
高周波測定特集

100 Mc シンクロ스코ープ.....	65
トランジスタ式50 Mc シンクロ스코ープ	71
列車障害物探知用ミリ波擬レーダ装置.....	76
プラズマ測定におけるマイクロ波の応用.....	81
衛星通信用アンテナ特性測定装置.....	86

100 Mc シンクロスコープ

Synchroscope for 100 Mc

笹倉 邦彦*
Kunihiko Sasakura関 志津 忠*
Shizutada Seki久布白 直 明*
Naoaki Kubushiro

要 旨

本文は、周波数帯域 DC~100 Mc の垂直軸増幅器を備えたシンクロスコープ V-1000 形について、主要回路の概要、仕様および性能などを述べたものである。特に垂直軸については、進行波形ブラウン管を使用し、分布増幅器を併用した増幅および平衡な旋形遅延線路の簡単な解析について触れ、その総合性能について述べている。高周波同期回路にはトンネルダイオードを使用し、双安定および非安定の設定を行なうことによって、トリガ同期および HF 同期に分けており、HF 同期で 250 Mc までの同期特性を得ている。

1. 緒 言

今日のエレクトロニクスの進歩につれて、シンクロスコープは、ますます高度の性能と多用途性が必要となっている。シンクロスコープで観測しようとする信号は、振幅範囲で数 μV から数 100V、周波数では、直流から数 100 Mc、また繰返しが周期的であったり、非周期の単一現象であったりする。これらのすべてを満足することは、實際上実現不可能であり、そのため基本回路構成においては共通点が多いが、目的に応じて設計方法も多種多様となる。従来、100 Mc 以上の高周波測定に対しては、信号波形からサンプルを抽出し、再合成するサンプリング方式と、直接、進行波形ブラウン管に信号を加えて観測する直視形シンクロスコープの二つの方式が採られているが、サンプリング方式においては、観測信号は繰返信号に限られること、また直視形の場合は入力インピーダンスが低く、感度が数 V/cm であるため、それぞれの用途は限定されたものとなっている。このような現状にあって、高感度広帯域の汎用シンクロスコープとして V-1000 形シンクロスコープを開発した。

2. 主要回路の概要

P-1000B 形 2 現象プラグインユニットをそう入した V-1000 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。ブロックダイアグラムは、主要回路に大別すれば垂直軸増幅回路、同期回路、掃引信号発生器および電源回路の四つの基本回路となるが、以下に、ブラウン管を含めた垂直軸増幅回路と同期回路の二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。

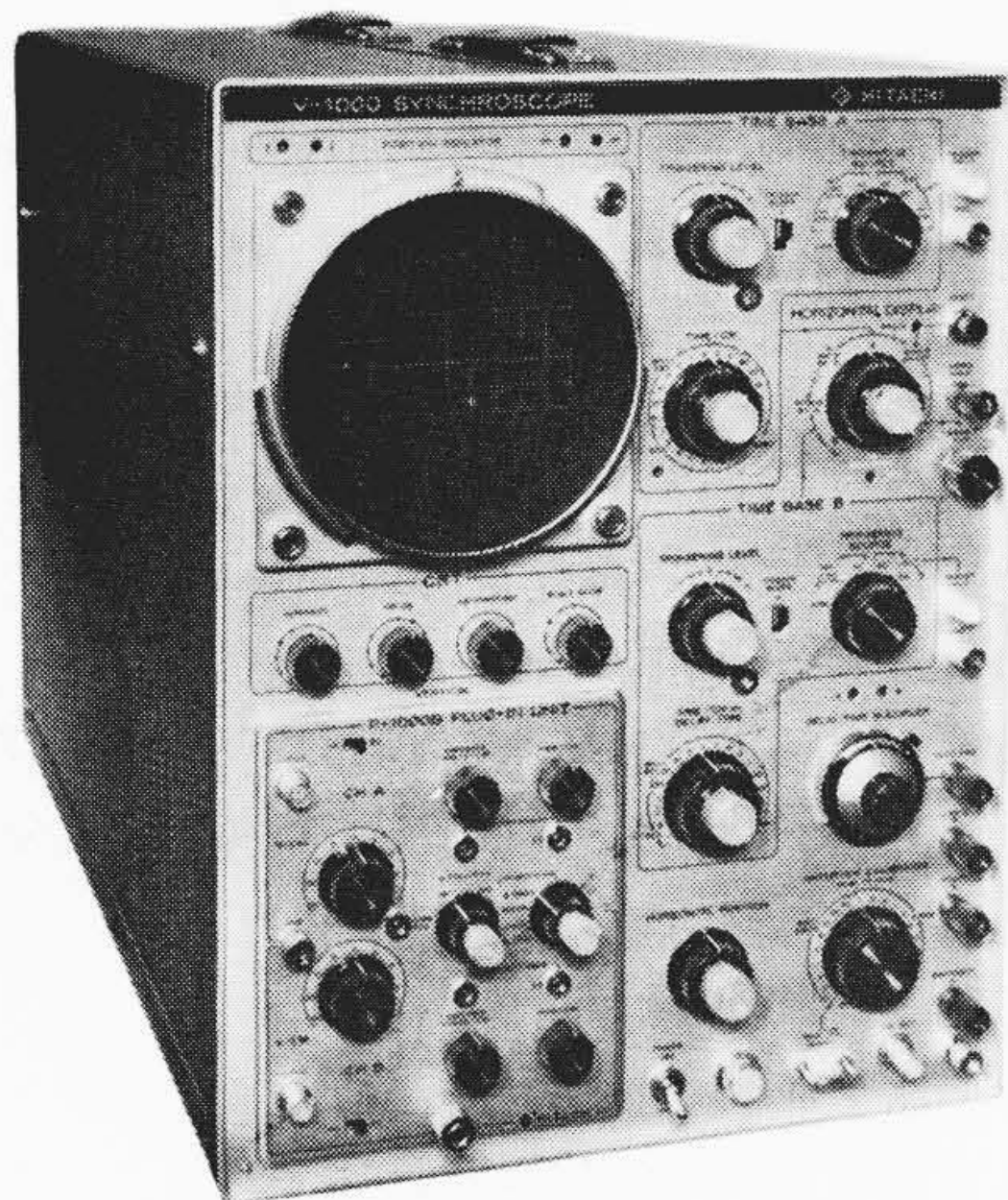


図 1 100 Mc シンクロスコープ

* 日立電子株式会社

2.1 使用ブラウン管

(1) ブラウン管に要求される特性

一般に広帯域シンクロスコープ用ブラウン管は次のような特性が要求され、これらの特性によって垂直軸増幅器の必要性能が著しく左右される。

- (a) 偏向感度が高いこと
- (b) 入力容量が小さいこと
- (c) 偏向回路の共振周波数が高いこと
- (d) 偏向系内の電子走行時間が小さいこと
- (e) 記録速度が高いこと

なお、有効域、ひずみ、スポット径などの一般特性についてはもちろん十分なものでなければならない。

偏向電極を平行であると仮定し、周波数の関数として偏向角を求めることによって

$$D/D_0 = \sin(w\tau/2)/w\tau/2 \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 D : 信号の偏向振幅

D_0 : 直流での偏向振幅

τ : 偏向系内の電子走行時間

また、電子走行速度 v と電子走行時間は

$$\tau = l/v \dots \dots \dots (2)$$

$$v = \sqrt{2eV_{a2}/m} \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 l : 偏向板電極長

e : 電子の電荷

m : 電子の質量

V_{a2} : 加速電圧

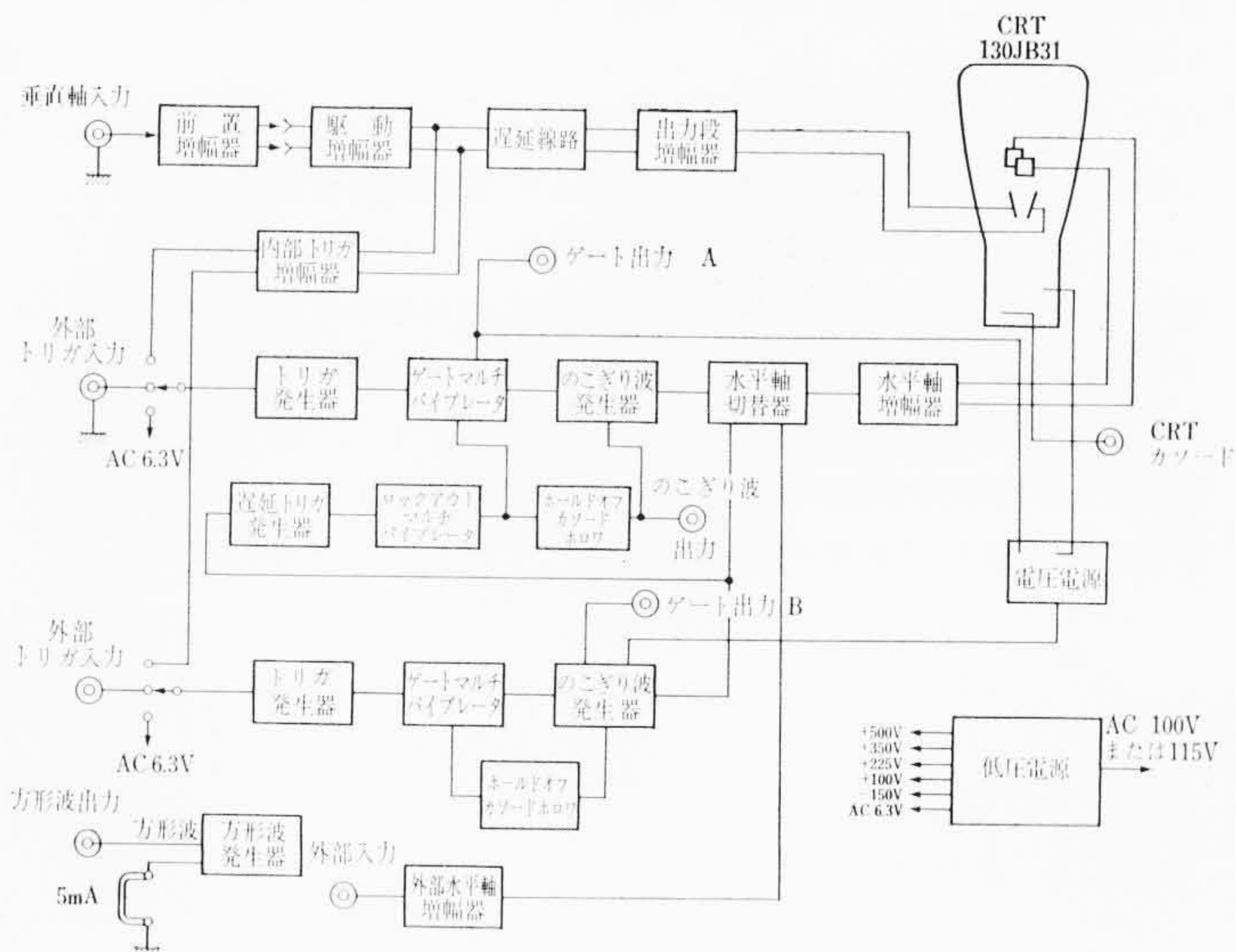
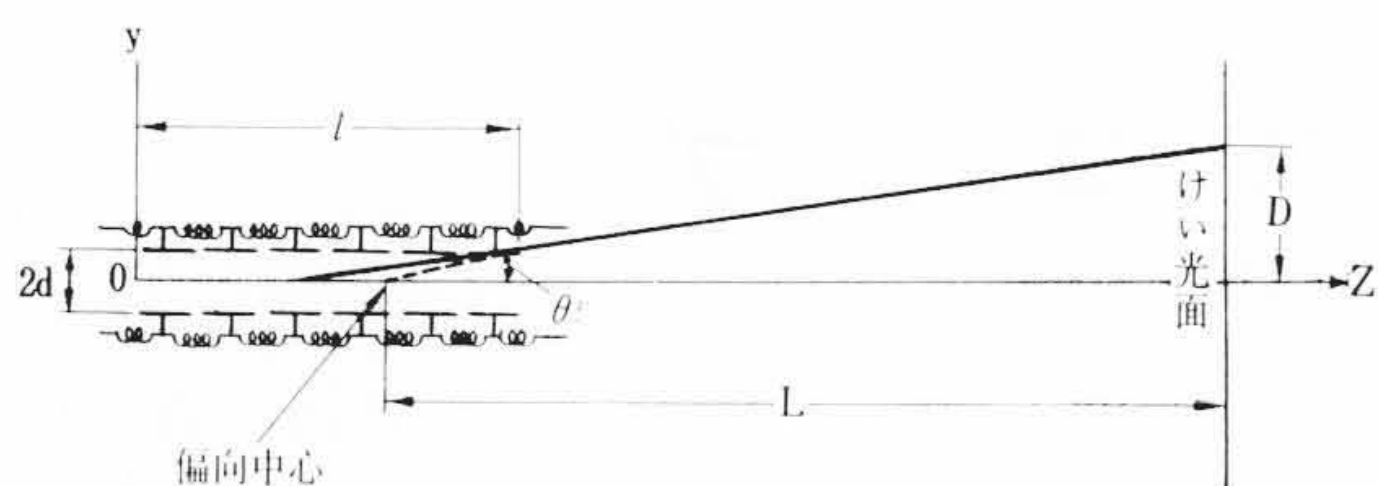
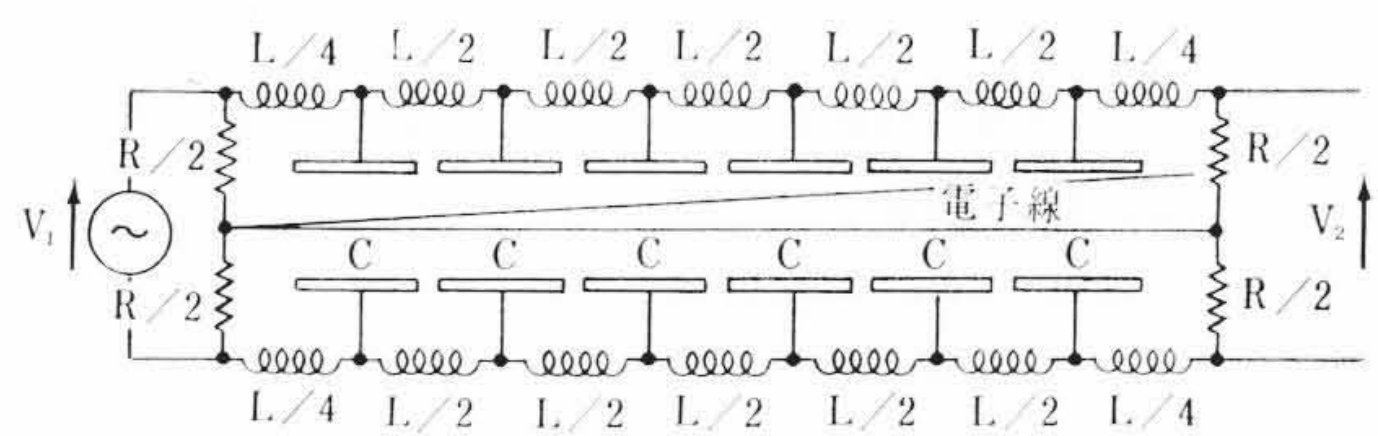


