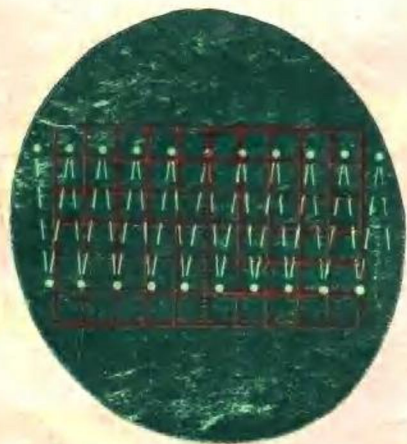




通用示波器的 原理、使用和维修

上海人民出版社

77.22
115

通用示波器的原理、使用和维修

上海无线电廿一厂编

上海人民出版社

通用示波器的原理、使用和维护

上海无线电廿一厂编

上海人民出版社出版

(上海 绍兴路 5 号)

新华书店上海发行所发行 上海市日历印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 2.5 插页 1 字数 52,000

1971 年 11 月第 1 版 1974 年 4 月第 4 次印刷

印数 75,001—150,000

统一书号: 15171·58 定价: 0.17 元

毛主席语录

无产阶级认识世界的目的，只是为了改造世界，此外再无别的目的。

目 录

一、概述	1
二、原理	2
2.1 电路组成	2
2.2 Y 轴偏转系统(垂直通道)	2
2.3 X 轴偏转系统(水平通道)	7
2.4 附属电路	10
2.5 电源	11
三、使用	13
3.1 控制器和接触器	13
3.2 使用前的注意事项	16
3.3 几种典型的使用方法	19
四、维修	29
4.1 一般故障排除方法	29
4.2 故障检查的步骤	32
4.3 常见故障	35
五、校准	45
5.1 Y 轴校准	45
5.2 X 轴校准	49
5.3 比较讯号校准	52
5.4 时标校准	56
六、附录	59
6.1 示波器术语解释	59
6.2 典型脉冲部分的名称	62
6.3 代号符号表	63

6.4	周期性波形的量值	64
6.5	分贝表	65
6.6	部分国产电子管示波器主要技术性能表	66
6.7	部分国产示波管主要技术性能表	68
6.8	SBT-5 型示波器电原理图	插页

一、概 述

示波器是一种用途广泛的电子测量仪器。它在社会主义革命和建设飞速发展的今天,已被越来越多地应用于生产实践和科学研究等方面。随着无线电工业的发展,尤其是火箭技术、计算技术、自动控制、彩色电视等先进技术的发展,示波器的使用将越来越广泛。

示波器对微微秒数量级的脉冲波或者变化极其缓慢的非周期性的电压变化,都能比较真实而且清晰地显示出来,以提供对它精确地进行定性、定量的分析和研究。示波器之所以应用广泛,是由于它能把原来非常抽象的、肉眼看不见的电过程,变换成具体的看得见的图象。

在电讯工程中,通常使用示波器来观察电压(或电流)波形,测量频率及电压、电流、功率等数量。在无线电制造工业中,示波器已广泛地用来校验整机的电路性能、描述电子半导体器件的特性参数。目前,在电视、雷达设备的生产制造中,示波器也成为不可缺少的测量仪器。在生理、医疗方面,示波器也用来探索人体组织机能的活动、检查生理病变等。在冶金等重工业企业中,示波器已作为探伤测试设备和调整自动控制装置。此外,在轻化工业生产等方面,示波器也有很大的用途。

总之,示波器在国民经济各部门的应用日趋广泛。我国生产的示波器种类很多,大致可分为两大类,通用示波器和专用示波器。本书着重通过对 SBT-5 同步示波器的电路原理、使用方法及维修技术的叙述,介绍通用示波器的基本原理。

