

小型スイッチング電源モジュールとその並列運転に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科
山田谷 政幸

電子機器は豊かな人間社会の発展に大いに貢献しており、現在では人間社会には絶対に欠かせないものとなっている。近年、電子機器は急速に高性能化、高機能化の一途を辿っており、さらにその重要度は増してきている。これらの電子機器の高性能化を担っているのは主にプロセッサと呼ばれる大規模半導体集積回路である。半導体集積回路はその加工寸法を定めるプロセス・ルールを微細化することで進化を続けていると同時に、駆動電圧の低電圧化と大電流化を伴っている。以上から、電子機器の高性能化、高機能化は、電源回路に対する低電圧化、大電流化の要求の流れであると解釈できる。またこれらの機器の大きさについては、現状よりもさらに小さく、さらに軽くすることが社会的ニーズであり、電源回路についても小型・軽量化を求められている。

これに加え、近年社会的要求の高まっている地球温暖化に対する環境対応において、省エネルギーの観点から、パワーエレクトロニクス技術の重要度は益々増してきており、特に電源回路においては高効率化、すなわち電力損失の低減が最も重要な技術的焦点となっている。この実現のための技術的アプローチは大きく分けて、回路トポロジー、デバイス、制御方法、の3つが挙げられる。

さらに低電圧、大電流化による電源回路の技術的難易度の高まり、機器数の増大およびモデルチェンジの頻繁化により、電源回路の設計工数は増加しており、限られた人的リソースの中での生産活動のネックとなりつつあり、電源回路の使いやすさも重要な要素として挙げられる。

本研究では特に、制御面からのアプローチによる高効率化、小型・軽量化、そして使いやすさに大きな特徴を持つ電源システムの構成を実現することを目的とし、並列運転による高効率化、並列運転に用いる電力変換部分のモジュール化、そして上記の組み合わせによる電源システムの最適化、という一連の提案を行った。

具体的には電力変換を行うパワーステージをモジュール化し、これを並列運転することで、大電流供給時の損失低減を図ることで高効率化を実現し、さらに負荷の大きさに応じて常に最高効率で動作させるために、並列運転数を切り替えて効率の最適化を図ることを提案した。

第1章は緒言であり、電子機器の進展およびこれらに使用する半導体集積回路の微細化と高機能化が低電圧、大電流を必要としている技術的動向と背景を説明し、電源回路として大電流化に対応する手段として、電源回路のパワーステージの並列運転が高効率化に大きな効果があることを示し、電源回路をモジュール化して並列運転に適用することで、高効率、小型でかつ使いやすい電源システムの実現の可能性を示した。

第2章では、パワーステージのモジュール化に着目し、組み込み型インダクタを使用した昇圧型 DC/DC コンバータ・モジュールの提案を行った。インダクタを母材として IC チップと一体化した昇圧コンバータ・モジュールを構成することで、シリーズ・レギュレータ並みの使い勝手の良さで、かつ電源性能を満足する結果が得られた。モジュールのサイズは $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times 0.9\text{mm}$ 、出力は 0.5W で、開発時点で世界最小のインダクタ内蔵電源モジュールを実現した。インダクタ値は小型化したことで制約があることから、高周波動作が必要となるため電流検出については増幅器を用いない新方式を考案し、 2MHz 動作に対応した。これにより並列運転に必要な小型・軽量化、高効率化、そして使いやすさを実現する電源モジュールの実現の目途付けができた。

第3章では、電源回路の並列運転において、軽負荷から重負荷まで、常に最高効率で動作させるために、並列運転数を切り替えることで効率の最適化を行う手法について提案を行った。この中で、電源回路の電力損失は負荷電流をパラメータとする二次関数に近似できることを新たに提案し、この二次関数を基に効率を最適化する並列運転数の切り替え点を計算で求めることができることを示した。そしてその切り替え点は $\pm 20\%$ 程度のばらつきが生じた場合でも、効率の低下は 0.5% 程度にとどまり、十分に実用的であることを確認した。これにより、並列運転数を負荷に応じて切り替えることで効率を最適化する具体的な方法の有効性が示された。

以上、スイッチング周波数 2MHz 、出力 0.5W の昇圧型小型電源モジュールを大きさ $2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times 0.9\text{mm}$ 、最大効率 93% を実現した。また小型電源モジュールの並列運転に際し、その数を切り替えて効率を最適化する手法と、それによる電源の高効率化、小型・軽量化、設計の簡単化等の可能性を示すことができた。