図 2 ブロックダイアグラム



(a) 偏向系の構造および座標系



(b) 等価定K形低域波回路

図3 進行波形ブラウン管

(1)(2)および(3)の式から、上に述べた諸特性は、互いに相反するものであることがわかる。たとえば、加速電圧 V_{a2} を下げれば、感度を増すことはできるが、電子走行時間も増加してしまい、また、 l を増加すれば感度は増すが、電子走行時間も比例して増大し、そのうえ入力容量もまた l に比例して増加して共振周波数は l の平方根に比例して低下することが明らかである。偏向電極間の距離を小さくしても感度を増すが、入力容量も増加し、さらに有効域が狭くなってくる。偏向感度を増す一つの方法として、偏向拡大作用を有するブラウン管がある。この原理は、後段加速電極と偏向系との間にメッシュによる静電シールドを施し、普通の後段加速ブラウン管とは逆に等電位面の形を偏向角を増加させる方向に形成している。しかし感度が高く、有効域が広く、全面フォーカス性が良くなる反面、スポット自体も拡大されるため、フォーカスが甘いという欠点があり、今後の改良が期待される。

従来、30 Mc 帯のシンクロスコープにつかわれている 5 BHP 2 を 100 Mc 帯用として使用する場合、増幅器の所要出力を概算してみる。プッシュプル個々の増幅器で考えると、ブラウン管入力容量約 5.5 pF となるから、浮遊容量を加味して、遮断周波数を約 150 Mc とすると、出力段の負荷抵抗は約 300 Ω となり、出力段の電子管には、ひずみなし出力電圧 15 V、ひずみなし電流変化分 50 mA、また出力容量 4 pF 以下の特性が必要となる。さらに約 2.5 ns の電子走行時間による影響は無視できない値である。以上のように幾何学的構造の変更だけでは実用上の限界があり、偏向板容量を分割し、電子走行時間の影響を除いた進行波形ブラウン管が開発されるにいたった。

(2) 進行波形ブラウン管の動作原理および性能⁽¹⁾

偏向電極の構造および座標系を図 3 (a) 等価回路を図 3 (b) に示す。130 JB 31 の場合は垂直軸の偏向系を 6 分割にしてあるが、偏向板間の静電容量と付加コイルによって遅延回路を構成し、電子走行時間に近い遅延時間を信号電圧に与えて偏向させることによって、走行角のずれによる感度の低下を防ぐものである。遅延回路は定 K 形低域波回路であるので、特性インピーダンスおよび遮断周波数 f_c は次式で表わされる。

$$Z_0 = \frac{R}{\sqrt{1-x^2}} \div \sqrt{\frac{L}{C}} (f \ll f_c) \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $x = f/f_c$

