

Chapter 12 Netlist Project Analysis

ネットリストプロジェクトは強力な回路解析ツールです。ネットリストが使われるのは次のような時です。

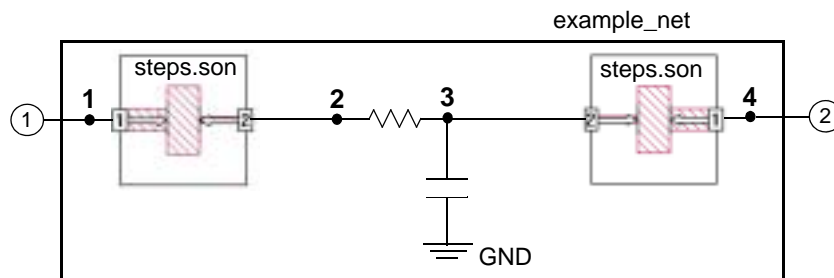
- **Sonnet のプロジェクトを縦続接続する。**：使用できるのであれば、前からあるサブプロジェクトのデータを使って、複数のプロジェクトを解析したり、組み合わせることができます。これは大きく複雑な回路をいくつかに分割して *em* の解析が必要な時には特に便利です。ネットリストプロジェクトを解析している時に、サブプロジェクトで使用されている周波数スイープに違いがある場合は、*em* は自動的にそれらの周波数間の値を補間します。ネットリストのすべてのサブプロジェクトで同じ周波数スイープを行うことも可能です。回路のサブディビジョンについての詳細は、第 13 章の “Circuit Subdivision” をご覧ください。
- **S、Y、Z パラメータのデータファイルを縦続接続する。**：複数の S、Y、Z パラメータのデータファイルを読んで組み合わせることができます。*Em* による解析で、別のベンダーのソフトウェアを使って得た結果を組み合わせたい時には

特に便利です。ネットリストプロジェクトを解析している時、データファイル間の周波数に差がある場合には、*em* は自動的に各周波数の値を補間します。

- **エーリングされた要素を回路の中に挿入する。**：抵抗、キャパシタ、インダクタ、伝送線路などのエーリングされた要素は図形のサブプロジェクトや S、Y、Z パラメータのデータファイルと結合することができます。

Networks

ネットリストプロジェクトは各要素と一緒に結合した 1 つまたは 1 つ以上のネットワークから構成されるネットリストを含んでいます。ネットリストは、ネットリストの個々の要素のポートがノードを使って他の要素のポートと結合しているマップをつくります。ノードはネットリストの要素間の関係を表現します。



上の図は、下の project editor で表示されたネットリストで表現されたネットワークを示しています。ノードは、番号のつけられた黒い点で表現されています。図形プロジェクト steps.son は、図形プロジェクトではポート 1 に対応するノード 1 と、ポート 2 に対応するノード 2 でノード 1 とノード 2 の間に接続されています。抵抗はノード 3 とノード 4 の間に接続されています。キャパシタはノード 3 とグラウンドの間に接続されています。プロジェクト steps.son は、ノード 4 に対応するポート 1 とノード 3 に対応するポート 2 で、ノード 3 とノード 4 の間に接続されています。ネットワーク example_net のポート 1 はノード 1 に対応し、ネットワークのはノード 4 に対応しています。

上に描かれたネットリストでご覧の通り、ネットリストプロジェクトは単なるこれらの要素のリストです。要素名の後の最初の数字が、要素のポート 1 に対応するネットワークノードであり、2 つめの数字が要素のポート 2 に対応するネットワークノードであり、1 つの要素の中のすべてのポートは以下同様であることにご注目ください。

