

Five-port Coupler – On the way to Poor Man’s VNA

5ポート・カップラ - お手軽 VNA を目指して

武安義幸 / JA6XKQ

パッチ・フィードの解析を行なっていると、リターン・ロスだけではなく複素インピーダンスも知りたくなりました。リターン・ロスだけでは調整の方向性が見えないからです。インダクタンスを付加すべきなのか、キャパシタンスを付加すべきなのか判りません。そこで VNA (Vector Network Analyzer) となる訳ですが、1984年にその存在を知り、いつかは作ってみようと思っていた 6ポート・カップラ型ネットワーク・アナライザの出番という次第。

まずは、そのキモであるマルチ・ポート・カップラについておさらいしてみました。

参考文献

末尾に掲げる参考文献を眺めた結果、次の文献にある 5ポート・カップラを試してみることにしました。

DI Kim, K. Araki, and Y. Naito, “Properties of the Symmetrical Five-Port Circuit and its Broad-band Design” IEEE Trans. Microwave Theory. Tech., Vol. MTT-32, Jan. 1984, pp. 51 57

シミュレーション

理論は抜きにして、実際の工作を行ううえでどこを押さえておくべきかの見通しを得るために、シミュレーションで特性を把握し

ます。ANSOFT 社の Serenade を使用します。Student Version として無料版(機能制限あり)があり、それを利用しました。まずは等価回路で概略を検討し、次に2次元電磁界シミュレータである同社の Ensemble で実際のマイクロストリップのパターンを検討する予定です。

基本形の5ポート・カップラ

図-1 に基本形を示します。図は概念を示すものであり、寸法などを縮尺したものではありません。リング状の伝送路上に 5つのポートがある単純な形状です。原理上の概念を示すものなので、「伝送路」と表現しています。実際のカップラとしては、ストリップラインやマイクロストリップラインなどで実現されます。

ここで、設計パラメータは、ポート間の伝送路の電気長 l とその特性インピーダンスである Z_0 です。ポートのインピーダンスは $Z_0 = 50$ とします。図-1 において各ポートへ伸びるラインは Z_0 に整合した任意長の伝送路であり、設計パラメータには含まれません。

カップラとしての評価事項は、ポートの整合とポート間分配の均等性です。すなわち、S11、S12 および S13 の評価となります。回路の対称性から、これら 3つの評価で十分です。

先に掲げた参考文献によると、ポートの整合がとれて、ポート間分配が均等になる条件は次のとおりです。

$$\text{伝送路の電気長 } l = 0.211 \quad g$$

特性インピーダンス $Z = 0.909 Z_0$

g は中心周波数での波長です。ここでは、中心周波数 2400 MHz としています。

シミュレーションの回路図と計算の結果を、**図-2** と **図-3** に示します。**図-3** から判るように、ポートの整合(S11)およびポート間の分配の均等性(S12, S13)は、中心周波数の一点でのみ完全なものとなっています。ポートの整合の目安としてリターンロス 20 dB 以上を良しとすれば、280 MHz の帯域において、 6 ± 0.4 dB の分配精度が得られています。比帯域で約11%であり、狭

