

トランジスタ式 50 Mc シンクロスコープ

Transistorized 50 Mc Synchronoscope

山田一成* 安藤勇* 岩淵光伸*
 Kazunari Yamada Isamu Ando Mitsunobu Iwabuchi

要 旨

周波数帯域 DC~50 Mc の垂直軸増幅器を有する全トランジスタ式シンクロスコープを開発し、安定性および信頼性において十分満足できることを確認した。
 同期回路にはトンネルダイオードを使用して AUTO 同期、トリガ同期ともに安定度を向上させている。
 トランジスタ化することにより従来のシンクロスコープに比較して消費電力は 1/3 以下、重量は 2/3 以下になった。

1. 緒 言

最近の電子技術の進歩にともない電子計算機や通信機などの電子機器はそのほとんどがトランジスタ化される傾向にあり、それら機器の開発、生産および保守にあたっては広帯域でかつ小形軽量のシンクロスコープが要求されるようになってきた。

このような現状において、広帯域の全トランジスタ式シンクロスコープとして、周波数帯域 50 Mc の V-500 形のシンクロスコープを開発し、大方の要望に答えることとした。

従来のシンクロスコープではブラウン管の蛍光面と目盛との間げきより起る測定視差の欠点があったが、V-500 形シンクロスコープでは内面目盛方式を採った 5 インチ角形ブラウン管 (日立製作所茂原工場にて開発) を使用してこの欠点を解消した。

ここで電子管式 60 Mc のシンクロスコープとの寸法、重量、消費電力の比較を表 1 に示す。表 2 は本シンクロスコープの仕様を示したものである。

2. 主要回路の概要

垂直軸に P-500B 形二現象プラグインユニット、水平軸に P-500Q 形掃引遅延プラグインユニットをそう入した V-500 形シンクロスコープの外観を図 1 に、ブロックダイアグラムを図 2 に示す。シンクロスコープはブロックを大別すれば垂直軸増幅回路、同期回路、掃引信号発生回路、電源回路の四つの基本回路となるが、以下に安定性の問題を含めて、垂直軸増幅回路、同期回路、電源回路の三つの主要回路について動作原理および設計の概略を述べる。

2.1 垂直軸増幅回路

2.1.1 ブラウン管

シンクロスコープをトランジスタ化して小形にする場合に、ブラウン管の占める割合が非常に大きくなり従来の丸形ではスペースファクタが悪い。ブラウン管のもう一つの問題は増幅器の終段に使用する高周波出力トランジスタの耐圧がコレクタ・ベース電圧 V_{CBO} で 80 V が現在のところ最高であり、増幅器の直線性および高周波特性を考慮するとブラウン管の偏向感度を上げる必要のあることである。以上の点から日立製作所茂原工場においては 5 インチ角形のメッシュ偏向拡大形のブラウン管を開発した。図 3 はその方式と原理を示したものである。図 3 (a) に示す従来のヘリカル後段加速電界は電子束を収束する作用をしているが、図 3 (b) に示すメッシュによってできる電界は拡大作用をしている。この作用を利用して偏向感度を上げている。

本ブラウン管の特長をあげると、

- (1) 偏向感度が高い。(垂直軸: 3~5 V/cm)

* 日立電子株式会社

表 1 寸法、重量、消費電力比較表

形 名	寸 法 (mm)			重 量 (kg)	消費電力 (VA)
	幅	高	奥行		
V-500 形シンクロスコープ	250	335	535	25	220
V-112B 形シンクロスコープ	330	432	680	41	720

注: V-112B 形は日立の電子管式 60 Mc シンクロスコープである。

表 2 V-500 形シンクロスコープの仕様

使用ブラウン管	5 インチ角形, 内面目盛
有効 域	6×10 cm
垂直軸 (P-500B 形二現象プラグインユニット使用時)	
信号遅延時間	約 140 ns
偏向感度	10 mV/cm AC または DC (ただし非校正一現象にて 1 mV/cm)
立上り時間	7 ns
周波数特性	DC~50 Mc -3 dB
減 衰 器	10 mV/cm~20 V/cm 電圧直読 11 段切替
入力最大電圧	600 V (DC+AC _{peak})
入力インピーダンス	1 MΩ 20 pF
プローブ使用時	10 MΩ 10 pF
動作方式	CH. A, CH. B, ALTERNATE, CHOPPED, ADDED ALGEBRAICALLY
極性切替	正, 負 (CH. A, CH. B 共)
水平軸 (P-500Q 形掃引遅延プラグインユニット使用時)	
A 掃引	
掃引方式	自励掃引, トリガ掃引, 単掃引, 外部掃引
同期方式	内部, 外部, 電源, CH. B
掃引速度	0.1 μs/cm~5 s/cm 速度直読 24 段切替
同期レベル	内部: 管面振幅 2 mm 以上, 外部: 0.2 V _{p-p} 以上
同期周波数	DC~50 Mc
B 掃引	
掃引方式	自励掃引, トリガ掃引, 単掃引
同期方式	内部, 外部
掃引速度	0.1 μs/cm~5 s/cm 速度直読 24 段切替
同期レベル	内部: 管面振幅 2 mm 以上, 外部: 0.2 V _{p-p} 以上
同期周波数	DC~50 Mc
掃引遅延時間	1 μs~50 s
掃引拡大	10 倍
校正出力	電圧 0.2 mV~100 V _{p-p} , 約 1 kc 方形波 電流 5 mA 方形波
外部出力	ゲート出力, のこぎり波
温度条件	周囲温度 0°C~+40°C
電源	AC 100 V/115 V 50/60 c/s

