

## Five-port Coupler – On the way to Poor Man’s VNA (#4)

### 5ポート・カップラ – お手軽 VNA を目指して (#4)

武安義幸 / JA6XKQ

シミュレーションを続けていると「目的と手段」のバランスをとることに苦労します。実製作のためにシミュレーションを始めたはずがシミュレーションに手間取ってしまい、いつこうに製作に着手できない、、、シミュレーションの目的が実製作での試行錯誤を避けるためなので、シミュレーションでのそれは(道筋をたてて)大いに試すべきです。5ポート・カップラの調整にネットワー

ク・アナライザを準備できるのなら、そもそも VNA を作ろうとは思わない訳で、「ニワトリと卵」のジレンマに陥ってしまいます。

これまでの5ポート・カップラのシミュレーション [1] [2] [3] では理論的に期待する特性をシミュレートできず、暗礁に乗り上げた難破船状態でした。この難破船を捨てて実製作の海を泳ぎきることはできないので途方に暮れていたのですが、新しい海図を持って救助船が現れました。

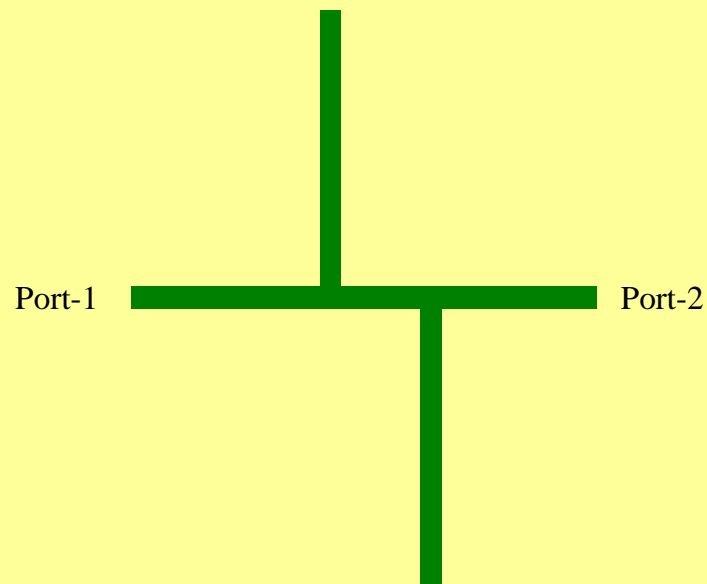


図-1 : Double Stub BPF

(C) 2008, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

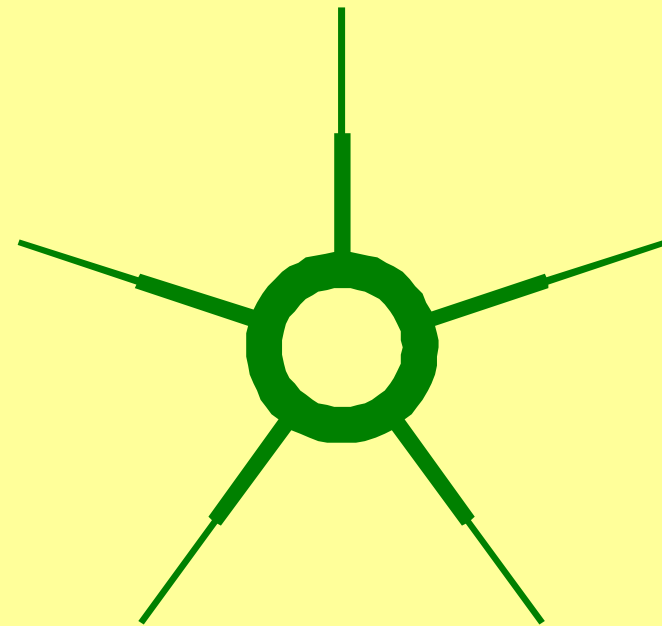


図-2 : 基本モデル(ノッチ補正なし)

(C) 2008, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

## 海図に暗礁が隠されていない？

とある学会併設の展示会ブースで、プリント基板に特化した電磁界シミュレータ [4] の開発者自身によるデモンストレーションを聞いた際に、5ポート・カップラの自分のシミュレーションを思い出しました。それはシミュレータのベンチマークである Double Stub BPF で、二つのスタブをライン上に短い間隔で配置したものです。(図-1)

