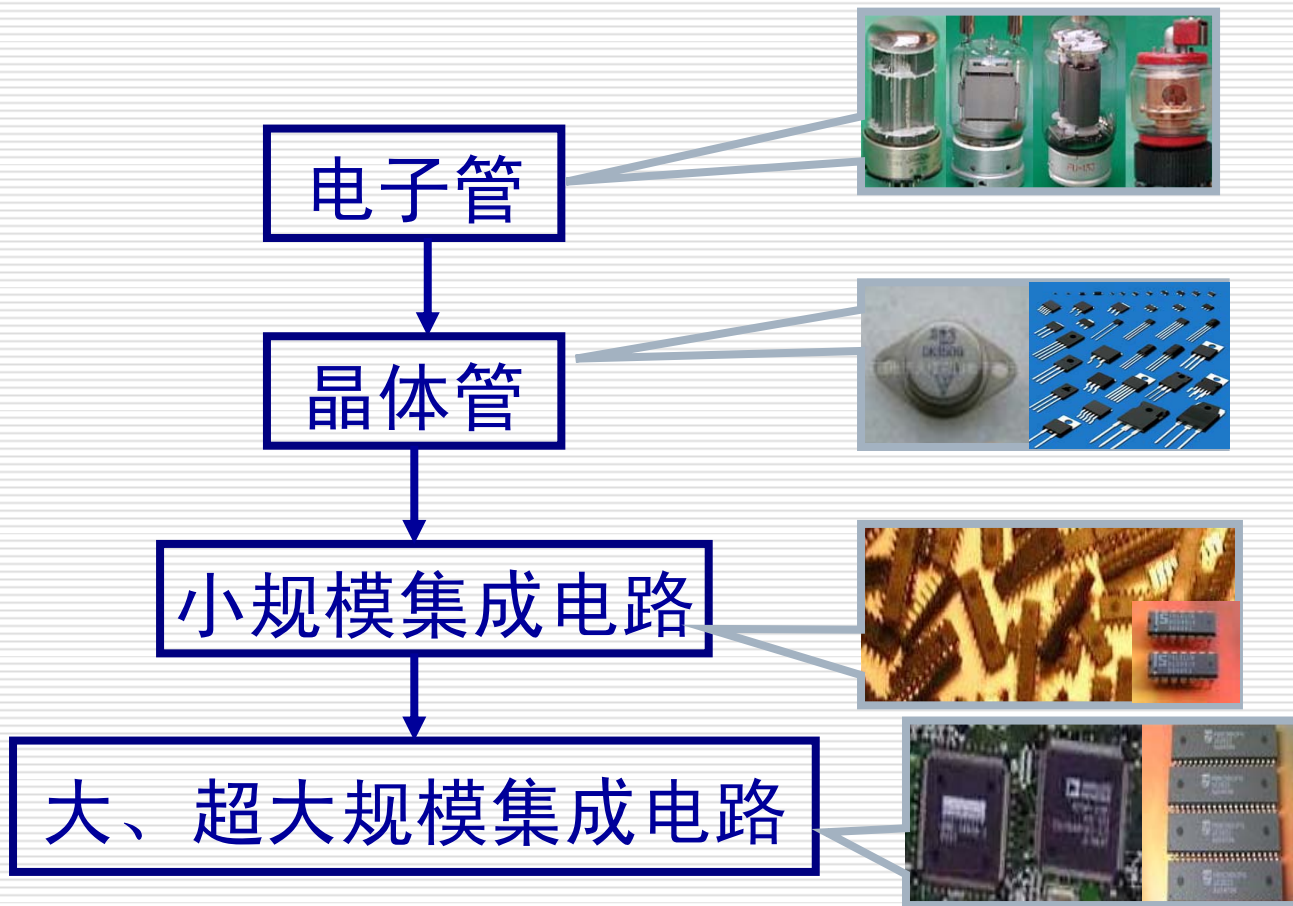


电工电子技术基础知识

1. 电子技术的发展
2. 主要学习内容
3. 电路基础知识
4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. 电子技术的发展



2. 主要学习内容

电工技术

电路的基本知识、基本定理、分析方法和常用元件、测量仪器的使用。

电子技术

常见的模拟电路、数字电路的分析设计，常用的集成元器件的使用，电路的综合设计方法。

3. 电路基础知识

- 3.1 欧姆定律
- 3.2 基尔霍夫定律
- 3.3 电源有载工作、开路及短路
- 3.4 电位的概念

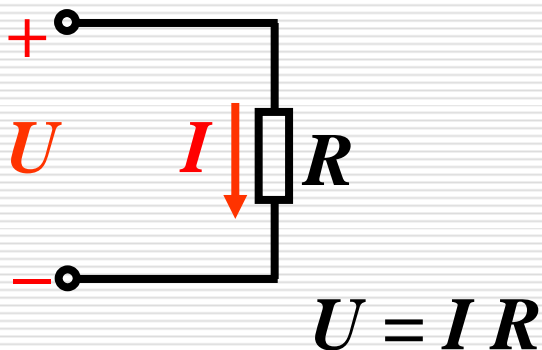
3. 电路基础知识

3.1 欧姆定律

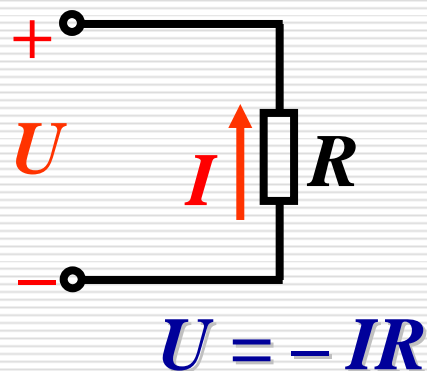
1. 欧姆定律:

通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比

U 、 I 参考方向相同时



U 、 I 参考方向相反时

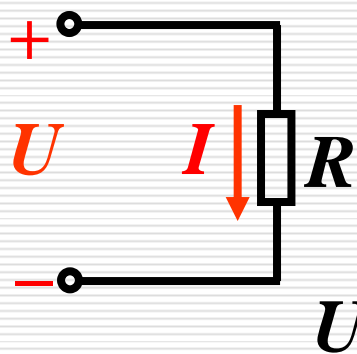


通常取 U 、 I 参考方向相同。

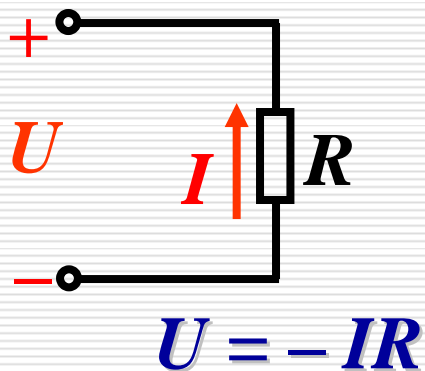
3. 电路基础知识

3.1 欧姆定律

U 、 I 参考方向相同时



U 、 I 参考方向相反时



- ① 式前的正负号由 U 、 I 参考方向的关系确定；② U 、 I 值本身的正负则说明实际方向与参考方向之间的关系。

3. 电路基础知识

3.1 欧姆定律

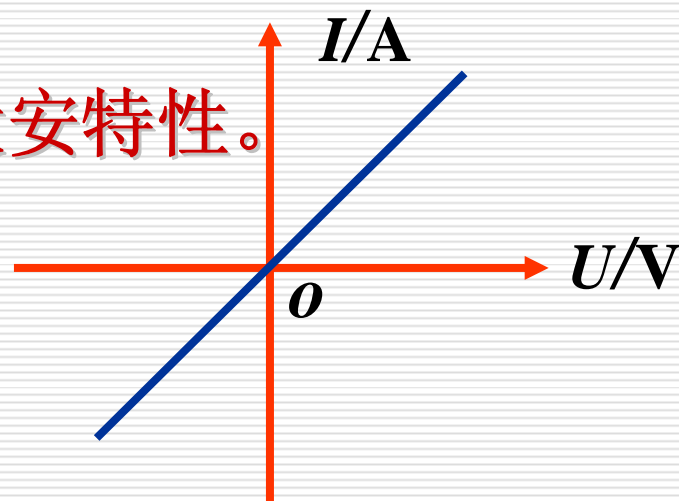
线性电阻的概念：

遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻，它表示该段电路电压与电流的比值为常数。

$$\text{即： } R = \frac{U}{I} = \text{常数}$$

电路端电压与电流的关系称为伏安特性。

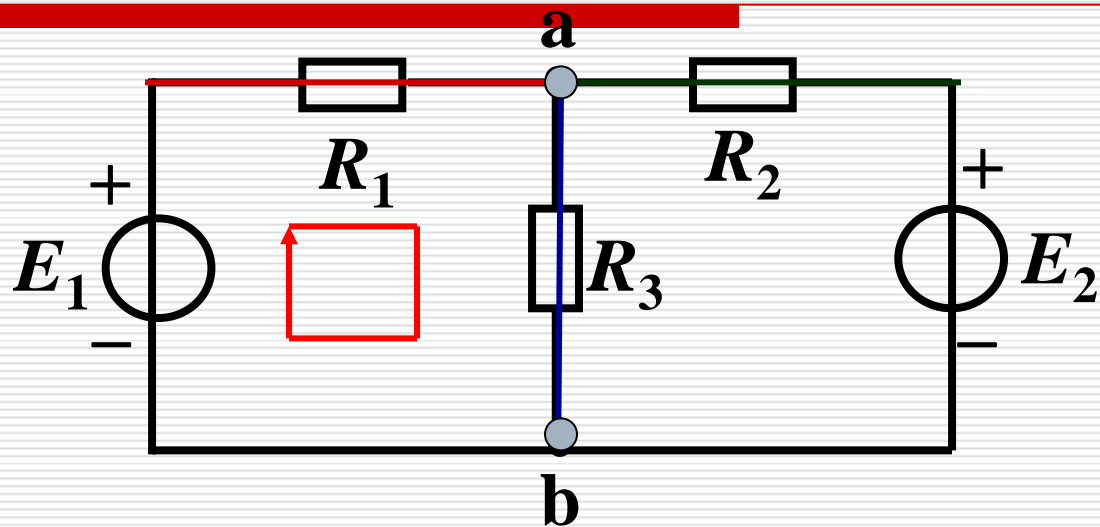
线性电阻的伏安特性
是一条过原点的直线。



线性电阻的伏安特性
电工与电子技术基础

3. 电路基础知识

3.2 基尔霍夫定律



支路： 电路中的每一个分支。

一条支路流过一个电流，称为支路电流。

结点： 三条或三条以上支路的联接点。

回路： 由支路组成的闭合路径。

3. 电路基础知识

3.2 基尔霍夫定律

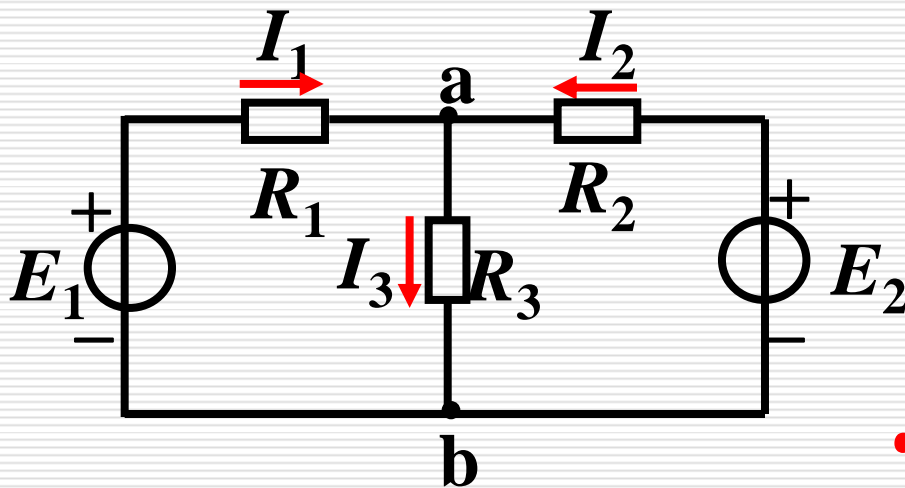
基尔霍夫电流定律：在任一瞬间，流向任一结点的电流等于流出该结点的电流。即： $\sum I_{\lambda} = \sum I_{\text{出}}$

或： $\sum I = 0$

对结点 **a**： $I_1 + I_2 = I_3$

或 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

♣ **实质**：电流连续性的体现。



基尔霍夫电流定律（**KCL**）反映了电路中任一结点处各支路电流间相互制约的关系。

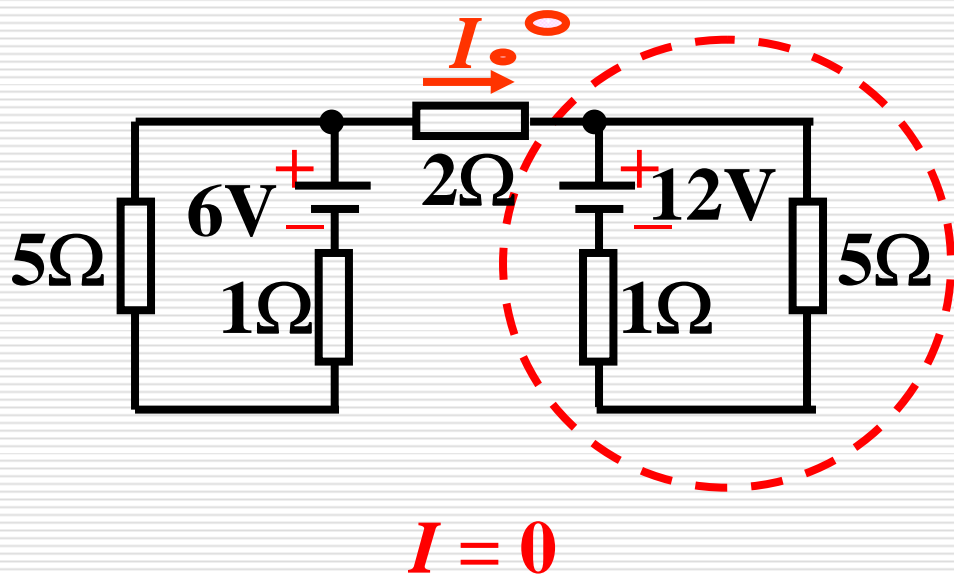
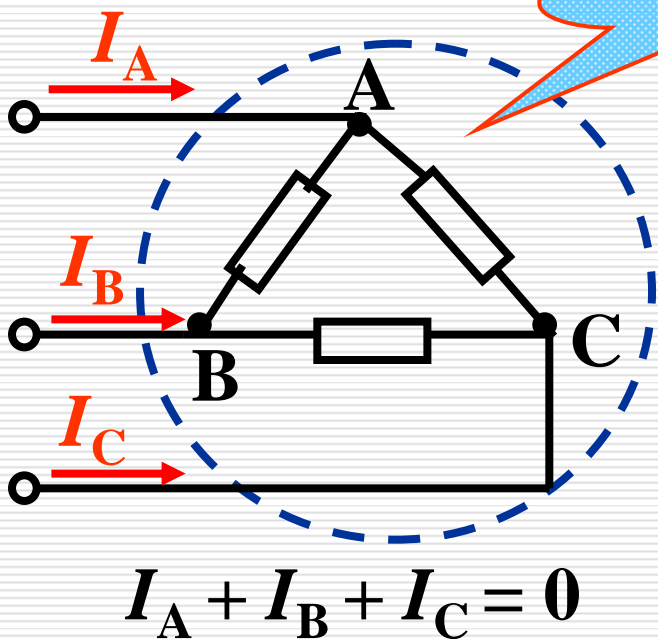
3. 电路基础知识

3.2 基尔霍夫定律

电流定律可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面——通过任意闭合平面电流代数和为零

例:

广义结点

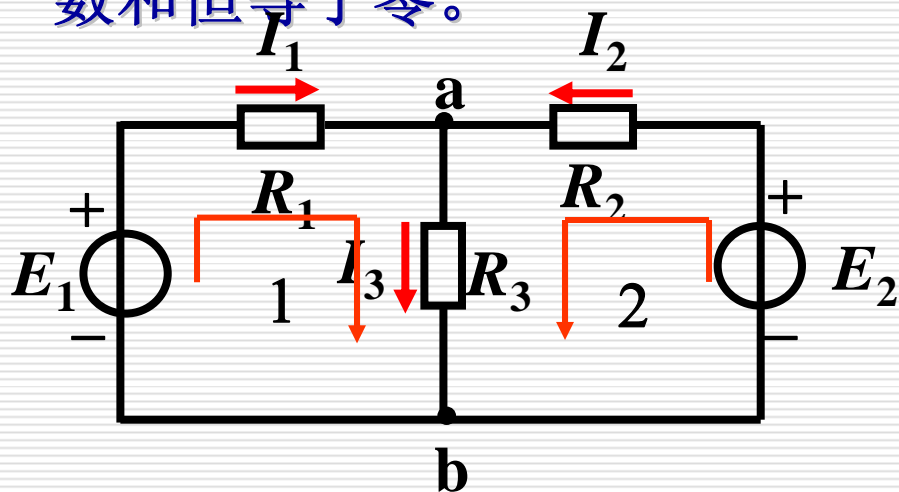


3. 电路基础知识

3.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫电压定律： 在任一瞬间，从回路中任一点出发，沿回路循行一周，则在这个方向上电位升之和等于电位降之和。

