

仮想同期発電機を用いたPV大量導入時の電力システムの安定化効果の検証

PVが大量に導入された将来の電力システムへの備えとして

Verifying the Effectiveness of Stabilizing a Massive PV Penetrated Power System using VSG Preparation for the Future Massive PV Penetrated Power System

(電力技術研究所 流通G 系統T)

(System Technology Team, Power System Group, Electric Power Research and Development Center)

太陽光発電などのインバータ型分散電源の大量導入により、回転型同期発電機の並列台数が減少し、系統安定度の維持が困難になると想定される。今回、電力システムの安定化対策に有効と考えられている仮想同期発電機モデルを試作し、アナログシミュレータに接続してPV大量導入が電力システムの安定度に与える影響と仮想同期発電機による安定化効果を検証した。

A power system with a massive PV penetration may require many conventional generating units to be disconnected in order to maintain supply-demand balance. In this situation, it may be difficult to sustain power system stability.

In this paper, the impact of different PV penetration levels on the dynamic and transient stability was evaluated. As a countermeasure, the prototype Virtual Synchronous Generator (VSG) was developed and its effectiveness was checked experimentally using an analog simulator.

1 背景・目的

太陽光発電 (PV : Photovoltaic) などのインバータ型分散電源が電力システムに大量に導入されると、電気消費量に合わせて発電量を同じ量にするため、回転型同期発電機 (以下、同期機) を停止する必要がある。

落雷などで送電線故障が発生した場合、同期機には電力システムを安定化させる力があるが、PVにはその力がないため、故障発生時に電力システムが不安定となり送電できなくなる可能性がある。

そこで、電力システムの安定化対策の一つとして、同期機と同じ振る舞いをする仮想同期発電機 (VSG : Virtual Synchronous Generator) のシミュレータ用モデルを試作した。そして、本モデルをアナログシミュレータに接続し、実験により、PV大量導入時の電力システムの安定度への影響及びVSGによる安定化効果を検証した。



第1図 VSGモデルの外観

第1表 VSGモデルの主な仕様

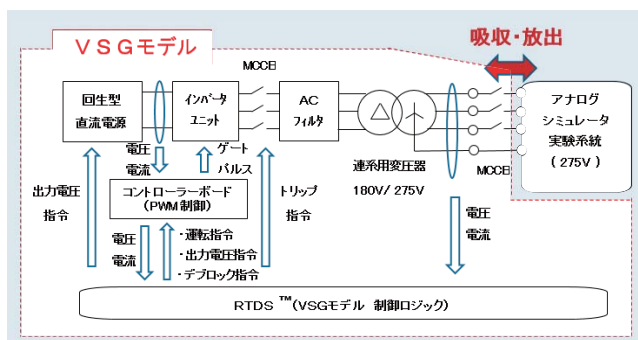
項目	仕様
定格周波数	60Hz
定格容量	15kVA
定格出力	10kW
変圧器連系点側定格電圧	275V _{rms}

2 試作したVSGモデルについて

VSGモデルの外観を第1図に、主な仕様を第1表に示す。VSGは、一般的に直流電源 (例えば蓄電池+PVパネルに相当) 部分と、その直流電力を交流に変換するインバータ部分から構成されるが、今回、直流電源として電気を吸収・放出できる回生型直流電源を用いた。

本モデルの回路構成を第2図に示す。本モデルの主回路では、回生型直流電源の出力をインバータで交流電力に変換し、アナログシミュレータの275V実験システムに対して電力を入出力できる。

本モデルの特徴は、①同期機の動揺方程式に基づいて慣性力を模擬できる、②背後電圧一定モデルの電圧・電流方程式に基づき、電力システムに無効電力の供給も可能である、③系統故障時にも運転を継続するFRT (Fault Ride Through) 能力を有する、④VSGモデルはPVモデルにも容易に切替できることである。



第2図 VSGモデルの回路構成

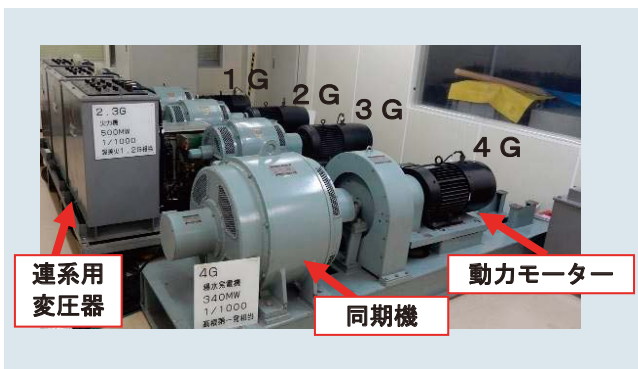
本モデルの制御・保護機能は、第3図のRTDS™ (Real Time Digital Simulator) において実装しており、主回路で計測した電流・電圧値を用いて、リアルタイムかつ高速にその機能を模擬し、交流電力の入出力を制御できる。



