

3パラメータ PAD モデルを用いたミリ波帯高精度モデリング

Accurate modeling with 3-parameter PAD model in mm-Wave

河合 誠太郎
Seitaro Kawai

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、ミリ波帯を用いた無線通信が注目されている。製造会社から提供されるモデルはミリ波帯などの高周波に対応していないことから、実測結果を元に各素子のモデリングを行う必要がある。特に、ディエンベディングはモデルの精度に大きく影響することから様々なものが検討されている [1, 2]。しかし、従来のディエンベディング手法に基づく PAD モデルは計算上 2 つの未知数のみを求めるもので正確なモデルではない。本研究では、3 パラメータによるレシプロカルかつ非対称な PAD モデルを提案する。

2 3パラメータ PAD モデル

PAD は非対称受動素子であることから、本来図 1 に示すような 3 つのパラメータによるモデリングが必要であるが、L-2L 法 [1] 等を用いた場合計算上 2 つのパラメータしか求めることができない。そのため、図 2 に示すような近似モデルが用いられてきた。しかし、これらのモデルを用いて伝送線路の実測結果をディエンベディングした場合、特性インピーダンスが高周波において一定とはならない [3]。伝送線路の特性インピーダンスは次式で示され、表皮効果や近接効果を無視すると高周波において一定と近似できる。よって、2 パラメータモデルでは正確にディエンベディングができていないと言える。

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \cong \sqrt{\frac{L}{C}} (\omega L \gg R, \omega C \gg G) \quad (1)$$

そこで、次のようにパラメータを推定することで、3 つのパラメータによるレシプロカルな PAD モデルを提案する。

$$Z_3 = k \times Z_1 \quad (0 \leq k \leq 1) \quad (2)$$

これにより、 Z_1 及び Z_2 は次のように表される。

$$Z_1 = Z'_1 + \frac{Z'_2}{2} (k+1 - \sqrt{k^2 + 2k + 1 + 4k \frac{Z'_1}{Z'_2}}) \quad (3)$$

$$Z_2 = \frac{2k(Z'_1 + Z'_2)}{k-1 + \sqrt{k^2 + 2k + 1 + 4k \frac{Z'_1}{Z'_2}}} \quad (4)$$

3 結果

提案する PAD モデルにより特性インピーダンスが高周波で一定となる伝送線路モデルを作成した。それを用いて他の素子 (Tr., MIM Cap, Decoupling 用 TL) の実測結果をディエンベディングし、図 4 に示す 1 段増幅器を用いてモデリング精度の評価を行った。図 5 に比較結果を示す。提案手法により高精度なミリ波帯シミュレーションを実現した。

まとめ

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』、総務省 SCOPE、科学研究費補助金、半導体理工学研究センター、東工大基金、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し、日本ケイデンス株式会社、メンター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。

参考文献

- [1] J. Song, *et al.*, "A de-embedding technique for interconnects," in *Electrical Performance of Electronic Packaging*, Oct. 2001, pp. 129-132.
- [2] R. Minami, *et al.*, "Effect of transmission line modeling using different de-embedding methods," in *EuMC*, pp. 381-384, Dec. 2011.9.
- [3] T. Sekiguchi, *et al.*, "On the validity of bisection-based thru-only de-embedding," in *IEEE International Conference on Microelectronic Test Structures*, pp. 66-71, Mar. 2010.

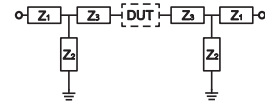
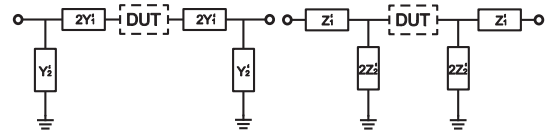


図 1 3パラメータ PAD モデル



(a) π 型 2 パラメータ (b) T 型 2 パラメータ

図 2 従来の PAD モデル

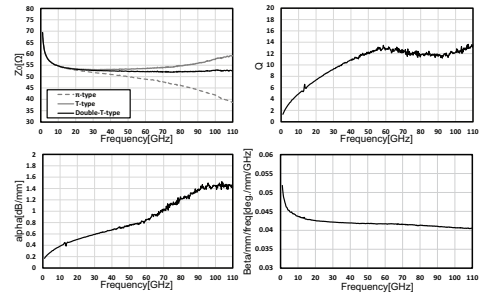


図 3 伝送線路特性比較

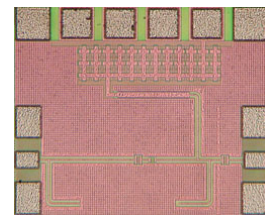
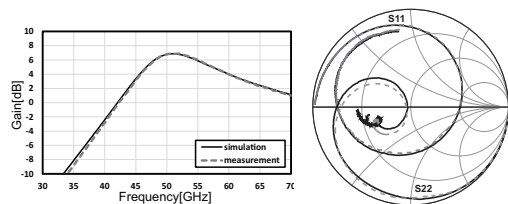


図 4 1 段増幅器チップ写真



(a) S21 (b) S11, S22

図 5 実測とシミュレーション比較