

電圧型 + 電流型双方向 DC/DC コンバータ

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

2014/1/4 舞鶴高専 平地克也

近年、スマートハウス、マイクログリッド、電気自動車など蓄電池が重要な役割を果たすシステムが注目されています。蓄電池は充電と放電が必要なので、これらのシステムへの応用を目的として双方向に直流電力を制御できる双方向 DC/DC コンバータの研究が盛んになっています。いろんな学会で多数の研究成果や実用化例が発表されています。双方向 DC/DC コンバータにはいろんな回路方式がありますが、この技術メモでは最もよく使われている電圧型の DC/DC コンバータと電流型の DC/DC コンバータを組み合わせた回路方式について動作原理と特性を説明します。

昇圧チョップ+降圧チョップ方式

まず、最も基本的な双方向 DC/DC コンバータである昇圧チョップと降圧チョップを組み合わせた回路方式を説明します。図 1 (a)に降圧チョップの回路図を示します。V₁が入力電圧、V₂が出力電圧です。(b)に昇圧チョップの回路図を示します。V₂が入力電圧、V₁が出力電圧です。両者を合体させれば(c)となります。(c)において、Q₂を常時 OFF とし、Q₁を高周波で ON/OFF させれば(a)と全く同じ動作となります。逆に、Q₁を常時 OFF とし、Q₂を高周波で ON/OFF させれば(b)と全く同じ動作となります。Q₁が ON/OFF している時は V₁が入力、V₂が出力であり、電力の流れは左から右であり、電池 E₁が放電し電池 E₂が充電されます。降圧チョップと同じ動作なので V₁と V₂の関係は次の降圧チョップの公式で与えられます。

$$V_2 = V_1 a \quad \dots \dots (1) \text{式} \quad (\text{ただし、} a \text{ は } Q_1 \text{ の通流率})$$

Q₂が ON/OFF している時は V₂が入力、V₁が出力であり、電力の流れは右から左であり、電池 E₂が放電し電池 E₁が充電されます。昇圧チョップと同じ動作なので V₁と V₂の関係は次の昇圧チョップの公式で与えられます。

$$V_1 = V_2 \frac{1}{1-a} \quad \dots \dots (2) \text{式} \quad (\text{ただし、} a \text{ は } Q_2 \text{ の通流率})$$

