

擬似共振方式電源の最適化と高性能化に関する研究

長崎大学大学院生産科学研究科 城山 博伸

各種電子機器を動作させるには、それぞれの機器に適した電圧・電流を供給する必要がある。これを供給するのが、電源回路である。電源回路に求められる要求事項は、その適用される分野により様々ではあるが、総じて言う共通して、低損失(高効率)、低ノイズ、小型、軽量、低価格などである。近年、特に低損失・低ノイズという要求を実現するために、ソフトスイッチングを用いた電源回路が数多く研究され、提案されている。一方で、これらの電源回路では、補助スイッチのためのスイッチ素子や、共振のための部品の追加が必要となり、回路が複雑になってしまう一面がある。

このような中、比較的簡単な回路システムで、ソフトスイッチングを実現するための一つの手法に、フライバック方式の擬似共振回路がある。本研究は、スイッチング電源に求められる要求について、これを解決する一つの手法であるフライバック方式の擬似共振回路に着目し、ノイズと効率の面からその特性の解析を行い、最適設計の指針を示した。また、さらなる高性能化を図るため、共振コンデンサを分割する方法を提案し、その動作の解析と実験による確認をおこなった。

本論文は、全5章で構成されており、その内容は以下の通りである。

第1章は、緒言であり、スイッチング電源の低損失、低ノイズ、小型・軽量化に有効な、ソフトスイッチングについて、これまで研究されてきた方式について整理した。電圧共振、電流共振、部分共振、複合共振など各種方式が提案されている。これら方式は、高効率・低ノイズという特徴を持つが、部品点数が増えるなどの一面を持つ。このような観点から、回路構成が簡単で、小型・低価格であるフライバック方式の擬似共振回路を提案し、本研究の背景について述べた。

第2章は、ソフトスイッチング方式の一つであるフライバック方式の擬似共振回路において、効率と伝導ノイズの面から最適化設計のための検討を行った。ターンオンに関し、完全なゼロ電圧スイッチングを行うと、スイッチ素子に加わる電圧は大きくなる。このため耐圧が高くオン電圧の高い素子を用いる必要があり、効率の低下につながる可能性がある。そこで、ゼロ電圧スイッチングの場合と非ゼロ電圧スイッチングの場合に、波形解析ならびに実験データを用いてノイズと効率を比較した。その結果、伝導ノイズに関しては、両者に違いはなく、耐圧が低くオン電圧の低い素子を使える分だけ、非ゼロ電圧スイッチングを用いた方が、効率が高くなるという結果が得られた。今回試作した電源においては、非ゼロ電圧スイッチングの擬似共振方式で共振コンデンサを1000pF以下とする方がよく、470pFのコンデンサを用いた場合に、最大で88%の効率を得られた。

第3章では、第2章と同じく、フライバック方式の擬似共振回路において、30MHz以上の放射ノイズに関しスイッチング波形の周波数解析と効率の解析を行い、最適設計の指針を導いた。波形解析は、スイッチ素子の電圧波形にFFT解析を適用して行った。ノイズの測定と波形解析の双方の結果から、放射ノイズに関しても、ゼロ電圧スイッチングと非ゼロ電圧スイッチングとの間に大きな差はなく、非ゼロ電圧スイッチングの擬似共振方式を用いたほうが、同程度のノイズで効率を高くすることができることが分かった。

第4章では、擬似共振回路をより高性能とするため、共振コンデンサを 1 次と 2 次を分割する方法を提案した。共振コンデンサを分割し、トランスの 1 次と2次に配置することで、より効果的にスイッチ素子に加わるサージ電圧を抑制することができる。この方法について、まずシミュレーションを含めた解析を行った。その結果、共振コンデンサを分割することで、スイッチ素子がターンオフした直後に、トランスの励磁インダクタンスに流れる電流が 1 次側と 2 次側の分割した共振コンデンサに分流する。分流した結果、トランスのリーケージインダクタンスに流れる電流が減少し、直後に発生するサージ電圧を低く抑えることができることが明確にできた。

さらにこの提案した回路を試作し、実験でその効果を確認した。実験の結果、解析結果と同様に良好な結果が得られ、共振コンデンサを分割する方法で、サージ電圧を抑制する効果を確認できた。今回の検討では、スイッチ素子に加わる電圧を最大で 26%削減することができた。同時に効率を改善する効果も得られ、今回の実験では、1%の効率改善ができた。

第5章は以上を総括し、結論としてまとめた。