

対ダイプレクサーの広帯域化に関する考察*

品 田 雄 治**

(昭和47年4月14日受理)

A Study of Broadening the Bandwidth of Pair Diplexers

by Yūji SHINADA

Among the diplexers used to furnish common loads with the output power from two transmitters, there is a kind of diplexer named pair diplexer consisting of a balun and an unbalun. Several circuits are considered to compose the balun and unbalun, but it needs an adequate pair to get the diplexer by connecting each other. The limit of broadening the bandwidth of these pair diplexers is pursued theoretically, and it is shown that the specific bandwidth of about 100% was attained to a certain pair diplexer.

1. ま え が き

二つの送信機からの出力を共通の負荷例えばアンテナに供給するために、ダイプレクサーが用いられる。

ダイプレクサーとしてはスロットッド・ブリッジ形などの実現形が知られているが、balunとudbalunとの接続によって“対ダイプレクサー”と称せられる一群のダイプレクサーが得られることが永井^{1),2)}によって報告された。対ダイプレクサーでは二つの入力ポートの間に全周波数で完全な電气的分離が成立し、一つの入力に対する二つの出力の比は一定であり、その位相関係(同相または逆相)も一定であるが、ダイプレクサーと信号源および負荷との間の整合の度合は周波数によって変化する。この整合の度合を広い周波数帯域にわたって改善する方法を見出し、広帯域化の限度を明らかにしようというのが本論文の主眼である。

2. balun と unbalun

balun とは balance-to-unbalance transformer (平衡不平衡変成器) の略であり、図1に示すように入力ポートが一つ、出力ポートが二つある(1, 2)ポート回路網で、各ポートには図1のようにそれぞれ1, 2, 3と番号をつける。その動作の目的はポート1から入力を加えるとき、

* 昭和47年度電子通信学会全国大会講演(昭和47年4月)

** 北見工業大学電気工学科

出力ポート 2, 3 にはたがい逆位相で同じ大きさの出力を得ることである (逆位相で同じ大きさのことを平衡と称している)。また 図 1 の回路でポート 1 から入力を加えるとき, 出力ポートに大きさ等しく同相の出力 (同相で同じ大きさの関係を不平衡と称する) を生ずる回路も考えられ, balun に対してこれを unbalun と称する。これは unbalance-to-unbalance transformer の略である。balun, unbalun とともに広い意味で二分配回路の一種であるが, 出力の位相関係で区別をつけている。図 1 の回路は一般的なイミタンス行列として,

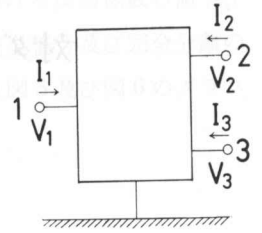


図 1 (1, 2) ポート

Fig. 1. (1, 2) port.

$$\mathbf{I} = \mathbf{Y}\mathbf{V}, \quad \mathbf{V} = \mathbf{Y}^{-1}\mathbf{I} = \mathbf{Z}\mathbf{I}$$

$$\mathbf{I} = [I_1, I_2, I_3]', \quad \mathbf{V} = [V_1, V_2, V_3]'$$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{12} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{13} & Y_{23} & Y_{33} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{12} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{13} & Z_{23} & Z_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

(強勢符は転置行列を示す)

を有するが, この回路が,

(a) balun のときは

$$Y_{12} = -Y_{13}, \quad Y_{22} = Y_{33} \quad \text{または} \quad Z_{12} = -Z_{13}, \quad Z_{22} = Z_{33} \quad (2)$$

(b) unbalun のときは

$$Y_{12} = Y_{13}, \quad Y_{22} = Y_{33} \quad \text{または} \quad Z_{12} = Z_{13}, \quad Z_{22} = Z_{33} \quad (3)$$

の関係が成立しなければならない。

さて 図 1 の回路を balun とし, 入力ポート 1 に電圧 V_1 , 出力側ポートに不平衡電圧 $V_2 = V_3$ を加えるとき, ポート 1 の電流は式 (1), (2) より,

$$I_1 = Y_{11}V_1 \quad (4)$$

となり, V_2, V_3 には関係しない。この状態でさらにポート 1 の励振電圧 V_1 を加えないなら $I_1 = 0$ であり, そのとき,

$$I_2 = I_3 = (Y_{22} + Y_{33})V_2 \quad (5)$$

となり, ポート 2, 3 には不平衡電流が流れる。

次に 図 1 の回路を unbalun とし, 入力ポート 1 に電圧 V_1 , 出力側ポートに平衡電圧 $V_2 = -V_3$ を加えるときは式 (1), (3) より,

$$I_1 = Y_{11}V_1 \quad (6)$$

となり, やはり I_1 は V_1 のみに依存し, V_2, V_3 とは無関係となる。このときも $V_1 = 0$ ならば $I_1 = 0$ で, 出力側では,

$$I_2 = -I_3 = (Y_{22} - Y_{33}) V_2 \quad (7)$$

となり、ポート 2, 3 には平衡電流が流れる。

3. 対ダイプレクサー

前章で述べた balun と unbalun の出力側ポートを接続すると図 2 の回路を得る。これは balun と unbalun の一対からなり、しかも後述のようにダイプレクサーとしての動作を有するので、対ダイプレクサーと称している。図 2 で balun 部のみ、および unbalun 部のみのアドミタンス行列をそれぞれ $\mathbf{Y}^{(1)}$, $\mathbf{Y}^{(2)}$ とすれば、

$$\mathbf{Y}^{(1)} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & -Y_{12} \\ Y_{12} & Y_{22} & Y_{23} \\ -Y_{12} & Y_{23} & Y_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{Y}^{(2)} = \begin{bmatrix} Y'_{11} & Y'_{12} & Y'_{12} \\ Y'_{12} & Y'_{22} & Y'_{23} \\ Y'_{12} & Y'_{23} & Y'_{22} \end{bmatrix} \quad (9)$$

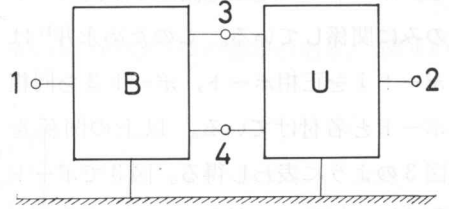


図 2 対ダイプレクサー

Fig. 2. Pair diplexer.

