

Chapter 6 Ports

この章では Sonnet で使用される 4 つの異なる種類のポートについてを説明し、また、そのポートのモデリング方法、そしてユーザの回路へどのように設定し、削除するのかを説明します。

Sonnet で使用される 4 つの種類のポートは、標準 box-wall ポート、ungrounded-internal ポート、via ポート、auto-grounded ポートです。

Port Types

Sonnet で扱うすべてのポートは 2 端子のデバイスです。ポートの種類の違いはどこに端子が接続されるかです。

最もよく使用される種類のポートは 標準 box-wall ポートで、1 つめの端子が金属の図形に置かれ、2 つめの端子が box wall (グラウンド) に置かれます。この種類のポートは *em* で定義することが可能です。

しかし、時々 2 つの隣接する図形の間に 1 つのポートの 2 つの端子を取りつけると便利です。これは ungrounded-internal ポートです。この種類のポートは *em* ではデインパットできません。複数ポートの回路で S、Y、Z のパラメータを調べる解析では、回路内のポートは通常すべてグラウンドされています。グラウンドされていないポートは、回路内の他のポートとは違う参照面を持つことができますので解析結果が正しくなくなることもあります。

3 つめの種類のポートは via ポートです。Via ポートは回路のあるレベルの上に描かれた図形に接続された 1 つの端子と、その図形の上の回路基板上的もう 1 つの図形に接続された端子からなります。*Em* は via ポートをデインパットできません。Via ポートは、回路の中で隣接する 2 つのレベルの間にポートを取りつけたい時や、ポートをグラウンドの下よりもポートの天頂へ上向きにつけたい時に最もよく使われるポートです。

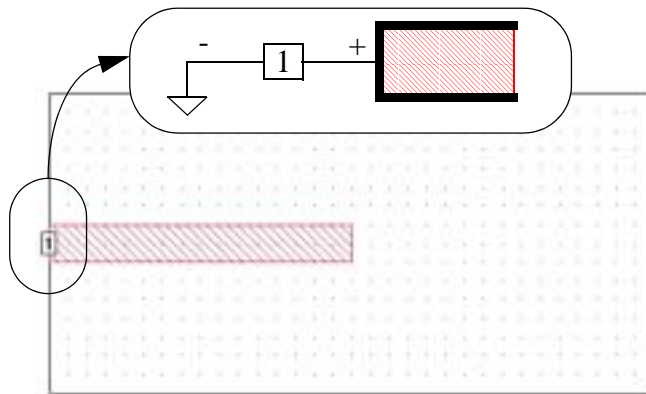
最後の種類のポートは auto-grounded ポートです。Auto-grounded ポートは、回路の内側で使用され、金属図形の端に接続している端子と、間にあるすべての誘電体層を通してグラウンド面に接続している端子から成っています。*Em* は auto-grounded ポートをデインパットすることができます。Auto-grounded ポートについての詳細と使用上の制限については、112 ページの “Automatic-Grounded Ports” をご覧ください。

どの種類のポートも斜め線上には置くことができません。お互いに重なり合うこともできません (接触することは許されています)。解析エンジンはこれらのエラーの条件をテストしています。

ポートの各種類についてと、すべてのポートの種類に関する事柄 (例えばポートのカパリングやインピーダンスなど) が次の節で詳細に説明されています。

Standard Box-Wall Ports

標準 box-wall ポートはグラウンド・ポートです。1つの端子はボックスの壁と一致する図形の端に接しており、もう1つの端子はグラウンドに接しています。標準 box-wall ポートを下図に示します。標準 box-wall ポートはデフォルトでできます。



Adding Standard Ports

- 1 回路に標準のポートを追加するために、ツールボックスの *Add Port* ボタン、または project editor のメニューから Tools ⇒ Add Port を選択します。
- 2 ポートを追加したい位置の図形のエッジの上でクリックしてください。中央に数字のついた小さなボックスが回路上に現れ、ポートの位置を示します。

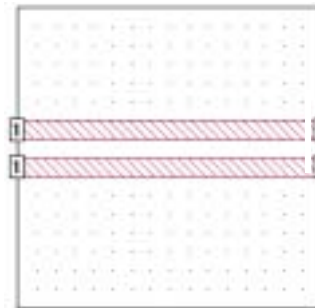
ポートは回路上で指定した順に自動的に番号がつけます。後でポートの番号を変えることができます。この操作は後で述べます。詳細は、103 ページの “Changing Port Numbering” をご覧ください。

