

分散型電源の出力変動予測に基づく電圧・無効電力制御

Voltage and Reactive Power Control based on Prediction of Power Fluctuation of Distributed Generators

学籍番号 23413539 氏名 杉浦 聡

指導教員名 鶴飼 裕之

1. 諸言

現在、電力システムの運用における平常時の電圧・無効電力制御 (VQC) は、事前に行われた需要予測などから定められた制御機器のスケジュール運転で調整している。しかし、環境負荷低減の意識の高まりと共に、近年急速に普及が進んでいる分散型電源が将来電力システムに大量投入されることを想定した場合、分散型電源の出力変動を考慮しない VQC では系統内潮流状態の変化に対応できないと考えられる。また、スケジュール運転のみでは気象条件によって大きく変動する分散型電源のリアルタイムの出力変動を考慮していない制御となり、制御不足による電圧逸脱を起こす可能性も考えられる。

VQC の最適化は、調相設備や変圧器タップ、発電機端子電圧など種々の制御手段の組み合わせ最適化問題に定式化が可能である。このような離散、連続型の最適化問題にはメタヒューリスティクスが有効であり、VQC に適用させた報告もされている。

そこで本研究では、分散型電源を大量投入した系統を模擬し、それらの出力予測に基づいた最適制御量探索にメタヒューリスティクス手法を適用した時系列先行制御 VQC 手法を提案し、その有効性と特徴について検証する。

2. 適用手法

<2.1> 提案法 本研究では、分散型電源の前日出力予測に基づいた制御機器スケジューリングに、当日の一制御時刻先の出力予測に基づいた制御量補正を計算し、制御時刻に計算した制御量の投入の完了を繰り返すことで、リアルタイムで電圧を規定値内に収める時系列先行制御 VQC を行う。制御機器スケジューリングには大域探索が可能である PSO、当日の制御量補正には集中探索が可能であるタブサーチを用いてスケジューリングされた制御量の近傍を集中探索することで、制御量の大幅な変更を避けながらも、出力変動に合わせた制御量を投入し、現行のスケジューリングベースのシステムにも適応すると考えられる。

<2.2> 前日出力予測

(a) メガソーラー 太陽光発電の出力は日射量 (雲量) に左右されるので、天候に合わせた出力パターンにより決定する。

(b) 風力発電 風力発電の出力は風況に依存することか

ら、その出力は確率的な要素が強い。そこで、風速の発生確率分布を算出する関数として知られている (1) 式のワイブル分布関数を用いて算出した確率分布から風速の期待値を算出し、(2) 式を用いて発電量計算したものを全時間における風力発電の前日出力予測とする。

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\} \quad \dots (1)$$

$f(V)$: 風速 V の出現率, c : 尺度係数, k : 形状係数

$$P_W = \alpha \cdot A P_0 = \frac{1}{2} \alpha \cdot A \cdot \rho \cdot E[V]^3 \quad \dots (2)$$

α : 風車のエネルギー転換効率 (0.3~0.4 程度)

A : 受風面積 (m^2)

P_0 : 風力エネルギー密度 (W/m^2)

ρ : 空気密度 (kg/m^3)

<2.3> 当日出力予測 当日に行う一制御時刻先出力予測は、前日出力予測結果に AR モデルを用いて補正をかけることで行う。そこで、(3) 式のように前日出力予測結果 z_n と、当日の実測値 y_n との差を表す新たな時系列を設定し、これを解析して (4) 式のように当日の一制御時刻先出力予測を決定する。

$$x_n = y_n - z_n \quad \dots (3)$$

$$\tilde{y}_{n+1} = z_{n+1} + \tilde{x}_{n+1} \quad \dots (4)$$

<2.4> 最適化問題設定 提案法において、前日スケジューリングおよび当日の制御量探索は、経済性とセキュリティを考慮した (5) 式の目的関数を最小とする最適化問題として設定する。制御変数は調相設備量、変圧器タップ位置、発電機 (同期調相機) 端子電圧の計 3 種類である。第 5, 6 項は監視点電圧逸脱および発電機無効出力の上下限逸脱に対するペナルティ項であり、最適解においてはゼロにならなければならない。

目的関数

$$\min (\alpha \sum_{j=1}^m P_{lossj} + \beta \sum_{r=1}^l P_{sckr} + \gamma \sum_{i=1}^n Q_{gi} + \delta \sum_{r=1}^s \Delta Tap_r) + (V_{penalty} + Q_{gpenalty}) \quad (5)$$

P_{loss} : 送電線有効電力損失 (pu)

P_{sck} : 調相投入容量に対する調相損失 (pu)

Q_g : 発電機無効出力 (pu)

ΔTap : 変圧器タップ数 (中間位置からの偏差)

α : 送電損失に対するコスト重み (¥/puP)

β : 調相投入損失に対するコスト重み (¥/puQ)

γ : 発電機無効出力に対するコスト重み (¥/pu)

δ : 変圧器タップ位置に対するコスト重み (¥/tap)

〈2.5〉 初期値設定 前日スケジューリングに用いる PSO の各制御断面における初期値は、時系列での連続性を考慮して一制御時刻前での最適解とし、当日探索に用いるタブサーチは、前日にスケジューリングされた制御量を初期値とする。

〈2.6〉 予測誤差対策 分散型電源の出力予測に誤差があった場合でも電圧を規定値内に収めるための対策として、制御量探索の際の電圧制約を上下限規定値より $\Delta\%$ 厳しくする。前日スケジューリングと当日探索の連携を考慮し、PSO とタブサーチの制約条件は一致させる。