これらを合成してできた図 2 の回路では、

$$\begin{aligned} \mathbf{I} &= \mathbf{Y}_a \mathbf{V} \\ \mathbf{I} &= [I_1, I_2, I_3, I_4]', \quad \mathbf{V} = [V_1, V_2, V_3, V_4]' \end{aligned} \quad (10)$$

$$\mathbf{Y}_a = \begin{bmatrix} Y_{11} & 0 & Y_{12} & -Y_{12} \\ 0 & Y'_{11} & Y'_{12} & Y'_{12} \\ Y_{12} & Y'_{12} & Y_{22} + Y'_{22} & Y_{23} + Y'_{23} \\ -Y_{12} & Y'_{12} & Y_{23} + Y'_{23} & Y_{22} + Y'_{22} \end{bmatrix} \quad (11)$$

式 (10), (11) から容易に次の関係を得る。

$$\begin{aligned} \mathbf{I}' &= \mathbf{Y}'_a \mathbf{V}' \\ \mathbf{I}' &= [I_1, I_2, I_b, I_u]', \quad I_b = \frac{1}{2}(I_3 - I_4), \quad I_u = I_3 + I_4 \\ \mathbf{V}' &= [V_1, V_2, V_b, V_u]', \quad V_b = V_3 - V_4, \quad V_u = \frac{1}{2}(V_3 + V_4) \end{aligned} \quad (12)$$

(I_b, V_u の式の $1/2$ は測定の立場を考慮して付してある)

$$\mathbf{Y}'_a = \begin{bmatrix} Y_{11} & 0 & Y_{12} & 0 \\ 0 & Y'_{11} & 0 & 2Y'_{12} \\ Y_{12} & 0 & \frac{1}{2}(Y_{22} + Y'_{22} - Y_{23} - Y'_{23}) & 0 \\ 0 & 2Y'_{12} & 0 & 2(Y_{22} + Y'_{22} + Y_{23} + Y'_{23}) \end{bmatrix} \quad (13)$$

式 (12) より I_b, V_b はポート 3, 4 の電流, 電圧の平衡分を, I_u, V_u は同じく不平衡分を表わしている。式 (12), (13) より、

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{12} & \frac{1}{2}(Y_{22} + Y'_{22} - Y_{23} - Y'_{23}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_b \end{bmatrix} = \mathbf{Y}_b \begin{bmatrix} V_1 \\ V_b \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ I_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y'_{11} & 2Y'_{12} \\ 2Y'_{12} & 2(Y'_{22} + Y'_{22} + Y'_{23} + Y'_{23}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_u \end{bmatrix} = \mathbf{Y}_u \begin{bmatrix} V_2 \\ V_u \end{bmatrix} \quad (15)$$

式(10)と式(12)を比較すれば、同じ回路の動作を表わすのに、前者では各ポートの電圧、電流の関係を直接用いているが、後者ではポート1, 2の電圧電流はそのままであるが、ポート3, 4の電圧電流を平衡モードと不平衡モードに変換して表現している。そしてポート1の電圧電流は平衡モードのみに関係し、ポート2の電圧電流は不平衡モードのみに関係している。このため永井¹⁾はポート1を正相ポート、ポート2を同相ポートと名付けている。以上の関係を図3のように表わし得る。図3でポートB, Uは実際には存在しないが平衡モード、不平衡モードの伝送のみに関係するポートである。この図からも分かるように正相ポート1と同相ポート2は電氣的に分離される。しかしポート3, 4の電圧電流は正相ポート1、同相ポート2の電圧電流の影響を受けていて、ポート3, 4間の電氣的分離は一般的には成立しない。

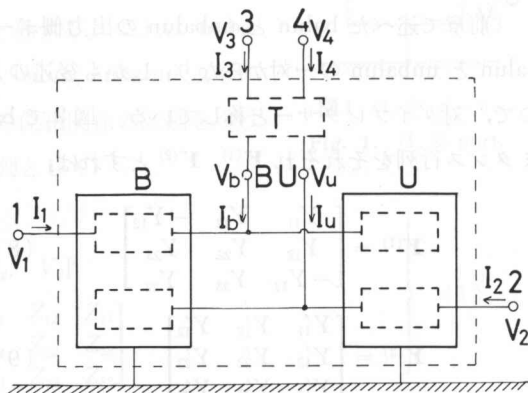


図3 対ダイプレクサの等価回路

Fig. 3. Equivalent circuit of a pair diplexer.

なお当然のことながら、対ダイプレクサの balun 部分、unbalun 部分のアドミタンス行列は、単独の balun, unbalun のそれらとは異なる。すなわち式(10)で $I_2 = -Y_{2l}V_2$ とおき、この関係から V_2 を求めて I_1, I_3, I_4 の式に代入すれば、

$$\begin{aligned} \mathbf{I}'' &= \mathbf{Y}_d'' \mathbf{V}'' \\ \mathbf{I}_d'' &= [I_1, I_3, I_4]', \quad \mathbf{V}'' = [V_1, V_3, V_4]' \end{aligned} \quad (16)$$

$$\mathbf{Y}_d'' = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & -Y_{12} \\ Y_{12} & Y_{22} + Y'_{22} - Y_{12}'^2(Y_{2l} + Y'_{11})^{-1} & Y_{23} + Y'_{23} - Y_{12}'^2(Y_{2l} + Y'_{11})^{-1} \\ -Y_{12} & Y_{23} + Y'_{23} - Y_{12}'^2(Y_{2l} + Y'_{11})^{-1} & Y_{22} + Y'_{22} - Y_{12}'^2(Y_{2l} + Y'_{11})^{-1} \end{bmatrix} \quad (17)$$

となり、 \mathbf{Y}_d'' は式(8)の $\mathbf{Y}^{(1)}$ とは異なる。すなわち正相ポート1と同相ポート2とは電氣的には分離しているが、正相ポート1の電流は、もとの balun のみではなく、unbalun の部分の影響も受けている。

4. 多線条 balun および unbalun³⁾

前章までは balun と unbalun から対ダイプレクサを得る一般論を述べたが、実際の balun, unbalun の構成法、とくに多線条線路による構成法について述べる。

一般の n 線条線路の第 i 番目の導体は、大地との間に η_{ie} 、他の導体との間に $\eta_{41}, \dots, \eta_{in}$ のアドミタンスが存在するから、その特性アドミタンス行列の対角要素は、

$$\eta_{ii} = \eta_{ie} + \sum_{j=1}^n \eta_{ij} \quad (i \neq j) \quad (18)$$

したがって二線路線路，三線路線路の特性アドミタンス行列は，

$$\gamma_{II} = \begin{bmatrix} \eta_{11} & -\eta_{12} \\ -\eta_{12} & \eta_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{1e} + \eta_{12} & -\eta_{12} \\ -\eta_{12} & \eta_{2e} + \eta_{12} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\gamma_{III} = \begin{bmatrix} \eta_{11} & -\eta_{12} & -\eta_{13} \\ -\eta_{12} & \eta_{22} & -\eta_{23} \\ -\eta_{13} & -\eta_{23} & \eta_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{1e} + \eta_{12} + \eta_{13} & -\eta_{12} & -\eta_{13} \\ -\eta_{12} & \eta_{2e} + \eta_{12} + \eta_{23} & -\eta_{23} \\ -\eta_{13} & -\eta_{23} & \eta_{3e} + \eta_{13} + \eta_{23} \end{bmatrix} \quad (20)$$

4.1 二線路線路からなる balun, unbalun

二線路線路から作られる (1, 2) ポートは図 4 の (a), (b), (c) の三つの種類がある。図 4 の

(a) の回路のインピーダンス行列は，

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{12} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{13} & Z_{23} & Z_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \zeta_{11} \lambda^{-1} & \zeta_{11} s^{-1} & \zeta_{12} s^{-1} \\ \zeta_{11} s^{-1} & \zeta_{11} \lambda^{-1} & \zeta_{12} \lambda^{-1} \\ \zeta_{12} s^{-1} & \zeta_{12} \lambda^{-1} & \zeta_{22} \lambda^{-1} \end{bmatrix} \quad (21)$$

