

予見補償を用いた負荷周波数制御系の構成

首都大学東京大学院 知能機械システム学域 M2 高見賢和 (児島研究室)

1. はじめに

近年, 地球温暖化や資源枯渇の側面から太陽光発電(PV)などの再生可能エネルギーの注目度が高まっている^[1].

Table 1 Effect of PV introduction

	2015年度	2030年度	2050年度
PV稼働容量[GW]	32	100	200
温暖化ガス削減量[億CO ₂ ト]	0.22	0.79	1.63
化石燃料削減額[兆円]	0.4	1.2	2.6

現状の需給制御

- 需要変動の長周期成分は経済負荷配分制御(Economic-load Dispatching Control: EDC), 短周期成分は負荷周波数制御(Load Frequency Control: LFC)が担当している。

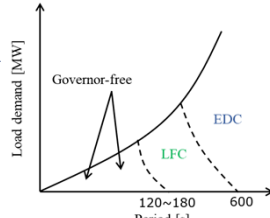


Fig. 1 Energy management

PV大量導入時における課題

- EDC計画時の予測に大きな誤差が生じ, EDCでは補償しきれない負荷変動の長周期成分(バイアス)が大きくなり, LFCで処理する長周期成分の負荷が増大する。

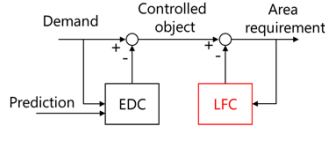


Fig. 2 EDC and LFC

研究目的

負荷周波数制御系に出力レギュレーション制約付き予見制御を導入し, 過渡特性の改善および擾乱の抑制を行う。

2. 予見負荷周波数制御モデル

負荷変動の予測値 ΔP_D を利用することで, 先行的に電力供給量を変化させ, 周波数変動 Δf を抑制する。

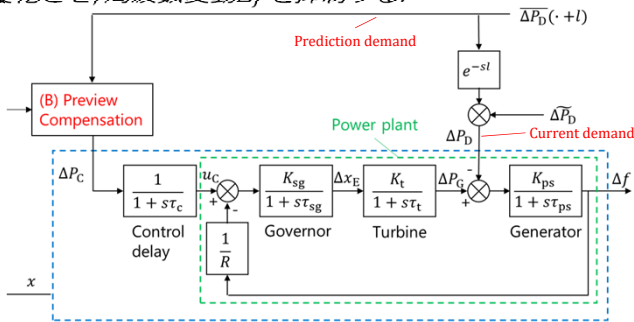


Fig. 3 Preview LFC system

Table 2 Parameters

Sign	Expression and Unit	ΔP_D	Prediction demand[p.u.]
ΔP_D	Prediction error [p.u.]	u_c	Control input [Hz]
Δx_E	Valve displacement [p.u.]	ΔP_C	Controller input [p.u.]
ΔP_G	Generator increment [p.u.]	Δf	Frequency variation [Hz]

3. 出力レギュレーション制約付き予見制御

制御対象と外乱の状態を利用することで, 評価出力の L^2 ノルムを最小化する制御則を求める。

平衡点へ収束させる評価出力

$$z(t) = \begin{pmatrix} \Delta f(t) \\ u(t) - u_{eq}(t) \end{pmatrix}$$

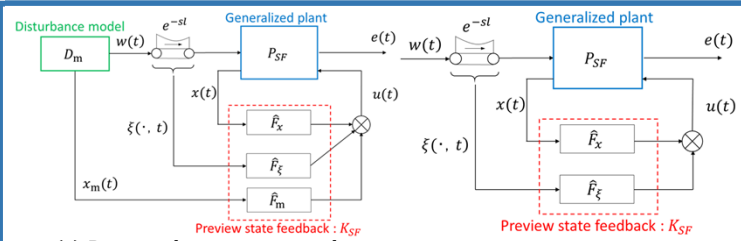
平衡点を以下のように設定する。

$$x_{eq}(t) = \hat{\Pi}_x x_m(t)$$

$$u_{eq}(t) = \hat{\Gamma} x_m(t)$$

最適予見制御則^[2]

