

周期为

$$T=4\text{div} \times 0.1\text{ms/div}=0.4\text{ms}$$

交流信号的频率为

$$f=1/T=1/0.4\text{ms}=25\,000\text{Hz}=2.5\text{kHz}$$

tyw藏书

#### 4. 含直流成分的交流信号的测量

示波器可以测量含直流成分的交流信号，包括直流成分的大小、交流成分的大小和交流信号的某点瞬时值。含直流成分的交流信号的测量过程如图22-18所示。

含直流成分的交流信号的测量过程如下。

第1~4步：将输入耦合方式开关置于“⊥”，将触发极性选择开关置于“+”，将触发信号源选择开关置于“内”，再将触发电平旋钮旋到“AUTO”（自动）位置，这时屏幕上会出现水平一条扫描线。

第7步：旋转垂直移位旋钮，将屏幕上的水平扫描线移到合适的位置，作零基准线

第5步：旋转 V/div 开关选择合适的挡位，图中选择 0.2V/div 挡，并将微调旋钮顺时针旋到底

第1步：将输入耦合方式开关置于“⊥”

(a) 设置

第4步：将触发电平旋钮旋到“**AUTO**”（自动）位置

第6步：旋转 t/div 开关选择合适的挡位，图中选择 0.1ms/div 挡，并将微调旋钮顺时针旋到底

第2步：将触发极性选择开关置于“+”

第3步：将触发信号源选择开关置于“内”

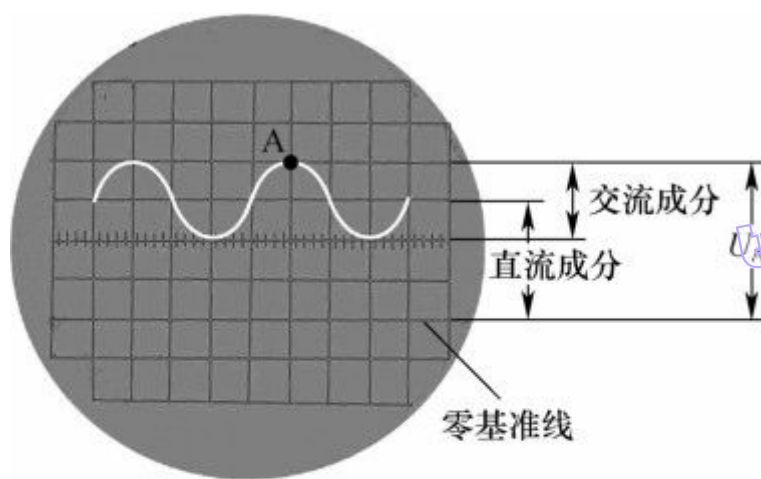
第9步：将10:1的探极连接被测电路

第8步：将输入耦合方式开关切换到“**DC**”位置

(b) 测量

第10步：观察屏幕上被测信号的波形，再按图22-18(c)计算直流分量、交流分量和某点瞬时值

图22-18 含直流成分的交流信号的测量过程



$$U_{\text{直}} = 3\text{div} \times 0.2\text{V/div} \times 10 = 6\text{V}$$

$$U_{\text{交}} = 2\text{div} \times 0.2\text{V/div} \times 10 = 4\text{V}$$

$$U_A = 4\text{div} \times 0.2\text{V/div} \times 10 = 8\text{V}$$

(c) 计算

图22-18 含直流成分的交流信号的测量过程（续）

第5步：估计被测信号的电压值，通过 V/div 开关来选择合适的垂直灵敏度挡位，并将 V/div 开关上面的微调旋钮顺时针旋到底。

第6步：估计被测信号的频率，通过 t/div 开关选择合适的水平扫描速率挡位，并将 t/div 开关上面的微调旋钮顺时针旋到底。

第7步：调节垂直移位旋钮，将水平扫描线移到合适的位置作为零基准线（0V）。

第8步：将输入耦合方式开关切换到“DC”位置。

第9步：将10：1的探极连接被测电路。

第10步：观察屏幕上被测信号的波形并根据屏幕上的波形计算各项值。如果屏幕上的信号不稳定，可调节触发电平旋钮使图形稳定。下面计算信号的直、交流分量和交流某点瞬时值。

#### （1）直流分量的计算

在图22-18中，直流分量的电平与零基准电平距离为3div， V/div 开关挡位为0.2V/div，探极衰减为10：1，那么直流分量的电压大小

$$U_{\text{直}} = 3\text{div} \times 0.2\text{V/div} \times 10 = 6\text{V}$$

#### （2）交流分量的计算

在图22-18中，交流分量的正峰与负峰距离为2div， V/div 开关挡位为0.2V/div，探极衰减为10：1，那么交流分量的峰峰值为

$$U_{\text{交}} = 2\text{div} \times 0.2\text{V/div} \times 10 = 4\text{V}$$

#### （3）交流信号A点瞬时值的计算

在图22-18中，交流信号A点与零基准电平距离为4div， V/div 开关挡位为0.2V/div，探极衰减为10：1，那么交流信号A点瞬时值为

$$U_A = 4\text{div} \times 0.2\text{V/div} \times 10 = 8\text{V}$$

# 22.3 双踪示波器

在实际测量过程中，常常需要同时观察两个（或两个以上）频率相同的信号，以方便比较分析，这就要用到双踪（或多踪）示波器。多踪示波器和双踪示波器的原理基本相同，而双踪示波器的应用更广泛，所以本节主要讲双踪示波器的原理与使用方法。

## 22.3.1 工作原理

双踪示波器主要有两种：一种是采用双束示波管的示波器，另一种是采用单束示波管的示波器。

双束示波管的双踪示波器采用一种双束示波管，如图22-19所示，内部有两个电子枪和偏转板，它们相互独立，但共用一个荧光屏，在测量时只要将两个信号送到各自的偏转板，两个电子枪发射出来的电子束就在荧光屏不同的位置分别扫出两个信号波形。

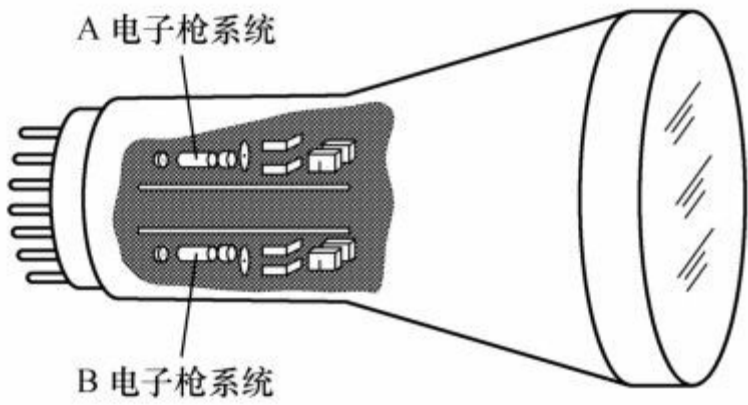


图22-19 双束示波管结构

单束示波管的双踪示波器采用与单踪示波器一样的示波管，由于这种示波管只有一个电子枪，为了在荧光屏上同时显示两个信号波形，需要通过转换的方式来实现。

双束示波管的双踪示波器由于采用了成本高的双束示波管，并且需要相应两套偏转电路和Y通道，所以测量时具有干扰少、各信号的调节方便、波形显示清晰明亮和测量误差小的优点，但因为它的价格贵、功耗大，所以普及率远远不如单束示波管的双踪示波器。这里主要介绍广泛应用的单束示波管的双踪示波器。

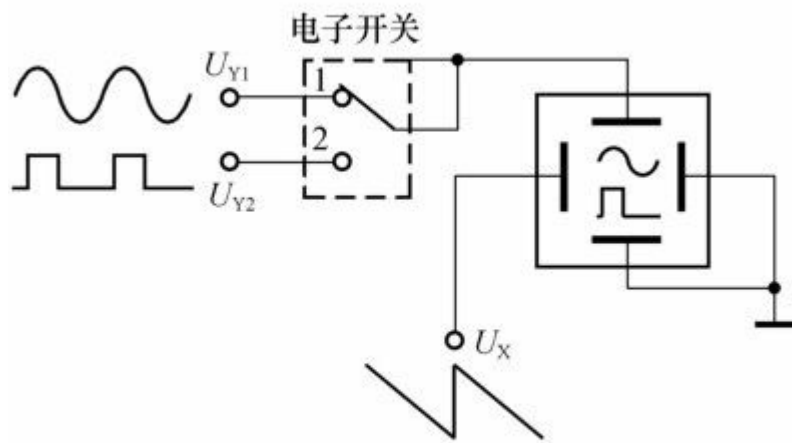
### 1. 多波形显示原理

单束示波管只有一个电子枪，要实现在一个屏幕上显示两个波形，可以采用两种扫描方式：一种是交替转换扫描，另一种是断续转换扫描。

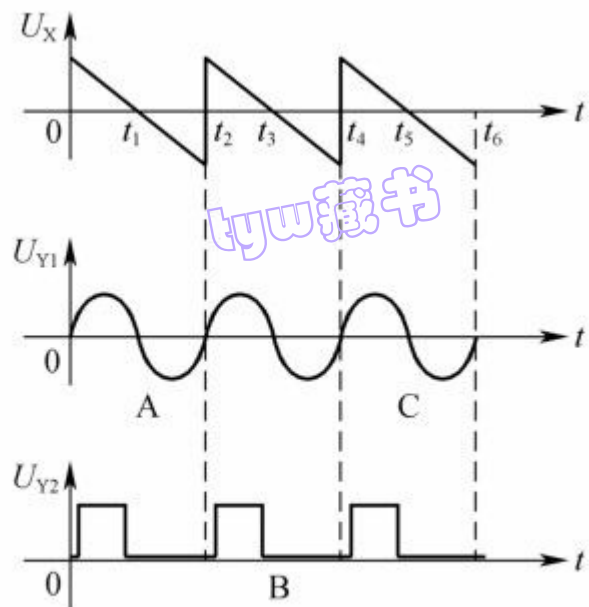
#### （1）交替转换扫描

交替转换扫描是在扫描信号（锯齿波电压）的一个周期内扫出一个通道的被测信号，而在下一个周期内扫出另一个通道的被测信号。下面以图22-20所示的示意图来说明交替转换扫描原理。





(a) 交替转换扫描原理图



(b) 波形图

图22-20 交替转换扫描原理

当 $0 \sim t_2$ 期间的锯齿波电压送到X轴偏转板时，电子开关置于“1”， $Y_1$ 通道的信号 $U_{Y1}$ 的A段经开关送到Y轴偏转板，在屏幕上扫出信号 $U_{Y1}$ 的A段。

当 $t_2 \sim t_4$ 期间的锯齿波电压送到X轴偏转板时，电子开关切换到“2”， $Y_2$ 通道的信号 $U_{Y2}$ 的B段经开关送到Y轴偏转板，在屏幕上扫出信号 $U_{Y2}$ 的B段。

当 $t_4 \sim t_6$ 期间的锯齿波电压送到X轴偏转板时，电子开关又切换到“1”， $Y_1$ 通道的信号 $U_{Y1}$ 的C段经开关送到Y轴偏转板，在屏幕上扫出信号 $U_{Y1}$ 的C段。

如此反复，信号 $U_{Y1}$ 和 $U_{Y2}$ 的波形在屏幕上被依次扫出，两个信号会先后显示出来，但由于荧光粉的余辉效应，信号 $U_{Y2}$ 波形扫出后信号 $U_{Y1}$ 波形还在显示，故在屏幕上能同时看见两个通道的信号波形。

为了让屏幕上能同时稳定显示两个信号的波形，要满足以下几点。

① 要让两个信号能在屏幕不同的位置显示，要求两个通道的信号中的直流成分不同。

② 要让两个信号能同时在屏幕上显示，要求电子开关切换频率不能低于人眼视觉暂留时间（约 $0.04s$ ），否则将会看到两个信号先后在屏幕上显示出来。所以这种方式不能测频率很低的信号。

③ 为了保证两个信号都能同步，要求两个被测信号频率是锯齿波信号的整数倍。

由于交替转换扫描不是将两个信号完整扫出来，而是间隔选取每个信号的一部分进行扫描显示，对于周期性信号因为每个周期是相同的，这种方式是可行的，但对于非周期性信号，每个周期的波形可能不同，这样间隔会漏掉一部分信号。

交替转换扫描不适合测量频率过低的信号和非周期信号。

## (2) 断续转换扫描

交替转换扫描不适合测量频率过低的信号和非周期信号，而采用断续转换扫描方式可

以测这些信号。

断续转换扫描是先扫出一个通道信号的一部分（远小于一个周期），再扫出另一个通道信号的一部分，接着又扫出第1个通道信号的一部分，结果会在屏幕上扫出两个通道的断续信号波形。下面以图22-21所示的示意图为例来说明断续转换扫描原理。

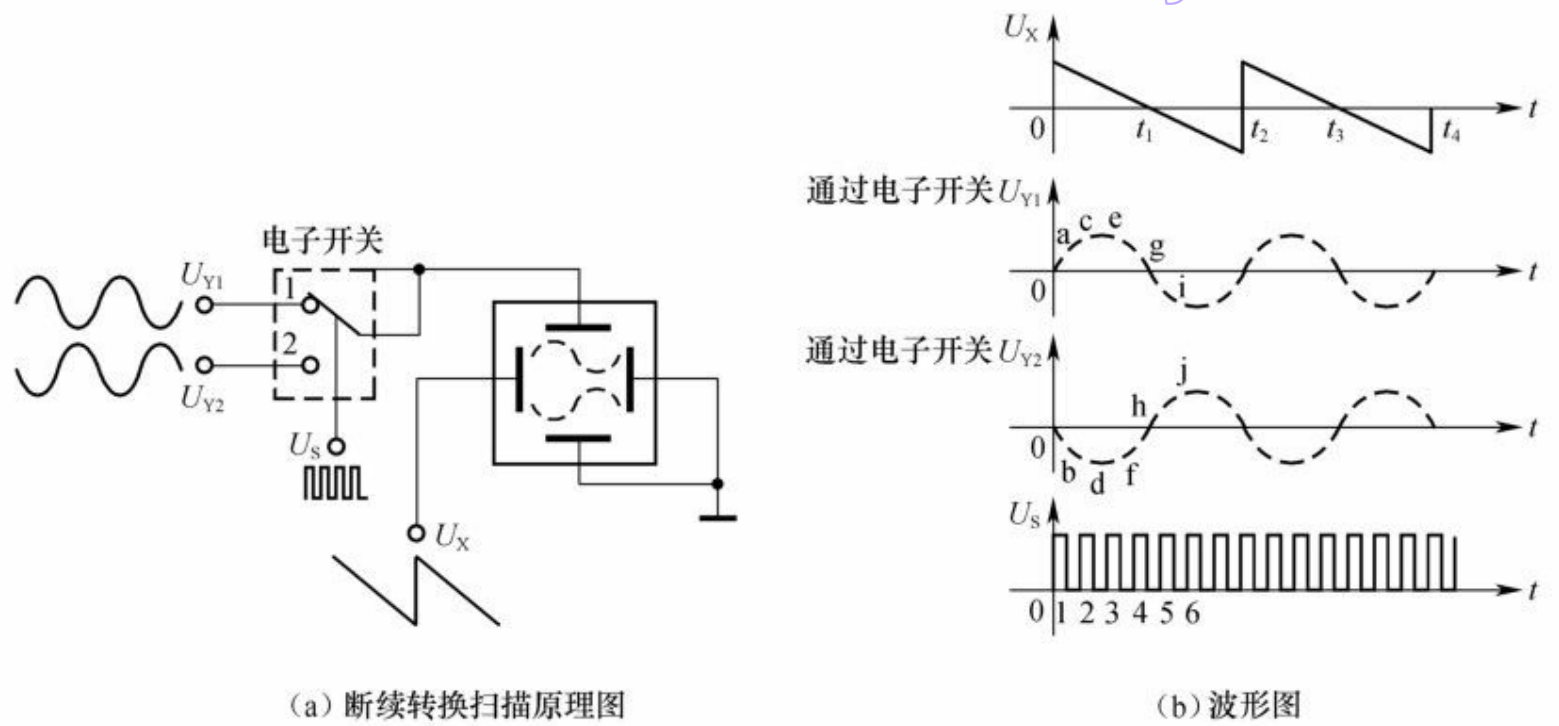


图22-21 断续转换扫描原理

在图22-21（a）中，电子开关受信号 $U_S$ 的控制，当高电平来时，开关接“1”；低电平来时，开关接“2”。

当信号 $U_S$ 的第1个脉冲来时，开关S置于“1”，信号 $U_{Y1}$ 的a段到来，它通过开关加到Y轴偏转板，在屏幕上扫出信号 $U_{Y1}$ 的a段。

当信号 $U_S$ 的第2个脉冲来时，开关S置于“2”，信号 $U_{Y2}$ 的b段到来，它通过开关加到Y轴偏转板，在屏幕上扫出信号 $U_{Y2}$ 的b段。

当信号 $U_S$ 的第3个脉冲来时，开关S置于“1”，信号 $U_{Y1}$ 的c段到来，它通过开关加到Y轴偏转板，在屏幕上扫出信号 $U_{Y1}$ 的c段。

当信号 $U_S$ 的第4个脉冲来时，开关S置于“2”，信号 $U_{Y2}$ 的d段到来，它通过开关加到Y轴偏转板，在屏幕上扫出信号 $U_{Y2}$ 的d段。

如此反复，信号  $U_{Y1}$  和  $U_{Y2}$  的波形在屏幕上被同时扫描显示出来，但由于两个信号不是连续而是断续扫描出来，所以屏幕上显示出来的两个信号的波形是断续的，如图22-21（b）所示。如果开关控制信号 $U_S$ 频率很高，那么扫描出来的信号相邻段间隔小，如果间隔足够小，眼睛难于区分出来，信号波形看起来就是连续的。

断续转换扫描的优点是在整个扫描正程内，两个信号都能同时被扫描显示出来，可以比较容易地测出低频和非周期信号，但由于是断续扫描，故显示出来的波形是断续的，测量时可能会漏掉瞬变的信号。另外，为了防止显示的波形断续间隙大，要求电子开关的切换频率远大于被测信号的频率。

