

損失を考慮した電気車車載エネルギー蓄積装置充放電制御用 リファレンス SOE 関数決定法

Consideration of Losses in the Determination of Reference SOE Function for the
Charge/Discharge Control of On-board Energy Storage Systems for Electric Railway Vehicles
大石 知希 (電気システム工学科)

Kazuki OISHI

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

回生失効の発生や高速域でのブレーキ力低下などの電気車がかかえる問題を軽減する方法のひとつとして、エネルギー蓄積装置(Energy Storage System: ESS)を車載する方法が考えられているが、車載 ESS は容量の制約が厳しく、賢い充放電制御の導入が欠かせない。我々の研究グループでは、そのような制御として SOE カーブを用いた充放電制御(フィードフォワード制御)を提案している⁽¹⁾が、充放電損失等は十分考慮されているとはいえない。そこで、本研究ではフィードフォワード制御に必要なデータである SOE カーブの設計時に充放電損失の低減を考慮する新たな方法の提案を目指した。

2. SOE カーブの設計

〈2.1〉 SOE カーブの設計思想

列車がある駅間を走行しているとき、路線環境と充放電制御に関する情報を記憶させる。力行時は列車の力行電力がアシスト閾値を超えたときにアシストする。回生時は各最大回生電力を走行する列車種別ごとに定めて充電を行う。惰行時は充放電を行わず、実際に高速回生車が走行するときの調整余裕とする。ただし停車時は電車線断線防止のため充放電を行わない。

〈2.2〉 SOE カーブ設計方法

SOE カーブの設計にあたっては以下の手順で行う。

- (1) 饋電特性シミュレータ RTSS を用いて高速回生車を走行させた場合のシミュレーションを行う。
- (2) (1)より得られた入出力データを基に、基準運転時分の計算を行う。
- (3) その後入出力データをもとに列車の速度、勾配を求め充放電制御パターンにより SOE カーブを生成する。

充放電制御パターンを表 1 に示す。

3. 充放電エネルギー損失の算出法

充放電エネルギー損失を求めるためには充電エネルギー量、エネルギー効率を求める必要がある。充電エネルギー量 E_c 、放電エネルギー量 E_d 、ESS の充電電力を P_{ESS} とする。関数 $\max(a,b)$ は

$$\max(a,b) = \begin{cases} a & \text{if } a \geq b \\ b & \text{otherwise} \end{cases}$$

と与えられる。このとき、

$$E_c = \int_0^T \max(P_{ESS}, 0) dt \quad (1)$$

$$E_d = \int_0^T \max(-P_{ESS}, 0) dt \quad (2)$$

となる。充放電効率 η は

$$\eta = \frac{E_d}{E_c} \times 100 \quad (3)$$

(1),(2),(3)式を用いて充放電エネルギー損失 loss は

$$\text{loss} = E_c \times \frac{100-\eta}{100} \quad (4)$$

と計算する。

表 1. 速度変化と勾配時による充放電制御パターン

| 速度変化 | 勾配符号 | 充放電パターン |
|------|-----------|---------|
| 加速 | (+),0,(−) | A |
| 定速 | (+),0 | A |
| 惰行 | (+),0,(−) | B |
| 抑速 | 0,(−) | C |
| 減速 | (+),0,(−) | C |

A: 力行電力がアシスト閾値を超えたときにアシストを行う。

B: 充放電を行わない

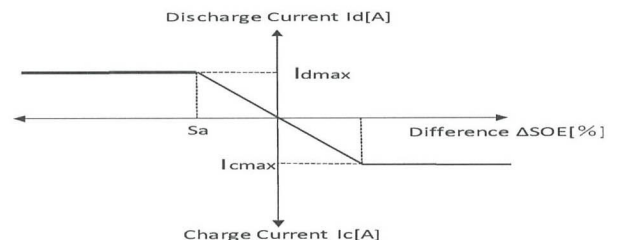
C: 列車種別で各最大回生電力 P_{max} を定めて充電を行う。

+ : 上り勾配、0 : 平坦、− : 下り勾配

なお、天野論文での C は全回生電力を充電する方針であったが、我が研究では最大回生電力を定めそれ以上充電を行わない方針とする。

4. 乖離補正制御

2.2 節で求めた SOE カーブは車載に ESS を搭載していないモデルとなっている(リファレンス SOE 値)。そのため車載 ESS を搭載している場合と比較すると乖離が生じてしまう。充放電を行って目標値に戻す乖離補正制御を図 1 に示す。SOE 値がリファレンス SOE 値



より高ければ放電、低ければ充電を行う。

図 1. 乖離補正制御

5. まとめ

以上のようにすることで、車載 ESS による直流饋電システムのシミュレーションを行うことができる。今回は充放電損失の低減手法について考えた、今後は放電損失に主眼を置き、検討を行う必要がある。

参考文献

- (1) 天野 哲生・高木 亮:「饋電特性シミュレーションによる車載エネルギー蓄積装置の充放電制御の評価」工学院大学卒業論文(2010)
- (2) 高木 亮:「直流饋電系と列車群制御の統合インテリジェント化」東京大学学位論文(1995)