Special Port Numbering

すべてのポートは project editor で作成された時に番号をつけられています。ポート数には制限がありません。また、ポート数は解析時間にはまったく影響を与えません。デフォルトではポートは作成された順に番号をつけられます（最初に作成されたポートは 1 という番号がつけられ、2 番めに作成されたポートは 2 という番号がつけられます）。このデフォルト設定による方法では、すべてのポートには、正の番号がつけられ、番号は 1 回しか使われません。しかし、同じ番号を持つ複数のポートや負の番号のポートを必要とするアプリケーションもあります。

Ports with Duplicate Numbers

同じ番号のついたポートはみな、電氣的に接続されています（下図参照）。実際のポートは必要なだけいくらかでも同じ数字のラベルを与えることができます。このようなポートは時々、“even-mode”ポートとか、“push-push”ポートと呼ばれ、薄い金属導体のシミュレーションや、回路の even-mode の応答など多くの用途があります。“push-push”ポートの使い方の例は、“Modeling an Arbitrary Cross-Section”をご覧ください。

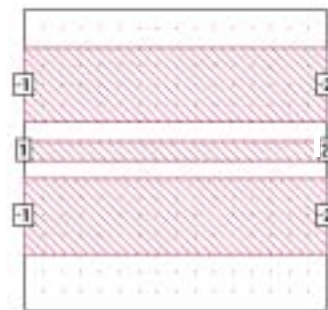


同一番号のポートは電氣的に接続されています。

Ports with Negative Numbers

ポートには負の番号を割り当てることもできます（103 ページの図参照）。この機能はグラウンド平面の再定義に用います。厳密に言えば、*em* は同じ正のポート番号を持つすべてのポートに流れる電流の総和をとり、同じ負のポート番号を持つすべてのポートから出る総電流に等しくなるように設定し

ます。例えば、+1 ポートと -1 ポートがある回路を仮定した時、*em* はポート -1 から流れ出る電流に等しいようにポート +1 に流れる電流を設定します。従って、これには “balanced(平衡)” とか、“push-pull”、または “odd-mode” ポートという名前がつけられています。共平面線路は、この平衡ポートを用いて表現することができます。push-pull ポートについては、第 23 章の “Coplanar Waveguide and Balanced Ports” をご覧ください。



push-pull ポートの例

ポートの番号は連続している必要はありません。すなわち 2 つしかポートがない場合、一方が “1” でもう片方が “4” であってもかまいません。S、Y、Z パラメータのポート番号の並びは番号の順に並べられます。例えば、ポート番号が “1” と “4” の時には、S11, S41, S14, S44 となります。

Changing Port Numbering

- 1 番号を変えたいポートの上をクリックします。Modify メニューオプションが使えるようになります。
- 2 Modify ⇒ Port Properties を選択すると Port Attributes ダイアログボックスが表示されます。
- 3 ダイアログボックスの中の Number 入力ボックス内に所望する数字を入力するとポートの番号は変えられます。入力する番号は 0 でない整数 (正、負) です。複数のポートが選ばれていると、Number 入力ボックス内に、“Mixed” が現れます。このフィールドに数字を入れると、選ばれたすべてのポートに同じ番号をつけることができます。

Port Normalizing Impedances

回路解析プログラムをもとにした回路理論で結果がまとめられていれば常に各ポートにおいて正規化されたインピーダンスは 50 オームでなければなりません。稀に別のインピーダンスで正規化された S パラメータが必要な場合があります。

例えばポート 2 に 10 オームの抵抗と 1.0 pF のコンデンサを並列接続し (パワー FET の入力モデル)、内部インピーダンス 35 オームのソースを動作させて、反射係数を求めたいとします。この場合、ポート 1 は 35 オームに、ポート 2 は 10 オームと 1.0pF の合成インピーダンスに正規化します。

純粋な電磁気学ではよくそれぞれの接続部分の線路の特性インピーダンスに正規化された S パラメータが用いられます。これらはよく “一般化” S パラメータと呼ばれてはいますが、常に線路インピーダンスが特定されているわけでもなく、従って回路理論ソフトを使う上で、50 オームに正確に変換できません。