第3図 RTDS™の外観

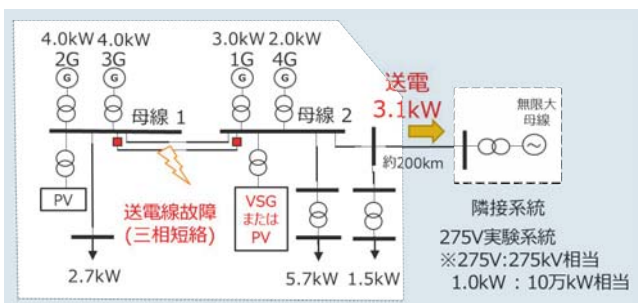
3 VSGモデルを用いたアナログシミュレータ実験

アナログシミュレータは、コンピュータ上で数式を用いて電力系統の現象を模擬するデジタルシミュレータとは違い、ミニチュア設備上で電気を用いて電力系統の実現象を模擬できる設備である。当所のアナログシミュレータは275kV電力系統を縮小化した275Vで模擬しており、同期機（第4図）や送電線（ π 型RLC等価回路）、変圧器、抵抗負荷等の各ユニットから構成されている。



第4図 アナログシミュレータの同期機ユニット 外観

今回、PV大量導入時の電力系統の安定度への影響とVSGによる安定化効果を確認するため、上記のアナログシミュレータ上で第5図の実験系統を模擬した。この系統では、同期機4台のうち一部をPVまたはVSGに振り替えて、PV導入率をパラメータとして第2表のケースを実験した。また、図中の送電線故障を発生させ、両端の遮断器で電力系統から故障点を除去した状況を模擬し、同期機の動揺を確認した。

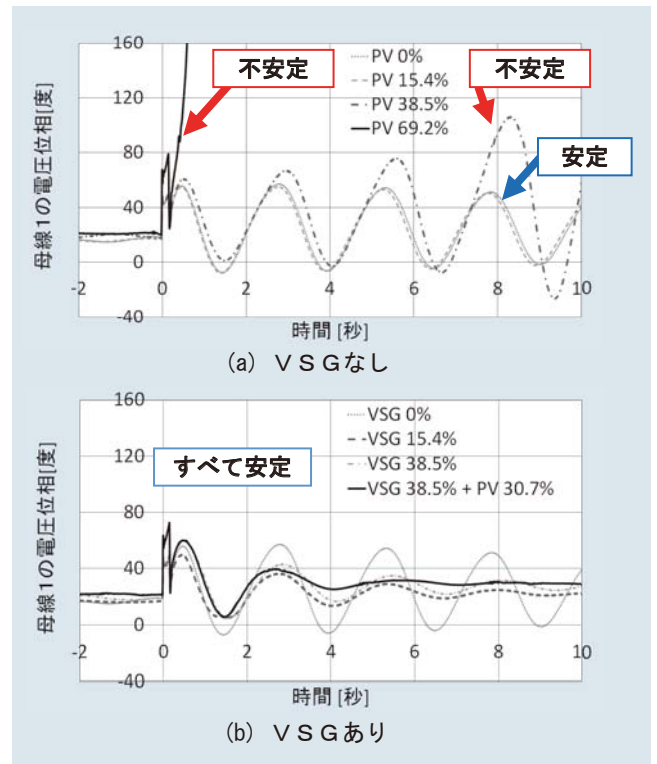


第5図 アナログシミュレータ 実験系統

第2表 PV導入率毎の各発電機の出力

PV導入率 [%]	1G [kW]	2G [kW]	3G [kW]	4G [kW]	PV [kW]	PV または VSG [kW]
0.0%	3.0	4.0	4.0	2.0	—	—
15.4%	3.0	4.0	4.0	—	—	2.0
38.5%	—	4.0	4.0	—	—	5.0
69.2%	—	4.0	—	—	4.0	5.0

同期機2Gが接続される母線1の電圧位相（母線1—無限大母線間）の波形例を第6図に示す。



第6図 送電線故障発生時の応答波形

第6図 (a) では、PV導入率の増加につれて電圧位相の揺れが大きくなり、PV導入率38.5%以上では、電力系統が不安定となることが確認できる。

一方、VSGを適用した第6図 (b) ではすべてのケースで動揺が発散せず、安定しており、VSGがPV大量導入時の安定化対策として有効であることが確認できた。

4 まとめと今後の展開

今回、電力系統の安定化対策に有効と考えられているVSGのシミュレータ用モデルを試作した。そして、本モデルをアナログシミュレータに接続し、実験により、PV大量導入が電力系統を不安定にさせることを確認し、その対策としてVSGによる安定化効果を検証した。

今後、PVが大量導入された将来実系統を想定して、デジタルシミュレーションでVSGの必要容量と適正配置に関する研究を実施する予定である。



執筆者 / 荒田真吾