

電力用半導体の動作環境改善について出展

舞鶴工業高等専門学校

総合システム工学専攻 ^{しばもと} 芝本 ^{そういちろう} 宗一郎、^{むらかみ} 村上 ^{たつや} 達哉、^{もりわき} 森脇 ^{まこと} 誠斗
電気電子システム工学コース長 ^{かたやま} 片山 ^{ひであき} 英昭

1. はじめに

株式会社堀場製作所様のご支援を頂き、平成28年12月14日（水）～16日（金）に東京ビッグサイトの東展示棟・会議棟で開催されたSEMICON Japan 2016の「The 高専@GAKKO」に出展しました。本校は、本科4学科（機械工学科、電気情報工学科、電子制御工学科、建設システム工学科）と専攻科1専攻3コース（総合システム工学専攻：電気電子システム工学コース、機械制御システム工学コース、建設工学コース）からなり、学生数は約830名です。今回は、総合システム工学専攻電気電子システム工学コースの3名（平地研究室所属）が参加しました。彼らは、平成28年12月に開催されたパワーエレクトロニクス学会で発表した内容を中心として、電力用半導体の有効利用のために重要である、サージ電圧、サージ電流、スイッチング損失などの発生メカニズムと抑制方法の研究について紹介しました。

2. 出展内容

2.1 DC/DC コンバータのサージ電圧発生メカニズムの研究

DC/DC コンバータでは、半導体スイッチ（MOSFET）がON状態からOFF状態へ切り替わるときにMOSFETのドレイン・ソース間に過大な電圧が発生し、スイッチの劣化や破損を生じるため問題となっています。サージ電圧の抑制を行うためには、その発生メカニズムを解析する必要があり、本研究では昇降圧チョップを用いて実験・解析を行いました。

回路中の各部分の電圧および電流波形を観察することにより、**図1**のように電流経路をモードごとに切り分けることができます。

電流経路を考えることにより、サージ電圧は寄生インダクタンスがMOSFETの寄生容量を充電することによって発生することがわかりました。容量の両端に生じる電圧はコンデンサの基本式に従うため、静電容量が大きいほどサージ電圧は抑制されると考えました。そこで、MOSFETと並列に外付けの容量を接続し、静電容量とサージ電圧および変換効率の関係性を調べたところ、**図2**に示す結果が得られました。

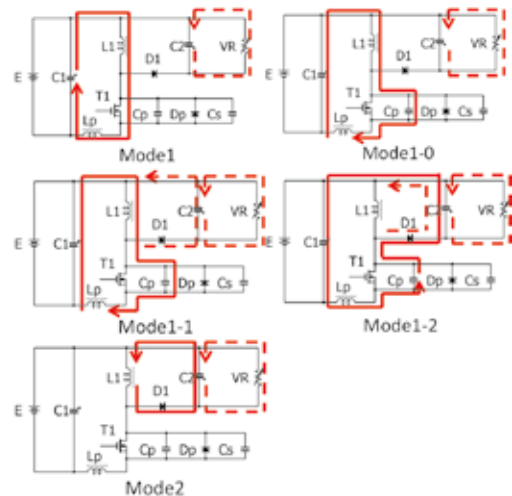


図1 サージ電圧発生時の電流経路

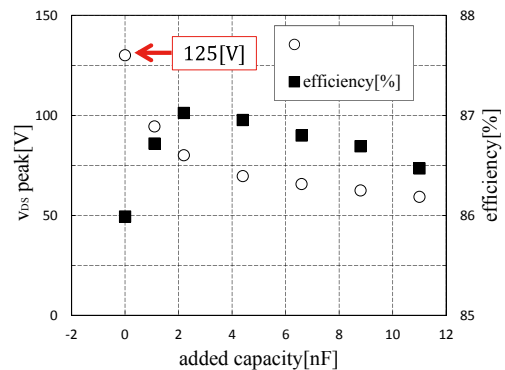


図2 容量とサージ電圧および変換効率

この図より、コンデンサの容量を増加させると、サージ電圧は低下していきませんが、変換効率は2[nF]より大きい領域において低下していくことがわかりました。2[nF]より小さい領域で変換効率が向上している理由は、サージ電圧が抑制されたことに起因すると考えられます。

今後の課題として、サージ電圧と変換効率の関係性を定量的に評価することがあげられます。

2.2 フライイングキャパシタ付き双方向チョップの新しい制御方式の研究

本研究の当初の目的は、フライイングキャパシタ付き双方向チョップの特性を明らかにすることでした。しかし現在は、提案した新しい制御方式の有用性を解析・実験により検証することを目的としています。

