

北京图书馆藏

27518 2

示波器的电路技术

〈日本〉 檢島英一

335.3

北京电子显示仪器厂技术情报室
太原无线电仪表厂技术情报室

47/153 9
2

CA46/30

说 明

遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，在英明领袖华主席抓纲治国战略决策的指引下我们根据日本《无线电技术》杂志1970~1972年连篇连载的“示波器的电路技术”讲座译出。其内容按照示波器各单元电路，分别由基本知识，电子管示波器电路到晶体管示波器电路做了通俗系统的分析介绍，内容通俗易懂，没有复杂的数学公式，并对操作使用作了系统的介绍，同时还分析了电视波形和延迟触发电路，供电视示波器、高级示波器电路分析参考选用，书后对示波器测量应用作了广泛的介绍。对生产和研制的广大工人、技术人员，特别是初用示波器的工作者都有一定的参考价值，还适于教学参考使用。

本书是由太原无线电仪表厂和北京电子显示仪器厂情报室共同译出的，虽经有关技术人员作了技术校对，但由于我们的水平低，还存在不少缺点和错误，请同志们批评指正。

太原无线电仪表厂技术情报室
北京电子显示仪器厂技术情报室

1977.7.



A840347

目 录

第一章	示波器的基本知识	(1)
第二章	触发同步方式	(7)
第三章	同步示波器的操作与电路	(12)
第四章	释抑电路的工作	(18)
第五章	扫描期间的原理与其工作	(24)
第六章	密勒电路的原理与实用电路	(29)
第七章	触发扫描及触发方式	(35)
第八章	触发方式的操作和隧道二极管的用途	(41)
第九章	门信号的应用	(47)
第十章	脉冲放大与同步示波器	(54)
第十一章	垂直单元的技术特性	(61)
第十二章	垂直电路及其工作	(63)
第十三章	前置放大器的种类及其电路	(74)
第十四章	阴极射线管及其工作	(81)
第十五章	荧光粉的种类与使用	(87)
第十六章	示波器的硬件与软件——阴极射线管硬线电路	(93)
第十七章	示波器的硬件与软件——延迟扫描	(98)
第十八章	延迟扫描电路的工作	(103)
第十九章	延迟扫描的实用电路	(107)
第二十章	电视波形分析	(114)
第二十一章	电视示波器与行选择器的工作	(119)
第二十二章	分频器在行选择器上的工作	(125)
第二十三章	单次扫描及其操作	(131)
第二十四章	单次扫描电路及其工作	(136)
第二十五章	示波器的新应用 (一)	(142)
第二十六章	示波器的新应用 (二)	(148)
第二十七章	示波器的展望	(155)

第一章 示波器的基本知识

一、示波器的分类

阴极射线示波器是用阴极射线管观察电气现象的装置总称，现在都简称叫示波器。

同步示波器也是示波器的一种，是专为适应观测脉冲波形而设计的示波器。

按示波器的用途可分为普通示波器（同步示波器）和专用示波器两大类。其中，专用示波器有晶体管图示仪，磁化特性图示器、内燃机极坐示波器（汽缸点火分析仪）、存储示波器等。

二、示波器的组成

普通示波器依用途与种类，可由下列部分组成：

1. 阴极射线管部分；
2. 垂直放大部分；
3. 扫描发生部分和水平放大部分；
4. 同步电路部分；
5. 电源部分。

三、阴极射线管

观测用的阴极射线管包括电视机、雷达等采用的各种类型。示波器所用的阴极射线管如表1所列，标准型的荧光粉为P₁~P₁₁型，一般示波器用P₁、P₂、P₇、P₁₁型荧光粉。

表一 各种阴极射线管比较

型 号	颜 色	余 辉 色	光谱范围 (10%截止率)	峰 值	余 辉
P ₁	绿色	绿	4900~5800	5250	中
P ₂	青绿	绿	4500~6400	5430	长
P ₇	青白	黄	3900~6500	5580 4400	
P ₁₁	青	青	4000~5500	4600	短

p_1 为普通的,有很好的视觉灵敏度,在低加速电压时也能得出明亮的光迹。

p_2 是专适用于400V以上的高加速电压示波器用,它具有短余辉青绿和长余辉黄绿两颜色的荧光粉。

p_1 与 p_2 很相似,也是短余辉青色和长余辉绿色,用和 p_2 相同的滤光器来除去其它各种光的成分,但 p_1 比 p_2 所用的加速电压低(在5000V以下)而且效果良好,因此在低、中等程度加速电压的仪器上。

