



Title	Enhanced Virtual Synchronous Generator Strategy by Model Predictive Multivariable Control: Studies on Voltage Source Inverter and Matrix Converter
Author(s)	Jongudomkarn, Jonggrist
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/77461
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Jongudomkarn Jonggrist)	
Title	Enhanced Virtual Synchronous Generator Strategy by Model Predictive Multivariable Control: Studies on Voltage Source Inverter and Matrix Converter (モデル予測多変数制御による仮想同期発電機制御の高性能化手法—電圧形自励式インバータとマトリックスコンバータに関する研究—)
Abstract of Thesis	
<p>Distributed generations (DGs) are expected to be penetrated widely in the future power grid. Virtual synchronous generator (VSG) control can play a vital role in supporting the frequency stability of such a power grid thanks to its virtual inertia feature. However, there still exist some issues that can be improved to enhance the capacity of VSG control. For instance, the transient stability of DG can be significantly improved if VSG control is capable of riding through a short period of transient disturbances such as balanced and unbalanced voltage sag. Furthermore, the existing VSG control is mainly designed for the traditional two-level inverter with an energy storage unit. Hence, it is challenging to implement VSG control in a system without energy storage units such as matrix converters (MCs), as the inertial power cannot be drawn directly from energy storage elements and instead needs to be provided by the input power control. In order to solve the aforementioned issues, studies on the implementation of VSG control using finite control set model predictive control (FCS-MPC) are conducted. In this dissertation, a novel FCS-MPC based method for VSG with fault-ride-through ability is proposed for two-level inverter-interfaced DGs, and a novel approach based on FCS-MPC scheme is introduced for the implementation of VSG controls in indirect boost matrix converter (IBMC)-interfaced DGs.</p> <p>This dissertation is organized as follows.</p> <p>In Chapter 1, the background of the research, concepts of power converter-interfaced DGs, their existing types of control methods, challenges in these technologies, and the objectives of this research are discussed. Principles and reviews of the state of the art of VSG control and FCS-MPC scheme are introduced in Chapter 2 along with their design procedures and control diagrams.</p> <p>In Chapter 3, the implementation of the two-level-inverter-based VSG using FCS-MPC is proposed. Simulation studies showed that the FCS-MPC based VSG inherits all the properties of the VSG. Moreover, the FCS-MPC-based VSG allows simultaneous control of voltage and current to grant the two-level inverter system with current limiting ability.</p> <p>In Chapter 4, other existing current limiting methods for two-level inverter-based VSGs are introduced, namely, the VSG with multiloop control and the VSG with virtual impedance current limiting. Several simulation and experimental studies validate the superior fault-ride-through capability of the proposed FCS-MPC-based strategy for both grid-connected and islanded operations in comparison with the other existing methods.</p> <p>The implementation of VSG control in the IBMC-interfaced DGs using FCS-MPC is studied in Chapter 5. Comparative simulation studies between the proposed control schemes and the existing method have demonstrated that the proposed grid-forming control scheme offers many advantages over the existing methods, which utilize a grid-following strategy. For instance, the proposed control scheme can operate in both grid-connected and islanded modes, is able to improve the quality of current waveforms significantly, and is capable of providing inertial power to the grid by dispatching active power from the input source. A scale-down experimental study is also conducted to validate the effectiveness of the proposed control scheme.</p> <p>The dissertation is concluded in Chapter 6, where future challenges and possible future works are also discussed.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (JONGUDOMKARN JONGGRIST)			
	(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、太陽光発電、燃料電池、風力発電などの新しい発電方式および電池電力貯蔵の導入拡大が行われているが、これらは直流から交流に変換するインバータや交流の周波数変換を行う周波数変換器を通して電力系統に接続される。このような半導体式の電力変換装置により電力系統に接続される電源が多くなってきた場合に、既存の回転型の同期発電機との協調を行いながら制御を行う必要がある。即ち、一般的に半導体式の電力変換装置は電力系統の電圧に PLL (Phase Locked Loop) などにより追従しながら電力指令値に従って制御を行うのがこれまでの一般的な方法であるが、このような方式では回転型の同期発電機の比率が相対的に下がってきた場合に、電力系統の安定的な運用や周波数制御が困難になって来る。そこで、半導体式の電力変換装置に同期発電機と同じような慣性力や同期化力を持たせる制御方式として仮想同期発電機制御がある。しかしながら、電力系統の事故時においては系統の電圧が低下し、電力変換装置が過電流となって停止することが予想される。そのような場合に備えて電流制御ループを内側に持たせる制御方式や仮想的なインピーダンスにより電流抑制を行う方式も存在するが、事故電流の抑制には十分な効果を発揮しない。半導体素子は過電流に対して脆弱であり、制御によって事故時の電流を抑制する必要がある。そこで、本研究においてはモデル予測多変数制御を用いて電力変換装置の出力電流とフィルタキャパシタの電圧を同時に制御する手法の適用について考察を行い、制御系を構築して計算機シミュレーションおよび実験装置によりその特性検証を行っている。次に、交流の周波数変換を行うマトリックスコンバータの制御について検討を行っている。マトリックスコンバータでは入力側（分散形電源側）と出力側（系統側）の電圧の関係において、分散形電源の電圧が系統電圧よりも低いことが通常であるため、分散形電源の電圧を昇圧する必要がある。従って、入力側回路が電圧形順変換器、出力側回路が電流形インバータ構成となる。また、回路内部には大容量キャパシタなどのエネルギー蓄積素子が存在しない。このような制約の下で仮想同期発電機制御の適用を考える必要がある。そこで本研究ではモデル予測多変数制御を用いて電力変換装置の出力電流とフィルタキャパシタの電圧を同時に制御する手法の適用を検討し、制御系を構築して計算機シミュレーションおよび実験装置によりその特性検証を行っている。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 仮想同期発電機制御を適用した電圧形インバータにおいて、モデル予測多変数制御を適用した制御系を構築している。評価関数をインバータの出力電流とフィルタキャパシタ電圧のそれぞれの指令値との偏差の二乗和とし、出力側の LCL フィルタにおける共振抑制制御も行っている。その結果、系統連系運転と自立運転のそれぞれのモードでの運転とスムーズなモード切り替え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。