在任一瞬间，沿任一回路循行方向，回路中各段电压的代数和恒等于零。



对回路1: $E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$

或 $I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_1 = 0$

对回路2: $I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$

或 $I_2 R_2 + I_3 R_3 - E_2 = 0$

基尔霍夫电压定律 (KVL) 反映了电路中任一回路中各段电压间相互制约的关系。

3. 电路基础知识

3.2 基尔霍夫定律

1. 列方程前**标注**回路循行方向；
2. 应用 $\sum U = 0$ 列方程时，项前符号的确定：
如果规定电位降取正号，则电位升就取负号。
3. 开口电压可按回路处理

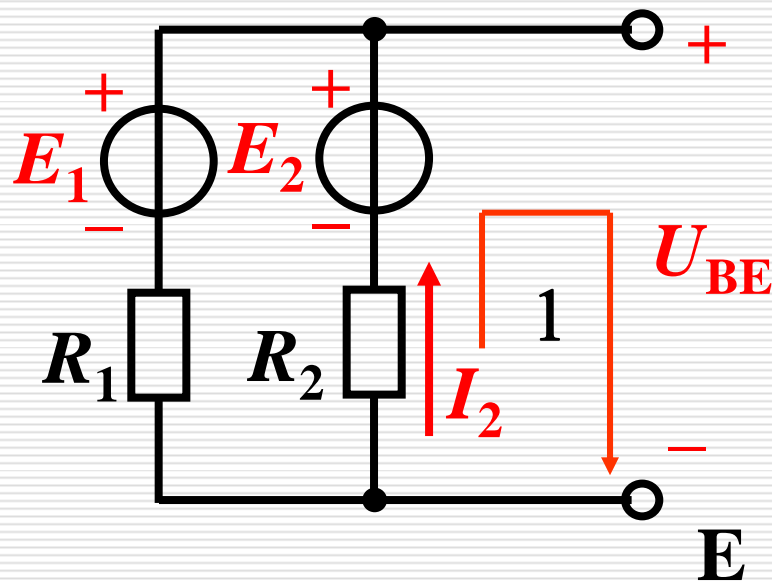
对回路1:

电位升 = 电位降

$$E_2 = U_{BE} + I_2 R_2$$

$$\sum U = 0$$

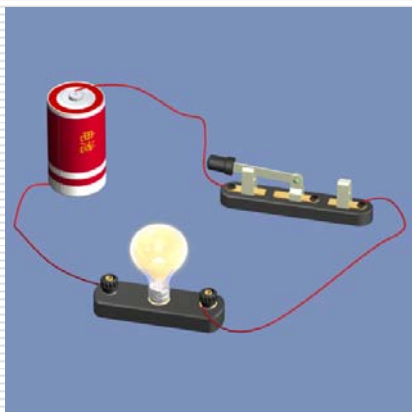
$$I_2 R_2 - E_2 + U_{BE} = 0$$



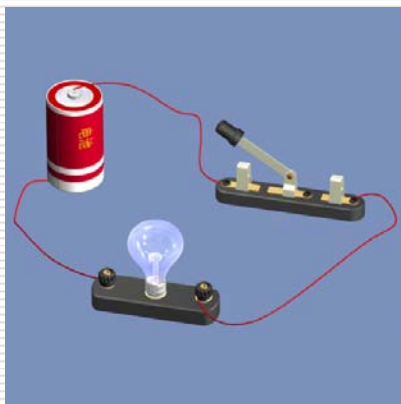
3. 电路基础知识

3.3 电源有载工作、开路及短路

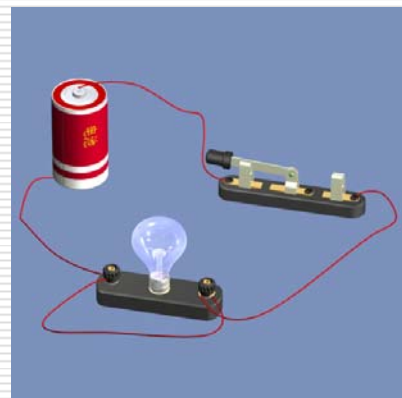
- 1.有载工作：电源与负载构成闭合回路，有电流通过。
- 2.开路：电路断开，电路中无电流通过。开路也叫断路。
- 3.短路：短路是电源未经负载而直接由导体构成闭合回路。



有载工作



开路



短路

3. 电路基础知识

3.3 电源有载工作、开路及短路

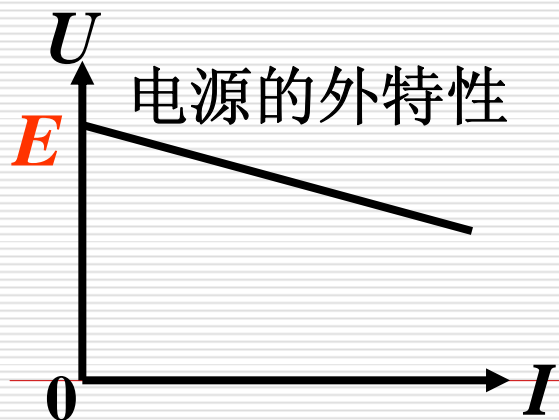
开关闭合,接通电源与负载

特征:

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

① 电流的大小由负载决定。

$$U = IR \quad \text{负载端电压} \quad \text{或} \quad U = E - IR_0$$



② 在电源有内阻时, $I \uparrow \rightarrow U \downarrow$ 。

当 $R_0 \ll R$ 时, 则 $U \approx E$, 表明当负载变化时, 电源的端电压变化不大, 即带负载能力强。

3. 电路基础知识

3.3 电源有载工作、开路及短路

开关闭合,接通电源与负载。

特征:

$$I = \frac{E}{R_0 + R}$$

$$U = IR \quad \text{负载端电压}$$

$$P = P_E - \Delta P$$

负载
取用
功率

电源
产生
功率

内阻
消耗
功率

① 电流的大小由负载决定。

$$\text{或 } U = E - IR_0$$

② 在电源有内阻时, $I \uparrow \rightarrow U \downarrow$ 。

$$UI = EI - I^2R_0$$

③ 电源输出的功率由负载决定。

负载大小的概念:

负载增加指负载取用的
电流和功率增加(电压一定)。

3. 电路基础知识

3.3 电源有载工作、开路及短路

电源与负载的判别

1. 根据 U 、 I 的实际方向判别

电源： U 、 I 实际方向相反，即电流从“+”端流出，
(发出功率)；

负载： U 、 I 实际方向相同，即电流从“+”端流入。
(消耗功率)。

2. 根据 U 、 I 的参考方向判别

U 、 I 参考方向相同， $P = UI > 0$ ，**负载**； $P = UI < 0$ ，**电源**。

U 、 I 参考方向不同， $P = UI > 0$ ，**电源**； $P = UI < 0$ ，**负载**。

3. 电路基础知识

3.3 电源有载工作、开路及短路

电气设备的额定值

额定值：电气设备在正常运行时的规定使用值

1. 额定值反映电气设备的使用安全性；
2. 额定值表示电气设备的使用能力。

例：灯泡： $U_N = 220\text{V}$ ， $P_N = 60\text{W}$

电阻： $R_N = 100\Omega$ ， $P_N = 1\text{W}$

电气设备的三种运行状态

额定工作状态： $I = I_N$ ， $P = P_N$ (经济合理安全可靠)

过载(超载)： $I > I_N$ ， $P > P_N$ (设备易损坏)

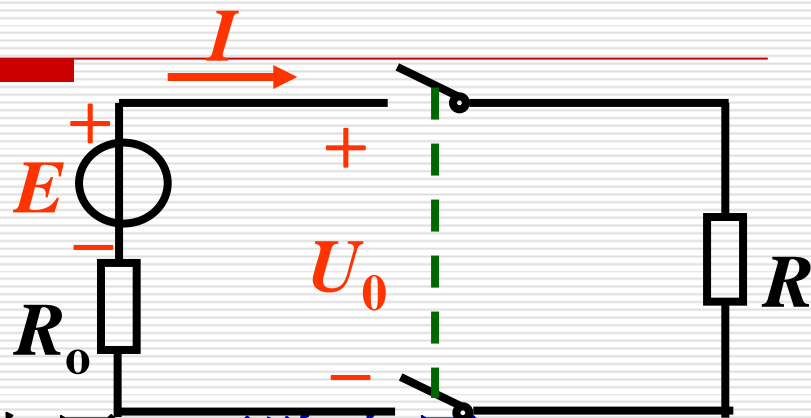
欠载(轻载)： $I < I_N$ ， $P < P_N$ (不经济)

3. 电路基础知识

3.3 电源有载工作、开路及短路

开路——开关 断开

特征: $\begin{cases} I = 0 \\ U = U_0 = E \\ P = 0 \end{cases}$ 电源端电压 (开路电压) 负载功率

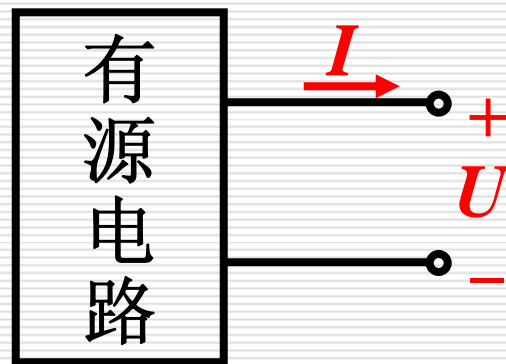


电路中某处断开时的特征:

1. 开路处的电流等于零;

$$I = 0$$

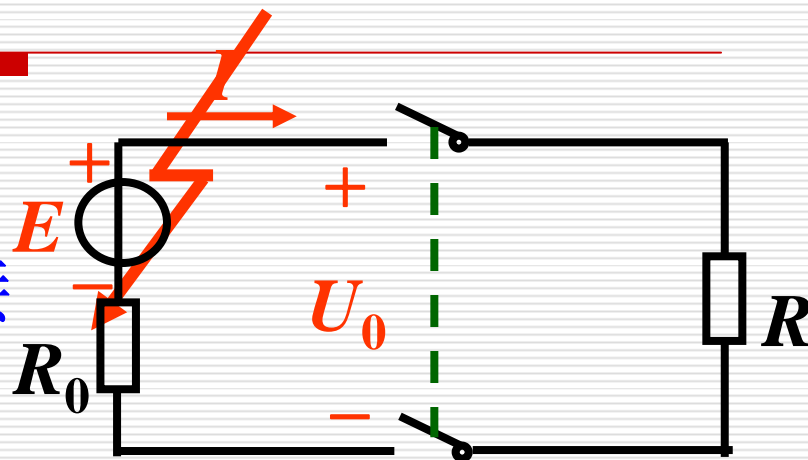
2. 开路处的电压 U 视电路情况而定。



3. 电路基础知识

3.3 电源有载工作、开路及短路

短路——电源外部端子被短接



特征:

$$I = I_s = \frac{E}{R_0}$$

$$U = 0$$

$$P = 0$$

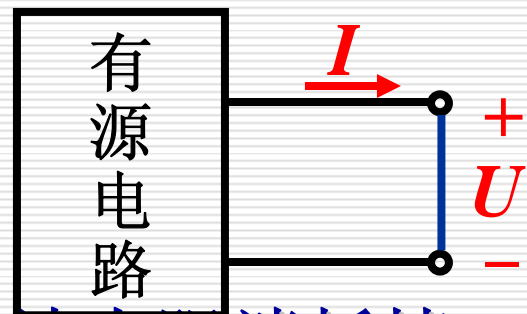
$$P_E = \Delta P = I^2 R_0$$

短路电流 (很大)

电源端电压

负载功率

电源产生的能量全被内阻消耗掉



3. 电路基础知识

3.3 电源有载工作、开路及短路

电路在三种状态下各物理量的关系

电路状态	电流	电压	电源消耗功率	负载功率
断路	$I = 0$	$U = E$	$P_E = 0$	$P_R = 0$
有载	$I = \frac{E}{R + r}$	$U = E - Ir$	$P_E = EI$	$P_R = UI$
短路	$I = I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$	$U = 0$	$P_E = I_{\text{短}}^2 r$	$P_R = 0$

r 为电源内阻，即前面所说的 R_0

3. 电路基础知识

3.4 电位的概念

电位的概念

电位：电路中某点至参考点的电压，记为“ V_x ”。

通常设参考点的电位为零。

某点电位为正，说明该点电位比参考点高；

某点电位为负，说明该点电位比参考点低。

电位的计算步骤：

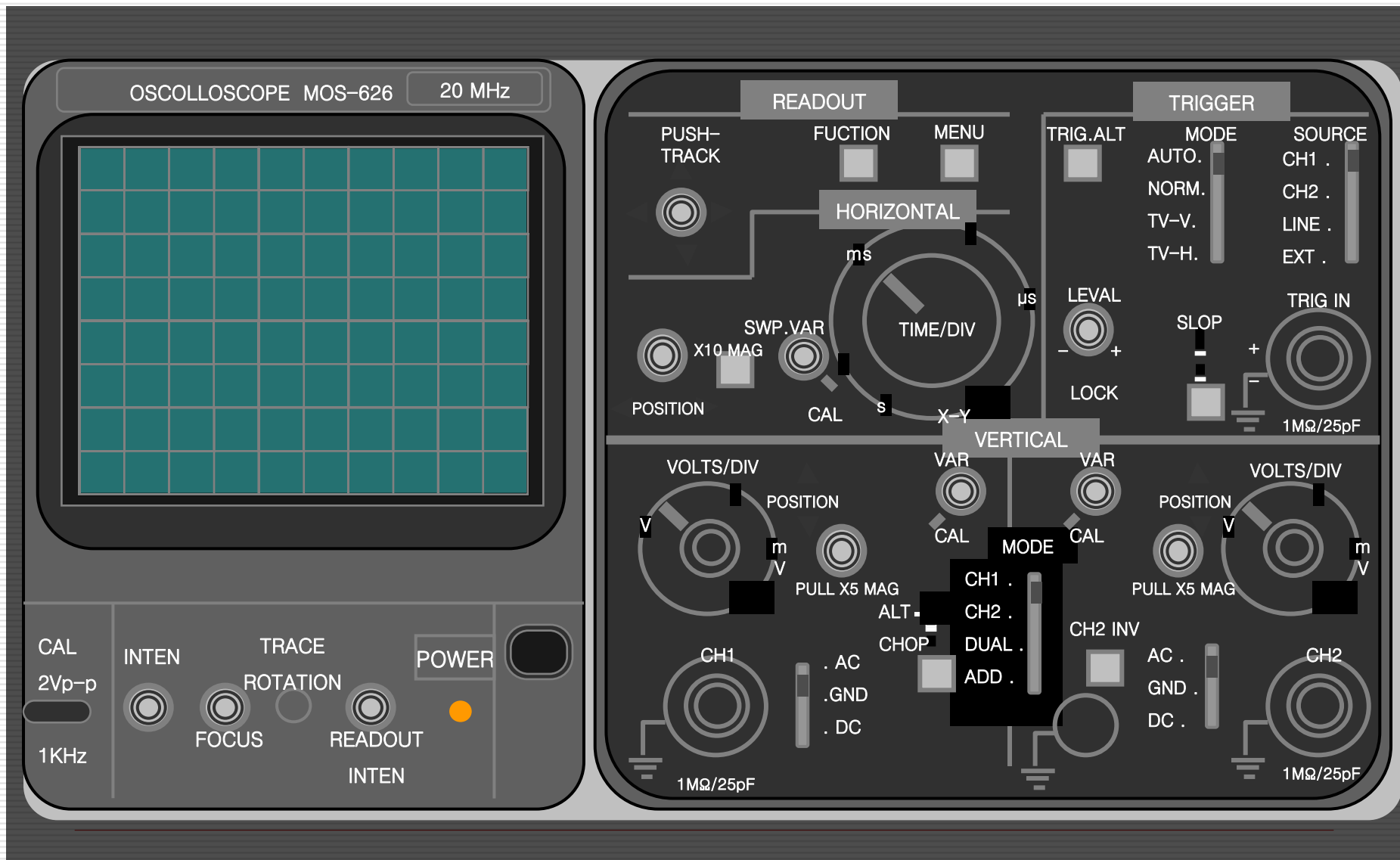
- (1) 任选电路中某一点为参考点，设其电位为零；
- (2) 标出各电流参考方向并计算；
- (3) 计算各点至参考点间的电压即为各点的电位。

3. 电路基础知识

3.4 电位的概念

- (1) 电位值是相对的，参考点选取的不同，电路中各点的电位也将随之改变；
- (2) 电路中两点间的电压值是固定的，不会因参考点的不同而变，即与零电位参考点的选取无关。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用的



示波器显示屏与操作面板

电工与电子技术基础

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. 示波器主要技术指标

(1) 频带宽度BW和上升时间 t_r

示波器的频带宽度BW一般指Y通道的频带宽度。即垂直偏转通道对正弦波的幅频响应下降到中心频率的0.707时的频率范围。

上升时间 t_r 是一个与频带宽度BW相关的参数，表示由于示波器Y通道的频带宽度的限制，反映了示波器Y通道跟随输入信号快速变化的能力。

$$t_r[\mu s] \approx \frac{0.35}{BW[MHz]}, \text{ 或 } t_r[ns] \approx \frac{0.35}{BW[MHz]} \times 10^3$$

