

RIGOL 唯有创新
Innovation or nothing

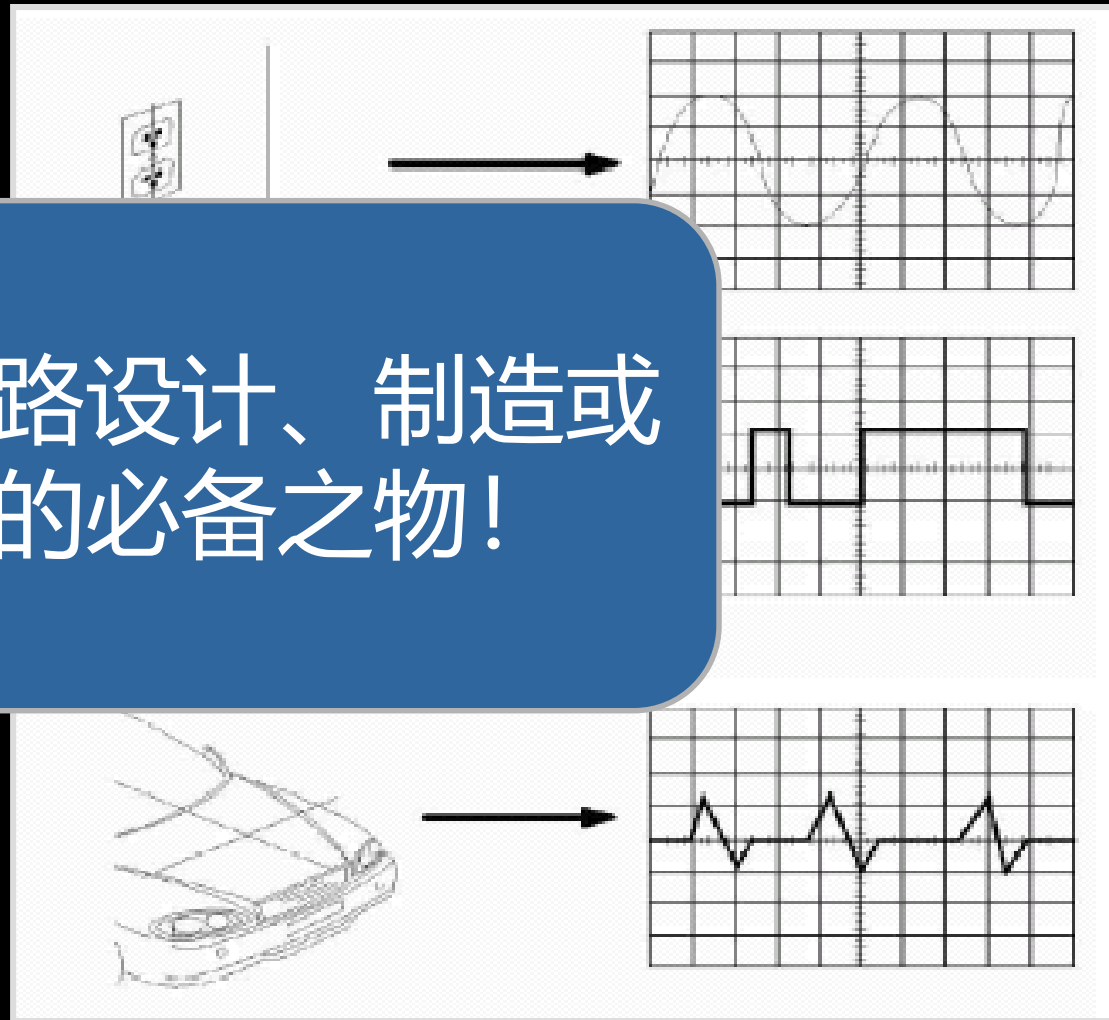
F&E团队 日期：2019.3.30

示波器概论及原理培训

引言

自然界运行着各种形式的波形，比如海浪、地震、声波、爆破、空气中传播的声音，或者身体运转的自然节律。物理世界里，能量、振动粒子和不可见的力无处不在。即使是光（波粒二象物质）也有自己的基频，并电的物理量可以转变为的颜色。通过传感器，这些力等

示波器是任何电路设计、制造或
维修电子设备的必备之物！



示波器概述

示波器（Oscilloscope）是显示信号波形随时间变化特性的仪器。

示波器能把肉眼看不见的电信号变换成看得见的图象（波形），便于人们研究各种电现象的变化过程。

电子工程师的眼睛！



=



示波器概述

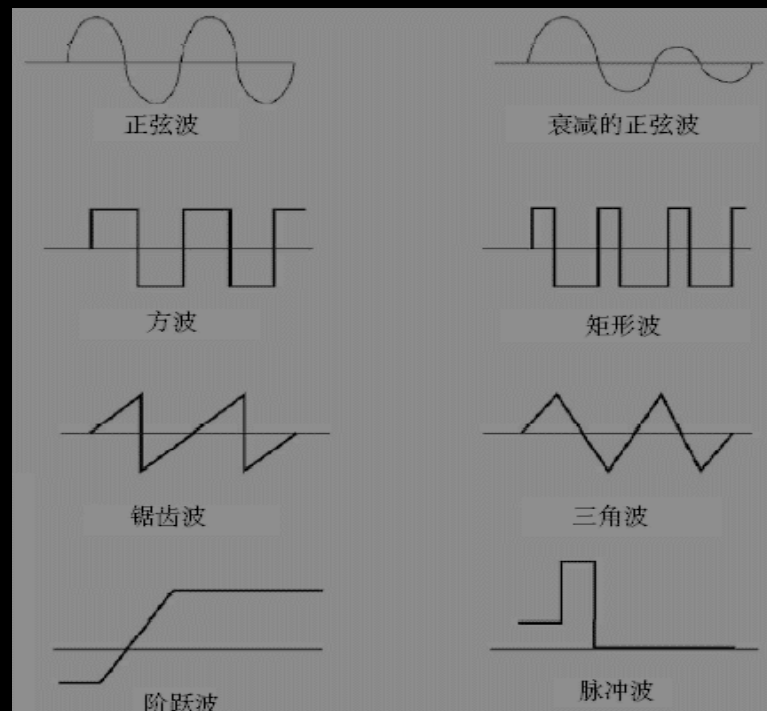
捕获、观察、测量、分析**波形**的**工具**



示波器概述

波形分类：

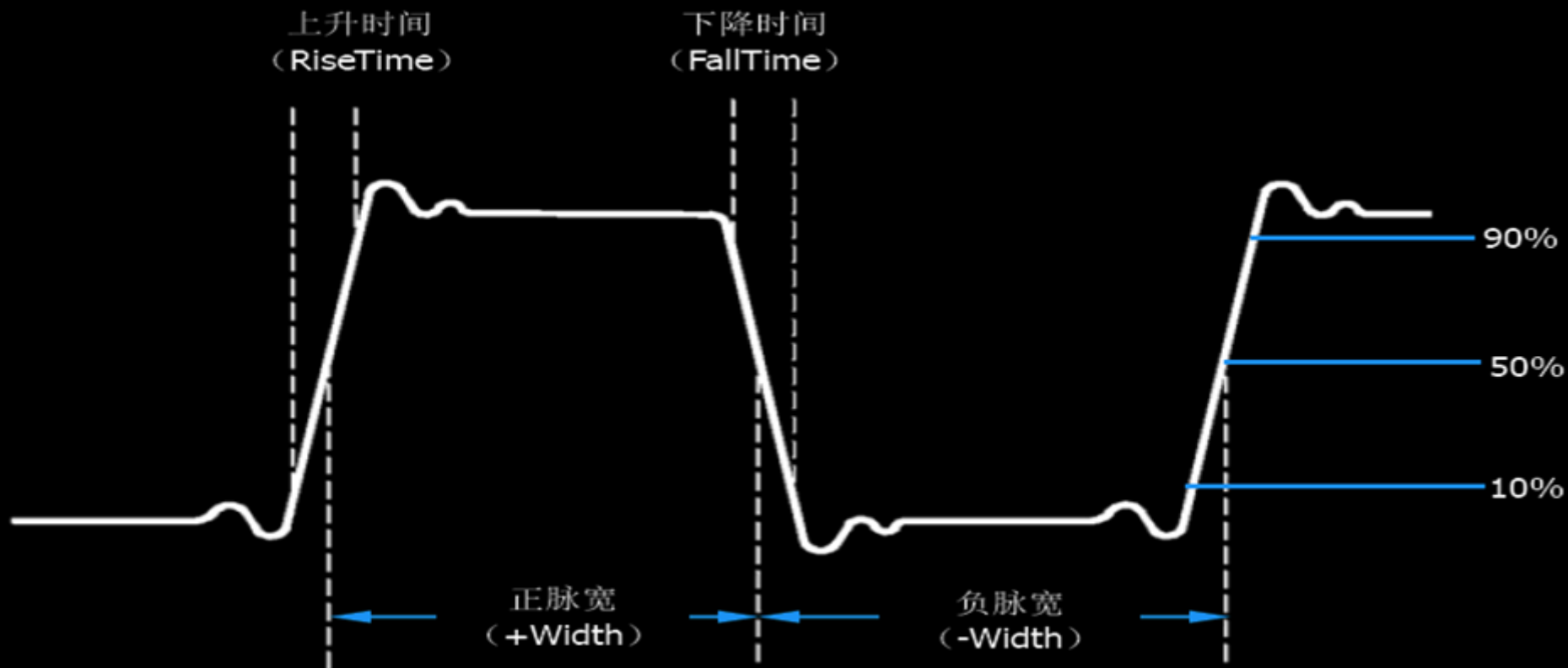
- 大多数波都属于如下类型：
 - 正弦波
 - 方波和矩形波
 - 三角波和锯齿波
 - 阶跃波和脉冲波
 - 噪声波
 - 复杂波



