

交流電源にインタフェースされる パワーエレクトロニクス回路技術

交流電源にインタフェースされる
パワーエレクトロニクス回路技術調査専門委員会編

目 次

1. 総論	03	5. コンポーネント技術の動向	27
1.1 はじめに	03	5.1 はじめに	27
1.2 調査対象と調査方針	03	5.2 リアクトル	27
1.3 技術分野別の調査内容と技術動向	03	5.3 コンデンサ	31
1.4 おわりに	04	5.4 おわりに	35
2. 高効率化技術の動向	05	6. 制御技術の動向	36
2.1 はじめに	05	6.1 はじめに	36
2.2 変換器トポロジーによる高効率化	05	6.2 回路における制御技術	36
2.3 パワーデバイスによる高効率化	08	6.3 蓄電池を有した装置の制御技術	40
2.4 スイッチング損失対策による高効率化	09	6.4 高速な制御装置を用いた制御技術	41
2.5 ゲートドライブ回路による高効率化	09	6.5 各種規格	42
2.6 おわりに	11	6.6 おわりに	42
3. 低ノイズ化技術の動向	13	7. 大容量化技術の動向	44
3.1 はじめに	13	7.1 はじめに	44
3.2 コイルやフィルタ構造による 低ノイズ化技術	13	7.2 電力変換回路の大容量化	44
3.3 パワーデバイスドライブによる 低ノイズ化技術	15	7.3 システムとして大容量化する手法	47
3.4 ソフトスイッチングによる低ノイズ化技術	17	7.4 おわりに	50
3.5 その他の低ノイズ化技術	17	8. これまでの交流電源インタフェース委員会 調査内容と特徴	51
3.6 おわりに	18	8.1 これまでの調査内容	51
4. 小型化技術の動向	20	8.2 おわりに	51
4.1 はじめに	20		
4.2 回路技術による小型化	20		
4.3 集積化技術による小型化	21		
4.4 制御技術による小型化	22		
4.5 新デバイスによる小型化	23		
4.6 最適設計による小型化	25		
4.7 おわりに	26		

交流電源にインタフェースされる パワーエレクトロニクス回路技術調査専門委員会委員

委員長	長井 真一郎(ポニー電機)	委員	周藤 龍(新電元工業)
幹事	山本 真義(島根大学)		住吉 真一郎(パナソニックアプライアンス セーフティサービス)
幹事	奥井 芳明(SAMSUNG SDI)		仲野 陽(アルプス・グリーンデバイス)
幹事補佐	岩谷 一生(TDKラムダ)		永野 史弥(サンケン電気)
委員	石倉 規雄(米子工業高等専門学校)		西田 保幸(千葉工業大学)
	石塚 智嗣(東芝三菱電機産業システム)		西山 茂紀(村田製作所)
	井上 重徳(日立製作所)		芳賀 仁(長岡技術科学大学)
	江口 政樹(シャープ)		萩原 誠(東京工業大学)
	大井 一伸(明電舎)		林 祐輔(北九州市環境 エレクトロニクス研究所)
	大沼 喜也(長岡パワーエレクトロニクス)		平木 英治(岡山大学)
	木船 弘康(東京海洋大学)		船渡 寛人(宇都宮大学)
	木村 紀之(大阪工業大学)		枘川 重男(東京電機大学)
	黒川 不二雄(長崎大学)		宮田 博昭(日立製作所)
	郷田 崇(京三製作所)		横山 智紀(東京電機大学)
	斎藤 真(芝浦工業大学)		吉田 正伸(高知工業高等専門学校)
	鈴木 明夫(富士電機)		

1. 総論

1.1 はじめに

交流電源にインターフェイスされる各種電源装置において、電源高調波電流の抑制や小型軽量化などの要求に対応するために、パワーMOSFET や IGBT などの高周波スイッチング可能な素子を使用した回路の適用が一般化した。最近では SiC や GaN などの開発も進み徐々に一般化しつつある。また、産業分野毎に特化した要求（コストや信頼性、耐環境性など）を満足するために独自の要素が付加されている。分野(アプリケーション)によって有用性が異なる技術がある。たとえば、ソフトスイッチング技術や電流形変換器は特定の産業分野や特定の電力容量により実用化されている。さらに高周波化による小型化や高効率化が進み小容量で使った技術の大容量化も進んでいる。

このように交流電源に接続される電源が産業分野により細分化し、枝分かれすることにより、各分野間の技術情報交流がなくなりつつある。過去の研究成果が活用できないことや、同じような課題を協力して研究できないことで、研究開発の効率が低下する恐れがあった。

