

# 進行波形観測用ブラウン管 130JB31

Travelling Wave Type Cathode Ray Tube 130JB31 for Oscilloscope

高田正伸\* 二瓶弘\*  
Masanobu Takada Hiroshi Nihei

## 内容梗概

高速度の過渡現象やパルス波形の観測には広帯域のブラウン管が要求されるが、従来のブラウン管では観測信号の周波数が数十 Mc/s を越えると偏向感度が低下するために波形がひずみ正確な観測ができなかった。今回開発した日立 130 JB 31 は Y 方向の偏向系に進行波電界偏向方式を採用して広帯域化を図ったので DC ~ 100 Mc/s の帯域の波形をひずみなく測定できる。

ここではその動作原理と電極構造および高周波特性について報告する。

## 1. 緒言

従来の二枚の偏向板による偏向方式では信号の周波数が高くなるにつれて、

- (1) 電子の偏向板間走行角が増すため偏向感度が低下する。
- (2) 入力インピーダンスが小さくなりシンクロスコープの増幅器の利得が下がる。

などの理由から数十メガサイクルを越える波形を正確に観測することは困難だった。

(1)の欠点に対しては偏向板を短くするか電子ビームの加速電圧を上げるとかして電子の偏向板間走行角をできるだけ小さくすることが必要であるが、この方式では直流における偏向感度および有効偏向域が著しく低下するので、電子光学的に解像度を上げておき波形観測には光学的拡大装置が必要である。

今回開発した日立 130 JB 31 は直流における偏向感度および有効偏向域を低下させることなく周波数帯域を広げるため Y 方向の偏向系には分割偏向板によるキャパシタンスとこれらに直列に接続されたコイルのインダクタンスとで遅延回路を構成し、終端にはその特性抵抗に等しい抵抗を接続する構造となっている。このとき信号電圧は偏向板間を電子進行方向にほぼ電子走行速度に近い速度で伝播(ば)し、この進行波電界により電子を偏向させるもので、これにより信号電圧と電子ビームの走行角のずれおよび入力インピーダンスの低下を小さくすることができる。

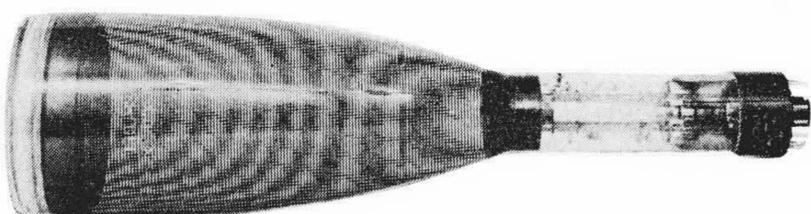
この方式はアメリカテクトロニクス社 T 581 にも採用され周波数帯域 100 Mc/s のシンクロスコープ用として使用されている。日立 130 JB 31 はこれと互換性のあるものとして設計されている。

## 2. 外形および定格

第1図に 130 JB 31 の外観写真を、第1表に概略定格を、第2図に外形寸法と口金接続を示す。また第3図は 130 JB 31 を装着した 100 Mc/s のシンクロスコープで波形を観測した写真である。