示波器概述

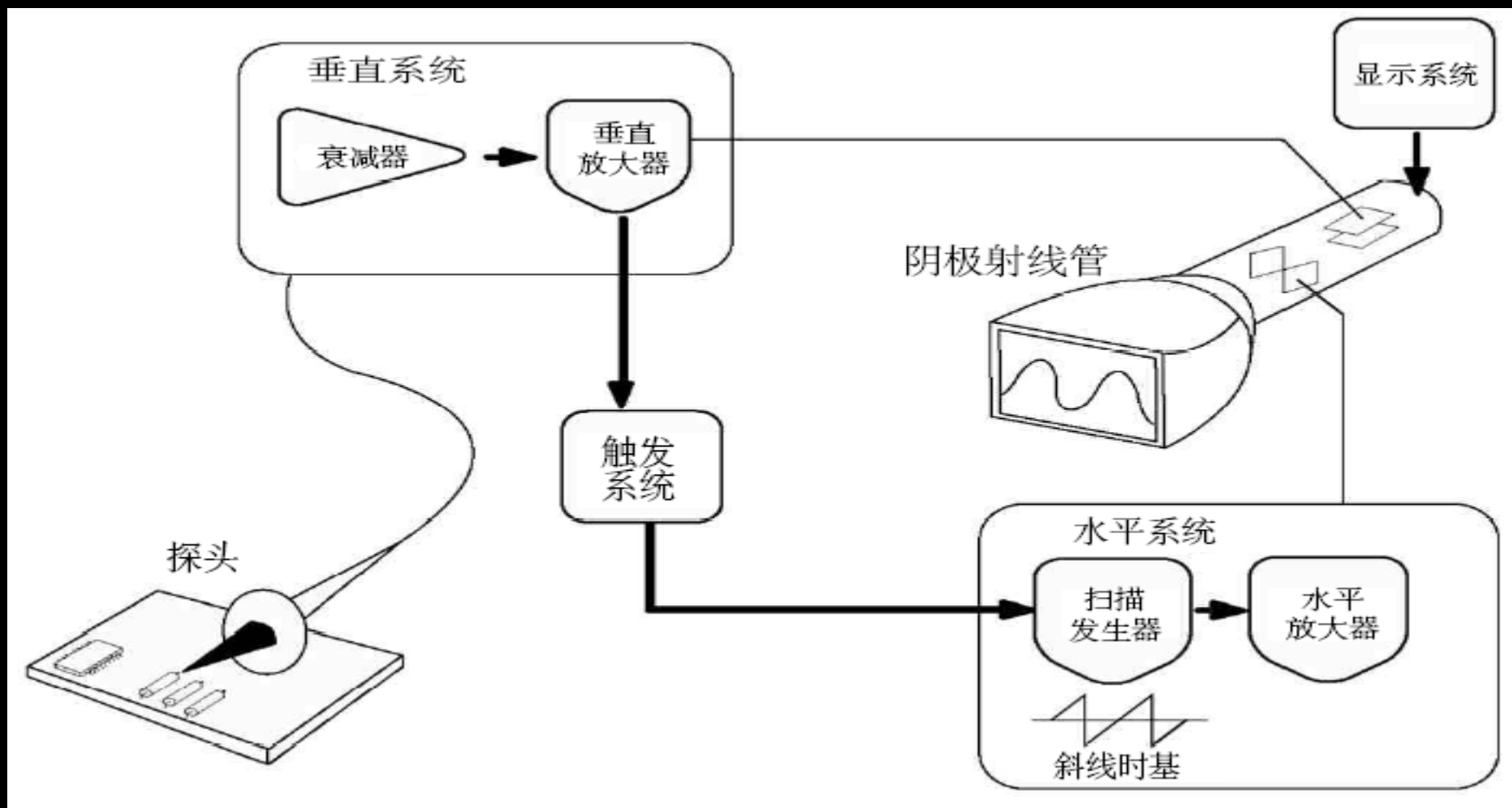
波形主要测量参数：

- 频率
- 周期
- 上升时间
- 下降时间
- 正脉宽
- 负脉宽
- 正占空比
- 负占空比
-



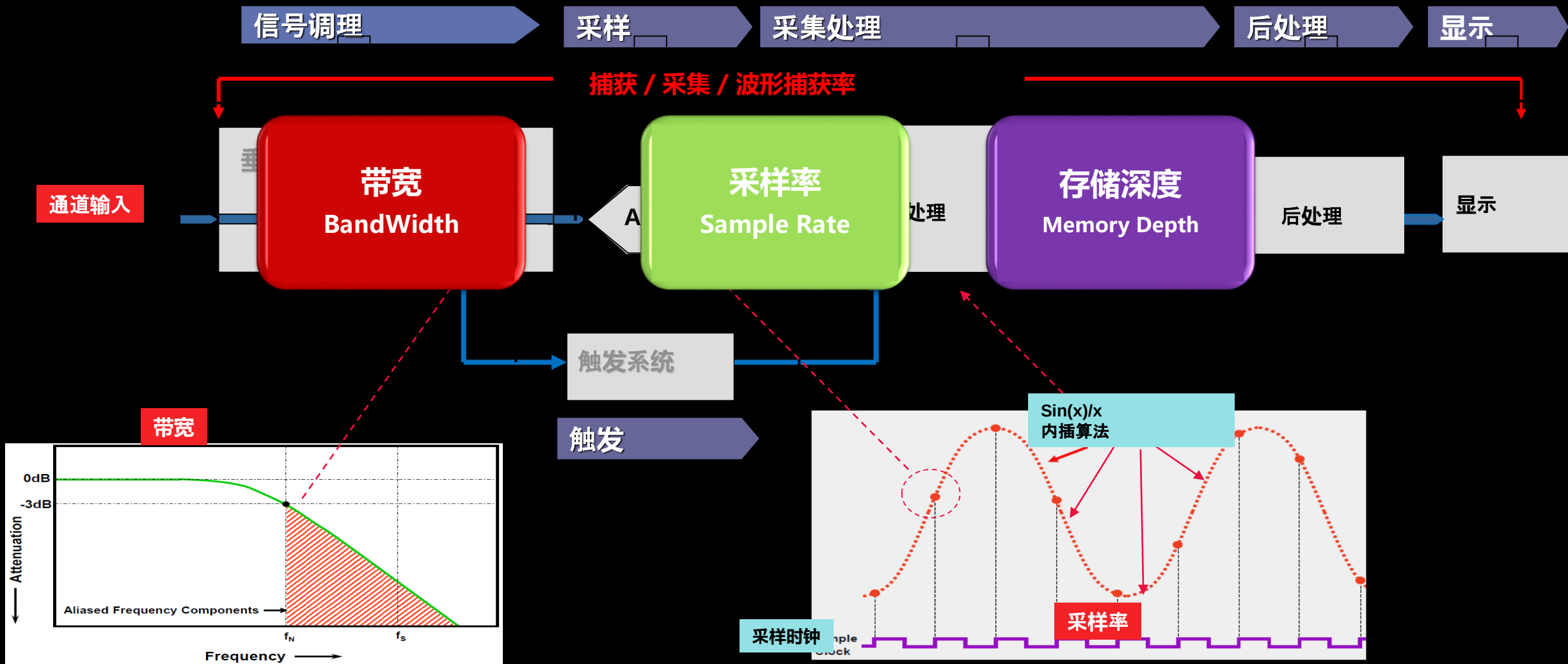
示波器概述

模拟示波器结构框图：



示波器概述

示波器结构框图：

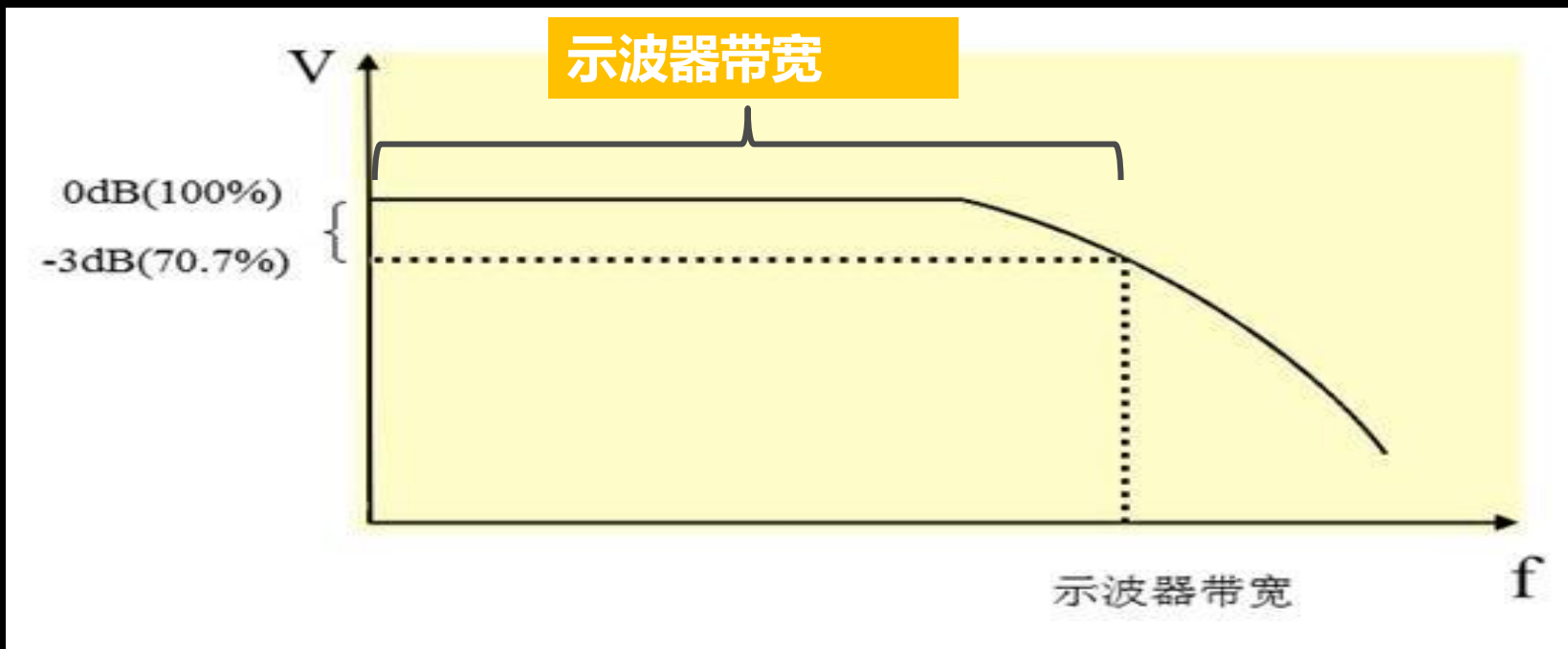


示波器原理

带宽：

定义：输入正弦信号衰减到其实际幅度的70.7%（-3dB）时的频率值，是表征示波器所能测量的频率范围，单位Hz。

数字示波器带宽一般都是指其前端放大器的模拟带宽。放大器相当于一个低通滤波器。

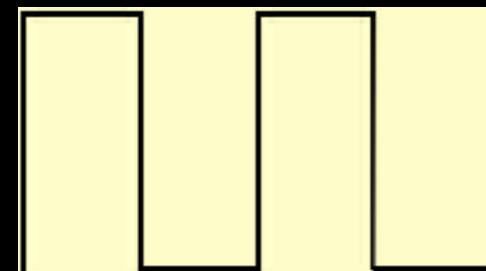
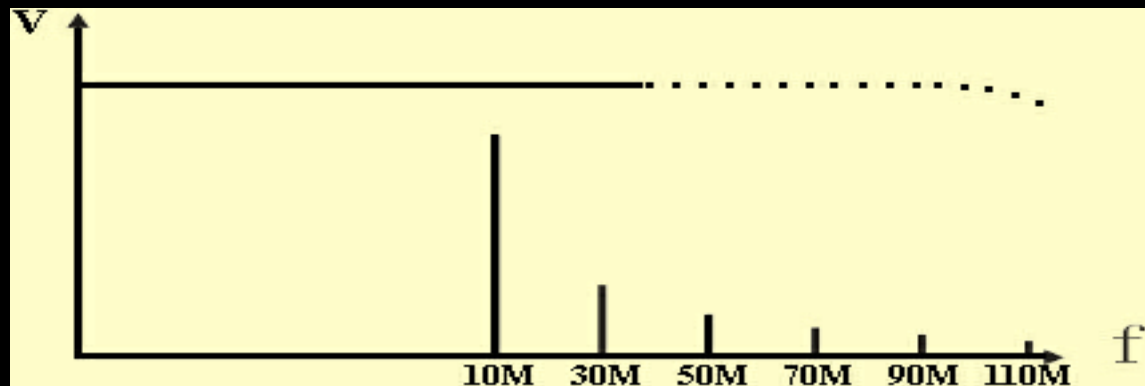


示波器原理

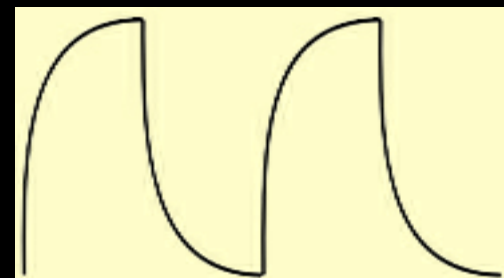
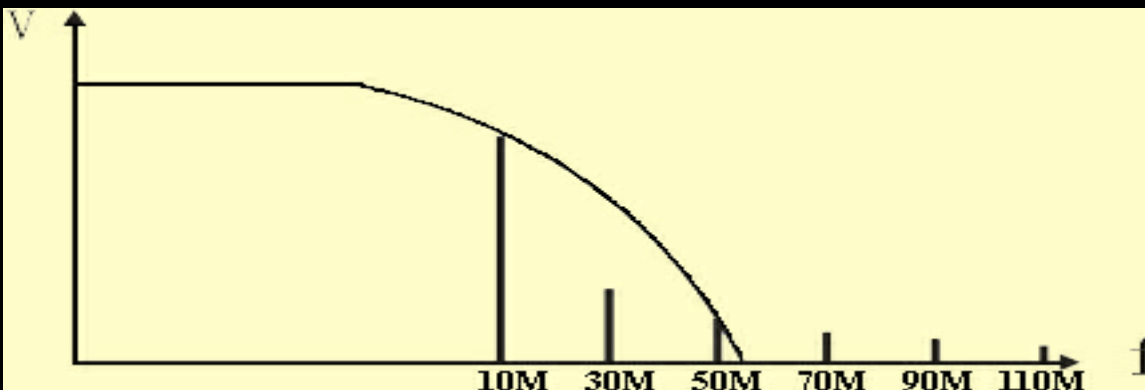
仪器的带宽会对信号产生什么样的影响？

- 高频信号幅度下降
- 信号高频成分消失（也有好处，抑制噪声）

200M带宽
示波器



10M带宽
示波器



示波器原理

选择带宽的方法：

