

Five-port Coupler – On the way to Poor Man’s VNA (#3)

5ポート・カップラ - お手軽 VNA を目指して (#3)

武安義幸 / JA6XKQ

カップラの詳細な寸法パラメータを2次元電磁界シミュレータで検討します。

前回の検討で算出したア트워크を見ると、多段マッチング型の最小パターンを自作で実現するのは不可能と思われます。その後、誘電率と厚みの異なる基板で2種類ほど試算しましたが、最小パターンをそれなりの太さにすると、一方で最大パターンが太くなり過ぎて、実効長の関係から2重のリングの配置がひじょうに難しいことが判明しました。

多段マッチング型の広帯域な特性は魅力的ですが、物作りの前で上記の理由から停滞するよりはと思い、構造がシンプルなマッチング・セクション追加型に絞り込んで2次元電磁界シミュレータでの検討を行なうことにしました。

方針変更で快適な進捗を目指したものの、2次元シミュレータの穴にはまってしまい、またもや停滞を余儀なくされています。途中経過をまとめることで、方向性を見失わないようにしたいと思います。ここでは試行錯誤の経過を時系列でまとめます。

マッチング・セクション追加型の2次元電磁界シミュレーション

シミュレーションには Ansoft 社の Ensemble-SV を使用しています。最新版ではなく、若干古い Vet.7 です。

最小パターン幅を太くするために、前回検討のガラスエポキシ ($r = 4.9$) から PPO ($r = 3.4$) へと基板材料を変更しました。基板のパラメータは以下のとおりです。

比誘電率	r	:	3.4
誘電体厚さ	h	:	0.56 mm
導体厚さ	t	:	18 μ m

等価回路から変換した各ラインの寸法は下記のようになりません。中心周波数は 2400 MHz です。

$W1 = 5.56$ mm	$l1 = 15.15$ mm
$W2 = 2.42$ mm	$l2 = 18.66$ mm
$W3 = 1.00$ mm	$l3 = 19.37$ mm

ア트워크を 図-1 に示します。この寸法を初期値として2次元電磁界シミュレータに掛けます。

初回シミュレーション結果

結果を 図-2 に示します。図-3 に示す等価回路によるシミュレーション結果と比較すると、ポート間の分配 ($S21$ と $S31$) が不均等であり、また、ポートのマッチング ($S11$) が悪くなっています。

等価回路によるシミュレーションでは、リングとマッチング・セク

シヨンのT字型接続部分(Tee junction)、および、2段のマッチング・セクション間の段差(Step junction)の影響を無視しています。一方、2次元電磁界シミュレータではこれらマイクロストリップラインの不連続点を含んで(精度にもよるが、...)おり、これらの相異が特性として現れていると推定されます。2次元電磁界シミュレータの目的はまさにそこにあり、不連続点の影響を探りたい訳です。アートワークの修整としては、理論値である等価回路でのシミュレーション結果へ近づくように行ないます。