## 3. 動作原理

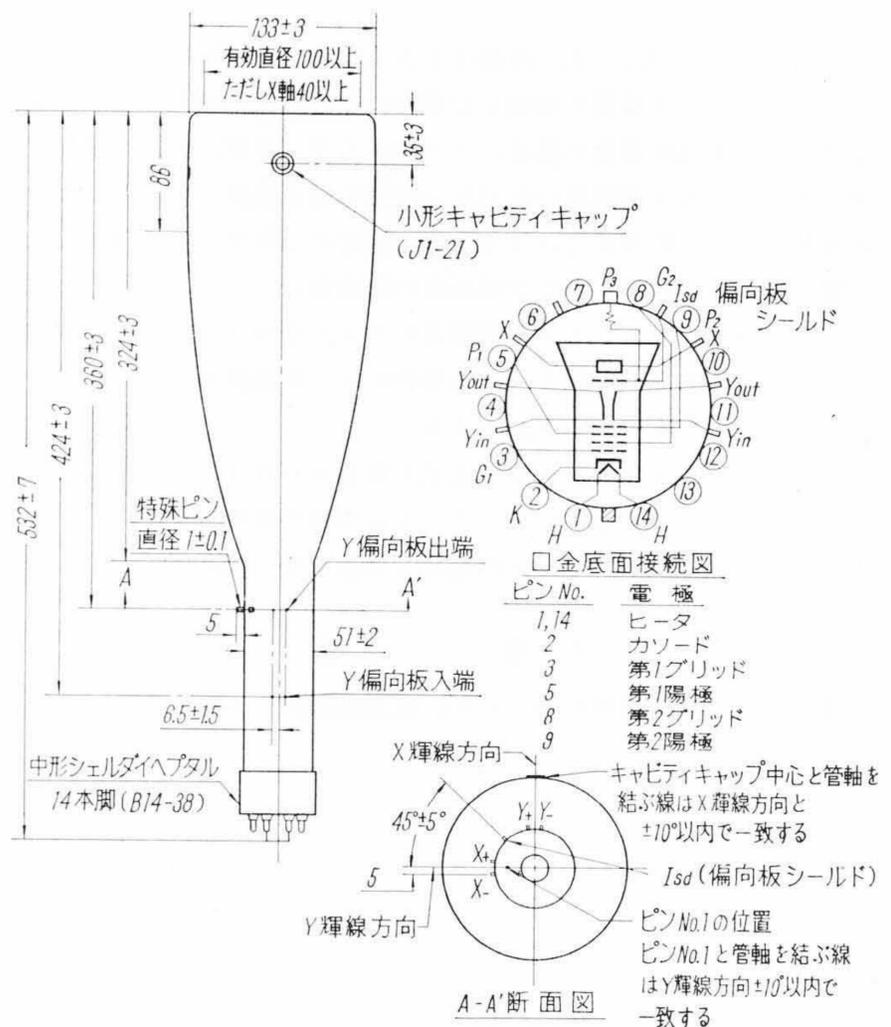
130 JB 31 の電極構造を第4図に示す。従来のブラウン管と比較



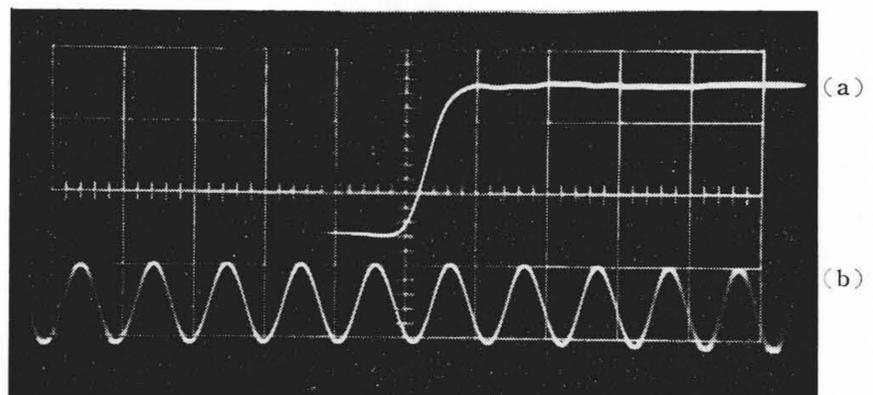
第1図 日立 130 JB 31 の外観

\* 日立製作所茂原工場

して違うのは Y 方向の偏向系を 6 分割し、偏向板間のキャパシタンスとこれらと直列に接続されたコイルのインダクタンスとで遅延回路を構成していることである。この遅延回路は終端にその特性抵抗に等しい抵抗が接続され、信号電圧を電子走行速度近くまで遅らせ



