

晶体管示波器电路专辑

《示波器电路专辑》编译组

晶体管示波器电路专辑

SS-4200M 型 15MHz 示波器

《示波器电路专辑》编译组

序 言

为了赶超世界先进水平，及时了解国外示波器制造技术发展动态与适应我国示波器研制、設計、生产和应用技术需要。遵照偉大領袖毛主席“洋为中用”的教导，我們編譯出版了晶体管示波器电路專輯（上、下册），以供讀者参考。

本專輯主要根据国外有关示波器技术文献編譯而成。其內容对七十年代国外晶体管示波器典型产品及示波器技术发展动态作了較为通俗和系統介紹，可供从事示波器研制工作的广大工人，科学技术人員以及高等院校科研之用。

本專輯在編輯出版过程中，承蒙上海科技大学、吉林工业大学、成都電訊工程学院与有关示波器专业厂的工程技术人员热忱协助，特别是得到了京字 183 部队领导和馬天方同志的大力支持，加速了出版工作的进程，在此謹致以真誠謝意。

由于水平低，時間仓促，請讀者对我們这种新尝试中的缺点和錯誤批評指正，以便把今后的示波器专题資料出版工作作得好一些。

目 录

序 言

SS—4200M 型15MHz 示波器	(1)
SS—4200M 型 示 波 器 电 路 图	(15)
国外示波器专题文献资料目录	(24)

晶体管示波器电路专辑

出版：示 波 器 技 术 情 报 协 作 组

发行：旅 大 第 43 号 邮 政 信 箱

1974 年 4 月 出版

工本费：

0-60

SS-4200M 型 15MHz 示波器

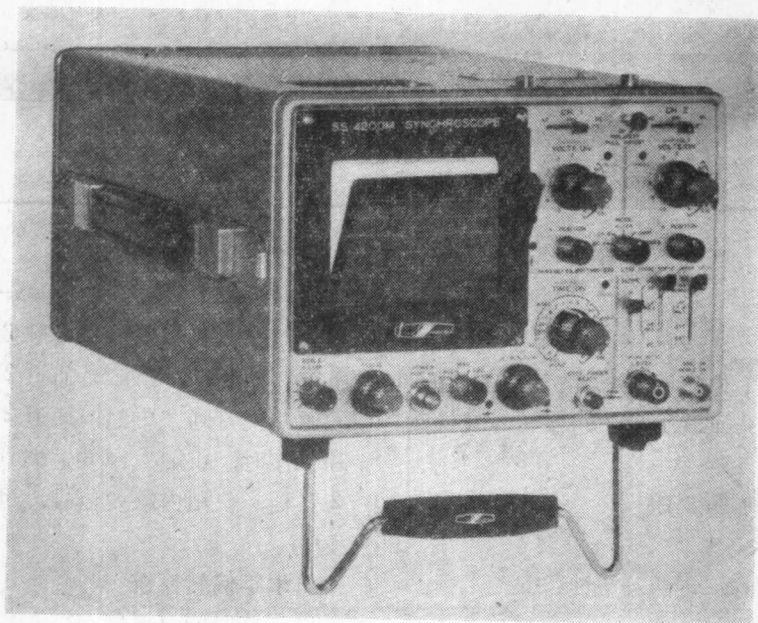
一、概 述

SS-4200M 是一种小型便携式同步示波器，垂直和水平系统带宽均为直流 $\sim 15\text{MHz}$ 。双踪工作时，垂直偏转系统工作频率仍为直流 $\sim 15\text{MHz}$ ，同时每个通道灵敏度均高达 $5\text{mv}/$

div 。

输入电路中采用场效应晶体管，提高了示波器工作的稳定性。仪器预热时间只需15秒。水平偏转系统可为直流 $\sim 15\text{MHz}$ 输入信号提供准确的触发。

本仪器可以进行单次扫描。采用4吋矩形



SS-4200M示波器外形图

示波管，有效工作面积为8（垂直） $\times$ 10（水平） div ，每 div 为8mm。示波管采用内刻度，从而保证在很宽范围内观察信号时消除了视差。

二、技术性能

垂直偏转系统

本系统采用前置放大器级的电子开关转换的双踪装置，通道1和通道2均具有下述性能和精度。

偏转灵敏度

垂直系统提供校准的偏转因数， $5\text{mv}/\text{div}$ $\sim 10\text{v}/\text{div}$ ，共分11档。调节微调旋钮可连续衰减灵敏度，衰减量为各档标定值的 $1/2.5$ ，所以可衰减到 $\geq 12.5\text{v}/\text{cm}$ 。

带宽

直流耦合：直流 $\sim 15\text{MHz}$ (-3dB)

交流耦合： $3\text{Hz} \sim 15\text{MHz}$ (-3dB)

上升时间：

24nS

方波响应

对上升时间为 3nS 的方波有如下响应特性:

上 冲 $\leq 3\%$

下 冲 $\leq 2\%$

衰减振荡 $\leq 0.5\%$

顶部倾斜 (250KHz 时) $\leq 1\%$

(60Hz 时) $\leq 1\%$

信号延迟时间

约 120nS

耦合

有交流、直流和接地三档。接地档用于检验对地电位。交流档时, 仪器的频率响应为 3Hz, 衰减 -3dB。直流档可直接耦合。

输入阻抗

直接耦合 $1M\Omega \leq 25pF$

探头耦合 (10:1) $10M\Omega \leq 18pF$

最大输入电压

最大输入信号取决于被测信号的耦合方式, 详见下表。

输入信号耦合方法		最大输入电压
直接与输入端连接	“伏/格”开关到 5mv 档时	500V (直流 + 交流峰值)
	“伏/格”开关调至 5mv 外各档时	600Vp-p
探头耦合		600Vp-p

工作方式

通道 1

通道 2

交替 (通道 1 和通道 2 交替扫描)

断续 (扫描在通道 1 和 2 间换转, 转换频率约 100KHz)

相加 (通道 1 $\pm$ 2)

极性

只有通道 2 有正负两种极性。

共态抑制比

当仪器用于相加方式 (通道 1 和 2) 时, 差分信号加到通道 1 和 2, 其共态抑制比最小为 20:1 (输入信号为 1KHz)。

线性

输入约 1KHz 信号, 调节其幅度使之相当于刻度上的 4 个格, 并将其垂直方向调至刻度中心。当向上或向下移动垂直位置 2 格时, 其误差保持在 $\pm 3\%$ 之内 (± 0.12 格)。

漂移

仪器通电 30 秒以后, 当 “伏/格” 开关调到 5mv 档时, 垂直漂移 0.3div/h。

内触发

内触发信号有两种, 其一是垂直偏转系统的公共输出端触发信号 (触发源开关打到 “内正常” 档时), 其二是通道 2 的输入信号 (触发源开关打到 “单独内通道 2” 档时)。对双踪工作时, 将触发源开关调到 “单独内通道 2” 档, 使用内触发信号, 可以获得稳定的触发。

