

电子线路设计与测试

电子信息与通信学院 陈林

lchen@mail.hust.edu.cn

实验室有关规定

1. 座位安排 按**hub**系统登记次序就座
2. 签到 按**座位号码**到讲台签到(仪器故障说明)
3. 领万用表 按**座位号码**领相应号码的万用表
4. 实验完毕后 每人将自己的桌面整理干净
 关闭万用表电源，将表笔线整理好，并按号码顺序放入柜中。
5. 每班安排4人值日
 值日内容：扫地、拖地、抹桌子并整理实验桌、板凳归位、清理万用表（按顺序摆整齐）

实验室有关规定

- 出现异常情况（如冒烟、异味等）及时报告老师并做相应处理，如切断电源等。
- 发现仪器有问题，报告老师，确认后在记录本上做好登记。
- 不能在实验室内吃东西、喝饮料。

实验室有关规定

□ 教师授课时间按照学校有关规定执行，考虑到实验室管理方便，调整如下：

■ 秋冬季时间（**10.1~4.30**）

上午 8:00~11:10 下午14:00~17:10

晚上 18:30~21:40 中间休息**10分钟**

■ 夏季时间（**5.1~9.30**）

上午 8:00~11:10 下午14:30~17:40

晚上 19:00~22:10 中间休息**10分钟**

□ 每个单元实验时间结束时下课铃响，准时拉闸停电。

课程资源-教材与参考资料

◆罗杰、谢自美主编，《电子线路设计.实验.测试》第5版，电子工业出版社；2015.1

◆精品课程电子资源

本课程为国家精品资源共享课程《
电子线路设计与测试》
在爱课网<http://www.icourses.cn>上
提供开放课程资源



要求用邮箱注册登陆进行在线学习---用户名：班级姓名

课程资源-教材与参考资料

- 华中科技大学《电子线路设计、测试与实验（一）》MOOC课程：

<https://www.icourse163.org/spoc/course/HUST-1003328002>

- 华中科技大学《电子线路设计、测试与实验（二）》MOOC课程：

<http://www.icourse163.org/spoc/course/HUST-1003321004>



课程目标 — 培养硬件实践/实验技能

- 能正确使用常用电子仪器：示波器、信号发生器、稳压电源。
- 能设计简单的电路，并掌握电子电路的基本测试技术：**放大电路静态和动态参数的测试；数字逻辑电路的逻辑与时序功能等。**
- 初步学会分析、寻找和排除实验故障的能力。
- 能正确处理实验数据、进行误差分析、**写出符合要求的实验报告。**
- 初步学会EDA工具软件的使用：对模拟电路进行仿真、分析和辅助设计，并能够实现小系统的组装和调试。用FPGA进行简单数字电路和小型系统的设计实现方法。

通过这门课程的学习，希望每个人的实际动手能力、理论联系实际的能力、工程设计能力能有一定的提高。

课程执行方式

- 特色：全实践性课程；理论与实践相结合
- 目标：培养基本实验、实践技能和综合应用能力
“学思用贯通，知信行合一”
- 创新三要素：知识是基础，思考是关键，实践是根本。
- 要求：在主动思考引领下进行主动学习与主动实践。
- 要求：动脑、动手、动嘴！

课程执行方式

- 实验流程---良好习惯养成!
- 课前---预习，明确实验目标，学习相关知识，设计实验电路与实验过程，明确实验步骤与预期实验结果，安装电路，作好实验准备工作-预习报告（实验方案），知识储备的检验（MOOC）
- 课堂上---操作、测量、记录-记录结果与验收（测试---反复迭代过程）
- 课后一总结与分析-实验报告

课前一预习

- 实验目的与要求
- 选择电路类型，确定元件参数
- 设计实验方法与步骤
- 设计实验表格
- 电路的可靠安装

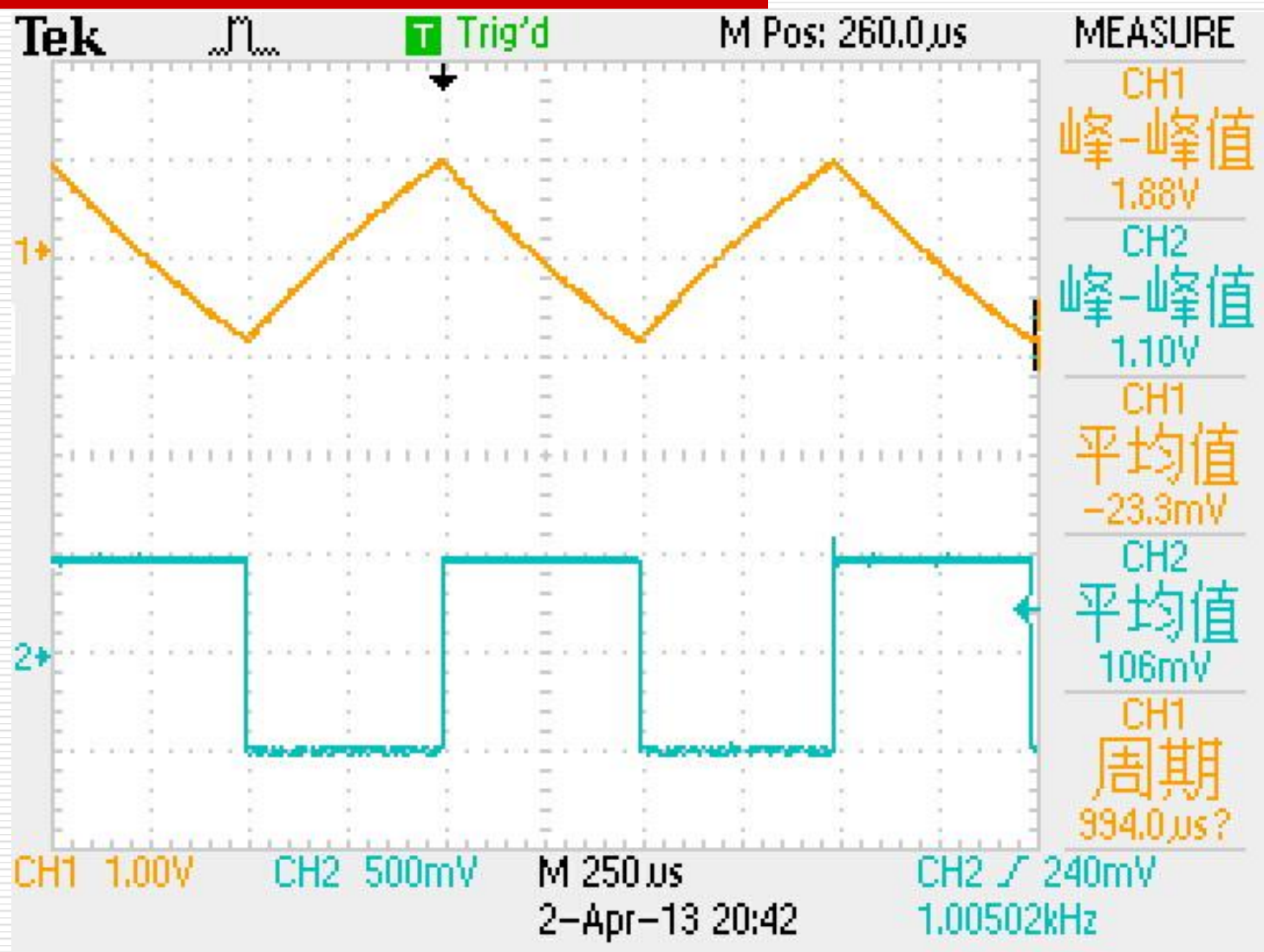
课上一调试、测量、记录数据

- 搭建实验测试平台 — 测试方法的设计
- 观察实验现象与结果 — 仪器使用
- 记录实验数据与波形 — 仪器使用

课后一总结与分析，写实验报告

- ❑ 实验报告要求用报告纸书写，格式内容规范
- ❑ 对实验数据进行处理，绘制图、表或波形。
- ❑ 波形画在坐标纸上或实验报告纸上（需要画坐标系），还需记录波形的特征参数（如峰值、频率等）。
- ❑ 写出个人的实验心得、体会与建议

波形保存方式

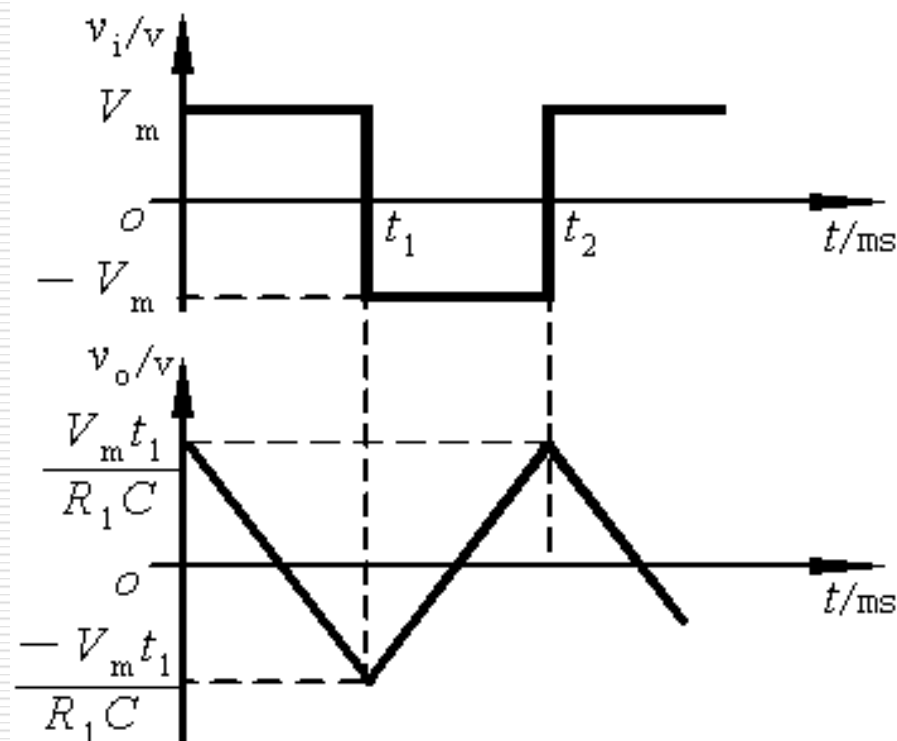


实验报告要求

- 参见附录**F.1**
- 实验报告按阶段提交，格式内容符合要求。
- 实验结果需**设计表格记录**，并按科学方法进行处理。波形记录需要画坐标系，单位等，还需记录波形的**特征参数**如峰峰值，周期等。

实验报告内容 - - 参考附录F (P427) (第5版)

- 1分 {
 - ☐ 已知条件
 - ☐ 主要技术指标
 - ☐ 实验用仪器
- 7分 {
 - ☐ 电路工作原理
 - ☐ 电路的设计与调试
 - ☐ 主要技术指标的测量
- 2分 {
 - ☐ 误差分析
 - ☐ 实验分析与研究
 - ☐ 实验总结



开放实验时间

- <https://www.icourse163.org/learn/HUST-1001942004?tid=1003022015#/learn/announce>
 - 华中科技大学《电子线路设计、测试与实验》课程实验室开放通知
 - **1.随堂学习：**按照课表规定时间、教室参与课程学习；
 - **2.插空学习：**无需预约，在本班规定时间内未完成实验或有其他实验需求的同学可以利用其他班级空余实验台位进行学习（参见课程实验室开放课表）；
 - **3.开放学习：**通过在实验网络预约系统上提前预约开放实验台位，在实验室开放时间进行实验。
-

成绩评定

□ 平时成绩：占40%

- 电路设计、安装、测试成绩（以验收记录为准）
- 实验报告成绩
- MOOC课程成绩 占25%

□ 实验考试：占60%

- 笔试部分：
- 现场电路设计、安装、测试、实验报告

注意：无故旷课累计1/3以上，本课程重修。
本课程没有补考。

成绩评定

◆平时成绩占总成绩的40%

本课程采用SPOC (**Small Private Online Course**) 教学方式, 与线上MOOC课程配合教学。在爱课网

<http://www.icourse163.org/learn/HUST-1001942004?tid=1002047009>,

<http://www.icourse163.org/learn/HUST-1001943003?tid=1002047001>

http://www.icourses.cn/coursestatic/course_2553.html

上提供开放课程资源: 可用邮箱注册登陆进行在线学习。
MOOC课程学习成绩将记入平时成绩。

◆考试占总成绩的60%

◆无故旷课累计1/3以上, 本课程重修。

关于平时成绩的说明

- **平时验收需三样齐全：预习报告（含设计电路）、实际电路、测试结果记录**
- **采取抽查指标验收方式**
- **每个同学验收哪一个指标由老师指定**
- **验收时需演示测试方法和测试结果**
- **回答老师的相关提问**
- **在每个阶段如果提前完成实验，可以提前验收，通过验收后可以提前进入下一阶段实验**
- **提前完成实验（含报告）将得到适当的奖励分，延期完成将扣分**

本学期实验内容安排

实验一

- 常用器件的识别
- 常用仪器的使用
- 基本运算电路

电子元器件相关课程资源

- 教材：附录D；附录E
 - 华中科技大学《电子线路设计、测试与实验（一）》MOOC课程：
 - <http://www.icourse163.org/course/HUST-1001942004>
 - 模块二 电子元器件
-

教学目标

- 元件类型识别
- 元件参数识别
- 元件使用常识
- 元件收纳整理
- 学会搜集、分析、使用datasheet!