第2図 130 JB 31 外形寸法および口金底面接続図

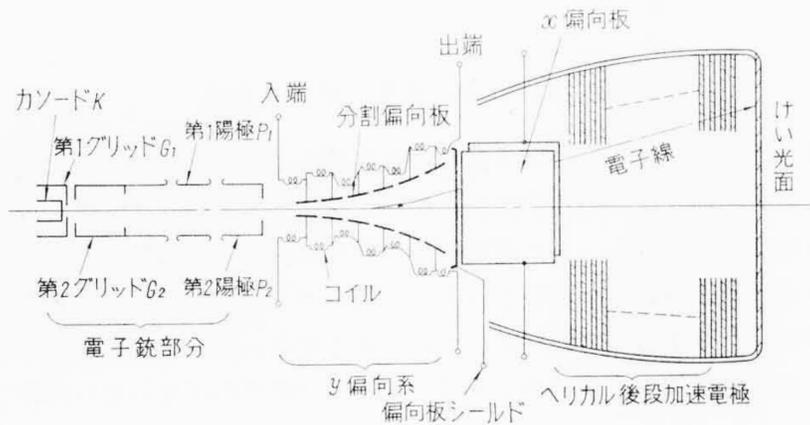


(a) 立ち上がり 3.5 m/s のパルス波形を観測したもの  
(b) 100 Mc/s の正弦波を観測したもの  
終端抵抗 900Ω  
掃引速度 10 m/s/cm  
繰り返し周波数 1 Mc/s

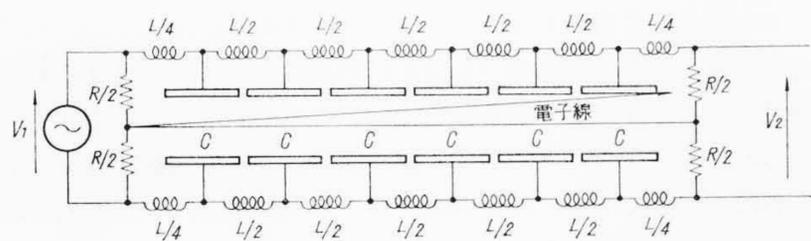
第3図 観測波形写真図

第1表 130 JB 31 概略定格

一般定格		
集束方式	静電	
偏向方式	X方向静電偏向, Y方向進行波電界偏向	
全長 (mm)	532±7	
管球最大部直径 (mm)	133±3	
ネック直径 (mm)	51±2	
口金	中形シェルダイヘプタル 14本脚 B14-38	
キャップ	小形キャビティキャップ (J1-21) 特殊ピン	
口金取付角度	垂直輝線と口金ピン No.1 のズレ ±10° max	
偏向軸角度	90±1.5°	
ヒータ電圧 $E_f$ (V)	6.3	
ヒータ電流 $I_f$ (A)	0.6±10%	
電極間静電容量		
第1グリッドと他電極間	$C_{g1-all}$ (pF)	8.3
陰極と他電極間	$C_{K-all}$ (pF)	4.5
X軸偏向板間	$C_{X+-X-}$ (pF)	2.4
X軸偏向板と対向X軸偏向板を除く他電極間	$C_{X+-all}$ (pF)	3.5
	$C_{X-+all}$ (pF)	3.5
ヘリカル電極抵抗	$R_{hel}$ (MΩ)	100~2,000
Y軸入力特性抵抗	$Z_0$ (Ω)	900±5%
使用例		
第3陽極電圧	$E_{b3}^{(1)}$ (V dc)	10,000
第2陽極電圧	$E_{b2}^{(3)}$ (V dc)	1,575~1,850
第2グリッド電圧	$E_{c2}$ (V dc)	1,600~1,800
第1陽極電圧	$E_{b1}$ (V dc)	180~590
偏向板シールド電圧	$E_{is}^{(2)}$ (V dc)	1,580~1,760
第1グリッド輝点消去電圧	$E_{c0}^{(4)}$ (V dc)	-40~-70
偏向率 (V dc/cm)		
X軸 DFX		18.0~20.0
Y軸 DFY		4.6~5.6
有効偏向域 (cm)		
X軸		10
Y軸		4



