

双方向 DC/DC コンバータの各種回路方式

(読んでほしい人：パワエレ技術者)

舞鶴高専 平地克也

近年、新エネや自動車の分野で双方向 DC/DC コンバータが注目されています。平地研究室技術メモでもいろんな種類の双方向 DC/DC コンバータを紹介してきました。今回は双方向 DC/DC コンバータのいろんな回路方式を整理して紹介すると同時にどのようにすれば DC/DC コンバータに「双方向」の機能を与えることができるか説明します。

双方向 DC/DC コンバータの基本方式（電圧型 + 電流型）

最も広く使用されている双方向 DC/DC コンバータは図 1 (c)に示す降圧チョッパと昇圧チョッパを合体させた回路方式です。電力の流れが $E_1 \rightarrow E_2$ の時は降圧チョッパ、 $E_2 \rightarrow E_1$ の時は昇圧チョッパとして動作します[1]。この回路は直流モータの可変速駆動回路としても広く使用されています。その場合は L_1 と C_2 は省略可能です。モータの力行動作時は降圧チョッパ、回生動作時は昇圧チョッパとして動作します[2]。

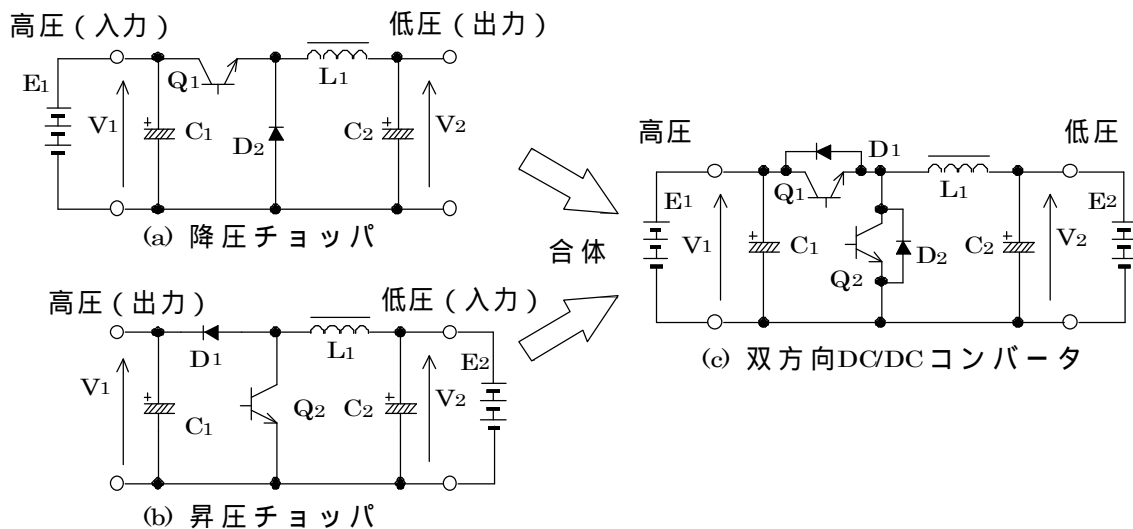


図 1 昇圧チョッパ + 降圧チョッパ方式双方向 DC/DC コンバータ（文献[1]の図 1 より）

降圧チョッパに変圧器を付加した回路が電圧型 DC/DC コンバータ、昇圧チョッパに変圧器を付加した回路が電流型 DC/DC コンバータなので[3]、降圧チョッパと昇圧チョッパを合体させるのと同様に電圧型 DC/DC コンバータと電流型 DC/DC コンバータを合体させると絶縁型の双方向 DC/DC コンバータを構成することができます[1]。このような回路方式を電圧型 + 電流型双方向 DC/DC コンバータと言います。図 2 に電圧型プッシュプル方式 DC/DC コンバータと電流型プッシュプル方式 DC/DC コンバータを合体させてプッシュプル型双方向 DC/DC コンバータを構成した例を示します。電圧型 DC/DC コンバータと電流型 DC/DC コンバータは共に多数の回路方式がありますが、どのような組み合わせでも OK です。図 3 にいくつかの例を示します。回路の容量や電圧に応じて最適な組み合わせを選択します。

