

直流電気車車載エネルギー蓄積装置を用いた パンタ点電流抑制制御に関する一検討

On the Pantograph Current Suppression Control Using the Energy Storage Systems
On-board DC Electric Railway Vehicles

植田 智裕 (電気システム工学科)

Tomohiro UEDA

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

直流電気車車載のエネルギー蓄積装置 (On-Board Energy Storage System: OBESS) の充放電制御によりパンタ点電流抑制とそれによる饋電損失低減が可能だが、筆者らの研究室における先行研究⁽¹⁾⁽²⁾では充放電損失のため期待される省エネ効果は得られていない。また、シミュレーションモデルの詳細な検証も課題とされていた。本研究では、パンタ点電流の抑制レベルの最適化を究極の目的とし、用いている饋電特性シミュレータ RTSS⁽³⁾の詳細な再検証を行った。

2. 仮定した OBESS の充放電制御

地上設置形エネルギー蓄積装置 (Stationary Energy Storage System: SESS) の代表的な充放電制御手法である I-V 特性制御は SESS の端子電圧に応じ充放電電流を定めるもので、OBESS への適用も提案されている。本研究でもこれを用いる。

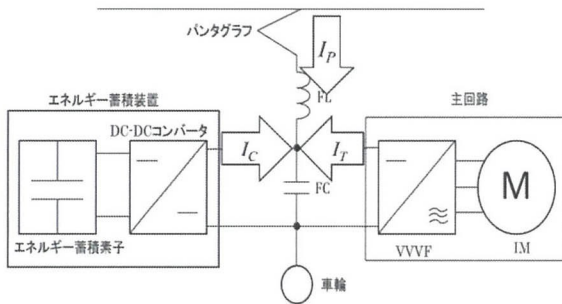


図1 パンタ点電流抑制制御概要

同時に、本研究ではパンタ点電流抑制制御を用いる。図1にその概要を示す。パンタ点電流 I_p が予め定めた最大値を越えた場合、力行性能低下など列車性能に悪影響が出ることを避けるため I_c を優先的に抑制し、 I_c だけではこれ以上抑制出来なくなったとき始めて I_T を抑制する。

3. 検証の方法

本研究では、以下に示すシミュレーション条件にてシミュレーションを行い、各列車の電流・電圧・位置・速度等の時々刻々の値を求める。次いで、データを元にした手計算で主回路の電気的入力・機械的出力および効率を求め、シミュレーションで得られたものと比較することで、検証を行った。

- ・路線：長さ約 26.6 km, 複線, 24 駅
- ・饋電システム：1.5 kV 直流電化, 上下一括饋電, 饋電抵抗値 (レール・電車線路含む) 0.018 Ω /km, 5 変電所
- ・変電所容量：両端 3 MW, 線路中間 6 MW
- ・列車の長さとお本数：8 両編成 \times 6 本/h
- ・OBESS：全列車搭載, 1000 MJ/編成, 11.7 t
- ・最大パンタ点電流：力行 500 A, 回生 0 A
- ・列車補機電流：0 A

検証のため、主回路の電気的入力・機械的出力および効率を時々刻々計算し、シミュレーション出力と比較する。いま、加速中の場合についてのみ述べると、主回路インバータの直流側電流 (図1の I_T) は次式で計算する：

$$I_T = \begin{cases} I_0 + (I_{max} - I_0) \times \frac{v}{v_l} & \text{if } 0 < v \leq v_l \\ I_{max} & \text{if } v_l < v \leq v_h \\ I_{max} \times \frac{v_h}{v} & \text{if } v > v_h \end{cases}$$

(ただし I_0 : 速度ゼロ時パンタ点電流, I_{max} : 最大パンタ点電流値, $v_l = v_{low} \cdot V_p / V_N$, $v_h = v_{high} \cdot V_p / V_N$, v_{low} : 定トルク領域終端速度, v_{high} : 定パワー領域終端速度, V_N : ノミナル電圧値, V_p : 時々刻々の電車線電圧値)

また、編成あたり電気的動輪周引張力 T_E は、上記に加え T_C を定トルク領域引張力とすると、次式により計算される：

$$T_E = \begin{cases} T_C & \text{if } 0 < v \leq v_l \\ T_C \times \frac{v_l}{v} & \text{if } v_l < v \leq v_h \\ T_C \times \frac{v_l v_h}{v^2} & \text{if } v > v_h \end{cases}$$

主回路効率 (= 機械的出力/電気的入力 \times 100) は次式となる：

$$\eta = (V_p I_T / 1000) / (v T_E \times 9.80665 / 3.6) \times 100$$

4. 計算結果

手計算で計算した効率をシミュレーションで得られた効率と比較するため図2のようにグラフ化したところ一致することが分かった。

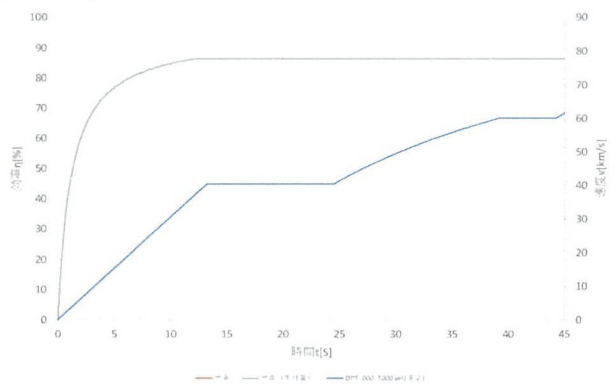


図2 速度と効率の関係

5. まとめ

シミュレーションモデルの再検証の結果大きな問題は見つからなかった。今後、パンタ点電流の抑制レベル最適化の検討を深めることが課題となる。

文献

- (1) 松下ほか:「車載蓄電装置を用いた列車電流抑制による饋電損失低減手法の検討」, 平 26 電気学会全大, 5-084 (2014)
- (2) 高橋, 高木:「直流電気車車載エネルギー蓄積装置による集電電流ピーク値の抑制」, 平 31 電気学会全大, 5-247 (2019)
- (3) 高木:「直流饋電系と列車群制御の統合インテリジェントシステム化」東京大学(学位論文)(1995)