

審査の結果の要旨

博士論文提出者 馬場旬平

本論文は「Inverter-Converter Bridge (ICB)エネルギー転送回路を利用した超電導マグネット励磁電源システムの研究」と題するものであって、パルスマグネット用電源として考案された ICB エネルギー転送回路の不安定動作を理論的に解明し、その対策を考案し、実験的にもその有用性を示すと共に、超電導エネルギー貯蔵装置の電力変換器としての応用を実証し、さらにその設計に関わるシステム的な問題を解決したものであり、6章から構成される。

第1章は序論であり、超電導マグネット応用の現状を概観し、その電源のあり方を調査している。大容量電流源としての特徴を有する超電導マグネットに対する電源として ICB エネルギー転送回路の適用を提案すると共に、その問題点を概観し本論文の目的を述べている。

第2章は「ICB エネルギー転送回路の基本動作特性」と題し、その基本特性の解析解を導き、その結果、ICB エネルギー転送回路の交流リンク部には三相回路を適用することが望ましいと指摘している。解析結果より電圧リップルの大きさを低減する運転法が導き出され、運転点の決定法を述べている。また、交流電圧源の存在しない ICB エネルギー転送回路における点弧パルス発生法を示し、次章以降の考察の基礎となる理論・制御法について述べている。

第3章は「位相角によるリップル低減制御時の動作不安定問題と解決法」と題し、エネルギー転送回路の実験における位相角制御不能の原因を理論的に考察した結果を述べている。理論的か実装上の問題か不明であった位相角によるリップル低減制御の実験上の不安定動作に対して、実験結果を整理することにより動作停止に陥る直前にバイパスペア、転流重なりおよびスルーモードの三通りの問題が発生していることを指摘し、不安定動作はこれらの現象がリップル低減開始、リップル低減中及びリップル低減終了の三通りの状態で発生し、それらが確率的に発生することにより複雑な不安定動作を起こしていたことを明らかにしている。不安定性の解析結果よりリップル低減開始時の問題に対しては特定のモード変化を禁止する手法が有効であることを示している。またリップル低減中の問題に対しては運転可能領域の制約を表す式に新しい項を追加し、またリップル低減終了時の問題に対しては強制的に安定なモードを点弧する手法が有効であると示している。これらの対策法を提案し、実験においてその有効性を実証したことを述べている。提案手法によって ICB エネルギー転送回路の位相角によるリップル低減が安定に動作することを示している。

第4章は「バッファマグネット電流制御を利用した系統連系点電力制御」と題し、超電導エネルギー貯蔵装置の電力変換器に ICB エネルギー転送回路を応用した励磁電源システムにおける有効・無効電力制御について述べている。ICB エネルギー転送回路を利用するこ

とにより系統連系変換器に通電する電流を任意の値に設定可能であり、有効・無効電力の制御範囲を格段に広くする手法を提案している。制御系を設計し、系統連系変換器に他励式6パルス変換器を利用した実験装置を用い、蓄積エネルギーを一定に維持しつつ有効・無効電力を任意の値に変化させることに成功し、提案手法の有効性を実験的に示している。

第5章は「ICB エネルギー転送回路の設計」と題し、ICB エネルギー転送回路を利用したシステムにおける設計及び運転に関する知見を述べている。ICB エネルギー転送回路を利用するとバッファ電流を任意の値に変更可能であるが、転送電力および系統連系点電力による制約があり、不安定性が表れることを示す共に、制御階層構造における制御周期についても議論し、不適切な制御周期による動作不安定性について言及し、ICB エネルギー転送回路を適用したシステムの設計に必要な制約項目についてまとめている。

第6章は結言であり、本研究で得られた成果をまとめている。

以上これを要するに、本論文は動作が不安定であった ICB エネルギー転送回路を理論的に考察し、その対策を提案すると共に安定な動作の ICB 転送回路を実験的に構築し、さらにそれを超電導エネルギー貯蔵装置の電力変換器に適用することにより有効な電力制御が行えることを示し、その設計・制御に関する知見を与え、ICB エネルギー転送回路の実用化への道を開いたものであり、これらの成果は電気工学、特に電力工学、パワーエレクトロニクス、超電導工学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。