

令和元年6月14日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06239

研究課題名(和文) プリント回路基板周辺の電磁ノイズ抑制素子の開発とその実用化

研究課題名(英文) Development and practical realization of noise suppression tunable device for transmission line on printed circuit board

研究代表者

村野 公俊 (MURANO, Kimitoshi)

東海大学・工学部・教授

研究者番号：60366078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：電気・電子機器間や電子回路間を接続する伝送線路に沿って不要な電磁波が伝播すると、機器の誤動作の原因となる。本研究では、電気・電子機器内のプリント回路基板上のプリント配線(伝送線路)を伝搬する不要な電磁波(電磁ノイズ)を抑制するために、プリント配線に装荷する素子(電磁ノイズ抑制素子)の実用化に向けた検討を行った。最適な特性を有する電磁ノイズ抑制素子を得るため、理論と実験の両面から検討し、多線条線路理論を用いた本抑制素子の設計方法を開発した。また、学会を通じて研究成果を公表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

携帯情報端末の爆発的な普及にともない、周辺の電磁環境はますます複雑化している。複雑な電磁界に置かれた電気・電子機器が正常に動作するためには、機器内部の電子回路のノイズ対策が必要不可欠である。本研究では、不要な電磁界によって電子回路に誘導された電磁ノイズの伝播を抑制するための素子の実用化に向けた検討を行った。プリント回路基板上のプリント配線の近傍に本素子を装荷すると、これらは多線条線路構造となることに着目し、多線条線路理論を用いた設計手法を明らかにした。この解析的な設計手法は、本素子の動作メカニズムの解明や実用化に向けた最適設計、さらには電気・電子機器の誤動作の低減に寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：An electro-magnetic (EM) noise propagating along the transmission line connected between the electronic circuits causes a malfunction of the electrical and electronic equipment. To suppress the propagation of the EM noise, a more practical noise-suppression device (NSD) was examined in this research. Theoretical analysis and some experiments about the transmission line with the NSD were conducted to clarify the structure of the NSD with an optimal characteristics. As a result, a design method of the NSD using the multi-conductor transmission-line theory was developed. The results of this study were published to the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.

研究分野：環境電磁工学

キーワード：電磁ノイズ抑制素子 電磁誘導現象 共振現象 多線条線路理論 プリント回路基板 電磁環境 EMC

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

携帯電話・スマートホンなどの電波を発する携帯情報端末の爆発的な普及に伴い、我々を取り巻く電磁界(電磁環境)が人体に与える悪影響について、社会的関心が高まっている。また、複雑な電磁環境において電気・電子機器を作動させた場合、外来電磁界によって機器が誤動作する場面がある。高機能で小型化された電気・電子機器の内部には、アナログ回路、デジタル回路、高周波・マイクロ波回路が混在し、それらがプリント回路基板上に高密度に実装されている。このようなプリント回路基板からは、高い周波数成分を含む広帯域な不要電磁波(電磁ノイズ)が放射され、周辺の電子回路や電子機器の誤動作を引き起こす原因となっている。外来電磁界や電磁ノイズによる電気・電子機器の誤動作を低減するためには、不要な外来電磁妨害波の放射を抑制するのみならず、電子回路に誘導される電磁ノイズを抑制し、外来電磁界に対する電気・電子機器の耐性(イミュニティ)を向上させることが求められる。

2. 研究の目的

電気・電子機器の誤動作の要因の一つに、「電子回路上の不要な信号(電磁ノイズ)の伝搬」が挙げられるが、この電磁ノイズを抑制する手法の一つとして、近傍界ノイズ抑制部品(電磁ノイズ抑制素子)が提案されている。この抑制素子は、プリント回路基板上のプリント配線などを伝播する電磁ノイズを周波数選択的に除去しようとするものであるが、所望のノイズ抑制効果を得るための設計方法や最適構造については、これまで明らかにされていない。本研究では、プリント回路基板上のプリント配線に電磁ノイズ抑制素子を装荷することにより、プリント配線を伝播する電磁ノイズを抑制することを想定し、その実用化に向けて、本抑制素子の設計方法を明らかにすることを目的としている。

3. 研究の方法

本研究で取り扱う電磁ノイズ抑制素子は、先行研究で開発された「癌温熱治療(ハイパーサーミア)用共振型高効率発熱微小インプラント」の原理を応用したものであり、コイル・コンデンサによる共振現象と電磁誘導現象を利用したものである。本研究では、プリント回路基板上の電子回路を伝播する電磁ノイズを抑制するため、プリント回路基板上に配置されたプリント配線周辺に電磁ノイズ抑制素子を装荷(配置)することを想定している。ここで、本抑制素子を構成するコイルとコンデンサは、それぞれループ状のプリント配線と表面実装部品で実現できるため、これらを組み合わせることにより、プリント回路基板上に本抑制素子を形成することができる(図1参照)。本研究ではこの構造を基本モデルとして、電磁ノイズ抑制素子の設計手法の確立を目指す、以下の検討を行う。

