

研究速報

磁性吸収体を用いたプリント基板からの放射抑制効果の実験と数値解析による評価

戸花 照雄^{†a)} (正員) 陳 強^{††} (正員)
 澤谷 邦男^{††} (正員) 笹森 崇行[†] (正員)
 阿部 紘士[†] (正員)

Experimental and Numerical Evaluation of Suppression Effect of Radiation from Printed Circuit Board Using Magnetic Absorber
 Teruo TOBANA^{†a)}, Qiang CHEN^{††}, Kunio SAWAYA^{††},
 Takayuki SASAMORI[†], and Kohshi ABE[†], Regular Members

[†] 秋田県立大学システム科学技術学部電子情報システム学科, 本荘市
 Department of Electronics and Information Systems, Akita
 Prefectural University, Honjō-shi, 015-0055 Japan

^{††} 東北大学大学院工学研究科, 仙台市
 School of Engineering, Tohoku University, Sendai-shi, 980-
 8579 Japan

a) E-mail: tohana@akita-pu.ac.jp

あらまし プリント基板からの放射を抑制するため
 に、マイクロストリップ線路近傍に磁性吸収体を置く
 方法がある。本報告では、実験及び数値解析により磁
 性吸収体による放射抑制効果を評価している。

キーワード 磁性吸収体, プリント基板, 放射ノイ
 ズ, 放射電力積分法, FDTD 法

1. まえがき

近年, 高度な情報処理技術の進歩や, 情報処理機器
 をはじめとする電子機器の動作周波数の高速化が進み,
 これに伴い, 妨害電磁波の放射が問題となっている。

妨害電磁波を抑制する一つの方法として, 電子機器
 のきょう体内部に電波吸収材料を置くことにより, 機
 器内部の信号線路や回路基板から放射する電磁波を
 吸収する方法があり, 吸収材料としてはフェライトや
 カーボンなどが用いられている [1]~[3]。

筆者らは, プリント基板からの放射電磁波を抑制
 するために, マイクロストリップ線路近傍にデバイ分
 散をもつフェライト板を置いた場合の数値シミュレ
 ションを行い, いくつかの有用な結論を導き出した [4]。
 しかしながら, 実際に使用される磁性吸収材料はデバ
 イ分散とは限らない。また, 磁性体による放射抑制効
 果は実験により評価されていなかった。

本報告においては, 実際に使われている磁性吸収
 体 [3] に着目し, マイクロストリップ線路近傍に置い
 たときの放射電力を放射電力積分法により測定し, 磁
 性体による放射抑制効果を評価する。また, 使用し
 た磁性吸収体の誘電率と透磁率を測定し, 分散式に
 合わせ込み, その値を用いて FD-FDTD (Frequency
 Dependent-Finite Difference Time Domain) 法 [5]

により放射電力の数値計算を行う。

2. 磁性吸収体による放射抑制効果の測定

図 1 に示すように, マイクロストリップ線路近傍
 に磁性吸収体を置き, 放射電力を測定した。プリン
 ト基板は, 長さ $L = 60$ mm, 幅 $W = 30$ mm, 厚さ
 $T = 1.5$ mm のテフロン積層基板 ($\epsilon_r = 2.55$) であり,
 幅 $w = 2$ mm, 長さ $l = 40$ mm, 特性インピーダ
 ンス 77.8Ω のマイクロストリップ線路が設けられてい
 る。線路の先端から SMA コネクタにより給電し, も
 う一方の先端は開放とした。また, 長さ $L_f = L$, 幅
 $W_f = W$, 厚さ $T_f = 1.2$ mm の磁性吸収体を, 基
 板の線路側に配置した。基板と磁性吸収体の距離は
 $z_m = 3$ mm である。

プリント基板からの放射電力 P_r は, 電波無響室内
 において放射電力積分法 [7], [8] により測定した。

3. 磁性吸収体による放射抑制効果の数値計算

図 1 のモデルを用い, 分散をもつ媒質に FDTD 法を
 適用するために, RC (Recursive Convolution) 法 [5]
 を用いて数値計算を行った。

ここで, 分散式の違いによる数値計算結果を検討す
 るために, まず複素比透磁率 μ_r がデバイ分散に従い,
 比誘電率 ϵ_∞ と導電率 σ が定数であるものとした場
 合, すなわちこれらが

$$\left. \begin{aligned} \mu_r(\omega) &= 1 + \frac{\mu_s - 1}{1 + j\omega t_{m0}} \\ \epsilon_r(\omega) &= \epsilon_\infty + j\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

で与えられる場合を考えた。また, 実際の磁性吸収体
 の比透磁率 μ_r と比誘電率 ϵ_r に近づけるために, デ
 バイ分散の式 (1) に形式的に 1 組の複素共役根をもつ
 ローレンツ分散の式 [6] を加えて,

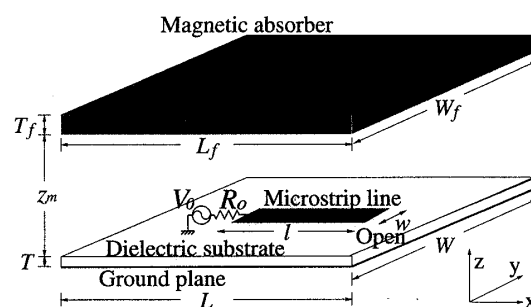


図 1 磁性吸収体を設けたマイクロストリップ線路
 Fig. 1 Microstrip line with magnetic absorber.

