

電力変換装置における 実用的な EMC 対策技術

電力変換装置における実用的な EMC 対策技術調査専門委員会編

目 次

1. はじめに	3	5.4 インピーダンス特性に基づくモデリング	28
2. EMC 対策基礎	4	5.5 漏れ電流特性によるモデリング	29
2.1 はじめに	4	5.6 ノーマルモード - コモンモード変換のモデリング	31
2.2 電力変換器における電磁両立性・ノイズ概要	4	5.7 放射ノイズシミュレーション	31
2.3 電力変換器におけるノイズ源と経路	4	5.8 まとめ	33
2.4 ワイドバンドギャップ半導体パワーデバイス活用における EMC の課題	5	6. モータ駆動システムにおける実践的な EMI 設計技術	34
2.5 基本的な EMC 対策・事例	7	6.1 はじめに	34
2.6 シールド技術	9	6.2 モータ駆動用インバータの EMI 設計技術	34
2.7 まとめ	10	6.3 モータの EMI 設計技術	35
3. 電力変換装置における低周波 EMC 対策技術と事例	11	6.4 パワーモジュールの EMI 設計技術	36
3.1 はじめに	11	6.5 ケーブルの EMI 設計技術	38
3.2 一般的な低周波ノイズ対策の手法	11	6.6 まとめ	38
3.3 空調機での高調波対策	13	7. 受動部品及び材料	40
3.4 鉄道車両における低周波 EMC 対策事例	15	7.1 はじめに	40
3.5 まとめ	18	7.2 リアクトル	40
4. 電力変換装置における高周波帯域の EMC 対策技術	20	7.3 コンデンサ	43
4.1 はじめに	20	7.4 まとめ	46
4.2 電力変換装置全般における対策技術	20	8. 電力変換装置における EMC 規格の最新動向	47
4.3 空調機における EMC の勘所	21	8.1 はじめに	47
4.4 鉄道における対策技術	23	8.2 EMC に関する国際規格の概説	47
4.5 IPM における対策技術	23	8.3 EMC 規格整備の最新動向	47
4.6 まとめ	25	8.4 まとめ	50
5. ノイズシミュレーションにおけるモデリング技術	26	9. パワエレ分野の EMI 対策の変遷	52
5.1 はじめに	26	9.1 はじめに	52
5.2 半導体パワーデバイスのモデリング	26	9.2 パワエレ機器の EMI 問題に関する学会対応	52
5.3 コンデンサと磁性素子のモデリング	27	9.3 EMI 対策の変遷	52
		9.4 最近の EMI の話題	54
		9.5 まとめ	55

電力変換装置における実用的な EMC 対策技術 調査専門委員会委員

委員長 綾野 秀樹(東京工業高等専門学校)
幹事 安東 正登(日立製作所)
幹事 萬年 智介(筑波大学)
幹事補佐 和田 圭二(東京都立大学)
委員 安部 征哉(九州工業大学)
井上 博史(日本電機工業会)
井 瀨 貴章(大阪大学)
梅谷 和弘(岡山大学)
大久保明範(日産自動車)
太田 邦夫(東芝)
小笠原悟司(北海道大学)
金森 正樹(東芝キャリア)
北川 亘(名古屋工業大学)
佐々木秀勝(東京都立産業技術
研究センター)
清水 敏久(東京都立大学)
菅原 烈(三菱電機)

委員 田中 三博(ダイキン工業)
玉手道雄(富士電機)
仲野 陽(アルプスアルパイン)
野村 勝也(関西学院大学)
畑 遼太郎(村田製作所)
廿日出 悟(鉄道総合技術研究所)
古庄 泰章(三菱電機)
本多 哲也(デンソー)
前川 佐理(成蹊大学)
増澤 高志(三菱重工業)
松崎 徹(北川工業)
山口 浩二(I H I)
吉岡 康哉(富士電機)
途中退任 木村 吉志(デンソー)
関子 祐輔(日産自動車)
常盤 豪(東芝)

1. はじめに

SiC (Silicon Carbide) や GaN (Gallium Nitride) の新材料を使用した次世代パワーデバイスが市販され、これらを使用した産業機器や家電民生機器が販売され始めている。これらのパワーデバイスを適用することにより、電力変換装置を高速かつ高周波で駆動できることから、損失低下による高効率化やフィルタ・放熱装置の小型軽量化を実現できる。例えば、SiC は山手線や N700S 新幹線でも採用されており、今後、次世代パワーデバイスの使用範囲や応用技術は、ますます広がるのが予想される。

