

# ミリ波帯 CMOS 回路設計のためのマルチラインディエンベディング手法の検討

A Multi-Line De-Embedding Technique for mm-Wave Circuit Design

文仙 啓吾  
Keigo Bunsen

高山 直輝  
Naoki Takayama

岡田 健一  
Kenichi Okada

松澤 昭  
Akira Matsuzawa

東京工業大学大学院理工学研究科 電子物理学専攻  
Department of Physical Electronics, Tokyo Institute of Technology

## 1 まえがき

近年、近距離通信を目的とした 60GHz 帯の無線通信回路の研究が盛んに行われている。このような高周波回路の開発の際には、測定用プローブを置くためのコンタクトパッドなどの寄生成分の影響が大きくなり、正確に対象のみを測定することが難しい。それらの影響を取り除く作業はディエンベディングと呼ばれるが、従来手法である Open-Short 法や Thru-only 法にはそれらに必要とされる開放や短絡のダミーパターンに非理想性があるという問題点があった。そこで本研究ではトランジスタ、伝送線路、キャパシタ等のパッドの寄生成分を取り除く新たなディエンベディング手法を提案する。

## 2 提案するディエンベディング手法

パッドの寄生成分を考慮した伝送線路は図 1 の様に表すことが出来る。ここで [1] で紹介されている手法を用いると、長さが  $l_1, l_2$  ( $l_1 < l_2$ ) の 2 つの伝送線路の測定データから、長さが  $l_1 - l_2$  となる寄生成分を除いた伝送線路の Y パラメータ  $Y_{TL}$  を求めることが出来る。

ここからパッドの寄生成分の値を求め、伝送線路以外の TEG のディエンベディングに適用する。

まず、パッドの並列寄生成分のインピーダンスを求める。伝送線路の測定データの Y パラメータ  $Y_{TL}^m$  は  $Y_{TL}$  を用いて式 (1) で表される。

$$Y_{TL}^m = \begin{bmatrix} \frac{Z_S + Z'_1}{\Delta Z'^2} + \frac{1}{Z_P} & \frac{Z'_2}{\Delta Z'^2} \\ \frac{Z'_2}{\Delta Z'^2} & \frac{Z_S + Z'_1}{\Delta Z'^2} + \frac{1}{Z_P} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\Delta Z'^2 = (Z_S + Z'_1)^2 - Z_2'^2$$

$$Z'_1 = \frac{Y_{TL1}}{Y_{TL1}^2 - Y_{TL2}^2}, \quad Z'_2 = \frac{Y_{TL2}}{Y_{TL1}^2 - Y_{TL2}^2}$$

$$Y_{TL1} = Y_{TL}(1, 1), \quad Y_{TL2} = Y_{TL}(1, 2)$$

ここから  $Y_{TL}^m - Y_{TL} = Y_X$  を求めた後、式 (2) の計算からパッドの並列寄生成分のインピーダンス  $Z_p$  を求めることが出来る。

$$Y_X(1, 1) + Y_X(1, 2) \simeq \frac{1}{Z_P} \quad (2)$$

次にパッドの直列寄生成分を求める。 $Y_{TL}^m$  から先ほど求めた  $Z_p$  を取り除くとパッドの直列寄生成分と伝送線路の Y パラメータを求めることが出来る。そこで 2 つの長さの異なる伝送線路に対しこの計算を行い、次にこれらの Y パラメータから、それぞれを抵抗とインダクタンスの直列接続と見込んだときの値を求める。

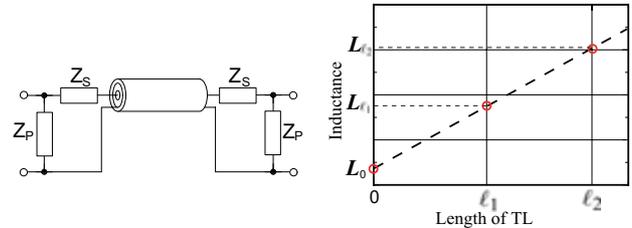


図 1 寄生成分を含む線路

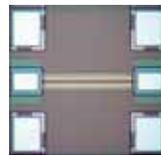


図 3 伝送線路

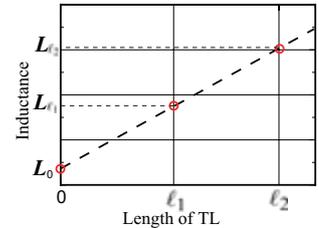


図 2 インダクタンス

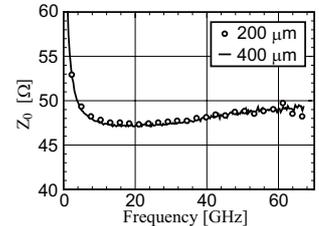


図 4 特性インピーダンス

求めたインダクタンスを横軸を線路長として図 2 のようにプロットする。この 2 点をむすんだ直線の切片  $L_0$  はパッドの直列寄生インダクタンスに等しい。同様に抵抗成分をプロットした時の直線の切片は、直列寄生抵抗となる。

以上の手順により、パッドのモデルが作成でき、伝送線路以外のディエンベディングに適用できる。

## 3 実測データへの適用

図 3 に示した伝送線路の実測データに対し、提案手法を用いてディエンベディングを行った後、特性インピーダンスを求めた結果を図 4 に示す。本手法を用いることで、長さの異なる伝送線路同士の特性インピーダンスの差を 1% 以内に抑えることができた。

## 4 まとめ

本発表では長さの異なる 2 本の伝送線路を用いて、伝送線路以外の TEG にも適用できるディエンベディング手法を提案した。伝送線路の実測データを用いて検証を行い、長さの異なる伝送線路の特性インピーダンスの差を 1% 以内に抑えることができた。

## 5 謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究『電波資源拡大のための研究開発』、半導体理工学研究センター、NEDO、並びに東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通じ、日本ケイデンス株式会社およびアジレント・テクノロジー株式会社の協力で行われたものである。

## 6 参考文献

- [1] Alain M. Mangan, Sorin P. Voinigescu, Ming-Ta Yang and Mihai Tazlauanu, "De-Embedding Transmission Line Measurements for Accurate Modeling of IC Designs," *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 53, no. 2, pp. 235-241, Feb. 2006.