

エン セイゲン

| | |
|---------|---|
| 氏 名 | YAN QINGYUAN |
| 学位の種類 | 博士（工学） |
| 学位記番号 | 博第1119号 |
| 学位授与の日付 | 平成30年3月26日 |
| 学位授与の条件 | 学位規則第4条第1項該当 課程博士 |
| 学位論文題目 | Novel Management of BESS in Voltage and Unbalance Factor Control of PV Connected Distribution System (太陽光発電が導入された配電システムの電圧と不平衡の制御における蓄電池システムのマネジメント) |
| 論文審査委員 | 主 査 准教授 青木 睦 教授 竹下 隆晴 教授 水野 幸男 |

論文内容の要旨

Environment protection and limit of traditional power generation resources promote renewable energy's attendance in power generation. Renewable energy as a clean resource rapidly grows in power system, especially in Japan, PV as roof-top solar provides a large amount of power for load consumption in distribution system. Comparing with the highlight of PV, the problem it caused in distribution system is also significant. In this thesis, voltage management (voltage violation suppression and voltage unbalance suppression) in PV connected distribution system is discussed. Besides the problem caused by PV, the novel devices in distribution system draw author's attention with their excellent control ability. Mainly, four parts in this thesis are discussed in dealing with the voltage problem.

The first part discusses Voltage Unbalance Factor (VUF) suppression in PV connected distribution system. In prior research of VUF improvement, VUF can't be suppressed to a certain value. And the unnecessary suppression of VUF appears. Also tap-change device Static Capacitor (SC) is not capable in dealing with the variable VUF with delay in operation by its mechanical feature. With the liberalization of power market, the constraint of VUF for different consumers won't always be same. Hence, this part proposes a flexible VUF control method via regulation of phase voltage. In

order to realize accurate management of VUF, Battery Energy Storage System (BESS) is applied in VUF improvement. The relation of VUF and phase voltage is proposed, and with accurate control of phase voltage by BESS, more flexible improvement of VUF is realized.

From the view of cost reduction in the application of BESS, SC with relatively low cost is used as an assistance of BESS in VUF suppression. And the application of SC is proposed to reach more effective control of VUF and not increase power loss in distribution system.

The second part proposes the cooperation of multiple BESS with Novel SOC management. In the development of smart grid, the increasing of BESS application is inevitable. The study of large-scale BESS in voltage management is done a lot, while the control method of small-scale BESS can't just take the existed method for large-scale BESS. With the different capacity and location of multiple BESS, novel method in the cooperation of BESS is needed for their effective utilization. And State of Charge (SOC) is an important index of BESS for its effective application. Different from prior research, Novel initiative SOC management making more available capacity of BESS is proposed.

The third part proposes cooperation control of Small-scale BESS Group (SBG) composed by Small-scale BESS (S-BESS) in voltage and VUF management. With the proposed method, SOC of each S-BESS in SBG is balanced and the peak value of each SBG's output is reduced. Still for cost reduction in application of BESS, SVR is cooperated with it. A novel cooperation method between SBG and SVR is proposed with the consideration of SOC value of SBG. The proposed method contributes to the promotion of S-BESS application in distribution system.

The fourth part discusses the utilization of energy storage devices in voltage fluctuation suppression of PV connected distribution system. Along with the growth of PV, Home Energy Management System (HEMS) and Electric Vehicle (EV) in distribution system also have notable development. From the view of future smart grid, with power system liberalization, power retail business is promoted. Based on previous parts, the cooperation of different energy storage devices has high possibility to achieve more effective utilization of power. Although the application of HEMS and EV in voltage management has a lot of details like the definition of power retail cost and the demerit of frequency operation of battery in these devices, the attempt in cooperation of the three devices with different owners is meaningful to challenge.

論文審査結果の要旨

本論文は、配電系統における電圧制御と電圧不平衡抑制に向けた蓄電池システム(Battery Energy Storage System : BESS)のマネジメント方法に関するものである。近年の太陽光発電システムは、住宅に設置されるものが多く、配電系統における電圧変動や電圧不平衡の増加による電圧管理が困難になってきているという問題がある。負荷の変化にも対応できる電圧不平衡抑制方法として、進相コンデンサ(Static Capacitor : SC)を活用した手法があり他の制御機器と比べて低コストで効果的に電圧不平衡を抑制することができる。しかし、段階的な調整しかできないことと高速な制御ができないという問題点がある。一方、BESSは、連続的かつ高速な制御が可能であり、有効電力と無効電力の両方を制御することが可能であるが、コストが高いという問題点がある。

本論文では、まず、コストの低いSCにより段階的に電圧不平衡を抑制し、細かい調整をBESSで行う方法について提案している。そして、線間電圧の制御目標に対して、相電圧を制御する方法を提案し、これを用いてBESSの出力が最も小さくなるような制御方法を提案している。この方法により、小容量のBESSで需要家ごとに異なる制御目標値に対応できる柔軟な制御が可能であることを示した。

次に、これまでの先行研究では大容量のBESSを用いたものであったが、設置スペースなどを考慮すると小容量のBESSを系統に分散的に配置することが考えられる。しかし、BESSの容量が小さくなると充電量の上下限值にすぐに達してしまうことが考えられる。そこで、小容量のBESSが分散配置された場合を想定して、蓄電池の充電状態(State of Charge : SOC)のバランスをとるためにBESS間で充電または放電量を交換する手法(Novel initiative SOC management)提案した。そして、分散配置された小容量のBESSにより、太陽光発電システムの出力変動に伴う電圧変動を抑制する方法として、蓄電池群と既存の電圧制御機器であるSVRの協調制御方法を提案している。この方法は、前述のSOCマネジメント手法を適用してBESS間のSOCのバランスをとるとともに、SOCの上下限制約で電圧制御が困難な状況になった場合は、SVRに制御要求を送出して、電圧の制御を行うものである。これにより、機械的な動作に伴う動作遅れをもつSVRと小容量のBESSにより、太陽光の出力変動にともなう電圧変動を効果的に抑制することができる。

さらに、需要家のリソースの活用に関して、送配電事業者がBESSを設置するだけでなく、今後は、電気自動車やスマートハウスの普及により、一般家庭にもBESSが普及することが考えられる。本論文ではこれらの需要家に設置されたBESS池を活用した制御方法を提案し、太陽光発電の出力変動に伴う電圧変動を抑制できることを示した。

これまで、配電系統の電力品質改善に向けてのBESSの活用に関する研究は少なく、本研究の成果により、小容量のBESSで電圧変動や電圧不平衡の抑制が可能になり、BESSの普及が加速されると考えられる。また、BESSの活用方法について、本研究は新しい方向性を示しており、将来の配電系統の電力品質改善に向けて、さらなる活用が期待できるものである。