

配電システムの電圧適正化に向けた取組み

■ 茂木 規行
Noriyuki Motegi

■ 村下 直久
Naohisa Murashita

■ 宮本 卓也
Takuya Miyamoto

1 はじめに

地球環境問題や省エネルギーに対する意識の高まりを背景に、国内外で太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの普及拡大に向けた取り組みがなされている。とりわけ日本では、再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT: Feed In Tariff) の施行を契機として、配電システムへの太陽光発電の大量分散導入が進んでいる。

配電システムへの分散型電源の大量導入により、さまざまな系統安定上の問題が発生することが、多くの研究会などで報告されている。中でも電圧上昇は、比較的早期に顕在化する課題であると考えられている⁽¹⁾。

例えば、太陽光発電の配電線への逆潮流^(注1)により、配電線の電圧が適正範囲の上限管理値を逸脱する場合がある。この対策として、電圧調整機器の設置などが考えられているが⁽²⁾、後述するように制御上の課題もあることから、配電システムの電圧調整の高度化が必要となる。

東光高岳では、配電システムの電圧調整機器 (負荷時タップ切換変圧器 (以下、LRT)、ステップ式電圧調整器 (以下、SVR) など)、各種制御技術を駆使したシステムなどを製品化しており、電圧調整面での多岐にわたる技術を蓄積している。また、小山事業所に「配電ネットワーク実証試験場」を開設し、電圧調整問題に取り組んでいる⁽³⁾。

本稿では、配電システムの電圧適正化手法の一つである「集中電圧制御」について、東光高岳の取組みの概要と、配電ネットワーク実証試験場を活用した検証例を紹介する。

2 従来の電圧制御の課題と対策

2.1 従来の電圧調整機器の電圧制御方法

現在の配電システムの電圧制御方法として、電圧調整機器を設置した箇所の電圧・電流情報を用いて、電圧を管理したい目標地点 (負荷中心点) の電圧を推定し、その地点の電圧が適正範囲となるようにLRTやSVRのタップを制御する「自端電圧制御」が広く普及している。この負荷中心点の電圧は、配電システムに太陽光発電などの分散型電源が無く、負荷のみが接続されたものとして推定している。

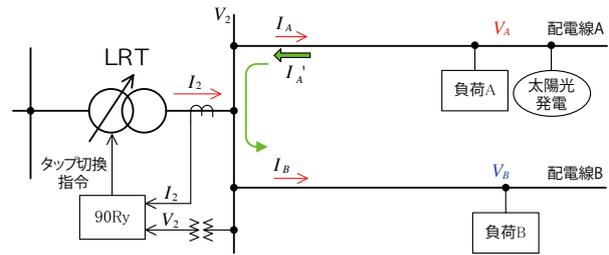
2.2 従来の電圧制御方法における課題

図1 (a) は、配電線Aに負荷および太陽光発電が、配電線Bに負荷のみが接続され、LRTによりこれらの配電線の電圧調整を行う状況を示している。LRTは、負荷中心点に

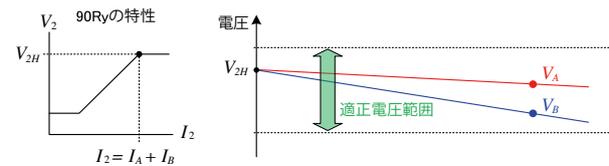
相当する地点までの電圧降下を補償するため、電圧調整リレー (以下、90Ry) の特性に従い、LRT設置点の電流 I_2 の大きさに応じて設置点の電圧 V_2 を調整している。

いま、配電線Aの太陽光発電の発電量がゼロの場合 (従来の配電線)、図1 (b) のように、90Ry 特性に従いLRT 設置点の電圧 V_2 を V_{2H} に調整することで、配電線Aおよび配電線Bの電圧 V_A 、 V_B を適正範囲に維持している。

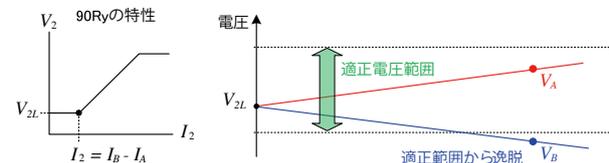
しかし、配電線Aの太陽光発電の発電量が多く、配電線Aから配電線Bへ電力が供給される場合、LRTからの供給電力は減少し、設置点の電流 I_2 は小さくなる。そのため、図1 (c) のように、90Ry の特性に従いLRT 設置点の電圧 V_2 を V_{2L} に下げることとなり、配電線Bの電圧 V_B が適正範囲を下回る可能性がある⁽⁴⁾。



