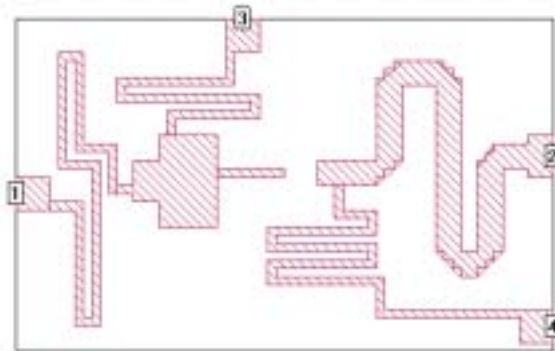


Chapter 24 Package Resonances

簡単に言えば、Sonnet の解析は Maxwell の方程式を使った解決法です。これらの一般方程式は TEM や準 TEM の解析に制限されません。与えられた構造について、高次モード (TE または TM) が伝搬するか、または LP セットモードが存在する場合は、それは結果の中に含まれます。Sonnet のボックスの 6 つの導体面が空洞共振器を形成すると、大変強い“導波管”モードの存在が確認されます。ほとんどのマイクロ波の設計者達が立証できるように、このボックスの共振は、実際にも起こるものなのです。設計者は Sonnet を使って、回路を囲んでいるパッケージやモジュールに不必要なボックスの共振があることを調べることができます。

この章では、例題のプロジェクトをもとにした Sonnet のシミュレーションの中にあるパッケージの共振を見つけるいくつかの方法を概説します。ご覧いただくように、これは初期の設計段階におけるパッケージの設計を検証する優れた方法です。ここでは、Box Resonance Estimator 機能についても説明し、構造体からボックスの共振を取り除く方法についていくつかアドバイスします。

この章で使用する例題ファイル (package.son) を得るには、Sonnet の例題から example フォルダ [Package resonances](#) を入手してください。Sonnet の例題の入手方法については、いずれかの Sonnet のプログラムメニューから Help ⇒ Examples を選択し、続いて Instructions ボタンをクリックします。



ファイル “package.son” は増幅器モデルでパッケージ共振のチェックをします。
ボックス全体は示されていません。

Box Resonances

この章では、Sonnet のプロシージャ、またはシミュレートされたデータのボックスの共振の基本的な見つけ方について説明します。次の 3 つの方法があります。

- 1 実行時の警告メッセージ
- 2 シミュレートされた結果の観察
- 3 Box Resonance Estimator (ボックスの共振の予測機能)

Runtime Warning Messages

解析の段階で正しい選択が行われると、Sonnet はシミュレーションの実行中に、ボックスの共振を検出し、解析モニターに警告メッセージを表示します。この機能を使用するには、次のように行います。

- 1 Project editor のメニューから Analysis ⇒ Setup を選択します。

- 2 Analysis Setup ダイアログボックスが表示されたら、Advanced ボタンをクリックします。
- 3 次に Advanced Options ダイアログボックスが表示されたら、Box Resonance Info チェックボックスをクリックします。
- 4 OK ボタンをクリックして Advanced Options ダイアログボックスを閉じます。
- 5 OK ボタンをクリックして Analysis Setup ダイアログボックスを閉じます。



Warnings

ボックスの共振が検出されると、左のような警告シリアルが解析モニターに表示されます。解析モニターの Errors/Warning ボタンをクリックすると、この特別な解析に関連のあるすべての警告メッセージを見ることができます。

以下は、ボックスの共振の警告メッセージの 1 つめの種類の例です。このメッセージが表示される時は、主となる構造体にボックスの共振があります。

```
Sonnet Warning- EG2680:  
Circuit has potential box resonances.  
Filename: C:\Program Files\sonnet\project\package9.son  
Primary structure.  
First few ideal resonant frequencies are:  
30.0866 GHz TE Mode 0, 1, 1  
31.7587 GHz TE Mode 0, 1, 2
```

この警告メッセージは、主となる構造体に起こるボックスの共振について述べています。“primary” というのは、解析されている構造体のことです。“ideal resonant frequency” というのは、中空の Sonnet のボックスをもとにした理論上の値を意味します。指定された誘電体を重ねた状態は考慮されませんが、回路の金属導体と損失のパラメータの影響は考慮されません。

以下は、2 つめの種類のボックスの共振の警告メッセージの例です。このメッセージが表示される時は、キャリブレーションスタンドの計算中にボックスの共振が検出されています。

