

浅野 睦 喜 (大分県) 昭和43年10月22日生

授与年月日 平成8年3月31日

主 論 文 DC-DC コンバータにおけるパワースイ  
ッチのデジタル制御に関する研究

Digital Control of Power Switches in  
the DC-DC Converter

論文内容の要旨

近年、半導体集積化技術の進歩に伴い、電子計算機をはじめとする情報通信用、情報処理用等の電子機器の普及には著しいものがある。このような電子機器は、今日の社会において我々の生活に大きな影響を及ぼし、その信頼性の向上は非常に重要となってきた。このため、これらの電子機器の心臓部としての電源に対して、高性能化、高信頼性化の要求が一段と厳しくなっている。この電子機器用の電源としては、小形、軽量で高

い電力効率が得られることから、スイッチング方式のDC-DCコンバータが広く用いられている。この場合、DC-DCコンバータにおいて、高い信頼性を確保するためにはモニタリング、故障診断および電源の保護といった機能が必要であり、これらと両立性を有する制御回路の研究は重要な課題となっている。

従来、スイッチング方式DC-DCコンバータの制御には制御の高速性、コストなどの面からアナログ制御方式が適用されている。しかし、この方式ではモニタリングや故障診断を行うためには多くのA/D変換器を必要とする。また、生産工程および実際の使用に際して、制御回路のパラメータの設定、変更、調整等が容易ではない。

これらの問題を解決する一つの方法として、近年、制御回路にデジタル制御方式を適用することが研究されるようになってきた。このデジタル制御方式は、柔軟な制御が可能で、操作性に富み、モニタリングや故障診断が容易等の利点を持っており、今後その重要性はますます増大するものと思われる。

しかし、このデジタル制御方式を制御回路に適用する場合、演算時間、回路規模およびコストなどの問題により、現在、実用化に至っていない。そこで、デジタル制御回路の特徴を生かし、これをDC-DCコンバータにおいて実用化するためには、制御機能に汎用性を持たせ、回路の集積化(IC化)を図ることが重要である。

本論文は、このような観点から、デジタル制御によるDC-DCコンバータにおける基本的な問題点を明確にすると共に、DC-DCコンバータに適用するデジタル制御回路をIC化する場合に必要な幾つかの汎用的な機能について検討し、その回路構成、制御アルゴリズム、動作特性および設計基準を明らかにすることを目的としている。

本論文は5章から成り、その内容は次の通りである。

第1章は緒論であり、高度情報化社会における電子機器の電源の重要性を示し、この電源の制御性、操作性、信頼性の向上を図るためには、デジタル制御方式の適用が有効であることを明らかにした。この場合、デジタル制御回路の演算時間、回路規模およびコストの面から、制御機能に汎用性を持たせ、回路をIC化する必要があることを示した。そこで、スイッチング電源のデジタル制御における問題点を明確にし、デジタル制御回路をIC化する場合に必要な幾つかの汎用的な機能について検討した。

第2章では、リアクトルの蓄積作用を利用したスイッチング電源における問題点として、リアクトル電流の不連続な領域での出力電圧の異常上昇を取り上げ、この問題に対してリアクトル電流連続領域と不連続領

域でフィードバックゲインを切り換える制御の方式を提案した。まず、その場合のデジタル制御回路の回路構成および動作原理を示した。次に、この適用制御により改善された出力電圧安定化特性を理論的解析により求めた。また、シミュレーションによりこのデジタル適応制御方式の妥当性を確認した。

第3章では、DC-DCコンバータにおける動特性の改善および過負荷時における過大電流の抑制を目的として、制御変数として出力電圧だけでなくリアクトル電流を検出する電流インジェクト形デジタル制御方式DC-DCコンバータを提案した。リアクトル電流には、出力電圧を微分した項が含まれており、電流インジェクト形DC-DCコンバータは動特性の改善が図れるという特徴を持っている。まず、このデジタル制御方式の電流インジェクト形DC-DCコンバータの定電圧モードにおける静特性および動特性を明らかにした。次に、スイッチング電源の保護機能として、過負荷時における過大電流を抑制するためのデジタル過電流制限回路を提案し、デジタル数値の設定によりフォールドバック特性、定電流特性、電圧垂下特性等の任意の過電流制御特性が容易に得られることを示した。

