同軸線路と二重同軸線路とで構成されるハイブリッド回路

北海道大学 応用電気研究所 永井 信夫
小野 幸次郎

ハイブリッド回路 (3 dB 方向性結合器) は、テレビをはじめ多方面で利用されている。分布定数ハイブリッド回路はいくつかのものが知られているが、ここではコリニアバルンと2本の同軸線路とでハイブリッド回路を構成した。特性はきわめて広帯域であり、理論と実験結果はほぼ一致することを確認した。実験は 150 MHz を中心に行なったが、UHF テレビにも容易に使用することができようし、もっと高い周波数にもこの設計法は役立つ。

1. ま え が き

テレビ放送においては、現在多重給電装置の開発が急務となっている。多重給電装置を構成するときは、一般に広帯域ハイブリッド回路が必要である。

同軸系のハイブリッド回路としては、スロットドブリッジ、ラットレース、ハイブリッドリングなどが従来使用されているが¹⁾、帯域がきわめて狭いという欠点がある。帯域の広いものとして、広帯域多線条線路ハイブリッドリングの報告があったが²⁾、設計が少々むずかしい点もある。ここでは構造上作りやすく、しかも帯域を相当広くとることができるハイブリッド回路について、理論および実験結果を報告する。

2. 広帯域多線条線路対ダイプレクサー

この論文で述べるハイブリッド回路は、アルフォードハイブリッド³⁾に似ている。アルフォードハイブリッドは、図1に示す回路であり、図からわかるように、左半分がバルン (平衡不平衡変換回路)⁴⁾であり、右半分は不平衡不平衡変換回路⁵⁾ (アンバルンということにする) であ

図1 アルフォードハイブリッド
Diagram of Alford hybrid.

る。文献3)では、バルンのみの整合、およびアンバルンのみの整合を考え、バルンとアンバルンとを組合せても、整合および特性は個々のものと変わらないと考えた。

しかし、アドミッタンス行列でアルフォードハイブリッドを解析すれば、その周波数特性は、個々のそれと少々異なることを本文で明らかにする。

文献6)に広帯域多線条線路対ダイプレクサー (以下WMDと略記する) について述べてあるが、WMDの一例にアルフォードハイブリッドが含まれる。この章ではWMDの定義、動作および解析法について簡単に述べ、次章以下にアルフォードハイブリッドよりも構造が簡単なWMD-Aの解析および実験結果を述べる。

2.1 WMDの定義および動作

4ポートでアドミッタンス行列が次のように与えられる無損失回路をWMDと定義する。

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_4 \\ I_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & 0 & Y_{13} & -Y_{13} \\ 0 & Y_{22} & Y_{23} & Y_{23} \\ Y_{13} & Y_{23} & Y_{33} & Y_{34} \\ -Y_{13} & Y_{23} & Y_{34} & Y_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここに Y_{11} , Y_{22} , Y_{33} は λ のリアクタンス関数,

Y_{13} , Y_{23} は因数 $\sqrt{1-\lambda^2}$ を必ずもつ

$$\lambda = \tanh \gamma l = j \tan \beta l = j \tan \theta$$

(γ : 伝搬定数, l : 線路長, β : 位相定数, θ : 電気角)。

WMDは全周波数で次に述べる4つの動作をする。

ただし、ポート[3]と[4]のインピーダンスは等しいとする。

M1) [1]から入った波は[3], [4]へは逆位相 (平

"Hybrid Network made up with a Double Coaxial Line and Three Coaxial Lines" by Nobuo Nagai and Kojiro Ono (The Research Institute of Applied Electricity, Hokkaido University, Sapporo)

平衡状態とも考える)で出るが〔2〕へは出ない。

M2)〔2〕から入った波は〔3〕,〔4〕へは同位相(不平衡状態とも考える)で出るが〔1〕へは出ない。

M3)〔3〕,〔4〕から逆位相(平衡状態でもよい)で入った波は〔1〕へは出るが〔2〕へは出ない。

M4)〔3〕,〔4〕から同位相(不平衡状態でもよい)で入った波は〔2〕へは出るが〔1〕へは出ない。

WMD は全周波数で上に述べた動作をする。しかし動作 M1), M2) の場合, ポート〔1〕あるいは〔2〕で完全整合の周波数以外の波は反射が起こっているから, 周波数特性を求めなければならない。WMD は特殊なものを除いて直流を全反射する。

