

Multi-section Directional Coupler – Design

多段型方向性結合器 – 設計

武安義幸 / JA6XKQ

先に、多段型方向性結合器の特性と構造の概要を示しましたが、ここではその設計について述べます。

参考文献

参考とした文献は次のものです。設計手順を示すのみなので、理論はこれらを参照してください。いずれも“must have”な古典

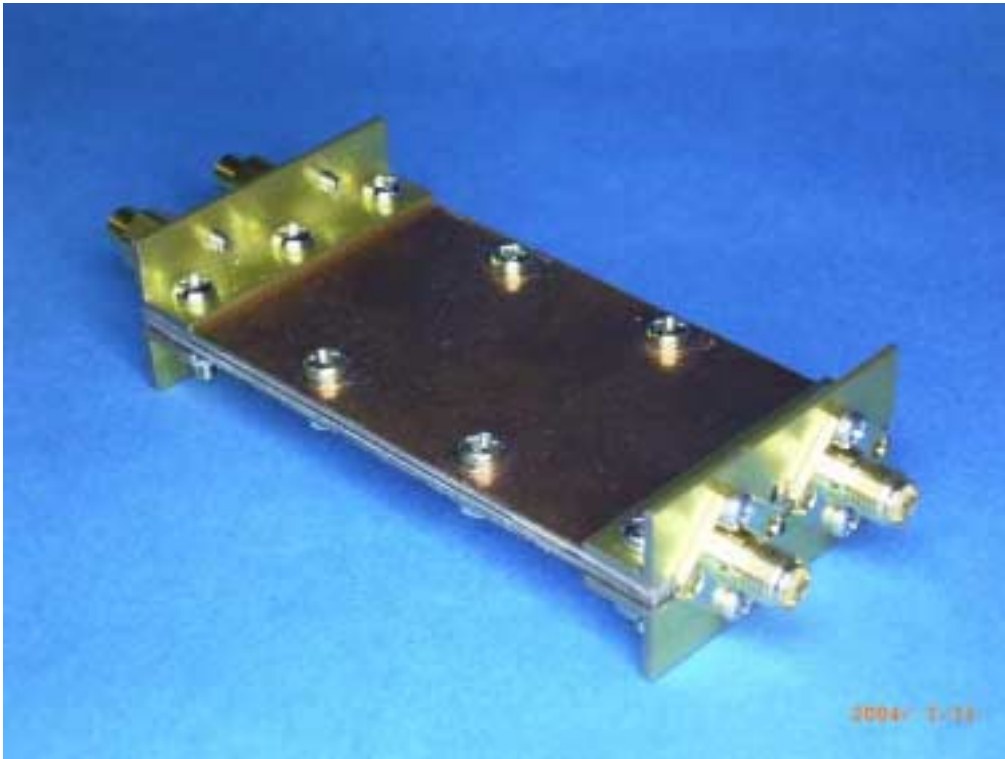


写真-1 : 3段方向性結合器

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

です。

文献1

タイトル: Stripline Circuit Design

著者: Harlan H. Howe

ISBN: 0890060207

出版社: Artech House

文献2

タイトル: Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures

著者: G. Matthaei, E.M.T. Jones, L. Young

ISBN: 0890060991

出版社: Artech House

設計仕様

RF特性の設計仕様としては、結合度、結合度リップルとその周波数帯域があります。

結合度	:	10 dB
結合度リップル	:	±0.2 dB
周波数帯域	:	1 GHz ~ 3 GHz

方向性結合器の特性として文字通り方向性 (Directivity) がありますが、これは「できるだけ良好に」としておきます。設計では 30 dB 以上の値を得ることができますが、現実には実際の作り (設計に盛り込めない要素) に依存するためです。

(C) 2004, Yoshiyuki Takeyasu / JA6XKQ

設計

設計自体は既に計算済みの数表を参照して行います。文献1も参照している数表として、

Levy, R., "Tables for Asymmetric Multi-Element Coupled Transmission-Line Directional Couplers", MTT-12, No.3, May 1964, pp.275-279

があります。以下に一部を参照します。

TABLE 1: N = 2, Coupling = 10 dB						
BW	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
R(dB)	0.040	0.230	0.528	0.871	1.226	1.575
Z1	1.5073	1.5412	1.5729	1.6025	1.6307	1.6581
Z2	1.0882	1.11210	1.1573	1.1940	1.2302	1.2655

TABLE 2: N = 3, Coupling = 10 dB						
BW	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
R(dB)	0.137	0.290	0.482	0.697	0.925	1.156
Z1	1.6140	1.6364	1.6564	1.6747	1.6921	1.7089
Z2	1.2215	1.2555	1.2870	1.3166	1.3443	1.3707
Z3	1.0559	1.0772	1.1000	1.1235	1.1473	1.1710

これらの表は非対称型についてのもので、N が段数を、BW が

比帯域を、R が帯域内リップルを、そして、それらの要求仕様を満足するための結合部の偶数モード・インピーダンス(正規化)を Z1 から Z3 が示しています。

非対称型の方が少ない段数で、広帯域にわたって小さい帯域内リップルを実現できるので、ここでは非対称型を採用しています。

ステップ-1 : 段数の決定

設計のステップ-1は、目標周波数帯域(比帯域)を実現するために必要な結合部段数の決定です。

結合部が一段では 10 dB の結合度が得られる周波数は一点だけであり、0.2 dB の偏差となる周波数帯域は中心周波数に対して約40%しかありません。設計仕様の中心周波数 2 GHz に対して 1.6 GHz から 2.4 GHz で、10.2 dB から 10 dB の結合度となります。中心周波数の上下で結合度は小さくなります。このような制約を打破する方策として、多段型を採用する訳です。