説明では、「正しくシミュレーションが行なわれないと特性が双

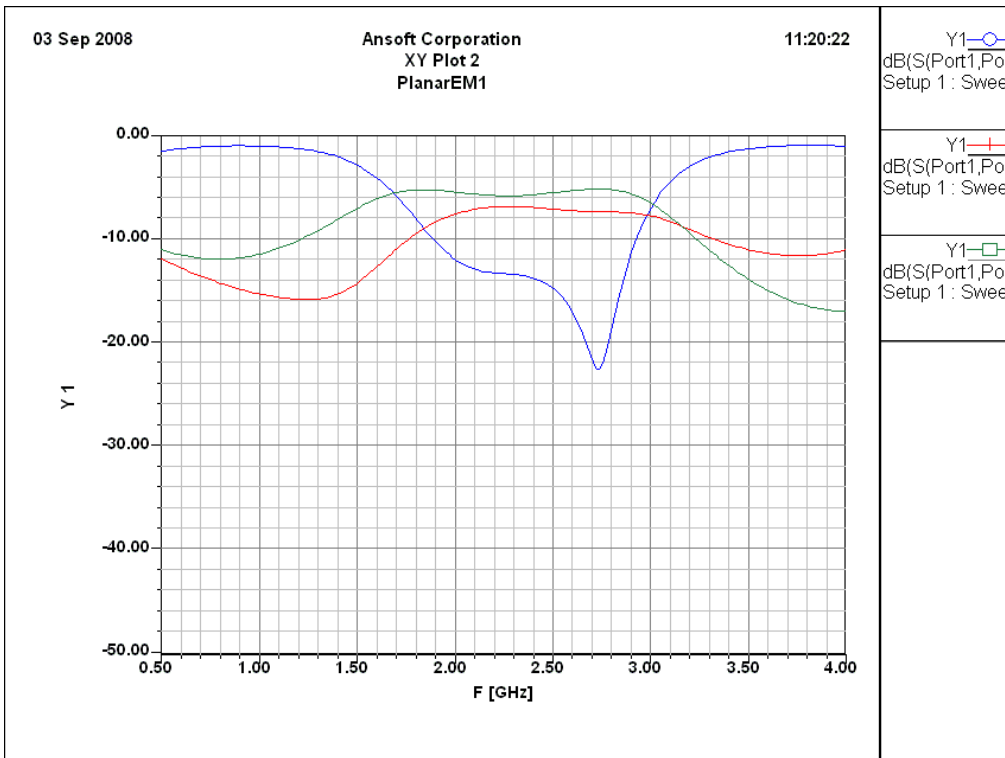


図-3 : Designer-SV による結果(ノッチ補正なし)

(C) 2008, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

峰とならずに単峰となる。これは二つのスタブ間の短い伝送路上に生じる高次モードが正しく評価されているか否かによる」とありました。

デモンストレーションで示された単峰と双峰の特性図が( s11 と s21 の違いはあるが、概念として)、自身が悩むシミュレーションと全く同じだったので、「そうか！」と膝を打った次第です。ベンチマークとしての Double Stub BPF のことは知っていましたし、これまでのシミュレーションが「何かを、何故か」うまくシミュレートしていないと感じてはいましたが、ここで確信を得ました。

