

交流電源にインタフェースされる 電力変換回路および制御技術

交流電源にインタフェースされる電力変換回路および制御技術
調査専門委員会編

目 次

1. はじめに	3	4. 蓄電機能に対応する機器に用いられる 回路制御技術	26
1.1 はじめに	3	4.1 概要	26
1.2 技術報告の概要	3	4.2 パワーデバイスの進化に対する適用技術	26
1.3 あとがき	4	4.3 交流電源の多様化に対する適用技術	29
2. コンバータ・系統連系インバータに 用いられる電力変換回路技術および制御技術	5	4.4 CPU,解析技術の高速化に対する適用技術	30
2.1 はじめに	5	4.5 高効率, 小型軽量化に対する適用技術	32
2.2 パワーデバイスの進化を背景とした技術動向	5	5. 運輸・産業分野の機器に用いられる 電力変換回路および制御技術	36
2.3 交流電源の多様化を背景とした技術動向	6	5.1 はじめに	36
2.4 CPU, 解析技術の高速化を背景とした技術動向	8	5.2 運輸分野における回路技術	36
2.5 電力変換回路の高効率化, 小型軽量化に向けた 技術動向	11	5.3 産業, 電力系統分野における回路/制御技術	41
2.6 おわりに	12	5.4 おわりに	48
3. 家電・民生機器に用いられる回路制御技術	14	6. 直流配電・オフグリッドシステムに用いられる 電力変換回路および制御技術	50
3.1 概要	14	6.1 はじめに	50
3.2 パワーデバイスの進化	14	6.2 直流配電化の導入効果	50
3.3 負荷の多様化 (大容量化)	17	6.3 直流給電技術について	50
3.4 解析技術の高度化 (制御技術)	20	6.4 直流配電システムの制御	52
3.5 電力変換器の高効率・小型・軽量化	22	6.5 オフグリッドシステム	54
		7. まとめ	59

交流電源にインタフェースされる電力変換回路および制 御技術調査専門委員会委員

委員長 芳賀 仁(長岡技術科学大学)
幹事 岩谷 一生(TDKラムダ)
山本真義(名古屋大学)
幹事補佐 加藤康司(サンケン電気)
委員 石倉祐樹(村田製作所)
石田圭一(東芝キャリア)
井上重徳(日立ABB)
今岡 淳(名古屋大学)
大井一伸(明電舎)
狼智久(東芝三菱電機産業システム)
小原秀嶺(横浜国立大学)
大沼喜也(長岡パワーエレクトロニクス)
郭中為(新電元工業)
木村紀之(福井工業大学)
米田昇平(東京海洋大学)

委員 齋藤 真(芝浦工業大学)
住吉真一郎(パナソニックアプライアンスセーフティベース)
長井真一郎(ポニー電機)
中西俊貴(三英社製作所)
西田保幸(千葉工業大学)
野下裕市(九州大学)
萩原 誠(東京工業大学)
平木英治(岡山大学)
船渡寛人(宇都宮大学)
藤田 悟(富士電機)
栢川重男(東京電機大学)
藪本卓哉(三菱電機)
横山智紀(東京電機大学)
協力者 梅谷和弘(岡山大学)

1.はじめに

1.1 はじめに

交流電源にインタフェースされる電力変換器は、小容量機器ではルームエアコン、冷蔵庫、洗濯機、LED 照明、IH 機器、AC アダプタに代表される家電機器に浸透し、中容量機器では無停電電源、太陽光発電、燃料電池発電システムなどに広く普及している。パワーエレクトロニクスによる電力変換技術、制御技術がこれら電源機器の省エネルギー化、小型軽量化、対環境性に大きく貢献しているのは言うまでもなく、今後も社会の要請に応じてスピーディーに対応すべく技術開発が進められるものと思われる。

「交流電源にインタフェースされる電力変換回路および制御技術調査専門委員会」は半導体電力変換技術委員会傘下に置かれた調査専門委員会であり、主に交流電源に接続される電力変換器（いわゆる整流回路）の技術動向を 2018 年 4 月から調査している。本委員会発足前にも、これまでに当該分野の調査活動が 4 期に亘り行われており、当時の電力変換回路、制御技術、応用技術の最新動向がタイムリーに整理されている⁽¹⁾。したがって、本委員会の調査活動において注力している点は、過去の委員会活動で整理された回路トポロジー、制御技術からの差分に着目することよりも、むしろ抽出した文献に示されている電力変換回路や制御技術がどのような社会的背景や要請に則って開発や応用されているかに重点を置いている。