ただし $\zeta = \gamma l$, $\lambda = \tanh \gamma l = j \tan \beta l = j \Omega$, $s = \sinh \gamma l = j \sin \beta l$, γ, β は線路の伝搬定数及び位相定数, l は中心周波数で四分の一波長の線路長。

式 (21) よりアドミタンス行列 $\mathbf{Y} = \mathbf{Z}^{-1}$ の

(1, 1) 要素 Y_{11} は，

$$Y_{11} = (\lambda \zeta_{11})^{-1} \quad (22)$$

したがってポート 1 における影像アドミタンスは，

$$Z_{01} = (Z_{11} Y_{11}^{-1})^{\frac{1}{2}} = \zeta_{11} \quad (23)$$

となり，実数の定数であるから，ポート 1 からの伝送は全周波通過形である。また balun の条件式 (2) は，

$$\zeta_{11} = -\zeta_{12} = \zeta_{22} \quad (24)$$

これは $\zeta_{11}/\zeta_{12} > 0$ であるから満足することができない。すなわち balun にはなり得ない。unbalun 条件式 (3) は，

$$\zeta_{11} = \zeta_{12} = \zeta_{22} \quad (25)$$

となるが，これには $\eta_{1e} = \eta_{2e} = 0$ が必要である。しかしこれは物理的には構成不能である。

同様な考察を図 4 (b), (c) の回路について行なうと，(b) の方は (a) の場合と同様に， $Y_{01} = Y_{11}$ となり全周波通過形であるが，balun にはなり得ず，unbalun 条件は $\eta_{1e} = \eta_{2e} = 0$ である。(c) の方は unbalun 条件は $\eta_{1e} = \eta_{2e}$ となり，このとき $Y_{01} = 2Y_{1e}$ で全周波通過形となるが balun 条件は成立しない。これらをまとめて表 1 に示す。この表の回路 a, b, c は図 4 の回路の (a), (b), (c) に対応する。

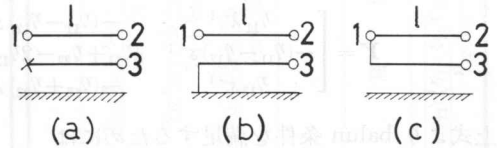


図 4 二線路線路で作られる (1, 2) ポート
Fig. 4. (1, 2) ports made of a 2-wire line.

表 1 二線条線路からなる balun, unbalun の特性

Table 1. Characteristics of balun and unbalun made of 2-wire line

回 路 別	a	b	c
回路の イ タ ン ス 行 列	$\begin{bmatrix} \zeta_{11} \lambda^{-1} & \zeta_{11} s^{-1} & \zeta_{12} s^{-1} \\ \zeta_{11} s^{-1} & \zeta_{11} \lambda^{-1} & \zeta_{12} \lambda^{-1} \\ \zeta_{12} s^{-1} & \zeta_{12} \lambda^{-1} & \zeta_{22} \lambda^{-1} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \eta_{11} \lambda^{-1} & -\eta_{11} s^{-1} & \eta_{12} s^{-1} \\ -\eta_{11} s^{-1} & \eta_{11} \lambda^{-1} & -\eta_{12} \lambda^{-1} \\ \eta_{12} s^{-1} & -\eta_{12} \lambda^{-1} & \eta_{22} \lambda^{-1} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} (\eta_{1e} + \eta_{2e}) \lambda^{-1} & -\eta_{1e} s^{-1} & -\eta_{2e} s^{-1} \\ -\eta_{1e} s^{-1} & \eta_{11} \lambda^{-1} & -\eta_{12} \lambda^{-1} \\ -\eta_{2e} s^{-1} & -\eta_{12} \lambda^{-1} & \eta_{22} \lambda^{-1} \end{bmatrix}$
実現可 能回路	unbalun	balun	unbalun
実 現 条 件	$\eta_{1e} = \eta_{2e} = 0$	$\eta_{1e} = \eta_{2e} = 0$	$\eta_{1e} = \eta_{2e}$
通過域	全 周 波	全 周 波	全 周 波

4.2 三線条線路からなる balun

三線条線路からは 31 種の (1, 2) ポート
が作れるが、そのうち全周波数帯で balun の
条件を満たすものが図 5 (a), (b), (c) の 3 種類
である。例えば 図 5 (a) の回路のアドミタ
ンス行列は、

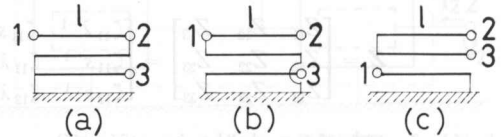


図 5 高域通過形三線条 balun

Fig. 5. 3-wire baluns of high-pass type.

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \eta_{11} \lambda^{-1} & -(\eta_{11} - \eta_{12}) s^{-1} & \eta_{13} s^{-1} \\ -(\eta_{11} - \eta_{12}) s^{-1} & (\eta_{11} + \eta_{22} - 2\eta_{12}) \lambda^{-1} & -(\eta_{13} + \eta_{22}) \lambda^{-1} \\ \eta_{13} s^{-1} & -(\eta_{13} + \eta_{22}) \lambda^{-1} & \eta_{33} \lambda^{-1} \end{bmatrix} \quad (26)$$

上式より balun 条件を満足するためには

$$\eta_{13} = \eta_{11} - \eta_{12}, \quad \eta_{33} = \eta_{11} + \eta_{22} - 2\eta_{12} \quad (27)$$

式 (18) を用いれば、

$$\eta_{1e} = 0, \quad \eta_{2e} = \eta_{3e} \quad (28)$$

また式 (26) より、

$$Z_{11} = \frac{\lambda(\zeta_{11} + \zeta_{22} - 2\zeta_{12})}{1 + \lambda^2 \{\eta_{11}(\zeta_{11} + \zeta_{22} - 2\zeta_{12}) - 1\}} \quad (29)$$

$$\therefore Z_{01} = \sqrt{Z_{11} Y_{11}^{-1}} = \lambda \sqrt{\frac{\zeta_{11} + \zeta_{22} - 2\zeta_{12}}{\eta_{11} [1 + \lambda^2 \{\eta_{11}(\zeta_{11} + \zeta_{22} - 2\zeta_{12}) - 1\}]}} \quad (30)$$

したがってポート 1 からの伝送は高域通過形で、しゃ断周波数は、

$$\Omega_c^{-2} = \eta_{11}(\zeta_{11} + \zeta_{22} - 2\zeta_{12}) - 1 \quad (31)$$