Netlist Project Analyses

ネットリストプロジェクトの解析は、次のようなステップで行なわれます。

- 1 ネットリストモードでは、project editor を使用してネットリストを入力します。Project editor によってネットリストのネットワーク、ネットワーク要素、プロジェクト要素、エディタリングされた要素、そしてデータファイル要素を作成したり、編集することができます。また、ネットリストの中でパラメータを定義することや解析コントロールを入力することもできます。
- 2 *Em* は、回路と解析コントロール情報を含むネットリストプロジェクトを読み込みます。このファイルには、S、Y、Z パラメータのデータファイル、エディタリングされた要素、図形サブプロジェクト (プロジェクト要素)、そしてネットワーク要素が含まれています。
- 3 *Em* は、解析コントロールの入力を、ネットワークファイルで起動された各電磁界解析を実行するネットリストプロジェクトの一部として使用します。独自の解析コントロールを使って、図形サブプロジェクトが解析されるような方法で、解析コントロールをつくることも可能です。ネットリストサブプロジェクトは、常に現在のネットリストから解析コントロールを継承します。
- 4 いったん図形サブプロジェクトの解析が終了すると、*em* はネットリストの中で設定された回路の解析を実行します。

- 5 *Em* は、電磁界解析の結果と回路の結果を組み合わせ、所望の出力結果を得ます。

上記のステップは、電磁界解析と回路解析両方にあてはまります。全体の解析で電磁界解析か回路解析だけに限られる場合は、このステップのいくつかが除かれます。

Creating a Netlist

Project editor を使ってネットリストを作成することができます。新しいネットリストを作成するには、project editor のメインメニューから File ⇒ New Netlist を選択します。Project editor のツールバーとメニューは、ネットリストエディタ用になり変わり、ネットリストに要素やネットワークを追加することができるようになります。

インシヤル（初期）のネットリストファイルはデフォルトで Net という名前のついた 2 ポートのネットワークを含んでいます。ネットリストの最後のネットワークはメインネットワークです。メインネットワークは、ユーザがこのネットリストの中で解決法を探しているネットワークです。ネットリストを解決してる時は、解決で生成された応答データは、メインネットワークのためのものです。

入力ボックスの上をダブルクリックすることにより、ポート数を含むこのネットワークの名前や属性を編集することができます。これは、ネットリストで行われたすべての入力について同じことができます。それら（入力項目）の上をダブルクリックし、入力を編集したり、アイテムを選択することのできるダイアログボックスをオープンし、次にメインメニューから Tools ⇒ Modify コマンドを選択してください。

Adding Networks



ネットリストにネットワークを追加するには、project editor のメインメニューから Tools ⇒ Add Network を選択するか、またはツールバーの Add Network ボタンをクリックします。Edit Network ダイアログボックスが画面に表示されます。このダイアログボックスを使って、ネットワーク内のポート数や、ポートの終端を定義したり、ネットリストのノード番号をネットワークのポートに割り当てることができます。ネットワークを追加する時には、ネットワークは常にネットリストのためのメインネットワークとして追加されます。予め存在するネットワークはこのファイルに付け加えられます。

ネットワークの中に含むことのできる 4 種類の要素があります。ネットワーク、モデル、データファイル、プロジェクトです。

Adding Network Elements



要素の 1 つめの種類はネットワーク要素です。ネットワーク要素によって、以前定義された別のネットワークを、現在のネットワークの一部として使用することができます。これは 1 つのネットワークをいくつも複製したい場合に便利です。

ネットワーク要素をネットリストへ追加するには、追加したいネットワークの上をクリックし、次にメインメニューから Tools ⇒ Add Network Element を選択するか、project editor のツールバーの Add Network Element をクリックします。Edit Network ダイアログボックスに似たダイアログボックスが表示されますが、このダイアログボックスでは名前の変更はできません。ドロップリストの中から存在するネットワークの名前を選んで、どのネットワークを使用したいかを選択します。現在のネットワークの上に定義されたネットワークだけが使用できます。