$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}} \dots\dots\dots (5)$$

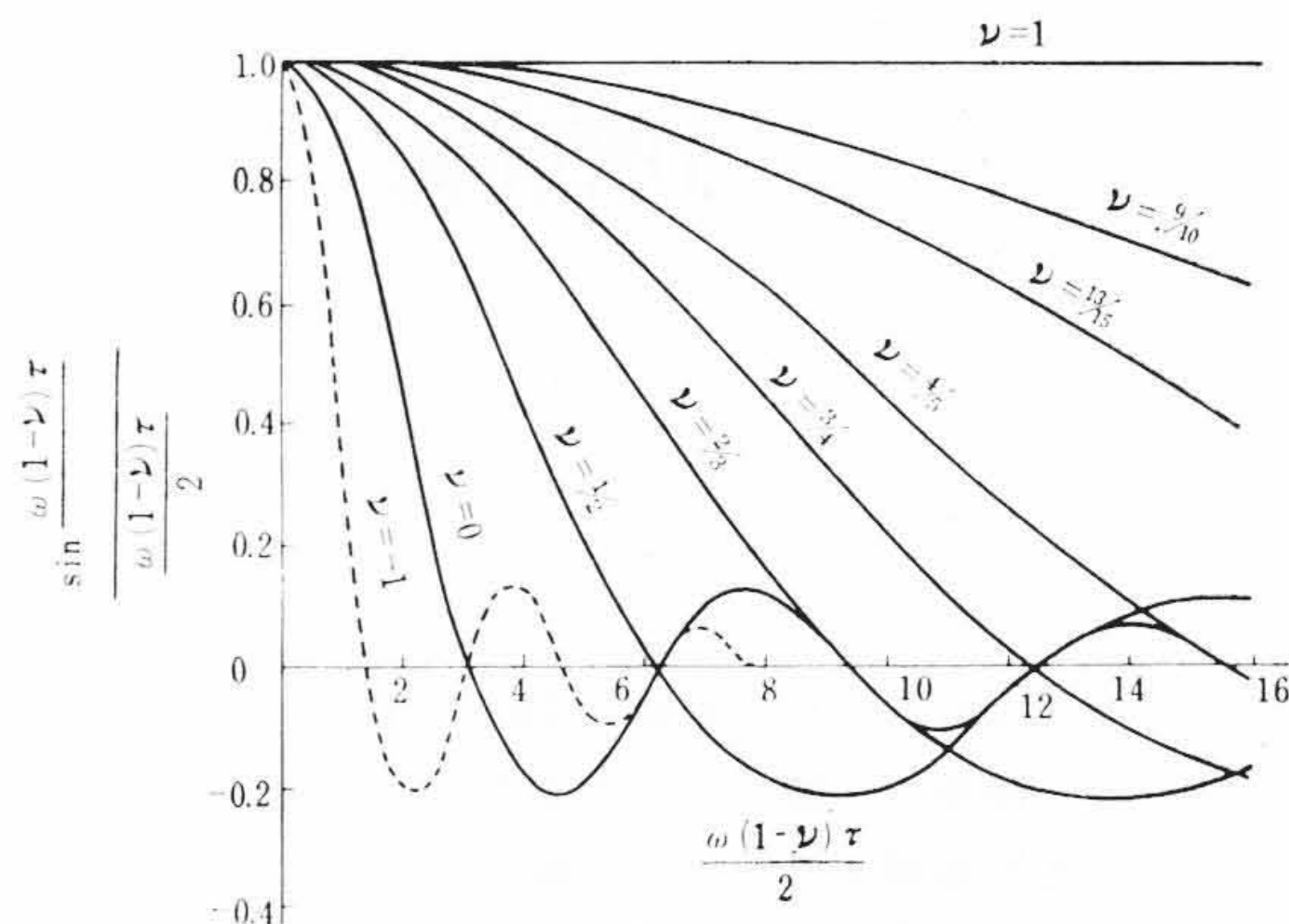


図4 周波数に対するけい光面での振幅の変化

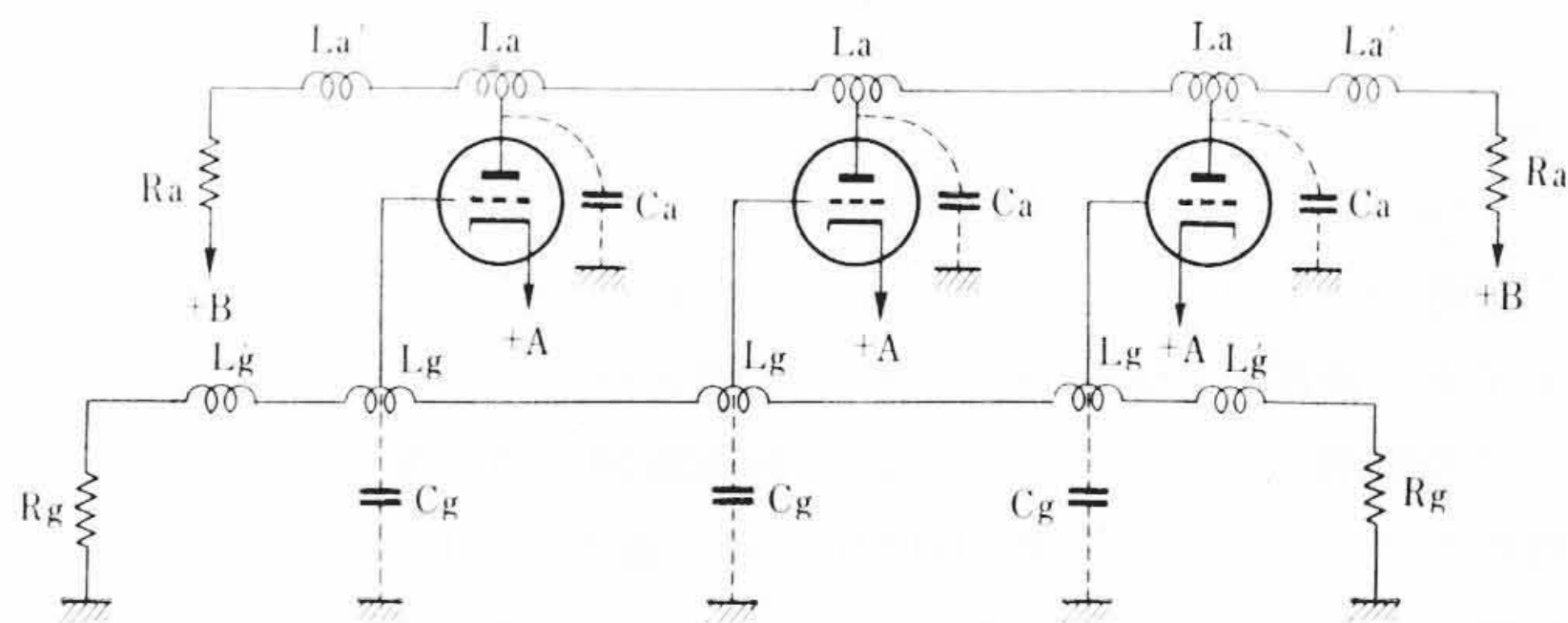


図5 分布増幅器の基本回路

また、回路の位相速度を u とし、直流での偏向振幅との比を求めると、

$$\frac{D}{D_0} = \frac{\sin \frac{w(1-\nu)\tau}{2}}{\frac{w(1-\nu)\tau}{2}} \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 $\nu = v/u$

図 4 は、(6) 式を ν をパラメータとして図示したもので、 $\nu = 1$ すなわち、電子走行速度と回路の位相速度が等しいときに偏向感度は周波数に無関係となる。130 JB 31 では、 $\nu \approx 1/2$ であり、定格の使用条件で偏向感度 4.5~5.5 V/cm、特性インピーダンス 900 $\Omega \pm 5\%$ (平衡間) である。

2.2 広帯域増幅器

シンクロスコープの波形増幅器に課せられる条件は、一般増幅器と異なり、直線性、感度、周波数特性および方形波過渡特性、信号遅延時間、高入力インピーダンスおよびトリガ出力電圧の設定など多くの条件を満足せねばならない。

広帯域増幅を行なう場合に、その周波数特性の限界に最も大きな影響を持つものが電子管その他の静電容量であって、電子管の良さを示すものとして、次式で示される良さの指数 (figure of merit) F が一般的である。

$$F = \frac{g_m}{2\pi(C_{in} + C_{out})} \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 g_m : 相互コンダクタンス

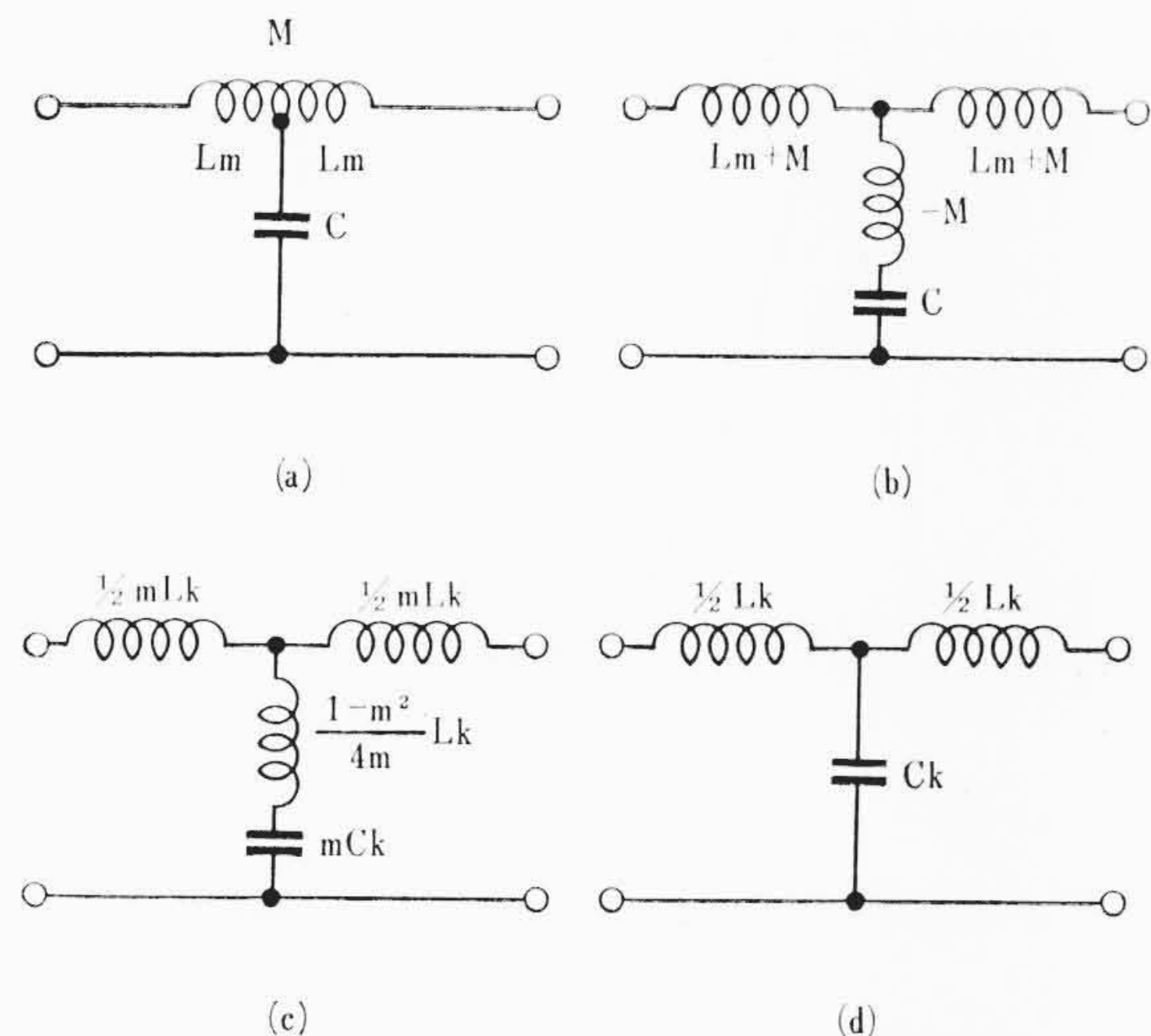
C_{in} : 電子管の入力容量

C_{out} : 電子管の出力容量

(7) 式から、電子管を並列に使用の場合は F 値が変わらず g_m だけが加算されることになる。この点に着目し電極容量を分割し遅延線路を付加するように構成したのが分布増幅器である。

(1) 分布増幅器^{(2)~(4)}

図 5 に基本回路を示す。前述の進行波形ブラウン管と同様、電子管の入出力容量により、低域波回路を構成しているので、増幅器の諸特性は遅延回路の特性によって決定される。誘導 m 形を使用している理由は次のような特性による。

図6 誘導 m 形回路の変換

- (a) 広い周波数にわたって遅延時間が一定である。
 (b) 広い周波数にわたって位相ひずみが小さい。したがってオーバーシュートも小さい。
 (c) 電子管の容量変化に対して安定である。

誘導 m 形回路は、図6(a)～(c)の変換によって(d)の定 K 形と同様に考えることができる。したがって、特性インピーダンス Z_0 、遮断周波数 f_c 、および n 区間の場合の遅延時間 T_d および利得 G は次式で表わされる。

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_K}{C_K}} \quad (4)'$$

$$f_c = \frac{1}{\pi \sqrt{L_K C_K}} = \frac{1}{\pi Z_0 C_K} \quad (8)$$

$$T_d = n t d_1 = n m \sqrt{L_K C_K} \quad (9)$$

$$G = \frac{n g_m Z_0}{2} \quad (\text{両側終端}) \quad (10a)$$

シンクロスコープの出力段増幅器では、ブラウン管の比較的高いインピーダンスを駆動するので片側終端のみで出力を得ることが多いが、その場合の利得は

$$G = n g_m Z_0 \quad (\text{片側終端}) \quad (10b)$$

また、実際の回路定数 L 、 C との関係式は次のようになる。

$$M = \frac{m^2 - 1}{4m} L_K \quad (11)$$

$$L_m = \frac{m^2 + 1}{4m} L_K \quad (12)$$

$$C = m C_K \quad (13)$$

ただし、 m ：誘導 m 形回路の結合係数

負の相互インダクタンスを得るためには、同一ボビンに同一方向の二つのコイルを巻くことが必要であり、その場合の総インダクタンス L は明らかに次式で示される。

$$L = 2L_m + 2M = m L_K \quad (14)$$

また、周波数特性およびステップ電圧に対する過渡応答が最も良好となる場合の m の値は1.27である。

以上簡単な原理および計算式について述べたが、各区間の増幅度が効果的に加算されるためには、当然グリッドおよびプレート回路の遅延時間、したがって遮断周波数が等しくなければならないことは明らかである。また、多区間接続の構成とした場合、有効帯域は遮断周波数の少なくとも2/3から1/2程度で考えなけれ

