

高周波多層回路における Via の電磁界解析  
 ～等価回路モデルの検討～

Electromagnetic-Field Analysis of Via in a High Frequency Multilayered Circuit  
 ~ The study of Equivalent Circuit Model ~

○柴田国明<sup>\*1</sup> 山本諒<sup>\*2</sup> 細野裕行<sup>\*3</sup> 三枝健二<sup>\*3</sup> 高野忠<sup>\*3</sup>

Kuniaki Shibata<sup>\*1</sup> Ryo Yamamoto<sup>\*2</sup> Hiroyuki Hosono<sup>\*3</sup> Kenji Saegusa<sup>\*3</sup> Tadashi Takano<sup>\*3</sup>

**Abstract:** In this study, we analyze electromagnetic-field of three-layered transmission line connected by a Via. We propose an equivalent electrical circuit and made a reasonable estimate of self-inductance on a Via. In addition we investigate and optimize the radius of the via and ground-clearance .

1. まえがき

電子機器の小型化に伴い回路の多層化が進んでいる。多層化された回路は各々 Via により接続される。またマイクロストリップラインからトリプレートといった異なる構造の伝送路を接続する際にも Via が用いられる。高周波の信号では Via によるインピーダンスの不整合が懸念される[1]。そこで本報告では Via で接続した 3 層の伝送路をモーメント法により電磁界解析し、その等価電気回路モデルを構成し、最適な Via 形状を検討した。

2. 解析モデル

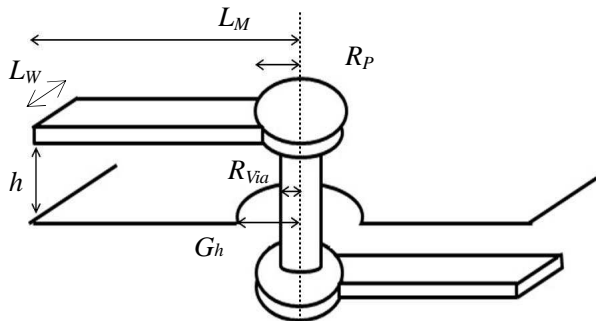


Figure 1. Analysis model

図 1 に今回解析を行ったマイクロストリップライン-地板-マイクロストリップラインの 3 層構造モデルを示す。層間は比誘電率 3.48 の誘電体に満たされている。マイクロストリップラインの厚みは  $d=0.018\text{mm}$ 、長さ  $L_M=10.75\text{mm}$ 、幅を  $L_W=1.2\text{mm}$ 、とした。2 つの伝送路をつなぐ構造は Pad をもつ Via とし、Pad 半径を  $R_P=0.6\text{mm}$ 、Via 半径を  $R_{Via}$ 、地板の穴の半径を  $G_h=1.2\text{mm}$ 、基板厚みを  $h=0.51\text{mm}$  とした。

