



Title	STUDIES ON STABILIZATION OF POWER SYSTEM WITH DISTRIBUTED GENERATIONS USING VIRTUAL SYNCHRONOUS GENERATOR
Author(s)	Alipoor, Jaber
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/52212
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Jaber Alipoor)	
Title	<p>STUDIES ON STABILIZATION OF POWER SYSTEM WITH DISTRIBUTED GENERATIONS USING VIRTUAL SYNCHRONOUS GENERATOR</p> <p>(仮想同期発電機制御を適用した分散電源による電力系統の安定化に関する研究)</p>

Abstract of Thesis

In centralized electric power generation, the electric power is generated mainly by enormous Synchronous Generators (SGs). In the power system with huge SGs, the frequency is determined by the rotational frequency that itself depends on the prime mover power. In case of a fault or disturbance, the kinetic energy preserved in massive rotors and associated equipment is injected to the power system to maintain the energy balance. Moreover, the inertia of the rotating masses prevents sudden changes in frequency and enhances the stability of power system. The decentralization of the electric power generation increased the number of inverter-based power sources. If these inverter-based units are operated and controlled similar to SGs, a large portion of problems involved with distributed generation (DG) and microgrids such as frequency regulation, islanded operation, and parallel operation of inverter-based DGs will be solved. The Virtual Synchronous Generator (VSG) is an inverter based generating unit that uses a synchronous generator model to emulate the dynamic behavior of a SG with a specific value of virtual inertia. By such scheme, the inverter-based generator can benefit the advantage of a SG in frequency stabilization, preserving its original features. In the first chapter of this dissertation, the merit of the VSG concept is discussed and the basic structure that is used in this research is elaborated. Besides, the majority of the existing VSG topologies are reviewed.

The VSG control uses the swing equation of a synchronous machine to express a virtual inertia property. Unlike a real synchronous machine, the parameters of the swing equation of the VSG can be controlled in real time to enhance the fast response of the generator in tracking the steady-state frequency. Based on this concept, the VSG with alternating inertia is introduced in chapter two. This scheme adopts the suitable value of the moment of inertia of the VSG considering its virtual angular velocity and its rate of change during oscillations. The damping effect of the Alternating Inertia scheme is investigated by transient energy analysis. In addition, the performance of the proposed inertia control in stability of nearby machines in power system is addressed in this chapter.

In chapter three, the parameters of the VSGs of the microgrid with multiple VSG units are tuned to obtain the desired response. In this dissertation, the multi-VSG microgrid is introduced and the Voltage Angle Deviation (VAD) of generators respect to the angle of the center of inertia is defined as a tool for transient stability assessment of the multi-VSG microgrid. Afterwards, particle swarm optimization is implemented to tune the parameters of the VSG units in order to achieve a smooth transition after a change or disturbance and also to keep the VAD of generators within the stability limit. Moreover, alternating inertia is applied to the VSGs of the multi-VSG microgrid to suppress the oscillation quickly and improve transient stability after a large disturbance.

Because of the limitation in inverter power and current, their operation under disturbances should be evaluated and enhanced. In chapter four, the VSG unit response to the symmetrical and unsymmetrical voltage sags is assessed. A theoretical analysis that traces the trajectory of the state variable of the system during voltage sag is represented. By this analysis, the effect of the characteristics of symmetrical and unsymmetrical voltage sags on the severity of their consequences is justified. In addition, it is detected that two sorts of transients appear that must be mitigated: one is the transients during voltage sag and the other one is the transient after voltage recovery. To prevent the overcurrent during voltage sags, voltage amplitude control and output power control, and to suppress the transients after voltage recovery, alternating inertia control are implemented.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Jaber Alipoor)	
	(職) 氏 名
	主査 教授 伊瀬 敏史
	副査 教授 舟木 剛
論文審査担当者	副査 教授 高井 重昌
	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

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。しかしながら、その特性は電力系統のほとんどの割合を占めている同期発電機とは異なったものであり、今後、インバータ連系型分散電源の容量が増加するに伴って系統の安定度および運用の観点から問題が生じるものと考えられる。このような観点から本論文は、インバータ連系型分散電源に同期発電機と良く似た特性を持つように制御する仮想同期発電機（Virtual Synchronous Generator）について電力システムの安定性の観点から見た制御方式を提案している。本研究では、仮想同期発電機が有する慣性が実際の同期発電機とは異なり、ソフトウェア上の仮想的なものであることに着目して、その値を動的に変化させる制御方式を提案し、コンピュータシミュレーションおよび実験装置を用いて提案制御方式の有効性を検証している。得られた結果は以下のとおりである。

（1）系統事故や大きな負荷変動などの大擾乱時に、仮想同期発電機の慣性を大小の2値の間で変動させて、電力系統の安定化を図る制御方式について提案し、系統安定化のメカニズムを理論的に解析すると同時に仮想同期発電機1台の場合および1台の仮想同期発電機と同期発電機が並列接続された場合についてコンピュータシミュレーションおよび実験装置を用いて提案制御方式の有効性を検証している。さらに、インバータの直流側に設置されるキャパシタの電力貯蔵容量についても検討し、慣性を動的に変化させることの影響が少ないことを示している。

（2）複数台の仮想同期発電機と同期発電機が並列接続された電力系統において、系統事故や大きな負荷変動などの大擾乱時に仮想同期発電機の慣性を動的に制御する方法について、1) 大小の2値の間で慣性を変動させる方法、2) 粒子群最適化手法（Particle Swarm Optimization、PSO）を用いる方法の2つの方式を提案し、コンピュータシミュレーションにより特性を検証している。1) の方法は安定化制御の効果が高い、2) の方法は安定化制御の効果は1) の方法より劣るが大規模システムへの適用に有効である、の特徴が示されている。

（3）瞬時電圧低下時の特性について検討を行っている。瞬時電圧低下の種類を分類し、瞬時電圧低下時の電流が大きくなるような三相系統の電圧低下の種類と電圧低下発生の位相、電圧低下継続期間の関係を整理している。その上で、運転継続特性の向上に慣性を動的に変化させる制御方式が有効であることをコンピュータシミュレーションおよび実験装置を用いて検証している。

以上の研究成果より、電力系統におけるインバータ連系型分散電源のインバータの制御に関して、有用と考えられる制御方式が得られ、提案制御方式によるシステムの特性が明らかとなった。以上のように本論文は、電力系統におけるインバータ連系型分散電源の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。