



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	スマートインバータ群を含む放射状系統の縮約手法 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	川島, 伸明
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16019号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92428
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Nobuaki_Kawashima_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 川島 伸明

学 位 論 文 題 名

スマートインバータ群を含む放射状系統の縮約手法
(System Reduction Method for a Radial Grid Including Smart Inverters)

現在, 地球温暖化問題の解決策として再生可能エネルギー電源の導入が進んでいる。導入の加速により, 現在主として電力系統を支えている石油・石炭・天然ガス等の火力発電機が次世代の電力系統から退出していくことが予想される。火力発電では一般的に同期発電機を用いて発電を行っている。同期発電機は回転子が運動エネルギーを蓄えており, 電力系統の障害などで瞬間的に発生する電力の過不足分を吸収または放出している。一方, 導入が加速している太陽光発電や風力発電はインバータ機器を介して系統と連系する電源であり, 原理的に回転子を有していない。そのため, インバータ電源の導入量拡大により, 系統の安定度が低下することが懸念されている。

このようなことから近年, 再エネの導入拡大を進めながら, 電力系統を安定させるために, 系統の安定度向上に貢献する機能を有するインバータ電源, スマートインバータが盛んに開発されている。スマートインバータは現状研究段階にあり, これが系統に広く普及した際に系統の安定化にどの程度寄与するのかは明らかになっていない。スマートインバータが系統に広範に多数台接続した際の貢献度を定量的に評価するためには, 詳細な系統モデルを用いた数値解析が必要である。しかし, 需要機器, スイッチング機器を含んだインバータ等の静的・動的な挙動を模した場合, 小規模な系統の解析でも 10 秒間の現象解析に数日間を要する。そのため, 詳細な系統モデルを用いた数値解析は非現実的である。

これらの背景から私は, スマートインバータが多数台連系した系統モデルを安定度解析に必要な精度を維持したまま簡略化する, いわゆる系統縮約手法の開発を行った。

第 2 章では系統サポート機能を有する Grid-following インバータ群を含む系統の縮約手法を開発した。提案手法の目的は縮約非対象系統 (主系統) との連系点 (縮約点) の電圧 (電圧振幅・周波数) が変化した場合に, 連系点潮流を精度よく再現することである。開発した縮約手法は, 縮約対象系統を構成する需要, インバータ電源, 変圧器, 電線などの要素を数式モデル化し, 各構成要素の相互影響を保存しながら, 数式モデル群を集約する。なお, 集約する際には全体の挙動に対して影響の小さい状態変数を近似手法を用いて除外することで簡略化を行う。また, Grid-following インバータは自身の連系点の電圧情報から出力電力を調整しているため, 縮約点から Grid-following インバータ連系点の電圧情報を再現する手法の開発も行っている。提案手法の精度検証のために行ったシミュレーションの一例として, スマートインバータ 4 台と負荷を含む系統を対象に詳細な回路モデルを用いた場合と提案縮約モデルを用いた場合で計算時間を比較すると, 1.7 秒間の現象解析に詳細モデルは 5 時間以上要したが, 提案縮約モデルではわずか 7 秒で完了した。

第 3 章では Grid-forming インバータ群を含む系統の縮約手法を開発した。Grid-forming インバータは電圧源のように振る舞うインバータ電源であり, 擬似的な慣性を提供できることから近年盛んに研究されている。そのため, 第 3 章では 2 種類の Grid-forming インバータの数式モデルを開発し, 第 2 章で述べた縮約手法を応用することで Grid-forming インバータ群を含む系統の縮約手法

を開発した。制御方式の異なる Grid-forming インバータが複数台含む系統を用いて提案手法の精度検証を行っている。詳細な回路モデルを用いた場合と提案縮約モデルを用いた場合で計算時間を比較すると、10 秒間の現象解析に詳細モデルは 25 時間 58 分以上要したが、提案縮約モデルではわずか 7 秒で完了した。米国の西部系統電力信頼性協議会 (WECC) が提案している手法を基に作成した従来縮約モデルを用いた場合でも、同解析に 1 時間 46 分を要しており、精度の面でも提案手法の方が詳細モデルに対する誤差が小さかった。

第 4 章ではスマートインバータ群を含む下位系統の縮約モデルと基幹系統モデルを用いて多数台のスマートインバータの導入効果を検証した。同条件のシミュレーションを導入するスマートインバータの制御方式のみを変えて行うことで、各種スマートインバータの導入効果比較を行った。

本論文で開発した縮約手法は拡張性があるのが特徴である。もし系統構成要素が数式モデル、すなわち入力：電圧、出力：電流の線形モデルで記述可能である場合、その要素を含む系統の縮約が可能となる。なお、対象系統がループ状である場合はその限りではない。現在数多くのスマートインバータの制御手法が提案されているが、私はその中で 7 種類のスマートインバータの数式モデルを開発した。モデル化対象のスマートインバータは多くの国で今後系統への導入・要件化が検討されているものである。すなわち、本論文が提案した手法を用いることで将来の電力系統の振る舞いを事前に検証することが可能となる。