図 5 (b), (c) の回路も同様な方法で解析でき、その結果を表 2 に示す。表 2 の回路 a, b, c は図 5 のそれらに相当する。

零周波で位相反転できるような多線条接続はあり得ないから、物理的に実現可能な低域通過や全周波通過形の多線条 balun はあり得ない。

表 2 三線条線路からなる balun の特性
Table 2. Characteristics of balun made of 3-wire line

回路種別	a	b
回路の アドミタンス 行列	$\begin{bmatrix} \eta_{11}\lambda^{-1} & -(\eta_{1e}+\eta_{13})s^{-1} & \eta_{13}s^{-1} \\ -(\eta_{1e}+\eta_{13})s^{-1} & (\eta_{11}+\eta_{22}-2\eta_{12})\lambda^{-1} & -(\eta_{13}+\eta_{23})\lambda^{-1} \\ \eta_{13}s^{-1} & -(\eta_{13}+\eta_{23})\lambda^{-1} & \eta_{33}\lambda^{-1} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} (\eta_{11}+\eta_{22}-2\eta_{12})\lambda^{-1} & -(\eta_{1e}+\eta_{13})s^{-1} & (\eta_{13}+\eta_{23})s^{-1} \\ -(\eta_{1e}+\eta_{13})s^{-1} & \eta_{11}\lambda^{-1} & -\eta_{13}\lambda^{-1} \\ (\eta_{13}+\eta_{23})s^{-1} & -\eta_{13}\lambda^{-1} & \eta_{33}\lambda^{-1} \end{bmatrix}$
条件	$\eta_{1e} = 0, \quad \eta_{2e} = \eta_{3e}$	$\eta_{1e} = \eta_{23}, \quad \eta_{12} = \eta_{3e}$
通過域	高域通過	高域通過
しゃ断周波数	$\frac{1}{\sqrt{\eta_{11}(\zeta_{11}+\zeta_{22}-2\zeta_{11})-1}}$	$\frac{1}{\sqrt{\zeta_{22}(\eta_{11}+\eta_{22}-2\eta_{12})}}$
回路種別	c	
回路の アドミタンス 行列	$\begin{bmatrix} \left\{ \eta_{11} - \frac{(\eta_{12}+\eta_{13})^2}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} \right\} \lambda^{-1} & \frac{\eta_{12}(\eta_{33}-\eta_{23})-\eta_{13}(\eta_{22}-\eta_{23})}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} s^{-1} & -\frac{\eta_{12}(\eta_{33}-\eta_{23})-\eta_{13}(\eta_{22}-\eta_{23})}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} s^{-1} \\ \frac{\eta_{12}(\eta_{33}-\eta_{23})-\eta_{13}(\eta_{22}-\eta_{23})}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} s^{-1} & \frac{\eta_{22}\eta_{33}-\eta_{23}^2+(\eta_{22}-\eta_{23})^2\lambda^2}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} \lambda^{-1} & -\frac{\eta_{22}\eta_{33}-\eta_{23}^2+(\eta_{22}-\eta_{23})(\eta_{33}-\eta_{23})\lambda^2}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} \lambda^{-1} \\ -\frac{\eta_{12}(\eta_{33}-\eta_{23})-\eta_{13}(\eta_{22}-\eta_{23})}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} s^{-1} & -\frac{\eta_{22}\eta_{33}-\eta_{23}^2+(\eta_{22}-\eta_{23})(\eta_{33}-\eta_{23})\lambda^2}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} \lambda^{-1} & \frac{\eta_{22}\eta_{33}-\eta_{23}^2+(\eta_{33}-\eta_{23})^2\lambda^2}{\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23}} \lambda^{-1} \end{bmatrix}$	
条件	$\eta_{22} = \eta_{33}$	
通過域	高域通過	
しゃ断周波数	$\frac{\sqrt{(\eta_{22}+\eta_{33}-2\eta_{23})\{\eta_{11}(\eta_{22}\eta_{33}-\eta_{23}^2)-(\eta_{22}\eta_{13}^2+\eta_{33}\eta_{12}^2+2\eta_{12}\eta_{13}\eta_{23})\}}}{\eta_{12}(\eta_{33}-\eta_{23})-\eta_{13}(\eta_{22}-\eta_{23})}$	

4.3 三線条線路からなる unbalun

balun の構成と同様な方法により, unbalun を三線条線路で構成すると, 次のものが得られる。

- a. 全周波通過形のもの: 図 6(a), (b)。これらは図 4(c) の二線条 balun と等価である。

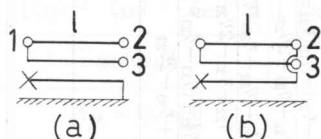


図 6 全周波通過形三線条 unbalun

Fig. 6. 3-wire unbaluns of all-pass type.

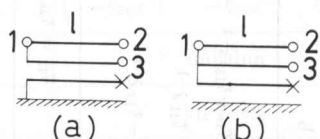


図 7 低域通過形三線条 unbalun

Fig. 7. 3-wire unbaluns of low-pass type.

- b. 低域通過形のもの: 図 7(a), (b)。これらの影像イミタンスはポート 1 側で π 端的, ポート 2, 3 側のそれは T 端的である。

- c. 高域通過形のもの: 図 8(a)~(e) の 5 種。

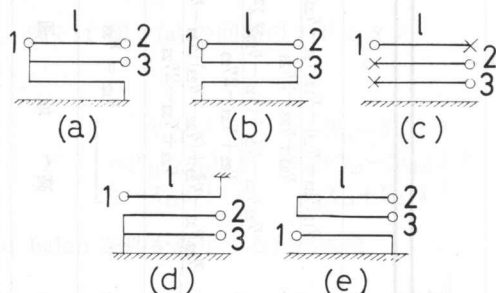


図 8 高域通過形三線条 unbalun

Fig. 8. 3-wire unbaluns of high-pass type.

以上挙げたように三線条線路でも unbalun は各種作り得るが, 構造の簡単な二線条線路でも全周波通過形の unbalun が得られるから, 本論文の対ダイプレクサーの unbalun には二線条線路のものをを用いる。

5. 対ダイプレクサーの代表例

前章で挙げたように, unbalun としては図 4(c) の二線条線路で, balun としては図 5(a), (b), (c) の三線条線路で実現可能である。したがってこれらを組み合わせて図 9(a), (b) の 2 種の対ダイプレクサーを構成し得る。図 5(c) の balun は表 2 から分るように通過域の中央 ($\beta l = \pi/2$) で出力ポートが短絡されるから, ダイプレクサーの balun としては適さな

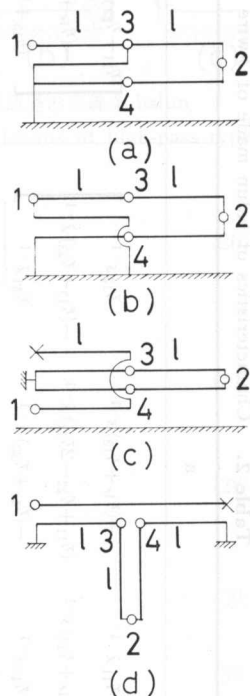


図 9 対ダイプレクサーの代表例

- (a) MWD-A
(b) MWD-B
(c) Alford ハイブリッド
(d) Tatsuguchi ハイブリッド

Fig. 9. Typical pair duplexers:

- (a) MWD-A
(b) MWD-B
(c) Alford hybrid
(d) Tatsuguchi hybrid

い。図9(a)の回路を永井¹⁾は MWD-A と名付けたので図9(b)の回路を永井氏の了解の下に MWD-B と名付ける。MWD は multiwire line diplexer の略である。なお既に Alford⁴⁾ および Tatsuguchi⁵⁾ はそれぞれ図9(c), (d) のダイプレクサーを提案しているが、これらは balun 部を四線条線路で構成したもので、図9(a), (b)の回路より構造が複雑な対ダイプレクサーであり、本論文では取り扱わない。Alford, Tatsuguchi のハイブリッド回路については森田ら^{6),7)}の研究がある。