3. 電磁界解析

図 2 に Via 付近の電磁界の簡略図を示す。また、図 3 に図 2 と対応させた電磁界解析における電界強度分布を示す。

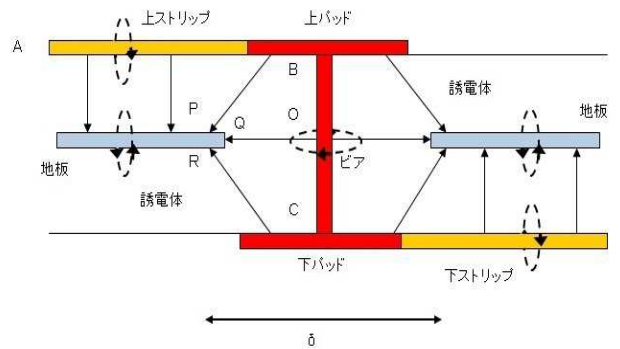


Figure 2. Electromagnetic field distribution of Via

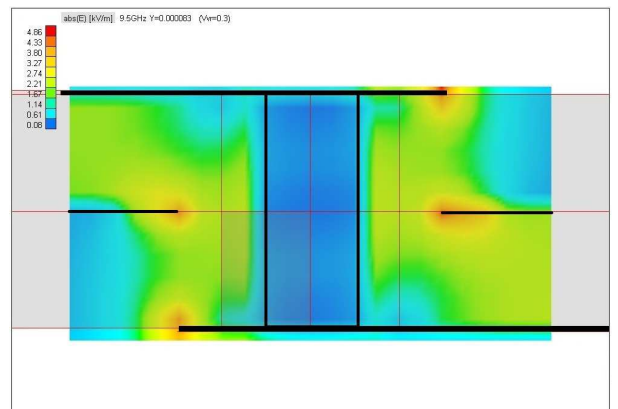


Figure 3. Field strength distribution of Via

図 2 中の実線は電界、点線は磁界である。磁界分布より区間  $\delta$  の磁界は自己インダクタンスのみとなる。また電気力線より等価的にコンデンサを考える。また図 3 の電界分布をからも図 2 の正当性が言える。したがって図 2 中  $\delta$  部のアルファベットに対応させた等価電気回路を推定し図 4 に示す。

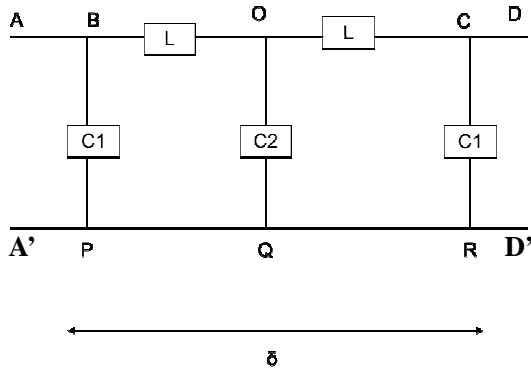


Figure 4. Equivalent circuit of the  $\delta$  section

次に回路定数の設定であるが、まず図 4 の BO-OC 間を半径  $R_v$ 、長さ  $h$  の円形断面をもつ直線導体として自己インダクタンスを求め、等価回路上  $L$  の値とした。このとき  $\mu_0$  は真空中の透磁率であり、 $L$  は次式で求まる。図 5 に Via 半径と自己インダクタンスの関係を示す。

$$L = \frac{\mu_0 h}{8\pi} + \frac{\mu_0}{2\pi} \left( h \log \frac{h + \sqrt{R_v^2 + h^2}}{R_v} - \sqrt{R_v^2 + h^2} + R_v \right) [H] \quad (1)$$

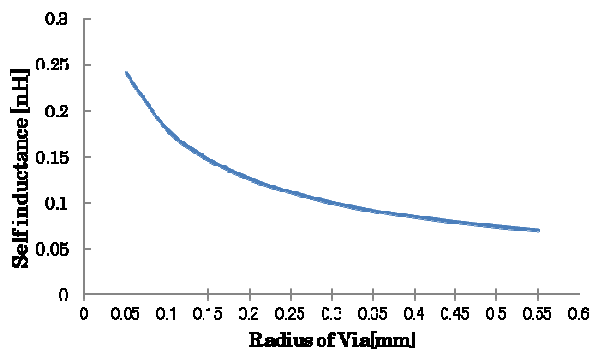


Figure 5. Self inductance of Via

#### 4. 結果

電磁界解析と等価回路モデル解析の  $S_{11}$  における比較の結果を示す。  $S_{11}$  解析のため等価回路の端子 AA', DD' に電磁界解析と同寸法のマイクロストリップラインを接続し、各々  $50\Omega$  の負荷を接続した。