二、原 理

2.1 电 路 组 成

示波器的电路基本上可分为： Y 轴系统、 X 轴系统、显示器和电源四个主要部分。它采用的电路有放大电路、脉冲电路、振荡电路等。示波器的结构方框图如图1所示。

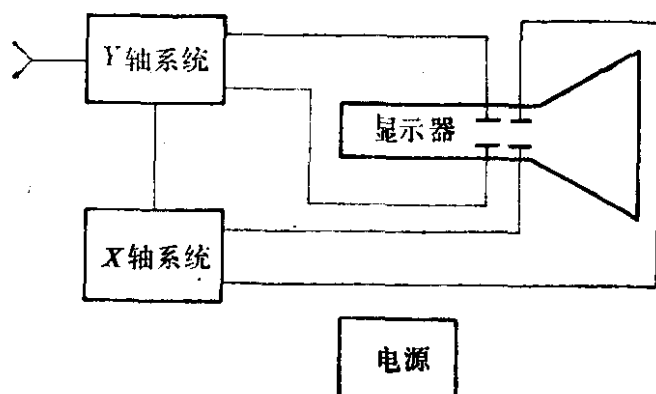


图1 示波器结构方框图

SBT-5型示波器的电路组成有 Y 轴偏转系统,它包括输入 RC 衰减器、前置放大级、延迟线以及末级平衡放大级等; X 轴偏转系统包括触发放大级、扫描发生器、水平放大级等;显示器包括示波管及其控制器等;电源部分包括变压器、滤波器、串联电子稳压器等;附属电路有时标及比较讯号发生器。它的结构方框图如图2所示。