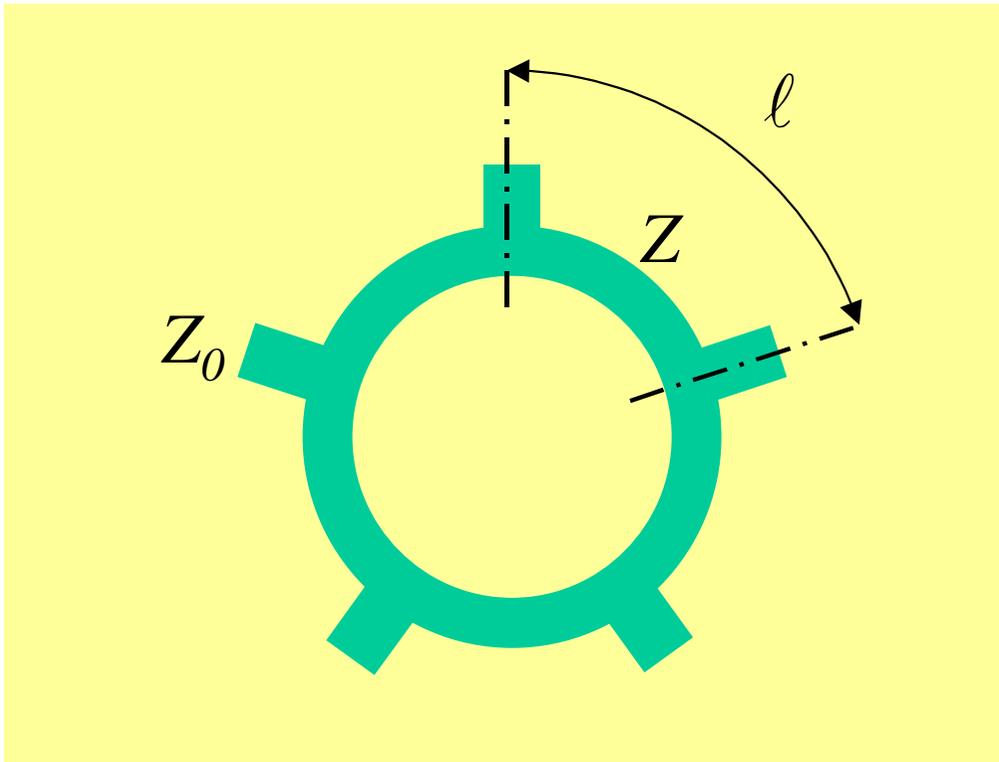


図-1 : 基本形の5ポート・カップラ

帯域な特性です。

マッチング・セクション追加型の5ポート・カップラ

比帯域を拡大するためにマッチング・セクションを追加したものが **図-4** です。**図-1** の基本形の各ポートに2段の $\lambda/4$ マッチング・セクションがあります。設計パラメータは次のとおりです。

$$\begin{aligned} Z1 &= 0.333 Z_0 & l1 &= 0.2103 g \\ Z2 &= 0.64 Z_0 & l2 &= 0.25 g \end{aligned}$$

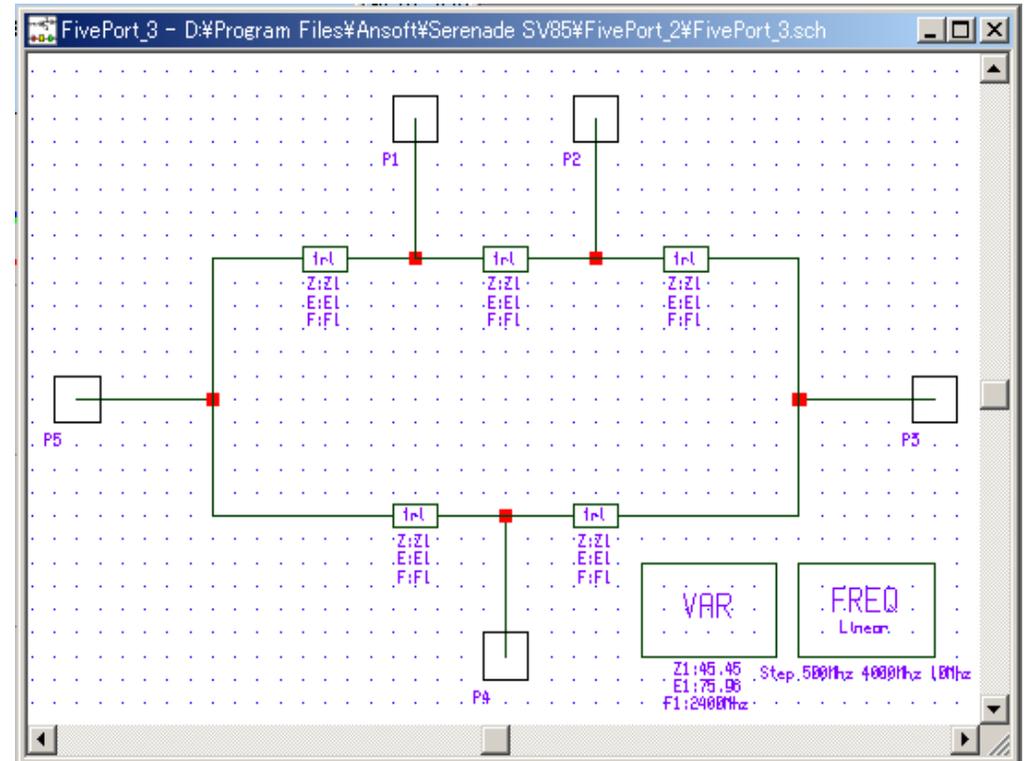


図-2 : シミュレーションの回路図

$$Z3 = 1.147 Z_0 \quad l3 = 0.25 g$$

シミュレーションの回路図と計算の結果を、**図-5** と **図-6** に示します。結果として、880 MHz の帯域において 20 dB 以上のポート整合と 6 +1.0 / -1.4 dB の分配精度が得られています。比帯域で約37%であり、かなり広帯域な特性となりました。

