

Title	On Efficient Control for Power Systems with Randomly Distributed Solar Photovoltaic Generators
Author(s)	李, 鈺
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/67143
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (Yu Li (漢字氏名：李鈺))

Title

On Efficient Control for Power Systems with Randomly Distributed Solar Photovoltaic Generators

(和文題名：ランダムに配置された太陽光発電装置を有する電力システムの効率的な制御について)

Abstract of Thesis

The tremendous resource of solar energy makes solar photovoltaic (PV) generator as one of the most promising renewable energy sources for system integration. The fast-growing share of PV in the gross electricity generation delivers significant ecological and economic benefits to the world's sustainable development. However, large and rapid deployment of PV demands effective technology supports to maintain system power quality. One of the major power quality concerns is voltage stability due to power flows from grid-connected PV. To sustain voltage stability in power system under large and random PV integrations, this study focused on voltage regulation with reactive power injection from PV inverter. Statistical analyses of voltage stability were initially conducted on power system under various allocation patterns of PV generators. Moreover, several decentralized control schemes of reactive power were applied on inverter to investigate their control performances. Analysis results showed random allocation of solar PV may harm voltage stability around the tail part of radial circuit lines, as well as connecting buses of circuit lines. In addition, control performances of decentralized control schemes were insufficient without considering whole balance of system power flow. Based on these analyses, an efficient control method of inverter reactive power was proposed from a centralized approach, which cared for both allocations of PV and reactive power injection of inverters. The centralized control model was derived from PV-enabled power flow equation, which was a linear model describing the influence of inverter reactive power injection on voltage magnitude change. Control objective was formulated as an optimization problem, which aimed to find the best fit of reactive power injection that minimizes system voltage variation. Sparse optimization method, named constrained least absolute shrinkage and selection operator (LASSO), was adapted on the formulated optimization problem. LASSO added L1-norm penalty on reactive power injection, which was expected to shrink the number of operating inverters for voltage control. Control performances and efforts of LASSO were investigated in power system under random integration of PV generators. The estimated solutions of reactive power injection showed that LASSO succeeded in selecting the least essential PV inverters for voltage regulation with respect to large and random integration of PV generators, while maintained control performances on voltage stability.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (李 鈺)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	石川 将人
	副 査	教授	大須賀 公一
	副 査	教授	高井 重昌
	副 査	准教授	杉本 靖博

論文審査の結果の要旨

化石燃料と核エネルギーの使用に強い制限がかかりつつある現在、太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギーの積極的活用は持続可能社会の構築に向けての重要課題となっている。しかしながら、多様化・複雑化する電力システムの中に気候や気象に左右される再生可能エネルギーを大量に導入することは、電力システムの安定性に大きな課題を引き起こす。本論文は、大量かつランダムに配置される太陽光発電システムが電力システムと接続する状況を想定し、系統電圧の安定性を考察し、電圧変動の抑制のために適したインバータ無効電力制御方式を提案することを目的とする。

2章では、系統連係した太陽光発電システムの構成と装置の機能について述べている。系統連係した太陽光発電システムは主に太陽光電池、インバータ、電力制御装置及び系統連係装置などで構成している。特に、太陽光電池の発電原理が等価電気回路で説明され、電力の変換装置となるインバータの特徴が詳しく記述されている。

3章では、放射状配電システムとメッシュ状配電システムを紹介し、太陽光発電システムを導入した各配電システムの潮流計算モデルの導出を行なっている。潮流計算の方法に基づいて、太陽光発電システムの導入による電圧変動が調べられ、また太陽光発電による電力がインバータに供給される際に、インバータが生成する無効電力を制御入力として調整することで系統電圧の変動が抑制できることを示している。

4章では、放射状配電システムにおいて、太陽光発電システムが様々な配置パターンで系統電圧の安定性に及ぼす影響を考察し、いくつかの典型的な分散型の無効電力制御則での系統電圧の抑制効果を調べている。その結果から、太陽光発電システムのランダム配置は極端に激しい系統電圧の変動を引き起こす可能性があることを指摘している。また、分散型の無効電力制御則では電力系統電圧の安定性を十分に維持できない場合があることを示している。

5章では、メッシュ状配電システムを使用し、潮流計算の方程式から無効電力を入力値とする系統電圧の制御モデルを導出している。このモデルに基づき、スパース最適化の手法である LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) を応用し、太陽光発電システムがランダムに配置される電力システムにおいて、大域型無効電力の制御法を提案している。LASSO 法では無効電力の出力値に L1-ノルムを加えることによって、インバータから無効電力の出力を決める際に、稼働するインバータを必要最低限に削減し、インバータの無効電力を効率的に制御し、系統電圧の変動を抑制することを実現している。

以上のように、本論文は太陽光発電システムが大量かつランダムに配置される電力システムにおいて、系統電圧の安定性を解析し、電圧変動の抑制法を提案するために、a) 放射状配電システムにおいて、様々な太陽光発電システムの導入形式を想定し、系統電圧の変動特徴を調べ、b) 近年データサイエンスの分野で確立されたスパース最適化手法である LASSO を応用し、インバータ無効電力の出力を効率良く調整することで系統電圧の変動を制御しよう、とするもので、当該分野に対する学術的貢献は大きいものと確信する。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。