

平衡度不整合によるコモンモードの発生とその低減法

Generation Mechanism and Suppression Method of Common-mode Radiation due to Imbalance Difference between transmission lines

渡辺哲史* 松永茂樹** 松嶋徹† 和田修己† 豊田啓孝† 古賀隆治†
Tetsushi Watanabe Shigeki Matsunaga Tohlu Matsushima Osami Wada Yoshitaka Toyota Ryuji Koga

*岡山県工業技術センター ** (株)ハーテック †京都大学 大学院工学研究科 †岡山大学 大学院自然科学研究科

*Industrial Technology Center of Okayama Prefecture †Graduate School of Engineering, Kyoto University

**Hartec Corp. †Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

1. まえがき

不要電磁波放射においては、一般的に、ノーマルモード放射よりコモンモード放射が大きく測定される。この原因となるコモンモード電流は回路解析等では推定できないため、full-wave 電磁界解析に頼らざるを得なかった。

我々は、線路の平衡度に注目し、コモンモードの発生メカニズムを解明した。これを用いて、コモンモード放射を簡単に予測するためのモデル化手法を提案し、その適用範囲と低減法について検討を行ってきた。今回は、そのモデル化の概要と実験結果を紹介する。

2. 平衡度とコモンモード電圧

図1に示すような基準金属面上に2本の導体のある伝送線路を考える。この線路の一方を信号線(Signal line),他方を帰路線(Return line)と呼ぶ。各々の電流 I_S , I_R は機能電流としてのノーマルモード電流 I_N と不要成分としてのコモンモード電流 I_C の和として次式のように表される。

$$I_S = I_N + h I_C \quad (1)$$

$$I_R = -I_N + (1-h) I_C \quad (2)$$

ここで、 h は電流配分率と呼ばれ、線路の平衡度を表すパラメータであり、線路の断面構造によって決定される¹⁾。このとき、この線路系の各モード電圧 V_N , V_C は次式のように表される。

$$V_N = V_S - V_R \quad (3)$$

$$V_C = h V_S + (1-h) V_R = h V_N + V_R \quad (4)$$

コモンモードのみに着目する場合、2本の導体を一体として扱える。これにより、コモンモード電圧・電流のみを考慮するコモンモードモデルを構築した。

3. コモンモード発生メカニズム

図2(a)に示すように断面形状の異なる線路が接続されて

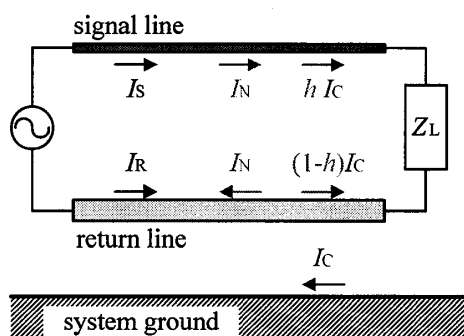


図1 線路電流とモード電流

いる点に注目する。各々の線路の平衡度を h_a , h_b とする。図2(b)に接続点近傍の電位を示す。接続点の左右において、各線路電圧は連続となるが、平衡度の不一致によりコモンモード電圧の不連続 ΔV_C を生じていることがわかる。

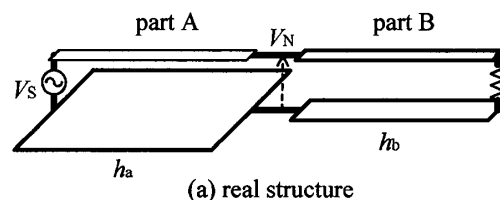
$$\Delta V_C = (h_b - h_a) V_N = \Delta h V_N \quad (5)$$

従って、コモンモードモデルは図2(c)のように各々のコモンモード線路の間に起電力を生じたモデルとして表すことができる。この、コモンモードモデルにおいて、系がシステムグラウンドより遠く離れている場合、このモデルをアンテナとして考えることにより、コモンモード放射を計算することができる。

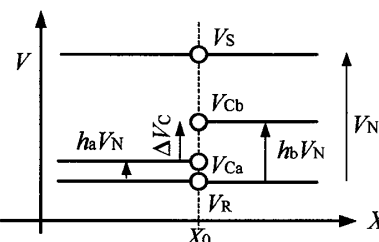
4. 実験

図2に示したモデルの妥当性を検証するため、図3に示す試験基板Iを用いて放射電界の測定値と予測値を比較した¹⁾。

この試験基板Iでは、信号線はグラウンド面の中央から外れた位置にあり、グラウンド端からの距離 d をパラメータとする複数の試験基板を用いた。距離 d の変化によって電流配分率 h_b は変化する。一方、幅の広い側の h_a はいずれの場合もほぼ0である。(5)式より、 ΔV_C は Δh ($\approx h_b$)に比例する。従って、放射電界 E も Δh に比例して変化すると予測される。



