平地研究室技術メモ No. 20090514A

非対称ハーフブリッジＤＣ／ＤＣコンバータ

（読んでほしい人：パワエレ初心者）

2009/5/14 国立舞鶴高専 平地研究室
専攻科１年 吉富大祐

A：2010/4/2 改訂

非対称ハーフブリッジ DC/DC コンバータ（図１）は、トランスの漏れインダクタンスとスイッチ素子の寄生ダイオード、寄生容量により簡単な回路構成で容易にソフトスイッチングを実現できる。まず漏れインダクタンスと寄生ダイオード、寄生容量を考慮しない基本的な動作について説明する。その後、漏れインダクタンスと寄生ダイオード、寄生容量によるソフトスイッチング動作について説明する。

１．回路構成

図１に非対称ハーフブリッジ DC/DC コンバータ回路の回路構成を示す。L_m はトランスの励磁インダクタンスである。C_e には容量の大きなコンデンサを用いる。C_e は図示の極性に充電されておりすべてのモードで一定の電圧に保たれている。C_e の電圧は通流率により変化する。Q1 は出力電圧 V_{out} を適切な電圧に制御するように PWM 制御を行う。Q2 は Q1 と短いデットタイムを挟んで交互に ON/OFF が繰り返される。

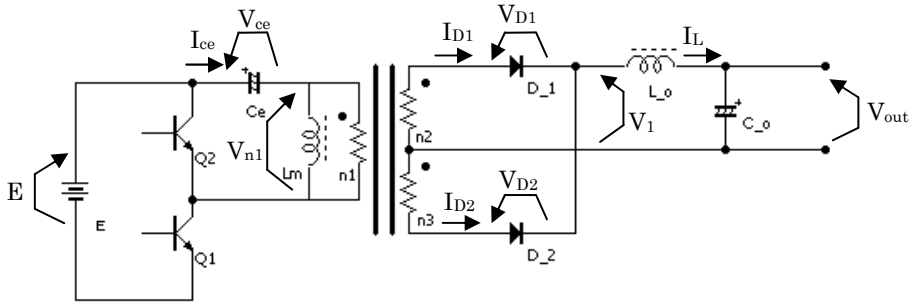


図１　非対称ハーフブリッジ DC/DC コンバータ

２．非対称ハーフブリッジ回路の特徴

非対称ハーフブリッジ DC/DC コンバータは、他のブリッジ型回路と比べ最も回路を構成する部品を少ない。トランスは正負にまたがり励磁されるので偏磁されることがなく、リセット回路も必要としない。これはトランスに直列接続されているコンデンサ C_e の電圧が、ON と OFF でのそれぞれの期間におけるトランスの電圧時間積が等しくなるように決まるからである。また、スイッチ素子に印加される電圧は Q1 と Q2 共に電源電圧である。

３．回路動作（漏れインダクタンスと寄生ダイオード、寄生容量を考慮しない場合）

トランスの漏れインダクタンスとスイッチ素子の寄生ダイオード、寄生容量を考慮せず、デットタイムを無視すれば、２つのモードに分けることができる。これら 2 つのモードの電流経路を図２に示す。

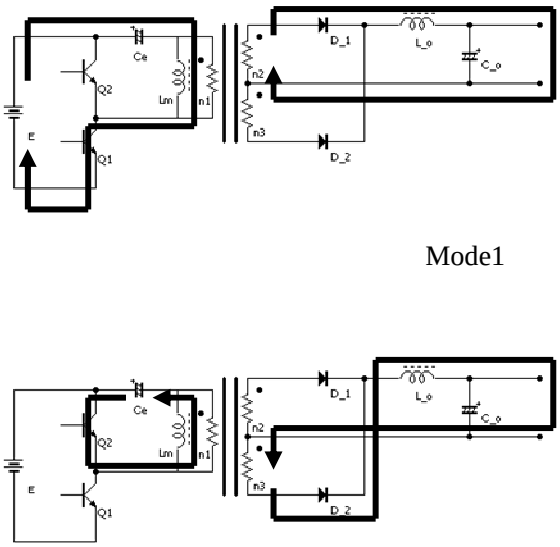
（１）Mode1　　Q1:ON　Q2:OFF

Q1 が ON する事で、通流率を α とすると、電源電圧Ｅの（1－α）倍の電圧が巻線 n1 に印加されている。よって D_1 が導通し 2 次側に電力が供給される。