p_{11} 是感光灵敏度较好的青色荧光粉,其余辉短,所以用在摄影记录的示波器上。

表2是上述观测用的阴极射线管一览表。

表二 阴极射线管的类型

名称	使用举例								用途
	灯丝电压	第3阳极	第2阳极	第1阳极	第2栅极	栅极截止电压	X偏转率	Y偏转率	
3 KP	6.3V	—	1000 V	160—300 V	—	-19~-45 V	19.7~26.8	15~20.5	75mm标准
3 WP	6.3	—	1000	165—310	—	-30~-50	16.3~19.9	11.2~13.8	75mm高灵敏
5 UP	6.3	—	1500	260—480	—	-67.5以下	16.6~22.8	13.8~18.8	130mm标准
5 ABP	6.3	3000	1500	300—515	—	-39~-65	15.8~21.2	10.6~14.2	高灵敏度
5 SP	6.3	3000	1500	272—521	—	-34~-56	24.4~29.9	20.9~25.6	后加速
5 XP	6.3	10000	2000	362—695	—	-45~-75	47~57.4	15.2~18.6	双线后加速
130HB	6.3	3000	1500	300—515	—	-39~-65	15.8~21.2	10.6~14.2	快速用
									宽带用

四、阴极射线管的偏转因数与畸变

所谓阴极射线管的直接偏转因数,是指信号直接加到阴极射线管的偏转板上时,偏转单位长度距离所需的电压,如为5Vp-p/cm,便表示用5Vp-p的信号引起1cm的偏转。

偏转灵敏度是上述偏转因数的倒数。

即:

$$\text{偏转灵敏度} = \frac{D_s \times L_p \times V_p}{2D_p \times V_a} \text{cm/V(D.C)}$$

式中:

D_s ——荧光屏和偏转板的距离,

L_p ——偏转板长度,

V_p ——偏转电压,

D_p ——偏转板间的距离，

V_a ——加速电压。

显然，偏转灵敏度与加速电压成反比。另外，亮度和加速电压的关系如第一图所示，自然两者互为反比，由偏转灵敏度公式可知，加速电压升高，偏转灵敏度便会降低。

所说的后加速阴极射线管是既要保持一定的偏转灵敏度又要提高亮度，是最优质的阴极射线管。目前，这类管在快速现象观测中已被广泛采用。

这类管的结构原理是，通过降低第二阳极电压来达到最高的偏转灵敏度，经加速后的电子束在保持原来的偏转灵敏度基础上提高电子束速度，以便可能增大亮度。

表二中的5ABP、130HB、5SP管是后加速管。但这种管因为加上特别高的电压就会容易产生畸变的缺陷，所以现在都在管内用高阻值涂料涂成螺旋形，以固定的分段使后加速电压逐渐升高。

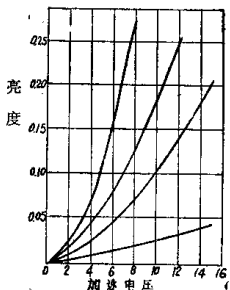


图1 亮度与加速电压的关系

五、垂直放大器的带宽与放大量

从示波器的通用方面来设想，垂直放大器尽量能达到宽频带放大，当然又同时渴望放大量高。

然而，一般放大器的造价成本会随着带宽与放大量的提高而变得更加昂贵，所以用户需依据测量要求作必要的适当选择。

当测正弦波信号时，就依据信号的频率与电压范围选择简易的示波器测试，当测脉冲信号时，因为要测的不是正弦波，所以就不能那么轻而易举地进行选择示波器了，这是因为只要我们很好地分析一下脉冲波的性质就能自行理解了。

六、脉冲波和付立叶分析

过去的高等院校初年级无线电工学主要是有关无线电通信的问题，大都用正弦波形，今天随着电子学的发展，无线电工学中有关脉冲技术领域扩大了，所用的波形和一般正弦波不同，自然，除了正弦波之外，其余波形都总称为脉冲波。

可是这些不同的脉冲波形又是什么样子呢？这就要通过数学上的付立叶分析来证明它是正弦波。

例如：用扫描的锯齿波来分析研究，在数学上用级数来表示：

$$y = \frac{A}{\pi} \left[\sin \frac{2\pi t}{T} - \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi t}{T} + \frac{1}{3} \sin \frac{6\pi t}{T} - \dots \right]$$

