



高周波部分共振DCリンク電力変換システムの高性能化に関する研究

米森, 秀登

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1997-09-17

(Date of Publication)

2007-09-26

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2160

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3141205>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002160>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	柴 森 秀 登	(大阪府)
博士の専攻分野の名称	博士(工学)	
学位記番号	博ろ第166号	
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当	
学位授与の日付	平成9年9月17日	
学位論文題目	高周波部分共振DCリンク電力変換システムの高性能化に関する研究	

審査委員 主査 教授 大澤 靖 治
教授 神 吉 博 教授 田 中 榮 一

論文内容の要旨

本論文は、著者が神戸大学工学部在職中に行ってきた研究内容の内、高周波共振DCリンクを用いたソフトスイッチング電力変換装置に関する研究成果をまとめたものである。

半導体製造技術の進歩にともない電力用半導体デバイス/モジュール(以下パワーデバイスと略記する)は、処理電力容量とスイッチング速度の改善に見られるように基本性能が飛躍的に向上してきた。これらパワーデバイスの基本性能の向上と同様に、制御系もマイクロプロセッサ、デジタルシグナルプロセッサとA/D, D/A変換器等の周辺機器の高性能化かつ低廉化が実現されて来た。このことは、主回路においては高速スイッチング化が、制御回路においてはDDC(Direct Digital Control)化が推進され、高機能化・メンテナンスフリー化と言った実用上の大きなメリットを生むようになり、パワーエレクトロニクスの発展に大きく寄与した。

しかしながら、パワーデバイスにより電気エネルギーを直接遮断/導通させて電力制御を行う現在の電力変換回路トポロジーでは、スイッチング過渡時に電力損失が発生する。また電圧サージ、電流サージの発生を伴うことから、スイッチングストレスが増大しシステム全体の信頼性を損なう要因となると言った問題が指摘されている。特に、高周波スイッチング電力変換装置の利用分野が拡大化し、かつ設置台数の飛躍的な伸びを見せている現状に当たっては、高速スイッチング時に発生するノイズ(Electro Magnetic Interference : EMI, Radio Frequency Interference : RFI)などの問題点は無視し得ない。しかもそれはスイッチング周波数に比例して増大することから根本的な対策が望まれるが、現在の回路トポロジーに依ってはこれらの問題を解決する事は原理上困難である。そこで新しい電力変換回路として、パワーデバイス端子間の電圧がゼロ(ZVS: Zero Voltage Switching)あるいは流れる電流がゼロとなる条件でスイッチング(ZCS: Zero Current Switching)を行うソフトスイッチングと称される電力変換方式がこれら問題点の解決に最も有望とされ各種の研究開発が行われるようになってきている。

本論文は、これらの技術背景のもとで、高能率な電力の変換を実現する新しい回路トポロジーとして注目されているZVS三相ソフトスイッチングPWMインバータとそれらの周辺システムに関して行っ

た研究をまとめたものであり、以下の7章により構成されている。

第1章において、高周波スイッチング電力変換回路技術の現状と問題点について述べ、本研究の目的について明らかにしている。

第2章においては、高周波スイッチングによるメリットおよび問題点について説明し、現在、検討途上にあるZVS、ZCS技術について述べる。次いで、新しい電力変換回路方式として検討が始まった高周波リンク電力変換回路トポロジーについて述べると共に、その一方式として分類される高周波共振DCリンクの構成と動作について詳しく述べている。また、これらの方式は、瞬時フィードバック制御による補償制御系が必要となり、回路が一般に複雑となる点を指摘している。

第3章においては、高周波トランスを設けることにより初期電流予測不要で安定に動作する高周波共振DCリンク回路トポロジーを提示し、その動作原理と設計法について詳しく述べた。共振DCリンク系が負荷電流に依存しなければ制御回路の構成は、単純な信号の受渡しのみで良く設計が容易となり、システムの簡素化につながる。

第4章では、提案回路の特性評価を、シミュレーション並びに試作実験により行っており、本方式が負荷側からの電流フィールドバックループレスで共振制御が簡単に行えることを確認した。ここで使用された高周波トランスは、第3章において詳述した設計法により決定された回路定数であり、共振周波数、電圧、電流値も計算結果に近い値で安定に動作していることを確認した。

第5章では、提案回路の適用例としてUPS応用を対象とした三相正弦波CVCFインバータシステムを取り上げ、ハードスイッチング方式との比較・評価をシミュレーション並びに試作実験により行った。試作回路は、DSP（デジタルシグナルプロセッサ）を用いたデジタル制御系によるUPSシステムであるため、回路と制御系の特徴を考慮したシミュレーション／実験により、提案方式の有効性について比較検討結果より明らかとした。

