

电 子 示 波 器

使 用 与 维 修

[苏联] B. A. 納瓦波利斯基著



国防工业出版社

电子示波器

使用与維修

[苏联] B. A. 納瓦波利斯基 著

黃錫泉 項楚騏 譯



國防工業出版社

1965

內 容 簡 介

本书討論了电子示波器的使用方法，列举了用示波器测量和調諧无綫电設備的步驟，給出了若干典型示波器发现故障和調整的一些指南，并指出了維護这些示波器的特点。

本书不仅适用于无綫电方面的专家，而且也适用于了解示波器基本原理并在工作中需要使用示波器的人員，包括工程师、科学工作者、部队維護人員和大学生。

ЭЛЕКТРОННЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

〔苏联〕В. А. Новопольский

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1962

电 子 示 波 器

使 用 与 維 修

黃錫泉 項楚騏 譯

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 6 $\frac{7}{8}$ 175 千字

1965 年 10 月第一版 1965 年 10 月第一次印刷 印数：0,001—3,640 册

統一书号：15034·984 定价：（科六）1.00 元

原 序

生产过程自动化和机械化的全面推广促使无线电技术的研究方法，特别是利用示波器进行研究的方法，推广到许多新领域内。

示波器是可以借助电子射线管来观察和拍摄电变化过程的仪器，在射线管中，把非常细窄的电子束当作“铅笔”，用来在特殊的射线管荧光屏上“描繪”图像。

第一次应用惯性很小的电子束来记录各种电过程的试验早在50多年前就已开始。从那时起，由于许多学者和发明家的顽强劳动，使测量技术得到了观察和研究持续时间很短的现象的有力新工具。

这种仪器有许多名称：视波器、同步示波器、示波器。大概用“视波器”的名称较为正确，因为使用时通常是限于用视觉来观察振荡波形，而不是用拍摄或其他的方法来记录它。但是实际上已经很习惯于“示波器”的名称，因此在本书中也采用它。

把机械的或其它非电的振荡变换成与其成比例的电压，往往是不很复杂的；那么示波器就可以用于研究绝大多数的物理过程。它广泛地应用到实验物理学、化学、生物学、医学、地质学、冶金学以及其他领域中。

现在，示波器是一种复杂的电子仪器，它不仅可以定性地估计所研究的现象，而且还能以很高的准确度定量地测定其特性。

为了正确地使用示波器，必须懂得无线电电子学原理，为了修理和调整示波器，也需要有经验和专门的仪器。但是，现在许多初次遇到示波器技术的人员，甚至不十分清楚其基本组成部分的作用原理和相互的联系，特别是不熟悉工业上所生产的最通用型号的示波器的修理和检查方法。

因此，本书一开始就试图简述示波器工作原理的实质，然后再讲述示波器的使用规则、检查和修理方法。线路的物理工作原理只是肤浅地讨论，这是因为假定读者已经熟悉了无线电技术的基本原理，并具有一些使用无线电设备的工作经验。

本书的范围仅限于叙述一些最广泛应用的单线性和双线性示波器的各个组成部分。

为了更清楚地介绍示波器各个组成部分内的物理过程，就把它们的线路绘成简化的及合并的形式，并把同性质的组成部分（例如，放大器、扫描发生器等）的叙述放在一起。

示波器的使用说明书总是附在示波器上，并应当作为主要的参考材料。因此，在所有的简化线路中均保留了说明书中线路所采用的零件符号，而在讲述示波器的使用及其调整时，曾提到了某些必需的零件编号，但在书中引用的简化线路上没有表示出来。

