

Hybrid Coupled 型 移相器

Reflection 型の移相器のひとつである Hybrid Coupled 型移相器は、Loaded Line 型移相器と並んでデジタル方式の移相器としてよく使われます。主に、移相量が 45° 以上の移相器として用いられています。

図 1 に概略回路構成を示します。マイクロストリップラインによる伝送線路と PIN ダイオードから構成され、Hybrid の 2 つのポートに 2 本の枝がぶら下がっているような形をした回路です。PIN ダイオードはスイッチとして働きます。順バイアス時にはダイオードがショートに近い状態になりスイッチが ON の状態に相当します。逆バイアス時にはダイオードがオープンに近い状態になりスイッチが OFF の状態に相当します。このように、スイッチを ON/OFF させた時のリアクタンス変化を利用して移相をおこないます。

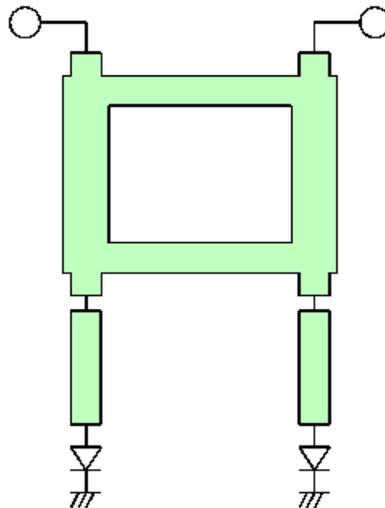


図 1

ここでは、PIN ダイオードを L,C,R の等価回路に置き換えてみます。参考とする PIN ダイオードは HVC131 (日立) とします。HVC131 の特性を実際に測定すると、 2.4GHz での等価回路は図 2 のようになります。スイッチが ON の時は、 $R_f=0.84\ \Omega$ 、 $L_p=1.1\text{nH}$ の直列回路に、スイッチが OFF の時は、 $R_r=26.8\ \Omega$ 、 $C_j=0.44\text{pF}$ の直列回路に置き換えることができます。

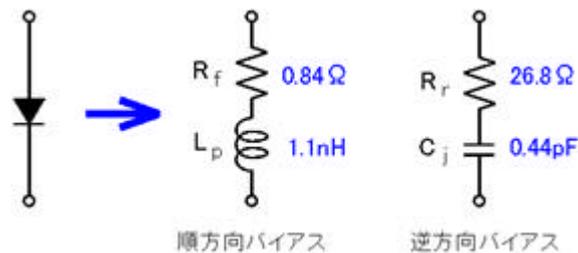


図 2

2.4GHzにおいて移相量が90°のHybrid Coupled型移相器の解析を高周波回路シミュレータと電磁界シミュレータの両方を用いておこないます。

高周波回路シミュレータによる解析

移相器の回路を図3に示します。スイッチON時が(a)、スイッチOFF時が(b)となります。誘電体は、比誘電率4.8、厚さ1mm、 $\tan \delta = 0.02$ と設定しました。解析結果を図4に示します。図4(a)挿入位相特性のS21はスイッチがONの時の位相特性を示します。S43はスイッチがOFFの時の位相特性を表します。S21/S43はスイッチがON時とOFF時との位相差(OFF時を基準にした)、つまり移相量を表しています。グラフから、2.4GHzにおいて移相量が90°であることが確認できます。2.4GHzにおいて、スイッチがONの時には挿入位相が-45°となり、OFFの時には-135°となっています。この位相差の90°が移相量となります。