表 3 (a) 輝線の垂直ドリフト

経過時間 (時間)	0	1	2	3	4	5
管面位置 (mm)	0	+2.5	+2.0	+2.3	+2.7	+2.4

注: 電源投入 15 分後零点設定, 周囲温度=24.5°C

(b) 輝線の垂直温度ドリフト

周囲温度 (°C)	-10	0	+25	+40
管面位置 (mm)	-5.0	-4.6	0	+7.8

- (2) 全長が短い。
- (3) 管面が角形であるからスペースファクタが良い。
- (4) 蛍光面に目盛を刻んであるため測定視差がない。

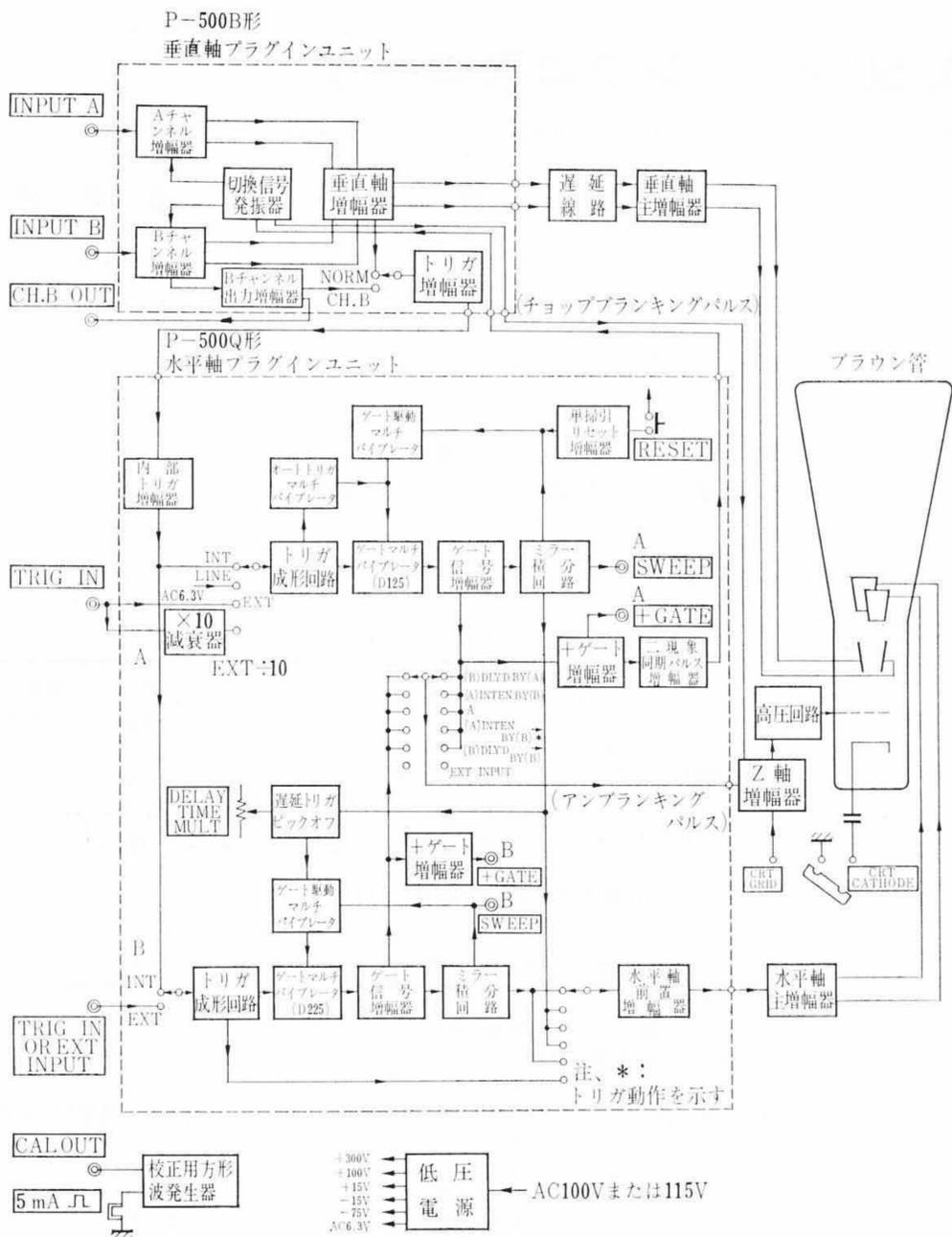


図2 V-500形シンクロスコープのブロックダイアグラム

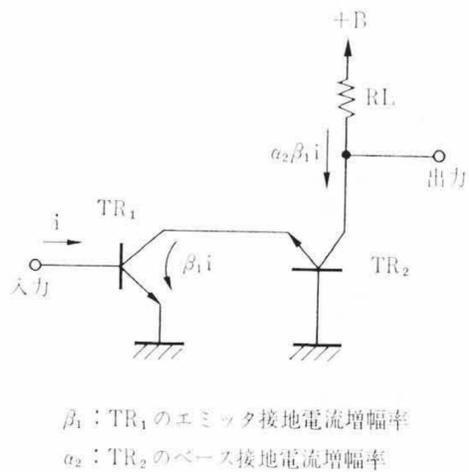


図4 出力段トランジスタの回路構成

