

氏名（本籍）	やまもと かずみ 山本 一美（広島県）
学位の種類	博士（情報工学）
学位記番号	甲第110号
学位授与年月日	平成26年9月24日
学位授与の要件	広島市立大学大学院学則第36条第2項及び広島市立大学学位規程第3条第2項の規定による
学位論文題目	A Study on Electromagnetic Noise Suppression for Electronic Equipment 電子機器への電磁ノイズ抑制に関する研究
論文審査委員	主査 教授 藤坂尚登 副査 教授 吉田彰顯 副査 教授 石光俊介 副査 学外審査委員 生岩量久

## 論文内容の要旨

大容量の情報が高速に通信されるユビキタスネットワークが急速に浸透している社会において、高速ブロードバンド通信に対応した携帯用小型通信機器は生活に不可欠な機器となりつつある。しかし、小型通信機器が受ける高周波電磁ノイズによる障害が深刻な課題となっている。電磁ノイズへの対策技術は、電気・電子機器から発する電磁妨害波(EMI: Electro Magnetic Interference)が他のどのような電気・電子機器、システムに対しても影響を与えず、また、他の電気・電子機器、システムからの電磁妨害に対しても正常に動作する耐性(Immunity または Susceptibility)を持たせる技術であり、電磁両立性(EMC: Electromagnetic Compatibility)と呼ばれている。1900年代初頭に実用化された無線通信の電磁妨害波(RFI: Radio Frequency Interference)の対策に始まり、1920年代にはアナログ通信による音声再生、すなわちラジオのノイズ対策、そして音声再生と映像表示を行うテレビの電磁ノイズ対策がEMCを進展させた。その後、様々な電気・電子部品、機器、システムにEMCが普及した。さらに、情報処理機器、システムのための高度な電磁ノイズ対策技術が確立された。現在、EMCに関する規格は国際的に体系化されている。

さて、携帯電話やノート型パーソナルコンピュータなどには集積回路(IC)や多くの電子部品が高密度に実装され、高周波で動作する。よって、これらは分布定数回路として振る舞い、その結果、機器内部に定在波が分布する。これが電磁ノイズを発生させ、機器内部の電子回路や周辺機器の誤動作を誘発する。

本研究は、高速ブロードバンド通信に対応した小型通信機器などの電子機器の高周波電磁ノイズ抑制の提案と実用化に関するものである。従来のノイズ対策としては磁気損失効果を利用したシート状磁性材料をノイズ源近傍に貼り付ける手法があり、抑制効果が高いため広く用いられている。本研究においては、さらなる高密度化と電磁ノイズ抑制機能の

向上を目指し、シート状磁性材料をノイズ源に貼付けたときの回路インピーダンス変化による反射係数の増加、磁性材料のスヌーク限界への対応すなわち磁気損失効果が低下する周波数帯への対策、およびモード変換による不要輻射を検討した。電磁ノイズ抑制効果の評価は、国際規格 Noise suppression sheet for digital devices and equipment (IEC 62333-1, 2006) の規定に基づいて行った。

シート状磁性材料をノイズ源に貼付けたときのインピーダンス変化の低減と電磁ノイズ抑制の両立については、ノイズ源である集積回路(IC)の樹脂封止パッケージに新規開発した球状磁性フェライトを充填する手法を考案した。新 IC 樹脂封止パッケージの開発・試作を行って評価した結果、目標性能を十分満足する特性(信号帯(800MHz 帯)での伝送減衰率は 6%、ノイズ帯(2.4GHz 帯)での伝送減衰率は 32%など)を得た。また、反射係数の低下により、従来に比べ信号帯の S/N が向上する(0.3dB)ことも示した。さらに、IC に電磁ノイズ抑制材を直接施工するためには、回路腐食防止などの信頼性や実装の容易性など、様々な技術課題を克服する必要があるが、磁性フェライトの成分、形状の検討を行うとともに、粒子サイズ、充填量を調整することにより、提案パッケージが十分実用性を有することを実証した。

磁性材料のスヌーク限界への対応についても検討した。磁気損失以外の損失効果として渦電流損失効果が着目されているが、これを利用した抑制シートは実用に至っていない。本研究では、渦電流効果を持つ導電材料と磁性材料を層状に複合すれば渦電流と磁性の相乗効果によりノイズ抑制効果が高まると考え、複合ノイズ抑制シート(複合 NSS)を試作するとともに、マイクロストリップライン(MSL)に装着して評価を行った。評価結果として、反射係数と透過係数(低域通過フィルタ特性)をコントロールできることを示すとともに、従来型 NSS に比べ、0.3MHz~3GHz(信号帯)における反射係数が小さいこと(0~3dB 改善)、4~10GHz 帯(ノイズ帯)での透過係数は同程度、周波数 1500~3000MHz におけるシート表面の磁界強度(不要輻射)は 2~4dB 低くなることを明らかにした。

本論文の主な成果は、IC の樹脂封止パッケージに磁性フェライトを充填しノイズ源に直接施工する抑制方式を提案したこと、渦電流効果を持つ導電材料と磁性材料を層状に複合したノイズ抑制シートを提案したこと、さらに、それらの有効性を示したことにある。これらは従来の手法に比べ、インピーダンス変化による反射係数増加と伝送モード変換が原因で生じる不要輻射を抑制でき、電磁ノイズ抑制効果に優れている。本方式を採用した製品は現在、実用に供されている。

## 論文審査の結果の要旨

平成 26 年 8 月 12 日午後 2 時 40 分から 3 時 40 分まで博士論文発表会(公聴会)を開催した。申請者が論文内容について 40 分間説明を行い、その後 20 分間論文内容について質疑応答を行った。発表会終了後に専門知識と外国語に関する試問を実施した後、審査委員会を開催した。

高速ブロードバンド無線通信機器は広く普及しているが、これらが発する高周波電磁ノイズを抑制することは重要な課題である。本論文は高周波電磁ノイズを抑制する2つの方法を提案している。第1の方法はLSIチップを封止する樹脂パッケージに球状磁性フェライトを充填し、磁気損失効果を利用してパッケージ外部へのノイズ放射を抑制する方法であり、従来法と同等以上のノイズ抑制効果を持ちながら高密度実装(薄型化)に寄与する。第2の方法は磁性材料と導電材料を2層にしたシートを用いて、ケーブル等を伝搬して電子機器に侵入するノイズを磁気損失と渦電流損失の相乗効果により減衰させる方法であり、減衰特性をコントロールできる利点を持つ。本研究の成果は、電子情報通信学会和文論文誌2編および査読付き国際会議1編として公表されている。

博士学位論文発表会の質疑と試問における専門知識に関する質問はノイズ抑制における信号・雑音帯域の考え方、抑制材料の物理的特性と周波数特性の関係、放熱特性、特性評価試験の方法など、ノイズ抑制とその関連知識に関する広範囲な内容であったが、申請者は全ての質問に対して的確に解答した。また、学術誌IEEE Magnetics LettersとIEC制定の国際規格から抜粋した9頁の英文を用いた外国語(英語)能力を評価する試問に対しても申請者は全て正しく解答した。また、申請者は研究成果の一部を国際会議で発表しており、英語により論文を執筆し、発表する能力を有していると言える。

以上より、審査委員会は、本論文が広島市立大学大学院情報科学研究科の博士論文としての要件を十分に満たしているものと判定し、申請者は博士(情報工学)の学位を取得するのに十分な知識と専門性を有していると判断した。