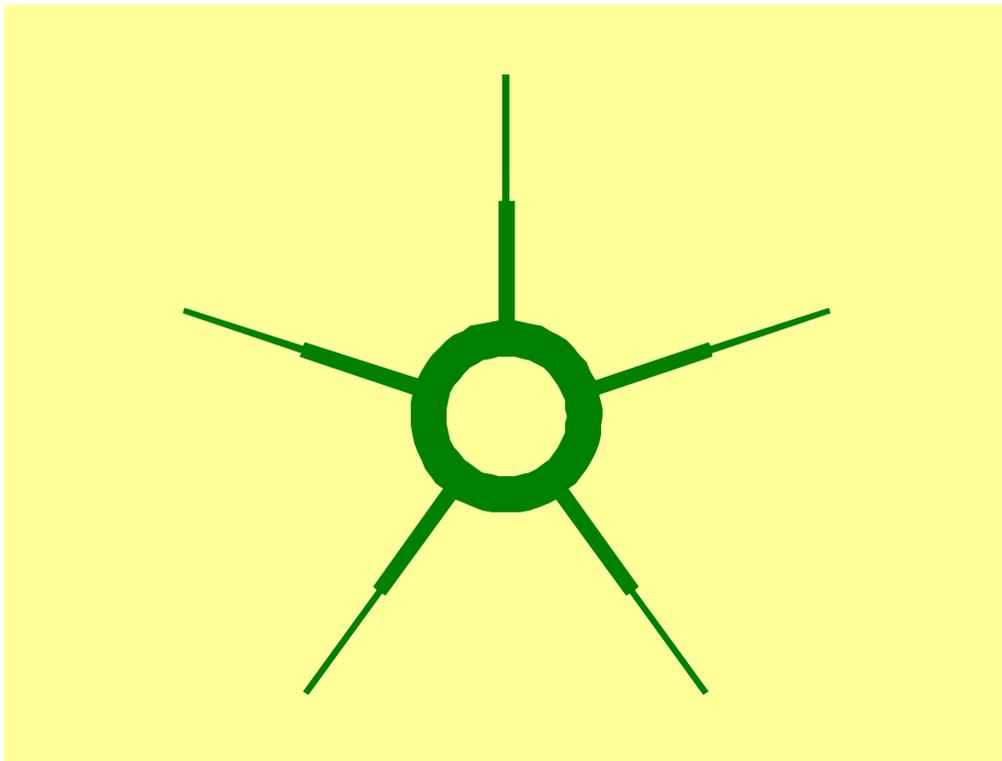


図-1 : アートワーク(初回)

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

Tee junction の補正

アートワーク修整の方向性を見るために、影響が大きいと思われる Tee junction の補正をまず行ないました。Tee junction の補正としては、T字部分にノッチを入れることが常套手段です。ノッチの深さをいくつか試し、一辺が 3 mm の菱形でノッチを入れるとポート間の分配が改善されることが判りました。

図-4 にアートワークを、図-5 にシミュレーション結果を示します。

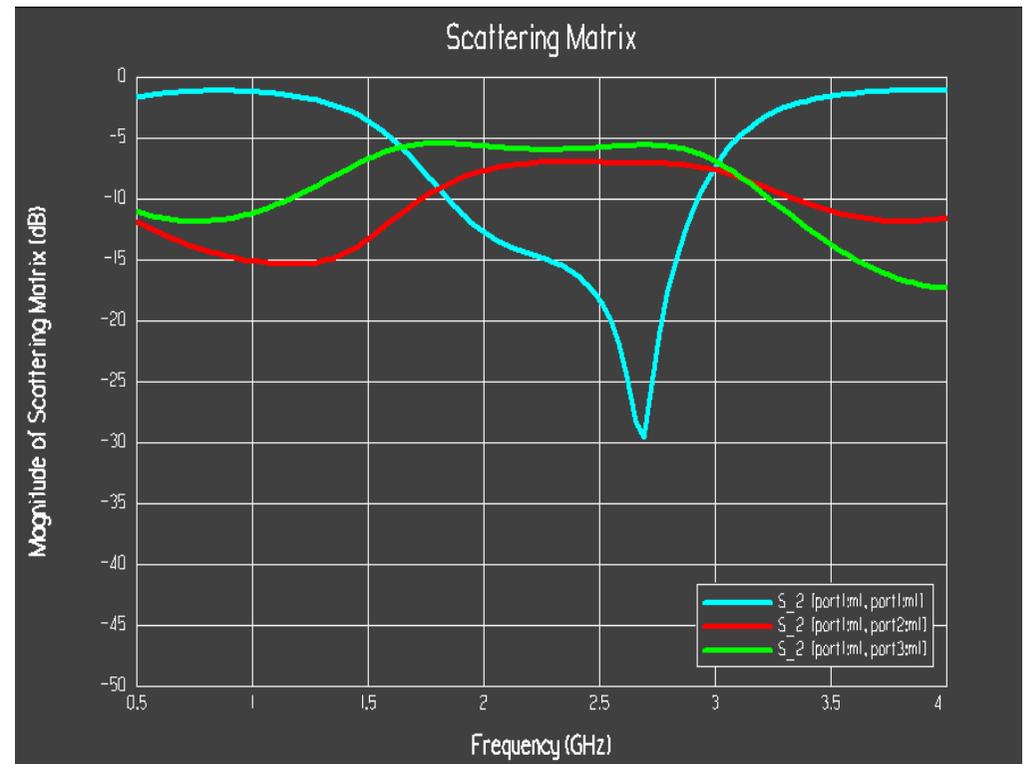


図-2 : 2次元電磁界シミュレータの結果(初回)

