

Multi-section Directional Coupler

多段型方向性結合器

武安義幸 / JA6XKQ

先に、結合部が一段の方向性結合器について製作記を書きましたが、同時期に製作していた多段型方向性結合器の特性をネットワークアナライザで測定する機会がありましたので、そのデータをまとめておきます。



写真-1 : テフロン基板による3段方向性結合器

横軸 = 1 GHz ~ 4 GHz

縦軸 = 10 dB/DIV

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

多段型方向性結合器

広帯域化のために結合部を非対称3段とした方向性結合器を2種類、測定してみました。

2種類の相違点は基板の材質にあり、一方がテフロン、他方がガラスエポキシというもので、設計仕様(目標値)は同一です。

結合度 : 10 dB

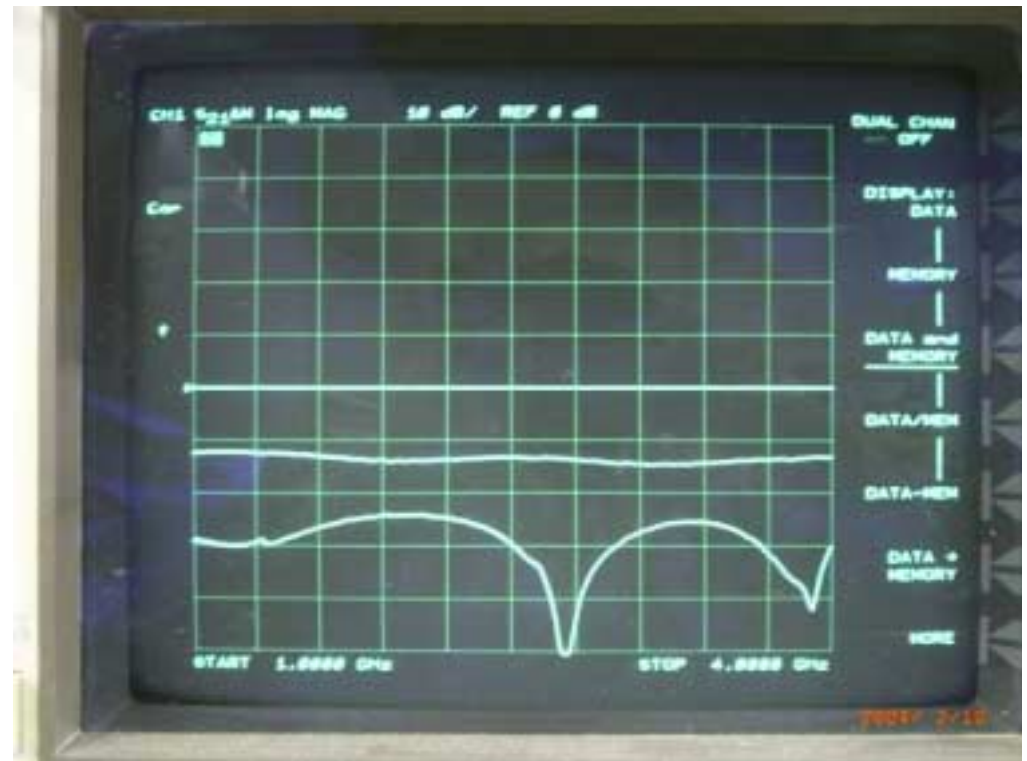


写真-2 : ガラスエポキシ基板による3段方向性結合器

横軸 = 1 GHz ~ 4 GHz

縦軸 = 10 dB/DIV

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

周波数帯域 : 1 GHz ~ 3 GHz

基板材質の比誘電率と厚みに応じて結合部の寸法パラメータが異なっています。

測定データ

写真-1 にテフロン基板による、**写真-2** にガラスエポキシ基板による3段方向性結合器の測定データを示します。

縦軸の目盛りは 10 dB/DIV であり、中央がリファレンスの 0 dB です。2本のトレースのうち上側が進行波ポートを、下側が反射波ポートを示しています。進行波ポートのレベルは結合度を示しており、方向性は両ポートのレベルの差分となります。

両材質の基板とも、結合度は約12 ~ 14 dBであり、帯域内でのフラットネスは「まあ、こんなものかなあ〜」という気がします。ただし、非対称3段の設計値としては ± 0.15 dB 程度のリップルに納まるものであり、改善の余地が多々あります。

一方、方向性については調整の良し悪しが出たようです。テフロン基板の場合は最悪値で約16 dB、ガラスエポキシ基板は約10 dBという値であり、目標とした20 dBには及ばない結果となりました。

