

Chapter 8 De-embedding Guidelines

前章ではデ・インパッチングの基礎、つまりデ・インパッチングとは何か、どうすれば有効となるか、有効でない時には何をするかについて説明しました。この章では、よいデ・インパッチングの結果を得るためのガイドラインを述べます。

Calibration Standards

122 ページで述べたように、ポートの不連続部を決めるために、Sonnet は最初の回路と同じポートの不連続部を含むいくつかのキャリブレーションスタンダードを電磁界解析しなくてはなりません。1 つの box-wall ポートでは、キャリブレーションスタンダードはそのポートがついている図形と同じジオメトリ（幅、誘電体、ボックス壁への距離など）を持つ 2 本の直線です。Sonnet はこのジオメトリをもとにして 2 本の線をつくり、解析します。ボックス壁に 1 つ以上のポートがある場合はキャリブレーションスタンダードは複数の結合線路です。

この 2 本の直線の長さがデ・エンベッディングの精度を決定します (不適切な長さのために生じる問題点については以下をご覧ください)。Sonnet ではデフォルトでキャリブレーションの長さを決めます。そのポートに参照面が含まれている場合は、最初のキャリブレーションの長さは参照面と同じ長さであり、2 番目のキャリブレーションの長さは最初の長さの 2 倍になります。参照面が存在しない場合は、Sonnet が 1 つ選びます。

デ・エンベッディングで問題がある場合は、次の節の指示に従ってキャリブレーションの長さを変えてもよいでしょう。参照面を使用している場合は、その参照面の長さを変えると、それによってキャリブレーションの長さも変わります。参照面を使用していない場合は、Circuit \Rightarrow Ref. Plane/ Cal Length を選択して、キャリブレーションの長さを設定することができます。これで最初のキャリブレーションの長さを設定できます。2 番目のキャリブレーションは常に最初のものの 2 倍の長さとなります。

Defining Reference Planes

Sonnet は、作成された回路のために定義される参照面については、ほとんど制限をしません。これは、すべてのユーザにできる限りの柔軟性を提供するためです。

しかし、参照面について必ず従っていただきたいいくつかの基本的なガイドラインがあります。このガイドラインを以下に述べます。

De-embedding Without Reference Planes

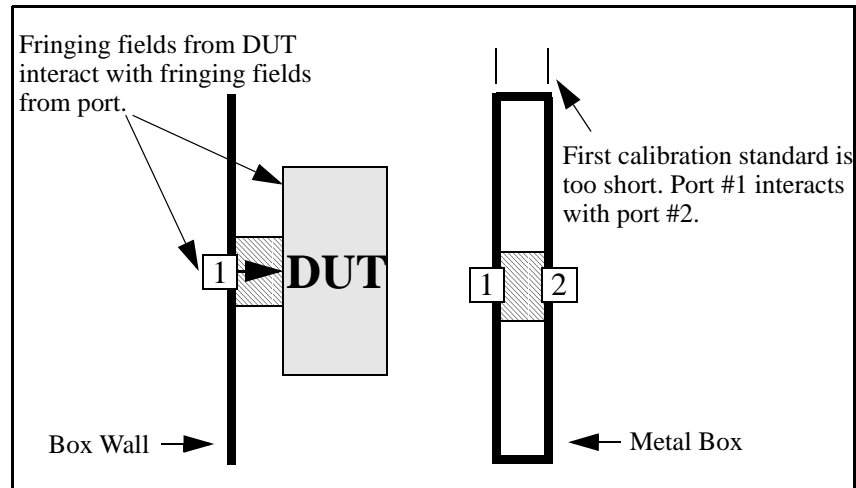
デ・エンベッドするには参照面の設定は必要ではありません。参照面は box-wall ポートと auto-grounded ポートのすべてに追加的なものです。Project editor で、ある 1 つのポートに対して参照面を設定しないと、*em* はそのポートには長さが 0 の参照面が設定されたと仮定します。これは、デ・エンベッディングでそのポートによって加えられる不連続部を取り除くことを意味しますが、そのポートの参照面を移動するわけではありません。

次の節で説明しますが、ユーザがとても短い参照面 (しかし 0 以上) を取り除こうとすると、*em* は不適当にデ・エンベッドされた結果を出してしまいます。しかし、参照面の設定なしにデ・エンベッドされたとすると、*em* はどんな長さの少しも移動

させません。結果として、参照面が設定されなくてもデ・インベッティングはエラーは起こしません。従って、参照面の長さを 0 でない大変短い値に設定するよりは、参照面を設定せずにデ・インベットすることをお勧めします。

Reference Plane Length Minimums

参照面またはキャリブレーションスタンダードが基板の厚さよりはずっと短いとか、伝送線路の幅よりずっと短いと *em* は信頼できないデ・インベットの結果を出してしまいます。それは（下図参照）次のような理由の 1 つないし両方があるためです。