- 以谐波情况为核心选择带宽
- 以上升时间为核心选择带宽

示波器原理

以谐波情况为核心选择带宽：

应该让示波器的带宽大于波形的**主要谐波分量**。

波 形	重要谐波数（基波10%）
正弦波	无谐波分量
方 波	1:9
三角波	1:3
脉冲波（占空比50%）	1:9
脉冲波（占空比25%）	1:14
脉冲波（占空比10%）	1:26
注：列出的影响波形的谐波数是基波的倍数。	

示波器原理

以上升时间为核心选择带宽：
应该让示波器的上升时间快于信号上升时间。

信号上升时间与示波器上升时间之比	上升时间测量精度%
1:1	41%
2:1	12%
3:1	5.4%
4:1	3.1%
5:1	2%
7:1	1%
10:1	0.5%

示波器原理

- 测量的上升时间
 - 阶跃信号从幅度10%上升到90%所用的时间
- 示波器的上升时间
 - 示波器前置放大器的阶跃响应时间
 - 反映的是示波器前置放大器的瞬态响应能力

$$V_{\text{out}} = V(1 - e^{-\frac{T}{RC}})$$

$$e^{-T/RC} = 1 - V_{\text{out}}/V$$

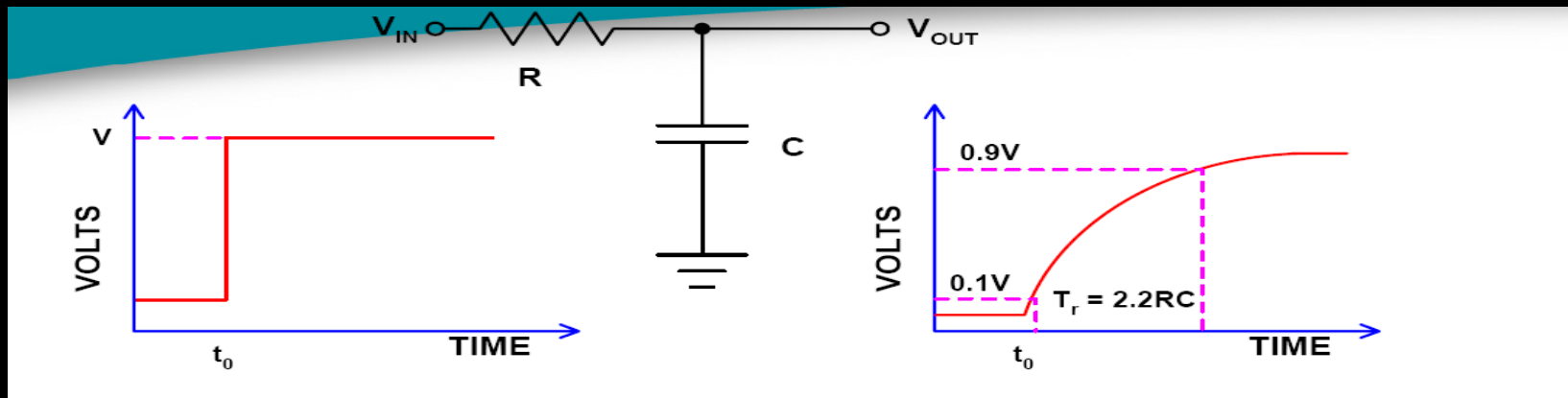
$$-\frac{T}{RC} = \ln \left(1 - \frac{V_{\text{out}}}{V}\right)$$