2. 双踪示波器的组成

双踪示波器的组成框图如图22-22所示。

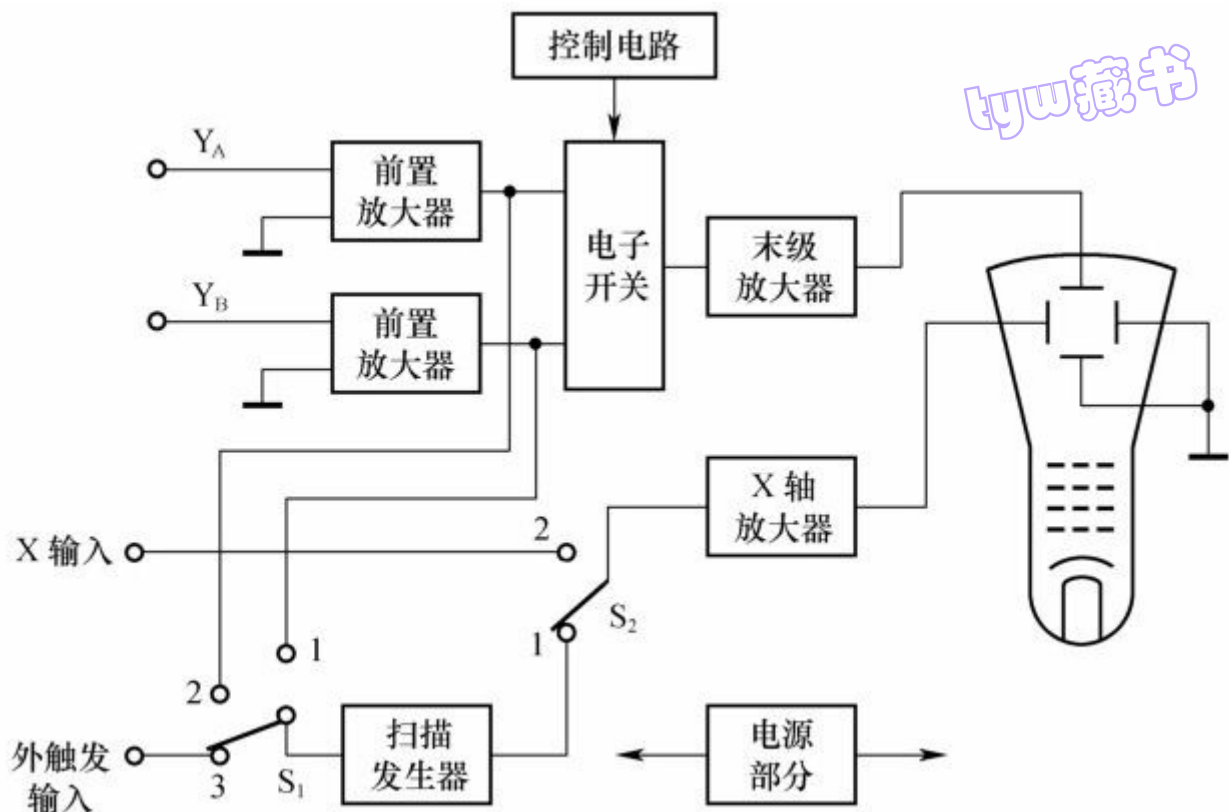


图22-22 双踪示波器组成框图

从图22-22中可以看出，与单踪示波器相比，双踪示波器主要多了一个Y通道和电子开关控制电路。双踪示波器的电子开关工作状态有交替、断续、“A”、“B”和“A+B”几种，下面来分别介绍。

(1) 交替状态

当示波器工作在交替状态时，在扫描信号的一个周期内，控制电路让电子开关将  $Y_A$  通道与末级放大器接通，在扫描信号的下一个周期来时，电子开关将  $Y_B$  通道与末级放大器接通。在这种状态下，屏幕上先后显示两个通道的被测信号，因为荧光粉的余辉效应，会在屏幕上同时看见两个信号波形。

(2) 断续状态

当示波器工作在断续状态时，在扫描信号的每个周期内，控制电路让电子开关反复将  $Y_A$ 、 $Y_B$  通道交替与末级放大器接通， $Y_A$ 、 $Y_B$  通道断续的被测信号经放大后送到 Y 轴偏转板。在这种状态下，屏幕上同时显示两个通道断续的被测信号。

(3) “A”状态

当示波器工作在“A”状态时，控制电路让电子开关将  $Y_A$  通道一直与末级放大器接通， $Y_A$  通道的被测信号经放大后送到Y轴偏转板。在这种状态下，屏幕上只显示 $Y_A$ 通道的被测信号。

(4) “B”状态

当示波器工作在“B”状态时，控制电路让电子开关将 $Y_B$ 通道一直与末级放大器接通，

$Y_B$ 通道的被测信号经放大后送到Y轴偏转板。在这种状态下，屏幕上只显示 $Y_B$ 通道的被测信号。

#### (5) “A+B”状态

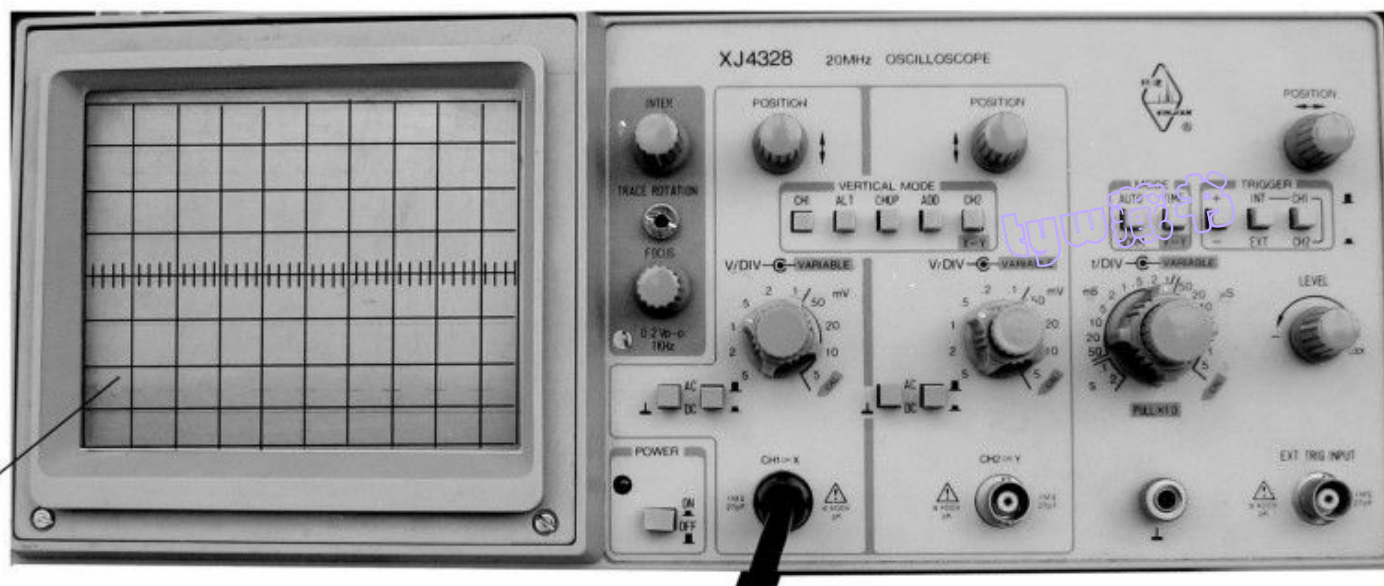
当示波器工作在“A+B”状态时，控制电路让电子开关同时将 $Y_A$ 、 $Y_B$ 通道与末级放大器接通， $Y_A$ 、 $Y_B$ 通道的两个被测信号经叠加再放大后送到Y轴偏转板。在这种状态下，屏幕上显示 $Y_A$ 、 $Y_B$ 通道的两个被测信号的叠加波形。

### 22.3.2 面板介绍

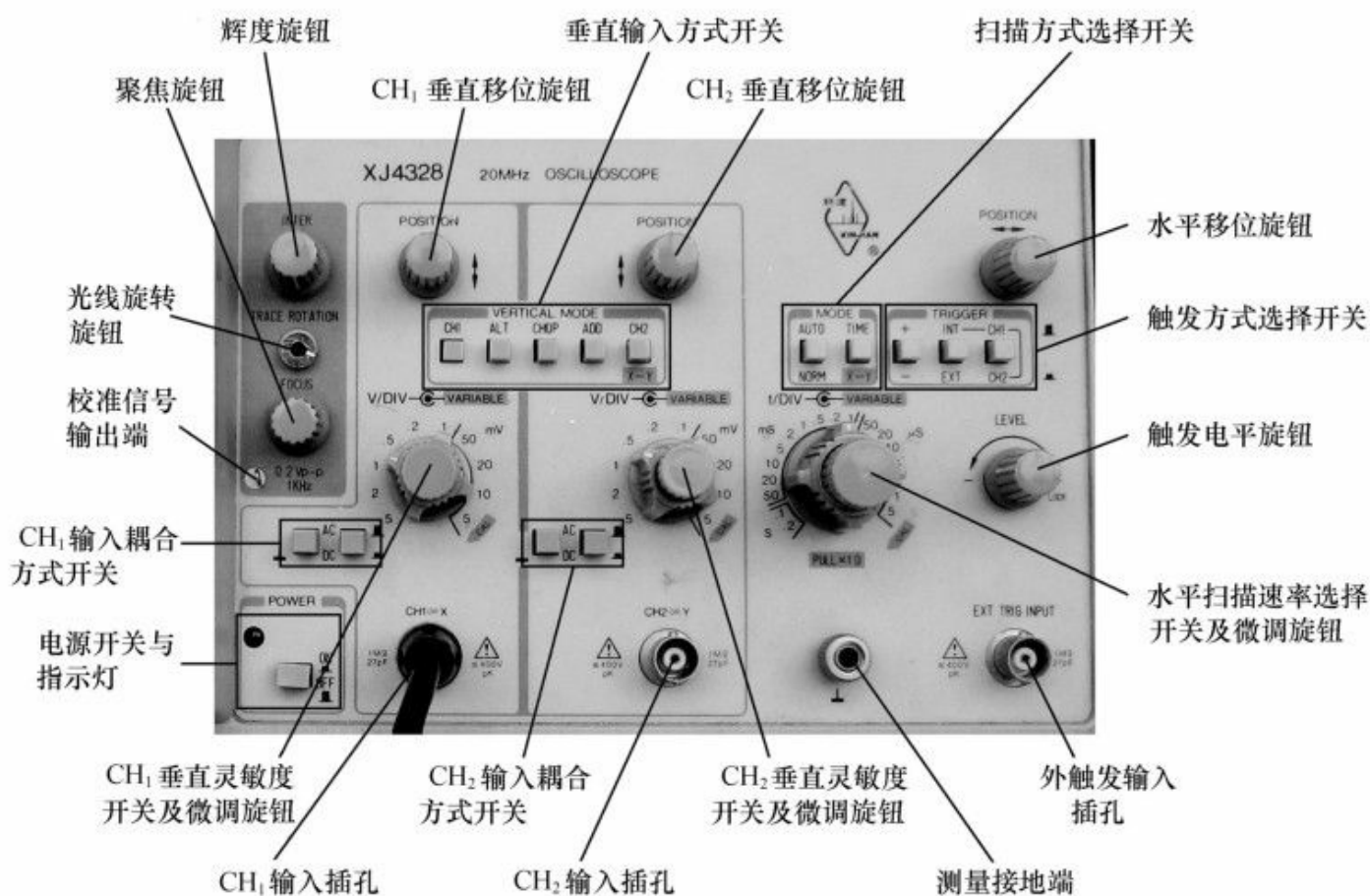
双踪示波器的种类很多，功能和使用方法基本相同，这里以XJ4328型双踪示波器为例来说明。XJ4328型双踪示波器的面板如图22-23所示。



显示屏



(a) 整体图



(b) 局部图

图22-23 XJ4328型双踪示波器的面板

## 1. 显示屏

显示屏是用来直观显示被测信号的。显示屏外形如图22-24所示，在显示屏上标有8行10列的坐标格，XJ4328型双踪示波器采用方形屏，在屏幕正中央有一个十字架状的坐标，坐标将每个坐标格从横、纵方向分成5等份。

## 2. 电源开关与指示灯

电源开关按下时为“ON”，接通仪器内部电源，电源开关旁边的指示灯发光。

## 3. 辉度旋钮

辉度旋钮又称亮度旋钮，它的作用是调节显示屏上光点或扫描线的明暗程度。

#### 4. 聚焦旋钮

聚焦旋钮的作用是调节显示屏上光点或扫描线的粗细，以便显示出来的信号看上去清晰明亮。

#### 5. 校准信号输出端

该端可以输出幅度为0.2V（峰峰值）、频率为1kHz的方波信号。该方波信号用作检验和校准示波器。

#### 6. CH<sub>1</sub>（图22-23中实物标识为CH1）垂直移位旋钮

CH<sub>1</sub>垂直移位旋钮的作用是调节屏幕上CH<sub>1</sub>通道光迹在垂直方向的位置。

#### 7. CH<sub>2</sub>（图22-23中实物标识为CH2）垂直移位旋钮

CH<sub>2</sub>垂直移位旋钮的作用是调节屏幕上CH<sub>2</sub>通道光迹在垂直方向的位置。

#### 8. 垂直输入方式开关

垂直输入方式开关的作用是控制电子开关来选择被测信号输入方式。垂直输入方式开关如图22-25所示，它可以选择5种方式。

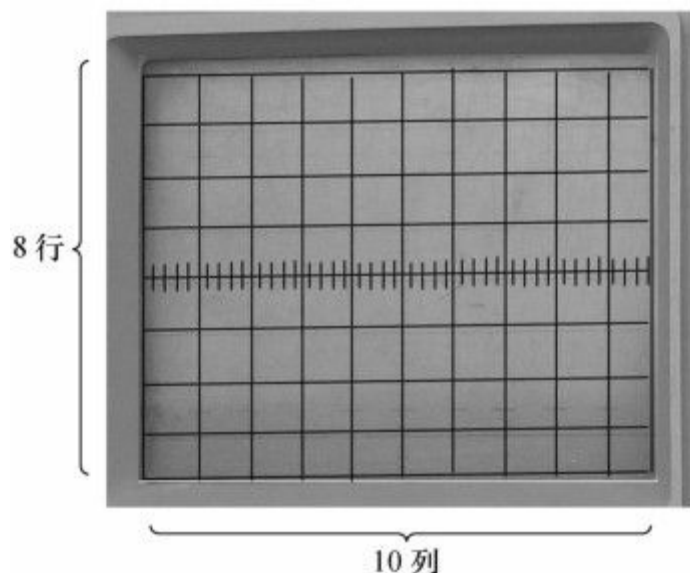


图22-24 显示屏

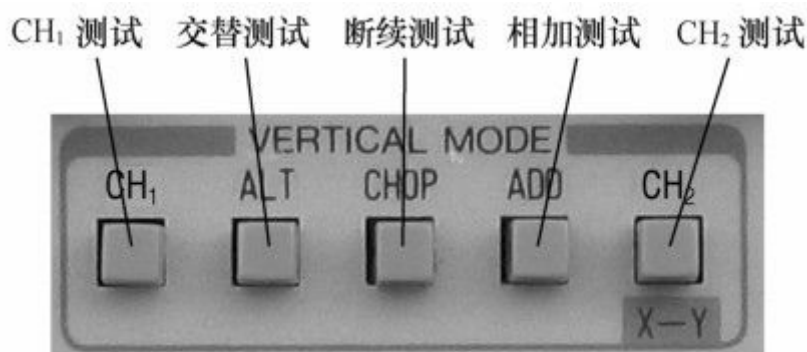


图22-25 垂直输入方式开关

CH<sub>1</sub>：单独显示CH<sub>1</sub>通道（相当于Y<sub>A</sub>通道）输入的信号。

CH<sub>2</sub>：单独显示CH<sub>2</sub>通道（相当于Y<sub>B</sub>通道）输入的信号。

ALT（交替）：以交替转换的形式显示CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道输入的信号，适合测频率较高的信号。

CHOP（断续）：以断续转换的形式显示CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道输入的信号，适合测频率较低的信号。

ADD（相加）：将CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道信号叠加后显示出来。

9. CH<sub>1</sub>垂直灵敏度开关及微调旋钮

CH<sub>1</sub>垂直灵敏度开关的作用是可以步进式调节屏幕上CH<sub>1</sub>通道信号波形的幅度。垂直灵敏度开关如图22-26所示，它按1-2-5分为10个挡位（5mV/DIV~5V/DIV）（注：为与原图一致，DIV未与前面统一大小写）。

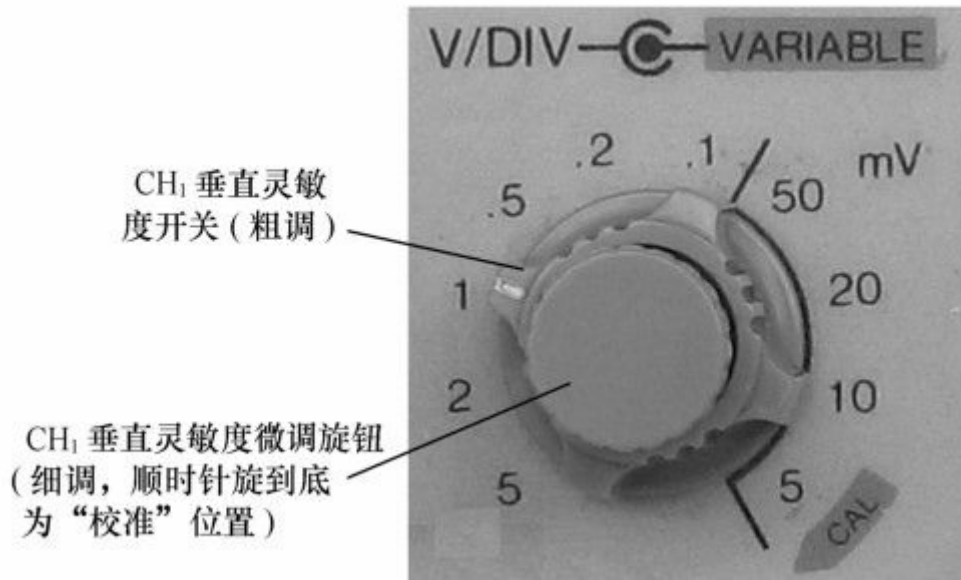


图22-26 垂直灵敏度开关及微调旋钮

垂直灵敏度微调旋钮位于垂直灵敏度开关上面，它的作用是连续调节屏幕上CH<sub>1</sub>通道信号波形的幅度。垂直灵敏度微调旋钮顺时针旋到底时为“校准”位置，在测量信号电压大小时要旋到此位置。

10. CH<sub>1</sub>输入耦合方式开关

CH<sub>1</sub>输入耦合方式开关的作用是选择CH<sub>1</sub>通道被测信号的输入方式。它有两个开关：左边一个为“接地”开关，按下将输入端接地；右边一个为“AC”、“DC”方式选择开关，按下选择“DC”，弹起选择“AC”。

11. CH<sub>1</sub>输入插孔

该插孔输入的信号进入CH<sub>1</sub>通道。

12. CH<sub>2</sub>垂直灵敏度开关及微调旋钮

CH<sub>2</sub>垂直灵敏度开关的作用是步进式调节屏幕上CH<sub>2</sub>通道信号波形的幅度。

垂直灵敏度微调旋钮的作用是连续调节屏幕上CH<sub>2</sub>通道信号波形的幅度。垂直灵敏度微调旋钮顺时针旋到底时为“校准”位置，在测量信号电压大小时要旋到此位置。

13. CH<sub>2</sub>输入耦合方式开关

CH<sub>2</sub>输入耦合方式开关的作用是选择CH<sub>2</sub>通道被测信号的输入方式。它有两个开关，能选择“接地”、“AC”、“DC”3种输入方式。