表1 測定値に合わせ込むことで求めた式(1)の係数
Table 1 Coefficients of equation (1) fitted by measured values.

比誘電率 $\epsilon_r(\omega)$		比透磁率 $\mu_r(\omega)$	
ϵ_∞	107	μ_s	16
σ	0.2 S/m	t_{m0}	130 ps

$$\left. \begin{aligned} \mu_r(\omega) &= \mu_\infty + \frac{\mu_s - \mu_\infty}{1 + j\omega t_{m0}} \\ &\quad + \frac{(\omega_{m0} + j\omega\alpha_m)\omega_{mm}}{(\omega_{m0} + j\omega\alpha_m)^2 - \omega^2} \\ \epsilon_r(\omega) &= \epsilon_\infty + j\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega t_{e0}} \\ &\quad + \frac{(\omega_{e0} + j\omega\alpha_e)\omega_{em}}{(\omega_{e0} + j\omega\alpha_e)^2 - \omega^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

を用いて、磁性吸収体の電気特性を数値モデル化した。ここで、 ω は角周波数、 ϵ_0 は真空における誘電率、 μ_s と ϵ_s は初比透磁率と初比誘電率、 μ_∞ と ϵ_∞ は周波数が無限大のときの比透磁率と比誘電率、 t_{m0} と t_{e0} は緩和時間、 ω_{m0} と ω_{e0} は共振角周波数、 α_m と α_e は減衰定数に対応しており、 ω_{mm} と ω_{em} はローレンツ分散項の形式的な係数を表している [6]。

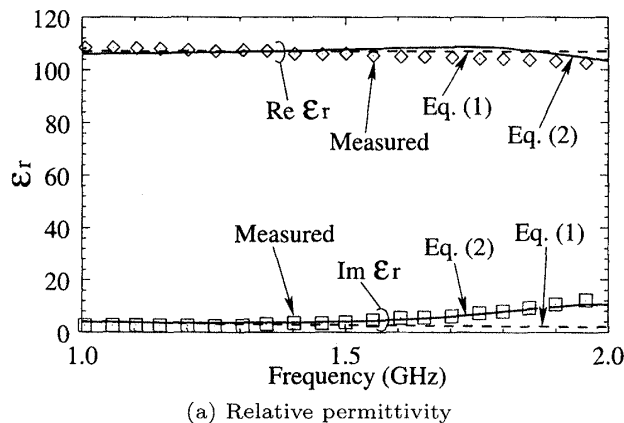
磁性吸収体の比透磁率と比誘電率は、広帯域の周波数を測定でき、装置の構造も小さくできる TEM 導波路法 [9], [10] により測定した。また、比透磁率と比誘電率の測定値と一致するように式(1)と式(2)の係数を設定した。その値を表1と表2に示す。ここで、1~3 GHz の周波数帯域においてのみ合致するようにパラメータを定めたため、 μ_s と t_{m0} の値は大きく異なっている。

また比誘電率と比透磁率の測定値と、表1による式(1)の値、及び表2による式(2)の値を図2にそれぞれ示す。この図より、式(1)では比誘電率と比透磁率の測定値と理論値を一致させることは困難であるのに対して、式(2)を用いることにより両者がよく一致していることがわかる。

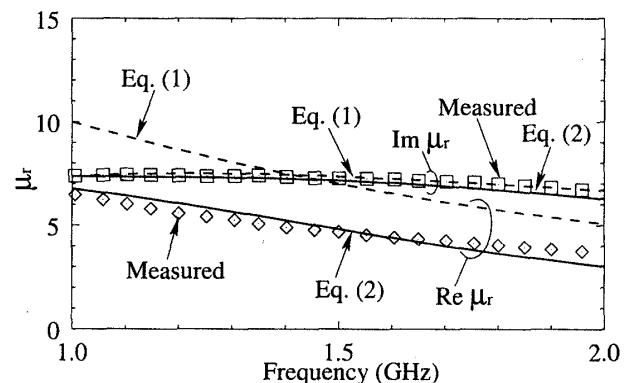
次に、式(1)と式(2)に RC 法を適用し、FDTD 法により図1のモデルからの放射電力 P_r を、ポインティングベクトルをプリント基板とフェライト板を囲む閉面上で面積分することにより求めた。ストリップ線路と地板の銅損は SIBC (Surface Impedance Boundary Condition) 法 [11] により考慮した。また、吸収境界条件には PML (Perfectly Matched Layer) [12] を用いた。計算した放射電力は、50 Ω の内部抵抗をもつ電源からの入射電力 P_{inc} で正規化している。

表2 測定値に合わせ込むことで求めた式(2)の係数
Table 2 Coefficients of equation (2) fitted by measured values.

