

マルチレベル電力変換器の基本原理

マルチレベル電力変換技術調査専門委員会編

目 次

1. まえがき	3	4. モジュラー・マルチレベル・カスケード変換器(MMCC)	
2. マルチレベル変換器	4	4.1 MMCC の概要 (共通事項)	25
2.1 マルチレベル変換器の種類	4	4.2 単相 MMCC (単一クラスタ)	32
2.2 マルチレベル変換器の応用	7	4.3 シングルデルタ構成 MMCC(SDBC)	37
2.3 代表的変調方式	9	4.4 シングルスター構成 MMCC(SSBC)	41
3. クランプ形マルチレベル変換器	12	4.5 ダブルスター (DSCC, DSBC) 構成 MMCC	44
3.1 ダイオードクランプ形マルチレベル変換器	12	4.6 トリプルスター (TSBC) 構成 MMCC	53
3.2 キャパシタクランプ形マルチレベル変換器	18	4.7 その他の MMCC 方式	60
3.3 アクティブクランプ形マルチレベル変換器	20	5. あとがき	63
3.4 Stacked Multi-cell (SM) 変換器	22		

マルチレベル電力変換技術調査専門委員会委員

委員長 藤田英明(東京工業大学)
幹事 萩原誠(東京工業大学)
委員 伊東淳一(長岡技術科学大学)
佐藤之彦(千葉大学)
佐野憲一朗(東京工業大学)
三浦友史(長岡技術科学大学)

1. まえがき

1980年代前半に、初めての実用的なマルチレベル変換器として、中性点クランプ形3レベル変換器が我が国で発明された。その後の40年弱の間に、新しい回路方式やさらなるレベル数の増加などの研究成果が多数報告されている。その一方、マルチレベル変換器の実用化例としては、主に中性点クランプ形3レベル変換器であり、新たな回路方式についての実用化例は少ない。この背景として、回路構成のみならず、その制御方式や動作特性が複雑であり、十分に理解されるには至っていないことが考えられる。

近年では、風力発電や直流送電、電力潮流制御などへの応用を目的として、海外の研究機関・企業ではモジュラー・マルチレベル・カスケード変換器 (MMCC) の研究・開発が盛んに進められている。これに対して、各種学会などの発表状況を見る限り、現時点での国内における MMCC の研究は必ずしも活発であるとは言えない。

これまで、マルチレベル変換器は、大容量変換器を構成するための回路技術との見方が支配的であったため、各種調査専門委員会では主に事例調査を中心に検討されており、回路方式や制御方式に関しては分散的に取り扱われているのが現状であった。

これらの状況を踏まえ、マルチレベル変換器の基本的な回路方式、制御方式、動作特性を調査して整理することにより、特に国内におけるマルチレベル変換器に関する研究および開発を活発化することを目的とし、「マルチレベル電力変換技術調査専門委員会」が平成26年2月から平成28年1月までの2年間設置され、計9回の委員会が開催された。本技術報告はこの調査専門委員会での検討結果をまとめたものである。

各章の項目は以下の通りである。

2章 マルチレベル変換器

- ・マルチレベル変換器の種類
- ・マルチレベル変換器の応用
- ・代表的変調方式

マルチレベル変換器の種類では、提案されている各種マルチレベル変換器を回路構成の類似性からクランプ形マルチレベル変換器とモジュラー・マルチレベル・カスケード変換器 (MMCC: Modular Multilevel Cascade Converter) に分類し、各方式の特徴に関して概説する。マルチレベル変換器の応用では、代表的応用事例であるモータ駆動装置、電力系統、分散電源等の系統連系変換装置への適用例を紹介する。代表的変調方式では、マルチレベル変換器に適用される変調法を概説し、キャリア比較PWM方式、位相シフトPWM方式、空間ベクトル変調方式、方形波制御方式に関して述べる。

3章 クランプ形マルチレベル変換器

- ・ダイオードクランプ形マルチレベル変換器
- ・キャパシタクランプ形マルチレベル変換器
- ・アクティブクランプ形マルチレベル変換器
- ・Stacked Multi-cell (SM) 変換器

ダイオードクランプ形マルチレベル変換器では、5レベル変換器に着目し、回路構成と基本原理、変調方式と平均スイッチング周波数、バルブデバイスと直流コンデンサに流れる電流の関係、実用上課題となる分圧コンデンサの電圧バランス手法に関して言及する。キャパシタクランプ形マルチレベル変換器では、5レベル変換器に着目し、回路構成と動作原理、および他のマルチレベル変換器に対する得失に関して言及する。アクティブクランプ形マルチレベル変換器では、3レベル、および5レベル変換器に着目し、動作原理と他のクランプ形マルチレベル変換器との比較に関して言及する。Stacked Multi-cell (SM) 変換器では、回路構成と動作原理に関して言及し、その後各回路方式の効率とパワー密度をパレートフロントカーブに基づき評価する。

4章 モジュラー・マルチレベル・カスケード変換器 (MMCC)

- ・MMCCの概要 (共通事項)
- ・単相 MMCC (単一クラスタ)
- ・シングルデルタ構成 MMCC(SDBC)
- ・シングルスター構成 MMCC(SSBC)
- ・ダブルスター (DSCC, DSBC) 構成 MMCC
- ・トリプルスター (TSBC) 構成 MMCC
- ・その他の MMCC 方式

MMCCの概要 (共通事項) では、一般的な三相フルブリッジ変換器との比較を通じて MMCC の特徴を明らかにする。単相 MMCC (単一クラスタ) では、電力制御手法や直流コンデンサ電圧のバランス手法に関して言及する。次に、シングルデルタ構成 MMCC(SDBC)の回路構成、制御法に関して言及する。クラスタ電力の関係に関して定量的に明らかにし、デルタ結線内を流れる循環電流がクラスタ電力に与える影響に関して言及する。次に、シングルスター構成 MMCC(SSBC)の回路構成、制御法に関して言及し、変換器中性点に現れる零相電圧がクラスタ電力に与える影響に関して言及する。ダブルスター構成 MMCC (DSCC, DSBC)、トリプルスター構成 MMCC(TSBC)では、動作原理や制御法を中心に言及し、特に階層型制御法を中心に説明する。最後に、変圧器を使用した MMCC 方式やハイブリッド MMCC に関して言及する。