2.2 WMD の解析

(1) 式で与えられる WMD のポート〔3〕および〔4〕に同じ値のコンダクタンス G_3 (G_3 は純コンダクタンスでも虚部をもつアドミッタンスでもかまわない) を負荷接続し, ポート〔1〕からみた入力アドミッタンスを求めると,

$$(Y_1)_{in} = \frac{I_1}{V_1} = \frac{Y_{11}(G_3 + Y_{33} - Y_{34}) - 2Y_{13}^2}{G_3 + Y_{33} - Y_{34}} \quad (2)$$

となり, 端子〔2〕,〔3〕,〔4〕の電圧は,

$$\frac{V_2}{V_1} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{V_3}{V_1} = -\frac{V_4}{V_1} = \frac{-Y_{13}}{G_3 + Y_{33} - Y_{34}} \quad (4)$$

となる。上式からポート〔1〕からの入力は端子〔2〕には電力は給電されず, 端子〔3〕,〔4〕の電圧は逆位相になっていることがわかる。

ポート〔3〕および〔4〕に同じ値のコンダクタンス G_4 (G_4 は純コンダクタンスでも虚部をもつアドミッタンスでもかまわない) を負荷接続して, ポート〔2〕からみた入力アドミッタンスを求めると,

$$(Y_2)_{in} = \frac{I_2}{V_2} = \frac{Y_{22}(G_4 + Y_{33} + Y_{34}) - 2Y_{23}^2}{G_4 + Y_{33} + Y_{34}} \quad (5)$$

となり, 端子〔1〕,〔3〕,〔4〕の電圧は,

$$\frac{V_1}{V_2} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{V_4}{V_2} = \frac{-Y_{23}}{G_4 + Y_{33} + Y_{34}} \quad (7)$$

となる。

上式からポート〔2〕からの入力は端子〔1〕には電力は給電されず, 端子〔3〕,〔4〕の電圧は同位相になっていることがわかる。

WMD の Y_{11} などは, 多線条回路の理論で求まるから, アルフォードハイブリッドを含めた, WMD の全周波数の特性は理論的に求めることができる。

3. WMD-A のアドミッタンス行列

(1) 式を満足する回路をすべて WMD というのであるから, WMD はいろいろの構造の異なるものを含んでおり, そのひとつにアルフォードハイブリッドが入る。WMD は, パルンとアンパルンを組合せると構成される。

パルンとしては分割同軸形パルン, フォルデットパルン, コリニアパルン, インバーテッドパルンなどが知られているが, WMD を構成するときは, どのパルンを用いてもよく, それぞれ特徴のある WMD が得られるであろう。したがって, パルンに何を使用したかの違いだけでも, いくつかの WMD が構成される。

ここではパルンはコリニアパルンを, アンパルンは2本の同軸線路を用いて WMD を構成する。パルンにコリニアパルンを選んだのは, それが同軸線路と二重同軸線路のみでつくられているからである。このハイブリッド回路は図2に示すもので, これをとりあえず WMD-A⁷⁾ と名づけることにする。

WMD-A の4ポートアドミッタンス行列は, パルンとアンパルンそれぞれの3ポートアドミッタンス行列から求められる。

3.1 コリニアパルン

コリニアパルンは図3に示す回路であり, 全周波数でパルンになることは文献4)を参照して求めることがで

図2 広帯域多線条線路対ダイプレクサー (A) (WMD-A)
Diagram of wide-band double multiwires diplexer-A.

図 3 コリニアバルン
Diagram of colinear balun.

きる。線路 II と III との間の特性アドミッタンスを y_1 、線路 III と遮蔽導体および線路 I と遮蔽導体との間の特性アドミッタンスを等しくし、それを y_2 とすれば、コリニアバルンの 3 ポートアドミッタンス行列は文献 4) を参照して次のように求まる。

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_{b1} \\ I_{b2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{13} & -Y_{13} \\ Y_{13} & Y_{33} & Y_{34} \\ -Y_{13} & Y_{34} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_{b1} \\ V_{b2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Y_{11} = \frac{1}{\lambda} y_1, \quad Y_{13} = -\frac{1}{s} y_1 = \frac{-\sqrt{1-\lambda^2}}{\lambda} y_1$$

$$Y_{33} = \frac{1}{\lambda} (y_1 + y_2), \quad Y_{34} = -\frac{1}{\lambda} y_1$$

$$\text{ここに } s = \sinh \gamma l = \frac{\lambda}{\sqrt{1-\lambda^2}}$$

コリニアバルンの整合および、各周波数の特性の計算は、ある与えられた負荷抵抗についてのみ示されていたり、計算が非常に複雑であったりしているが⁷⁾、(8)式を用いれば入力インピーダンス、整合、各周波数の特性が簡単に求まる。