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. 示波器主要技术指标

(2) 扫描速度

扫描速度是指荧光屏上单位时间内光点水平移动的距离，单位为“cm/s”。

荧光屏上通常用间隔1cm的坐标线作为刻度线，因此扫描速度的单位也可表示为“cm/div”。

扫描速度的倒数称为“时基因数”，它表示单位距离代表的时间，单位为“t/cm”或“t/div”，时间t可为 μs 、ms或s，在示波器的面板上，通常按“1、2、5”的顺序分成很多档。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

4. 示波器主要技术指标

(3) 偏转因数

偏转因数指在输入信号作用下，光点在荧光屏上的垂直（Y）方向移动1cm（即1格）所需的电压值，单位为“V/cm”、“mV/cm”（或“V/div”、“mV/div”）。

偏转因数表示了示波器Y通道的放大/衰减能力。

偏转因数的倒数称为“（偏转）灵敏度”。即单位输入电压引起光点在荧光屏上偏转的距离。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

4. 示波器主要技术指标

(4) 输入阻抗

指示波器输入端对地的电阻和分布电容的并联阻抗 Z_i ,当被测信号接入示波器时,输入阻抗 Z_i 形成被测信号的等效负载。

(5) 输入方式

即输入耦合方式,一般有直流(DC)、交流(AC)和接地(GND)三种,可通过示波器面板选择。

(6) 触发源选择方式

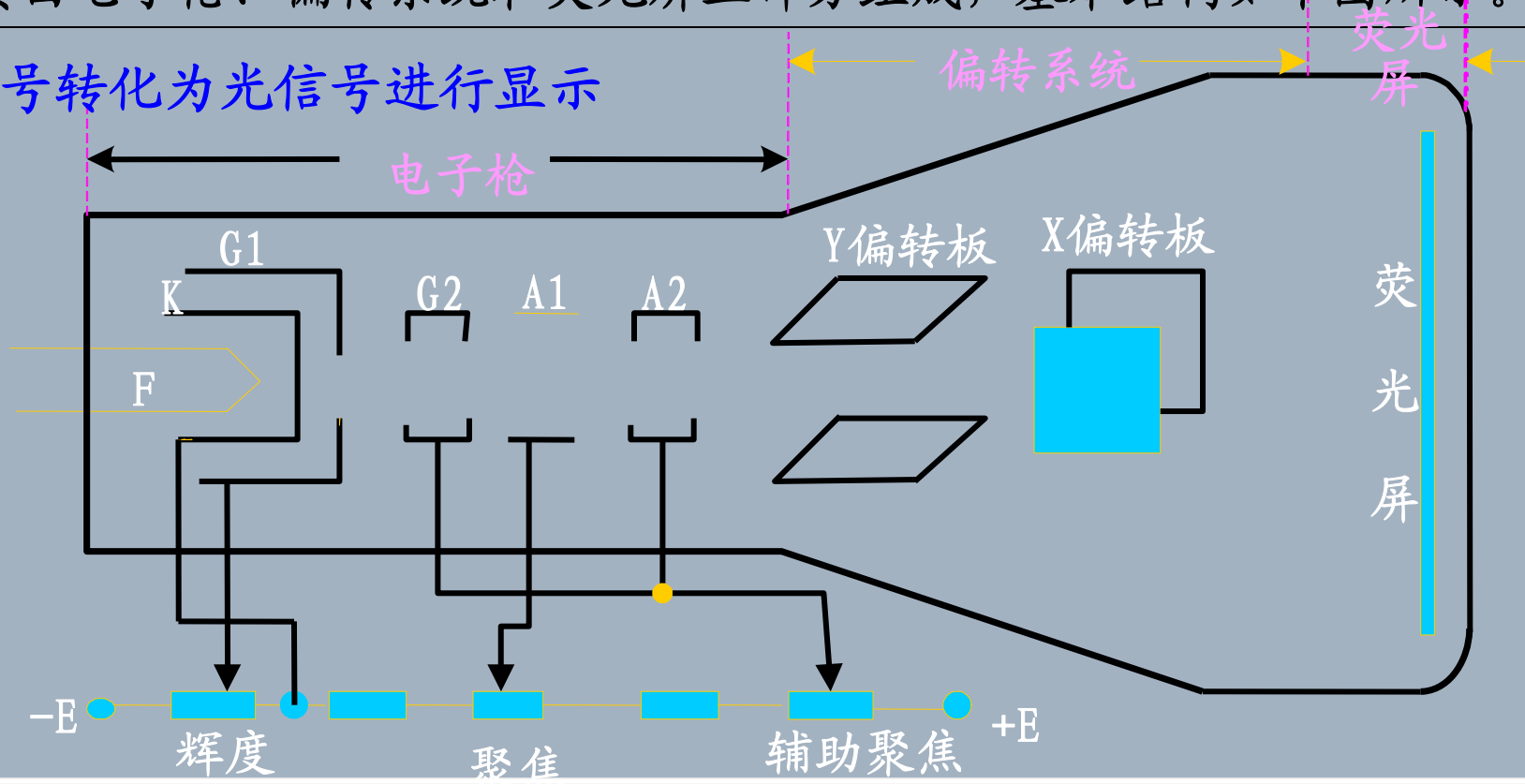
触发源是指用于提供产生扫描电压的同步信号来源,一般有内触发(INT)、外触发(EXT)、电源触发(LINE)三种。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

阴极射线示波管（CRT）是示波器的核心部件之一

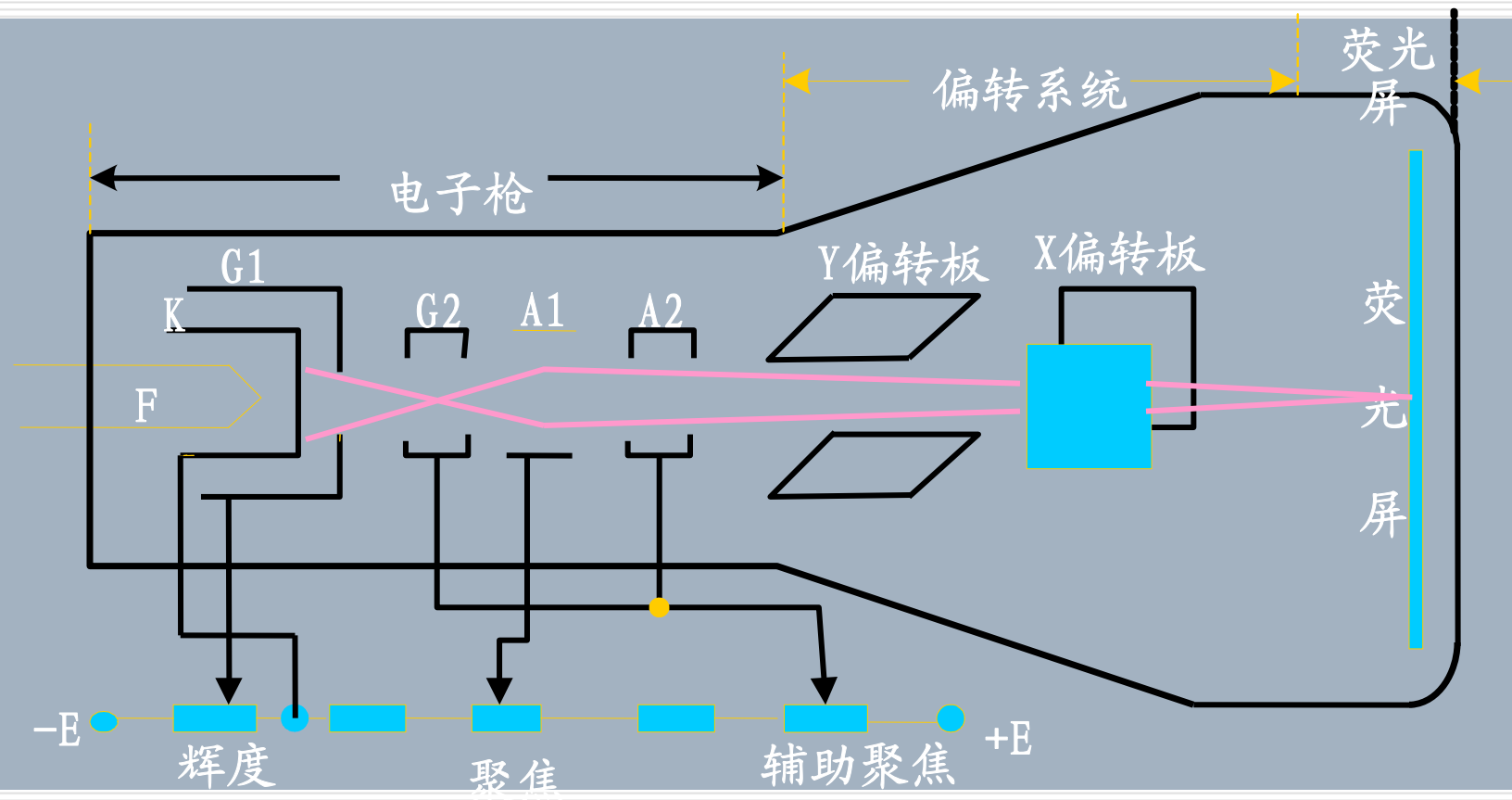
CRT主要由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成，基本结构如下图所示。

将电信号转化为光信号进行显示



电工与电子技术基础

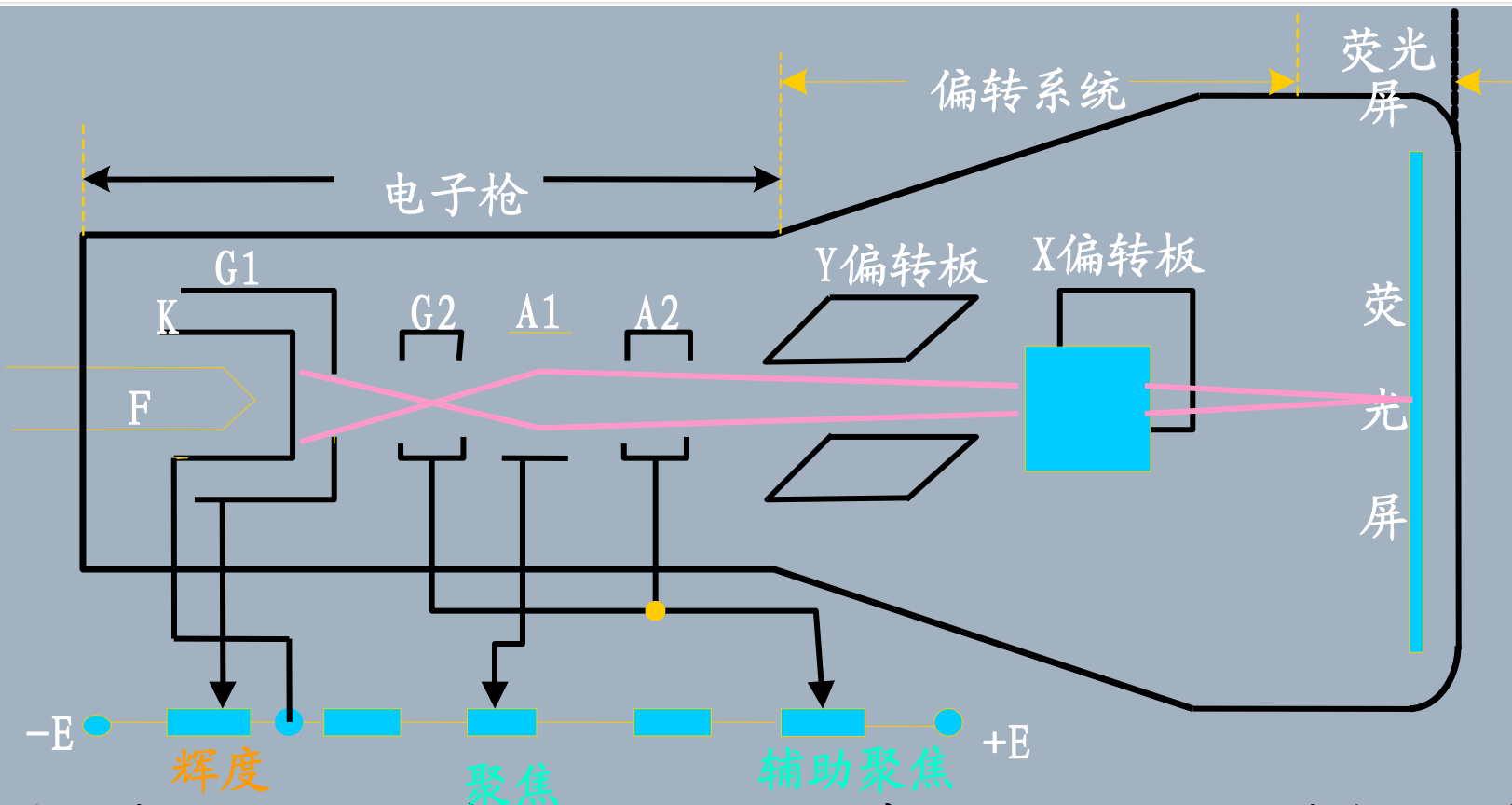
4. 仪器使用—示波器的结构和使用的



(1) 电子枪由灯丝F、阴极K、栅极G1和G2和阳极A1、A2组成。其作用是发射电子并形成很细的高速电子束。

灯丝被加热后，表面涂有金属氧化物的阴极K受热发射大量电子，在阳极高压的吸引下，形成电子束，通过控制栅G1上的小孔射向荧光屏。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用的



通过调节栅极G1对K的负电位可控制电子束的强弱，从而调节光点的亮度，即进行“辉度控制”。

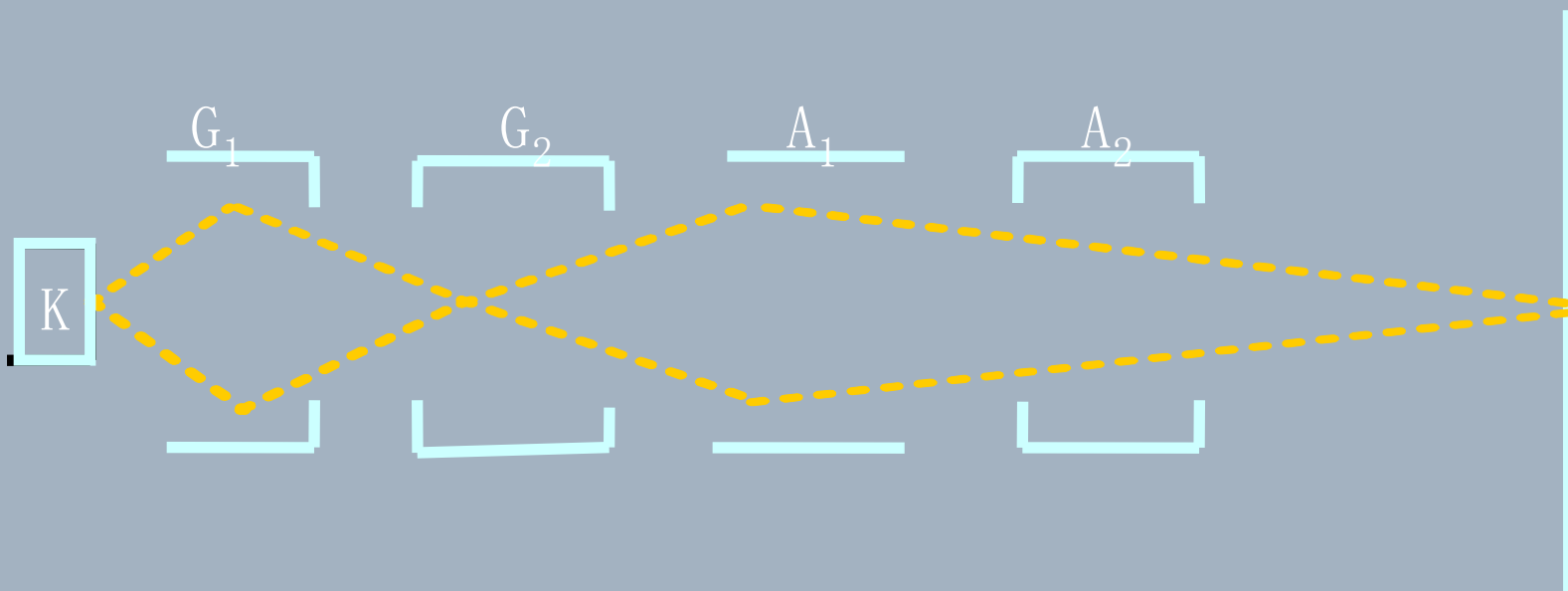
调节第一个阳极A1的电位器称为“聚焦”旋钮，通过对它进行调节可调节G2与A1和A1与A2之间的电位；调节A2电位的旋钮称为“辅助聚焦”。