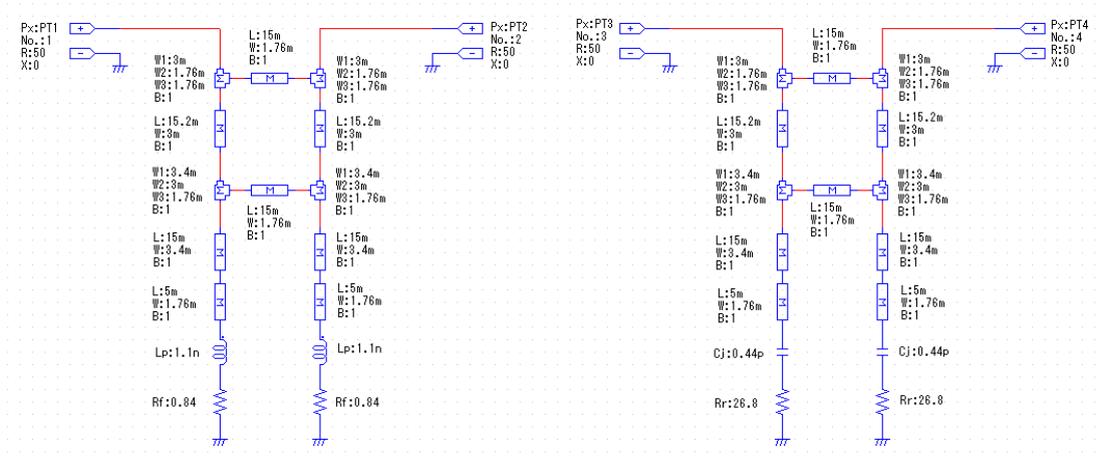


図3 (a)

図3 (b)

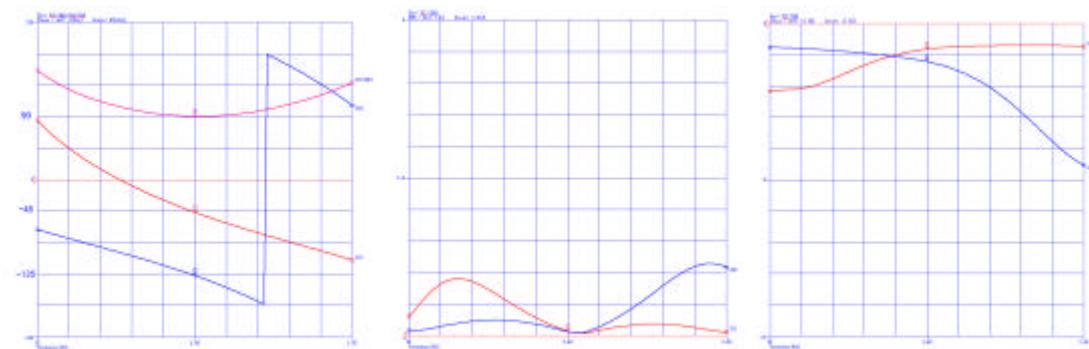


図4 (a)

図4 (b)

図4 (c)

Hybridの2つのポートにぶら下がっている2本の線路の幅を変化させることにより移相量の調整をおこなうことができます。また、2本の線路の長さを変えることにより中心周波数を変化させることができます。

VSWR特性は、中心周波数2.4GHz付近で1.1以下と最も反射が少なく、中心周波数を境にスイッチがONの時とOFFの時ではほぼ対称的なVSWR特性になっています。

