広帯域位相検出器

中部日本放送株式会社

加藤 泰正・沢栗 裕二
平岩 昭三

従来の位相検出器では、入力回路のインピーダンス特性、波形ひずみ、変成器端末の影響などのため位相検出精度が問題になり、広帯域の位相特性を測定するに当って不便をきたしていた。このため、新しい方式による広帯域位相検出器2種（100 kHz～20 MHz, 5～160 MHz）を開発した。この新しい位相検出器では、変成器を含めた入力回路を伝送線路とみなし、広帯域の整合をとった。また、同軸ケーブルを用いた変成器を設計し、低域についても考慮した。

1. ま え が き

従来、伝送機器の位相特性は振幅特性ほど重視されていなかったが、振幅と位相に対する評価は単に帰還形の増幅器に限らず、カラーテレビの伝送に対してはきわめて重要な事項である。それにもかかわらず、いままで広帯域の位相計はなく、最近、サンプリングによるものが得られるようになったが、なお高価である。

今回、新しい方式による広帯域位相検出器を試作し^{1,2)}これによる位相差測定に対して一応の成果を得たので、ここに報告する。

2. 位相検出器による位相計の動作原理

位相測定に対しては、多くの方式³⁾が提案されているが、最も簡単な、従来の低周波位相検出器によるものを図1に示す。2つの被測定信号 $\dot{E}_1$, $\dot{E}_2$ (その位相差を φ とする) は入力端子 1-2, 3-4 に加えられる。説明の便宜上、これらと 5-6, 6-7 および 8-9 の巻線比は 1 とする。共通端子 9 からみると、端子 5 および 7 には、

図1 従来の位相検出器による位相計の原理

“Wide Band Phase Detector” by Yasumasa Kato, Yuji Sawaguri and Shozo Hiraiwa (Chubu Nippon Broadcasting Co., Ltd., Nagoya)

2つの二次巻線の和動および差動接続により、ベクトル図に示す電圧 $\dot{E}$ (5-9) および $\dot{E}$ (7-9) が生ずる。これを整流して得られる直流電圧 E (5-9), E (7-9) は、

$$E(5-9) = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \varphi} \quad (1)$$

$$E(7-9) = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos \varphi} \quad (2)$$

ここで、両入力信号の振幅が等しく、 $E_1 = E_2 = E$ とすれば、

$$E(5-9) = \sqrt{2} E \sqrt{1 + \cos \varphi} \quad (3)$$

$$E(7-9) = \sqrt{2} E \sqrt{1 - \cos \varphi} \quad (4)$$

となり、 E を一定とすれば、2つの出力の差は位相差 φ のみの関数で与えられる。

なお、(3), (4) 式は直線検波のときの解析であるが、入力レベルが低い場合には、二乗検波となり $E(5-9)$, $E(7-9)$ はそれぞれ (3) および (4) 式の二乗になる。

3. 新しい位相検出器

前述の位相検出器では、異なる変成器2個が用いられているため、入力1と入力2に対するインピーダンスが異なることとなって、測定しようとする位相差 φ が、測定器によって狂わせられることになる。さらにこの狂いは整流素子の非直線性による波形ひずみと相まって周波数特性を生じ、高周波で精度の良い位相測定を行なうことが困難になる。これを解決するために、同じ構成の広帯域変成器を2個用い、入力回路を対称にするように試みたものが、図2である。各変成器は3巻線を有し、互いに和動および差動に接続して整流回路に加えることは(1)～(4)式の場合と同様である。

整流器出力の合成には直列合成（平衡出力）と並列合成（不平衡出力）の2つの方式が可能である。前者は後

者の2倍の電圧感度を有し、倍電圧整流回路を用いれば電圧感度はさらに2倍になる。

図2 対称形位相検出器

写真1 広帯域位相計

4. 試作結果

上記の位相検出器を用いた広帯域位相計(5~160MHz)の外観を写真1に示す。また図3にその回路を示す。これは図2(a)に示す平衡出力方式を用いたものである。

検波出力はICの差動増幅器に加えられ、位相の指示はメーター、または外部出力端子に接続されたオシロスコープなどにより行なわれる。また、入力信号レベルの指示は入力信号を直接検波した後、ICの差動増幅器に加え、メーターまたは外部出力端子に接続されたオシロスコープなどにより行なわれる。したがって、位相とレベルとを同時測定することができ、エンベロップディレイまたは周波数特性などの測定も可能である。

なお、ここで用いられている広帯域変成器は、トロイダルコアに3本よりのエナメル線を巻いたものである。

次に VSWR 特性を図4に示す。5~160 MHzの範囲にわたって VSWR=1.1 以内に入っている。

入力位相差に対する直流出力電圧の実測結果を図5に示す。これは図6に示す測定系統で等長の同軸ケーブル(3D-2V)を用い、50 MHz、100 MHz、150 MHzの各周波数について測定したものである。

この位相測定の結果、同軸ケーブルの波長短縮率を0.67とし、90°の点を基準とした場合、誤差は45°の

図4 広帯域位相計の VSWR 特性

図3 広帯域位相計の回路図

図 5 広帯域位相計の位相-出力電圧特性

測定順序

- ① 被測定器を短絡し、測定用可変長同軸管をゼロ点にする。
- ② 90° 点調整用可変長同軸管で位相 90° 点、すなわち位相検出器の出力電圧をゼロ点に調整する。
- ③ 被測定器を接続し、測定用可変長同軸管で位相検出器出力電圧をゼロ点 (②の点) まで変化させる。
- ④ この可変長の読みが位相に比例する (位相検出器は 90° 点の指示器とする)。

