

Loaded Line 型 移相器

Transmission 型の移相器のひとつである Loaded Line型移相器は、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° 以下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た 型の回路です。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。

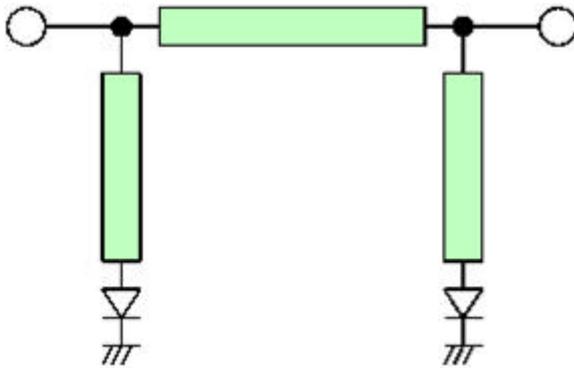


Fig.1

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。

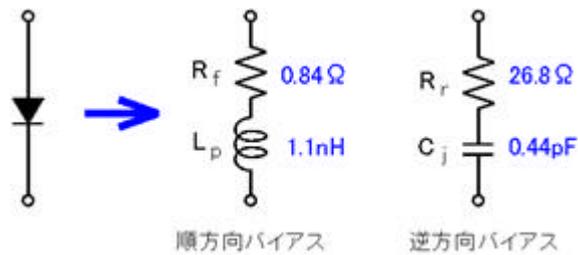
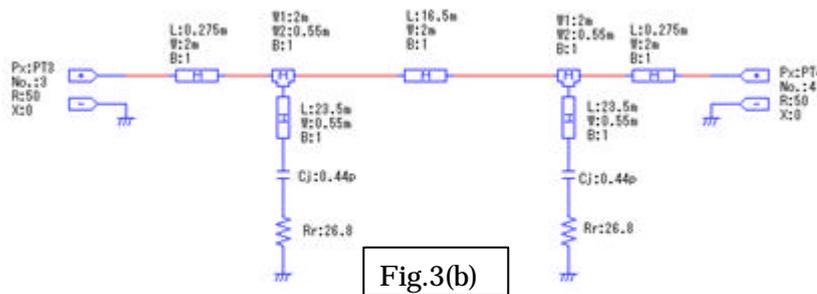
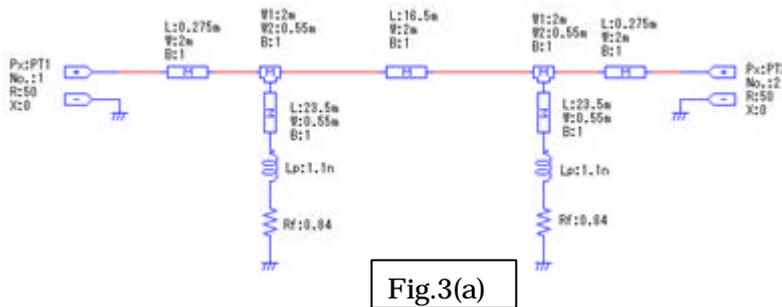


Fig.2

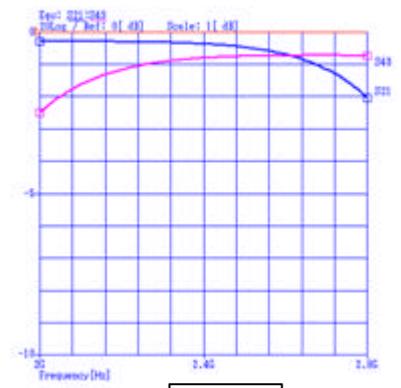
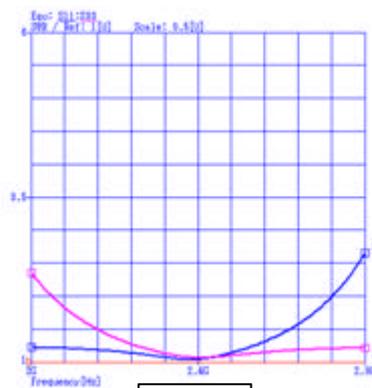
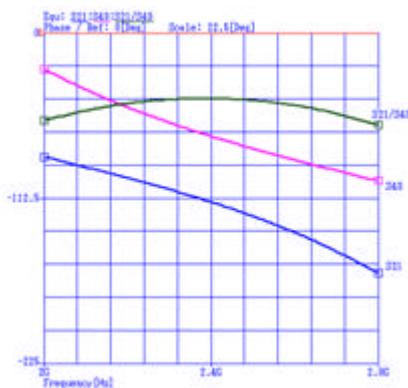
2.4GHz において移相量が 45° の Loaded Line 型移相器の解析を高周波回路シミュレータと電磁界シミュレータの両方を用いておこないます。