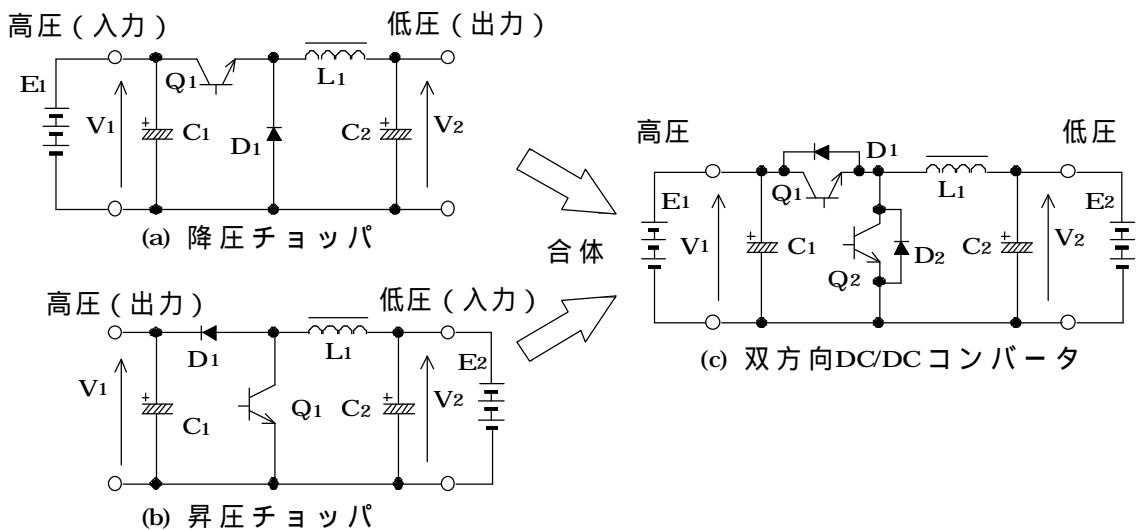


図 1 昇圧チョップ+降圧チョップ方式双方向 DC/DC コンバータ

このように(c)は電力の流れを双方向に制御できるので双方向 DC/DC コンバータであることが分かります。(c)の回路方式は明確な名称はありませんが、ここでは「昇圧チョップ+降圧チョップ方式双方向 DC/DC コンバータ」と呼ぶことにします。

昇圧チョップ+降圧チョップ方式は最も一般的な双方向 DC/DC コンバータであり、いろんな用途に用いられています。例えば文献(1)では UPS の電池の充放電回路に用いられ、高性能の UPS を実現しています。文献(2)では小規模のロードレベリングシステムに適するようにこの回路方式を改良して電池の充放電に使用しています。

昇圧チョップ+降圧チョップ方式は図 1 からすぐ分かるように $V_1 > V_2$ である必要があります。 V_1 または V_2 の電圧変動が大きく、 V_1 と V_2 の大小関係が入れ替わるようなシステムには使用できません。また、図 1 (c)ではスイッチ素子 Q_1 Q_2 としてバイポーラトランジスタを記載していますが FET を用いても OK です。その場合は D_1 D_2 は FET の寄生ダイオードを利用でき、同期整流も可能です。ただし、FET の寄生ダイオードは逆回復特性が悪い場合が多いので注意が必要です。容量の大きな用途では IGBT を使います。図 1 (c)を直流モータ駆動回路に応用した例を図 2 に示します。双方向に電力制御ができるので力行動作も回生動作も可能です。直流モータは内部に大きなインダクタンス成分と速度起電力があるので図 1 (c)の L_1 と C_2 は省略できます。詳細は平地研究室技術メモ No.20130508「直流モータ駆動用チョップ回路」(3)を参照下さい。

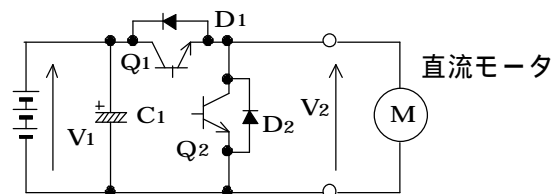


図 2 回生動作も可能な直流モータ駆動回路

電圧型 + 電流型

絶縁型 DC/DC コンバータはチョップ回路に変圧器を付加した回路と考えられます。降圧チョップに変圧器を付加すれば電圧型の絶縁型 DC/DC コンバータとなり、昇圧チョップに変圧器を付加すれば電流型の絶縁型 DC/DC コンバータとなります。詳細は平地研究室技術メモ No. 20100228「電流型 DC/DC コンバータについて」(4)を参照下さい。したがって、図 1 と同様の手法で電圧型の DC/DC コンバータと電流型の DC/DC コンバータを組み合わせれば絶縁型の双方向 DC/DC コンバータを得ることができます。このような DC/DC コンバータを「電圧型 + 電流型双方向 DC/DC コンバータ」と呼ぶことにします。図 3 にその例を示します。(a)は電圧型の(通常タイプの)プッシュプル型 DC/DC コンバータです。(b)は電流型のプッシュプル型 DC/DC コンバータです。両者を合体させれば(c)となります。 Q_3 、 Q_4 を常時 OFF とし、 Q_1 、 Q_2 を高周波で ON/OFF させれば(a)と同じ動作となり、 Q_1 、 Q_2 を常時 OFF とし、 Q_3 、 Q_4 を高周波で ON/OFF させれば(b)と同じ動作となります。なお、電圧型プッシュプルは通常のプッシュプル型 DC/DC コンバータであり、見慣れた回路と思いますが、電流型プッシュプルはなじみのない方が多いと思います。電流型プッシュプルの詳細は平地研究室技術メモ No. 20101227「電流型プッシュプル方式 DC/DC コンバータ」(5)を参照下さい。