多段マッチング・セクション型の5ポート・カップラ

さらに比帯域を拡大するためにマッチング・セクションを多段化

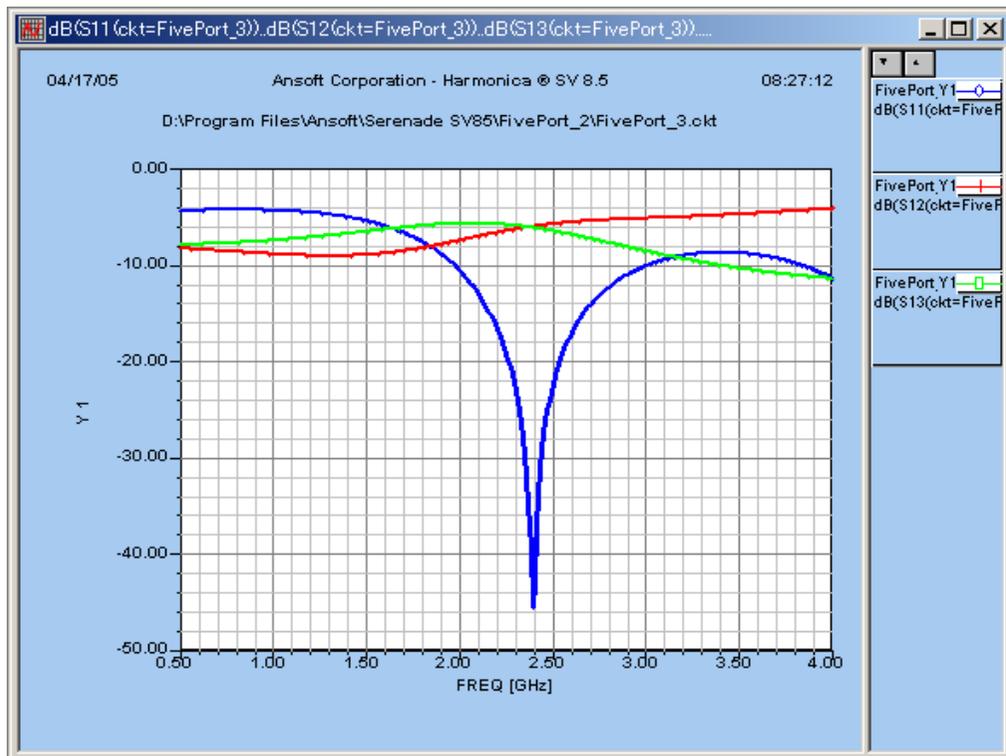


図-3 : 青 = S11、赤 = S12、緑 = S13

したものが **図-7** です。設計パラメータは次のとおりです。

$$Z1 = 2.222 Z_0 \quad l1 = 0.3373 g$$

$$Z2 = 0.286 Z_0 \quad l2 = 0.1916 g$$

$$Z3 = 0.265 Z_0 \quad l3 = 0.1159 g$$

$$Z4 = 0.443 Z_0 \quad l4 = 0.185 g$$

$$Z5 = 0.804 Z_0 \quad l5 = 0.185 g$$

シミュレーションの回路図と計算の結果を、**図-8** と **図-9** に示します。結果として、1540 MHz の帯域において 20 dB 以上の

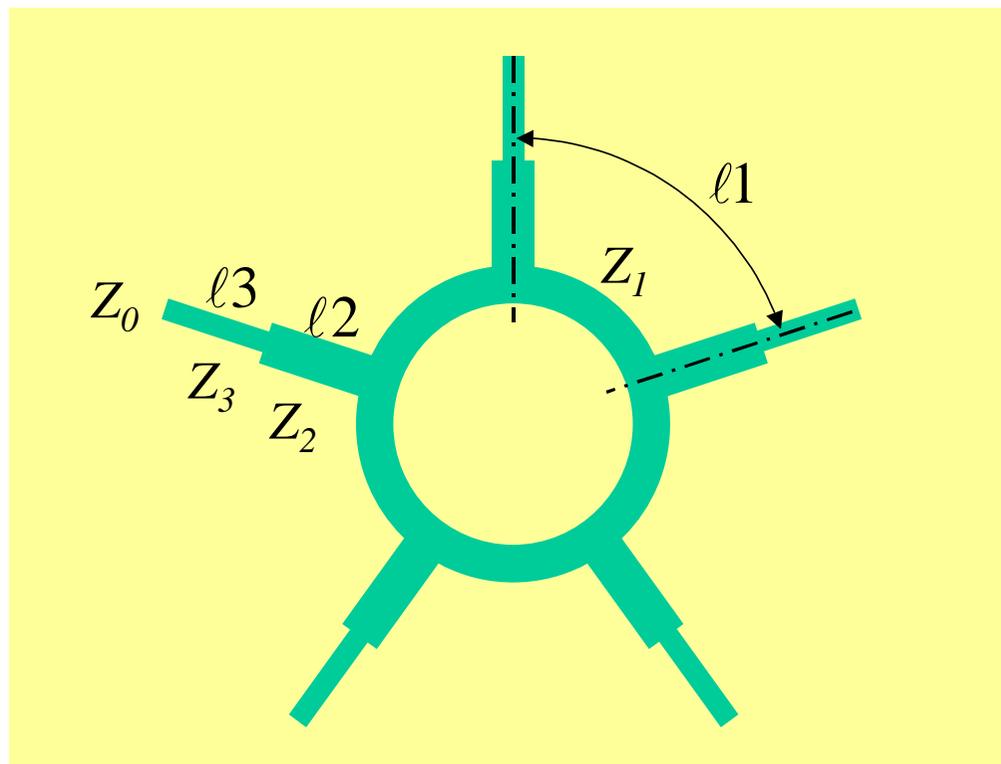


図-4 : マッチング・セクション追加型の5ポート・カップラ

ポート整合と $6 +1.1 / -1.6$ dB の分配精度が得られています。比帯域で約64%であり、オクターブをカバーする広帯域な特性となりました。

まとめ

三種類の 5 ポート・カップラについて等価回路によるシミュレーションを行ないました。多段のマッチング・セクションを採用することでオクターブをカバーする特性が得られることが確認できました。