第4図 電極構造図



第5図 等価定K形低域濾波回路

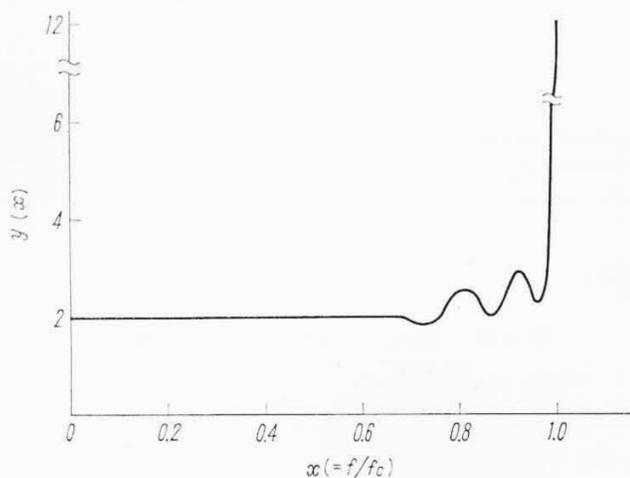
た進行波電界で電子ビームを偏向させるもので、これにより両者の走行角のずれによる感度低下を防ぐものである。また遅延回路は第5図のような定K形低域濾波回路の多区間連続接続と等価であり、その反伝送関数  $s(jx)$  は

$$s(jx) = \frac{V_1}{V_2} = g(x) + ju(x) \dots\dots\dots (1)*$$

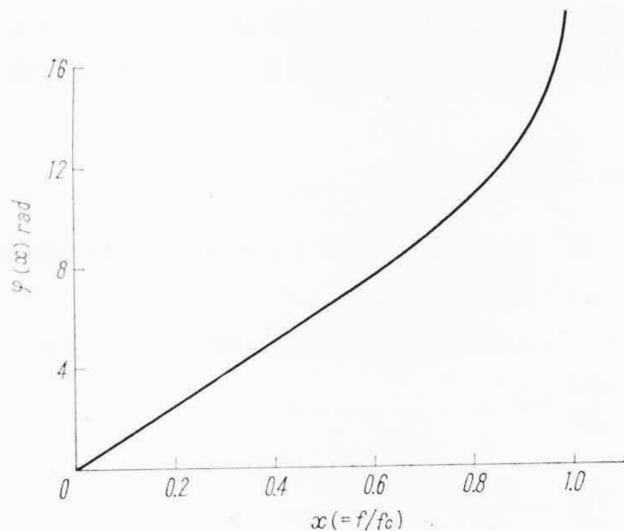
$$g(x) = 2 - 16x^2(1-x^2)(3-16x^2+16x^4)^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$u(x) = 4x(1-2x^2)(2-x^2)(1-16x^2+16x^4) \times (3-16x^2+16x^4) \dots\dots\dots (3)$$

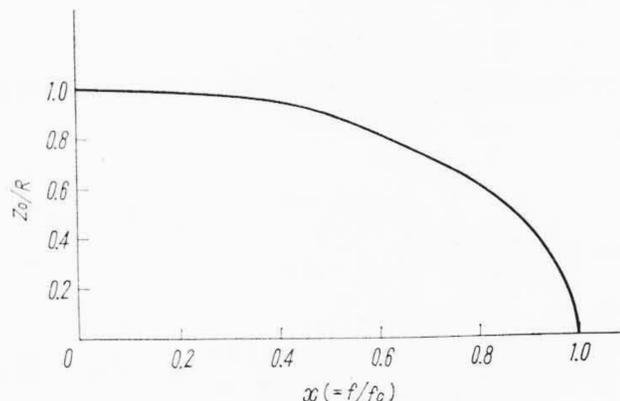
\* 付録参照



第6図 振幅特性



第7図 遅延特性



第8図 特性抵抗

ただし

$$x = \omega \frac{CR}{2} = \omega \frac{L}{2R} = \frac{f}{f_c} \dots\dots\dots (4)$$