では、1 GHz から 3 GHz をカバーするには?という訳で、前述の表を参照します。表にはありませんが、対称型(Symmetric type)では3段で、比帯域3倍で ± 0.2 dB のリップルを実現できます。一方、前述の表から分かるように、非対称型(Asymmetric type)では同じく3段で、比帯域4倍で ± 0.137 dB のリップルを実現できます。非対称型では2段で比帯域3倍も可能ですが、今回はマージンを見込んで3段の非対称型としました。

ステップ-2：結合度の算出

前述の表から、今回の設計での各結合部(3段)の偶数モード・インピーダンスが分かりました。

$$Z_1 = 1.6140$$

$$Z_2 = 1.2215$$

$$Z_3 = 1.0559$$

基準インピーダンス Z_0 、偶数モード・インピーダンス Z_{0e} と奇数モード・インピーダンス Z_{0o} には次式の関係があります。

$$Z_0^2 = Z_{0e} \cdot Z_{0o} \quad \dots(1)$$

また、結合度 C_o (電圧での真値) と各モード・インピーダンス(正規化)には次式の関係があります。

$$Z_{0e} = \sqrt{\frac{1 + C_o}{1 - C_o}} \quad \dots(2)$$

$$Z_{0o} = \sqrt{\frac{1 - C_o}{1 + C_o}} \quad \dots(3)$$

式(2)から各結合部の結合度を求めます。

$$C_o = \frac{Z_{0e}^2 - 1}{Z_{0e}^2 + 1} \quad \dots(4)$$

式(4)を用いて、例えば1段目の結合度を求めると、

$$\begin{aligned} C_{o1} &= \frac{1.6140^2 - 1}{1.6140^2 + 1} \\ &= 0.445 \end{aligned}$$

すなわち -7.03 dB なる結合度となります。同様に2段目と3段目の結合度を求めると、それぞれ -14.09 dB と -25.3 dB なる値となります。

以上の結果をまとめると、この 10 dB の方向性結合器は、 -7.03 dB、 -14.09 dB、 -25.3 dB の結合器がタンデムに接続されたものであり、一段の方向性結合器を三種類設計することに帰着します。

ステップ-3：寸法の算出

ここまでのステップは、結合部の構造には依存しない設計手順です。例えば、結合部を同軸構造にするのか、マイクロストリップラインにするのか、トリプレートのストリップラインにするのかには依存しない、言わば概念上の設計パラメータを算出した訳です。

それでは、ここから、現実の「物」の設計に進みます。ここでは、結合部の構造をトリプレートのストリップラインにして、ストリップラインの寸法パラメータを算出します。結合部の断面図を 図-1 に示し、寸法パラメータを定義します。

算出すべきパラメータは、結合部導体の幅 w とその間隔 s です。接地導体の間隔(基板厚み) b は使用するプリント基板からの与件です。

途中の計算式を省略して結果だけを記述すると、間隔 s と幅 w は基板厚み b で正規化した次式で与えられます。

$$\frac{s}{b} = \frac{1}{\pi} \log_e \left[\coth \left\{ \frac{94.15 \pi C_o}{\sqrt{\epsilon} Z_0 \sqrt{1-C_o^2}} \right\} \right] \quad \dots(5)$$

$$\frac{w}{b} = \frac{94.15}{\sqrt{\epsilon} Z_0} \sqrt{\frac{1-C_o}{1+C_o}} - \frac{1}{\pi} \log_e \left[2 \cdot \left(1 + e^{\theta} \right) \right] \quad \dots(6)$$

$$\theta = \frac{-188.3 \pi C_o}{\sqrt{\epsilon} Z_0 \sqrt{1-C_o^2}} \quad \dots(7)$$

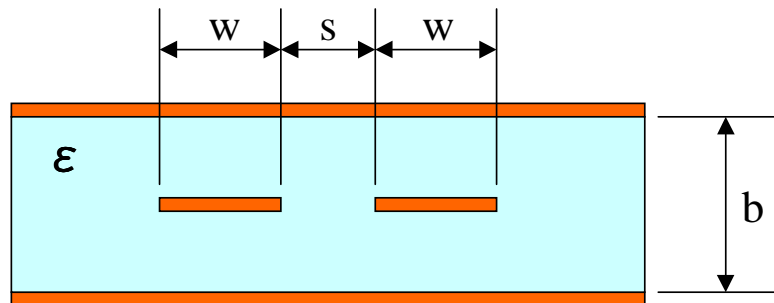


図-1 : トリプレート・ストリップラインの寸法定義

式(5)と(6)にステップ-2で求めた結合度 C_o 。(電圧での真値)、基準インピーダンス Z_0 (50Ω)、そして工作に使用するプリント基板の誘電率 ϵ と基板厚 b を代入すれば、結合部の幅 w とその間隔 s が算出されます。



写真-2 : 結合部のパターン