常用元器件的识别

◆电阻、电容、电位器

◆二极管、发光二极管、三极管

◆共阴**7**段显示器

◆集成电路

电阻和电容值的辨识方法：P316

- 额定功率

0.25w 0.5w 1w 2w

...

- 标称阻值系列

- 生产精度

色环电阻的对照关系				
颜色	数值	倍乘数	误差 (%)	温度关系/ ($\times 10^{\circ}\text{C}$)
棕	1	10	± 1	100
红	2	100	± 2	50
橙	3	1k	—	15
黄	4	10k	—	25
绿	5	100k	± 0.5	
蓝	6	1M	± 0.25	10
紫	7	10M	± 0.1	5
灰	8		± 0.05	
白	9		—	1
黑	0	1	—	—
金	—	0.1	± 5	—
银	—	0.01	± 10	—
无			± 20	

电阻和电容值的辨识方法：P316

颜色与所代表的数字对应关系

四环电阻

色环环数	第一环	第二环	第三环	乘数	误差率
黑	0	0	0	1	
棕	1	1	1	10	±1%
红	2	2	2	100	±2%
橙	3	3	3	1k	
黄	4	4	4	10k	
绿	5	5	5	100k	
蓝	6	6	6	1M	
紫	7	7	7	10M	
灰	8	8	8	100M	
白	9	9	9	1000M	
金				0.1	±5%
银				0.01	±10%
无色					
色环环数	第一环	第二环	第三环	乘数	误差率

五环电阻

色环电阻的读取方法



金色(允许偏差)

橙色(乘数)

红色(第二位有效数字)

棕色(第一位有效数字)

阻值= $12 \times 10^3 \Omega = 12000 \Omega = 12k \Omega \pm 5\%$



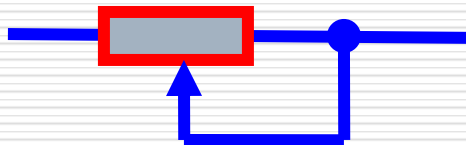
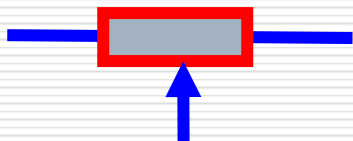
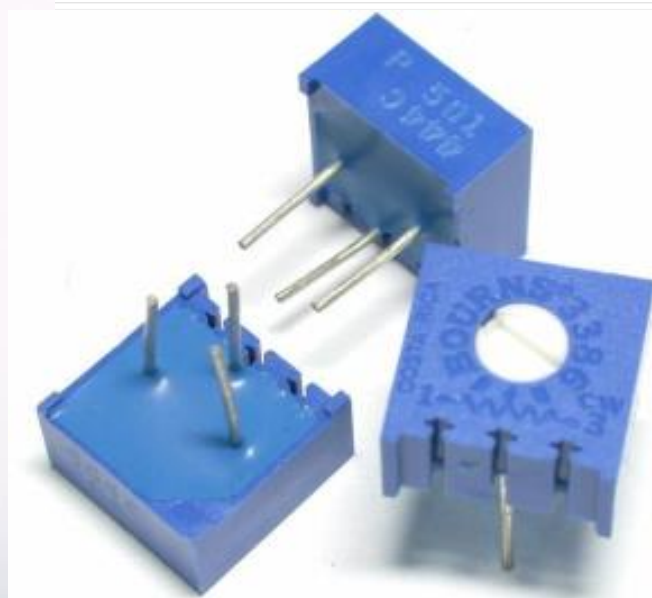
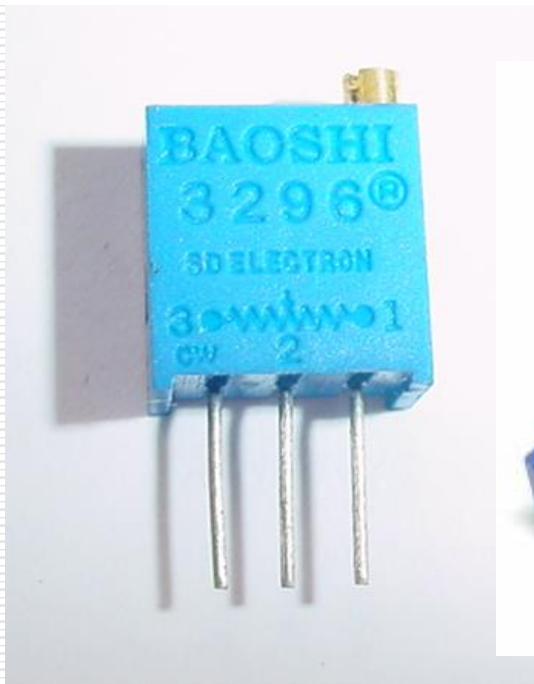
颜色	每一段	第二段	第三段	乘数	误差	
黑色	0	0	0	1		
棕色	1	1	1	10	$\pm 1\%$	F
红色	2	2	2	100	$\pm 2\%$	G
橙色	3	3	3	1K		
黄色	4	4	4	10K		
绿色	5	5	5	100K	$\pm 0.5\%$	D
蓝色	6	6	6	1M	$\pm 0.25\%$	C
紫色	7	7	7	10M	$\pm 0.10\%$	B
灰色	8	8	8		$\pm 0.05\%$	A
白色	9	9	9			
金色				0.1	$\pm 5\%$	J
银色				0.01	$\pm 10\%$	K
无					$\pm 20\%$	M

黄 紫 黑 橙 棕

4 7 0 1K 1%

470X1K 1% = 470K \pm 1%

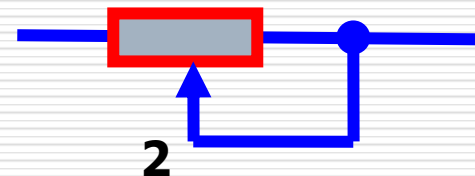
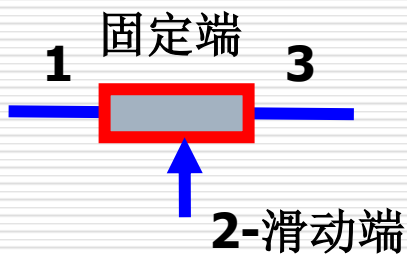
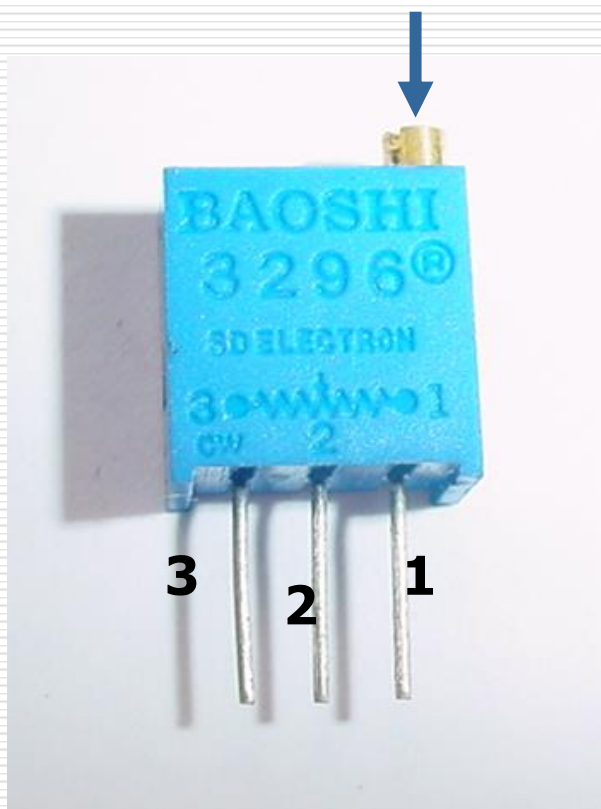
电位器（可变电阻）



电位器也有很多种类，要考虑的主要参数也是阻值和功率，通常这两个参数都直接标注在电位器外壳上，有时则只标注阻值。



精密 电位器



顶部标示值

■ W 102 = 1K Ω

■ W 104 = 100K Ω

电容

描述电容性能的主要参数是电容容量和耐压。电解电容的容量和耐压都标注在外壳上。

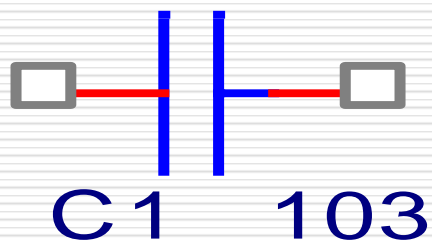
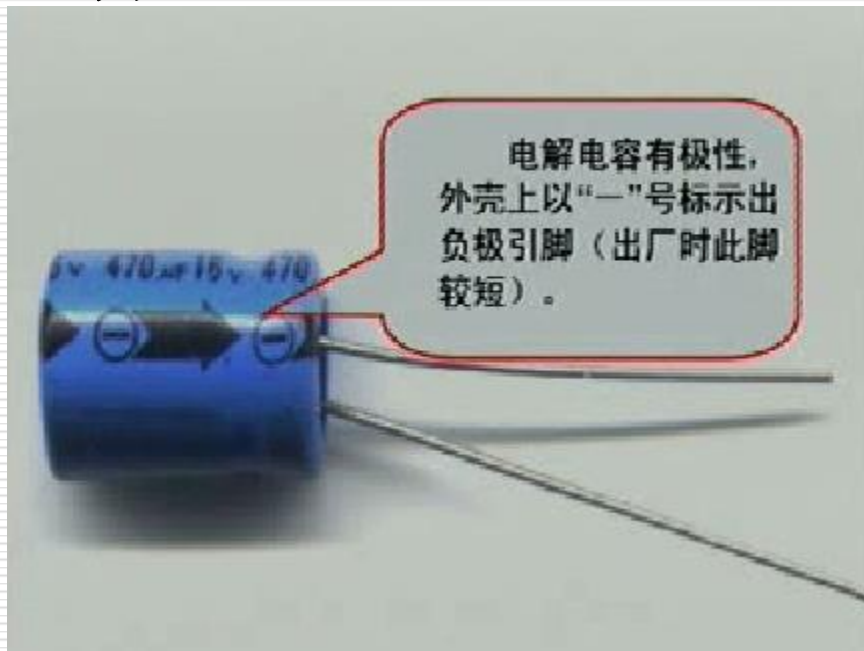


瓷介电容：容量较小(零点几 μF 以下)



电解电容：容量较大(1 μF 以上)