$$T = -RC \cdot \ln \left(1 - \frac{V_{\text{out}}}{V}\right)$$

$$T_{10} = 0.1RC$$

$$T_{90} = 0.9RC$$

$$T_r = T_{90} - T_{10} = 2.2RC = \frac{2.2}{2\pi f} = 0.35/f$$



示波器原理

以上升时间为核心选择带宽：

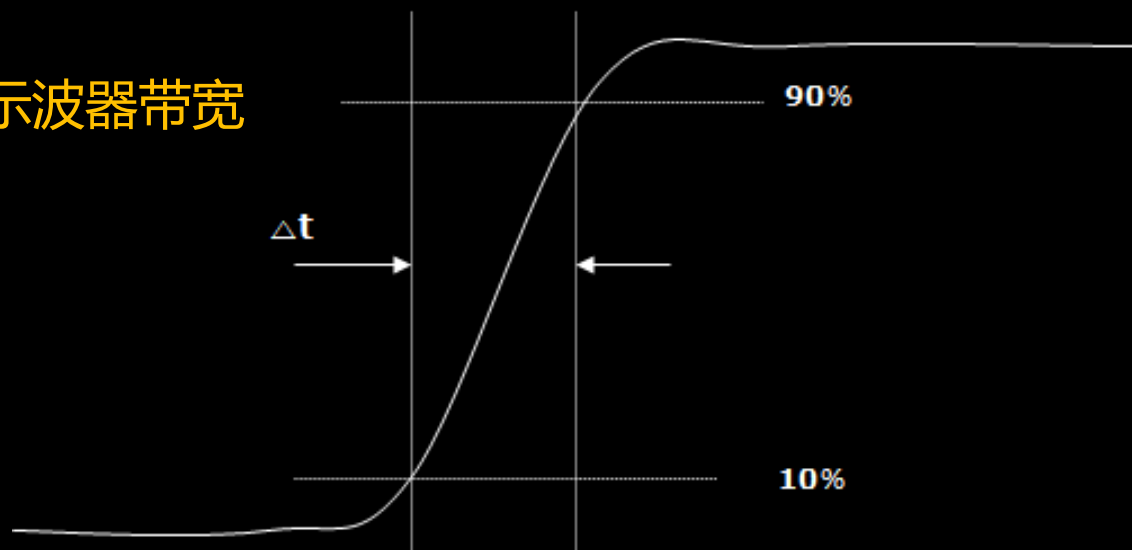
应该让示波器系统的上升时间快于信号上升时间。

若示波器前置放大器模型是一阶低通滤波器模型，示波器带宽与示波器上升时间的经验公式：

$$BW \text{ (MHz)} = 350 / \Delta t \text{ (ns)}$$

例如：

100M带宽示波器标称上升时间为3.5ns



$$t_{\text{测量上升时间}} = \sqrt{t_{\text{信号上升时间}}^2 + t_{\text{仪器上升时间}}^2}$$

示波器原理

选择多快上升时间的示波器合适呢？

- 例如：一个100MHz上升时间为3.5ns的方波信号，使用100MHz的示波器系统进行测量，上升时间测量误差为：
 - 100MHz示波器上升时间 = $350/100\text{MHz} = 3.5\text{ns}$
 - 仪器显示的信号上升时间 = $3.5\text{ns}^2 + 3.5\text{ns}^2 = 4.95\text{ns}$
 - 测量误差 = $(4.95\text{ns} - 3.5\text{ns}) / 3.5\text{ns} = 0.414 = 41\%$
- 为了改善和提高测量精度只能提高示波器系统带宽，如选择比信号上升时间高5倍的示波器，上升时间测量误差为：
 - 500MHz示波器系统上升时间为 = $350 / 500\text{MHz} = 0.7\text{ns}$
 - 仪器显示的信号上升时间 = $3.5\text{ns}^2 + 0.7\text{ns}^2 = 3.569\text{ns}$
 - 测量误差 = $(3.569\text{ns} - 3.5\text{ns}) / 3.5\text{ns} = 0.0198 = 2\%$



5倍法则

示波器原理

小结:

- 数字示波器的带宽指的是前端放大器的-3dB (70.7%) 带宽, 单位Hz。
- 带宽不足会使高频信号幅度下降或高频成分消失。
- 选择示波器带宽有两种方式: 以谐波为核心或以上升时间为核心。
- 以谐波为核心选择带宽应该让示波器的带宽大于波形的主要谐波分量。
- 以上升时间为核心选择带宽, 示波器应该至少快于信号上升时间的5倍。