电工与电子技术基础

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

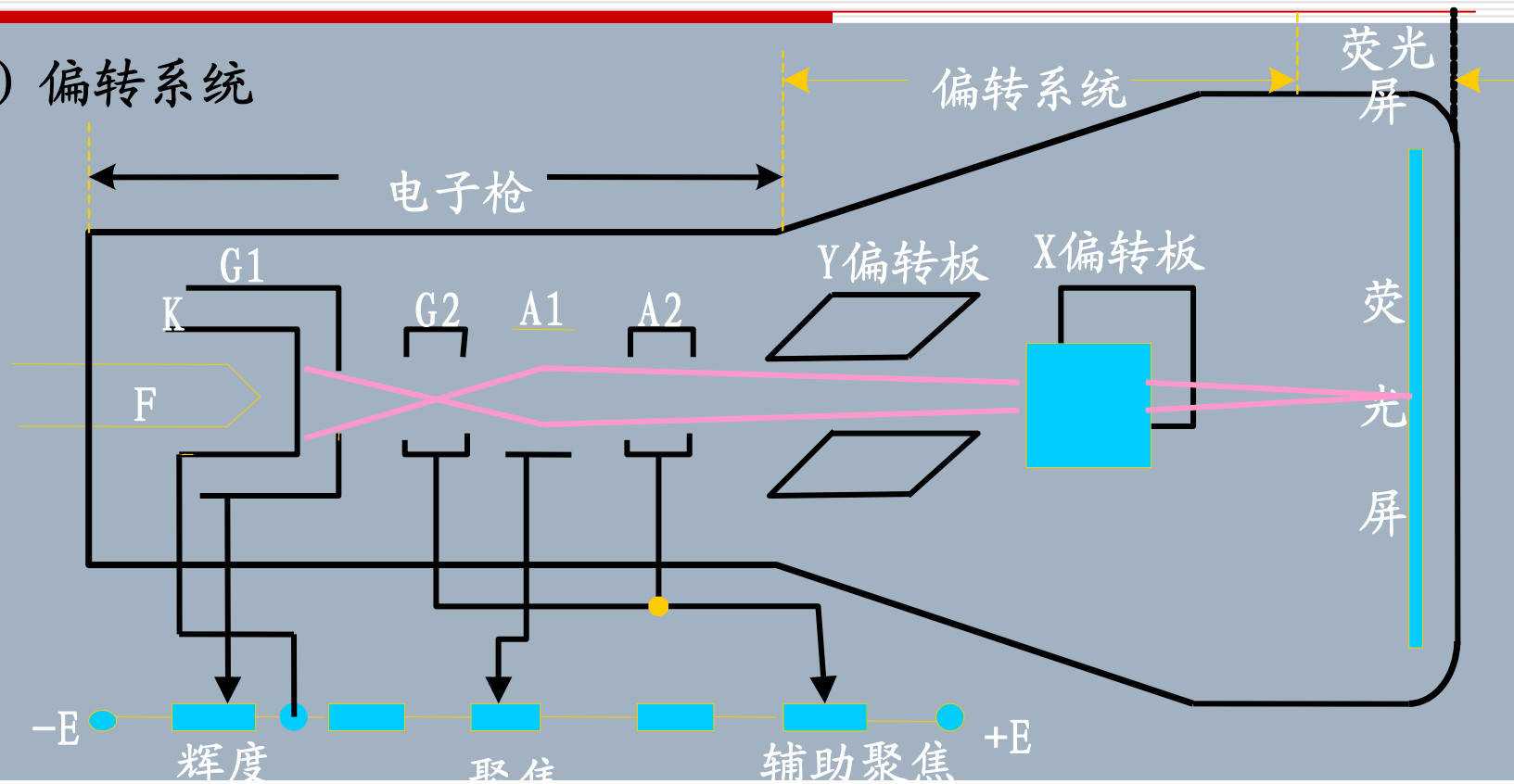
电子束聚焦的原理是，电子从阴极K发射，经G1、G2、A1、A2聚焦和加速后进入偏转系统。

电子在电子枪中的运动轨迹如下图所示。



4. 仪器使用—示波器的结构和使用

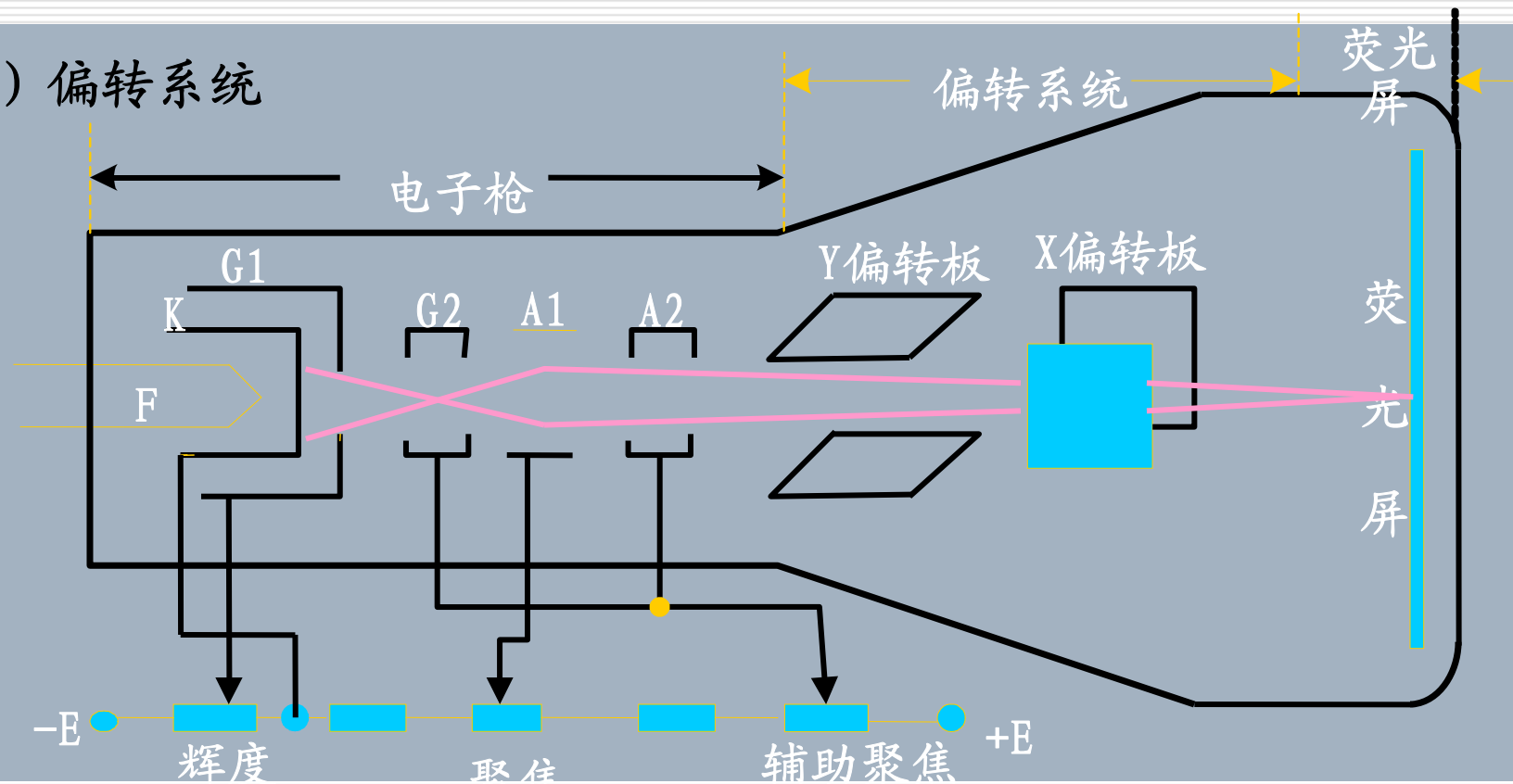
(2) 偏转系统



示波管的偏转系统由两对相互垂直的平行金属板组成，分别称为垂直偏转板（Y）和水平偏转板（X）。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(2) 偏转系统



当有外加电压作用时，偏转板之间形成电场；在偏转电场作用下，电子束打向由X、Y偏转板共同决定的荧光屏上的某个坐标位置。

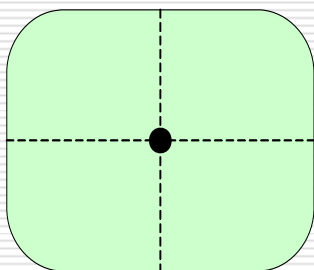
为了示波器有较高的测量灵敏度，Y偏转板置于靠近电子枪的部位，而X偏转板在Y的右边。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

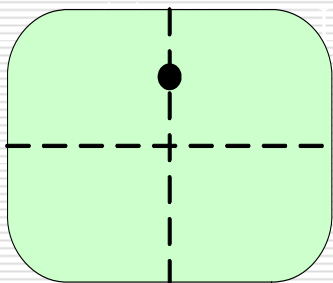
(2) 偏转系统

① 显示原理

当 U_x 、 U_y 为固定电压时，有下面四种情况：



光点出现在荧光屏的中心位置。

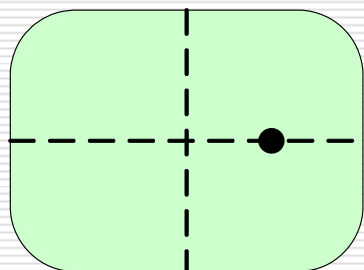


光点仅在垂直方向偏移： U_y 为正电压时，光点从荧光屏的中心往垂直方向上移； U_y 为负电压时，光点从荧光屏的中心往垂直方向下移。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

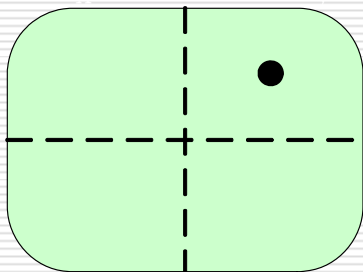
(2) 偏转系统

① 显示原理



(c) U_x —常量, $U_y=0$

光点仅在水平方向偏移： U_x 为正电压时，光点从荧光屏的中心往水平方向右移； U_x 为负电压时，光点从荧光屏的中心往水平方向左移。



当两对偏转板上同时加固定的正电压时，光点位置应为两电压的矢量合成。

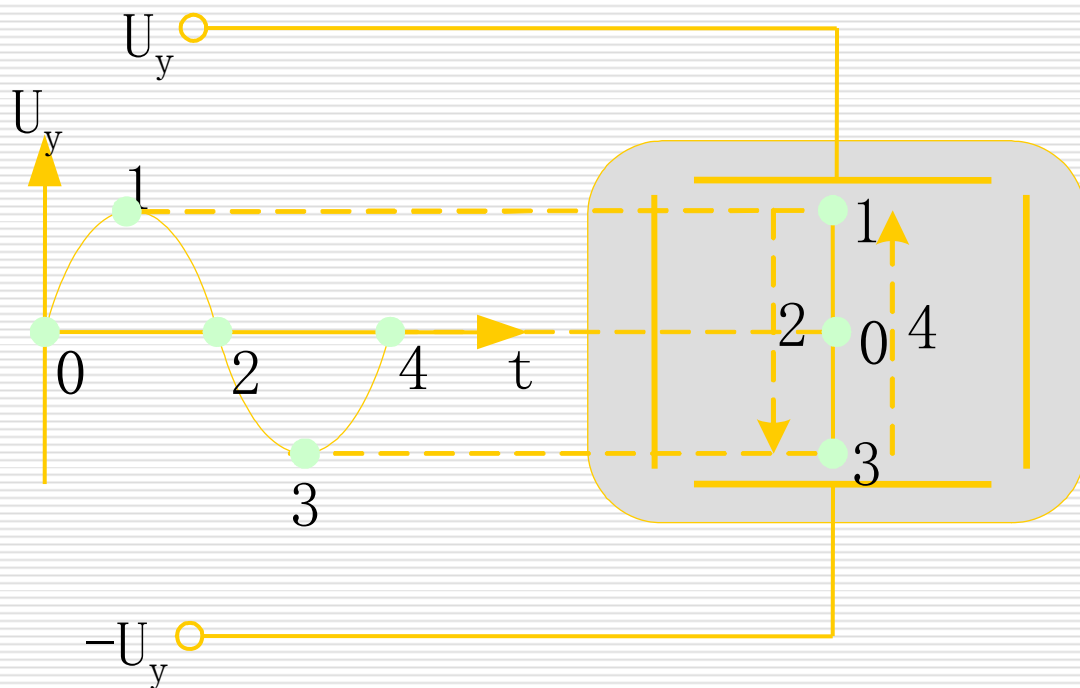
(d) U_x —常量, U_y —常量

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(2) 偏转系统

① 显示原理

X、Y偏转板上分别加变化电压，有下面两种情况：



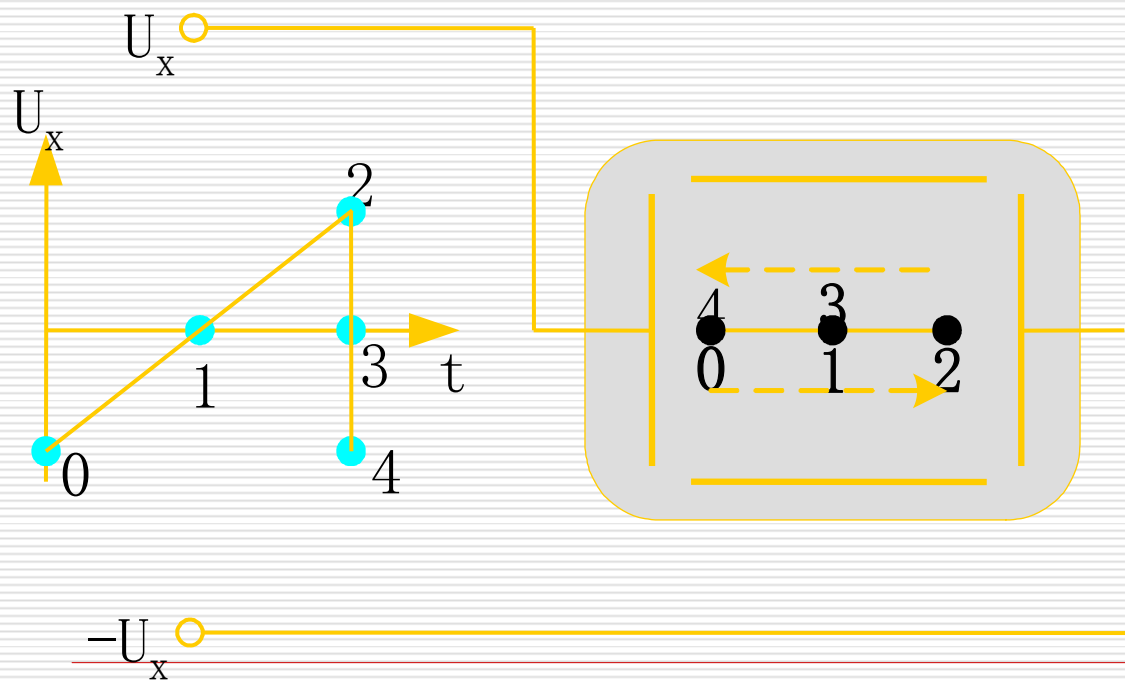
仅在垂直偏转板的
两板间加正弦变化
的电压，则光点只
在荧光屏的垂直方
向来回移动，出现
一条垂直线段。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(2) 偏转系统

① 显示原理

X、Y偏转板上分别加变化电压



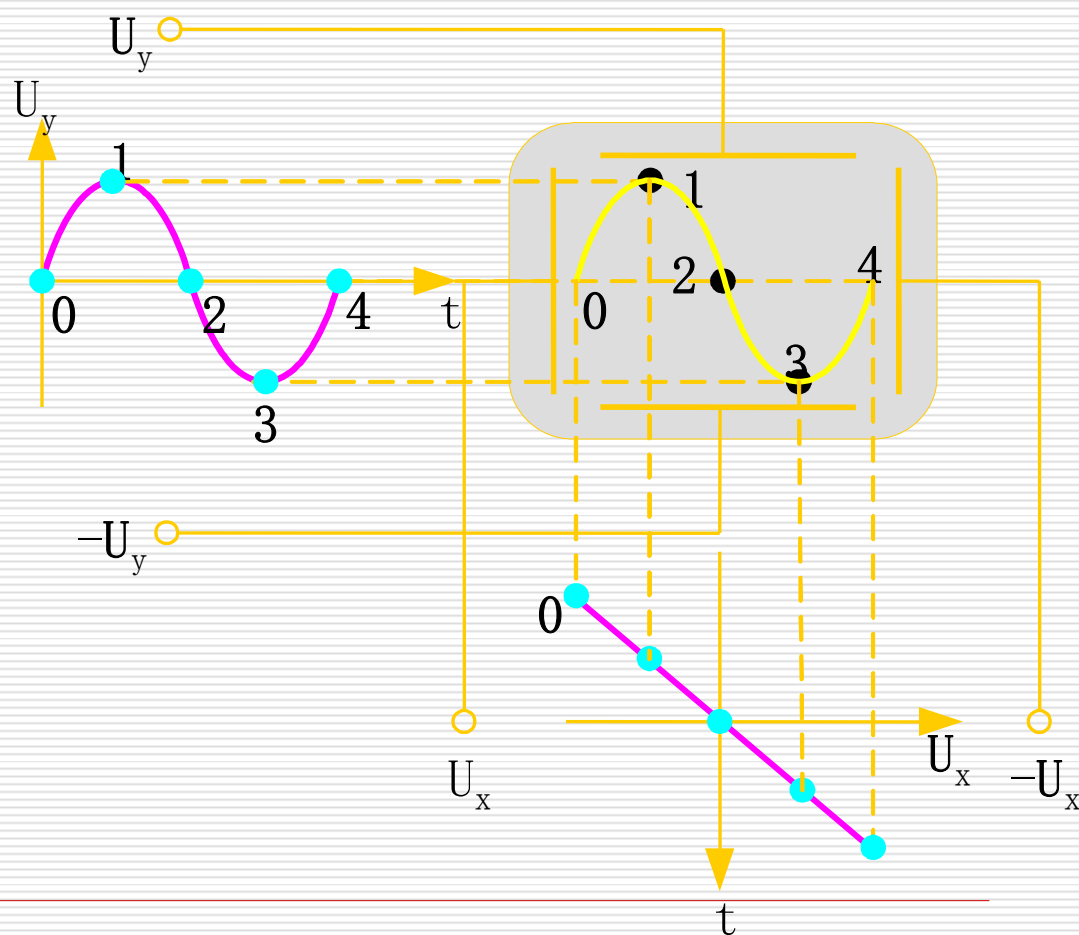
仅在水平偏转板的
两板间加锯齿电
压，则光点只在荧
光屏的水平方向来
回移动，出现一条
水平线段。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(2) 偏转系统