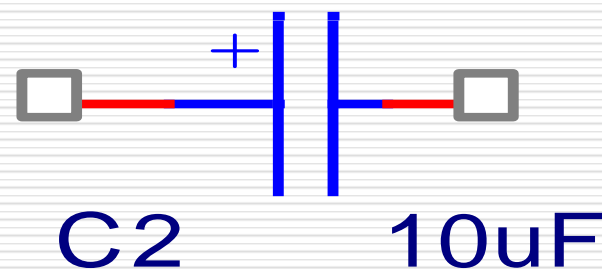
电容



瓷片电容

$$10 \times 10^3 \text{ pF} = 10000 \text{ pF}$$

无极性



电解电容

10µF

有极性

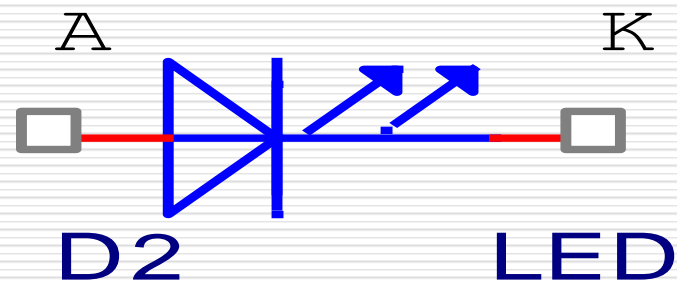
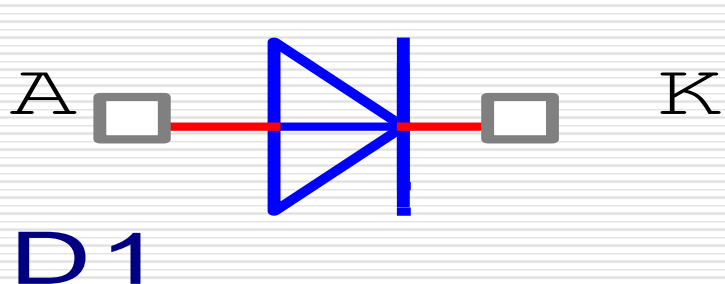
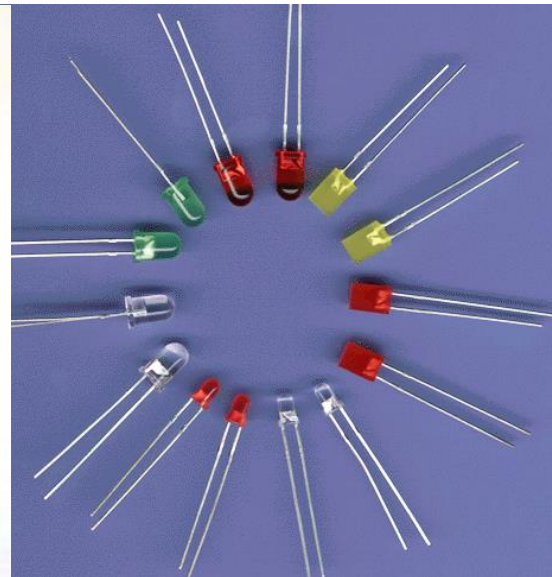
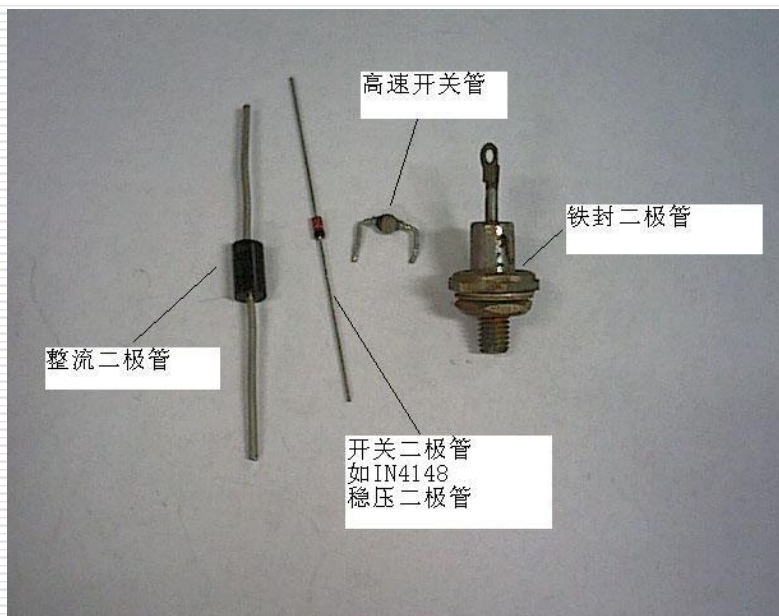


\sim
4n7

常见的还有一种标注，如
4n7。其中n为比例后缀，代
表 10^{-9} ，

即 $4n7=4.7nF=4700PF$

二极管、发光二极管



有极性 种类不同不可随意混杂使用 有极性

二极管的引脚有正负极性之分，通常有黑圈的一端或较短的引脚为负极。

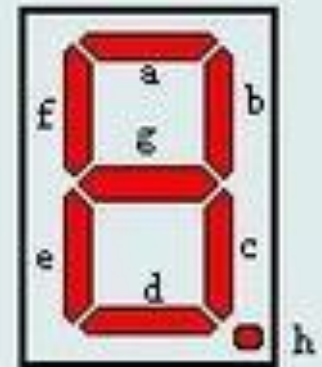
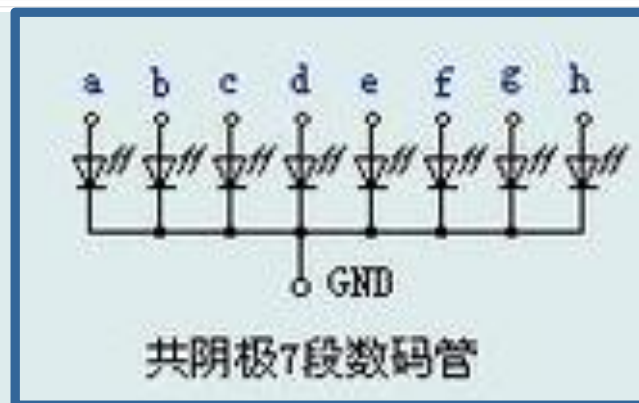




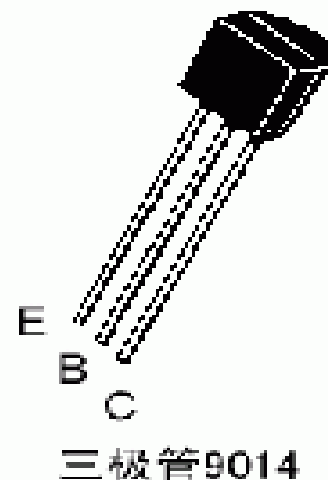
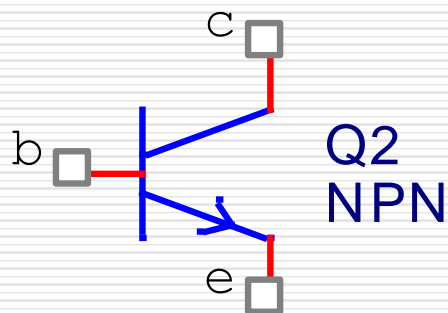
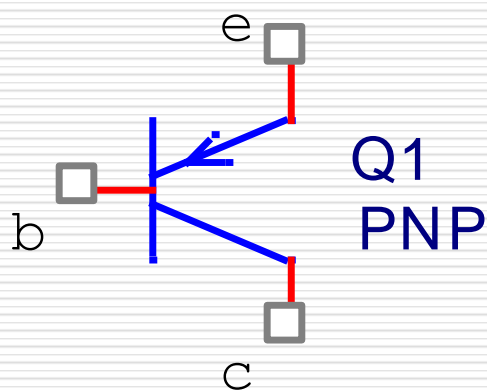
用万用表测量二极管的正向导通电压

锗二极管的正向导通电压为 $0.2 \sim 0.3\text{V}$;
硅二极管的正向导通电压为 $0.6 \sim 0.7\text{V}$;
发光二极管的正向导通电压为 1.7V 左右

共阴七段LED 数码管



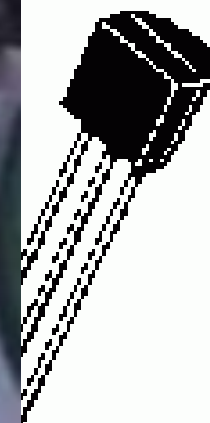
三极管



管脚朝下，管底朝上，从离
定位销最近的管脚开始，
顺时针方向依次为e→b→c



三极管

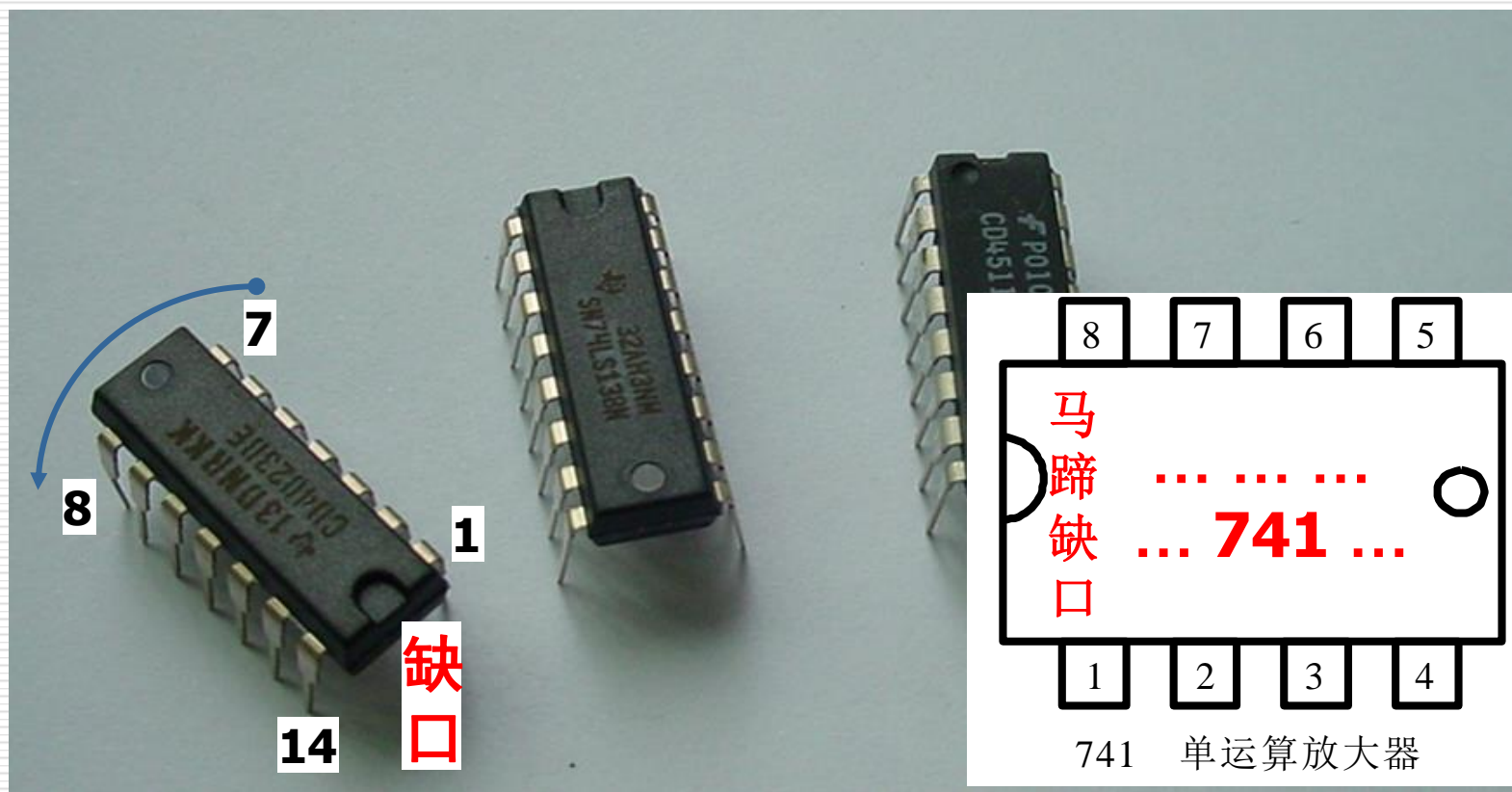



三极管9014



集成电路芯片（双列直插封装DIP）

以正面字序或缺口下方定位 **1**，**逆时针**转一圈。





$\frac{10 \times 2}{1.7} = 60$

1.5k Ω

15k Ω

1.5K Ω

20k Ω

20k Ω

20K

40 k Ω

4.7k Ω

4.05k Ω

400K
1K

Handwritten notes on a circuit diagram:

- Below the first parallel branch: $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
- Below the second parallel branch: $\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$
- Below the third parallel branch: $\frac{1}{R_5}$


lka
bka

5kΩ

3.02


Two resistors are shown, both labeled $4k2$ and $4k7$ in blue ink.

12.15k Ω







Two resistors are shown, one labeled '100' and the other '200'.

