



Title	Studies on Improving Dynamic Performance of Microgrids by Applying Virtual Synchronous Generator Control to Distributed Generators
Author(s)	劉, 佳
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/55998">https://doi.org/10.18910/55998</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 劉 佳 )	
論文題名	<p>Studies on Improving Dynamic Performance of Microgrids by Applying Virtual Synchronous Generator Control to Distributed Generators</p> <p>(分散電源への仮想同期発電機制御の適用によるマイクログリッドの動的性能の向上に関する研究)</p>
論文内容の要旨	
<p>Recent years, inverter-interfaced distributed generators (DGs) with renewable energy sources (RES), e.g. photovoltaics and wind turbines, have been developed to solve energy crisis and environmental issues. However, the penetration rate of DGs is limited by current regulations and policies, due to concerns about the increased complexity of power system management and protection, and about the lack of inertia support from these inverter-interfaced DGs. To facilitate the integration of DGs in distribution system, the concept of microgrid was proposed. In a microgrid, a cluster of DGs, distributed energy storage systems and loads operate as a single system to reduce the system complexity for the utility and increase the power quality and reliability for local customers. However, inverter-interfaced DGs with conventional control methods, such as droop control, still cannot provide enough inertia to support the frequency of the microgrid. In this dissertation, virtual synchronous generator (VSG) control, a novel control strategy of DG to provide virtual inertia by emulating the swing equation of a synchronous generator (SG), was introduced to inverter-interfaced DGs in microgrids, in order to improve the dynamic performance, especially the transient response of frequency of microgrids.</p> <p>This dissertation is organized as follows.</p> <p>In Chapter 1, concepts of inverter-interfaced DGs and microgrids, and major challenges in these emerging technologies were introduced.</p> <p>In Chapter 2, principles of the basic VSG control were introduced, and other existing control methods providing virtual inertia support were reviewed.</p> <p>In Chapter 3, VSG control was compared with droop control, which is a conventional DG control method widely adopted in microgrid applications, from the aspect of dynamic characteristics. Two cases were investigated, single inverter operation and parallel operation with a SG. Small-signal models were built to compare transient responses of frequency during a small loading transition, and state-space models were built to analyze oscillation of output active power. Effects of delays in both controls were also studied, and an inertial droop control method was proposed based on the comparison. The results were verified by simulations and experiments. It was shown that VSG control and the proposed inertial droop control inherit the advantages of droop control, and provide extra inertia support for the system.</p> <p>In Chapter 4, parallel operation of multiple VSGs in microgrids was studied. It was shown that when the basic VSG control was applied, active power oscillation and improper transient active power sharing could be observed. Moreover, the problem of reactive power sharing error, inherited from conventional droop control, should also be addressed to obtain desirable steady-state performance. In this chapter, an enhanced virtual synchronous generator control was proposed, with which oscillation damping and proper transient active power sharing were achieved by adjusting the virtual stator reactance based on state-space analyses. Furthermore, communication-less accurate reactive power sharing was achieved based on common ac bus voltage estimation. Simulation and experimental results verified the improvement introduced by the proposed enhanced VSG control strategy.</p> <p>In Chapter 5, a microgrid composed of a VSG and a SG was discussed. Modifications of VSG control were proposed to address specific issues of this kind of microgrids. To prevent unbalanced SG current, double decoupled synchronous reference frame (DDSRF) decomposition and SG negative-sequence current compensation were proposed;</p>	

and to prevent inverter overcurrent, transient virtual stator impedance was introduced. Tuning methods of main parameters were discussed through theoretical and/or simulation analyses. The effects of the proposed modifications were verified by simulation results, and it was also demonstrated that the presence of VSG alleviates rotor speed deviation of the SG during a loading transition.

In Chapter 6, conclusions were presented and some future challenges were discussed.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 劉 佳 )			
論文審査担当者		(職)	氏 名
	主 査	教 授	伊瀬 敏史
	副 査	教 授	高井 重昌
	副 査	教 授	舟木 剛
	副 査	教 授	谷野 哲三
	副 査	教 授	白神 宏之
	副 査	准教授	三浦 友史
論文審査の結果の要旨			
<p>太陽光発電、風力発電および燃料電池などの分散電源は必ずインバータ（交直電力変換装置）を通して電力系統へ連系される。このような発電装置は今後、電力系統の中で占める割合が増加するものと予想される。このような状況下で多数の分散電源と負荷を持つ小規模系統で複数の電源および熱源が情報通信技術を使って一括管理され、大規模系統から独立して運転可能な電力供給システムとして「マイクログリッド」が各方面で研究されている。マイクログリッドにおいて複数台の分散形電源が並列運転される場合、従来のインバータ制御では上位に系統全体の制御を統括する集中管理制御系が必要となるが、システムの拡張性と柔軟性の点で問題が生じるため、自律分散的な手法で多数の分散形電源が並列運転できる手法が望まれる。このような観点から本論文は、マイクログリッドにおいてインバータ連系型分散電源に疑似慣性力を持つように制御する仮想同期発電機(Virtual Synchronous Generator : VSG)制御を適用することにより、自律分散的な制御によりマイクログリッドの動的性能、すなわち負荷変動が発生した際の周波数および電圧の変動抑制および発電機相互の電力分担を適切にするような制御方式について検討している。得られた結果は以下のとおりである。</p> <p>(1) インバータの制御方式としてこれまで一般的に行われている垂下特性（ドループ特性）により制御する方式と仮想同期発電機制御方式によるマイクログリッドにおける系統の周波数変動について解析的に特性比較を行っている。その結果、周波数の変動に対して仮想同期発電機制御の優位性が示されている。解析結果は模擬電力系統による実験によっても検証されている。</p> <p>(2) 複数の仮想同期発電機制御されたインバータが並列接続されたマイクログリッドの制御方式について検討している。仮想的なインピーダンスの導入によって有効電力の過渡振動を抑制すると同時に、分散電源の共通接続母線の電圧を推定することによって分散電源相互の通信なしに適切な無効電力分担を行う制御系を構成している。制御系の特性は解析的に示されると同時に計算機シミュレーションおよび実験によって検証されている。</p> <p>(3) インバータ接続型の分散電源と回転形の同期発電機が並列接続されたマイクログリッドにおいて仮想同期発電機制御を適用し、さらに各発電機の実出力インピーダンス特性をそろえるように仮想的なインピーダンスを挿入することにより良好な過渡特性を得る制御系を示している。さらに、系統に存在する単相負荷などに起因する三相不平衡を補償するような制御を仮想同期発電機制御に付加する制御系を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより示している。</p> <p>以上の研究成果より、マイクログリッドにおいてインバータ連系する分散電源におけるインバータの制御に関して、マイクログリッドの動的性能を改善するために有用と考えられる制御方式が得られ、その特性は解析的に有効性が示され、計算機シミュレーションおよび実験により検証されている。以上のように本論文は、マイクログリッドの分散電源におけるインバータの制御について有益な知見を与える内容となっており、この分野の技術の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>			