非常に短い（しかし 0 ではない）参照面が使われると不十分なデ・インベット結果が得られるでしょう。

- **ポートが DUT に近すぎる。**：ポートによって加えられるフリッジング（周辺）部分と、DUT によって加えられる分かれたフリッジング部分があります。もし、ポートと DUT が近すぎると、そのフリッジング部分が互いに影響しあいます。デ・インベッティングアルゴリズム（測定されたデータのデ・インベッティングに使われたアルゴリズムと実質上同じもの）は回路理論に基づいており、フリッジング部分の相互作用を扱いきれないのです。この問題については Appendix “Sonnet References” の [60] に詳しい記述があります。

- **最初のキャリブレーションスタンダードが短かすぎる。** : この状態ではポート1によって加えられる不連続性がポート2によって加えられる不連続性と互いに影響しあいます。その結果、最初のキャリブレーションスタンダードは、伝送線路のように“ふるまわ”なくなり、そのSパラメータは無効なものになってしまいます。

上記の影響によって正しくないデインパット結果を招かないようにするために参照面またはキャリブレーションスタンダードの長さについて正確なルールはありません。要求される参照面またはキャリブレーションスタンダードの長さは、回路の形状や解析の性質によって決まります。しかし、基板の厚さと同じかそれより長い参照面またはキャリブレーションスタンダードを使うことをお勧めします。これはほとんどの種類の解析に十分な長さです。

Reference Plane Lengths at Multiples of a Half-Wavelength

E_{eff} と Z_0 は参照面またはキャリブレーションスタンダードの長さがちょうど半波長の倍数値の場合、計算することができません。例えば非常に低い周波数では参照面またはキャリブレーションスタンダードの長さの電気的長さは1度の何分の1か（つまり半波長のほぼ0倍）になってしまいます。この場合解析によって正確に電気的な長さと、特に特性インピーダンスを計算することが不可能なのです。

参照面またはキャリブレーションスタンダードの長さが半波長の倍数値になるような時に *em* は計算された E_{eff} と Z_0 の値が正しくないと判断できます。こうなった時には、*em* はエラーメッセージ “undefined: nl” を E_{eff} と Z_0 の値の代わりに出力します（オンラインの “De-embedding Error Codes” を参照）。しかし、*em* は E_{eff} と Z_0 を測定することはできませんが、デインパットされたSパラメータ結果は完全に有効であることを覚えておいてください。

Reference Plane Lengths Greater than One Wavelength

参照面またはキャリブレーションスタンダードの長さが1波長よりも長いと、正しくない E_{eff} 結果が出てしまいます。しかしSパラメータは完全に有効です。

E_m は E_{eff} を計算する時、位相による長さをもとにしています。例えば、参照面またはキャリブレーションスタンダードが 365 度の長さだとすると、 em はまず 5 度の位相をもとにした E_{eff} を計算します。しかし em は“賢い”機能を持っています。もし、物理法則に合わない結果が出ると、 em は物理法則に合った結果（すなわち $E_{\text{eff}} \geq 1.0$ ）が得られるまで計算された位相長を 360 度まで増やしていきます。これで大抵の問題を修正します。

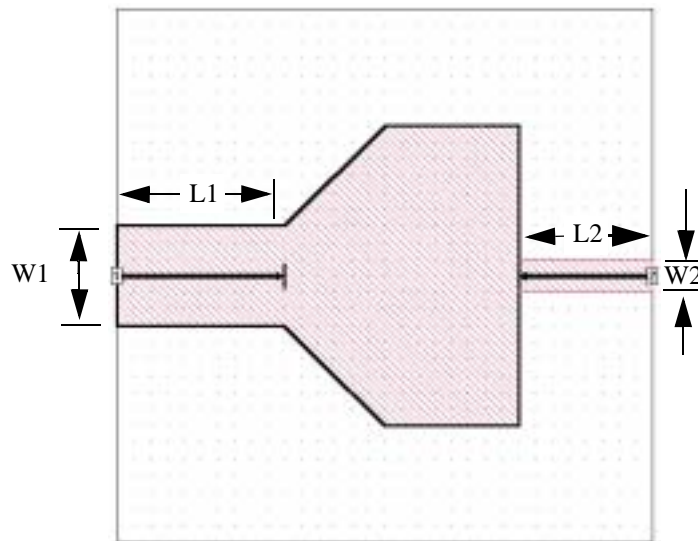
従って、 E_{eff} の計算が失敗する前に、特別に長い参照面またはキャリブレーションスタンダードにします。 E_{eff} の計算に失敗すると、急に 1.0 よりわずかに上の値に飛びますが、 Z_0 とデインベリットされた S パラメータのデータは、依然として十分に有効性を持つのです。この失敗のエントリはあまり見られません。

Non-Physical S-Parameters

一般的には project editor では参照面は回路の不連続部を超えるように設定されるべきではありません。こうしてしまうと S パラメータが物理法則に合わない値になってしまいます。