5002



 γ_{K2}

 γ_{K2}

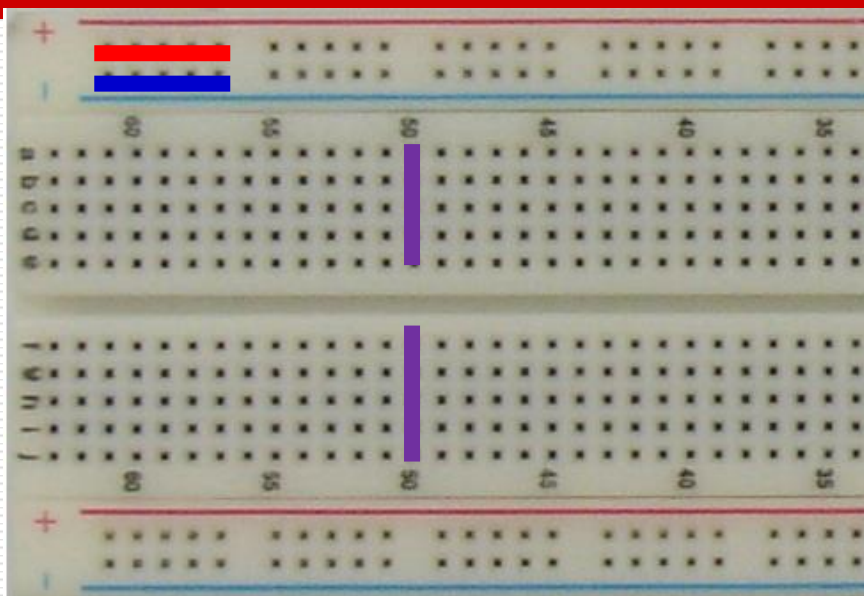
 100k
 100k
 100k
 100k

常用仪器的使用-相关资源

- ◆ 面包板
- ◆ 万用表
- ◆ 稳压电源
- ◆ 数字示波器
- ◆ 波形产生器

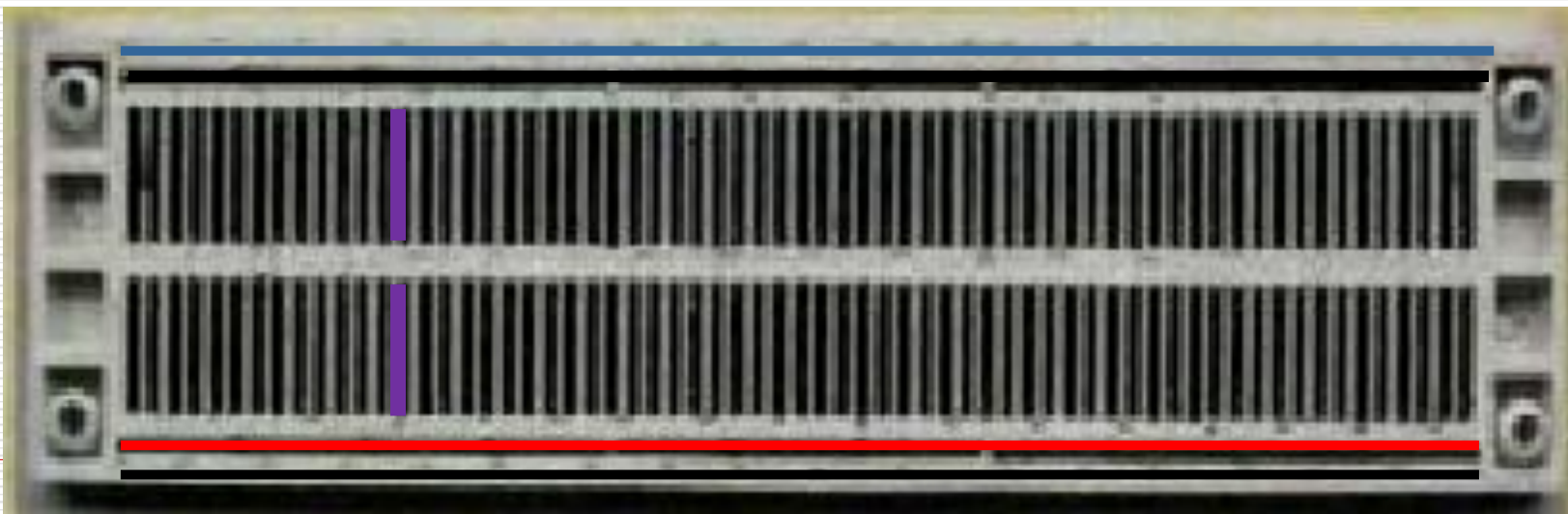
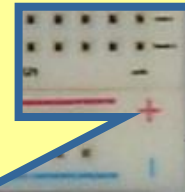
□ 附录C P407（第5版）