本书还讨论了现代各国的示波器，从仪器的性能和技术上的可能性的观点看来，它们的某些组成部分是值得注意的。

书末列出了文献目录，读者借助这些文献可以更详尽地研究示波器技术的个别问题。

在确定某些术语时，采用了关于示波器设备的苏联标准草案。在编写最常遇到的故障时，考虑了这些类型示波器的维护使用经验。

目 录

原序	3
第一章 电子示波器的基本組成部分	7
1-1 示波器的方框图	7
1-2 一般用示波器的基本特性	18
1-3 示波器的檢查及其使用前的准备	26
第二章 电子示波器的一些应用	40
2-1 周期电压和脉冲电压的測量	40
2-2 若干脉冲参量的測量	42
2-3 作为零点指示器的示波器	46
2-4 应用示波器調整低頻电路	47
2-5 調幅和調頻接收机的目視調整	54
2-6 借助示波器檢查和調整电视接收机	57
2-7 用示波器檢查和修理雷达設備	62
2-8 拍摄图像	65
第三章 电子示波器的檢查和修理	69
3-1 工作位置和檢測用的仪器	69
3-2 寻找故障的方法	72
3-3 輸入电路故障的排除和調整	76
3-4 垂直偏轉放大器故障的排除和調整	84
3-5 扫描发生器的檢查和調整	106
3-6 脉冲振蕩器的檢查和調整	139
3-7 幅度校准器的檢查和調整	144
3-8 脉冲寬度校准器的檢查和調整	149
3-9 聚焦和亮度的調节, 螢光屏上光点位置的控制	158
3-10 电源部分的調整	159
第四章 現代各国电子示波器的組成部分	169
4-1 垂直偏轉放大器	169

4-2 幅度校准器	186
4-3 扫描发生器	188
4-4 同步和触发电路	205
4-5 脉冲宽度校准器	206
4-6 同时观察几个电过程	207
附录 1 本书引用过的苏联无线电测量仪器 新旧型号对照表	215
附录 2 电子管的选择及更换电子管时所需的调整	215
参考文献	218

第一章

电子示波器的基本組成部分

1-1 示波器的方框图

最简单的电子示波器是由輸入裝置、射綫管、扫描发生器和电源部分組成的，它的作用原理可用图 1-1 說明。

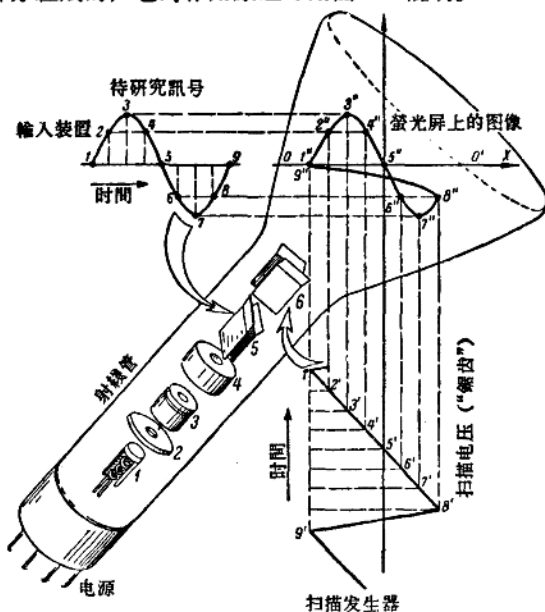


图1-1 示波器的工作原理图

射綫管的基本部分：1—旁热式阴极；2—控制电极（调制极）；
3—第一（聚焦）阳极；4—第二（加速）阳极；5—垂直偏轉板；6—水平偏轉板。

当沒有訊号时，电子射綫在特殊的振蕩器（扫描发生器）所产生的偏轉电压作用下，在螢光屏上自左向右描繪出一条亮的水平綫——扫描。随時間过程的扫描是沿着水平軸 OO' 进行的，因而水平軸也称为時間軸。

射綫較慢而又均匀地到达右端点后，就迅速地 向左 回到起点，并繼續重复这个过程。在射綫返回左边起点的時間內观察不到图像，因而就失掉了对应于这段时间的訊号部分。为了使这个部分尽可能小，扫描电压就应当慢慢地上升到終了值而迅速地下降到起始值，即应当具有所謂鋸齿状波形。

在个别情况下，过程可以看成为不是時間的函数而是另一过程（例如正弦电压）的函数，則后者可作为扫描电压。

当示波器輸入端加上訊号时，射綫在扫描电压作用下自左向右綫性地移动时，还受到訊号电压的作用，并在此作用下沿垂直方向移动。这样，射綫就描繪出表示电压随時間变化的波形图。

扫描电压加在一对水平偏轉板或 X 軸（時間軸）偏轉板上，而訊号电压加在一对垂直偏轉板或 Y 軸（現象軸）偏轉板上。

某些示波器具有亮度調制电路。置于这些电路中的放大器称为 Z 軸放大器。

由于示波器完成了一系列的复杂过程，結果在射綫管的螢光屏上就产生了加在輸入端的待研究訊号的图像。

現代示波器比所列举的基本电路图要复杂得多，为了分析它的工作原理，作为一个例子，讓我們来討論一下广泛应用的 $C1-5$ ($CM-1$) 型示波器的方框图（图 1-2）。