短所として拡大率分だけやや焦点が悪くなることあげられるが、実際には加速電圧を15kVに上げて拡大率をおさえて焦点は従来のシンクロスコープと同程度にしてある。また15kVの高電圧に対し安全性をもたせるため高圧発生回路に保護回路を用いている。

特長の(4)で記したように、目盛が蛍光面に固定されてしまうので、輝線と目盛とのずれを補正するために、管内の軸方向に磁界ができるようにブラウン管にコイルを巻き、その電流を変えて輝線を約±5度回転できるようにしてある。

2.1.2 垂直軸増幅器

広帯域の増幅器を設計する場合にはトランジスタを選択、決定するのが大きな問題であるが、最終段の出力用トランジスタは

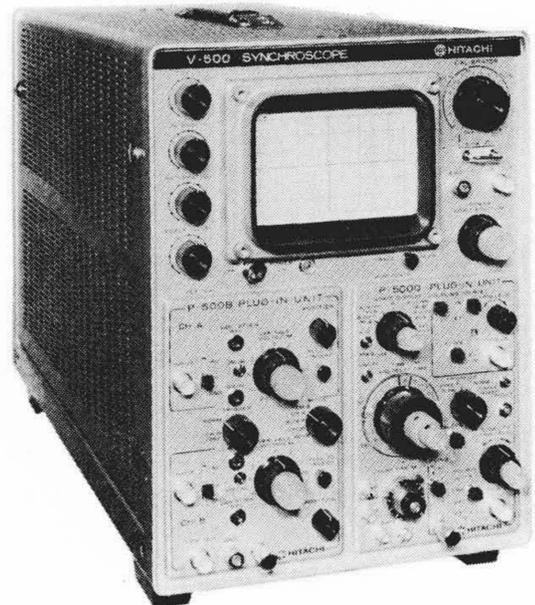
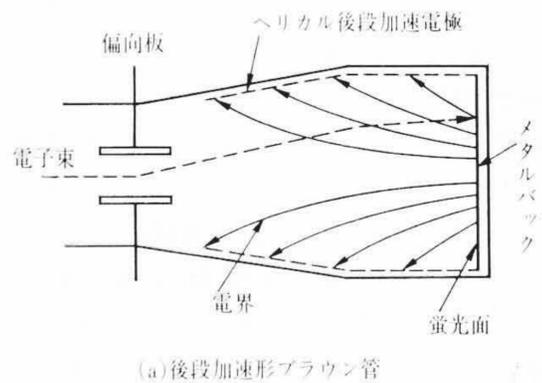
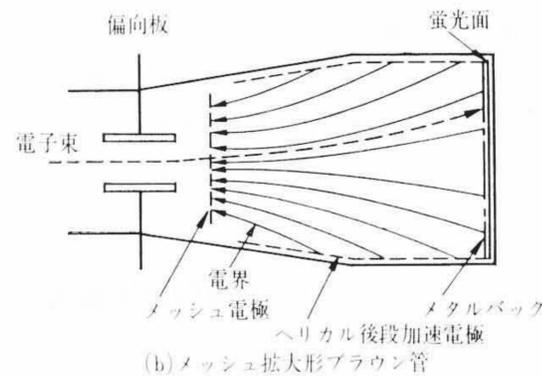


