

Chapter 7 De-embedding

Em で解析された回路の各ポートは不連続性を解析結果に持ち込みます。更に伝送線路には位相のズレやインピーダンスの不整合、損失が存在するでしょう。設計した回路の特性によってその不連続性がよいものである時もあるし、よくない場合もあります。デインベッディングとはポートの不連続部と伝送線路の影響を解析結果から取り去る行程のことです。

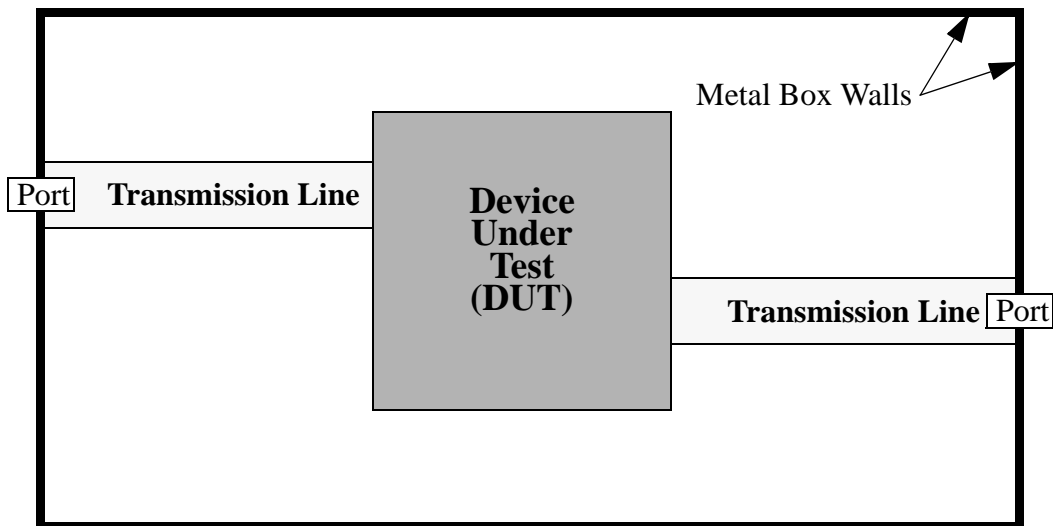
120ページの図は *em* で解析しようとしている回路のおおまかなレイアウトを図解したものです。この図の四角形で表わされているテストデバイス (DUT) が、解析結果を得たいと思っている回路です。DUT は、金属ボックスの内側に置かれ、1つ以上のポートに接続されています。この図のようにポートはボックス壁上に設置されるか、または金属ボックスの内側に設置されます (*em* で扱えるポートの種類については、第6章を参照してください)。大抵、DUT に向う伝送線路にはポートを接続する必要があります。

デインベッディングが指定されている時には、*em* は次のようなステップを踏みます。

- 1 ポートの不連続部を計算します。

Sonnet User's Guide

- 2 解析結果からポートの不連続部の影響部分を取り去ります。
- 3 オプションによっては参照面をずらします (解析結果から伝送線路の影響部分を取り去ります)。
- 4 伝送線路パラメータの Z_0 と E_{eff} を計算します。



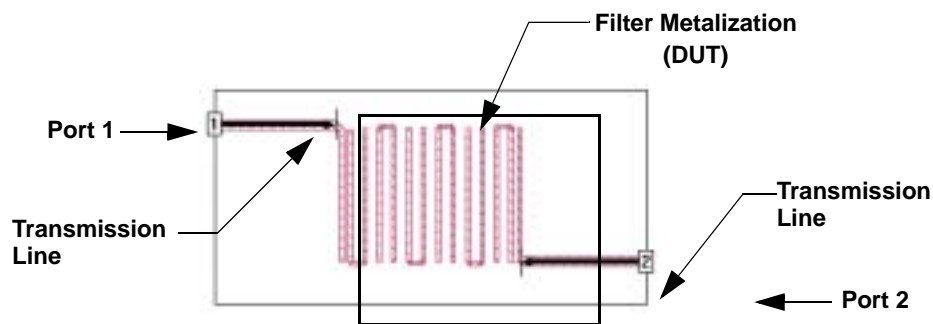
これから *em* で解析しようとしている回路のレイアウト

デインパッディングの過程を完了すると、*em* はデインパットされた S パラメータの結果、伝送線路のパラメータ、そして計算されたポートの不連続部を出力します。

419 ページの Appendix の “Sonnet References” の [70] に、デインパッディングアルゴリズムの要約があり、また [71] に完全な理論があります。