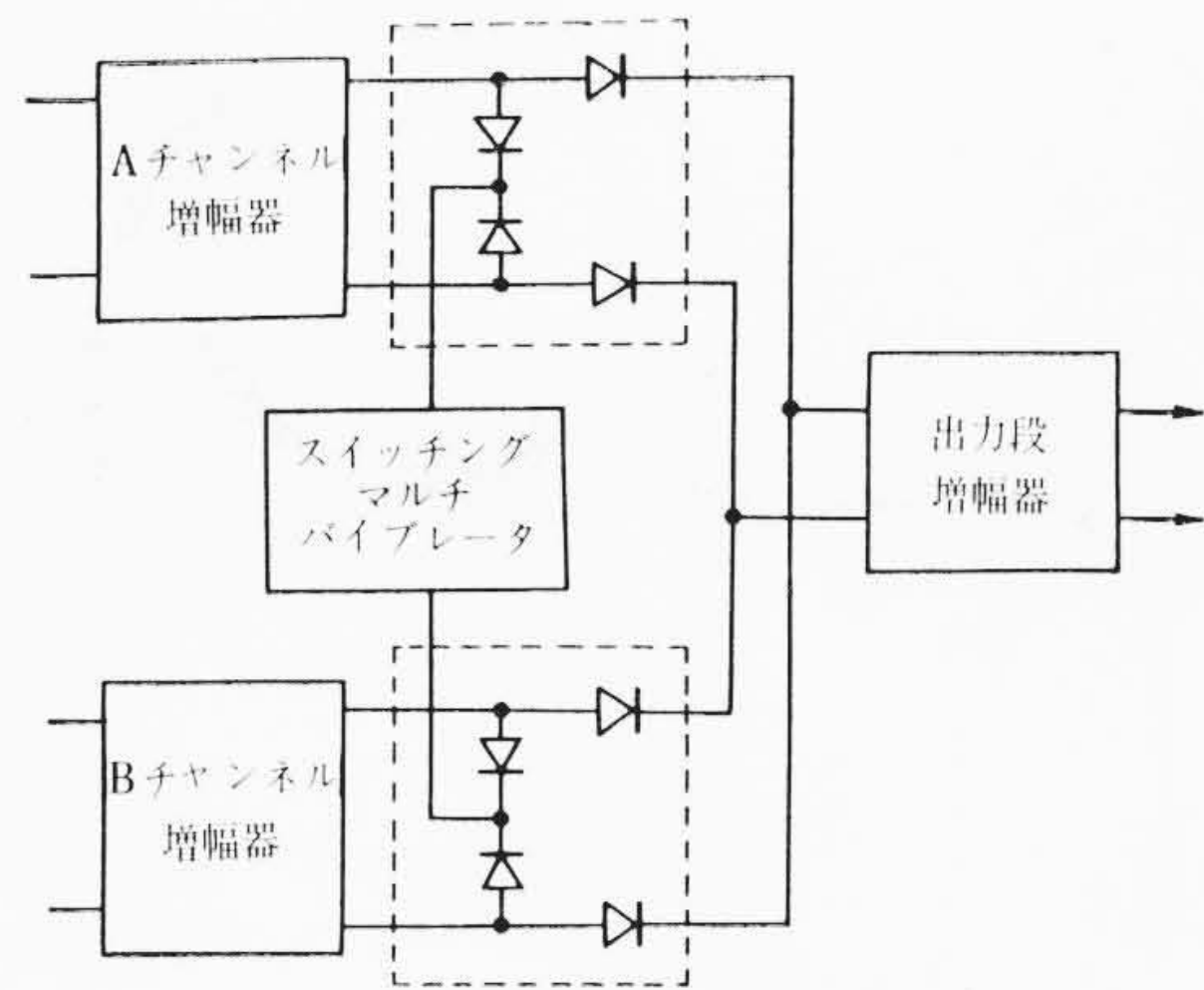
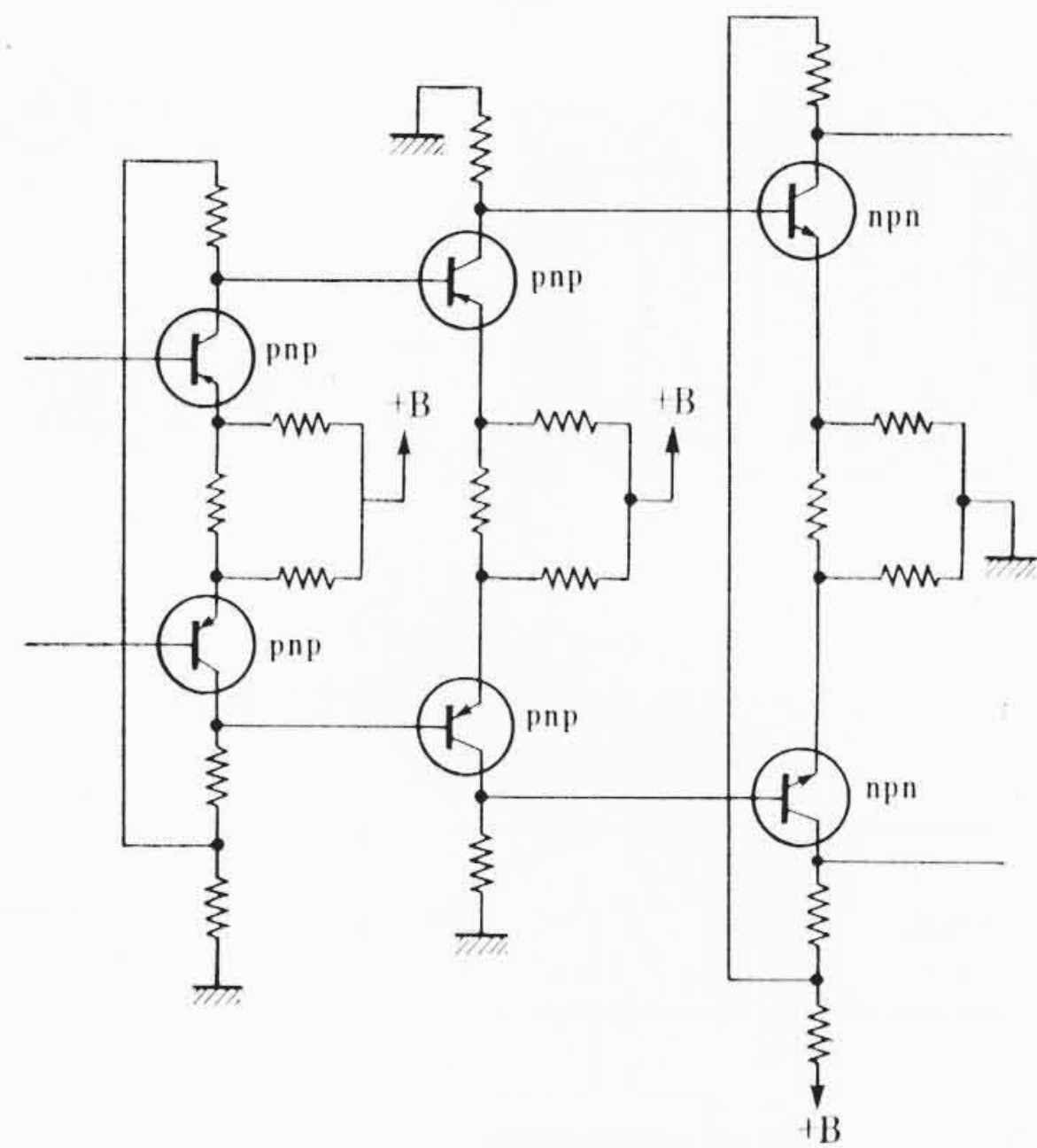


図7 ダイオードゲート回路

図8 $\times 10$ 増幅器の構成

ばならない。周波数が100 Mc以上となると、電子走行時間およびカソードリードのインダクタンスの影響による入力コンダクタンスの増加や、コイルの巻線に分布する静電容量などを考慮しなければならない。

V-1000形シンクロスコープでは、上記の点を考慮し、双3極管を使用し、平衡形に対応する電子管のプレート、グリッド間に中和コンデンサをそう入して C_{gp} によるミラー効果を打ち消す方法をとっている。両遅延線路の特性インピーダンスは93Ω、有効帯域は約200 Mcである。また、出力段には、ブラウン管の入力インピーダンス450Ω(平衡間900Ω)を励振し約10Vの無ひずみ出力を得るために、 g_m 50 mA/Vの電子管を使用し、カソードにCRの補正回路をそう入し、約100 Mcの周波数帯域としている。本体増幅器の総合特性は、プラグインユニットとの結合部から見て、感度0.1 V/cm、立上り時間約3.5 ns 利得約60倍であり、3段増幅器の利得配分は大略3, 5, 4の比率である。そのほか、本体増幅器の電子管をすべて安定化電源による直流点火とし、電源電圧変動による利得変化およびドリフトを押えている。

(2) 前置増幅器プラグインユニットおよび入力回路

垂直軸はプラグイン方式を取り、種々の測定目的に適合できるものとした。広帯域プラグインユニットP-1000A形は、プローブ内にP-K分割の平衡変換段を有するもので、プレートは直流結合、カソードはコンデンサによる交流結合である。そのため、直流利得の補正は、プレート側にカソードの時定数と一致したCR回路をそう入することによって得ており、総合特性は、立上り時間3.5 ns、周波数特性DC～約100 Mcである。また減衰器はプロ

