

(様式)

## 論文内容の要旨

氏 名 野 下 裕 市

本論文では、高周波配電用途に向けたマルチレベル電力変換器について、以下の内容で検討を行った。

第1章では、高周波配電の利用例や技術的要求事項を示し、本研究の目的を明らかにした。

第2章では、電圧形および電流形マルチレベル回路の従来技術についてまとめ、マルチレベル回路を高周波配電システムに適用した際の利点についてまとめた。

第3章では、スイッチ数を削減した三相5レベル整流器を提案した。また提案回路について、受動素子の設計法を示し、実験による動作確認を行った。また、レベル数の異なる変換器との受動部品体積の比較を行った。さらに、EMCフィルタの体積についても3レベル変換器との違いについて考察した。

- (1) 定格1kWの試作機を製作して実験を行い、電流ひずみ率3.4%の良好な入力電流波形を得た。
- (2) 0.25kW～1.5kWの測定範囲において、力率0.97以上、効率97%以上の結果が得られ、最高効率97.6% (0.5kW) が得られた。
- (3) 2レベル、3レベル回路と受動部品体積を比較し、それぞれパワー密度を3.6倍および1.8倍に向上できることを確認した。
- (4) EMCフィルタの体積を3レベルVienna整流器と比較し、コモンモードリアクトルを74%、ノーマルモードリアクトルを41%小型化できることを確認した。

以上の結果より、提案する5レベルPWM整流器は、従来の3レベルや2レベルのPWM整流器と比較し、より小さい受動部品を使用できることから、パワー密度の向上と小型化に有利である。

第4章では、航空機電源などの高周波電源を対象としたPFC整流器として、3章で提案したスイッチ数を削減した5レベルPWM整流器を適用し、高周波電源下における波形改善手法の提案を行った。また、対象とする電源システムで想定される負荷変動、電源変動を考慮した動作確認を行った。

- (1) 連系リアクトル電圧の影響を補償し、実験により400 Hzにおける入力電流全高調波ひずみ率を6.5%から3.3%に45%低減した。
- (2) スイッチングパターンの非同期極性切り替えを行うことで、電源周波数800 Hzにおける入力電流ビート成分を1/9に低減した。
- (3) 同期PWM制御によりビート成分とビートの高調波成分が低減し、電源周波数800 Hzにおいて、非論理高調波成分を考慮した入力電流ひずみ率を51%低減した。
- (4) 直流負荷変動、400～800 Hzの範囲における電源周波数・電圧変動に対して、安定動作することを確認した。
- (5) 損失分離結果より、連系リアクトルの鉄損が支配的であり、高周波特性の良いコア

材料の適用による効率改善の余地がある。

第5章では、大型な受動部品と高周波スイッチング動作を用いずに、高力率かつ高効率な動作を実現する、交流LED駆動回路を示した。提案回路は非線形負荷であるLEDを抵抗負荷に近づけることで、高力率動作を実現する。また、電流バイパス回路を多段直列接続することで、線形動作領域の損失を低く抑えられる。シミュレーションおよび実験から、以下の結果を得た。

- (1) シミュレーションによる損失解析の結果、10列構成時に効率91.6%が得られることを確認した。
- (2) 効率的な設計作業を実現するため、回路パラメータを用いた損失の近似計算式を導出した。
- (3) 実験結果より5列4段構成時に入力力率0.995、入力電流ひずみ率9.8%を確認した。また10列9段構成時に入力力率0.999、入力電流ひずみ率5.1%を確認した。
- (4) 受動部品を使用しないため、降圧チョッパ回路を使用する市販品と比較して部品体積を83%低減できる。

以上のように、本研究では、航空機や船舶に使用される高周波配電システムに連系する電力変換器を小型軽量化するため、電圧形および電流形のマルチレベル回路方式を提案した。はじめに、従来の高周波配電システムにおける電源高調波の問題、および受動部品体積の問題を示した。次に、小容量の直流負荷に電源を供給するAC-DC変換器として、スイッチ数を低減した5レベルPWM整流器を提案し、まず商用システムを用いた動作検証を実施した。3レベルPWM整流器との受動部品体積比較を行い、リアクトル、キャパシタ、およびEMCフィルタのいずれも小型化できることを確認した。次に、高周波配電に適用するための制御法を提案し、400~800 Hzの高周波電源下において動作することを確認した。さらに、LED照明器具の電源回路を高力率・小型・長寿命化する手法として、電流形マルチレベル回路を線形動作させることで、受動部品を全く使用しないLED駆動回路を提案した。実験により、高い入力力率、およびスイッチング電力変換を行う従来回路と同等の効率を実現できることを確認した。

これらのマルチレベル電力変換器により、高周波配電に連系する電力変換器を小型・高力率・長寿命化することで、航空機や船舶など輸送機械のエネルギー効率向上に貢献できる。