6. 位相反転形ハイブリッド・リングと MWD-B

ダイプレクサーでは入力ポート1(正相), 2(同相)と出力ポート3, 4ははっきり区別されていて、入力ポート間では電気的分離が成り立つが、出力ポート間の電気的分離については成り立つとは限らない。これに対して双方向ハイブリッド回路、たとえば位相反転形ハイブリッド・リング^{8),9)}では、ポート1, 2とポート3, 4を取り換えても同じように働き、ポート1, 2間と同様にポート3, 4間も電気的に分離される。したがって双方向ハイブリッド回路^{10),11)}は出力ポート間の分離も成立しなければならず、そのため回路を構成する線路定数に課せられる条件は通常のダイプレクサーのそれよりきびしくなる。

双方向ハイブリッド回路の一例として、理想位相反転形ハイブリッド・リング(図10)をとる。そのループの各辺は長さ l 、特性アドミタンス Y_0 の同軸線路からなり、その四辺のうち一辺(ポート1, 3間)は位相反転のための理想変成器を含む。このループ回路をポート3, 4で切り離すと、ループの左上半分は balun, 右下半分は unbalun になる。この balun 部と unbalun 部とを図11(a), (b), のように図4(c)の二線条線路と理想変成器で作ったとし、おののを構成する線路の特性アドミタンス行列を、

$$\gamma_b = \begin{bmatrix} \eta_{11} & -\eta_{12} \\ -\eta_{12} & \eta_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{1e} + \eta_{12} & -\eta_{12} \\ -\eta_{12} & \eta_{1e} + \eta_{12} \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$\gamma_u = \begin{bmatrix} \eta'_{11} & -\eta'_{12} \\ -\eta'_{12} & \eta'_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta'_{1e} + \eta'_{12} & -\eta'_{12} \\ -\eta'_{12} & \eta'_{1e} + \eta'_{12} \end{bmatrix} \quad (33)$$

とすると、おののの回路の伝送特性は、

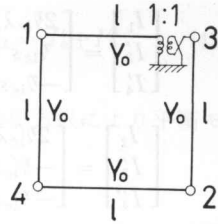
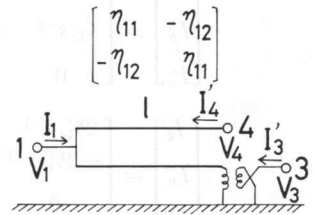
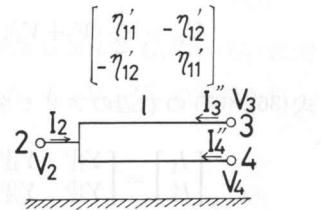


図10 理想位相反転形ハイブリッド・リング

Fig. 10. Ideal reverse-phase hybrid ring.



(a) balun



(b) unbalun

図11 理想位相反転形ハイブリッド・リングの balun 部および unbalun 部

Fig. 11. Balun part and unbalun part of ideal reverse-phase hybrid ring.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_3' \\ I_4' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\eta_{1e}\lambda^{-1} & \eta_{1e}s^{-1} & -\eta_{1e}s^{-1} \\ \eta_{1e}s^{-1} & \eta_{11}\lambda^{-1} & \eta_{12}\lambda^{-1} \\ -\eta_{1e}s^{-1} & \eta_{12}\lambda^{-1} & \eta_{11}\lambda^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_3' \\ V_4' \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ I_3'' \\ I_4'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\eta_{1e}'\lambda^{-1} & -\eta_{1e}'s^{-1} & -\eta_{1e}'s^{-1} \\ -\eta_{1e}'s^{-1} & \eta_{11}'\lambda^{-1} & -\eta_{12}'\lambda^{-1} \\ -\eta_{1e}'s^{-1} & -\eta_{12}'\lambda^{-1} & \eta_{11}'\lambda^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (35)$$

式 (34), (35) で $V_3' = V_3$, $V_4' = V_4$ とおき, 3, 4 ポートの電流, 電圧を平衡分, 不平衡分で表わすと,

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_b' \\ I_u' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\eta_{1e}\lambda^{-1} & \eta_{1e}s^{-1} & 0 \\ \eta_{1e}s^{-1} & \frac{1}{2}\eta_{1e}\lambda^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 2(\eta_{1e}+2\eta_{12})\lambda^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_b \\ V_u \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ I_u'' \\ I_b'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2\eta_{1e}'\lambda^{-1} & -2\eta_{1e}'s^{-1} & 0 \\ -2\eta_{1e}'s^{-1} & 2\eta_{1e}'\lambda^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2}(\eta_{1e}'+2\eta_{12}')\lambda^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_u \\ V_b \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$\left. \begin{aligned} I_b' &= \frac{1}{2}(I_3' - I_4'), & I_u' &= I_3' + I_4', & V_b &= V_3 - V_4 \\ V_u &= \frac{1}{2}(V_3 + V_4), & I_b'' &= \frac{1}{2}(I_3'' - I_4''), & I_u'' &= I_3'' + I_4'' \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

式 (36), (37) の右辺のアドミタンス行列の左上隅の 2 行 2 列を取り出すと,

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11}^{(1)} & Y_{12}^{(1)} \\ Y_{12}^{(1)} & Y_{22}^{(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_b \end{bmatrix} = \mathbf{Y}^{(1)} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_b \end{bmatrix} \quad (39)$$

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ I_u'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11}^{(2)} & Y_{12}^{(2)} \\ Y_{12}^{(2)} & Y_{22}^{(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_u \end{bmatrix} = \mathbf{Y}^{(2)} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_u \end{bmatrix} \quad (40)$$

式 (39), (40) より $\det \mathbf{Y}^{(1)}$, $\det \mathbf{Y}^{(2)}$ はそれぞれ η_{1e}^2 , $\eta_{1e}'^2$ となる。また $\mathbf{Y}^{(1)}$, $\mathbf{Y}^{(2)}$ の逆行列 $\mathbf{Z}^{(1)}$, $\mathbf{Z}^{(2)}$ の (1, 1) 要素 $Z_{11}^{(1)}$, $Z_{11}^{(2)}$ を求めると, 正相ポート 1 および同相ポート 2 における影像アドミタンスは,

$$Y_{01} = \sqrt{\frac{Y_{11}^{(1)}}{Z_{11}^{(1)}}} = 2\eta_{1e}, \quad Y_{02} = \sqrt{\frac{Y_{11}^{(2)}}{Z_{11}^{(2)}}} = 2\eta_{1e}' \quad (41)$$

すなわち Y_{01} , Y_{02} は周波数に無関係であり, ポート 1 および 2 からの伝送特性は全周波通過形である。

次に図 11 の (a) と (b) を組み合わせて位相反転形ハイブリッド・リングを構成し, 中心周波数 ($\beta l = \pi/2$) でポート 3, 4 における平衡, 不平衡両モードの影像アドミタンス $Y_{0b}(f_0)$, $Y_{0u}(f_0)$ を求める。この場合ポート 3, 4 に流入する電流は式 (34), (35) で $I_3 + I_3'$, $I_4 + I_4'$ であり, これを式 (36), (37) の I_b' , I_b'' に代入すれば, 正相ポート 1 と仮定の平衡ポート B 間の伝送は,

$$\begin{bmatrix} I_b \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(\eta_{1e} + \eta'_{1e} + 2\eta'_{12})\lambda^{-1} & \eta_{1e}s^{-1} \\ \eta_{1e}s^{-1} & 2\eta_{1e}\lambda^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_b \\ V_1 \end{bmatrix} = \mathbf{Y}_b \begin{bmatrix} V_b \\ V_1 \end{bmatrix}, \quad I_b = I'_b + I''_b \quad (42)$$