水平偏转系统

扫描时间 (时间/格)

扫描时间为 $0.2\mu S/div \sim 0.5S/div$, 共分 20 档, 连续可调, 并可减慢至 1/2.5 以上。因此最小扫描时间可小于 $1.5S/div$ 。当调节旋钮顺时针转到底时, 各档扫描时间精度均在 $\pm 3\%$ 之内。

扫描线性

扫描时间各档的线性均 $\leq \pm 3\%$ 。

扫描扩展

共有 $\times 1, \times 10, \times 20, \times 50$ 四档。扫描扩展各档的扫描时间精度和线性见下表。

单次扫描

扩展范围	时 间/格	性能与精度
×10	0.5S~0.2μS	≤T. L. ±2%
×20	0.5S~1mS 50μS~0.2μS	≤T. L. ±3% ≤T. L. ±5%
×50	0.5S~0.1mS 50μS~0.5μS	≤T. L. ±5% ≤T. L. ±7%

注：T和L表示扫描扩展×1档的扫描时间和线性。

可进行单次扫描工作。

最大扫描

用×20 档倍乘最大扫描时间 0.2μS/div,
即可获得最大扫描速度 0.01μS/div。

外扫描

见下表。

特 性	性 能 与 精 度
偏 转 灵 敏 度	0.05V/div ≤ ±3% (外) 0.05V/div ≤ ±3% (外÷10)
带 宽	直流~3MHz (-3dB之内)
用于相位(频率比)测量时的带宽	直流~50KHz (50KHz时相位差≤3°)
输 入 阻 抗	1MΩ (20pF)

触发

触发信号的种类

触发信号共有四种类型，内触发两种——
内正常和单独内通道 2；外触发两种——外触
发和外÷10。

极性

正极性（用输入信号的正向变化部分触

发）

负极性（用输入信号的负向变化部分触

发）

触发信号的输入耦合

耦合方式有四种：交流、低频抑制、高频
抑制和直流。每种方式的触发信号频率范围如
下表，频率范围与触发电平：

触 发 源	耦 合 方 式	适于触发的频率范围	触 发 电 平	
			内	外
内 正 常 或 单独内通道 2	交 流	50Hz~8MHz	≥0.5div	≥0.1V
		8~15MHz	≥0.1div	≥0.2V
	低 频 抑 制	30KHz~8MHz	≥0.5div	≥0.1V
		8~15MHz	≥0.1div	≥0.2V
内 正 常 或 单独内通道 2	高 频 抑 制	50Hz~10MHz	≥0.5div	≥0.1V
		8~15MHz	≥0.1div	≥0.2V
	直 流	直流~8MHz	≥0.5div	≥0.1V
		8~15MHz	≥0.1div	≥0.2V
单独内通道 2	直 流	30Hz~8MHz	≥0.5div	
		8~15MHz	≥0.1div	

注意：自动触发形式中，用50Hz以下的频率触发时，即使是直流耦合方式，触发也不起作用。

外触发连接器输入阻抗

$1\text{M}\Omega \leq 25\text{pF}$

触发频率范围和触发电平（参见上表）

自动触发或正常触发

按进和拉出“（按自动）电平”开关时，分别为自动触发和正常触发。自动时，低于 50Hz 的输入信号不能触发，而且在触发不起作用时，扫描是自控的。在正常触发时，从直流开始都可以触发，如触发不起作用，则光点保持不动。

输出信号

门输出

与描扫同步的负方波，输出约 1Vp-p ，输出阻抗 $1\text{K}\Omega$ ，（当负载阻抗 $\geq 100\text{K}\Omega$ 时）。

校准电压

校准电压是从校准器输出端获得的，见下表。

特 性	技 术 指 标 和 精 度
电 压	从三个终端得到的方波 (0.02V 、 0.2V 、 2V 、精度 $\leq \pm 3\%$)
精 度	1KHz 精度 $\leq \pm 0.5\%$
占 空 系 数	$\leq 49:51$
波 形 响 应	上升时间 $\leq 0.2\mu\text{S}$ 下降时间 $\leq 0.4\mu\text{S}$

示波管

加速电压约 6.5KV

外辉度调制

辉度调制的最小输入电压为 $+2\text{Vp-p}$ ，Z轴输入端的输入阻抗约 470Ω 。

电源 $50\text{Hz} \sim 400\text{Hz}$ ，功耗 45W 。

环境条件 $-10^\circ\text{C} \sim +50^\circ\text{C}$

三、工作原理

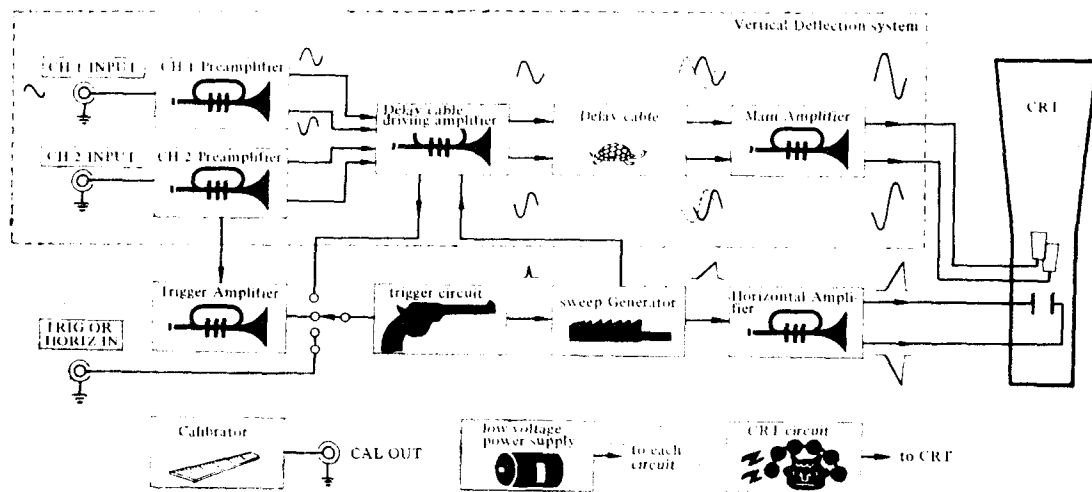


图 1 SS-4200M 示波器电路方框图

概述

参照图 1，其所有电路最终都是为示波管偏转电子束服务。垂直偏转系统采用了两个独立的前置放大器，可以用电子开关转换。输入信号加到输入端后，用前置放大器转换成平衡信号，经放大后，馈给延迟电缆驱动放大器。这一级的输出，同驱动放大器的延迟电缆中的