14. CH<sub>2</sub>输入插孔



该插孔输入的信号进入CH<sub>2</sub>通道。

### 15. 水平移位旋钮

水平移位旋钮的作用是调节屏幕上光迹在水平方向的位置，即调节它可以让光迹在屏幕的水平方向移动。

### 16. 扫描方式选择开关

扫描方式选择开关用于选择扫描工作方式。置于“自动”时，扫描电路处于自激状态（无信号控制状态）；置于“触发”时，扫描电路受触发信号控制；置于“X-Y”并让垂直输入方式开关所有按钮都弹起时，可以让示波器进行X-Y方式测量，有关X-Y方式测量后面会介绍。

### 17. 触发方式选择开关

触发方式选择开关用于选择触发方式，共有3个选择开关，可选择以下几种触发方式。

“+”：测量正脉冲前沿及负脉冲后沿宜用“+”。

“-”：测量负脉冲前沿及正脉冲后沿宜用“-”。

内（INT）：为内触发，触发信号取自CH<sub>1</sub>或CH<sub>2</sub>通道。当第3个开关处于弹起状态时，触发信号取自CH<sub>1</sub>通道的信号；当第3个开关被按下时，触发信号取自CH<sub>2</sub>通道的信号。

外（EXT）：为外触发，触发信号来自外触发输入插孔。

### 18. 水平扫描速率选择开关及微调旋钮

水平扫描速率选择开关简称 t/DIV 开关，它的作用是可以步进式调节屏幕上信号波形在水平方向的宽度。水平扫描速率选择开关如图22-27所示，它按1-2-5形式从0.5μs/DIV~0.2s/DIV分为18个挡位。

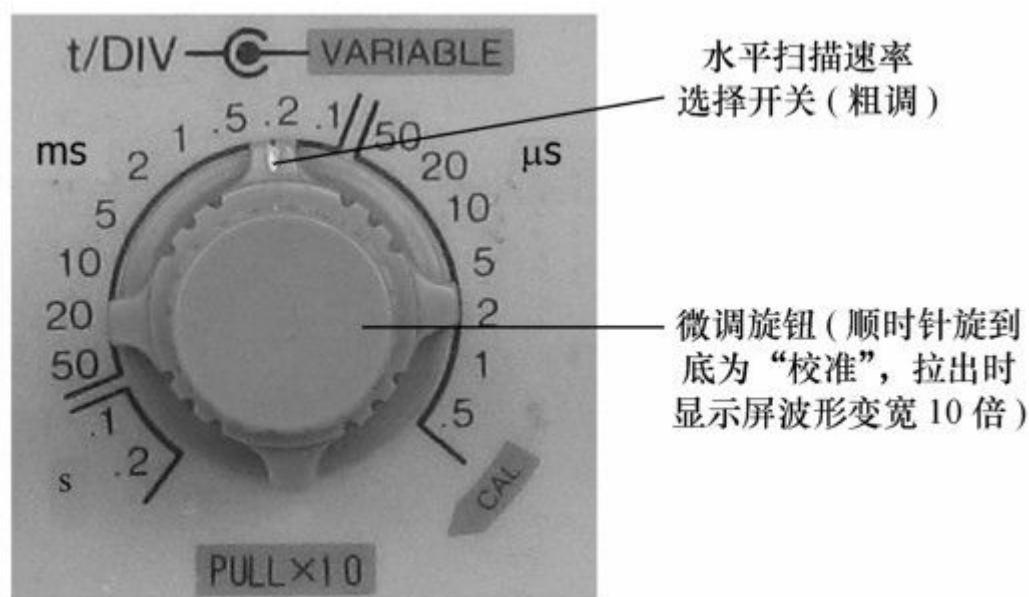


图22-27 水平扫描速率选择开关及微调旋钮

水平扫描速率微调旋钮位于水平扫描速率选择开关上面，如图22-27所示，其作用是连续调节屏幕上信号波形在水平方向的宽度，当它被拉出时，波形变宽10倍。水平扫描速



率微调旋钮顺时针旋到底时为“校准”位置，在测量信号周期时要旋到此位置。

19. 触发电平旋钮

触发电平旋钮的作用是调节触发信号波形上产生触发的电平值，顺时针旋转趋向于触发信号的正向部分，逆时针旋转趋向于触发信号的负向部分。当逆时针旋至“LOCK”（锁定）位置时，触发点将自动处于被测波形的中心电平附近。

20. 测量接地端

为了防止示波器外壳带电，可以在该处将仪器接地。

21. 外触发输入插孔

该插孔用于输入外触发信号。

22. 光线旋转旋钮

光线旋转旋钮的作用是调节扫描基线，让它与屏幕水平坐标平行。

22.3.3 使用方法

1. 使用前的准备工作

① 使用注意事项如下。

在使用前要将示波器后面板上的“220V/110V”电源切换开关拨到“220V”。

输入端不要输入过高的电压。

显示屏光迹辉度不要调得过亮。

② 在接通电源前，请将面板上有关开关、按钮置于表 22-1 所示的位置，并将 10：1 的探极一端插入CH<sub>1</sub>插孔。

表22-1 面板控制件的作用位置

面板控制件	作用位置	面板控制件	作用位置
垂直方式	CH <sub>1</sub>	扫描方式	自动
AC、┴、DC	AC 或 DC	触发源	CH <sub>1</sub>
V/DIV	50mV/DIV	极性	+
X、Y 微调	校准	t/DIV	1ms/DIV
X、Y 位移	居中		

③ 按下电源开关，指示灯亮，同时屏幕上出现水平一条扫描线。

④ 将探极测量端接到校准信号输出端，这时屏幕会出现方波信号，然后调节辉度和聚焦旋钮，使方波信号清晰明亮。

2. 信号波形的测量

双踪示波器有CH<sub>1</sub>和CH<sub>2</sub>两个垂直通道，在测量一个信号时可以利用任意一个通道，也可以用两个通道同时测量两个信号。

(1) 一个信号的测量

① 用CH<sub>1</sub>通道测量。用CH<sub>1</sub>通道测量信号如图22-28所示。

第1步：按下CH<sub>1</sub>键，选择CH<sub>1</sub>通道测量

第3步：使触发方式选择开关这3个键均处于弹起状态，这样触发选择为“CH<sub>1</sub>、IN (内)、+(正)”

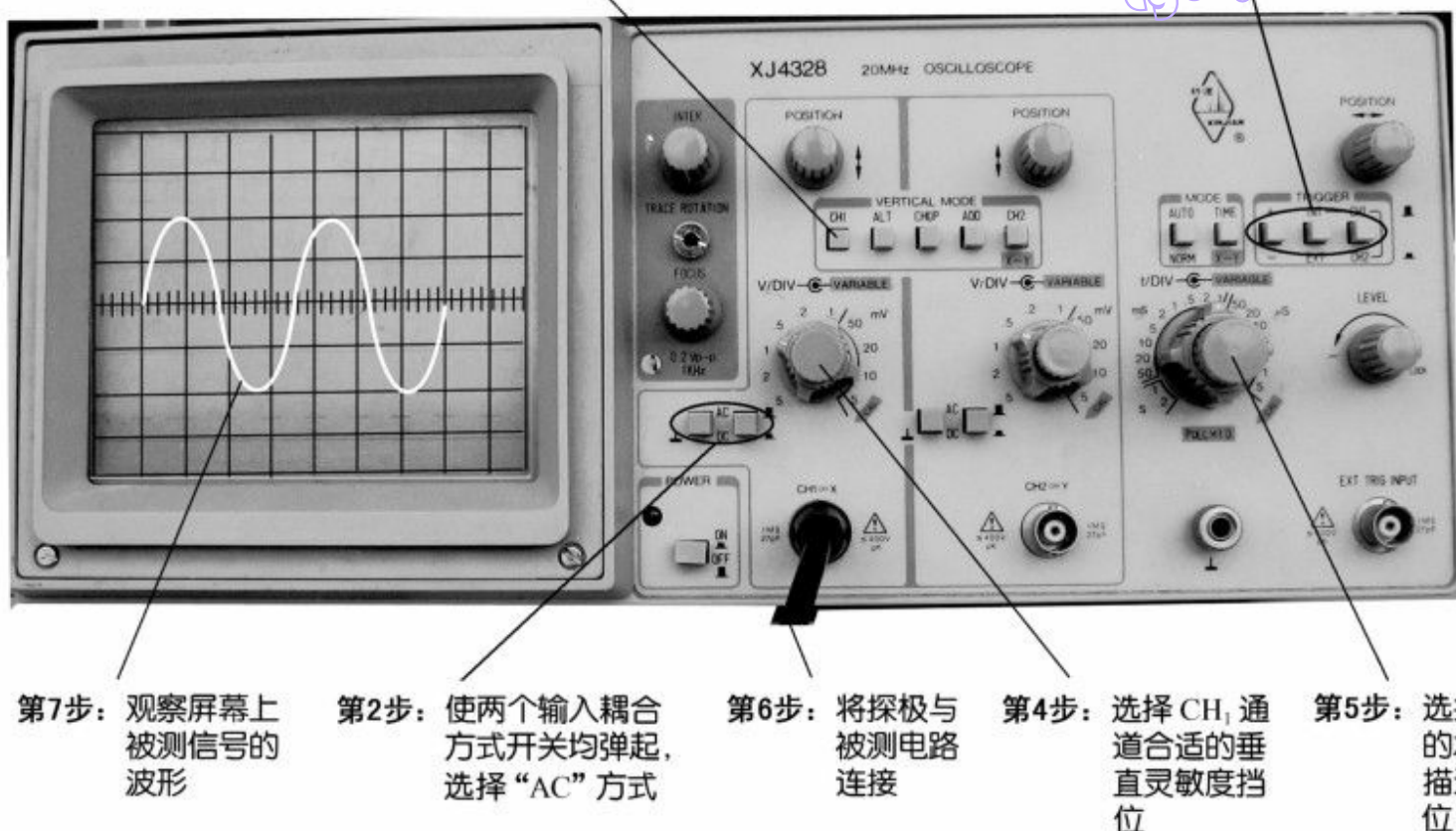


图22-28 用CH<sub>1</sub>通道测量信号

用CH<sub>1</sub>通道测量信号的过程如下。

第1~3步：选择通道、输入方式和触发方式。按下垂直输入方式开关中的“CH<sub>1</sub>”按键，选择CH<sub>1</sub>通道。将CH<sub>1</sub>输入耦合方式开关置于“AC”，将触发方式选择开关置于“内”和“CH<sub>1</sub>”（即让两个键处于弹起状态）。

第4步：选择合适的CH<sub>1</sub>通道垂直灵敏度挡位。估计被测信号的电压值，通过CH<sub>1</sub>通道的V/DIV

开关来选择合适的垂直灵敏度挡位。

第5步：选择合适的水平扫描速率挡位。估计被测信号的频率，通过t/DIV开关选择合适的水平扫描速率挡位。

第6步：将探极与被测电路连接。将探极的接地极与被测电路的地相接，将探极的信号极与被测电路的信号端连接。

第7步：观察屏幕上被测信号的波形。如果信号波形垂直幅度过大或过小，可转换V/DIV开关的挡位，同时调节V/DIV开关上面的微调旋钮；如果信号水平方向过宽或过窄，可转换t/DIV开关的挡位，同时调节t/DIV开关上面的微调旋钮；如果信号波形不同步，可调节触发电平旋钮，使信号波形稳定。

② 用CH<sub>2</sub>通道测量。用CH<sub>2</sub>通道测量一个信号的方法与用CH<sub>1</sub>通道测量基本相同，

其测量过程如图22-29所示。

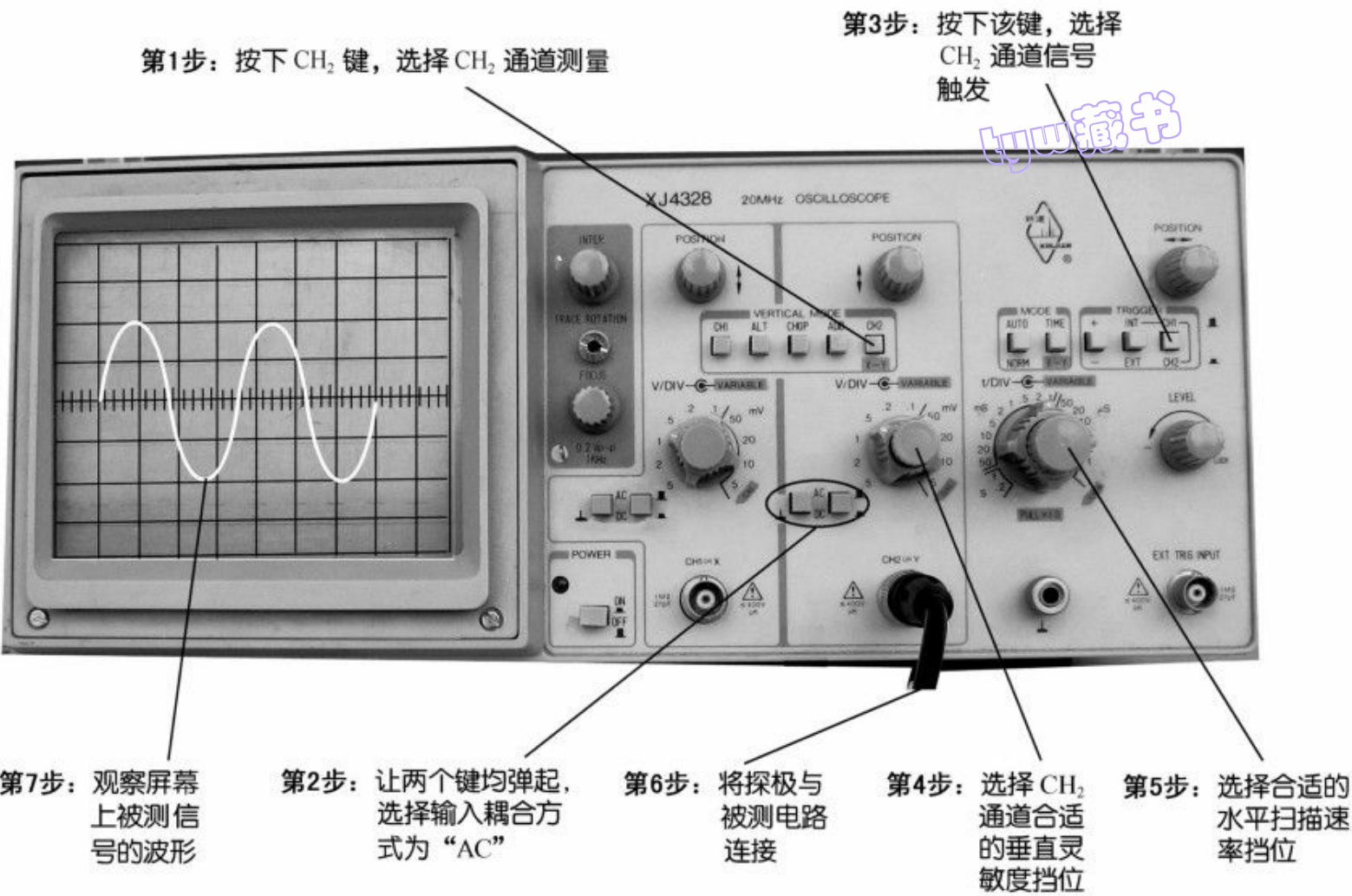


图22-29 用CH2通道测量信号

用CH<sub>2</sub>通道测量信号的过程如下。

- 第1~3步：选择通道、输入方式和触发方式。按下垂直输入方式开关中的“CH<sub>2</sub>”按键，选择CH<sub>2</sub>通道。将CH<sub>2</sub>输入耦合方式开关置于“AC”。将触发方式选择开关置于“内”和“CH<sub>2</sub>”（将CH<sub>2</sub>键按下）。
- 第4步：选择合适的CH<sub>2</sub>通道垂直灵敏度挡位。估计被测信号的电压值，通过CH<sub>2</sub>通道的V/DIV开关来选择合适的垂直灵敏度挡位。
- 第5步：选择合适的水平扫描速率挡位。估计被测信号的频率，通过t/DIV开关选择合适的水平扫描速率挡位。
- 第6步：将探极与被测电路连接。将探极的接地极与被测电路的地相接，将探极的信号极与被测电路的信号端连接。
- 第7步：观察屏幕上被测信号的波形。如果信号波形垂直幅度过大或过小，可转换V/DIV开关的挡位，同时调节V/DIV开关上面的微调旋钮；如果信号水平方向过宽或过窄，可转换t/DIV开关的挡位，同时调节t/DIV开关上面的微调旋钮；如果信号波形不同步，可调节触发电平旋钮，使信号波形稳定。

(2) 两个信号的测量

XJ4328型双踪示波器两个信号的测量有4种方式：交替、断续、相加和X-Y。



① 交替方式测量。交替方式测量过程如图22-30所示。

第1步：按下“ALT”键，  
选择交替测量

第3步：让这3个键处于弹起状态，  
选择触发信号来自  
CH<sub>1</sub>通道

tyw 藏书

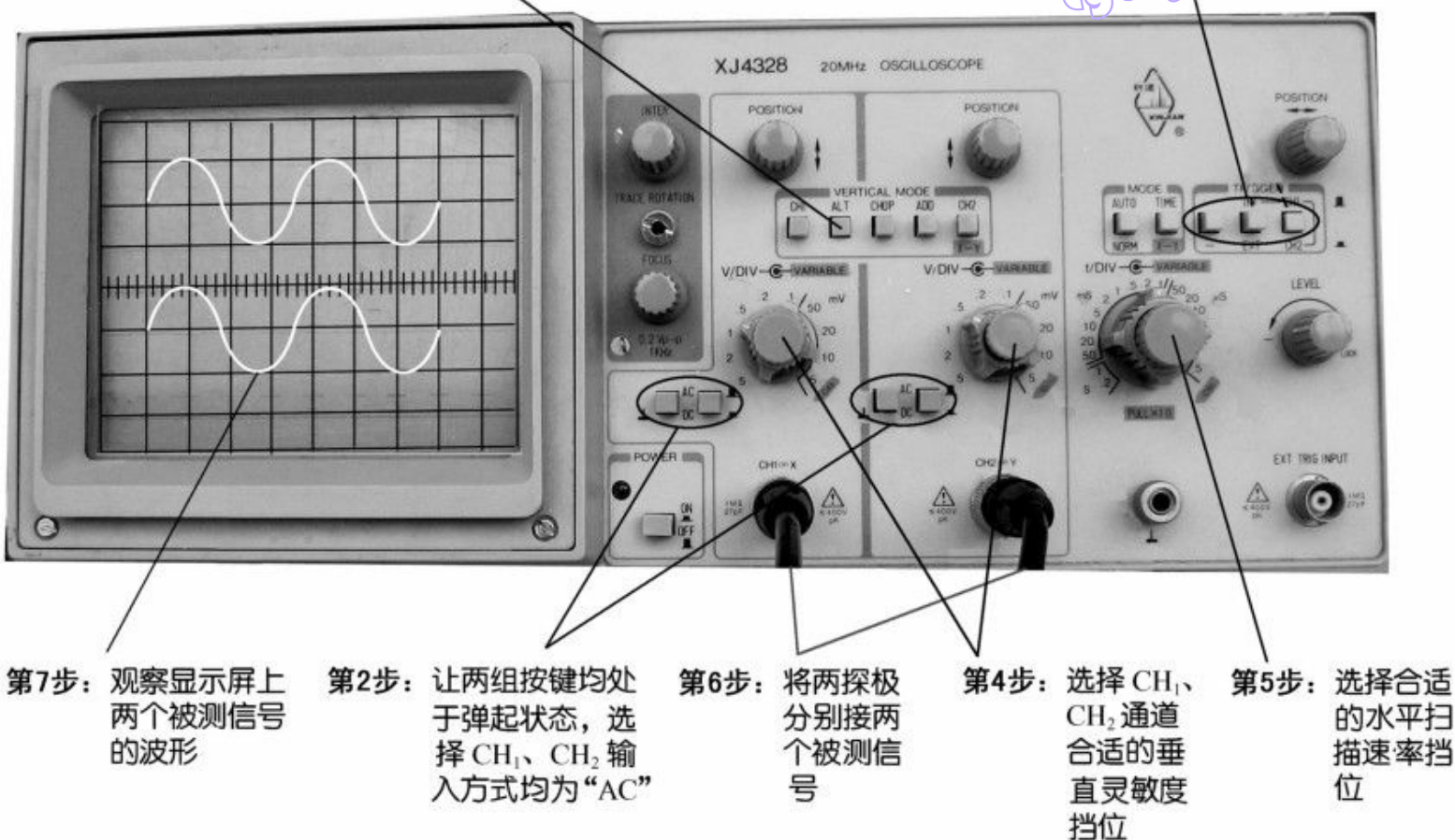


图22-30 交替方式测量信号

交替方式测量的具体步骤如下。

第1步：选择交替测量方式。按下垂直输入方式开关中的“ALT”按键，选择交替方式。

第2、3步：选择CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道输入方式和触发方式。将CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>输入耦合方式开关都置于“AC”，将触发方式选择开关置于“内”和“CH<sub>1</sub>”（即让CH<sub>1</sub>通道的信号作为触发信号）。