図 6 には  $R_{via}=0.15\text{mm}$  とした際の比較結果を示す。この時、等価回路のパラメータは図 5 より  $L=0.1468\text{nH}$  とし、  $C_1$  及び  $C_2$  は電磁界解析の結果と合うように値を  $C_1=0.038\text{pF}$ 、  $C_2=0.042\text{pF}$  と定めた。結果は図 6 中の紫色の実線となり Q 値が高くなっている。インダクタンス  $L$  の持つ抵抗を考え、図 4 中 BO 及び OC 間に抵抗  $0.3\Omega$  を直列接続した。結果 Q 値は下がり電磁界解析の結果と良い一致をした。次に Via 半径  $R_{via}$  を  $0.2\text{mm}$  にした時の比較結果を図 7 に示す。

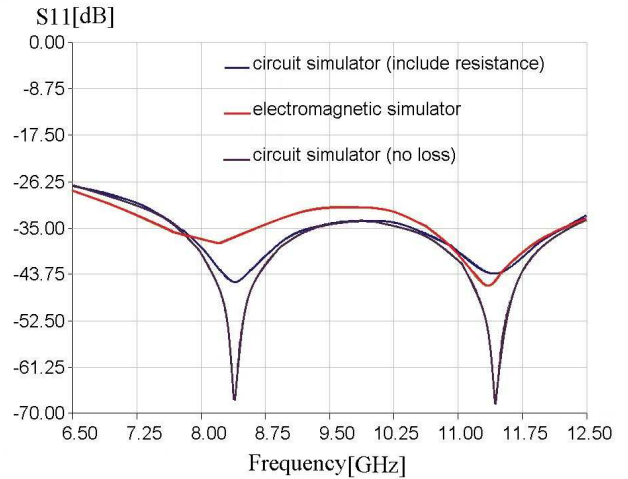


Figure 6. Comparison of EM simulators and circuit simulators ( $R_{via}=0.15\text{mm}$ )

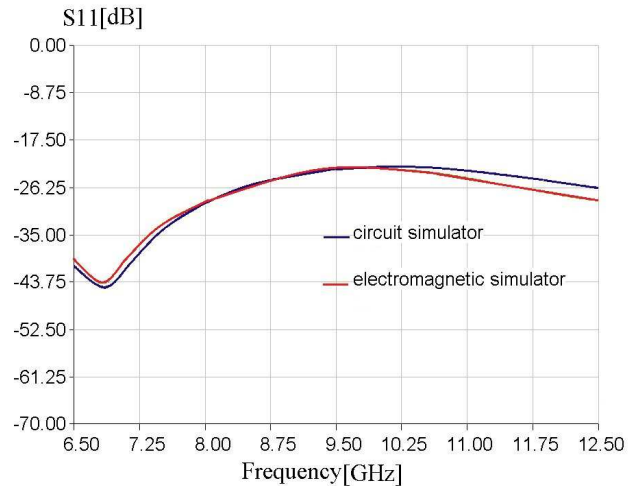


Figure 7. Comparison of EM simulators and circuit simulators ( $R_{via}=0.15\text{mm}$ )

図 7 の回路定数も図 6 と同様にして決定した結果  $L=0.1258\text{nH}$ 、  $C_1=0.038\text{pF}$ 、  $C_2=0.060\text{pF}$  となった。さらにビア半径を  $0.05\sim 0.55\text{mm}$  の範囲で変化させた際も電磁界解析と等価回路解析で  $S_{11}$  の値が良い一致をした。

#### 5. まとめ

本報告では Via で接続した 3 層の伝送路を簡易的な等価電気回路モデル化した。回路定数のインダクタンスを直線導体のインダクタンスとして求め、  $S_{11}$  を電磁界解析と比較し、等価回路モデルの正当性を示した。

今後は等価電気回路中  $C_1$  及び  $C_2$  について静電界解析にて検討を行う予定である。

この研究の一部は日本無線(株)からの委託研究費で行われています。

#### [参考文献]

白木他, 信学論(C), vol.J89-C, No.12, pp.1110-1119