

電圧共振型フォワードDC-DCコンバータに関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 太田, 幸宏 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1423

氏名・(本籍)	太 田 幸 宏 (静岡県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	工博甲第 238 号		
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 23 日		
学位授与の要件	学位規程第 5 条第 1 項該当		
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子応用工学		
学位論文題目	電圧共振形フォワードDC-DCコンバータに関する研究		
論文審査委員	(委員長)		
	教授	篠原茂信	教授 浅井秀樹
	教授	杉浦敏文	助教授 村上健司
	教授	渡邊健蔵	

論 文 内 容 の 要 旨

近年の電源を取り巻く状況は劇的に変化した。集積技術の向上により回路構成素子のオンチップ化が顕著になり、電子機器全体の電源部分が占める体積が増大している。そのため、この部分の小形軽量化の要望が大きくなっている。また、1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議では、日本における温室効果ガスの削減に関して省エネルギー技術などで賄う割合は大きい。一般家庭への電子機器の著しい普及から、電源の省エネルギー化の要求が厳しくなっている。

電源の課題として、高効率化、力率改善、小形軽量化、EMI対策、安定化がある。

高効率化、および、力率改善は省エネルギー技術に関連する項目である。簡単に説明すると、高効率化は電源内部の電力損失について、力率改善は電源外部、送電線での電力損失についての省エネルギー技術である。日本は資源が乏しいため、省エネルギーは資源確保、および、エネルギー確保のため国家的なテーマである。また先に述べたように、省エネルギーは温室効果ガス削減に大きく寄与する。そのため、高効率化、および、力率改善は最優先のテーマといえる。小形軽量化は集積技術の向上がもたらしたテーマである。電子機器の携帯化により、機器全体に占める割合が顕著な電源の小形軽量化要求が大きくなるのは必然である。この小形軽量化に有効な方法は、回路の動作周波数を高周波化することである。電源回路に占めるエネルギー蓄積素子の割合は大きく、特に、トランスのサイズ、および、重量はかなり大きい。エネルギー蓄積素子の容量は動作周波数を高周波化することで小さくできる。そのため、小形電源としてスイッチングレギュレータが採用される。

スイッチング電源の特徴は小形軽量だけではなく、高効率な電源でもある。シリーズ形、および、シャント形というドロップ方式のレギュレータは、必要電力以上の電力を入力し、余剰電力は熱として電源外部に放出する。そのため、効率は30~60%と低い。また、発熱による周辺回路への影響も考慮する必要がある。スイッチングレギュレータはスイッチの開閉により必要電力だけを獲得するため、発熱もほとんどなく、効率も70~85%と高い。しかし、高速でスイッチングを行うため、EMI (Electromagnetic Interference)対策が必要となる。スイッチでのノイズ、および、損失低減の解決方法として、ソフトスイッチング技術が開発された。これはインダクタとキャパシタをスイッチに付加することで共振スイッチをスイッチングレギュレータのスイッチと置換し、スイッチに加わる電圧、または、電流波形を正弦波状になませることで、スイッチング時の電圧波形と電流波形の重なる部分を減少させスイッチング損失を低減する。また、電圧、および、電流波形を正弦波状になませることで、高調波成分も低減し、EMI対策にもなる。最後に安定化について、入力の変動、または、負荷の変動に対して電源が一定の電圧を供給することが可能であるという、レギュレータとしての最低限の機能である。一般にスイッチング電源の場合、出力電圧の制御はスイッチング信号を変更することで行う。変調方式により、パルス幅変調(PWM)と周波数変調の2つに分類できる。共振形レギュレータの場合、ゼロ電流スイッチング(ZCS)、または、ゼロ電圧スイッチング(ZVS)を確実にを行うため、オン時間、または、オフ時間のどちらかを固定しスイッチング周波数を変化させる周波数変調方式を採用する。

本論文では、一石式絶縁型電源として、バック・フォワード縦続電圧共振形電源とフライバック・フォワード複合電圧共振形電源を提案する。両電源とも、フォワードコンバータがベースになっている。フォワードコンバータはトランス2次側巻線が複数になった場合、インダクタとフライホイールダイオードから構成されるバックコンバータ部が重複する。特にインダクタはサイズ、重量ともに大きいため、電源の小型軽量化の弊害となる。そこで、バックコンバータ部をトランス1次側に置換し、インダクタとフライホイールダイオードの重複を避けた電源方式が提案する電源である。また、スイッチがオフ時にトランス1次側巻線がインダクタとして機能することを利用して、キャパシタをスイッチに並列に接続して電圧共振回路とし、ソフトスイッチングを実現する。そして、試作電源からスイッチング信号のデューティ比による出力電圧の制御性と電源の変換効率を検証し、オフライン電源として有効であることを示す。

第1章では、近年の電源を取り巻く状況について、第2章では、スイッチング電源とソフトスイッチングについて述べる。電子機器の普及は電源に対する要求をより複雑化している。その要求は、高効率化、力率改善、小型軽量化、EMI対策、安定化である。高効率化と力率改善は省エネルギーに関連するものである。高効率化は電源内部の、力率改善は電源外部、送電線での電力損失に対する要求である。小型軽量化は集積技術の向上がもたらしたものである。電子機器全体に占める電源部分の割合は大きく、電源の小型軽量化は強く要望されている。電源の小型軽量化に有効な方法は、回路の動作周波数を高周波数化することである。そのため、小型電源にはスイッチングレギュレータが採用されている。しかし、高速でスイッチングを行うためノイズの発生が伴う。そこで、スイッチに加わ

