


学 位 論 文 の 要 旨

専攻名	物質生産工学	ふりがな 氏名	りん みる 林 旻	
学位論文題目	スイッチング電源におけるヒステリシス PWM 制御方式の汎用化と高周波化に関する研究			
<p>マイクロプロセッサ(MPU)やデジタルシグナルプロセッサ(DSP)など、近年のLSIの高集積度化は著しく、これに伴いLSIの動作電圧は1V以下までに低電圧化され、動作電流も数十Aから100Aを越えるまでに大電流化が進んできている。そのためLSIに電力を供給するスイッチング電源に対しても、低電圧、大電流を高効率で供給するものが要求されている。一方、電子機器の省エネルギー化、多機能化などにより、LSIが必要とする電源電流も動作条件により頻繁に大きく変化し、その変化速度も100A/μsを越える急峻な場合が多い。これは出力に比較的低いカットオフ周波数の平滑回路をもつスイッチング電源にとっては非常に過酷な負荷変動となっており、LSIが電源電圧に要求する5%程度以下の許容電圧変動幅に対して、過渡的に生じる電圧変動をも抑えることは極めて厳しい制約となっている。そのため、出力電圧の調節を行うPWM(Pulse Width Modulator)制御回路に対して様々な提案がなされてきている。</p> <p>PWM制御回路は、フィードバック制御によりコンバータ回路に最大の性能を発揮させる重要な役割を持っている。その伝達特性は、電源の定常特性のみならず、動特性、安定性に大きな影響を与えるものであり、近年、PWM信号生成回路となるコンパレータにヒステリシス特性をもたせ、誤差増幅器を用いずに直接コンパレータに出力電圧を帰還するヒステリシスPWM制御方式が注目されている。この方式ではコンパレータへの帰還電圧が三角波状のリプルを有することが必要であり、この三角波電圧を出力インダクタの両端に設けたRC積分回路から取り出して出力電圧に重畳する手法が提案され、その制御特性が微分特性を有し優れた過渡応答特性を示すことが報告されている。しかし、回路構成の異なる他のコンバータ回路方式に対しては、直接RC積分回路を接続する手法が適用できないという問題が残されている。また、コンバータ回路を小形、軽量化する上でスイッチング周波数の高周波化は最も有効な手段であるが、これを実現するためにはヒステリシス電圧幅を数十mV以下の小さな値に設定する必要がある。この場合、コンバータで発生するスパイク状のスイッチングノイズによりコンパレータに誤動作が生じ、電源回路の品質と信頼性を大きく低下させる原因となる。</p> <p>本研究では、これらの問題を解決するため多くのコンバータ回路に適用できるヒステリシスPWM制御回路を提案するとともに、スイッチングノイズの影響による誤動作を抑制する実用的なヒステリシス電圧発生回路の導入を提案し、これらの方式の有用性を明らかにすることを目的とする。</p>				

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有 無

的としている。ここではまず三角波電圧を制御回路内で生成させる回路方式を考案することにより汎用性を実現している。次に、ヒステリシス電圧発生回路に簡単なRC微分回路を導入することにより、制御回路に侵入するスイッチングノイズの影響を十分に軽減しスイッチング周波数の高周波化を容易にしている。本論文は、これら2つの提案回路について詳細な理論解析を行い、設計に必要な定量的な指針を導出するとともに、その有用性を実験により検証するものである。

第1章は序論であり、スイッチング電源の電力変換部であるDC-DCコンバータについて概説し本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、DC-DCコンバータを統一的に解析する状態平均化法について概説し、動特性を議論する際に必要となる伝達関数を導出するとともに、制御特性に大きな影響を与える開ループ伝達関数の特徴を整理している。