正規化 S パラメータの物理的意味を理解するためには、標準 50S パラメータというのは、すべてのポートを 50 オームで終端した回路の、反射された (または、伝送された) 波の振幅の比を測定したものであることをもう一度思い出してみてください。もし 50 オームの代わりに、60 オームの終端を用いたら、60 オームに正規化された S パラメータが、進行波の割合を測定することによって求められるでしょう。それからその 60 オームで終端された回路の測定によって求めた S パラメータを、(50 オームで終端されたものを使うことが前提の) 回路理論プログラムに用いたとすれば、間違った結果を得るでしょう。

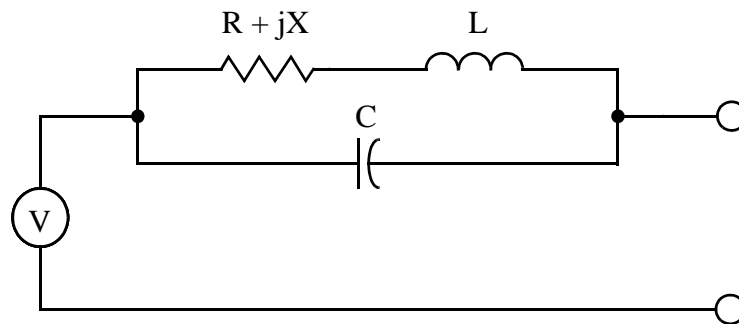
しかしながら、60 オームの S パラメータを使う場合もあります。2 ポート回路の 60 オームで終端されているポート 2 で吸収される電力を求めたいとします。これは単に、60 オームの S パラメータを用いて、1 から S_{11} の大きさの 2 乗を引けばよいのです。もし他の違う負荷でしたい場合はその負荷に正規化されたインピーダンスをご使用ください。

Sパラメータは、各ポートに適切な変成器を縦続接続し、*em* の回路ネットワーク機能や回路理論をもとにしたプログラムによって、どんなインピーダンスにも再正規化できます。しかし、この技法は線路に損失があったり、負荷が複素数であるなど、インピーダンスが複素数となる場合は使用できません。

Em において、デフォルトの正規化インピーダンスは 50 オームです。もし違う正規化をする場合は、106 ページの “Changing Port Impedance” で、各ポートの正規化インピーダンスをどのように設定するかを参照してください。

正規化インピーダンスは 4 つの数により決まります。1 つめはオームの実部、次はオームの虚部、3 つめは nH で示されるインダクタンス成分、最後は pF で示されるキャパシタンス成分です。インダクタンスとキャパシタンス成分は、負荷のリアクタンス成分を変化させるだけで、その中に含まれてしまいますので、わざわざもう一度各周波数において、リアクタンス成分を計算し直す必要はありません。

抵抗、リアクタンス、インダクタンスは各解析周波数で特定の正規化インピーダンスを計算する時、直列に接続されます (下図参照)。キャパシタンスはその結果に並列接続され、解析周波数において最後の正規化インピーダンスが計算されます。



Equivalent circuit of an *em* port

NOTE: 出力に Y パラメータや Z パラメータが指定された場合、正規化インピーダンスは無視されます。Y パラメータと Z パラメータはいつも 1 オームに正規化されます。

この機能は、ほとんど熟練したユーザだけが使うべきです。以上の内容が不明な場合は、わかる方を捜してください。どのような場合でも、Sonnet 以外の標準的な回路理論プログラムの中で用いられるデータに、この機能を使うべきではありません。というのも、多くのそのようなプログラムにおいては、S パラメータが正確に 50 オームに正規化されていると仮定されているからです。

例えば、マイクロストリップ回路のステップ 接合部における 50 オームの S パラメータは、非常に小さいシャントキャパシタンスと直列インダクタンスがあるかのように求められます。言い換えますと、反射係数はほとんど 0 で、伝達係数はほぼ 1 で、位相角も 1 ~ 2 度です。もし 50 オームの S パラメータの代わりに、2 ポートに接続している線路の特性インピーダンスに正規化された S パラメータを用いると (電磁気学では一般的ですが)、S パラメータは 2 つのインピーダンス変換器のようになります。これにより、50 オーム S パラメータを前提としている多くの回路理論プログラムを用いると、大きく違う結果になってしまいます。