Adding Modeled Elements



モデリングされる要素は、抵抗、キャパシタ、インダクタ、理想的な伝送線路または物理的な（実際の）伝送線路です。モデリングされる要素をネットリストへ追加するには、メインメニューから Tools ⇒ Add Modeled Element を選択するか、または project editor のツールバーの Add Modeled Element ボタンをクリックします。Edit Element ダイアログボックスが画面に表示されます。ドロップリストから追加したいモデリングされる要素の種類を選択し、このダイアログボックスの下にあるテキスト入力ボックスの中に、その要素のパラメータを入力します。パラメータがネットリストの中で定義されている場合は、1 つのパラメータを、モデリングされる要素のパラメータの値として、入力するかもしれません。要素のポートとグラウンドのそれぞれに入力ボックスが表示されます。各ポートに対して、ネットワークの所望するノード番号をここに入力してください。

Adding Data File Elements



データファイル要素はユーザがネットワークの中に含みたいと思う応答データを含むデータファイルです。応答データは、Sonnet の解析からのオプションの出力ファイルか、または測定データのように Touchstone や Super Compact フォーマットのデータでも可能です。データファイル要素をネットリストへ追加するには、メインメニューから Tools

⇒Add Data File Element を選択するか、または project editor のツールバーの Add Data File Element ボタンをクリックします。Browse ウィンドウが表示されて、ネットワークに含みたいデータファイルを選択できます。いったんこのファイルが読み込まれると、Edit Element ダイアログボックスが表示されて、ポートに対してネットリストノード番号を定義することができます。

Adding Project Elements



プロジェクト要素は、別の Sonnet のプロジェクトをネットワークの一部として使用することができます。プロジェクトは図形かネットリストプロジェクトです。プロジェクト要素をネットリストへ追加するには、メニューから Tools ⇒ Add Project Element を選択するか、または project editor のツールバーの Add Project Element ボタンをクリックします。Edit Element ダイアログボックスが画面に表示されます。Browse ウィンドウが表示されて、ネットワークに含みたいデータファイルを選択できます。いったんこのプロジェクトファイルが読み込まれると、Edit Element ダイアログボックスが表示されて、ポートに対してネットリストノード番号を定義することができます。プロジェクトにパラメータが含まれている場合は、ここでそれらに対して値を入力することになります。パラメータがネットリストで定義されている場合は、1つのパラメータがリンクされる要素の値として入力されます。この機能は2つの異なるプロジェクトから得た2つのパラメータに強制的に同じ値を使用させる時に使うことができます。

Adding Parameters

パラメータスイープや最適化を実行するために、パラメータをネットリストに追加したい場合は、project editor のメニューから Circuit ⇒ Parameters を選択します。Parameters ダイアログボックスが表示され、ユーザが作成したい各パラメータに対して、パラメータ名と名目値を入力することができます。いったんパラメータがネットリストプロジェクトに存在すると、そのパラメータは、ネットリスト要素の1つのパラメータの値として入力することができます。



TIP

1 ネットリストのサブプロジェクトにパラメータを追加する場合は、そのパラメータは、ネットリストに自動的に表示されません。メインネットリストを保存し、それを再びオープンしてそのパラメータを表示し、編集できるようにする必要があります。

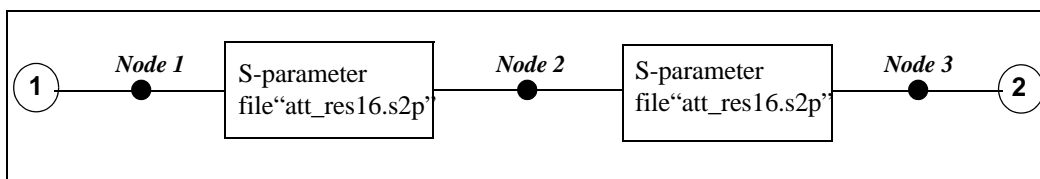
Netlist Example Files

この章で使用される例題ファイルのすべては、Sonnet の例題の [Att](#) の例題の中に入っています。そのフォルダ全体を、例題を実行したいワーキングディレクトリの中にコピーしてください。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。