二极管门电路来选择，可选择如下信号之一。

- (1) 通道 1 或通道 2 的单独输出（通道 1 或通道 2）；
- (2) 两通道信号之和或差（相加）；
- (3) 两通道轮换输出（交替或断续）。

选出的输出信号进入延迟电缆，延迟 120nS 后加入末级放大器进行放大，最终加到

示波管垂直偏转板上,使电子束垂直偏转。

加给通道2的信号,有一部分同时取出,加到触发放大器进行放大,以作为单独内通道2工作方式时的触发信号。延迟电缆驱动放大器,也同时取出一部分信号作为两个通道的共用触发信号,用于内正常触发工作。

根据触发源开关的位置,上述任何一个触发信号,或从“触发或水平输出”端输入的外触发信号耦合到触发电路。触发电路按照所接收的触发脉冲,提供出特殊上升时间和幅度的触发信号,用来驱动扫描发生器,产生锯齿波信号。扫描发生器也同时作为自激振荡器。

锯齿波信号由水平放大器放大,然后加到示波管的水平偏转板上。使电子束水平偏转,

以完成扫描。

另外,外扫描工作时,加到“触发或水平输入”端的外来信号,通过触发电路的一部分耦合给水平放大器,此放大器的输出类似于规定的锯齿波信号,用于偏转电子束。校准器的作用是产生基准方波信号,用于检查仪器的垂直偏转灵敏度。

各级电路所需低压由低压电源供给。示波管电路包括高压电源,用以发射电子束进行高速扫描;还包括Z轴放大器,用以放大增辉信号(用于回扫线消隐),使之达到消隐回扫线所需的电平。

垂直偏转系统

垂直偏转系统的电路见图2。加到输入端

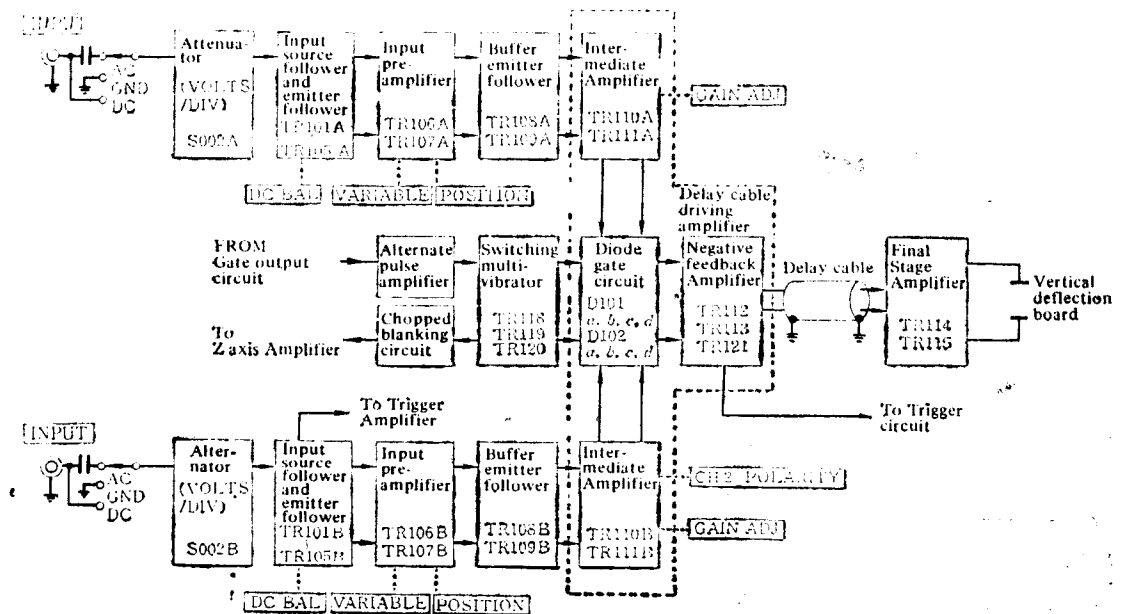


图2 垂直电路图方框图

的输入信号通过“交流——地——直流”开关进入衰减器,衰减器可以改变垂直偏转灵敏度,它有11档,包括相位补偿和衰减网络。在最大灵敏度位置时,衰减为零。灵敏度为步进式调节,衰减按1/2, 1/4……依级增加。

从输入端看(不算衰减器)其输入电阻总是1MΩ,衰减器的输出耦合到使用结型场效

应管的输入源跟随器(TR101A)。此场效应管相当于电子管阴极跟随器,它提供高输入阻抗和低输出阻抗。输入源跟随器包括D₁₀₀、D₁₁₀一级,这一级可防止TR101A同输入端输入电压过大而损坏。输入源跟随器还包括TR102A;它用于保持下一级输入前置放大器的平衡。双场效应管可以防止温度变化时,破坏前置放大

器的平衡。直流平衡控制是一个电位器，用以调节前置放大器电路的平衡状态。由于输入源跟随器不能为下一级输入前置放大器提供所需的低输出电阻，因此又连接一个射极跟随器，进一步减少输出电阻。

射极跟随器的输出，送入输入前置放大器（射极耦合对称放大器，即推挽放大器），放大器的两路输出极性相反，在TR106A和TR107A的集电极上得到平衡信号（对称波形）。“微调”控制用于连续调节TR106A和TR107A射极间的电阻，以调节增益。“位移”旋钮用于改变接入TR108A和TR109A以及后面器件的电位，以调节电子束的垂直位置。平衡信号加给缓冲射极跟随器，跟随器用于减小输入放大器和延迟电缆驱动放大器之间的相互影响。

射极缓冲跟随器的平衡输出耦合到中间放大器。在此放大器中，利用“增益调节”旋钮，改变射极间的电阻值，即可控制放大器增益和校准偏转灵敏度。通道2中间放大器的输出，可用通道2极性开关将波形极性反转。

另一方面，加到通道2的输入信号，经输入源跟随器耦合主射极跟随器同时馈给触发放大器，作为“单独通道2”方式工作时的触发信号。

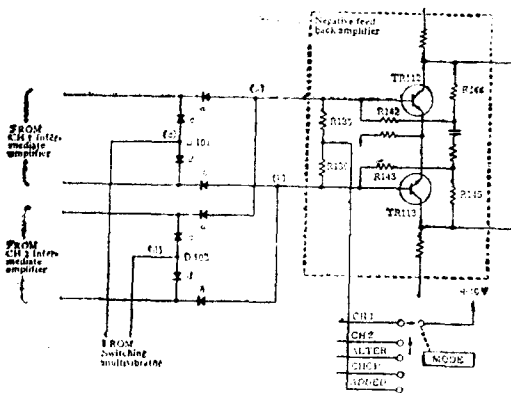


图3 二极管门电路

中间放大器的输出加给二极管门电路（见图3）。在此电路中通过二极管的开关作用，

完成双踪工作。在“通道1单独”工作形式中，二极管状态如下：

D101a·b 开

D101c·d 关

D102a·b 关

D102c·d 开

于是中间放大器的平衡输出就耦合到反馈放大器。这些二极管的开、关工作过程如下：由于通道1或通道2两个之中，总是有一个处于工作状态，所以(a)、(b)两点电压恒等，约为+1V（相加方式除外）。为使D101c、d截止，(c)点加上转换多谐振荡器的电压应 $\leq -1V$ ；为使D102a、b截止，(d)点电压应 $\leq +2V$ 。即D102a、b的阳极电压约+1V时，102c、d导通，D102a、b阴极电压调至+2V时，D102a、b截止。