Changing Port Impedance

ポートのインピーダンスを変更するには 2 つの方法があります。1 つのポートのインピーダンスを変えたいが、他のポートのインピーダンス値は変えたくない場合は、project editor を使って次のステップを踏んでください。

- 1 インピーダンスを変えたいポートの上をクリックすると、Modify メニューオプションが使えるようになります。
- 2 Modify ⇒ Port Properties を選択して Port Attributes ダイアログボックスを開きます。
- 3 ダイアログボックスの中の Resistance、Reactance、Inductance、Capacitance 入力ボックスに、所望する値を入力するとインピーダンスの値を変えることができます。選択されたすべてのポートとそれと同じ番号を持つすべてのポート上のパラメータが変わります。

もし与えられたポートのインピーダンスを変えたくて、しかも同時に他のポートのインピーダンス値を見たいなら、次のように行います。

- 1 メインメニューから Circuit ⇒ Ports を選択し、Port Impedance ダイアログボックスを開きます。
- 2 所望するポートの番号と同じ入力列の Resistance、Reactance、Inductance、Capacitance の入力ボックスに所望する値を入力すればどんなポートのインピーダンス値も変えることができます。



TIP

複数のポートのインピーダンスは、Modify ⇒ Attributes を選択する前に、複数のポートを選択するという1番めの方法で同時に変えられることに気をつけてください。そして2番めの Port Impedance ダイアログボックスが開いている時に所望するポートの値のすべてを変える方法もあります。

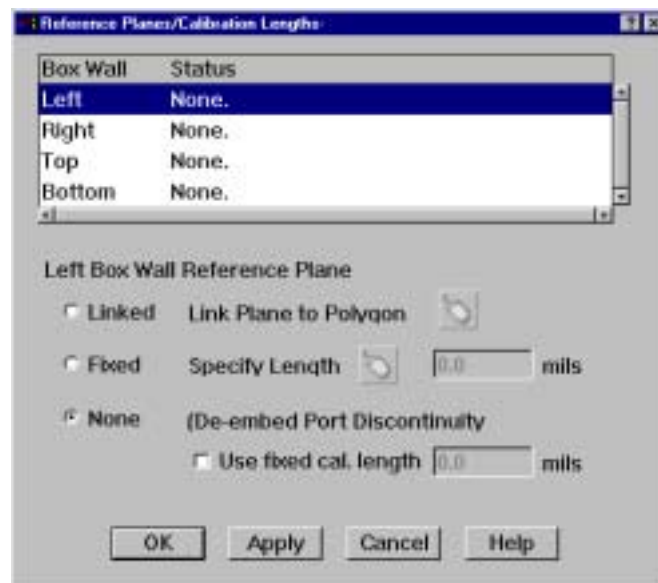
Defining Reference Planes/Calibration Lengths

参照面とキャリブレーション長は互いに独立しているものですがすべての種類のポートで指定することができます。しかし、ポートの種類によって方法が異なります。参照面は *em* で定義できない via ポートでは指定できません。Ungrounded-internal ポートでは、どのボックス壁が参照されているのか不確かなので参照面は指定できません。標準ポートと auto-grounded ポートの方法を以下で詳しく説明します。

Standard Ports

標準ポートは大抵ボックスの壁面上に存在しますので参照面またはキャリブレーション長はボックスの壁面までの距離のことです。参照面またはキャリブレーション長を指定するには次のように行います。

- 1 メインメニューから Circuit ⇒ Ref. Planes/Cal. Lengths を選択すると Reference Planes/Calibration Lengths ダイアログボックスがオープンします。



- 2 Box wall リストの中で参照面がキャリブレーション長のいずれかを設定したい方向 (Top、Left、Right または Bottom) を選びます。
- 3 次に参照面のタイプである、Linked または Fixed をラジオボタンから選択します。キャリブレーション長を定義したい場合は、None ラジオボタンをクリックし、次に Use fixed cal. length チェックボックスをクリックします。
- 4 リンクされた (Linked) 参照面を選択する場合は、マウスボタンをクリックし、次に参照面をリンクしたい回路内の図形の 1 点を選びます。固定した (Fixed) 参照面を選択する場合は、テキスト入力ボックスの中に長さを入力するか、またはマウスボタンをクリックし、回路の距離を設定します。キャリブレーション長を定義している場合は、テキスト入力ボックスの中に所望する長さを入力します。
- 5 参照面またはキャリブレーション長を除去するには、None ラジオボタンをクリックし、Use fixed cal. length にはチェックを入れません。ボックスの同じ側のすべてのパールのすべてのポートには同じ参照面かキャリブレーション長のいずれかが使用されています。

