

SiC と GaN と共に発展する パワーエレクトロニクスにおける システムインテグレーション技術

SiC と GaN と共に発展するパワーエレクトロニクスにおける
システムインテグレーション技術調査専門委員会編

(発行日 2023年7月12日)

目 次

1. はじめに	3	4. 産業におけるシステムインテグレーション技術	25
1.1 まえがき	3	4.1 はじめに	25
1.2 調査概要	3	4.2 次世代パワーデバイスを用いたコンバータ の高性能化に関する研究動向	25
1.3 今後の展望	4	4.3 次世代パワーデバイスの製品適用事例	27
1.4 まとめ	5	4.4 まとめ	29
2. SiC と GaN におけるモジュール・ 放熱・信頼性	6	5. 家電・民生におけるシステムインテグレーション 技術	31
2.1 パワーデバイス	6	5.1 はじめに	31
2.2 パッケージ	9	5.2 空調応用	31
2.3 放熱	10	5.3 ソーラーパワコン応用	32
2.4 信頼性	11	5.4 調理家電応用	33
2.5 まとめ	12	5.5 照明応用	35
3. SiC と GaN と共に発展する運輸における システムインテグレーション技術	13	5.6 まとめ	35
3.1 鉄道車両への応用	13	6. スイッチング電源のインテグレーション技術	37
3.2 航空機関への応用	16	6.1 はじめに	37
3.3 自動車への応用 (SiC)	18	6.2 フロントエンド電源	37
3.4 自動車への応用 (GaN)	20	6.3 オンボード電源	39
		6.4 アダプタ (小容量 AC/DC 電源)	41
		6.5 まとめ	41

SiC と GaN と共に発展するパワーエレクトロニクスにおけるシステムインテグレーション技術調査専門委員会委員

委員長 三 野 和 明((株) 村田製作所)
幹 事 伊 東 淳 一(長岡技術科学大学)
幹 事 小 林 雅 志(トヨタ自動車 (株))
幹事補佐 磯 部 高 範(筑 波 大 学)
委 員 岩 谷 一 生(TDK ラムダ (株))
大 島 正 明(大 島 研 究 所)
小 谷 和 也((株) 東 芝)
ゴーテックちゃん((株)豊田中央研究所)
崔 星 太(LG Japan Lab (株))
佐々木 公 平((株) ノベルクリス
タルテクノロジー)
篠 原 貞 夫((株) 本田技術所)
関 子 祐 輔(日産自動車 (株))
田 中 三 博(ダイキン工業 (株))
長 井 真 一 郎(ポニー電機 (株))
中 尾 一 成(福井工業大学)

委 員 中 村 孝(福 島 S i C 応 用 技 研 (株))
永 吉 謙 一((株) 豊田自動織機)
芳 賀 浩 之(新電元工業 (株))
平 川 三 昭((株) F O M M)
廿 日 出 悟((公 財) 鉄 道 総 合 技 術 研 究 所)
廣 川 貴 之(パナソニック (株))
舟 木 剛(大 阪 大 学)
船 渡 寛 人(宇 都 宮 大 学)
馬 淵 雄 一((株) 日立製作所)
宮 脇 慧(長 岡 パ ワ ー エ レ ク ト ロ ニ ク ス (株))
椋 木 康 滋(東 京 工 業 大 学)
山 口 浩 二(株式会社 I H I)
山 本 真 義(名 古 屋 大 学)
和 田 圭 二(首 都 大 学 東 京)
植 木 浩 一(LG Japan Lab (株))
猪 狩 貴 之(日産自動車 (株))
渡 邊 俊 之(新電元工業 (株))

1. はじめに

1.1 まえがき

電力変換装置では、効率、パワー密度（小型化）、性能、コスト、ノイズ、信頼性などのそれぞれの要素を高めることと同時に、様々なアプリケーションや用途、ニーズに合わせてシステム全体を最適化することも重要である。従来では回路、制御、熱、および EMI などの各設計は技術者の経験に頼り、一方向に行うケースが多かった。それに対して、システムインテグレーション技術の概念では、各設計が互いに連携（連成）し、トレードオフの関係を見出しながら調整して総合的に最適化するものである。図 1.1 に示す様な研究事例の様に、異なる主回路方式やスイッチング周波数などにおいて、効率とパワー密度のトレードオフの関係を明らかにし、目的や要求に応じた最適条件を求めることが可能になっている⁽¹⁾⁽²⁾。このような技術トレンドを調査するために、電気学会では 2007 年に協同研究委員会を設立し、その後も 2 回の調査専門委員会を経てシステムインテグレーション技術における調査・検討を行ってきた⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。一方、電力変換装置の中核部品であるパワーデバイスにおいては、ワイドバンドギャップ半導体である SiC や GaN の研究開発が盛んに行われており、急速に性能や信頼性が向上してきている。この様な状況において、以下の様な活動も行われている。