(a) real structure



(b) voltage maps near connection



(c) common mode antenna model

図2 コモンモード発生メカニズム

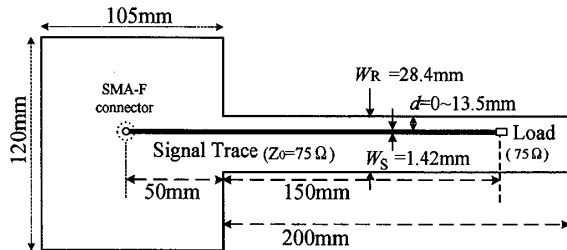


図3 試験基板 I

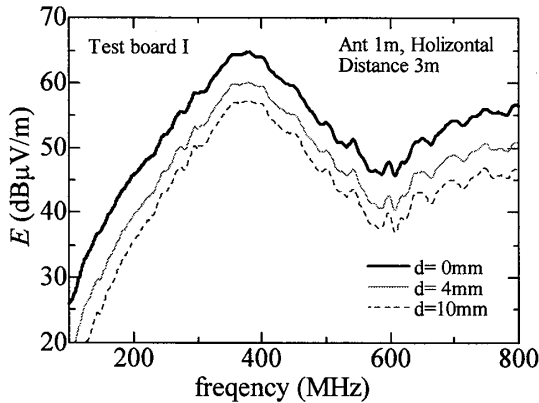


図4 配線位置によるコモンモード放射の変化

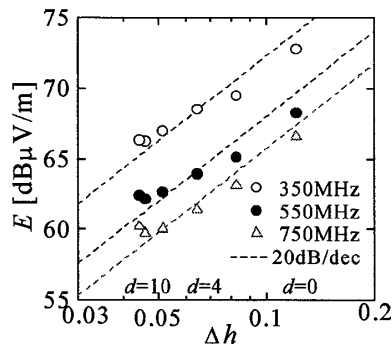


図5 平衡度変化と放射電界の関係

図4に電波暗室における放射電界の測定結果を示す。異なる d を持つ基板の間では、ほぼ一定の差を持っていることが確認できる。そこで、 d を変化させた場合の Δh と放射電界の関係を図5に示す。その結果、放射電界 E は Δh に比例すると見られるため、今回のモデル化は妥当であると考えられる。

5. コモンモード低減法

図2に示す発生源モデルを考えた場合、 Δh を低減することがコモンモード放射の抑制に有効であることが期待される。この Δh の低減法の1例として、ガードトレースの設置を検討した^{2,3)}。試験基板IIとして、グランド面の幅の狭い部分に、図6に示すように、信号線に隣接してガードトレースを配置した。ガードトレースを設置することにより h_0 の値が低減される。その結果、 Δh の低減量に比例した放射電界の低減が期待できる。ガードトレースを配置しない場合を基準として、 Δh の低減量(予測値)と放射電界強度の低減量(ΔE)の比較を図7に示す。500–650MHzにおいては、元々の放射量が少なく測定限界に近いため低減効果は少なくなっているが、その他の周波数ではほぼ予測通りの低減

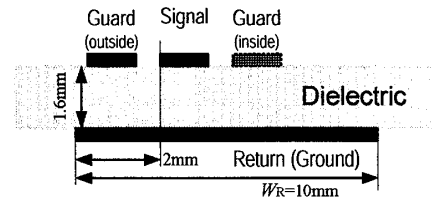


図6 試験基板 II 断面形状

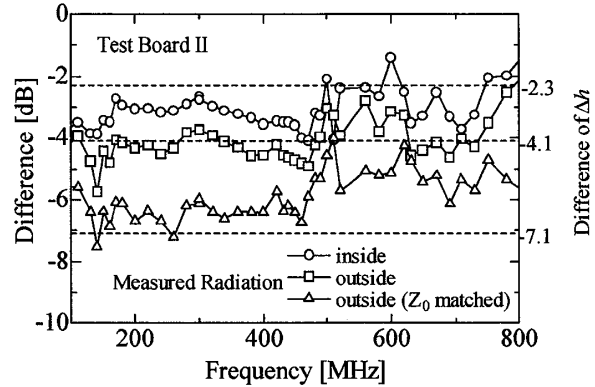


図7 ガードトレースによる放射低減効果

効果が確認された。従って、ガードトレースなどのグランド強化では平衡度が改善され、コモンモード放射が低減される。また、その低減効果は予測可能であることが確認できた。

6. まとめ

線路の平衡度に基づくコモンモード電位を考えると、平衡度の変化する点でコモンモードの励振源が発生する。この励振源がコモンモードモデル上にコモンモード電流を誘起し、コモンモード放射を生じる。

今回提案したコモンモードモデルを用いると、full wave 電磁界解析を用いず、平衡度のみを計算すれば励振源の抑制が可能となり、コモンモード放射を抑制することができる。

現実問題として、回路基板とケーブルの平衡度の差がコモンモードを発生させている例がよく見られる。一般に回路基板の h は小さいため、全体として h を小さくする設計がコモンモード低減に有効である。講演当日は、開発現場における実施例も紹介する予定である。

参考文献

- [1] T. Watanabe, et al., "A prediction method of common-mode excitation on a printed circuit board having a signal trace near the ground edge," IEICE Trans. Commun., vol. E87-B, no.8, pp.2327-2334, Aug. 2004.
- [2] T. Watanabe, et al., "Quantitative evaluation of common mode radiation from a PCB based on imbalance difference model," Proc. Int. Symp. Electromagnetic Compatibility, Sendai, Japan, pp.201-204, June 2004.
- [3] T. Matsushima, et al., "Evaluation of EMI Reduction Effect of Guard Traces Based on Imbalance Difference Model," IEICE Trans. Commun., vol. E92-B, no. 6, pp.2193-2200, June 2009.