示波器的基本部分是：包括控制射綫机构的射綫管；待研究电压的（垂直偏轉的）放大器；包括增輝电路和同步电路的扫描发生器；电源部分。

此外，示波器还具有許多便于进行测量的裝置：水平偏轉放大器；輸入电压分压器；电压和時間校准裝置；刻度盘；可取出的探头——为了无失真地接入待研究訊号用的探針；供高频調幅

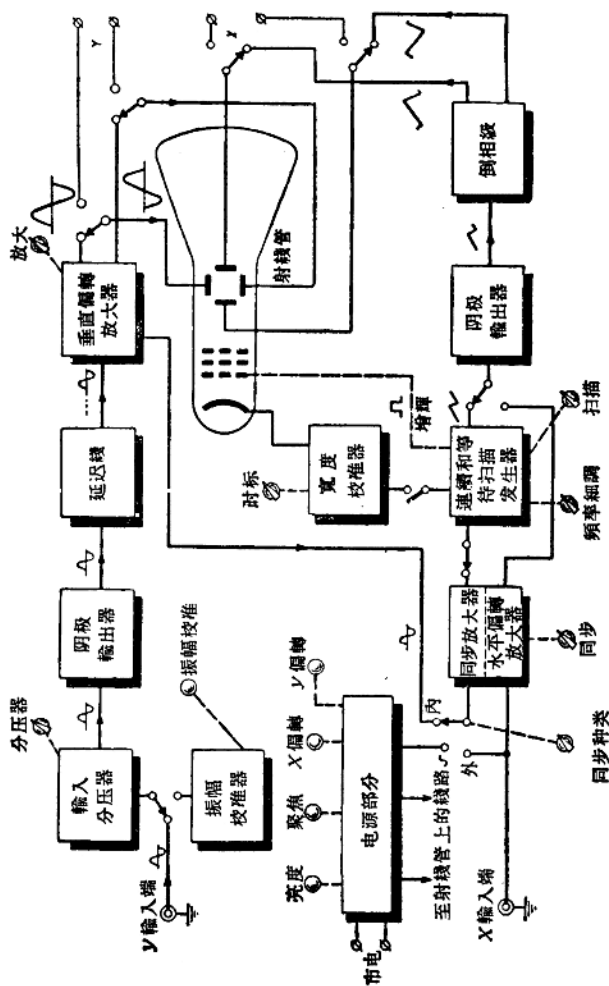


图1-2 C1-5 型示波器的方框图

电压檢波用的可取出的檢波头；供同时研究二个或更多的电压用的电子开关；触发扫描和供給延迟脉冲（触发被研究电路用的）的脉冲发生器；專門的延迟綫路等等。

电子射綫管

我們所討論的許多类型示波器，仅仅采用靜电射綫偏轉和聚焦的射綫管。磁偏轉射綫的射綫管在示波器中很少采用，因此，这里就不加討論。

射綫管的基本部分示于图 1-1 和 1-3。电子枪是由灯絲和发射电子的氧化物阴极构成的●。阴极的发射表面是一个直径很小的圆盘，以便得到很細的电子束。

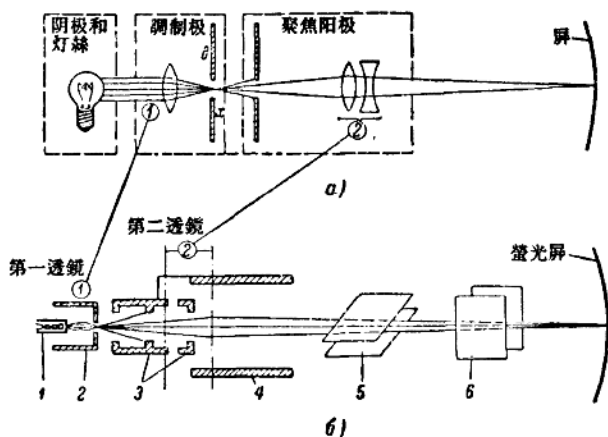


图1-3 电子射綫电聚焦的光学比拟

阴极被放在所謂控制极或調制极的圓筒 2 內。利用加在控制极上的负电位可以調节电子流的大小，因而可以改变萤光屏上的射綫亮度。控制极（調制极）除了控制射綫中的电子数量外，还起着光学透鏡的作用，使电子集聚成細束（图 1-3 a）。可是这