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

マッチング・セクションの補正

次の補正は、マッチング・セクションです。リング部分との接続と、2段のセクション間の不連続点がありますが、前者の方がより影響が大きいものと推定されます。

図-2 および 図-5 の S11 を見ると、図-3 に見られる2段Qマッチ特有のW字型特性がありません。Tee junction の影響で、初段のマッチング・セクションの電気長が $\lambda/4$ からずれた、おそらく見かけ上、長くなっているのではないかと推定しました。等

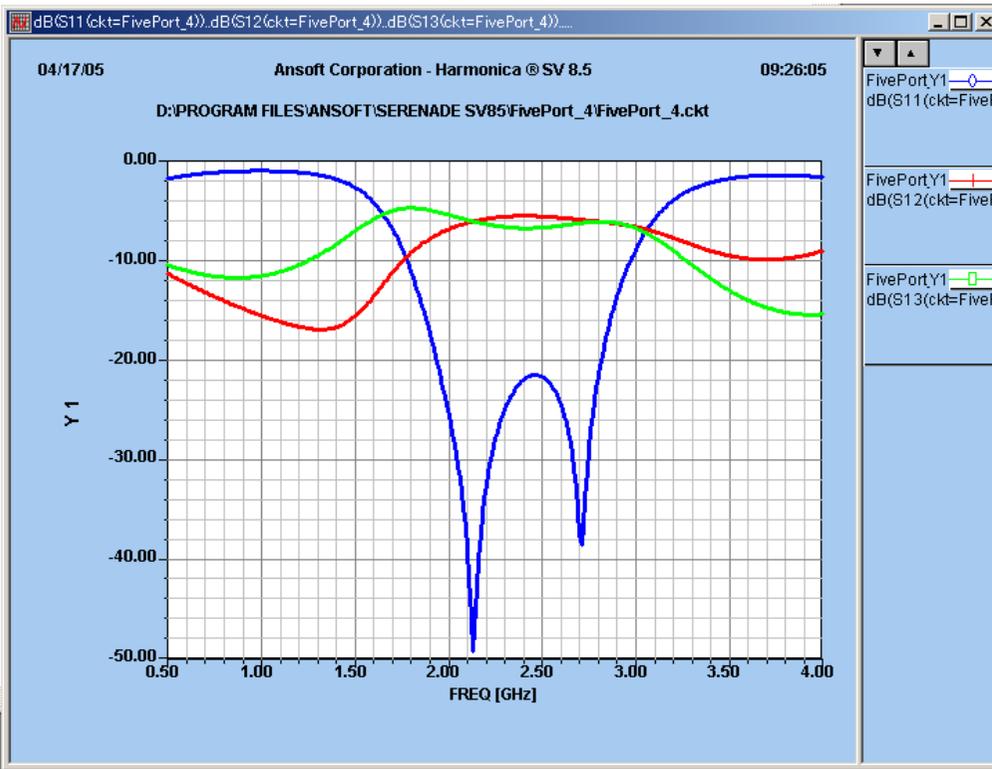


図-3 : 等価回路によるシミュレーションの結果

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