第4步：选择合适的CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道垂直灵敏度挡位。估计CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道被测信号的电压值，通过CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道的V/DIV开关来选择各自通道合适的垂直灵敏度挡位。

第5步：选择合适的水平扫描速率挡位。估计被测信号的频率，通过t/DIV开关选择合适的水平扫描速率挡位。

第6步：从CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>输入插孔输入两个被测信号。将两个探极分别插入CH<sub>1</sub>输入插孔和CH<sub>2</sub>输入插孔，然后分别输入两个被测信号。

第7步：观察屏幕上显示的两个被测信号的波形并进行调节。

如果两个信号中某个信号波形垂直幅度过大或过小，可转换相应通道的V/DIV开关的挡位，同调节V/DIV开关上面的微调旋钮；如果信号波形水平方向过宽或过窄，可转换



t/DIV开关的挡位，时调节t/DIV开关上面的微调旋钮；如果两个信号在屏幕上垂直方向距离过近或过远，可调节CH<sub>1</sub>或CH<sub>2</sub>通道的垂直移位旋钮将各自的信号移到合适的位置。

由于测量时选择CH<sub>1</sub>通道信号作为触发信号，所以两个信号中往往只有CH<sub>1</sub>信号是同步的，这是正常现象。如果CH<sub>1</sub>信号波形不同步，可调节触发电平旋钮，使信号波形稳定。如果需要CH<sub>2</sub>信号同步，可将触发方式选择开关置于“内”和“CH<sub>2</sub>”。

② 断续方式测量。断续方式测量与交替方式测量过程基本相同，测量过程如图22-31所示。

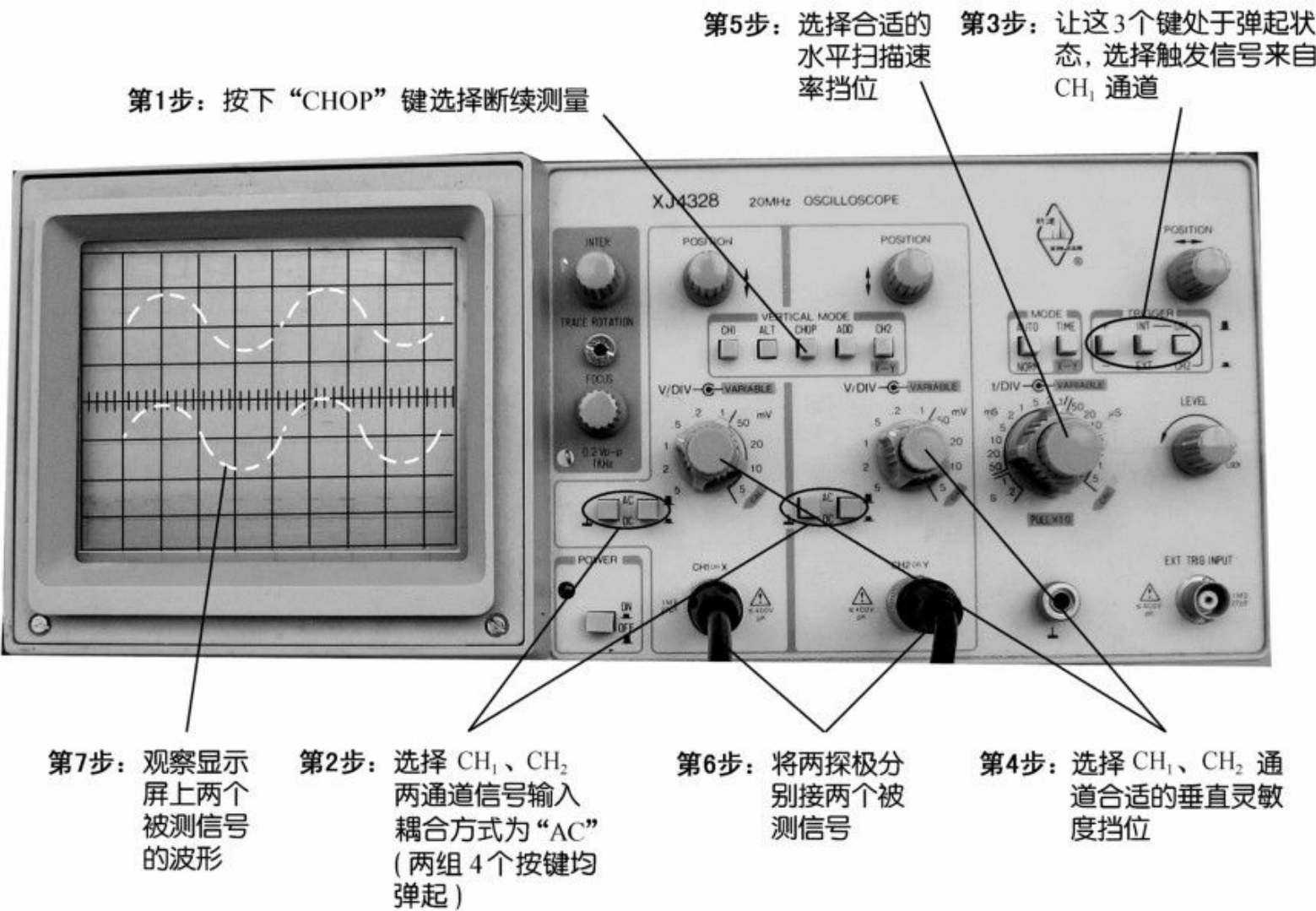


图22-31 断续方式测量信号

断续方式测量的具体步骤如下。

- 第1步：选择断续方式测量。按下垂直输入方式开关中的“CHOP”按键，选择断续方式。
- 第2、3步：选择CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道输入方式和触发方式。将CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>输入耦合方式开关都置于AC”，将触发方式选择开关置于“内”和“CH<sub>1</sub>”。
- 第4步：选择合适的CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道垂直灵敏度挡位。
- 第5步：选择合适的水平扫描速率挡位。
- 第6步：从CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>输入插孔输入两个被测信号。
- 第7步：观察屏幕上显示的两个被测信号的波形并进行调节。由于断续方式扫描出来

的两个信号是断续的，屏幕上显示出来的波形亮度较交替方式偏暗，如果选择低速率的水平扫描速率挡测量时，还会看见两个波形是由许多小点组成的。

③ 相加方式测量。相加测量是指将CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道信号相加后再显示出来，测量过程如图22-32所示。

tyw藏书

相加方式测量的具体步骤如下。

第1步：选择相加方式测量。按下垂直输入方式开关中的“ADD”按键，选择相加测量方式。

第2、3步：选择CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道输入方式和触发方式。将CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>输入耦合方式开关都置于“AC”，将触发方式选择开关置于“内”和“CH<sub>1</sub>”。

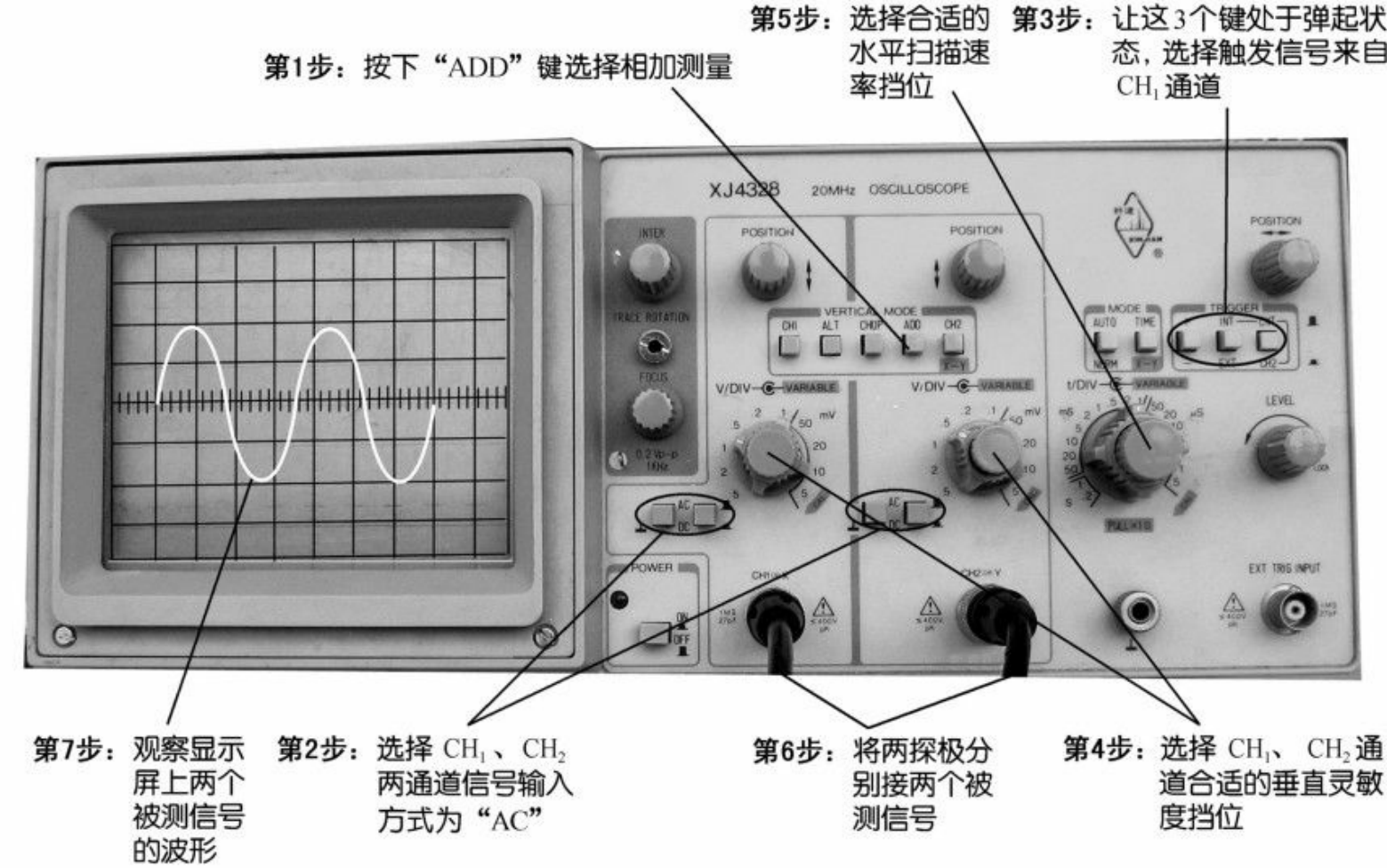


图22-32 相加方式测量信号

- 第4步：选择合适的CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道垂直灵敏度挡位。
- 第5步：选择合适的水平扫描速率挡位。
- 第6步：从CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>输入插孔输入两个被测信号。
- 第7步：观察屏幕上被测信号的波形并进行调节。两个信号相加后在屏幕上会出现一个信号，如果两个被测信号相位、频率相同，相加后的信号相位、频率不变，但幅度会变大；如果两个被测信号相位、频率不相同，相加后得到的信号情况就比较复杂。

④ X-Y方式测量。X-Y方式测量是将CH<sub>1</sub>通道的信号送到X轴偏转板（即用CH<sub>1</sub>通道的信号取代内部产生的锯齿波电压），而CH<sub>2</sub>通道的信号仍送到Y轴偏转板。X-Y方式测量过程如图22-33所示。



X-Y方式测量的具体步骤如下。

第1步：选择X-Y方式测量。让垂直输入方式开关中所有的按键都处于弹起状态，将扫描方式选择开关中的“X-Y”按键按下，选择X-Y测量方式。

第2、3步：选择CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道输入方式和触发方式。将CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>输入耦合方式开关都置于“AC”，将触发方式选择开关置于“内”和“CH<sub>1</sub>”。

第4步：选择合适的CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道垂直灵敏度挡位。

第5步：选择合适的水平扫描速率挡位。

第6步：从CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>输入插孔输入两个被测信号。

第7步：观察屏幕上被测信号的波形并进行调节。在X-Y方式测量时，根据两个被测信号的不同，屏幕上会显示出各种各样的李沙育图形，图22-33中是一个圆形。

### 3. 相位的测量

与单踪示波器一样，双踪示波器可以测量交流信号的波形、峰峰值、瞬时值、直流成分的大小和周期、频率等，另外，双踪示波器还可以测量交流信号的相位。

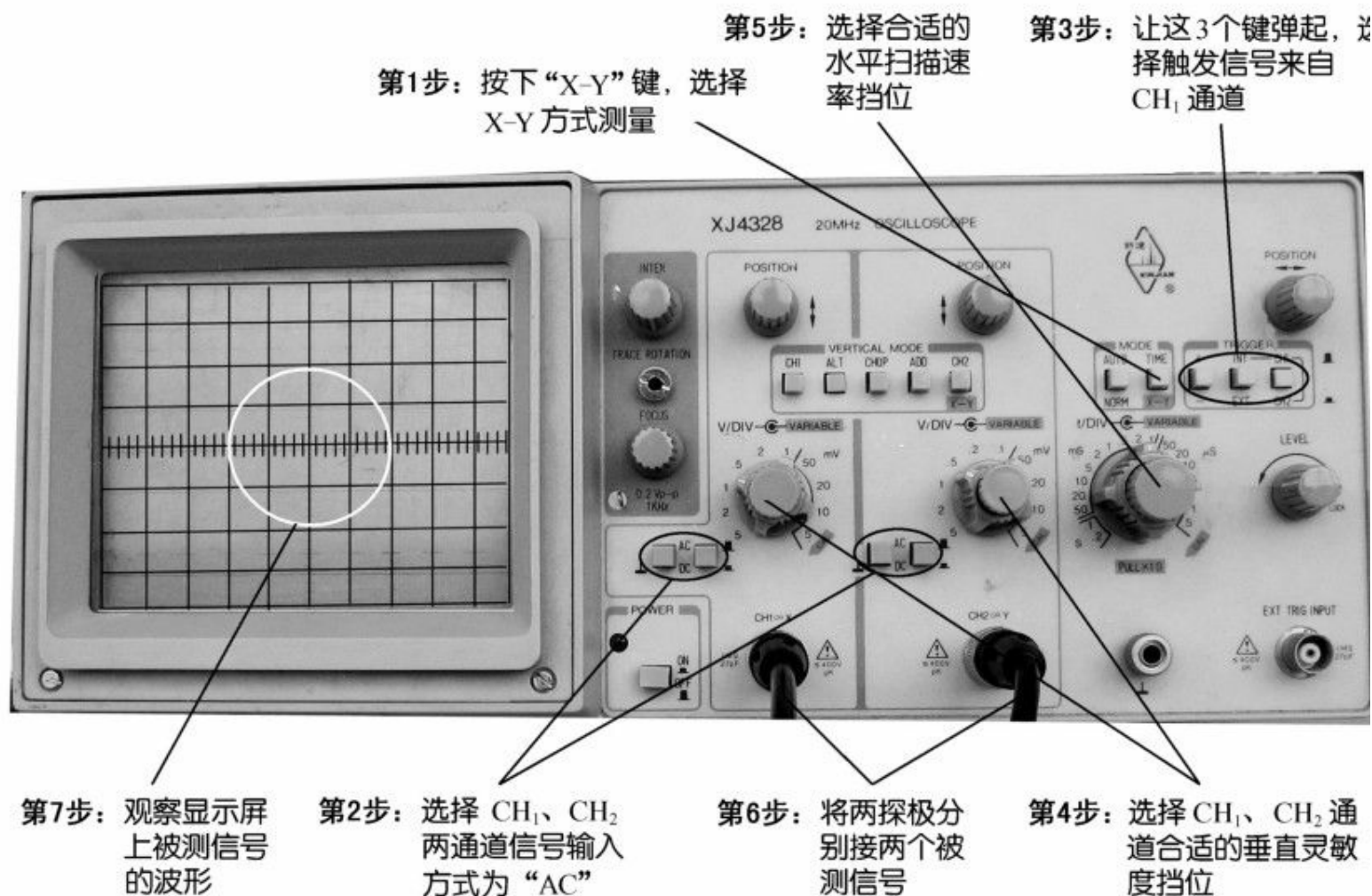


图22-33 X-Y方式测量信号

双踪示波器可以测量两个频率相同信号之间的相位差，测量相位有两种常见的方法：波形比较法和李沙育图形法。

#### (1) 波形比较法

波形比较法是让示波器以断续的方式测量出两个信号的波形，再将两波形进行比较而

计算出两个信号的相位差。

测量过程如图22-34（a）所示，测量步骤如下。

第1~5步：对示波器进行操作，让它进行断续方式测量，具体见前面的断续测量方式操作方法。

第6步：用CH<sub>1</sub>（X）、CH<sub>2</sub>（Y）通道的探极各引入一个被测信号。

第7步：调节CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道垂直灵敏度开关和微调旋钮，使两个被测信号幅度相等或接近调节CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道垂直移位旋钮，让两个被测信号处于同一水平。