面包板



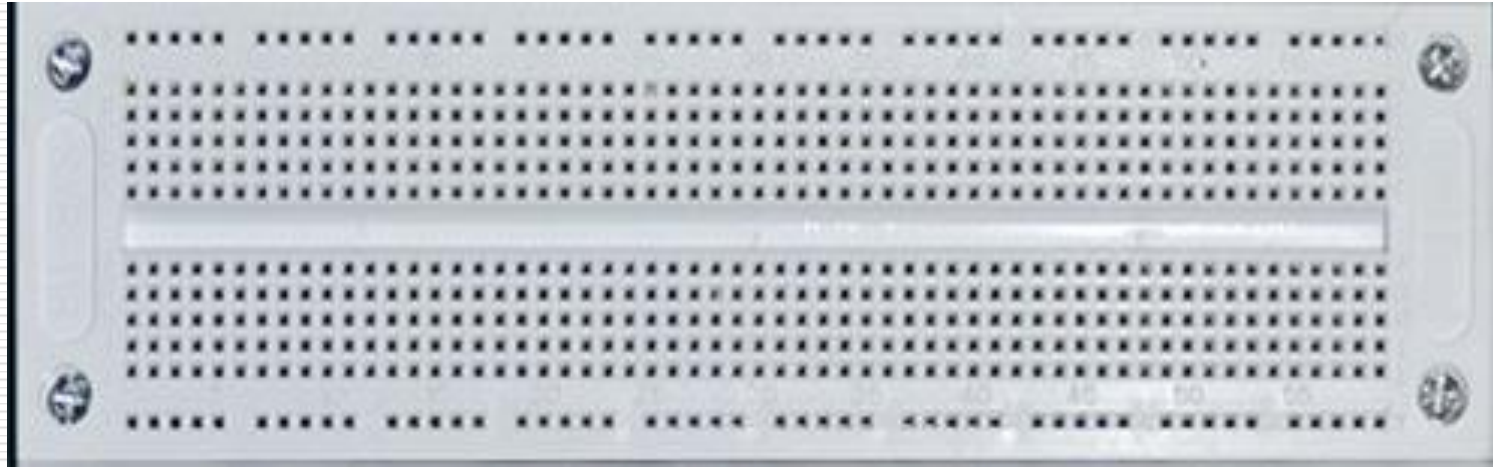
中间区：竖列五孔一组，组外绝缘！

边条区：横排五孔一组，同排组间连通规则多样

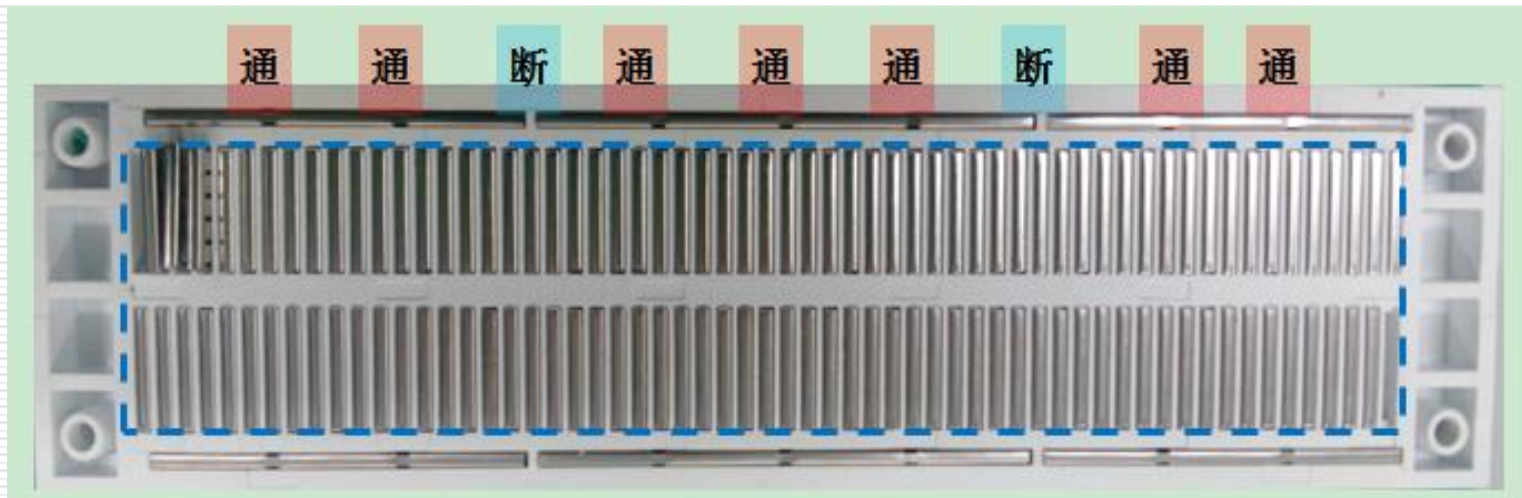


面包板

面包板正面

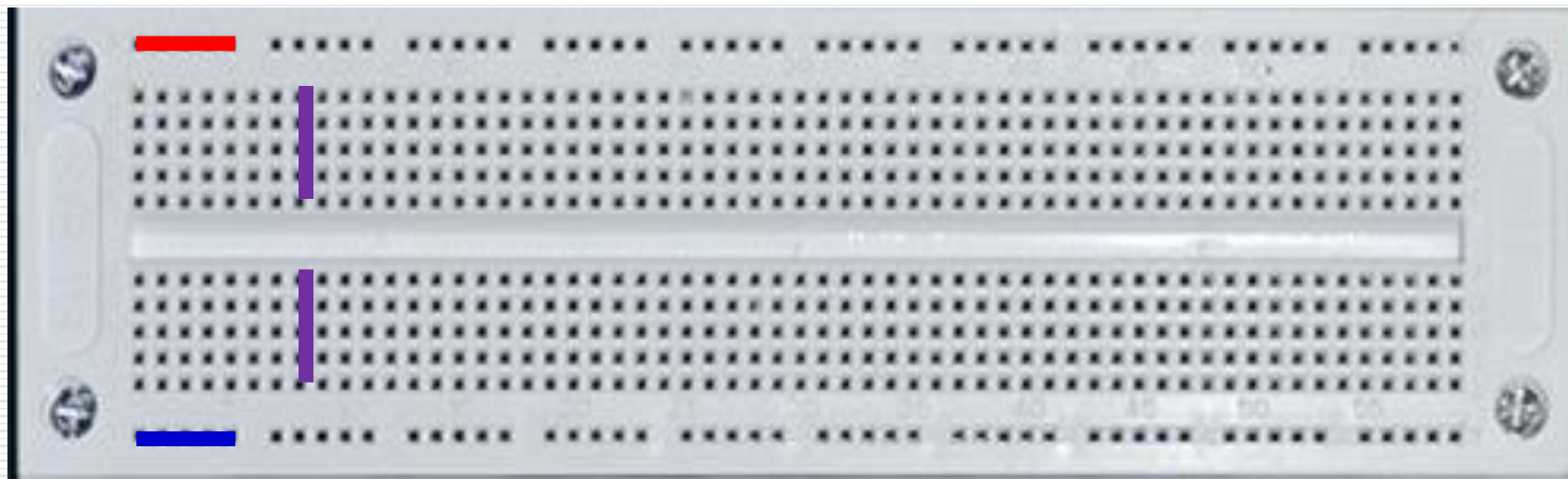


面包板反面

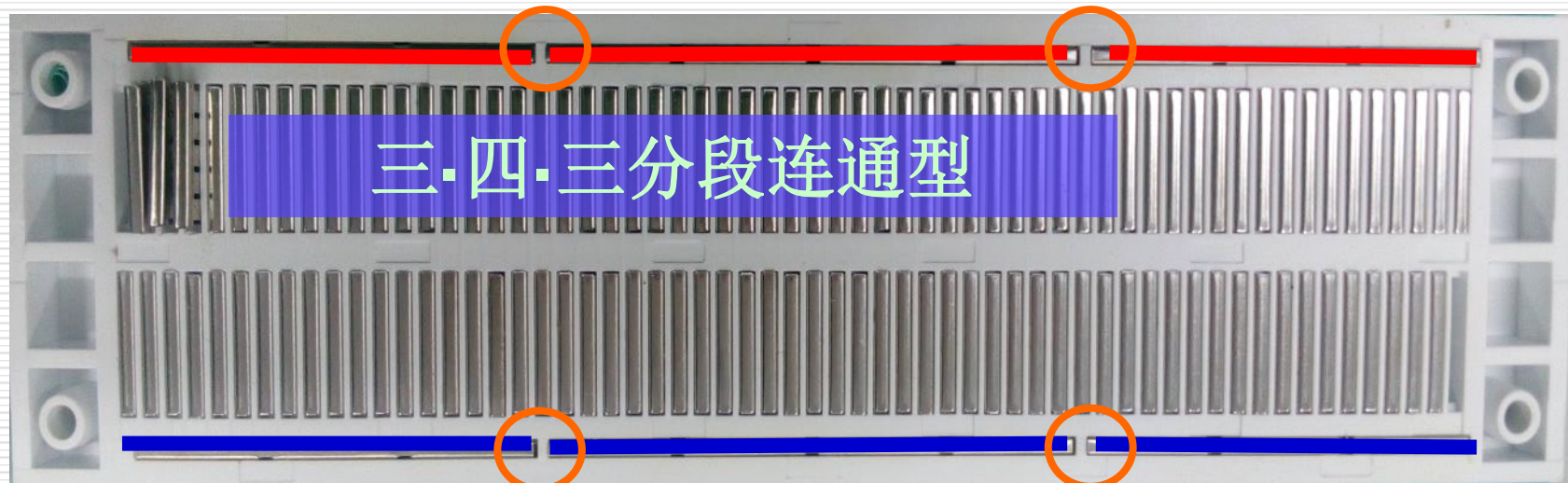


面包板

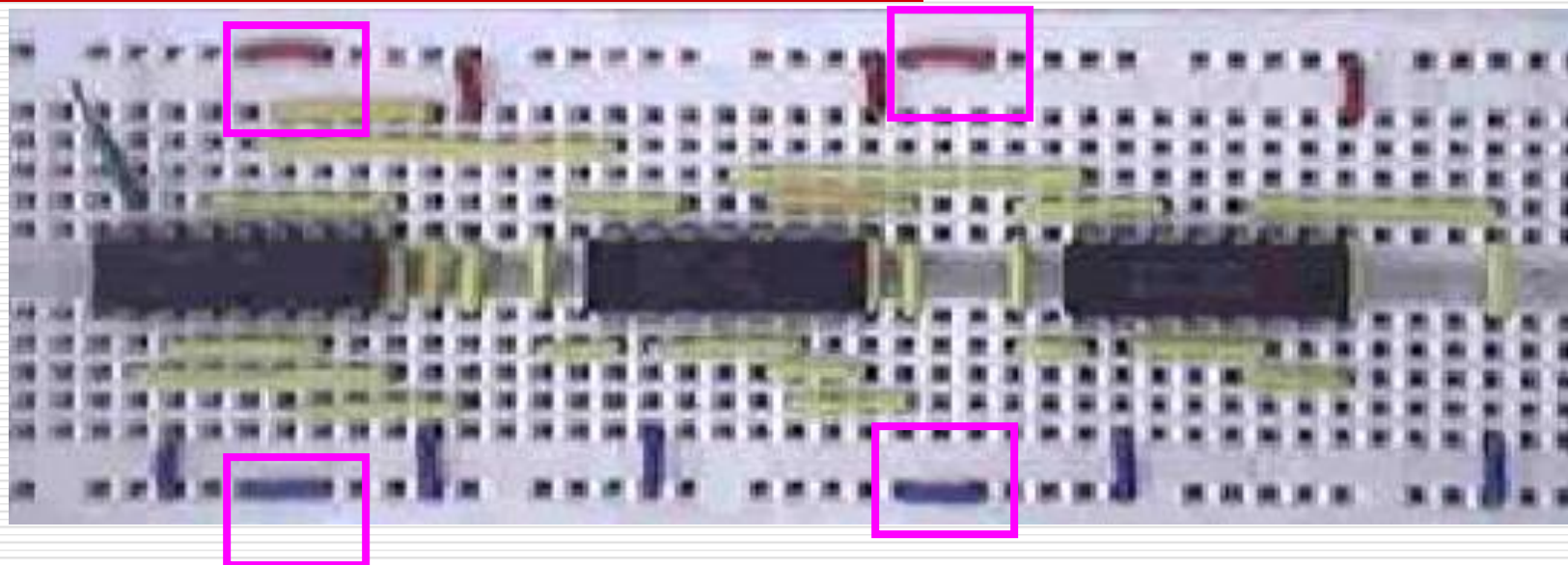
面包板正面

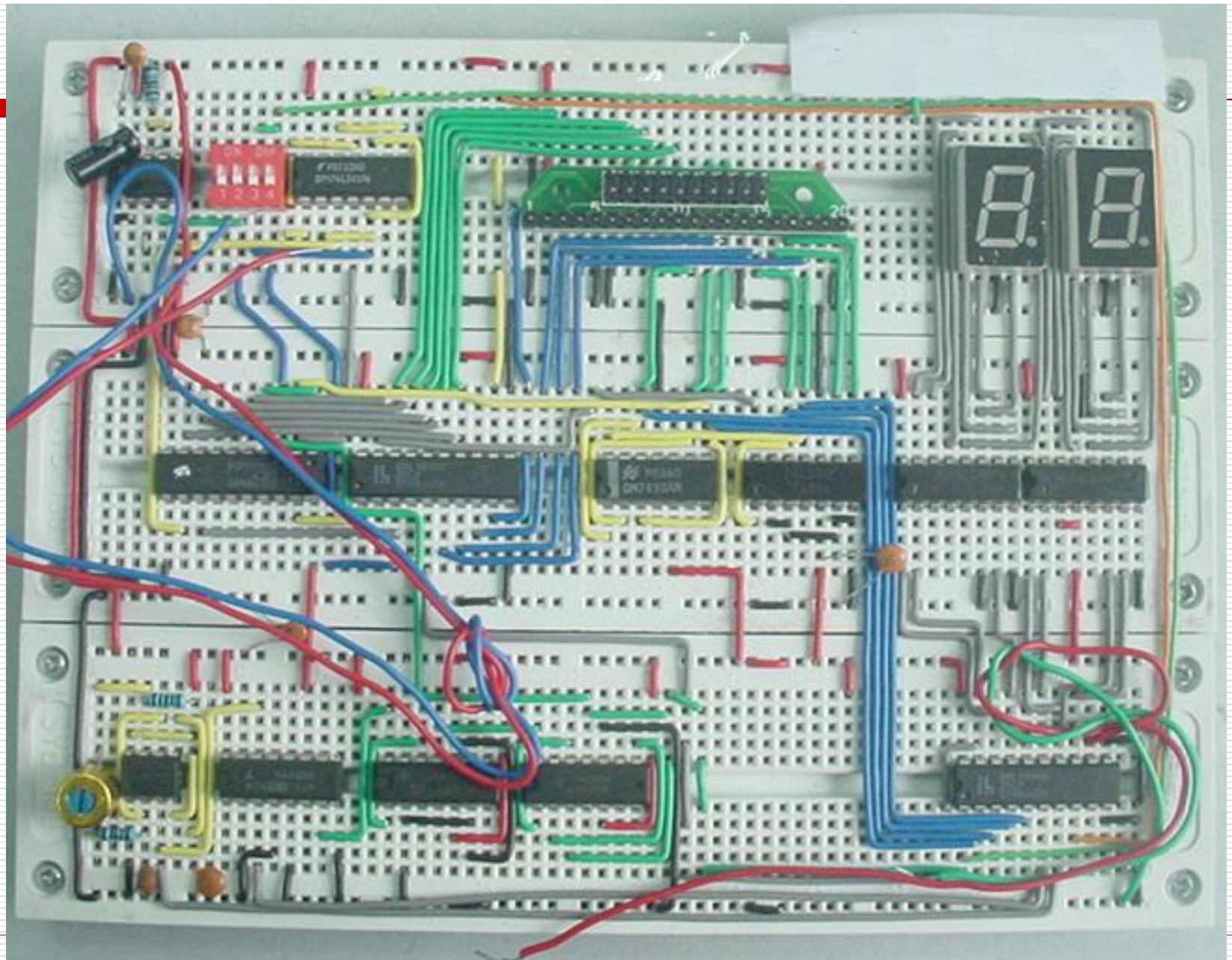


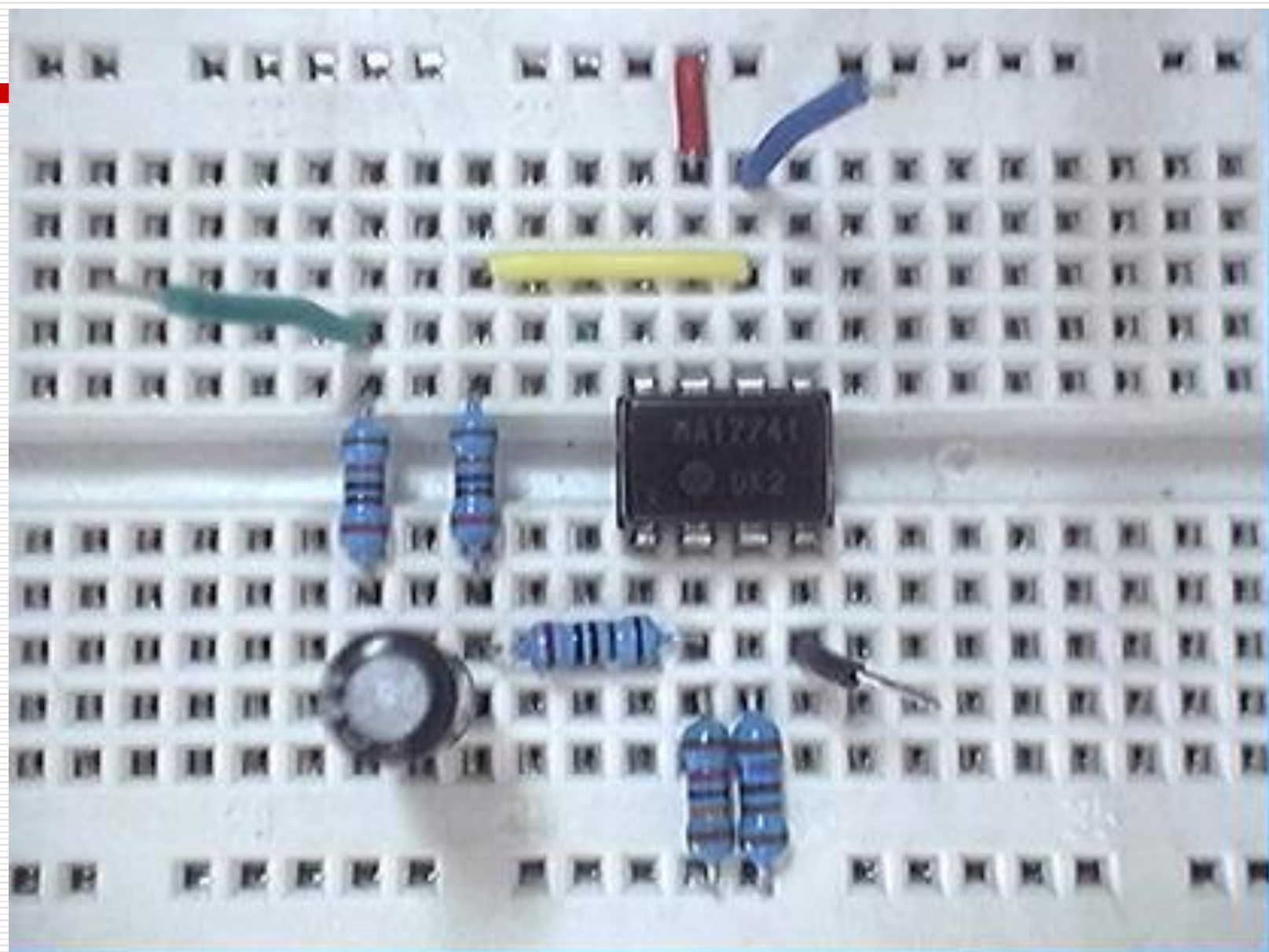
面包板反面

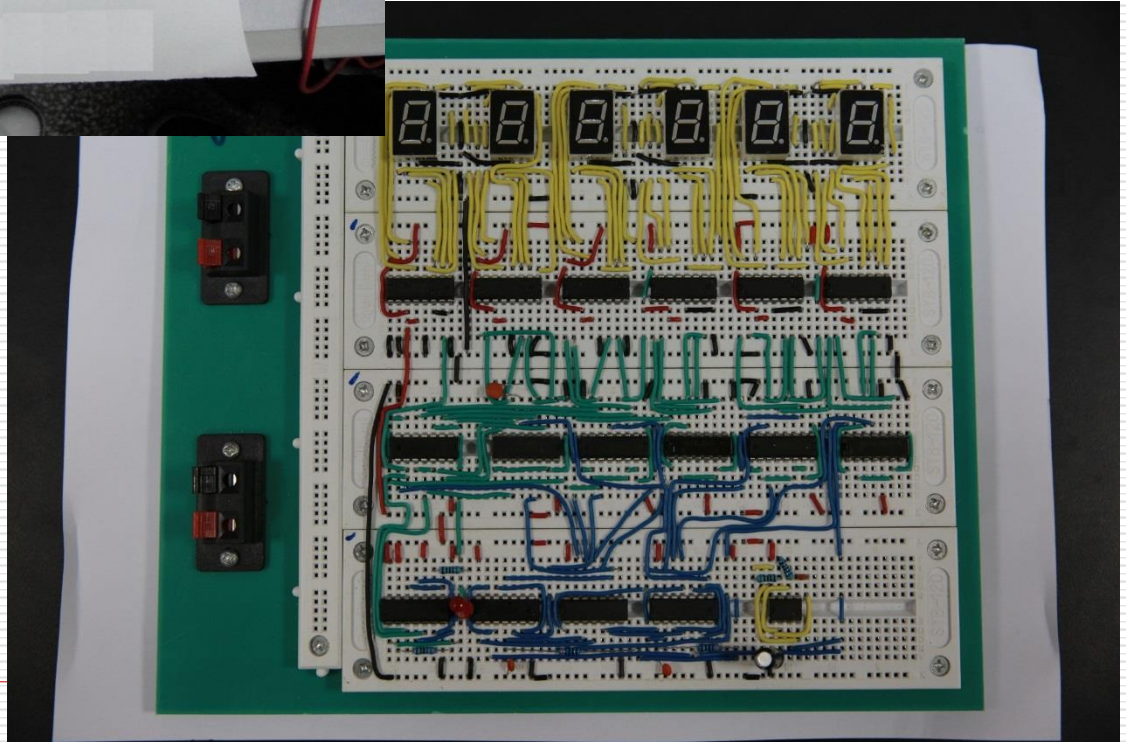
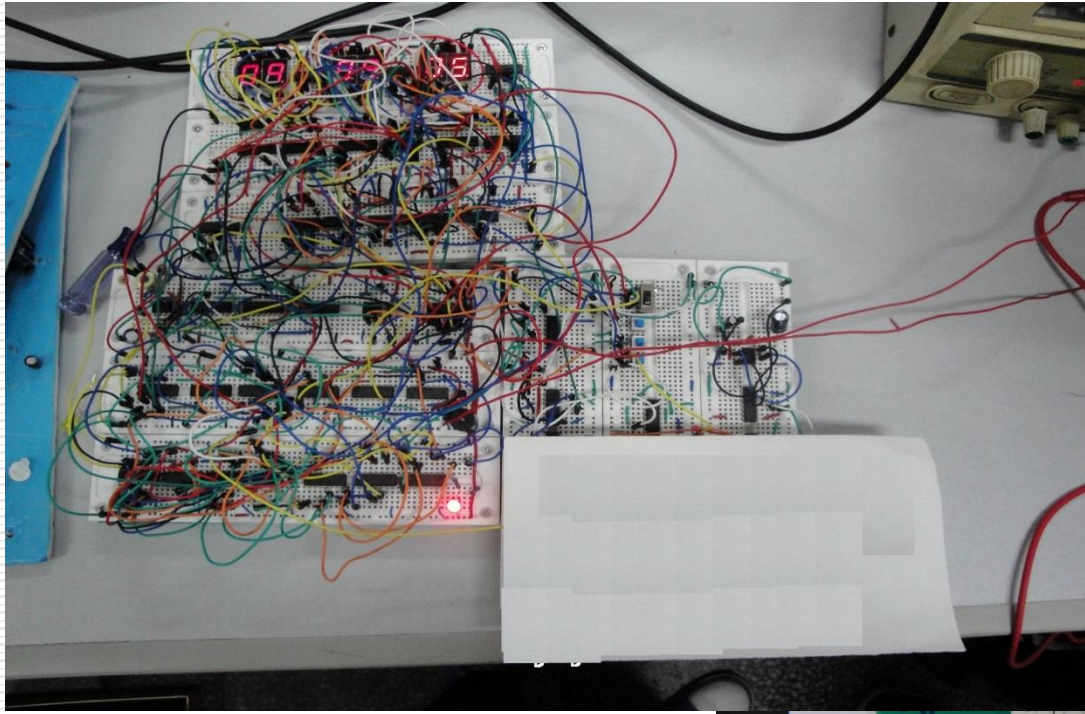


三·四·三分段连通型









常用电子仪器相关课程资源

- 教材：附录C
 - 华中科技大学《电子线路设计、测试与实验（一）》MOOC课程：
<http://www.icourse163.org/course/HUST-1001942004> 模块三 常用电子仪器
 - 仪器手册
-

万用表



万用表的使用

- 电阻的测量；
- 电压的测量；