価回路でのシミュレータで初段のマッチング・セクションの長さを長くして計算してみると、良く似た傾向が得られたので、初段の長さを短くする方向で調整してみました。

いくつか長さを変えてシミュレーションした代表例を 図-6 に示します。

その後、2段のマッチング・セクションの長さや幅をいくら調整してみても、S11 の特性は単峰のままで双峰のW字型になってくれません。

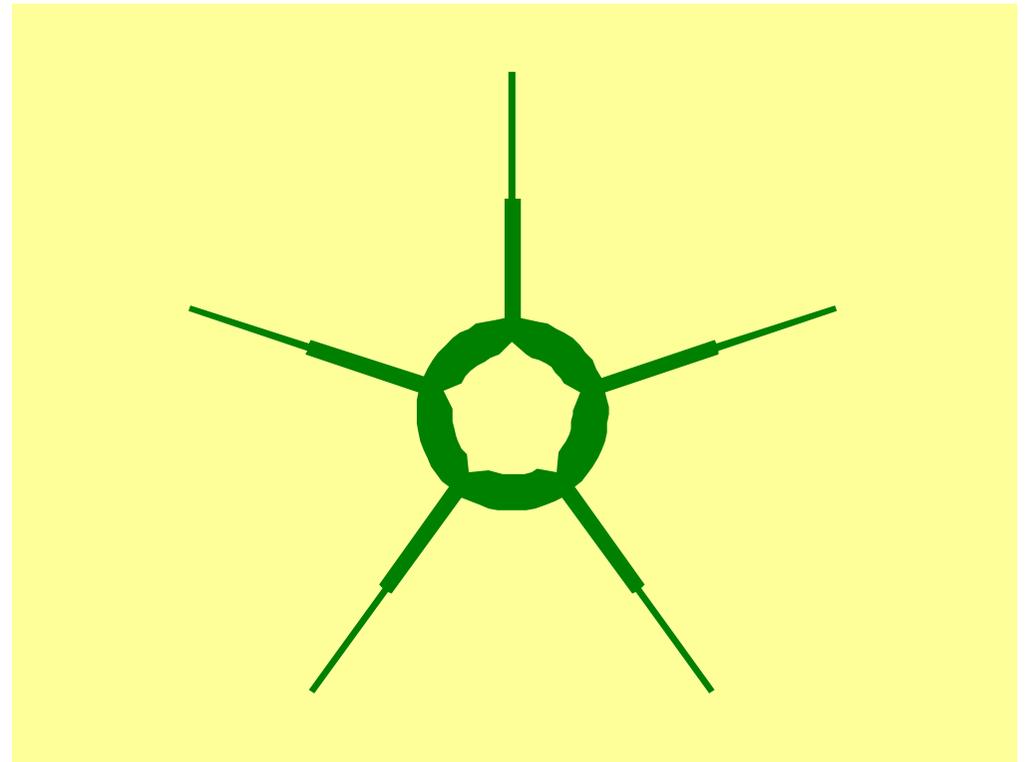


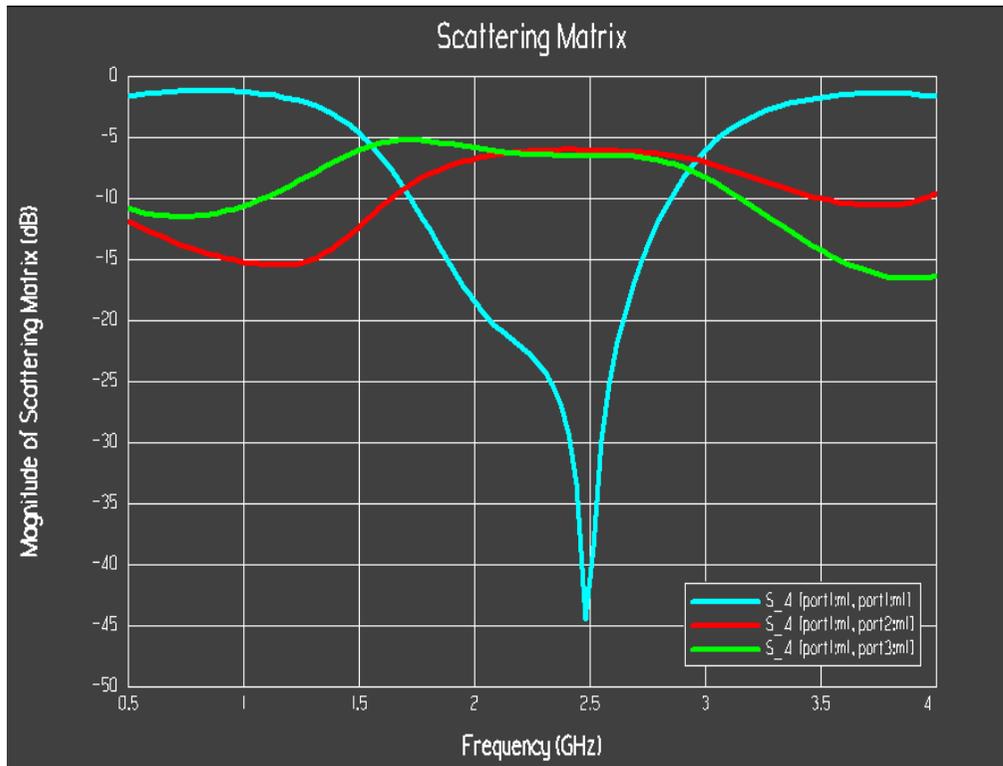
図-4 : Tee junction を補正したアートワーク

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

シミュレーションの落とし穴？