(1) 解析的手法により電磁ノイズ抑制素子のノイズ抑制効果を評価できるよう、図1の基本モデルを「多線路線路構造を有するモデル(多線路線路モデル、図2参照)」に変形する。また、同モデルを試作し、電磁ノイズ抑制素子が装荷された伝送線路(マイクロストリップ線路)の伝送特性を実験的に明らかにする。これにより、従来の基本モデルと同様のノイズ抑制効果が得られるか否かを検証する。

(2) 図2のモデルについて、多線路線路理論を用いて、電磁ノイズ抑制素子が装荷されたマイクロストリップ線路の伝送特性の定式化を行う。これにより、所望のノイズ抑制効果を得ることのできる本抑制素子の構造およびマイクロストリップ線路周辺への配置方法を推定する。

4. 研究成果

(1) 図2のような多線路線路モデルを試作し、電磁ノイズ抑制素子が装荷されたマイクロストリップ線路の伝送特性を測定した結果の一例を、図3に示す。ここで用いたプリント回路基板は厚さ1.6mmのガラスエポキシ基板(FR-4)であり、同基板の部品面には表1に示すような寸法を有するプリント配線パターンを配置している。また、インピーダンス Z_3, Z_5, Z_6 は0(短絡)

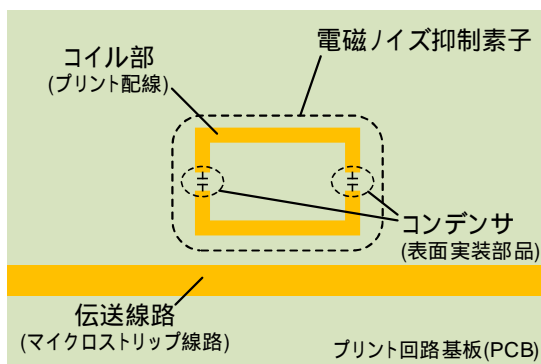


図1 電磁ノイズ抑制素子が装荷された伝送線路の基本モデル

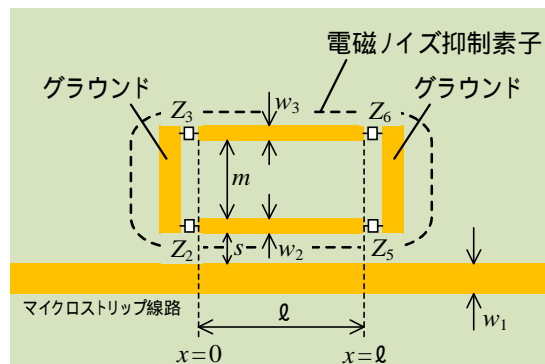


図2 基本モデルをもとに多線路線路構造に変形した多線路線路モデル

表1 試作したプリント回路基板のプリント配線パターン寸法の寸法

| | |
|--------|-------|
| ℓ | 10 mm |
| w_1 | 3 mm |
| w_2 | 1 mm |
| w_3 | 1 mm |
| m | 2 mm |
| s | 1 mm |

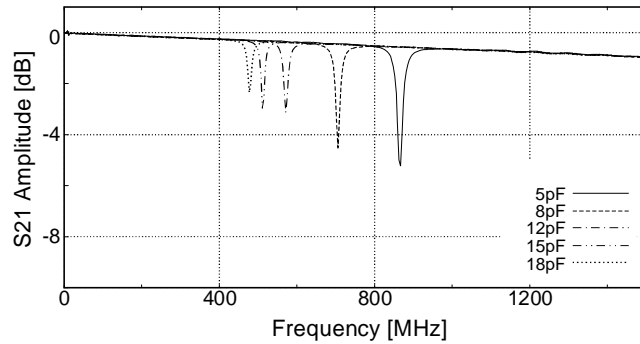


図3 マイクロストリップ線路の透過振幅特性 (多線路線路モデル)

とし、共振構造とするために実装するチップ・コンデンサのインピーダンスを Z_2 としている。図3は、チップ・コンデンサの容量を5pFから18pFまで変化させた場合のマイクロストリップ線路の透過振幅特性の変化を示したものである。コンデンサの容量が増加するにつれて、透過振幅特性が極小となる周波数が低下している様子を確認することができる。この結果は、従来の構造(図1の基本モデル)の場合と同様の傾向を示しており、図2のような多線路線路モデルに変形しても、従来と同様のノイズ抑制効果が得られることを示している。

(2) 図2において、電磁ノイズ抑制素子が2本の平行線路と各々の始端・終端のインピーダンス Z_2, Z_3, Z_5, Z_6 によって構成されていると考え、このモデルは平行3本線路構造と考えることができ、その等価回路は図4のように表現することができる。この等価回路において、3本の線路 Line #1 ~ 3 の始端 $x = 0$ 、終端 $x = \ell$ における線路電流ベクトル $I(0), I(\ell)$ の関係は、平行3本線路の電信方程式から、次式のように表現できる。

$$\begin{bmatrix} E_g - Z_g I(0) \\ I(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_L I(\ell) \\ I(\ell) \end{bmatrix}$$

