

DAB について

1. DAB とは

DAB (*Dual Active Bridge*) とは、絶縁トランスの両側にフルブリッジ回路を持つ方式です。

DAB の特徴としては、シンプルな回路構成で「直流を双方向動作で絶縁出来る」事にあります。双方向直流絶縁の概要と詳細について、後述します。

まず、トランスの1次側だけにフルブリッジ回路を持つ一般的なフルブリッジ方式のDC-DCコンバータに着目します。図1が回路構成になります。

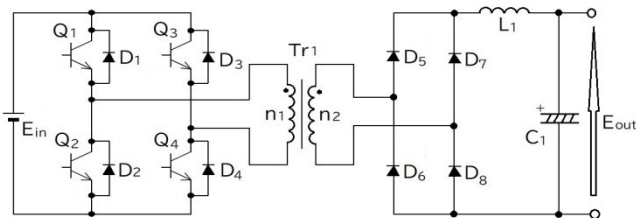


図1 フルブリッジ方式 DC-DC コンバータ

フルブリッジ方式の場合、各スイッチング素子 (Q_1 & Q_4 または Q_2 & Q_3) が ON の時は入力 E_{in} に対し、 L_1 に電流が流れると同時に C_1 がチャージされ、 E_{out} へ出力されます。

また、各スイッチング素子 (Q_1 & Q_4 または Q_2 & Q_3) が OFF の時は、ON の時にチャージされた L_1 が放電することで C_1 がチャージされ E_{out} へ出力されます。

これらの動作は降圧チョップと原理的に同じ動作をしており、 L_1 にチャージされるエネルギーの源となる印加電圧はトランスの巻数比が1であったとすると、 $E_1 - E_2$ になります。従って本回路方式の場合、 E_2 が E_1 以上に昇圧できないため、または2次側ダイオードが障壁となるため、1次側からの片方向動作が基本となります。

対して、トランスの両側にフルブリッジ回路を設け、さらに L をトランスの両端に設けた DAB 方式の DC-DC コンバータに着目します。

(なお、トランス両端の L_1 , L_2 はトランスのリーケージインダクタンスを利用する事で代替も可能です。)

図2が基本回路構成になります。

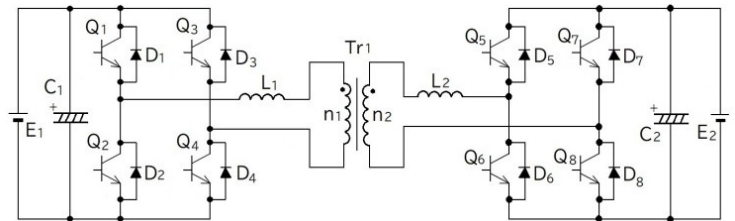


図2 DAB 方式 DC-DC コンバータ

上記の回路において、両端のフルブリッジスイッチの各スイッチング素子を従来のフルブリッジ同様に ON/OFF させたとします。なお、この時巻数比は1、目標の電圧は $E_1 = E_2$ とします。

トランスの L_1 側を入力/1次側とした場合、1次側のフルブリッジは降圧チョップとして動作しようとするので、 E_2 電圧は E_1 よりも低い値となります。この時、 L_2 側の2次側フルブリッジが E_2 の電圧を正負反転してトランス2次側へ接続するように2次側ブリッジを ON/OFF させたとした場合、 L_1 および L_2 の印加電圧は $E_1 - E_2$ ではなく、 $E_1 + E_2$ となるため、昇圧コンバータとして動作できるようになり、 $E_1 < E_2$ の目標電圧をクリアすることができます。これは2次側のスイッチのタイミングにより昇降圧動作が可能となることを意味します。2次側から1次側への電力伝送とした場合でも同様です。

このように、 E_1 および E_2 のいずれかを入力としても、双方向からの直流絶縁を実現可能とした回路になります。

2. DABの詳細動作原理

ここからはDABの具体的な動作原理に着目していきます。

図2を等価回路で示すと図3になります。

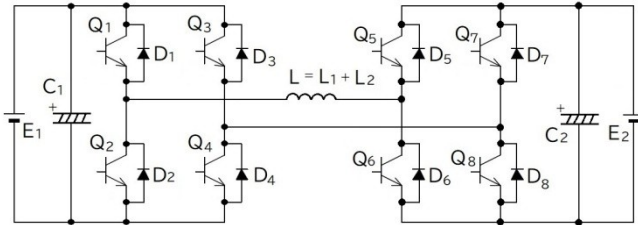


図3 DABの等価回路

DABや他の制御方式と同様、上下左右に相反するスイッチング素子のON/OFF制御により動作させます。各スイッチング素子をON/OFFした際の電流の流れは図4～図9の通りです。