Cascading S-, Y- and Z-Parameter Data Files

ネットリストプロジェクトに備えられた機能の中で特に便利なものは、複数の S、Y、Z パラメータのデータファイルを縦続接続できることです。縦続接続できるデータフォーマットには何の制約もありません。例えば、*em* で求めた Touchstone フォーマットの Z パラメータを測定された Super-Compact フォーマットの S パラメータと縦続接続できます。更に、*em* はデータファイルにはない周波数点で解析することができます。*Em* は必要とされる周波数とデータファイルの中の周波数とに違いがあると、自動的に補間します。

縦続接続の手順を示すよい例題に、プロジェクト att_cascade.son が用意されています。これは、この章の Att の例題の中に含まれています。2 ポートのついた回路を以下に図示しています。この回路は直列に接続されている 2 つの同じ薄膜抵抗から構成されています。ここでは、薄膜抵抗の図形ファイルの解析によって算出された S パラメータが、ネットリストのデータファイル要素として使用されます。データファイルを生成するために使用される S パラメータファイルである att_res16.s2p と、図形プロジェクトである att_res16.son がこの章の例題に含まれています。



ファイル “att_res16.s2p” に含まれた 2 ポートの S パラメータが縦続接続されて 2 ポートの S パラメータを全部合算した値を算出します。

回路のネットリスト att_cascade.son を以下に示します。



メインネットワークの Resnet は DEF2P の “2” で示される 2 つのポートを持っています。このネットワークでは、ポート 1 はノード 1 に対応します。ポート 2 はノード 3 に対応します。このネットワークには、2 つのデータファイル要素があります。1 つめの入力、2 ポートのある応答ファイル att_res16.s2p です。ポート 1 はネットワークのノード 1 に対応し、これは前述のように回路全体のポートです。データファイルのポート 2 はこのネットワークのノード 2 に対応します。もう 1 つの入力もまた、データファイル att_res16.s2p のためのものですが、データファイルのポート 1 がネットワークのノード 2 に向かっていることが異なります。このことは、2 つめのデータファイルのポート 1 が 1 つめのデータファイルのポート 2 と接続していることを意味します。2 つめのデータファイルのポート 2 は、ネットワークのノード 3 に対応します。ネットワークのノード 3 は、ネットワークはネットワーク “RESNET” のポート 2 です。

ネットリストの解析のための S パラメータを以下に示します。

```
Frequency: 200 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
200.000000 0.250782 -5.309 0.748778 -6.263 0.748778 -6.263 0.250782 -5.309

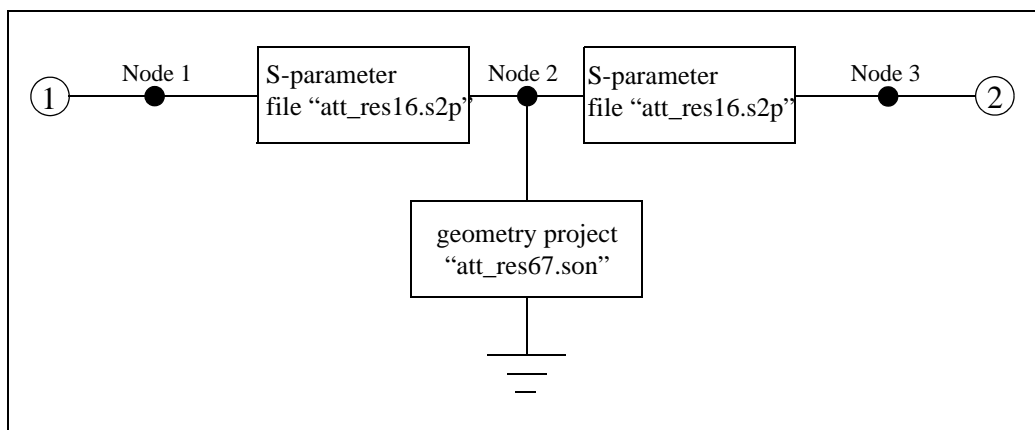
Frequency: 300 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
300.000000 0.250310 -7.963 0.748702 -9.395 0.748702 -9.395 0.250310 -7.963

Frequency: 400 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
400.000000 0.249650 -10.62 0.748595 -12.53 0.748595 -12.53 0.249650 -10.62
```