- 电流的测量
- 二极管、晶体管的测量；
- 测试电路的通断。
- 先选档，再测量！
- 注意测量的档位与端子！
- 注意万用表的电池与保持状态！
- 注意万用表的适用频率范围！

➤训练任务1：万用表使用

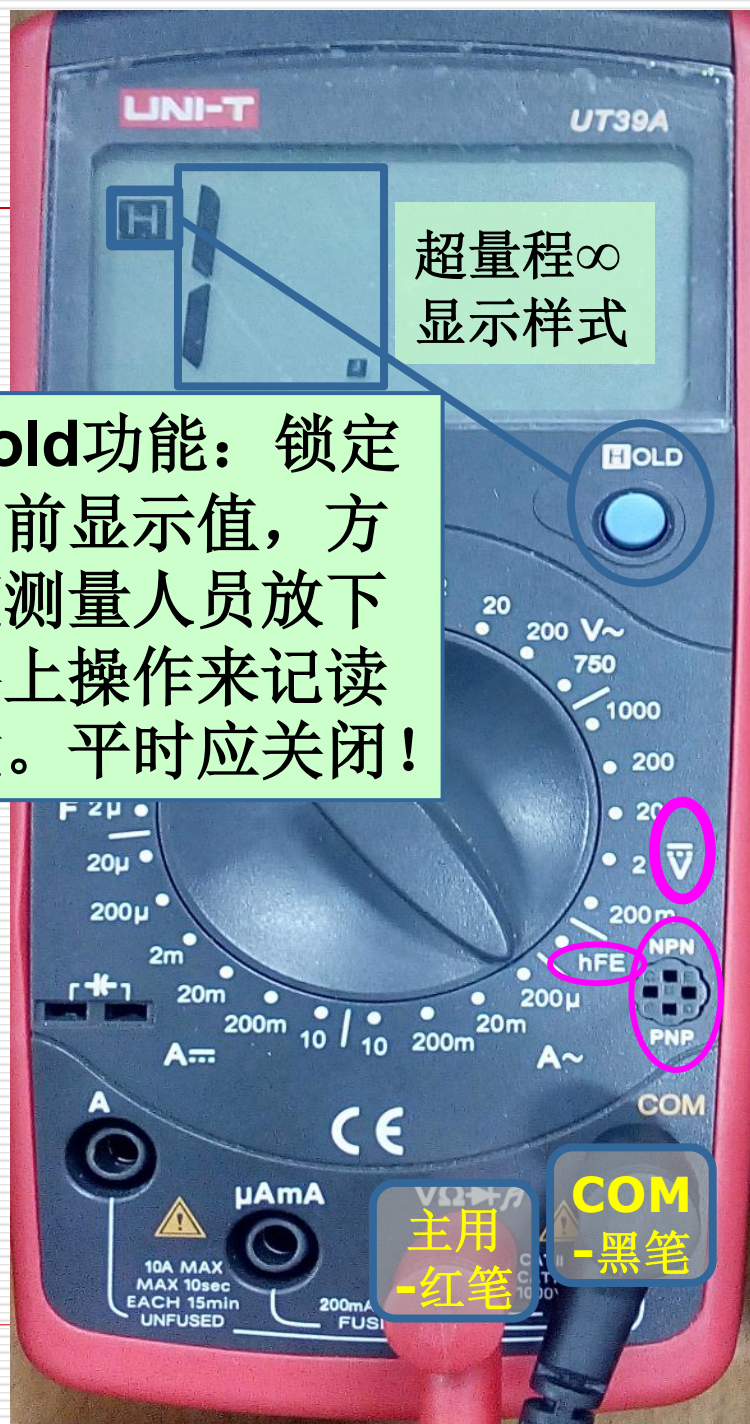
➤要求：使用万用表，验证面包板插线区各列内部的联通性与各列之间的隔绝性，验证面包板公共区各列的联通性与区段之间的隔绝性。

万用表

用前先检查表笔插孔

先定档 再测量

- Ω 欧姆档测电阻值；
- hFE 档测晶体管 β 参数；
- \rightarrow PN 档测试二极管；
- \bar{V} 档测量直流电压；
- $\cdot \cdot \cdot$ 蜂鸣档测电路通断。



万用表的使用

- 电阻的测量； ---
 - 电压的测量； ---
 - 电流的测量； ---
 - 二极管、晶体管的测量； ---
 - 测试电路的通断。 ---
-

稳压电源



稳压电源



稳压电源使用

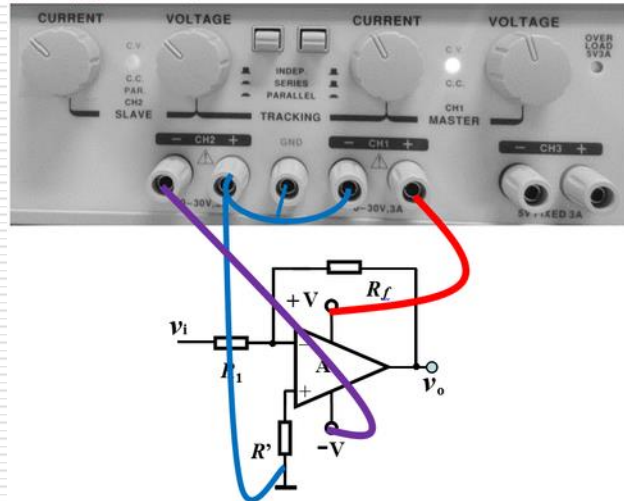
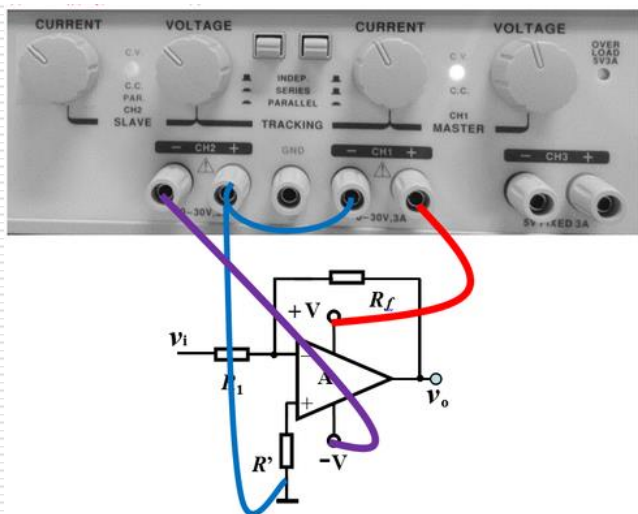
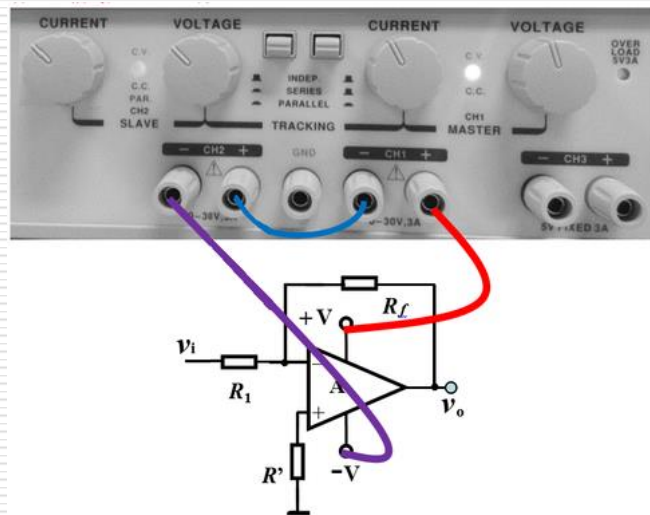
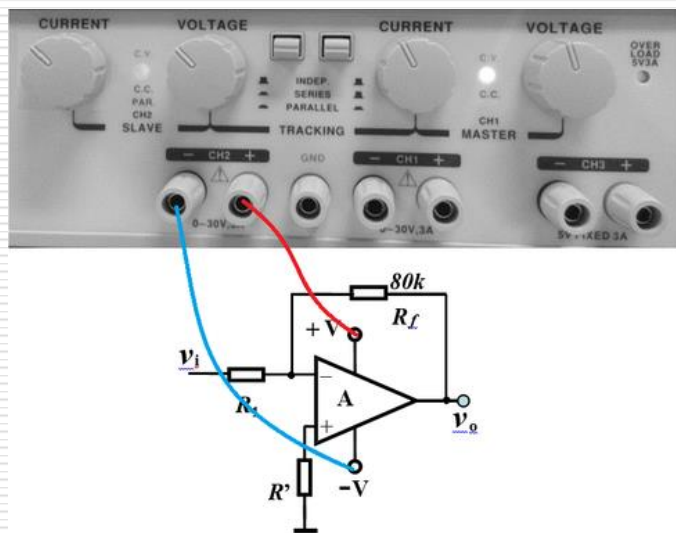
□ 输出正电压12V

□ 如何输出-9V???