図1 V-500形シンクロスコープ

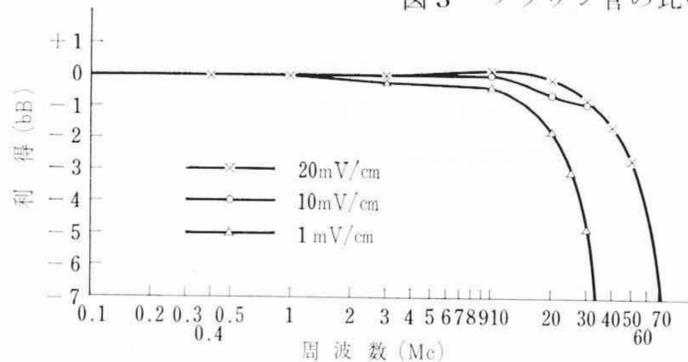


(a)後段加速形ブラウン管



(b)メッシュ拡大形ブラウン管

図3 ブラウン管の比較



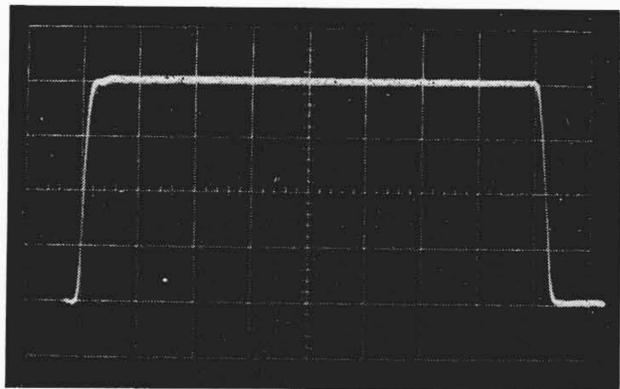
注：mV/cmは入力減衰器の設定値を示し、1mV/cmの場合はCH.AとCH.Bを従続接続した場合。

図5 周波数特性曲線

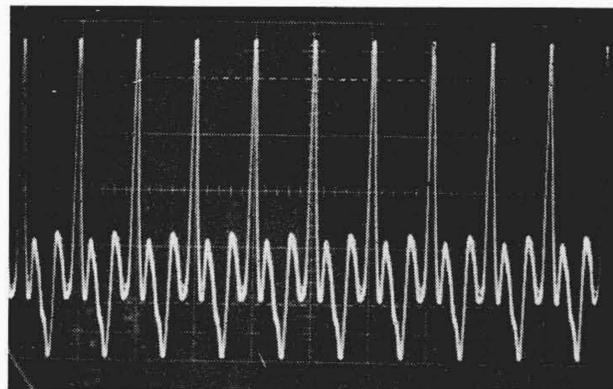
周波数特性および耐圧の点で国産品では満足できるものはなかった。

V-500形シンクロスコープではトランジスタの従続接続による平衡形直流増幅器⁽¹⁾を採用しているが、電子管式に比較して温度ドリフトに注意する必要がある。入力段のみ高入力インピーダンスを得るためにニュービスタのカソードホロワを使用しているが、ヒータは安定化直流電源で加熱されており、電源の温度変化による直流電位変動は0~40°Cまで変化した場合には0.2%変動し、管面に現われるドリフトは5mm以下におさえられる。

次に平衡形直流増幅器のドリフト⁽²⁾の原因としてはトランジス



Y 軸: 0.01 V/div X 軸: 0.05 μ s/div
図6 立上り 3 m μ s 方形波特性



Y 軸: 0.2 V/div X 軸: 0.1 μ s/div
図9(a) 10 Mc 正弦波によるトリガパルス波形

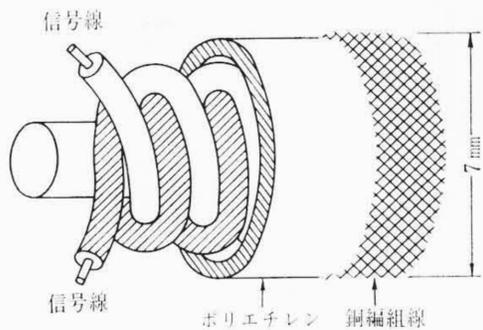
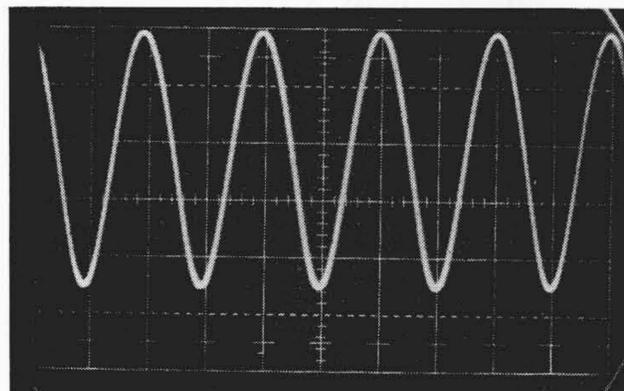


