

学位論文題名

Study on PV-ESS Hybrid System for Power Salvaging and Smoothing under Fault Occurrence and Isolated Operation

（事故時及び自立運転時の電力変動抑制のための
PV-ESSハイブリッドシステムに関する研究）

学位論文内容の要旨

As a solution for the global environmental issues and energy resource depletion issue, renewable energy resources are expected to be utilized for power generation in the near future. Photovoltaic generation (PV) is one of the most promising renewable energy driven generations and has been installed rapidly in the residential sectors and/or inverter-owned PV power station. Installation of the natural energy power generations such as PV or wind turbine generators is favorable from environmental point of view. However, power produced from these generators heavily depends on climatic conditions. Thus, unpredictable, uncontrollable and intermittent powers are injected to electric power systems, and it would give large impacts on balancing between supply and demand in power systems.

Therefore, grid connected PV system is required to suppress their fluctuations (less output fluctuation). On the other hand, power system faults are often characterized by a momentary decrease in the RMS voltage magnitude. Even in that case, grid connected natural energy resources are required that they remain connected to the power system during faults (high fault tolerance). This paper considers installing energy storage system (ESS) to the grid-connected PV system (PV-ESS hybrid system) and controlling the ESS appropriately to satisfy the above requirements.

As a way for connecting ESS to PV system, two types of circuit configuration can be considered: " AC connection configuration " and " DC connection configuration " . The former configuration in which ESS is connected at AC side of PV system's power conditioning subsystem (PCS) has been reported in some papers. However, the features in terms of the high fault tolerance have not been fully investigated. On the other hand, the latter configuration in which ESS device is connected at the DC side of PCS was developed by the authors. In this paper, the above two circuit configurations are compared in terms of suppression of PV power output fluctuation in the normal state and salvage of generating power during the fault occurrence. Also, the distribution system composed of PV system and some loads can constitute a small-sized power system isolated from grid after the fault occurrence. This paper shows a possibility of being able to constituting the so-called micro-grid by comparing the above two configurations in the state isolated from grid.

(1) Development of DC connection configuration of hybrid PV-ESS

Most of PV systems are operated with a grid interconnection; therefore, fluctuations in PV output may disturb the stable power system operation and deteriorate the power quality. When PV generation systems are connected to grids, energy storage system (ESS) is needed because the sun is not always shine and its output power is not always constant. Until now, a new way for connecting ESS to PV system: " DC connection configuration " was proposed. Further, control system under the normal

and faulted states for the proposed DC configuration was developed. By numerical simulations, the validity of the proposed configuration was investigated. Generally, under the faulted condition of grid, PV system was required to stop because the faulted bus voltage decreases to nearly zero, during this condition the PV generation power must be wasted. However, in the DC connection configuration, the energy produced from PV can be charged at energy storage system so that the power losses are avoided.

(2) Investigation of possibility of micro-grid operation by PV-ESS hybrid system

We are also discussed for another case in which PV systems work as main resources. More specifically, under the grid side fault condition, PV-ESS system works as a main generator in the isolated grid. In order to realize the less output fluctuation and higher fault tolerance, two kinds of circuit model as before are investigated for PV-ESS hybrid system. From the results, the DC connection configuration can provide demand and supply balancing in the isolated system.

(3) Investigation for suitable ESS devices for DC-connected PV-ESS hybrid system under Fault occurrence

This study defined what kind of energy storage system more suitable device is for DC connected ESS in during fault condition and isolated operation. Under an expectable a severe grid side fault, DC link voltage occurred increase to the level open circuit voltage in PV array, PV generation power must be lost. In order to avoid this condition, DC link voltage controlled by ESS and PV power was charged to ESS in during fault condition. From this concept, a ideal battery model and ultracapacitor used as a ESS device in DC connected PV-ESS hybrid system to study suitable device during fault condition and isolated operation. According to simulation results, ultracapcitor(ESS device) is more food performance than a battery because it' s ability is charge or discharge condition more quickly. This paper mainly discussed for high fault tolerance condition in fault occurrence and power balancing condition in isolated operation for two connection types ESS in PV-ESS hybrid system.