電圧型 + 電流型では電流型動作時のサージ電圧発生が大きな課題ですが、電圧型の回路がフルブリッジ方式の場合は適切なサージ電圧防止方法があります。文献[4]を参照下さい。

電圧型 + 電流型は古くからある回路方式で広く実用化されており、双方向 DC/DC コンバータの基本方式とすることができます。その他にもいろんな回路方式が考えられるので次節以下に紹介します。

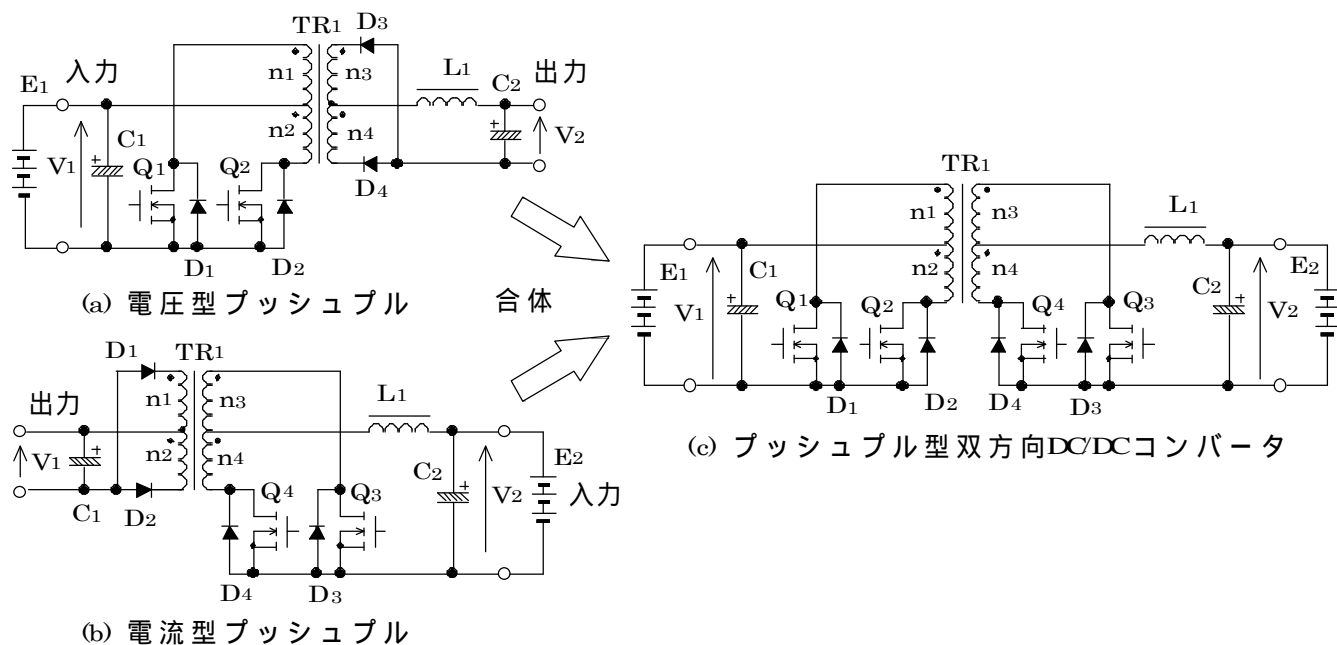


図2 プッシュプル型双方向 DC/DC コンバータ (文献[1]の図3より)