A Network File with Geometry Project

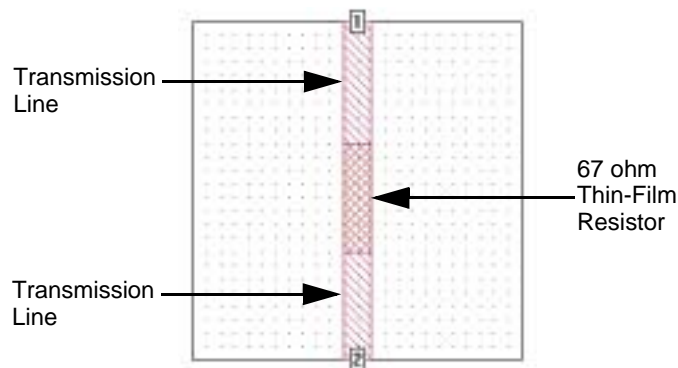
次の例では前につくられたデータを使うとともに、図形ファイルの解析を開始させるネットリストプロジェクトの解析を説明します。

図形プロジェクトのあるネットリストの解析を説明するために、以下のような2ポートのT型アッテナを解析してみましょう。

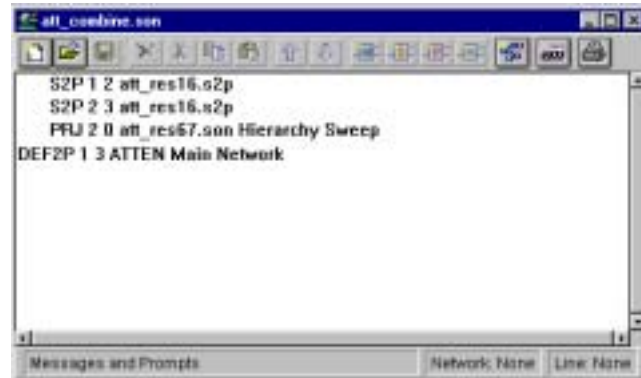


Em による電磁界解析と回路解析を組み合わせた解析を説明するために2ポートのT型アッテナが解析されます。

下図は 67 オームの薄膜抵抗の図形プロジェクト “att_res67.son” で、これは *em* によって読み込まれ、ネットリストの解析中に解析されます。このプロジェクトの解析結果がネットリストのための結果を計算するために使用されます。



ネットリストプロジェクト att_combine.son を以下に示します。プロジェクト att_combine.son はこの章の Att の例題の一部として使えます。



上図のネットリストとその前のネットリストとの大きな違いは、このネットリストはプロジェクトの解析を行うという指示を含んでいるということです。PRJ キーワードは *em* にネットリストからの解析コントロールを使ってプロジェクト “att_res67.son” 上で電磁界解析を実行するように指示しています。解析コントロールの使用は、PRJ ステートメントの中で “Hierarchy Sweep” によって指示されています。コントロールが “Hierarchy Sweep” に設定されると、*em* は自動的にサブプロジェクトをネットリストと同じ周波数スイープと実行オプションで解析します。

解析中、*em* は次のステップで進みます。

- 1 “att_res16.s2p” ファイルから S パラメータのデータを読み込みます。
- 2 67 オームの薄膜抵抗の図形プロジェクト “att_res67.son” を電磁界解析します。
- 3 電磁界解析から得た S パラメータの結果と “att_res16.s2p” からの S パラメータの結果を合わせて T 型アッテネータの S パラメータを合算した値を算出します。