2.2 Y 轴偏转系统(垂直通道)

Y 轴偏转系统的作用是把被测讯号从 Y 轴输入,经放大器放大后,送到示波管的 Y 轴偏转板,以供观察。

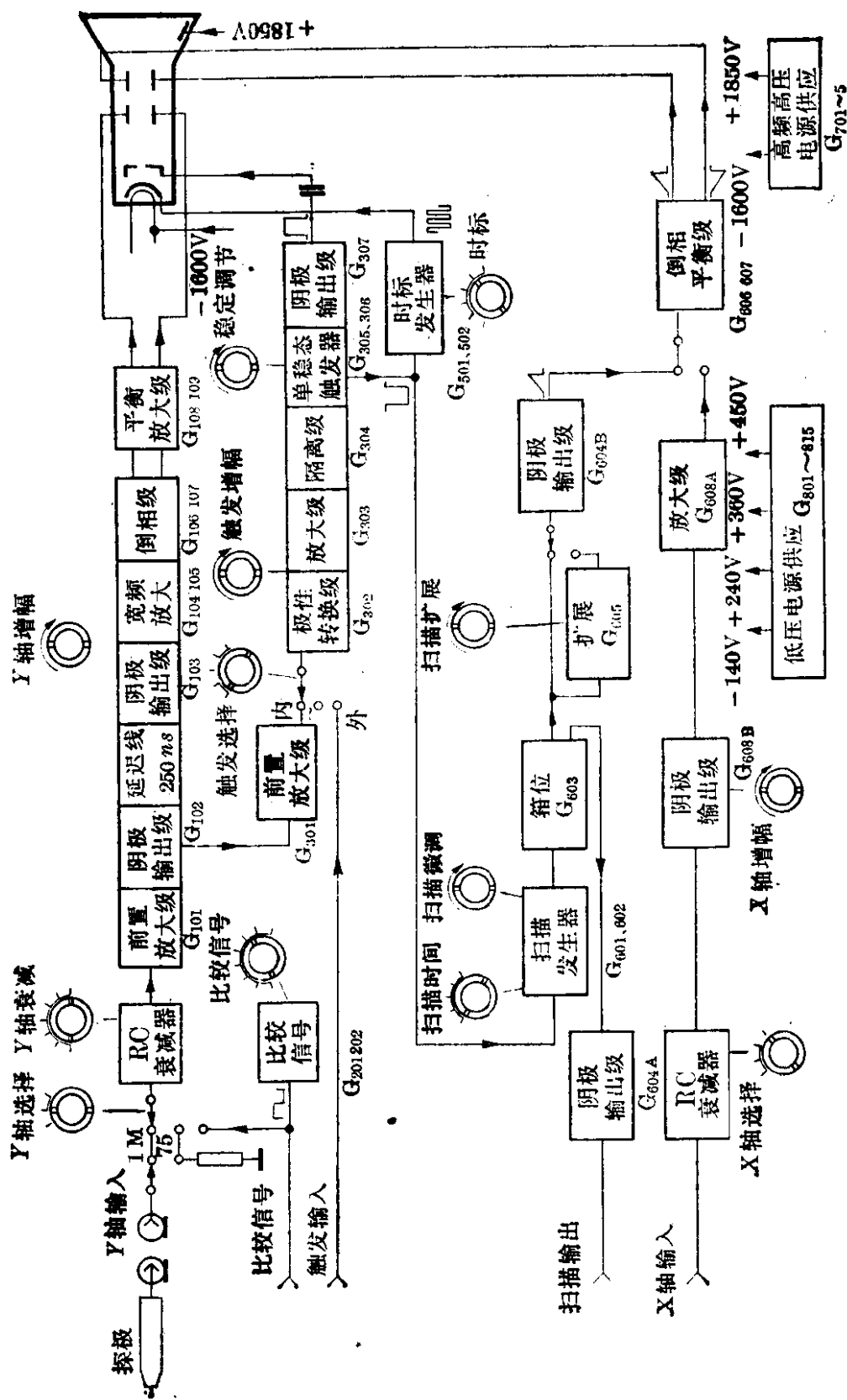


图2 SBT-5 型示波器结构方框图

SBT-5 型示波器采用的示波管型号是 13SJ38J, 它的 Y 轴偏转板灵敏度为 12 V/cm , 而 Y 轴偏转系统的灵敏度规定为 $\leq 25\text{ mV/cm}$, 因此, Y 轴偏转系统的总放大倍数应约为:

$$\text{放大倍数} \geq \frac{12\text{ V/cm}}{25\text{ mV/cm}} = 480 \text{ 倍 (约 } 53\text{ dB)}$$

Y 轴偏转电路一般采用直流放大电路或交流放大电路两种。SBT-5 型示波器的 Y 轴偏转电路系采用交流放大电路, 图 3 为它的方框图。

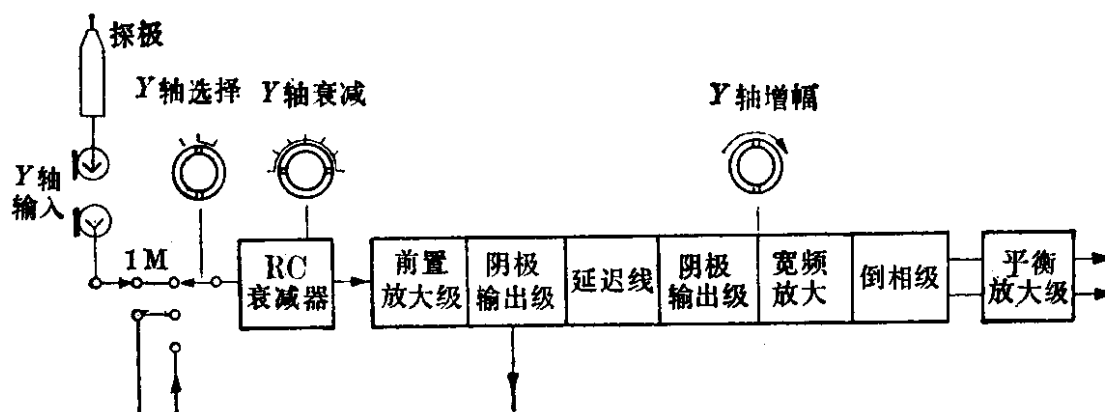


图 3 Y 轴偏转电路方框图

当输入 25 mV (峰峰值) 的电压值时, 可以在示波管的荧光屏上观察到约 1 cm 幅度的讯号图形; 输入 150 mV (峰峰值) 的电压值时, 则在示波管的荧光屏上可观察到 6 cm 的讯号幅度。在最大衰减 1000 倍时, 则输入 25 V (峰峰值) 的电压值, 在示波管的荧光屏上可观察到约 1 cm 幅度的讯号图形。

被测讯号由 Y 轴高频插座输入, 经过阻容桥式平衡补偿衰减器后再进行放大。通过不衰减 (在 1 档级) 或衰减 3 倍、 10 倍、 30 倍、 100 倍、 300 倍和 1000 倍, 使送入电子管 G_{101} 的讯号有一个基本上恒定的量值。变换衰减器的目的是为了控制被测讯号有一个适当的幅度, 以利观察, 另外也是为了避