这里除 A/π 振幅的基波（周期 T ）外， $-A/2\pi$ ， $+A/3\pi$ ……振幅的第 2 个（周期 $T/2$ ），第 3 个（周期 $T/2$ ）都是由高次谐波（正弦波）而构成的。

由此可得出如下结论：

以周期性的时间脉冲波和其重复频率一样，也是最低的有限值，它由无限个高频正弦波组成。

七、脉冲波上升前沿和放大器的上升前沿之关系

由上可知，用示波器观测脉冲信号时，选用示波器的一个标准是其上升前沿时间，它是指的由一个电压值到另一电压值时的瞬间变化时间。

今设理想的脉冲上升时间是 0 秒，输入在带宽 β Hz 的放大器上，就会输出为 τ 秒的上升时间。这时两者成下列关系：

$$\tau \cdot \beta = 0.35$$

示波器说明书或目录上所指的上升时间就是 τ 这个值。如 50MHz 同步示波器所说的上升时间 7ns 就是这样计算来的。

另外，设脉冲波的上升时间为 τ_1 ，放大器的上升时间为 τ_2 ，这时输出信号的上升时间 τ_0 的值便可得出：

$$\tau_0 = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2}$$

运用上述两式就能知道观测信号的上升时间，如对信号的精度确定之后，用户便能按照上述方式选用所需的示波器带宽来进行测试。

八、输入阻抗

不仅示波器，就是其它的测量仪器都是为了减少对测量电路的影响，都希望把输入阻抗提高。

可是用示波器时，为了使输入信号得以调整，过高的信号电平就很难进行了，一般都用电阻 $1M\Omega \sim 2M\Omega$ 、电容 $30 \sim 40pF$ 左右的阻抗，如需更高的输入阻抗，就要用探头提高输入阻抗。

九、线性

近来的示波器不仅便于观测波形，而且还要作振幅、时间等作定量的测定，所以线

性就成为非常重要的问题了。

为定量地测定振幅，还可利用校正电压与它互相比较，放大器的线性不好就会造成很大的误差。

通常为减少非线性失真，采用对称偏转板的阴极射线管，显然，放大器用推挽式的较好，特别是最近的直流放大器式的示波器，为减少失真提高稳定度，大都用推挽式放大器。

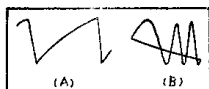
十、输入电压范围

为使阴极射线管上得出所希望的波形，输入信号的大小要适当，放大量必须是能任意调整的，但由于这时会使含有很多高频成分的输入信号也同样被衰减掉，所以在技术上自然还是非常难以达到的问题。

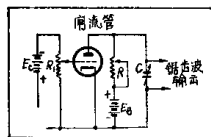
通常用分级逐步进挡的办法制成RC衰减器，这样可以连续改变和增益一起调整来解决这个问题。

十一、示波器的同步方式

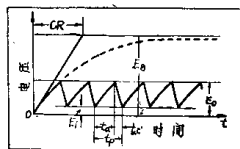
大家都已知道，示波器水平偏转板是加上锯齿波电压，这就必须具有良好的线性（第2图），锯齿波发生电路如第3图基本电路所示，另外其工作如第4图所示。



第2图 扫描的线性



第3图 真空管振荡电路



第4图 第3图的C端电压

这时通过第3图的RC改变振荡电路的频率，使和加在垂直部分的被测信号频率相互关联，当垂直上加上观测信号，时基扫描电路就必须与其同步，其方法如第5图所示。

十二、同步示波器的同步方式

示波器用强迫同步方式，同步示波器则用触发方式同步，其电路中有触发放大级和触发整形级，工作方式如下：

先将触发信号加以放大，再送入触发整形电路，得出负方波脉冲，再经微分电路后，送到门电路产生门信号去启动扫描振荡器，用负脉冲波开始产生锯齿波，通过抑制电路到门多谐振荡器的截止点使电压升高，扫描便被截止。触发抑制电路是在锯齿波扫描期未结束新的扫描又未开始时进行抑制的。