比誘電率 $\epsilon_r(\omega)$		比透磁率 $\mu_r(\omega)$	
ϵ_∞	103	μ_∞	1
σ	0.2 S/m	μ_s	91.1
ϵ_s	112.02	t_{m0}	3.49 μ s
t_{e0}	63.5 ns	ω_{m0}	14.6 Grad/s
ω_{e0}	12.5 Grad/s	ω_{mm}	92.3 Grad/s
ω_{em}	28.8 Grad/s	α_m	1
α_e	0.13		



(a) Relative permittivity



(b) Relative permeability

図2 測定と式(1), (2)による比誘電率と比透磁率
Fig.2 Relative permittivity and permeability of measurement, equations (1) and (2) values.

4. 測定及び計算結果

放射電力の測定値と計算値を図3に示す。ここで、磁性吸収体による放射抑制効果を評価するために、プリント基板単体の場合(吸収体がない場合)の放射電力も示している。図3より、磁性吸収体を配置することにより周波数2 GHz 付近にある放射電力の極大値がほぼ半減しており、磁性吸収体による放射抑制効果が示された。また、測定値と計算値がほぼ一致することから、FDTD 法による解析の妥当性が確認できた。式(1)と式(2)による数値計算結果に大きな違いは見

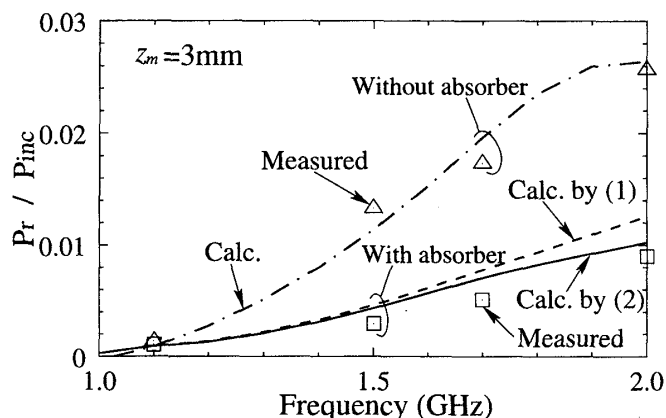


図3 放射電力の測定値と計算値の比較
Fig. 3 Comparison of measured and calculated values of radiation power from PCB.

られていないが、式(1)を用いることにより、より測定値に近い値になることがわかる。

5. むすび

磁性吸収体を用いて、プリント基板からの放射電力の抑制効果の測定と数値計算を行った。実験及び数値解析により、実際に使用されている磁性吸収体による放射抑制効果を確認した。また、磁性体の分散をデバイ分散とローレンツ分散の和として表すことにより、磁性体の解析精度を向上できることを示した。

文 献

- [1] S. Hoshino, M. Iwanami, and H. Tohya, "Characterization of printed circuit boards including magnetic film using finite element analysis," Proc. EMC'99 Tokyo, pp.13-16, May 1999.
- [2] 小野恭裕, 秋野直治, 篠原慎一, 佐藤利三郎, "パッケージに用いた複合磁性材料によるICからの電磁雑音の抑制特性," 信学技報, EMCJ99-80, pp.23-28, Oct. 1999.
- [3] 掘田幸雄, 李 嘯河, 仁田周一, "新素材のEMC設計への応用," 電気・電子機器のEMCワークショップ, pp.39-48, Nov. 1999.
- [4] 戸花照雄, 陳 強, 澤谷邦男, 笹森崇行, 阿部紘士, "フェライトを用いたプリント回路基板からの放射抑制効果," 信学技報, EMCJ2000-17, pp.43-48, May 2000.
- [5] R.J. Luebbers, F. Hunsberger, K.S. Kunz, R.B. Standler, and M. Schneider, "A frequency-dependent finite-difference time-domain formulation for dispersive materials," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol.32, no.3, pp.222-227, 1990.
- [6] D.M. Pozar, Microwave engineering, pp.498-508, John Wiley & Sons, N.Y., 1998.
- [7] Q. Chen, T. Shinohe, K. Igari, and K. Sawaya, "Measurement of radiation efficiency of antennas in the vicinity of human model," IEICE Trans. Commun., vol.E80-B, no.5, pp.709-711, May 1997.
- [8] 佐々木亮, 陳 強, 中村精三, 澤谷邦男, "ページャ用小形ループアンテナの放射効率の測定," 信学技報, AP98-11, pp.25-29, May 1998.
- [9] W. Barry, "A broad-band, automated, stripline technique for the simultaneous measurement of complex permittivity and permeability," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol.34, no.1, pp.80-84, Jan. 1986.
- [10] 戸花照雄, 陳 強, 澤谷邦男, "線路の不整合を考慮したストリップ線路法による磁性体特性の推定," 平9東北連大, 2D-14, 1997.
- [11] J.H. Beggs, R.J. Luebbers, K.S. Yee, and K.S. Kunz, "Finite-difference time-domain implementation of surface impedance boundary conditions," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.AP-40, no.1, pp.38-48, Jan. 1992.
- [12] J.P. Berenger, "A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetics waves," J. Comput. Physics, vol.114, no.1, pp.185-200, 1994.

(平成12年12月4日受付, 13年3月28日再受付)