Enabling the De-embedding Algorithm

Em を使ったデ・エンベディングを説明するために、下図のフィルタを解析してみましょう。これは通過帯域がおよそ 4.0 から 4.15 GHz のヘビィフィルタの例です。この回路はフィルタ-金属導体、2つのポート、そしてフィルタ-金属導体とポートをつなぐ2本の伝送線路というような8つの部分から構成されています。フィルタ-金属導体の左端と右端にあるポート1とポート2の参照面がそれぞれ定義されています。これらの参照面はデ・エンベディングが有効な時には *em* に伝送線路の影響をフィルタ-金属導体から取り除きます。



図の左上と右下にあるポートの不連続部と伝送線路はデ・エンベディングを有効にすると、*em* の解析結果から取り除かれます。

NOTE:

参照面を project editor で回路に追加しただけでは、*em* で自動的にデ・エンベットできません。しかし、De-embed の実行オプションはデフォルト設定されています。

Project editor の Advanced Options ダイアログボックスの中で de-embed オプションを選択します。この実行オプションはデフォルトで設定されています。Advanced Options ダイアログボックスをオープンするには、project editor のメニューから Analysis ⇒ Setup を選択します。次に表示された Analysis Setup ダイアログボックスの中の Advanced ボタンをクリックします。

このフィルター上で de-embedding オプションが on で、3.95 GHz から 4.2 GHz まで 0.002 GHz ごとに解析が実行されました。

Em が解析を実行していくに従い、解析窓のステータスセクションにメッセージが表示され、処理中の様々なタスクについて記述していきます。実際の応答データは Response Data ボタンが押されると、出力ウィンドウに表示されます。以下は、解析窓に表示される時のこのフィルターの出力応答データです。

```
Run 1: Sat Apr 07 15:18:18 2001. Frequency Sweep.
```

```
Frequency: 3.95 GHz  
De-embedded 50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).  
3.95000000 0.999998 149.22 0.001765 -113.1 0.001765 -113.1 0.999998 164.55  
!< P1 F=3.95 Eeff=(2.93154529 0.0) Z0=(52.0732019 0.0) R=0.0 C=0.0748436  
!< P2 F=3.95 Eeff=(2.93105773 0.0) Z0=(52.0687952 0.0) R=0.0 C=0.07484847
```

De-embedded S-parameter, transmission
parameter, and port discontinuity results

解析窓は、各々のデインパットされたポートの給電伝送線路のパラメータ (E_{eff} と Z_0) と、計算されたポートの不連続部の値 (R と C) とともにデインパットされた S パラメータの結果を表示します。“P1” と “P2” はそれぞれ “ポート1” と “ポート2” の意味です。ポートの不連続部 (R と C) については、次の節で詳しく説明します。

De-embedding Port Discontinuities

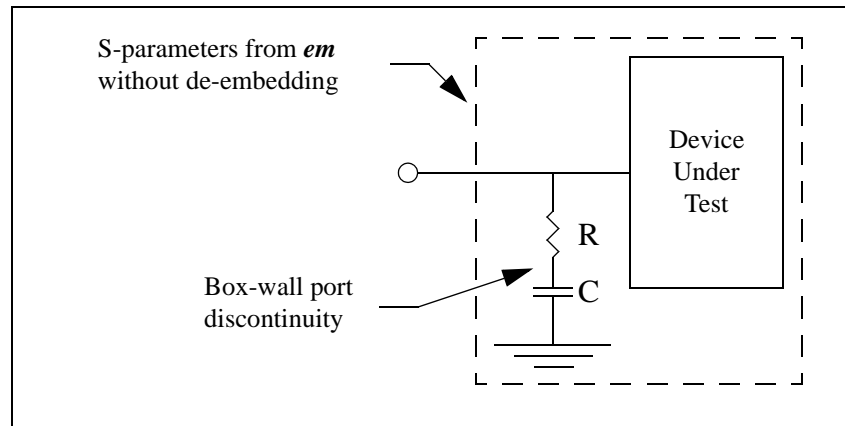
Em のポートはすべて不連続性を解析結果に持ち込みます。時々これが望ましいこともあります。例えば、ボックス壁で組み立てられた回路を解析している時に、box-wall ポートの不連続性による影響があった方が望ましいこともあります。この環境下では不連続性は取り除く必要がありません。しかし、DUT の働きだけを調べたい場合は、すべてのポートの不連続部はデインパットされて取り除かなくてはなりません。