第8步：观察屏幕上两个信号波形并计算它们之间的相位差。图22-34（b）所示为示波器显示的两个信号波形。

首先观察出两信号的任意一个信号的周期水平占有的长度L，然后观察两个信号的水

平距离d，那么两个信号的相位差  $\theta = \frac{d}{L} \cdot 360^\circ$ 。图22-34（b）中信号的一个周期长度为L=4cm（4DIV），两个信号的水平距离d=1cm（1DIV），那么两信号的相位差

$$\theta = \frac{d}{L} \cdot 360^\circ = \frac{1}{4} \times 360^\circ = 90^\circ$$

## （2）李沙育图形法

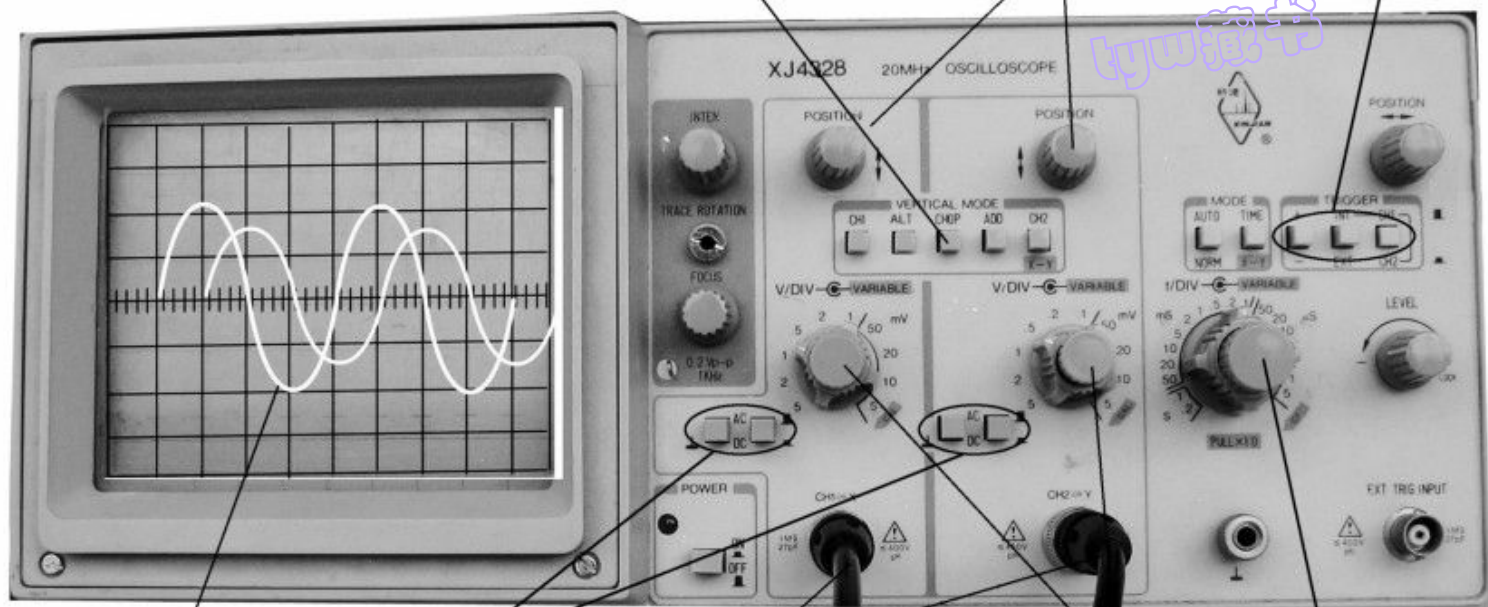
李沙育图形法是让示波器以X-Y方式测量两个信号，再观察屏幕上显示的李沙育图形特点来计算两个信号的相位差。



第1步：按下“CHOP”键，  
选择断续测量

第7步：调节两个垂直移位旋  
钮，让屏幕上的两信  
号处于同一水平位置

第3步：选择触发  
方式为“+、  
INT、CH<sub>1</sub>”



第8步：观察两信号波  
形并计算它们的  
相位差，方  
法见图22-34(b)

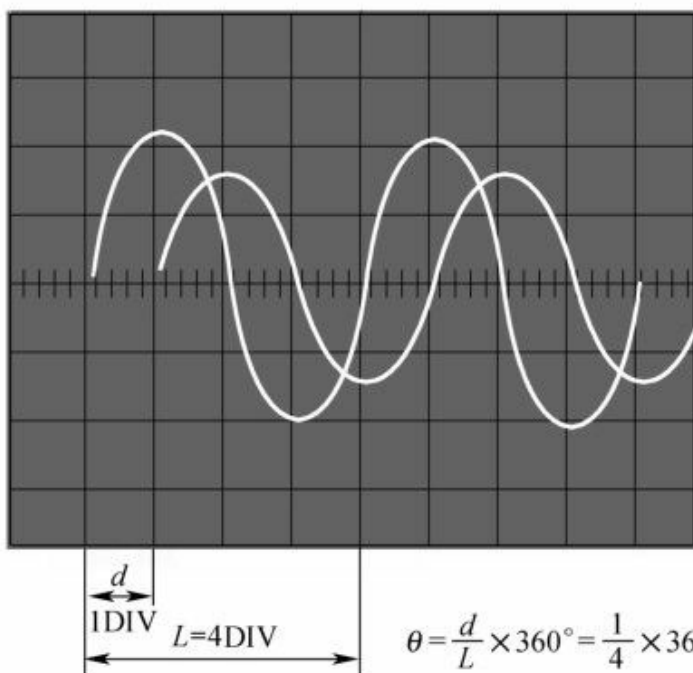
第2步：选择两通道  
的输入耦合  
方式为“AC”

第6步：将两探极  
分别接两个被测信  
号

第4步：选择CH<sub>1</sub>、  
CH<sub>2</sub>通道  
合适的垂  
直灵敏度

第5步：选择合适的水平扫描速率

(a) 测量



(b) 计算

图22-34 利用波形比较法测量并计算两信号相位差

测量过程如图22-35 (a) 所示，测量步骤如下。

第1~4步：对示波器进行操作，让它以交替或断续方式测量。

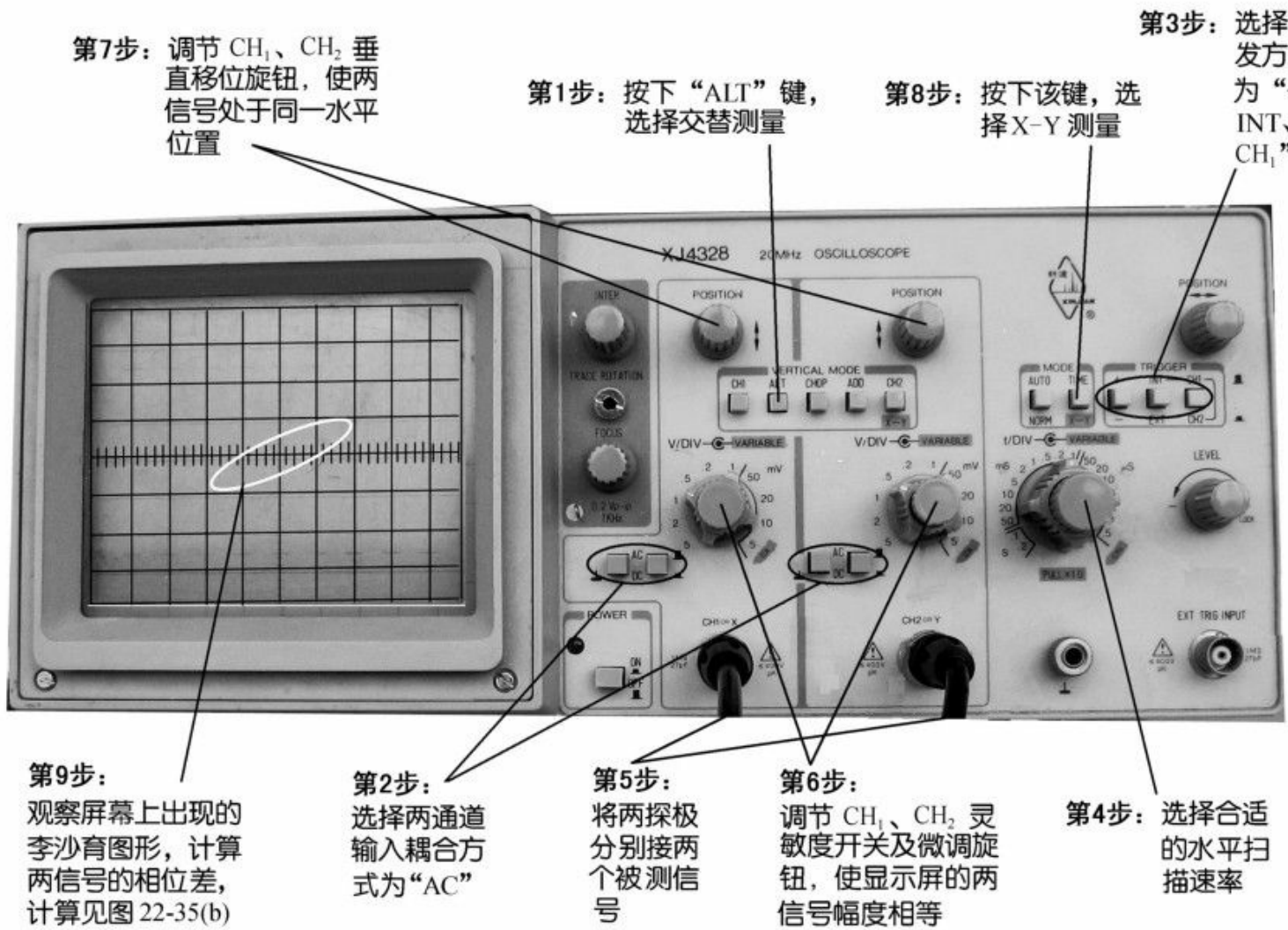
第5步：用CH<sub>1</sub> (X)、CH<sub>2</sub> (Y) 通道的探极引入两个相位不同的被测信号。

第6、7步：调节CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道垂直灵敏度开关和微调旋钮，使两个被测信号幅度相等；调节CH<sub>1</sub>、CH<sub>2</sub>通道垂直移位旋钮，让两个被测信号处于同一水平。

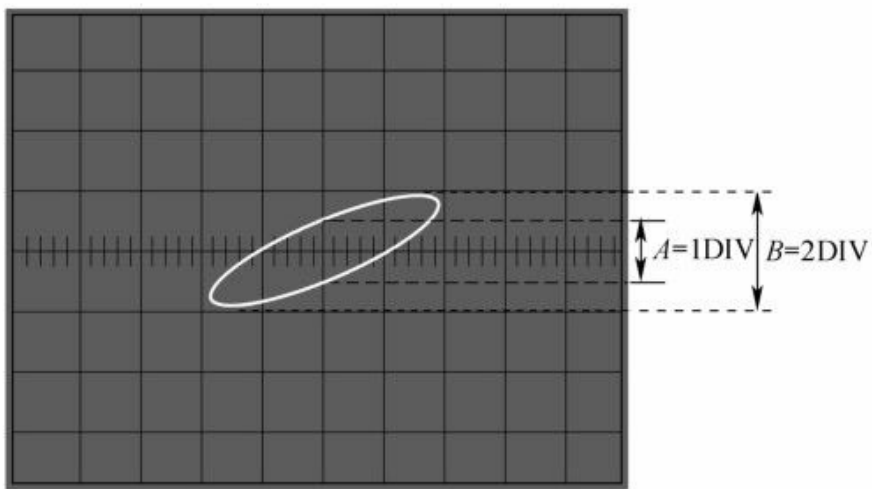
第8步：选择X-Y方式测量。让垂直输入方式开关中所有的按键都处于弹起状态，将扫描方式选择开关中的X-Y按键按下，选择X-Y测量方式。

第9步：观察屏幕上显示的李沙育图形，再计算两信号的相位差。图22-35 (b) 所示为示波器显示出来的李沙育图形。

tyw藏书



(a) 测量



$$\theta = \arcsin \left( \frac{A}{B} \right) = \arcsin \frac{1}{2} = 30^\circ$$

(b) 计算

图22-35 利用李沙育图形计算两信号相位差

首先观察出李沙育图形的波形与Y轴的两截点的最大距离A及波形在Y轴上占的最大

距离B，再根据 $\theta = \arcsin (A/B)$ 就可以求出两个信号的相位差。图22-35 (b) 中的李沙育图形A为1DIV， B为2DIV，那么两个信号的相位差

$$\theta = \arcsin \frac{A}{B} = \arcsin \frac{1}{2} = 30^{\circ}$$

$$\theta = \arcsin \frac{A}{B} = \arcsin 1 = 90^{\circ}$$

如果两个被测信号的相位相差 $90^{\circ}$ ，李沙育图形是一个正圆。图22-36所示为几种典型的李沙育相位差图形，测量时可作参考。

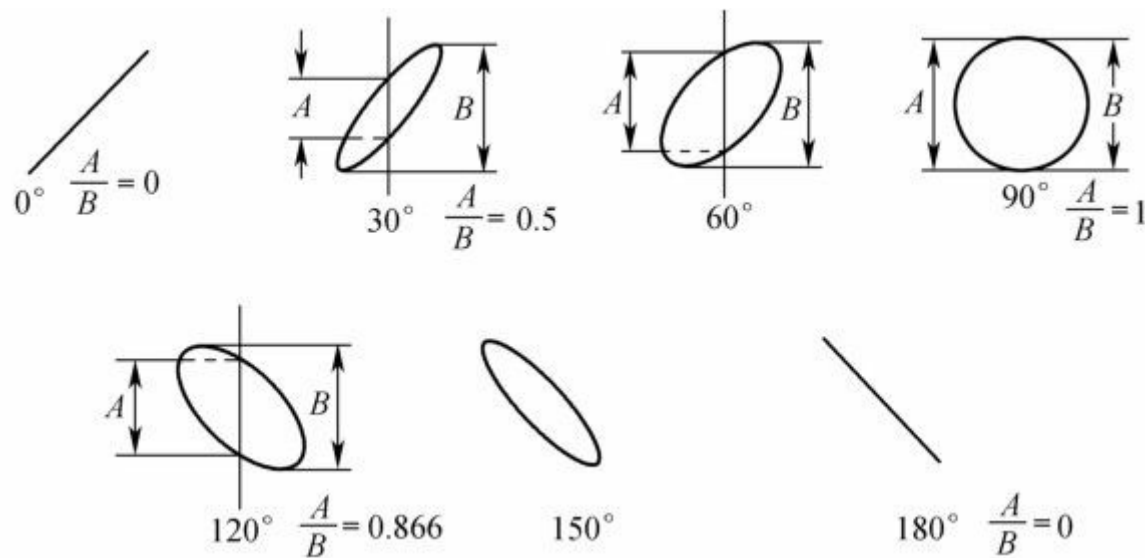


图22-36 几种典型的李沙育相位差图形

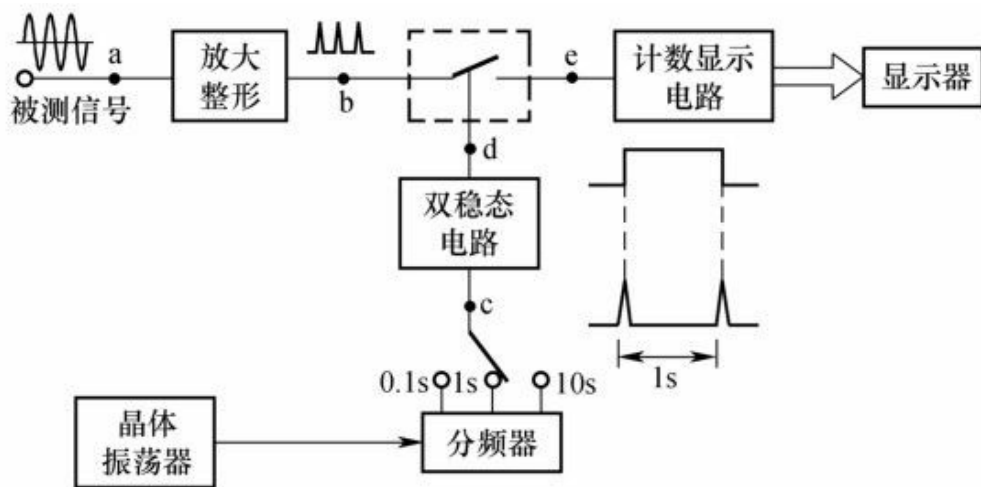
# 第23章 频率计与扫频仪

## 23.1 频率计的测量原理与使用方法

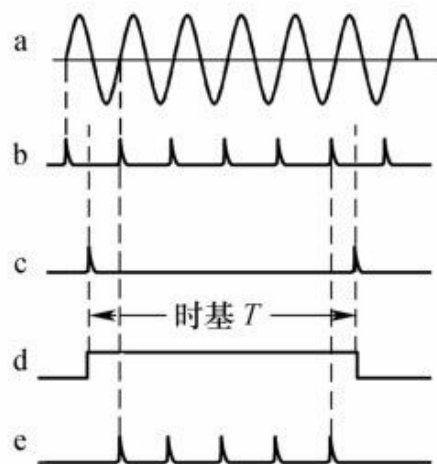
### 23.1.1 频率计的测量原理

#### 1. 频率测量原理

频率计的频率测量原理如图23-1所示。



(a) 频率测量原理图



(b) 波形图

图23-1 频率测量原理

被测信号（a信号）经放大整形电路处理后得到图示的b信号，b信号频率与a信号相同，它被送到闸门电路。闸门电路相当于一个受控的开关，d信号高电平来时闭合，低电平时断开。

与此同时，晶体振荡器产生一定频率的交流信号，该信号送到分频器，根据选择可以进行不同的分频，比如时基开关S置于“1s”时，分频器可以将振荡器产生的信号分频成周期 $T=1\text{s}$ （频率 $f=1\text{Hz}$ ）的c信号。

$T=1\text{s}$ 的c信号送到双稳态电路，控制它产生脉冲宽度为1s的d信号，d信号送到闸门电路，闸门打开（相当于开关闭合），打开时间为1s，在闸门打开期间，b信号有5个脉冲通过闸门到计数显示电路，计数显示电路对它进行计数并在显示器上显示“5”，就表示被测信号的频率 $f=5/1=5\text{Hz}$ 。

如果时基开关S置于“0.1s”，分频器会输出 $T=0.1\text{s}$ 的c信号，该信号触发双稳态电路产生脉冲宽度为0.1s的d信号，去控制闸门电路打开时间持续0.1s，如果在这段时间内b信号通过的脉冲个数为5，计数显示电路计数后在显示器上显示“5”，那么被测信号的频率 $f=5/0.1=50\text{Hz}$ 。



由此可见，频率计测量频率的原理是：让计数电路计算被测信号在  $t$  时间内（如10s内）通过闸门的脉冲个数  $N$ （如50个），那么被测信号的频率  $f = N/t$ （ $f = 50/10 = 5\text{Hz}$ ）。

