



Title	Grid-Followingインバータの系統安定化機能が引き起こす低周波振動への対策技術 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	白崎, 圭亮
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16178号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93551
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Keisuke_Shirasaki_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 白崎 圭亮

学 位 論 文 題 名

Grid-Following インバータの系統安定化機能が引き起こす低周波振動への対策技術
(Mitigation Techniques for Low-Frequency Oscillations Induced by Grid Stabilization Controls of
Grid-Following Inverters)

再生可能エネルギー電源の導入拡大に伴い、同期発電機の連系容量が減少しており、位相角安定性、周波数安定性、電圧安定性などの系統安定性を維持することが困難となりつつある。この問題に対応するための方策の一つとして、海外ではインバータに系統安定化機能を付加することをグリッドコードとして要求することが進められている。一方、我が国では、同種の機能をグリッドコードで要求することは検討段階であるため、導入にあたっては系統安定性への貢献だけでなく、弊害として起こり得る事象を把握することが重要である。

系統安定化機能によって生じるおそれがある弊害のひとつとして、インバータの制御不安定性の課題が挙げられる。短絡容量が小さな地点に導入されたインバータは制御が不安定となり、振動的な応答を示すことが知られているが、系統安定化機能を付加することで低周波振動が発生しやすくなるおそれがある。インバータが主体となった電力系統における系統安定性は再定義されており、このようなインバータそのものの制御安定性は Converter-driven stability として知られている。過渡安定性 (位相角安定性の一種) の向上に貢献する動的無効電流制御はこのような低周波振動を引き起こすおそれがあり、イギリスでは 2019 年 8 月の大停電に影響したことが National Grid ESO のレポートで示唆されている。また、周波数の安定化に貢献する Limited Frequency Sensitive Mode(LFSM) は、電力系統の広域動揺を拡大させるおそれがあることが電力広域的運営推進機関の主催する検討会にて示されており、それを理由に要件化の時期が当初予定されていた 2023 年 4 月から延期されている。しかしながら、その根本的な対策は十分に検討されておらず、LFSM の適用対象を制限する方向性に留まっている。以上のように、インバータにおける系統安定化機能は、特定の条件下においてインバータ自身の制御応答が不安定になったり、同期発電機との相互干渉が発生したりすることで、目的外の悪影響を及ぼす場合があることが大きな課題となっている。このため、各種の系統安定化機能が不安定化するメカニズムを明らかにし、その抑制対策を検討することが必要となっている

本論文の構成としては、第 1 章にて論文の背景、対象とした課題、課題に対する先行研究、研究の目的、論文構成などについて述べた。第 2 章では、同期発電機と再生可能エネルギーの連系容量の分配方法など、解析に必要な系統断面の作成方法について述べた。また、電気学会 WEST 10 機系統は 500kV の電圧階級が模擬されているが、再生可能エネルギーが導入される地点は特別高圧系統 (66kV, 77kV を想定) であるため、これら下位の電圧階級を模擬した系統モデルの作成方法についても述べた。第 3 章では、発電機モデル、励磁系モデル、調速機モデル、負荷モデル、再エネモデルについて述べた。再エネモデルは、海外の系統解析ツール PSS/E や Power Factory, Power World などに標準モデルとして実装されているモデルに Phase Locked Loop などを追加し、汎用的な再エネモデルを構築した。また、海外の代表的なグリッドコードを参考に、動的無効電流制御および LFSM の

モデルを構築した。第 4 章では、第 2 章、第 3 章で構築したモデルを用い、各種の連系容量ケースにて過渡安定および周波数安定性を評価した。このとき、動的無効電流制御および LFSM を有効化した場合の影響を評価し、先に述べた低周波振動が発生することを課題として示した。第 5 章では、動的無効電流制御を例に、インバータに付加した系統安定化機能が低周波で振動する発生メカニズムを示し、そこから考えられる代表的な振動抑制対策と、新たに提案するハンチング抑制制御について述べた。ハンチング抑制制御の効果は、一機無限大母線系統モデルだけでなく、第 4 章における WEST 10 機系統モデルを用いて検証した。また、他の振動抑制対策との組み合わせによる効果も評価した。LFSM については、既存の PSS 定数整定手法を用いて、 $\Delta\omega$ 形 PSS が対象とする動揺周期を拡張した整定を行い、その効果を検証した。

提案したハンチング抑制制御は、系統インピーダンスをインバータ内部で補償するアクティブフィルタの一種であり、適用したインバータにとっては短絡容量が等価的に増加することになる。制御ゲインの低減など、他の単純な振動抑制対策は、低周波振動の抑制と引き換えに系統安定化効果も低減するというトレードオフの関係があったが、提案制御はその関係になく、低周波振動を抑制しつつ系統安定化効果を向上させられる点に特徴がある。また、LFSM による広域動揺の抑制対策として提案した $\Delta\omega$ 形 PSS の定数整定の考え方の拡張は、既設の設備を有効活用することの提案であり、時間的コスト、経済的コストの観点で採用するメリットがある。各種の系統安定化機能が引き起こす低周波振動は発生メカニズムが異なるため、適切な対策も異なると考えられるが、動的無効電流制御、LFSM に起因した低周波振動について、本論文は現実的な対策に資する。