示波器原理

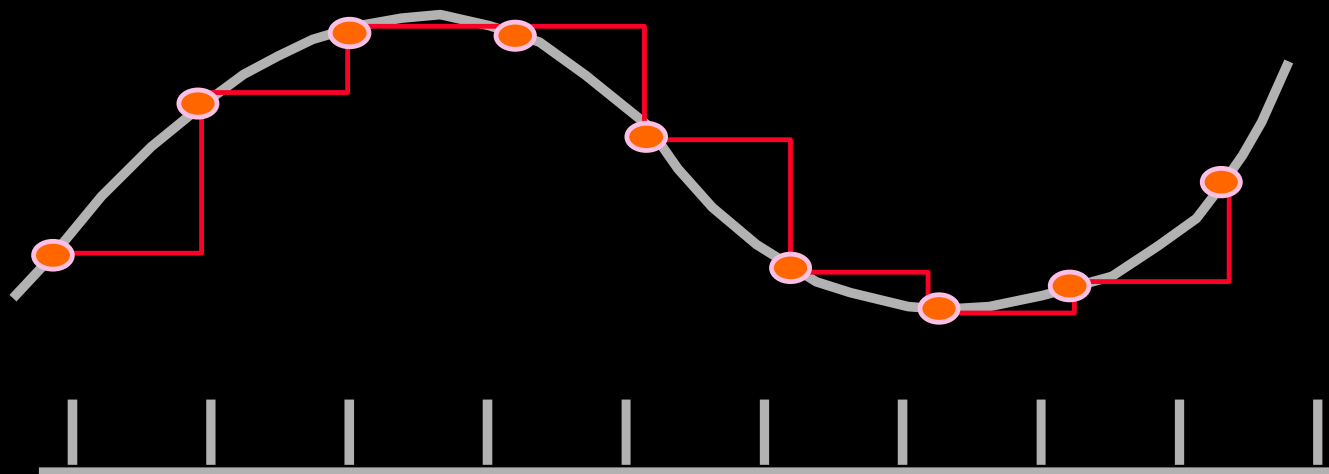
采样率：

采样——将模拟信号通过AD转换变成数字信号的过程。

采样率：示波器每秒采样多少个点

采样点等时间间隔分布，相邻两点间隔时间倒数就是采样率。

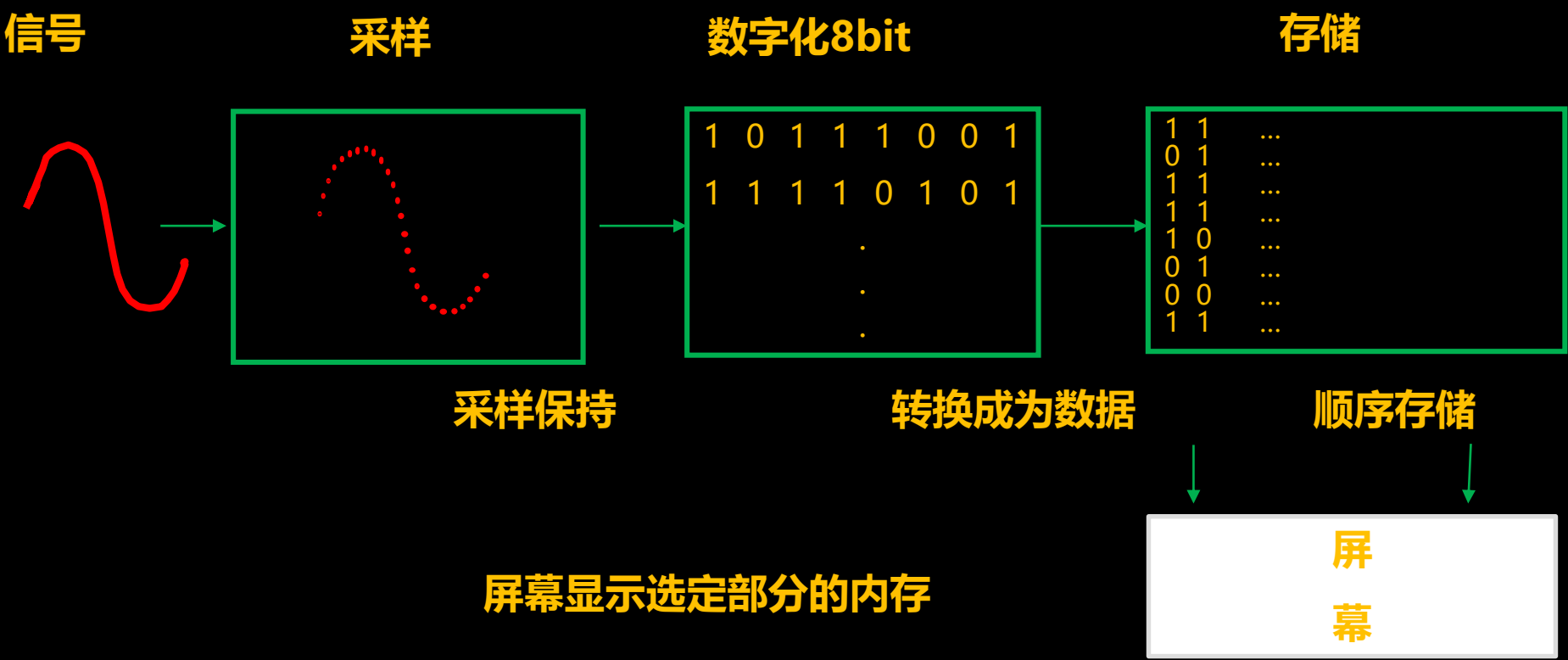
采样率以“点/秒” (Sa/s) 来表示。



示波器原理

采样率：

通俗讲，采样实际上是用点来描绘进入示波器的模拟信号。



示波器原理

采样率：

采样率不足会怎么样？

示波器采样率高低对波形构建的真实性有直接影响！

奈奎斯特取样原理：

在正弦波上采样，采样频率 f_s 必须大于信号频率 f 的两倍以上才能确保从采样值完全重构原来的信号。

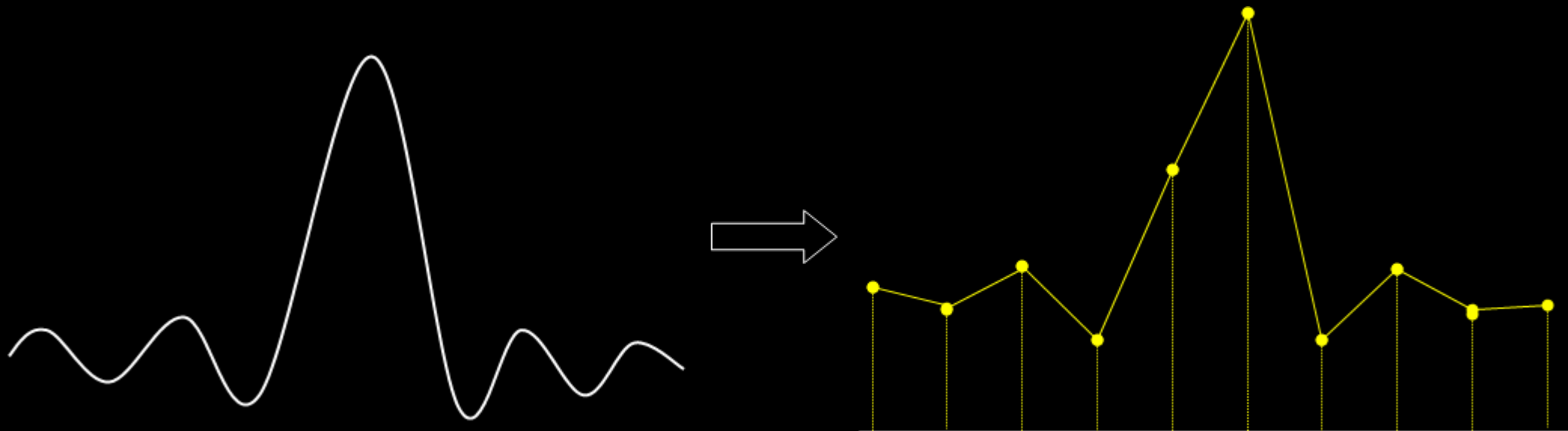
采样率低会对波形产生的影响：

- 波形失真
- 波形混淆
- 波形漏失

示波器原理

采样率:

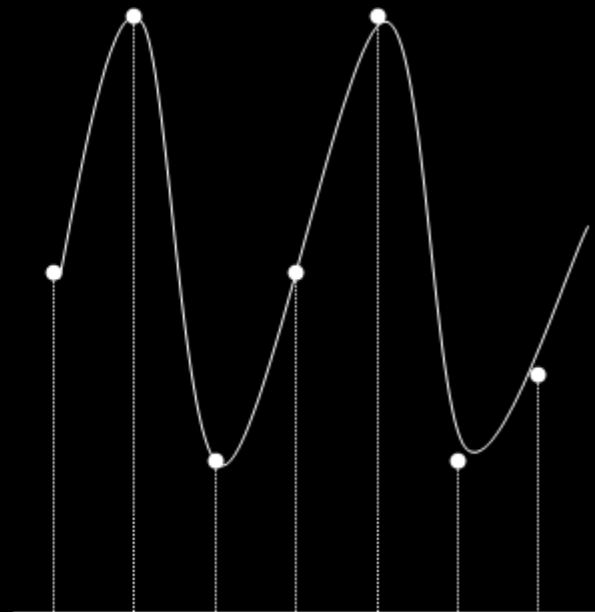
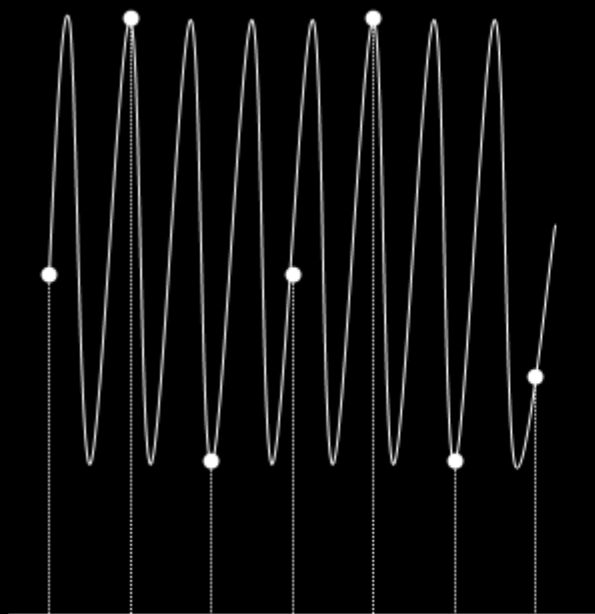
1. 波形失真



示波器原理

采样率：

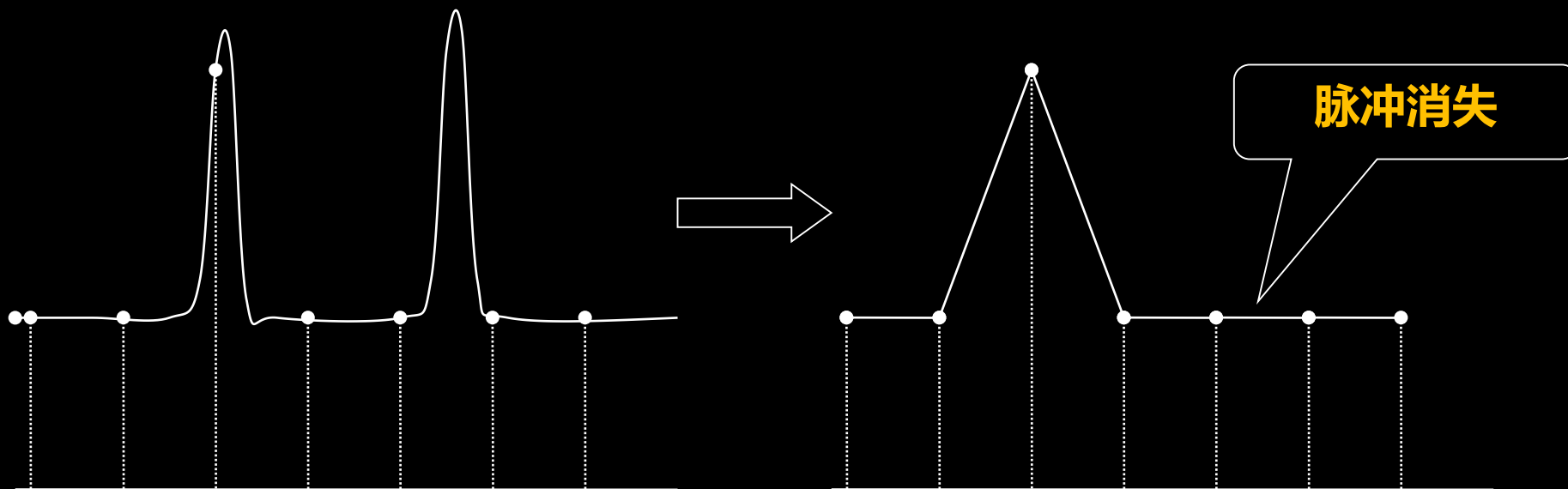
2. 波形混叠



示波器原理

采样率:

