



Title	交直連系系統における電力変換器制御の高性能化に関する研究
Author(s)	舟木, 剛
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3178739
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名	舟木 剛
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 15734 号
学位授与年月日	平成12年9月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	交直連系系統における電力変換器制御の高性能化に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 松浦 茂士
	(副査) 教授 熊谷 貞俊 教授 辻 肇一郎 教授 伊藤 利通 教授 佐々木孝友 教授 平尾 孝 助教授 伊瀬 敏史

論文内容の要旨

本論文は、厳しい系統条件下の電力システムに交直連系を適用する場合を想定し、交直変換器の運転性能向上のための変換器制御方式及び送電方式に関する研究を行った結果をまとめたもので、以下の6章より構成されている。

第1章では、交直連系に関する研究・開発の経緯について述べ、本研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では、コンデンサ転流型変換器による逆変換運転特性の向上を目的として、逆変換運転時の変換器及び定実余裕角制御モデルを開発し、実余裕角特性を明らかにしている。また、その結果を用いて電圧安定性の改善メカニズム及び補償度との関係について定量的な評価を行っている。更に、提案した定実余裕角制御方式の妥当性と適用の可能性を示すために、固有値解析・シミュレーションを行い、コンデンサ転流型変換器が有効に動作する補償度及び系統条件を明らかにしている。

第3章では、直流送電への自励式変換器の適用方式について検討し、この方式では、直流コンデンサの使用により直流線路での電流振動が発生しやすくなるため、ダンパ回路の適用を提案している。これによって損失を殆ど増加させることなく電流振動が抑制できることを明らかにしている。また、直流線路の固有振動周期が短くなるため、これに近い周期で制御された変換器の出力応答の離散的性質が制御安定性に大きく影響すること及び離散時間系での固有値解析を行うことで制御安定性判別のための解析精度が向上できることを示している。

第4章では、低周波ケーブル送電方式を提案し、固体絶縁ケーブルは、空間電荷の蓄積問題により直流送電に適用することが難しいことから、低周波送電方式を適用することで直流送電と同等の送電容量・距離を実現すると同時に、空間電荷蓄積問題が解決できることを示している。また、任意の潮流制御を行うための低周波の同期位相生成方式を提案し、周波数変換装置であるサイクロコンバータの対向構成で電力の送・受電が可能であることを明らかにしている。

第5章では変換器の運転に必要な高精度・高速応答の交流系統電圧位相検出方式として、改良型DFT方式を提案し、DFTによる電圧位相検出で、周波数が定格からはずれた場合に生じる誤差の発生過程を明らかにし、周波数を用いた誤差補正方式を提案すると共に、必要な周波数の検出精度・方式を検討している。また、種々の条件下での検出誤差の補正効果について定量的な評価を行い、精度良く位相検出が行えることを明らかにしている。

第6章では、本論文の結論について述べ総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

交流電力系統の連系に直流送電を用いることにより、大電力長距離送電、非同期連系、高速潮流制御及び短絡容量の増大抑制が可能となる。また、このような交直連系においては、電力変換器を使用するので系統の運用制御が容易になる。しかし、現在実施されている直流送電では、その心臓部に電源転流型サイリスタバルブ方式の電流型変換器を用いているので、無条件で交流電力系統と連系することはできない。

そこで、本論文では、交直連系技術の適用範囲の拡大を目的として、電力変換器とその制御の高性能化を中心に課題を設定し、以下のような研究成果を得ている。

- (1) 短絡容量の小さい弱小系統への連系を容易にする方式として、変換器用変圧器2次側に転流コンデンサを直列に挿入したコンデンサ転流型変換器の実余裕角制御方式を提案し、転流プロセスの定式化を行って実余裕角制御及び変換器の数値解析モデルを開発している。開発した実余裕角制御を用いる事により、転流コンデンサの補償度が200%以上において力率1運転が可能となり、無効電力消費問題が解消することを見出している。また、弱小系統連系時の電圧安定性及び制御安定性が向上し、補償度50%の低い補償でも従来より20%以上短絡容量比の小さい弱い系統の安定運転が可能となることを明らかにしている。
- (2) 軽負荷時での運転や無電源系統への送電において、安定な運転を保証するために、自己消弧素子を用いた電圧型自励式変換器の適用を検討し、直流線路の固有振動周期とデジタル制御系の制御周期が近いとき、直流線路の電流の振動が発生し、変換器制御のみではその振動を抑制することが困難であることを見出している。この問題を解決するために、直流線路にリアクトルと抵抗の並列回路からなるダンパ回路を直列に挿入することを提案し、変換器のデジタル制御系と合成した離散系での固有値解析を行うことによりその振動抑制効果を明らかにしている。
- (3) 交直連系のための海底ケーブル送電において、固体絶縁のXLPEケーブルを直流ケーブルとして使用すると絶縁体内に空間電荷が蓄積し、絶縁性能が低下することを調査により見出している。この問題の解決をはかるため、電力変換器として周波数変換器の一種であるサイクロコンバータを使用し、空間電荷を生じない商用周波数より低い低周波領域で電力ケーブルを運転する低周波ケーブル送電方式を提案している。低周波ケーブル送電方式では、商用周波交流ケーブル送電では不可能であった500kV、100kmの送電を可能とし、直流送電とほぼ同じ送電容量を確保できることを明らかにしている。また、サイクロコンバータを適用した時の潮流制御が基準電圧位相の設定と端子制御により可能であることをシミュレーションによって示し、その動作が安定であることと低周波1サイクルでの高速起動が可能であることなどを明らかにしている。
- (4) 出力や周波数変動の激しい風力発電のような電源が系統に連系される場合を想定し、電力変換器の動作基準位相を高速かつ正確に定める事を目的とした実時間DFTによる位相検出法及び交流周波数を用いる検出位相誤差の補正方法を提案している。提案方式では、周波数の算出誤差を小さくすることが重要な、DFTによる検出位相の差分方法において、最適差分間隔で求めた周波数で検出位相を補正することにより検出精度が15倍以上向上し、実用的に十分な性能であることを見出している。

以上のように、本論文は、電力系統における交直連系の適用範囲の拡大の必要性を述べるとともに、特に電力変換器方式とその制御の問題に着目し、独自に提案、開発したコンデンサ転流型変換器の実余裕角制御方式、ダンパ回路を付加した電圧型自励式変換器とそのデジタル制御系、低周波ケーブル送電方式と潮流制御及び高速高精度の電圧位相検出法が交直連系の適用範囲の拡大に有効であることを明らかにしており、電力工学とパワーエレクトロニクス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。