図7 平衡型遅延線の構造



Y 軸: 0.2 V/div X 軸: 0.01 μ s/div
図9(b) 50 Mc 正弦波によるトリガパルス波形

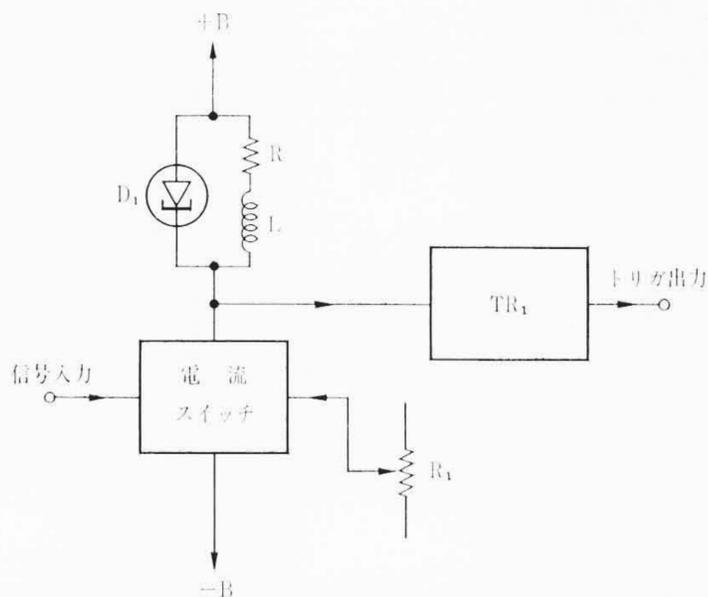


図8 トリガ成形回路の基本構成

タのコレクタ飽和電流 I_{CO} , ベース・エミッタ電圧 V_{BE} が温度によって変化することが考えられる。また平衡形増幅器の性質の一つに弁別比がある。いま増幅器のトランジスタを TR_1, TR_2 としそのおのおののベース抵抗を R_{b1}, R_{b2} , エミッタ抵抗を R_e , 電流増幅率を β_1, β_2 とすると弁別比⁽³⁾ (CMR) は

$$CMR = \frac{R_e \beta_1 \beta_2}{R_b (\beta_1 - \beta_2)} \dots \dots \dots (1)$$

ただし, $R_{b1} = R_{b2} = R_b$

で表わされ, ドリフトを少なくするためには電流増幅率 β_1 と β_2 の差の小さい, 絶対値の大きいトランジスタを選び, エミッタ抵抗 R_e を大きくして同相利得を小さくし, この弁別比を大きくとる必要がある。

V-500 形シンクロスコープでは先に述べたように選別した電流増幅率 β を用いたがベース・エミッタ電圧 V_{BE} は選別しなくとも仕様を満足することが実験の結果わかった。また両トランジスタの温度差を少なくするために銅製金具で熱的にケースを結合してある。したがって $-10 \sim +40^\circ\text{C}$ における総合の温度ドリフトはブラウン管面上で, $0.25 \text{ mm}/^\circ\text{C}$ である。表 3 (a) に垂直ドリフト, 表 3 (b) に垂直温度ドリフトを示す。次に垂直軸主増幅器

について述べる。

まずこの主増幅器では最終段の出力トランジスタの選定が大きな問題となる。ブラウン管の偏向感度は最低のときには 5 V/cm であるから管面 6 cm 励振するため 30 V_{pp} の出力電圧は必要である。なお増幅器の直線性と垂直位置過励振のために電子管式の場合では管面振幅の約 2 倍の最大出力電圧が得られるように設計しているが, トランジスタの場合には電流増幅率の直線性, 動作点による遮断周波数特性, 耐圧などを考慮して最大出力電圧は管面振幅の約 3 倍とれるようにしてある。したがって終段を耐圧の高いベース接地で使用し, 図 4 で示すように電流源形の駆動をすることにより総合で耐圧の高い一個のトランジスタとみなせるようにしてある。このとき平衡間では約 100 V_{pp} の出力電圧を得ている。

周波数特性については終段のコレクタ損失より制限されて, 負荷抵抗は前段のように小さくできないため周波数帯域はほとんどこの抵抗値できまっている。この主増幅器は平衡間感度 300 mV/cm , 周波数帯域約 64 Mc を要する。これをトランジスタ分布増幅器にすることも考えられるが, 縦続接続による平衡形直流増幅器を採用することとした。図 5 に P-500 B 形二現象プラグインユニットをそう入したときの総合周波数特性を, また図 6 に立上り時間 $3 \text{ m}\mu\text{s}$, 繰返し周波数約 1 Mc の方形特性を示す。

2.1.3 遅延線路

遅延線路はさきに製品化された周波数帯域 100 Mc の V-1000 形シンクロスコープのものと同じ分布定数形であるが, 銅編組線被覆をすることによって任意の形状にまとめて取り付けることができる。図 7 に遅延線路の構造を示す。寸法は 100 Mc 帯 V-1000 形より小形である。本遅延線の性能は 2.5 m で約 140 ns の遅延量がある。