免讯号过强而产生非线性畸变。现仅以 Y 轴衰减 10 倍档级为例说明：当 $C_{103} \cdot R_{103} = C_{105} \cdot R_{104}$ 时， R_{103} 和 R_{104} 间的支路则无电流，衰减器的输出跟频率亦就无关，于是便不失真地传输了讯号。衰减倍数的确定仅以衰减 100 档级为例说明： R_{107} 和 R_{108} 为衰减比电阻，其衰减比为：

$$\text{衰减比} = \frac{10\text{ K}}{990\text{ K} + 10\text{ K}} = \frac{1}{100}$$

这就是说，在衰减 100 档级时，输入 100 V 的讯号，到达 G_{101} 时只是 1 V 讯号了。

讯号经阻容补偿衰减后，输入前置放大级 G_{101} 的栅极，放大后的讯号由电容耦合进入阴极输出级 G_{102} ，一路由 G_{102A} 的阴极输出与延迟线输入端相接，另一路由 G_{102B} 的阴极输出送入触发放大器，作为内触发讯号。

延迟线系为集中的电感和电容所组成的四端定 K 型网络。讯号经延迟线后，被延迟约 250 ns，它避免了讯号在扫描开始之前先到达 Y 偏转板。不然，则会产生观察不到脉冲讯号前沿的起始瞬变过程。

G_{103A} 、 G_{103B} 为阴极输出级，阴极负载电位器 W_{104} 与电位器 W_{101} 、电阻 R_{130} 组成电桥形式。电位器 W_{101} 作为“ Y 轴增幅”的控制器，在电阻 R_{130} 上取出最低讯号电平输送到 G_{104} 的栅极，这种连接兼有阴极输出器和电桥两者的特点。阴极输出器具有低阻抗输出，从而可以采用低阻值电位器 W_{101} 来控制 Y 轴的幅度，这就避免了当采用高阻电位器控制 Y 轴幅度时，在高频范围内由于寄生电容影响而产生的频率畸变；利用电桥平衡的特点是使 G_{103A} 和 G_{103B} 的阴极直流电位相互平衡，“ Y 轴增幅”电位器 W_{101} 不论调在任何位置， G_{104} 的栅极始终保持恒定电位，也即保证了 G_{104} 栅阴间的电位恒定，

于是在 G_{103} 阴极和 G_{104} 栅极间可省去一只隔直流耦合电容, 这有利于低频讯号的传送, 避免了讯号的低频畸变。

G_{104} 和 G_{105} 组成二级宽频带电压放大器, 电路中采用了高品质因数的电子管 6J1 和 6J5, 用来放大脉冲讯号。这种脉冲放大电路, 由于尽可能地减小了寄生电容以及隔直流耦合电容, 它就能较完整地放大被测讯号的波形, 并在允许范围内畸变可以最小。畸变的产生是由于放大电路的高频参数的影响, 其中最主要的是寄生电容和隔直流耦合电容。寄生电容是客观存在的, 寄生电容包括前级电子管的输出电容、放大器本身的接线电容和次级电子管的输入电容。隔直流耦合电容的作用是把前级的直流分量隔开, 否则, 当板极的直流分量由于电源波动、电子管陈旧等影响而产生变化时, 次级电子管的正常工作状态将会受到很大的影响。隔直流耦合电容的容量如果用得过分大, 一则体积大, 二则寄生电容与寄生电感都会增加, 并且电容量过大后, 漏电电阻亦相应增大, 这就会破坏耦合作用, 从而影响了脉冲放大电路的正常工作。因此, 必须适当选择隔直流耦合电容的容量。

脉冲放大电路应有较宽的频带, 这就必须采用高频补偿和低频补偿的方法来减少高频和低频的畸变, 高频补偿是补偿寄生电容的影响, 而低频补偿则是补偿隔直耦合电容的影响。 G_{104} 板极回路的电感 L_{102} 是补偿寄生电容的高频补偿元件, 它可改善脉冲波形的上升或下降边缘; 电阻 R_{131} 和电容 C_{156} 所组成的去耦滤波器, 是补偿隔直耦合电容 C_{157} 的低频补偿元件, 它可改善脉冲波形的平顶部分, 并亦减弱了各放大级间的寄生反馈, 这是由于当共用一个公共电源时, 电源的内阻并不等于零, 而且任何一级的板流变化都可能影响其他各级的板极电压。阴极电容 C_{154} 的容量宜选用得甚大, 它也是