如果需要通道2工作，可用“工作型式”开关，使转换多谐振荡器反转，则(c)、(d)两点电压与原来通道1工作时相反。

交替方式工作时，（图2）交替脉冲放大器的输出信号（脉冲信号重复频率由扫描时间决定），加给转换多谐振荡器，比振荡器输出用来交替地转换(c)、(d)两点的电压。因此可以实现两通道各次扫描结束进行交替扫描。

断续方式工作中，由于转换多谐振荡器以200kHz的频率自激振荡，因此可以用这个振荡器输出的脉冲来改变(c)点和(d)点的电压，完成扫描的转换。

在相加方式中，“工作型式”开关打到“相加”位置，这时转换多谐振荡器的工作电压（即(c)点和(d)点的电压）约为-1V，因此D101c、d和D102c、d截止，而D101a、b和D102a、b导通，使两通道同时工作。这时的工作电流增大，为单通道工作时的两倍。所以要使电流流过R135、R136，以防止负反馈放大器的工作点改变。

在这方面，两个通道的平衡信号可使用“工作型式”开关耦合到负反馈放大器。中间

放大器、二极管门电路和负反馈放大器三者构成所谓延迟电缆驱动放大器。中间放大器和负反馈放大器以电流放大方式工作，二极管门电路的特殊元件及来自中间放大器和负反馈放大器的平衡信号之间，存在着杂散电容，这种杂散电容在高阻抗时会引起频响变坏。另外，由于反馈放大器和末级放大器之间接有93Ω的延迟电缆，所以必须降低这两个放大器的输入阻抗。负反馈放大器中的电阻 R142、R143、R144 和 R145 构成负反馈电路，以降低阻抗。所以

这些放大器的输出信号电压相当低，直至末级放大器输入端的放大信号，都可认为是电流放大工作方式。

负反馈放大器的输出经延迟电缆延迟 120nS 以后，由末级放大器进行放大，放大后作为一个电压信号供给示波管的垂直偏转板，在垂直方向上偏转电子束。与此同时负反馈放大器的输入信号还耦合到触发电路，作为通道 1 和通道 2 的共用触发信号。

触发电路

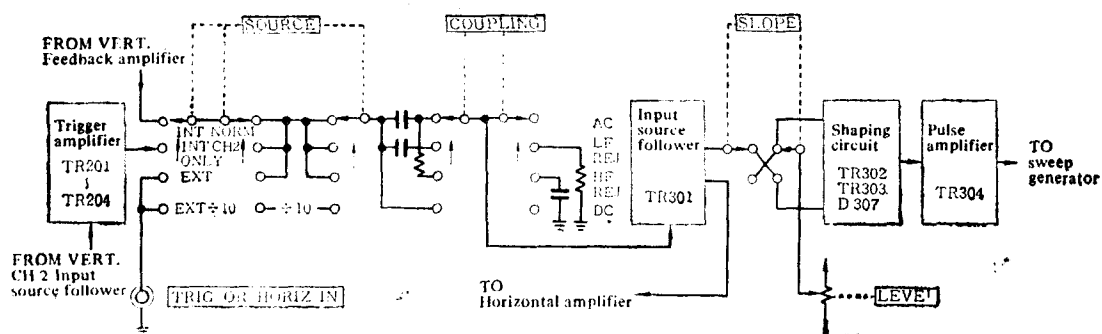


图 4 触发电路方框图

触发电路由图 4 中各部分构成。加给通道 2 输入端的输入信号之一部分，通过输入源跟随器耦合给触发放大器，被放大的信号作为“单独内通道 2”工作方式的触发信号。触发放大器采用交流耦合输出连接。

触发源开关用来选择触发信号，包括两个通道的共用触发信号，“单独内通道 2”工作的触发信号或外触发信号。选定的触发信号通过“耦合方式”开关选定的耦合电路，加给输入源跟随器。例如“耦合方式”开关在“交流”位置时，触发信号的直流成分由串联电容抑制，只允许高于 50Hz 的信号通过。在“低频抑制”位置时，叠加在触发信号上的低频噪声或频率低于 30KHz 的触发信号均被高通滤波器所抑制，只有高频触发信号可以通过。在“高频抑制”位置时，用低通滤波器滤掉叠加在触发信号的高频成份和高频（约高于 10KHz）触发信号，只允许低频触发信号通过。在“直

流”位置时，触发信号直接耦合到触发电路。

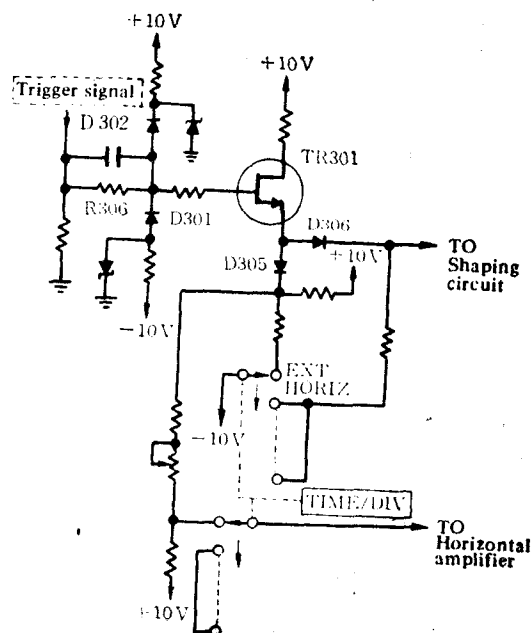


图 5 输入源跟随器

输入源跟随器采用一个场效应管, 提供高输入阻抗低输出阻抗, 见图 5。这个源跟随器加了一个限制器(D_{301} 、 D_{302}), 以防止场效应管(TR_{301}) 接入电压过高。通常情况下 D_{301} 和 D_{302} 都是反向偏置, 一旦对这一级的输入触发电压超过 $\pm 4V$ 时, 电路就导通, 利用 R_{306} (47 K Ω) 的压降限幅。

从“触发或水平输入”端到源跟随器的信号通路, 通常也作为外扫描方式中输入信号的电路, 但不能用“低频抑制”或“高频抑制”耦合。外扫描时, 把“时间/格”开关调到外水平位置, 则 D_{305} 导通, D_{306} 截止, 因此输入信号可以加给水平放大器。除外扫描以外, 其他操作均为逆序进行, 触发信号耦合到整形电路。

