



Title	Studies on Configuration and Control of High Voltage DC Transmission with Energy Storage Devices
Author(s)	Zarchi, Linn
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/59949">https://hdl.handle.net/11094/59949</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href=" <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> ">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

【23】

氏 名 ザーチ リン  
ZARCHI LINN  
博士の専攻分野の名称 博士 (工学)  
学位記番号 第 25637 号  
学位授与年月日 平成 24 年 9 月 25 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 Studies on Configuration and Control of High Voltage DC  
Transmission with Energy Storage Devices  
(エネルギー貯蔵装置を有する直流送電の構成と制御に関する研究)  
論文審査委員 (主査)  
教授 伊瀬 敏史  
(副査)  
教授 舟木 剛 教授 高井 重昌 教授 谷野 哲三  
教授 白神 宏之

#### 論文内容の要旨

In this dissertation, we developed the configuration of HVDC systems with SMES in DC link to compensate power fluctuation caused by renewable power source. In addition, power stabilization control for AC grid is proposed. PWM-based VSC-HVDC systems show many advantages compared to the thyristor based CSC-HVDC system. One prominent feature is that the VSC-HVDC system has the potential to be connected to weak ac systems where the CSC-HVDC system has difficulties. The author also proposed a

novel control method by virtual synchronous generator (VSG) for stabilization of weak ac system. VSC using VSG control behaves like a synchronous machine. The aim of this development is to realize power system stabilization in the case of power fluctuations caused by distributed generators and to maintain a secure power grid operation of weak ac systems. The outcomes of this study are summarized as follows:

- (1) To stabilize power flow in one terminal of HVDC systems which are interconnected to renewable energy sources in another terminal of HVDC link, incorporating SMES into DC link is very effective. The advantage of connecting SMES in DC link is that the independent power stabilization on both terminals of HVDC link can be accomplished by the common SMES.
- (2) The proposed control system for SMES is effective in power flow stabilization of both CSC-HVDC with series-connection and VSC-HVDC with shunt-connection. However, shunt-connection type leads the reduction of the cost of interfaces for power conversion. Moreover, shunt-connection type helps the system for reliability because the system can be divided into two sides independently and there is no affected manner in other side converter station. On the other hand, dc link capacitor voltage is at fixed value of high voltage dc line voltage in shunt-connection type. Therefore, the withstand voltage in design of SMES coil has to take into account in shunt-connection of dc link while the dc link capacitor voltage can be set at freely in series-connection type.
- (3) In order to fully utilize the potential of VSC-HVDC for a weak ac system, a novel control virtual synchronous generator (VSG) method for grid power stabilization is proposed. Conventional speed deviation method is also applied to verify the advantage of proposed new VSG method. Although both VSG and speed deviation control can stabilize grid power to avoid the influence of disturbance, VSG control is superior to the conventional speed deviation control because VSG can keep grid frequency to its nominal value without speed information from a generator. Moreover, VSG has virtual inertia which can enhance the system frequency in restoring to its nominal value. Therefore VSG can contribute to enhance the natural inertia response of the system.

This study can be continued in power system stabilization for both terminal grids of HVDC links by applying virtual synchronous motor (VSM) control in one converter station while applying virtual synchronous generator (VSG) control in another converter station.

The proposed system configuration of HVDC system with SMES connection in DC link has not existed in commercial operation. However, with the integration of renewable energy to the existing electrical grid and interconnecting power systems, this proposed configuration and control method will be utilized in power system utility in near future.

#### 論文審査の結果の要旨

本論文は、高圧直流送電 (High Voltage DC Transmission, HVDC) の直流側にエネルギー貯蔵装置を設置することにより再生可能エネルギー電源の出力変動を抑制するような装置構成とその制御方式についてまとめたものである。エネルギー貯蔵装置として、電力系統での利用を想定し、大出力の電力級放出が可能で、繰り返し充放電の特性に優れている超電導マグネット (Superconducting Magnetic Energy Storage, SMES) を用いて検討を行っている。交流と直流の変換をつかさどる交直電力変換器としては、直流送電や周波数変換所で一般的に用いられている他励式電流形交直電力変換器の他に、高調波フィルタや無効電力補償装置が不要で、近年直流送電として実用化例も現れている自励式電圧形交直電力変換器について検討を行っている。また、系統安定化制御方式として、仮想同期発電機 (Virtual Synchronous Generator, VSG) を用いた系統安定化制御を検討している。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) HVDCの直流側にエネルギー貯蔵装置を設置することは再生可能エネルギー発電の出力変動による系統の不安定性を解消するために効果的である。HVDCで連系された系統の送電側・受電側いずれの側における電力変動も1台の貯蔵装置により吸収可能である。このことによりHVDCの直流側に設置された共通のエネルギー貯蔵装置により送電側・受電側の両系統の安定化が可能である。

(2) エネルギー貯蔵装置として超電導マグネットを用いる場合、電流形交直電力変換器の場合は直流チャップ回路を通して直流線路に並列に超電導マグネットを接続するのに対し、電圧形交直電力変換器の場合は直流チャップ回路を通して直流線路に並列に超電導マグネットを接続する。直流線路に並列に接続する構成の方がエネルギー貯蔵装置を分散させ、全体の信頼性向上を図ることが出来ることや、電圧形交直電力変換器が自励式であるため、無効電力や高調波の問題が無い、といった点で有利である。しかしながら、エネルギー貯蔵デバイスである超電導マグネットに加わる電圧が直流送電の送電電圧になるため、超電導マグネットの電圧設計に注意を払う必要がある。

- (3) エネルギー貯蔵装置を有するHVDCによる系統安定化手法として、仮想同期発電機を用いた系統安定化制御を検討した。仮想同期発電機を用いることによる安定化効果を計算機シミュレーションで検証した結果、発電機の回転角速度を検出す方式と同等の安定化制御結果が得られることが示されている。仮想同期発電機を用いる方式の利点は発電機の回転角速度を検出す必要が無く、電力システムのように多数の発電機がある場合に有利である。

以上の研究成果より、エネルギー貯蔵装置である超電導マグネットをHVDCを構成する交直電力変換装置で共有し、再生可能エネルギー発電の電力変動による系統安定化を行う手法について、装置構成および制御系の構成が明らかとなつた。再生可能エネルギー発電の出力不安定性を解決する一つの手段として有用であると考えられる。

以上のように本論文は、HVDCにエネルギー貯蔵装置を接続することによって、再生可能エネルギー発電を多数含む将来の電力システムの安定化制御を行うために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。