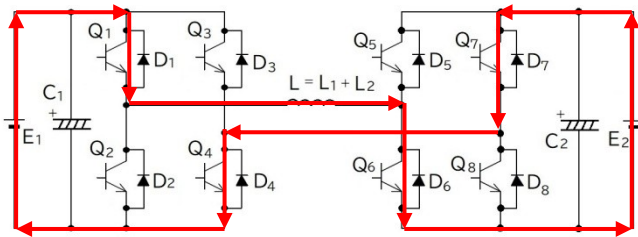


図4 Q1, Q4, Q6, Q7がON

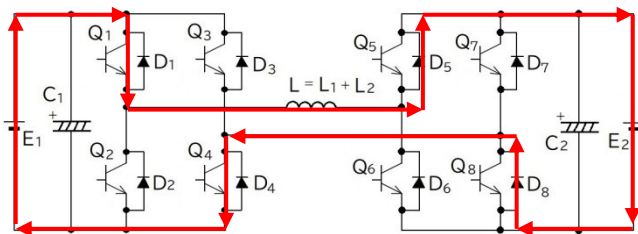


図5 Q1, Q4, Q5, Q8がON

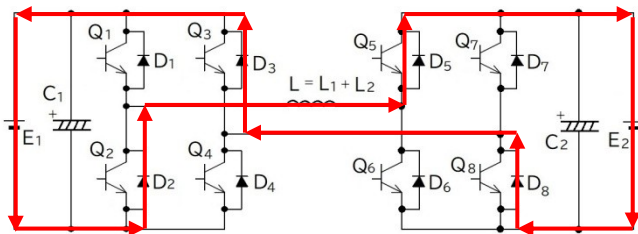


図6 Q2, Q3, Q5, Q8がON

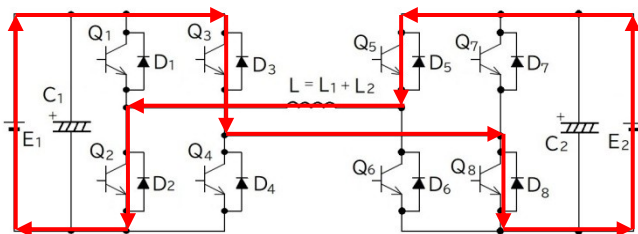


図7 Q2, Q3, Q5, Q8がON

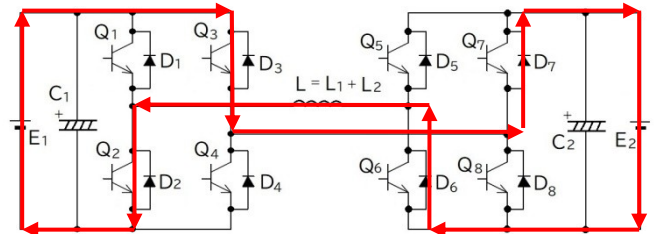


図8 Q2, Q3, Q6, Q7がON

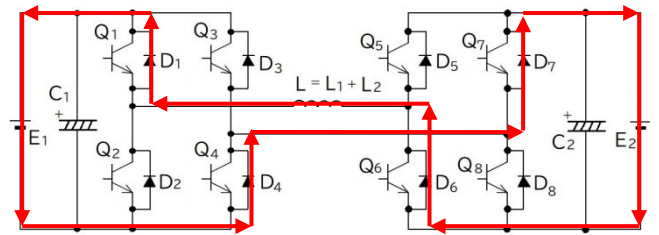


図9 Q1, Q4, Q6, Q7がON

双方にある電源 E_1 , E_2 と L に流れる電流の関係性に着目すると、次のようになります。

図4, 7 : 直列に接続された E_1 と E_2 の加算電圧が L に印加されている状態。

図5, 8 : E_1 と E_2 の極性が相対しており、 $E_1 - E_2$ が L に接続されている状態。

図6, 9 : E_1 と E_2 が逆極性で直列に接続されている状態。 $-E_1$ と $-E_2$ の加算電圧が L に印加。

電流の増加・減少に伴い、図6→図7と図9→図4の際には L に流れる電流の向きが反転します。この時、図4～図6の電流の向きを正とすると、 L に流れる電流波形は図9のようになります。

ただし、図9は $E_1 = E_2$ が成り立つ時の理想波形であり、 E_1 と E_2 の大小関係に応じて、図3～図8における電流量はアンバランスになります。それに対し、スイッチング素子のON/OFF時間を変化させる事で電流波形のバランスを制御します。

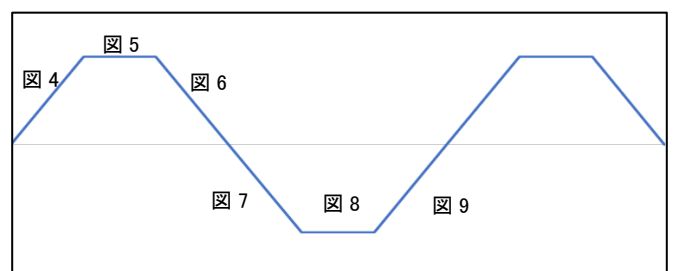


図9 Lの理想電流波形

3. DAB のメリット

DAB 方式には以下のようなメリットがあります。

① 従来よりも軽量での絶縁が可能

商用周波数における絶縁の場合、容量に応じた大型トランスが必要ですが、スイッチング素子における kHz 周波数帯の制御を行う事で絶縁トランスの小型化が可能になります。

② シンプルな回路構成による構造の簡略化

トランスを挟んでの完全にシメトリーな回路構成やトランスの漏れインダクタンス利用による余計な L の除去等を行う事でシンプルな回路とする事が出来る為、機構や装置内の部品配置を簡単かつ整頓された構造にする事が可能です。シンプルゆえに低コスト化にも貢献します。

③ ソフトスイッチングによる高効率化を実現

スイッチング動作の場合、スイッチング損失による効率の低下が気になる所ですが、DAB 方式の場合 LC 共振によるソフトスイッチングにより、高効率化が期待できます。

■ 参考文献

- ・「DC/DC コンバータの基礎から応用まで」電気学会
- ・「DAB 方式双方向 DC/DC コンバータ」平地克也 著

2021年04月06日
株式会社計測技術研究所