● 通常电子枪是认为由阴极、調制极、第一阳极和第二阳极构成的，因此原书的說法不很恰当——譯者注。

还不够，因为射线的聚焦是发生在调制极附近，而超出这个范围以后，射线又重新散开。因此就需要用聚焦阳极或第一阳极 3 来完成附加聚焦。

为了减小亮度调节和聚焦的相互影响，已经拟制出第一阳极电流为零的电子枪结构。在这种结构中，调制极和第一阳极之间放置了具有二个横隔膜片的圆筒形附加电极。此时第一阳极为具有大中心圆孔的短圆筒（为了简化起见，在图 1-36 上把这二个电极都统一用字母 3 表示）。在加速电极上所加的电压和第二阳极一样，电子就不会落到第一阳极上，它的电流也就等于零。因此，亮度调节和聚焦调节变成无关了。

第二阳极 4 供加速电子流用的。集聚的电子束以阴极和第二阳极间的电位差所确定的速度进入二组偏转板之间，它在这里将受到静电场偏转作用。

在保持电子高速的条件下，为了提高射线管灵敏度，采用了具有后加速的射线管，它在偏转板之后置有第三阳极。

在射线管中，飞越的电子流和存在的静电场之间的相互作用是非常复杂的。因为许多文献已经讨论过这些问题，所以在这里就不再研究这种相互作用的机构，而只是指出，射线管中的射线聚焦在许多方面和透镜系统的光线聚焦（图 1-3a）相似。透镜 1 把从灯泡发出的光线聚集在 x 点上，透镜系统 2 把这点的图像聚焦在屏上。电子射线也是相似地被聚焦在射线管的荧光屏上。

改变膜片 σ 内的孔径可以调节落到屏上（图 1-3a）的光通量。同样，改变在负电压作用下的调制极内的有效孔径，也可以改变电子束电流以及它在荧光屏上的亮度。沿轴移动系统 2 中的透镜，使光点的图像聚焦在屏上，这和调节二个阳极间的静电场强度来聚焦电子射线是一样的。

二对偏转板的电场使已聚焦的射线偏离其中心位置。因为电子射线本身具有负电荷，所以就被吸向带正电荷的偏转板。移近的（或射线偏离中心路迹的）大小取决于电子运动的速度和加到

偏轉板上的电压值。因为二对偏轉板是互相垂直地放置，所以，在偏轉电压作用下，射綫所产生的光点就会描繪出用直角座标表示的被测变量的軌迹。

决定射綫管使用范围的基本特性是：偏轉灵敏度、工作电压范围、螢光屏的光学性质、发光的持續時間和余輝的顏色、最大的描述速度、射綫管的高頻特性、偏轉板的电阻和电容、螢光屏的幅面和射綫管的尺寸。

偏轉灵敏度——光点在射綫管螢光屏上的位移与偏轉电压大小的比值（通常是用每伏^{有效值}毫米表示，并且只是由射綫管的几何尺寸和它的工作电压来确定）。由于射綫管結構特点，其中一对偏轉板（X軸偏轉板）靠近螢光屏，所以这对偏轉板的灵敏度通常要比紧靠在第二阳极的另一对偏轉板（Y軸偏轉板）的灵敏度低些。例如，对于射綫管 13ЛЮ36（ЭНО-1 型示波器中用的），它們相差 18%；对于射綫管 18ЛЮ47（在 OK-17M 型示波器中用的），它們相差 12%。

射綫管各电极上的电压取自位于高压整流器后面的分压器。对于絕大多数的射綫管來說，加在第二阳极上的电压比阴极高 800~3000 伏，而加在第一（聚焦）阳极的电压則为上述电压的 20%~50%。使射綫管截止的电压比阴极低 30~90 伏，而且截止电压的数值随着靠近調制极的电极上的电压升高而增大。灯絲电压数值和額定值有偏差时，会剧烈地縮短射綫管的寿命。射綫管阴极通常对地处于很高的負电位（參看 § 6）。