2. 周期测量原理

频率计周期测量原理如图23-2所示。

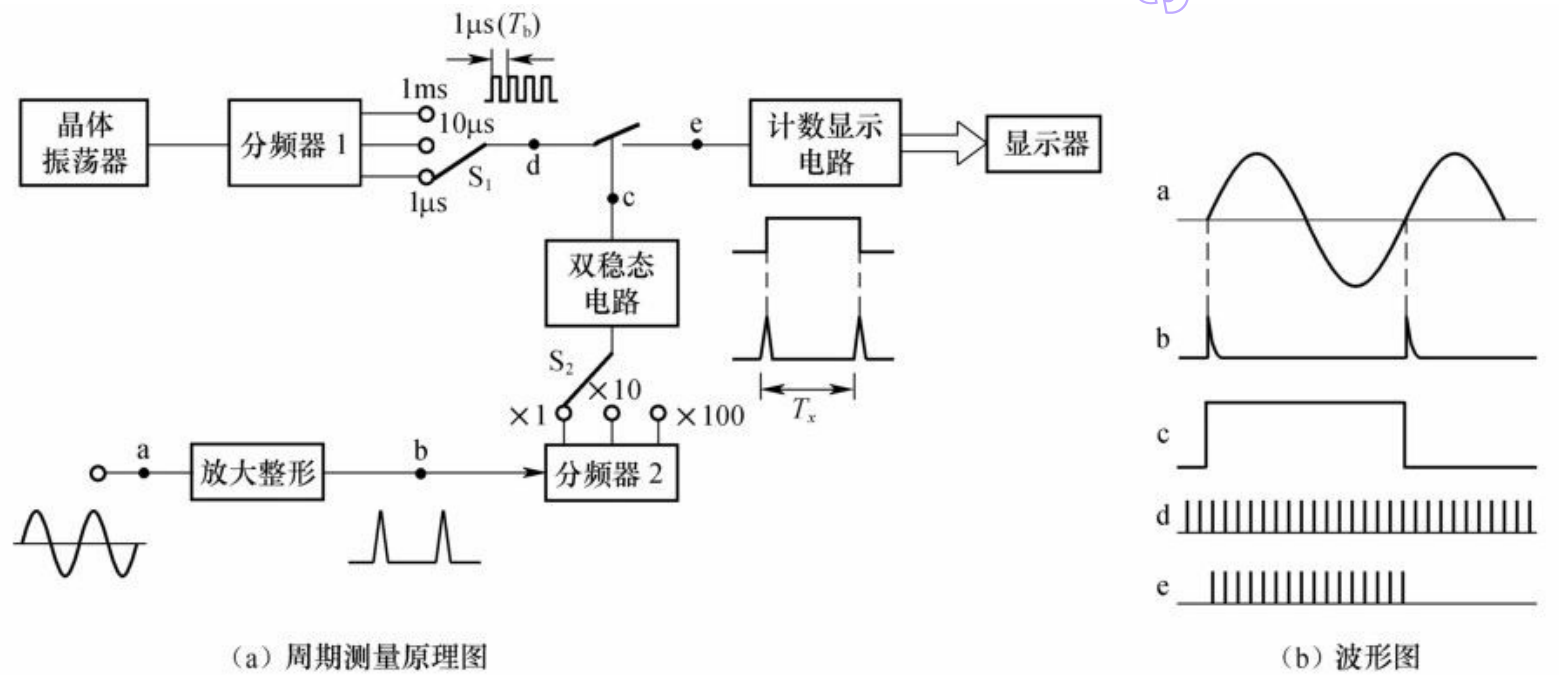


图23-2 周期测量原理

周期为  $T_x$  的被测信号（a信号）经放大整形电路处理后得到图示的b信号，b信号的周期与a信号的周期相同，它被送到分频器进行分频，如果开关  $S_2$  置于“ $\times 1$ ”，b信号频率不改变（周期也仍为  $T_x$ ），它直接去触发双稳态电路，让它产生脉冲宽度为  $T_x$  的c信号，再去控制闸门电路打开。

与此同时，晶体振荡器产生一定频率的交流信号，该信号送到分频器，根据选择不同的分频可以得到不同的时标信号  $T_b$ ，比如开关  $S_1$  置于“ $1\mu\text{s}$ ”时，分频器可以将振荡器产生的信号分频成周期为  $T_b = 1\mu\text{s}$ （频率为1MHz）的d信号。

脉冲宽度为  $T_x$  的c信号送到闸门电路，闸门打开，打开时间为  $T_x$ ，在闸门打开期间，d信号有  $N$  个脉冲（比如500个）通过闸门到计数显示电路，计数显示电路对它进行计数并在显示器上显示“ $N$ （500）”，那么被测信号的周期  $T_x = N \times T_b = 500 \times 1\mu\text{s} = 500\mu\text{s}$ 。

如果开关  $S_1$  置于“ $1\text{ms}$ ”，分频器1对振荡器产生的信号分频后会输出  $T_b = 1\text{ms}$  的c信号。开关  $S_2$  置于“ $\times 10$ ”，分频器2对被测信号分频会得到周期为  $10T_x$  的信号，触发双稳态电路产生脉冲宽度为  $10T_x$  的d信号。如果在  $10T_x$  时间内b信号通过的脉冲个数为  $N$ （如500个），计数显示电路计数后在显示器上显示“ $N$ （500）”，那么被测信号的周期  $T_x = N \times T_b / N = 500 \times 1\text{ms} / 10 = 50\text{ms}$ 。

由此可见，频率计测量周期的原理是：让计数显示电路计算出  $10^n$  个被测信号周期内通过闸门的时标信号（周期为  $T_b$ ）个数  $N$ ，那么被测信号的周期  $T_x = N \times T_b / 10^n$ 。

23.1.2 频率计的使用方法

频率计的种类很多，使用方法大同小异，这里以VC2000型频率计为例来介绍其使用方法。

1. 面板介绍

VC2000型频率计前、后面板如图23-3所示。



图23-3 VC2000频率计面板图

- ① 电源开关：电源开关的作用是接通和断开频率计内部电路的供电。
- ② 电源插座：220V交流电源接口。
- ③ 熔丝插座：熔丝的额定电流为200mA。
- ④ A输入插孔：A输入插孔为高频信号输入端，当测量50MHz~2.4GHz的高频信号时，被测信号应从该端输入。该输入插孔输入的信号电压不允许超过3V。
- ⑤ B输入插孔：B输入插孔为低频信号输入端，当测量10Hz~50MHz的信号时，被测信号应从该端输入。该输入插孔输入的信号电压不允许超过30V。
- ⑥ LED显示屏：它是一个8位高亮度显示屏，可以显示频率、计数和晶振频率等信

息。

⑦ 频率指示灯：当该灯亮时，表示当前仪器处于频率测量状态。

⑧ 计数指示灯：当该灯亮时，表示当前仪器处于计数测量状态。

⑨ kHz指示灯：当该灯亮时，表示显示屏显示的数值以kHz为单位。

⑩ MHz指示灯：当该灯亮时，表示显示屏显示的数值以MHz为单位。

⑪ 晶振指示灯：当该灯亮时，表示当前仪器处于晶振测量状态。

⑫ 晶振测量插孔：在测晶振频率时，要将待测晶振插入该插孔。

⑬ 晶振键：在测量晶振时，应将该键按下，不测晶振时应再按一下，让内部振荡电路停止工作，以免产生干扰。

⑭ 闸门键：在测量时，用于设置闸门开启时间，共有4个闸门时间：0.1s、1s、5s和10s。闸门时间越长，测量精度越高，但测量所花时间也越长。当反复按闸门键时，可在0.1s→1s→5s→10s→0.1s之间循环切换，在切换的同时，显示屏最左端两位会显示闸门时间。

⑮ 挡位键：用于设置测量挡位，共有5个挡位，反复按该键可以在这5个挡位之间切换。

第1挡：频率测量挡，用来测量A插孔输入的50MHz~2.4GHz的信号，同时MHz指示灯亮。

第2挡：频率测量挡，用来测量B插孔输入的4~50MHz的信号，同时MHz指示灯亮。

第3挡：频率测量挡，用来测量B插孔输入的10Hz~4MHz的信号，同时kHz指示灯亮。

第4挡：计数测量挡，用来测量B插孔输入的脉冲个数，同时计数指示灯亮。

第5挡：晶振测量挡，用来测量晶振测量插孔的晶振，同时晶振指示灯亮。

⑯ 确定键：每次选好闸门、挡位，再按“确定”键后，频率计开始工作。另外，每次开机或按“复位”键后，仪器自动进入上次按“确定”键后的工作状态。

⑰ 复位键：在测量时，如果出现不正常情况，可以按一下该键，仪器可以恢复正常。

## 2. 使用方法

VC2000频率计是一个能测量10Hz~2.4GHz频率范围内的信号的多功能仪器，它不但能测量频率，还可以测量脉冲的个数（计数）和晶振频率。下面就从频率、计数和晶振测量这3个方面来介绍VC2000频率计的使用方法。

### （1）频率的测量

下面以测量一个正弦波信号的频率为例来说明频率计的频率测量，测量过程如图23-4所示。

频率测量的步骤如下。



第1步：开通电源。将电源开关按下，电源指示灯亮。



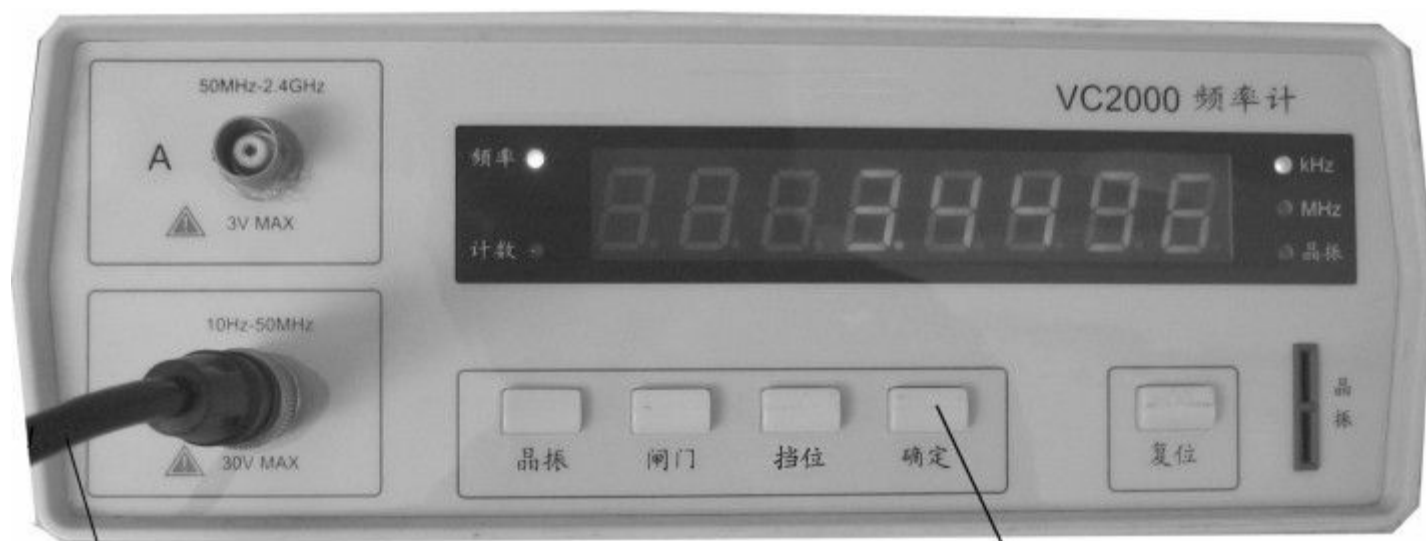
第2步：因为被测信号频率低于 50MHz，故将测量探极插入“B”插孔

第4步：按几次“闸门”键，让显示屏前两位数显示“10”，将测量时间设为10s

第3步：按几次“挡位”键，让显示屏最后一位显示“3”，同时频率和 kHz 指示灯亮，说明选择挡位为频率测量挡3

第1步：开通电源（图中未示出）

(a) 测量前的设置  
图23-4 频率测量过程



第5步：将测量探极另一端接被测信号

第6步：按下“确定”键，频率计开始测量，观察显示屏显示为“3.4496”，则被测信号频率为3.4496kHz

(b) 测量过程示意  
图23-4 频率测量过程（续）

第2步：选择信号输入插孔。估计被测信号频率低于50MHz，故选择B输入插孔，将测量探极插入“B”输入插孔。

第3步：选择测量挡位。按压几次“挡位”键，同时观察显示屏最后一位数字，因为选择B输入插孔，故让显示数为“3”，这样就将挡位设置为“频率3”挡。



第4步：设置闸门时间。按几次“闸门”键，同时观察显示屏前两位数字，让显示数为“10”，这样就将闸门时间设置为“10s”。

第5步：将测量探极与被测信号连接。

第6步：按下“确定”键，并进行读数。前面5步操作完成后，按下“确定”键，频率计开始读数，在显示屏上会显示出被测信号的频率大小3.449 6kHz。

## （2）计数的测量

频率计除了可以测量信号频率外，还可以测量一定时间内信号脉冲出现的个数。下面来测量10s内一个信号中有多少个脉冲出现，测量过程如图23-5所示。

计数的步骤如下。

第1步：开通电源。将电源开关按下，电源指示灯亮。

第2步：选择B输入插孔，并将测量探极插入“B”输入插孔。

第3步：选择测量挡位。按压几次“挡位”键，同时观察显示屏最后一位数字，因为是计数测量，故让显示数为“4”，这样就将挡位设置为“计数”挡。

第4步：设置测量时间（实际就是设置闸门时间）。按压几次“闸门”键，同时观察显示屏的前两位数字，让显示数为“5.0”，这样就将测量时间设置为“5s”。

第5步：将测量探极与被测信号连接。

第6步：按下“确定”键，并进行读数。前面5步操作完成后，按下“确定”键，频率计开始计数，5s后计数停止，在显示屏上显示出的数字就是5s内被测信号中脉冲的个数。

## （3）晶振频率的测量

频率计还可以测晶振的频率。下面以测量一个晶振的频率为例来说明频率计测量晶振的过程，测量过程如图23-6所示。



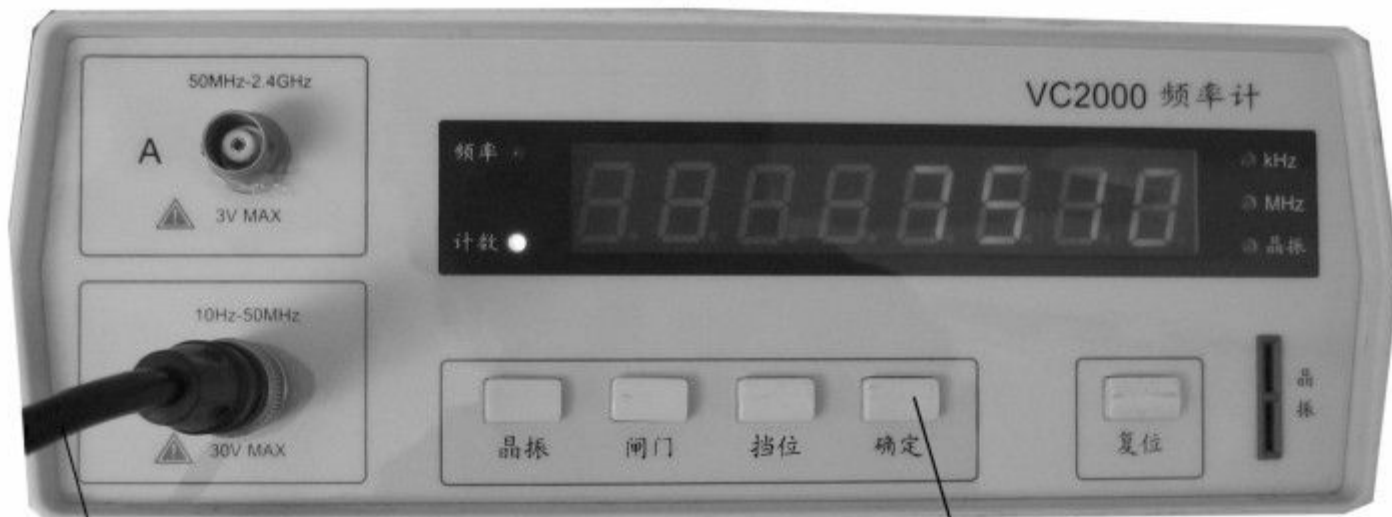
第2步: 因为被测脉冲个数不是很多, 故将测量探头插入“B”插孔

第4步: 按几次“闸门”键, 让显示屏前两位显示为“5.0”, 将测量时间设为5s

第3步: 按几次“挡位”键, 让显示屏最后一位数显示为“4”, 同时计数指示灯亮, 说明选择了计数测量挡

第1步: 开通电源 (图中未示出)

(a) 计数测量前的设置



第5步: 将测量探头另一端接被测脉冲

第6步: 按下“确定”键, 频率计开始计算5s内脉冲到来的个数。观察显示屏显示“7510”, 则脉冲个数为7510个

(b) 测量过程示意

图23-5 计数测量过程



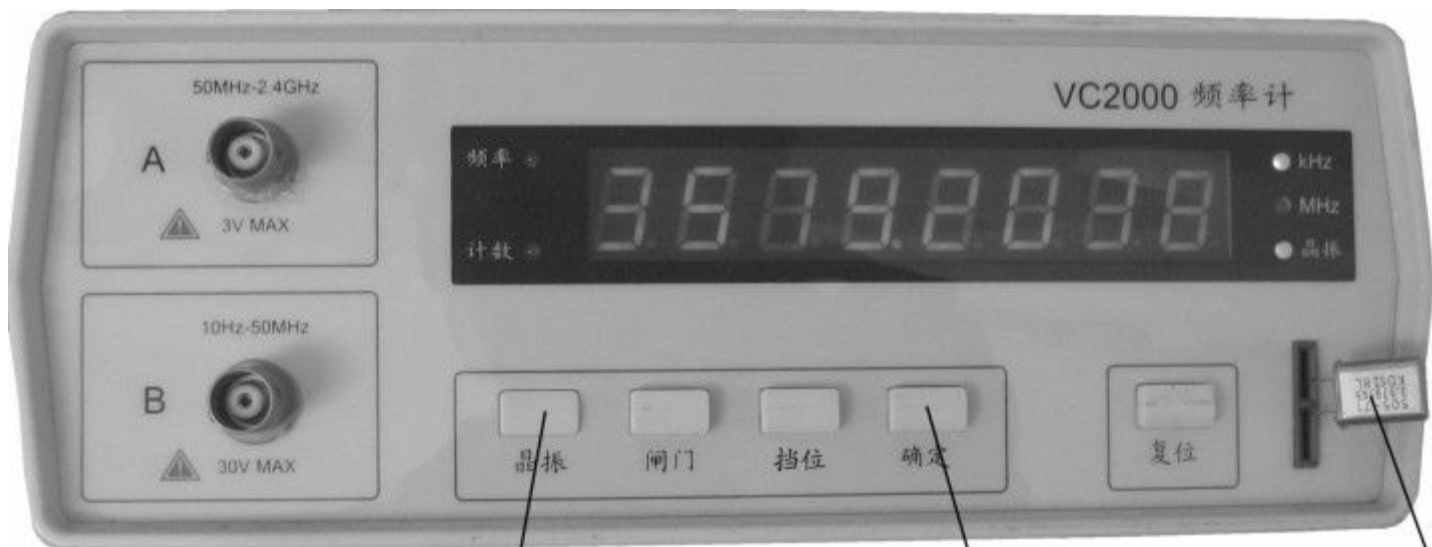
第1步：开通电源（图中未示出）

第3步：按几次“闸门”键，使显示屏前两位显示为“5.0”，这样将测量时间设为5s

第2步：按几次“挡位”键，让显示屏最后一位显示“5”，同时 kHz 和晶振指示灯亮，则此时选择挡位为晶振测量挡

（a）晶振测量前的设置

图23-6 晶振频率测量过程



第5步：按下“晶振”键

第6步：按下“确定”键，开始测量

第4步：将晶振插入晶振测量孔

（b）测量过程示意

图23-6 晶振频率测量过程（续）

晶振频率的测量步骤如下。

第1步：开通电源。将电源开关按下，电源指示灯亮。

第2步：选择测量挡位。按压几次“挡位”键，同时观察显示屏最后一位数字，因为是测晶振频率，故让显示数为“5”，这样就将挡位设置为“晶振”挡。

第3步：设置闸门时间。按压几次“闸门”键，同时观察显示屏前两位数字，让显示数为“5.0”，这样就将闸门时间设置为“5s”。

第4步：将晶振插入晶振测量插座。

第5步：按下“晶振”键。



第6步：按下“确定”键，频率计开始测量，显示屏显示的数字就是晶振的频率。

晶振频率测量结束后，应再按一次“晶振”键，让内部电路停振，以免在测频率时产生干扰。

tyw藏书

# 23.2 扫频仪的测量原理与使用方法

扫频仪全称为频率特性测试仪，其基本功能是测量电路的幅频特性。在测量电路的幅频特性时，扫频仪可以将幅频特性以曲线的形式在显示屏上直观地显示出来。

## 23.2.1 扫频仪的测量原理

### 1. 电路幅频特性的测量

#### (1) 幅频特性

电路的幅频特性是指当电路输入一定频率范围内的恒定信号电压时，其输出信号电压随频率变化的关系特性。下面以图23-7所示为例来说明幅频特性。

如图23-7所示，给被测电路输入0~8MHz、电压均为 $U_1$ 的各种信号，这些信号经被测电路后输出。输入、输出端信号都可以用横轴为频率  $f$ 、纵轴为电压  $U$  的曲线表示，这种曲线称为幅频特性曲线。