Auto-ground Ports

Auto-grounded ポートでは、参照面またはキャリブレーション長がある特定のポートからの距離として定義されます。Auto-grounded ポートで 参照面はまたはキャリブレーション長を指定するには、次のように行います。

- 1 設定したいポートをクリックすると、Modify メニューオプションが使えるようになります。
- 2 Modify ⇒ Port Attributes を選択すると 115 ページの図のような Port Attributes ダイアログボックスが表示されます。
- 3 Autognd Port Data の枠の Ref. Plane（参照面）か Cal. Length（キャリブレーション長）のフィールドに所望する長さを入力します。または Use Mouse ボタンを押し、所望する位置の回路内でクリックすれば参照面を指定するのにマウスも使えます。Ref. Plane（参照面）の入力は選択時に更新されます。
- 4 参照面またはキャリブレーション長を除去するために、除去したいフィールド内に 0（ゼロ）を入力します。



TIP

あるポートを autoground の種類に変えたり、参照面またはキャリブレーション長を設定するには、Port Attributes ダイアログボックス内で指定すると一度にできます。または設定したいポートを除外し、Modify ⇒ Port Properties をメニューで選択し、Port Attributes ダイアログボックスの中でキャリブレーション長の値を入力すると複数のポートのキャリブレーション長を設定することもできます。

Deleting Ports

すべての種類のポートは同じ方法で削除されます。ポートを選び、ツール-またはメニューから Cut または Delete 操作を実行し、回路からポートを削除します。

Ungrounded-Internal Ports

標準 ungrounded-internal (グラウンド されていない内部) ポートは、回路の内側に置かれ、2つの端子は隣接した金属図形間に接続されています。このポートを下図に図解します。内部ポートは、そのポートがどちらに向かっているかによって、ポートの左または下に負の端子を持っています。このポートは *em* でデインパットすることができますが、ユーザは参照面やキャリブレーション長は設定しません。