$$R^2 = \frac{L}{C} \dots\dots\dots (5)$$

$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}} \dots\dots\dots (6)$$

$f_c$  は回路の遮断周波数を示す。これから振幅  $y(x)$  と遅延特性  $\varphi(x)$  を求めると、

$$y(x) = \sqrt{g^2(x) + u^2(x)} \dots\dots\dots (7)$$

$$\varphi(x) = \tan^{-1} \frac{u(x)}{g(x)} \dots\dots\dots (8)$$

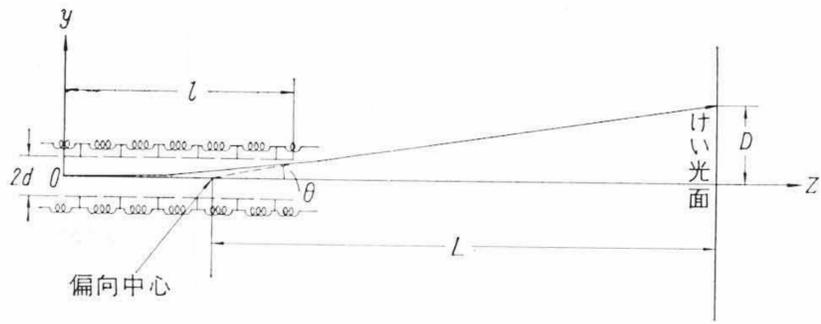
第6図は(7)式を第7図は(8)式を図示したものである。

また特性抵抗  $Z_0$  は

$$Z_0 = R \sqrt{1-x^2} = \sqrt{\frac{L}{C}} (1-x^2) \dots\dots\dots (9)$$

第8図は(9)式を示している。

$x$  が十分小さいとき、つまり使用周波数範囲より遮断周波数を十分高く選べば(7), (8), (9)式はそれぞれ



第 9 図 偏向系の構造および座標系

$$y(x) \doteq 2 \dots\dots\dots (10)$$

$$\varphi(x) \doteq 12x \dots\dots\dots (11)$$

$$Z_0 \doteq \sqrt{\frac{L}{C}} \dots\dots\dots (12)$$

となり一定遅延時間で減衰なく信号が伝送されるわけである。

一方第 9 図の偏向系について遅延特性  $\varphi(x)$  の進行波の伝播定数は

$$\beta = \frac{\varphi(x)}{l} = \frac{\omega}{u} \dots\dots\dots (13)$$

ここに  $\beta$ : 信号電圧を  $V_0 \varepsilon^{j\omega t}$  としたときの回路の伝播定数  
 $u$ : 回路の位相速度

進行波と電子ビームの関係は運動方程式(14) (15)で示され

$$m \frac{d^2 Z}{dt^2} = 0 \dots\dots\dots (14)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{eV_0}{d} \varepsilon^{j\omega \left( t - \frac{Z}{u} \right)} \dots\dots\dots (15)$$

ここに座標系を第 9 図のように選び

$m$ : 電子の質量

$e$ : 電子の電荷

とし(14) (15)式を解いて偏向板出端における電子ビームの進行方向を求めると

$$\tan \theta = \frac{eV_0 l}{dmv^2} \frac{\sin \frac{\omega(1-\nu)\tau}{2}}{\frac{\omega(1-\nu)\tau}{2}} \varepsilon^{j\omega \left( t + \frac{1-\nu}{2} Z \right)} \dots\dots (16)$$

ただし  $\nu$ : 電子の走行速度  $\left( = \sqrt{\frac{2e}{m} E_{b2}} \right)$   $E_{b2}$ : 電子加速電圧