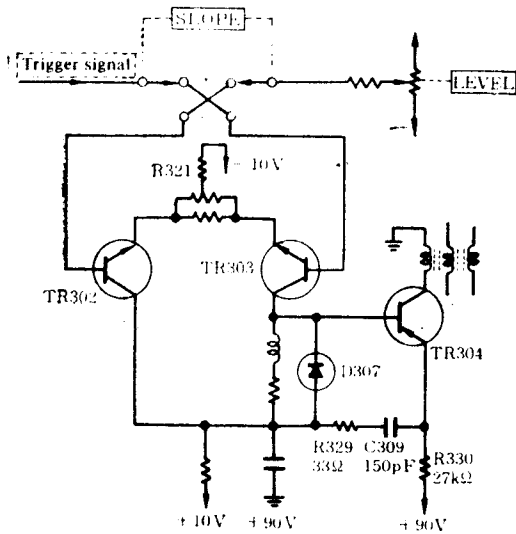


图 6 整形电路与脉冲放大器

波形整形电路由晶体管 TR_{302} 、 TR_{303} 和隧道二极管 D_{307} 组成 (见图 6)。 TR_{302} 和 TR_{303} 的射极互相耦合, 并通过 R_{321} 与 $-10V$ 电源相接, 这就构成了一个电流式开关, 一边导通, 另一边截止。例如, 当 TR_{302} 基极电位与 TR_{303} 基极相比为正时, TR_{302} 导通, TR_{303} 截止。

当斜率开关调到“十”挡位时, 输入源跟随

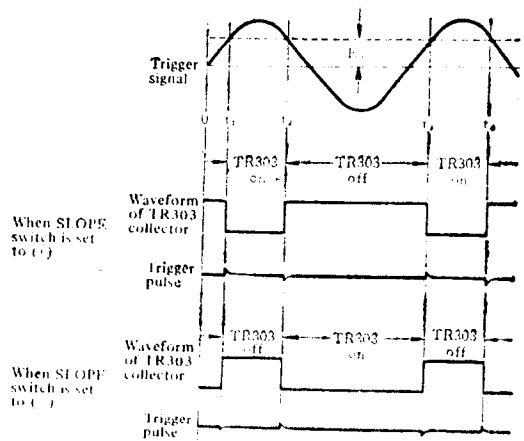


图 7 触发信号与触发脉冲的时间关系

器的触发信号就加到 TR_{303} 基极, 触发电平开关调节的电压就加到 TR_{302} 基极, 如图 7 所示。设触发信号为正弦波, 触发电平为 E_L , 那么在时间零点时, TR_{302} 导通, TR_{303} 截止。在时间 t_1 时, 正弦波幅度从 0 升高超过 $+E_L$, TR_{303} 导通, TR_{302} 截止。同样, 在时间 t_2 时正弦波已通过了峰值又降至 $+E_L$, TR_{303} 截止, TR_{302} 导通, 因此又返回起始状态。

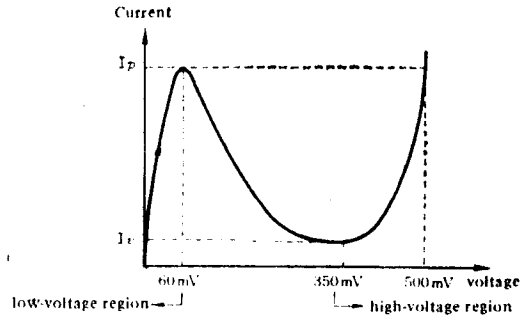


图 8

隧道二极管 D_{307} 与 TR_{303} 串连, 当 TR_{303} 截止时, D_{307} 在隧道二极管特性曲线的低压区内工作, 见图 8 所示。这时因为 TR_{304} 射极接有高阻值的电阻 R_{330} , 而且射极被 C_{309} 与 D_{307} 隔离, 所以流入 TR_{304} 的电流很小。

如果 TR_{303} 从截止转为导通, D_{307} 基极电压突然变为负, 而电流也突然流过 C_{309} 和 R_{329} 。由于脉冲变压器与 TR_{304} 集电极串联, 所以受

到驱动, 同时在集电极上产生一个宽度很窄的正向脉冲(其宽度由 C_{309} 和 R_{329} 决定)。当 TR_{303} 截止时, D_{307} 电流减小并小于 I_V , 这时二极管 D_{307} 电流下降至小于 I_V , 又以极短的时间转到低压区, 回到起始状态。与此同时, TR_{304} 集电极产生一个负向脉冲。随着 TR_{303} 的导通或截止, TR_{304} 集电极就输出一个正脉冲, 正脉冲用于触发扫描发生器(叫做触发脉冲)。

每当 TR_{303} 从截止转为导通时, 图 7 中在时间 $t_1, t_3, \dots$ 产生一个触发脉冲(正脉冲), 因此这些触发脉冲是产生于触发信号正向斜率的任意位置上。这就是说, 扫描可以在输入信号正斜的任何位置开始。

当斜率开关调到“一”挡位时, 触发信号加到 TR_{302} 基极, “电平控制”调节的可变电压 E_L 通过“电平控制”加到 TR_{303} 基极。见图 7, 在零点时, TR_{302} 截止, TR_{303} 导通。

与斜率为正时的状态相反, TR_{303} 在 $t_1 \sim t_2$ 时截止, 在 $t \sim t_3$ 时导通, 在 $t_3 \sim t_4$ 时截止, TR_{303} 集电极输出的触发脉冲产生于时间 $t_2, t_4, \dots$ 。

扫描发生器

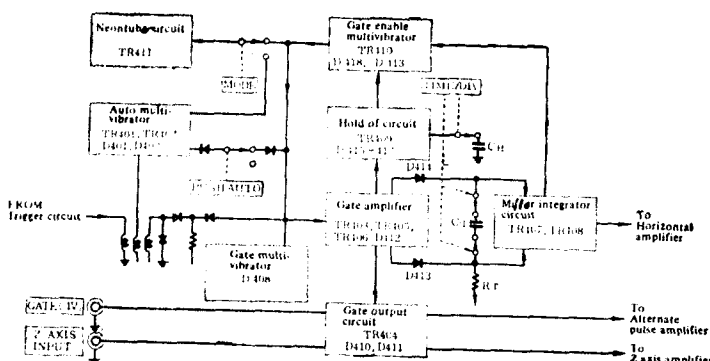


图 9 扫描发生器方框图

简介(见图 9)

扫描发生器提供触发扫描, 自动扫描和单次扫描, 产生如下四种信号:

(1) 正锯齿波, 此信号经水平放大器放大后用来使电子束作水平偏转;

(2) 增辉信号, 用于加亮扫描线;

(3) 门输出, 只在锯齿波斜边(上升边)时变为负;

