

論文内容の要旨

氏名 比嘉 隼

近年，地球温暖化および化石燃料の枯渇の問題に対して，再生可能エネルギーの導入および省エネルギー化が求められている。この要求を満たすために，配電システムを直流で構成する直流配電システムが盛んに検討されている。直流配電システムでは従来の交流配電と比べて交流から直流に変換する電力変換器を削減できるため，システム効率が改善できる。また，導入数が多い太陽電池や再生可能エネルギーの発電電力の変動を補償するバッテリーは直流出力となるものが多いため，直流配電システムには直流から直流に変換する DC-DC 電力変換器が必要となる。

DC-DC 電力変換器の一方式として，Dual Active Bridge (以下，DAB)コンバータの適用が検討されている。しかし，DAB コンバータには直流電圧変動に対して損失が増加する問題がある。従来，複数のモードを電圧および負荷に応じて切り替えることで損失の低減が図られていた。しかし，モード切り替え時に発生するトランス電流の直流重畳によって過渡動作時の損失が増加する問題があった。直流バスには様々な負荷が接続されるため，電圧変動や負荷変動によって過渡動作の頻度が多くなる。そのため，過渡動作時の損失も低減する必要がある。

本論文では，定常動作時および過渡動作時の損失を考慮した「瞬時損失」を最小化する DAB コンバータの駆動法を提案する。提案手法では DAB コンバータの駆動に使用するキャリアと同期して複数のモードを切り替えることで，電圧変動時の効率改善だけでなくモード切り替え動作中の瞬時損失も最小化可能である。

第 1 章では，これまでに示した研究背景および現状の DAB コンバータの問題点から瞬時損失低減の必要性を述べる。

第 2 章では，これまで提案されてきた DAB コンバータの回路方式および駆動方式について述べ，従来手法では瞬時損失が十分に低減されていないことを示す。次に，この課題を解決するために，本論文では「DAB コンバータの瞬時損失最小モード切り替え法」を提案する。本手法は電圧変動に対して複数のモードをキャリアと同期して切り替えることで，瞬時損失の最小化を実現できる。最後に，瞬時損失の観点から従来手法と提案法を比較し，本研究の位置づけを示す。

第 3 章から 5 章では，瞬時損失最小モード切り替え法を適用する具体的な回路方式および駆動方式を述べる。また，提案方式による効果について，試作器を用いた実機検証により明らかにする。

第 3 章では，高い直流電圧での駆動に着目し，瞬時損失最小モード切り替え法を適用したフライングキャパシタ(以下，FC)DAB コンバータを提案する。本方式はマルチレベルトポロジーの一方式である FC 方式を採用することで，スイッチング素子の低耐圧化に伴う低オン抵抗化が可能である。そのため，直流電圧が高い条件において優位性がある。この方式はフライングキャパシタ形のレグにより 3 種類のモードを負荷および電圧に対して切り替えることで高効率化を達成する。さらに，提案手法を適用することで，瞬時損失増加

の原因であるモード切り替え動作中のトランス電流の直流重畳を抑制できる。最後に、1kWの試作器を用いた実験により電圧変動時の効率改善および瞬時損失の最小化を達成できることを明らかにする。

第4章では、重負荷時の通過素子数削減に着目し、瞬時損失最小モード切り替え法を用いた1レグT形DABコンバータを提案する。本回路方式では1レグT形インバータにより、電圧振幅が異なる2種類の方形波電圧を出力できる。提案法では出力できる2種類のモードを負荷や電圧条件にしたがって、T形レグのキャリアと同期して切り替えることで定常損失のみならず、瞬時損失も最小化可能である。また、モード切り替えのシームレス化を実現する電圧制御系を検討する。最後に1.5kWの試作器を用いた実験およびシミュレーションにより、瞬時損失の最小化が達成できることを示す。

第5章では、瞬時損失最小モード切り替え法を適用した等価パラメータ切り替え方式DABコンバータを提案する。この方式は高周波トランスの励磁インダクタンスによって高効率となる電圧および負荷条件が異なることを利用し、補助回路を用いて等価的な励磁インダクタンスを負荷および電圧に対して切り替えることで高効率化を達成する。さらに、DABコンバータを駆動するキャリアに同期して等価励磁インダクタを切り替えることで等価励磁電流の直流重畳を抑制する。瞬時損失の最小化を達成する。最後にシミュレーションおよび実験により、提案法を適用した等価パラメータ切り替え方式により瞬時損失を最小化できることを明らかにする。

第6章では、本論文の有用性と各章で提案した回路方式および駆動方式の総括を述べ、今後の課題について述べる。