（２）Mode2　　Q1:OFF　Q2:ON

Q2 が ON する事で、電源Ｅの α 倍の電圧で充電されたコンデンサ C_e により、巻線 n1 に逆方向に電圧が印加される。よって D_2 が導通し 2 次側に電力が供給される。

また、各モードの電圧電流波形を図３に示す(a=n2/n1)。さらに、SCAT を用いたシミュレーションの結果と、実験で得られた電圧電流波形を図４に示す。



Mode1

Mode2

図２　電流経路

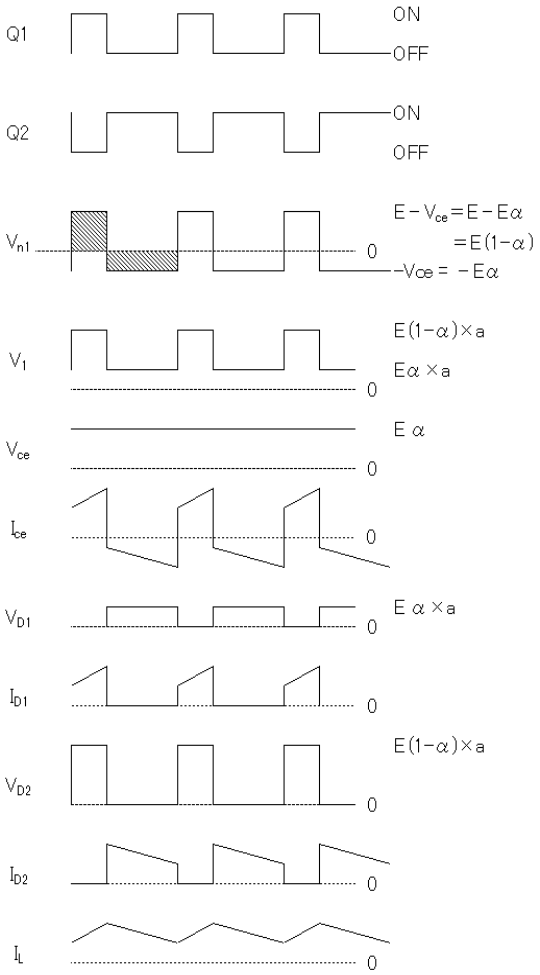
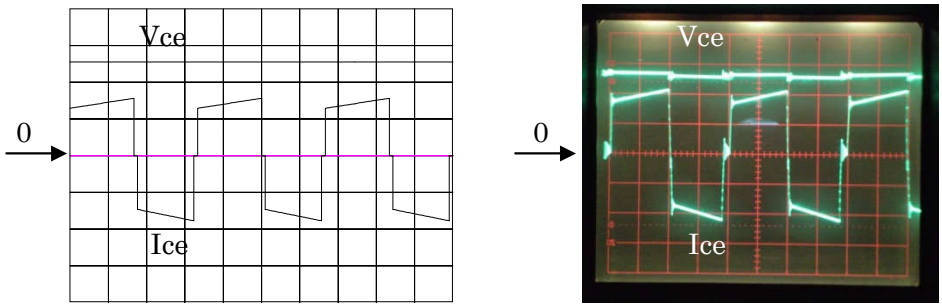
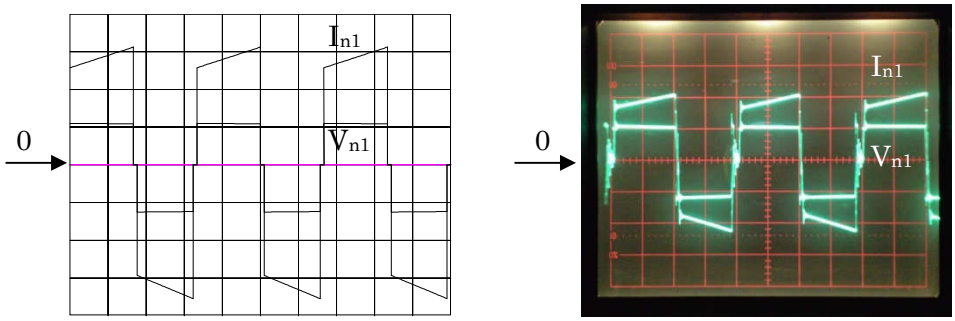