□ 如何输出+5V???

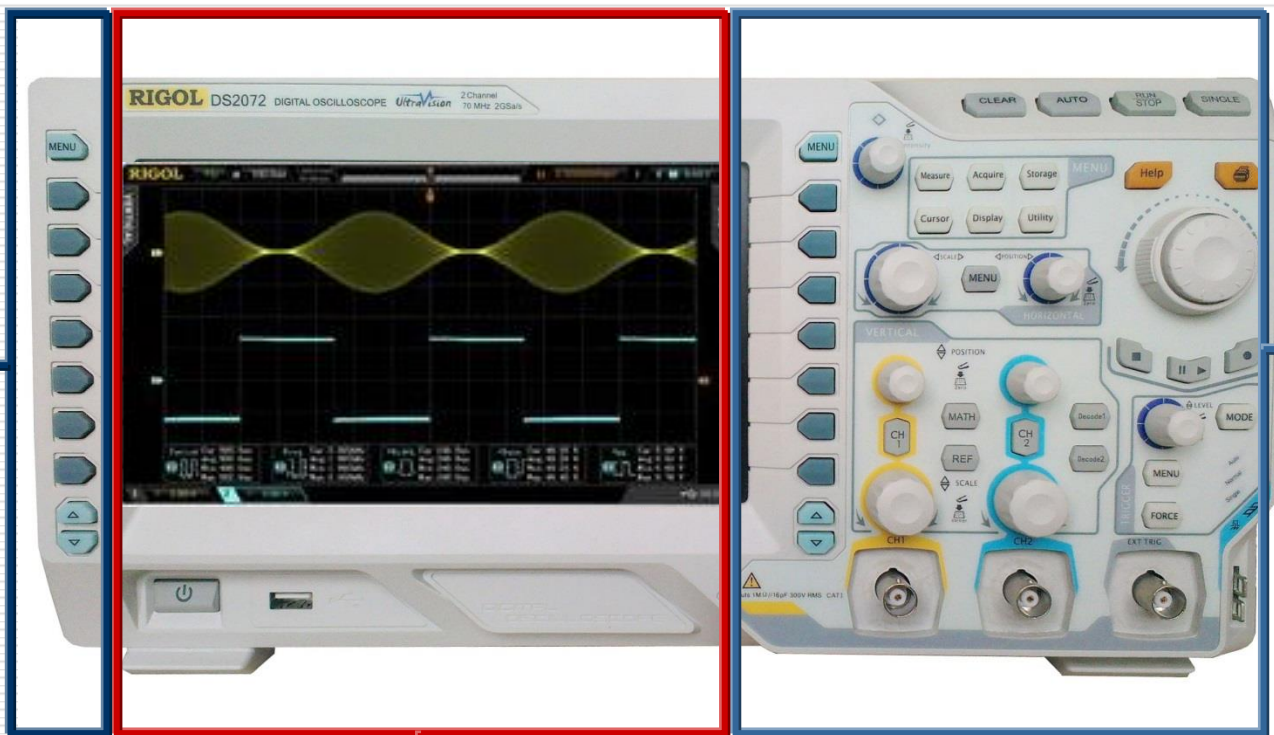
□ 如何输出±15V

以下哪种能为运放芯片提供正确的双电源连接



数字示波器DS2000

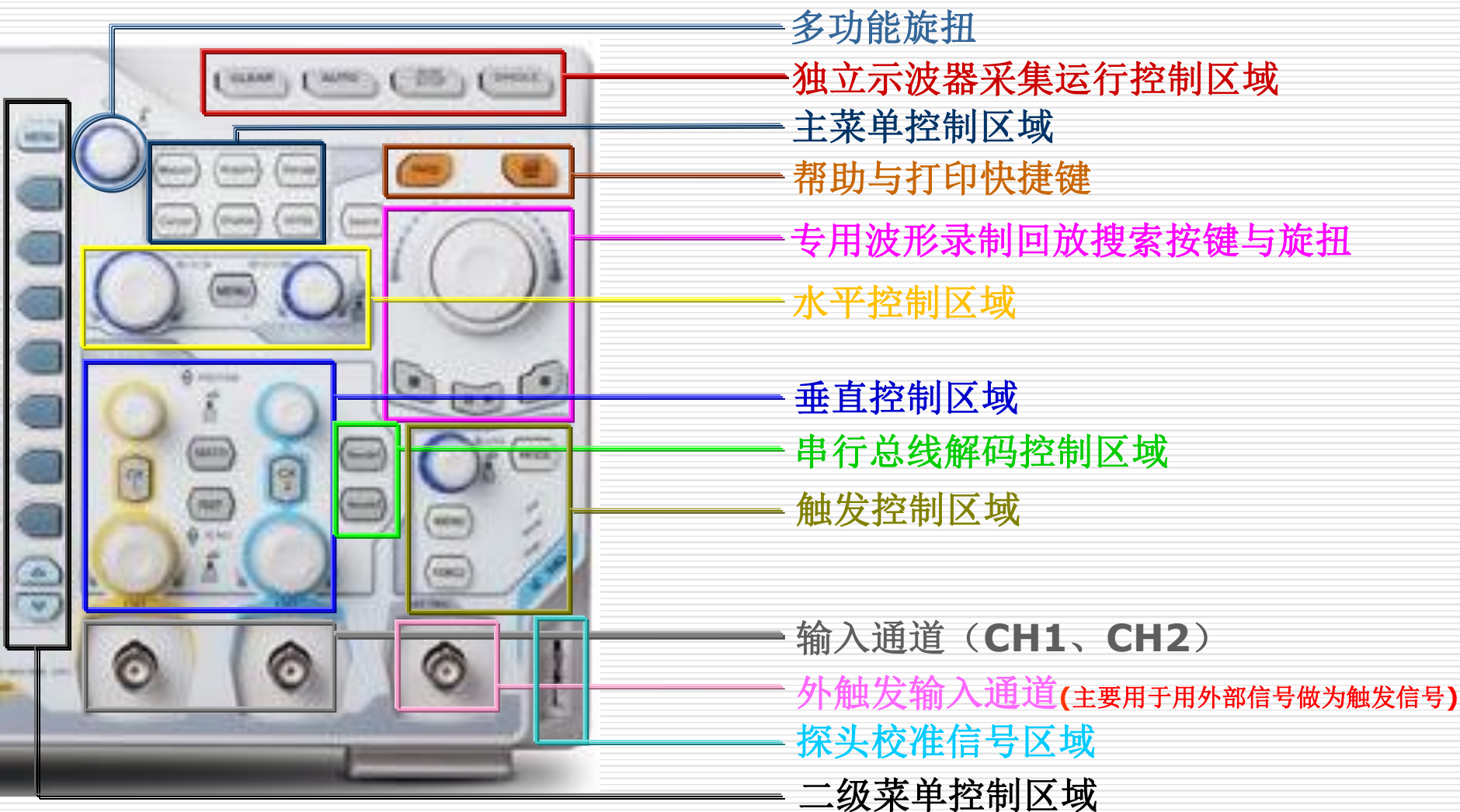
测量专
用区



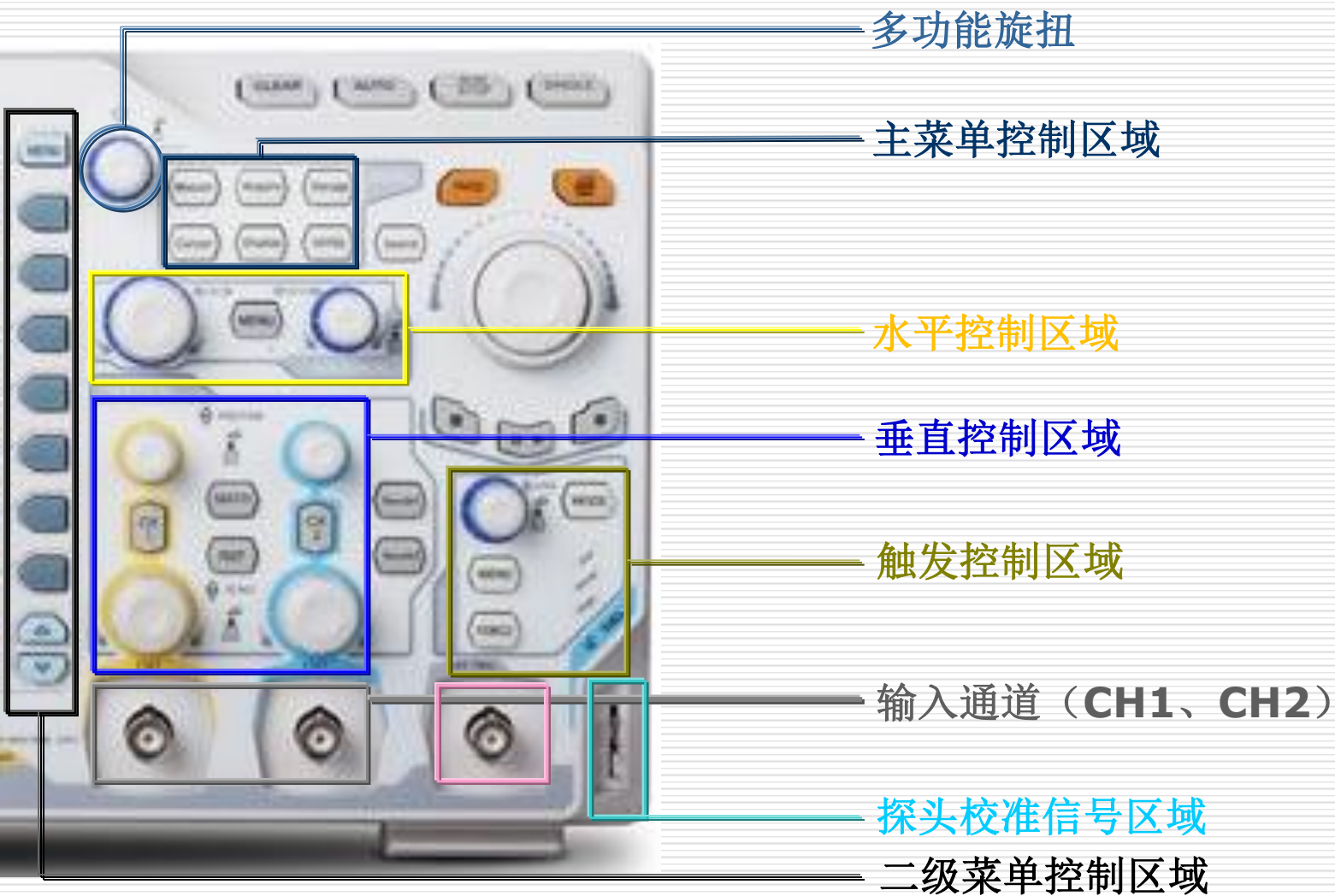
控制区

显示区

前面板介绍

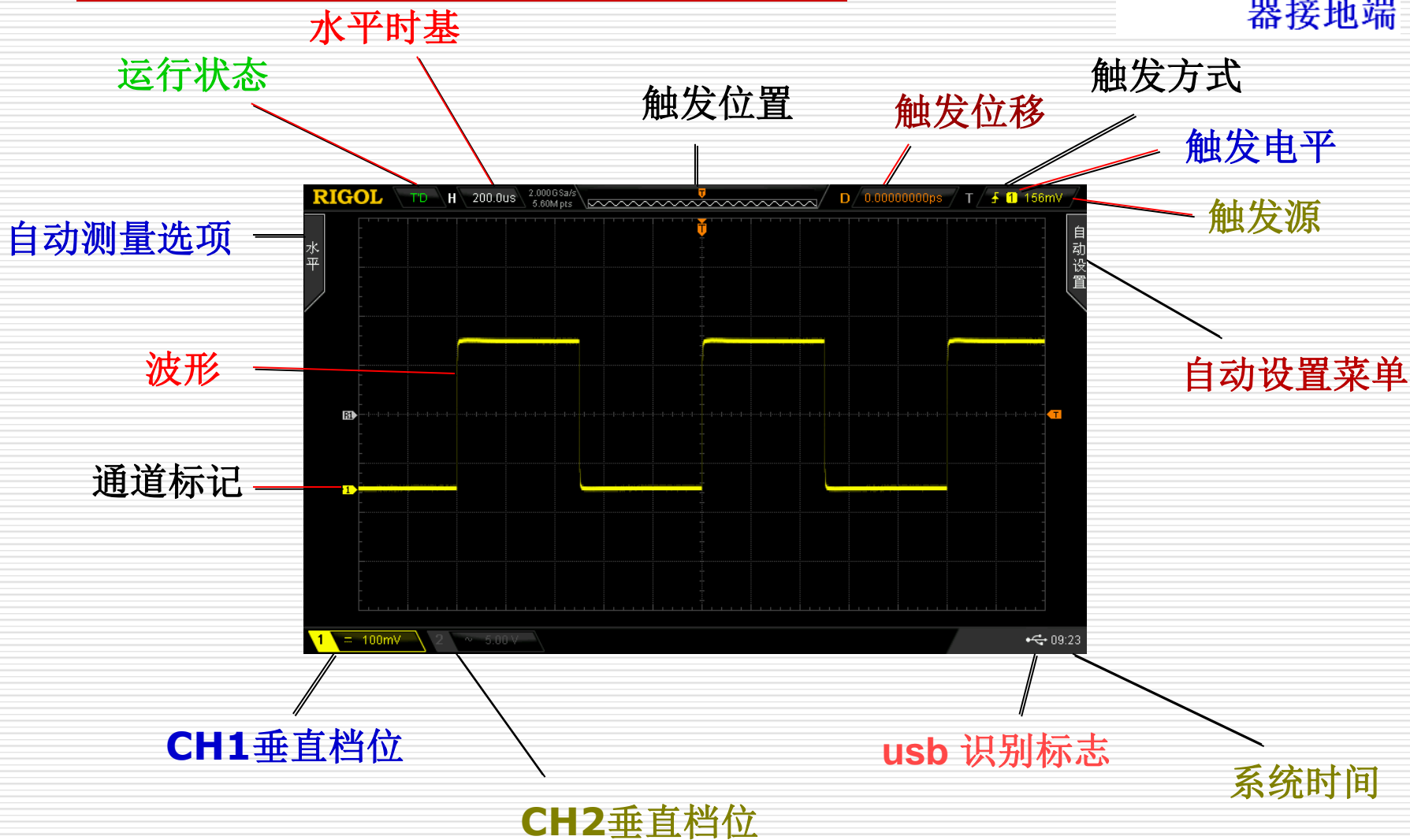


前面板介绍



功能检查

