

高周波回路の動作を理解する 4つのステップ

有限会社ソネット技研
石飛 徳昌

2013年9月26日

概要

この文書では高周波回路の動作を手早く理解し動作を安定にする方法を紹介する。第一に構造を立体的に把握し、寄生リアクタンスの概算値を求める。第二に信号電流の経路を立体的に把握し、その電流ループの大きさから寄生結合のある箇所を把握する。第三にそれらの寄生素子や寄生結合の回路への影響を回路動作から判断し対処する。第四に波長に対して無視できないほど大きな構造物に信号が漏洩しないように回路を設計する。

1 構造を立体的に把握すると、寄生インダクタと寄生キャパシタが概算できる

ビアホールやパッド等に付随する寄生インダクタンスや寄生キャパシタンスを知るには、その形状を立体的に把握し、図1のような代表的な形状と比較すればよい。例えば、ビアホールの形状が図1の左図よりも二倍細長ければ、そのインダクタは概

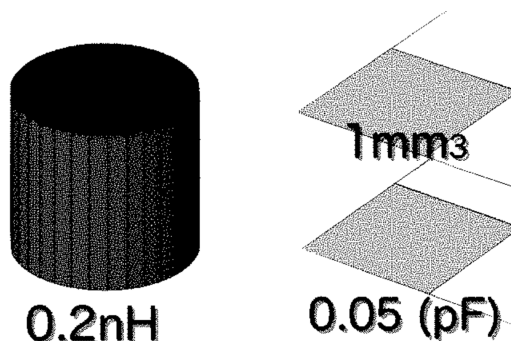


図1 判断の基準になるインダクタとキャパシタの一例。日常使う構造についてあらかじめ計算しておくが良い。

ね0.4nHであろう。ビアホールだけでなく、チップキャパシタのESLも幅と長さから推測できる。

2 電流ループを立体的に把握すると、寄生結合の可能性がわかる

信号電流の経路に生じる電流ループを立体的に把握する。電流ループの大きさと同程度の範囲に存在する電流ループ同士は互いに寄生結合する。(図2)

ここでN本の導体で構成される構造にはN-1個の電流経路が存在し、それぞれの経路に関して上記の電流ループが生じることを忘れてはならない。^{*1}

3 電気回路の常識に従って、回路に影響のある寄生素子来判断し対処する

細長い配線パターンを基板の表から裏にビアホールで接続する場合、配線パターンのインダクタ

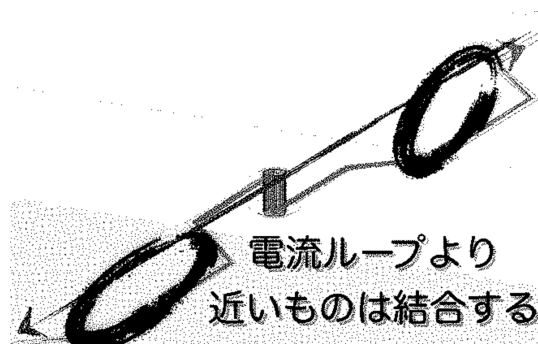


図2 電流ループの例

^{*1} 例えば三相交流の三本の電線と接地導体を合わせた4本の導体に対して、正相、逆相、零相の三通りの経路が存在する [1]。あるいは二本の導体パターンと接地導体を合わせた3本の導体で構成される差動線路には、差動とコモンの二通りの経路が存在する。

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	基板のベタパターン 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3 構造の大きさと波長の関係

ンスはヴィアホールのインダクタンスより遥かに大きいのでヴィアホールのインダクタンスを無視することができる。逆に例えば IC の GND 端子と基板の GND レイアをヴィアホールで接続する場合、*2ヴィアホールを大幅に低減する方法を考えなければならない。寄生結合に関しても、結合箇所から両側の回路それぞれを見たインピーダンスや信号レベルから回路への影響が懸念される箇所を特定し対処すればよい。*3

4 波長より大きなものには手を出さない

上記の手順は回路構造の大きさが波長に対して遥かに小さい場合だけに有効である。構造の大きさがその範囲を越えて大きくなった場合には、電気回路の常識で対処することはできない。(図3[2]) それゆえ、波長の短い信号を大きな構造の領域に漏らさぬよう回路を設計することが重要になる。

そのために図4のように能動素子と接続する回路に次の機能を持たせる。*4

1. 回路の入出力は必要な信号だけが通過できるように BPF 特性を持たせる
2. 電源経路には直流だけが通過できるように LPF

*2 インダクタンスの計算精度を議論している場合ではない。

*3 “基板データをシミュレータにインポートして解析し測定と同じ結果を得る”という方法では“問題のある箇所”を特定することはできない。

*4 パソコンだけでこれらの機能を実現できれば幸運で、そうでない場合には波長の短い信号が筐体や外部のケーブルに漏れ出し、難しい対処を迫られる事になる。

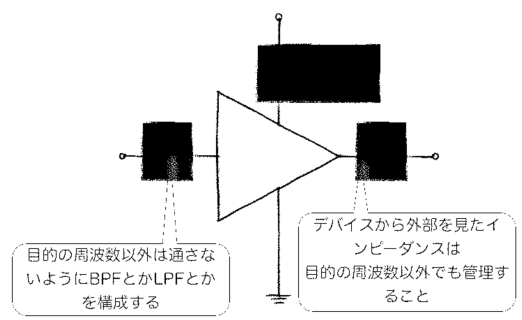


図4 回路の入出力には目的の信号以外が出入りできないように BPF を配置する。電源には直流以外は出入りできないように LPF を配置する。

特性を持たせる*5

3. また能動素子の電源端子から電源経路を見たインピーダンスは、扱う信号に含まれる全周波数に対して十分低いインピーダンスを保たねばならない。*6
4. 能動素子から入出力回路を見たインピーダンスは非常に高い周波数まで管理する。*7

参考文献

- [1] 藤城義和, 山本隆彦, 越路耕二, “三相フィルタの等価回路解析,” 超高速高周波エレクトロニクス実装研究会, vol.13, no.1, pp.17-22, 2013.
- [2] 石飛徳昌, “波長による高周波の分類とそれぞれの性質,” (有)ソネット技研. <http://www.SonnetSoftware.co.jp/>
- [3] 石飛徳昌, “Sonnet 入門,” (有)ソネット技研. <http://www.SonnetSoftware.co.jp/>

*5 この概念で設計した電源系の一例が, “ソネット入門”[3]の“2.4 パラメータスイープと部品一バイアスティー”にある。

*6 いわゆる ‘Power Integrity’

*7 寄生発振を防ぐために抵抗分を持たせることがよい場合が多い。