平衡側ポート [b1]、[b2] にそれぞれ同じ抵抗 R_b を負荷接続すると（これは端子 b1 と b2 に $2R_b$ なるバランス抵抗を負荷接続したことに同じである）、ポート [1] からみた入力インピーダンス $(Z_1)_{in}$ は、

$$(Z_1)_{in} = \frac{\frac{1}{R_b} + \frac{1}{\lambda} (2y_1 + y_2)}{\frac{y_1}{\lambda} \left\{ \frac{1}{R_b} + \frac{1}{\lambda} (2y_1 + y_2) \right\} - \frac{1-\lambda^2}{\lambda^2} 2y_1^2} \quad (9)$$

と求まる。

完全整合を電気角 θ が 90° のところにとるとすれば、

$$(Z_1)_{in} |_{\lambda \rightarrow j\infty} = R_1 = \frac{1}{R_b \cdot 2y_1^2} \quad (10)$$

図 4 不平衡不平衡変換回路
Diagram of an unbalanced-unbalanced transformer.

であるから、 $R_1 R_b = 1/2y_1^2$ の関係さえみたせば、 $1/4$ 波長線路の周波数で反射は零である。したがって、コリニアバルンのバランス抵抗がどんな値であっても完全整合するようにできる。

3.2 同軸線路 2 本のアンバルン

2 本の同軸線路を図 4 に示すように接続した 3 ポートは、2 本の同軸線路の特性インピーダンスを等しくすれば、不平衡不平衡変換回路（アンバルン）になる⁵⁾。その特性アドミッタンスを y_3 とすれば、3 ポートアドミッタンス行列は次式のようにあらわされる。

$$\begin{bmatrix} I_2 \\ I_{u1} \\ I_{u2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{22} & Y_{23} & Y_{23} \\ Y_{23} & Y_{33} & 0 \\ Y_{23} & 0 & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ V_{u1} \\ V_{u2} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\text{ただし } Y_{22} = \frac{2}{\lambda} y_3, \quad Y_{23} = -\frac{1}{s} y_3 = \frac{-\sqrt{1-\lambda^2}}{\lambda} y_3$$

$$Y_{33} = \frac{1}{\lambda} y_3$$

この回路についてもポート [u1] と [u2] にそれぞれ同じ抵抗 R_u を負荷接続すれば、ポート [2] からみた入力インピーダンスは次のように求まる。

$$(Z_2)_{in} = \frac{\frac{1}{R_u} + \frac{1}{\lambda} y_3}{\frac{2}{\lambda} y_3 \left(\frac{1}{R_u} + \frac{1}{\lambda} y_3 \right) - \frac{1-\lambda^2}{\lambda^2} 2y_3^2} \quad (12)$$

$$(Z_2)_{in} |_{\lambda \rightarrow j\infty} = R_2 = \frac{1}{R_u \cdot 2y_3^2} \quad (13)$$

3.3 WMD-A の 4 ポートアドミッタンス

図 2 に示す WMD-A の 4 ポートアドミッタンス行列は、コリニアバルンの (8) 式と、アンバルンの (11) 式から次のように求まる。

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & 0 & Y_{13} & -Y_{13} \\ 0 & Y_{22} & Y_{23} & Y_{23} \\ Y_{13} & Y_{23} & Y_{33} & Y_{34} \\ -Y_{13} & Y_{23} & Y_{34} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\text{ただし, } Y_{11} = \frac{1}{\lambda} y_1, \quad Y_{13} = -\frac{1}{s} y_1$$

$$Y_{22} = \frac{2}{\lambda} y_3, \quad Y_{23} = -\frac{1}{s} y_3$$

$$Y_{33} = \frac{1}{\lambda} (y_1 + y_2 + y_3), \quad Y_{34} = -\frac{1}{\lambda} y_1$$

上式で求めたアドミッタンス行列の要素を (2), (5) 式に代入すれば、WMD-A のポート [1] および [2] からみた入力インピーダンス、その他が求まる。