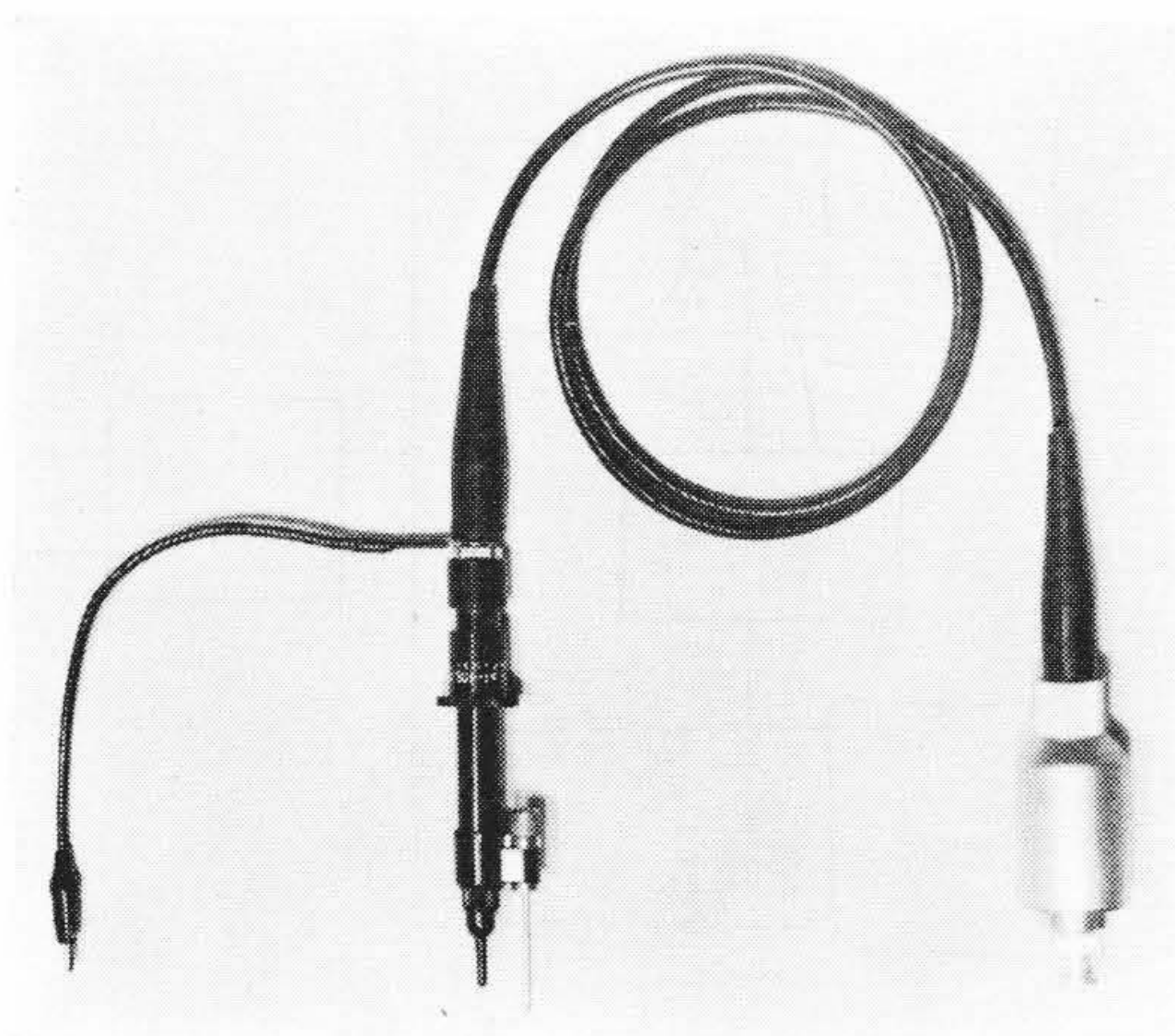


図 9 高周波観測用 10:1 プローブ

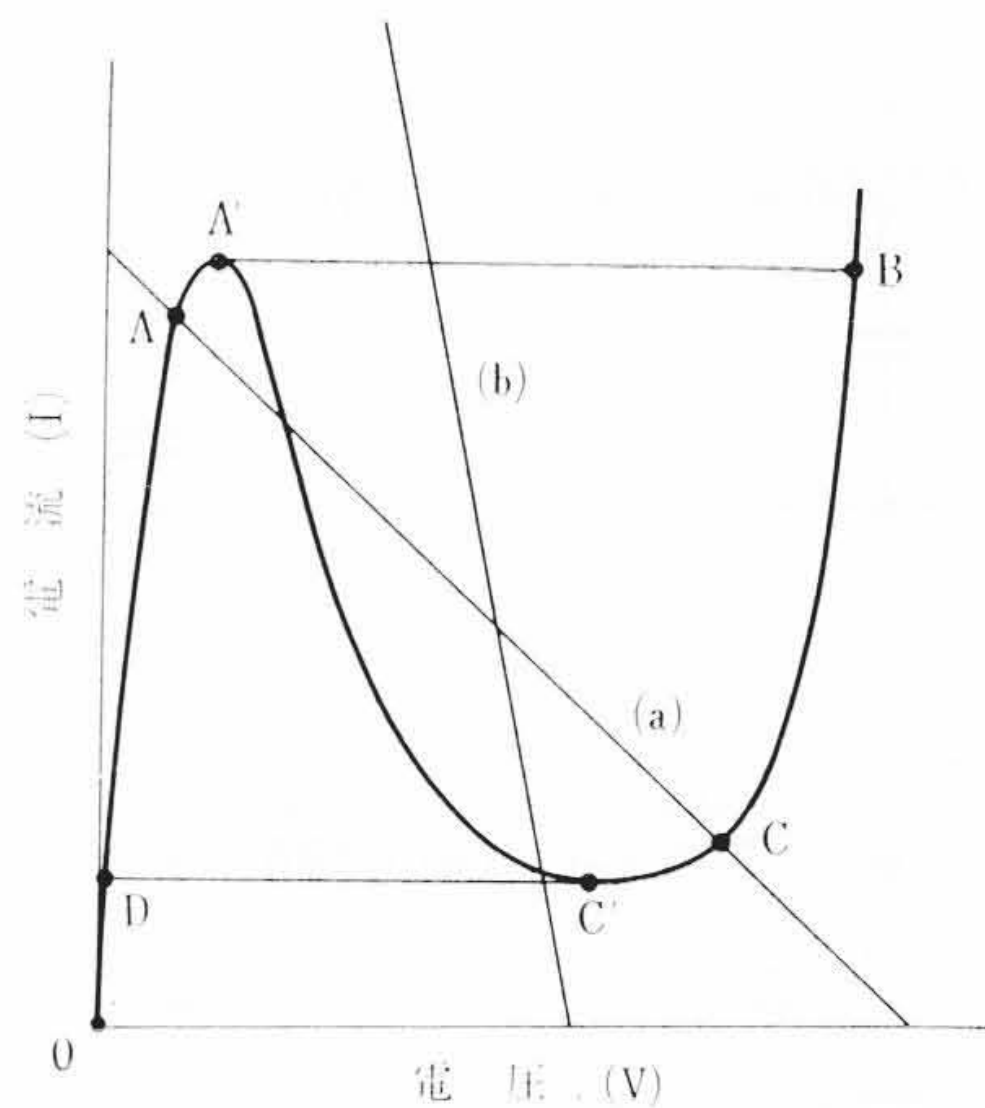


図 12 トンネルダイオードの特性曲線

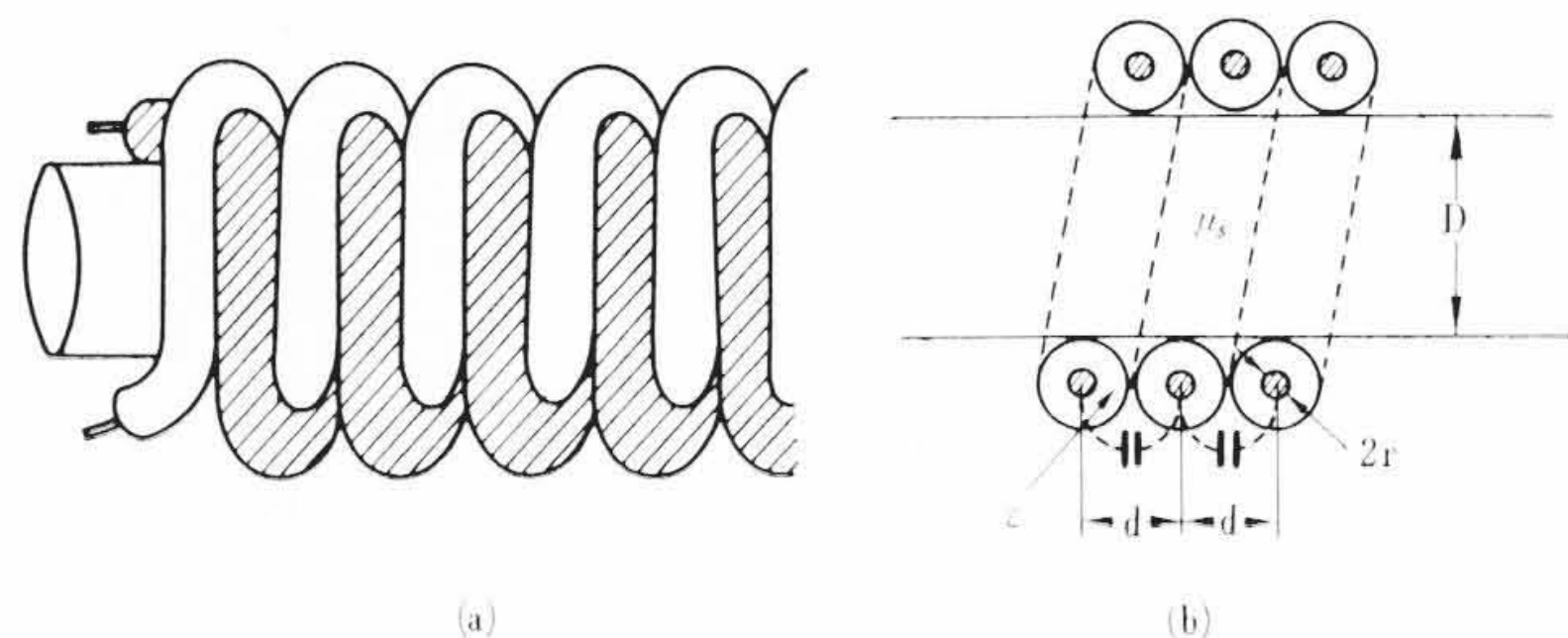


図 10 平衡らせん形遅延線路の構造

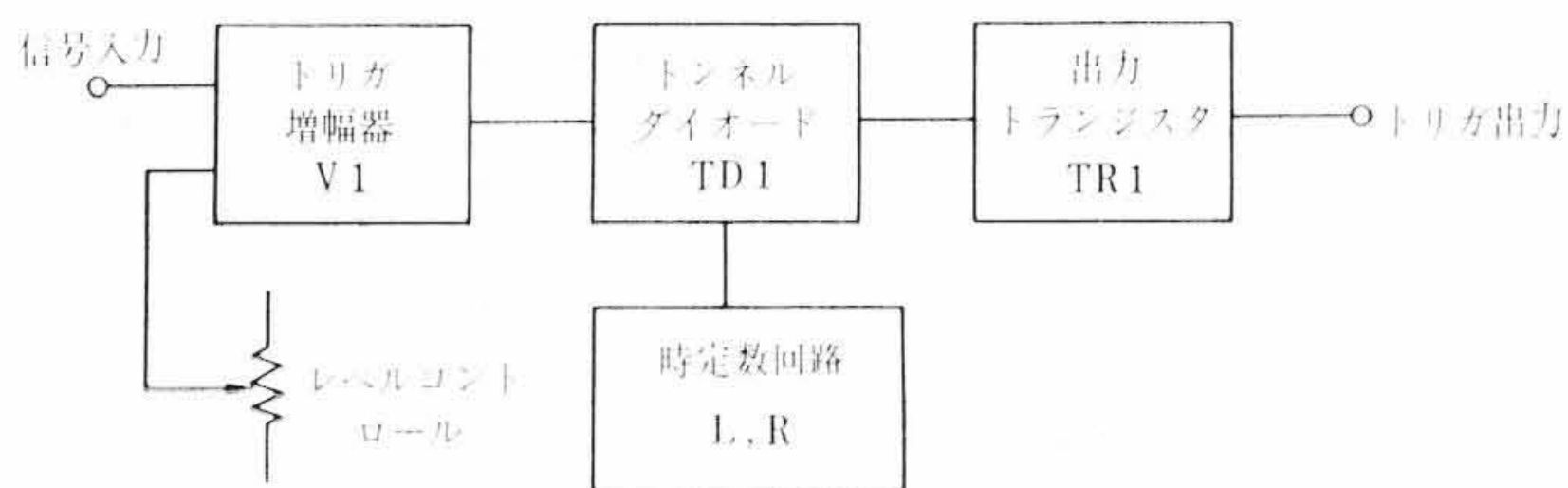


図 11 同期回路の基本構成

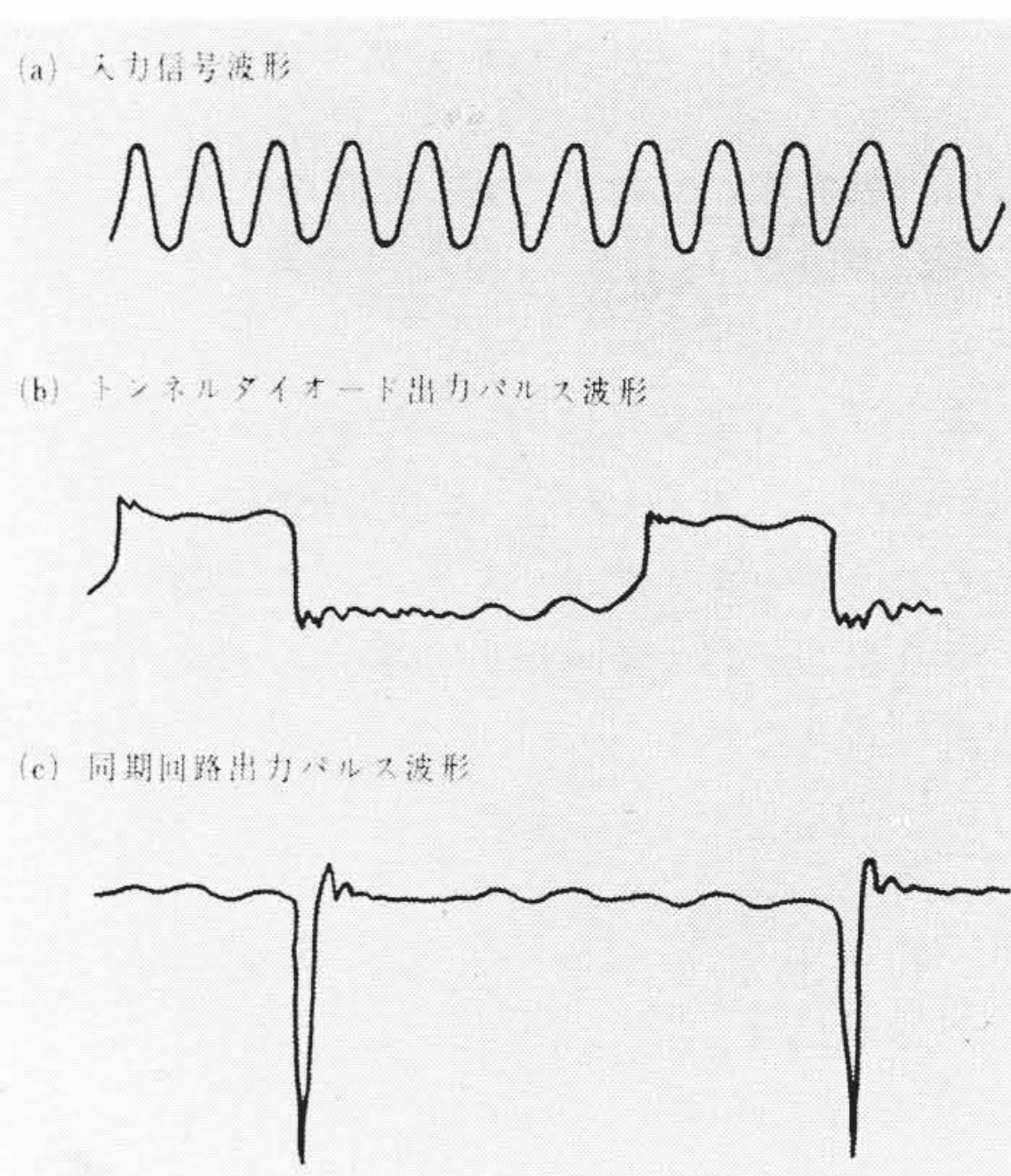


図 13 同期回路の各部電圧波形

ープヘッド交換になっている。

2 現象ブラグインユニット P-1000B 形は、トランジスタを使用した増幅器を 2 回路有し、図 7 に示されるようにダイオードゲートによって 2 個の回路を切り換えて、3 区間の本体と同様な分布増幅器を通して本体と結合している。また、3 段カスケードの利得 10 倍の増幅器を設け図 8 のように、pnp, npn のトランジスタ特性を活用して入出力電圧をほとんど等しくし、そのまま段間にそう入できるようにし、直流から 10 倍の増幅度を得ている。総合特性は、利得 1 で感度 0.1 V/cm、立上り時間 4.0 ns、周波数特性 DC~85 Mc、10 倍増幅器を使用した場合利得 10 で感度 0.01 V/cm、立上り時間 4.3 ns、周波数特性 DC~80 Mc である。入力回路には高インピーダンス減衰器を内蔵しスイッチ切替としている。

電圧測定用プローブ (10:1 減衰比) は従来の形状では、接地用リードが共振を生じ、10 ns 以下のパルス観測では、誤差が大きくなることから、図 9 に示されるようにプローブヘッドに直接アースを取り付けることによって共振を防ぎ、さらに出力端には補正回路を設けて、パルス特性の補正を行ないプローブ単体で約 3 ns の立上り時間の特性を得ている。

2.3 遅延線路

同期回路にトリガ信号が加わってから管面掃引が開始するまでに掃引発生器の動作時間があるため、時間の遅れを生ずる。したがってパルスの立上り部分を観測するためには、垂直軸回路に遅延回路をそう入し、掃引を開始してからブラウン管の垂直軸偏向板に信号

が加わるように一定遅延時間を与えなければならない。一般に遅延回路に使用されるものには、集中定数形遅延線路、高周波同軸ケーブルおよび遅延ケーブルがあるがそれぞれに一長一短がある。V-1000 形シンクロスコープでは図 10 (a) に示された構造の平衡らせん線路を使用しており、この遅延線路の近似式は次のようになる。

巻線の重なり部分を無視して考えると図 10 (a) のものは (b) で示された構造で近似できる。

静電容量 C_1 は平行 2 線条の考えを導入すると

$$C_1 = 2 \times \frac{\pi \epsilon}{\log \frac{d + \sqrt{d^2 - 4r^2}}{2r}} \quad (15)$$

また、一線条の単位長当たりの線長 a は

$$a = \pi(D+d)/2d \quad (16)$$

2 線の被覆である誘導体は外径で接しているだけであるから実効誘電率は当然下がるので、その係数を K_s とすれば

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_s K_s \quad (17)$$

(14), (15) および (16) 式によって単位長当たりの静電容量 C は次式となる。