(4) 产生于扫描结束的交替开关脉冲。

闸门多谐振荡器可以使密勒积分电路入端(隔离二极管 D_{413})导通或截止, 通常它处于截止状态, 借助于门放大器可以打开 D_{413} 。门多谐振荡器在接受触发脉冲时反转, D_{413} 截止, 密勒积分电路电压以线性上升(上升斜率由“时间/格”调节 C_T 的 R_T 时间常数决定)。一旦电压上升到预定值时, 门启动多谐振荡器导通, 而门多谐振荡器, 反转到另一状态, 并通过门放大器将 D_{413} 打开。 D_{413} 一打开, C_T 和 R_T 开始放电, 电压迅速下降, 经“时间/格”调定的时间 G_H 后, 放电结束, 门启动多谐振荡器又反转回到原来状态, 如此一个周期, 产生一个锯齿波。

触发扫描

先讲电路处于稳态(即无触发脉冲, 无扫描显示)时的工作。将仪器顶部的“工作方式”开关调至“正常”位置, 然后拉出“(按、自动)电平”开关, 并将其顺时针或逆时针转到底, 这样, 电路即进入稳态, 其工作过程如下。

假设 TR_{410} 是截止的, 那么隧道二极管 D_{408} 的电流小于但接近于 I_p , 因此这个管子工作在低压区内(见图 8)。此时 TR_{403} 截止, TR_{404} 射极电压约 +1V, 又因为 D_{410} 是截止的, 所以门输出端的输出电压为零伏。

由于 TR_{405} 的基极电压是固定的, 约 +3V, TR_{403} 处于截止状态, 所以 TR_{405} 的射极电压高于它的基极, TR_{405} 导通, 这样它的集电极电压就变为正了。当 TR_{405} 集电极变为正时, 隔离二极管 D_{413} 导通并通过源跟随器 TR_{407} , 使 TR_{408} 处于接近导通状态。这时如果扫描速度很低, 则“时间/格”

开关相应位置的阻值为 $20M\Omega$, 故 TR_{407} 输入电阻必须很高。基于这一理由, TR_{407} 采用场效应管, 以提高密勒积分晶体管 TR_{408} 的输入电阻。

因 TR_{408} 接近于导通, 它的集电极电压接近零伏。但因为 TR_{405} 基极是固定的 $+3V$, 所以通过 TR_{406} 和 D_{414} 把 TR_{408} 的集电极限制在 $+2V$, TR_{408} 还不能完全导通。 TR_{408} 射极和基极有电流通过使它导通, 集电极变为约 $+2V$ 。

与此同时, 释抑电容器 C_{415} 和 C_{416} 通过 R_{444} 充电达 $+10V$, 而 D_{416} 和 D_{417} 在这之前就导通, 因此 409 也导通。这样 D_{415} 阳极保持在 $+1V$, 仍处于截止状态。但这时 TR_{408} 集电极 D_{418} 阳极) 约 $+2V$, 当 TR_{408} 导通时 D_{418} , 阴极约 $+5.5V$, 所以 D_{418} 保持截止状态。这个电压通过 R_{449} 供给隧道二极管 D_{419} 电流, 用 R_{450} 和 R_{451} 将 D_{419} 电流调到 I_p 或低于 I_p 。这时 D_{419} 在低电压区处于截止状态, 所以 TR_{410} 也截止。

下面介绍电路的工作过程。

当通过 D_{406} 给处于稳态的扫描发生器接入正向触发脉冲时, D_{407} 截止, 由 D_{407} 流出了 $3mA$ 的电流, 经过 R_{414} 和 R_{415} 加给 D_{408} 。 D_{408} 增加了 $3mA$, 就越过了 I_p 电平而转入高压工作区。因此二极管 D_{408} 工作于稳态。在这种情况下, 即使再加入触发脉冲, D_{408} 也不会返回低压区。

由于 D_{408} 跃入高压区, TR_{408} 导通, 集电极降至 $+1.5V$, TR_{404} 射极变为 $-3V$ 。又因此时 D_{410} 导通, 所以门输出端可以从分压器 R_{427} — R_{428} 得到 $-1.2V$ 电压。至此, 电路工作完成了一个周期, 可获得约 $1Vp-p$ 闸门信号 (方波)。

另一方面, 当 TR_{403} 导通时, TR_{405} 电流经过 R_{418} 和 R_{428} 而消失, TR_{405} 截止。这就引起 TR_{405} 集电极变为负, D_{413} 截止。这时 D_{412} 导通, 把 D_{413} 阳极电压箝位到 $-0.7V$, 这样可以防止 D_{413} 因反向偏压过高而引起漏电流增加。

隔离二极管 D_{413} 截止时, 定时电容 C_{411} 经 R_{436} 充电达 $-75V$ 。这个充电电压又经源跟随器 TR_{407} 加给密勒积分晶体管 TR_{408} 基极, 因此 TR_{408} 基极正向增加。

从 TR_{408} 集电极经过 C_{411} 、到 TR_{407} 闸门, 组成负反馈环路, 定时电容 C_{411} 能用恒流源充电, 所以为 TR_{408} 输出提供了很好的线性上升 (电压上升) 特性。与 TR_{408} 集电极上升的同时, TR_{405} 截止, TR_{406} 和 D_{414} 也截止。

TR_{408} 一截止, 其集电极变为 $-10V$, D_{415} 和 D_{416} 导通, 释抑电容 C_{415} 和 C_{416} 负向充电这就使 D_{417} 和 TR_{409} 截止。因此 D_{418} 负极从 $+5.5V$ 转升为 $+10V$, 然而即使 D_{418} 阴极为 $+10V$, 隧道二极管 D_{419} 也不能反转。

由于 D_{418} 阴极约为 $+10V$, 所以只有 TR_{408} 集电极超过 $+10V$ 时 D_{418} 才能导通。而 D_{418} 一导通, D_{419} 电流和电压的增加成比例。如果集电极电压继续增加, D_{419} 就阶跃到高压区, 进而使 TR_{310} 导通, 输入 D_{408} 的电流只有 $5mA$, D_{408} 截止并转回低压区。这时 D_{408} 电流下降, 接近于零, 即使有触发脉冲也不能使电路反转。

D_{408} 跃入低压区时, TR_{408} 截止, TR_{404} 和 TR_{405} 回到稳态, 然后 D_{413} 导通, C_{411} 电荷的经过 TR_{405} 和 D_{413} 迅速放电。因而 TR_{408} 集电极电压也迅速下降。当 TR_{408} 集电极完全降到预先调定值 $+2V$ 时, D_{414} 导通, 促使 TR_{406} 也导通。而在 TR_{408} 集电极电压下降的同时 D_{418} 截止。

