

直流電鉄用地上設置エネルギー蓄積装置のPI ベース充放電制御に関する一検討

A Study on the PI-based Charge/Discharge Control for the Stationary Energy Storage Systems of DC Electric Railways

高橋 義正 (電気システム工学科)

Yoshimasa TAKAHASHI

電気鉄道システム研究室 指導教員 高木 亮 教授

1. はじめに

近年導入が進む直流電鉄用地上設置型エネルギー蓄積装置 (SESS: Stationary Energy Storage System) は、その充放電制御の良否が導入効果を大きく左右する。仲俣^[1]は、従来 SESS ではほとんど実績のない PI ベース充放電制御の適用可能性を明らかにしたが、パラメータの最適化など多くの課題がまだ残されている。その課題の解決を目指し、本研究では、PI ベース充放電制御を適用した SESS の特性の定量的解明を、より多くのシミュレーション条件において試みたので報告する。

2. PI 制御による充放電制御と PI 制御

PI 制御では、図 1 に示す I-V 特性の充放電電圧閾値のうち $V_b \sim V_e$ の 4 つの電圧閾値を調整することで、SOE 値または SOE 値と SESS の充放電電流の RMS 値もしくは充放電電流の電流がある電流閾値を超過している時間の制御を行う。

PI 制御とは比例動作と積分動作の 2 要素からなる制御である。図 2 は PI 制御のブロック線図、図 3 は SESS の RMS 電流および SOE 値を同時制御する場合のブロック線図である。

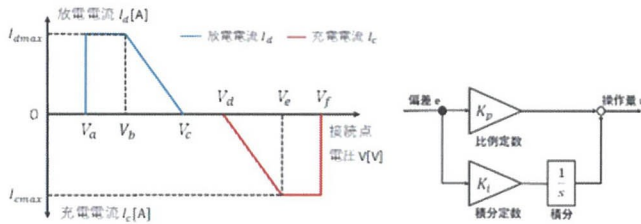


図 1 I-V 特性制御

図 2 PI 制御器

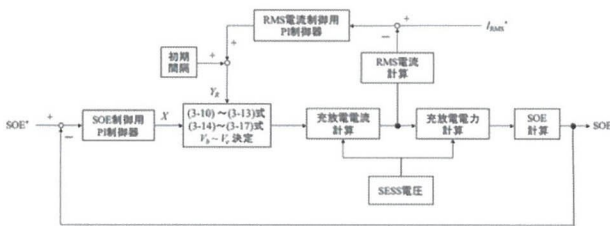


図 3 SOE・RMS 電流制御ブロック図

3. PI 制御を用いた充放電制御の課題

仲俣^[1]は、SESS の PI ベース充放電制御のための電圧閾値を調整し、SESS の SOE (State of Energy) および RMS 電流値もしくは「電流が閾値を超過している時間の割合」などを目標値に収束させることが可能であることを、ある仮定された条件におけるシミュレーションで示した。仲俣によるこのシミュレーションにおいて、RMS 電流は以下の式で求めている：

$$I_{RMS}(t) = \sqrt{\frac{1}{T_W} \int_{t-T_W}^t I_C^2(\tau) d\tau} \dots (1)$$

(1)式において、RMS 電流を計算する期間 T_W は列車の運

行間隔として仮定された 600 秒 (10 分) としている。そこで、運行間隔がこの値と異なる場合について、シミュレーションを行った。

4. シミュレーション条件

シミュレーション条件は仲俣^[1]が用いたものと同じく、実在の郊外鉄道に小変更を加えたデータとしている。列車の運行間隔については、仲俣^[1]が用いた 10 分間隔のほか、4 分間隔のケースを加えた。SOE 値および RMS 電流の制御は図 3 のブロック線図のものを共通に用いている。

- 路線：26.577 km, 全線複線, 全 24 駅
- 饋電系統：1.5 kV 直流電化, 上下線一括饋電
- 変電所：5 箇所, 無負荷送出電圧 1620 V, 電圧変動率 6 %
- 列車：8 両編成
- 列車ダイヤ：全各停平行ダイヤ, 閑散時 10 分間隔, ラッシュ時 4 分間隔
- ESS 設置場所：起点より 16.5 km に位置する変電所に併設
- ESS 定格出力：充放電ともに 1 MW
- ESS エネルギー容量：388 kWh

5. シミュレーション結果

図 4 に、列車の運転間隔を 4 分 ($T_W = 600$ 秒のままとする) とした場合の SOE の推移を示す。列車の運転間隔を仮定された 600 秒 (10 分) と異なる値でも動作することが確認された。

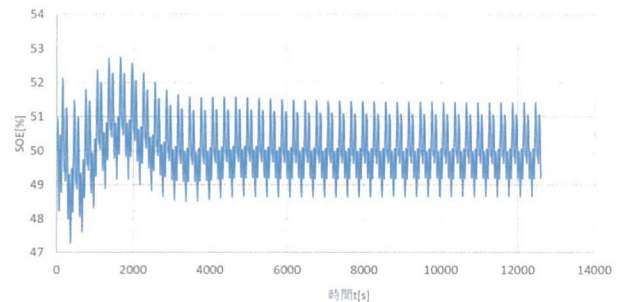


図 4 運行間隔 4 分の場合の SOE 値推移

6. まとめ

PI ベース充放電制御による SESS は、列車の運転間隔が仮定された値と異なる場合でも動作することが分かった。パラメータ T_W を列車の運転間隔以外も含めて変更させるか検討することが今後の課題である。

参考文献

- [1] 仲俣友貴, 「直流電鉄用地上設置型エネルギー蓄積装置の充放電制御への PI 制御の応用に関する研究」, 2018 年度工学院大学院修士論文 (2019)