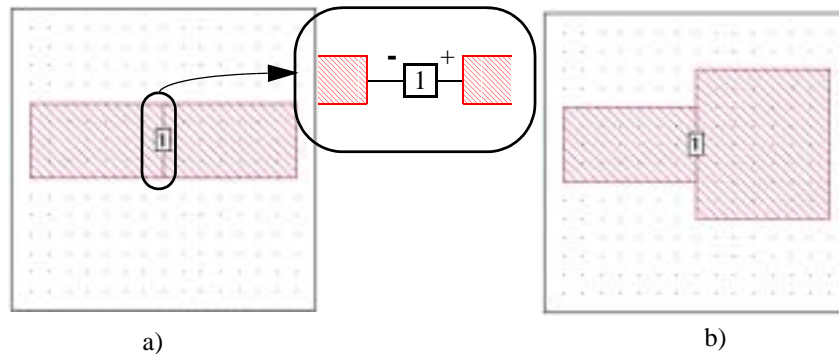


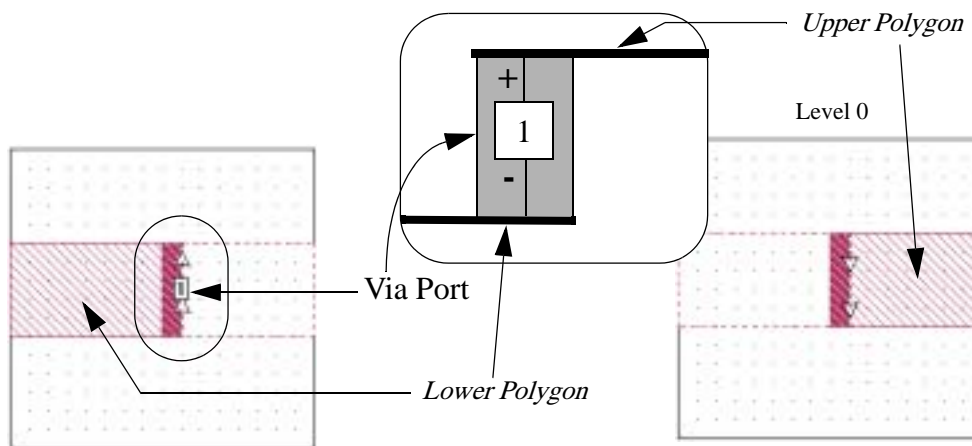
図 a) では、この ungrounded-internal ポートは同じ広さの2つの図形間に接続されています。これは、ungrounded-internal ポートにとっては必要条件ではありません。こうしたポートは図 b) のように広さの異なる図形であっても境を接していればよいわけです。上記の2つの条件の違いは、図形の広さが異なったものが接続している時には、デインパットで使うスケールドが増える（従ってより時間がかかる）という違いがあるだけです。

1つの図形の端にこのポートを置くことはできません。このポートはグラウンドに接地していないので、ユーザが結果を解釈する時にかなり注意しなくてはなりません。

Ungrounded-internal ポートを追加するには、標準 box wall ポートを追加するのと同じ方法で行います。詳細は、101 ページをご覧ください。

Via Ports

Via ポートは回路のあるレベルの上に描かれた図形に接続された 1 つの端子と、その図形の上か下の回路基板上のもう 1 つの図形に接続された端子からなります。Via についての詳細は、第 18 章の “Vias and 3-D Structures” をご覧ください。ポートが回路の内側の置きたい場所にある時は、2 つの層の間に via を設置し、ポートを `1zz via` に追加します。この種類のポートを以下に示します。



標準の via ポートのついた回路の例。回路の囲まれた領域の横から見た様子が図の右に示されています。

Em は via ポートをデインベクトできません。しかし、via ポートと他の種類のポートが両方含まれた回路であれば、他の種類のポートはデインベクトできます。*Em* では、回路内にあるその他のポートすべてを区別し、デインベクトしますが、デインベクトしない via ポートは除いて計算します

例題ファイル [Dual_patch](#) は、パッチアンテナで使用される via ポートの例です。この例題ファイルは Sonnet の例題ファイルの中にあります。

Grounded ポートが必要なほとんどの場合、特に auto-grounded ポートをデインベクトできるので、次の項で述べる auto-grounded ポートを使うことになります。Via ポートが

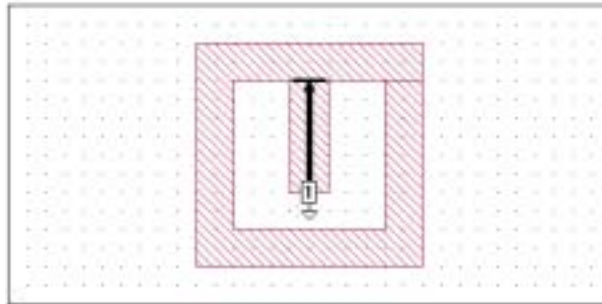
最も使われるのは、回路の中で隣接する2つの層の間にポートをつけたい時か、またはグラウンドの下よりもパッドの加へにポートをつけたい時の2つの場合です。

Adding Via Ports

- 1 Viaポートを追加するにはまず、viaで結合させる隣接したいパッドの上で2つの図形を作ります。Viaの作り方については第18章の“Vias and 3-D Structures”をご覧ください。
- 2 次にproject editorのツールボックスのAdd Portをクリックし、Add Portモードに入ります。
- 3 ポートを追加する下のパッドの図形のEdge viaの上でクリックします。その例を前ページの図に示します。

Automatic-Grounded Ports

Automatic-groundedポートは回路の内部で使われる特殊なポートです。この種類のポートはパッドの内側にある金属図形の端に接続している端子と、間にあるすべての誘電体層を通してグラウンド面に接続している端子から成っています。下に参照面のついた auto-grounded ポートを図解します。



多くの回路では、auto-groundedポートを追加しても *em* の解析時間全体には少しも影響ありません。しかし、回路によっては auto-grounded ポートはいくらか計算のオーバーヘッドが要求され、これによって全体の解析時間が増