3. 計算機シミュレーション

〈3.1〉 シミュレーション条件 例題系統として図 1 に示す IEEE57 母線系統を使用する。シミュレーション時間は午前 8 時から午後 4 時までの 8 時間、制御周期は 30 分とし、晴れ、曇り、雨の 3 ケースを想定したケーススタディを行う。分散型電源は Node5 に容量 100MW の風力発電機、Node30, 35, 44 に各容量 100MW のメガソーラーを投入し、天候ケース別出力パターンを図 2 から 5 に示す。

制御対象箇所は、調相設備が全負荷母線 35 箇所、変圧器タップは 17 箇所、発電機および同期調相機は 7 箇所の計 59 箇所とする。調相の単位制御量は 0.03pu、変圧器タップの単位制御量は 0.0105(タップ比)、発電機の単位制御量は端子電圧(AVR 電圧指令値)の 0.05%変更とする。電圧上下限規定値は目標値 $\pm 2\%$ とし、予測誤差対策は 0.5%縮小とする。

提案法の効果を確認するため、スケジューリングのみの制御を Case1、提案法による制御を Case2、予測誤差対策を行わない制御を Case3 とし、それぞれの制御に実際の潮流状態を反映させた場合の電圧制御結果を検証する。図 6 には制御後の電圧変動、表 1 には Case1~3 の各制御時刻における電圧規定値違反母線数を、全制御時刻において合計したものを示す。提案法では他ケースに比べ電圧を規定値内に収めることができ、有効性が確認できた。

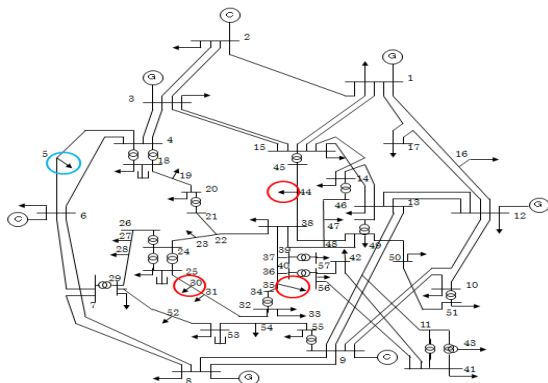


図 1 : IEEE57 母線

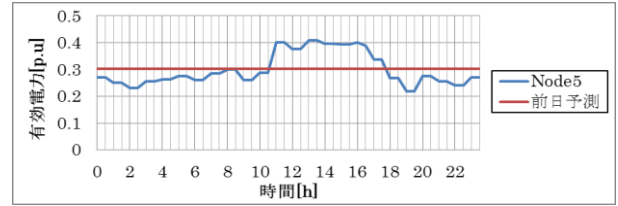


図 2 : 風力発電の出力

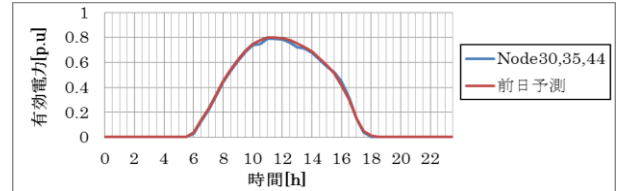


図 3 : メガソーラーの出力 (晴れ)

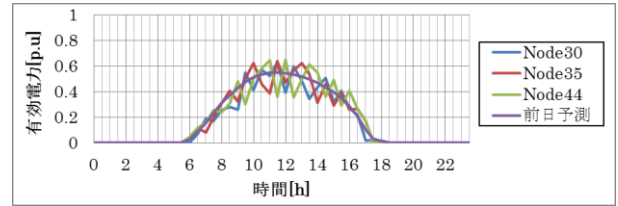


図 4 : メガソーラーの出力 (曇り)

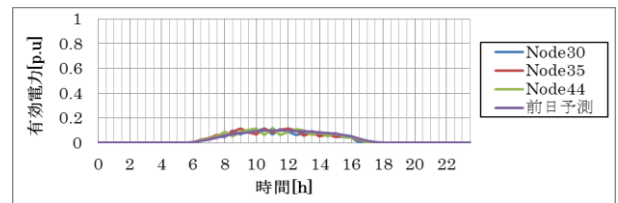


図 5 : メガソーラーの出力 (雨)

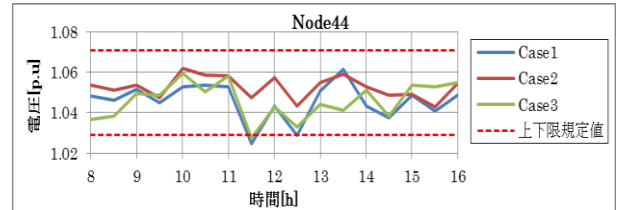


図 6 : 電圧制御結果 (曇り)

表 1 : 電圧規定値違反母線数の合計

天候	Case1	Case2 (提案法)	Case3
晴れ	2	0	
曇り	12	1	7
雨	3	0	

4. 結言

本研究では、将来の分散型電源の大量投入を考慮し、出力予測に基づいた制御機器の前日スケジューリングおよび当日の制御量補正を行う時系列先行制御 VQC を提案し、効果を検証した。その結果、提案法はリアルタイムに電圧を規定値内に収めることができた。今後の課題としては、精度の高い予測アルゴリズムの適用、負荷予測も含めた総合的な先行制御 VQC への発展などが考えられる。