3. 波形漏失



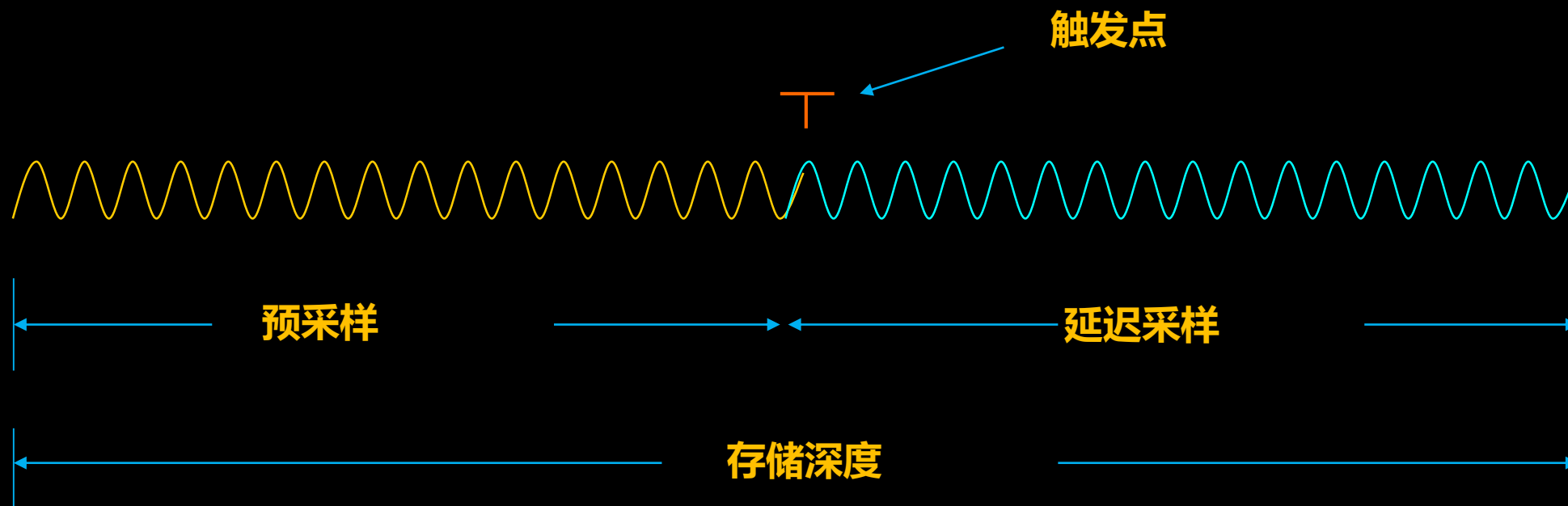
示波器原理

小结:

- 相邻两个采样点的时间间隔倒数就是采样率。
- 采样率以 “点/秒” (Sa/s) 来表示。
- 高采样率示波器适合捕捉单次信号以及隐藏在重复信号中的毛刺和异常信号
- 采样率不足会导致波形失真、波形混淆、波形漏失

示波器原理

存储深度： 指在波形存储器中存储波形样本的数量，单位pts（points）。
存储深度是示波器对数字化波形的最大存储能力。



示波器原理

存储深度:

$$\begin{array}{c} \text{Sample Rate} \\ 1 / \text{Resolution} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{Acquisition time} \\ \text{Time Scale} \end{array} \times \begin{array}{c} \# \text{ of} \\ \text{Div's} \end{array} = \begin{array}{c} \text{Record} \\ \text{Length} \end{array}$$

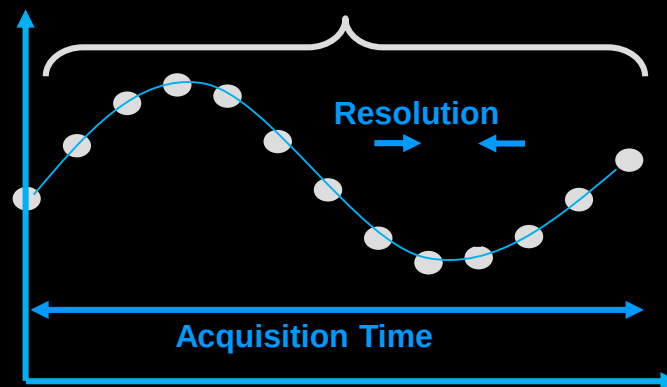
e.g. 10 GS/s $\times$ 100 ps/div $\times$ 10 Div's = 1000 samples

$$\begin{array}{llll} 250\text{MS/s} & \times & 10\text{ms} & = 2.5\text{Mpts} \\ 2.5\text{GS/s} & \times & 10\text{ms} & = 25\text{Mpts} \\ \text{采样率} & \times & \text{采样时间} & = \text{存储深度} \end{array}$$

深存储的优点

- 深存储可保证在同等时间下, 以更高采样率采集波形
- 深存储可保证在同等采样率下, 采集更长时间的波形

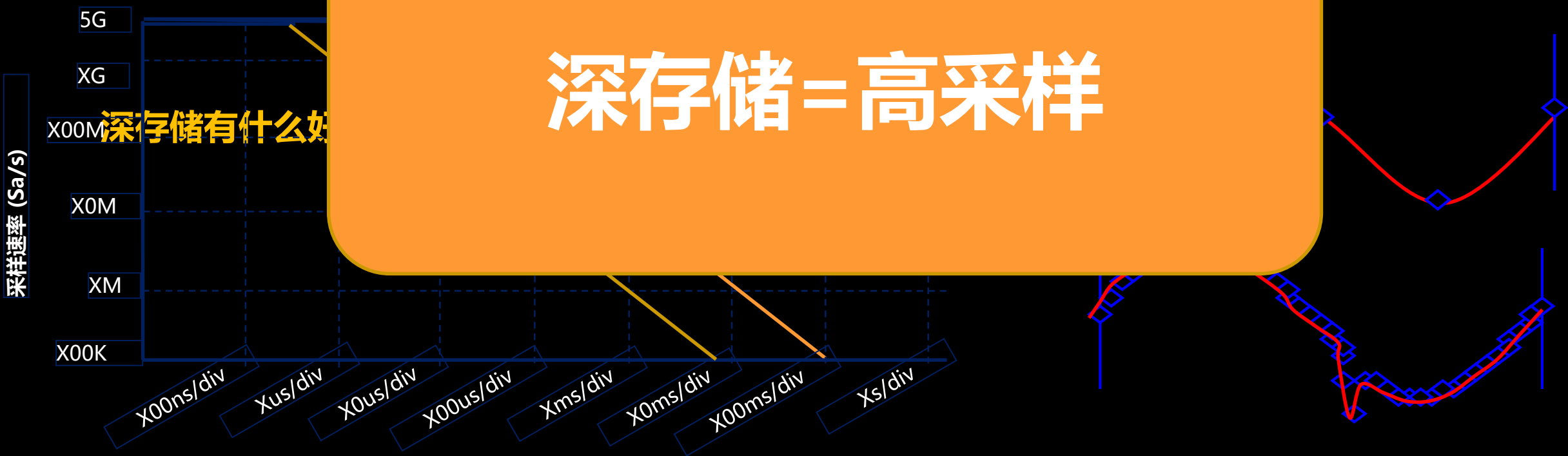
Number of Samples = Record Length



示波器原理

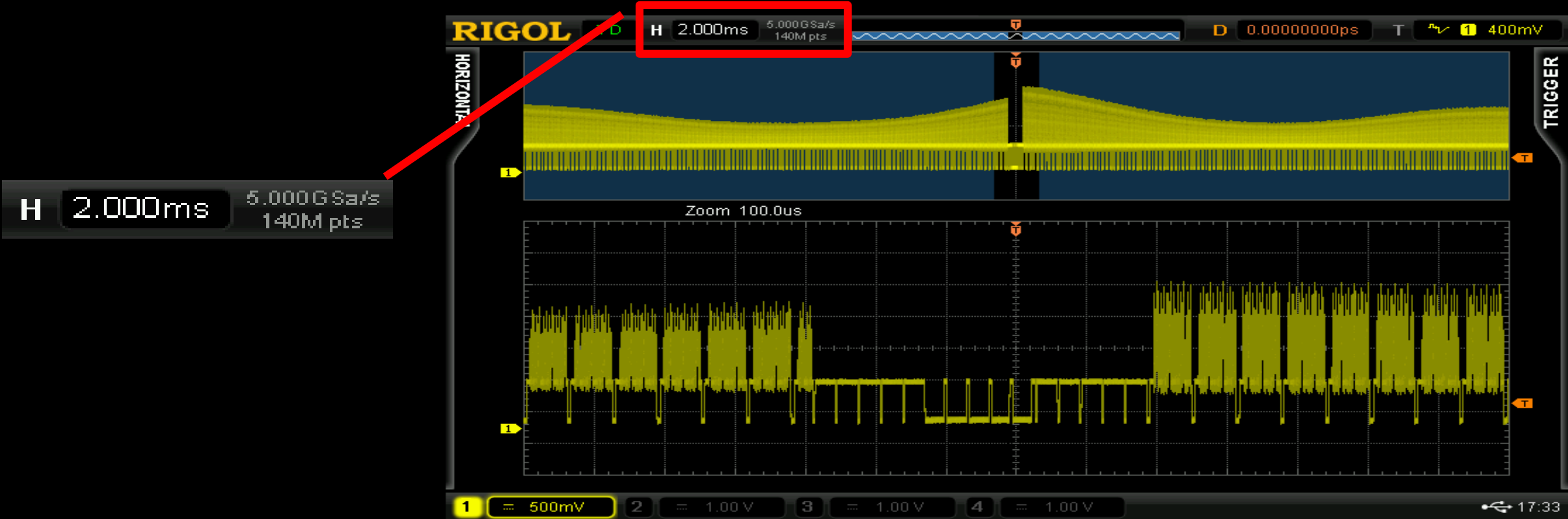
存储深度：

深存储 = 高采样



示波器原理

存储深度:



示波器原理

小结:

- 存储深度是波形存储器中存储波形样本的数量，单位pts (points)
- 波形存储时间 (s) = 存储深度 (pts) / 采样率 (Sa/s)
- 深存储可保证在同等时间下，以更高采样率采集波形
- 深存储可保证在同等采样率下，采集更长时间的波形
- 深存储可能会带来一些负面影响：处理速度、反应速度

