

鉄道マニアがVVVFインバータ方式
制御システム搭載車両の製作に挑戦!

電鉄用モータ制御の旅

第6回

抵抗方式に比べて電力ロスの少ない電機子チョップ方式
〈前編〉ハードウェア

千倉 ぱるす

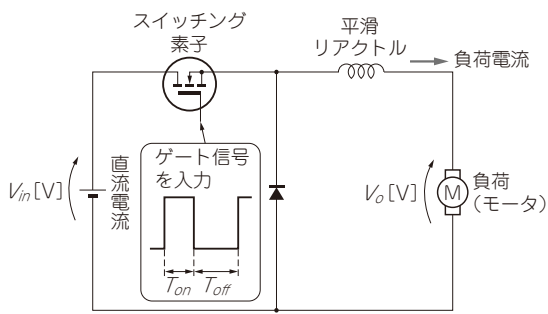


図1 加速時には降圧チョップ回路によってモータ電流を一定に保つ

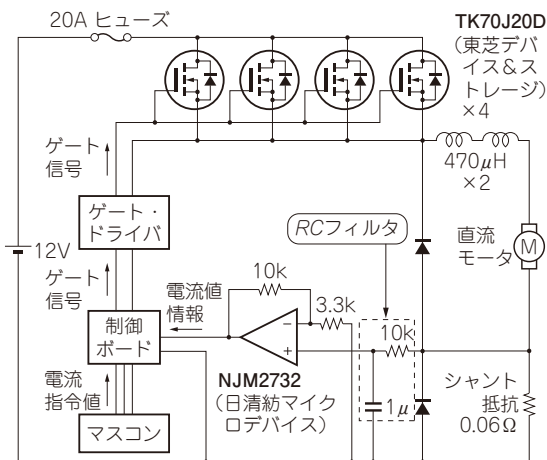


図2 モータ電流を決めるMOSFETをゲート・ドライバを通して制御する

駆動音も電車っぽく作る

前回（2022年7月号）紹介した抵抗制御方式では、主回路にMOSFETやIGBTのようなスイッチング素子を使用せずに、抵抗器とスイッチだけでモータ電流の自動制御機能を実装しました。この方式では電力ロスや電流変動が大きく、機械機構を介しているため応答性能にも課題があります。

今回は新たに、電機子チョップ方式と呼ばれる電車の制御システムを構築します。これによって、直流モータの電流制御性能を改善します。

通常、装置メーカーなどでモータ制御装置を設計する際には、機器が発する騒音を抑えるように配慮します。ですが、今回製作する装置の機能要件にはあえて「モータ駆動時に実在する電車と同様の電磁音を発することができる」という内容を盛り込むことで、走行時の電車らしさも追及してみます。

電力ロスが少ない電機子チョップ制御

電機子チョップ制御装置は、半導体スイッチを用いて直流モータの電機子電流を制御する電力変換装置です。実際の電車の制御方式としては1970年ごろから採用事例があり、現役で活躍している車両が残っています。電機子チョップ制御には、従来の抵抗制御と比べて次の利点があります。

- 電力ロスや発熱が少ない
- 連続制御によりトルク変動が抑えられ、乗り心地が改善する
- 機械機構が減少し、メンテナンス・コストを抑えられる

車両を加速させる際には、降圧チョップ回路（図1）でモータに加える電圧を調整し、電流が一定となるように制御します。モータに加わる平均的な電圧は、スイッチング素子がONになる時間とOFFになる時間の比率によって決まり、次の式で表されます。

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times V_{in} \dots\dots\dots(1)$$

ハードウェア構成

筆者の製作した電機子チョップ制御装置は大きく分けて5つの要素から構成されており、それらが連携してモータを制御します（図2）。

電流検出回路により得られる電流値情報と、マスコンが出力する電流指令値は、制御回路に送られます。制御回路はこれらの入力情報をもとに制御演算を行うことで降圧チョップ回路の出力電圧を決定し、MOS