

ビアとパターンとインピーダンスと反射と実装密度と...

有限会社ソネット技研 石飛徳昌
www.SonnetSoftware.co.jp tovy@SonnetSoftware.co.jp

2014年7月10日

概要

高周波回路の実装に伴うよくある疑問について [1][2][3] で説明した内容から印象的なトピックを抜粋する

1 波長による違い

図1のように波長と構造の大きさに依存して、現象を説明する理論が異なる。それぞれの理論に基づく概念や測定器やシミュレータは別の理論に適用できない [4].

2 波長の求めかた

- 正弦波なら 1GHz で 300mm.
- 矩形波の高調波レベルは -20dB/dec で減衰する。これを元に管理すべき周波数の上限を決める。
- パルスなら、立ち上がり時間の3倍の周期の正弦波に相当する。

形と大きさ	例	有効な概念	あやしい概念
波長よりずっと小さい	viaとかほとんどの部品	ほとんどの回路理論 静電界, 静磁界理論	特性インピーダンス
細長くて、長さが波長に対して無視できない	配線, ケーブル	特性インピーダンス	電圧とか電流とか
平べったくて、大きさが波長に対して無視できない	基板のパターン グランドバウンス	マクスウェルの方程式	特性インピーダンス ほとんどの回路理論
立体的でどれもこれも波長に対して無視できない	アンテナ	マクスウェルの方程式	特性インピーダンス ほとんどの回路理論
立体的でどれもこれも波長よりずっと大きい	筐体とか部屋とか巨大なアンテナとか	ホイヘンスの定理	マクスウェルの方程式

図1 回路構造の大きさと波長との比に依存する概念

3 集中定数回路の高周波

集中定数回路は波長より十分小さいので放射しないが、近ければ結合する。寄生リアクタンスを把握すれば、回路図上で動作を理解できる。

- 太さと長さが同程度の導体は 0.2nH (図2)
- 間隔 d で向かい合う電極のキャパシタを考える場合は、電極の周囲を $d/2$ 程度はみ出して電極面積を考える。(図3)
- リターンパスを考えるなら、電流ループを考える。電流リユープより近いなら結合する。
- SPICE[5] を使ってないなら使う。

4 細長いパターン

波長に対して無視できない長さのケーブルやパターンの高周波への振る舞いは特性インピーダンスが重要と信じられている。それは、断面の大きさが波長に対して十分小さい場合にのみ正しい。断面の

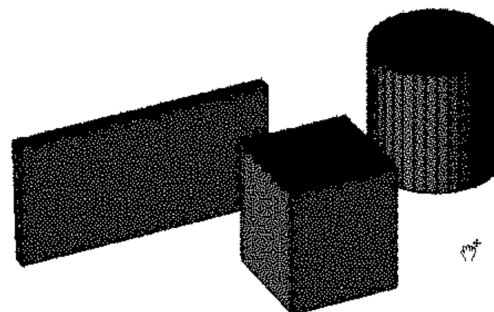


図2 断面積と長さが同程度の導体は 0.2nH 程度のインダクタンスをもつ。

大きさが波長に対して無視できない場合は、特性インピーダンスに代表される伝送線路理論やそれに基づく測定器の校正理論や、TDR の解釈も無意味なものになるおそれがある。

- 断面の大きさが波長より大きいと回路解析も校正も TDR も特性インピーダンスも無意味
- シールドやビアが無いマイクロストリップは、断面が波長より大きくなってある場合がある。
- 線路の周囲を $1/2\lambda$ 未満の間隔で包む

5 アンテナあるいは波長より大きなもの

[3][6]

- アンテナは波長よりやや小さい程度の大きさ

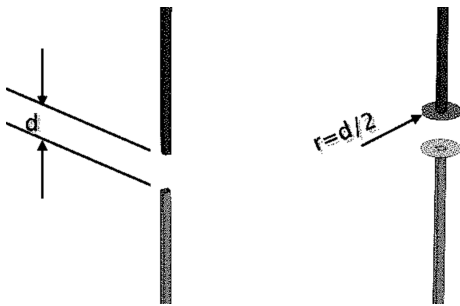


図3 向かい合う電極面積 S が電極間隔 d に対して小さい場合は電極の縁を $d/2$ 程度延長してキャパシタンスを算出する。

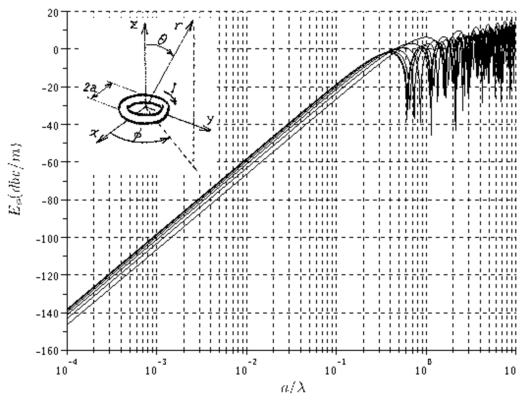


図4 ループ電流の大きさと放射電界の強度のグラフ。放射が目的なら波長と同程度の構造をアンテナとして使う。放射が不要なら波長より十分小さな空間に閉じ込める

が最も放射し易い。設計も実験も製造も簡単。(図4)

- 波長より遥かに大きいアンテナは設計が難しい
- 信号が外部に漏れると波長よりはるかに大きな金属が難しい現象を起こす

5.1 そもそも

- 波長より大きな領域に漏れなければ対処は簡単
- 電源経路には直流以外通らないように LPF を置く
- あらゆる端子、ブロックの繋ぎ目、デバイスの継ぎ目には目的の信号以外は通らないようにフィルターを置く

参考文献

- [1] 石飛徳昌, “高周波回路の動作を理解する4つのステップ,” <http://www.SonnetSoftware.co.jp/product/seminar/ceatec2013/ceatec2013.pdf>, 2013.
- [2] 石飛徳昌, “ゼロからはじめる電磁界シミュレータの活用,” <http://www.SonnetSoftware.co.jp/product/seminar/tsy2012/tsy2012.pdf>, 2012.
- [3] 石飛徳昌, “ドロナワのアンテナ設計,” <http://www.SonnetSoftware.co.jp/product/seminar/ttk2012/ttk2012.pdf>, 2012.
- [4] 石飛徳昌, “波長による高周波の分類とそれぞれの性質,” 波長ごとの理論, シミュレータ, 放射の性質などを解説した文書. <http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/rfbasics.pdf>, 2010.
- [5] 渋谷道雄, 回路シミュレータ LTspice で学ぶ電子回路, オーム社, 2011.
- [6] 石飛徳昌, “Sonnet によるアンテナ解析のガイドライン,” Sonnet でアンテナを解析する場合に考慮すべき点をまとめた文書. <http://www.SonnetSoftware.co.jp/support/tips/antenna.pdf>, 2012.