① 显示原理

Y偏转板加正弦波信号电压，
X偏转板加锯齿波电压，
荧光屏上将显示出被测信号随时间变化的一个周期的波形曲线。

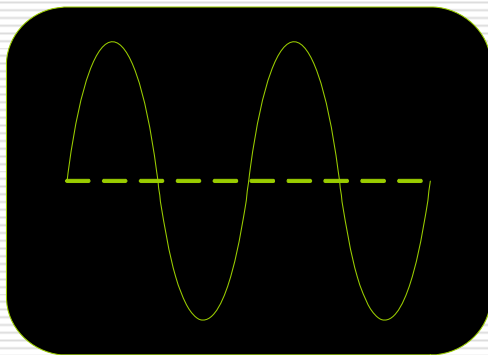
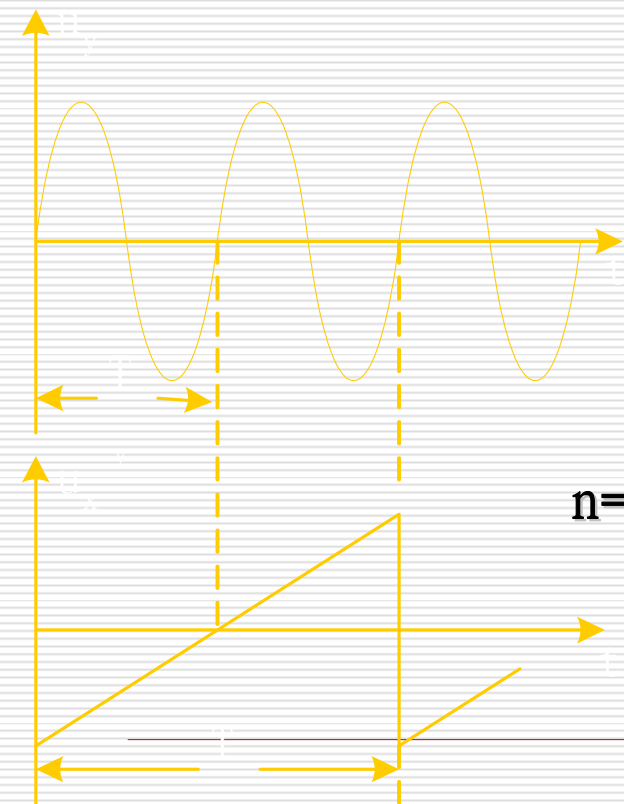


电工与电子技术基础

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(2) 偏转系统

$f_y = n f_x$ (n 为正整数): 荧光屏上将稳定显示 n 个周期的被测信号波形。



$n=2$

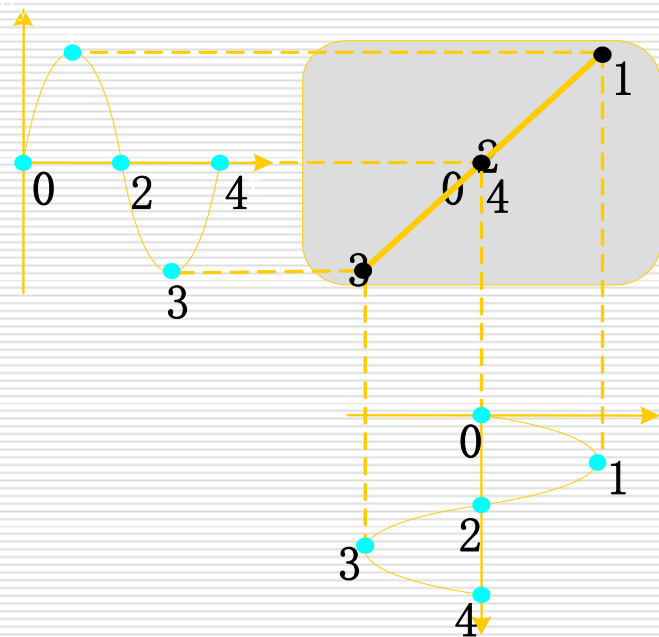
Y偏转板加频率为 f_y 正弦波信号电压,
X偏转板加频率为的 f_x 锯齿波电压,
荧光屏上将显示出被测信号随时间变化的
的 n 个周期的波形曲线。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(2) 偏转系统

② 显示任意两个变量之间的关系

示波器两个偏转板上都加正弦电压时显示的图形称为李沙育 (Lissajous) 图形，这种图形在相位和频率测量中常会用到。



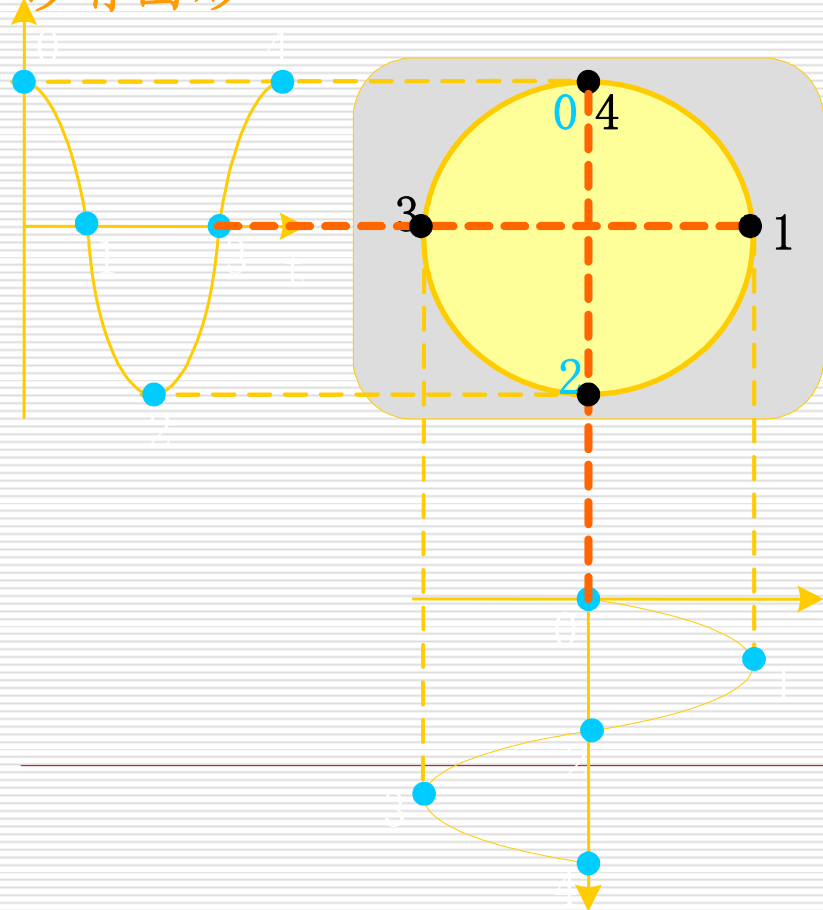
若两信号的初相相同，且在 X、Y 方向的偏转距离相同，在荧光屏上画出一条与水平轴呈 45 度角的直线。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(2) 偏转系统

② 显示任意两个变量之间的关系

李沙育图形



若两信号的初相相差90度，且在X、Y方向的偏转距离相同，在荧光屏上画出的图形为圆。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(2) 偏转系统

电子束在偏转电场作用下的偏转距离与外加偏转电压成正比:

$$y = \frac{lS}{2bV_a} V_y$$

l 为偏转板的长度; S 为偏转板中心到屏幕中心的距离; b 为偏转板间距; V_a 为阳极 A_2 上的电压。

示波管的Y轴偏转灵敏度(单位为cm/V):

$$S_y = \frac{lS}{2bV_a}$$

其倒数为示波管的Y轴偏转因数。偏转灵敏度越大,示波管越灵敏。

为提高Y轴偏转灵敏度,可在偏转板至荧光屏之间加一个后加速阳极A3。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

(3) 荧光屏

荧光屏将电信号变为光信号，是示波管的波形显示部分。

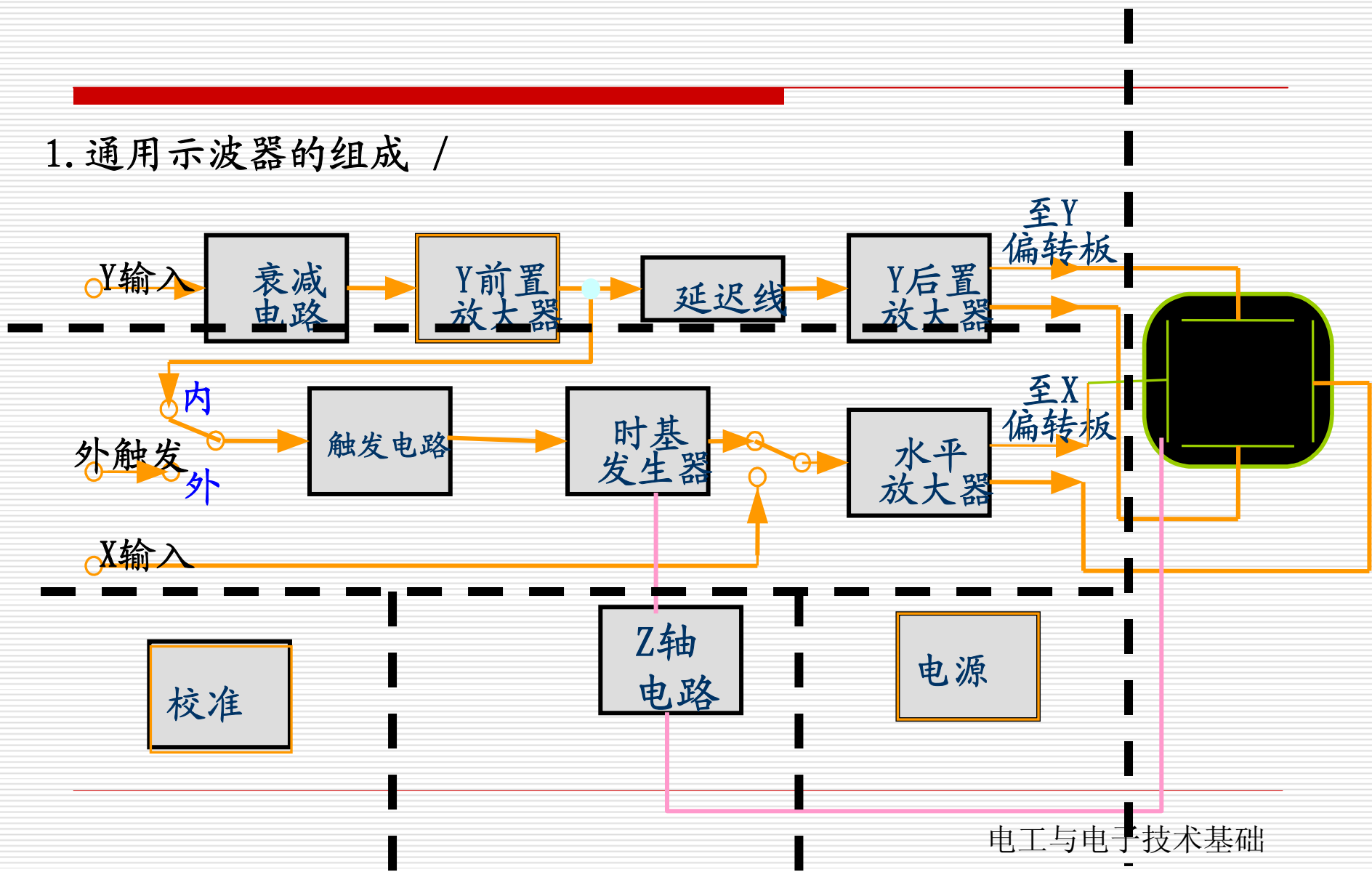
在使用示波器时，应避免电子束长时间的停留在荧光屏的一个位置，否则将使荧光屏受损。因此在示波器开启后不使用的时间内，可将“辉度”调暗。

当电子束停止轰击荧光屏时，光点仍能保持一定的时间，这种现象称为“余辉效应”。

不同的荧光粉，余辉时间不同，一般分为极长余辉 ($>1\text{s}$)、长余辉 ($100\text{ms} \sim 1\text{s}$)、中余辉 ($1\text{ms} \sim 100\text{ms}$) 及短余辉 ($10\mu\text{s} \sim 10\text{ms}$)、极短余辉 ($<10\mu\text{s}$)

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. 通用示波器的组成 /



4. 仪器使用—示波器的结构和使用

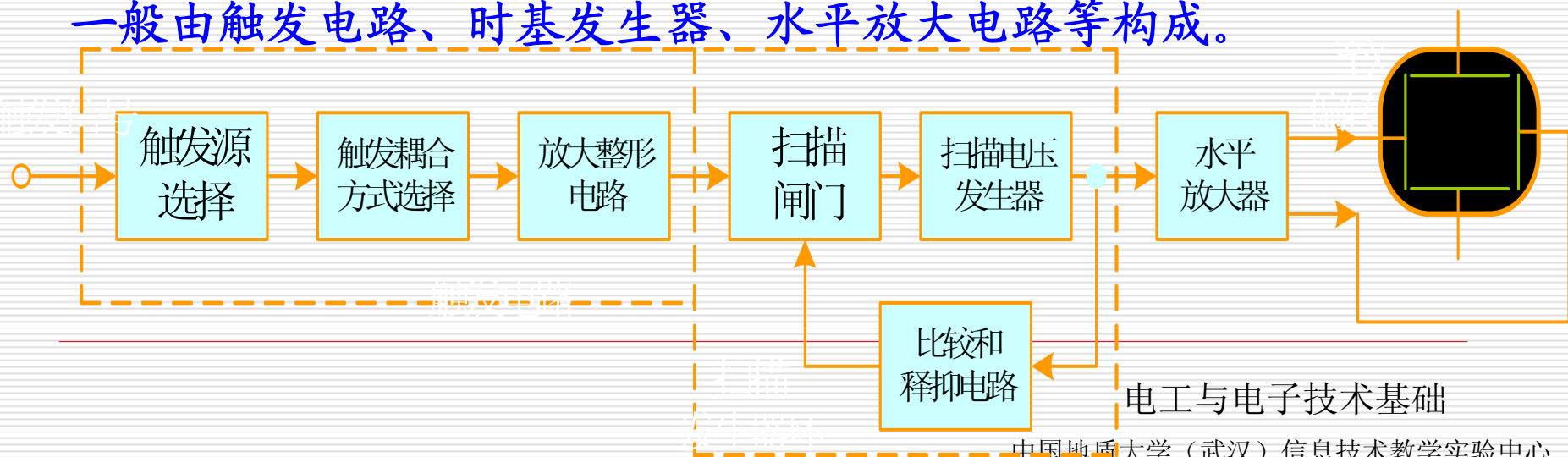
电子示波器的基本部件

由刚才的示波器组成图可以看到，电子示波器的基本部件由Y通道（垂直偏转系统）、X通道（水平偏转系统）、Z轴调制、校正器和电源组成

1. X通道

X通道的主要作用是使电子束做水平方向线性偏移，形成时间基线。

一般由触发电路、时基发生器、水平放大电路等构成。

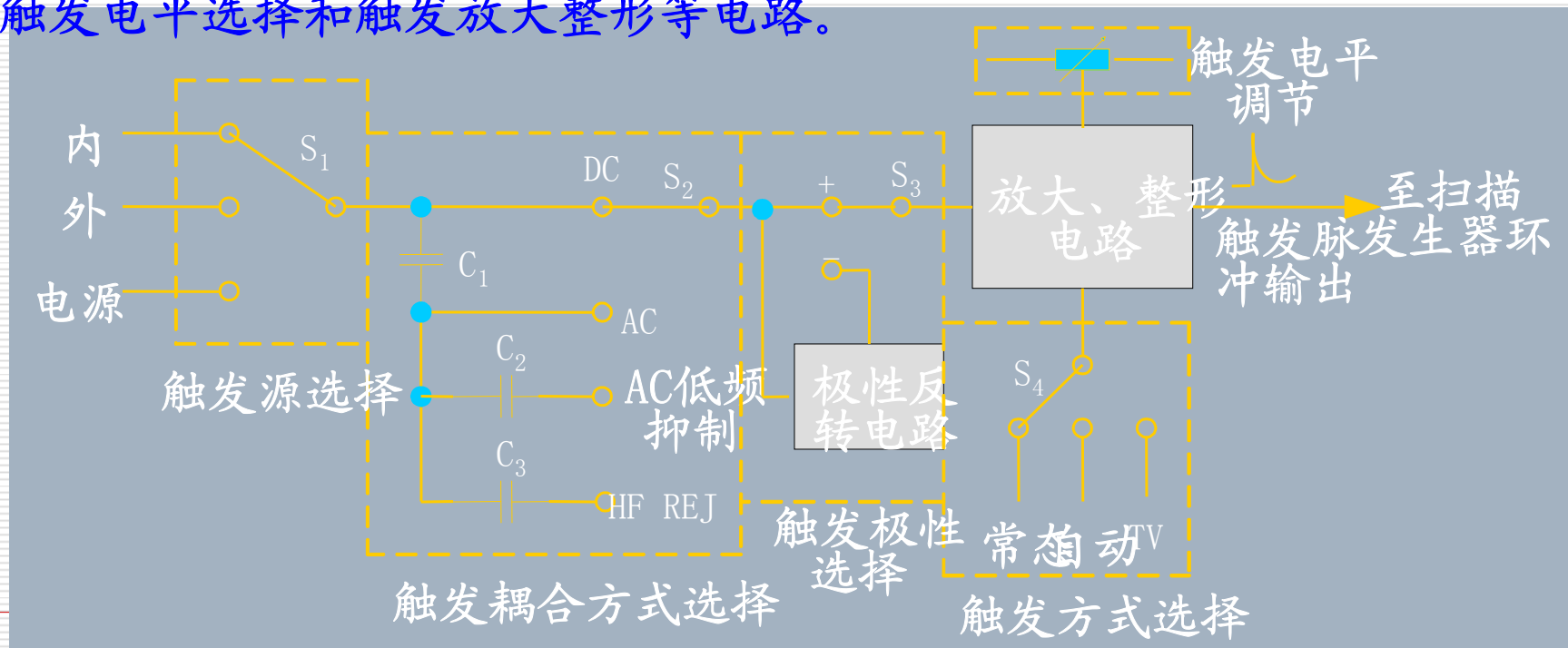


4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(1) 触发电路

触发电路的作用是为扫描信号发生器提供符合要求的触发脉冲。包括触发源选择、触发耦合方式选择、触发方式选择、触发极性选择、触发电平选择和触发放大整形等电路。



电工与电子技术基础

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(1) 触发电路

a. 触发源选择

内触发 (INT)：将Y前置放大器输出（延迟线前的被测信号）作为触发信号，适用于观测被测信号。

外触发 (EXT)：用外接的、与被测信号有严格同步关系的信号作为触发源，用于比较两个信号的同步关系。

电源触发 (LINE)：用50Hz的工频正弦信号作为触发源，适用于观测与50Hz交流有同步关系的信号。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(1) 触发电路

b. 触发耦合方式

“DC”直流耦合：用于接入直流或缓慢变化的触发信号。

“AC”交流耦合：用于观察从低频到较高频率的信号。

“AC低频抑制”耦合：用于观察含有低频干扰的信号。可抑制2kHz以下的低频成分。

“HF REJ”高频耦合：用于观测大于5MHz的信号。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(1) 触发电路