第3章では、ヒステリシスPWM制御回路における汎用性の問題を解決するため、多くのPWM制御方式コンバータ回路に適用を可能とする回路方式を提案し、定常特性、スイッチング周波数および制御系の伝達特性を定量的に解析するとともに、3種類のコンバータ回路に適用した場合について実験による検証を行っている。その結果、入力電圧、負荷電流の変化に対し、本方式では原理的に出力電圧に定常偏差が表れないことが示された。更に、制御系の伝達特性は低周波領域において積分特性を、高周波領域において微分特性を示し、従来の回路方式と同様、優れた過渡応答特性を有することが明らかになった。なお、解析により得られた出力電圧、スイッチング周波数、動特性と回路パラメータの定量的な関係式は、設計に大きく寄与するものである。

第4章では、コンバータ回路から制御回路に侵入するスイッチングノイズがコンパレータの動作に与える影響を抑制するため、RC微分回路を用いた実用的なヒステリシス電圧発生回路を提案している。この方式は、スイッチングノイズがスイッチのオンとオフの切り替わり時に発生する短い時間のみ大きなヒステリシス電圧幅を発生するため、ノイズの影響を大きく軽減できる。この方式の詳細な解析結果はスイッチング周波数を定めるための重要な設計指針を与えるものであり、実験においても従来の5倍程度以上の高周波化が実現できることを示した。また、負荷の大振幅過渡応答においても、安定した高周波スイッチング動作でコンバータ回路の限界性能まで引き出せることを実験により検証した。

第5章は本研究を総括した結論である

学位論文審査結果の要旨

専攻	物質生産工学専攻	氏名	林 旻
論文題目	スイッチング電源におけるヒステリシス PWM 制御方式の汎用化と高周波化に関する研究		
主査	准教授 鍋島 隆		
審査委員	教授 益子 洋治		
審査委員	教授 小川 幸吉		
審査委員	名誉教授 中野 忠夫		
審査委員	教授 黒川 不二雄		
審査結果の要旨 (1000 字以内)			
<p>LSI により高密度化された電子機器においては、機器の省エネルギー化、多機能化により、LSI が必要とする電源電流も動作条件によって頻繁に大きく変化し、その変化速度も急峻な場合が多くなってきている。このことは LSI に安定な電力を供給するスイッチング電源にとって過酷な負荷変動となっており、過渡的に生じる電圧変動を 5%程度以下の許容電圧変動幅に抑えることは極めて厳しい制約となっている。そのため、出力電圧の調節を行う PWM(Pulse Width Modulation)制御回路に対して高速応答化を目的とした様々な手法が提案されてきている。</p> <p>本論文は、急速な負荷変動に対し高速応答が要求されるスイッチング電源の制御方式として近年注目されているヒステリシス PWM 制御方式について、その汎用化と高周波スイッチング動作を可能とする実用的な回路方式を提案し、定常特性、動特性を解析と実験により明らかにしている。従来のヒステリシス制御回路においては、必要とする信号電圧を電力変換部であるコンバータ回路から取り出していたため、適用できるコンバータ回路が降圧形に限られていたが、本論文で提案する回路方式は制御回路内で PWM 出力信号を生成できるため、すべての PWM 制御式コンバータ回路に適用可能となる。次いで、スイッチングノイズによるスイッチ素子の誤動作を効果的に抑制するため、ヒステリシス電圧発生回路に簡単な RC 微分回路を導入する手法を提案し、これにより安定な高周波スイッチング動作が可能となることを解析と実験により検証している。また、詳細な解析結果を基に、高速応答の鍵となる制御帯域幅に注目した実用的な設計法を確立している。</p> <p>以上の研究成果は、ヒステリシス PWM 制御方式スイッチング電源の汎用性と高周波スイッチング化の問題に実用的な解決策を与えるものであると共に、解析結果を基に確立した設計手法は制御系の設計時間を大幅に短縮することにつながり、電子回路、電子機器工学に寄与するところが大きい。また、論文審査会、論文公聴会における著者の説明は明確であり、質問に対して的確に回答がなされた。よって、本論文は博士(工学)の学位に値するものと認められる。</p>			