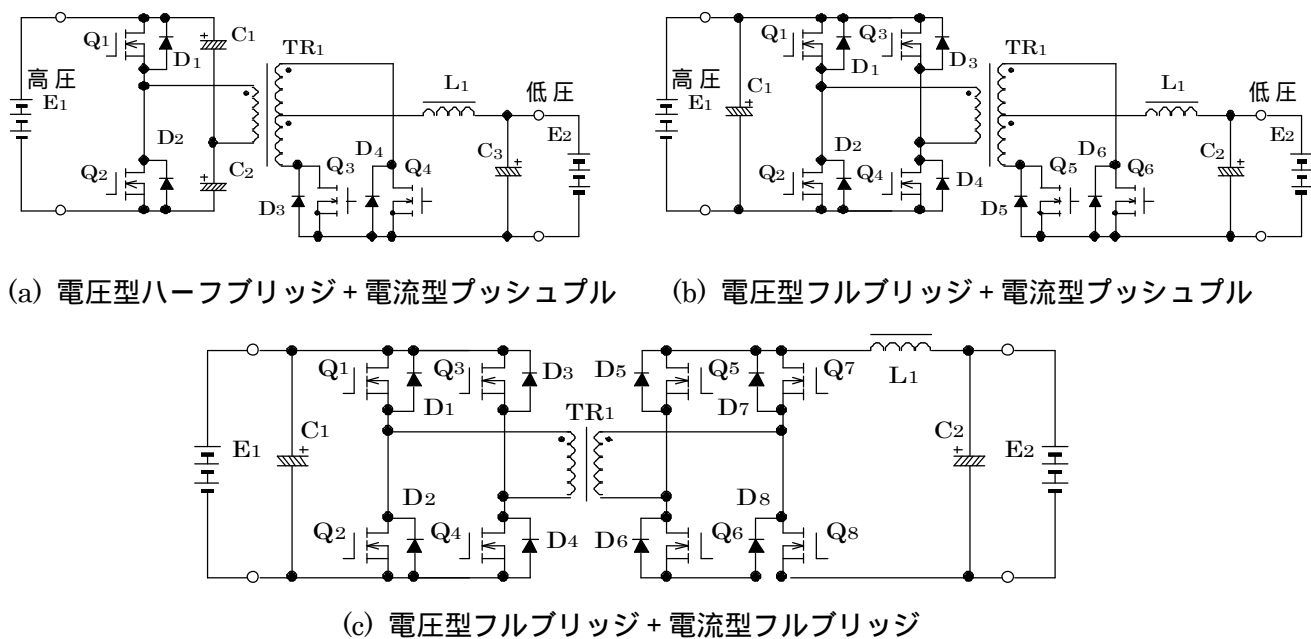


図3 各種電圧型 + 電流型双方向 DC/DC コンバータ (文献[1]の図4より)

ZETA + SEPIC 方式双方向 DC/DC コンバータ

前記のように降圧チョップと昇圧チョップを合体させると双方向 DC/DC コンバータを構成することができました。降圧チョップと昇圧チョップは双対の関係にあります。同様に ZETA コンバータと SEPIC コンバータも双対の関係にあるので、ZETA と SEPIC を合体させれば双方向 DC/DC コンバータを構成できるだろう、と考えて考案したのが図 4 の ZETA + SEPIC 方式双方向 DC/DC コンバータです[5]。降圧チョップ + 昇圧チョップ方式では V_1 と V_2 の大小関係が固定されていますが、ZETA + SEPIC 方式では V_1 と V_2 の大小関係を自由に選ぶので、電圧変動の結果 V_1 と V_2 の大小関係が入れ替わるような用途に使用できます。直流モータの駆動回路に使用する場合は図 5 のように L_2 と C_3 を省略できます[6]。図 6 のように絶縁型も構成できます。これらの回路は特許出願していませんので自由にご使用下さい。

