

京都大学	博士 (工学)	氏名	村川 悠磨
論文題目	Application of Passivity-Based Control to Series-Parallel Connected DC-DC Converters and their Circuit Characteristics (直並列接続された電力変換器に対する受動性に基づく制御の適用とその回路特性)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、受動性に基づく制御を適用した電力変換器を直並列に接続した回路について、その漸近安定性および制御性能の観点から検討を行ったものである。異なる種類の電力変換器を直並列接続した回路が各変換器に対する受動性に基づく制御により漸近安定となることを理論的に示し、それを数値的に確認すると共に実験的に検討している。また、個別の電力変換器の受動性に基づく制御による定常特性および過渡特性を解析し、それを直並列接続した電力変換器間の協調的な運用に応用する。本論文は6章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、研究の背景、意義、関連研究の状況を述べている。電力変換器の直並列接続に着目した先行研究において、特に制御手法や構成の拡張性が課題となっていることを指摘している。また、受動性に基づく制御がその解決策となる可能性について言及している。</p> <p>第2章では本論文の内容に関する基礎的な概念や定理について説明している。受動性の定義、ポートハミルトン系の定義、リアプノフの安定理論について説明した後、受動性に基づく制御を適用した電力変換器のモデルを導出する。また、より発展的な制御手法として、受動性に基づく制御に適応制御と非干渉制御を導入する。さらに、これらの制御手法を適用した電力変換器に関して、数値計算により制御特性を評価する。</p> <p>第3章は、出力側を直並列接続し、受動性に基づく制御を適用した電力変換器に関する理論的検討を行っている。まず、受動性に基づく制御を適用した電力変換器を直並列接続した回路は漸近安定となることを理論的に示す。次に、単体の電力変換器を表すポートハミルトン系に対し、変換器間の相互作用を表す新たな外部入力項を追加する。この外部入力に対して回路的な制約を与え、直並列接続された電力変換回路を表現する。これより、電力変換器の任意の直並列接続はポートハミルトン系で表され、各変換器に対して受動性に基づく制御が適用されると漸近安定となることを理論的に示す。さらに、直並列接続されたブースト、バック、バックブーストコンバータ回路に関してシミュレーションを行い、構築した理論の妥当性を数値的に確認している。</p> <p>第4章では、ブーストおよびバックコンバータを出力側において並列接続した回路における受動性に基づく制御に関して、数値的に確認すると共に実験的にも検討する。まずブーストおよびバックコンバータの並列回路をポートハミルトン系としてモデル化し、受動性に基づく制御を適用した場合の漸近安定性を理論的に検証する。次に、実験に用いる回路や制御系の設定を反映した数値計算を行い、定常状態における誤差やリップル等の影響、整定時間やオーバーシュート等の過渡特性への影響について数値的に評価し、適用する制御のフィードバックゲインを決定している。最後に得られた制御係数を用いて実験的に検証し、数値計算と実験結果の一致を確認している。</p> <p>第5章は、電力変換器を出力側にて直並列接続した回路を対象に受動性に基づく制御</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	村川 悠磨
<p>を用いた協調的な出力制御の方法について検討している。複数の種類の電源を入力とする直並列された電力変換回路において、入力、負荷、目標状態の変動に応じて各変換器の入力や変換器間の電力供給割合を調整することが求められる。第2章で導入した受動性に基づく制御に適応制御や非干渉制御を加えた直並列接続された各電力変換器を数値的に検討し、負荷や目標値の変動に自律的に出力電圧や漸近安定性を維持できることを確認している。さらに、検討した電力変換回路および制御系を設計・製作し、実回路において理論的に検討した実験回路および制御系を実装した。以上を通して、電力変換器を出力側にて直並列接続した回路に受動性に基づく制御を用いて協調的な出力制御が実現可能であることを示している。</p> <p>第6章は、本論文の結論であり、本研究の今後の展望について述べている。</p> <p>本論文は、受動性に基づく制御法を適用した電力変換回路に関して、その漸近安定性を理論的に明らかにすると共に、数値的に検証した上で、電力変換機を直並列した電力変換回路に適用できることを実験的に示し、制御特性を明らかにしている。本論文に得られた結果は、理論的考察の拡張性と実験系の実装可能性の検討から、当該分野の発展に大きく寄与するものである。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、受動性に基づく制御を適用した電力変換器の直並列接続に関して検討したものである。直並列接続された電力変換器の受動性に基づく制御に関する一般化を行い、その制御法の有効性を数値的および実験的に確認した。本論文により得られた主な結果は以下の通り要約される。

1. 電力変換器の受動性に基づく制御の前提となる概念や定理について整理し、主要な直接変換 DC-DC コンバータであるブースト、バック、バックブーストコンバータに対して、各々の受動性に基づく制御則を導出した。また、それらの制御特性を数値的に解析し、フィードバックゲインの決定方法を示した。
2. 電力変換器の受動性に基づく制御に対して適応制御と非干渉制御を加え、その漸近安定性や過渡特性について数値的に確認した。さらに、これらの特性が直並列接続時した回路においても保持されることを数値的に示した。
3. ポートハミルトン系に外部からの相互作用を表す項を導入し、出力側で直並列接続された電力変換器に対して受動性に基づく制御を適用することで、漸近安定が保証されることを理論的に示した。ブースト、バック、バックブーストコンバータの直並列回路に関する数値計算を行い、理論の妥当性を確認した。
4. ブーストおよびバックコンバータを出力側で並列接続した回路に対し受動性に基づく制御を適用し、その漸近安定性を数値的および実験的に確認した。数値計算では、過渡特性のフィードバックゲイン依存性に関して検討し、実験ではその結果に基づきフィードバックゲインを決定した。また、実験と数値計算で得られた波形を比較し、漸近安定性や特性の一致を確認した。
5. 電力変換器の直並列回路に対して、受動性に基づく制御を用いた協調的な出力制御について検討した。数値計算により、受動性に基づく適応制御や非干渉制御を組み合わせることで、負荷変動等の外乱に対し自律的に出力電圧の維持や電力の融通が可能であることを確認した。また、検討した電力変換回路および制御系を設計・製作し、実験回路および制御系を実装した。以上を通して、電力変換器を出力側にて直並列接続した回路において、協調的な出力制御が実現可能であることを示した。

上記のように本論文では、受動性に基づく制御を適用した電力変換器の直並列接続について、理論検討に基づいて数値的に検証し、また電力変換器を直並列接続した電力変換回路および実験系が実現できることを示した。得られた成果は、回路理論およびその実現において、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年1月16日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日： [令和5年 6月 23日以降](#)