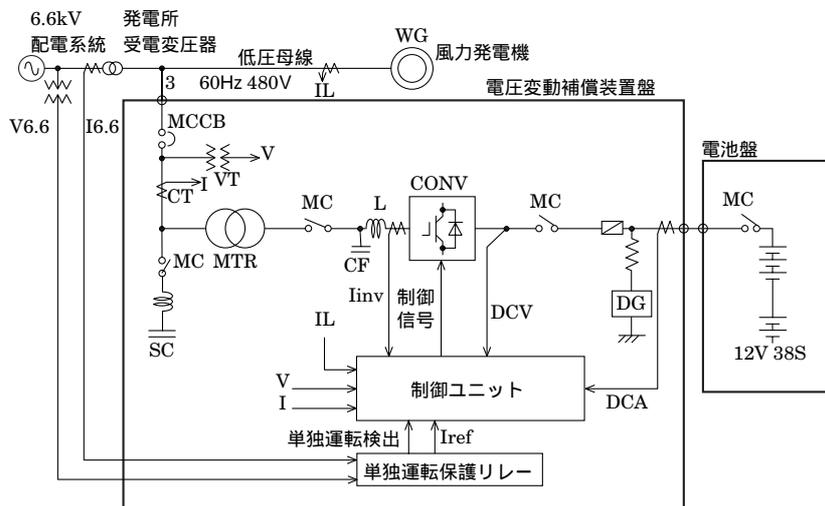


図2 システム構成図

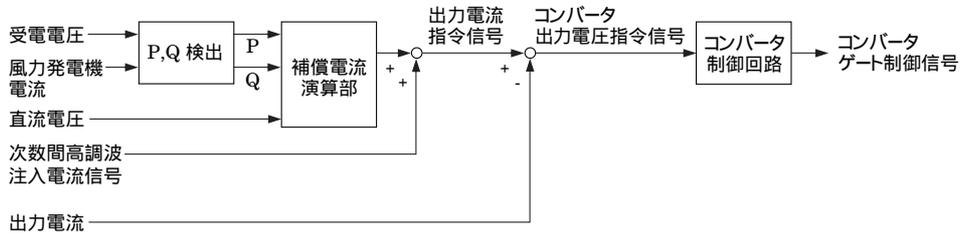


図3 制御ブロック図

4. 単独運転保護方式（能動的方式）

本装置は、約6kVA程度の次数間高調波電力を注入し、6.6kV配電系の三相電圧・電流から注入調波に対する系統インピーダンスを算出する。その際、PLL（Phase Locked Loop）回路を用いて系統電圧周波数に対して同期サンプリング計測（サンプリング周期は基本波周波数に対して128点）とすることで、次数間高調波計測によるバックノイズレベルを低減させ、高精度な計測を実現している。また、インピーダンスは基本波16周期（約0.3秒）計測データより算出し、過去値（1秒前算出値）と現在値との比較により、その変化量をとらえ、単独運転判定を行なっている。

本単独運転保護装置は次の特長がある。

- (1) 本来、定常的に系統に存在しない次数間高調波を用いているので、小容量注入が可能となり系統への影響が小さく、総合高調波電圧歪み率を僅かに上昇させるだけである。
- (2) 次数間高調波を適用し、高速サンプリング計測により、単独運転検出時間0.5～1秒程度の短時間検出が可能である。
- (3) 同方式の単独運転保護装置が複数台設置された場合でも、互いの注入周波数を分離することにより相互干渉を受けない。