$$C = C_1 a = \frac{(D+d) \pi^2 \epsilon_0 \epsilon_s K_s}{d \log \frac{d + \sqrt{d^2 - 4r^2}}{2r}} [F/m] \quad (18)$$

ただし、 $\epsilon_0: 8.85 \times 10^{-12} [F/m]$

次にインダクタンス L は、両端子を逆相に励振する場合であるから、電流方向一定の単相密着巻円筒コイルと考えると、図 10 (b) より

$$L = \frac{\pi^2 (D+d)^2}{d^2} \mu_s K \times 10^{-7} \quad [H/m] \quad \dots\dots\dots (19)$$

ただし、 K : 長岡係数

したがって、平衡間の特性インピーダンス $Z = \sqrt{L/C}$ および l_m 当たりの遅延時間 $T_d = \sqrt{LC} \cdot l$ により必要特性を求めることができる。ポリエチレンを使用した場合 $K_s \epsilon_s \div 1.1$ とすれば、ほぼ実験結果と一致する。V-1000 形シンクロスコピーに使用された遅延線路は平衡間特性インピーダンス約 180 Ω 、線路長約 2.7 m であり遅延時間は約 150 m μs である。

2.4 同期回路

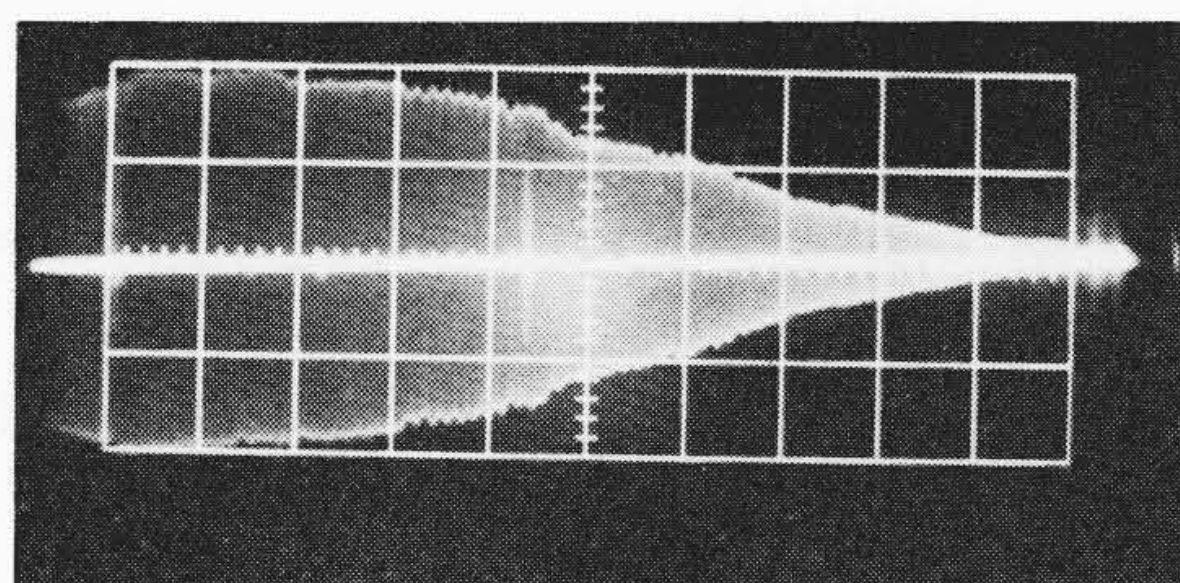
V-113 形および V-112-B 形シンクロスコピーでは、HF 同期回路にのみ、トンネルダイオードを使用していたが、V-1000 形シンクロスコピーでは、トンネルダイオードの負荷曲線を選択することによってトリガ同期を行なうようにした。図 11 はその回路構成を示したものである。

V1 のトリガ増幅器は高周波信号をトンネルダイオードに加えるドライバとして動作し、レベルコントロール R1 によってダイオードのバイアス電流を変化させる。トランジスタ TR1 とそのベース回路の組合せが主要回路であり、微分パルス発振器として動作する

表 1 V-1000 形シンクロスコピーの仕様

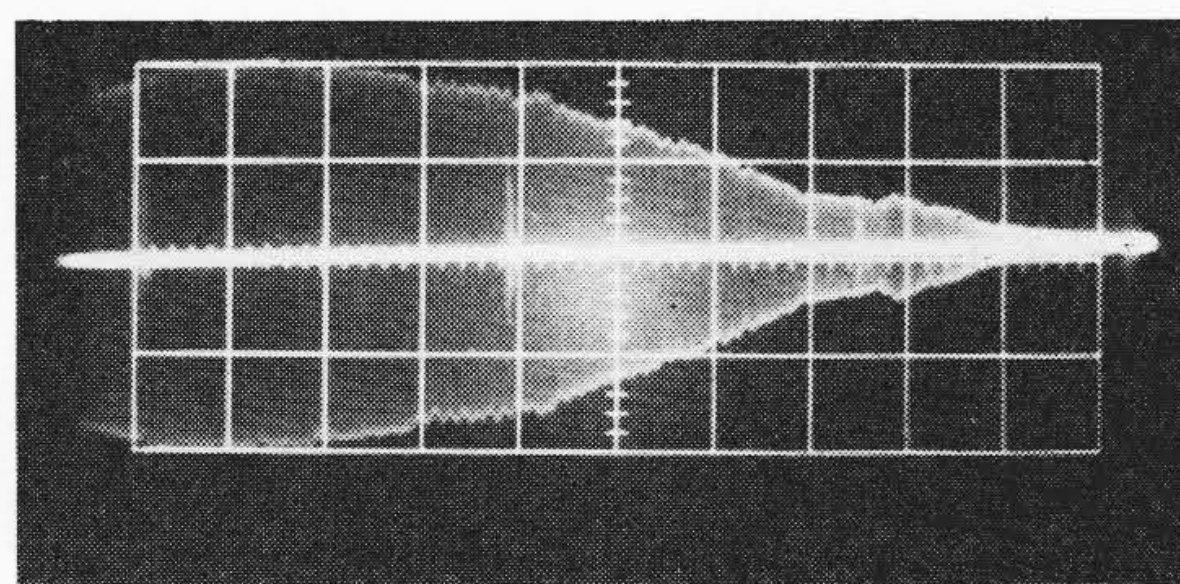
使用ブラウン管	130JB31
有効領域	4×10 cm
垂直軸	
信号遅延時間	約 120 ns
(P-1000 A 形プラグインユニット使用のとき)	
偏向感度	0.1 V/cm~5 V/cm
立上り時間	3.5 ns
周波数特性	DC~約 100 Mc -3 dB
(P-1000 B 形プラグインユニット使用のとき)	
偏向感度	×1 のとき 0.1 V/cm~50 V/cm ×10 のとき 0.01 V/cm~5 V/cm
立上り時間	×1 のとき 4.0 ns ×10 のとき 4.3 ns
周波数特性	×1 のとき DC~約 85 Mc -3 dB ×10 のとき DC~約 80 Mc -3 dB
動作方式	A, B ONLY, CHOP, ALTERNATE
水平軸	
A 掃引	
掃引速度	0.05 $\mu s/cm$ ~2 s/cm
同期レベル	管面振幅 2 mm 外部 0.2 V 以上
同期周波数	DC~250 Mc
B 掃引	
掃引速度	2 $\mu s/cm$ ~1 s/cm
同期レベル	管面振幅 4 mm 外部 0.2 V 以上
同期周波数	DC~5 Mc
掃引拡大	5 倍
掃引遅延時間	1 μs ~10 s
校正用出力	電圧 0.2 mV~100 V 約 1 kc 方形波 電流 5 mA 方形波
外形寸法	335 (W)×435 (H)×685 (L) mm