第4章では、スイッチの時比率を制御する場合に、PWM制御方式と周波数制御方式を適切に切り換えられる機能について検討した。ここでは、周波数制御で動作する直列共振形DC-DCコンバータにスイッチング周波数の低下を抑制するための補助スイッチを付加した実用的な回路を取り上げた。そして、この補助スイッチを持つ直列共振形DC-DCコンバータの周波数制御とオン時間制御の2つの機能を簡単な回路で実現したデジタル制御回路を提案し、この回路を適用した場合のモードの切り換わり特性、主回路の動作特性および電力効率特性を明らかにした。特に、デジタル制御によりモードの切り換えを適切に行うことにより軽負荷時での電力効率が改善されることを示した。また、軽負荷時での電力効率の改善と可聴雑音防止の立場からデジタル制御回路の設計基準の確立を図った。

第5章は以上を総括した結論である。

#### 論文審査の結果の要旨

浅野睦喜君は、平成3年3月に長崎大学工学部電子工学科を卒業した。同年、4月に長崎大学大学院工学研究科修士課程(電子工学専攻)に入学し、平成5年3月に同研究科を修了後、同年4月に海洋生産科学研究科博士課程に入学し、現在に至っている。

海洋生産科学研究科においては、海洋資源学を専攻し、所定の単位を修得するとともに、電子制御の研究に従事して多くの業績を上げた後、平成7年12月に学

位論文「DC-DCコンバータにおけるパワースイッチのデジタル制御に関する研究」を完成し、7編の参考論文を添えて、長崎大学大学院海洋生産科学研究科委員会に博士(工学)の学位を申請した。同研究科委員会は、これを平成7年12月21日の定例委員会に付議し、受理を決定後、下記の審査委員を選定した。

委員は、主査を中心に論文内容について慎重に審議し、公開論文発表会での発表を行わせるとともに、口頭による最終試験を行い、論文の審査および最終試験の結果を平成8年2月15日の研究科委員会に報告した。

近年、電子機器の普及には著しいものがあり、社会生活に大きな影響を及ぼし、その信頼性の向上は非常に重要となってきた。このため、電子機器の心臓部としての電源に対して、高い制御性、操作性、信頼性が求められ、これらを実現するためにデジタル制御の適用が注目されている。しかし、電子機器用電源においては、DC-DCコンバータのスイッチング周波数は、20kHzから数百kHzの範囲であるため、高速性が要求され、また、回路規模、コストなどの問題により、現在、実用化に至っていない。

提出論文は、以上のような観点から、DC-DCコンバータのパワースイッチの制御に高速デジタル制御を適用し、問題点を明確にすると共に、デジタル制御回路の小形化、低コスト化を図るために回路をIC化することを目的として、その場合に必要となる幾つかの汎用的な機能について検討したものである。

まず、最も回路動作が不安定になり易い回路の1つである昇降圧形のDC-DCコンバータを取り上げ、2つの動作モードにおいて、フィードバックゲインを切り換えるデジタル適応制御回路が提案され、その有効性が確かめられている。次に、DC-DCコンバータにおける動特性の改善、過負荷時における過大電流の抑制と定電流特性の実現を目的として電流インジェクト方式DC-DCコンバータのためのデジタル過電流制御回路を提案し、良好な動特性と過電流制御特性が得られることを確認した。また、補助スイッチを持つ直列共振形DC-DCコンバータに対して、スイッチの時比率を制御して、出力電圧を安定化する場合に、PWM制御と周波数制御を自動的に切り換えることのできるデジタル制御回路を提案し、この回路を適用した場合の主回路の動作モード、出力電圧の安定化のメカニズム、電力効率化を明らかにした。特に、デジタル制御によりPWM制御と周波数制御の切り換えを適切に行うことにより軽負荷時での電力効率が改善されることを示すと共に、可聴雑音防止の立場から制御回路の設計基準の確立を図った。

本研究は、DC-DCコンバータのパワースイッチ素子の高速デジタル制御とそのIC化のための問題点

を解決したもので、電子機器用電源の高性能化、高信頼性化に役立つ新しい知見を与え、電子制御工学の進歩発展に貢献するところ大であり、博士(工学)の学位に値するものとして合格と判定した。

審査担当者	主査	教授	松尾博文
	副査	教授	中村彰
	副査	教授	松尾寿夫
	副査	教授	竹中隆
	副査	助教授	黒川不二雄