$$\nu = \frac{v}{u}$$

$\tau$ : 電子の偏向板間走行時間

したがってけい光面で観測される偏向振幅  $D$ は

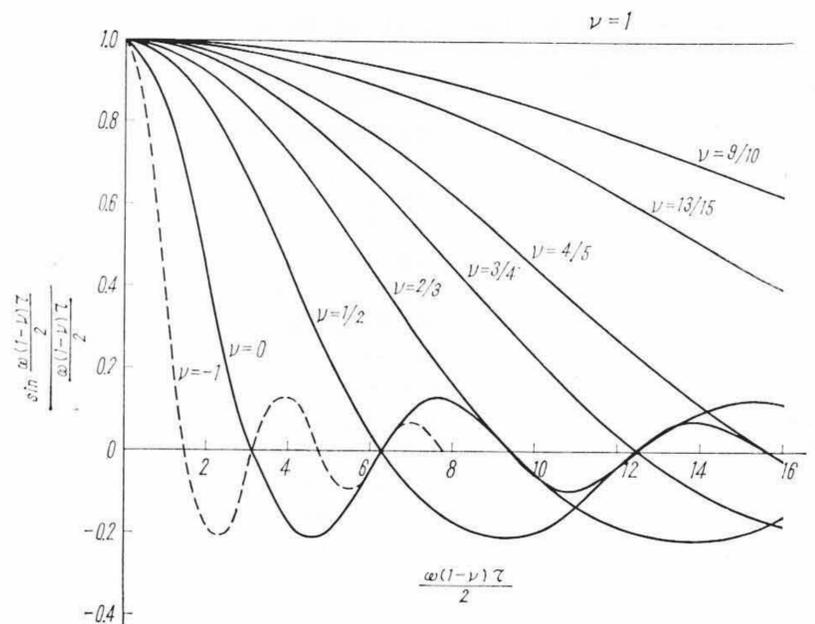
$$D = \frac{eV_0 l L}{dmv^2} \frac{\sin \frac{\omega(1-\nu)\tau}{2}}{\frac{\omega(1-\nu)\tau}{2}} \dots\dots\dots (17)$$

直流での偏向振幅  $D_0$ との比は

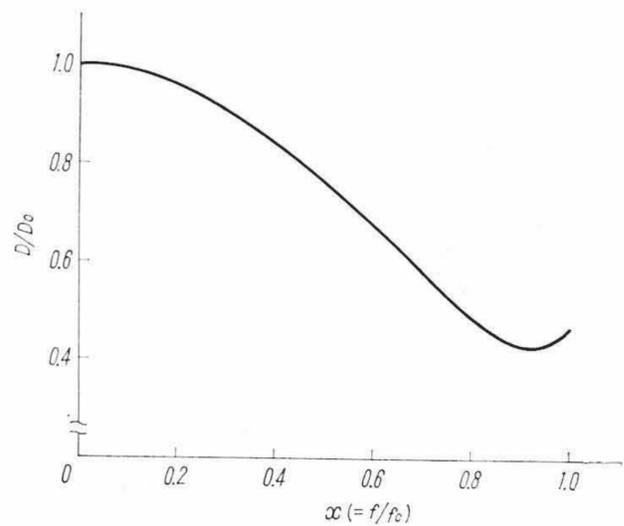
$$\frac{D}{D_0} = \frac{\sin \frac{\omega(1-\nu)\tau}{2}}{\frac{\omega(1-\nu)\tau}{2}} \dots\dots\dots (18)$$

第 10 図は (18) 式を  $\nu$  をパラメータとして図示したもので、これから  $\nu$  が 1 から 0 に近づくにつれて次第に高周波での感度が低下する様子がわかる。遅延回路を作って信号電圧を遅らせることは  $\nu$  を 1 に近づけることを意味しており、 $\nu=1$  において電子走行速度と進行波電界の速度は一致するので、偏向感度は直流での偏向感度に等しくなる。

また  $\nu$  が負のときは反射波をあらわし(図では  $\nu=-1$  のときのみ



第 10 図 周波数に対するけい光面での振幅の変化



第 11 図 偏向感度の周波数特性

示している) 進行波による振れに反射波による偏向振幅が重畳される結果、遅延回路の特性抵抗が終端抵抗より大きいときは進行波が反射波に相殺され、また遅延回路の特性抵抗が終端抵抗より小さいときは逆に反射波が重畳されるため見かけ上偏向感度が低下したり増加したりするので波形がひずむこととなる。偏向系各段での電界の乱れや終端での不整合などはできるだけ防がねばならないわけである。