図 12 の直線 (a) で示される負性抵抗より大きい値の負荷 R をとつ



(a)

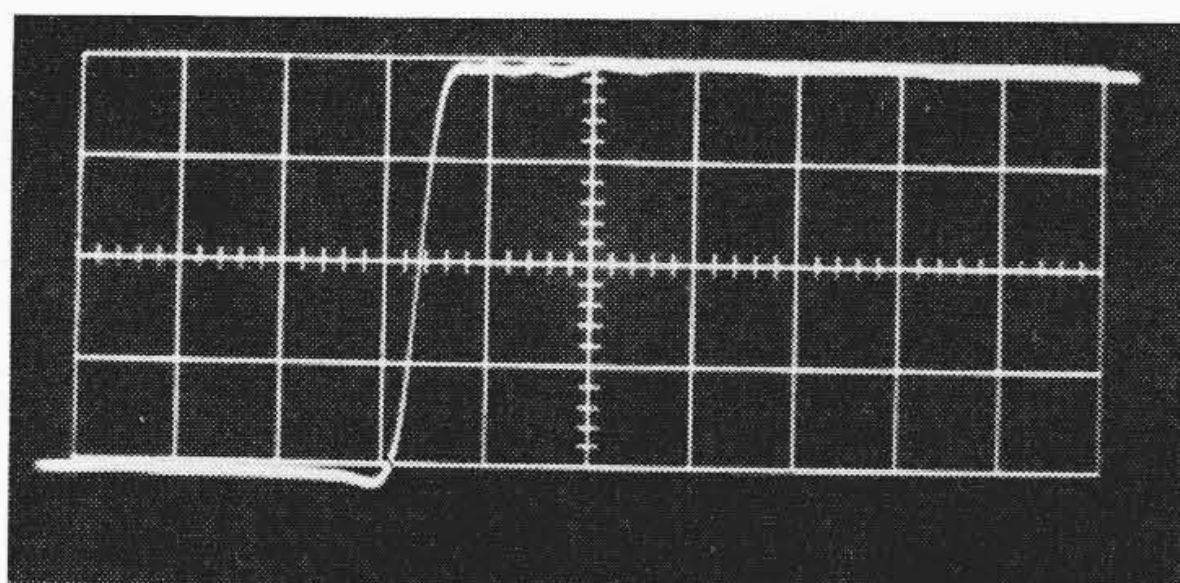
(a) ×1 の場合 マーカ点 85 Mc



(b)

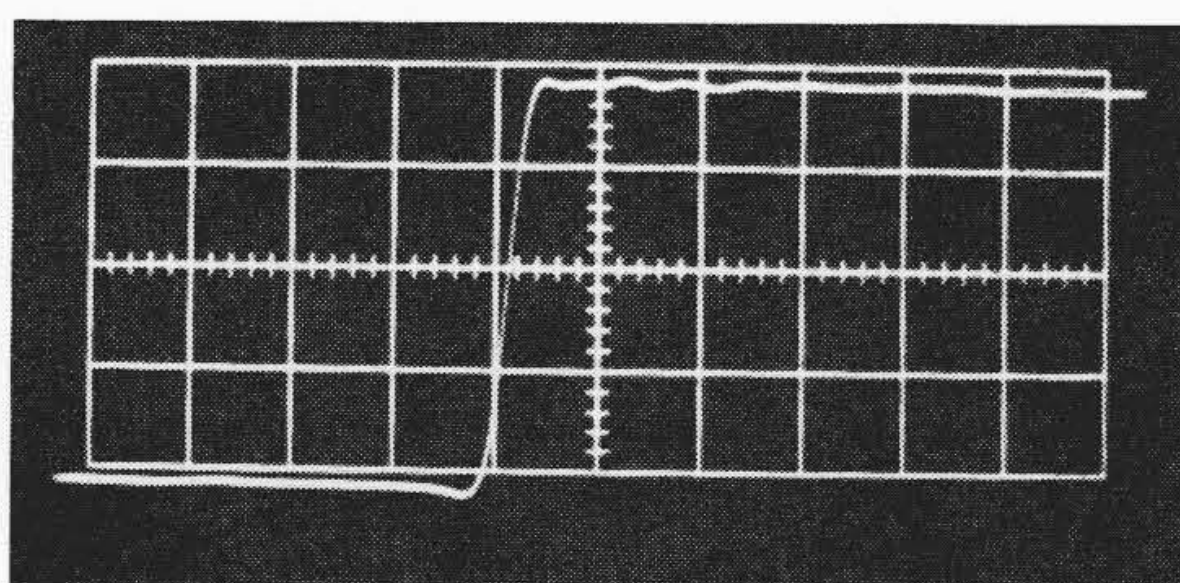
(b) ×10 の場合 マーカ点 80 Mc

図 14 周波数特性 (スイープジェネレータによる)



(a)

(a) ×1 の場合

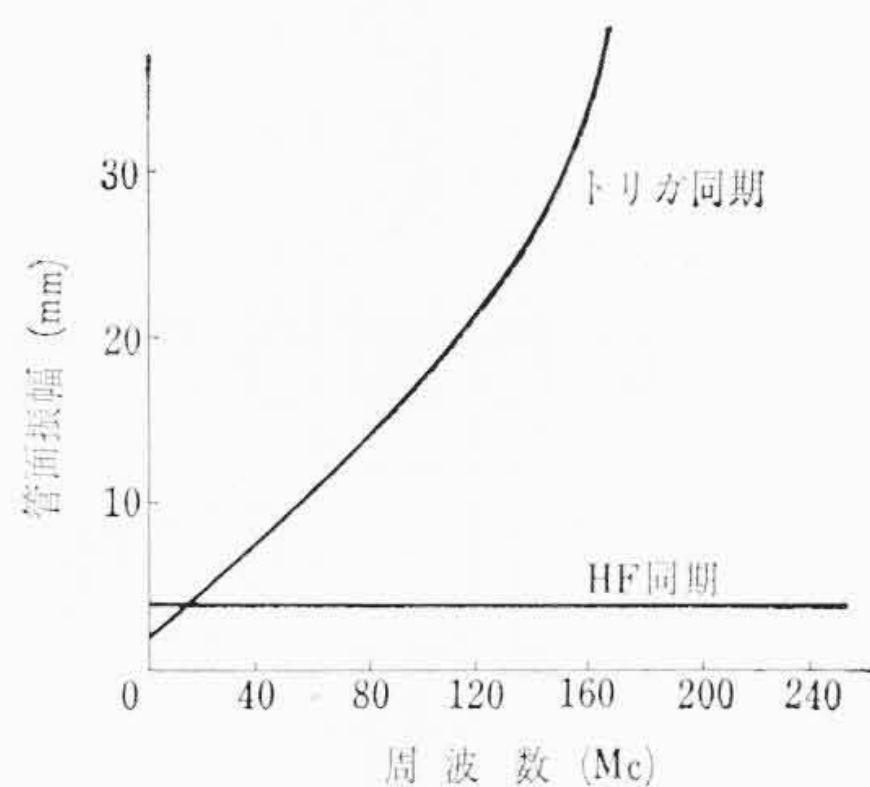


(b)

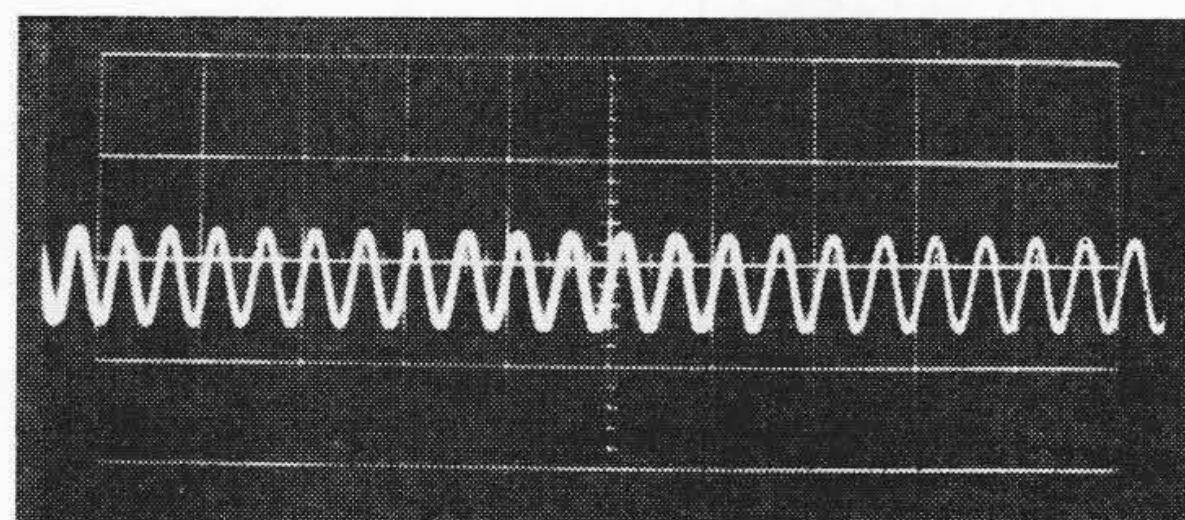
(b) ×10 の場合

TIME/CM: 0.1 μs

図 15 方形波特性 (入力信号: 3 m μs 立上り方形波)



(a) 同期最小必要振幅



(b) 高周波同期観測の 1 例

HF 同期
入力信号: 約 190 Mc
TIME/CM: 0.1 μs

図 16 同期回路の特性

た場合AおよびCの2点の安定点を持つ双安定形となる。信号電流が加わるとA点からB点を通してC点に落着き、電流が減少するとC点からD点を通してまたA点に落着くことになり、トリガ同期となる。また図12の直線(b)のように負荷曲線を設定すると非安定形となり、A'-B-C'-D-A'を一巡する時間は、LRで構成された時定数によって決定される。この自励発振の周期は約0.8 μ sに選定されている。自励発振周期より短い信号が入力に加えられたときの各部の電圧波形の関連を図13に示す。トンネルダイオードによる成形波形の波高値は約450mVときわめて低いが、トランジスタのベース回路に直結し、パルストランスを負荷とすることによって、約6V微分パルス出力を得ている。HF同期の場合は、レベルコントロールにより、バイアス電流を変化させ、自励発振周期0.8 μ s付近で信号周期と整数比になるようにする。このようにして、ゲート回路には信号周波数にかかわらず、約1.2Mc以下の波高値6Vのパルスが供給されるので、ほとんどジッタを生ずることなく250Mcまでの同期が可能である。

3. 仕様および性能

表1にV-1000形シンクロスコープの主要性能を示す。図14は、P-1000B形2現象プラグインユニットを使用した場合の周波数特性を、図15は方形波過渡特性を示す。どちらも(a)が $\times 1$ 感度の場合で(b)が $\times 10$ 感度の場合である。

