

SEPIC + ZETA 方式双方向 DC/DC コンバータ

(読んでほしい人：パワエレ技術者)

2014/6/30 舞鶴高専 平地克也

平地研究室技術メモではこれまでに以下のように3種類の双方向 DC/DC コンバータについて解説しています。

平地研究室技術メモ No.20140104、「電圧型 + 電流型双方向 DC/DC コンバータ」^[1]

平地研究室技術メモ No.20140310、「DAB 方式双方向 DC/DC コンバータ」^[2]

平地研究室技術メモ No.20140428、「昇降圧チョップ方式双方向 DC/DC コンバータ」^[3]

今回は SEPIC コンバータと ZETA コンバータを組み合わせせた双方向 DC/DC コンバータの回路方式を紹介します。

SEPIC + ZETA 方式の回路構成

昇圧チョップと降圧チョップは双対の関係にあり、回路構成と特性が対称的なので、両者を合体すれば双方向 DC/DC コンバータを構成することができました^[4]。同様に、SEPIC コンバータと ZETA コンバータも双対の関係にあり、回路構成と特性が対称的なので、両者を合体すれば双方向 DC/DC コンバータを構成できます。図 1 (a) に ZETA コンバータ、図 1 (b) に SEPIC コンバータを示します。両者を合体すれば図 1 (c) のように SEPIC + ZETA 方式双方向 DC/DC コンバータとなります。左から右 (E_1 から E_2) に電力を伝送する時は Q_1 を ON/OFF 動作させ、 Q_2 は常時 OFF とします。ZETA コンバータと同じ動作となります。右から左 (E_2 から E_1) に電力を伝送する時は Q_2 を ON/OFF 動作させ、 Q_1 は常時 OFF とします。SEPIC コンバータと同じ動作となります。なお、SEPIC コンバータについては文献^{[4][5]}、ZETA コンバータについては文献^[6]を参照下さい。

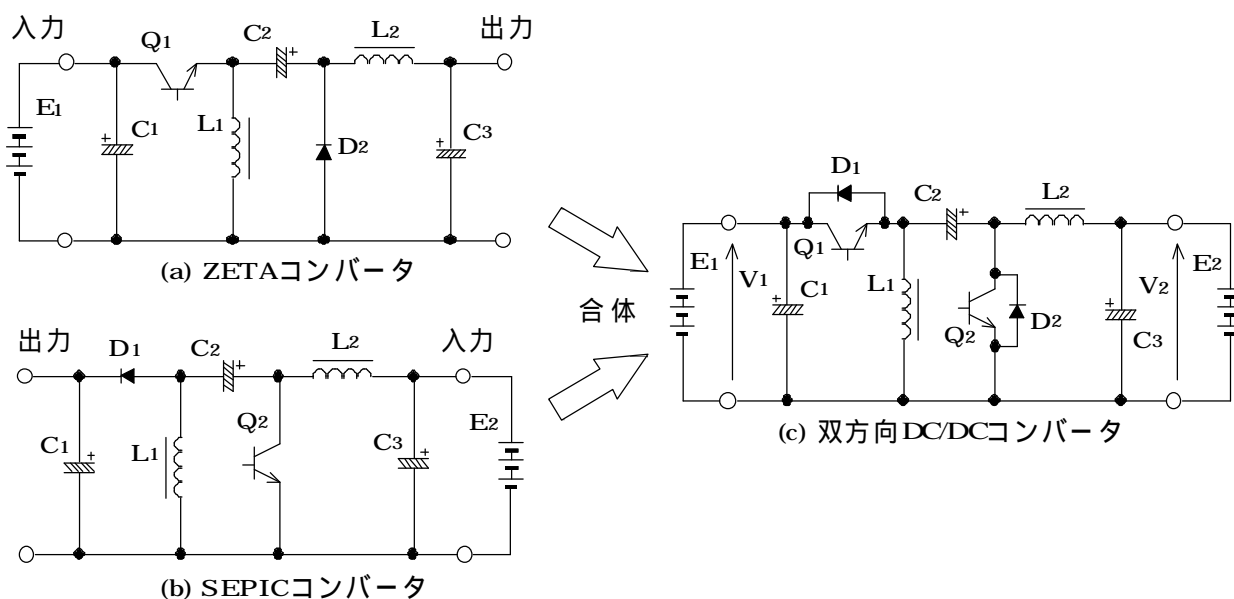


図 1 SEPIC + ZETA 方式双方向 DC/DC コンバータ

SEPIC + ZETA 方式の特性

SEPIC コンバータと ZETA コンバータの入力電圧と出力電圧には共に次の関係があります。

$$\text{出力電圧} = \text{入力電圧} \times \frac{a}{1-a}$$

したがって、SEPIC + ZETA 方式双方向 DC/DC コンバータの電源 E₁ の電圧 V₁ と電源 E₂ の電圧 V₂の間には次の関係があります。

$$V_1 \text{ が入力、} V_2 \text{ が出力の時} \quad V_2 = V_1 \frac{a}{1-a} \quad \text{ただし、} \quad \text{は } Q_1 \text{ の通流率}$$

$$V_2 \text{ が入力、} V_1 \text{ が出力の時} \quad V_1 = V_2 \frac{a}{1-a} \quad \text{ただし、} \quad \text{は } Q_2 \text{ の通流率}$$