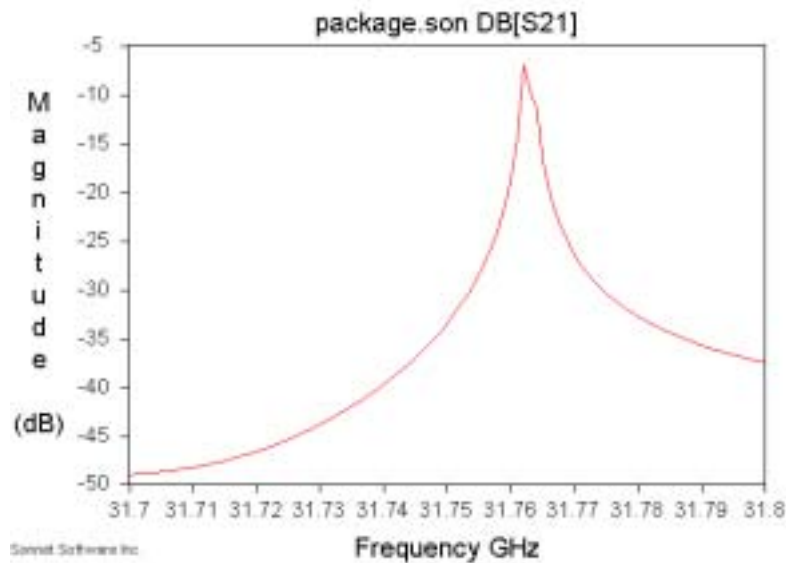
```
Sonnet Warning- EG2680:  
Circuit has potential box resonances.  
Filename: C:\Program Files\sonnet\package.son  
Second de-embedding standard, left box wall.  
First few ideal resonant frequencies are:  
30.0871 GHz TE Mode 0, 1, 1  
31.7625 GHz TE Mode 0, 1, 2
```

この警告メッセージは、どのキャリブレーションスタンドが問題を起こしているかを明らかにしていることにご注意ください。観察力が鋭い方は、この共振周波数の値が解析されている構造体とは異なっていることに気づくでしょう。これは、Sonnet がデインベッティングの手順の一部として 2 つのキャリブレーションスタンドを実際につくり、解析しているので起こります。これらのスタンドは解析している構造体とは異なるボックスサイズなので、共振周波数が変化します。キャリブレーションスタンドとデインベッティングについての詳細は、119 ページの第 7 章 “De-embedding” と、131 ページの第 8 章 “De-embedding Guidelines” をご覧ください。

Observations of Simulated Results

ボックスの共振を検出する 2 つめの方法は、シミュレートされたデータを手作業で観察する方法です。ボックスの共振は、S パラメータの大きさと位相角のデータの急な変化 (glitches と spikes) としてよく現れます。E_{eff} と Z₀ のデータでも顕著です。これは *em* がデインベッティングのために作成する少なくとも 1 つのスタンドの中に 1 つの共振が起こるからです。ボックスの共振はデインベット結果を正しくないものにすることもあります。Em のデインベットの特徴は回路理論に基づいているので、すべてのデインベッティングアルゴリズムに共通する制限と同じ制限があります。共振している空洞 (ボックス) の内にある構造体をデインベットすることはできません。これはつまりボックスの共振が存在すると、キャリブレーションスタンドをデインベットする場合、最終的な S パラメータ値は疑わしくなるということです。

以下は例題プロジェクト“package.son”のSパラメータ(S21)のグラフです。31.76 GHz でデータに大きな変化があり、これは1に近づいています。これは、この周波数で強いパッケージの共振が、入力と出力とに結合を引き起こしたことを示しています。



パッケージの共振を探した結果。31.7625 GHz で入力と出力の間に強い結合があることを示しています。

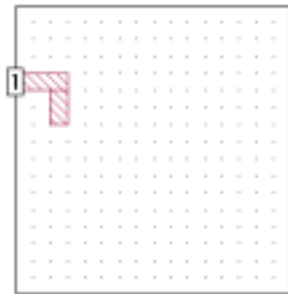
A Box Resonance Example

この例題では、ユーザが間違った解析空間を作ってしまうように、ボックスの共振周波数を決めるために使用できるシンプルなマトリ(図形)ファイルの作り方を説明します。使用される誘電体層の数に制限されることなく、0.1%以下の誤差が得られます。

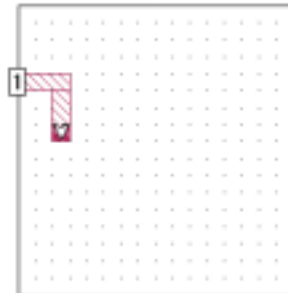
基本的な考え方は、金属導体を除き、回路と同じ基板サイズや誘電体層などを使って実際の回路のボックスのパラメータを作り直すというものです。

Sonnet User's Guide

ボックスのパラメタの設定が終了したら、モードを励振するために使う小さなプローブを作ります。これは、1つのポートを持った小さな ($1/8$ 波長より小さい) オブスタクルです。スタグを曲げれば、X方向とY方向のモードをうまく励振できます。