図 6 位相測定系統図

点で -5° , 135° の点で -0.5° であった。ただし、検波特性を二乗特性とした場合の誤差である。

試作器について特に考慮した点を列記すると、

- (1) 広帯域変成器への入力回路
- (2) 広帯域変成器周辺の浮遊容量
- (3) 温度特性

などであり、(1)については入力接栓座から広帯域変成器までをプリント基板の伝送線路として製作し、(3)についてはダイオードがすべて対になるようにした。もちろん、(2)については浮遊容量ができる限り小さくなるように考慮した。

周波数が高くなると、2つの入力に対する同一性が保てなくなり、入力端子を入れ替えると図7のように出力電圧に変化を生じる。

図 7 入力端子 (入力 1, 2) の入力信号を入れかえることによって生ずる出力電圧の変化

図 8 広帯域増幅器の位相測定

図 9 BPF の位相測定

さて、図5において $\varphi=90^\circ$ の場合に出力電圧が0、すなわち正しい値を示しているのは、故意に固定位相差を与えて、このように調節したことによる。そのために本来等しかるべき $\varphi=0^\circ$ と 180° における電圧の絶対値に相違を生じている。その原因は主として、整流素子に流れるわずかの電流のために、2つの変成器に流れ込む電流が相違する (大きさならびに各電圧に対する相対位相差) ことにある。これを除く手段としては整流時定数の増加、入力回路に並列抵抗の挿入などが考えられる。

このような本質的な原因の他にも、なお多少回路素子の不ぞろいもあって、図5および図7のような誤差が生じたのであろう。この点に関してはさらに改善の余地がある。

5. 実 用 例

この位相検出器による位相測定はメーター直読の他、外部出力端子を用いて、位相と振幅とを同時に測定することができるので、いろいろの応用が考えられる。図8に広帯域増幅器の測定系統を、図9に BPF の測定系統を示す。

6. む す び

この広帯域位相検出器は当初、テレビ中継用 FPU の高周波部の調整のために開発されたものである。これによって、従来測定できなかった FM 信号を伝送する中間周波増幅部のエンベロップディレイ特性を測定することができるようになった。

ただ検出器の2入力等しいレベルになるように、常に調整しなければならないのが取扱い上の欠点といえよう。これを改善するためには、性能のすぐれた広帯域振

幅制限器を前置すればよいが、現在のところこのような増幅器の開発は技術的に困難である。

なお、現在のところトROIDALコアの動作についての解析は行なっておらず、巻線条件を実験的に選んだが、この解析検討が行なわれれば、より広帯域の位相検出器の設計が可能になると思われる。

終りに、本研究の機会とご指導を賜った前田技師長、研究の推進に当って協力された池下技術研究課長、浅池

真喜夫氏、阿部富五郎氏、製品化に際して協力をいただいた中日電子工業所の方々に感謝の意を表する。

(昭和44年3月31日受付) (昭和44年10月27日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 加藤, 沢栗, 平岩: 昭43年電気四学会連大予, No. 1812
- 2) 加藤, 沢栗, 平岩: テレビ学会方式回路研究委資, No. 8-3 (1968)
- 3) 布施: 高周波測定, コロナ社 (1954) 99-102

昭和45年度テレビジョン学会編集委員会

編集長	石橋 俊夫	N H K	"	北沢 誠	東 芝	"	今堀 豊	N H K
編集理事	青木 昌治	東 大	委 員	倉橋浩一郎	三 菱	委 員	北 靖洋	日 立
編集理事	加納 顕一	日 電	"	栗田 正一	慶 大	"	塩谷 雄一	T B S
論文部門委員会			"	神瀬 昭	読売テレビ	"	嶋 忠雄	日 電
幹 事	稲津 稔	N H K	"	斎藤 幸平	日 電	"	鈴木 弘史	コロムビア
"	長谷川 伸	電 通 大	"	佐藤 俊夫	フジテレビ	"	高木 規成	東 芝
委 員	大石 巖	N H K	"	島田 聰	ソ ニ ー	"	高木 幹雄	東 大
"	坂田 晴夫	N H K	"	高梨 実	東京12ch	"	辻 重夫	東 芝
"	竹下 彊一	NETテレビ	"	高野 正雄	富士フィルム	"	箱石千代彦	電 監
"	二宮 輝雄	N H K	"	武田 昭六	芝 電	"	藤田 光男	ビクター
"	林 義昭	電電公社	"	時田 元昭	日 電	"	山本 平一	電電公社
"	村田 重元	N H K	"	中沢 康克	早 大	ニュース・特許部門委員会		
"	大和 淳二	電電公社	"	中村 康平	日 大	幹 事	芦川 幹雄	日 立
"	渡部 叡	N H K	"	羽鳥 孝三	北 大	"	宮崎 栄一	松下東研
"	青木 俊男	日立電子	"	藤尾 孝	N H K	委 員	大滝 泰郎	郵 政 省
"	安達 三郎	東 北 大	"	宮崎源太郎	日 立	"	金子 正広	T B S
"	生垣 展	東 芝	"	室谷 正芳	電電公社	"	柴崎 英輔	民 放 連
"	稲田 謙三	三 洋	"	山田 祥二	静 大	"	関 邦秀	国際電電
"	岩淵 三郎	N H K	"	山本 元種	電 機 大	"	戸田 菊雄	NETテレビ
"	宇田 宏	宇宙開発事業団	海外文献部門委員会			"	古川 英夫	日本テレビ
"	王丸 謙治	N H K	幹 事	深津 忠泰	ゼネラル	"	山根 三郎	N H K