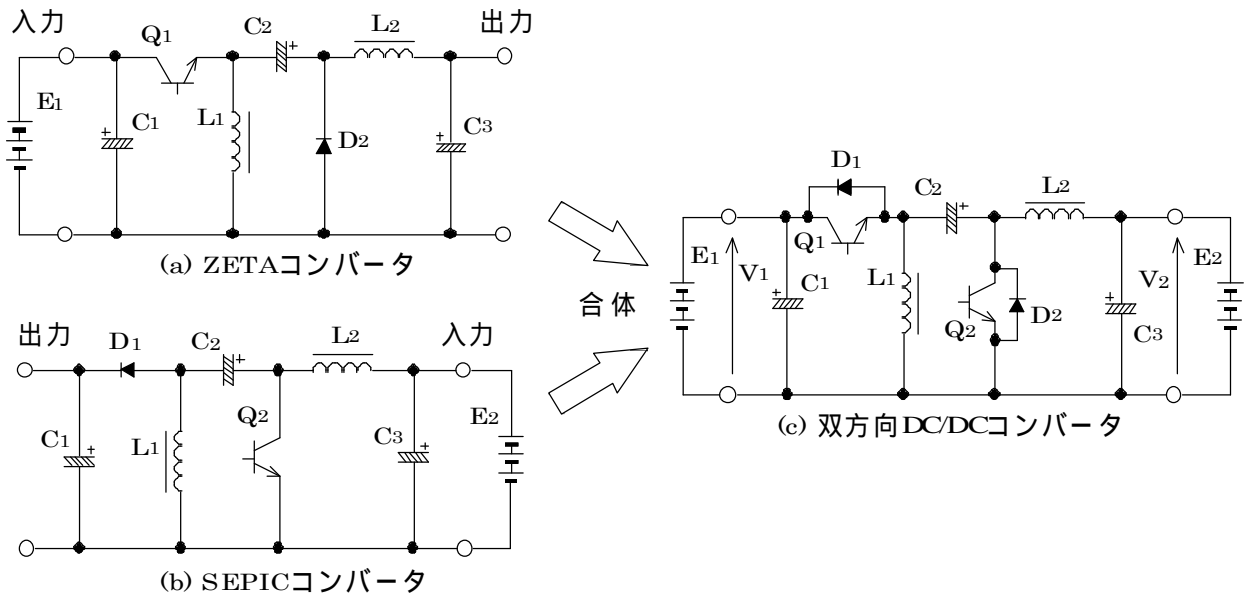


図 4 ZETA + SEPIC 方式双方向 DC/DC コンバータ (文献[5]の図 1 より)

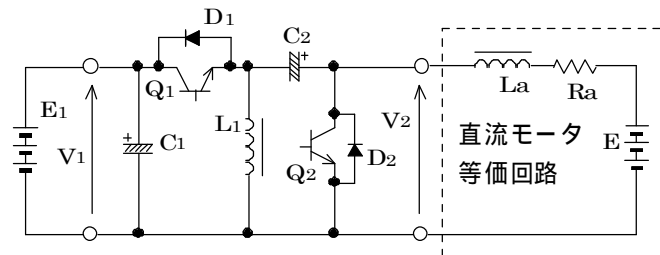


図 5 L_2 と C_3 の省略 (文献[5]の図 5 より)

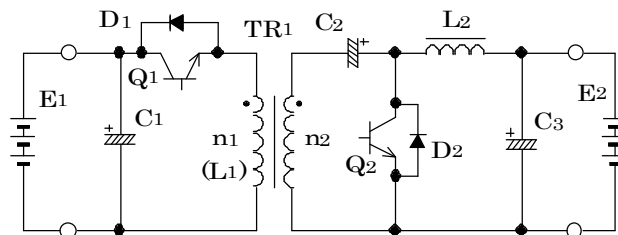


図 6 絶縁型 SEPIC + ZETA 方式 (文献[5]の図 2 より)

