OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Studies on Low Frequency AC Transmission System Using Modular Multilevel Matrix Converter Based Virtual Synchronous Generator Control
Author(s)	Al-Tameemi, Mustafa Jawad Kadhim
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77494
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name （ALTAMEEMI MUSTAFA JAWAD KADHIM）	
Title	Studies on Low Frequency AC Transmission System Using Modular Multilevel Matrix Converter Based Virtual Synchronous Generator Control （モジュラーマルチレベルマトリックスコンバータにおける仮想同期発電機制御を適用した低周波交流送電システムに関する研究）

Abstract of Thesis

This thesis studies the operation, control, and applications of a low frequency ac transmission (LFAC) system driven by a modular multilevel matrix converter (M3C) and controlled using a virtual synchronous generator (VSG) concept. The LFAC system is receiving noticeable attention to be an alternative transmission technology solution along with nominal frequency (50 Hz and/or 60 Hz) high voltage ac (HVAC) transmission technology and high voltage direct current (HVDC) transmission technology.

In this work, the LFAC system, the M3C and the VSG controller are introduced altogether to provide a combination of technical advantages, such as; 1) transmission distance can be increased compared to the HVAC system; 2) more reliable response against fault compared to the HVDC system. The M3C is expected to be the next ac/ac generation converter due to the technical advantages such as lower harmonics, higher power factor and quick response. These advantages make the M3C employment promising in the LFAC power systems.

Application of VSG control is proposed to enable proper power-sharing, to provide synchronization of each terminal and frequency stabilization. The VSG controller provides power synchronization between frequency converter terminals in an autonomous manner with virtual inertia by emulating the equivalent swing equation of a synchronous generator (SG). This scheme is meant to present a new control scheme for the LFAC transmission system in order to extend the point-to-point concept to form a multi-terminal LFAC (MT-LFAC) system, which has not yet been reported before in literature. This configuration is also meant for applications that require interconnection of remote power systems operating in nominal frequency via LFAC transmission lines.

A novel control scheme of the remote ac grid-side M3C, which makes both interactions with the LFAC system and the remote ac grid behave like a synchronous generator using a dual VSG control scheme is studied. This control scheme can enhance the frequency regulation in the remote ac grid, which the existing control schemes cannot provide.

This dissertation is organized as follows:

In Chapter 1, it gives a brief idea of the current situation of the existing power grid. The discussion is then translated into the objectives of this study.

In Chapter 2, it compares the existing transmission technologies against the proposed system.

In Chapter 3, the M3C-LFAC system with VSG controller to form and operate a point-to-point configuration is studied.

In Chapter 4, a multiterminal-LFAC (MT-LFAC) configuration is formed by extending the point-to-point M3C-LFAC configuration using VSG control

In Chapter 5, a dual VSG controller is employed for each M3Cs in the point-to-point LFAC configuration. This system is connected to a remote ac grid in order to enhance its frequency regulation.

In Chapter 6, conclusions are presented and some suggestions for the LFAC as well as the M3C need to be considered in the future are discussed.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（ ALTAMEEMI MUSTAFA JAWAD KADHIM ）	
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主 査　教授	高井　重昌
	副 査　教授	舟木　　剛
	副 査　教授	牛尾　知雄
	副 査　教授	白神　宏之
	副 査　招へい教授	阪部　茂一

論文審査の結果の要旨

近年、大規模な再生可能エネルギー発電として洋上風力発電など需要地から遠隔地で発電した発電電力を長距離ケーブルで需要地に送電することが多くなってきている。他方、離島系統などにおいても安定な電力供給のためには長距離ケーブルで基幹系統から送電することになる。これらの状況において、いずれも長距離ケーブルによる送電が行われるが、50/60Hz の交流ケーブルによる送電方式ではケーブルの無効電力が問題になるため現在、直流送電（HVDC）が実用化されている。特に自励式変換器を用いた直流送電（VSC-HVDC）が近年の自励式変換器の技術の発展とともに実用化が行われている。しかしながら、VSC-HVDC では直流側の事故による過電流の抑制が課題である。そこでその課題を解決するために、本研究では 10Hz 程度の低周波による送電を提案している。