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。グラフ中の 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 45° であることが確認できます。



PCB Bno=1 H=1m T=10u Tand=0.02 Lo=0 Ksp=1e14 Er=4.8



挿入位相特性を見て気が付くことは、2.4GHz において長さが $\lambda/4$ の主伝送線路のみの場合の挿入位相 (90°) に対して、スイッチが ON の時には挿入位相が移相量の約半分 (22.5°) ほど大きく 112.5° となり、OFF の時には挿入位相が移相量の約半分 (22.5°) ほど小さく 67.5° となっている点です。この位相差の 45° が移相量となります。

主伝送線路とその両端にぶら下がっている2本の伝送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、伝送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 の時でほぼ同じレベルになっています。

この移相器の動作を知る為に、主伝送線路の両端にぶら下がっている2本の伝送線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 5 に 1 port 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 6 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 -45° で OFF の時には約 $+45^\circ$ 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。

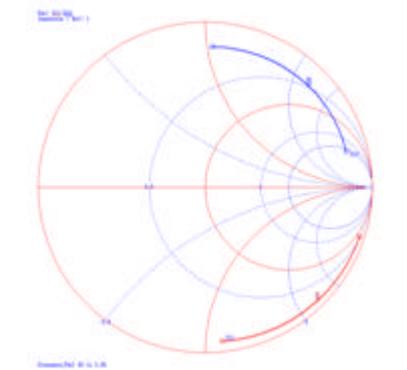
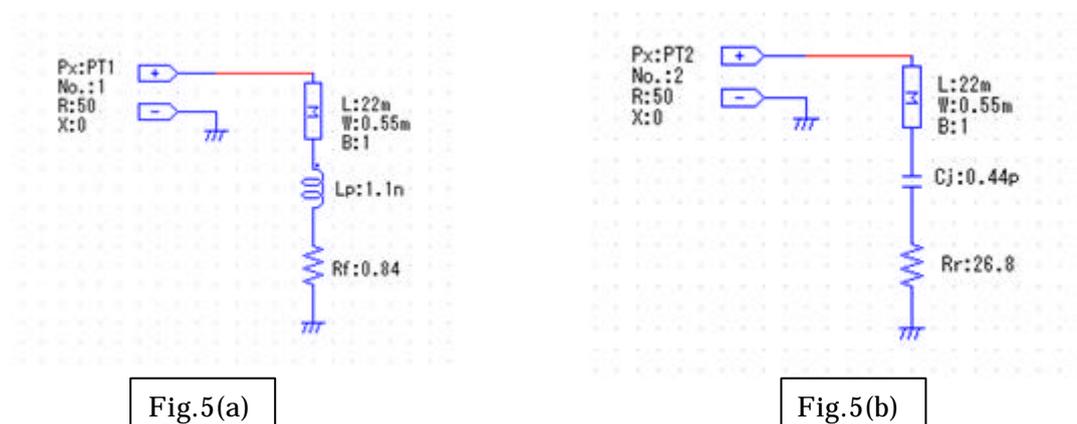


Fig.6

主伝送線路の両端にぶら下がっている2本の伝送線路は、主伝送線路から見た時の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、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 7 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 8、スイッチが OFF 時の解析結果を図 9 に示します。挿入位相は、スイッチ ON の時が 172° 、スイッチが OFF の時が 127° でした。この位相差の 45° 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。

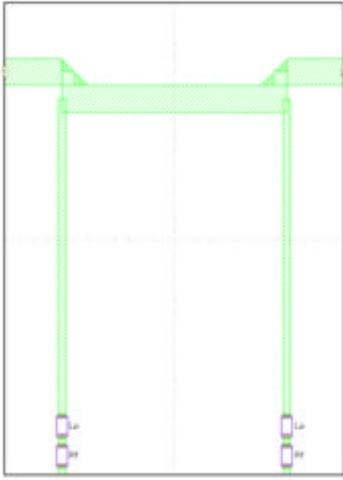


Fig.7(a)