遅延回路の特性抵抗は(9)式のように  $x$  とともに変わるので終端に純抵抗  $\sqrt{L/C}$  を接続する場合  $f_c$  を十分大きく選んで  $x$  を小さくするように  $L$ ,  $C$  の値を決めることが必要である。

実際の偏向系では以上述べたほかに直流における偏向感度や有効偏向域を大きくする必要から分割偏向板の対向間隔をけい光面側に近づけにつれて大きくするので、第 5 図のように偏向板間静電容量  $C$  を各段で等しくするには分割偏向板の対向面積をけい光面側では大きくしなければならない。

このような構造上の制約から 130 JB 31 では

$$x \doteq 0.15 \dots\dots\dots (19)$$

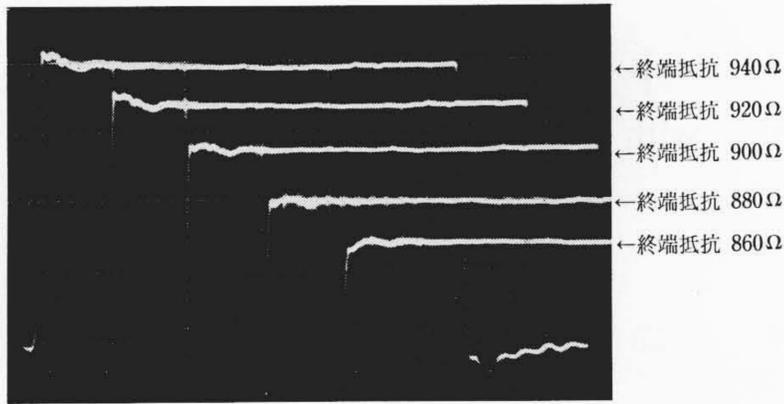
$$\nu \doteq \frac{1}{2} \text{ (第 10 図参照)} \dots\dots\dots (20)$$

となっている。第 11 図にこのときの周波数特性を示す。しかし実際には約 400 Mc/s を越えるとコイルの浮遊容量および偏向板のリード線のインダクタンスの影響のためこの曲線からはずれることとなる。

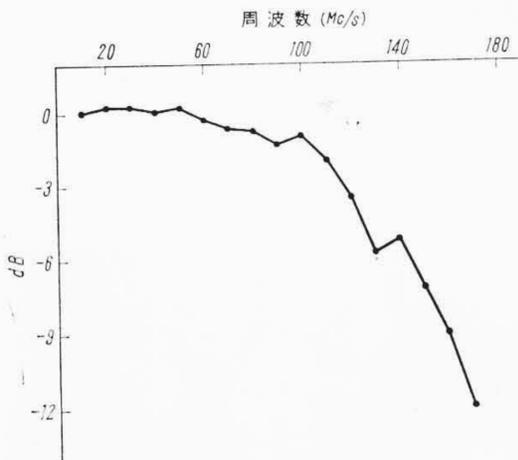
#### 4. 特 性

##### 4.1 高周波特性

第 3 図は周波数帯域 100 Mc/s のシンクロスコープに日立 130 JB



第12図 終端抵抗とパルス波形の関係



第13図 周波数帯域 100Mc/s のシンクロスコープに実装したときの試作球の周波数特性

31 を実装し立ち上がり  $3.5 \mu\text{s}$  のパルス波形および  $100 \text{ Mc/s}$  の正弦波を観測したものである。

また第12図は偏向系終端につなぐ抵抗の値を種々変えたときのパルス波形の変化の様態を示すもので抵抗が特性抵抗より小さいとオーバーシュートとなり、大きいとアンダシュートとなる。

第13図は第3図のパルス波形を最良状態になるように補償調整したときのブラウン管管面でのY方向の振幅の周波数特性を示すもので偏向感度が  $3 \text{ dB}$  低下するのは約  $110 \text{ Mc/s}$  である。