TIP

PRJ に書かれていることを実行する前に、*em* は設定されたコントロール周波数にデータがあるかどうか確認します。そのデータが既に存在していて、そのデータが作成されてからプロジェクトが変わっていなければ、*em* は電磁界解析は行ないませんが、その有効なデータは使います。

以下のリストはネットリストの解析の出力です。解析モニターに表示された様子を示しています。これには T 型アッテネータの S パラメータのすべてが入っています。

```
Frequency: 200 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
200.000000 0.008924 67.700 0.500516 -5.758 0.500516 -5.758 0.008924 67.700

Frequency: 300 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
300.000000 0.013072 68.918 0.501160 -8.647 0.501160 -8.647 0.013072 68.918

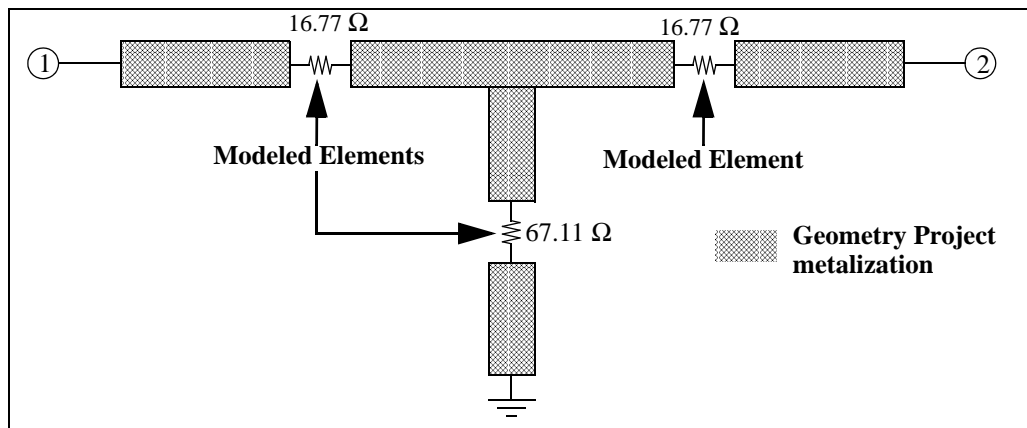
Frequency: 400 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
400.000000 0.017177 67.763 0.502055 -11.54 0.502055 -11.54 0.017177 67.763
```

Inserting Modeled Elements into a Geometry

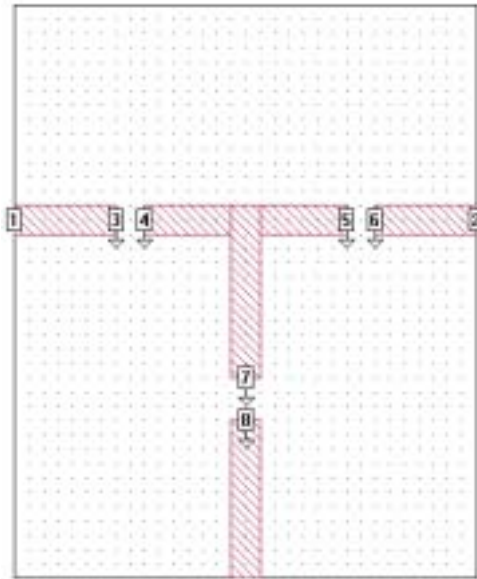
ネットリストプロジェクトがご提供するもう1つの大変便利な点は、回路で電磁界解析が完了した後で、モデリングされる要素を図形プロジェクトの中に挿入することができることです。モデリングされる要素とは、抵抗、インダクタ、キャパシタ、伝送線路などの理想的な素子で、それだけで簡潔した解析値を持っています。これらのモデリングされる要素は電磁界解析を行いません。