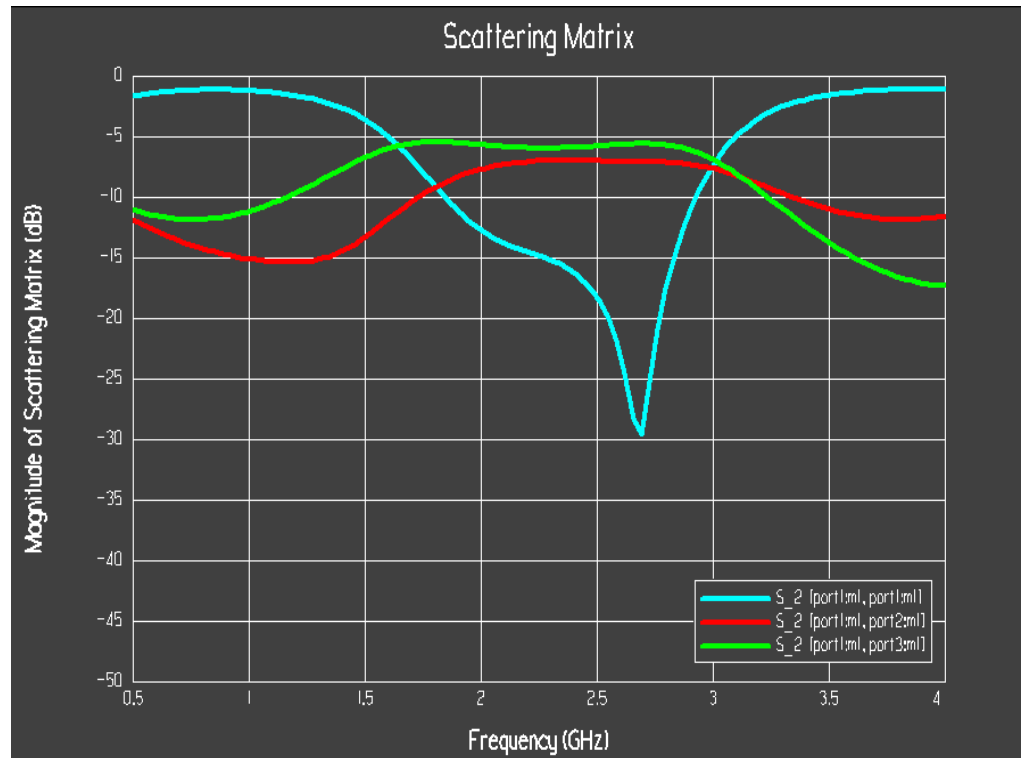


図-4 : Ensemble-SV による結果(ノッチ補正なし)

(C) 2008, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

## 新しい海図

これまで用いていたシミュレータは Ansoft 社 Ensemble-SV の Ver.7 です。少し複雑な形状をシミュレーションすると、SV (Student Version) の制約のために、分割メッシュ数や Unknown Parameter 数が不足していました。直面する問題は、それらの制約によるシミュレーションの限界であろうとは思っていましたが、図形ファイルとして DXF 形式をインポートできる便利さと、新しいシミュレーション環境構築の面倒さから、シミュレータの変更には躊躇していたのです。

