

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 ～提案する制御の基本的な考え方～

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

~ Description of the Basic Concept ~

石田 翼 (電気システム工学科)

Tsubasa ISHIDA

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、この検討の基本的な考え方について説明する。

2. PWM変電所のリアルタイム制御

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. 制御の考え方

通常、加速状態の力行車の場合、一定距離を同じ時間で走るのであれば、加速性能が高い方が結果的にその区間におけるブレーキ初速を低くすることができるため、エネルギーを減らすことができる。よって、加速中の列車のパンタ点電圧は高めにしておきたい。従って、隣接変電所間に力行車のみが存在している場合、隣接変電所の送出電圧を許容される最高値にしておけばよい。

一方、減速状態の回生車の場合、減速度を上げるために回生ブレーキの性能を上げる必要がある。回生車の性能を上げる場合も力行車同様に列車のパンタ点電圧は高い方がよいが、力行車と異なり電圧が高い領域では回生絞込特性により主回路の能力が制約される。従って、この回生絞込が開始される電圧を上回することは好ましくなく、回生絞込開始電圧を上限として回生車の電圧を高めるよう制御することになる。

4. 基本的な検討モデル

本検討においては、列車の電流が電圧によらず一定であると考えて、饋電等価回路を演算する。直流饋電システムは図1のように表わされる。この図1を以下、饋電等価回路の条件をもとに饋電等価回路化したものが、それぞれ図2、図3である。

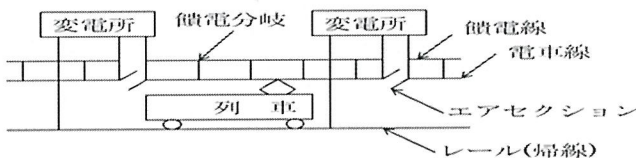


図1 直流饋電システムの概要

【饋電等価回路の条件】

- ・列車は定電流源、変電所は電圧源として検討する。
- ・饋電分岐線を無視し、饋電線と電車線は一体とする。
- ・レールと饋電線の抵抗値の和の値となる抵抗を饋電線側に置く。
- ・列車の長さは考慮しない。

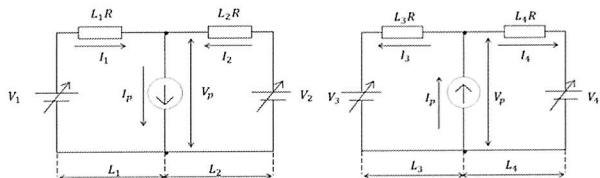


図2 饋電等価回路(力行車) 図3 饋電等価回路(回生車)

隣接変電所間に力行車が1列車のみ存在する場合(図2)の変電所送出電圧値 V_1, V_2 は、変電所が出力可能な最大電圧(1800V)とすればよいから、等価回路演算を行うまでもない。

また、隣接変電所間に回生車が1列車のみ存在する場合(図3)についても、回生車の電圧を3節で述べた上限である回生絞込開始電圧 V_p となるように制御することは一般的に可能と考えられる。そこで、図3については回生車の電圧 V_p が上限値であるとの条件の下、饋電回路内の損失を最小化する電圧を求めることとして検討を行う。

【饋電等価回路計算における前提条件】

- ・RとLは数値がわかっていると仮定。
- ・ V_p と I_p の数値は列車機器の値により決定する。
- ・ $R[\Omega]$:饋電抵抗
- ・ $L_1, L_2, L_3, L_4[\text{km}]$:距離
- ・ $I_1, I_2[\text{A}]$:変電所送出電流
- ・ $V_1, V_2, V_3, V_4[\text{V}]$:変電所送出電圧
- ・ $L_x R[\Omega/\text{km}]$:饋電損失
- ・ $I_p[\text{A}]$:パンタ点電流
- ・ $I_3, I_4[\text{A}]$:回生電流
- ・ $V_p[\text{V}]$:パンタ点電圧

$$V_3 = L_p - \frac{L_3 L_4}{L_3 + L_4} R I_p [\text{V}] \dots \textcircled{1}$$

$$V_4 = L_p - \frac{L_3 L_4}{L_3 + L_4} R I_p [\text{V}] \dots \textcircled{2}$$

5. 評価結果

隣接変電所間に1列車のみ存在する場合は、 V_1 と V_2 の値が等しくなることが理想的であると示せたが、変電所・列車数が増えた場合も同様になるとは限らない為、共同研究者が検討する。

6. おわりに

隣接変電所に1列車のみ存在する場合は列車と変電所の距離に関係なく電圧は等しくなる。電圧が等しい方が饋電等価回路計算上では既存の場合最も良いということがわかった。

文献

- (1) 高木 亮:「直流鉄道電力システムのインテリジェント化」, 東京大学修士論文(1992)
- (2) 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)