2.2 同期回路

2.2.1 トリガ発生器

従来の電子管式シンクロスコープのトリガ成形用マルチバイブレータの応答周波数は約 4 Mc までであり, それ以上の信号にはスイッチング応答しなくなり強制同期に近い状態になる。

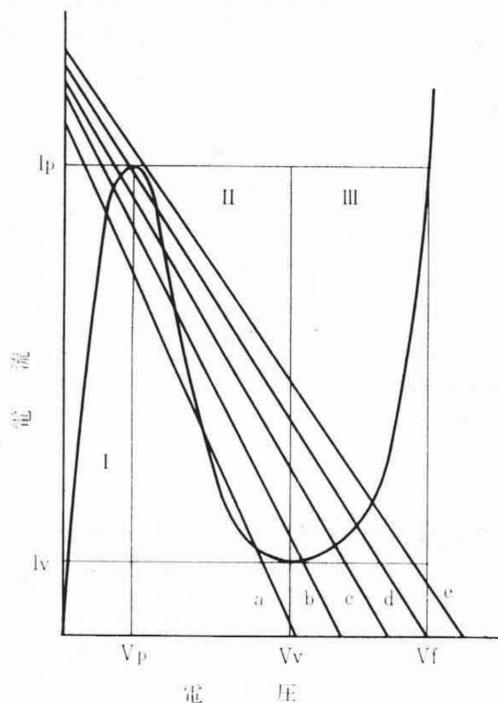


図10 トンネルダイオードの動作領域とトリガリングレベルを変えたときの負荷曲線 a, b, c, d, e は負荷曲線を示す

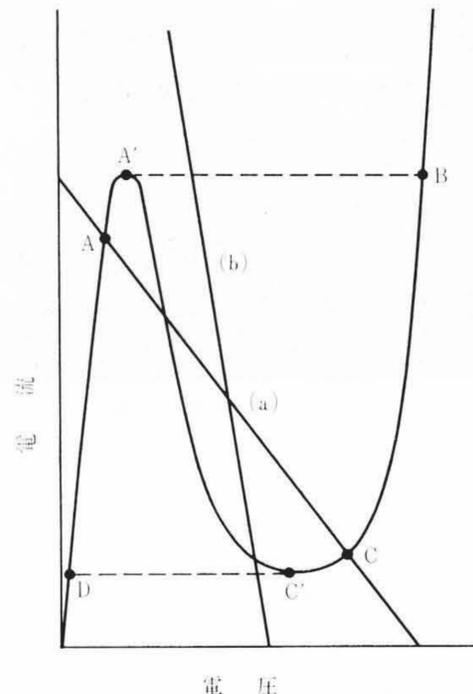


図12 トンネルダイオードの特性と負荷曲線

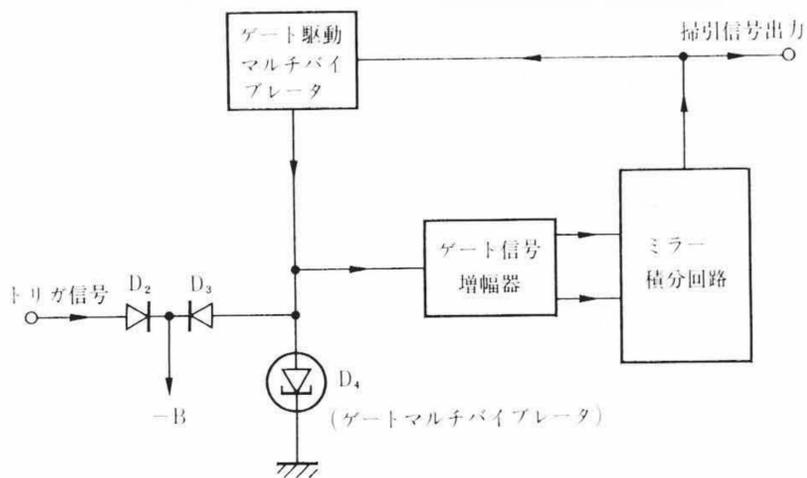


図11 掃引信号発生回路の基本構成

V-500形シンクロスコープではこのトリガ成形回路にトンネルダイオードを使い50 Mcの入力信号にも応答させ、それによってできたトリガ信号をやはりトンネルダイオードで構成された掃引信号発生器のゲートマルチバイブレータで受けることによって50 Mcまでトリガ同期を行なえるようにした。したがって従来よく用いられたHF同期回路は不要になった。図8にその回路構成を、また図9(a)に10 Mc, (b)に50 Mcの正弦波によってできるトリガパルスを示す。50 Mcの場合には正弦波になるが、これによって十分ゲートマルチバイブレータを駆動することができる。

