

# 学位論文の要旨

直流直流スイッチング変換器でのパルス符号化制御による  
ノイズスペクトルでのノッチ生成と EMI ノイズ低減技術

(Noise Spectrum Notch Generation with Pulse Coding Control  
and EMI Noise Reduction Technology of DC-DC Switching Converter)

氏名 孫逸菲



この論文では、通信機器用の DC-DC スwitching・コンバータにおけるノッチ特性を有するスペクトラム拡散技術と EMI ノイズ低減技術の研究について述べている。同時に、特定の周波数帯域にスイッチングノイズを拡散させない、新しい EMI スペクトラム拡散技術の提案を示している。

DC-DC スwitching・コンバータのスイッチングノイズを低減するために、クロック周波数変調を使用することが広くなされている。しかし、一定オン時間パルスとリップル注入方式のヒステリシス制御コンバータやソフトスイッチングコンバータでは、固定クロックパルスを使用していないのでこの手法を直接用いることはできない。そこでこれらのクロックレススイッチングコンバータのために、EMI ノイズ低減技術を開発した。この場合に何も手当てを講じなければ出力リップルも増加してしまうので、同時にリップル低減化法を開発した。

スイッチング・コンバータのパルス幅変調制御方式では、クロック周波数と高調波に EMI ノイズを発生する。EMI の低減方法として、クロック信号をランダムに変調するスペクトラム拡散手法が知られており、この手法で EMI の大幅低減が可能となる。しかし、スペクトラム拡散の弊害として、拡散ノイズが回り込んでほしくない帯域（拡散禁止帯）に重なってしまう問題が生じる。例として「車載用の DC-DC コンバータで用いるスイッチング周波数及びその高調波はラジオの AM, FM 等の受信周波数帯域と重なってほしくない」ことが挙げられる。この問題を解決するため、デルタシグマ ( $\Delta\Sigma$ ) 変調デジタル時間変換回路(Digital to Time Converter: DTC)方式を用いてデジタル変調によるスペクトラム拡散を行うことで、ノッチ（スペクトラム拡散の影響を受けない）周波数を任意に発生できるアルゴリズムを検討した。このアルゴリズムを用いて拡散禁止帯にノッチを発生させることで、他の電子機器への影響を大幅低減することができることを確認した。

さらに通信機器の DC-DC スwitching・コンバータでパルスコーディング制御方式を使用してノッチ周波数を自動的に設定する EMI スペクトラム拡散技術を提案・検討した。通信機器では、受信信号帯域では受けるノイズはできるだけ小さいことが望まれる。クロ

ック周波数を調整することで、ノッチ周波数を受信信号の周波数に自動設定できる方式を実現した。ノッチ周波数を受信信号周波数と同じ値に設定すると、受信信号周波数のノイズが抑制できることを確認した。

論文の構成と各章の概要は次のようになる。

第1章では、最初に研究の背景とノイズ低減の重要性を紹介した。次に、論文の動機と目的について説明した。それから、これまでの先行研究の  $\Delta\Sigma$  変調デジタル時間変換回路を用いてデジタル変調によるスペクトラム拡散アルゴリズムを紹介した。このアルゴリズムを用いて拡散禁止帯にノッチを発生させる可能性が提案されており、この論文ではこれをさらに発展させている。

第2章では、降圧形、昇圧形、昇降圧形コンバータ、ヒステリシス制御スイッチング・コンバータ、ソフトスイッチングコンバータの基本構造と動作原理を概説し、それらの長所と短所について説明した。降圧、昇圧、昇降圧コンバータの長所は、高効率、低コスト、コンパクト性である。ヒステリシス制御コンバータの長所はコンパレータによって直接的な制御をしているので、過渡応答が極めて高速なことと位相補償が不要であることである。ソフトスイッチングには、スイッチング損失や高調波ノイズを抑制できる大きな利点がある。

第3章では、通常の降圧形コンバータ、ヒステリシス制御コンバータ、およびソフトスイッチングコンバータの EMI ノイズ低減する方法の提案を示した。電圧モード制御の降圧型 DC-DC コンバータにおいて、クロック周波数変調による EMI ノイズ低減に伴い、出力電圧リップルが増大する問題を、鋸歯状波発生部に電流補正を施すことにより、EMI ノイズ及び出力リップルが低減する方式を提案し、シミュレーションにより動作と効果を確認した。ヒステリシス制御コンバータにおいて、固定オンタイム時間のパルスの幅を変化させて動作パルスの周波数変調により EMI ノイズを低減し、出力電圧リップルをキャンセルする方法を実現した。ソフトスイッチングコンバータにおいて、制御周波数を変調するスペクトラム拡散により、EMI ノイズレベルの大幅低減を確認した。

第4章では、スイッチング電源における PWM 制御信号に、各種のパルスコーディングを施すことにより、スペクトラム上の任意周波数にノッチを発生させる方式を提案した。また、ノッチ周波数を表す実験式を示し、後のシミュレーションでこの式との整合性も確認した。さらにノッチ特性を解析し、ノッチ発生理論式の導出を行った。

第5章では、PWC 制御と PWPC 制御によるノッチ周波数の自動生成を実現し、スイッチング・コンバータのノイズスペクトルの所望の周波数にノッチ特性を発生させる手法を提案した。次に、デューティ比の必要性について説明し、デューティ比自動検出方法を考案して、完全自動ノッチ周波数生成技術を作成した。

第6章では、PWC 制御方式と自動ノッチ周波数生成方式をともに実機での検証を行い、ノッチ発生およびノッチ発生式との整合性を確認した。

第7章にて結論と今後の課題を述べている。