(a) 配電系統の例



(b) 負荷A=大, 太陽光発電量=0 の場合



(c) 負荷A=0, 太陽光発電量=大 の場合

図1 LRT の電圧制御方法

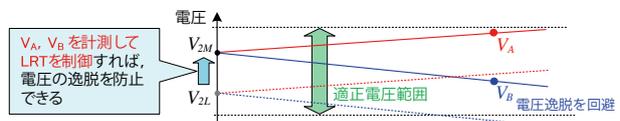


図2 配電線の計測電圧に基づく電圧制御のイメージ

この対策として、図2に示すように、配電線の電圧 V_A 、 V_B を直接計測して、両者の電圧が適正範囲となるようにLRTを制御するなどの方法が必要となる。

なお、SVRについても、LRTと同様に、設置点の電流と電圧から負荷中心点の電圧を推定している。SVR二次側の配電線に負荷および太陽光発電が接続された場合、SVR設置点の電流の変化が、負荷変動か太陽光発電によるものかを判断できず、負荷中心点の推定電圧と実際の電圧とで相違が生じてしまう課題があり、対策が必要となる⁽⁴⁾。

2.3 集中電圧制御による対策

上記は配電線の回線数が少ない場合であるが、実際には7~8回線程度ある。それらに太陽光発電や負荷が混在することになると、電圧調整機器による電圧推定はさらに難しくなり、自端電圧制御だけでは、すべての配電線の電圧を適正範囲に維持することは困難となることが想定される。

また、LRTと複数のSVRが設置される場合には、ハンチング^(注2)の防止等の観点から、これらの電圧調整機器間の制御の協調を図る必要があるなどの課題がある。

これらの対策として、集中電圧制御による電圧調整の高度化が提案されている⁽⁵⁾。本方式は、前述したように、管理したい地点の電圧情報を直接計測し、それをを用いて電圧調整機器の制御を行うことを基本とした手法である。

配電システム内に設置されたセンサ付開閉器から、通信ネットワークを経由して電圧、電流などの計測情報を中央の親局にリアルタイムで取り込む「集中電圧制御システム」を構築することで、最新の系統構成や状態を把握することが可能となる。もし、電圧調整の必要な地点があると判断した場合、系統内に配置された電圧調整機器に対して、親局から遠方タップ制御指令を出力することで、配電システム全体の電圧管理を一括して行うことができる。

3 集中電圧制御システムの開発

東光高岳は、集中電圧制御に関する知見の取得および性能評価を目的として、集中電圧制御システムの検討、試作器の開発を進めている。

検討した集中電圧制御システムの概要を以下に示す。

3.1 システム構成

集中電圧制御システムの基本構成を図3に示す。

LRT、SVRおよびセンサ付開閉器の各機器と、それらの制御子局、ならびに電圧制御処理フローを備えた集中電圧制御装置（親局）から構成される。

3.2 処理フロー

集中電圧制御システムの処理のフローを図4に示す⁽⁴⁾。

3.3 機能および処理

代表的な機能および処理の概要を以下に示す。

(1) 収集データ

集中電圧制御システムの収集データの主な項目を表1

表1 主な収集データ

種類	項目
機器状態データ	<ul style="list-style-type: none"> ・LRT二次側母線回路状態、配電線遮断器状態 ・センサ付開閉器状態 ・LRT、SVR制御権（遠方／直接） ・LRT、SVRタップ位置 ・装置異常の有無 ・保護リレー状態
計測データ	<ul style="list-style-type: none"> ・LRT二次側母線電圧 ・センサ付開閉器一次、二次電圧 ・SVR一次、二次電圧