同じ回路を2つ組み合わせる方式

図7に示すように昇降圧チョッパ回路を2つ合体させると双方向DC/DCコンバータを構成できます[7]。ZETA + SEPIC方式と同様に V_1 と V_2 の大小関係を自由に選べます。ただし V_1 と V_2 の極性は逆になります。図8のように絶縁型も構成できます。

多機能チョッパ(図9(a)(b))は降圧チョッパ、昇圧チョッパ、昇降圧チョッパ全ての動作を実現できる多機能なチョッパ回路です[8,9]。多機能チョッパも図9に示すように同じ回路2つを合体させると双方向DC/DCコンバータを構成できます。

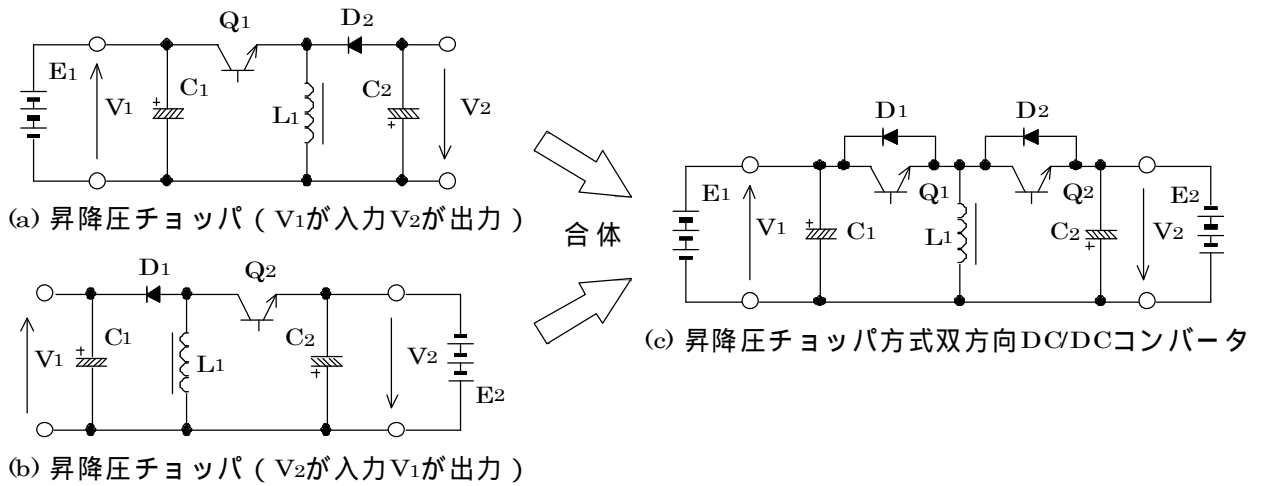


図7 昇降圧チョッパ方式双方向DC/DCコンバータ(文献[7]の図1より)