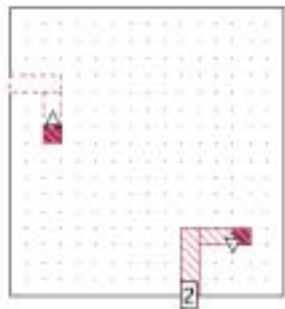


Z方向のモードを励振するには、プローブの端に via を接続します。

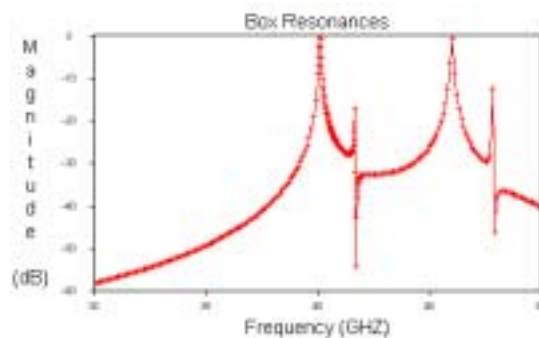


ボックス壁のまん中に正確にプローブを置かないようにしてください。偶モードと奇モードの両方を励振したいでしょう。

次に隣接したボックス壁の上に別のプローブを作ります。これは、2つのプローブ間の結合を計測するために行います。共振状態では、結合が強くなります。



細かいステップで周波数をスイープし、共振を捜します。ボックスが共振すると、2つのプローブ間により強い結合が生じます。これは、S21の大きさをグラフ表示すると容易に見つかります。



いくつかのピークがボックスの共振を示しています。

The Box Resonance Estimator

パッケージ内のボックスの共振の状況を把握する最良の方法は、解析を実行する前に Box Resonance Estimator 機能を使うことです。シミュレーション時間を無駄にしないように、日常的にこのツールを使用することをお勧めします。これは、構造体を修正し、そのことでボックスの共振に与える影響を判断

することができるので非常に便利なツールです。これはまたシミュレーションが終了してから、複雑なデータセットのどの特徴がボックスの共振と関係があるのかを決めるのにも使用することができます。Runtime warning message を使用する時と同じく、これらは中空の Sonnet のボックスをもとにした理論的な値です。指定された誘電体層は考慮されますが、回路の金属導体と損失のパラメータの影響は考慮されません。

Box Resonance Estimator へアクセスするには、project editor のメニューから Analysis ⇒ Estimate Box Resonances を選択します。Box Resonances ダイアログボックスが画面に表示されます。以下に例を示します。



Box Resonance Estimator は、シミュレーションの周波数範囲に含まれた共振周波数を表示するだけでなく、特別な種類のモードも表示します。Y 方向の偶モードが存在しないかもしれない回路に Symmetry (対称性) が使用可能であるかを知るといのは、かなり高度な使い方です。

この特別な例では、所望の周波数の範囲内か、その付近で 2 つの Transverse Electric (TE) モードが存在しています。Box Resonance Estimator は Transverse Magnetic (TM) モードも検出します。伝搬モードについての詳細は、古典的な電磁界理論の教科書をご覧ください。

NOTE: Box Resonance Estimator は、デインパディングのキャリブレーションスタンダードではなく、主となる構造体をチェックするだけです。

Box Resonances – Simple Removal

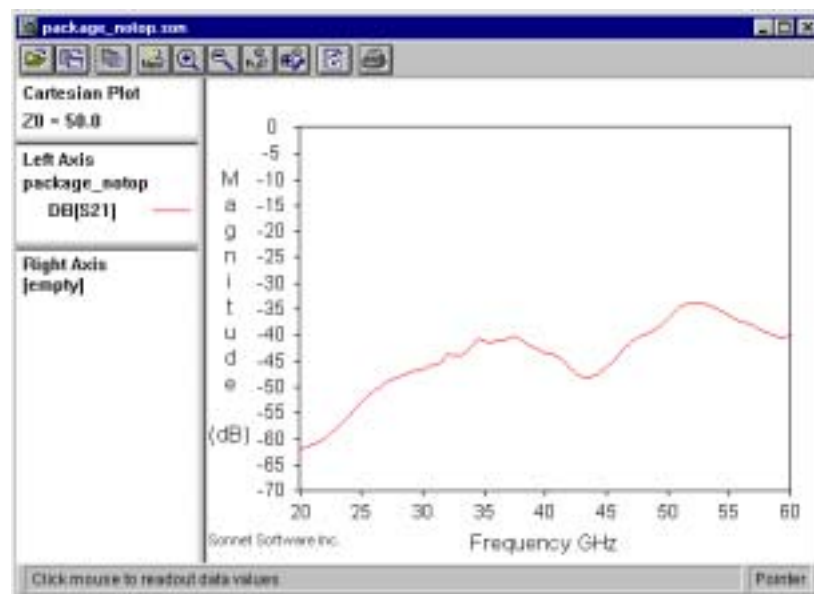
前の節では、構造体の中にあるボックスの共振を検出するいくつかの方法について説明しました。次に、ボックスの共振が望ましくない時にそれを取り除く方法についていくつかアドバイスしたいと思います。これは、ボックスの共振の影響を考慮せずにデータからそれを取り除きたい場合を想定しています。これは Sonnet で全回路の一部を解析している時に起こり得ますが、ボックス壁は人為的に共振をまねきます。取り除くというのは多分、この方法を説明するには最良な表現ではないでしょう。むしろ、所望の周波数帯域の外へ共振周波数をずらしたり、レベルを弱くするという方法です。