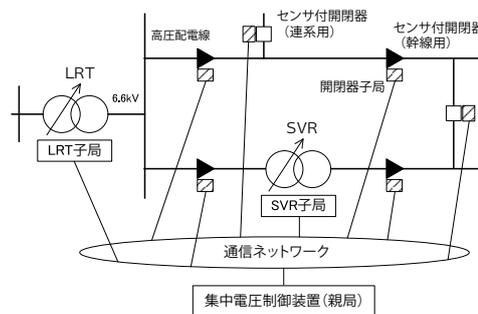


図3 集中電圧制御システムの基本構成

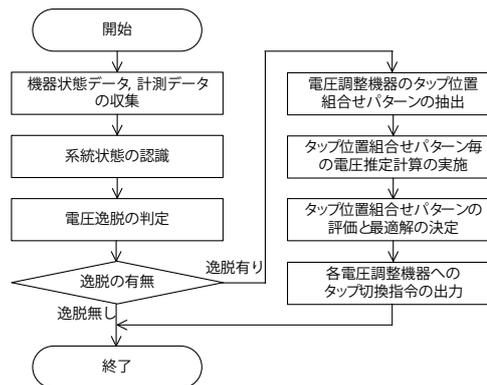


図4 集中電圧制御システムの電圧制御処理のフロー

に示す。データの収集周期は任意に設定可能である。

(2) 電圧逸脱の判定

計測点毎に基準電圧値と電圧管理値（上限電圧、下限電圧）を設定し、電圧逸脱の判定を行う。

電圧逸脱判定は、収集した各計測点の電圧と当該計測点の電圧管理値を比較し、上限電圧または下限電圧からの逸脱量を積分し、所定値を超えた場合に電圧逸脱「有」とする方式とする。

(3) タップ位置組合せパターンの抽出

電圧逸脱「有」の判定後、電圧調整機器のタップ位置組合せパターンを抽出する。各機器の現在タップ位置を基準として、可変するタップ数を与え、可変範囲の全ての組合せを抽出する。

(4) 電圧推定計算の実施

電圧調整機器のタップ位置組合せパターン毎に、各計測点の電圧推定計算を実行する。計算は、機器のタップ位置の

変更によって生じる各計測点の電圧変化分を求め、その変化分を電圧逸脱判定時の計測電圧値に加算して行う。

(5) 評価と最適解の決定

電圧調整機器のタップ位置組合せパターン毎に計算した各計測点の推定電圧に対し、電圧適正化の観点から各パターンの評価を行い、機器に指令するタップ位置(最適解)を決定する。評価方法は、電圧管理値からの逸脱量、および基準値との偏差が最小となるパターンを選択することとし、(1)式により評価値Fを計算し、Fが最小となるパターンを最適解とする。

$$F = \sum_{x=1}^n (a\varepsilon_x + \eta_x) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、

$$\varepsilon_x = \begin{cases} (V_x - V_{x\max})^2 & : V_x > V_{x\max} \text{ の場合} \\ 0 & : V_{x\min} \leq V_x \leq V_{x\max} \text{ の場合} \\ (V_x - V_{x\min})^2 & : V_x < V_{x\min} \text{ の場合} \end{cases}$$

$$\eta_x = (V_x - V_{xs})^2$$

- V_x : 計測点xの電圧
- $V_{x\max}$: 計測点xの電圧管理値上限
- $V_{x\min}$: 計測点xの電圧管理値下限
- n : 計測点の総数
- V_{xs} : 計測点xの基準電圧値
- a : 重みの係数

4 実証試験場での機能検証

前項で検討した集中電圧制御システムを、小山事業所の配電ネットワーク実証試験場内に構築し、機能検証を進めている。集中電圧制御システム検証時の構成を図5に示す。

実証試験場は、1バンク2配電線の回路構成であり、LRT(模擬)1台、SVR 2台、センサ付開閉器 14 台を備え、各機器は子局を介して通信ネットワークに接続されている。

また、最大約 10km の線路こう長を模擬できる線路模擬装置を配備しており、負荷(工場実負荷、模擬負荷)、太陽光発電、コンデンサ、蓄電池などの装置を活用することにより、配電線の電圧変動を模擬することが可能である。

集中電圧制御装置(親局)は試験場内の監視制御室に設置し、センサ付開閉器の計測電圧値などを一定周期で収集するとともに、制御設定に応じてLRTとSVRにタップ制御指令を出力する。