どうも2次元電磁界シミュレータでの結果が挙動不審！？ あくまでもシミュレーションですから、モデルが間違っていれば結果は正しくありませんし（いわゆる GIGO : Garbage in, garbage out）、シミュレータの使い方（設定）を誤れば同様です。

両者の確認のために単純なケースとして、5ポートのリングを単体でシミュレーションしてみたものが、-7 です。-8 には、等価回路でシミュレーションした結果を示します。



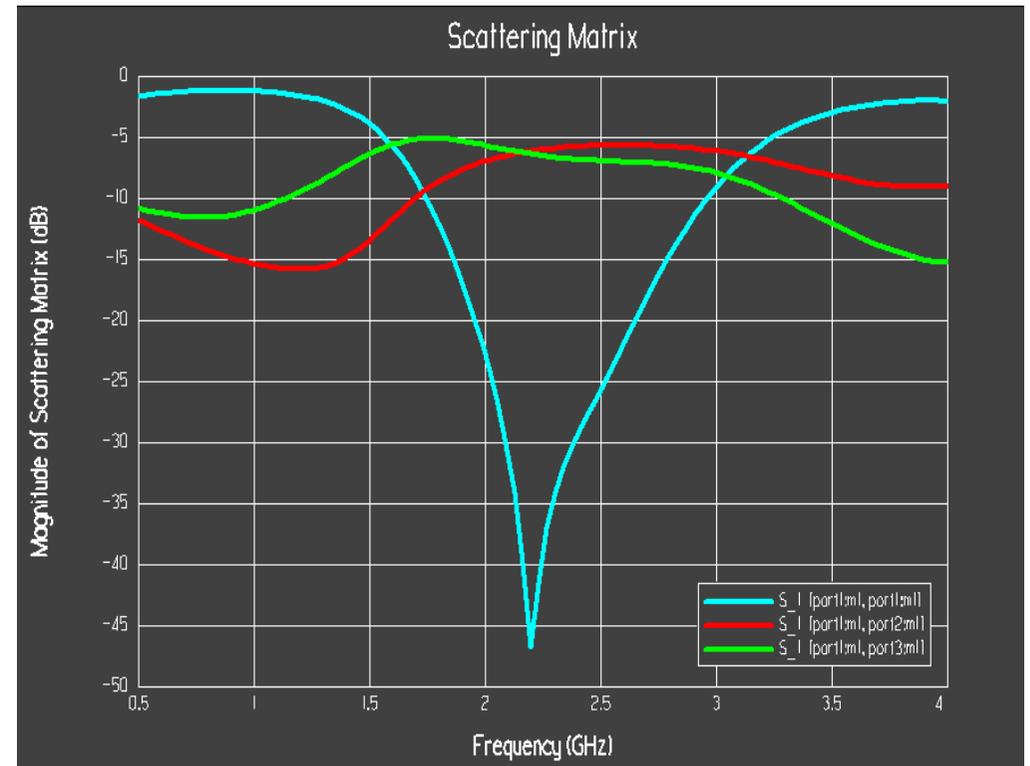
-5 : Tee junction 補正後のシミュレーション結果

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

両者の結果は良い一致を示しており、この例ではうまく2次元電磁界シミュレータが使えているようです。

この結果から、一番複雑な Tee junction がうまくシミュレーションできていないのか？との疑問が生まれました。接続部分をいじってみても結果に変化はありません。