从幅频特性曲线可以看出，0~8MHz等幅信号经被测电路后，输出的2~6MHz频率范围内的信号幅度最大且相等，而低于2MHz和高于6MHz的信号幅度都有减小，并且频率越高（高于6MHz）或频率越低（低于2MHz），输出信号幅度越小。

#### (2) 幅频特性的测量方法

要测量电路的幅频特性，通常可以采用两种方法：一是点频法，二是扫频法。

##### ① 点频法。

点频法是指用信号发生器依次给被测电路输入几种不同频率的信号，并用毫伏表在电路输出端测出这几个频率信号的电压值，然后将这些值以点的形式绘制在坐标中，再把各点连接起来得到被测电路的幅频特性曲线。点频法测量如图23-8所示。

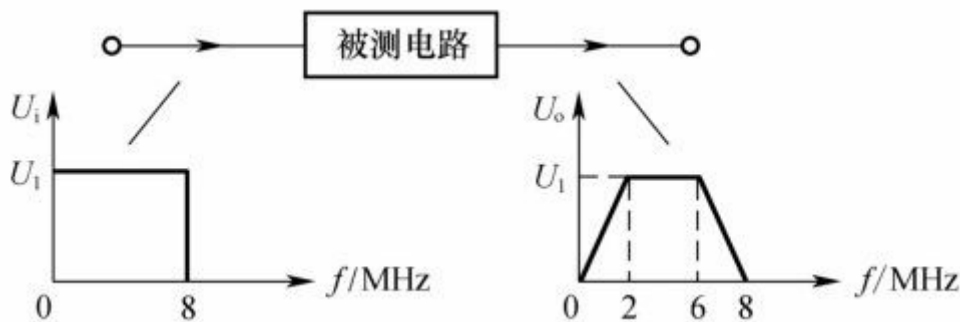
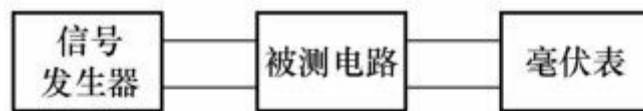
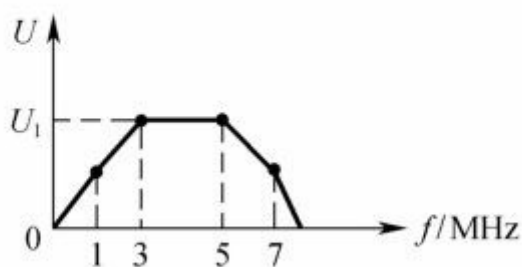


图23-7 幅频特性曲线说明图



(a) 测量接线



(b) 点频法绘制的幅频特性曲线

图23-8 点频法测量

首先调节信号发生器，让它产生1MHz的信号并送到被测电路输入端，再用毫伏表测出输出端的电压值，然后将电压值以点的形式绘制在坐标图中。以同样的方法，分别给被测电路输入3MHz、5MHz和7MHz的信号，并测出它们输出的电压值，再把这些电压值绘制在坐标中，最后用平滑的线将这些点连接起来，就得到了如图23-8（b）所示的被测电路的幅频特性曲线。

点频法测量简单，不需要专用仪器，但测量时容易漏掉一些关键点，并且在测频点不多的情况下，绘制出来的幅频特性与电路真实的幅频特性有一定的差距。

## ② 扫频法。

扫频法是利用扫频仪给被测电路输入频率由低到高连续变化的信号，然后将被测电路输出的信号送回扫频仪进行处理，并以图示的方式将幅频特性曲线显示出来。扫频法的测量原理如图23-9所示。

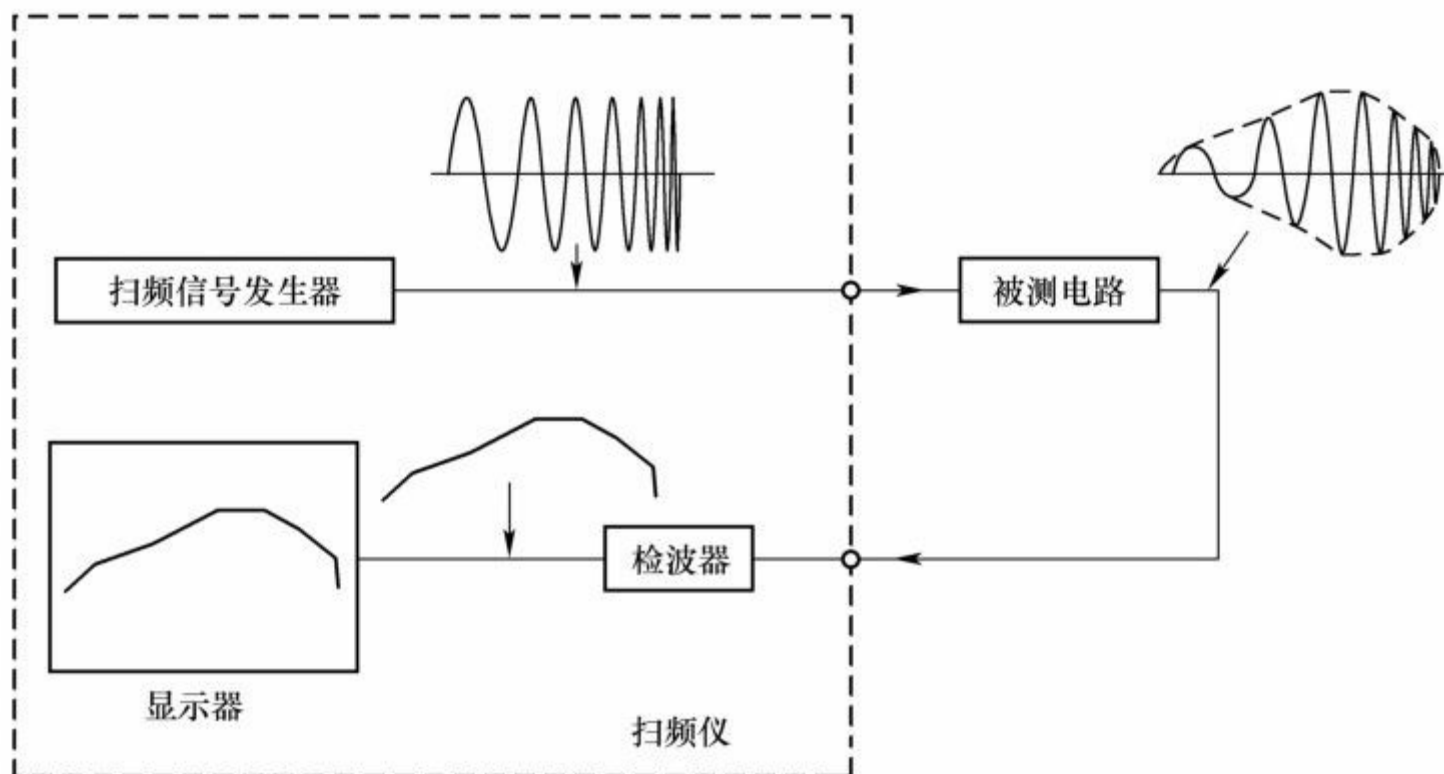


图23-9 扫频法的测量原理说明图



图23-9所示中虚线框内的部分为扫频仪内部示意图。扫频信号发生器输出频率由低到高的信号，这些信号送到被测电路的输入端，经电路后输出。从图23-9中可以看出，这些输出信号中的高、低频部分幅度有一定的减小，它们又送回到扫频仪，经检波器检出其中的包络成分，再送到显示器（显示原理与示波器相同），将幅频特性曲线直观显示出来。

由于扫频仪中的扫频信号发生器能自动产生连续的频率信号，并且扫频仪能将被测电路的幅频特性直观显示出来，所以测量方便快捷。另外，扫频法是动态自动测量，测量的幅频特性更接近被测电路的真实情况。因此在测量电路的幅频特性方面，扫频法得到广泛应用。

2. 扫频仪的结构及工作原理

扫频仪组成框图如图 23-10 所示。扫频仪主要由扫频信号发生器、频标信号产生电路、显示器和检波探头组成。

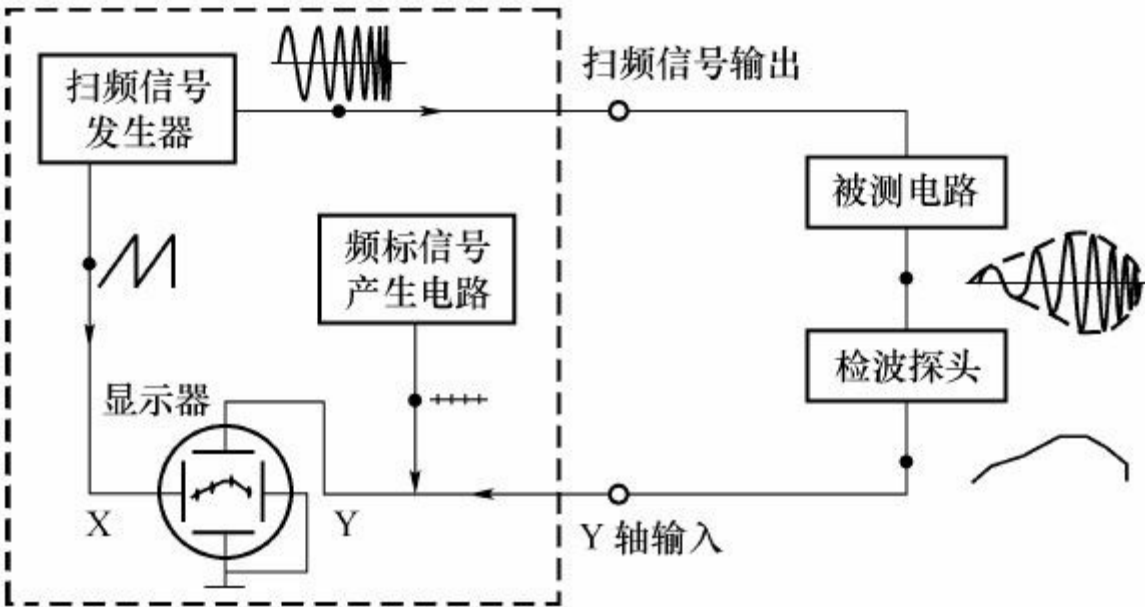


图23-10 扫频仪组成框图

(1) 扫频信号发生器

扫频信号发生器的作用是产生频率由低到高连续变化的扫频信号和锯齿波信号。扫频信号发生器的结构如图23-11所示。

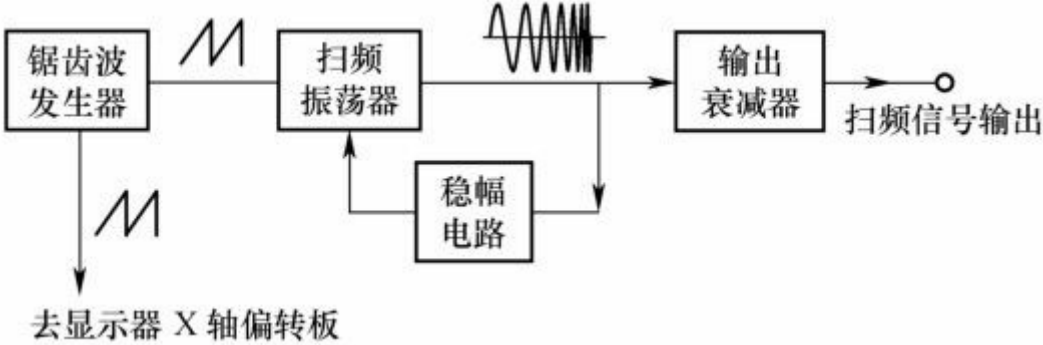


图23-11 扫频信号发生器的结构

锯齿波发生器产生锯齿波电压，它一方面送到显示器的X轴偏转板，另一方面送到扫频振荡器控制其振荡频率。当送到振荡器的锯齿波电压逐渐上升时，振荡器输出的扫频信号频率由低逐渐升高，该信号经输出衰减器衰减后从扫频仪输出。

稳幅电路的作用是稳定扫频振荡器输出信号的幅度。如果振荡器产生的信号幅度大，稳幅电路对幅度大的信号进行处理得到一个控制电压，控制振荡器振荡减弱，输出的信号幅度减小，回到正常幅度。

tyw藏书

(2) 频标信号发生器

频标信号发生器又称频标信号产生电路，它的作用是产生频标信号（频率标尺），以便在显示器上显示频率点。显示器上显示的频标如图23-12所示。

频标显示在屏幕不同的位置表示不同的频率点，频标可以显示在水平扫描线上作为频率标尺，也可以显示在幅频曲线上，在显示器上显示频标可以方便读出在某一频率点或某一段频率范围内的幅频特性。

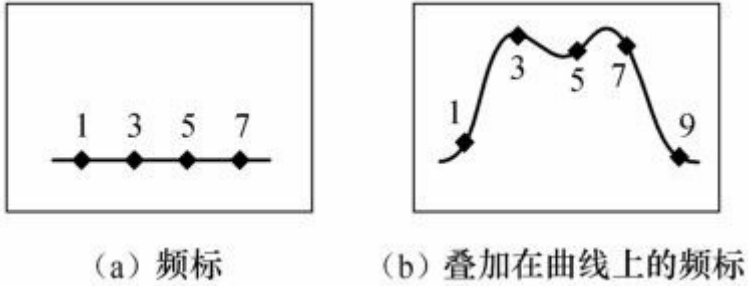


图23-12 显示器上的频标

频标信号发生器的组成如图23-13所示。

标准频率振荡器产生一个标准频率信号，如产生

1MHz的信号，它经谐波发生器后输出基波及各次谐波，如1MHz、2MHz、3MHz、4MHz、5MHz……被送到频标混频器，与此同时，由扫频信号发生器产生的扫频信号也送到频标混频器。下面以2MHz频标为例来说明频标的产生过程。

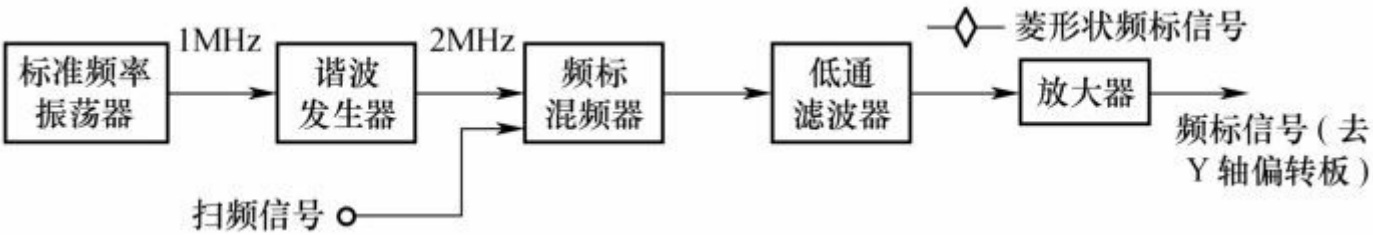


图23-13 频标信号发生器的组成

当扫频信号频率变化到2MHz时，信号被送到频标混频器，与谐波发生器送来的2MHz的谐波信号进行混频差拍，由于两个信号频率相等，差拍得到直流成分，2MHz的谐波信号与2MHz附近扫频信号（略低于和略高于2MHz的信号）差拍会得到低频信号，直流和低频信号由低通滤波器选出，得到一个菱形状的频标信号，经放大器放大后再送到Y轴偏转板，让显示器在屏幕上显示出2MHz的频标。

从上述分析可知，在产生2MHz频标信号时，扫频信号频率也为2MHz，当2MHz扫频信号频率通过被测电路并经检波送到显示器屏幕显示时，频标信号也恰好送到显示器显示，这样在扫频信号2MHz频率处出现2MHz的频标点。

(3) 显示器

扫频仪的显示器与单踪示波器的显示器相同。如图 23-14 所示，在工作时，若只有锯

锯齿电压送到X轴偏转板，Y轴偏转板无电压，电子束仅受到水平方向的电场力作用，会从屏幕左端扫到右端，屏幕上会出现一条水平亮线。若在X轴偏转板上加有锯齿波电压的同时，Y轴偏转板也加有信号电压，则电子束除了受到水平方向的力外，还受到垂直方向的力，电子束在屏幕上的扫描轨迹与Y轴信号电压波形一致。

