

# 最新の高周波スイッチング電力変換回路と 応用電源技術

最新の高周波スイッチング電力変換回路と  
応用電源技術調査専門委員会編

(発行日 2023年9月20日)

## 目 次

1. 総論	03	5. パワーデバイス・コンポーネンツ	39
1.1 はじめに	03	5.1 はじめに	39
1.2 パワーエレクトロニクス装置における 高周波化	03	5.2 高周波スイッチング用パワーデバイス	39
1.3 多機能性を帯びる電力変換器	04	5.3 高周波スイッチング用 パッシブコンポーネンツ	44
1.4 先進パワーエレクトロニクスへの発展	06	5.4 まとめ	49
1.5 まとめ	06		
2. 基本回路・パルス変調技術	07	6. 最新の応用事例（自動車・家電）	51
2.1 はじめに	07	6.1 はじめに	51
2.2 高昇圧比コンバータの基本回路	07	6.2 車載充電器	51
2.3 高周波動作に適した変調技術	10	6.3 V2X システム	52
2.4 高周波スイッチング回路の解析技術	18	6.4 ワイヤレス給電	54
2.5 まとめ	18	6.5 調理器	56
		6.6 まとめ	58
3. 共振形電力変換回路	20	7. 最新の応用事例（産業・電力）	59
3.1 はじめに	20	7.1 はじめに	59
3.2 LLC コンバータ	20	7.2 産業分野への応用	59
3.3 E 級スイッチング	22	7.3 電力分野への応用	62
3.4 非接触給電への応用回路方式	24	7.4 まとめ	66
3.5 まとめ	28		
4. 部分共振形電力変換回路	30	8. おわりに	68
4.1 はじめに	30		
4.2 基本的な考え方	30		
4.3 技術発展の歴史	31		
4.4 近年の研究	33		
4.5 まとめ	37		

# 最新の高周波スイッチング電力変換回路と 応用電源技術 調査専門委員会委員

委員長 三島 智和(神戸大学)  
幹事 米森 秀登(神戸大学)  
東 聖(三菱電機)  
幹事補佐 梶山 拓也(三菱電機)  
委員 麻原 寛之(岡山理科大学)  
安部 征哉(九州工業大学)  
池田 敏(パナソニック)  
石川 裕記(岐阜大学)  
五十棲 健太(ダイヘン)  
入江 寿一(元大阪電通大学)  
宇敷 修一(オリジン)  
大森 英樹(神戸大学)  
川上 太知(大阪公立大工業高専)  
河村 恒毅(東芝インフラシステムズ)  
米田 昇平(東京海洋大学)  
齊藤 亮治(  
佐藤 宣夫(千葉工業大学)  
庄司 浩幸(日立製作所)  
谷口 勝則(元大阪工業大学)  
津野 眞仁(ニチコン)

委員 寺園 勝志(安川電機)  
西田 保幸(元千葉工業大学)  
西村 和則(広島工業大学)  
平木 英治(岡山大学)  
平地 克也(国立舞鶴工業高専)  
北條 昌秀(徳島大学)  
枘川 重男(東京電機大学)  
松井 景樹(元中部大学)  
三浦 友史(長岡技科大学)  
南 政孝(神戸市立工業高専)  
蓑輪 義文(日新電機)  
山村 直紀(三重大学)  
佐々木 正人(シャープ)  
朴 青雲(ヤンマー)  
石倉 祐樹(村田製作所)  
堀 恵輔(GSユアサ)  
小谷 安博(三社電機製作所)  
途中退任 高田 知明(三社電機製作所)  
山下 健史(GSユアサ)

# 1. 総論

## 1.1 はじめに

脱炭素への動きが地球規模で加速する中、パワーエレクトロニクス装置による高効率な電力・エネルギー変換は、電力・産業/工業・輸送交通・情報通信・家電/業務民生に至る広範囲な分野において、その果たす役割は大きい。また、宇宙や海洋など極限空間や医療福祉機器など、安全性・信頼性・人体との親和性を備えた新世代の電力高度利活用システムでもコア技術と位置づけられる。

従来のシリコン(Si)物性の限界を打ち破るワイドバンドギャップ・パワー半導体デバイスや構造の技術革新、デジタル制御素子などマイクロエレクトロニクス技術の進化、パッケージングや放熱技術、回路シミュレータ・モデリング技術さらには人工知能(AI)技術の活用による電力供給の高度化により、電源の高電力密度化は飛躍的に向上しつつある。一方、電源ニーズの多様化にともない、高電力密度化もさることながら電力変換器の拡張性(モジュラリティ)や極限環境での電力利用など新たな研究課題も浮き彫りとなっている。