改善策

先の製作記でも述べましたが、方向性結合器の特性の良し悪し

は、結合部から出力コネクタまでのマッチング(の調整)に大きく依存します。この部分のマッチングを改善すれば、結合度に生じるリップルも小さくなるでしょうし、方向性も良くなります。

結合度の絶対値は、結合部分のプリント・パターンの精度、特にライン間スペースを正確に形成する必要があります。ここに示したものは、0.2 mmのエッチングが上手くいかなかった部分があったため、一部をカッターで手直ししていますので、その影響があるかもしれません。

また、材料の比誘電率が寸法の基準となり、特性の精度を左右する点は言うまでもありません。

今回の測定結果において、方向性特性の相違は調整の良し悪しによるものであり、材質の相違ではない点にご注意ください。

構造

内部構造を **写真-3** に示します。これはテフロン基板のものですが、ガラスエポキシ基板の場合にもパターン自体は相似形です。

本文中に「非対称3段」なる表現が出てきましたが、**写真-3** で判るように、結合間隔(とパターン幅)が異なる3つのセクションが左右のポートに対して非対称に配置されていることを意味しています。一方、「対称3段」を、**写真-4** (これは失敗作)に示します。対称3段の場合には、中心の一番間隔が狭い結合部に対して左右対称に同じ間隔(とパターン幅)を持った結合部が配置さ

れています。

「対称」と「非対称」の特性上の相違については、設計編で述べることにします。

構造をもう少し見てみましょう。結合部からポートへの引出しパターンは、特性インピーダンスを 50Ω で設計したもの（すなわち、パターンの幅が一定）ですが、方向性を調整した結果、写真に見られるように幅にテーパがついたものとなりました。拡大したものを **写真-5** に示します。パターン幅にテーパがつくであろうことは設計段階で予想できましたが、そのテーパの具



写真-3 : 非対称3段型の方向性結合器の内部パターン

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

合までを見積もることが困難であったため、調整代として 50Ω の一定幅パターンでエッチングを行いました。**写真-5** の左側では、調整過程でパターンを細くし過ぎたので、銅箔を半田付けして修正しています。

写真-6 は、コネクタのセンターピンに対するグランド・プレーン側の“逃げ”を示しています。プリント基板を重ねたトリプレート構造上、物理的にセンターピンが納まりませんので“逃げ”が必要になります。また、電気的にもマッチングの観点から、センターピンとグランド・プレーン間の距離が必要です。



写真-4 : 対称3段型の方向性結合器の内部パターン

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

余談ですが、RSGB と ARRL の共同出版による *International Microwave Handbook* (ISBN 1-872309-83-6) にも本編と同様にプリント基板を用いたトリプレート構造の多段型方向性結合器(4段、0.4 G ~ 3.5 GHz)の製作例が掲載されています。シミュレーションで解析している点も同様です。その中で、「シミュレーションでは素晴らしい特性が出ているが、現実には、そう上手くはいかない、、、」と。その理由の一つ(あるいは主因)として、コネクタとその取り付け方法に言及しています。ハンドブックではN型コネクタを用いて、基板に対して垂直方向から(基板を貫通するように)取付けています。コネクタのサイズ(同軸部)とトリプレート構造のサイズ(厚み)が物理的に乖離しており、さらには、同

軸とトリプレート・ストリップラインでの電磁界モードの移行が、直角に曲げたのではスムーズではありません。つまり、コネクタ部でのインピーダンス不整合が大きい訳です。狭帯域であればマッチングをとることも可能ですが、広帯域にわたってのマッチングは至難です。私は、この20年来(CQ ham radio誌 1980年11月号を参照されたし)、トリプレート構造への入出力は、本例に示すようにトリプレートの端面から横方向に行なうことにより、この不整合の問題を軽減しています。

設計

(つづく、、、)