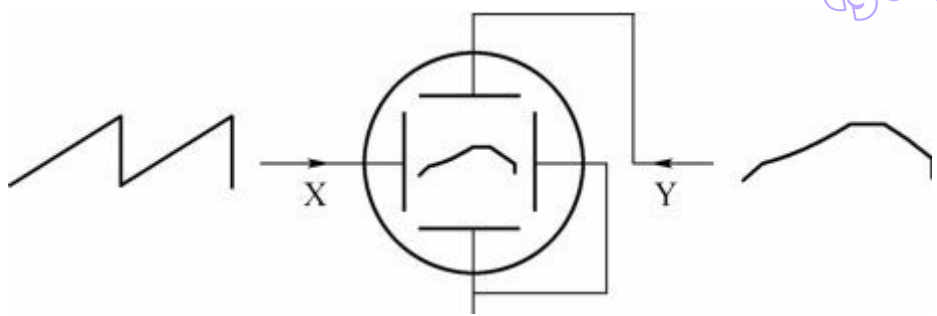


图23-14 扫频仪显示器结构示意图

(4) 检波探头

检波探头是一种内含检波电路的测量探头，它对被测电路的输出信号进行检波，滤掉其中的中高频成分，检出包络信号，再将包络信号送入扫频仪内部显示器的Y轴偏转板。有些扫频仪内部已含有检波电路，无需外接检波探头。

23.2.2 扫频仪的使用方法

扫频仪的型号很多，大多数扫频仪的基本功能是相同的，操作方法大同小异，这里以BT-3G型扫频仪为例来介绍扫频仪的使用。

1. 面板介绍

BT-3G型扫频仪面板如图23-15所示。



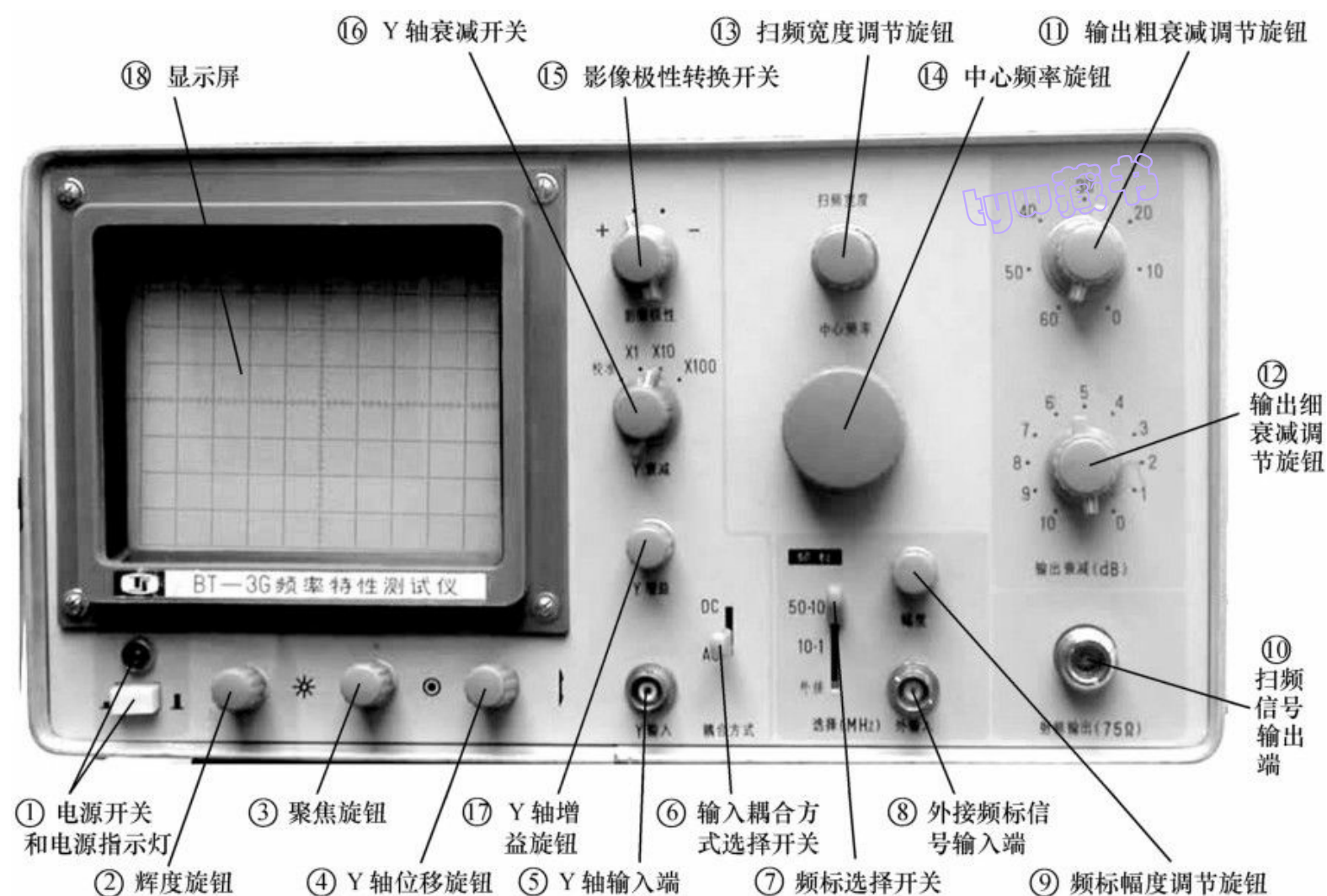


图23-15 BT-3G型扫频仪面板

① 电源开关和电源指示灯。电源开关用来接通和切断电源，电源指示灯用来指示电源通断。

② 辉度旋钮。辉度旋钮用来调节屏幕光迹的亮度。

③ 聚焦旋钮。聚焦旋钮用来调节屏幕光迹的聚焦，使扫描线清晰明亮。

④ Y轴位移旋钮。Y轴位移旋钮用来调节屏幕上的光迹在垂直方向上下移动。

⑤ Y轴输入端。被测电路输出的信号经检波后送入到该插孔。

⑥ 输入耦合方式选择开关。输入耦合方式选择开关用来选择输入信号的耦合方式，有“AC”和“DC”两挡。

⑦ 频标选择开关。频标选择开关有50·10、10·1和外接3挡。当选择“50·10”挡时，显示屏会出现50MHz大频标和10MHz小频标，50MHz大频标之间有间隔为10MHz的多个小频标；当选择“10·1”挡时，显示屏会出现10MHz大频标和1MHz小频标，10MHz大频标之间有间隔为1MHz的多个小频标；当选择“外接”挡时，可以从外接频标信号输入端送入频标信号。

⑧ 外接频标信号输入端。当频标选择开关选择“外接”挡时，可以通过该插孔将外部信号送入仪器作为频标信号。

⑨ 频标幅度调节旋钮。频标幅度调节旋钮用来调节屏幕上频标的幅度。

⑩ 扫频信号输出端。扫频信号输出端用来输出扫频信号。

⑪输出粗衰减调节旋钮。输出粗衰减调节旋钮用来调节输出扫频信号的衰减量（粗调），有0dB、10dB、20dB、30dB、40dB、50dB、60dB共7挡，10dB挡步进。

⑫输出细衰减调节旋钮。输出细衰减调节旋钮用来调节输出扫频信号的衰减量（细调），有0dB、1dB、2dB、3dB、4dB、5dB、6dB、7dB、8dB、9dB、10dB共11挡，1dB挡步进。

⑬扫频宽度调节旋钮。扫频宽度调节旋钮用来调节屏幕上频标之间的距离，扫描显示的特性曲线也会水平方向展宽或收缩。

⑭中心频率旋钮。中心频率旋钮用来调节屏幕频标的位置，它与示波器的X轴位移旋钮相似，在调节时，屏幕上的频标会在水平方向移动。

⑮影像极性转换开关。影像极性转换开关用来调节屏幕图形显示形式，它有“+”和“-”两挡。当选择“+”时，图形正常显示；当选择“-”时，图形像经过镜子一样反向显示。

⑯Y轴衰减开关。Y轴衰减开关用来调节Y轴输入端送入信号的衰减量，采用步进调节。

⑰Y轴增益旋钮。Y轴增益旋钮用来调节Y轴输入端送入信号的增益，采用连续调节。

⑱显示屏。

## 2. 扫频仪的检查与调整

BT-3G型扫频仪的扫描范围为2Hz~300MHz，中心频率为2Hz~250MHz，扫频宽度最宽大于100MHz，最窄小于1MHz。为了让测量更准确，扫频仪在使用时一般要先进行检查与调整，然后再进行各种测量。

BT-3G型扫频仪的检查与调整过程如下。

第1步：接通220V电源，并按下面板上的电源开关，指示灯亮。

第2步：调节辉度旋钮和聚焦旋钮，使屏幕上的水平扫描线明亮清晰。

第3步：根据测量需要，将影像极性转换开关置“+”或“-”，将输入耦合方式选择开关置于“AC”或“DC”。

第4步：进行零频率标记识别和频标检查。具体过程如下。

①将频标选择开关置于“10·1”挡，将扫频宽度和频标幅度调到适中，再顺时针旋转中心频率旋钮，扫描线上的频标向右移动，当顺时针旋到底时屏幕上应出现零频标。零频标的特征是：它的左侧有一幅度较小的频标为识别标志，零频标右侧第1个为2MHz频标。确定了零频标后，向右依次是2MHz、3MHz、4MHz……频标，满10出现一个大频标，如图23-16所示。然后逆时针旋转中心频率旋钮，屏幕上的频标向左移动，从零频标起至300MHz各个频标应该清晰分明。

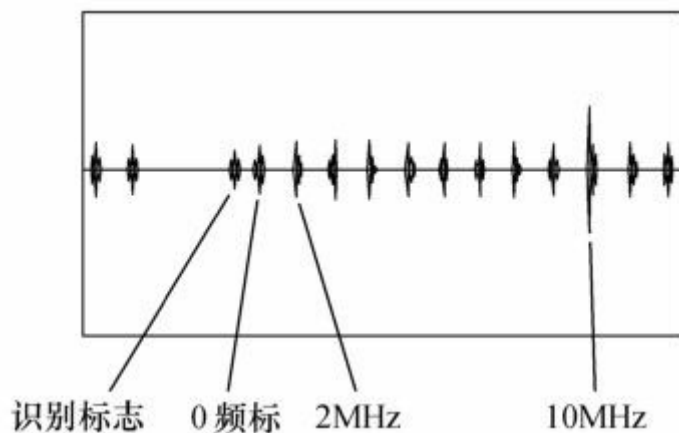


图23-16 零频标识别

② 将频标选择开关置于“50·10”挡，左右调节中心频率旋钮，在全频段内每间隔50MHz会出现一个大频标，各个频标应该清晰分明。

③ 检查外接频标时，将频标选择开关置于“外接”挡，在外接频标信号输入端送入30MHz的连续波信号，输入幅度约0.5V，此时在显示屏上应出现指示30MHz的菱形标记。

第5步：进行扫频信号和扫频宽度的检查。

将扫频仪的Y轴衰减开关置于“0dB”、机箱底部通/断开关置于“通”、频标选择开关置于“10·1”位置，然后将一根75Ω射频电缆（配件）一端接仪器的扫频信号输出端，另一端接低阻检波器“75Ω”输入端。低阻检波器如图23-17所示。再用一根50Ω电缆将低阻检波器输出端与扫频仪Y轴输入端连接起来，调整Y轴增益旋钮，在显示屏幕上会出现如图23-18所示的图形（类似方框）。再旋转中心频率旋钮，屏幕上的扫频线和频标都相应地跟着移动，在整个扫频范围内扫频线应不产生较大的起伏。



图23-17 低阻检波器

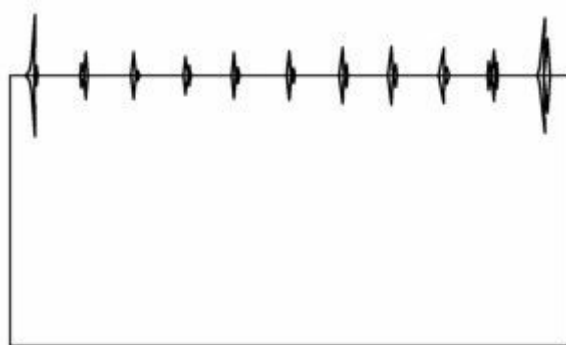


图23-18 扫频信号和扫描宽度的检查

第6步：检查扫频线性。

将频标选择开关置于“50·10”挡，调节扫频宽度旋钮，使扫频宽度为100MHz，调节中



$$\pm \frac{(A-B)}{A+B} \times 100\%$$

心频率旋钮使频标位置如图23-19所示，则扫频线性应小于±10%。

第7步：检查扫频信号平坦度和衰减器。

仍将频标选择开关置于“50·10”挡，调节扫频宽度调节旋钮，使扫频宽度为 100MHz，然后将衰减开关置于“0dB”，调节 Y 轴位移旋钮，使扫描基线显示在屏幕的底线上。再调节 Y 轴增益旋钮，让带有标记的信号线离底线轴约6DIV，调节中心频率旋钮，自零频标至300MHz找出最大幅度为A，增加1dB衰减时，记下幅度A跌落至B，然后将衰减开关调回到为“0dB”，这时在全频段（2~300MHz）内，扫频电压波动应落在A和B之间，如图 23-20所示。

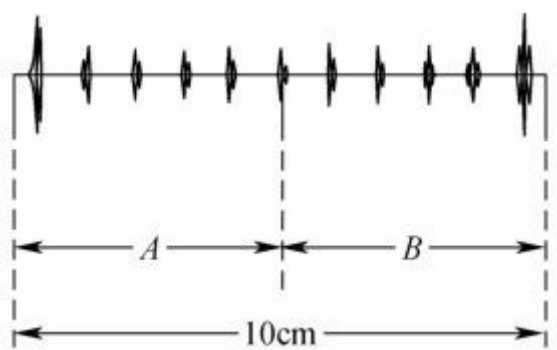


图23-19 扫频线性的检查

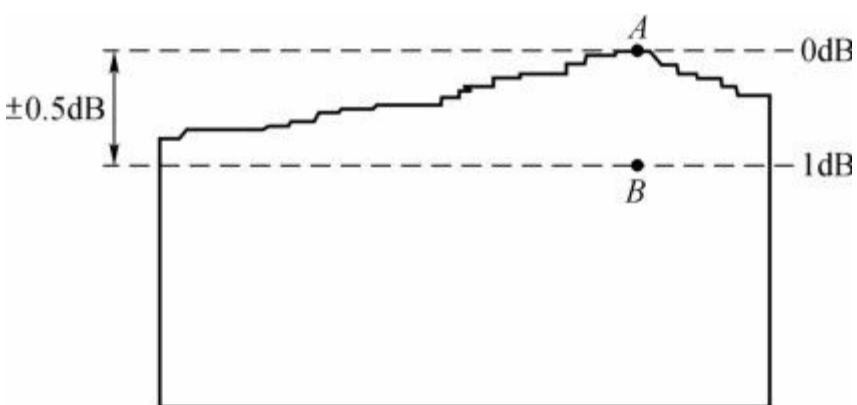


图23-20 扫频信号平坦度和衰减器的检查

第8步：测量输出电平。

- ① 将扫频仪粗、细衰减调节旋钮均置于“0dB”，把中心频率调到150MHz，扫频宽度调到最小。将机箱底部通/断开关置于“断”位置。
- ② 找一台超高频毫伏表，将其量程置于“1V”挡，并将它与扫频仪的扫频信号输出端相连，测量扫频仪输出信号的大小，正常测得输出电压应为0.3V。测毕后，通/断开关仍恢复于“通”位置。

### 3. 扫频仪的使用举例

下面以测量一个放大器的增益和带宽为例来说明BT-3G型扫频仪的使用方法。

#### (1) 放大电路增益的测量

放大电路的增益测量步骤如下。

第1步：进行0dB校正。先将75Ω的射频电缆一端连接扫频信号输出插孔，另一端接低

阻检波器“75Ω”输入端，然后用50Ω的检波电缆把低阻检波器输出端与扫频仪的Y轴输入端连接，再将输出衰减调节旋钮置于“0dB”挡，Y轴衰减开关置“校正”挡，调节Y轴增益旋钮，让扫频电压线与基线之间的距离为整数格H（一般取 $H = 5\text{DIV}$ ）。

第2步：将经过0dB校正的扫频仪与被测电路连接好，如图23-21所示。

第3步：调节衰减并读出测量值。保持Y轴增益旋钮不动，调节输出粗、细衰减调节旋钮，使屏幕显示的幅频特性曲线的幅度正好为H，则输出衰减的分贝值就等于被测电路的增益。例如，粗调衰减为30dB，细衰减为3dB，则增益 $A = 33\text{dB}$ 。

(2) 放大电路带宽的测量

放大电路的带宽测量步骤如下。

第1步：将被测放大电路与扫频仪连接好。连接方法如图23-21所示。

第2步：从屏幕上读出幅频特性曲线的下限频率 $f_L$ 与上限频率 $f_H$ ，再计算出放大电路的带宽将频标选择开关置于“10·1”，然后调节中心频率旋钮和扫频宽度调节旋钮，从屏幕上显示的幅特性曲线上找到下限频率 $f_L$ 与上限频率 $f_H$ ，再根据带宽 $BW = f_H - f_L$ ，就能算出放大电路的带宽。

例如，从图23-22所示的幅频特性曲线上，读出曲线中频段左侧弯曲下降到0.707所对应处为下限频率  $f_L = 48\text{MHz}$ 、曲线右端弯曲段下降到 0.707 所对应处为上限频率  $f_H = 56\text{MHz}$ ，则 $BW = 56\text{MHz} - 48\text{MHz} = 8\text{MHz}$ 。

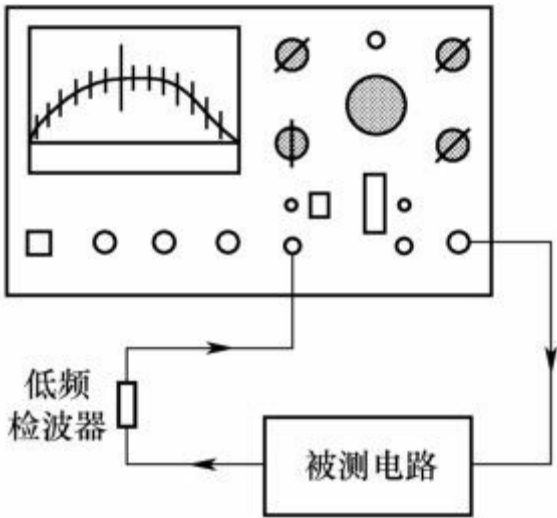


图23-21 放大电路增益的测量

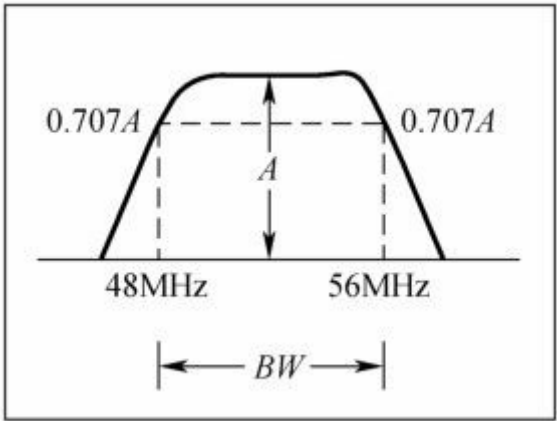


图23-22 根据幅频特性曲线计算带宽