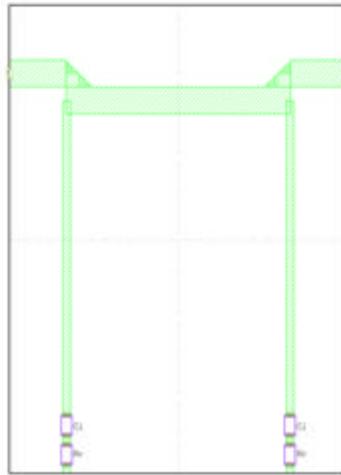


Fig.7(b)

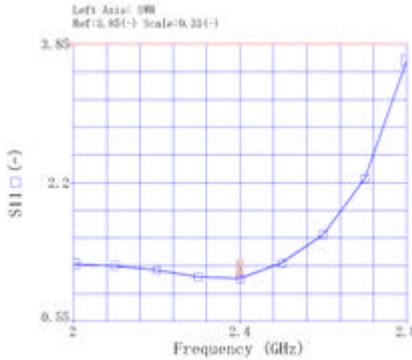


Fig.8(a)

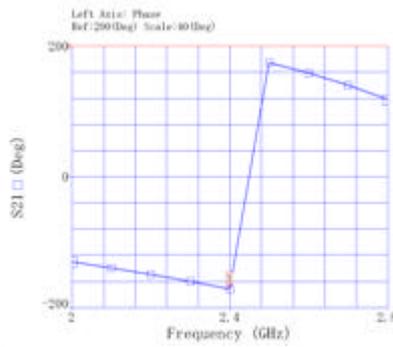


Fig.8(b)

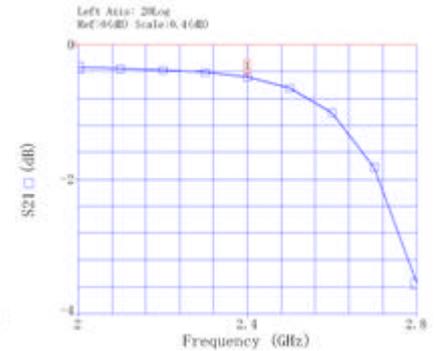


Fig.8(c)

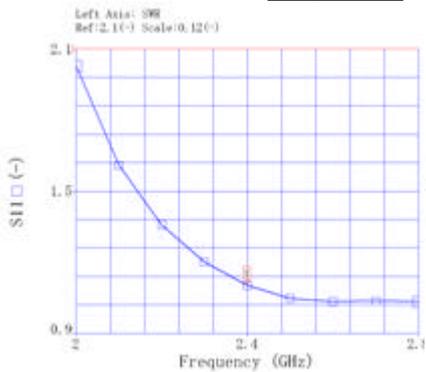


Fig.9(a)

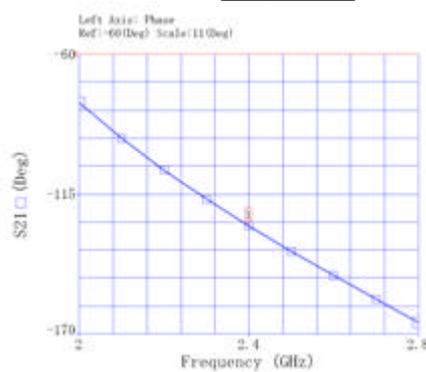


Fig.9(b)

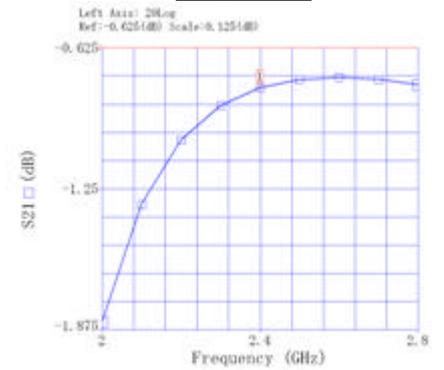


Fig.9(c)

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。