もしや、単純と思っている2段のマッチング・セクションが問題か？と、その部分だけのシミュレーションを行なったものが、-9 と -10 です。



-6 : マッチング・セクション補正後のシミュレーション結果

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

等価回路でのシミュレーション結果は見慣れたW字型特性ですが、2次元電磁界シミュレータによる特性は2段Qマッチのそれとはまったく異なったものとなりました。

その後の検討で、マッチング・セクションの単体評価法と、5ポート・リングと組合わせた時の調整方法に問題がありそうだと判ってきました。シミュレーションのソフトウェアの限界ではありません。（2005年7月17日 記述訂正）

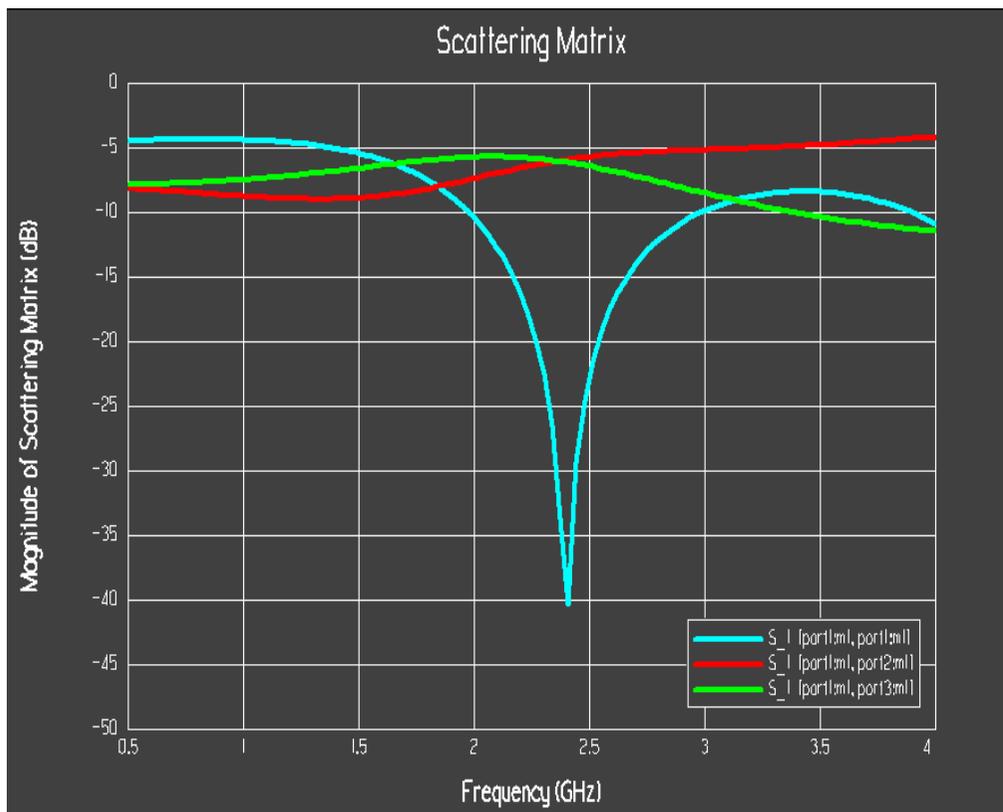


図-7 : リングのみのシミュレーション結果

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

まとめ

2次元電磁界シミュレータでカップラの詳細な寸法パラメータを検討しようとしたのですが、うまくシミュレーションが進みません。

Tee junction の補正を行なったカップラのポート間分配特性を見る限りでは、マッチング・セクションの寸法パラメータにも大きな誤りはなく、奇異なS11特性はシミュレーションだけの問題なのでしょう。