1.1.1 ITRW

SiC と GaN を適用した電力変換装置の研究開発を加速させるために、IEEE PELS が ITRW (International Technology Roadmap for Wide-Bandgap Power Semiconductors) という委員会を設立している⁽⁶⁾。ITRW では将来に向けたロードマップを策定し、今後課題となる技術などを明確化することで、

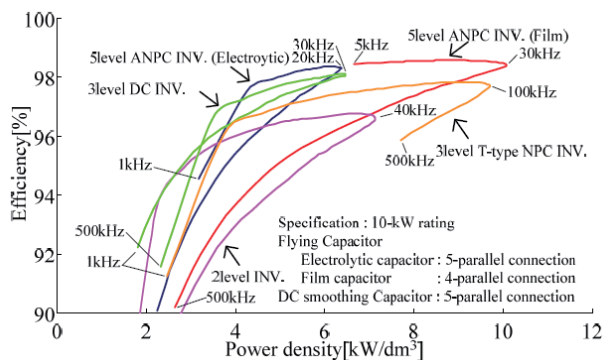


図 1.1 効率とパワー密度のトレードオフ設計例

Fig. 1.1. A design example of trade-off between efficiency and power density

出典：樫原有吾，伊東淳一：「パレトフロントカーブを用いた PV 用マルチレベルトポロジーの効率とパワー密度の性能比較」，電学論 D, Vol. 134, No. 2, pp. 209-219 (2014 年)

計画的かつ技術横断的な研究開発を行える様に提言している。ワーキンググループは Device and Materials, Packaging and Integration, SiC Applications, GaN Applications の 4 つで構成され、報告書などの執筆、主要な国際会議におけるミーティングや普及活動などを行っている。

1.1.2 The Little Box Challenge

The Little Box Challenge⁽⁷⁾は Google と IEEE が企画したコンペティションであり、多くの大学や企業が参加した。このコンペティションでは、2kVA のインバータを題材にして小型化を競うというものであり、GaN を活用した回路技術や冷却技術、システムインテグレーションを使った設計技術などを駆使して、パワー密度を向上させた多くの設計事例が示された⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

この様に SiC や GaN などの進歩に伴って適用研究も盛んに行われており、鉄道、自動車、UPS、空調機およびスイッチング電源などにおいては実用化も進んでいる。さらに、その他の様々な分野への展開も期待される中、2018 年 4 月～2021 年 3 月の期間で「SiC と GaN と共に発展するパワーエレクトロニクスにおけるシステムインテグレーション技術調査専門委員会」を設置し、SiC や GaN などのパワーデバイスの進歩や技術動向、およびそれらを適用した電力変換装置における研究開発や実用化の動向、およびシステムインテグレーション技術の最新の状況を調査した。本技術報告書ではその内容を報告する。

1.2 調査概要

本調査専門委員会は 5 つのワーキンググループで構成され、各分野に分かれて最新技術動向を調査した。重要な技術要素である SiC や GaN などの「パワーデバイス」においては技術視点のワーキンググループとし、その他の 4 つのワーキンググループは主要なアプリケーションである「運輸」、「産業」、「家電民生」および「スイッチング電源」に分かれて最新動向を調査した。

各アプリケーションにおける SiC や GaN の適用は図 1.2 の様な傾向がみられる。SiC は運輸（鉄道、航空機、EV、FCV）や産業（UPS、メガソーラ用 PCS、モーター駆動用インバータ）などの比較的高電圧大容量の分野に使われ、GaN はスイッチング電源の様な比較的低圧小容量・高周波の分野で多く適用されている。これらのアプリケーションにおいて SiC や GaN を適用することによって、大幅な小型化や高効率化が実現されている。さらに、単なる変換装置の小型化、高効率化に留まらず、SiC や GaN の特長を活かしてシステム全体で性能や付加価値を向上させる様な開発や実用化が行われている。以下に、各ワーキンググループにおける調査結果の概要を記載する。