\mathbf{Y}_b の (1, 1) 要素と, \mathbf{Y}_b の逆行列 \mathbf{Z}_b の (1, 1) 要素の比をとり, この平方根により平衡モードの影像アドミタンス Y_{0b} が求められる。

$$Y_{0b} = \frac{1}{2} \sqrt{(\eta_{1e} + \eta'_{1e} + 2\eta'_{12}) \{(\eta'_{1e} + 2\eta'_{12})\lambda^{-2} + \eta_{1e}\}} \quad (43)$$

中心周波数では $\lambda^{-2}=0$, $s^{-2}=-1$ であるから,

$$Y_{0b}(f_0) = \frac{1}{2} \sqrt{\eta_{1e}(\eta_{1e} + \eta'_{1e} + 2\eta'_{12})} \quad (44)$$

同様に不平衡モードの影像アドミタンス Y_{0u} は,

$$Y_{0u} = 2\sqrt{\eta_{1e} + 2\eta_{12} + \eta'_{1e}} \{(\eta_{1e} + 2\eta_{12})\lambda^{-2} + \eta'_{1e}\} \quad (45)$$

これよりしゃ断周波数が等しくなる条件は,

$$\eta_{1e}(\eta_{1e} + 2\eta_{12}) = \eta'_{1e}(\eta'_{1e} + 2\eta'_{12}) \quad (46)$$

中心周波数では,

$$Y_{0u}(f_0) = 2\sqrt{\eta'_{1e}(\eta_{1e} + \eta'_{1e} + 2\eta'_{12})} \quad (47)$$

次にポート 3, 4 における分離された二つの等しい終端アドミタンス $G_3, G_4 (G_3=G_4)$ に對して, 中心周波数で整合が成り立つためには式 (12) で示される I_b, I_u, V_b, V_u の定義から, $I_u V_u^{-1} = 4I_b V_b^{-1}$ が満足されねばならない。ゆえに,

$$Y_{0u}(f_0) = 4Y_{0b}(f_0) \quad (48)$$

この式に式 (44), (47) を代入すると,

$$\eta_{1e}(\eta_{1e} + 2\eta'_{12}) = \eta'_{1e}(\eta'_{1e} + 2\eta_{12}) \quad (49)$$

式 (46) は平衡, 不平衡モードの伝送のしゃ断点を等しくする条件であり, 式 (48) は分離された等しい終端アドミタンスに対して, 両モードとも整合が達成されるための条件である。これらの二つの条件を満足させるためには,

$$\eta_{1e} = \eta'_{1e}, \quad \eta_{12} = \eta'_{12} \quad (50)$$

が必要十分条件となる。 $\eta_{12}=\eta'_{12}=0$, すなわち線路の結合を失った場合には, 考えている回路は理想位相反転形ハイブリッド・リングに帰着し, 両モードのしゃ断点は $\Omega_{cb}=\Omega_{cu}=\Omega_c=\pm 1$ となり, しゃ断電気角は $45^\circ, 135^\circ$ となる。二線条線路のように線路間に結合があり, η_{12}, η'_{12} が正值であれば $|\Omega_c|>1$ となり通過域は狭くなる。

図 10 の理想位相反転形ハイブリッド・リングは理想変成器を含むので現実的ではないが, ポート 1, 3 と大地との間に分路分布インダクタンスの存在を許せば, その balun 部は図 5(b)

の三線条 balun で表わすことができる。図 12(a) は図 5(b) と同じでポートの名称のみを変えたものであり、線路の特性アドミタンスは図 5(b) と同じである。この回路において、

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\eta_{1e} + \eta_{2e} + \eta_{13} + \eta_{23}) \lambda^{-1} & (\eta_{13} + \eta_{23}) s^{-1} & -(\eta_{1e} + \eta_{13}) s^{-1} \\ (\eta_{13} + \eta_{23}) s^{-1} & \eta_{33} \lambda^{-1} & -\eta_{13} \lambda^{-1} \\ -(\eta_{1e} + \eta_{13}) s^{-1} & -\eta_{13} \lambda^{-1} & (\eta_{1e} + \eta_{12} + \eta_{13}) \lambda^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \mathbf{YV} \quad (51)$$

もし $\eta_{12} = \eta_{13} = 0$ (すなわち線路 I と他の二本の線路との結合をなくする) とするならば、

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} (\eta_{1e} + \eta_{2e} + \eta_{23}) \lambda^{-1} & \eta_{23} s^{-1} & -\eta_{1e} s^{-1} \\ \eta_{23} s^{-1} & \eta_{33} \lambda^{-1} & 0 \\ -\eta_{1e} s^{-1} & 0 & \eta_{1e} \lambda^{-1} \end{bmatrix} \quad (52)$$

となり、図 12(a) の等価回路は図 12(b) のようになる。さらに理想位相反転形ハイブリッド・リングの逆相辺に近づけるためには η_{2e} , η_{3e} を極力小さくしなければならない。

上述のように位相反転形ハイブリッド・リングは図 4(c) の二線条線路からなる unbalun と、図 5(b) の三線条線路からなる balun を組み合わせて構成できるが、この組み合わせは図 9(b) の MWD-B であり、結局理想位相反転形ハイブリッド・リングは、MWD-B において balun 部の三線条線路で $\eta_{12} = \eta_{13} = 0$ (第一の線路を他の二本の線路からしゃ蔽する), $\eta_{2e} = \eta_{3e} = 0$ (第二, 第三の線路を接地板から離す) とした上で、unbalun 部の二線条線路の線間容量を極限的に零にする理想の場合である。そのとき帯域幅は前述の通り、電気角で $135^\circ - 45^\circ = 90^\circ$ であり、中心周波数における電気角 90° と比較して、比帯域幅は 100% に近づく。理想 MWD-B の実現形の一例を図 13 に示す。

7. 対ダイプレクサーの広帯域化

図 9(a) の対ダイプレクサー MWD-A は永井¹⁾により研究されている。氏はポート 3, 4 に等しい抵抗 $R_3 = R_4$ で終端したとき、中心周波数 ($\beta l = \pi/2$) でのポート 1, 2 の入力インピーダンスに合わせて、ポート 1, 2 の終端抵抗 R_1, R_2 をきめている。しかしこの入力インピーダンスが中心周波数における影像インピ

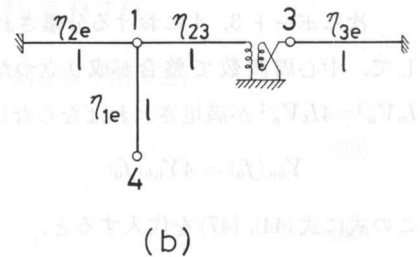
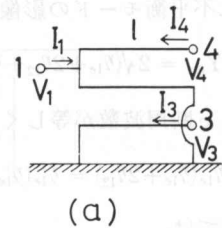


図 12 MWD-B の逆相辺とその等価回路
Fig. 12. Reverse-phase side of MWD-B and its equivalent circuit.