挿入損失は中心周波数 2.4GHz 付近において、ON の時と OFF の時ではほぼ同じレベルになっています。

SPICE モデルを用いて描いた回路図を図 5 に示します。

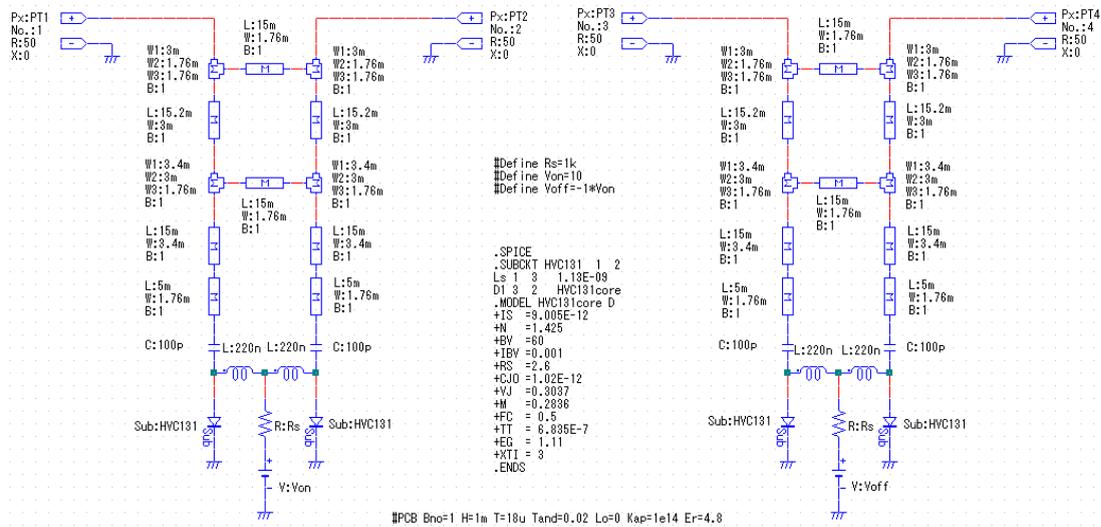


図 5

移相器の動作を知る為に、Hybrid 単体での動作はどうなっているのかを部分的に解析したいと思います。図 6 のように構成する各枝の長さが $\lambda/4$ の Hybrid を 90° Hybrid または、Branch-Line Coupler と呼びます。ここでは、4 本の $\lambda/4$ のラインで構成される理想的な Hybrid で特性を確認してみます。解析結果を図 7 に示します。図 7(a)挿入損失特性をみると、Port1 から入力された信号は Port3 と Port4 に半分ずつ分割され出力され、Port2 には出力されません。また、Port3 と Port4 の出力の位相差は 90° あります。図 7(b)挿入位相特性のグラフ中の S_{41}/S_{31} は Port3 と Port4 の出力の位相差を表しています。2.4GHz において位相差が 90° であることが確認できます。通常、Port1 から入力された信号は Port2 には信号が出力されませんが、Port3 と Port4 をオープン / ショートさせることによって、Port2 に信号を伝達することができます。この時、オープン / ショートでは挿入位相が 180° 違います。つまり、Port3 と Port4 に接続されるリアクタンスを変化させれば、位相を制御することができます。

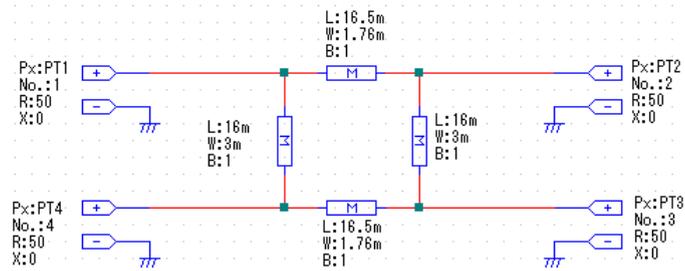


図 6

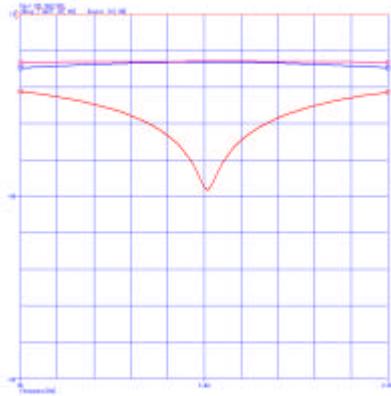


図 7 (a)

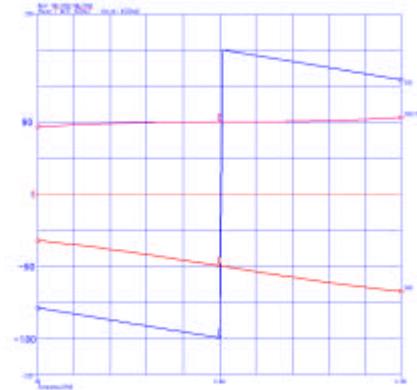


図 7 (b)

それでは、Hybridの2つのポートにぶら下がっているPINダイオードと線路で構成されている回路の特性がどうなっているのかを部分的に解析します。図8に1port回路を示します。スイッチON時が(a)、スイッチOFF時が(b)となります。解析結果を図9に示します。インピーダンス特性をみると、ONの時にその特性曲線はスミスチャートの下半分に位置し、OFFの時には上半分に位置しています。つまり、中心周波数の2.4GHzでほぼ共役の関係になっています。このことは、位相特性を見ると確認できます。ONの時の反射位相は約 -135° でOFFの時には約 $+135^\circ$ になっています。共役になっていることによって、ON/OFFの切り替えを行い、位相を変化させても中心周波数付近で挿入損失特性、インピーダンス特性の悪化が起こりません。挿入位相のみが大きく変化し、移相器として動作します。

