

令和元年5月24日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06214

研究課題名(和文) 系統周波数調整機能付き風力発電システムの開発

研究課題名(英文) Development of Wind Turbine Generator with Frequency Adjustable Function

研究代表者

田岡 久雄 (Taoka, Hisao)

福井大学・学術研究院工学系部門・教授

研究者番号：30367502

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：風力発電システムの二次励磁誘導発電機(DFIG)に用いられる電力変換装置に擬似ガバナ制御機構を搭載すると共に、先行研究で開発した同期化ラインバータ技術、急激な回転子角速度の変化を抑制し周波数調整機能を向上させる新しいピッチ角制御を開発しを併載することで、系統周波数調整機能を具備した新しい風力発電システムを開発した。

同期化ラインバータ・疑似ガバナ・ピッチ角制御などの制御系を組み入れたモデルを構築して計算機シミュレーションを行って検証し、系統周波数が減少した際はピッチ角制御ブロックのみ、増加した際は同期化ラインバータブロックとピッチ角制御ブロックで周波数調整に貢献していることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、電力系統の周波数調整能力は、系統接続された同期発電機によって付与されており、従来同期発電機が担当していた部分が再生可能エネルギー電源に置き換わると、電力系統の環境性が向上する反面で、安定供給性が著しく低下する結果に繋がりがねない。本研究は、風力発電システムの二次励磁誘導発電機(DFIG)に用いられる電力変換装置に擬似ガバナ制御機構を搭載すると共に、先行研究で開発した同期化ラインバータ技術を併載することで、系統周波数調整機能を具備した新しい風力発電システムを開発した。その成果は、今後の電力系統の安定化に大きく寄与するものと期待できる。

研究成果の概要(英文)：The authors propose a frequency adjustment mechanism for wind turbine generation system (WT) which is composed by the following three controllers: a governor, a pseudo synchronization, and a pitch angle controllers. The governor and the pseudo synchronization controllers determine active power output in response to share of the initial WT output in power generation. On the other hand, the pitch angle controller regulates rotor angular speed. By these controllers, the proposed mechanism supplies adjustability of the utility frequency considering the WT output while suppressing the rapid raise of rotor angular speed.

研究分野：電力システム

キーワード：風力発電システム 周波数制御 同期化ラインバータ 疑似ガバナ制御 ピッチ角制御 二次励磁誘導発電機

1. 研究開始当初の背景

エネルギーセキュリティに対する社会ニーズの高まりを背景として、再生可能エネルギーを利用した分散型電源が注目されている。特に風力発電システムについては、数メガワット規模のものが実装されている段階で、今後も導入が拡大するものと期待できる。しかしながら、多くは周波数調整機能を備えておらず、導入拡大に伴って系統周波数の調整力不足を招くという課題も示唆される。

これに対して、周波数調整機構を搭載した風力発電システムの研究開発が進められている。これらは、基準となる系統周波数と系統周波数との偏差を算出する、系統周波数偏差と速度調定率を元に有効電力指令値及びトルク指令値を算出する、これらの指令値に従って風力発電システムの有効電力出力を調整する、という三つの手順を実施することで、周波数調整力を供給するものである。多少の違いはあれ、同様の方法は広く採用されている。著者らは、これらの内の特に $\Delta\omega_r$ に着目し、出力が自然状況に左右されるという風力発電システムの特性を踏まえた周波数調整機構を検討した。

2. 研究の目的

本研究では、風力発電システムの二次励磁誘導発電機 (DFIG) に用いられる電力変換装置に、同期化カインバータ制御機能、擬似ガバナ制御機能、ピッチ角制御機能を搭載し、系統周波数調整機能を具備した新しい風力発電システムを開発する。

3. 研究の方法

提案する周波数調整機構は、ガバナ制御ブロック、同期化カインバータブロック、ピッチ角制御ブロックで構成される。

ガバナ制御ブロックでは、当該風力発電システムの出力が電力供給源として電力系統に占める割合を算出し、これを速度調定率の代わりに用いる。同期化カインバータブロックは、同期発電機の内部位相角を模擬した変数 (以下、「仮想内部位相角」と呼ぶ) を用いて、風力発電システムに同期発電機と同様の機能を持たせるものである。ガバナ制御ブロックからの入力を元に仮想内部位相角を求め、系統周波数調整に寄与する有効電力指令値を算出する。ピッチ角制御ブロックは、実際の回転子角速度ではなくガバナ制御ブロックの出力から算出した値を用いることで、ピッチ角の立ち上がりを早める。この機構は、系統周波数の増加と減少のいずれにも対処させる。