よって、 $a < 0.5$ なら降圧、 $a > 0.5$ なら昇圧となるので入力電圧と出力電圧の大小関係は自由に選ぶことができます。V₁ または V₂ の電圧変動が大で両者の大小関係が条件によって逆転するようなシステムでもこの回路方式なら使用可能です。文献[1][3]で紹介した双方向 DC/DC コンバータの他の回路方式と比較すると次のような特徴があります。

- ・昇圧チョッパ + 降圧チョッパ方式と比較：部品点数や効率では劣るが、V₁ と V₂ の大小関係を自由に選択可能というメリットあり。
- ・昇降圧チョッパ方式と比較：どちらの方式も V₁ と V₂ の大小関係を自由に選択可能。しかし、昇降圧チョッパ方式では V₁ と V₂ の極性が反転する。昇降圧チョッパ方式より L が 1 ケ増加する。ただし、2 つの L は鉄心を共有できる。効率は昇降圧チョッパ方式より高い。
- ・多機能チョッパ方式と比較：どちらの方式も V₁ と V₂ の大小関係を自由に選択可能。極性の反転もない。多機能チョッパ方式よりスイッチ素子の数が減少（4 ケ → 2 ケ）

なお、図 1 (c)ではスイッチ素子にバイポーラトランジスタを使用していますが、FET を使用しても OK であり、その場合は D₁ と D₂ に FET の寄生ダイオードを使用できます。常時 OFF している FET を使って同期整流させても OK です。また、SEPIC コンバータと ZETA コンバータでは 2 つのリアクトルの印加電圧が等しく鉄心を共有できますが[4][6]、SEPIC + ZETA 方式も L₁ と L₂ の印加電圧は同じであり 2 つの巻線を密結合として鉄心を共有でき、コストアップを抑制できます。

絶縁型 SEPIC + ZETA 方式

昇降圧チョッパ方式ではリアクトルを変圧器の励磁インダクタンスに置き換えることにより絶縁型の双方向 DC/DC コンバータ（フライバックトランス方式）を作ることができました[3]。同様にして SEPIC + ZETA 方式でも図 1 (c)の L₁ を変圧器の励磁インダクタンスに置き換えることにより絶縁型の双方向 DC/DC コンバータを構成することができます。図 2 に回路構成を示します。

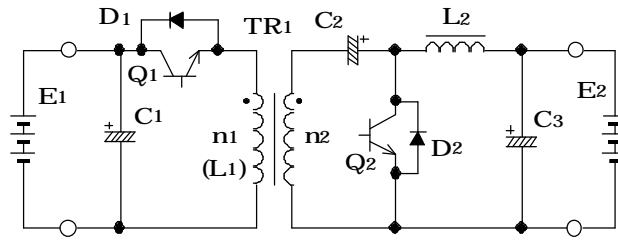


図2 絶縁型 SEPIC + ZETA 方式

SEPIC + ZETA 方式の直流モータ駆動回路への応用

直流モータの電力回生機能を有効利用するためには直流モータの駆動回路に双方向の電力フローが必要となります。SEPIC + ZETA 方式双方向 DC/DC コンバータはこの条件を満足するので図3のように回生機能付き直流モータ駆動回路として使用することができます。図4に直流モータの等価回路を示します。La と Ra は電機子巻線のインダクタンス成分と抵抗成分です。E は速度起電力です。通常の直流モータでは La は充分大きなインダクタンス値を持っており、図3の平滑リアクトル L2 を代用することができます。また、直流モータ内部では速度起電力 E によって直流電圧が確立しているため図3の平滑コンデンサ C3 は省略することができます。L2 と C3 を省略した直流モータ駆動回路を図5に示します。これが実用回路となります[7]。図6に従来の直流モータ駆動回路を示します[8]。昇圧チョップ+降圧チョップ方式双方向 DC/DC コンバータを用いた回路であり、図5と同様に平滑リアクトルと平滑コンデンサは La と E で代用されています。図6の回路が正常動作するためには $V_1 > E$ という条件が必要です。したがって、電源電圧 V_1 が不安定で速度起電力 E より低くなるおそれがあるようなシステムでは使用できません。図5の回路では V_1 と E の大小関係に制約は無く、 V_1 が不安定な回路でも使用することができます。