C. 扫描触发方式选择 (TRIG MODE)

常态 (NORM) 触发方式: 指有触发源信号并产生了有效的触发脉冲时, 荧光屏上才有扫描线。

自动 (AUTO) 触发方式: 有连续扫描锯齿波电压输出, 荧光屏上总能显示扫描线。一般测量均用自动触发方式。

电视 (TV) 触发方式: 是在原有放大、整形电路基础上插入电视同步分离电路实现的, 以便对电视信号 (如行、场同步信号) 进行监测与电视设备维修。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(1) 触发电路

d. 触发极性选择和触发电平调节

触发极性和触发电平决定触发脉冲产生的时刻，并决定被显示信号的起始点。

触发极性是指触发点位于触发源信号的上升沿还是下降沿。

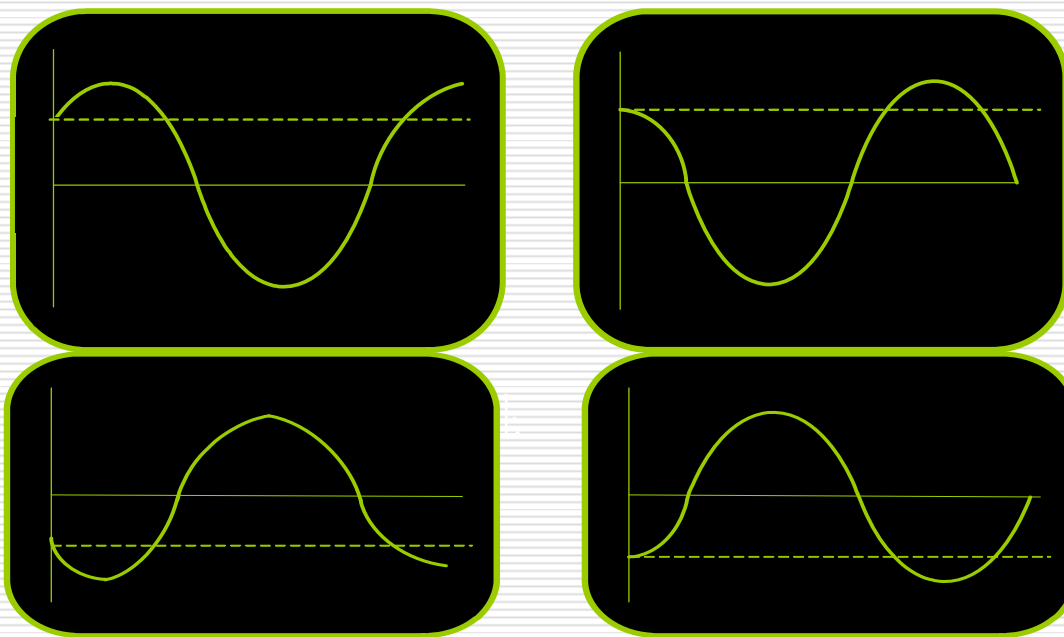
触发电平是指触发脉冲到来时所对应的触发放大器输出电压的瞬时值。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(1) 触发电路

d. 触发极性选择和触发电平调节



(a) 负电平，负极性

(b) 负电平，正极性

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(1) 触发电路

e. 放大整形电路

放大整形电路的作用是对触发信号进行放大、整形，以满足触发信号的要求。

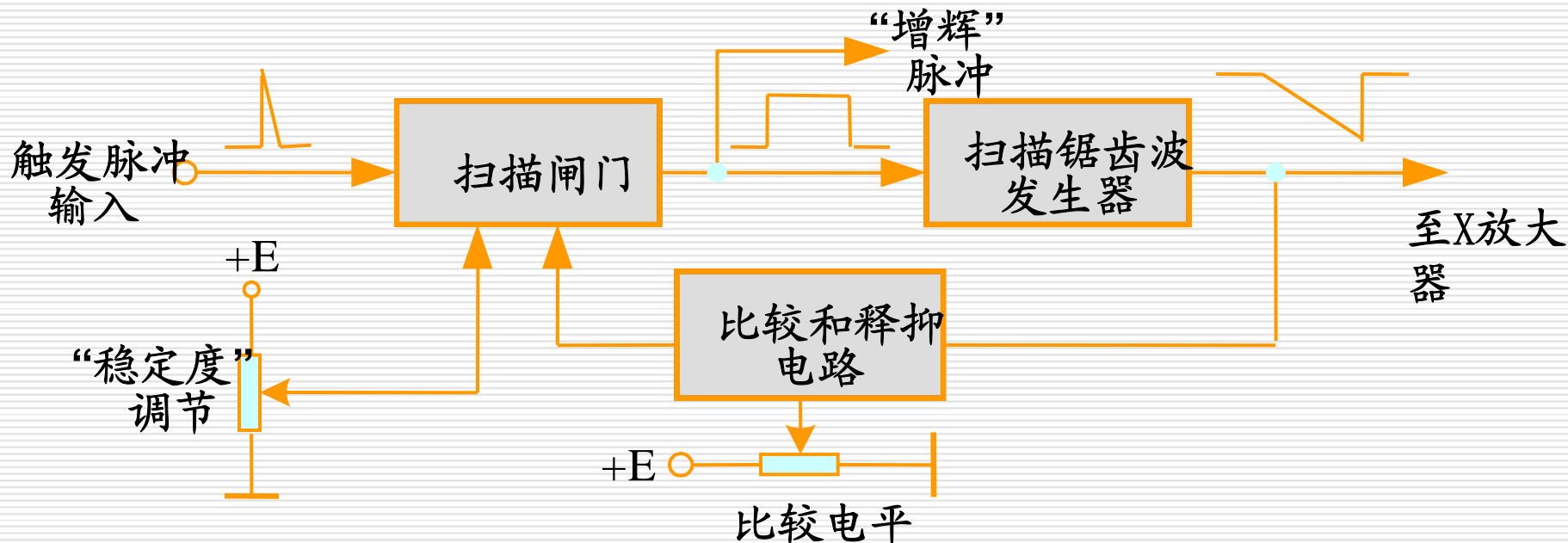
整形电路的基本形式是电压比较器，当输入的触发源信号与通过“触发极性”和“触发电平”选择的信号之差达到某一设定值时，比较电路翻转，输出矩形波，然后经过微分整形，变成触发脉冲。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

时基发生器又叫扫描发生器环，常由扫描闸门、积分器及比较释抑电路组成。

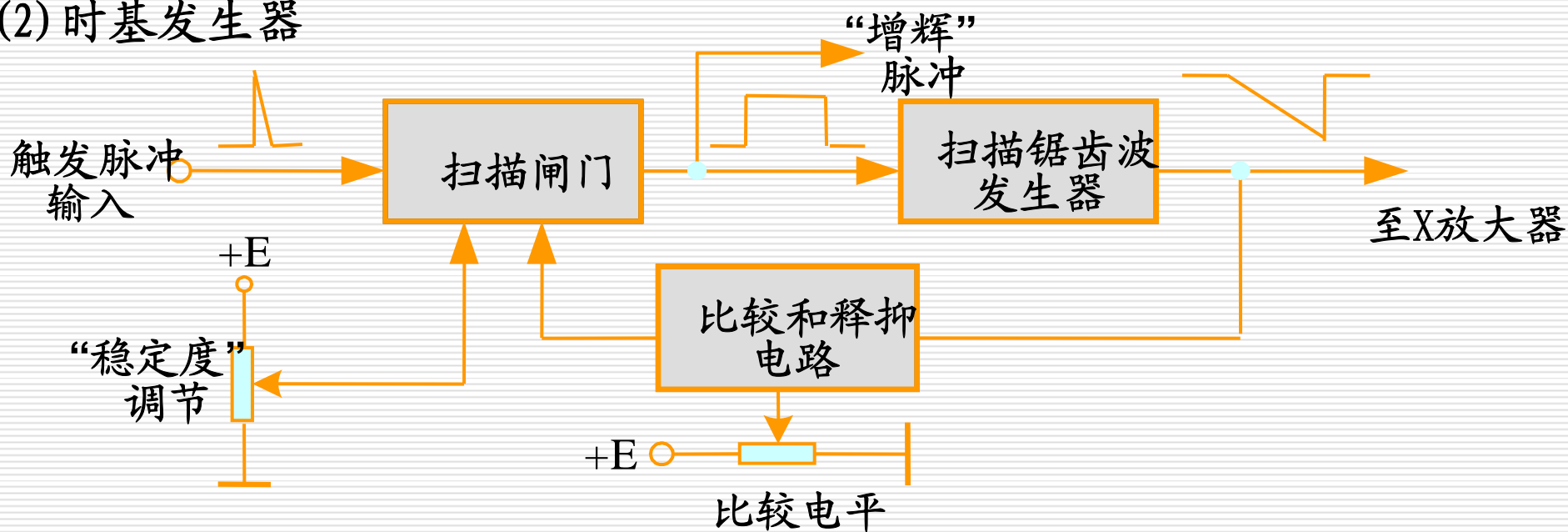


a. 扫描闸门产生快速上升或下降的闸门信号，闸门信号启动扫描发生器工作，产生锯齿波电压。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

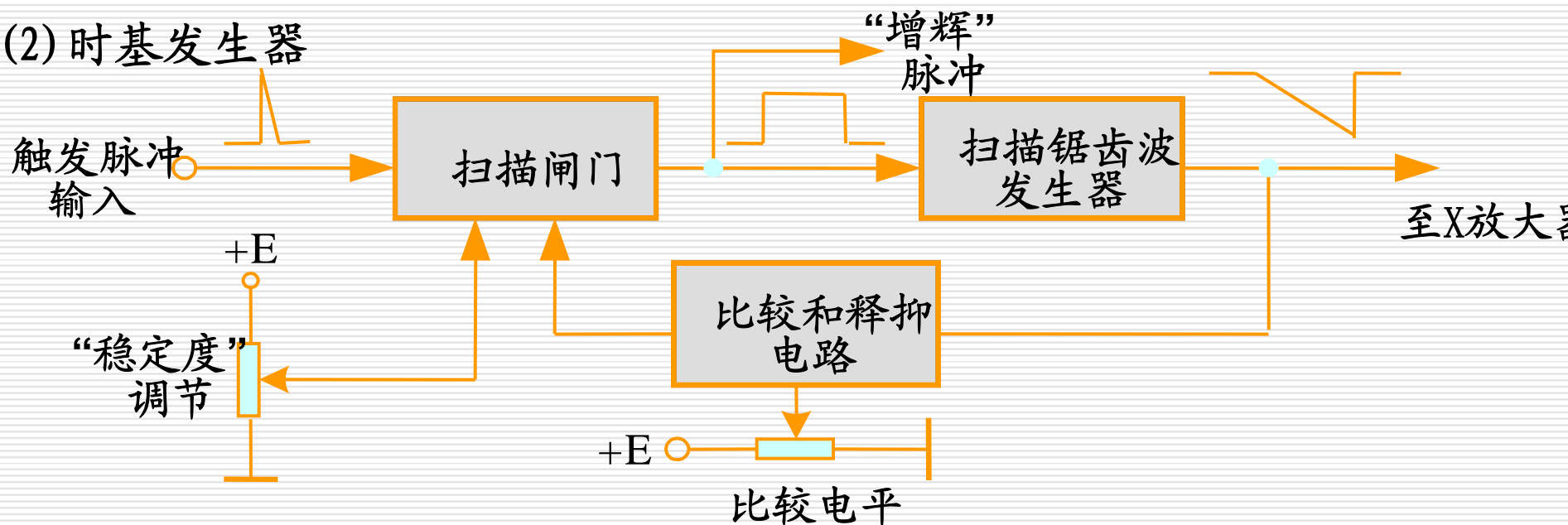


b. 积分电路主要作用是产生扫描所需的锯齿波

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器



c. 释抑电路起到了稳定扫描锯齿波的形成、防止干扰和误触发的作用，确保每次扫描都在触发源信号的同样的起始电平上开始以获得稳定的图象。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

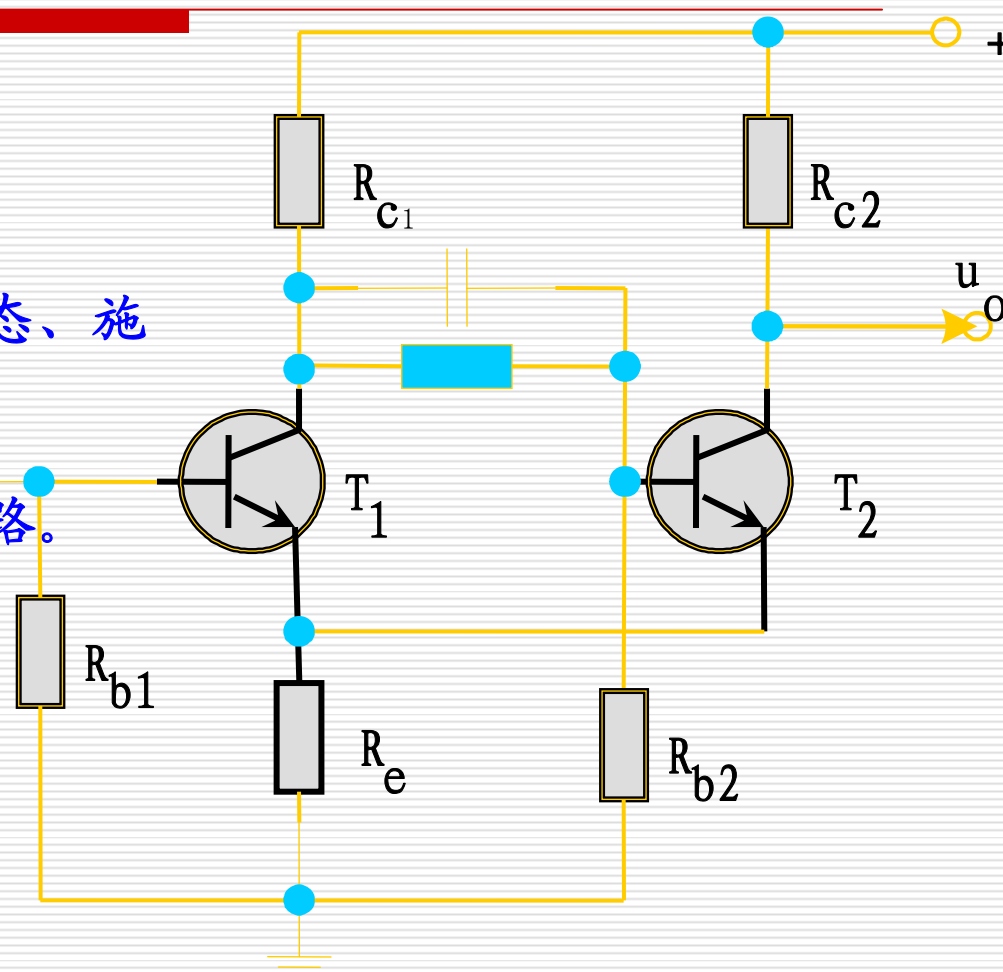
1. X通道

(2) 时基发生器

a. 扫描闸门常用的闸门电路有双稳态、施密特触发器和隧道二极管整形电路。

右图为施密特触发器构成的闸门电路。

当触发脉冲到来时，电路翻转输出高电平，启动积分器开始工作



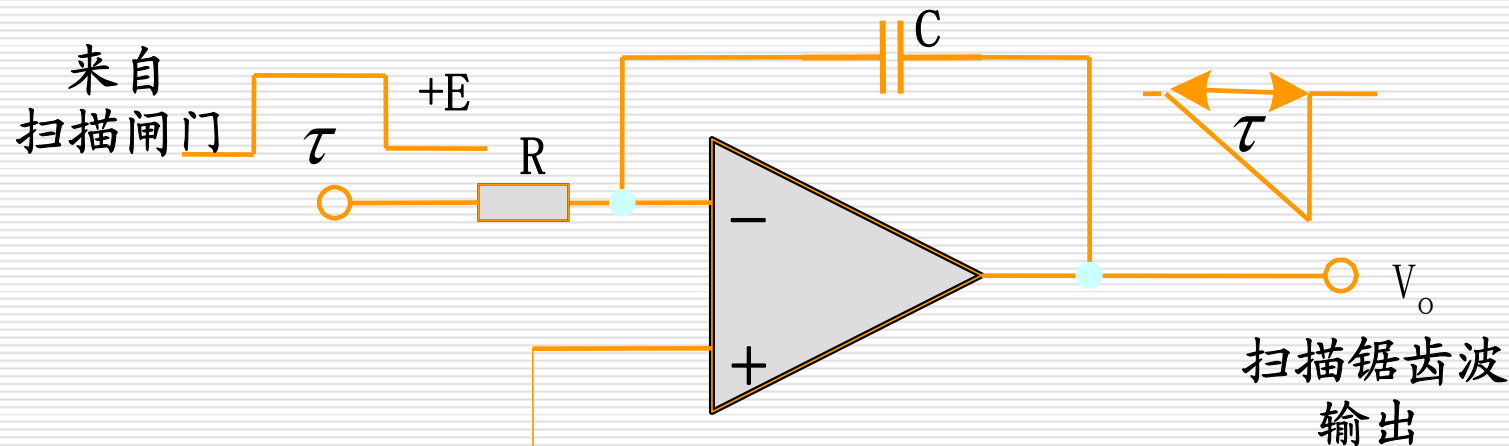
4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

b. 积分器 (产生扫描所需的锯齿波)