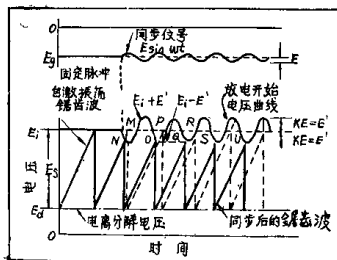


图5 示波管的同步工作

※同步示波 (Synchronoscope) 是日本用的商用名称，其它各国都叫示波器，本书前半部分以示波器与同步示波器区别强迫式与触发式，详见第五章——译注。

第二章 触发同步方式

一、强迫同步和触发同步

要使阴极射线管上的屏幕之显示波形稳定，就必须使观测信号与时基扫描电路同步，旧式的示波器采用强迫同步，现在的同步示波器则采用触发式同步。

强迫同步是在观测信号未接入示波器输入端时，通常由扫描振荡电路中的 RC 时间常数确定扫描频率，形成固有的自激振荡频率，当接通观测信号时，经同步电路，观测信号的频率和扫描电路的锯齿波重复频率便进行强迫性的频率变化，成为整数比，使荧光屏上的波形恰好成为稳定性的波形（见图 1）。

二、强迫和触发方式的区别

触发同步是使观测信号变为同步信号，再把它变为触发脉冲，然后去启动扫描电路，便产生锯齿波扫描电压，因而不加信号就没有扫描线，这是最根本的不同点。

如果把一台示波器拿到大家面前来分析确定它是强迫式的还是触发式的，只要作个简单实验就知道了。于是，接通电源，不接观测信号时，荧光屏上有一条水平扫描线就是强迫同步，加上观测信号才有扫描线才是触发式的。（参见第 2 图）（请注意，近来触发式改进为自动触发，不加信号也有一条细线，但与扫描线不同，见触发方式中的自动触发一节。——译注）

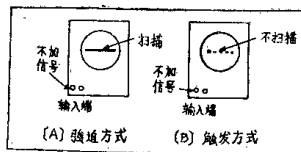
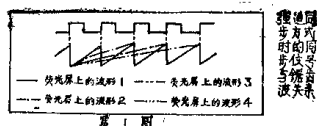
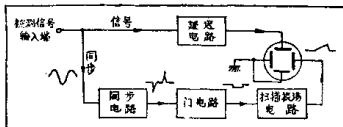


图 2 观测同步方式的差别

三、触发脉冲及其意义

触发同步方式如第3图所示，观测信号当然要大部分送到垂直偏转板上了，但其另一部分则变为同步信号加到同步电路中，其输出经微分变成尖峰脉冲波形以便启动下一级多谐振荡器，这个尖峰脉冲叫触发脉冲。

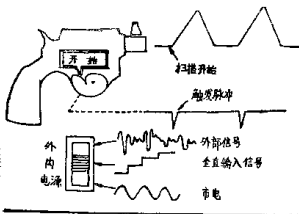


第3图 触发扫描方式的组成(其一)

在这里，所谓“触发”是引用手枪上的扳机撞针的触击发射的含意，（见第4图）。

同步示波器（触发扫描）的电路和示波器（强迫同步方式）不同，要求有外来加一任意必要的冲击时，下一级的扫描电路才发生锯齿波电压，该扫描电路的振荡部分是由一套双稳态多谐振荡器组成，从而达到设计的要求。