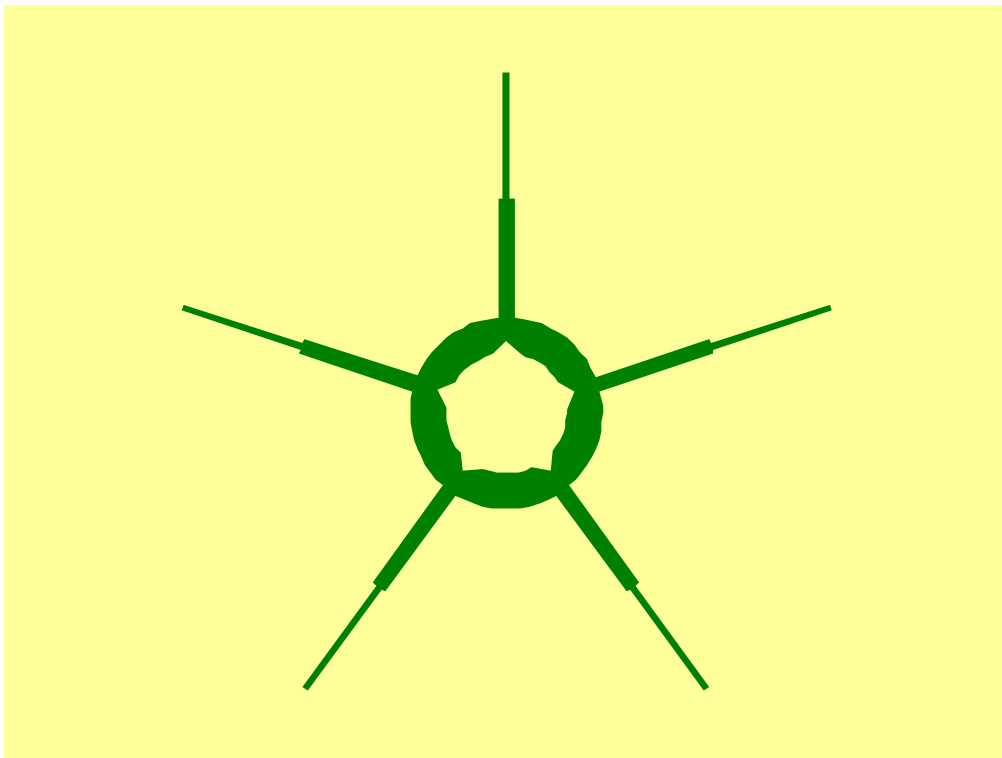


図-5 : Tee-junction をノッチで補正したモデル

(C) 2008, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

Ensemble の後継ソフトウェアである Designer (無償版の SV) [5] は既に入手していましたが、上記の理由から Ensemble を使い続けていました。前述のきっかけから分割メッシュ数と Unknown Parameter 数の制限を改めて調べてみると、Designer-SV のほうが緩和されていることが判りました。問題の解決には躊躇してはいられません。

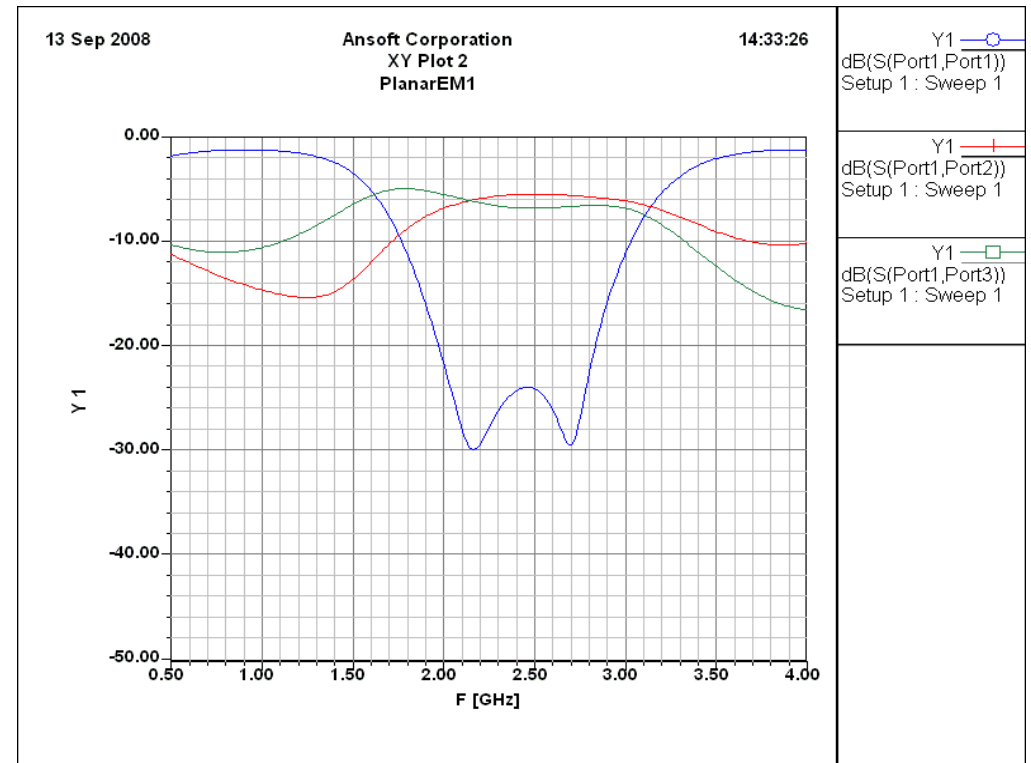


図-6 : Designer-SV による結果(ノッチ補正あり)

(C) 2008, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

## Designer-SV によるシミュレーション

早速試した結果が 図-3 で、図-4 に示す Ensemble-SV によるものと同じような傾向となっています。いずれも Tee-junction のノッチによる補正がない、図-2 に示す基本モデルをシミュレーションしたものです。