米勒 (Miller) 积分器是通用示波器中应用最广的一种积分电路。



$$V_o = \frac{1}{C} \int_0^{\tau} \frac{E}{R} dt = \frac{E}{RC} t, \quad t = 0 \sim \tau$$

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

b. 积分器

积分器产生的锯齿波电压被送入X放大器中放大，再加至水平偏转板。荧光屏上单位长度所代表的时间为示波器的扫描速度（ t/cm ）， x ：光迹在水平方向偏转的距离； t ：偏转 x 距离所对应的时间。

在示波器中通常改变R或C值作为“扫描速度”粗调，用改变E值作为“扫描速度”微调。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

c. 比较和释抑电路

在比较电路中，输入电压与预置的参考电平进行比较，当输入电压等于预置的参考电平时，输出端电位产生跳变，并把它作为控制信号输出。它决定扫描的终止时刻。

释抑电路为简单的RC电路，扫描电路一旦被触发，释抑电路“抑制”扫描闸门，使抑制期间扫描电路不再受到同极性触发脉冲的触发；扫描电压回到起始值时，释抑电路“释放”扫描发生器，使它能够被触发脉冲再次触发。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

扫描方式选择：包括连续扫描和触发扫描。

扫描的概念

光点在锯齿波作用下扫动的过程称为“扫描”，能实现扫描的锯齿波电压称为扫描电压，光点自左向右的连续扫动称为“扫描正程”，自荧光屏的右端迅速返回左端起扫点的过程称为“扫描回程”。

第四章 电子示波

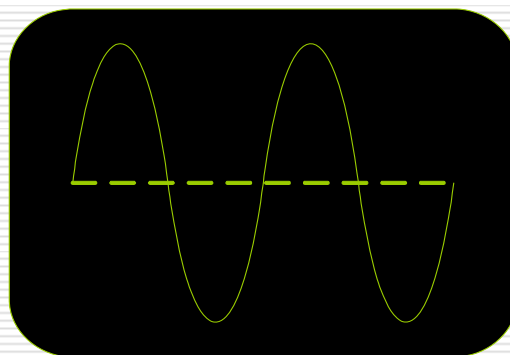
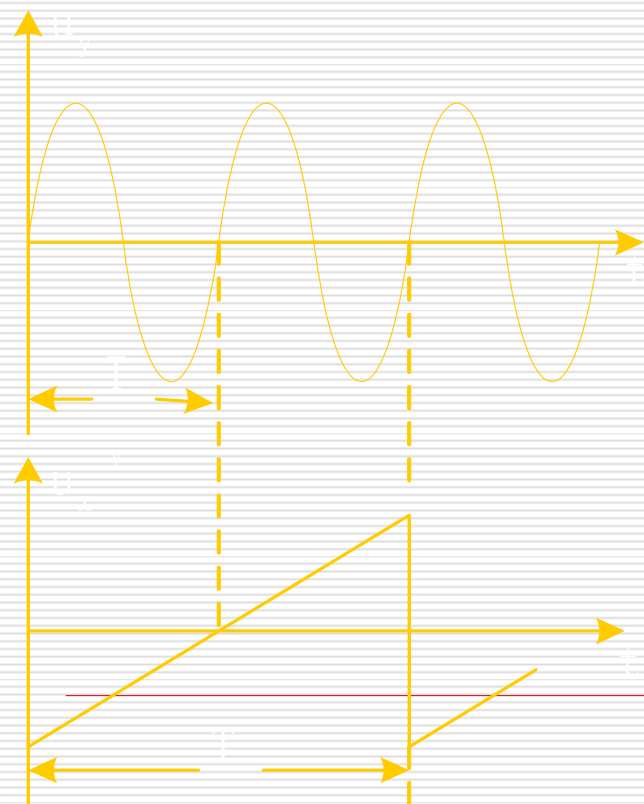
器 电子示波器的基本部件

1. X通道

(2) 时基发生器

同步的概念

$T_x = nT_y$ (n 为正整数): 荧光屏上将稳定显示 n 个周期的被测信号波形。



$n=2$

如果扫描电压周期 T_x 与被测电压周期 T_y 保持 $T_x = nT_y$ 的关系, 则称扫描电压与被测电压“同步”。

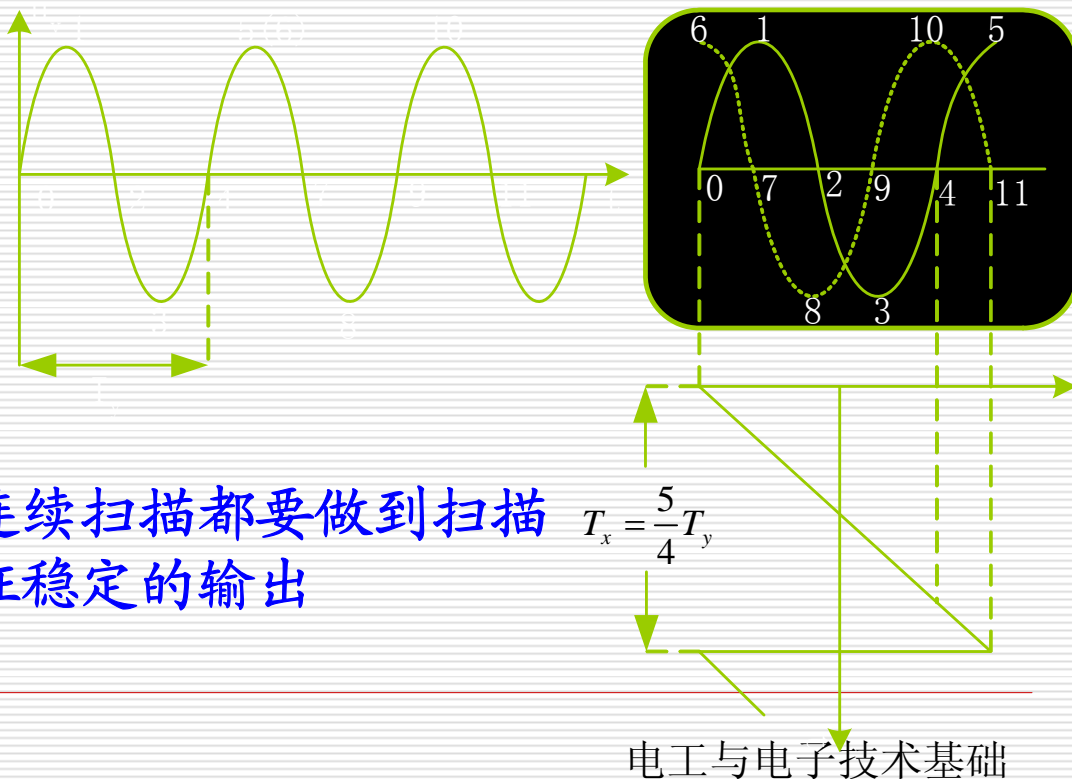
4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

同步的概念

(2) $T_x \neq nT_y$ (n 为正整数), 即不满足同步关系时, 显示的波形不稳定。



因此, 不论是触发扫描还是连续扫描都要做到扫描信号与被测信号同步, 以保证稳定的输出

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

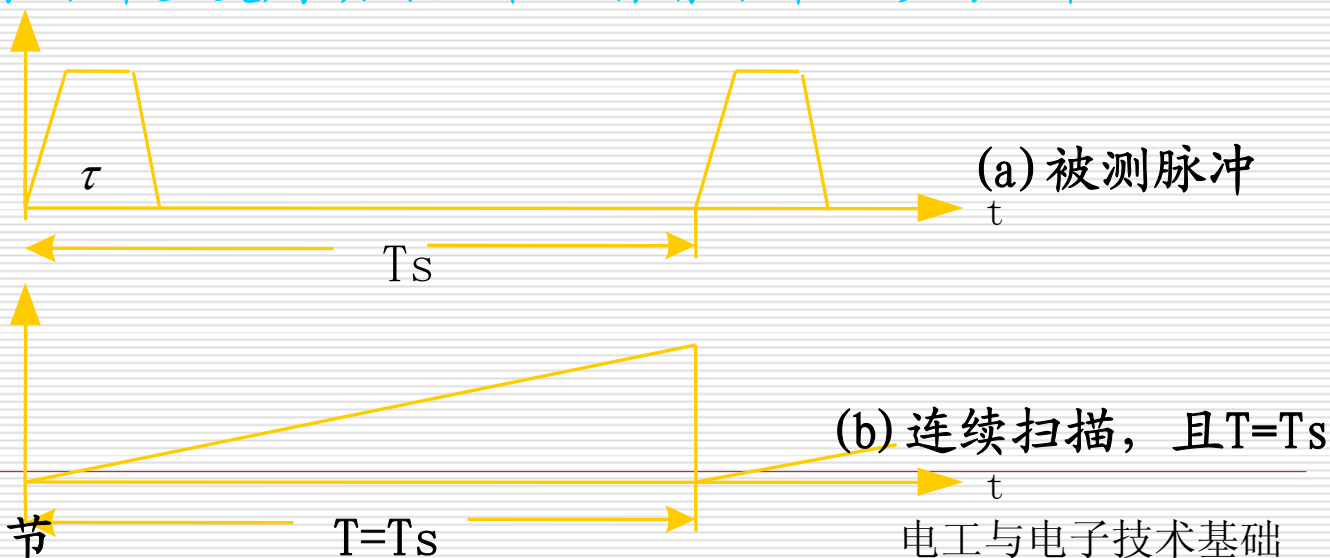
(2) 时基发生器

连续扫描和触发扫描

扫描电压是连续的方式称为**连续扫描**。

当欲观测脉冲信号，尤其是占空比很小的脉冲时，采用连续扫描存在一些问题：

① 选择扫描周期等于脉冲重复周期时，难以看清脉冲波形的细节。



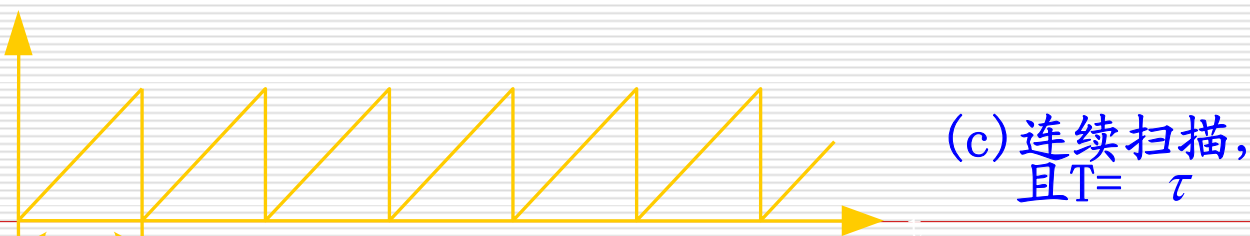
4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

连续扫描和触发扫描

②若选择扫描周期等于脉冲底宽时，水平方向上多次扫描中，只有一次扫描出脉冲波形，因而显示的脉冲波形很暗，观测者不易观察波形，而且扫描的同步很难实现。



脉冲得到展宽，但波形显示暗，而时基线太亮

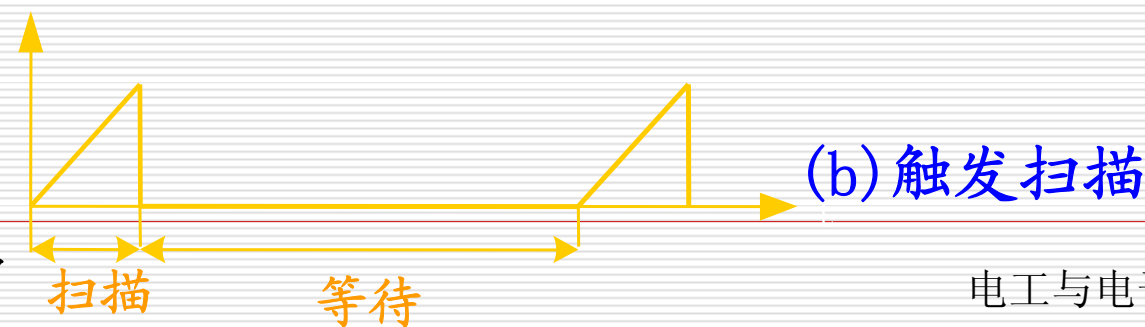
4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(2) 时基发生器

连续扫描和触发扫描

触发扫描时，使扫描脉冲只在被测脉冲到来时才扫描一次；没有被测脉冲时，扫描发生器处于等待工作状态。



能较好地观测脉冲

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

1. X通道

(3) 水平放大器

其基本作用是选择X轴信号，并将其放大到足以使光点在水平方向达到满偏的程度。

X放大器的输入端置于“内”时，X放大器放大扫描信号；置于“外”时，水平放大器放大由面板上X输入端直接接输入的信号。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

2. Y通道

Y通道又称为垂直通道，是被测信号的主要传输通道，它的作用是放大微小的被测信号（mV级）或衰减较大的被测信号（几十V以上），将被观测信号不失真的加在Y偏转板上控制电子束做垂直偏转，使得在荧光屏上显示合适的波形。

由输入电路、延迟线和放大器组成

（1）输入电路：包括探头、衰减器和阻抗变换器。

输入有3种耦合方式：AC、DC、GND

观察交流信号时，置“AC”档。

确定零电压时，置“GND”档。

观测频率很低的信号或带有直流分量的交流信号时，置“DC”档。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