電圧調整機器のタップ位置最適化処理の妥当性確認を目的として、コンデンサ(200kvar×2台)を投入し、線路上に電圧上昇を発生させたときの制御の様相を、図6に示す。

コンデンサの投入で電圧が上昇し、計測点の電圧は管理値上限から逸脱する。集中電圧制御システムは、一定周期(本試験では1分)で計測点の電圧を監視し、電圧逸脱「有」と判定すると、3章で述べた各種最適化処理を行い、適正電圧となるようにLRTとSVRのタップを制御する。

図6のタップ位置の組合せパターンに示した、評価値Fが最小となるタップ位置組合せが最適パターンであるが、機器の実器においても、LRTが降圧方向に2段(タップ3→1)、SVR_Aが降圧方向に1段(タップ3→2)、SVR_Bが昇圧方向に1段(タップ4→5)のタップ切り替えが発生しており、最適解のとおり動作していることが分かる。

ここで、SVR_Aが降圧するのは、LRTの降圧のみでは、試験線Aの線路末端の計測点電圧(IT25)が、電圧管理値の上限を逸脱するためである。また、SVR_Bが昇圧するのは、LRTの降圧により試験線Bの計測点電圧(IT22、IT24)が、電圧管理値の下限に近いため、電圧偏差を最小化するためである。

また、集中電圧制御システムによる電圧調整の例を図7に示す。これは、電圧管理値を全ての計測点で6.5～6.7kVに設定したケースである。

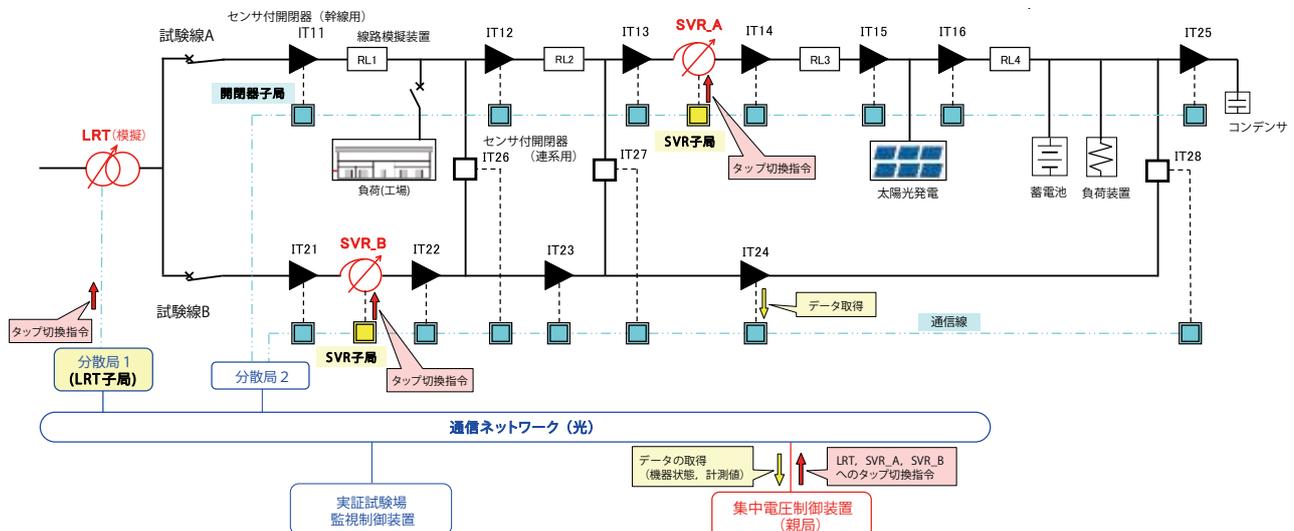


図5 集中電圧制御システムの検証時の構成

線路には、太陽光発電や蓄電池の出力による逆潮流が生じているが、電圧管理値上限または下限に対して計測点の電圧が逸脱すると、これを回避する方向に電圧が適正に調整されていることが分かる。