図 3 の回路は図 1 の回路を変形して変圧器を挿入したものと考えられますので、変圧器の変圧比が 1 の時は入力電圧と出力電圧の関係は(1)式(2)式と同じです。変圧比(N_1 / N_2)を考慮すれば次の式で

与えられます。なお、 N_1 は n_1 と n_2 のターン数、 N_2 は n_3 と n_4 のターン数です。

$$Q_1、Q_2 \text{ が動作するとき： } V_2 = V_1 a \frac{N_2}{N_1} \quad \dots \dots (3) \text{式}$$

$$Q_3、Q_4 \text{ が動作するとき： } V_1 = V_2 \frac{1}{1-a} \frac{N_1}{N_2} \quad \dots \dots (4) \text{式}$$

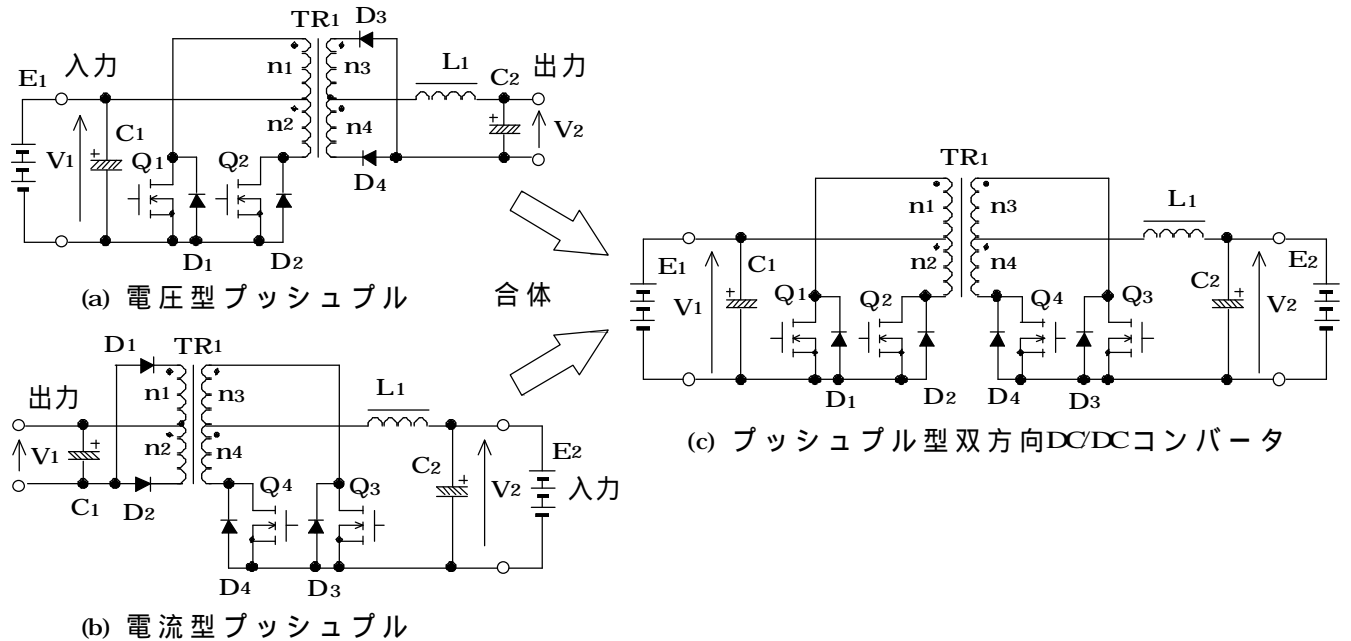
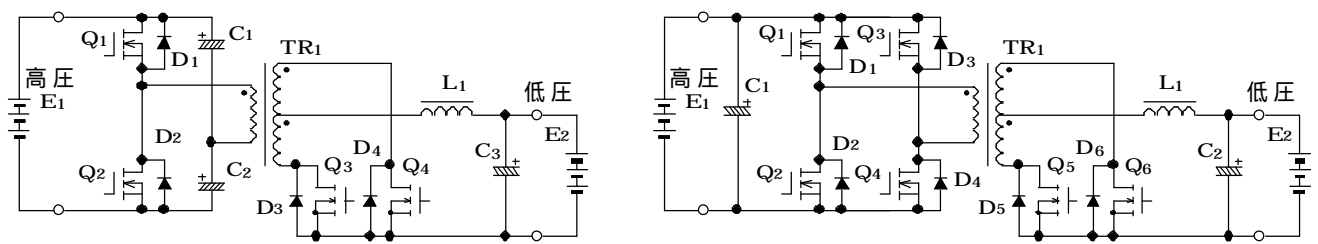
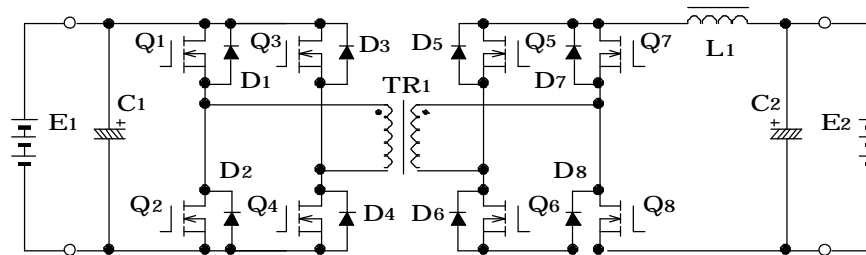