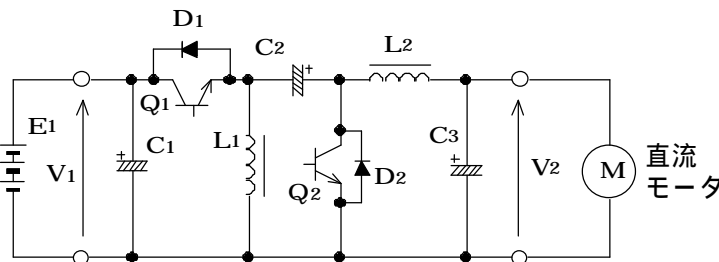


図3 SEPIC + ZETA 方式による回生機能付き直流モータ駆動回路

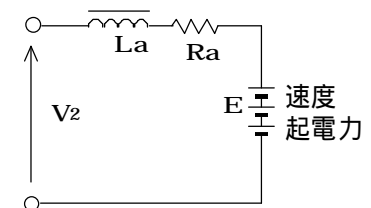


図4 直流モータの等価回路

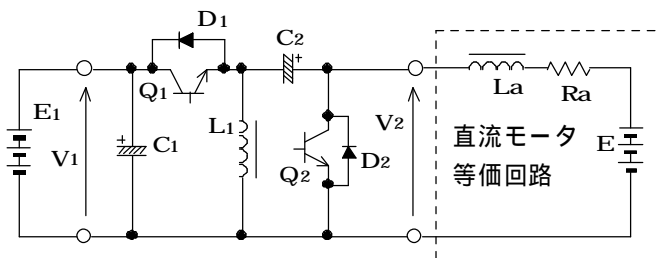


図5 L2 と C3 の省略

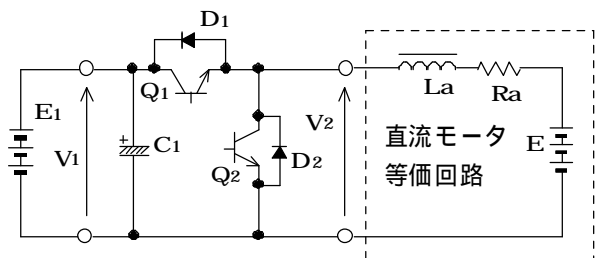


図6 従来の直流モータ駆動回路 (昇圧チョップ+降圧チョップ方式)

「昇圧チョッパ+降圧チョッパ方式」^[4] は多数の研究報告や実用化例がありますが、この方式との類似性から容易に考案できると思われる「SEPIC+ZETA方式」はなぜか研究報告や実用化報告は見当たりません。この方式は入力電圧と出力電圧の大小関係を自由に選べると言う大きな特長があり、今後どこかで実用化されることを期待します。

参考に、図5の回路の実験結果を次頁に示します。平地研究室2013年度卒研究生郷橋恵介が卒業論文の要点を1頁にまとめたものです。

参考文献

- [1] 平地克也、「電圧型+電流型双方向DC/DCコンバータ」、平地研究室技術メモ No.20140104
- [2] 平地克也、「DAB方式双方向DC/DCコンバータ」、平地研究室技術メモ No.20140310
- [3] 平地克也、「昇降圧チョッパ方式双方向DC/DCコンバータ」、平地研究室技術メモ No.20140428
- [4] 平地克也、「SEPICコンバータ」、平地研究室技術メモ No. 20111229
- [5] 平地克也、「絶縁型SEPICコンバータ」、平地研究室技術メモ No. 2012/1/30
- [6] 平地克也、「Zetaコンバータの基本特性」、平地研究室技術メモ No. 20130531
- [7] 郷橋恵介、平地克也、「昇降圧可能な電力回生機能付きモータ駆動回路の提案」、パワーエレクトロニクス学会誌、Vol.39, p.196, JIPE-39-42, (2014)
- [8] 平地克也、「直流モータ駆動用チョッパ回路」、平地研究室技術メモ No.20130508

以上

昇降圧可能な電力回生機能付きモータ駆動回路の提案

郷橋 恵介

指導教員：平地克也

1 はじめに

従来の電力回生機能付き直流モータ駆動回路では電源電圧が速度起電力よりも必ず大きくなければならない。よって、電源電圧もしくは速度起電力が大きく変動する場合には直流モータ制御システムの設計が困難であった。そこで、速度起電力とは無関係に電源電圧を選択することができる回路を提案する。本研究では、従来方式の回路と提案方式の回路を作製して測定を行い、その特性を比較する。