図3に示すフライイングキャパシタ付き双方向チョップは、スイッチドキャパシタコンバータを基に構成しており、フライイングキャパシタ C_2 を利用することにより、従来のチョップ回路に比べ、2つの恩恵を受けることができます。まず、1つ目はリアクトル L_1 の小型化が可能となります。これにより、回路全体の小型軽量化が図れます。2つ目は、スイッチ素子 (MOSFET など) Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 の印加電圧を低減することができます。これにより、耐圧の低い素子が利用でき、コストの削減ができます。

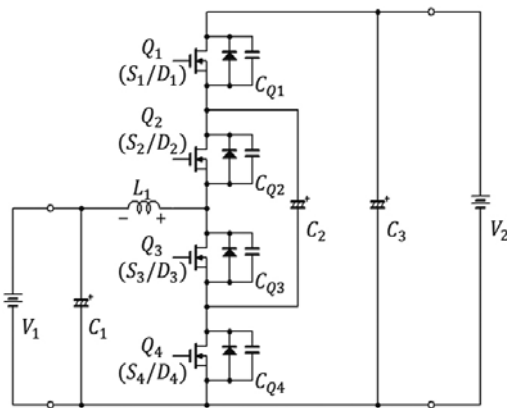
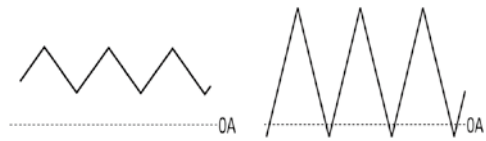


図3 フライイングキャパシタ付き双方向チョップ

このような利点を持つ回路ですが、問題点もあります。それは、フライイングキャパシタ付き双方向チョップの従来の制御方式では、スイッチ素子が持つ寄生ダイオードのリカバリ特性によって、大きなサージ電流が発生することです。サージ電流の発生は、スイッチ素子に過大なストレスを与えたり、ノイズの影響になります。

そのため、平地研究室ではそのサージ電流を抑制するため、図4 (a) に示すような従来の制御方式に対して、新しい制御方式の提案を行いました。新しい制御方式では、図4 (b) に示すような、リップル成分を大きくしたリアクトル電流波形を使用することにより、逆流部分で寄生ダイオードの電荷を引き抜くことができ、リカバリ特性を防ぐことができます。また、追加部品は必要としないので、実用性が高く、ZVS (Zero Voltage Switching) と呼ばれる損失0でスイッチングを行う技術を実現することができ、変換効率の向上も可能であると考えられています。



(a) 従来の制御方式 (b) 新しい制御方式
図4 リアクトル電流波形の比較

次に、図4 (b) のリアクトル電流波形を適用するには、スイッチ素子の ON/OFF 毎の動作を考える必要があります。一般的に、電力変換回路の動作は、次の3つのステップで考えます。まず、ステップ1では動作モード、ステップ2では電流経路、ステップ3では全素子の電圧、電流波形を考えます。

これらの工程を経て、初めて実験となります。なお、平地研究室では、基本的には回路は自分たちで製作します。

<従来の制御方式> <新しい制御方式>

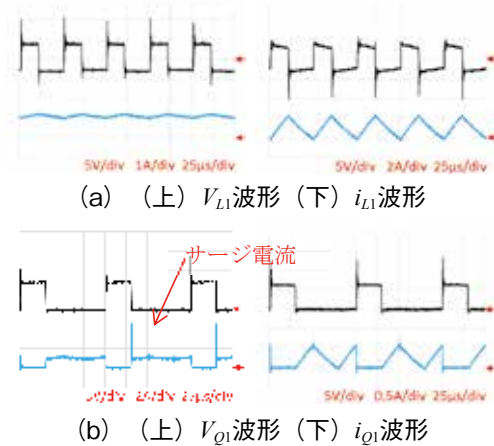


図5 フライイングキャパシタ付き双方向チョップの実験結果

そして、実験結果は図5のようになりました (実験条件: $V_2=12[V]$, $I_{out}=1[A]$)。図の左側は従来の制御方式、右側は新しい制御における実験結果となっています。図5 (a) より、新しい制御方式では、 i_{L1} に逆流区間を含む波形となっていることを確認できます。また、図5 (b) より、従来の制御方式で確認されたサージ電流は、新しい制御方式では抑制出来ていることがわかります。なお、変換効率は、従来制御方式では85.6[%]、新制御方式では89.0[%]の結果が得られました。