以上、提案する周波数調整機構は、系統周波数が増加した際は、ガバナ制御ブロック、同期化カインバータブロック、ピッチ角制御ブロックの協調動作、減少した際は、ピッチ角制御ブロックの動作のみで、周波数調整を行うものとなっている。

4. 研究成果

(1) 従来の周波数調整の問題点

速度調定率に関する問題

一般的なガバナ制御では、速度調定率 R を定数 (4~5%) として扱うことが多い。しかし風力発電システムは自由にその出力を制御できるわけではないため、系統周波数の変化の程度によっては、出力調整可能範囲を逸脱した値を算出する恐れがある。このため、風力発電システムの出力が自然状況に左右されるという特性を踏まえて、ガバナ制御ブロックの出力を算出する仕組みが必要である。

回転子角速度に関する問題

風力発電システムの回転子角の速度変化には上下限が存在するため、速度変化が許容範囲を逸脱すれば、周波数調整力を制限する、あるいは風力発電システムを解列することに繋がる。これを抑止する役割を担うのがピッチ角制御機構であるが、有効電力指令値の算出段階で回転子角の速度変化が許容範囲を満たすか否かを判定することができない。

(2) 提案する周波数調整機構

提案する周波数調整機構は、ガバナ制御ブロック、同期化カインバータブロック、ピッチ角制御ブロックで構成する。

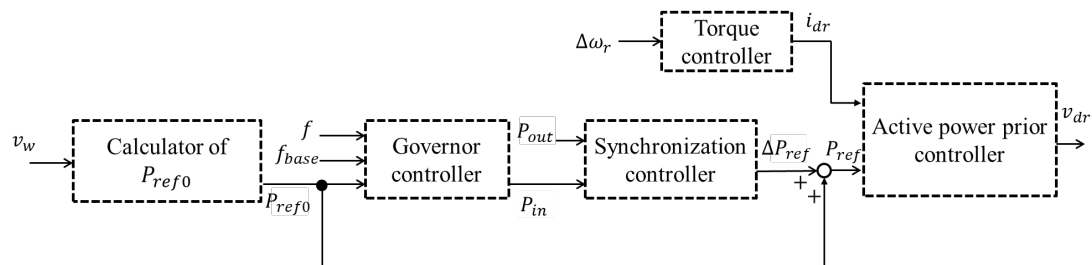


図1 周波数調整機構

有効電力制御方式

基準となる有効電力指令値を算出する方式として、有効電力優先制御方式にトルク制御方式を取り入れた制御方式を採用した。有効電力優先制御方式は、有効電力出力を、風速から算出した DFIG の最大出力に一致するように制御し、十分な風速が得られない場合に風力発電機の回転速度や出力の極端な低下を防ぐ。

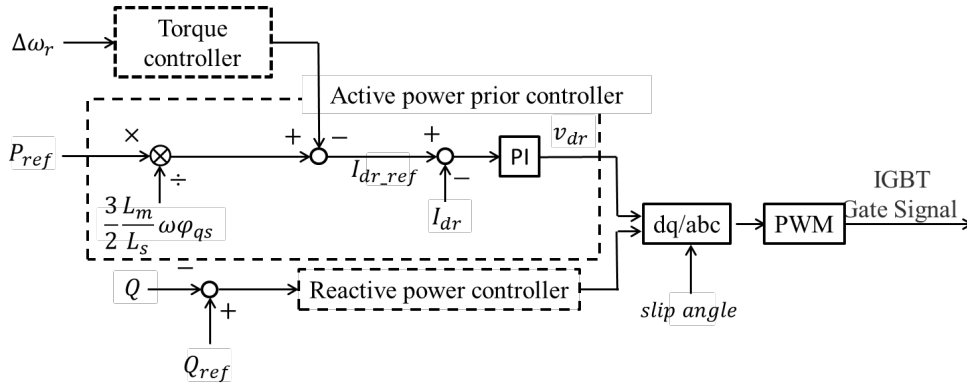


図 2 有効電力制御方式

ガバナ制御ブロック

ガバナ制御ブロックでは、WT が分担する周波数調整量を決定するため、系統全体の電力容量に対する風力発電システム出力の割合を算出する。その後、現在の系統周波数と基準系統周波数の偏差との関係から風力発電機が負担する周波数調整量を決定する。