えることがあります。従って標準の box-wall ポートを使うよりも有利な場合にのみ使ってください。Auto-grounded ポートは次の場合に標準の box-wall ポートより便利です。

- 解析したい回路が上図のようにポートとボックスの壁面に直接通るような給電線を配することができないレイアウトの時、または、
- ボックスの壁面に届くような大きな給電の構造が必要な時。もし給電の構造のすべて、または一部分を削れるのであれば auto-grounded ポートを使えば、回路内のサブセクションの総数を減らせるので解析時間や必要メモリも少なくて済みます。

Auto-grounded ポートは次に述べる特徴を除いては via ポートに似ています。

- Via ポートは誘電体を通して金属図形のトップまで上方向に届く via を手入力でつくらなくてはなりません。Auto-grounded ポートではこの必要はありません。Grounded ポートが必要な場所に Auto-grounded ポートを配置するだけです。Em では自動的に回路内に auto-grounded ポートがあることを見つけ、ポートの端子を適切に接続します。
- Auto-grounded ポートは誘電体の層を通して、直接にグラウンド面に接続します。Via ポートは2つの隣接している誘電体の層の間を接続できるという自由度があります。
- Auto-grounded ポートはデインパットオプションが使われている時にデインパットできます (via ポートはできません)。
- 参照面は auto-grounded ポートでセットできますが、via ポートではできません。

Special Considerations for Auto-Grounded Ports

Metal Under Auto-Grounded Ports

多層の回路では auto-grounded ポートの真下に金属導体を設置することはできません。Auto-grounded ポートは、2端子のデバイスで、1つめの端子はトップに接しており、2つめの端子はグラウンドに接しています。Em が auto-

grounded ポートがあると判断すると、*em* は自動的にこのように 2 つの端子を接続します。図形とグラウンドの間に複数の誘電体層を持つような回路でもそうです。しかし、*em* がこのように処理するためには金属図形からグラウンドに直接につながらなくてはなりません。Auto-grounded ポートがポートとグラウンドの間に 1 つ以上誘電体層がある回路で使われる時には、auto-grounded ポートの真下には何も金属導体がないかどうかを *em* は必ずチェックします。もし金属導体があると、*em* はエラーメッセージを出し、ストップしてしまいます。

Edge of Metal Polygon is Lossless

Auto-grounded ポートは回路の内側のどんな種類の金属図形の縁にも設置することができます。図形内で使われる金属導体の損失値には何の制限もありません。しかし、ポートの設置されている金属図形の縁に沿った辺については、*em* では無損失でなくてはなりません。大抵の回路ではそのことは解析結果にはほとんど影響ありません。しかし、ポートが損失の高い金属図形に設置されていると（例えば薄膜抵抗）その図形の縁部の辺は無損失となり、出力結果に影響してきます。

Require Short Distance to Ground

Auto-grounded ポートは、グラウンド面までの距離を短くする必要があります。Auto-grounded ポートと基板(グラウンド面)の間の距離は $1/8$ 波長以下にするべきです。

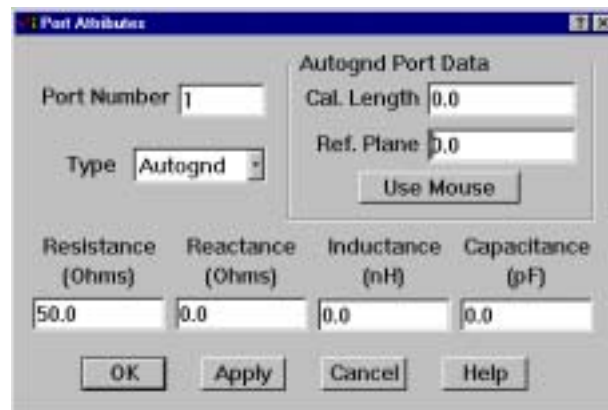
Auto-Grounded Ports on Box-Wall

Auto-grounded ポートは回路の内側で使われるように設計されています。Auto-grounded ポートが box-wall 上に置かれると、それは標準の box-wall ポートのように扱われます。

Adding Auto-grounded Ports

- 1 Auto-grounded ポートの追加は、101 ページで説明した標準ポートを追加する時のように操作していきます。
- 2 ポートをクリックすると Modify メニューオプションが使えるようになります。