第6章においては、交流系統電源電圧より整流平滑回路を経て直流入力電力を得る、一般的な電力変換システムへの適用例について検討している。先に検討した提案回路の適用例においては、バッテリー等の完全平滑直流電源を有するUPS適用例についてであった。しかし、一般的な電力変換回路方式で使用される不完全平滑直流電源においては、電力変換回路動作時に負荷の変動にしたがって数10%の電圧変動が発生する。例として、エアコンディショニングシステムを評価・検討のための基準システムとして取り上げ、システムの制御特性に与える影響や損失並びにEMIノイズ低減効果について実験より明らかとしている。これらのデータはハードスイッチング時における結果と比較・検討され、提案の共振DCリンク回路導入による効果等を明確に示している。

第7章においては、本研究により得られた結果を総括した。

論文審査の結果の要旨

パワーデバイス（電力用半導体デバイス／モジュール）の大容量化、高速度化、および信号処理装置の高性能化により、半導体電力変換技術（パワーエレクトロニクス）は大きく進展しつつある。しかし、パワーデバイスにより回路をオンオフして電力制御を行う現在の電力変換方式では、スイッチング過度時に電力損失が発生する。また、電圧サージ、電流サージによって発生する電磁ノイズは無視できない問題である。電磁ノイズはスイッチング周波数に比例して増大するため根本的な対策が望まれるが、現在の回路方式ではこの問題を解決することは原理上困難である。そのため、新しい電力変換回路として、パワーデバイス端子間の電圧がゼロ（ZVS: Zero Voltage Switching）あるいは

流れる電流がゼロ（ZVS：Zero Current Switching）となる条件でスイッチングを行うソフトスイッチングと呼ばれる電力変換方式が提案され、各種の研究開発が行われつつある。しかし、これらの方式には、損失の補償や負荷依存性の除去のために複雑な制御系を必要とするという欠点が存在する。

本論文は、高効率な電力の変換を実現する新しい回路トポロジーとして注目されているZVS三相ソフトスイッチングPWMインバータとそれらの周辺システムに関して行った研究をまとめたものであり、7章より構成されている。

第1章において、高周波スイッチング電力変換回路技術の現状と問題点について述べ、本研究の目的について明らかにしている。

第2章においては、高周波スイッチングのメリットと問題点、およびZVS、ZCS技術について概観し、高周波リンク電力変換回路トポロジーと、その一方式である高周波共振DCリンクの構成と動作について述べている。また、これらの方式は、瞬時フィードバック制御による補償制御系が必要となり、回路が一般に複雑となる点を指摘している。

第3章においては、高周波トランスを設けることにより初期電流予測不要で安定に動作する高周波共振DCリンク回路トポロジーを提示し、その動作原理と設計法について述べている。共振DCリンク系が負荷電流に依存しなければ、制御回路の構成は単純な信号の受渡しのみでよいので設計が容易となり、システムの簡素化につながることを示している。

第4章では、提案回路の特性評価を、シミュレーションならびに試作実験により行っており、本方式が負荷側からの電流フィードバックループなしで共振制御が簡単に行えることを確認している。ここで使用された高周波トランスは、第3章において述べた設計法により決定された回路定数であり、共振周波数、電圧・電流値も計算結果に近い値で安定に動作していることを確認した。

第5章では、提案回路の適用例としてUPS応用を対象とした三相正弦波CVCFインバータシステムを取り上げ、ハードスイッチング方式との比較・評価をシミュレーションならびに試作実験により行っている。試作回路は、DSP（デジタルシグナルプロセッサ）を用いたデジタル制御系によるUPSシステムであるため、回路と制御系の特徴を考慮したシミュレーションと実験により、提案方式の有効性について比較検討結果より明らかにした。

第6章においては、交流電源電圧から整流平滑回路を経て直流入力電源を得る、一般的な電力変換システムへの適用例について検討している。蓄電池などの完全平滑直流電源の場合と異なり、一般的な不完全平滑直流電源においては、負荷の変動にしたがって数10%の電圧変動が発生する。空調システムを例として取り上げ、システムの制御特性と、損失ならびに電磁ノイズの低減効果を実験より明らかにしている。また、ハードスイッチング時における結果と比較・検討し、提案の共振DCリンク回路導入による効果等を明確にしている。

第7章においては、本研究により得られた結果を総括している。

本研究は、共振DCリンク電力変換の一方式として、高周波トランスによって共振回路系の安定化を図った部分共振DCリンク回路を提案し、それを用いた電力変換システムについて試作実験とシミュレーションの両面から動作を検討したものであり、その設計、応用について重要な知見を得たものとして価値ある集積と認める。

よって、本研究者は、博士（工学）学位を得る資格があると認める。