



電力グループ  
エネルギーコース・電気電子コース  
大岡山・EEI-402

准教授 萩原 誠

研究分野: パワーエレクトロニクス

キーワード: 高圧・大容量双方向チョッパ回路, 高圧SiC-MOSFET, 電池電力貯蔵装置, ハイブリッド直流遮断器, メガソーラ用インバータ, 非接触給電システム

ホームページ: <http://www.pel.ee.e.titech.ac.jp/jp/>

## 1 主な研究テーマ

- ・ バッテリー車載型直流電気鉄道への適用を目的とした補助変換器を用いた双方向チョッパ回路
- ・ 次世代パワーデバイスである6.5kV SiC-MOSFETパワーモジュールの連続スイッチング試験
- ・ 次世代多端子直流送電システムに適用可能な直流遮断器評価装置

## 2 最近の研究成果

### バッテリー車載型直流電気鉄道への適用を目的とした補助変換器を用いた双方向チョッパ回路



インダクタの小型・軽量化が実現可能な補助変換器を用いた双方向チョッパの外観図

近年、バッテリーを車載したバッテリー車載型直流電気鉄道の導入が進んでいます。バッテリーを車載することで、省エネルギーの実現、再生電力の有効利用が可能、架線を使用しないため景観向上などの利点が生じます。一方、架線電圧(1500 V)と電池電圧(600~700 V)は電圧値が異なるため、双方向チョッパを用いて電圧変換を行う必要があります。従来型双方向チョッパに使用するインダクタの重量・体積は数100 kgから1トン以上になる場合もあり、バッテリー車載型直流電気鉄道の導入を阻害するという問題がありました。

本研究室では、インダクタの小型・軽量化が実現可能な補助変換器を用いた双方向チョッパ回路を提案し、実験による検討を行っております。これは、従来型双方向チョッパ回路と比較して、インダクタ重量・体積を1/50以下に低減できる点に特長があります。また、補助変換器が直流遮断器としての機能を有するため、従来回路で必要不可欠な機械的直流遮断器が不要となります。上記技術は今後普及拡大が期待される電気自動車への適用も可能であるため、省エネルギー社会の実現に重要な役割を果たすと考えます。

### 次世代パワーデバイスである6.5kV SiC-MOSFETパワーモジュールの連続スイッチング試験



6.5 kV SiCパワーモジュール用連続スイッチング試験回路の外観

従来、パワーデバイスの材料として安価で加工性の良いシリコン(Si)が使用されてきましたが、近年炭化珪素(SiC)を用いた次世代パワーデバイスであるSiC-MOSFETが注目を集めております。日本では3.3 kV SiC-MOSFETパワーモジュールを用いたモータドライブシステムが、電気鉄道用途として適用されています。一方、電力用途では6.5 kV耐圧を有するパワーデバイスの適用が期待されています。現在はシリコンを用いた6.5 kV IGBTが実用化されていますが、スイッチング損失低減の観点から数100 Hz以下に制限されるという問題点が存在してきました。

本研究室では、6.5 kV SiCパワーモジュールを用いた連続スイッチング試験回路に関して検討しております。SiCパワーモジュールは低損失であるため、スイッチング周波数を3 kHz以上に増加させることが可能です。本研究室では左図に示す直流3.5 kV、変換器容量520 kVA、スイッチング周波数3.15 kHzの単相インバータ回路を構築し、連続スイッチング試験を実施しました。詳細な損失解析を行った結果、任意の負荷力率角において変換器効率99%以上が実現できることを明らかにしました。

## 大岡山・電力・エネルギーグループ

## 次世代マルチレベル変換器を使用した高圧モータドライブ駆動システム



次世代マルチレベル変換器



各種モータ(誘導電動機, 同期電動機)

ファン・ブローヤやポンプなどは、可変速運転を行うことによって大幅な省エネが達成できます。しかし、高圧・大容量インバータの開発・実用化は遅れています。従来、インバータの高圧化には多巻線変圧器を使用することで対応してきました。しかし、この複雑な巻線構造の変圧器は高コストで、信頼性が低いという課題がありました。

本研究室では、左図に示す次世代マルチレベル変換器を用いた誘導電動機・同期電動機駆動システムを設計・製作し、良好な特性を実証しました。2014年にはIEEE IAS IPCC Third Prize Paper Award を受賞しました。

## 有効電力を調整可能なSDBC(Single-Delta Bridge-Cell)変換器に関する研究



有効電力を調整可能なSDBC変換器の外観

近年、系統安定度向上、電圧調整を目的とし数10 MVA級無効電力補償装置の導入が進んでおります。従来、無効電力補償装置用半導体電力変換器として変換器用変圧器を用いた方式が適用されてきましたが、近年変圧器を用いずに高圧系統に連系可能なモジュラー・マルチレベル・カスケード変換器(MMCC)の適用が始まっております。特に、単一デルタ結線を有するMMCCの一方式であるSDBC変換器は、無効電力補償装置としての特性に優れていることから、複数のメーカーが実用化、もしくは実用化を目指しております。

一方、SDBC変換器は無効電力を調整できませんが、有効電力を調整できないという課題がありました。有効電力調整能力を具備することで蓄電システムとしての機能が実現でき、適用先がより広がります。本研究ではSDBC変換器に単相高周波変圧器を挿入することで有効電力を調整可能な革新的回路方式を提案しております。提案方式の有効性・妥当性は、110 V、10 kVAミニモデルを用いた実験により確認しております。

## HVDC遮断器への適用を目的とした直流遮断器評価装置



直流遮断器評価装置の外観

直流電気鉄道や実用化が期待される多端子直流送電システムでは、短絡事故が発生した場合に回路を遮断する直流遮断器の設置が必要不可欠です。直流遮断器は事故時に数kAの大電流が流れ、同時に数100 kVの高電圧が印加されます。一方、直流遮断器を評価する際、上記の高電圧・大電流を正確に模擬する必要があります。従来の直流遮断器評価装置は、大型なインダクタが必要、低い電圧・電流調整能力、機械的部品の磨耗という課題がありました。

本研究室では、最新の半導体電力変換技術をベースとした直流300V、50A定格(本実験室で可能な最大容量)の新直流遮断器評価装置を設計・製作し、実験により動作原理検証を行っております。現在、数100 A/msの事故電流の模擬に成功しており、更なる大電流化・高電圧化を目指し研究を行っております。

## 3 教員からのメッセージ

パワーエレクトロニクス技術は、コンピュータ・OA機器から家電製品、一般産業、交通(ハイブリッド・電気自動車、鉄道、船舶、飛行機)、再生可能エネルギー、電力システムまで幅広く応用されており、電気電子工学の基幹技術になっています。今後は、現在主流のSi(シリコン)に代わり、SiC(炭化珪素)やGaN(窒化ガリウム)などのワイドバンドギャップ半導体を使用した次世代パワーデバイスの本格的な実用化に伴って、パワーエレクトロニクス技術のさらなる発展と応用技術の拡大が期待されています。