

イタリア・ナポリ大学への海外派遣報告

—分散型電源システム用の新しい電力変換回路 (Modular Multi-level Converter) に関する研究—

工学研究科 電気・情報科学部門 助教 浜崎 真一
(派遣期間：平成 23 年 3 月 2 日～平成 23 年 5 月 30 日)

組織的な若手研究者等海外派遣プログラムにより、2011 年 3 月から約 3 ヶ月間、イタリア・ナポリ大学 (University Federico II of Naples) の Andrea Del Pizzo 教授の下に滞在し、分散電源エネルギーの制御に関する在外研究及び情報収集、意見交換を行った。研究を行った電力変換器の制御の研究内容に加え、欧州・イタリアの電力・エネルギー事情についても意見を交換することができた。以下に、その概要および研究成果を報告する。

1. 派遣研究機関の紹介

イタリア・ナポリ大学フェデリコ II は、イタリア南部のナポリ市内に位置し、その工学部は 150 年の歴史をもつイタリア有数の国立大学である。長崎大学とも長年に渡り国際交流協定を結んでおり、2 年に一度、SPEEDAM と呼ばれる電気・電力機器制御に関する国際会議をナポリ大学・長崎大学の共催で開催している。本大学の工学部電気工学科に所属する Andrea Del Pizzo 教授グループは、パワーエレクトロニクス分野の電力変換器制御やモータドライブ制御に関して国際的に顕著な業績を上げており、分散電源 (太陽光・風力発電) 用の新しい電力変換回路の制御、電力補償装置 (アクティブフィルタ、アクティブフロントエンド、SVC) の制御、電気二重層キャパシタによる電車用電力回生制御、交流モータ (誘導機、同期機) のセンサレス制御など本分野において幅広く研究を行っている。私はこれら研究の中で分散型電源用の新しい電力変換回路である Modular Multi-level Converter (MMC) の制御について共同研究を行った。



ナポリ大学フェデリコ II 工学部



工学部本館



A. Del pizzo 教授研究室（実験室）



研究室メンバー（左 3 番目：A. Del Pizzo 教授，
右 2 番目：R. Rizzo 教授，右 3 番目：筆者本人）

2. 研究内容と成果

電力送電の電力変換システムにおいて，直流－交流・交流－直流の任意の電力変換，高電圧化に加え，出力波形の改善が要求される。これらの要求を満足するための新しい電力変換回路として，Modular Multi-level Converter（以下，MMC）の研究が注目されてきている。高電圧化に対応するために平滑用キャパシタを多重カスケード（直列）接続して利用する必要があるが，キャパシタ容量と品質の影響により，電圧の不均一が生じる。従来の回路では，ダイオードクランプ方式と呼ばれる補助回路を接続する方式が用いられるが，キャパシタが増加するほど回路構成が複雑になる。MMC は汎用のブリッジ型変換器（単相インバータ）を複数組み合わせ合わせたモジュール構成で変換器動作させるシステムで，キャパシタは各モジュールに接続されるので補助回路なしで電圧の制御が可能となる。また，モジュールは，インバータの多段カスケード接続となるので，高電圧でマルチレベルの電圧を任意出力可能であり，回路の高圧化，波形改善の要求も満たすことができる。本研究では，この MMC 回路の制御方式について研究を行い，Matlab 解析シミュレーションにより動作の検証を行った。

MMC 主回路構成(Fig.1)は，uvw 三相の各相にフルブリッジセルを多段接続した構成で，各相上アーム 2 段，下アーム 2 段の計 4 段構成で解析を行った。制御構成(Fig.3)は，各相のキャパシタ電圧の平均値を調整するためのアベレージ制御と個別のキャパシタ電圧の調整を行うバランス制御の 2 つの制御に，AC 側への出力電圧指令値を加えた制御系で構成される。これにより，DC 側から供給される電力からキャパシタに充放電される電力と AC 側へ供給する電力を同時に制御することができる。AC 側出力電圧は，4 段カスケード構成の場合 7 レベル波形となり，一般的な三相インバータの 3 レベル波形より高調波歪みの少ない出力電圧を実現することができる。Fig.2 は，解析結果の一例である。上図は AC 側出力電圧波形で，理論通りに 7 レベルの出力電圧波形(100V, 60Hz) が得られた。また下図のキャパシタ電圧は，アベレージ制御とバランス制御によりそれぞれ個別に指令電圧(DC130V) に追従しており，MMC 全体として，キャパシタ電圧をバランスよく調整しながら，AC

側へ電圧のマルチレベル出力を実現することができた。今後は、カスケード構成の段数増加による高圧化と交流-交流変換への応用などを行うことにより、さらなる成果が期待できる。