次に、図-5 に示す Tee-junction にノッチによる補正を施したモデルをシミュレーションしたものが 図-6 と 図-7 です。

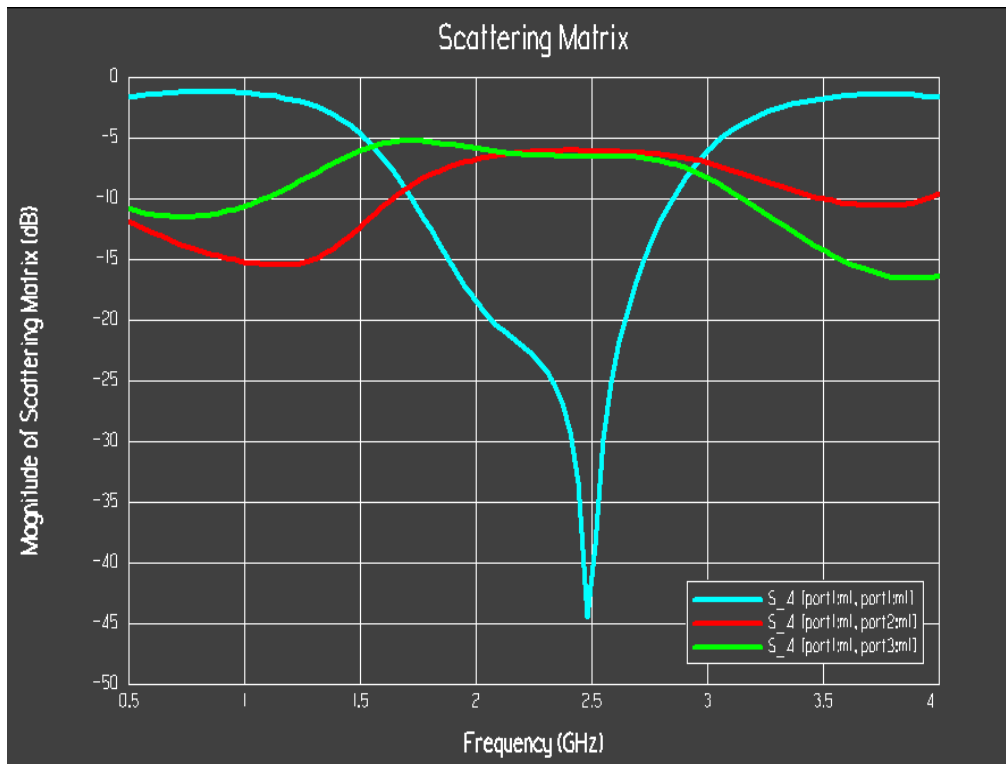


図-7 : Ensemble-SV による結果(ノッチ補正あり)

図-7 に示す Ensemble-SV ではシミュレーションできなかった s<sub>11</sub> の双峰特性が、Designer-SV では 図-6 に示すようにシミュレーションできています。

ここではシミュレーション結果を示しませんが、ノッチの形状や 2 段のマッチング・セクションを変更すると、上記の双峰特性が追従して変化しますので、Designer-SV ではシミュレーションが正しく行なわれているようです。