このような状況から、各種交流電源とのインターフェイス部をつかさどる半導体電力変換器という横断的な視点に立って、それぞれの有用な技術要素について調査を行い、適用分野に特有な技術要素と、共通となりうる技術要素について調査する活動が3期にわたり行われ成果を上げている⁽¹⁾⁻⁽³⁾。しかし、これらの委員会でもまだ調査していない分野や、特に既に調査したが技術発展が速い分野があり、継続して調査する必要がある。そして電力変換器の技術動向の調査し、技術分野の視点に立ち、各分野の要素技術や有用な技術を明確にしなければならない。

本調査専門委員会では、次世代の電力変換器技術の発展に寄与することを目的として、次のことを実施した。交流電源にインターフェイスされるパワーエレクトロニクス回路として、回路トポロジーを中心にした変換器とその周辺技術の調査を2013年11月～2015年10月(予定)の期間、最近の技術動向を調査した。合計12回の委員会を開き、調査内容を報告、討論し、理解を深めた。そして調査内容を技術分野毎に整理分類した。

1.2 調査対象と調査方針

本調査専門委員会では、図 1.1(a)に示す交流電源(電力系統)に接続し有効電力を扱うパワーエレクトロニクス回路またはシステムを調査対象とした。また、図 1.1(b)に示す直流から直流に変換する回路でもシステムとして交流から直流に変換するシステムも調査を行った。なお、システムでも、電力変換回路のトポロジーや制御を調査対象とし、配電系統制御に関する技術は調査対象外とする。交流電源に係る6種類の技術分野(高効率技術・低ノイズ技術・小型化薄型

化技術・コンポーネント技術・制御技術・大容量化技術)にまとめる。本稿は交流電源にインターフェイスされるパワーエレクトロニクス回路技術調査専門委員会における調査の結果である。

調査方針として第1期(2004年)、第2期(2007年)、第3期(2010年)AIF(調)で調査していない HEMS, BEMS, EV 関係などの蓄電デバイスを系統に連系して双方向に電力をやりとりするシステムを調査した。加えて、第1期～第3期 AIF(調)で調査した分野(たとえば、太陽光発電用 PCS, 蓄電池用 PCS, 最新半導体を使用した回路)において、進歩した最新の技術を調査する。

調査範囲と方針として、

- (1) 第3回まで調査していない HEMS, BEMS, EV 関連の充電器などの蓄電デバイス応用分野の新規調査
- (2) 第3回まで調査してきた家電分野、産業分野、新エネルギー分野、整流器分野、その他特殊電源分野の再調査。
- (3) 調査対象は、学会等(国内外)の論文、雑誌、特許とする。
- (4) 調査方法は、毎回の委員会において、調査文献を整理分類し、高効率技術、低ノイズ技術、小型化技術、コンポーネント技術、制御技術、大容量化技術と分けて取りまとめる。
- (5) 電気学会が定義されている用語を使用する⁽⁴⁾。しかし、本委員会では最新の技術を調査しているため、定まっていない用語が多々ある。

1.3 技術分野別の調査内容と技術動向

1.3.1 高効率化技術

高効率化技術は変換器トポロジー、パワーデバイスと受動素子、スイッチング方法、ゲートドライブ回路などの工夫にて実現しており、更に高効率化技術の進化が一層求め

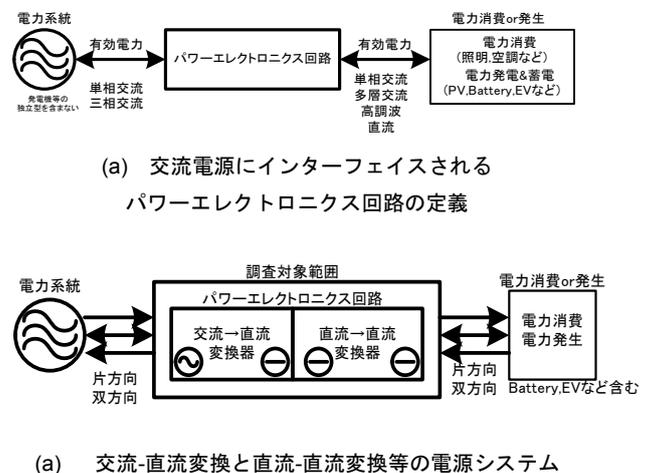


図 1.1 調査対象とするパワーエレクトロニクス回路