昨今のパワーエレクトロニクス技術のキーワードでもある「高周波化」がもたらす利点については、受動回路の低容量化・低背化による装置重量・体積の削減(小型・軽量化)に加えて制御性能向上などであることは周知のとおりである。その反面、パワー半導体スイッチの高速なオン・オフ動作に付随して電力損失(スイッチング損失)の増加と、電流・電圧の急峻な変化による電磁ノイズの顕在化への対応が求められる。その解決策として、共振形電力変換回路やソフトスイッチング技術の導入が有用であり、関連する研究開発事例は国内外問わず右肩上がりに見られる。とりわけ、他励式パワー半導体スイッチの登場とともに段階的に発展を遂げてきた共振形電力変換回路は、炭化ケイ素(SiC)や窒化ガリウム(GaN)などワイドバンドギャップ(WBG)化合物半導体材料利用により、動作周波数の高周波化に寄与することから、その有用性が再認識されており、高効率・高性能電源を支えるパワーエレクトロニクス技術の主役と言える。加えて、非接触給電装置など電源の新たな利用形態の出現に伴い、電力周波数の有効活用の観点からも高周波スイッチング電力変換技術の果たす役割は大きい。

以上の背景のもと、本委員会は、半導体電力変換技術(SPC)委員会内にて「最新の高周波スイッチング電力変換回路と応用電源技術調査専門委員会」として2019年10月に発足し、産学から集った約40名の研究者により、最新の高周波スイッチング電力変換技術に関する文献調査活動を精力的に実施した。調査した項目は概ね以下の7領域に分かれる。1) 高周波スイッチング電力変換技術を取り入れた電炉力変換回路の概要(基礎論)、2) 高周波スイッチング共振形電力変換回路、3) 高周波スイッチング部分共振形電力変換回路、4) 高周波パワーデバイスとその駆動技術、5) 低損失パワ

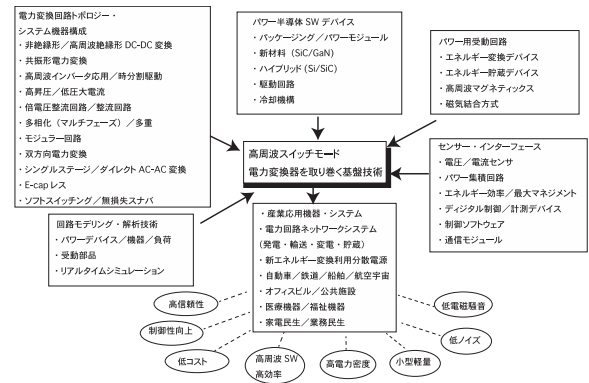


図 1.1 高周波スイッチング電力変換器を取り巻く  
コア・要素技術

Fig. 1.1. Core and essences of high frequency switch-mode power converters and applications

ーコンポーネンツ、6) 小容量ソフトスイッチング応用電源システム、7) 中容量・大容量ソフトスイッチング電源システム。国内外の論文や会議録、研究会資料、さらには特許にいたる広範な研究事例を対象に、これまでに16回の委員会開催し、精力的な調査と議論を重ねた。その成果として、2022年度電気学会部門大会にてシンポジウムの開催<sup>(1)</sup>、また2023年電気学会誌にて特集号「電源システムの先進化をもたらす高周波スイッチング電力変換技術」を企画し5編の寄稿を披露して多彩な分野から研究者・技術者から大きな反響を得た<sup>(2)</sup>。

当委員会として取り組んだ活動の総括として、本技術報告書では、本章を含めて以下の8章から構成する。まず、第2章にて高周波スイッチング電力変換の基礎となる回路方式や電力制御・パルス変調技術を解説する。第3章では、共振形電力変換の基礎を解説し、近年提案された回路トポロジーを紹介する。続く第4章では、部分共振電力変換回路に焦点を当て、正弦波パルス幅変調(PWM)インバータからMHz駆動DC-DCコンバータまで適用される回路技術を述べる。第5章では、高周波スイッチング電力変換回路を支えるパワー半導体デバイスや、磁性材料・フィルタキャパシタなど受動部品を取り上げ、電源の高電力密度化に寄与する電力用素子を解説する。第6章では、自動車・家電分野での高周波スイッチング電力変換技術の応用事例を紹介した上で、第7章では産業・電力分野における応用事例を解説する。第8章では、本技術報告書および委員会活動の総括を記す。本章・総論では、各章で展開する電力変換技術を知る上で基盤となるコア・要素技術を以下に添える。

## 1.2 パワーエレクトロニクス装置における高周波化

本技術報告書を展開していくにあたり、高周波スイッチング電力変換を支える周辺技術を以下概説しておく。

高周波スイッチング電力変換回路を取り巻くコア・要素