所加的冲击状态，恰为手枪扳机撞针的触击发射作用一样，所以得出“触发”这个名称。



第4图 触发与扳机的扳机

四、门电路与密勒电路

实际上，触发脉冲并不直接触发启动扫描振荡电路，而是先由触发脉冲启动下一级门电路，这个电路也是双稳态多谐振荡器的一种。

经启动后的门电路输出一个门电压控制信号，去控制扫描振荡电路，它一般用密勒积分电路，其输出是锯齿波电压。

五、门信号及其意义

控制门振荡电路的门信号如第3图所示是负方波。振荡器输出的锯齿波电压也即是扫描的期间，是和门信号的时间间隔完全一致，这个间隔叫门时间。

门时间与同步信号毫不相干，它与强迫同步式的示波器根本不同之处是可以任意改变，因此，同步示波器特别采用了复杂的扫描方式电路。

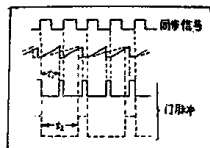
“门”是说恰好把门打开的期间进行扫描，不打开门的其它时间就不进行扫描。不

仅在同步示波器是这个含意，在所有的脉冲技术中都使用这个术语，所以要搞清楚。

六、触发方式的优点

第5图就是在触发方式同步时的同步信号和锯齿波电压的相互关系，它与第1图强迫同步式的示波器相比显然不同。

用触发方式就不像旧式强迫同步那样，它可将脉冲波前部分放大进行观测（第6图），或者像电视信号的任一部分都能观测到，使荧光屏上可看到稳定的波形。



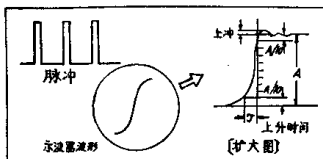
第5图

触发方式的同步仪中的锯齿波电压及脉冲的关系

七、触发扫描的缺点

虽然触发扫描方式的同步示波器与旧式示波器相比有许多优点，但是否就一点缺点也没有呢？今举两点：

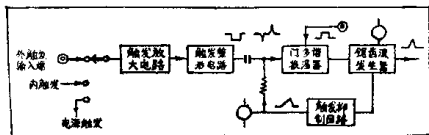
1. 调整比较繁琐，要使波形很快在屏幕上稳定下来。旧式的没有那么多开关旋钮；新式的则使仪器面板旋钮、开关、接线柱等拥挤不堪，用起来眼花缭乱，所以必须有熟练的调整技术水平。



第6图 脉冲波上升部分的扩展

2. 高频同步时约有 5 MHz 以上的重复信号输入，因而一般多谐振荡器开关工作不能适应其速度，所以触发同步工作变得较为困难。

这两个缺点都是来自于触发扫描电路，近来同步示波器巧妙地解决了这个问题，所以对同步示波器电路分析首先要改进方面加以了解是非常重要的问题。



第7图 触发扫描的组成(其二)

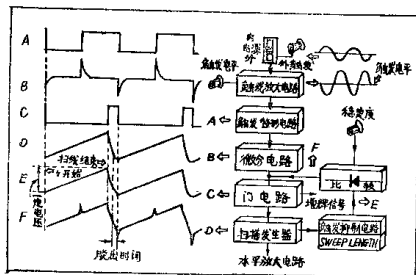
八、触发信号源

上述第 3 图为同步示波器一般组成的电路, 其实际电路是第 7 图方块图, 其扫描方式为触发方式, 其中有触发放大和触发整形电路, 这是上面所提到的同步电路所包括的两个部分。其工作情况是在触发信号源作示波器同步时同样用三种方式: 外加触发信号接触发输入端; 用观测信号的一部分依原样取出作触发信号 (内触发) 和用电源频率的正弦波作触发。

这三种不管用那一种作触发信号都要送到触发放大和整形电路,使输出为负方波脉冲。

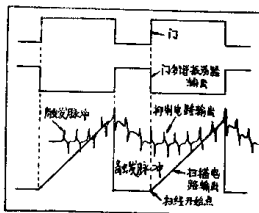
九、触发工作与抑制电路

由 RC 组成微分电路把负方波脉冲微分成触发脉冲(启动脉冲)。这里用负的第 1 个启动脉冲加在下一级门多谐振荡器(双稳态的一种)的瞬间,使其输出再去启动下一级锯齿波振荡器电路,所产生的锯齿波电压加在水平偏转板上,便进行扫描,这是由负触发脉冲发生锯齿波电压的过程。



第八图 各方块输出波形与按钮

当扫描停止时，便是扫描线在荧光屏水平扫描线最右端的时后，也就是锯齿波电压回线起点的时刻，显然它们都是一致的。回线起点是锯齿波电压的一部分，由第7图触发抑制电路到门多谐振荡的截止点就是电压的上升时间，用第9图来表示就清楚了。触发抑制电路在锯齿波扫描未终止时间内，即使再来下边的触发脉冲也不能使扫描重新开始，所以以抑制电路来进行（第9图）。有关这些以后再加详