5. 黒川風力発電所の試験結果

本装置を試作して黒川風力発電所に設置し、1999年11月から電圧変動補償機能と単独運転保護機能の検証試験を実施している。図4に本装置の設置状況を示す。

5・1 電圧変動補償機能検証試験

風力発電機起動時の電圧変動が最も大きいことから、起動時の補償効果を確認した。図5に試験結果の波形を示す。



図4 系統連系保護機能付き電圧変動補償装置

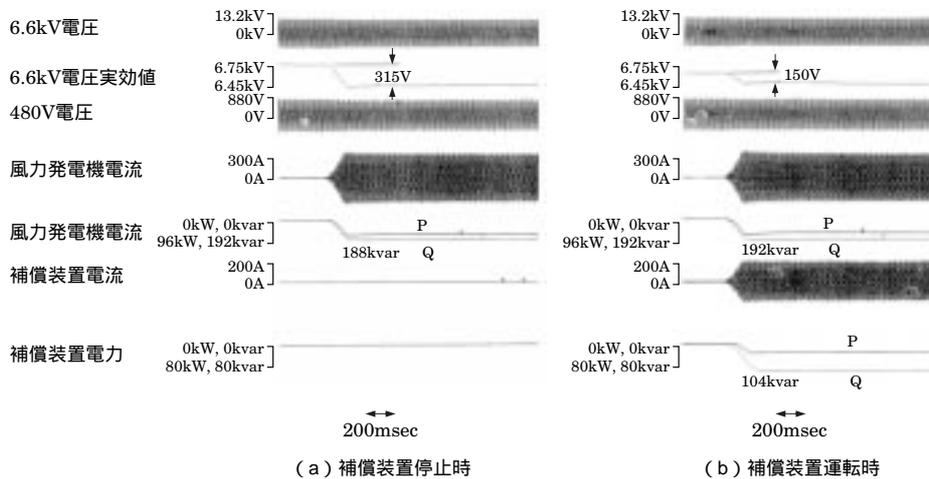


図5 風力発電機起動時の試験結果

本装置停止時は6.6kV側電圧変動は315Vである。一方、運転時は150Vと半減しており、設計どおり電圧変動が50%改善されていることが確認できた。

また、本装置より出力している補償電力は風車起動電力にほぼ追従しており、高速応答性についても確認できた。

5・2 単独運転保護機能検証試験

黒川風力発電所では、2,375次調波成分を6.6kV系基本波電圧に対し、歪みが系統に影響を与えない程度とすることを考慮して0.3%程度の歪みとなるよう三相注入し、注入次数2,375次の系統アドミタンス（インピーダンスの逆数）計測による系統サセプタンス（アドミタンスの虚部）監視を行なっている。

図6に次数間高調波（2,375次調波）注入時の系統電圧周波数特性を示す。注入次数（2,375次）成分は他の（周辺の）次数間高調波成分より十分大きいことが分かるが、これは、本方式で注入次数の完全分離が可能（相互干渉を受けない）であることを示している。

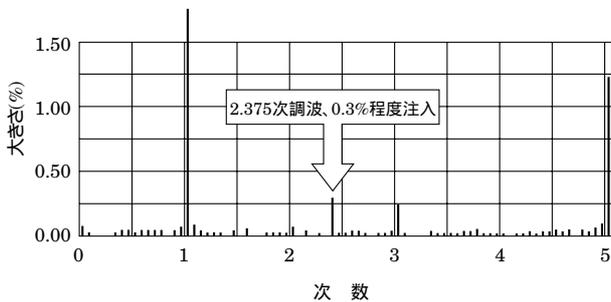


図6 2,375次調波注入時における周波数特性（6.6kV系電圧）

今回は試験の都合上、図7に示すように発電所内において単独運転状態を発生させて実施した。

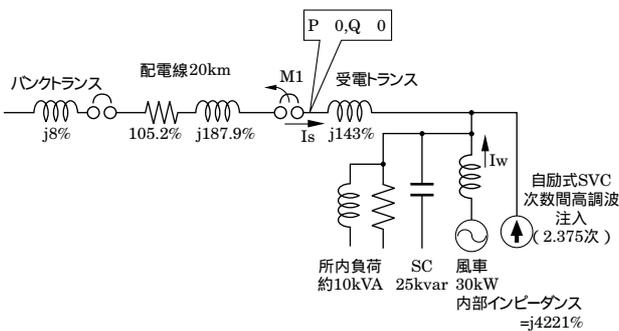


図7 試験回路構成図

発電所受電点において、電力需給関係が有効電力 0 および無効電力 0の平衡状態となるよう、所内負荷と電圧変動補償装置にて調整し、所内受電点の遮断器を開放することで、低圧系での単独運転状態を実現した。

