

2024 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関	芝浦工業大学 工学部
職 位 または 役 職	准教授
氏 名	小岩 健太

1. 研究題目

Z ソースフルコンバータを用いた可変速風力発電システムの開発

2. 研究目的

環境問題の高まりから風力発電の導入拡大が期待されている。助成者は従来の風力発電システム(図 1)において、課題 1: 電解コンデンサが電力変換器における故障原因の 30%を占め、風力発電機の保守・運用コストを増加させること、課題 2: 低い発電効率の 2 つの解決に取り組み、図 2 に示す Z ソースフルコンバータ (ZSFC: Z-Source Full Converter)を用いた可変速風力発電システムを提案した。本システムは DC リンクにインピーダンスソースを持つため、下記が実現できる。

1. 系統側インバータの高速スイッチング
2. 発電機および ZSFC の損失最小化運転

一般的な風力発電システムに用いられる電力変換器に対し、本システムは上下短絡が許容される。その結果、系統側インバータは高速スイッチングが可能となる。これにより、電流・電圧リップルが著しく低減されるため、高寿命なフィルムコンデンサを使用可能となる。また、ZSFC は発電機側および系統側の DC リンク電圧 V_{dc1} および V_{dc2} を独立に制御できる。これにより、状況に応じて、リンク電圧を下げることで発電機の鉄損および電力変換器のスイッチング損失を最小化することが可

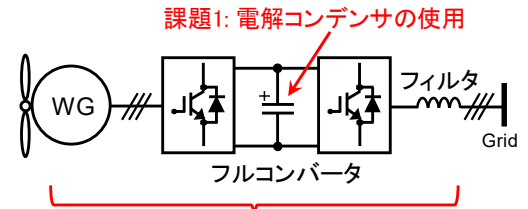


図 1 可変速風力発電機

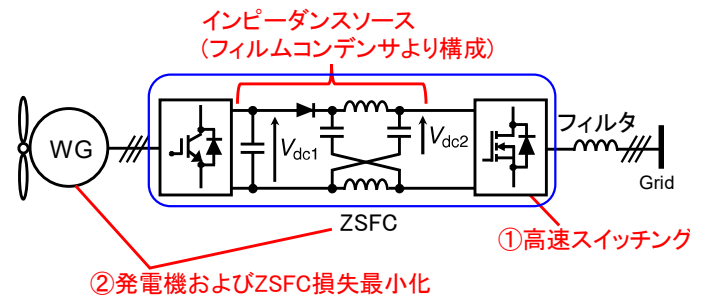


図 2 ZSFC を用いた可変速風力発電システム

能となる。これまでの研究では、ZSFC の有効性をシミュレーション・実験により明らかにしてきた。しかしながら、近年の風力発電機の大型化に伴い、電力変換器の大容量化が求められているが、提案した ZSFC は 2 レベルのフルコンバータを前提にしており、大電力伝送には必ずしも適した構造とは言えない。

本研究では大電力風力発電機へ ZSFC を展開するべく、大電力伝送可能な「マルチレベル Z ソースフルコンバータを用いた風力発電システム」の創成を目指す。

3. 研究内容及び成果

本研究では可変速風力発電機のための新しい電力変換器構造として、Z ソースフルコンバータ(ZSFC)を提案した。今年度の研究では 2 レベルの ZSFC の試作機を作成し、実験によりシステムの有効性を確認するとともに、大容量 ZSFC への展開を見据えたシミュレーションによる検討を進めてきた。上記二つに関して以下に述べる。

(1) 2 レベルの ZSFC の試作機による検討

提案システムの有効性を実験に基づき評価するため、2 レベルの ZSFC を作成した。作成した試作機を含む実験システムを図 3 に示す。図において ZSFC は Machine side converter および Z ソースインバータ(ZSI: Z source inverter)から構成される。図 3 において、IPMSG : Internal permanent magnet synchronous generator は風力発電機を模擬するための発電機であり、図 4 に示す回転数を与えた。ZSFC は系統側直流電圧を一定に保ちながら、発電機側直流電圧を回転数に応じて変化させることができる。これにより発電機および変換器の効率を上昇させることが可能となる。実際に実験により得られた直流電圧の波形を図 5 および図 6 に示す。図 5 および図 6 から系統側直流電圧を一定に保ちながら、発電機側の直流電圧を回転数に応じて変化させることができることがわかる。以上より 2 レベルの ZSFC の回路の有効性を実験により示した。