学位論文審査の要旨

主査	教授	北	裕	幸
副査	教授	五十嵐		一
副査	教授	小笠原	悟	司
副査	教授	小野里	雅	彦
副査	准教授	原	亮	一

学位論文題名

Study on PV-ESS Hybrid System for Power Salvaging and Smoothing under Fault Occurrence and Isolated Operation

(事故時及び自立運転時の電力変動抑制のための
PV-ESSハイブリッドシステムに関する研究)

本論文では、太陽光発電 (PV) に蓄電池 (ESS) を併設した、PV-ESS ハイブリッドシステムを提案し、その具体的な回路システム構成並びに安定化のための制御手法を明らかにすることを目的としている。提案システムは、電力系統への連系時には、蓄電池を用いて太陽光発電の出力変動を抑制することで、連系点電力の値を一定に維持する運用を行う。一方、電力系統の事故時には、系統から独立して太陽光発電の電力を蓄電池に充電するとともに、PV-ESS システムを主電源として負荷に電力供給を継続することができる。近年、地球温暖化や化石エネルギーの枯渇など環境問題への対策技術として、太陽光発電、風力発電などの再生可能エネルギーが注目を集めており、わが国でも今後急速な導入拡大が予想されている。また、東日本大震災で電力供給設備が大きな影響を受けたことにより、自立運転が可能な分散型発電システムへの要求も高まっている。本論文における PV-ESS システムは、将来の太陽光発電の導入拡大に伴う電力系統への影響を緩和することができると共に、電力系統に依存しないマイクログリッドとしての機能も持っており、低炭素型・防災型の新しい電力供給システムへの展開を予期させる学術的意義の高い研究であると言える。また、本論文では、蓄電池の連系方法として、太陽光発電の交流側にインバータを用いて連系する交流側連系方式と、太陽光発電の直流側に DC-DC コンバータを用いて連系する直流側連系方式の 2 通りの回路構成を想定し、その利害得失を瞬時値シミュレーションによって比較している。本論文で得られた知見は今後の PV-ESS の開発方向に一定の指針を与えることになると予想される。また、平常時から系統事故を経て、自立運転に至るまでの過渡状態の解明や、その際の PV-ESS システムの具体的な制御手法については、世界的にほとんど研究が進んでおらず、本研究の独創的な点であると評価できる。以下、本論文で得られた成果等に関して審査した結果を述べる。

第 3 章では、ESS の連系方式が異なる 2 種類の PV-ESS システム (交流側連系方式、直流側連系方式) を想定し、各方式に対して平常時から事故時の挙動を模擬するための解析モデルを構築している。また、構築したモデルを用いてシステム安定化のための具体的な制御手法が開発されている。まず、交流側連系方式は、太陽光発電および蓄電池を、それぞれインバータ (PV-PCS および ESS-PCS) を通して交流の電力系統に接続する構成である。平常時には太陽光発電のインバータ (PV-PCS) を、最大電力が引き出されるように電流制御方式で運転するとともに、連系点の電力をある決められた

一定の値となるように,ESS のインバータ (ESS-PCS) を電流制御方式で運転する. また, 系統事故時には, 事故検出後に本システムを系統から切り離し, 即座に ESS-PCS を電圧制御方式に切り替える. これにより,PV-PCS を停止させることなく, 太陽光発電から最大電力を引き出しながら, その発生電力を ESS に充電することが可能となる. 次に, 直流連系方式は,ESS を DC-DC コンバータを介して太陽光発電の直流側に連系し,1 台のインバータ (コモン PCS) で系統に連系する構成である. この場合, 平常時にはコモン PCS を一定電力を供給する電流制御方式で運転し, 太陽光発電からの電力は ESS の DC-DC コンバータによって最大電力追従が可能である. また, 系統事故時には, 同様に系統からシステムを切り離すが,ESS が直流部に連系されているため, コモン PCS が停止しても, 太陽光発電からの電力はすべて自動的に ESS に充電されることになる. すなわち,PCS の制御方式の切り替えが不要となるため, 事故時の電圧低下が小さく, 太陽光発電からの電力を有効に活用することが可能となる.

第 4 章では,PV-ESS ハイブリッドシステムが系統から独立してマイクログリッドとして負荷に電力を供給する方式について提案されている. 交流側連系方式, 直流側連系方式のそれぞれについてその有効性が確認されている. 交流側連系方式では, 事故時と同様に PV-PCS を電圧制御方式で運転し, 直流側連系方式ではコモン PCS を電圧制御方式で運転することが必要であることが明らかにされている.

これを要するに, 著者は, PV に ESS が連系された PV-ESS ハイブリッドシステムを開発し, その解析モデルを開発するとともに, 平常時から事故時の制御方式, マイクログリッド運転の制御方式について新知見を得たものであり, 電気エネルギー工学, 電力系統工学に対して貢献するところ大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める.