

SiC ダイオードを用いた双方向チョップパのリカバリ電流低減法

©藤田 祐輔, 宮脇 慧, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年 EV や HEV に搭載されるバッテリーとの連系用として、非絶縁形で双方向の DC/DC コンバータの研究が盛んに行われている⁽¹⁾。主機部分の DC/DC コンバータとしては、チョップパ回路が適用されている。昇圧リアクトルを小形化するためには、スイッチング周波数の高周波化が有効である。しかし、CoolMOSFET などを用いて、高周波化すると MOSFET の寄生ダイオードで発生するリカバリ損失が問題となる。

本論文では、スイッチング素子に加え、SiC-SBD と小容量のインダクタを追加した回路構成によるリカバリ電流の低減法について検討を行う。また、追加する小容量インダクタを結合することで、追加インダクタの体積を抑えることができる。実験により、インダクタの違いによる効果の違いを考察したので報告する。

2. 回路構成と動作原理

図 1 に提案する双方向チョップパ回路を示す。スイッチング素子と直列にダイオードを取り付け、その midpoint に小容量インダクタを接続した回路構成をしている⁽²⁾。この回路構成により、還流電流はスイッチング素子の寄生ダイオードを流れず、直列に接続したダイオードに流れる。また、使用するダイオードに SiC-SBD を用いることで、リカバリ電流の発生と導通損失を抑えることができる。さらに、本回路で使用している二つの小容量インダクタを結合させることができる。

図 2 に結合インダクタを用いた場合の試験回路の基本的な動作波形を示す。動作 1 周期中に 5 つのパターンがある。図 2(a)の区間では、 S_1 がオンになり L_1 に電流が流れる際に、逆起電力が L_2 にも生じる。その結果、 L_2 に電流が発生し D_2 を通って S_1 へ流れる。そのため S_1 オンの直後に、結合インダクタを用いない場合に比べ、逆起電力によって発生する分多く電流が流れる。図 2(b)の区間では L_1 の電流が定常状態となるため L_2 の逆起電力は 0 となり電流も流れない。そのため、 L_1 を含む経路のみ動作をする。図 2(c)の区間では S_1 がオフしたことにより D_1 に転流している。 L_1 の電流は減少するため逆起電力が働き、 L_2 にも逆起電力を発生させる。そのため、電流は S_2 の寄生ダイオードを通して L_2 から L へ流れる。図 2(d)の区間では、 S_2 がオンするため L_2 へ流れる電流経路は寄生ダイオードからオン抵抗側へ切り替わる。図 2(e)の区間では S_2 がオフになるため、再び S_2 の寄生ダイオードが電流経路となる。しかし電流値はほぼ 0 であるため、図 2(e)から図 2(a)に切り替わる際にはリカバリ電流が発生しない。これにより、インダクタを結合させても非結合時とほぼ同じ動作になる。

3. 実験結果

図 1 の V_{DC2} の代わりに R 負荷と平滑コンデンサを接続して測定を行った。この場合、回路動作は降圧チョップパとなる。図 3(a)に非結合インダクタを用いた試験回路の測定結果を、図 3(b)に結合インダクタを用いた回路での測定結果を示す。それぞれ降圧チョップパモードで主に使用される S_1 、 D_1 の電流を示したものである。どちらの結果においても、 D_1 がオフになる際に共振が起こっているが、リカバリ電流は発生していないことが確認できる。共振は周波数から、スイッチング素子の寄生容量と配線インダクタンスによって引き起こされるものである。

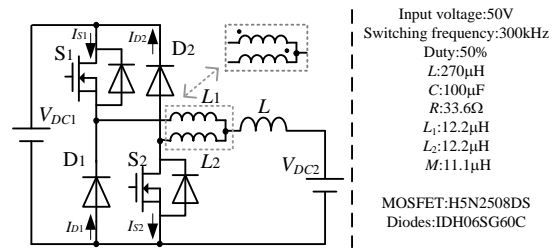


Fig. 1. Test circuit using two choppers.

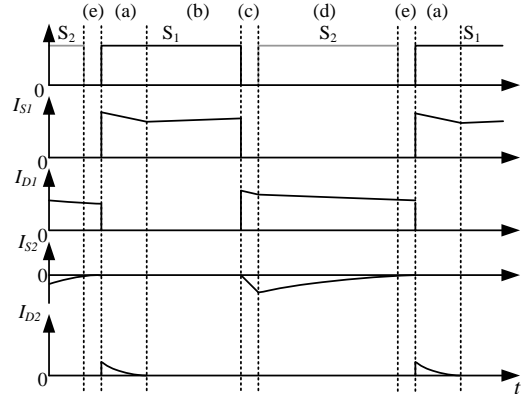


Fig. 2. Typical waveforms of the test circuit with the coupled inductor at buck chopper operation.

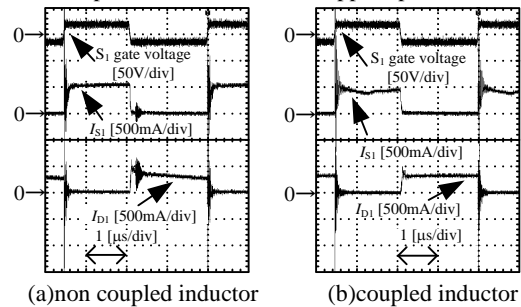


Fig. 3. Experimental result of the test circuit at buck chopper operation.

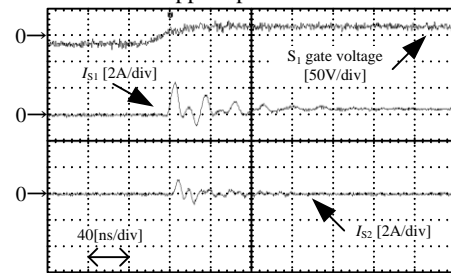


Fig. 4. Experimental result of test circuit with positive coupled inductor at buck chopper operation.

図 4 は S_1 ターンオン前後の各スイッチに流れる電流である。 S_2 の電流が 0 の状態でスイッチングが行われているため、 S_2 の寄生ダイオードにはリカバリ電流が発生しない。

このことから、回路の構成によりリカバリ電流の発生を抑え、また回路の利点を失わずにインダクタの体積を減少させることが可能である。

参考文献

- (1) Pavlovsky.M et al. : ECCE2009, pp.1768-1774 (2009)
- (2) H. Qian, J.-S. Lai et al. : ECCE2010, pp.3224-3229 (2010)