しかしこれはシンクロスコープ増幅器の周波数特性が大きく影響しており、ブラウン管自体の高周波特性については現在測定法について検討中である。

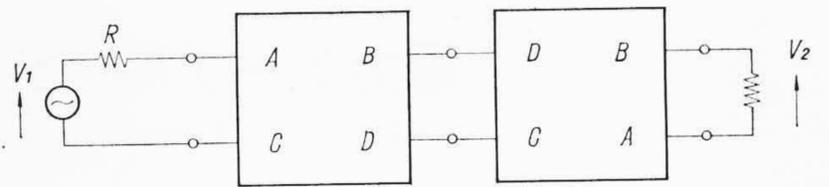
#### 4.2 低周波特性

第1表に定格値を示したが、日立 130 JB 31 はこれらの特性を満たすものであり、このほかにも高周波帯域用ブラウン管であるため試作途上において、特に全面フォーカス性、パターンひずみ、偏向感度、直交軸角度などに改良を加えた。

また、けい光面は P 31 けい光体を使用しているので発光色は青緑色（分光特性曲線の山は  $5,200 \text{ \AA}$  付近にある）であり、残光は  $280 \mu\text{s}$  程度（定常輝度の  $10\%$  まで輝度が減衰する時間）である。

### 5. 結 言

以上進行波電界偏向方式による観測用ブラウン管 130 JB 31 の動作原理およびその高周波特性などについて報告した。



第14図 実装状態における高周波特性

一応使用周波数帯域  $100 \text{ Mc/s}$  までは検討を行なったが、さらに広帯域まで使用可能な設計となっているので今後この点をさらに検討してゆきたい。日立 130 JB 31 は昨年わが国最初の  $100 \text{ Mc/s}$  シンクロスコープに採用されて発表された。

この種ブラウン管がパルス技術の進歩とともにさらに多く実用されることを望む次第である。

最後にこの開発研究で種々ご指導いただいた岩崎通信機株式会社西郷副部長、二所宮係長にお礼申しあげる。また日立製作所電子部品事業部渡辺部長はじめ関係のかたがたに種々ご協力いただいたここに厚くお礼申しあげる次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 大脇健一ほか：超高速オシログラフ，日刊工業新聞社，1958年
- (2) 川上正光：回路網の構成，共立出版，1955年
- (3) 小泉喜八郎：日立評論 43 (昭38-7)
- (4) 林友直：ミリマイクロ秒パルス技術，コロナ社，1961年

#### 付録 (1)~(3)式の誘導

第5図の低域回路は対称形であるから第14図のように2等分して考えることができる。このとき反伝送関数  $s(jx)$  は

$$s(jx) = \frac{V_1}{V_2} = 2(A+RC) \left( \frac{B}{R} + D \right) \dots\dots\dots (21)$$

ただし4端子定数  $A, B, C, D$  はT形1区間の基本マトリクスから

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \dots\dots\dots (22)$$

また自然回路網であること、対称形であることから

$$ad - bc = 1, a = d \dots\dots\dots (23)$$

したがって

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a(4a^2-3) & b(4a^2-1) \\ c(4a^2-1) & a(4a^2-4) \end{pmatrix} \dots\dots\dots (24)$$

T形1区間の基本マトリクスから

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-2x^2 & j2Rx(1-x^2) \\ j\frac{2}{R}x & 1-2x^2 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (25)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} A &= D = (1-2x^2)(1-16x^2+16x^4) \\ B &= j2Rx(1-x^2)(3-16x^2+16x^4) \\ C &= j\frac{2}{R}x(3-16x^2+16x^4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26)$$

これを(21)式に代入して

$$s(jx) = 2-16x^2(1-x^2)(3-16x^2+16x^4)^2 + j4x(1-2x^2)(2-x^2)(1-16x^2+16x^4) \times (3-16x^2+16x^4) \dots\dots\dots (27)$$

ゆえに(1)式と比較して

$$\begin{aligned} g(x) &= 2-16x^2(1-x^2)(3-16x^2+16x^4)^2 \\ u(x) &= 4x(1-2x^2)(2-x^2)(1-16x^2+16x^4) \times (3-16x^2+16x^4) \end{aligned}$$

となる。