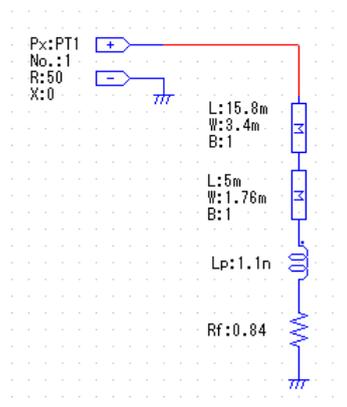


図 8 (a)

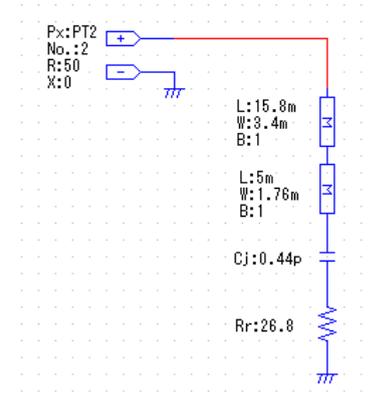


図 8 (b)

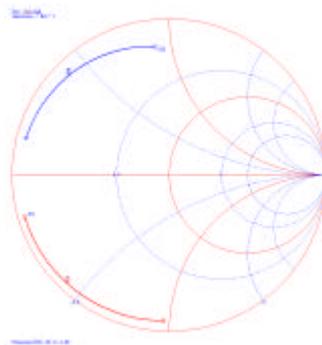


図 9

Hybrid の 2 つのポートにぶら下がっている PIN ダイオードと線路で構成されている回路は、Hybrid から見た時の ON/OFF 時のインピーダンスを共役にし、且つ必要な反射位相を得る為にあります。

1 port 回路の線路が前述の移相器の線路の長さとは若干異なる要因としては、非対称の Tee ジャンクションの影響が考えられます。

電磁界シミュレータによる解析

移相器の回路を図 10 に示します。スイッチ ON 時が(a)、スイッチ OFF 時が(b)となります。回路シミュレータと同様に誘電体は、比誘電率 4.8、厚さ 1mm、 $\tan \delta = 0.02$ と設定しました。スイッチが ON 時の解析結果を図 11、スイッチが OFF 時の解析結果を図 12 に示します。挿入位相は、スイッチ ON の時が -87° 、スイッチが OFF の時が -175° でした。この位相差の 88° (約 90°) が移相量となります。給電線路の分だけ挿入位相が増えるため、挿入位相特性の値は回路シミュレータの解析結果と異なっています。

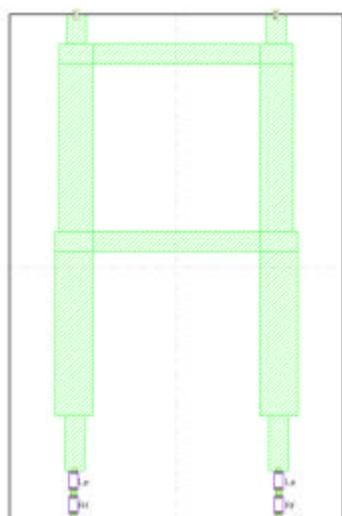


図 10 (a)

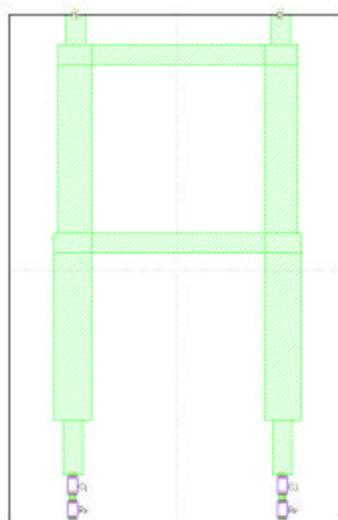


図 10 (b)

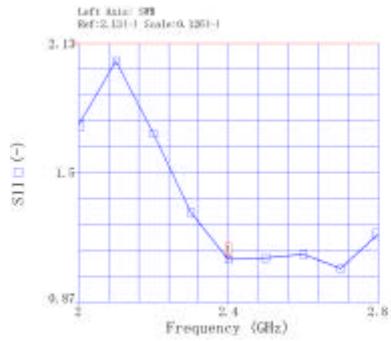


図 11 (a)

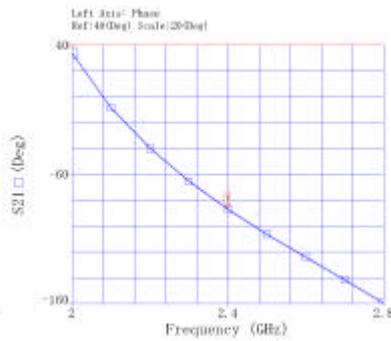


図 11 (b)