因为 C_{415} 和 C_{416} 已充电到 $-8V$, 所以 TR_{406} 导通, D_{415} 和 D_{416} 就截止, 而 C_{415} 和 C_{416} 就经过 R_{444} 逐渐放电。当电容器两端降到接近于 $+1V$ 时, D_{415} 和 D_{416} 导通, 同时 TR_{409} 也导通。因此 D_{418} 的阴极从 $+10V$ 降为 $+5.5V$, 进而使 D_{419} 转回低压区, TR_{310} 截止。 TR_{310} 一截止, 电流就经过 R_{456} 流入 D_{408} 电路又回到待触发状态。扫描发生器工作一个完整的周期到此完结, 产生一个锯齿波。在接受连续触发脉冲时, 电路将连续重复工作。锯齿波形和电路上

某些重点的波形见图10。

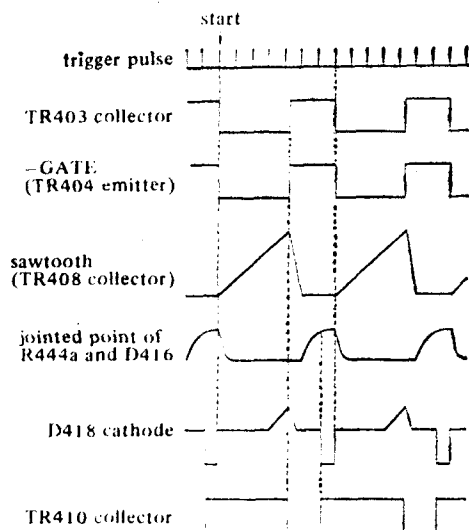


图10 扫描发生器的波形

自动扫描

按下“(按自动)电平”开关,并将其他旋钮和开关置于与触发扫描工作时相同的位置,仪器即以自动扫描方式工作。自动扫描电路是由 TR_{401} 和 TR_{402} 构成的一个单稳态多谐振荡器,它能探测是否有触发脉冲存在,从而辨别工作方式自动的还是触发的。换句话说,如果测出有触发脉冲,则电路自动转换为自激工作方式。

先介绍有触发脉冲时的工作原理。在这种情况下,稳定工作状态应是 TR_{401} 导通, TR_{402} 截止,因此 C_{402} 通过 R_{406} 充电至+90V。 D_{403} 是19V的然纳二极管,导通电压为+19V。 R_{408} 的电流要经过 R_{410} 和进入隧道二极管 D_{404} 。在“触发扫描”一节中已介绍过 D_{408} ,在稳态时 D_{408} 的电流不超过 I_p ,但在自动扫描工作中,它的电流都很高,超过了 I_p 。这与 D_{408} 总是要加一个触发脉冲的状态是相同的,于是电路就产生一个锯齿波,并转回稳定状态。当电路重新出现上述情况时扫描发生器再次工作,又产生一个锯齿波,这种状态就是所谓自激工作方式。

现在假设 T_{401} 输出一个负触发脉冲加给 TR_{401} ,那么 TR_{401} 截止, TR_{402} 导通。从而使 C_{402} 通过 TR_{402} 放电。使 D_{403} 和 D_{404} 截止,而 D_{408} 进入稳定状态。这样,扫描发生器就进入了触发扫描工作方式。又由于 TR_{401} 和 TR_{402} 构成一个单稳态多谐振荡器,所以电路自己能按 R_{403} 、 C_{401} 和 R_{404} 构成的时间常数反转回起始状态。一旦电路反转, TR_{402} 就截止, C_{402} 就向 R_{406} 缓慢充电。如果电容器两端电压充电达+19V时(约25ms)下一个触发脉冲还没加上来, D_{408} 导通这就使扫描发生器回到原来的自激状态。

假设加入重复率25ms(40Hz)以上触发脉冲,触发脉冲使 TR_{401} 截止和 TR_{402} 导通,在 TR_{402} 截止和 C_{402} 充电至+19V之前, D_{408} 不可能导通,而扫描发生器保持触发扫描方式工作。

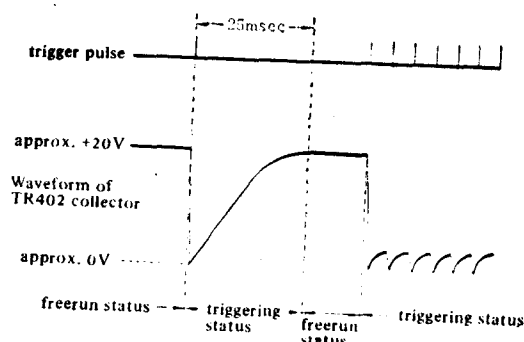


图11 自动扫描电路工作原理

单次扫描

单次扫描工作时,将“工作方式”开关调至“单次”位置,并将“(按自动)电平”开关拉出,其他旋钮和开关位置与触发扫描工作时同。按下“复位”开关,扫描发生器进入准备状态,只触发扫描一次。即使再有触发脉冲进入,也不再扫描。电路工作原理如下。

“触发扫描”一节中讲过,在锯齿波结束, D_{416} 、 D_{418} 和 TR_{409} 截止,而 D_{416} 处于高压区工作。 C_{416} 和 C_{418} 放电,使 TR_{409} 导通, D_{416} 转为低压区工作,因此 TR_{410} 截止, D_{408} 又

处于准备状态。当“工作型式”调到“单次”时， TR_{409} 基极通过 R_{462} 与 $-10V$ 电源相接，即使是 D_{410} 导通， TR_{409} 也停在截止状态。这说明 D_{410} 转向低压区， D_{408} 不能进入准备状态。

按下“复位”开关后，已经充到 $-10V$ 的 C_{418} 短路，因此产生一个正脉冲。此正脉冲迫使 TR_{409} 导通，并使 D_{408} 进入准备状态。同时， TR_{410} 截止， TR_{411} 导通，这就在氖灯 NE_{401} 两端产生一个电位差，使氖灯点燃，表示此时为单次扫描准备状态。在这种情况下，如有触发脉冲进入，电路就如“触发扫描”一节讲的那样，开始产生一个周期的锯齿波信号。这个周期完成之后，扫描发生器即停止工作。此时电路经过 R_{462} 与 $-10V$ 电源相接。在这种情况下， TR_{410} 导通， TR_{411} 截止，因而氖灯熄灭，表示扫描业已完成，电路不再处于准备状态。

水平放大器

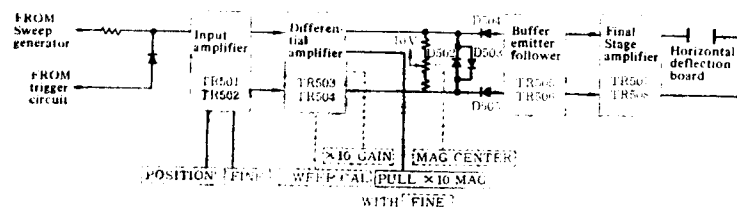


图12 水平放大器方框图

水平放大器的输入信号有三种，可根据需要调节选出其一种进行放大，用以使示波管电子束作水平偏转。

- (1) 扫描发生器输出的锯齿波信号
- (2) 从“触发或水平输入”端通过触发电路输入源跟随器来的外扫描（X-Y显示）输入信号；
- (3) “通道2输入”来的外扫描（X-Y显示）输入信号。