- 3 Modify ⇒ Port Properties を選択すると下図のような Port Attributes ダイアログボックスが出てきます。
- 4 *Type* のドロップリストの中から Autognd を、ポートは標準のポートから auto-grounded ポートに変えることができます。この時、ポートは 112 ページのポートに似たものになっているはずです。

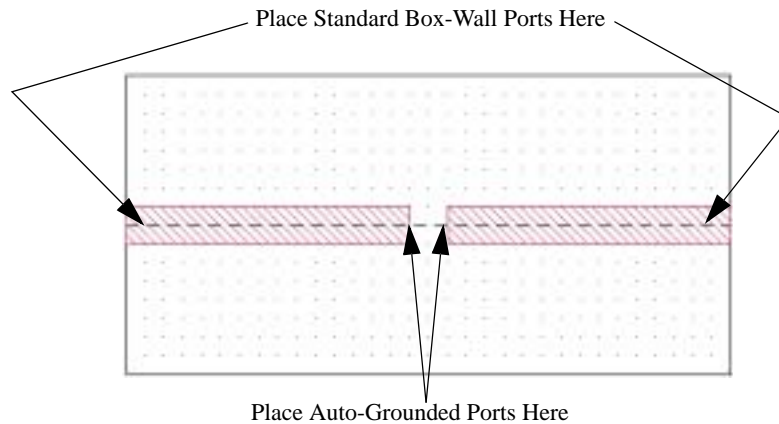


Creating Auto-grounded Ports: An Example

この節では回路に auto-grounded ポートを追加する方法を詳しく説明します。

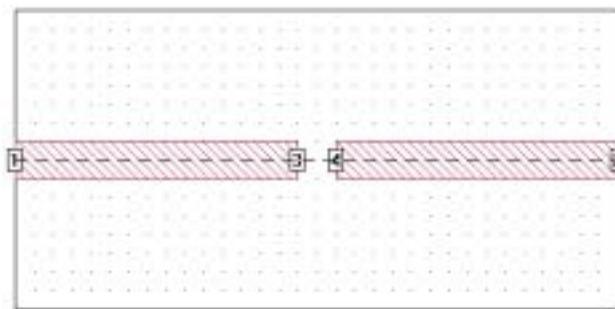
“標準の”box-wall または ungrounded-internal ポートを追加するのと同じ方法で回路に auto-grounded ポートを追加します。違うのはポートを追加した後に “auto-grounded” の種類に変更しなくてはならない点だけです。

回路に auto-grounded ポートを追加する手順を以下に示します。



上に描かれた回路から始めることと仮定します。以下に2つの“標準” box-wall ポートと2つの“auto-grounded”ポートを上図に示された位置に設定する手順を説明します。

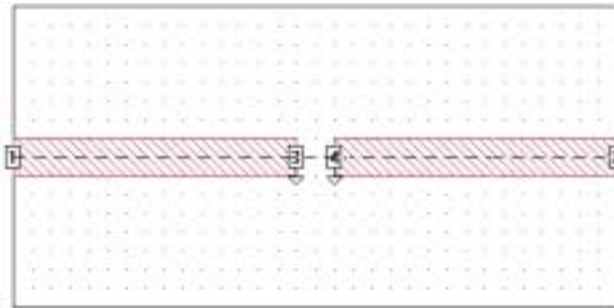
- 1 (Shift キーを押したまま)Tools ⇒ Add Port を選択します。
- 2 マウスを使って指示された図形のエッジの1つ1つをクリックします。その結果は116ページに示したような回路になっているでしょう。4つのポートはすべて“標準”の種類のポートになっています。



- 3 ESC キーを押して pointer モードに戻ります。

- 4 マウスを使ってポート3とポート4をlasso(囲み指定)します。こうすると選択したポートが強調表示されます。
- 5 Modify ⇒ Port Properties を選択すると115ページの図のようなPort Attributes ダイアログボックスが出てきます。
- 6 Type フィールドのドロップリストの中から Autognd を指定すると標準ポートから auto-grounded に変わります。
- 7 Port Attributes ダイアログボックスを終了するためにOK ボタンをクリックします。

この方法でポート3とポート4を変換すると回路は下図のようになります。



この回路には指定したかった位置に2つの box-wall ポートと2つの auto-grounded ポートがついています。