

マイクログリッドにおける風車の動作点をシフトした 効率的な慣性応答制御

Efficient inertia response control of wind turbine with shifted operation points for microgrid

生島 昌敬
指導教員 齊 晶婷

サレジオ工業高等専門学校 工学部 機械電子工学科 マイクログリッドシステム研究室

風車は慣性応答により瞬間的に出力増加させることが出来るが二次周波数低下を引き起こす恐れがある。本研究では回転数を最適回転数より上げることで慣性応答時の出力を増加させる制御方法を提案した。提案手法はディーゼルエンジン発電機、風車、負荷からなるマイクログリッドで検証した。

キーワード：マイクログリッド, 慣性応答, 風力発電, 周波数制御

1. 緒言

地球温暖化対策として発電の脱炭素化は極めて重要な項目であり、それに向けて再生可能エネルギー (VRE) の導入が進められている。またそれに伴って注目されているのがマイクログリッドである。マイクログリッドとはある程度の需要群に対し VRE や貯蓄電力等を連結して電力供給を行うシステムである。平常時は一般の電力系統と協調して運用されるが非常時は一般の電力系統と切り離し、自立的に電力供給が可能である。VRE を効率よく利用するため省エネルギーであり、離島の電力確保や非常時の地域エネルギー確保などのメリットがある。しかし、VRE と火力発電等の同期発電機が置き換わることによって電力系統の慣性が低下する。これによる周波数制御の性能低下が懸念されている^[1]。この問題の解決策として風力発電の慣性応答が検討されている。慣性応答とはローターの回転による運動エネルギーと電気エネルギーを変換することにより出力を瞬時に負荷変動を打ち消すように増減させる性質である。しかし、回転数を変化させると最適回転数からずれてしまい風力発電の出力が低下してしまう。これにより二次周波数低下が発生してしまう恐れがある。

本研究では上記の問題を解決するため慣性応答制御の改善を行い、電力系統の中でも VRE の割合の多いマイクログリッドの周波数制御の性能向上を目的とする。

2. 慣性応答制御

風車の動的エネルギー P_m は次の式で求まる。

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 V^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

$$C_p = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \beta^{c_5} - c_6 \right) \exp \left(-\frac{c_7}{\lambda_i} \right) \quad (2)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + \beta c_8} - \frac{c_9}{\beta^3 + 1} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{r\omega}{v} \quad (4)$$

ここで ρ は空気密度、 r は半径、 V は風速、 C_p は空力係数、 β はピッチ角、 λ は先端速度比である。 C_p と λ の関係を図 1 に示す (β, V は固定)。 C_p が最大になる λ を λ_{op} (β の関数) とい、 λ_{op} となる ω を ω_{op} とい。 ω_{op} は風速によって変化する。式(1)~(4)より P_m は ω 、 β 、 V の関数であり、その中で ω と β が制御可能である。従来手法では風車の出力が常に最大となるよう回転数制御により ω_{op} で維持されるように制御される。慣性応答制御は周波数低下した場合動作し、定格出力 (1.75 [MW]) の 10% 出力を増加させる。

提案手法 (10%shift) は慣性応答動作時に P_m を増加させるため、動作点を最大 P_m の 90% となる回転数 $\omega_{0.9} (> \omega_{op})$ とする制御方法である。

本検証では動作点の異なる二つの慣性応答制御 normal と 10%shift で動作させ、周波数偏差 Δf と出力 P_{WT} を測定する。図 2 に風力発電モデルを示す。

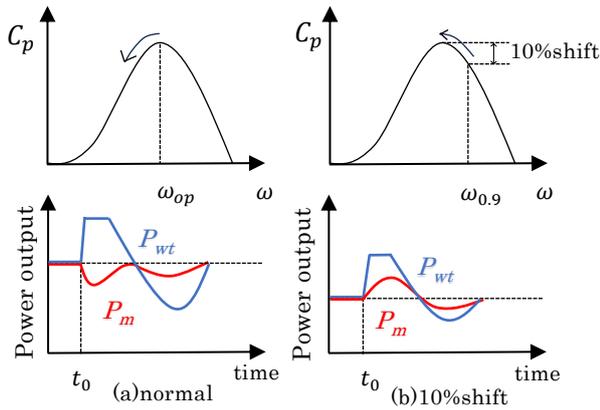


図.1 慣性応答の動作と P_m 、 P_{WT} の変化
(P_{WT} :風車の出力、 t_0 :周波数低下発生、風速一定)