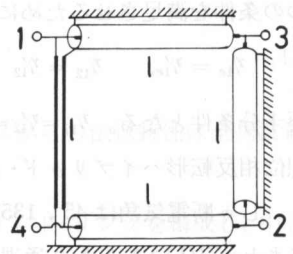


図 13 理想 MWD-B の実現形の例
Fig. 13. Example of a realization of the ideal MWD-B.

ードダンス（厳密に言えば中心周波数では影像インピーダンスは不定であり，中心周波数における極限值のこと）に等しいとは限らない。影像イミタンス終端により中心周波数近傍の整合の改善を図ることができる。

分離された等しい抵抗 R_3, R_4 に対して平衡，不平衡の両モードとも整合させるためには，ポート 3, 4 における不平衡モードの影像アドミタンス Y_{0u} が平衡モードのそれ Y_{0b} の 4 倍になればよい。このことは式 (48) に示してある。このことが中心周波数で達成されれば，入力ポートの反射係数の周波数特性は中心周波数の近傍で最大平坦特性となる。

ダイプレクサー MWD-A の balun 部を構成する三線条線路において，永井が仮定したように第二線を他の線路と無結合にし，かつ第三線が第一線を取り巻くようにする（図 14）と，その特性アドミタンス行列 η_{III} は，

$$\eta_{1e} = \eta_{12} = \eta_{23} = 0 \quad (53)$$

の性質を有する。この回路に対する balun 条件 ($\eta_{1e}=0, \eta_{2e}=\eta_{3e}$) を代入して balun 部のアドミタンス行列を求め，ポート 1 からの平衡モード出力への伝送特性が決定する。この計算については第 6 章の式 (42) を誘導した方法と全く同様であるから省略する。また unbalun 部も第 6 章の式 (40) と全く同様である。これらを用いてポート 3, 4 における平衡，不平衡両モードに対する影像アドミタンス Y_{0b}, Y_{0u} は第 6 章の式 (43), (45) と全く同様な方法で求められ，

$$Y_{0b} = \frac{1}{2} \sqrt{(2\eta_{13} + \eta_{2e} + \eta'_{1e} + 2\eta'_{12}) \{ (\eta_{2e} + \eta'_{1e} + 2\eta'_{12}) \lambda^{-2} + 2\eta_{13} \}} \quad (54)$$

$$Y_{0u} = 2\sqrt{(\eta_{2e} + \eta'_{1e})(\eta_{2e} \lambda^{-2} + \eta'_{1e})} \quad (55)$$

中心周波数 f_0 では式 (54), (55) の値は不定であるが極限值は存在し，

$$Y_{0b}(f_0) = \sqrt{\frac{1}{2} \eta_{13}(\eta_{2e} + 2\eta_{13} + \eta'_{1e} + 2\eta'_{12})} \quad (56)$$

$$Y_{0u}(f_0) = 2\sqrt{\eta'_{1e}(\eta'_{1e} + \eta_{2e})} \quad (57)$$

ここで線路パラメータ η_{ij} のうち，強勢符を有しないものは balun 部のもの，強勢符を有するものは unbalun 部のものである。分離した終端抵抗に対して整合のとれる条件 $Y_{0u} = 4Y_{0b}$ を満足させるには，

$$\eta'_{1e}(\eta'_{1e} + \eta_{2e}) = 2\eta_{13}(\eta_{2e} + \eta'_{1e} + 2\eta_{13} + 2\eta'_{12}) \quad (58)$$

仮に $\eta'_{1e}, \eta_{2e}, \eta'_{12}$ を与えると η_{13} は式 (58) を解いて求められ，回路設計が決定される。

対ダイプレクサーの広帯域化を図るために入力ポートにおける影像イミタンスにより決定されるシャ断周波数を考察する。MWD-A については正相ポート 1 からの平衡伝送系および同相ポート 2 からの不平衡伝送系は式 (54), (55) からともに高域通過形であり，シャ断周波数も

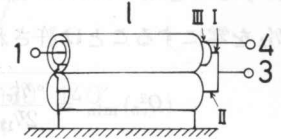


図 14 MWD-A の balun 部の実現形

Fig. 14. Realization of a balun part of MWD-A.

同じ式から次のように求められる。

$$\Omega_{cb}^2 = \frac{\eta_{2e} + \eta'_{1e} + \eta'_{12}}{2\eta_{13}} \quad (59)$$

$$\Omega_{cu}^2 = \frac{\eta_{2e}}{\eta'_{1e}} \quad (60)$$

平衡モードのしゃ断周波数を低くして広帯域化するため、式 (59) において η'_{12} , η'_{1e} をともに零にすることは unbalun 部の消失を意味するから許されない。しかし理想的な場合として η_{2e} , η'_{12} を零にすることは許され、そのとき Ω_{cb}^2 は最小値をとる。

$$(\Omega_{cb}^2)_{\min} = \frac{\eta'_{1e}}{2\eta_{13}} \quad (61)$$

このとき unbalun 部のしゃ断周波数 Ω_{cu} は零になり、全周波通過形になる。また同じ仮定のもとで整合終端の条件式 (58) は、

$$\eta_{1e}'^2 = 2\eta_{13}(\eta'_{1e} + 2\eta_{13}) \quad (62)$$

となる。この式から、

$$\frac{2\eta_{13}}{\eta'_{1e}} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0.618 \quad (63)$$

$$\therefore (\Omega_{cb}^2)_{\min} = \frac{\sqrt{5}+1}{2} = 1.618 \quad (64)$$

このとき同相ポート 2 からの不平衡伝送系は全周波通過形でかつ整合がとれているから、全周波で $\rho_2=0$ となるが、正相ポート 1 からの平衡伝送系は式 (64) より $51^\circ 47'$ および $128^\circ 13'$ にしゃ断電気角を有し、したがって通過比帯域幅は $(128^\circ 13' - 51^\circ 47')/90^\circ = 85(\%)$ となる。

このような極限に達するには、balun 条件 $\eta_{12}=\eta_{23}=0$, $\eta_{2e}=\eta_{3e}$, $\eta_{1e}=0$ と、 Ω_{cb} を最低にする条件 $\eta_{2e}(\eta_{3e})=\eta_{21}=0$ より、balun を構成する三線条線路の第二線を除き、第一線と第三線とが結合して大地（接地板）から十分離れていなければならない（これは大地との間に容量のない、理想的な結合二線条線路を意味する）。また unbalun を構成する二線条線路の線間結合がないように作らなければならないから、ダイプレクサーの回路は図 15 に示すようになる。そして balun 部の η_{13} と unbalun 部の η'_{1e} とは式 (63) で与えられる関係にとるべきである。

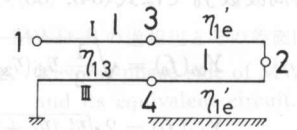


図 15 MWD-A の広帯域化の極限

Fig. 15. Limiting case of broad-banding of MWD-A.