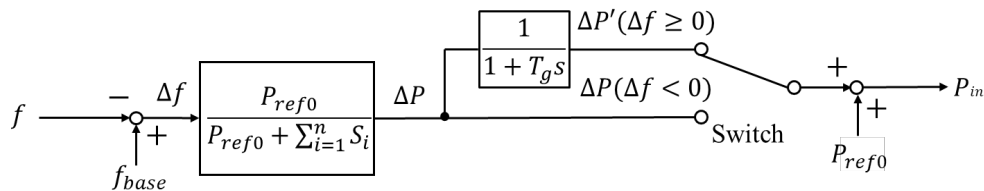


図 3 ガバナ制御ブロック

同期化カインバータブロック

同期化カインバータは、仮想内部位相角を算出し、これを用いて同期発電機を模擬するものである。インバータで同期発電機の回転子の動作を示す動揺方程式を再現するため、機械入力を風から得るエネルギー、電気出力を DFIG の有効電力にそれぞれ対応させる。

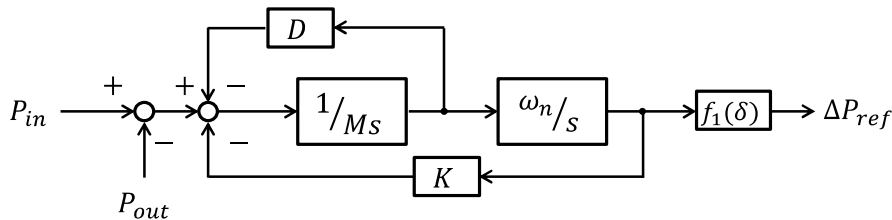


図 4 同期化カインバータブロック

ピッチ角制御ブロック

ガバナ制御ブロックの出力から理想回転子角速度を算出し、それを用いることでピッチ角を求める。これにより、系統周波数の変化が回転子角速度の変化として現れる前に、その変化を抑制するようにピッチ角を制御できる。また、従来の制御ブロックに、風車特性から算出した回転子角速度指令値を与え、この指令値と回転子角速度との偏差を PI 制御で補償することでピッチ角を求め、最終的に足し合わせてピッチ角指令値としている。

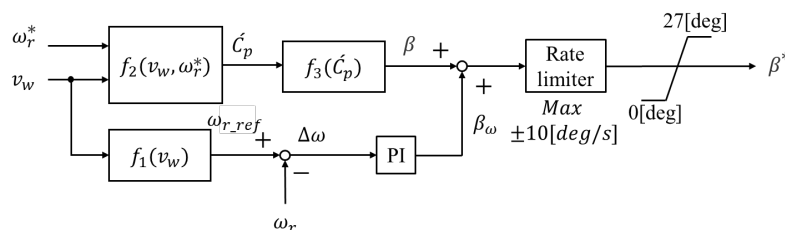


図 5 ピッチ角制御ブロック

系統周波数が減少した際は、ピッチ角制御によってピッチ角を減少させ、回転子角速度を上昇させる。回転子角速度を上昇することで得られる回転エネルギーを有効電力として利用するためである。一方、系統周波数増加時は、ピッチ角制御によってピッチ角を増加させ、風力発電システムの有効電力を減少させる役割を果たす。