例えば、省エネルギー、環境負荷軽減の観点から、古くから電力変換器の高効率化、小型軽量化の研究開発が国内外で進められている。過去に示された電力変換技術で当時は目の目を見なかった技術も、デバイスの進化、社会的背景の変化により見直され、現在では注目される技術になっていることも起こりうる。最近では、回路トポロジー、制御技術も交流電圧の区分により特徴がみられるようになっている。近年の太陽光発電、燃料電池など電源形態の多様化、パワーデバイスの進展、リチウムイオン電池など各種蓄電デバイスの高性能化と普及により、電源系統と電源機器を双方向で高効率に電力融通するシステムも普及している。また、交流電源にインタフェースされる電力変換器を取り巻く環境についても大きく変化しており、電源高調波規格やノイズ規格など交流電源系統を含む対環境性への要求も時代の変化と技術の発達とともに変わっている。電力変換器の主要部品（パワーデバイス、制御用 IC、センサ）の変化に伴い、回路技術、制御技術も進歩している。本調査専門委員会では、このような視点に則り、交流電源にインタフェースされる電力変換回路技術、制御技術、実用化技術についてアプリケーション別に網羅的に調査して最新技術動向を整理分類する。その結果、次世代の交流電源にインタフェースされる電力変換器技術の発展に寄与することを目的とする。

次章以降では、委員会活動で得られた電力変換回路、制御技術を開発するうえでの社会的背景と市場動向の知見の概要を紹介する。

1.2 技術報告の概要

本委員会では、社会的背景、市場動向に着目して電力変換、制御技術を調査する⁽¹⁾。調査した結果、以下に示す背景と技術動向に着目した電力変換器、制御技術に関する研究事例がみられている。

1.2.1 パワーデバイスの進化

かつて次世代パワーデバイスと言われていた SiC や GaN 応用デバイスは、今やコマーシャルレベルまで進化しており、高周波スイッチングに係る研究開発が盛んである。また、電気自動車など交通運輸分野におけるパワーレ応用の拡大が後押しになり、特に低耐圧パワーデバイスの低コスト化、低損失化も進んでいる。従来であれば、交流 200V、220V の系統電圧を見据えた素子耐圧 600V、650V の IGBT の市場規模が大きく、この領域の高性能化が著しかった。しかしながら、近年では電気自動車分野の市場規模が産業分野に追いつくことからバッテリー電圧 12V、48V を見据えた素子耐圧 100V の MOSFET の進展がめざましい。600V 耐圧の IGBT を 1 つ用いるよりも、100V 耐圧の MOSFET を 6 つ直列で使用する方がコスト、損失の面で有利とするデータも示されているように、低耐圧素子に着目した電力変換回路およびドライブ技術の研究も行われるようになってきている。このような趨勢から、低耐圧のパワーデバイスを複数用いる電力変換回路、ドライブ技術に焦点をあてた研究開発事例も目立つようになっている。

1.2.2 交流電源の多様化

太陽光発電に代表される再生可能エネルギーの導入により、交流電源を取り巻く環境は多様化している。さらに、グローバル市場の拡大に伴い、海外の電源事情に配慮する電力変換器の設計開発の必要性も出ている。従来では、電力変換器を検討するうえで、電源系統の歪みやラインインピーダンスはそれほど重要視されていないが、電力変換器の小型軽量化、エネルギーバッファの小容量化により、脆弱な電源系統下における電力変換器の品質確保、安定性そして信頼性の確保が求められている。または系統インピーダンスに配慮した電力変換が重要視されることから、想定する電源環境の多様化が伺える。

海外を中心に大陸間電力融通などパワーエレクトロニクスが取り扱う電力容量も増大して、これらが後押しになりマルチレベル電力変換器に代表する大容量化技術が進んでいる。大容量化に焦点をあてた電力変換回路、制御技術の研究開発事例が目立ち、その代表格といえるモジュラーマルチレベルコンバータは実用化により、次のフェーズを迎えようとしている。例えば、システムを構成するトランス、バッファリアクトルの小型化など回路方式の検討も進められている。交流電源にインタフェースされる電源機器の仕様も変化している。連系規定対応、FRT 要件に焦点をあてた電力変換回路、制御技術の研究開発事例が目立つようになっている。さらに FIT 買い取り期間終了を見据えて蓄電システムを備える自己消費型の電源システムに焦点をあてた研