デインパッティングが指定されると、デインパッティングアルゴリズムは box-wall ポート、ungrounded-internal ポート、auto-grounded ポートの不連続性を自動的に取り除きます (*em* で使われるポートの種類については第 6 章の説明を照

してください)。 *Em* でデ・エンベッディングされないポートは via ポートだけです。Box wall ポートの不連続部については次の節で説明します。他の種類の不連続部は、本質的には似ています。

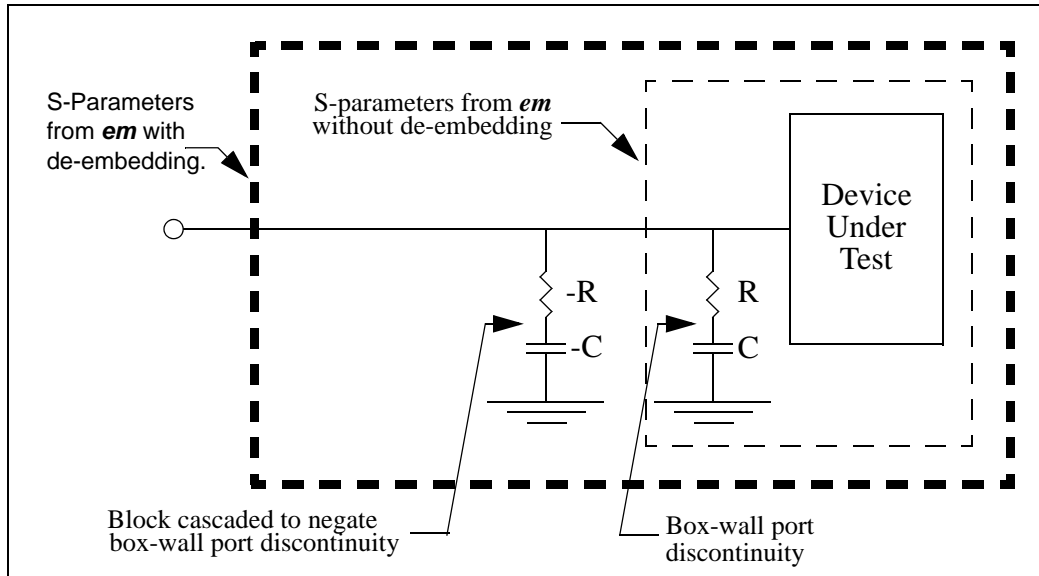
Box-Wall Ports

ポートは、1つの端子が金属ボックスの内側の図形に接続し、もう1つの端子がグランドに接続されています(101ページの図を参照)。下図に示すようにポートの不連続部は抵抗 R と、グランドに分岐された容量 C をあわせてひとまとまりのものとして表わされます。解析中の回路がもし完全に無損失であれば、抵抗値 R は0になります。回路に損失があったとしても、容量性のリアクタンスは大抵、抵抗と比べると大変大きくなります。



box-wall ポートによって加えられるポートの不連続部

Em はデ・エンベッディング機能が実行されると、自動的に回路に存在する各々の box-wall ポートの R と C の値を計算します。そして次の図で図解しているように、負の R と C を縦続接続することによって、ポートの不連続をとり除きます。



デインベッディングは自動的に box-wall ポートに関係のある不連続部を相殺します。

Shifting Reference Planes

多くの回路では、伝送線路によってポートを DUT につながなくてはなりません。もし、伝送線路の長さが波長より位相で何度分か長ければ、不要な位相（と、おそらく損失）が S パラメータの計算結果に含まれてしまうことでしょう。もし、伝送線路のインピーダンスが S パラメータの正規化インピーダンス（通常 50 オーム）と違う値があったら、S パラメータの結果に余分な誤差が含まれています。ですから、もし DUT の働きだけに注目したいのなら、DUT に接続されているどんな“長さ”の伝送線路も、デインベッディング中に削除されるべきです。デインベッディング中に伝送線路の長さを削除することを“参照面を移動する”といいます。