ボックスの共振を取り除く最良の方法は、ボックスのサイズを大きくするか小さくするかして、共振周波数を変えて周波数帯域から除外する方法です。デインパット中に問題が生じたら project editor 中のキャリブレーションスタンダードの長さを変えれば、解析したい周波数帯域の外へ共振周波数をずらすことができます。

ボックスの共振の影響を取り除くか、もしくは少なくとも弱める別のシンプルな方法は、上部の加へを取り除くことです。上部の加への抵抗値を自由空間のインピーダンスである 377 ohm/sq に設定することによって、この条件を近似的に行なうことができます。これを行うには、Box Settings ダイアログボックスをオープンし (Circuit \Rightarrow Box Settings を選択)、上部の加へを “Free Space” に変えます。これは加へが回路を囲んでいる E11 セットアップ領域に影響しないくらい離れている時には適切な近似法です。間に誘電体層がない回路の上部に直接上部加へを置くことは間違いであることを注意してください。

いずれかの技法を使うと、基本のプロット外のパラメータが変わってしまい、そのプロット外を再度解析しなくてはなりません。

以下は、上部カバーを free space に設定した S パラメータ (S21) のグラフの結果です。共振はまだ顕著ですが、そのレベルはかなり弱くなっていることにご注意ください。このデータは、例題プロジェクト “package.son” のシミュレーションから出されたものです。



上部カバーが取り除かれるとパッケージの共振はなくなります。

上部のカバーに向かって伝搬する導波管を形成できるほどボックスの壁面を大きくするか、そのボックスモードで電磁界をとらえられるくらい上部のカバーを基板面に十分近く設定すれば、この上部のカバーを取り除く方式は有効です。高次の“ボックス”モードは主に基板に限られる傾向があり、この方法で取り除くのは難しいかもしれません。基板の表面領域を広くすることによって、ボックスを大きくすると、このモードは“ゆるみ”、上部のカバーに向かって伝搬し、吸収されるようになります。

The Capability to Ask: What if?

前の節では、シミュレートされたデータからボックスの共振を取り除くいくつかのシンプルな方法について説明しました。しかし、実際にユーザのパッケージが在り、上部カバーを取り除くことができなかったらどうなるでしょうか？このような場合、Sonnetは大変便利なツールです。ユーザは構造体を修正し、ボックスの共振への影響を評価することができます。前述したように、Box Resonance Estimator はパッケージのサイズの影響をほとんどリアルタイムで判断するのに優れたツールです。これにより、どの寸法がある種類の共振（TE または TM）をコントロールしているかを理解でき、解決法についての洞察を行うことができます。

ボックスの共振を軽減するのに使用される技法としては以下のものがあります。

- グラウンドに接している金属の図形を構造体に追加する – 多くの場合、グラウンド via または、グラウンド平面があるとボックスの共振モードが形成されないようになります。つまり、構造体をより小さな区切りに分割すると効果があります。ボックスの共振の周波数を高い方へずらします。Via フェイスまたは、CPW タイプの伝送線路を使用すると、回路を“channelize”でき、トレース間に不要な結合が生じるのを防ぎ、不要なボックスの共振の影響を減らします。これらの特徴のすべてを Sonnet のツールの中に含むことができます。
- 吸収性のある材質をツールに追加する – 他のすべてのパッケージ設計の特徴が最適化された後でよく使用される別の方法は、囲まれた空洞の中に吸収性のある材質を追加することです。その材質は通常、鉄か carbon loaded なのでこれは、かなり高い磁気、或いは電気損失正接を与えます。これは液体またはシートのような様々な形態をとり、通常、回路の性能にごくわずかな影響しか与えず、しかも、ボックスの共振には大きな影響を与えるような位置に置かれます。ユーザは誘電体層を積み重ねて追加することで、Sonnet の中で容易にこの材質をリンクすることができます。