図8において電流スイッチは、トンネルダイオード D_1 に流れる電流を制御するための低周波から高周波まで応答するスイッチとして動作している。レベルコントロール R_1 は電流スイッチの動作点を変化させ、いわゆるシンクロスコープでいうトリガリングレベルの選択を行なっている。トンネルダイオード D_1 のスイッチングによって得られた信号波形をトランジスタ TR_1 で増幅、微分してトリガ信号用の微分パルスを取り出している。この回路において R はトンネルダイオードの負荷抵抗であり、トンネルダイオードは双安定のマルチバイブレータ⁽⁴⁾として動作している。

トンネルダイオードは図10に示すようにIIの負性抵抗領域をはさんでIの低電圧状態とIIIの高電圧状態があり、このIとIIIの間をスイッチングさせてパルスを得ることができる。パルス電圧はGeトンネルダイオードで0.4 V, GaAsのものでも1 Vと非常に小さいのでどうしてもトランジスタで増幅して利用する必要が

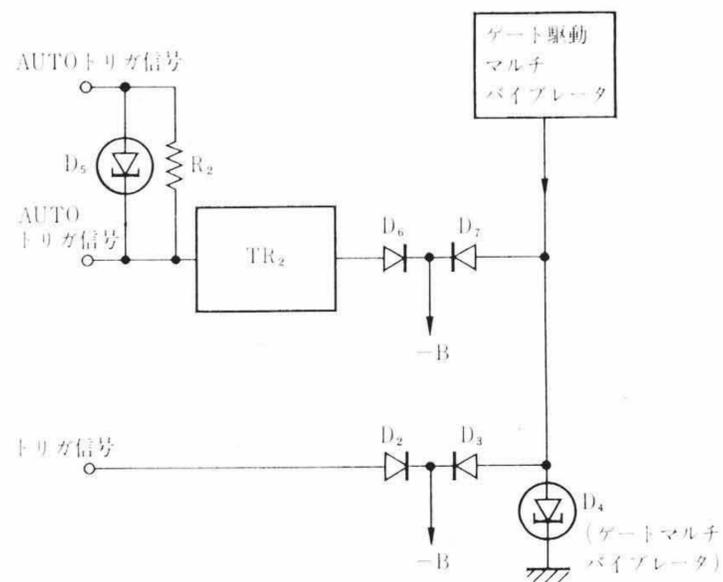


図13 AUTO同期回路の基本構成

ある。GaAsトンネルダイオードをパルス回路に用いると寿命が短いと考えられるため、V-500形シンクロスコープではおもに $I_p=6\text{ mA}$, $V_f=0.4\text{ V}$ のGeトンネルダイオードを使用している。

2.2.2 掃引信号発生回路

掃引信号すなわち、のこぎり波発生回路のゲート回路にもトンネルダイオードを使用してスイッチングの応答を良くしている。図11は掃引信号発生回路の構成を示したもので、図8で得られたトリガ信号を D_2 に加えて、 D_3 をスイッチングさせてトンネルダイオード D_4 への供給電流を変化させてスイッチング動作を行なうものである。このときトンネルダイオード D_4 はトリガ成形回路の場合と同様に双安定でゲートマルチバイブレータとして動作している。図12はトンネルダイオードの特性と負荷曲線との関係を示したもので、 D_4 の負荷抵抗は負性抵抗(約 30Ω)より大きな値をもっているから負荷曲線は直線(a)で表わされる。すなわちAおよびCの二点の安定点を持つ双安定マルチバイブレータとなる。信号電流が加わるとA点からB点を通ってC点に落着き、電流が減少するとC点からD点を通ってまたA点に落着く。この一周期で得られた電圧パルスによって掃引信号発生回路のゲートを開くことになる。

なおミラー積分回路には増幅器初段のインピーダンスを上げて直線性の良いのこぎり波を発生させるためにニュービスタを使用している。

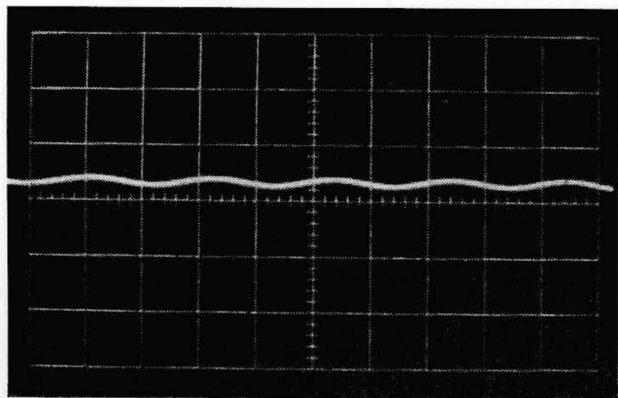
X 軸: 0.01 μ s/div

図 14 50 Mc 正弦波の AUTO 同期

2.2.3 AUTO 同期回路

図 13 においてトンネルダイオード D_5 , 負荷抵抗 R_2 , ダイオード D_6 , D_7 , トランジスタ TR_2 で構成されているのが AUTO トリガマルチバイブレータである。