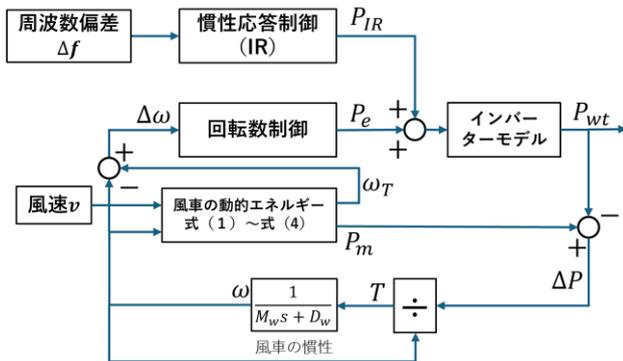


図.2 風力発電モデル

今回使用するマイクログリッドモデルを図3に示す。ディーゼルエンジン発電機 (DE) 容量 0.75[p.u]が2台、風力発電容量 0.175[p.u]が2台、負荷容量 1[p.u]、総発電量 18.5[MW]である。DEのみが同期発電機のためシステムの慣性定数はDEのローター慣性定数の合計値とする^[2]。

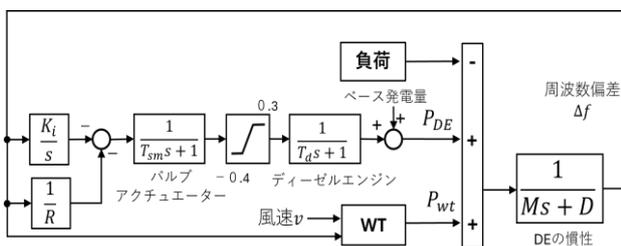


図.3 マイクログリッドモデル

シミュレーション時間は 10 [sec]で行い、負荷変動は 50~51[sec]の1秒間 0.9~0.93[p.u]上昇させる。その他の条件は風速 10[m/s]固定(定格風速 11.6[m/s])、 $\beta = 0^\circ$ とする。

3. 結果

シミュレーション結果を図4と図5に示す。図4より 10%shift は normal より周波数低下が 0.0025[Hz]少なく、上昇に関しても 0.014[Hz]少ない結果となった。図5より風車の出力は 10%shift が常に約 10%低くなった。

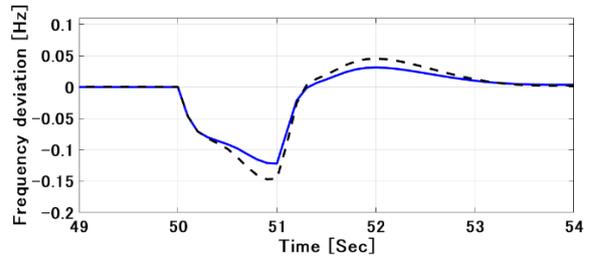


図.4 周波数偏差

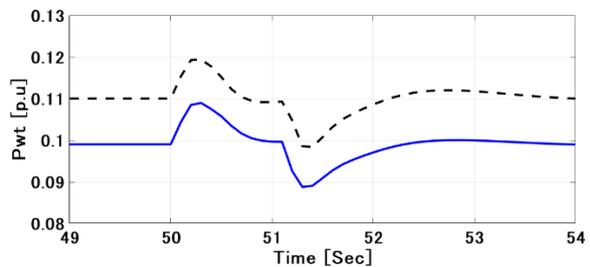


図.5 風車の出力

4. 結言

本研究では慣性応答制御の動作点を変化させることによる周波数制御の性能向上を試みた。結果より、10%shift の場合に周波数制御の性能が向上することが確認できた。しかし、今回提案した手法では最適運動点から常に 10%ずれているため約 10%の損失が発生する。

5. 今後の展望

常時 10%shift した状態では柔軟性がないため負荷変動に合わせた制御方法の検討が今後の課題である。

6. 参考文献

[1] N. Nguyen and J. Mitra, "An Analysis of the Effects and Dependency of Wind Power Penetration on System Frequency Regulation," in IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 7, no. 1, pp. 354-363, Jan. 2016,
[2] Hisanao Kawai, Takao Tsujia. "A Temporal Power Surge Control in Microgrid Using Optimal Rotational Speed of Wind Turbine". IEEJ Trans, vol. 18, no. 12, pp. 1876, 2023,