为了直接观察周期性过程，使之接近人們眼睛感觉最灵敏的范围，采用具有綠色螢光屏以及具有中等余輝時間（ 10^{-2} ~ 10^{-1} 秒，如射綫管 13ЛЮ37，7ЛЮ55 等等）的射綫管。观察慢变化过程需要长余輝（ 10^{-1} 到 16 秒）的螢光屏（13ЛЮ36）。这种螢光屏发出的光通常为淺藍色。为了便于视觉观察，还采用黃色的滤光器。螢光屏发光的强度取决于它的激励程度。因此，为了拍摄記錄快速的单次过程，采用了高压射綫管，它具有較大亮度的光点，它的

螢光屏是发藍光的。

最大記錄速度是一个重要的特性，最大記錄速度的定义是指还能够被記錄在胶片上的光点移动的最快速度。記錄速度取决于亮度、图像縮小的程度、物鏡的直徑与焦距比、胶片的感光灵敏度、螢光屏上光点的直徑和射綫管的工作状态等等。阳极电压提高到5倍、記錄速度提高到25~30倍。因此，例如，在OK-21型示波器中，記錄速度达2500公里/秒，这个射綫管的阳极电压远超过具有記錄速度为1000公里/秒的OK-25型示波器的射綫管阳极电压。关于記錄速度的詳細内容参看§2-8。

为了减小幅度足够大的高频訊号失真，把这些訊号直接加到射綫管的偏轉板上，外面的专用接綫柱和偏轉板连接。每对偏轉板是一个电容器，随着結構不同，它的容量可以达到12~15微微法。因此，当輸入訊号频率提高到几十、几百兆赫时，偏轉板輸入电容开始起作用，使訊号波形失真，并使灵敏度减小。当进一步提高频率时，由于电子通过偏轉板的渡越時間的影响，使偏轉灵敏度更加减小。若是被观察的周期訊号的周期可与电子穿过偏轉板的渡越時間相比拟时，那么离开电場的射綫将得不到任何偏轉，这是因为射綫在前半周期内受到偏轉，而在后半周期内又回到起始位置（图1-4），即偏轉灵敏度开始等于零。

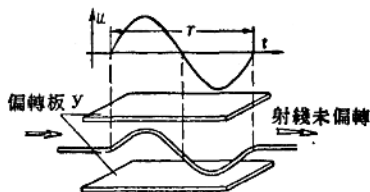


图1-4 被观察振荡的周期和电子横过偏轉板的渡越時間相等时，射綫在偏轉板間通过的情况

螢光屏和射綫管的尺寸有关，对于大多数射綫管來說，它大約为射綫管长度的 $\frac{1}{2.5}$ 到 $\frac{1}{4}$ 。实际上，射綫管13JIO37螢光屏的有效面积約为 8×10 厘米的矩形，射綫管7JIO55的螢光屏的有效面积为 3×5 厘米等等。射綫管符号的第一个数字是代表它的直徑的厘米数（5, 7, 8, 10, 13, 18等等）。字母J表示靜电偏

轉的示波管。字母O表示靜電聚焦的。下一個數字和製造的編號有關，而最後面的字母是表示螢光屏發光的顏色、余輝時間和螢光屏的構造。例如：A表示細粒螢光質，單層的，發藍光和短余輝的；H表示同樣是細粒單層螢光質，而是發綠光和中等余輝的。

射線管中有着一系列的失真：像散現象——這是由於兩個相互垂直的軸線上的聚焦質量不同所引起的；射線偏轉時的散焦與梯形失真；一對偏轉板對另一對的影響和感應等等。

為了減小這些失真，可採用各種不同方法：正確選擇每對偏轉板的平均電位，使用推挽偏轉電路，精細的安裝和屏蔽。

待研究電壓的放大器

待研究電壓放大器（或垂直偏轉放大器）是示波器最重要的組成部分之一，它基本上決定了示波器的應用範圍。

因為示波器的主要用途是得到極準確地重現出輸入端上的訊號波形的圖象，所以垂直偏轉放大器（或Y軸放大器）不應當引入頻率、相位和幅度的失真，並且應當有足夠的放大系數。圖1-5以誇張的方式表示出各種失真對正弦訊號的作用。當訊號的某一頻率分量比其他某些頻率分量被放大得較小時，就會出現頻率失真。由於放大級間耦合電路有相位移，一般來說就會出現