第九图 抑制电路及它的关系

述。

十、触发扫描实际电路及其调整旋钮

触发扫描工作的实际电路为第10图。

由图可知，是10个晶体管电子管及许多阻容元件构成，还有同步示波器专用的旋钮和接线柱等，虽然旋钮的名称因制造厂家而异，但内容都是一致的，今列举如下5种：

1. 触发选择；
2. 触发电平；
3. 稳定度；
4. 触发方式；
5. 扫描速度。

一般同步示波器的调整很复杂，但实际上只要调整得当，即便有不妥之处，偶然影响一下波形，稍变一下扫速便立即恢复，所以合理的效率要用标准的正确调整方法与顺序来保证。

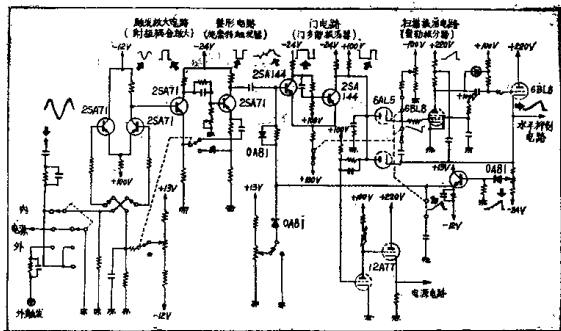
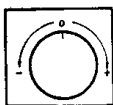


图10 晶体管扫描电路

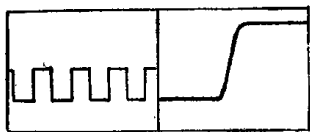
二、同步示波器操作规则

为了达到良好的效果，就有关调整方法、顺序列举如下，有关电路工作原理下一节再详细说明，首先请记住这些操作方法：

1. 输入端先不接观测信号；
2. 触发方式开关放在交流挡上；
3. 触发信号源放在内触发挡上；
4. 触发选择开关放在“+”挡上，或是按观测脉冲上升或下降状态放在“-”挡上，（波形图是按列举的“+”挡位置）；
5. 触发电平与稳定度两个旋钮反时针转动，荧光屏上不应有任何波形出现，即使有波形出现也是调整不当的故障现象；
6. 把稳定度旋钮顺时针转动，扫描线成直线前进，这时荧光屏上无任何波形出现；
7. 把观测信号接在输入端，这时荧光屏仍无任何波形出现；
8. 把触发电平旋钮顺时针方向（+方向）转动，直到出现扫描线为止（参见第2图）；

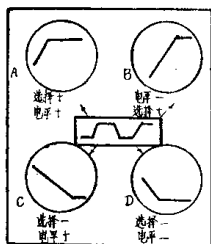


第2图 触发电平旋钮



波形图①脉冲波的上升状态

②为A的放大图象



第3图 触发选择和触发电平两旋钮性的关系

荧光屏上显示出波形时，各旋钮才是最理想的位置，不管多么复杂的脉冲波，都能在同步示波器的荧光屏上获得完全稳定的波形；

9. 再顺时针转动触发电平，任意调到满意时为止，在这个位置上不仅同样的观测脉冲波，而且还能观测任意波形。（参见第3图A、B、C、D）。

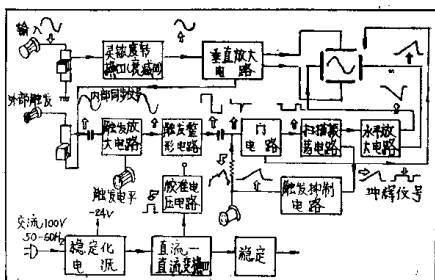
根据现有的同步示波器，把振荡器上产生的信号接在示波器上观测，按上列顺序进行实际练习。经几次练习，就会感到，原认为很复杂的同步波器，实际上接作起来是很容易的。

这样接连不断的进行操作，从自然而然的就会发问，这到底是什么样的电路工作原理呢。有关

这方面就需要进一步的研究和分析。

三、触发电路的构成

第4图为同步示波器电路系统所包括的同步信号源变换开关,触发选择开关,触发电平旋钮,稳定度旋钮。这4种开关旋钮已在上节搞清楚了它们的从属电路关系。



第4图 触发电路及部件系统图

下边的第5图A就是包括这4种开关旋钮的实际电路,最初把信号加进同步电路里,这是由同步信号源转换开关选择内部、外部或电源作同步信号。

再继续下去,用TR201与TR202作触发放大电路,TR203和TR204作触发整形电路,下一级便是所说的门多谐振荡器。

四、触发选择电路的工作

在TR201与TR202触发放大电路中,由开关选定TR201基极或是TR202基极接入同步信号,这个开关正是触发选择开关。

开关是根据所观测的正负脉冲波,选定“+”“-”位置,从而确定扫描是在波形的上升或下降时开始的。

五、触发电平电路的工作

同步信号(触发信号)的大小受到晶体管的基极下边所接的偏置可变电阻控制,这