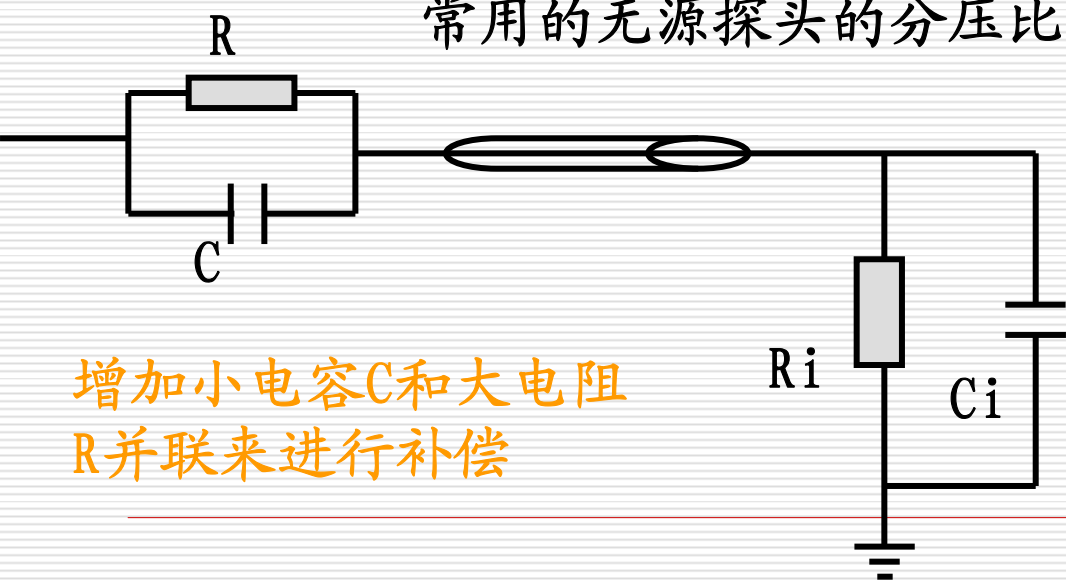
2. Y通道

(1) 输入电路

a. 探头：被测信号在送入通道前，需要通过探头进入示波器。

使用探头是为了提高示波器的输入阻抗，扩展带宽，减小失真

常用的无源探头的分压比为10: 1或100: 1



最佳补偿条件： $RC = R_i C_i$

过补偿： $RC > R_i C_i$

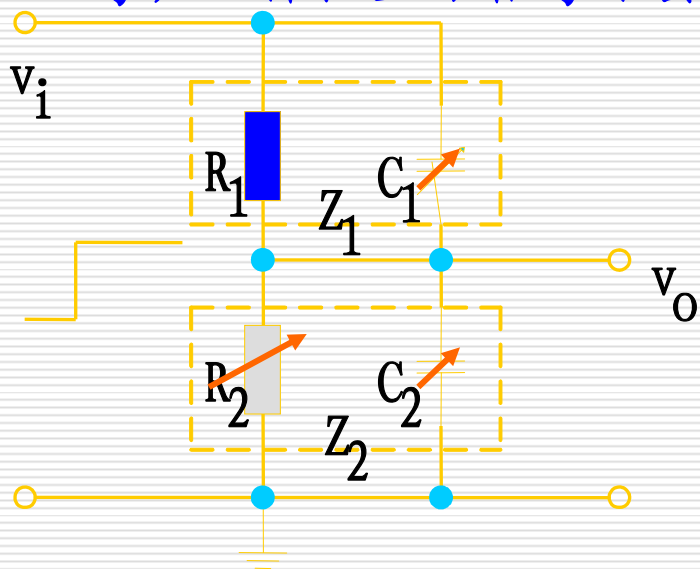
欠补偿： $RC < R_i C_i$

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

2. Y通道

(1) 输入电路

b 衰减器：其作用是当观察较大幅度的信号时，用来衰减输入信号，以保证显示信号不会因为过大而失真



$$Z_{\text{信}} = \frac{R_1}{1 + j\omega C_1}$$
$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega C_2}$$

要求输入阻抗高，且示波器在整个通频带内衰减分压均匀不变

$$R_1 C_1 = R_2 C_2$$

$$\frac{U_o}{U_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

改变分压比的开关为示波器的垂直灵敏度粗调开关，在面板上用“V/cm”标记。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

2. Y通道

(1) 输入电路

C 阻抗变换器 一般由射级跟随器构成。

其高输入阻抗使得示波器对外呈现高输入阻抗

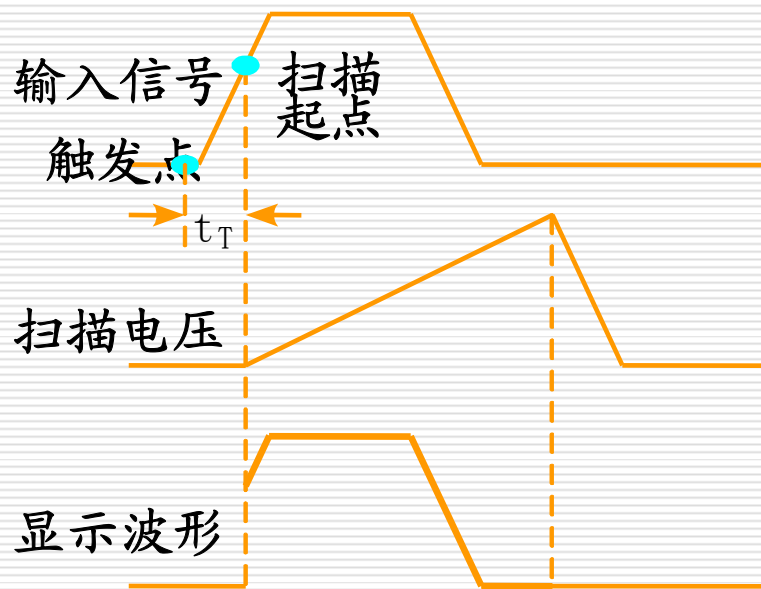
低输出阻抗可以与后面的低阻延迟线相匹配

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

2. Y通道

(2) 延迟线

触发扫描时，扫描的开始时间总是滞后于被观测脉冲一段时间，这样，脉冲的上升过程就无法被完整地显示出来。



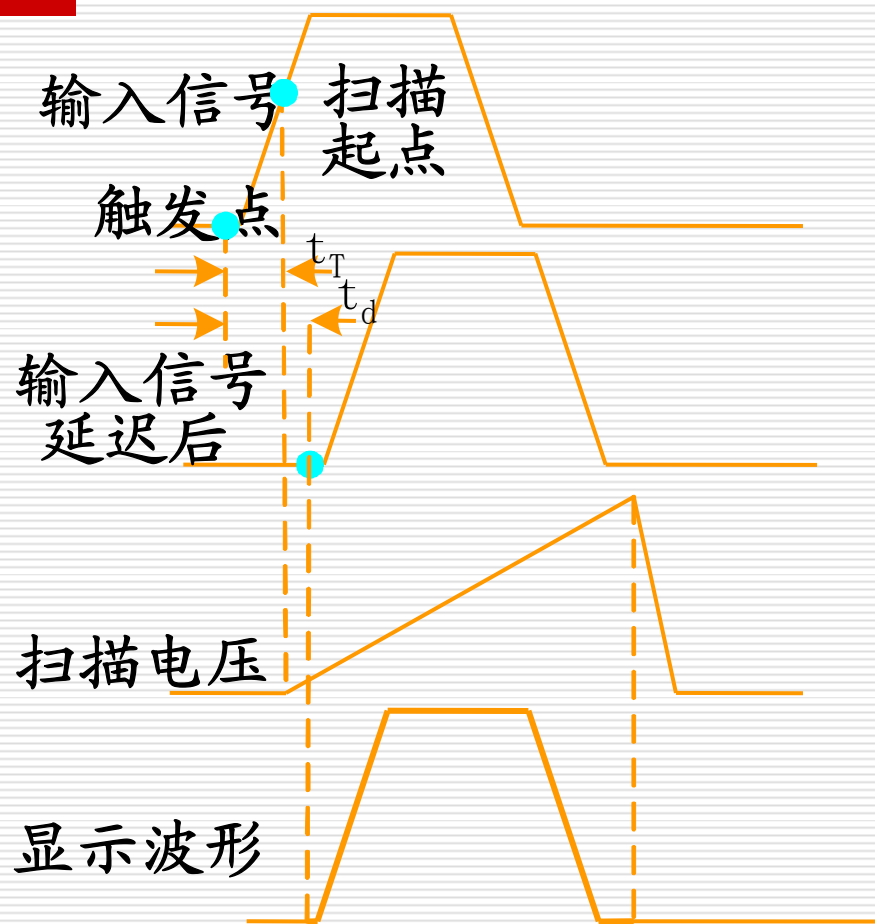
左图为没有延迟线时屏幕上显示的脉冲。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

2. Y通道

(2) 延迟线

延迟线的作用就是把加到垂直偏转板上的脉冲信号延迟一段时间，以保证在屏幕上扫描出包括上升时间在内的脉冲全过程。



4. 仪器使用—示波器的结构和使用

2. Y通道

(3) 放大器

a. 前置放大器

前置放大器将信号适当放大，从中取出内触发信号，并具有灵敏度微调、校正、Y轴移位、极性反转等控制作用。

Y前置放大器大都采用差分放大电路，输出一对平衡的交流电压。若在差分电路的输入端输入不同的直流电位，相应的Y偏转板上的直流电位和波形在Y方向的位置也会改变。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

2. Y通道

(3) 放大器

b. 输出放大器

Y输出放大器是将延迟线传来的被测信号放大到足够的幅度，用以驱动示波管的垂直偏转系统，使电子束获得Y方向的满偏转。

Y输出放大器应具有稳定的增益、较高的输入阻抗、足够宽的频带、较小的谐波失真。

Y输出放大器大都采用推挽式放大器，有利于提高共模抑制比。可采用改变负反馈的方法改变放大器的增益以及扩展通频带

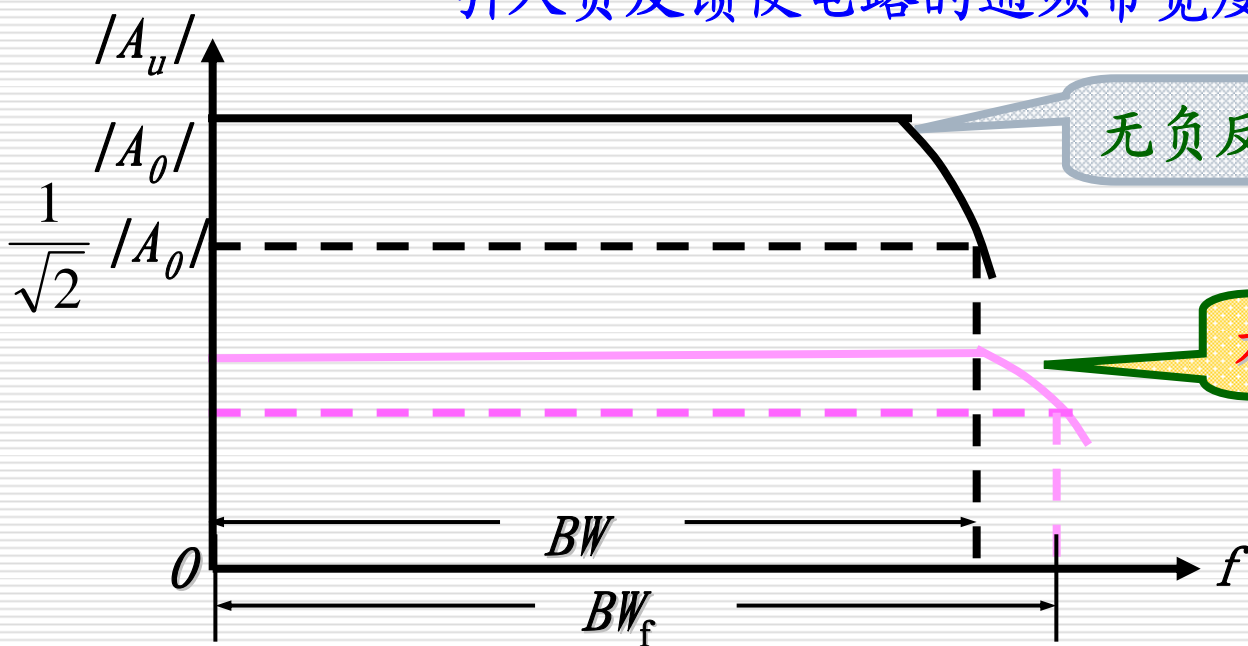
4. 仪器使用—示波器的结构和使用

2. Y通道

(3) 放大器

引入负反馈使电路的通频带宽度增加

$$A(j\omega) = \frac{A_0}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}}$$



无负反馈

有负反馈

$$A_F = \frac{A}{1 + AF}$$

$$A_F(j\omega) = \frac{\frac{A_0}{(1 + A_0 F)}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0(1 + A_0 F)}}$$

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

3. 高、低压电源

分别用于示波器的高、中压和直流供电。

4. Z轴的增辉与调辉

增辉：将闸门信号放大，使显示的波形正程加亮。

调辉：加外调制信号或时标信号，使屏幕显示的波形发生相应地变化。

5. 校准信号发生器

可产生幅度和频率准确的基准方波信号，为仪器本身提供校准信号源。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

关于通用示波器问题与思考

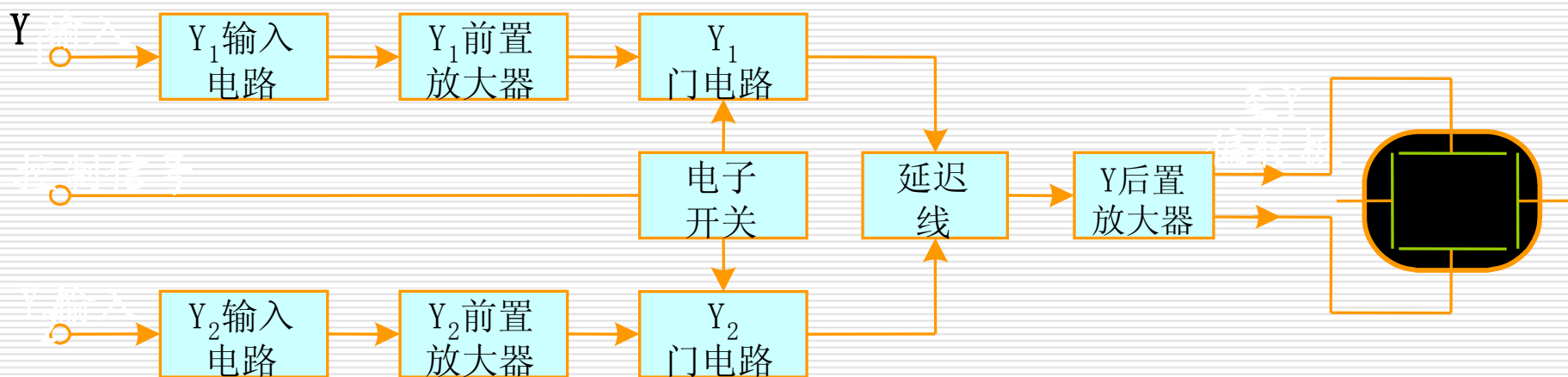
1. 示波管有哪几部分组成？各部分的主要作用是什么？
2. 简述电子枪组成部分和工作原理。
3. 通用示波器由哪些主要电路单元组成？各部分起什么作用？它们之间有什么联系？
4. 示波器的水平和垂直偏转板上分别加上同幅度、同频率，相位差为 $\pm 45^\circ$ 的正弦信号，屏幕上应该显示什么样的波形？（分别画出超前、滞后两种情况的显示波形）
5. 延迟线的作用是什么？内触发信号能否在延迟线后引出，去触发时基电路？
6. 示波器Y通道为什么既接入衰减器又接入放大器？它们各起什么作用？
7. 什么是连续扫描和触发扫描？如何选择扫描方式？
8. 一示波器荧光屏水平长度为10cm，现在要求在上面最多显示10MHz的正弦信号的两个周期，问该示波器的扫描速度应该为多少？

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

双踪示波器

双踪示波器的垂直偏转板有Y1和Y2两个通道组成。

两通道的输出信号在电子开关的作用下共用同一对垂直偏转板。



由开关面板控制电子开关可使双踪示波器工作于“CH1”、“CH2”、“CH1+CH2”、“交替”、“断续”五种不同状态

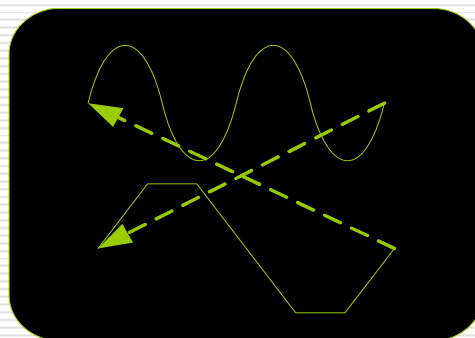
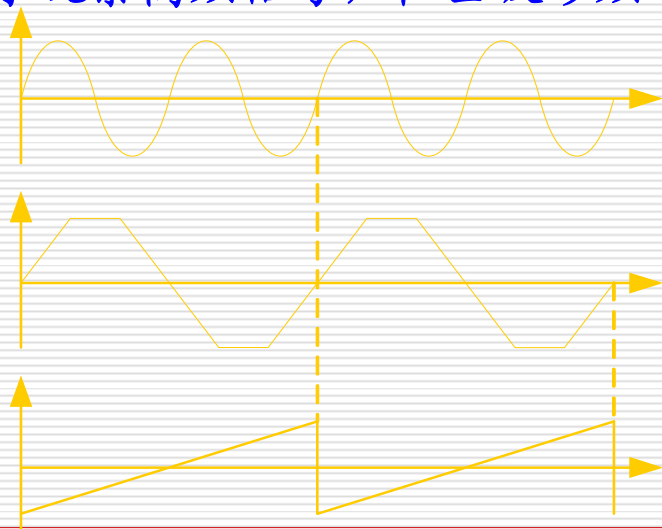
“Y1”通道 (CH1)、 “Y2”通道 (CH2) 和叠加方式 (CH1+CH2) 都只显示一个波形。

4. 仪器使用—示波器的结构和使用

双踪示波器

交替方式 (ALT)：两个通道信号轮流加于垂直偏转板，每次扫描后改变所接通道，使得每两次扫描分别显示一次CH1通道波形和CH2通道波形

适合于观察高频信号，但当波形频率较低时，波形会发生明显的闪烁



4. 仪器使用—示波器的结构和使用

双踪示波器

断续方式 (CHOP)：电子开关处于自激振荡状态，振荡频率 $500\text{kHz} \sim 1\text{MHz}$ ，自动轮流将两通道信号加于垂直偏转板，使得每个图形由点线组成，每扫描一次，完成两通道波形显示

适用于被测信号频率较低的情况