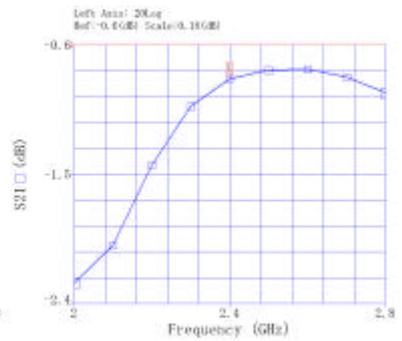


図 11 (c)

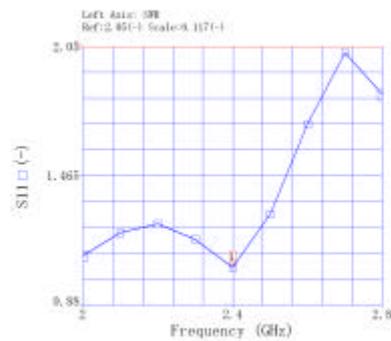


図 12 (a)

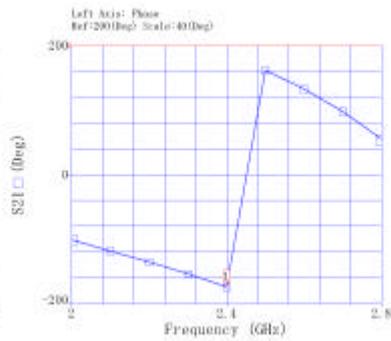


図 12(b)

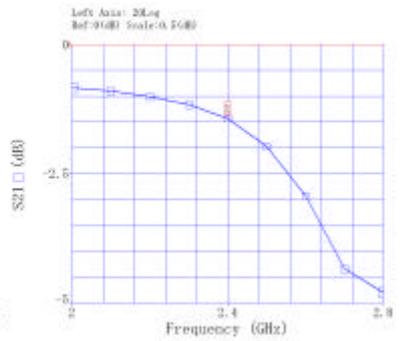


図 12(c)

挿入位相特性，VSWR 特性，挿入損失特性とも回路シミュレータと同様の結果を得ることができました。

電流分布特性をみると、スイッチが ON 時と OFF 時でどのような電流分布の違いがあるかを確認することができます。図 13 に、 $t=0$ の時の On,OFF 時それぞれの電流分布を示します。

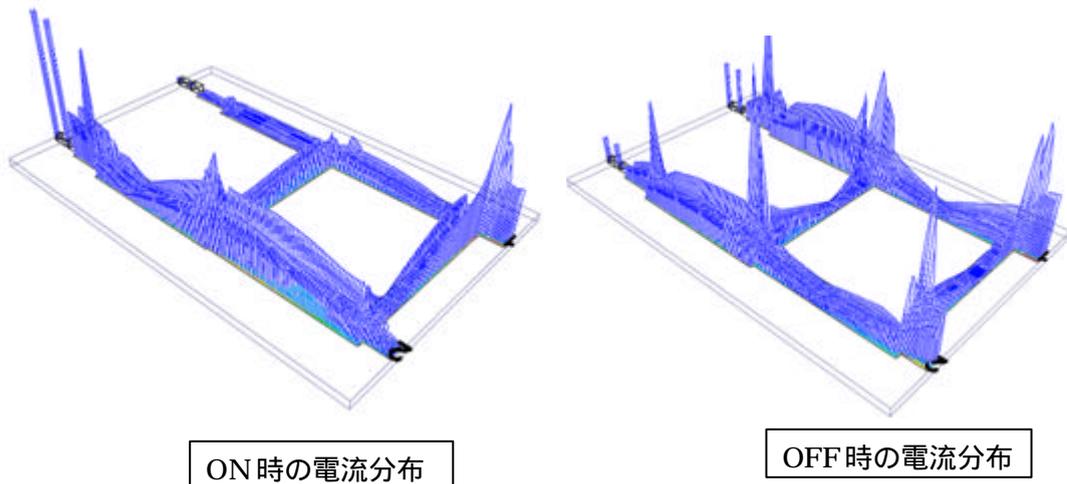


図 13