



Title	チェーンリンク形マルチレベル方式による系統連系用電力変換器の高性能化に関する研究
Author(s)	羽田野, 伸彦
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/844
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	は た の のぶ ひこ 羽 田 野 伸 彦
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 9 5 8 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 21 年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学 位 論 文 名	チェーンリンク形マルチレベル方式による系統連系用電力変換器の高性能化に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 伊 瀬 敏 史 (副査) 教 授 舟 木 剛 教 授 谷 野 哲 三 教 授 白 神 宏 之 准教授 三 浦 友 史

論 文 内 容 の 要 旨

第1章では、本研究の背景として、電力系統分野に適用されるパワーエレクトロニクス技術の動向、系統連系用電力変換器の現状、および新たな回路技術としてのマルチレベル変換器について述べると共に、セル（単位変換器）の直列接続により構成するチェーンリンク形マルチレベル変換器（Chain Link type Multilevel Converter：CLMC）を系統連系に用いるための技術課題を示し、本研究の目的を明確に位置付けた。

第2章では、直列接続に伴う導通損失の増加と、DC電源の分離という、CLMC特有の課題の解決にあたり、高周波PWMで動作するセルを混じえたハイブリッドCLMCと、電圧が2倍ずつ異なるセルを組み合わせる2進ハイブリッドCLMCについて、基本的な回路構成と制御方法を示した。

第3章では、CLMCを三相電力系統に適用するための基本的な制御手法として、零相電圧もしくは逆相電流により、三相出力を制御する理論を示した。さらに、その実現に不可欠な技術として、系統電圧に大幅な不平衡が発生しても、過電流に至ることなく、三相出力を指令値通りに制御するための手法を示した。

第4章では、CLMCを、DVR（直列形瞬低下補償装置）に適用するにあたり、不平衡な電圧低下に対しても、零相電圧制御により、三相の補償エネルギーを制御できることを、400V級の試験装置で実証した。そして、6.6kV級三相トランスレスDVRを試設計し、デジタルシミュレーションにより、妥当性を検証した。

第5章では、CLMCを、STATCOM（自励式無効電力補償装置）に適用するにあたり、不平衡な系統電圧に対しても、逆相電流制御により、三相のDC電圧を制御できることを、200V級の試験装置で実証した。そして、6.6kV三相トランスレスSTATCOMを試設計し、デジタルシミュレーションにより、妥当性を検証した。

第6章では、CLMCを分散形電源の系統連系装置に適用するにあたり、DC電源の出力に不平衡が存在する場合にも、零相電圧制御により出力電流を三相平衡に制御できることを理論的に示し、さらに、逆相電流制御を組み合わせることにより、適用範囲を補い、互いの

長所を活用できる手法を示した。そして、6.6kVシステムを試設計し、デジタルシミュレーションにより、妥当性を検証した。

第7章では、本研究から得られた成果を総括するとともに、今後の課題を述べた。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、電力系統に連系される大容量の交流・直流電力変換器を小型軽量かつ高効率に実現することを目的に、変圧器やリアクトルを用いずに出力波形の合成を行い、電力変換器の大容量化、高調波低減と高い波形制御性能を同時に可能とするチェーンリンクマルチレベル変換器（Chain Link type Multilevel Converter：CLMC）の制御方式を確立し、3種類の適用例についてシミュレーションおよび実験を通してその有効性を検証している。

CLMCはHブリッジ形の単相変換器を単位変換器（セル）とし、複数のセルを直列接続して構成される。この方式は、セルの直列段数を増加させるだけで出力波形のレベル数も増加し、高調波の低減、制御性の向上とスイッチング損失の低減を同時に実現できる。このようにCLMCは、系統連系用電力変換器の抜本的な改善を図るにあたり、優れたポテンシャルを有するが、セルの直列接続に伴い半導体素子の導通損失が増加し、かえって機器効率が悪化する場合もある。また、個々のセルに直流電源が分離して回路が構成されるため、特定のセルに出力が集中すると、機器容量を有効に利用できないことにつながる。CLMCを系統連系に用いるためには、これらの問題を解決する必要がある。本研究では電圧やスイッチング周波数の異なるセルを組み合わせるハイブリッドCLMCを導入し、それを系統連系するための制御手法について検討している。得られた要素技術を瞬時電圧低下補償装置、無効電力補償装置、および分散形電源の系統連系装置に適用し、実証試験およびデジタルシミュレーションによりその有効性を検証している。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) CLMCにより半導体素子の導通損失の増加を起こさないように高周波PWM(Pulse Width Modulation)制御を交えたハイブリッドCLMC、および電圧が2倍ずつ異なるセルを組み合わせ、多レベル化を容易とする2進ハイブリッドCLMCを提案し、それらの制御手法を示している。
- (2) 三相電力系統にCLMCを適用するために、電力系統の不平衡電圧に対する課題として、電力変換器の特定の相に出力が偏り、機器容量を有効に利用できない可能性がある。その解決手法として零相電圧または逆相電流により電力変換器の三相出力を等しく制御する理論を示している。零相電圧制御による方法では直流電圧による適用限界が、逆相電流制御では出力できる電流に制約が生じることも示している。
- (3) CLMCを三相系統の瞬時電圧低下補償装置に適用するための技術を確立し、400V-100kVAの装置で実証している。また、6.6kV三相トランスレスの装置を試設計し、デジタルシミュレーションにより妥当性を検証している。
- (4) CLMCを三相無効電力補償装置に適用するための技術を確立し、200V-10kVAの装置で実証している。また、6.6kV三相トランスレスの装置を試設計し、デジタルシミュレーションにより妥当性を検証している。
- (5) CLMCを分散形電源（太陽光発電）の系統連系装置に適用するための技術を確立し、6.6k-1MWシステムを試設計し、デジタルシミュレーションにより妥当性を検証している。

以上のように、本論文は系統連系用電力変換器の小型軽量化、高効率化、および高い制御性能を同時に成立させる技術を確立させており、この分野の技術の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。