る電圧、または、電流波形を正弦波状になまらせてスイッチングを行うソフトスイッチング技術が開発された。この技術は高調波成分の除去だけではなく、スイッチング損失をかなり低減し、高効率化を実現する。また、入力電圧の変動や負荷の変動に対して出力電圧を一定に保つ安定化も重要である。一般にスイッチング電源はスイッチング信号により出力電圧を制御する。スイッチング信号の変調方式はパルス幅変調と周波数変調があり、共振形電源では、オン時間、または、オフ時間を固定して変調するため周波数変調を採用する。以下の章で、高効率絶縁形スイッチング電源として、フォワード構成を基本とした3つの一石式共振形DC-DCコンバータを提案する。特徴として、電圧出力を複数とした場合、フォワードコンバータでトランス2次側に配置されるインダクタとフライホイールダイオードの安定化回路を、構成を変更してトランス1次側に各2次側巻線に共通の安定化回路を置換したことである。

第3章では、バック・フォワード縦続電圧共振形電源について述べる。この電源は、バックコンバータと電圧共振形フォワードコンバータを縦続した構成で、バックコンバータが出力電圧安定化機能を果たす。この構成で出力電力3Wに対して85%のAC-DC変換効率を得られる。また、スイッチング信号のデューティ比により出力電圧の制御ができ、入力を商用電源とした場合、入力電圧の変動に対して十分に対応できる。

第4章では、フライバック・フォワード複合電圧共振形電源について述べる。この電源は、フライバックコンバータと電圧共振形フォワードコンバータを縦続した構成で、フライバックコンバータが出力電圧安定化機能を果たす。この構成で出力電力12Wに対して88%のAC-DC変換効率を得られる。また、スイッチング信号のデューティ比により出力電圧の制御ができ、入力を商用電源とした場合、入力電圧の変動に対して十分に対応できる。

第5章では、フライバック・フォワード複合全共振形電源について述べる。この電源は先のフライバック・フォワード複合電圧共振形電源に電流共振回路を負荷した回路である。この構成で出力電力19Wに対して90%のAC-DC変換効率を得られる。しかし、スイッチング信号のデューティ比により出力電圧制御機能は持たないが、スイッチに加わる電圧、および、電流波形ともに正弦波状になまらせるため、電磁放射が極めて少なくサーボモータやインバータの電源に適している。

第6章で以上をまとめる。

論文審査結果の要旨

高密度集積技術の進展により電子機器の小型・軽量化が著しい。これに伴い、その心臓部である直流電源の小型・軽量化が求められている。更に、商用交流電源から所望の直流電圧を得るオフライン電源では、高力率・高効率・低雑音も要求されている。本論文はこれらの要求に見合うよう開発された電源についてその研究経緯をまとめたものであり、全6章から成る。

第1章は序論であり、従来の電源技術を概観すると共に本研究の目的を述べている。小型・軽量・高効率を実現するにはスイッチング方式が必須であり、その中核技術はDC-DCコンバータにある。第2章ではこのコンバータ技術を解説すると共に、問題点を指摘している。第3章から第5章に亘って本研究で開発した3つのDC-DCコンバータについて述べている。現在用いられているスイッチング電源ではそのレギュレータとしてフライバック方式を採用しているが、開発された3つのコンバータはいずれもフォワード方式をベースとしている。従来のフォワード方式には2つの問題点がある。その一つはトランスの1次巻線と同じ巻数のリセット巻線を必要とすることにある。開発されたコンバータでは電圧共振を用いることによってリセット巻線を不要としている。又、電圧共振を利用してゼロ電圧スイッチングを行い、スイッチの過度時における電力損失とキャパシタの放電損失をなくし、スイッチング周波数の高周波化と低雑音化を図っている。フォワード方式のもう1つの問題点は、出力直流電圧安定化のためのバック・コンバータ部を必要とすることであり、多出力が要求される場合には各2次巻線毎にバック・コンバータを必要とする。開発されたコンバータではバックコンバータをトランスの1次側に置き、各2次巻線共通とすることによって回路の簡略化を図っている。このトランス1次側バックコンバータ部をインダクタ、キャパシタ及びダイオードで構成した電圧共振型フォワードコンバータを第3章で、フライバック・トランスで構成した回路を第4章で、フライバック・トランス1次巻線に並列にキャパシタを接続して電流共振型とした構成を第5章で、それぞれ述べている。これら3つの構成の内、特にフライバック・フォワード縦続型構成は出力電力12W時のAC-DC変換効率が88%以上で出力電圧制御性も有している。又、電磁放射レベルも従来のフライバック方式スイッチング電源よりも10dB以上低く、情報技術装置の基準(VCCI)を満たしており、電圧共振を利用するゼロ電圧スイッチングが高効率化・高周波化・低雑音化に極めて有効であることを立証している。第6章は結論であり、以上の研究成果を統括すると共に今後要求される高力率化に言及している。

以上述べたように、本研究成果はスイッチング電源技術に大きく寄与するものであり、博士(工学)の学位を授与するにふさわしいと認める。