ポート〔3〕および〔4〕にそれぞれ同じ抵抗 R_3 を負荷したときのポート〔1〕および〔2〕からみた入力インピーダンスは、

$$(Z_1)_{in} = \frac{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{\lambda}(2y_1 + y_2 + y_3)}{\frac{1}{\lambda}y_1\left\{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{\lambda}(2y_1 + y_2 + y_3)\right\} - \frac{1-\lambda^2}{\lambda^2}2y_1^2} \quad (15)$$

$$(Z_2)_{in} = \frac{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{\lambda}(y_2 + y_3)}{\frac{2}{\lambda}y_3\left\{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{\lambda}(y_2 + y_3)\right\} - \frac{1-\lambda^2}{\lambda^2}2y_3^2} \quad (16)$$

となり、コリアパルンの(9)式およびアンパルンの(12)式と少々違う値になっている。したがって、WMDの特性は4ポートアドミッタンス行列で求めなければならない。

完全整合を前と同様に $\theta=90^\circ$ のときとすると、

$$R_1 = (Z_1)_{in} |_{\lambda \rightarrow j\infty} = \frac{1}{R_3 \cdot 2y_1^2} \quad (17)$$

$$R_2 = (Z_2)_{in} |_{\lambda \rightarrow j\infty} = \frac{1}{R_3 \cdot 2y_3^2} \quad (18)$$

となり、(10)式、(13)式と等しい。

WMD-Aの周波数特性はどうなっているかを考察しよう。WMD-Aの各線路の特性アドミッタンス y_1, y_2, y_3 はどのような値にとってもかまわないが、(17)、(18)式の関係から、ポート〔1〕およびポート〔2〕のそれぞれのインピーダンスを等しくするには y_1 と y_3 を等しくすればよい。

そこで y_1, y_2, y_3 をすべて等しくしてそれを1とする。すなわち、

$$y_1 = y_2 = y_3 = 1 \quad (19)$$

(19)式の関係をも(15)～(18)式に代入すると、

$$(Z_1)_{in} = \frac{1 + \frac{4}{\lambda}R_3}{\frac{R_3}{\lambda^2}\{4 - 2(1 - \lambda^2)\} + \frac{1}{\lambda}} \quad (20)$$

図5 WMD-Aのポート〔1〕および〔2〕のVSWR
VSWR's of WMD-A at port〔1〕 and 〔2〕.

$$(Z_2)_{in} = \frac{1 + \frac{2}{\lambda} R_3}{\frac{R_3}{\lambda^2} \{4 - 2(1 - \lambda^2)\} + \frac{2}{\lambda}} \quad (21)$$

$$(Z_1)_{in} |_{\lambda \rightarrow j\infty} = (Z_2)_{in} |_{\lambda \rightarrow j\infty} = \frac{1}{2R_3} \quad (22)$$

となる。

ここで、いろいろの R_3 の値をとったとき、周波数特性はどのように変化するか考えてみよう。

R_3 を $1/\sqrt{2}$, 1, $1/\sqrt{2}$, 0.5, $1/2\sqrt{2}$ としてみよう。そのとき $R_1=R_2$ は (22) 式の関係からそれぞれ $1/2\sqrt{2}$, $1/2$, $1/\sqrt{2}$, 1, $1/\sqrt{2}$ となる。

以上の5つの場合について (20), (21) 式から VSWR を求めて図 5 に示す。

図 5 に示す VSWR の関係から、負荷抵抗が変わると完全整合をするところはあるが、周波数特性が相当変わることがわかる。ポート [2] からの周波数特性が最もよいのは図 5 (c) のときで、この場合4つのポートインピーダンスは等しくなり、最も使いやすいハイブリッド回路になることが予想される。

最も帯域が広がる終端抵抗 R_3 の値は、

- 1) ポート [1] に対しては $1/2\sqrt{2}$ であり、
- 2) ポート [2] に対しては $1/\sqrt{2}$ である。

この条件は、文献 6) および 8) の映像量の関係から理論的に求めることができる。

4. ハイブリッド回路の実験

3章の考察から、図 5 (c) の周波数特性が実際に得られるかどうかを実験することにした。4つのポートのインピーダンスを 50Ω にするとすれば、各線路の特性インピーダンスは (19) 式および図 5 (c) によりすべて 70.7Ω にすればよい。手もちの真ちゅうパイプなどの材料の関係で、特性インピーダンスは 70Ω 近くになればよいとの考えから、実際に試作したハイブリッド回路は図 6 に示す回路となった。