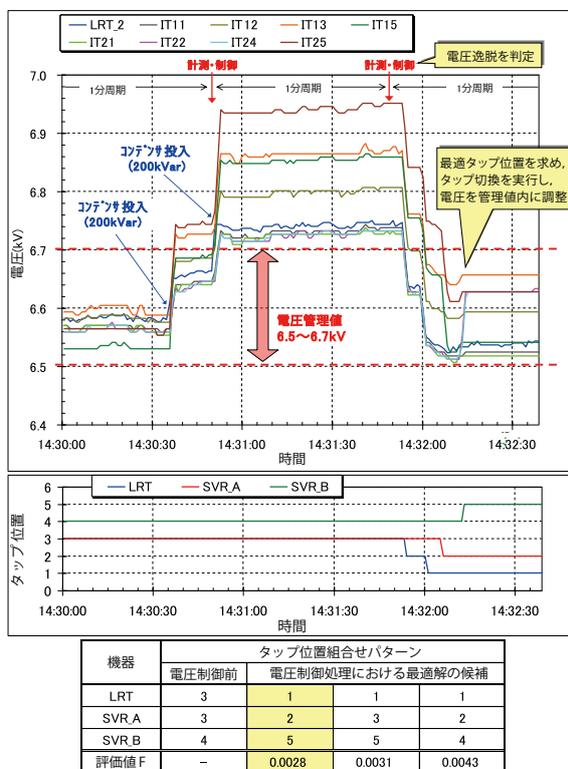


図6 集中電圧制御の様相とタップ位置組合せ評価例

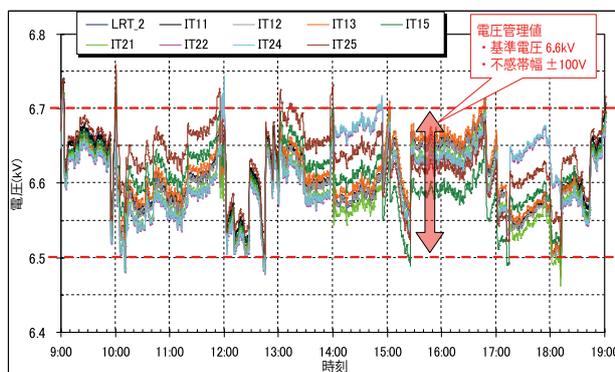


図7 集中電圧制御システムによる電圧調整の例

5 おわりに

本稿では、将来の分散型電源の大量導入時に活用が期待される集中電圧制御について、東光高岳における開発の取り組みと、配電ネットワーク実証試験場を使用した検証例を紹介した。

今後は、タップ切戻回数と電圧管理値からの余裕量を考慮した制御手法の検討や、工場実負荷と太陽光発電な

どを活用した性能検証を行い、集中電圧制御システムの確立と、それらに対応した電圧調整機器などの開発につなげる所存である。

参考文献

- (1) 経済産業省次世代送配電ネットワーク研究会：「低炭素社会実現のための次世代配電ネットワークの構築に向けて」(2010)
- (2) 草川他：「配電システムの電圧適正化に向けたソリューション」, 高岳レビュー, Vol.56, No.175, p.6-11 (2011)
- (3) 茂木：「配電ネットワーク実証試験場」, 高岳レビュー, Vol.56, No.175, p.19-23 (2011)
- (4) 電気協同研究会：「低炭素社会の実現に向けた配電システムの高度化」, 電気協同研究, 第66巻, 第2号 (2011)
- (5) 吉永他：「配電システムにおける集中型電圧制御方式の開発」, 平成16年電気学会電力・エネルギー部門大会予稿集, 30 (2004)

語句説明

注1) 逆潮流：分散型電源の発電量が設置箇所の需要を上回ることで、上位の電力システムにその余剰となる電力が流れ込み、通常の負荷への電力供給（順潮流）とは逆方向の電力の流れになること。

注2) ハンチング：制御対象が目標値の上下を往復し、制御が安定しない現象。SVRの場合、上位のLRTやSVRの電圧制御の影響で、当該SVRに本来不要であるタップ切戻が繰り返し発生することを言う。



茂木 規行

技術開発本部 技術研究所
プロジェクト推進グループ 所属
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事



村下 直久

技術開発本部 技術研究所
プロジェクト推進グループ
兼 スマートグリッド事業推進部
スマートグリッドシステム設計グループ 所属
次世代配電ネットワークおよびスマートグリッドに関する研究・開発に従事



宮本 卓也

技術開発本部 技術研究所
プロジェクト推進グループ 所属
次世代配電ネットワークに関する研究・開発に従事