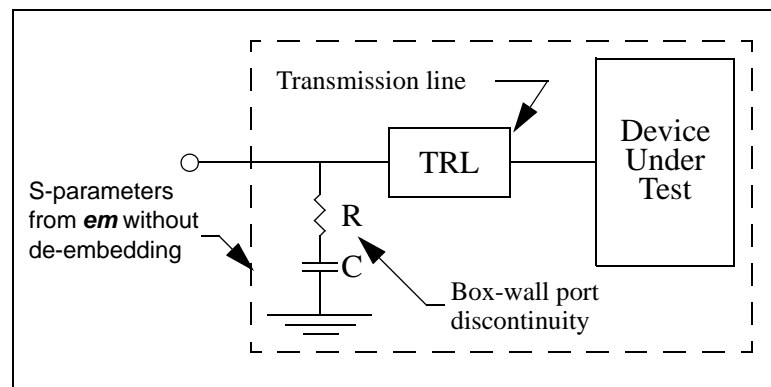
参照面は project editor では、box-wall ポートや auto-grounded ポートには設定されますが、ungrounded-internal には設定されません。*Em* が参照面が存在することを認め、デインベディング機能が有効になっている時には、*em* は自動的にキャリブレーションスタグポートを作り、解析します。このキャリブレーションスタグポートによってポートがデインベッドされ、設定された長さだけ参照面を移動することができます。

NOTE:

参照面はデインベディングのために必ず設定しなければならないものではありません。もし、box-wall ポートや auto-grounded ポートのために project editor で参照面を設定しないと、参照面の長さはデフォルト設定の 0 と設定されます。これはつまり、*em* はデインベディングが有効な時には、そのポートのための参照面は移動されないということです。しかし、*em* はそのポートの不連続部を取り除きます。

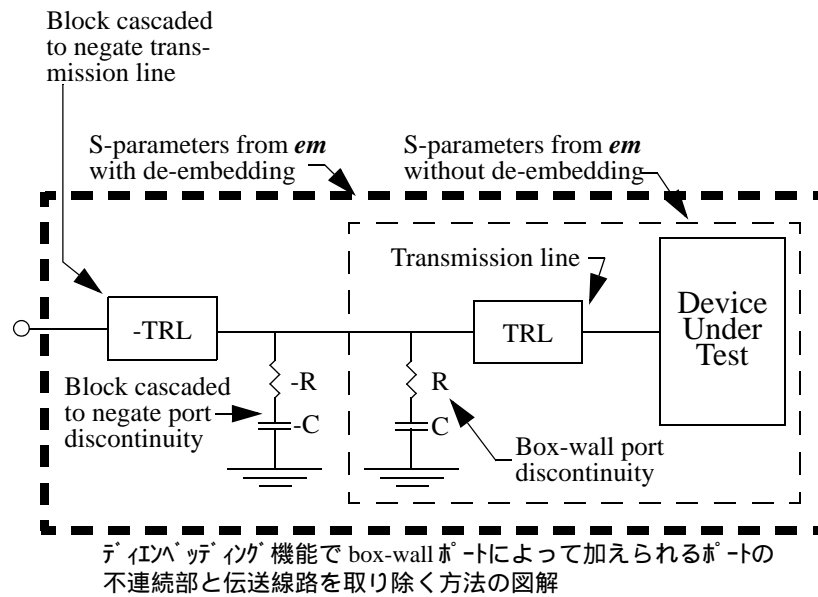
Single Feed Line

下図に、伝送線路 (TRL) が box-wall ポートと DUT の間に挿入されている様子を示します。



box-wallポートによって加えられるポートの不連続部と伝送線路

Em はデ・エンベッディングが実行されると、ポートの不連続部を取り除く方法に似た方法で伝送線路を取り除きます。*Em* は TRL (伝送線路) だけの S パラメータを計算します。そして、次の図のように負の R と C とともに “負” の TRL を縦続接続します。



