

氏 名	張 書奇
授与した学位	博 士
専攻分野の名称	工 学
学位授与番号	博甲第 6 8 4 3 号
学位授与の日付	2 0 2 3 年 3 月 2 4 日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学専攻 (学位規則第 4 条第 1 項該当)
学位論文の題目	A Study on EMI Modeling of DC-DC Converter Using Noise-source Equivalent-circuit Model for Optimal Filter Design (最適フィルタ設計のためのノイズ源等価回路モデルを用いた DC-DC コンバータの EMI モデリングに関する研究)
論文審査委員	教授 豊田 啓孝 教授 平木 英治 教授 田野 哲 准教授 梅谷 和弘
学位論文内容の要旨	
<p>Electromagnetic compatibility of power electronics systems has become an engineering discipline that should be considered at the beginning stage of the design process. Many electromagnetic interference (EMI) models have been proposed to predict conducted emissions from power converters and guide the EMI filter selection in the design phase. The measurement-based equivalent circuit EMI models were developed to accurately describe EMI behavior in switched power converters, making simulations faster and more stable comparing with physical lumped-circuit models. However, since the switching fluctuation affects the measurement accuracy, the measured, actual noise spectrum is different from the spectrum predicted without switching fluctuation. Moreover, to keep the model in the linear system, the load of the converter must remain fixed because any change in the load value will require re-extraction of the model parameter.</p> <p>In this study, an EMI model of DC-DC converter using noise-source equivalent-circuit model for optimal filter design is proposed. Firstly, an approach called waveform decomposition method to remove the effect of switching fluctuation is proposed. By using the proposed waveform decomposition method, the parameter identification accuracy is well improved at higher frequencies. Besides, the inherent jitter behaves similar to the frequency modulation technique and reduces the noise amplitude at higher frequencies. On the basis of the hypothesis that the inherent jitter has similar effect to the frequency modulation technique, the reduction through the experimental approach using the spectrum caused by switching fluctuation is estimated. To obtain the actual noise spectrum in reality, the actual noise spectrum is obtained by the “ideal” spectrum using the waveform decomposition method considering the switching fluctuation effect. By accounting for switching fluctuation, the predicted noise spectrum agrees with the measured noise spectrum with 1024 times averaging. Moreover, it is discussed that the proposed model is applicable to different types of DC-DC converters using the buck and boost types converters as an example. Finally, a load-variable equivalent circuit model focused on normal mode noise from DC-DC converter with various load values is discussed.</p> <p>In summary, this thesis focuses on the equivalent-circuit EMI models for conducted emissions from DC-DC converters and its wide applicable range. This thesis is organized as follows. Chapter 2 introduces the proposed noise source model and the waveform decomposition method for accuracy improvement. Chapter 3 explains the noise reduction caused by the switching fluctuation and evaluates the noise reduction due to switching fluctuation. Chapter 4 treats general applications of the proposed model using a boost type converter and a GaN-based buck converter as an example. Chapter 5 describes the extension of the model to load-variable application.</p>	

論文審査結果の要旨

電磁適合性を考慮した設計、すなわち、EMC設計では、設計の初期段階で考慮すべきである。この考えに基づいて、電力変換回路からの伝導ノイズを予測し、EMIフィルタ選択に使用されるEMIモデルは多数提案されている。本研究で提案している測定に基づく等価回路モデルは、物理モデルと比較して高速にシミュレーションを行えるなどの利点がある。しかし、スイッチング変動がある場合のノイズスペクトルの予測は困難であり、これまでに行われていない。さらに、モデルの線形性を確保するため負荷を固定したまま評価することが一般的であり、異なる負荷のノイズスペクトルの予測はなされていない。

本研究では、ノーマルモードノイズに着目し、これらの問題を克服したノイズ源等価回路モデルを提案している。モデル化の対象はDC-DCコンバータである。まず、スイッチング変動の影響を除去するため波形分解法を提案した。提案手法を適用することでより高い周波数までパラメータ同定の精度を改善している。ただし、この時得られるノイズスペクトルはスイッチング変動がない理想的なものである。現実のノイズスペクトルを得るため、スイッチング変動によるスペクトル低減量を実験的に求めることを試みている。具体的には、ゲート信号を観測してこの低減量を求めることに成功し、現実のノイズスペクトルを精度よく求めた。さらに、提案モデルが降圧型、昇圧型などのDC-DCコンバータのタイプに関係なく、また、高速に動作する次代のGaNを使用したDC-DCコンバータにも適用できることを示した。最後に、異なる負荷の値をもつ場合のノイズスペクトルを、スプライン補間を行うことで予測可能であることも明らかにした。

本研究の成果は、査読付き学術論文誌に筆頭著者として2編が掲載され、国際会議で4編が発表されている。本研究の成果は、IoT時代の情報通信機器・システムの構築への貢献が期待され、本論文は博士（工学）の学位の授与に適格であると認める。