図16(a)は同期最小必要入力電圧の周波数特性を表わし(b)は同期観測状態の一例を示す。約190Mcの正弦波を入力とした場合

であるが、ジッタはほとんど認められない。

4. 結 言

100Mc帯の標準形として開発したV-1000形シンクロスコープについて、その概要、性能などについて述べた。観測系には4 $\times$ 10cmの有効域を有する進行波形ブラウン管130JB31を使用し分布増幅器と組み合わせることによって100mV/cmの感度でDC~100Mcの周波数特性を得ている。また垂直軸にはプラグイン方式を採用しているため、アダプタの併用によってP-108, P-113シリーズの標準形プラグインユニットが使用でき、50 μ V/cmの超高感度測定に適用できる。さらにV-1000形シンクロスコープの特長として、同期回路にトンネルダイオードを用いて高周波における同期の安定度を向上させたこと、およびプラグインユニットにはトランジスタを採用して総合的に信頼度を向上したことがあげられる。

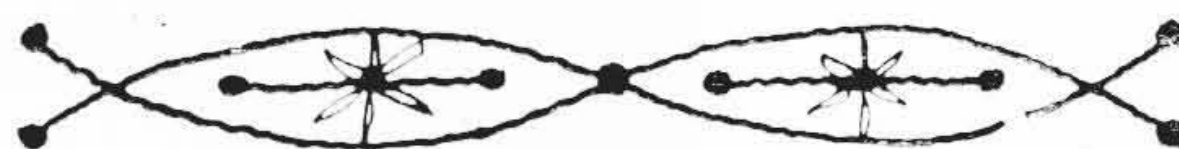
最後に、種々ご援助を賜った日立製作所茂原工場ブラウン管部、小泉課長、二瓶氏、高田氏に感謝申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 高田正伸、二瓶弘：進行波形観測用ブラウン管130JB31日立評論45、(昭38-6)
- (2) 川上正光：電子回路IV 共立全書128 昭38年3月
- (3) E.L.Ginztonほか3名：Distributed Amplification PROC. IRE 1948年8月
- (4) W.H.Hortonほか2名：Distributed Amplifiers: Practical Considerations and Experimental Results PROC. IRE 1950年7月



特 許 の 紹 介



特許第447921号

谷口哲二

帯鋼圧延装置における縦割りせん断装置

本発明は圧延終了後の圧延材を、一定の幅の带状細片にせん断する帯鋼圧延装置における縦割りせん断装置に関するものである。

従来、圧延終了後の圧延材を一定の幅の带状細片にせん断するには、いったん圧延ラインの末端で帯鋼をコイル状に巻き取り、この巻かれた帯鋼をせん断ラインに移し、このライン上に設けられた縦割りのせん断機によって行なっていた。このため圧延からせん断までに非常な時間を要し、またせん断ラインを別に設けていたので、その設置面積も多大に必要とし、さらにそのための運搬設備を別に要し、その設備が多大であるという種々の欠点があった。

本発明は上記の欠点を解消する目的の下になされたもので、本発明装置がせん断作業を行なっている状態を示す図1、および送り作業を行なっている状態を示す図2に示すように、せん断機（上下刃

物7.8）と、テーブルローラ4の一部をなすローラ14とを備えた内側フレーム6と、この内側フレーム6を上下動する駆動装置（シリンダー16, 17）と、この駆動装置を支持し、かつ前記内側フレーム6の案内をなす外側フレーム5とより構成され、この外側フレーム5を圧延ライン上に設置し、しかして圧延作業時は駆動装置により内側フレーム6を上下動させ、圧延ライン上に前記ローラ14を位置させて通板作業を行なうようにし、せん断作業時は圧延ライン上にせん断機を位置させてせん断作業を行なうようにしたものである。

本発明によれば、せん断ラインを別に設置する必要がなくなるので、設備費が著しく軽減できるとともに、その設置面積をも不要とし、さらにまた操作に要する人力を不必要とするなど経済的効果顕著なものを得ることができる。（郷古）

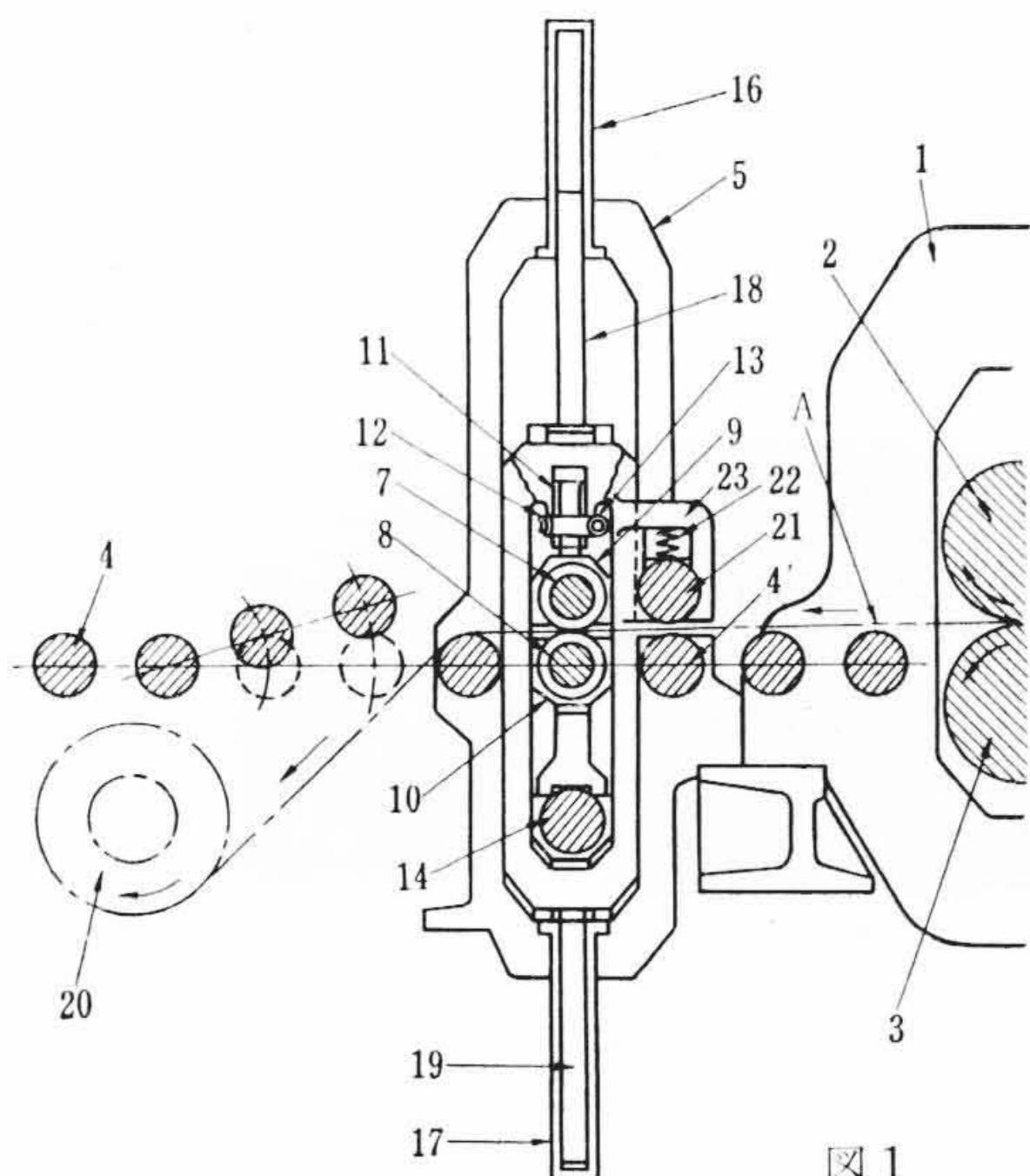


図1

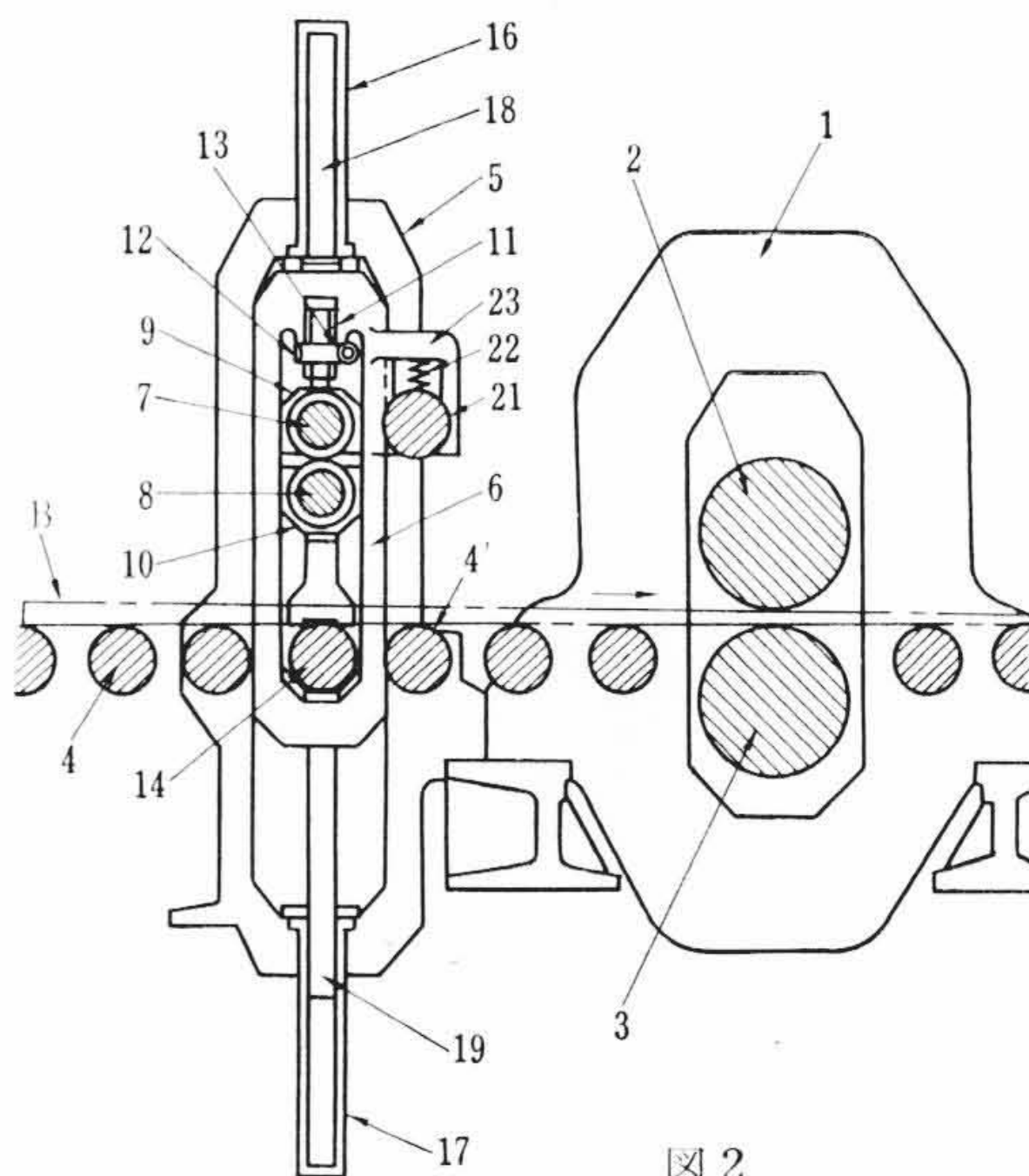


図2