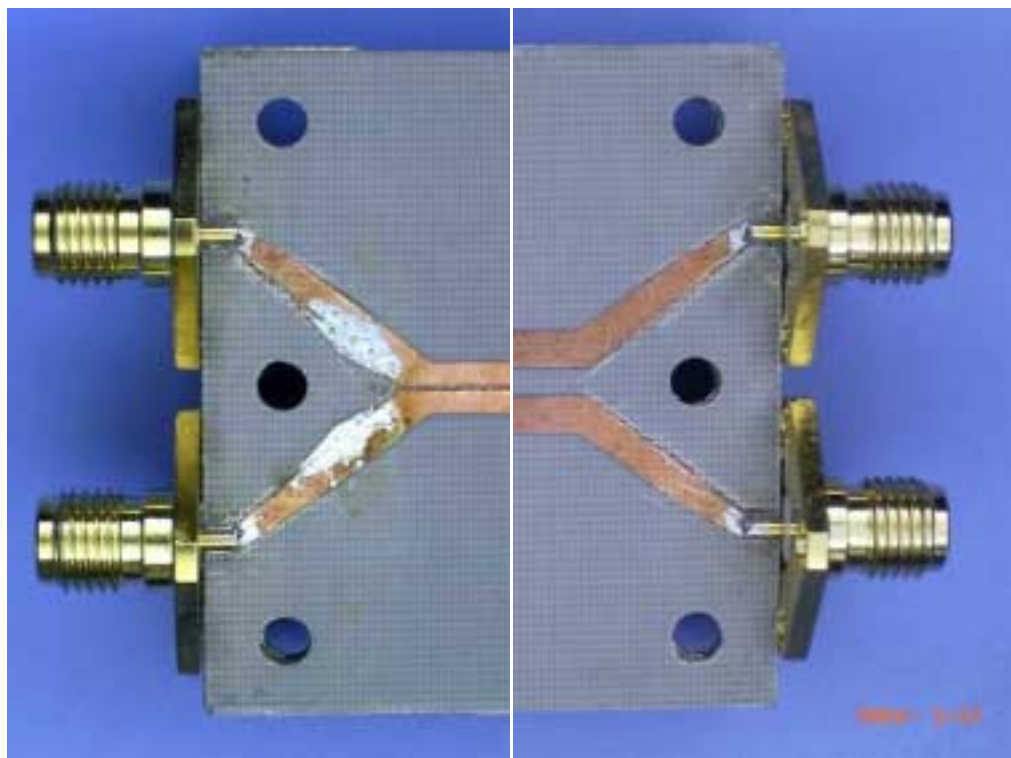


写真-5 : ポート引出し部のパターン

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

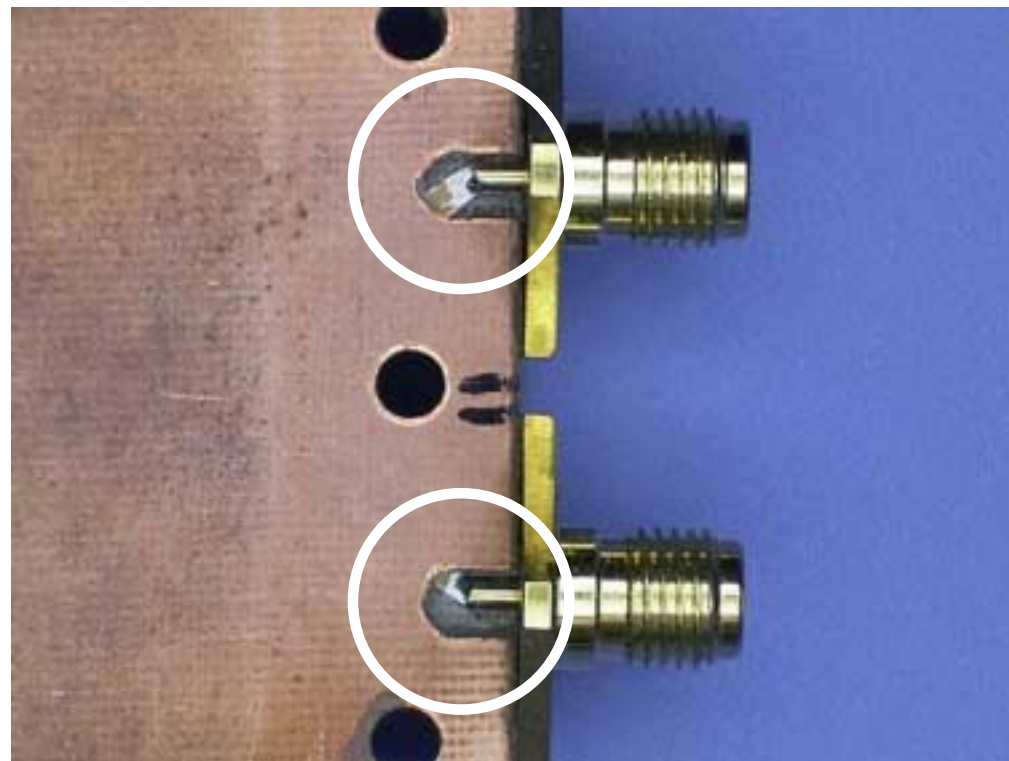


写真-6 : コネクタのセンターピンに対する“逃げ”(丸印)

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