一方、電力変換装置は高電圧、大電流をスイッチング動作により制御するため、それに起因して発生する電磁ノイズが自機器や周辺機器に対して誤動作を引き起こす恐れがある⁽¹⁾。1990 年代にパワートランジスタから IGBT に置き換わった折にも、スイッチング時の立上り速度の増加により、漏電ブレーカの誤動作やラジオ受信に対する障害、モータベアリングの損傷などの悪影響をもたらしてきた。次世代パワーデバイスでは、高速・高周波のスイッチング動作に伴い電磁ノイズがさらに増加し、ノイズの周波数帯域も広域化するため、その対策がさらに難しくなる。さらに、製品の小型化や情報伝送の高速化の要求を満足するために、機器の集積化や通信帯域幅の広帯域化がなされており、電力変換装置の近傍にも様々な機器を実装する機会が増えている。特に、集積化により寄生成分が増加傾向にあることから、電磁ノイズによる誤動作のリスクは高まっており、対策が難しくなっている。このように、電力変換装置は周辺の機器と協調していくために、EMC(電磁両立性)の技術について今まで以上に考えていく必要が生じてきている。

電気学会におけるパワーエレクトロニクス機器を対象とした EMC の調査研究に関する委員会は 6 期 20 年にわたって設置されており、その当時の EMC 対策に関する技術動向について調査がなされている。「電力変換装置における実用的な EMC 対策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、EMC 対策技術の動向について 2018 年 11 月から 2021 年 10 月まで調査活動を進めてきた。本委員会では、実際の製品において、どのような対策が実用的であるのかについて、最新の技術には拘らず、効果の高い技術について調査することを目的とした。現状においても製品分野ごとにノイズ規制に準じた抑制・対策がなされてきているが、製品分野が異なると、どのような対策が実用的であるのかは判別しにくい。また、近年のノイズ対策は、シミュレーションにより事前にノイズレベルを予測し、その結果を考慮して実施できるようになってきたが、依然として経験やノウハウに依存することも多く、新たに EMC に携わる者にとっては敷居が高くなりつつある。このため、EMC に携わる技術者や、これから携わろうとする技術者に対して EMC に対する理解を深めることに重点を置いている。

本技術報告書は、上記の目的に対して調査・検討をしてきた結果をまとめたものであり、以下の 9 章で構成されている。なお、本技術報告書では、9kHz 未満を低周波帯域、9kHz 以上を高周波帯域と定義している。

第 2 章 EMC 対策基礎 EMC 対策についての基礎的な概要について説明する。EMC の分類、電力変換装置におけるノイズ源と経路、次世代パワーデバイス活用時における EMC の課題、基本的な EMC 対策事例について述べる。

第 3 章 電力変換装置における低周波 EMC 対策技術と事例 電力変換装置から生じる 9 kHz 未満の低周波 EMC 対策技術について説明する。低周波数領域の EMC は、ノイズの発生量が大きい特徴がある。これに対する一般的な対策手法、空調機における対策手法、鉄道における対策手法について説明する。

第 4 章 電力変換装置における高周波帯域の EMC 対策技術 電力変換装置における 9kHz 以上の EMC 対策技術として、理論解析技術、一般的な製品での対策技術に加え、空調機、鉄道、パワーデバイスにおける対策手法について説明する。

第 5 章 ノイズシミュレーションにおけるモデリング技術 電力変換装置での伝導・放射ノイズのシミュレーションにおけるモデリング技術を説明する。特に、半導体パワーデバイスのモデリング、ノイズ経路のインピーダンス特性を用いたモデリング、漏れ電流特性に着目したモデリング、ノーマルモードとコモンモードのノイズ変換に関するモデリングの技術について説明する。

第 6 章 モータ駆動システムにおける実践的な EMI 設計技術 モータ駆動システムを対象に、実際の製品開発等におけるノイズ設計事例を説明する。特に、モータ駆動用インバータ、モータ、パワーモジュールに対する EMI 設計技術について述べ、放射ノイズも含めた実践的な内容を説明する。

第 7 章 受動部品及び材料 電力変換装置におけるノイズ対策用のリアクトル、コンデンサ、及び、その材料について説明する。特に、最新情報を含めた既存部品の情報のみならず、今後の部品・材料開発の展望についても説明する。

第 8 章 電力変換装置における EMC 規格の最新動向 国際電気標準会議(IEC)では、EMC の基本規格・共通規格についての制定・改正が行われている。電力変換装置が適用される製品個別の EMC 規格について、規格体系、組織構成、規格化ルールを説明する。さらに、EMC 規格整備の最新動向について説明する。

第 9 章 パワエレ分野の EMI 対策の変遷 パワーエレクトロニクス機器の EMI 対策に関する変遷、および、最近の EMI に関する課題について説明する。

参考文献

- (1) パワーエレクトロニクス機器の EMC 解析・抑制技術共同研究委員会編、パワーエレクトロニクス機器の EMC、電気学会 (2013)