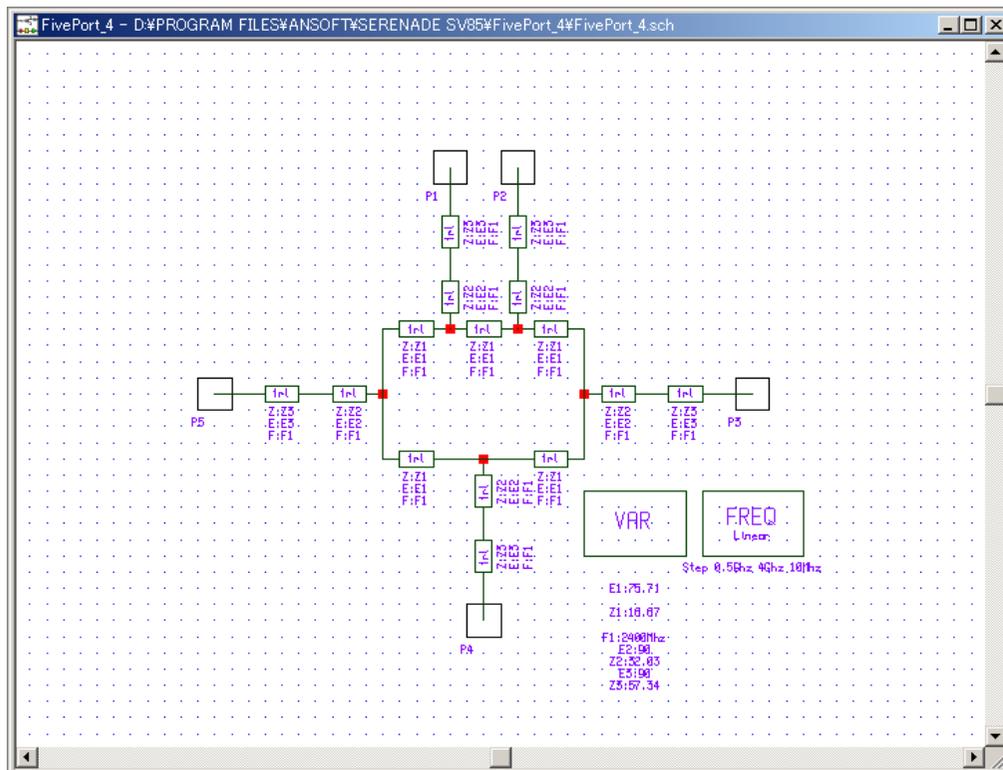


図-5 : シミュレーションの回路図

実際の工作では、マイクロストリップラインを用いて回路を実現したいと考えています。今回のシミュレーションでは、伝送路の接続部分の影響を無視した等価回路で検討していますので、次の段階として、実際のマイクロストリップラインでの接続点や曲がりの影響を盛り込んだシミュレーションを行ないたいと思います。

参考文献

[1] Hansson E.R.B., Riblet G.P., “An ideal six-port network consisting of a matched reciprocal lossless five-port and a perfect

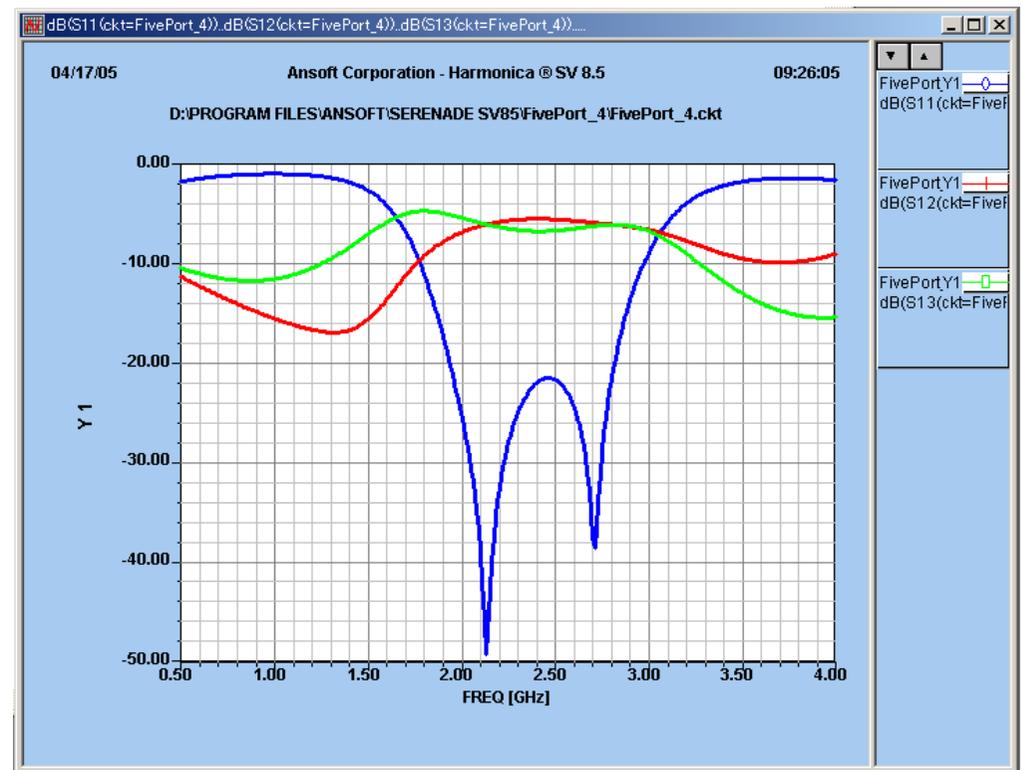


図-6 : 青 = S11、赤 = S12、緑 = S13

directional coupler “, IEEE Trans. On MTT, Vol. 31, pp. 284-289, March 1983

[2] F.C. de Ronde, “Octave-Wide Matched Symmetrical, Reciprocal, 4- And 5 Ports”, Microwave Symposium Digest, MTT-S International, Jun 1982, Vol. 82, No. 1, pp. 521- 523

[3] MALKOMES, M., SCHMITT, HJ, KADISCH, G., and POEL, MVD: ‘Broadband multiport coupler’. European Microwave. Conf., 1983, pp. 339-343.