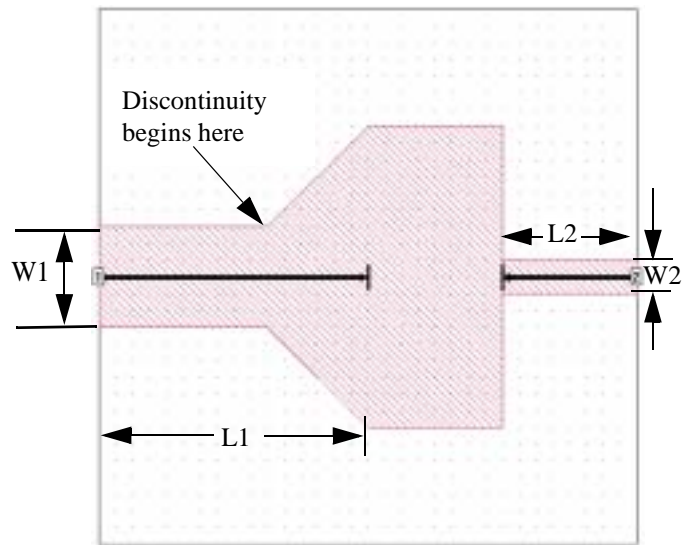
この問題を説明するために次の図のような回路があると想定します。この回路では参照面は不連続部を超えていません。デインベリディングが有効になるとポート 1 の不連続部が幅 $W1$ 、長さ $L1$ の伝送線路とともに取りか

れます。同様にポート2の不連続部が幅 $W2$ 、長さ $L2$ の伝送線路とともに取り除かれます。デインパットの結果は回路の真ん中のブロックの2ポートのSパラメータです。



では137ページの図を考えてみてください。この回路は上図と同じものですが、左のポート壁からのびている参照面の長さが長くなっています。この回路でデインパッティングを有効にして *em* を実行すると、設定された参照面の長さと同じ長さの伝送線路が“取り除かれ”ます。たとえポート

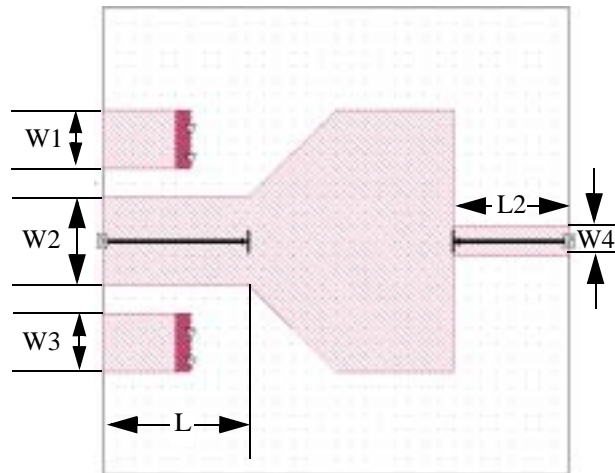
の伝送線路が参照面より短くてもこのように処理されます。結果として、デインパットされたSパラメータは物理法則に合わない値になってしまいます。



デインパッティングが有効な状態で *em* を実行した時に物理法則に合わない値のSパラメータが算出される回路の例

物理法則に合わない値のSパラメータを算出してしまうデインパットの2番目の例を次の図に示します。この例では、回路はポートの伝送線路のある側に2つのviaを持っています。このviaはボックス壁にグラウンドされています。

この回路でデ・エンベディングを有効にして *em* を実行すると、参照面の長さと同じ長さの3つの伝送線路が取り除かれます。参照面がボックス壁から via の長さを超える長さになっていますので、デ・エンベッドされた S パラメータは、ここでも物理法則に合わない値になります。



Box Resonances

Em のデ・エンベディングアルゴリズムは回路理論に基づいていますので、共振を起こす空洞の中にある構造体をデ・エンベッドすることはできません。この制約はすべてのデ・エンベディングアルゴリズムで共通なものです。ですからボックスが共振する回路をデ・エンベッドしたい時には必ずこれらのボックスの共振を取り除くステップを踏む必要があります（ボックスの共振の確認や削除についての詳しい記述は第24章を参照してください）。もしボックスが共振する回路をデ・エンベッドすると、*em* は“bd”というデ・エンベディングエラーコードを出します（オンラインヘルプの“De-embedding Error Codes”を参照してください）。このエラーコードは *em* が E_{eff} と Z_0 の値は正しくないと判断したことを意味します。

Higher Order Transmission Line Modes

デ・エンベディングは、ポート部の不連続部分と接続部分までの線路の長さを取り除きます。デ・エンベッドする場合は、線路にただ1つのモードのみ、つまり基本準 TEM モードが存在することを前提としています。もし高次モードでの伝送が生じた場合、デ・エンベッドした結果が無効になってしまいます(同じことが実際の測定にもいえます)。このような場合、何らかの理由があってマルチモードでの動作が必要な場合以外は、なるべく薄い基板を使われる事を強くお勧めいたします。

高次モードが仮になくなっていても、まだ問題があります。ポートと問題の不連続部分が近すぎて、お互いの端の(インダクタ)部分が影響し合い、デ・エンベッドの効果がなくなってしまいます。また、デ・エンベッドするエレメントがコネクタに十分近い時には、実際の測定においてもこの問題が起こります。