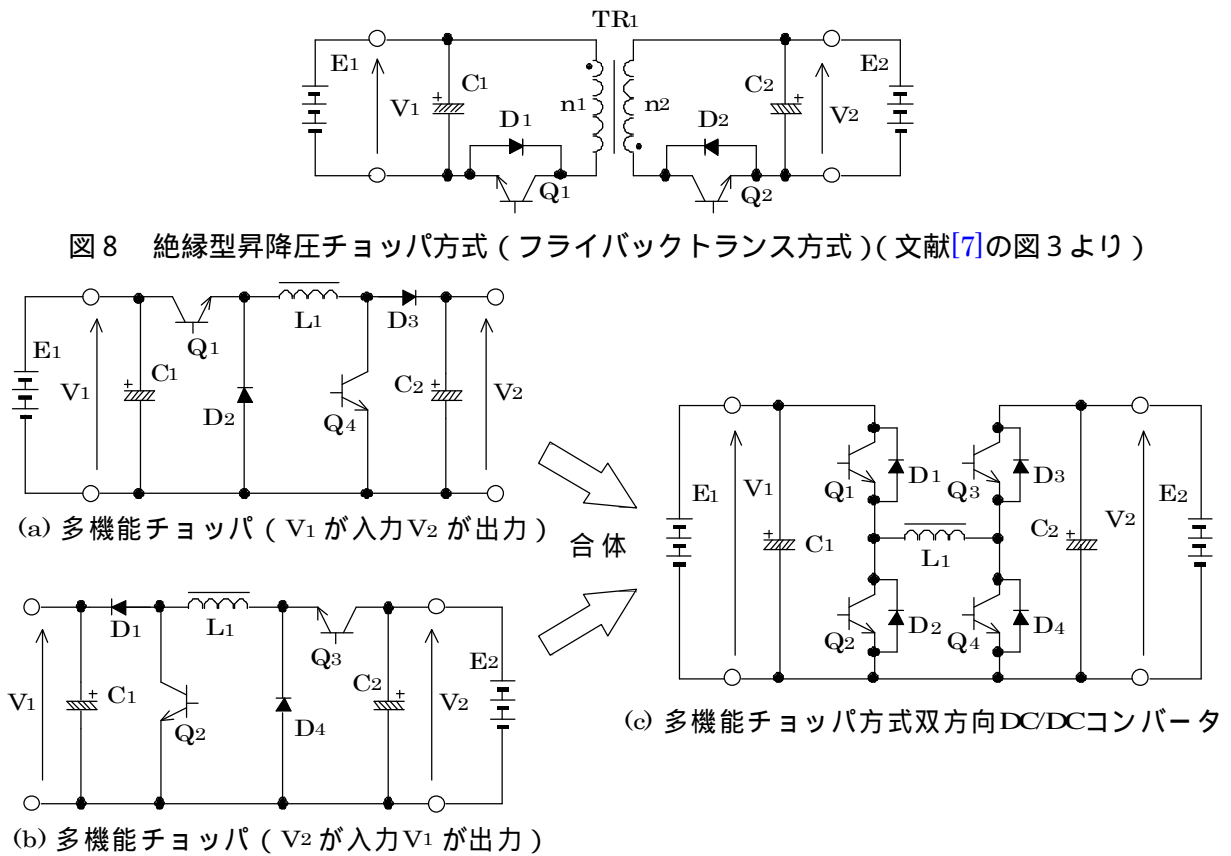


図8 絶縁型昇降圧チョッパ方式(フライバックトランス方式)(文献[7]の図3より)

図9 多機能チョッパ方式双方向DC/DCコンバータ(文献[7]の図5より)

DAB 方式

DAB 方式 (Dual Active Bridge 方式) は古くからある回路方式ですが、ソフトスイッチングを実現でき、大容量の双方向 DC/DC コンバータに適した回路方式として近年注目されています。平地研究室技術メモで詳しく説明しているので参照下さい[10,11,12]。電圧変動が大きいとソフトスイッチングが不成立となること、および、軽負荷時に無効電流が大きくなる、という欠点があり、近年その改善のための研究が盛んです。