低周波送電のためには 50/60Hz の交流を 10Hz 程度の交流に変換する周波数変換器が必要であり、そのためにはこれまでサイリスタ(SCR)を用いたサイクロコンバータや自励式変換器の BTB(Back-to-Back)接続が用いられている。しかしながらサイクロコンバータでは無効電力や高調波の課題があり、自励式変換器の BTB 接続では交流を直流に変換し、再度交流に変換するために電力変換が 2 段階となることによる効率低下などの課題がある。そこで本研究では、50/60Hz の交流を直接 10Hz の交流に変換する、無効電力や高調波の問題が無いモジュラーマルチレベルマトリックスコンバータの適用を検討している。モジュラーマルチレベルマトリックスコンバータでは多数のブリッジ回路を直列接続することで高電圧・大容量への対応が可能となると同時に高調波の少ない波形の出力が可能である。制御方式としては、1 対 1 の端子間の送電に加えて多端子間の送電にも対応が可能なような検討が必要である。そこで本研究では仮想的な慣性を周波数変換器の制御に考慮できる仮想同期発電機制御（VSG 制御）を適用している。これにより、端子間の通信を行わずに自律的な手法で多端子間の周波数変換器の協調制御を可能としている。また、モジュラーマルチレベルマトリックスコンバータの回路内部に存在するキャパシタのエネルギーを用いて低周波側だけでなく 50/60Hz の交流系統に対しても電力変換器が同期発電機と同様の振る舞いをさせるようにするデュアル VSG 制御を新たに提案し、その有用性を計算機シミュレーションにより検証している。本研究により得られた結果は以下のとおりである。

（1） モジュラーマルチレベルマトリックスコンバータに仮想同期発電機制御を適用し、10Hz の低周波送電により 1 対 1 の端子間の送電電力制御が可能であることを計算機シミュレーションにより示している。有効電力指令値の変更に加えて電力潮流反転制御のシミュレーションを行い、過渡時を除いて低周波側の系統周波数および無効電力、さらに周波数変換器内のキャパシタ電圧が一定に保たれることが示されている。

（2） 多端子システムの場合においては周波数変換器の制御に電力の指令値を与える Command Mode と、低周波側の周波数制御を行う Frequency Restoration Mode のいずれかを電力系統側からの指令により選択する制御系を

構築し、3端子システムの場合についてその制御特性を計算機シミュレーションにより検証するために、有効電力指令値の変更に加えて電力潮流反転制御のシミュレーションを行い、過渡時を除いて低周波数側の系統周波数および周波数変換器内のキャパシタ電圧が一定値に保たれることが示されている。これにより自律的な手法で端子間の協調制御が可能であることを示している。

（3） 低周波送電に特有な現象として系統のリアクタンスXが減少し、抵抗Rとの比X/Rが減少するために有効電力と無効電力制御ループの干渉が発生する課題があるが、これを避けるために仮想的な固定子リアクタンスを導入し問題を解決している。

（4） 離島などの遠隔地への送電を想定したシステムにおいて遠隔地系統の安定化のために、低周波側に加えて50/60Hzの交流系統に対しても周波数変換器が同期発電機と同様の振る舞いをするようなデュアルVSG制御系を構築し、遠隔地系統での負荷変動に加えて三相地絡故障に対する応答を計算機シミュレーションで検証し、速やかに周波数が定常値に整定することを示している。

以上のように、本論文はモジュラーマルチレベルマトリックスコンバータと仮想同期発電機制御を用いた低周波送電システムが直流送電に代わる新しい送電システムとして有効であることを示しており、今後の電力システムの構築にとって有益な知見を与える内容となっており、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。