补偿低频畸变的元件,起负反馈作用。

G_{106} 和 G_{107} 组成阴极耦合倒相级,它把单端输入电压转换成为一对极性相反的电压,以推动末级平衡放大。

末级平衡输出放大级由电子管 G_{108} 和 G_{109} 组成,由于示波管偏转板电容的影响使寄生电容大为增加,再加上末级输出讯号幅度的要求较大,所以采用了大功率电子管及电感复式高频补偿措施来改善其高频输出。

末级负载电阻系采用双股无感线绕电阻。

2.3 X 轴偏转系统(水平通道)

SBT-5 型示波器的 X 轴偏转系统主要由触发器、扫描发生器和放大器三部分组成,如图 4 所示。一般情况下由扫描

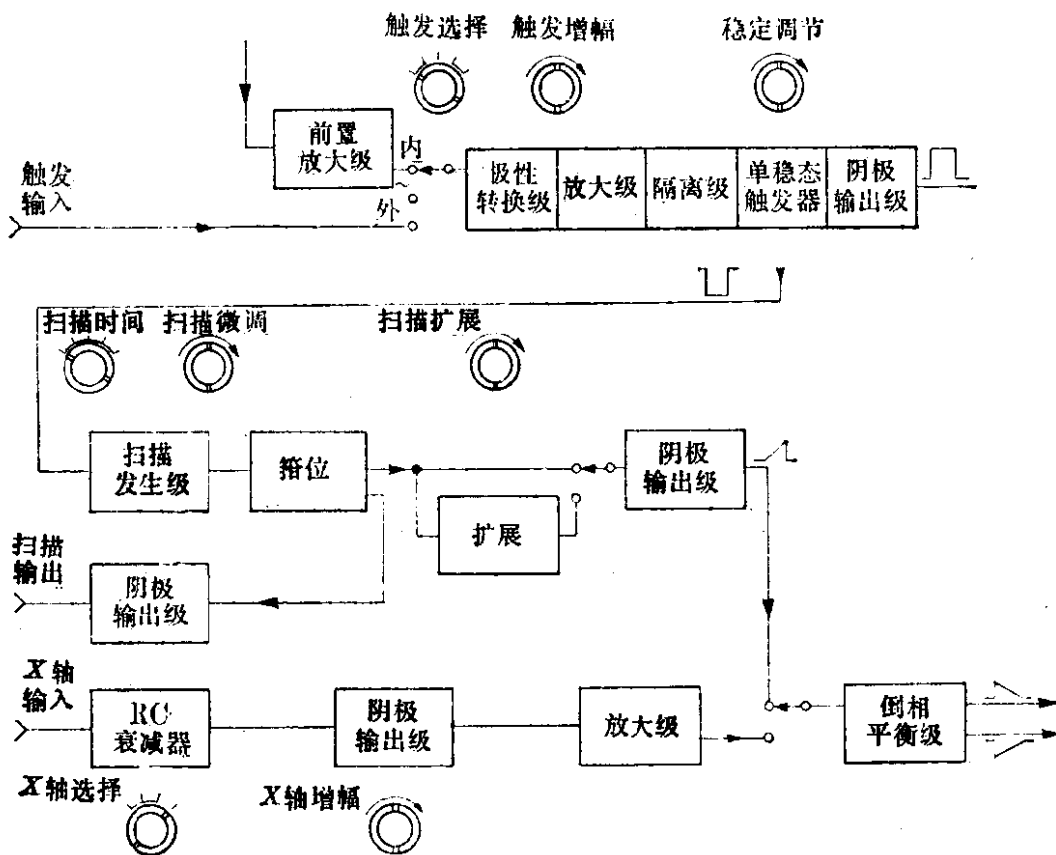


图 4 X 轴偏转电路方框图

发生器产生一锯齿波电压送至示波管的 X 偏转板作扫描时间基准电压,但也可以从“ X 轴输入”插座输入讯号电压经放大后到达示波管的 X 偏转板。

所谓触发,是每当输入讯号变化到某一幅值时,电路的工作即起跳跃式的变化,这种变化称为转换或翻转。触发器是一种快速电子继电器,它具有二种工作状态,即导通或截止。当受到外界少量扰动的影响时,它的工作状态保持不变。SBT-5型示波器的触发系统主要有7个电子管组成。它的触发讯号有三种形式:一种是自 Y 轴偏转系统 G_{102B} 的阴极输出的部分测量讯号作为内触发讯号;另一种系直接由机外输入的外触发讯号;还有一种则为电源变压器的灯丝电压作电源触发讯号。