Ensemble-SV と Designer-SV で相違する根本理由は判りません。したがって、上記の「シミュレーションが正しく行なわれてい

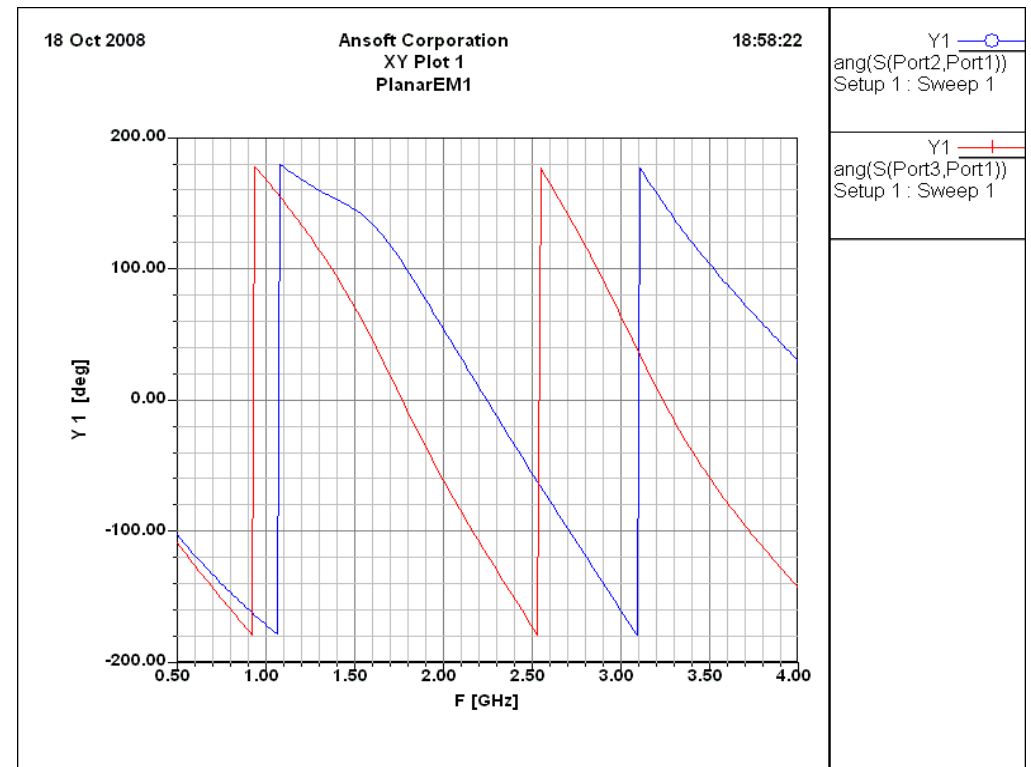


図-8 : s<sub>21</sub> と s<sub>31</sub> の位相特性

る」というのには、語弊があるでしょう。しかし、シミュレーション本来の目的へ再度進むことができるようになりましたので、その根本理由を追及することに時間を費やすことはやめて、先へ進むことにします。

## 特性最適化の課題

使用するシミュレータを変更することで、Tee-junction のノッチによる補正やマッチング・セクションを修整したときの 5 ポート・カップラの特性格化が判るようになりましたので、VNA として必要とする特性へ最適化を図るステップへ移行します。

これまでは、ポート間の分配特性やリターン・ロスなどの  $s$  パラメータの振幅特性について専ら着目してきました。しかし、VNA としては 図-8 に示す位相特性にも着目して、これらの特性を総合的にバランスをとって最適化を図る必要があります。

目標とする特性として下記の数値を仮に掲げます。

- ポート間の分配損 : 6 dB
- ポートのリターン・ロス : 26 dB 以上
- ポート間の位相差 :  $120^\circ$
- 帯域 : 2.4 GHz  $\pm$  400 MHz

最適化のために修整するパラメータは、

- Tee-junction 補正ノッチ : 幅 ( $Wn$ ) と深さ ( $dn$ )

- マッチング・セクション : 各段の幅 ( $W1, W2$ ) と長さ ( $l1, l2$ )

の合計 8 つのパラメータです。

詳細な最適化は未だですが、これらのパラメータを独立に変化させると、目標とする特性はそれぞれ相反する方向に変化することが判っています。したがって、例えば改訂シンプレックス法のような最適化手法 [6] [7] を用いないと、最適化が収束しないことは容易に想像できます。

## まとめ

電磁界シミュレータにて理論的に期待するシミュレーション結果が得られなかったところ、使用するシミュレータを変更することで改善が得られました。

今後は変更したシミュレータを用いて、VNA に必要とする 5 ポート・カップラの特性格最適化を行なう予定です。

(2008年10月18日 初版)

//  
☆

- [1] 5ポート・カップラー — お手軽 VNA を目指して  
武安義幸 / JA6XKQ  
[http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/FivePort\\_2.pdf](http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/FivePort_2.pdf)
  
- [2] 5ポート・カップラー — お手軽 VNA を目指して (#2)  
武安義幸 / JA6XKQ  
[http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/FivePort\\_3.pdf](http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/FivePort_3.pdf)
  
- [3] 5ポート・カップラー — お手軽 VNA を目指して (#3)  
武安義幸 / JA6XKQ  
[http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/FivePort\\_5.pdf](http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/FivePort_5.pdf)
  
- [4] Simbeor 2008  
Simberian Inc.  
<http://www.simberian.com/>
  
- [5] Ansoft Designer SV 2  
アンソフト・ジャパン株式会社  
<http://www.ansoft.co.jp/index.php?pid=rPGqu>
  
- [6] 科学者のための PASCAL 入門  
J. W. Cooper 著、石塚英弘 訳  
1985, 産業図書
  
- [7] ロング八木の解析と最適化研究  
加藤雄大 / JM1MCF