また手もちの発振器は 250MHz までのものしかないために、UHF 帯の実験はできず、 150MHz ($1/4$ 波長は 50cm) を中心周波数に選んだ。

〔実験 I〕

$R_1=R_2=R_3=50\Omega$ に選ぶ。したがって図 6 の R_3 として 50Ω の抵抗を負荷接続し、 R_4 は open, すなわち $R_4=\infty$ とした。このときの入力アドミタンスをスミスチャート上にプロットしたものが図 7 (a) である。ただし測定はアドミタンスブリッジを使用した。

この図から、VSWR が 2 以内に入っている周波数はポート [1] のほうは 135MHz から 193MHz であり、

図 6 試作実験した WMD-A の形状と寸法
Configuration and dimensions of WMD-A for trial experiment.

(a) Input admittance.

(b) VSWR.

図 7 WMD-A の測定値
Measured characteristics of WMD-A.

ポート [2] のほうは 90MHz から 243MHz である。図 5 (c) の理論値とくらべたものが図 7 (b) である。この図から、ほぼ理論と一致する結果が得られていることがわかる。

〔実験 II〕

図 5 (e) のポート [1] からの周波数特性はきわめてよいので、ポート [1] に対しては図 5 (e) のものが得られ、ポート [2] に対しては図 5 (c) が得られるように負荷抵抗を接続するようにできないかと考えてみる。 R_4 なる抵抗があっても不平衡状態には影響がないことから、ポート [2] に対しては R_4 は無関係である。したがって $R_3=50\Omega$, $R_4=100\Omega$ とすれば、ポー

ト〔1〕に対しては負荷抵抗がポート〔3〕および〔4〕に 25Ω を接続したことになり、ポート〔2〕に対しては 50Ω が負荷接続されたことになる。

$R_3=50\Omega$, $R_4=100\Omega$ とするとポート〔1〕の入力インピーダンスは $\theta=90^\circ$ で 100Ω となるはずであるが、実際の測定値をスミスチャート上にプロットすると図 8 (a) のようになり、 150MHz 附近の特性は 100Ω の抵抗に、さらに 20cm 近くの特性インピーダンス 50Ω の線路が縦続接続されているような結果が得られた。それは試作ハイブリッド回路の工作精度、コネクタの特性

インピーダンスおよび長さ、線路の伸張率などのリアクタンス分が原因していると考えられる。

そこで、中心周波数附近のリアクタンス分を打消すために、さらに特性インピーダンス 50Ω の線路を 30cm 縦続接続して、測定結果をスミスチャート上にプロットすると、図 8 (b) に示したようになった。なおこの場合、正規化インピーダンスは 25Ω である。この図からわかるように、VSWR が 2 以内に入るのは 125MHz から 205MHz である。

この図 8 (b) の測定結果をもとにして、スミスチャート上で 50cm の特性インピーダンス 50Ω の線路を理論的に除去してみた。それを図 8 (c) に示す。この結果は図 8 (a) から特性インピーダンス 50Ω の線路を 20cm 理論的に除去したものと一致する。この場合、正規化インピーダンスは 100Ω である。この図からわかるように、この場合は 95MHz から 245MHz までは VSWR 2 以内に入っている。この図 8 (c) の特性は、コネクタの選定 (特性インピーダンス 100Ω)、試作ハイブリッド回路のコネクタ接続部の改良、線路の伸張率などを考慮することによって実現されるものと期待されうるのである。

なお $R_3=50\Omega$, $R_4=100\Omega$ としても、ポート〔2〕からの入力アドミタンスは $R_3=50\Omega$, $R_4=\infty$ としたときの図 7 (a) に示したものと同一であり、ポート〔2〕に対しては R_4 は完全に無関係であることが確認された。

またポート〔1〕と〔2〕との間の結合減衰量は全周波数で 40dB 程度あった。

以上の実験結果から、理論と実験結果がほぼ一致することがわかった。4つのポートのインピーダンスをすべて等しくし (たとえば 50Ω)、ポート〔1〕からも〔2〕からも 1 オクターブ以上の帯域がとれるようにするためには、 R_4 を ∞ にしなければならないので、ポート〔1〕からの帯域を広げる必要がある。

広帯域化のひとつの簡単な方法は、線路の特性アドミタンス y_1, y_2, y_3 を変えることである。また、簡単な補償回路を挿入して広帯域化することも可能で、そのひとつの方法は WMD-A に 1 本線路を挿入したアルフォドハイブリッドである。