ここで、 A, B, C, D は平行3本線路の縦続行列の要素行列である。また、 E_g は平行3本線路の始端側の電源ベクトル、 Z_g, Z_L はそれぞれ始端側、終端側のインピーダンスマトリクスであり、次式で与えられる。

$$E_g = \begin{bmatrix} E_g \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad Z_g = \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 \end{bmatrix} \quad Z_L = \begin{bmatrix} Z_4 & 0 & 0 \\ 0 & Z_5 & 0 \\ 0 & 0 & Z_6 \end{bmatrix}$$

これより、線路電流ベクトル $I(0), I(\ell)$ が次式のように得られるため、図2で示したマイクロストリップ線路の伝送特性を求めることができる。

$$I(0) = (CZ_L + D) \{ Z_g (CZ_L + D) + (AZ_L + B) \}^{-1} E_g$$

$$I(\ell) = \{ Z_g (CZ_L + D) + (AZ_L + B) \}^{-1} E_g$$

図5は、多線路線路構造を有する電磁ノイズ抑制素子が装荷されたマイクロストリップ線路(図2参照)の透過振幅特性の計算結果の一例である。なお図5は、(1)で試作したものと同様のプリント回路基板およびプリント配線パターンとした場合についての計算結果である。コンデンサの容量の増加に伴って透過振幅特性が極小となる周波数が低下している様子を示しており、実験結果(図3)と同様の傾向を示していることが確認できる。

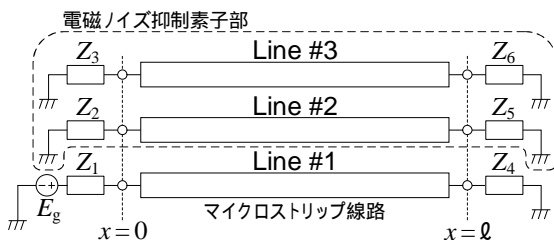


図4 電磁ノイズ抑制素子が装荷されたマイクロストリップ線路の等価回路

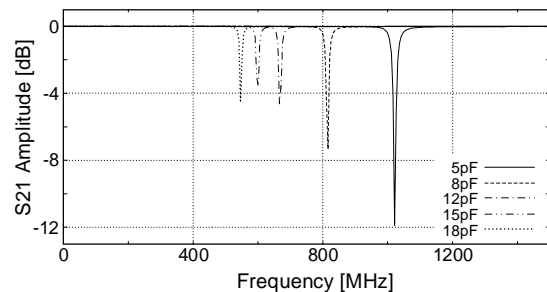


図5 電磁ノイズ抑制素子が装荷されたマイクロストリップ線路の透過振幅特性の計算例

実験結果(図3)と計算結果(図5)との間に見られる差異については、さらなる検討が必要であるが、以上の結果から、多線路線路モデルを採用することによって、電磁ノイズ抑制素子が装荷されたマイクロストリップ線路の伝送特性の推定が可能であると考えられる。また本手法は、

所望の伝送特性を得るための電磁ノイズ抑制素子の構造や、マイクロストリップ線路周辺への配置位置等を推定する際、有効な手段となり得ると考えられる。

電磁ノイズ抑制素子の最適設計の手法を検討するにあたり、当初、電磁界シミュレータの導入を検討した。しかし、シミュレータを利用すると、電磁ノイズ抑制素子の動作メカニズムの解明や応用の際の理論的な検討が難しくなることが予想されたため、本研究では、多線条線路理論を用いた解析的手法を採用した。この手法は、今後、自律制御型電磁ノイズ抑制素子を他の伝送線路構造に適用する際の最適設計にも、有力な手段となることが期待される。

<引用文献>

村野 公俊, 小塚 洋司, “自律制御を目指した能動素子装荷型近傍界ノイズ抑制素子の提案,” 電子情報通信学会技術研究報告, EMCJ2010-66, vol. 110, no. 236, pp. 81-86, Oct. 2010.

村野 公俊, 小塚 洋司, “自律制御を目指した能動素子装荷型近傍界ノイズ抑制素子の基本特性,” 電子情報通信学会論文誌 B, vol. J96-B, no.4, pp. 410-416, 2013.

Y. Kotsuka, H. Kayahara, K. Murano, H. Matsui, M. Hamuro, “Local Inductive Heating Method Using Novel High-Temperature Implant for Thermal Treatment of Luminal Organs,” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 57, no. 10, pp. 2574-2580, 2009.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

村野 公俊, 上 芳夫, 小塚 洋司, “多線条線路理論を用いた近傍界ノイズ抑制素子のノイズ抑制効果の計算法,” 電子情報通信学会論文誌 B, vol. J102-B, no.3, pp. 281-283, Mar. 2019. DOI:10.14923/transcomj.2018PEL0001

[学会発表](計2件)

村野 公俊, 上 芳夫, 小塚 洋司, “能動素子装荷型近傍界ノイズ抑制素子を装荷したマイクロストリップ線路の伝送特性解析,” 電子情報通信学会 2018 年ソサイエティ大会, B-4-44, Sep. 2018.

村野 公俊他, “能動素子装荷型近傍界ノイズ抑制素子の特性改善に関する検討,” 電子情報通信学会 2017 年総合大会, B-4-34, Mar. 2017.

6. 研究組織

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。