図3 プッシュプル型双方向 DC/DC コンバータ

絶縁型 DC/DC コンバータは電圧型も電流型もいろんな回路方式がありますが、どのように組み合わせても OK です。組み合わせの例を図4に示します。(a)は電圧型ハーフブリッジと電流型プッシュプルの組み合わせです。E1が高電圧、E2が低電圧の時はこのような回路が適します。E1からE2に充電する時は2次側整流回路はセンタタップ整流となり、E2からE1に充電する時は倍電圧整流となります。(b)は電圧型フルブリッジと電流型プッシュプルの組み合わせです。容量の大きなDC/DCコンバータではこのような回路方式が適切です⁽⁶⁾。(c)は電圧型フルブリッジ+電流型フルブリッジです。容量が大きく、かつE1もE2も高電圧の場合はこのような回路がいいでしょう。



(a) 電圧型ハーフブリッジ + 電流型プッシュプル (b) 電圧型フルブリッジ + 電流型プッシュプル



(c) 電圧型フルブリッジ + 電流型フルブリッジ

図4 各種電圧型 + 電流型双方向 DC/DC コンバータ

参考文献

- (1) 坂根、平地、丹羽、岩出、石井、「双方向チョッパ回路を用いた 3 kVA ミニ UPS の実用化について」、パワーエレクトロニクス研究会論文誌、Vol.20, No.1, pp.110-117, (1994)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jipe1990/20/1/20_1_110/_pdf
- (2) 平地克也、山中雅雄、梶山勝哉、磯兼誠司、「小規模 LL システムに適する 2 象限チョッパの回路方式」、パワーエレクトロニクス研究会論文誌、Vol.27, pp.152-159, (2001)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jipe1995/27/0/27_0_152/_pdf
- (3) 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
- (4) 平地克也、「電流型 DC/DC コンバータについて」、平地研究室技術メモ No. 20100228
- (5) 平地克也、「電流型プッシュプル方式 DC/DC コンバータ」、平地研究室技術メモ No. 20101227
- (6) 嶋田、庄司、谷口、「双方向絶縁型 DC-DC コンバータの降圧動作範囲を拡大する転流重なり期間短縮動作」、電気学会論文誌 D、Vol.133, No.9, pp.885-893, (2013)

以上