以上より、新しい制御方式ではサージ電流の抑制および変換効率の向上ができ、その有用性を確認することができました。なお、電流のピーク値が大きくなるため、大容量の用途には適しませんが、小容量の用途、例えばLED照明のドライバなどへの応用が期待できます。



3. 参加学生の感想

電気電子システム工学コース1年 芝本 宗一郎

私達は「半導体の動作環境改善」というタイトルで発表させていただきました。半導体素子そのものの開発や製造装置に関する出展が多い中で、私達の研究はパワーエレクトロニクスと呼ばれる分野のため、会場全体から見ると少しアプローチの異なる内容だったと思います。SEMICON Japan 2016では通常の学会発表と異なり様々な分野の方に向けて説明する必要があるため、どのような流れで説明すればよいか分からず戸惑いがありましたが、ブースにお越し頂いた方々からの「このような流れで進めるとわかりやすいのではないか」、「こんな展示があればわかりやすかったのでは」といったアドバイスや、他のブース展示を参考にさせて頂き発表に慣れることができました。

また研究内容について、パワーエレクトロニクスに精通した方々と議論したり、「地味だけどこれからも重要な技術、研究がんばって」といった励ましを頂いたり、とても楽しい時間を過ごすことができました。研究内容に対して深く掘り下げて質問していただいた際には、きちんと考えを詰めきれていない部分が多くあることに気付かされ、まだまだ私の勉強が足りていないと実感させられました。

今回の経験からたくさんものを得ましたが、特に「わかりやすい説明」と「私自身の知識不足を補う」ということが今後の課題であると確認できました。

最後になりましたが、ご協賛頂いた株式会社堀場製作所様はじめ THE 高専 @SEMICON Japan 2016の運営に携わって頂いた皆様に厚く御礼申し上げます。このような素晴らしい発表の場を設けていただきありがとうございました。

電気電子システム工学コース1年 村上 達哉

今回、セミコン JAPAN2016では非常に有意義な時間を過ごさせていただきました。ポスター発表自体は未経験ではないですが、私達の分野がパワエレメインということもあり、いかに短く分かりやすく説明するかとても苦労しました。初日こそ上手く説明できずなかなか理解してもらえませんでした。しかし、2日目、3日目になるに連れてプレゼンの方法についてアドバイスを頂き、上手く説明できるようになったのではないかと思います。また、研究内容についてもアドバイスや質問を多く頂き非常に勉強になりました。それらを活かし今後の研究活動を更に有意義にしていきたいと思います。発表時間外では企業さんのブースを見させていただきました。私にとってはとても難しく説明していただいてもなかなか理解することができませんでした。非常に勉強になりました。また、各企業の特徴も知ることができ、今後の進路を考える時間にもなりました。

これからは将来立派なエンジニアを目指し日々精進していきたいと思っています。ありがとうございました。

電気電子システム工学コース1年 森脇 誠斗

先日行われたセミコンジャパン2016で、私たちの研究室では、パワーエレクトロニクスに関する研究の展示を行いました。他のブースに比べ、少し研究分野が違うため、私たちの展示物に興味を持ってくれるか少し不安でしたが、多くの聴講者に訪れてもらい、興味を持っていただきました。研究分野が違う分、様々な視点から質問や意見を頂き、今後の研究方針等に参考となるものでした。また、研究内容とは別に、発表の仕方についてのアドバイスを頂き、今後発表していく上で非常に勉強になりました。最後になりますが、このような貴重な経験をさせてもらい、ありがとうございました。今回の出展に携わった皆様には、深く感謝申し上げます。

4. おわりに

今回、平地研究室に所属する学生3名と一緒に SEMICON Japan 2016の中の1つのイベントである「The 高専 @ GAKKO」に参加しました。本校はここ数年毎年参加していますが、片山を含め全員が初めての参加であるため、昨年度参加した専攻科学生や指導教員にアドバイスをもらいながら準備を進めました。頂いたアドバイスを十分に活かすことができなかつたため、昨年度のようにプレゼン大会で優勝することができず、とても残念です。来年度も参加の機会を得られれば、リベンジしたいと考えています。

最後になりますが、今回の出展に関して多大なご支援頂いた株式会社堀場エステックの皆様にお礼申し上げます。またこのような貴重な経験の場を提供して頂いた本イベント関係者の皆様に感謝申し上げます。ありがとうございました。



写真1
プレゼンテーションの様子



写真2 懇親会の様子（右端は本校OBの小山氏）