[4] Malkomes, M. Kadisch, G. Schmitt, H.J., “Optimized

Microstrip Ring-Star 5-Ports for Broadband 6-Port Measurement Applications”, Microwave Symposium Digest, MTT-S International, May 1984, Vol. 84, No. 1, pp. 472- 474

[5] Solomon M.N., al, "A monolithic six-port module", IEEE Microwave and guided wave letters", Vol. 2, pp. 334-336, 1992.

//

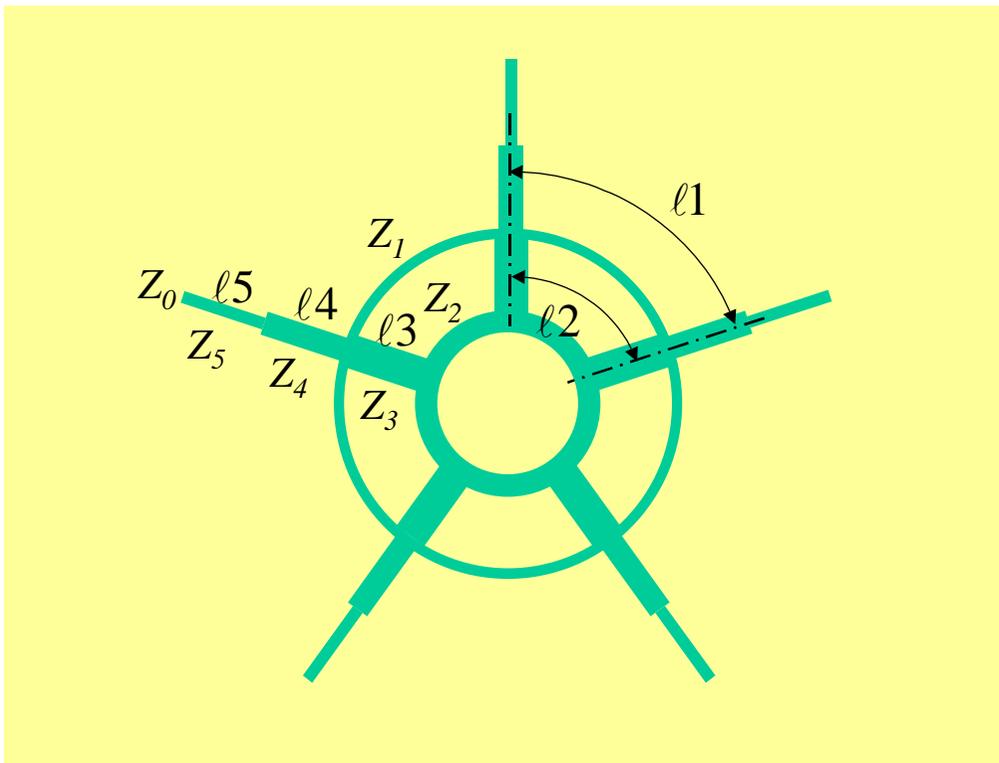


図-7 : 多段マッチング・セクション型の5ポート・カップラ

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

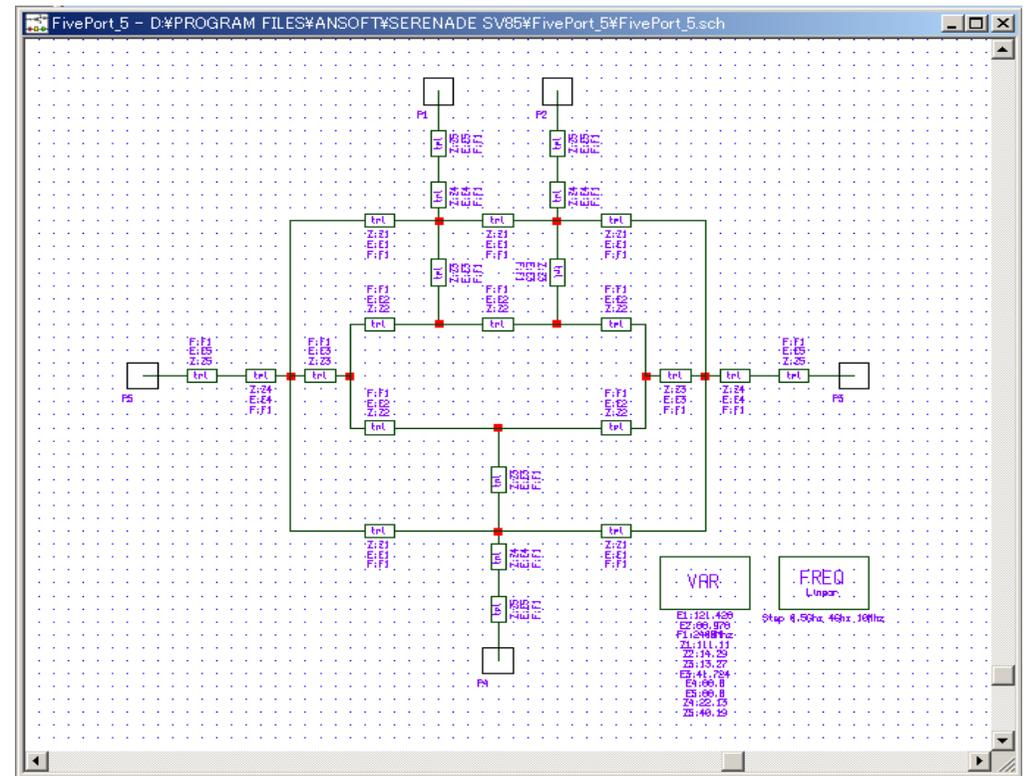


図-8 : シミュレーションの回路図

(C) 2005, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

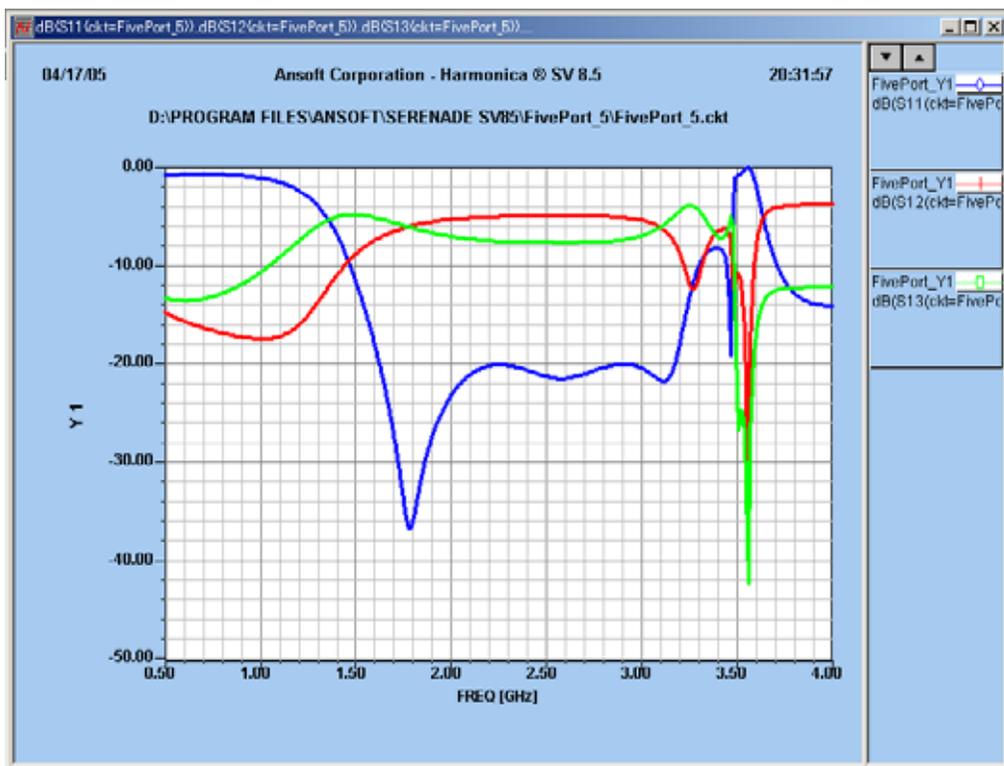


図-9 : 青 = S11、赤 = S12、緑 = S13