示波器原理

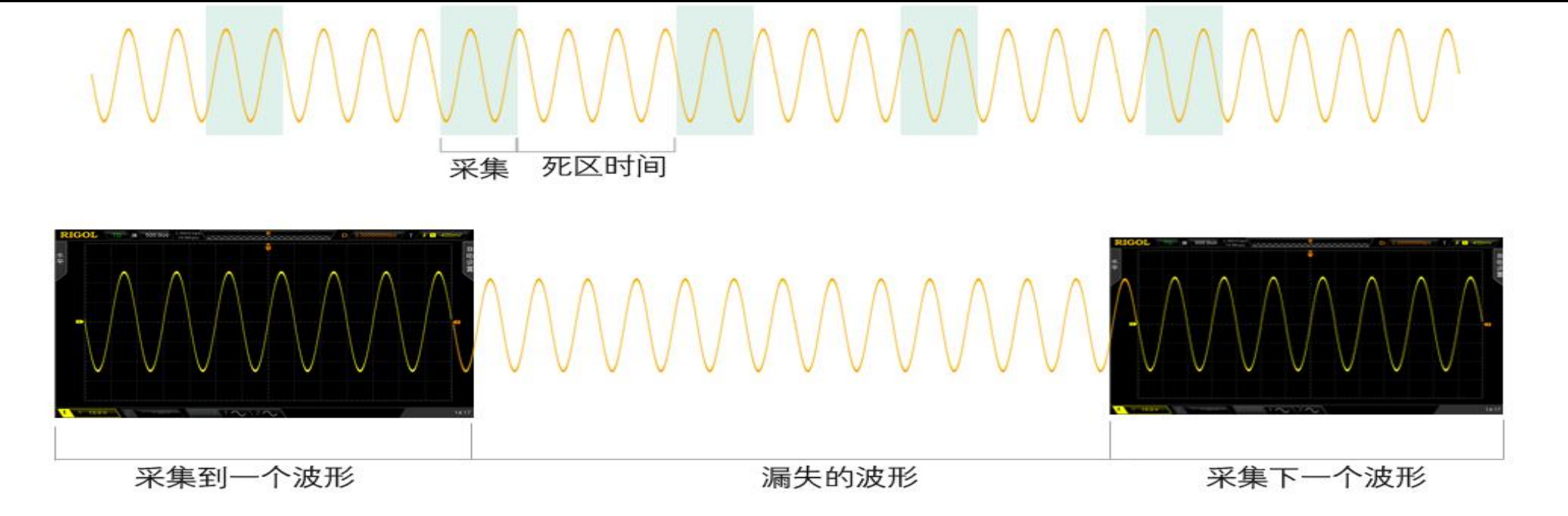
波形捕获率： 又叫波形刷新率，是指示波器每秒钟捕获波形的次数。
单位：wfms/s（波形数/秒）

一个波形捕获周期包括采集时间和死区时间：

捕获周期



示波器盲区！

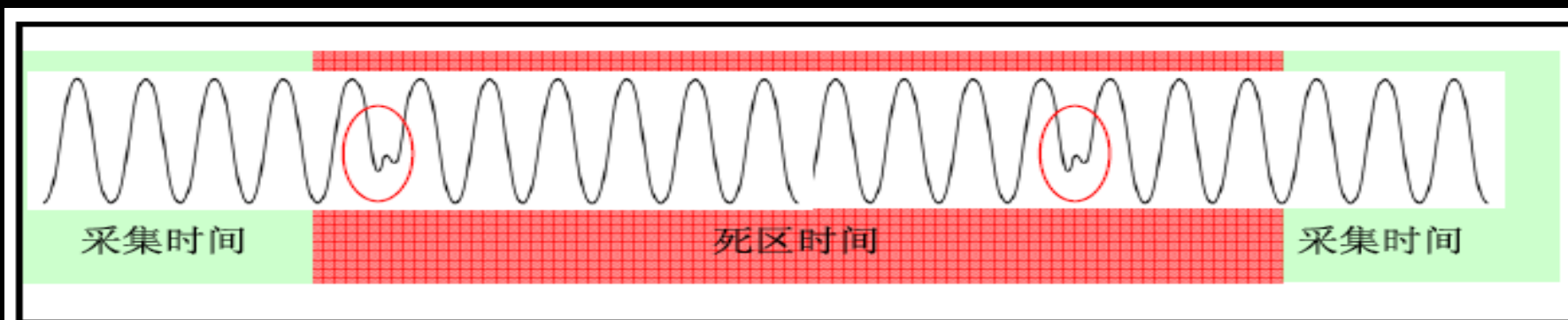


示波器原理

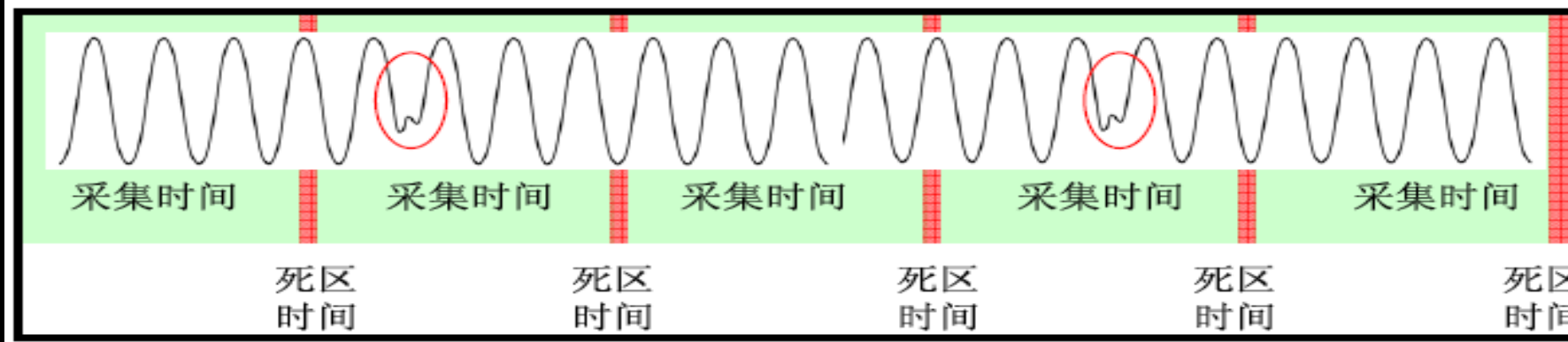
波形捕获率：

波形捕获率的高低直接影响捕获偶然事件发生的概率。

低捕获率



高捕获率



示波器原理

练习题

例如：某示波器的屏幕为10div，当前水平档位2us/div，波形捕获率为1000wfms/s，请问该示波器漏失了多少波形？

- A. 99%
- B. 98%
- C. 97%
- D. 无漏失

捕获时间=1000wfms/s x 2us/div x 10div=20ms

采集时间=1s=1000ms

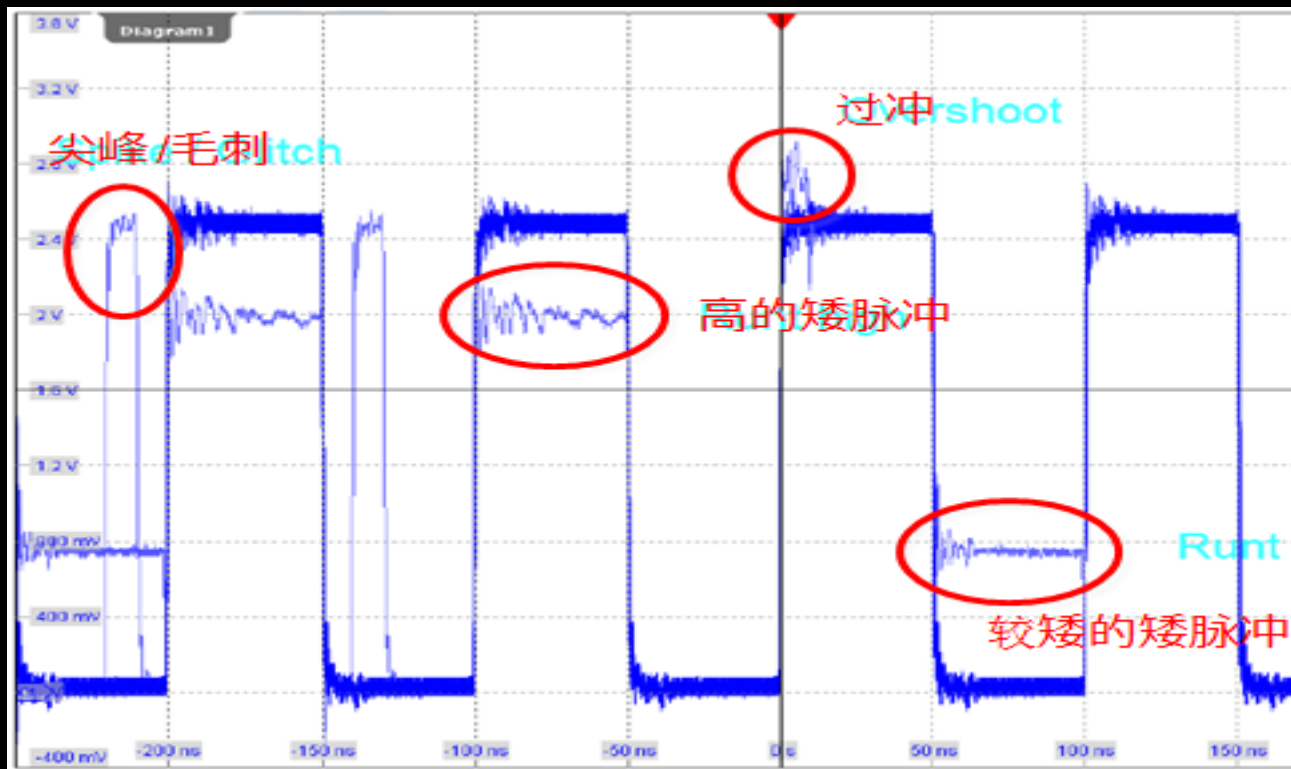
波形漏失= (1000-20) /1000=98%

答案：B

示波器原理

波形捕获率：

- 最容易，最简单的获得证据的方式是触发信号的边沿，结合余辉方式来观察有没有异常信号。
- 这种传统方式下查看异常信号的能力和示波器的捕获率成正比：捕获率越快，就越容易找到异常信号