自 Y 轴偏转系统 G_{102B} 的阴极输出的约50mV的测量讯号,经 G_{301} 触发前置放大级增幅后,抵达 G_{302} ,利用电子管板、阴两极相位的不同作相位选择。通过触发选择开关 K_{301C} 的转换,可从 G_{302} 的板极或阴极分别取出讯号,使得不论内触发讯号或外触发讯号是何种极性,到达 G_{303} 栅极的触发讯号始终为正极性,从而保证 G_{303} 板极的输出为一负向触发脉冲。 G_{304} 为隔离二极管,它起保证引入触发负脉冲的作用。

单稳态触发器由 G_{305} 和 G_{306} 组成。当 G_{303} 输出一负脉冲讯号时,触发器原有的稳定状态即被转换为另一个暂稳状态,即 G_{305} 导通、 G_{306} 截止,从而输出一负向矩形脉冲。这矩形脉冲的宽度取决于电容 $C_{315\sim 319}$ 、电阻 R_{327} 及电位器 W_{303} 、 W_{304A} 的时间常数。 W_{302} 为“稳定调节”控制器,它使 G_{305} 有一个合适的截止偏压,当 G_{306} 的栅极输入一负脉冲时,作为 G_{306} 从导通的一个稳定状态转换为截止的另一个稳定状态的

翻转工作点电压,以保证电路能正常工作。

触发器产生的矩形脉冲经电阻 $R_{319\sim 322}$ 及电容 $C_{313\sim 314}$ 所组成的阻容补偿衰减器后,分为二路触发脉冲输出:一路送到 G_{501A} 栅极来控制时标讯号振荡器;另一路送到 G_{602} 栅极来控制扫描发生器。另外, G_{306} 栅极与 G_{307A} 栅极相连,经阴极输出级 G_{307B} 的阴极输出一正向矩形脉冲。然后由耦合电容 C_{402} 加到示波管 G_{401} 的第三脚控制极,使得只有在触发扫描的正程时才有电子束射向荧光屏以增亮被测讯号,方便测量观察。

为要在示波管的荧光屏上显示出随时间而变化的任意被测讯号的波形,就需要在示波管的一对 X 轴偏转板上加一个随时间而线性变化的电压。由于这种电压是用来使电子束沿 X 轴方向扫过荧光屏,所以称为 X 轴扫描电压。

SBT-5 型示波器的扫描电路系由 G_{601} 、 G_{602} 组成。 G_{602} 系起“开关”作用。扫描电压锯齿波的产生通过 G_{601} 、 G_{602} 的开关作用和电容 $C_{601\sim 606}$ 的充放电作用来实现的。由单稳态触发器来的负向矩形脉冲经阻容耦合衰减器送到 G_{602} 的栅极,使 G_{602} 截止,于是扫描电容通过 G_{601} 、电位器 W_{602} 、 W_{304} 和电阻 R_{602} 按指数关系充电,充电的时间取决于电容 ($C_{601\sim 606}$) 和电阻 (G_{601} 内阻、 W_{602} 、 W_{304B} 、 R_{602}) 的乘积。改变电容或电阻即能改变扫描时间,前者通过波段开关 K_{302C} 转换,使扫描时间作档级跃变;后者通过调节电位器 W_{304B} ,使扫描时间在每档级内作连续变化。

G_{601} 系起扫描充电的稳流作用,以使扫描电容的充电电流维持恒定,从而就改善了扫描电压的线性。串接在 G_{601} 阴极回路中的 W_{602} 、 W_{304B} 和 R_{602} 具有电流负反馈的作用,它们可以进一步改善扫描电压的线性。当电容充电时,则为扫