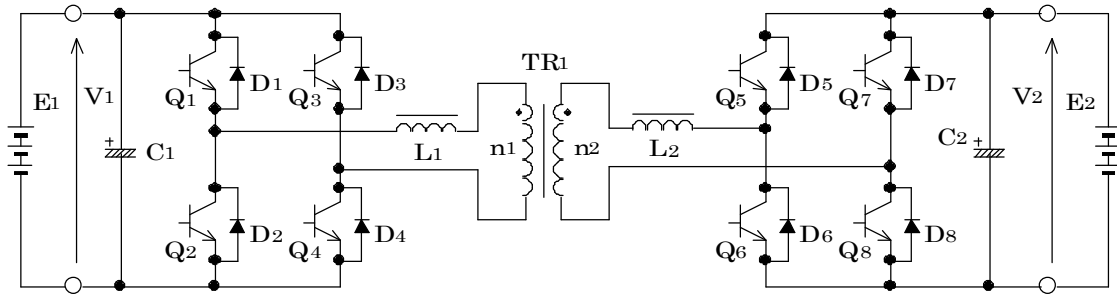
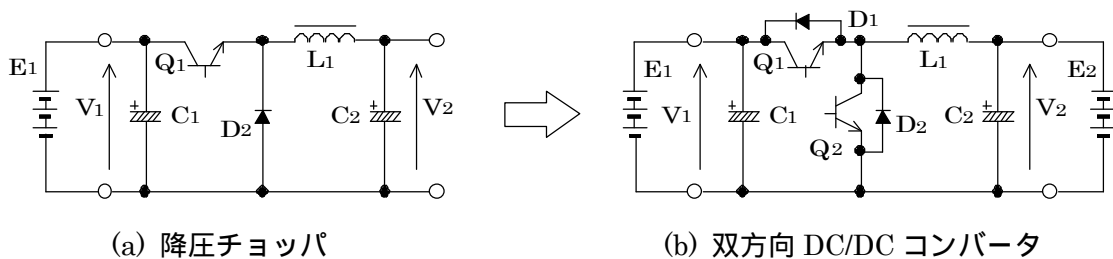


図 1 0 DAB 方式双方向 DC/DC コンバータ (文献[10]の図 1 より)

双方向 DC/DC コンバータの実現方法

以上、各種双方向 DC/DC コンバータを紹介しましたが、双対回路を合体させた回路 (電圧型 + 電流型、ZETA + SEPIC) および同じ回路 2 つを合体させた回路 (昇降圧チョッパ方式、多機能チョッパ方式) に分けることができます。なお、DAB 方式は多機能チョッパ方式を発展させて変圧器の挿入を可能とした回路と考えられます。双対回路を合体させる場合も同じ回路 2 つを合体させる場合も結局トランジスタとダイオードをトランジスタ + ダイオードの並列回路に置き換えていることとなります。例えば図 1 1 (a) の Q_1 にダイオード D_1 を並列接続し、 D_2 にトランジスタ Q_2 を並列接続すると (b) の双方向 DC/DC コンバータになります。



(a) 降圧チョッパ

(b) 双方向 DC/DC コンバータ

図 1 1 双方向 DC/DC コンバータの実現方法

したがって、何らかの DC/DC コンバータに双方向の機能を与えたい、と考えた場合はトランジスタとダイオードをトランジスタ + ダイオードの並列回路に置き換えてみるといいでしょう。例えば図 1 2 の Cuk コンバータなら Q_1 にダイオード D_1 を並列接続し、 D_2 にトランジスタ Q_2 を並列接続すると図 1 3 となり双方向 Cuk コンバータを実現できます。図 1 4 は絶縁型です。図 1 5 の LLC コンバータなら D_3D_4 に Q_3Q_4 を並列接続すれば図 1 6 の双方向 LLC コンバータを実現できます。

なお、FET の寄生ダイオードを利用すれば図 1 7 のようにトランジスタ + ダイオードの並列回路は 1 つの FET に置き換えることができます。ただし、FET の寄生ダイオードはスピードが遅いので配慮が必要です。

