

松本拓望, 鈴田高登, 梶原一宏, 黒川不二雄

(長崎総合科学大学)

1. はじめに

データセンタの新增設に伴い, 2030年にはデータセンタ単体での電力需要が現在の9倍以上に増加すると予測されている[1]. このような背景から, 直流給電システムに用いられるDC-DCコンバータにおいて, 低損失化の要求がより一層高まっている. 図1にデータセンタにおける直流給電システムの構成を示す. データセンタ内のサーバ用DC-DCコンバータは, 冗長性確保のため複数台を並列接続する構成である. しかし, 軽負荷領域においては出力電力に対する損失が占める割合が増加し, 電力効率の低下を招くという課題がある. この課題を解決するために, 負荷状況に応じて稼働するDC-DCコンバータの台数を切替える制御手法が有効である.

そこで本稿では, 4並列接続DC-DCコンバータにおいて, 負荷に応じた適切な稼働台数切替制御が損失に与える影響について検討したのでその成果を報告する.

2. モデル化および台数切替制御

図2に位相シフトフルブリッジコンバータの回路図を示す. 本回路はスイッチング損失を大幅に低減でき, 高効率化に適しているという特徴を有する. 定格2000Wの試作機を1台製作し, 一次側のスイッチにはGaNFETを適用した. その結果, 負荷率50%時に最大効率96.8%を達成した. 本試作機を用いて, 各損失データを詳細に解析した. 負荷率50%時における損失の割合はトランス T_r における損失が15.7%を占め, Q_1 から Q_4 における損失が21.0%, そして Q_5 および Q_6 における損失が28.0%を占めていた. 得られた結果を基に, 回路シミュレータPLECSを用いて, シミュレーションモデルを構築した. 図3に1台構成における試作機およびシミュレーションモデルの損失比較を示す. 出力電力が600W以上の領域では試作機とシミュレーションモデルの損失特性が良好に一致していることが確認できた. このようにモデル化することで, 多様な動作条件における損失推定や, 並列運転時の台数切替に伴う損失予測が可能となる. 本研究では, 構築した1台のシミュレーションモデルを用いて, 1台から4台におけるそれぞれの損失特性を推定した. この結果に基づき負荷に応じた稼働台数切替制御の検討を行った. 稼働台数切替点は, $n-1$ 台と n 台における損失特性の交点とした. なお試作機や損失データの詳細は本発表時に示す.

3. シミュレーション結果

今回のシミュレーションにおけるDC-DCコンバータ1台当たりの回路パラメータは, 入力電圧 V_i は380V, 出力電圧 V_o は12V, 定格出力電流 I_o は165A, 定格出力電力は2000W, スイッチング周波数は125kHzである. 図4は台数切替制御を適用した際の損失特性を示す. 台数切替制御を適用することで, 台数切替制御非適用の場合と比較して, 負荷800Wから2400W程度の領域において損失低減効果が確認できた. 出力電力が2400W時においては, 損失が89.6Wから81.2Wへ低減することができた. また, 出力電力が800W時には, 62.8Wから27.2Wへ損失を低減することができた. この時の損失改善率は56.7%であり, 効率は92.6%から96.6%へ改善された. 以上より, 並列接続DC-DCコンバータにおいて, 負荷に応じた適切な稼働台数切替制御を適用することで, 軽負荷領域において最大56.7%損失が減少することを確認した.

参考文献

- [1] 資源エネルギー庁: “エネルギー白書2025,” 令和7年6月13日

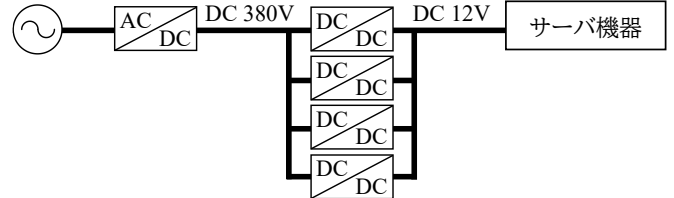


図1 データセンタにおける直流給電システム

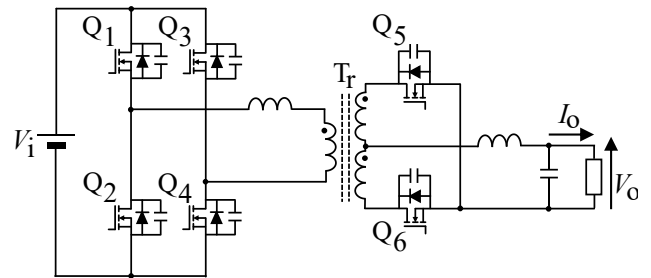


図2 位相シフトフルブリッジコンバータ

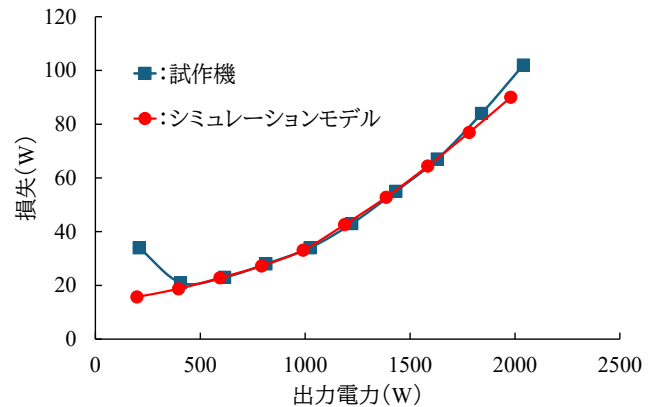


図3 試作機およびシミュレーションモデルの損失比較

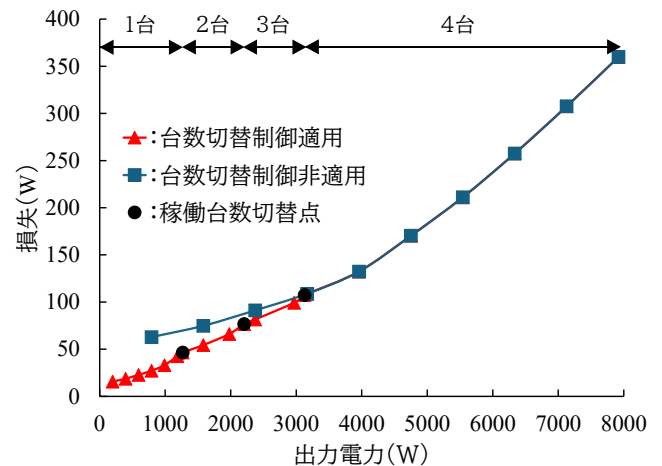


図4 台数切替制御を適用した場合の損失特性