従来シンクロスコープの AUTO 動作はトリガ成形回路において無安定マルチバイブレータによって約 50 c/s の方形波を発生し, これをトリガ信号として, 信号入力周波数には無関係に, 一定周波数の掃引信号を作っていた。この場合 50 c/s の一定同期であるために, 掃引速度を速い点に設定すると掃引線の輝度が薄くなるという現象がある。この点に対しては繰返し周波数を上げて改善した。

V-500 形シンクロスコープでは図 13 において, 無信号時にはトンネルダイオード D_5 を高電圧状態に設定して, ダイオード D_7 をオフにしてゲート駆動マルチバイブレータからの電流をトンネルダイオード D_4 とダイオード D_3 に供給してトンネルダイオードを約 800 c/s で発振させる。このときトンネルダイオードの負荷曲線は図 12 の (b) に位置し無安定のマルチバイブレータになる。

次に, 信号が加えられると AUTO トリガマルチバイブレータが約 125 c/s の方形波を発生しダイオード D_7 をスイッチングさせ, オン状態の間ダイオード D_2 に加えられたトリガ信号によってトンネルダイオード D_4 をスイッチングさせ, トリガ同期の場合と同じゲート動作をして, 掃引信号を発生させている。したがって本回路方式は従来の AUTO 動作とトリガ同期とを兼ね合わせた動作を行なっている。すなわち無信号時には AUTO 動作をし, 信号が加えられるとトリガ同期の動作を行ないトリガリングレベルを変化させることができる。実際に AUTO 同期のときも 50 Mc の正弦波を管面振幅 2 mm で同期をかけることができる。図 14 にその同期のかかった状態を示す。

以上おもにトンネルダイオードの動作を中心にして同期および掃引回路を述べたが, 実際にトンネルダイオードを使用する場合に, 尖頭電流のバラつきや温度特性が大きな問題になる。温度変化に対して安定であるために種々の補償が行なわれている。

2.3 電源回路

2.3.1 低電圧電源回路

温度保障形定電圧ダイオードを基準電圧とした -75 V の安定化電源と, さらに -75 V を補助基準電圧とした $+100$ V, $+15$ V, -15 V の 4 種類のトランジスタ直列制御形の安定化電源を持っている。電圧の誤差補正用の増幅器の利得をそれぞれ約 60 dB とし, リップルを 0.002% 以下に押えている。また温度安定度はほとんど基準電圧によって決められるので, 定電圧ダイオードには 0.005%/ $^{\circ}$ C 以下のものを用いた。このように安定度の高い電源を用いる理由は, 垂直軸増幅器の初段の不平衡段において電源電圧の変動が直接にドリフトまたはもれ込みとして管面に表われないようにするためと, トンネルダイオードを用いた同期回路を安定に動作させるためである。

2.3.2 Z 軸増幅器

V-500 形シンクロスコープの特長の一つである Z 軸増幅器について説明する。従来のシンクロスコープでは輝度変調をかける場合にはブラウン管のカソードへ容量接続によって信号を加えていたが, この場合はブラウン管のグリッドに図 2 に示すように Z 軸増幅器 (立上り時間 50 ns 以下の直流増幅器) を付加したので, これに外部入力を加えることにより直流から高い周波数まで約 2 V の信号で鮮明な輝度変調をかけることができる。またこの Z 軸増幅器は通常の場合のアンプランキング, チョップブランキング用にも動作している。

3. 結 言

以上述べたとおり, 50 Mc の全トランジスタ式シンクロスコープとして開発した V-500 形シンクロスコープは, 満足すべき特性を示している。生産性の点から本体関係は垂直軸主増幅器を除き他はプリント回路を用いたが, さらに P-500B 形二現象プラグインユニットと P-500Q 形掃引遅延プラグインユニットのプリント回路化を考える必要がある。

シンクロスコープの小形化にあたっては, ブラウン管をはじめ各電気回路部品の小形化をも合わせて進めるのが今後の大きな問題であろう。

最後に本シンクロスコープの開発にあたり, 種々ご援助を賜った日立製作所茂原工場, ブラウン管部小泉課長, 二瓶氏, 高田氏, 日立製作所本社関係各位に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 大橋: エレクトロニクス 9, 60 (昭 39-12)
- (2) Schwartz: 半導体回路ハンドブック, 2-1~2-27 (昭 39-1 近代科学社)
- (3) 木村: エレクトロニクス 7, 42 (昭 37-11)
- (4) 天野橋太郎: エサキダイオード, 121 (昭 40-3 産報)