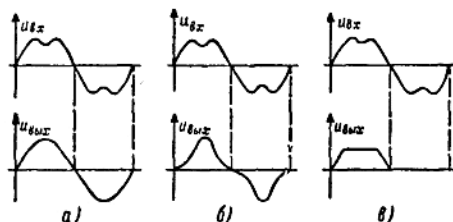


圖1-5 放大器失真對於由基波和三次諧波組成的訊號波形的影響

- a—在頻率失真時，只放大基波而沒有三次諧波；
 б—在相位失真時，三次諧波的相位相對於基波的相位有移動；
 в—在幅度失真時，訊號使電子管板極電流在截止到飽和範圍內變化。



相位失真。而由于放大器电子

非线性部分

(例如过载时)，就会出现幅度失真。

为了加宽被放大电压的频带而使其失真最小，在电阻放大器中采用补偿电路。在更复杂的现代示波器中装有分布式放大器，而为了能研究慢变化的信号，采用直流放大器。

在垂直偏转放大器中，除了放大外，还要使通过的信号延迟一段为启动扫描发生器所必需的时间，以便使得射线沿水平方向开始移动，稍早于被放大的信号到达电子射线管的垂直偏转板。为了避免放大器电子管过载，通常在输入端装有频率补偿分压器。

通常把放大器输出级接成对称的（推挽的）线路，因此加到其中一个偏转板的信号相对于加到另一个偏转板的信号移动了 180° 的相位。这样，其中一个偏转板的电压吸引电子射线，而另一个偏转板的电压向同一方向排斥它，因而增加了射线在信号作用下的偏转。

扫描发生器

使射线沿荧光屏移动的扫描电压应当直线地增长（图 1-6）。这时，扫描可以用来测量时间。当已知射线通过荧光屏或通过荧光屏直径方向上的 1 厘米长度的时间时，就可以用测量二点间的距离来确定脉冲的宽度。某些示波器具有已校准的扫描，它可以

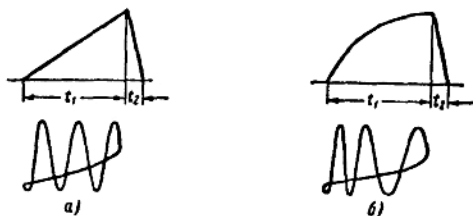


图 1-6 由于非线性扫描所引起的正弦信号的失真

a —线性扫描； b —非线性扫描； t_1 —扫描正行程时间；

t_2 —回程时间。在一定的扫描线路，对于任一扫描频率来说，实际上 t_2 是保持不变的。

直接根据装在射线管荧光屏上的刻度尺测量脉冲宽度。扫描速度通常用每厘米微秒、每厘米毫秒或每厘米秒表示。

由图 1-1 看出，从点 8 到点 1 这段时间是用来使射线回到起始位置的，即所谓的回程时间，因此有部分信号就观察不到。在回程时间内，通常在电子射线管的控制电极或阴极加上一个闭锁脉冲，使射线熄灭。

在绝大多数的示波器中，扫描电压是由扫描发生器产生的，它的作用原理是基于电容经电阻的充放电。

通常采用的有充气扫描发生器、各种多谐振荡器的变体[●]电压的变化高度直线性的幻像延迟电路等等。

为了研究非周期性的过程，采用了“等待”扫描，即振荡器工作在这样的状态，它不能独立地产生扫描电压，而只有在待研究脉冲或某一外部脉冲来到后才产生一个锯齿形脉冲，然后等待下一次触发。有时还采用单独的脉冲发生器来触发扫描和供给触发待研究电路用的延迟脉冲。

为了在回程时间内熄灭射线管的射线，把取自扫描发生器线路的负脉冲加到射线管的调制极，或者把正脉冲加到射线管的阴极。

同步

电子射线管荧光屏上的图象应当是不动的。这就是说，在观察周期的过程（例如正弦振荡）时，锯齿形扫描电压的起点应当固定地到达输入信号周期的同一点上。这也就是说，锯齿形电压的频率和输入信号的频率间的关系应当总是不变的。

可惜大多数扫描发生器线路的稳定度都不高，而且它的电压富有谐波分量。扫描频率稍微变化就会造成扫描起点重合到待研究振荡周期的不同点上，因此，图像开始沿荧光屏上的时间轴移动，并且此移动速度将取决于二频率之差（图 1-7）。为了避免这

● 例如巴克勒 (Puckle) 电路——译者注。