図３　電圧電流波形



2A/div　5V/div　5usec/div　　2A/div　5V/div　5usec/div

(a) Ce の電圧電流波形



1A/div　10V/div　5usec/div　　2A/div　10V/div　5usec/div

(b) 巻線 n1 の電圧電流波形

図４　電圧電流波形

４．出力電圧計算式

非対称ハーフブリッジ DC/DC コンバータの出力電圧計算式は以下の式（１）の通りになる。ただし、α は Q1 の通流率、n1、n2 はそれぞれの巻線の巻数、E は入力電圧、V_{out} は出力電圧である。

$$V_{out} = 2\,E\,\alpha\left(1-\alpha\right)\frac{n_2}{n_1} \qquad \cdots(1)$$

・導出方法

図３の斜線部の面積は等しい(トランスに印加される電圧時間積は等しくなるようにコンデンサ電圧が決まるため)。よって以下を得る。

$$(E - V_{c1})\alpha = V_{c1}(1-\alpha)$$

$$V_{c1} = E\,\alpha$$

出力電圧 V_{out} はダイオードカソード電圧 V_1 の時間平均であるので以下の式で表す事ができる。

$$V_{out} = \left\{E\,(1-\alpha)\times\frac{n_2}{n_1}\times\alpha\right\} + \left\{E\,\alpha\times\frac{n_2}{n_1}\times\,(1-\alpha)\right\}$$

$$= 2E\,\alpha\,(1-\alpha)\,\frac{n_2}{n_1}$$

５．回路動作（漏れインダクタンス、寄生ダイオード、寄生容量を考慮する場合）

トランスの漏れインダクタンス L_l とスイッチ素子に存在する寄生ダイオード、寄生容量を考慮した非対称ハーフブリッジ DC/DC コンバータを図５に示す。スイッチ素子に並列に存在するコンデンサ、ダイオードはそれぞれ寄生ダイオードと寄生容量である。（実際の回路では、寄生容量だけでソフトスイッチングするのは難しく、スイッチ素子に並列に小容量のコンデンサを接続する事が多い）

これらを考慮すると以下の７つのモードに分けることができ、スイッチ素子はソフトスイッチングとなる。また、これら７つのモードの電流経路を図６に示す。

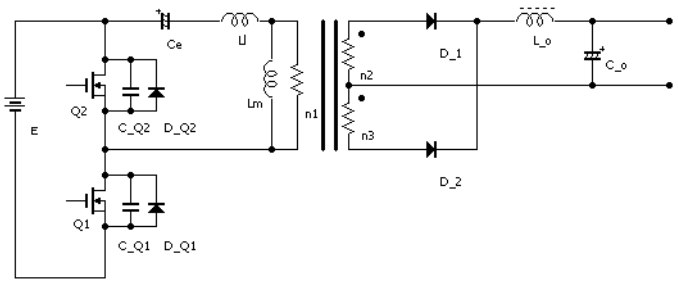


図５　非対称ハーフブリッジ DC/DC コンバータ
（漏れインダクタンス L_l、寄生ダイオード、寄生容量を考慮する場合）

（１）Mode1　　Q1:ON　Q2:OFF

Q1 が ON する事で、図６のように電流が流れる。通流率を α とすると、電源電圧 E の（1－α）倍の電圧が巻線 n1 に印加されている。よって D_1 が導通し 2 次側に電力が供給される。

（２）Mode2　　Q1:ターンオフ　Q2:OFF

Q1 がターンオフし C_{Q1} が充電される。Q1 がターンオフする瞬間は C_{Q1} 電圧は 0V であるので Q1 のターンオフは ZVS である。

（３）Mode3　　Q1:OFF　Q2:OFF

漏れインダクタンスと励磁インダクタンスによって蓄えられていたエネルギーにより C_{Q1} が「α E電圧」まで充電されると、C_{Q2}側に転流しC_{Q2}の電荷を引き抜く。C_{Q2}の放電が完了すればD_{Q2}が導通しC_e を充電する。負荷にはD_1D_2を介してリアクトル電流が環流している。