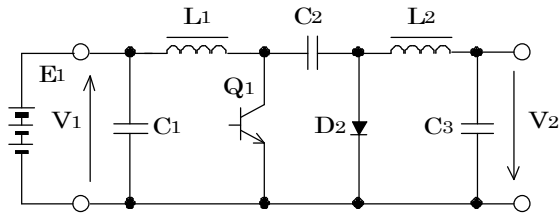


図 1 2 Cuk (チューク) コンバータ

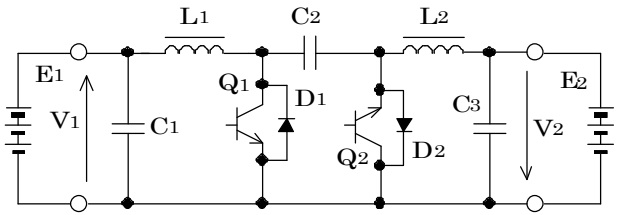


図 1 3 双方向 Cuk コンバータ

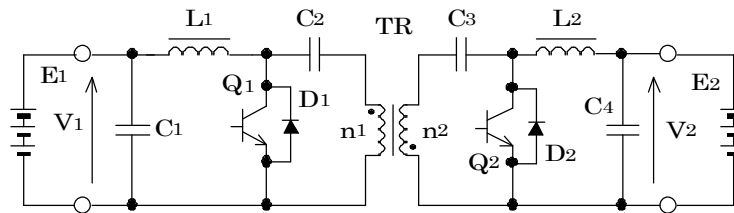


図 1 4 双方向絶縁型 Cuk コンバータ

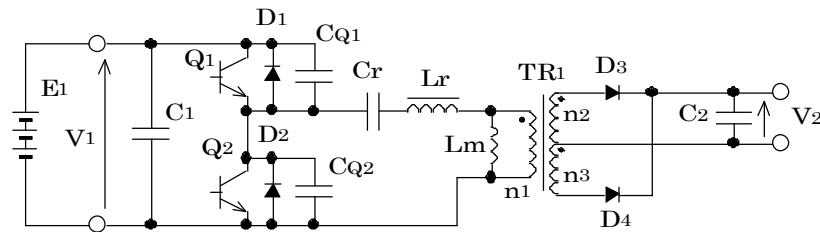


図 1 5 LLC コンバータ

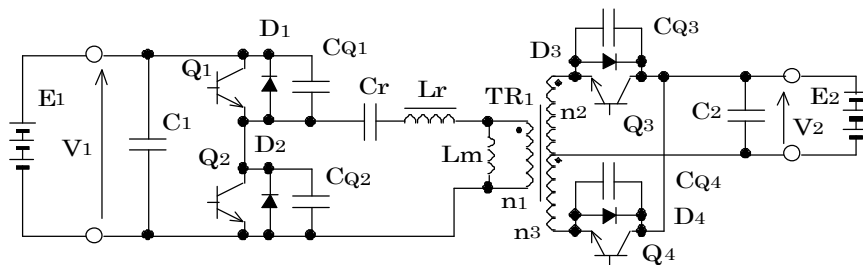


図 1 6 双方向 LLC コンバータ

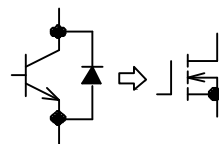


図 1 7 バイポーラトランジスタ+ダイオードを FET に置き換え

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、「直流モータ駆動用チョップ回路」、平地研究室技術メモ No.20130508
- [3] 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

- [4] 小森耕太、平地克也、「フルブリッジ型双方向 DC/DC コンバータの 2 次側短絡によるサージ電圧抑制」、パワーエレクトロニクス学会誌、Vol.41, pp.134-141, JIPE-41-20, 2015
- [5] 平地克也、「SEPIC + ZETA 方式双方向 DC/DC コンバータ」、平地研究室技術メモ No.20140630
- [6] 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, JIPE-39-42, p.196, 2014
- [7] 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
- [8] 平地克也、「多機能チョッパ回路の御紹介」、平地研究室技術メモ No.20120831
- [9] 高見親法、平地克也、三島智和、「降圧チョッパ/昇圧チョッパ縦続接続方式の全動作モードの検討」、パワーエレクトロニクス学会誌、Vol.37, pp.89-96, 2012
- [10] 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
- [11] 平地克也、「DAB 方式のソフトスイッチングの原理とリアクトル電流波形の理論計算」、平地研究室技術メモ No.20150204
- [12] 平地克也、「DAB 方式の重要な公式の導出」、平地研究室技術メモ No.20150214

以上