モデリングされる要素の使い方を説明するために、再びT型アッテネータを解析してみましょう。しかし、この章の前で示したように、このアッテネータは、電磁界解析の結果をむすびつけて得た結果ではなく、この場合、図形プロジェクトatt_lgeo.sonには、モデリングされる要素を挿入する必要がある場合に、完全なアッテネータを切り出したモデルそのものが用意されています。3つの抵抗は図形プロジェクトの一部として解析されませんが、ネットリストの中でモデリングされる要素として挿入されます。次の図はモデリングされる要素を持つ回路のレイアウトです。伝送線路で構成されている図形プロジェクトが最初に生成されます。次に3つの抵抗を挿入し、回路全体の2ポートのSパラメータを計算するためにネットリストプロジェクトが使われます。

これを行なうためには、伝送線路の構造体と後にモデリングされる要素が挿入される3つの“穴”を持つ図形プロジェクトを作成する必要があります。196ページの図はそのような図形プロジェクトです。ここでは、組になったauto-groundedポートが各々のモデリングされる要素が入る“穴”の両端に設置されています。後でモデリングされる要素が挿入されると、対応する組のauto-groundedポートの間に各々のモデリングされる要素がつながります。ある条件下では、ungrounded-internalポートがauto-groundedポートの代わりに使うことができます。詳しくは197ページの“Using Ungrounded-Internal Ports”をご覧ください。



2ポートのT型アッテネータを再び解析して、モデリングされる要素の使い方を説明しています。



図形ファイル“att_lgeo.son”には auto-grounded ポートが 3 組あります。このポートは後でデリンクされる要素が置かれる場所に設定されます。このファイルはこの章で使用されている Att の例題の一部として入手できます。

下図はこの例題で使われるネットリスト att_lumped.son です。



Chapter 12 Netlist Project Analysis

上のネットリストは *em* に次のステップを踏むように指示しています。

- 1 このネットリストのために定義された Frequency sweep と実行オプションを用いて、図形ファイル “att_lgeo.son” 上で電磁界解析を実行します。PRJ 行に従って、メインネットワーク *atten* の中では、ポート 1-8 はポート 1-8 にそれぞれ対応していることに注目してください。ポート番号は、回路のポートの順番に、PRJ キーワードの後に列挙されています。
- 2 ノード 3 とノード 4 の間に 16.77 オームの抵抗を挿入します。これは図形プロジェクト外の中に autogrounded ポート 3 と 4 の間に抵抗を挿入したことです。
- 3 ノード 5 とノード 6 の間に 16.77 オームの抵抗を挿入します。
- 4 ノード 7 とノード 8 の間に 67.11 オームの抵抗を挿入します。
- 5 T 型アッテネータの S パラメータを合算します。

2 つのプロジェクト att_lgeo.son と att_lumped.son は、この章の Att の例題から入手することができます。下のリストは解析モニターに表示された時の解析出力です。これらの結果は分布定数素子で求めた上の結果に類似していることにご注意ください。

```
Frequency: 200 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
200.000000 0.007889 66.619 0.500390 -4.888 0.500390 -4.888 0.007889 66.619

Frequency: 300 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
300.000000 0.011495 69.396 0.500788 -7.336 0.500788 -7.336 0.011495 69.396

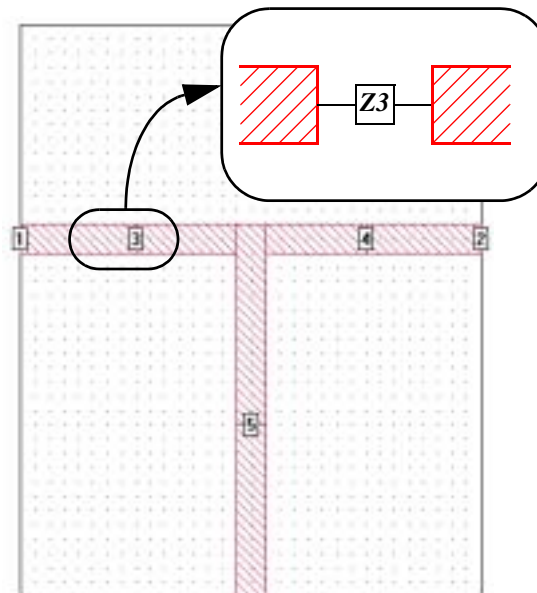
Frequency: 400 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
400.000000 0.015119 69.443 0.501342 -9.787 0.501342 -9.787 0.015119 69.443
```