示波器原理

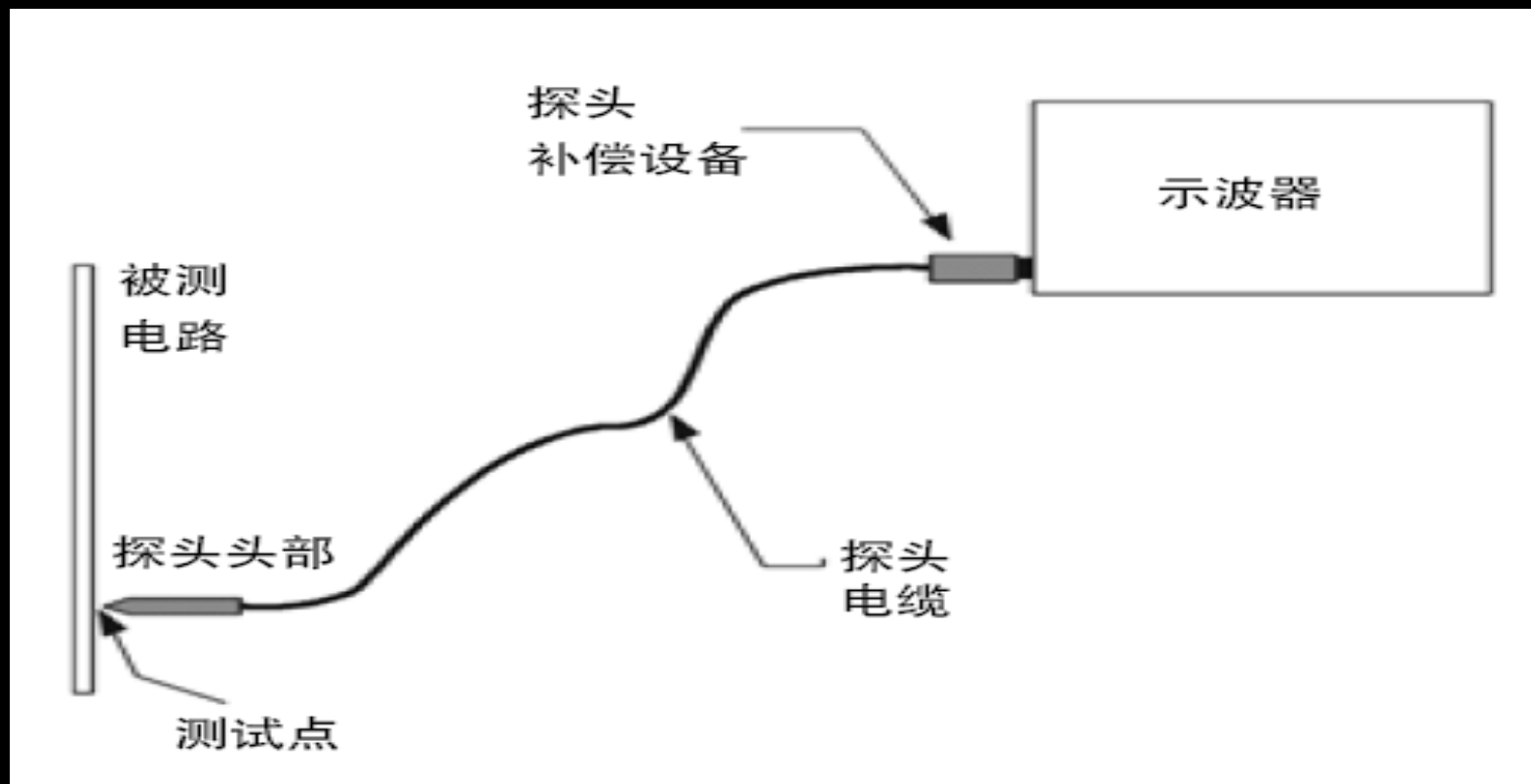
小结:

- 波形捕获率是单位时间内捕获的波形数，单位wfms/s（波形数/秒）
- 示波器存在死区时间
- 高波形捕获率能够更大概率捕获波形中的异常信号

探头

探头 (Probe) 定义:

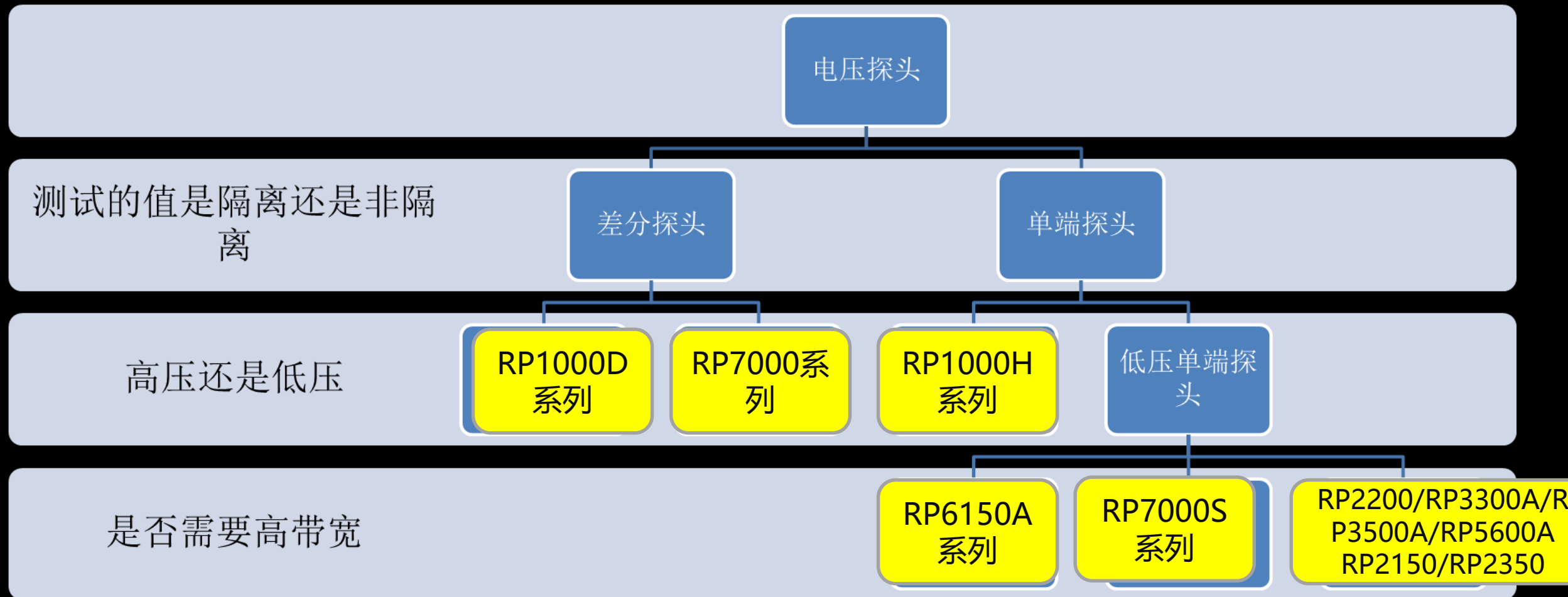
从本质上看, 探头就是在测试点或信号源和示波器之间建立了一条物理和电气连接的设备。





探头

探头：



探头

无源单端探头：



RP2200	RP3300A	RP3500A	RP5600A
带宽：150MHz	带宽：350MHz	带宽：500MHz	带宽：600MHz
电压范围：CAT II 300VAC	电压范围：CAT II 300VAC	电压范围：CAT II 300VAC	电压范围：CAT II 300VAC
10X；1X两档	10X一档	10X一档	10X一档

探头

有源高带宽探头：



RP7150	RP7150S	RP7080	RP7080S
带宽：1500MHz	带宽：1500MHz	带宽：800MHz	带宽：800MHz
MAX：CAT I 30VAC	MAX：CAT I 30VAC	MAX：CAT I 30VAC	MAX：CAT I 30VAC
10X一档	10X一档	10X一档	10X一档

探头

无源高压探头:



RP1010H	RP1018H	RP1300H
带宽: 50MHz	带宽: 150MHz	带宽: 300MHz
DC: 0 ~ 10 KV DC AC: pulse ≤ 20 KV peak to peak AC: sine wave ≤ 7 KV rms	最大输入: DC+AC peak 18kV CAT II 最大输入: AC RMS. 12kV CAT II	最大输入: CAT I 2000 V (DC+AC), CAT II 1500 V (DC+AC)
1000X一档	1000X一档	100X一档

探头

电流探头:



RP1001C	RP1002C	RP1003C	RP1004C	RP1005C
带宽: 100kHz	带宽: 1MHz	带宽: 50MHz	带宽: 100MHz	带宽: 10MHz
电流范围: 100A	电流范围: 70A	电流范围: 30A	电流范围: 30A	电流范围: 150A
100mV:A; 10mV: A两档	500mV:A; 50mV: A两档	100mV:A一档	100mV:A一档	10mV:A一档



谢谢!