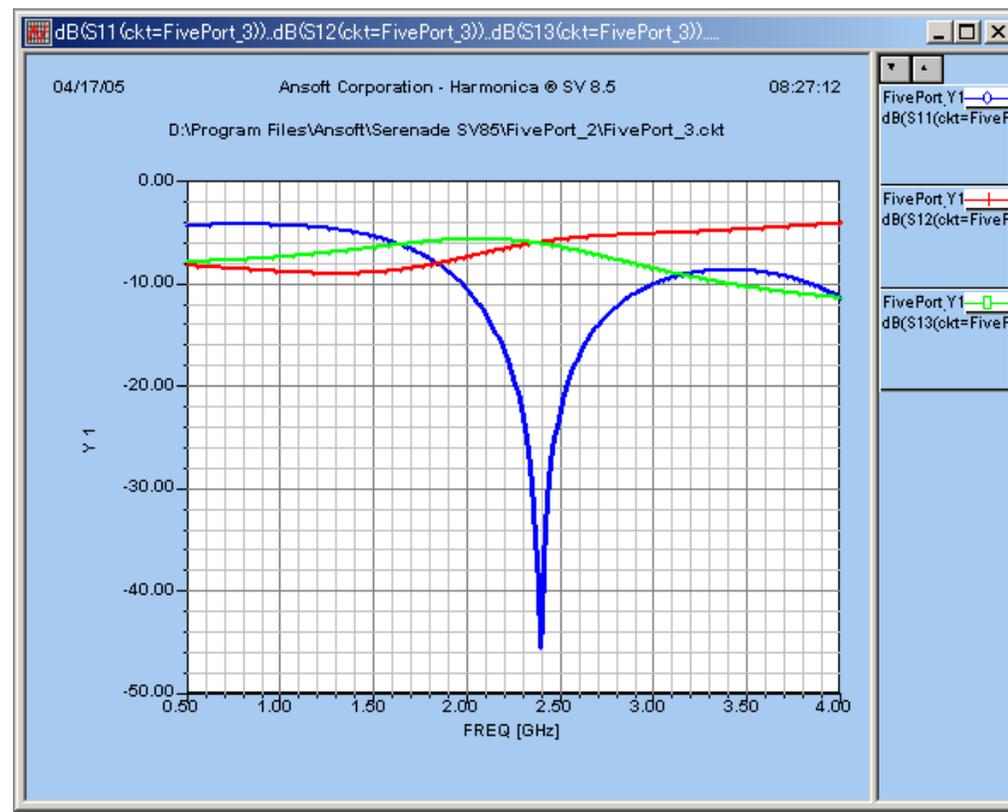


図-8 : 等価回路によるリングのみのシミュレーション結果

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

このままの寸法で実際の工作へ進んでも良いかもしれませんが、今ひとつ気分的にすっきりしませんので、マッチング部分の検討をもう少し行ないたいと思います。(2005年7月17日 記述 訂正)