(2) 大容量 ZSFC への展開を見据えたシミュレーション

これまでの 2 レベルの ZSFC の結果を踏まえ、提案システムの大容量化に取り組んだ。現状として、3 レベルの ZSFC のシミュレーションでモデルを構築した。新たな問題として、システムの大容量化に伴い、システムが不安定化することが見受けられた。解析の結果、電流の増加に伴い安定性の尺度であるゲイン余裕と位相余裕が大きく減少していることを突き止めた。これを解決するために、直流リンクのインダクタを流れる電流をフィードバックする制御方法を開発し、理論的にも安定性を大きく向上できることを明らかにした。

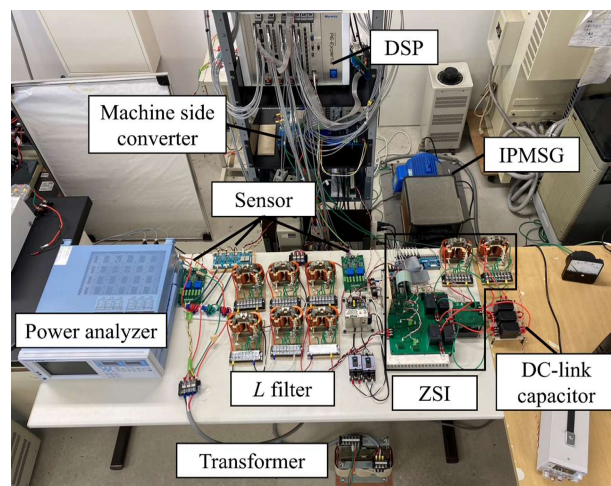


図 3 実験システム

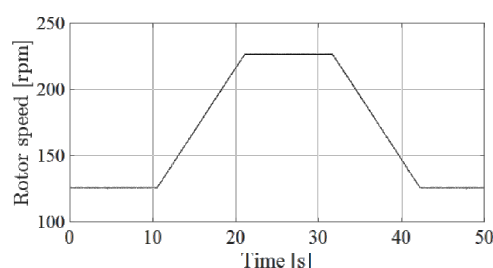


図 4 発電機回転数

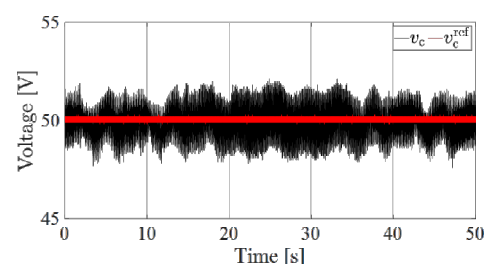


図 5 系統側直流リンク電圧

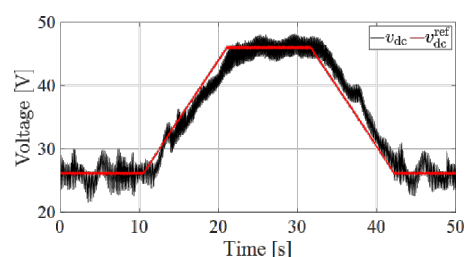


図 6 発電機側直流リンク電圧

4. 今後の研究の見通し

これまでの研究を発展させ、ZSFC の大容量化を目指し 3 レベルの ZSFC を開発している。現状は風車モデルを簡略化し、一定回転数および定出力指令値のもとで、3 レベルの ZSFC がシミュレーションで動作することを確認している。今後は風車モデルを模擬することで、変動風速に対して提案システムが安定に動作することを確認する。また、3 レベルの ZSFC の試作機も開発していく予定である。これにより 3 レベルの ZSFC の実応用を見据えて研究を行っていく予定である。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国内学会

山口泰雅, 松島勇太, 小岩健太, 劉康志, Z ソースフルコンバータの DC リンク電圧可変制御-ミニモデルを用いた実機検証-, 令和 7 年 電気学会 電力・エネルギー部門大会, 2025 年 9 月

国際学会(査読付)

Taiga Yamauchi, Kenta Koiwa, Kang-Zhi Liu, Novel full converter topology for variable speed wind generators, 14th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) , Oct. 2025.