2 従来方式の回路と提案方式の回路

従来方式の回路を図 1 に示す。従来方式では、力行動作時は降圧チョップとして動作し、回生動作時は昇圧チョップ回路として動作する。力行動作時は電源電圧を降圧し、回生動作時はモータの回生電力を昇圧することから、電源電圧は常にモータの速度起電力より大きくななければならない。

提案方式の回路を図 2 に示す。片方向のみ昇降圧が可能なチョップ回路として ZETA コンバータと SEPIC コンバータがある。この 2 つの回路を組み合わせると双方向での昇降圧を可能にする。提案方式では力行動作時も回生動作時も昇降圧をすることで、電源電圧と速度起電力の関係を自由に選択することができる[1]。

2 つの回路図中の D1, D2 は FET の寄生ダイオードである。Q1 をスイッチング動作させ、Q2 を常時 OFF にした状態が力行動作で、Q1 を常時 OFF, Q2 をスイッチング動作させた状態が、回生動作となる。これは従来方式、提案方式双方で共通である。

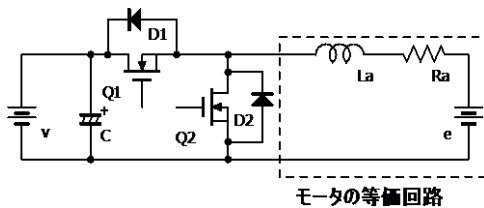


図 1 従来方式の回路

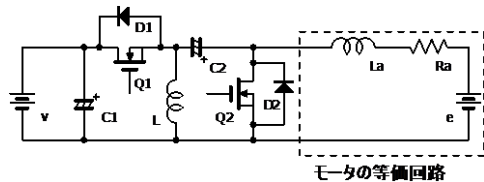


図 2 提案方式の回路

3 測定結果

力行動作無負荷時の速度起電力—通流率特性を図 3 に、回生動作時の入出力電圧比—通流率特性を図 4 にそれぞれ示す。提案方式力行動作無負荷時の波形を図 5 に、提案方式回生動作時の波形を図 6 に示す。

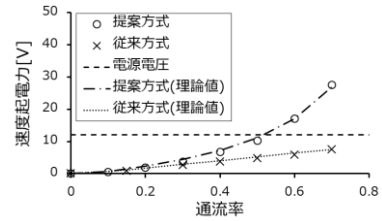


図 3 速度起電力—通流率特性

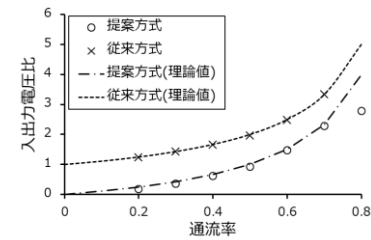


図 4 入出力電圧比—通流率特性

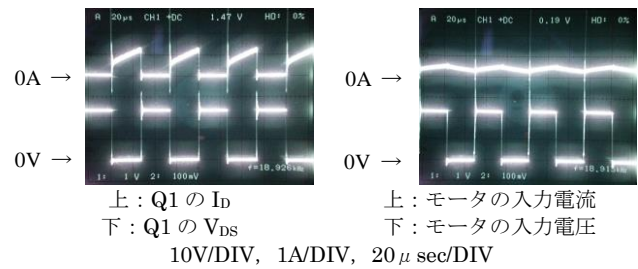


図 5 提案方式力行動作無負荷時の波形

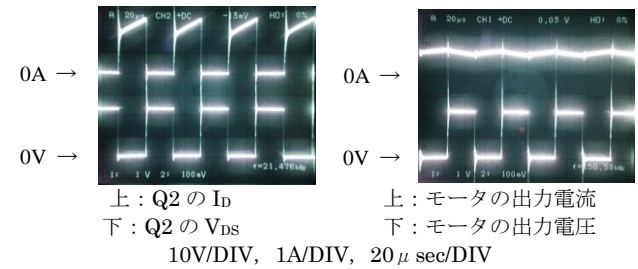


図 6 提案方式回生動作時の波形

4 むすび

本研究では、従来方式と提案方式の特性をそれぞれ測定し、比較を行った。通流率を変化させることで提案方式では速度起電力と電源電圧の関係を自由に選択できることが確認できた。

今後は、具体的な出力容量を決めて素子を選び、効率を向上させる必要がある。

参考文献

[1] 郷橋恵介, 平地克也, “昇降圧可能な回生機能付きモータ駆動回路の提案”, パワーエレクトロニクス学会, 第 201 回定例研究会, 若手のための研究発表会講演予稿集, p.30, 2013 年, 12 月