図8に試験結果を示す。装置の単独運転判定レベル設定値 - 0.05 pu（連系時のサセプタンス値 - 0.12 puの約50%値）、継続設定時間0.5秒で単独運転を検出するものとした。所内受電点の遮断器開放によりサセプタンス値は変化し、単独運転発生後0.52秒にて本装置が動作し、単独運転を防止している（0.5秒の継続設定時間を考慮すれば、極めて短時間で検出している）ことが確認でき、良好な結果が得られた。

6.6kV系における単独運転検出動作について今後、検証を進める予定である。

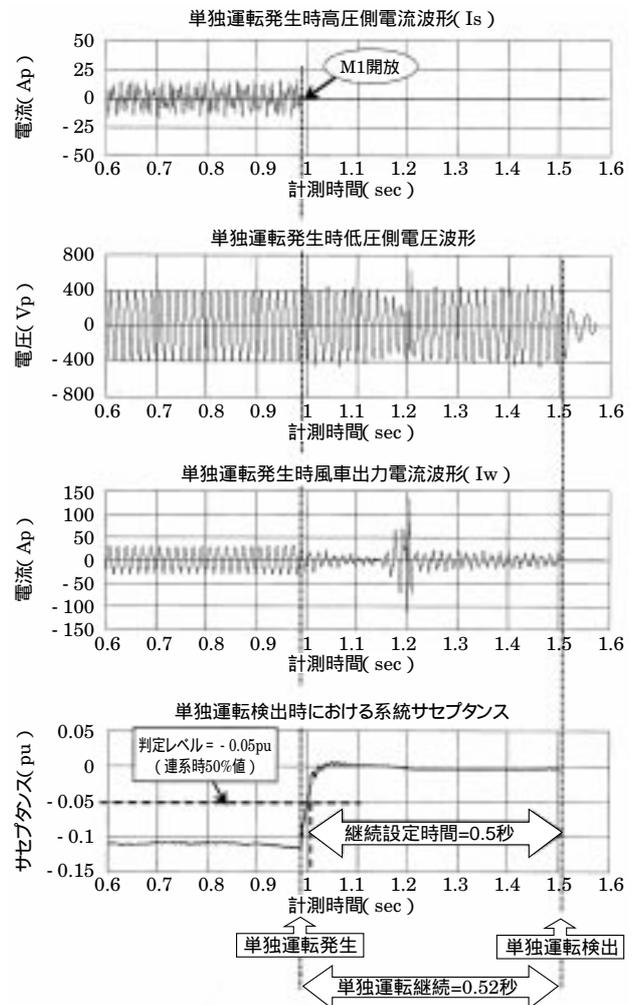


図8 単独運転保護機能検証試験結果

6. あとがき

近年、環境対策として設置台数が急増している風力発電システムは、大容量化につれて電源品質面で検討課題が顕在化してきている。

今回、電源品質改善に用いる電圧変動補償装置を開発・試作し、黒川風力発電所に設置して特性試験を実施した。試験では基本的な電圧変動対策特性および単独運転保護特性を確認し、いずれも良好な特性が得られた。

また、電圧変動補償機能と「次数間高調波電流注入式」単独運転保護機能については、今まで個別に装置を設置していたが、両機能を一体化した本装置の開発により、風力発電などの分散電源系統の連系に関する電源の品質改善が高機能・低コストで可能となる。

参考文献

- (1) 岡本光明, 川上博明, 和田幸三: 「黒川風力発電所における系統連系運転状況」, 平成9年電気学会電力・エネルギー部門大会, p248 - 249

◆ 執筆者紹介



岡本光明

1973年関西電力㈱入社。主として、風力発電の研究に従事。現在、総合技術研究所主任研究員。



川上了司

1980年入社。主として、インバータ応用システムの開発設計に従事。現在、エネルギー事業部新エネルギーシステム部主任。



多田知史

1986年入社。主として、インバータ応用システムの開発設計に従事。現在、エネルギー事業部新エネルギーシステム部主任。



西村 荘治

1974年入社。主として、電力系統の計測システムの開発に従事。現在、技術開発センターシステム開発グループ主幹。



養輪 義文

1992年入社。主として、分散型電源の単独運転検出装置の開発に従事。現在、技術開発センターシステム開発グループ。