Using Ungrounded-Internal Ports

上述の例題では 1 組の auto-grounded ポートが *em* の回路レイアウトの中のマウントされる要素が後で挿入される場所に各々設置されていました。これは、ungrounded-internal ポートを使っても同じ解析を行なうことができます。というのは、この例では各抵抗はグラウンドに導通しない直列の

リンクされる要素だからです。リンクされる要素は必ずしもグランドに接している必要はありませんので、1組の auto-grounded ポートを 1 つの ungrounded-internal ポートに置き換えることができます。

下図はリンクされるプロジェクトのある場所に ungrounded-internal ポートを設置した T 型アッテナの図形プロジェクトです。これらの場所の図形と図形の間にはギャップがあることに注目してください。これは、2 つの隣接する図形の間には ungrounded-internal ポートをつけなくてはならないからです。これは、アッテナの全体の働きに少し影響を与えます。



図形プロジェクト “att_lgeo2.son” は、後でリンクされる要素が挿入される場所に ungrounded-internal ポートを使用します。

以下のネットワークファイルは、198 ページにあるネットワークの ungrounded-internal ポートの中に所望の抵抗をつないだものです。Ungrounded-internal ポートがグラウンドに接していないので、そのポートの間に素子を一つつなげる時には、1つのノードだけが特定されるだけです。



WARNING

Ungrounded-internal ポートの1つの端子は図形の端に接続されています。もう1つの端子は隣接しているもう1つの図形の端に接続されています。Ungrounded-internal ポートはグラウンドに接している必要はありません。従って1ポートの素子か1ポートのネットワークだけが ungrounded-internal ポートの間に接続されます。抵抗、キャパシタ、インダクタは技術的には、1ポートの素子なのでネットリストでは、ungrounded-internal ポートの代わりに挿入されます。

この回路のネットリスト att_lumped2.son を以下に示します。図形プロジェクト att_lgeo2.son とこのネットリストは、この章に用意されている Att の例題から入手することができます。



このネットリストで注意すべき重要な特徴は、パラメタの使用です。3つのパラメタ Z3、Z4、Z5 がこのプロジェクトでは定義されており、それらの値は3つの抵抗の切り替えられる要素に使用されました。パラメタはメニューから Circuit ⇒ Parameters を選択し、表示された Parameters ダイアログボックスの中に、パラメタ名と名目値を入力することによって、ネットリストの中に定義されます。Z3 と Z4 は、16.77 と等しく、Z5 は、67.11 に等しいです。

Sonnet User's Guide

下のリストは ungrounded-internal ポートで解析した S パラメータの結果です。これらの結果は auto-grounded ポートで解析した結果と、非常によく似ていますが、全く同じものではありません。主な違いは集中定数素子が挿入される場所の図形と図形間のギャップの大きさによるものです。

```
Frequency: 200 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
200.000000 0.009217 68.496 0.500482 -5.785 0.500482 -5.785 0.009217 68.496

Frequency: 300 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
300.000000 0.013510 70.114 0.500994 -8.683 0.500994 -8.683 0.013510 70.114

Frequency: 400 MHz
50-Ohm S-Params. Mag/Ang. Touchstone Format. (S11 S21 S12 S22).
400.000000 0.017788 69.364 0.501707 -11.59 0.501707 -11.59 0.017788 69.364
```