- (2) 仮想同期発電機制御を適用した電圧形インバータにおいて、1) モデル予測多変数制御を適用した制御系、2) 電流ループを含む多重ループ制御系、3) 仮想インピーダンスによる過電流抑制制御系、の3つの制御方式について系統の線間短絡および三相短絡時の計算機シミュレーションおよび実験を行い、事故時の運転継続性能（FRT 性能）の比較を行っている。その結果、モデル予測多変数制御を適用した制御系において最も過電流が抑制され、優れた FRT 性能が得られることを示している。定常時の高調波については、モデル予測多変数制御を適用した制御系は他の方式に比べてやや高い値を示しているが、電圧・電流ともにひずみ率3%程度と良好な値を示している。
- (3) 昇圧型のマトリックスコンバータに仮想同期発電機制御を適用するためにモデル予測多変数制御による制御系を構築している。評価関数としては電圧形順変換器側では入力の有効電力と無効電力のそれぞれの指令値との偏差の二乗和とし、電流形インバータ側ではフィルタキャパシタ電圧と系統側電流のそれぞれの指令値との偏差の二乗和に加えて直流短絡を防止するために直流電圧がマイナスにならないように二値で変化する項を加えている。その結果、系統連系および自立運転いずれのモードでも動作し、また、モード切り替えがスムーズに行える制御系を構成できている。また、フィルタによる共振も十分に抑制され、実験においても出力電流波形のひずみ率が系統連系モードで5%、自立運転モードで2.5%と良好な値を得ている。このような特性はこれまでのパルス幅変調（PWM）制御による方法よりも優れた特性であることを示している。

以上のように、本論文は分散形電源に適用する仮想同期発電機制御の事故時の運転継続性能の向上や周波数変換回路であるマトリックスコンバータへの適用につい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。