输入信号首先加到输入放大器，输入放大器是共射极电路，其输出负反馈给基极，以提高频率响应和稳定性。这一级的“位移”和“微调”旋钮用来改变 TR_{501} 输入信号端的基极电压，以调节示波管电子束的水平位置。输

入放大器的输出加到下一级差分放大器（叫做射极耦合的对称放大器），从 TR_{503} 和 TR_{504} 集电极得出放大的平衡信号由两个分量组成，极性相反。差分放大器也有负反馈改善了频率响应和稳定性。这一级的“扩展”旋钮，调节 TR_{503} 和 TR_{504} 的射极电阻，可得到10、20、50倍扩展的不同增益，（外扫描时，“时间/格”开关转到“外水平”位置，增益就自动扩展20倍）。

“扫描校准”是半可调节电阻，可以连续改变射极阻值。“扩展中心”也是半可调节电阻，用于标准显示位置，使其处于座标中心。

差分放大器的输出（平衡信号），经 D_{502} 和 D_{503} 限幅后加给缓冲射极跟随器。 D_{504} 和 D_{505} 的用途是当阴极输入信号过大时保护放大器并使其截止。缓冲射极跟随器以低阻抗驱动末级放大器。末级放大器进一步放大平衡信号，使

信号足以偏转示波管的电子束。正常输出信号的一部分负反馈到缓冲射极跟随器，这就是说从 TR_{505} 至 TR_{508} 起运算放大器作用。这样的电路在电源电压有波动时能稳定地工作，以保持水平偏转板的平均电压

恒定。

示波管电路

高压电源高压电来自振荡器，振荡器把低压电源的输出变为约30KHz的正弦波，经升压变压器升高后，然后进行倍压整流式半波整流。振荡器用 TR_{604} 和 TR_{601} 构成。 TR_{603} 是并联稳压器，用以控制 TR_{604} 。 TR_{601} 和 TR_{602} 作为误差信号放大器，控制高压电源。

电源接通后，电流 $+15V$ 从电源进入 T_{601} 的集电极初级绕组，这就在集电极的基极之间形成一个电动势， TR_{604} 的基极正上升，同时集电极电流也进一步升高。这时 C_{602} 充电为负电位电平，集电极电流将升至饱和状态。但当集电极电流升到饱和点时，基极绕组的电动

势消失。因此 TR_{604} 基极在 C_{602} 的作用下变为负，此时 TR_{604} 截止，集电极电流下降，而集电极电压上升。此时和上述过程一样产生相反的电动势，使 C_{602} 充电至正电位电平， C_{602} 逐步变为导通。这个过程反复进行即产生 30KH_z 的信号。

变压器 T_{601} 的次级第五和第七两接点之间产生一个升高的电动势，用 D_{602} 和 D_{603} 做倍压整流后送入示波管的加速电极 (P_3)；而第五和第六点间的电动势经半波整流后进行分压，加到示波管栅极。此电压再进一步通过然纳二极管 $D_{606a,b}$ 分压，加给示波管阴极。同时，为保证变压器次级的 G 点电压恒定，要把次级输出的一部分反馈到 TR_{601} 。由误差信号放大器测出的负载变化用来控制 TR_{603} ，而 TR_{604} 的基极电流又用 TR_{603} 射极平均值控制。

Z 轴放大器

参考附录的示波管电路图。

Z 轴放大器用其基极放大器 TR_{607} 和射极跟随器 TR_{606} 构成。 TR_{607} 射极输入可选择接入下列四种信号之一。

- (1) 增辉信号，用于回扫线消隐；
- (2) 断续消隐信号，用于消除“断续”工作时的瞬态现象；
- (3) 按下“寻迹”按钮时的电压；
- (4) 外扫描时显示光点所需的电压，

D_{608} 和 D_{609} 都是 TR_{607} 射极电路二极管，用以限幅和线性放大。 TR_{607} 的输出加给射极跟随器 TR_{606} ，降低电路的阻抗之后，信号耦合到示波管的消隐偏转板。

消隐偏转板的一边与 D_{605} 连接，加入约 $+40\text{V}$ 电压。电极的另一边通常加 $+80\text{V}$ ，当上述某种信号进入时，这一电压就变为 $+40\text{V}$ ，

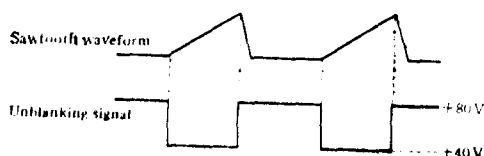


图 13

屏面上显示出光点或光迹。图13所示为光迹。

低压电源包括直流电源和示波管灯丝所需的 6.3V 交流电源，低压有 -10V 、 $+10\text{V}$ 、 -75V 和 $+90\text{V}$ 稳压直流，同时可提供 $+130\text{V}$ 非稳压直流。

$+130\text{V}$ 非稳压直流是从交流电源经电源变压器（变压器把电源升到 110V ）、二极管桥式整流电路 $D_{801a,b,c,d}$ 以及滤波器以后得到的，它的纹波较小。

图14是稳压电流的基本电路。

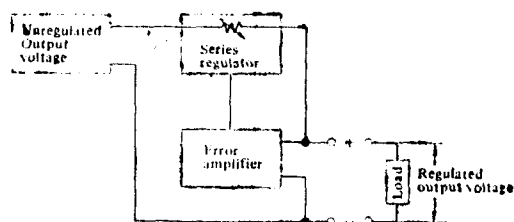


图14 稳压电源基本电路

非稳压输出电压加到负载上，此负载串联一可变电阻，用以控制负载两端电压恒定。这一作用是通过误差信号放大器实现的，放大器根据所接收的误差信号进行工作，此误差信号就是输出与基准电压之差。放大器的工作控制串联稳压器，从而使输出电压保持恒定。本仪器使用的稳压电源都采用同一原理，现举例说明 -75V 稳压电源的工作原理。参阅电源电路附图。

从变压器 T_{801} 第 9 和第 10 点输出的交流 100V 、用二极管 $D_{802a,b,c,d}$ 桥式整流，再经 C_{808} 、 C_{809} 、 R_{813} 、 R_{836} 滤波之后，其直流电加到 TR_{805} 和负载上。 TR_{805} 就是前面讲的串联稳压器。 TR_{807} 和 TR_{808} 组成一个误差信号放大器（即比较放大器）。 TR_{807} 基极与 D_{807} (8.5V 然纳二极管) 连接， TR_{808} 基极与输出电压分压器接点连接。输出电压的变化被误差信号放大器放大后控制串联稳压器 TR_{805} 。

校准器电路

图15是校准器方框图(参阅校准器线路图)