

省エネ化のための直流電鉄用変電所送出電圧の

リアルタイム制御の基礎検討

～変電所間に複数列車が存在する場合～

Preliminary Study on the Real-time Voltage Control of the Power Feeding Substations in DC Electric Railways for Energy-saving

～ When Two or More Trains Exist Between Substations ～

鈴木 啓介 (電気システム工学科)

Keisuke Suzuki

交通・電力・環境システム研究室

指導教員 高木 亮 准教授

1. はじめに

直流電気鉄道における変電所送出電圧のリアルタイム制御の検討は古くから行われているが、通常は変電所において交流・直流電力変換はシリコン整流器により行われることが多いため実用例はほぼ皆無である。近年、この電力変換へのPWM変換器の適用事例が国内外で増加する兆しがあるが、これを前提にすれば変電所での逆潮流も含めてリアルタイム制御が容易で、かつ省エネルギー化など制御によって得られる効果も大きくなると期待される。

そこで、我々の研究グループでは、そのための基礎検討として簡易なモデルにおいて送出電圧の最適計算を行った。本研究では、隣接変電所間に複数の列車が存在する場合の検討を行う。

2. PWM変電所とリアルタイム制御

以下では、PWM変換器を用いた変電所を「PWM変電所」と表記する。

国内で実用されているPWM変電所の事例としてはつくばエクスプレス線の直流電化区間の変電所群があるが、これらは電圧変動率0%、すなわち定電圧制御とし、順変換時および逆変換時の電圧をそれぞれ1500Vおよび1530Vとする制御が行われている。しかし、PWM変換器はある下限電圧を下回らない限り送出電圧はこうした値に限らず自由に設定できるはずである。リアルタイム制御は、定格の範囲内で列車位置に応じて変電所送出電圧を適切に制御することであり、これにより饋電損失の低減や列車の性能向上を狙うことができる。

3. 本研究の考え方

本研究においては、列車が電圧によらず電流が不変な電流源と近似できるものと仮定する。また、省エネルギー化のため、力行車は可能な限り高い電圧となるよう、また回生車は回生絞込開始電圧を上限に可能な限り高い電圧となるようにするのが、よい制御であると考えられる。

このような前提のもと、図1のように、変電所間に2つの回生車が存在するケースについて考えてみる。このとき、どちらの列車も回生絞込開始電圧、すなわち上限電圧となるよ

うに制御可能と考えられる。

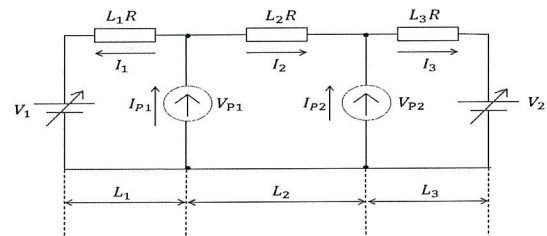


図1 等価回路図(回生2列車)

図1から饋電損失は次式で与えられる:

$$P_f = I_1^2 L_1 R + I_2^2 L_2 R + I_3^2 L_3 R \dots (1)$$

また、キルヒホッフの電流則から以下の式が成り立つ:

$$I_{p1} = I_1 + I_2 \dots (2) \quad I_{p2} = I_2 - I_3 \dots (3)$$

さらに、饋電回路の抵抗と電圧降下の関係から以下の式が成り立つ:

$$I_1 = \frac{V_{p1} - V_1}{L_1 R} \dots (4) \quad I_2 = \frac{V_{p1} - V_{p2}}{L_2 R} \dots (5) \quad I_3 = \frac{V_{p2} - V_2}{L_3 R} \dots (6)$$

これらの式を吟味すると、 I_{p1} 、 I_{p2} 、 V_{p1} 、 V_{p2} 、 L_1 、 L_2 、 L_3 、 R は既知であるので、(1)式は結局 V_1 もしくは V_2 を定めれば一意に定まることになる。従って、石田による検討⁽³⁾と同様、(1)式、すなわち饋電損失 P_f を最小化する送出電圧 V_1 、 V_2 を求めることができることが直ちにわかる。

4. まとめ

複数の回生車が隣接変電所間に存在する場合について、饋電損失を最小化するPWM変電所送出電圧の決定方法が見いだせた。

しかし、より多くの列車、および力行・回生の組み合わせの場合については、同様の検討ができない場合があり得るため、そのような場合についても汎用的に利用可能な送り出し電圧決定アルゴリズムの構築が今後の課題となる。

文献

- (1) 野木 雅之: 「PWM変電所の導入とそのリアルタイム制御による直流饋電システムの設備利用率改善」, 工学院大学(修士学位論文)(2008)
- (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システム化」, 東京大学学位論文(1995)
- (3) 石田 翼: 「省エネ化のための直流電鉄用変電所送出電圧のリアルタイム制御の基礎検討」, 工学院大学(卒業論文)(2012)