- $u(t) = \hat{F}_x x(t) + \hat{F}_\xi \xi(t) + \hat{F}_m x_m(t)$
- 外乱フィードフォワードゲイン^[2]
 $\hat{F}_m := \hat{\Gamma} - \hat{F}_x \hat{\Pi}_x - \hat{F}_\xi \hat{\Pi}_\xi$
- 状態フィードバックゲイン: \hat{F}_x
- 予見フィードフォワード則: $\hat{F}_\xi \xi(t)$

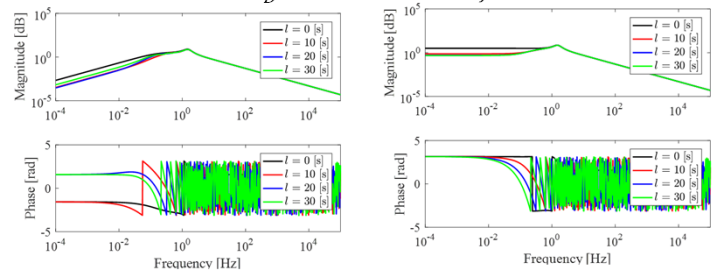


(a) Proposed preview control. (b) Conventional preview control.
Fig. 4 Generalized plant and preview compensation.

- (Case 1) バイアス分の変動を陽に考慮した予見制御
- (Case 2) 従来の予見制御

4. シミュレーションと結果

- 負荷変動の予測値 ΔP_D から周波数変動 Δf までの周波数特性



(a) Proposed preview control. (b) Conventional preview control.
Fig. 5 Frequency characteristics.

Case 1では, 低周波数帯において低ゲイン化が確認される。

- 負荷変動 ΔP_D を印加した場合の周波数変動 Δf の時間応答

負荷変動の生成

平日昼間時の従来の統計データをもとに負荷変動を定める。
負荷変動の標準偏差
 $\sigma = \gamma \sqrt{P_0}$, $\gamma = 0.3$, $P_0 = 200$ [MW].

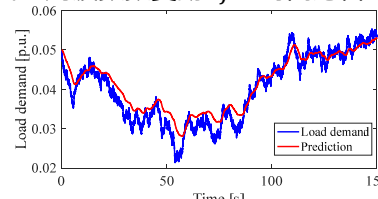
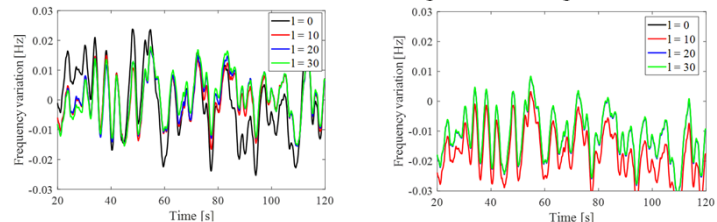


Fig. 6 Fluctuating load demand.



(a) Proposed preview control. (b) Conventional preview control.
Fig. 7 Frequency variation.

外乱フィードフォワード則を導入した設計(Case1)では周波数変動からバイアス分の偏差を抑制することができる。

5. おわりに

成果

- 出力レギュレーション制約付き予見制御をLFCに導入し, 過渡特性を改善し, バイアス分の変動を抑制した。

今後の予定

- 予見出力フィードバック則を設計し, 周波数変動およびバイアス成分の抑制効果を確認する。

参考文献

- [1] 林 泰弘 他, "スマートグリッド学", 日本電気協会, 2010
- [2] K. Hashikura and A. Kojima, "LQ Preview State Feedback with Output Regulation Constraint, 11th Asian Control Conference, 2017
- [3] 電気学会, 電力系統における常時および緊急時の負荷周波数制御", 電気学会技術報告書, NO. 869, 2002