文献 3) に示されているアルフォドハイブリッドの設計方法は、あまり理論的であるとはいいがたい。したがって、最適な線路定数で作られているかどうかはわからない。そこで、多線路回路の理論を応用して、アルフォドハイブリッドの各線路定数を見なおせば、最適な各線路の特性インピーダンスを決定することができ、きわめて広帯域のハイブリッド回路が得られるものと考えられる。

図 8 ポート〔2〕の入力アドミタンス ($R_3=50\Omega$, $R_4=100\Omega$)
Input admittance at port 2. ($R_3=50\Omega$, $R_4=100\Omega$)

5. む す び

同軸形ハイブリッド回路としては、スロットドリッジ、ラットレース、多分岐 3 dB 方向性結合器、結合線路形 3 dB 方向性結合器、アルフォードハイブリッドなどがあり、それぞれ一長一短がある。

こてで述べたハイブリッド回路の WMD-A は、広帯域多線条線路対ダイプレクサー(WMD)のうちの最も構造の簡単な回路である。構造は二重同軸線路と同軸線路のみで構成され、相当に広帯域であることが実験的に示された。実験は手もちの測定器の関係で 150 MHz 中心で行なった。UHF テレビに WMD-A を使用することもできる。中心周波数を 600 MHz にするならば、 $1/4$ 波長は 12.5 cm となり、かなり小形のものになる。また WMD-A はストリップ線路でも容易に構成されると考えられる。ただ、より小形になるために電力があまり大きいものには不向きであろう。また、ダミーロード(本文中の R_4)の使用が許されるならば、 y_3 の値を変えて 4 つのポートインピーダンスを等しくすることもできる。

アルフォードハイブリッドをも含めたもっと別の WMD は、WMD-A より広帯域にできると予想さ

れ、ストリップ線路でも容易に製作されるものであるから、今後多方面でこれらが使用されることと考えられる。

日頃ご指導いただく応電研所長 松本秋男教授、羽鳥孝三教授に深謝の意を表します。また有益なご助言、ご指導を賜った 上智大学 佐藤源貞教授に深く感謝いたします。

(昭和 44 年 1 月 27 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 松下: UHF 定インピーダンスノッチダイプレクサーの実験, NHK 技研月報, 12 (1955) 743-747
- 2) 永井, 小野: 広帯域多線条線路ハイブリッドリング, テレビ誌, 22, 4 (1968) 296-301
- 3) A. Alford and C. W. Watts: A wide band coaxial hybrid, IRE Nat. Conv. Rec., 4, Part 1 (1956) 171-179
- 4) 永井, 松本: バルン変成器への分布定数回路理論の応用, 信学誌, 50, 5 (1967) 894-900
- 5) 永井, 渡辺: 不平衡不平衡変換回路について, 信学誌, 50, 11 (1967) 2173-2174
- 6) 永井, 松本: 分布定数ハイブリッド回路への多線条回路の応用, 信学誌, 51-A, 3 (1968) 89-96
- 7) H. Uchida: Fundamentals of coupled lines and multiwire antennas, Tohoku Univ. electronics series I (1967)
- 8) 永井, 松本, 渡辺: 単純短絡枝整合回路の映像インピーダンス, 信学会マイクロ波研資, MW 68-41 (1968)
- 9) 永井, 小野, 松本: 同軸線路と二重同軸線路とで構成されるハイブリッド回路, 第 4 回テレビ学会全大予 (1968), 8-4

テレビジョン 9 月号 予定目次

- 【随 想】 本会の出版活動について……………東大 滝 保夫
- 【解 説】 フォトクロミズムについて……………東北大 渡辺英夫
電子計算機による画像処理……………阪大 一岡芳樹
- 【論 文】 As_2Se_3 多孔質膜の光反射特性……………日立 笹野 晃・芦川幹雄・小沢和男
分離輝度カラーカメラの彩度補正と Y 混合回路……………NHK 元木紀雄・林 宏三・斎藤利也・杉本昌穂
電子透過記録管……………松下東研 宇野喜博・川上秀彦・前田晴雄・宮崎栄一
- 【資 料】 カラーフィルム染料による色ひずみとマスキング補正……………東京放送 守田仁也・佐藤哲司
- 【講 座】 テレビジョン技術のための集積回路 (11)
大規模集積回路の動向……………東大 後川昭雄