描电压的正程。当输入 G_{602} 栅极的开关脉冲一结束, G_{602} 即导通, 于是扫描电容通过 G_{602} 很快地放电, 电容的放电则为扫描电压的逆程。电容放电后就回复到扫描的起始静态, 等待下次开关脉冲的到来。

箝位电子管 G_{603} 的作用是把扫描电压起始点固定在一个零电平输出。送到 G_{604} 栅极的扫描电压, 一方面可由 G_{604A} 的阴极对外作扫描讯号电压的输出, 另一方面可由 G_{604B} 的阴极输出到 X 轴放大器的末级倒相平衡级, 放大后送到示波管的 X 偏板作为时间基准的扫描电压。 G_{605} 为扫描扩展器, 它约可扩展 5 倍。扩展后的扫描电压送到 G_{604B} 的栅极, 再由上述的路径送到 X 轴放大器的末级。

X 轴放大器主要由 $G_{606\sim 608}$ 组成, 当需由 X 轴输入讯号时, 可通过波段开关 K_{601A} “ X 轴选择” 跟机内的扫描讯号断开, 输入讯号经阻容补偿衰减器不衰减或衰减 10、100 倍后, 进入 G_{608B} 阴极输出级, 再由 G_{608A} 的前置放大级增幅, 然后, 通过波段开关 K_{601C} 到达末级倒相平衡级, 最后送入示波管的 X 轴偏转板。

必须指出: X 轴偏转系统主要不是作为供送入测量讯号的, 而且示波管的 X 轴偏转板的灵敏度也要比 Y 轴偏转板为低, 因此, X 轴偏转放大器的频率特性等均比 Y 轴偏转放大器要低很多。

2.4 附属电路

【比较讯号发生器】

比较讯号发生器系由 G_{201} 、 G_{202} 所组成。 G_{201A} 及 G_{201B} 组成一多谐振荡器产生方波, 其输出频率取决于 C_{202} 、 C_{203} 与 R_{202} 、 R_{203} 的乘积。 R_{203} 与 W_{201} 并联, 由于 R_{203} 的数值远较

W_{201} 为小, 故 W_{201} 的作用仅为校准方波的相对宽度, 而不显著地影响频率。 G_{201B} 的栅极直接与 G_{202B} 的栅极相接, 通过 G_{202B} 来削波增幅, 再由 G_{202A} 的阴极输出。 G_{202A} 的栅极与 G_{202B} 的板极直接耦合, 调节 W_{202} 可校准 G_{202A} 的栅压, 使 G_{202A} 的阴极输出的电压为 50 V (峰峰值), 再由 $R_{208} \sim R_{214}$ 的分压电阻进行分压, 所得到的各额定(峰峰值)电压, 作为标准电压值, 接入 Y 轴偏转系统的输入端, 经 Y 轴增幅器送到示波管的 Y 偏转板, 可用来直接比较被观察讯号的幅度。

【时标讯号发生器】

时标讯号发生器系由 G_{501} 、 G_{502} 所组成。 G_{501A} 起开关作用, 它受来自触发器的负脉冲所控制。 G_{502} 系一脉冲正弦振荡器, 其 LC 振荡器置于阴极回路中, 当负向矩形脉冲使 G_{501A} 截止时, 板流就不通过振荡回路, 从而使振荡回路的 Q 值提高, 于是引起了振荡。 振荡的频率取决于 LC 的数值。 所产生的振荡讯号经上、下限幅后, 加到示波管的阴极, 以对被观察讯号进行明、暗相间的调制。 所呈现的光点即为时间标志, 该时标所表示的时间为其振荡频率的周期。

2.5 电 源

【高频电压】

$G_{701} \sim G_{705}$ 与高频变压器 B_3 组成高频高压电源。 这种利用振荡器产生高频电压并经变压来获得高压的方法, 可大大减少高压线圈的匝数, 并对高压绝缘措施的要求也便于处理。 G_{701} 是电感三点式振荡器, 振荡的频率约 50 KHz, 振荡电压的大小可由 G_{701} 的板压或帘栅压调节。 高频变压器 B_3 采用了高 μ 导磁介质铁淦氧铁芯, 故变压器的体积也大为减小。 经变压后所获得的高频高压由 G_{703} 、 G_{704} 两管并联作负高压半