//

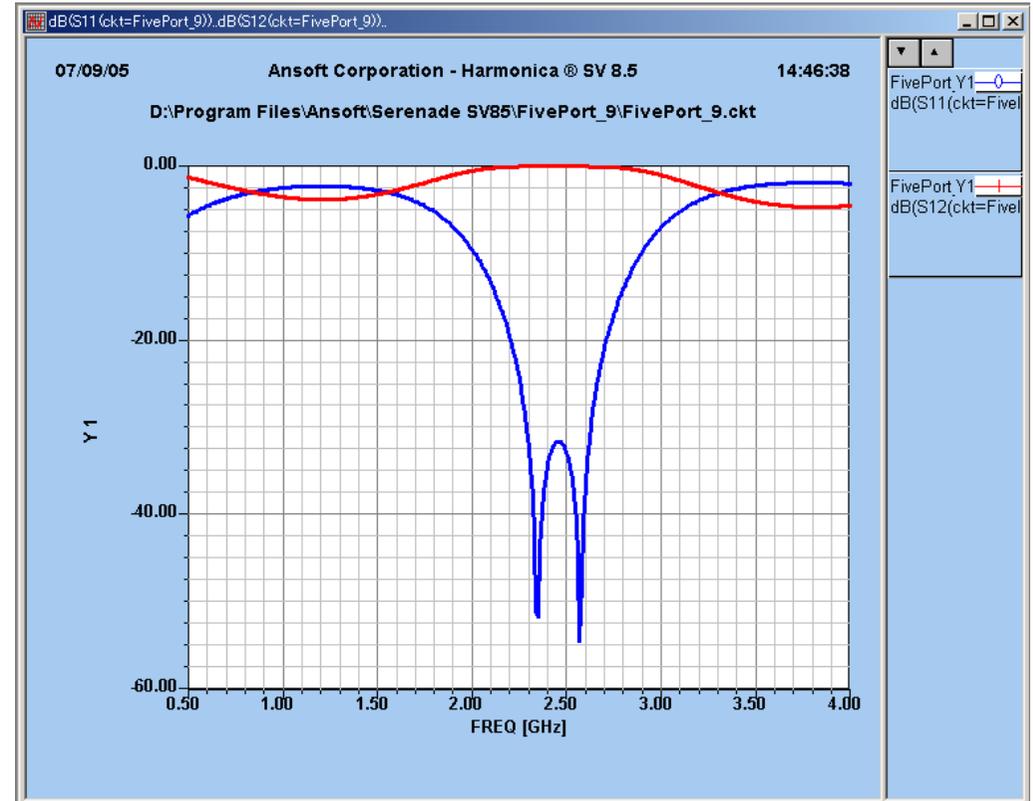
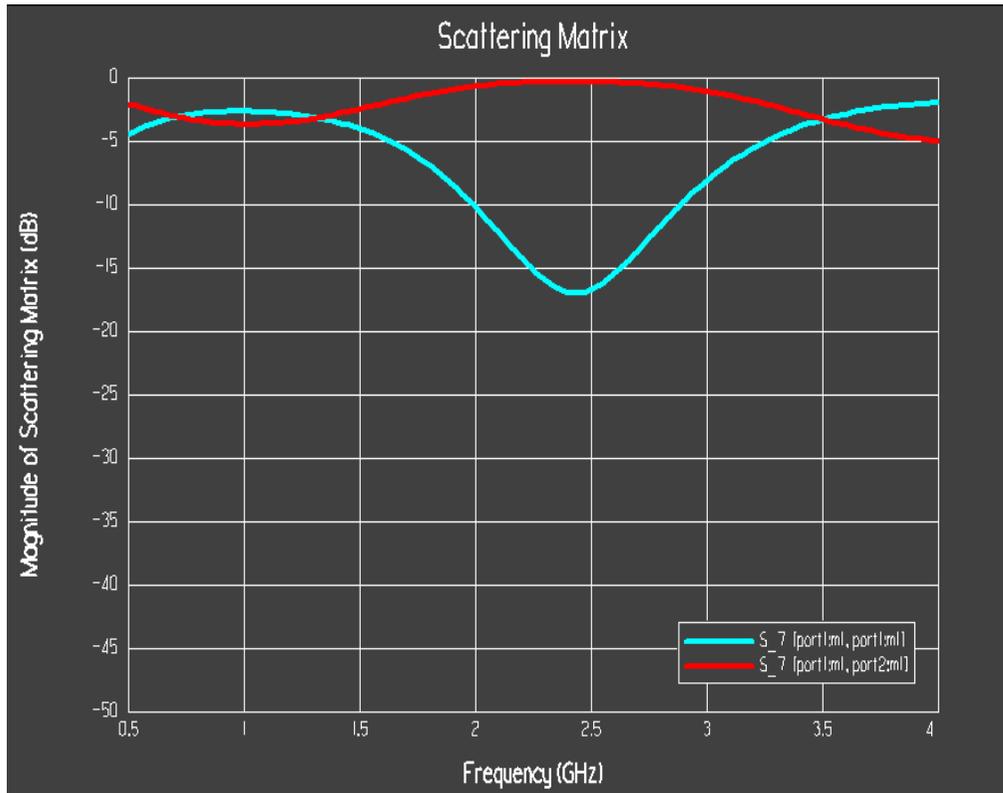


図-9 : マッチング・セクションのみのシミュレーション結果

図-10 : 等価回路によるシミュレーション結果