(3) 数値シミュレーションとまとめ

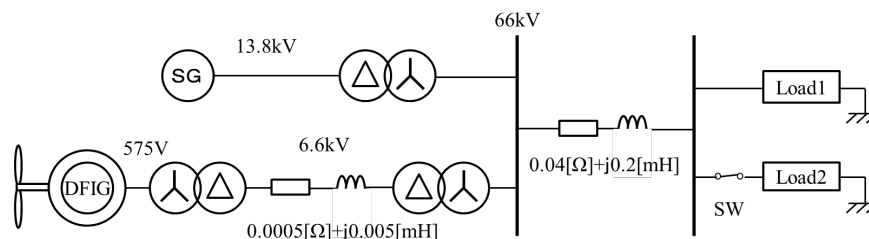


図6 数値シミュレーションモデル

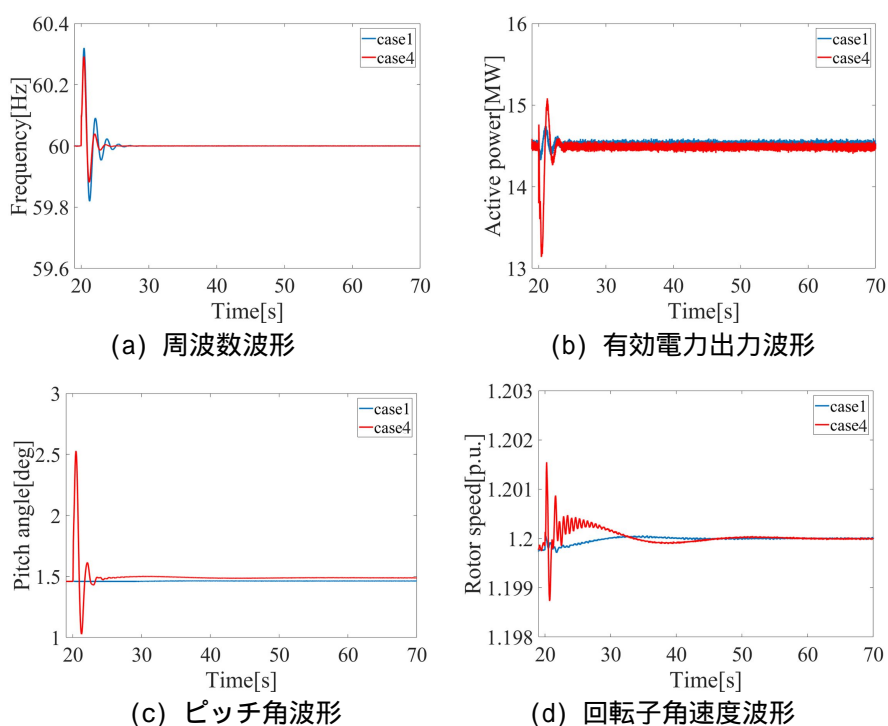


図7 負荷解列時の周波数、有効電力出力、ピッチ角、回転子角速度波形

本研究では、風力発電機に搭載する周波数調整機構を提案し、その有用性を数値シミュレーションによって検証した。図7に、風速 11.0 [m]で負荷を解列した場合の系統周波数、有効電力出力、ピッチ角の数値シミュレーション結果を示す。この数値シミュレーション結果から、系統周波数が減少した際はピッチ角制御ブロックのみ、増加した際は同期化カインバブロックとピッチ角制御ブロックで周波数調整に貢献していることを確認した。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 5件)

Ryo Yawata, Shunya Tanaka, Hiroataka Takano, Hisao Taoka, “A Study on Frequency Adjustable Function for Wind Turbine Generator,” The International Conference on Electrical Engineering 2018.

矢渡遼、高野浩貴、田岡久雄、船橋俊久：「風力発電システムに搭載する周波数調整機構の検討」電気学会新エネルギー・環境/高電圧合同研究会、FTE-18-027、HV-18-074、2018.

田中俊也、高野浩貴、田岡久雄、安原崇志：「風力発電機の周波数調整機能の維持に貢献するピッチ角制御の一検討」電気学会電力技術/電力系統技術合同研究会、PE-17-098、PSE-17-098、2017.

Shunya Tanaka, Hiroataka Takano, Hisao Taoka, Yuta Sakai, Fumiya Kawakami, “A Study on Pitch Angle Control of Wind Turbine Systems Equipped with Frequency Control System,” The International Conference on Electrical Engineering 2017.

酒井悠太、田中俊也、高野浩貴、田岡久雄：「周波数変動抑制に貢献する同期化カインバータを搭載した風力発電機の一考察」電気学会電力技術／電力系統技術合同研究会、PE-16-106、PSE-16-126、2016.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：高野 浩貴

ローマ字氏名：Takano Hirotaka

所属研究機関名：岐阜大学

部局名：工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：50435426

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。