（４）Mode4　　Q1:OFF　Q2:ターンオン

Q2 がターンオンする。D_{Q2}が導通している時にQ2 がON するのでQ2 のターンオン は ZVS かつZCS である。Q2がONする事で、漏れインダクタンスに蓄えられたエネルギーが0になると電流が反転し、「α E電圧」で充電されたコンデンサC_eにより、巻線n1に電圧が逆方向に印加される。よってD_2が導通し2次側に電力が供給される。

（５）Mode5　　Q1:OFF　Q2:ターンオフ

Q2 がターンオフし C_{Q2} が充電される。Q2 がターンオフする瞬間は C_{Q2} 電圧は 0V であるので Q1 のターンオフは ZVS である。

（６）Mode6　　Q1:OFF　Q2:OFF

漏れインダクタンスと励磁インダクタンスによって蓄えられていたエネルギーによりC_{Q2}が「E電圧」まで充電されると、C_{Q1} 側に転流してC_{Q1}の電荷を引き抜く。C_{Q1}の放電が完了すればD_{Q1}が導通する。負荷にはD_1D_2を介してリアクトル電流が環流している。

（７）Mode7　　Q1:ターンオン　　Q2:OFF

Q1がターンオンする。D_{Q1}が導通している時にQ1 がON するので、Q1のターンオン は ZVS かつZCS である。Q1がONする事で、漏れインダクタンスに蓄えられたエネルギーが0になると電流が反転し、Mode1に戻る。

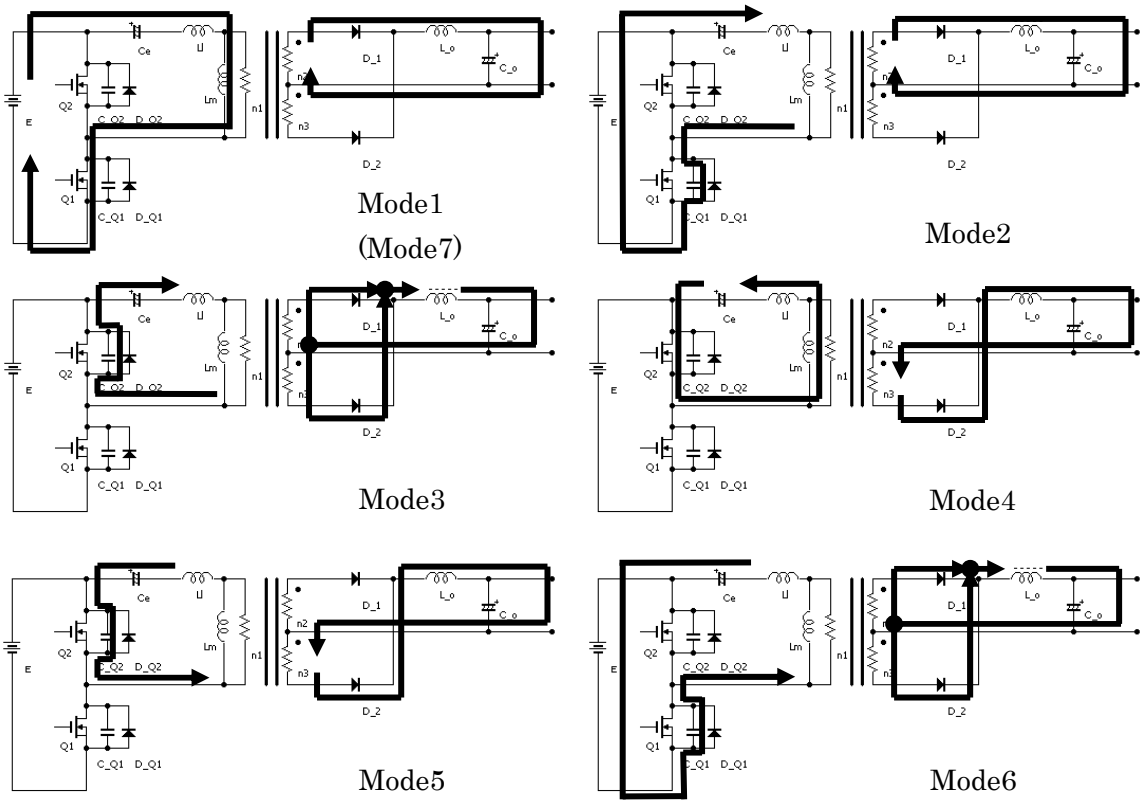


図６　電流経路

以上