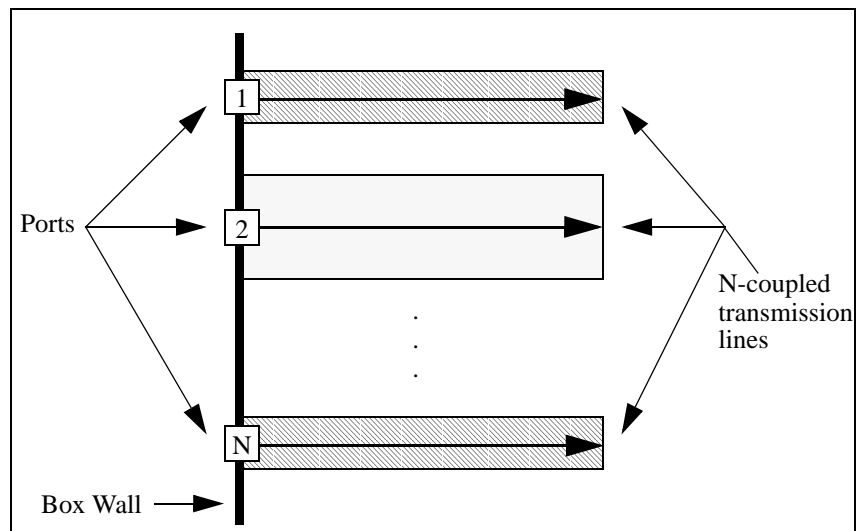
Coupled Transmission Lines

前の 2 つの図ではデ・エンベッディングによって box-wall ポートにつながれた 1 本の伝送線路の参照面の移動される方法を図解しています。一般には 1 つ以上の回路レベルでボックス壁に接続して作製された複数の伝送線路があるかもしれません。その場合を次の図に図解します。この場合、*em* は作成されたボックス壁に接続するすべての伝送線路で同じ長さの分だけ参照面を移動します。伝送線路の間のすべての結合が対象とされて取り除かれます。

NOTE:

結合線路のための参照面が移動される時 em は次のことを仮定します。

- a) すべての結合線路は水平か垂直である。
- b) 結合線路の幅はみな一定である。
- c) 結合線路と結合線路の間隔は一定である。



デ・インベッティンク機能は作成されたボックス壁上のすべての N- 結合線路に同じ距離だけ参照面を移動します。結合線路の間の結合もデ・インベッティンクの過程の中で取り除かれます。

De-embedding Results

次ページのリストに、この章のはじめで例題のフィルタ回路の解析（121ページ参照）から得たデ・インベットした結果を示します。これは解析エラーに表示され、またユーザのプロジェクトファイルの一部として保存されるデ・インベットされたデータフォーマットです。応答データを含んだ別のファイルも持ちたい場合は

Sonnet User's Guide

project editor で Analysis ⇒ Optional Files を使って、それが解析からの出力になるように設定することができます。ファイルの設定については、project editor のオンラインヘルプの “Analysis - Optional Files” をご覧ください。

```
Run 1: Wed Oct 11 18:38:10 2000. Frequency Sweep.

Frequency: 10 GHz
De-embedded 50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
10.0000000 1.0000000 -72.59 6.414e-4 17.050 6.414e-4 17.050 1.0000000 -73.31
!< P1 F=10.0 Eeff=(6.45562325 0.0) Z0=(51.7880826 0.0) R=0.0 C=0.04163932
!< P2 F=10.0 Eeff=(6.47619184 0.0) Z0=(51.8822385 0.0) R=0.0 C=0.04165009

Analysis successfully completed.
```

Em でデ・インパッディングが実行された時の結果のフォーマット

上の結果では次のことに注目してください。

- “De-embedded” で始まる行はコメント行で、以下の行の解析結果についての記述です。この例は 50 オームの S パラメータがデ・インパットされた結果で Touchstone magnitude/angle フォーマットで表現されています。
- 2 行目は解析結果です。
- 最後の 2 行に回路の各々のポートのデ・インパッディングの情報が書かれています。いろいろなフィルタが次のように定義されています。

P#:	ポート番号
F:	結果ファイルのはじめに定義された周波数 (単位)
Eeff:	ポートに結合されている伝送線路の実効誘電率
Z0:	伝送線路の TEM 等価特性インピーダンス (オーム)
R:	ポートの不連続部の直列等価抵抗 (オーム)
C:	ポートの不連続部の直列等価容量 (pF)

De-embedding Error Codes

エラーコードのメッセージについての説明はオンラインヘルプの“De-embedding Error Codes”をご覧ください。オンラインヘルプは Sonnet のアプリケーションから Help ⇒ Contents を選択するとご覧になれます。