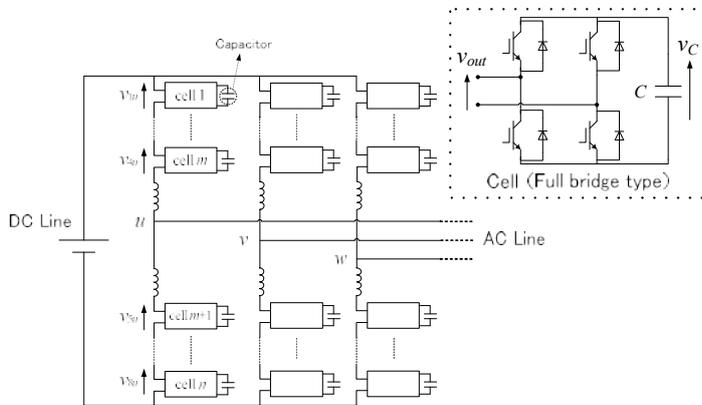


Fig. 1 MMC 主回路構成

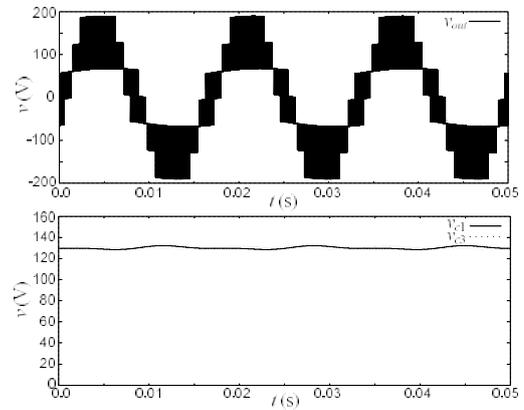


Fig. 2 結果の一例

(上 : AC 出力電圧, 下 : キャパシタ電圧)

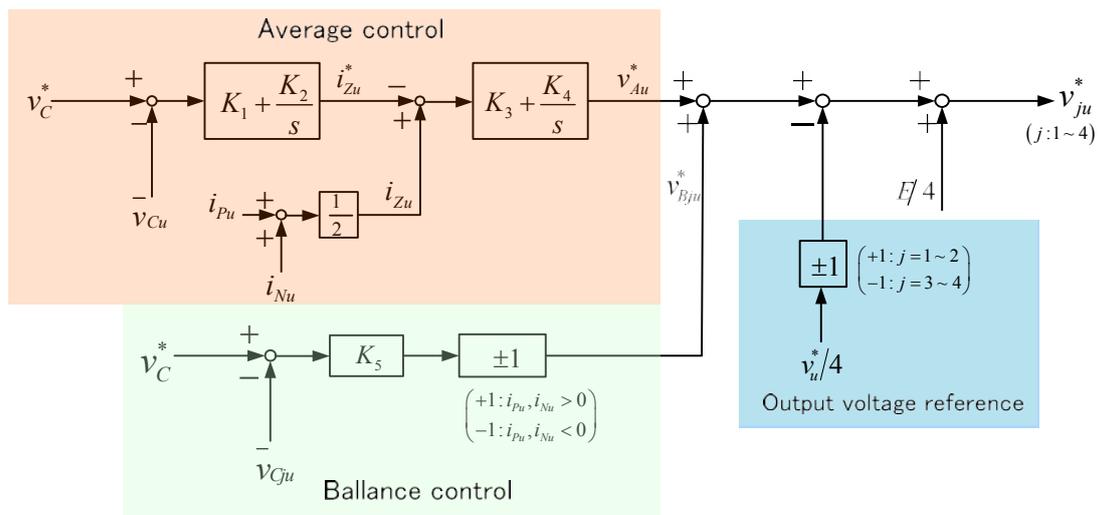


Fig. 3 MMC 制御ブロック図

- Title : Research of Control of Modular Multi-level Converter (MMC) for Novel Distributed Generator System

In power conversion system for distributed generator, an optional input-output (DC-AC or AC-AC) and less distortion of output waveform are required. A Modular Multi-level Converter (MMC) is attracted and developed as a new multi-level converter for high voltage line and transformer-less system. It consists of multiple series connected converters and capacitors as shown in Fig.1. Each converter works as one of module of the multi-level converter and voltage of the capacitor connected to the converter is kept constant without unbalance. The MMC can output less

distorted waveform than general 3 level inverter by multi-level configuration and be applied to high voltage line due to the series connected capacitors.

I investigated how to control of MMC for novel distributed generator system and simulated by the MATLAB. 4 full bridge cells (upper 2 and lower 2) are connected to each phase in this research. This control scheme consists of three control references as shown in Fig.3. An average control, a balance control and output voltage reference are included in the scheme. The average control is able to control average voltage of all capacitor and each voltage of capacitor can be regulated by the balance control to be constant. Output voltage to the load is determined by the output voltage reference. In Fig.2, 7 levels output voltage (100V, 60Hz) was correctly obtained and each capacitor voltage was regulated by the average control and the balance control.

3. 今後の展望と感想

今回の滞在は3ヶ月であったが、イタリア南部の独特の雰囲気に触れた生活を送りながら、本分野に精通している教授、スタッフと深く意見を交わして研究を進められたことは非常に有意義な経験であった。研究室の学生も非常に活発であり、様々な話を聞くことで新しい刺激を受け、今後の研究、教育指導の両面を進めていく上で非常に参考になった。本研究テーマについては、今後も先方と意見交換を行いながら、共同研究として進めていきたい。

また、滞在期間中に日本では大震災が起これば原発事故にまで波及したが、この事故については、原発建設の可否で議論していたイタリア国民にとっては非常に重大なニュースであった。2011年6月に原発建設の国民投票を控えていたことが大きな理由であるが、連日、テレビでも福島の様子がニュース放送されては原発について議論されていた。我々の研究も分散電源による電力送電に関するテーマであり、ランチタイムの時などに、今後の発電・送電の在り方、新しい設備普及のための方策やヨーロッパと日本の電力事情の違いなど様々な内容について意見交換を行うことができた。このことも今回の滞在中で非常に貴重な経験であったと同時に、我々の行っている研究分野の重要性と意義を再確認する大きな要因となった。

最後に、このような貴重な機会を頂いたことにつきまして、関係各位に感謝の意を示します。