図 16 に正相ポート 1 の反射係数 ρ_1 の電気角特性を示す。同相ポート 2 の反射係数 ρ_2 は常に零である。図 16 の a の特性は最大平坦であり、これは式 (63) の関係を満足している。 η_{13}/η'_{1e} を式 (63) で規定される値 0.309 より少し大きい値に選べば、 ρ_2 の特性は零のまま ρ_1 を二つの電気角で零にすることができる。図 16 の b, c は η_{13}/η'_{1e} の値を 0.4, 0.5 に選んだときの ρ_1 の電

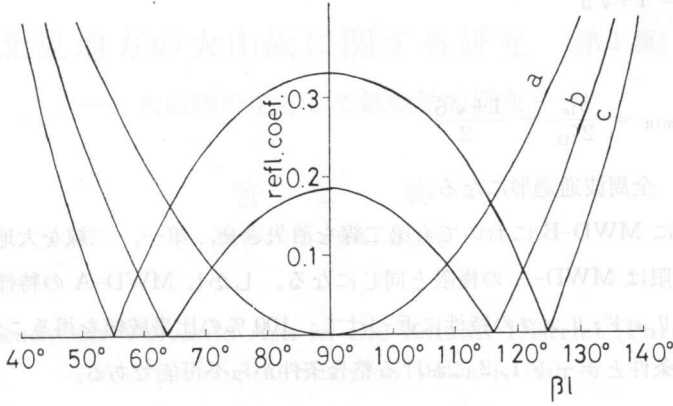


図 16 MWD-A の反射特性の限界

(a) $\eta_{13}/\eta'_{1e} = 0.309$ (b) $\eta_{13}/\eta'_{1e} = 0.4$ (c) $\eta_{13}/\eta'_{1e} = 0.5$

Fig. 16. Limiting reflection characteristics of MWD-A.

(a) $\eta_{13}/\eta'_{1e} = 0.309$ (b) $\eta_{13}/\eta'_{1e} = 0.4$ (c) $\eta_{13}/\eta'_{1e} = 0.5$

気角特性である。このとき不平衡モードに対して（全周波数で）完全整合となるように終端すると、平衡モードに対する終端アドミタンスは η_{13}/η'_{1e} の値が 0.309, 0.4, 0.5 に対してそれぞれ 90° , 63° , 55° で平衡モードの影象アドミタンスと一致し、 ρ_1 はこれらの点で零になる。これは図 16 に示す通りである。もし反射係数を 33% まで許すなら、図 19 の a, b, c に対する有用比帯域幅は $\eta'_{1e}/2\eta_{13}$ の値が 0.309, 0.4, 0.5 に対してそれぞれ 83%, 97%, 107% になり、中心周波数以外の周波数で整合をとったものの方が最大平坦特性のものより帯域幅が広がる。

MWD-B においても同様な考察を行なうと、

$$Y_{0b}^2 = \frac{1}{4} \frac{\eta_{33} + \eta_{13} + \eta'_{11} + \eta'_{12}}{\eta_{1e} + \eta_{2e} + \eta_{13} + \eta_{23}} \left[2(\eta_{13} + \eta_{23})^2 + \left\{ (\eta_{33} + \eta_{13} + \eta'_{11} + \eta'_{12})(\eta_{1e} + \eta_{2e} + \eta_{13} + \eta_{23}) - 2(\eta_{13} + \eta_{23})^2 \right\} \lambda^{-2} \right] \quad (65)$$

$$\therefore \Omega_{cb}^2 = \frac{(\eta_{33} + \eta_{13} + \eta'_{11} + \eta'_{12})(\eta_{1e} + \eta_{2e} + \eta_{13} + \eta_{23})}{2(\eta_{13} + \eta_{23})^2} - 1 \quad (66)$$

$$Y_{0u}^2 = 4(\eta_{3e} + \eta_{23} + \eta'_{1e}) \left\{ (\eta_{3e} + \eta_{23}) \lambda^{-2} + \eta'_{1e} \right\} \quad (67)$$

$$\therefore \Omega_{cu}^2 = \frac{\eta_{3e} + \eta_{23}}{\eta'_{1e}} \quad (68)$$

整合条件 $Y_{0u} = 4Y_{0b}$ を中心周波数で適用して、

$$\eta'_{1e}(\eta_{3e} + \eta_{23} + \eta'_{1e})(\eta_{1e} + \eta_{2e} + \eta_{13} + \eta_{23}) = 2(\eta_{13} + \eta_{23})^2(\eta_{33} + \eta'_{11} + \eta_{13} + \eta'_{12}) \quad (69)$$

MWD-A の場合と同様に balun 部の第二線を消失させ、第一、三線を大地から十分に分離し ($\eta_{2e} = \eta_{12} = \eta_{23} = \eta_{1e} = \eta_{2e} = 0$)、さらに unbalun 部の第一、二線間の結合を消失させる ($\eta'_{12} = 0$) と整合条件から、

$$\frac{\eta'_{1e}}{\eta_{13}} = 1 + \sqrt{5} \quad (70)$$

しや断周波数は

$$(\Omega_{cb}^2)_{\min} = \frac{\eta'_{1e}}{2\eta_{13}} = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad (71)$$

Ω_{cu} は零となり、全周波通過形になる。

以上のように MWD-B においても第二線を消失させ、第一、三線を大地から十分に分離すると、その極限は MWD-A の極限と同じになる。しかし MWD-A の特性の極限を理想位相反転形ハイブリッド・リングの特性に近づけて、100% の比帯域幅を得ることは、式 (59) のしや断周波数の条件とポート 1, 2 における整合条件から不可能である。

8. む す び

対ダイプレクサーの構成および動作の原理を述べ、それを構成する balun と unbalun の諸回路を挙げ、対ダイプレクサーの代表として MWD-A のほか、二、三の回路を例示した。MWD-A および MWD-B については線路定数の選び方によって種々の特性のものが得られるが、広帯域化を目指して線路定数を選んだとき、どこまで広帯域化が達成できるかを調べた。その結果 MWD-A でも MWD-B でも、同相ポートを全周波数で整合させたとき、平衡モードの比帯域幅は 85% となる。また MWD-B を位相反転形ハイブリッド・リングに近付けるときは、平衡、不平衡モードのしや断周波数を一致させることができ、比帯域幅を 100% にすることができる。

Alford や Tatsuguchi のハイブリッド回路についての研究は今後に待たれる。

謝 辞

最後に本研究に対して日頃より絶えず御指導、御鞭撻を賜わっている本学学長松本秋男先生に心から感謝の意を表します。

文 献

- 1) 永井信夫：学位論文，北海道大学 (1971)。
- 2) 永井信夫・松本秋男：電子通信学会論文誌，**51-A**, 03, 89 (1968)。
- 3) N. Nagai, A. Matsumoto：応用電気研究所報告，**22**, 24 (1970)。
- 4) A. Alford, C. B. Watts：IRE Nat. Conv. Rec. pt. 1, 171 (1956)。
- 5) I. Tatsuguchi：IRE Trans. **MTT-9**, 3 (1961)。
- 6) 森田 理・永井信夫・羽鳥孝三：電子通信学会昭和 45 年度全国大会，523 (1970)。
- 7) 森田 理・永井信夫・羽鳥孝三：電子通信学会マイクロ波研究会，MW 70-65 (1971)。
- 8) W. Tyminski：Pro. IRE **41**, 181 (1953)。
- 9) S. March：IEEE Trans. **MTT-16**, 361 (1968)。
- 10) 田森道敏・松本秋男：応用電気研究所報告，**22**, 1 (1970)。
- 11) 品田雄治・松本秋男：テレビジョン学会誌，**26**, 01, 47 (1972)。