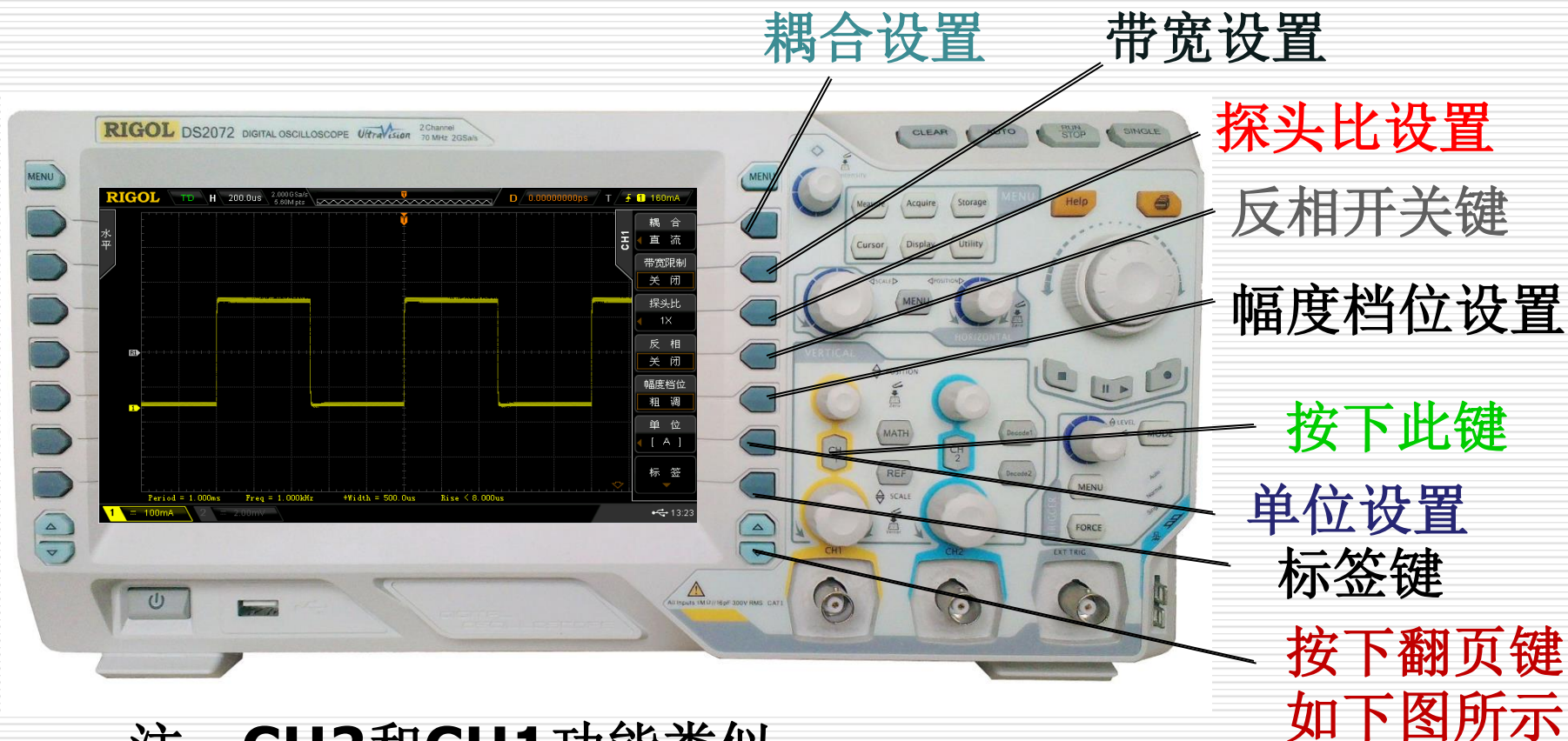
Storage → 默认设置
AUTO



垂直调节功能介绍



-----通道设置键



注：CH2和CH1功能类似



水平调节功能介绍



-----水平调节菜单键

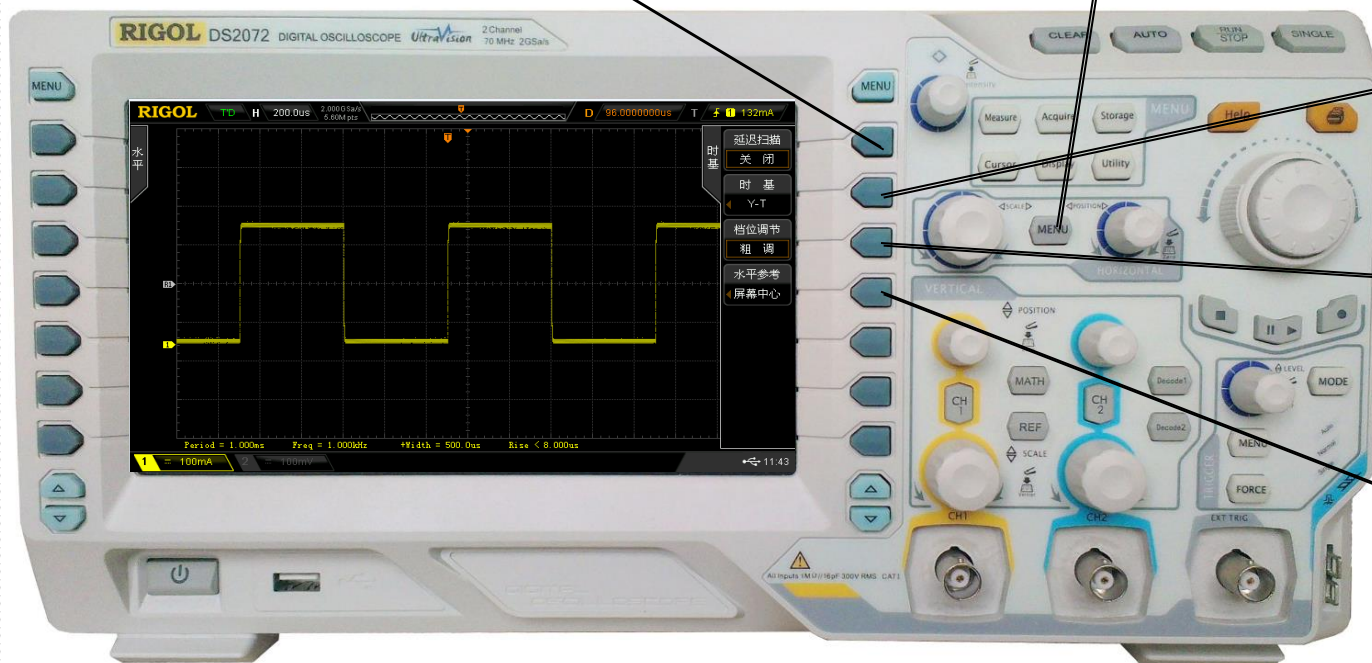
延迟扫描开关

按下此键

时基选择

档位调节

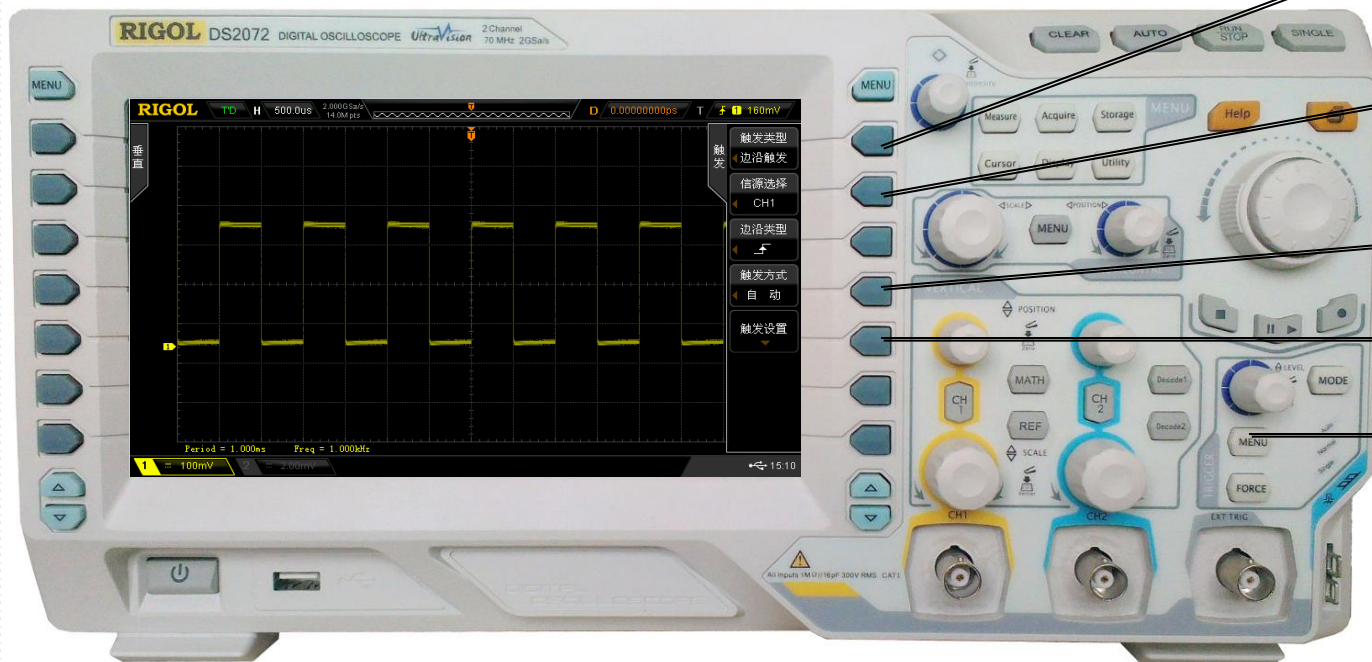
水平参考位置选择



触发功能介绍



-----触发菜单键



触发类型

信源选择

边沿类型

触发设置

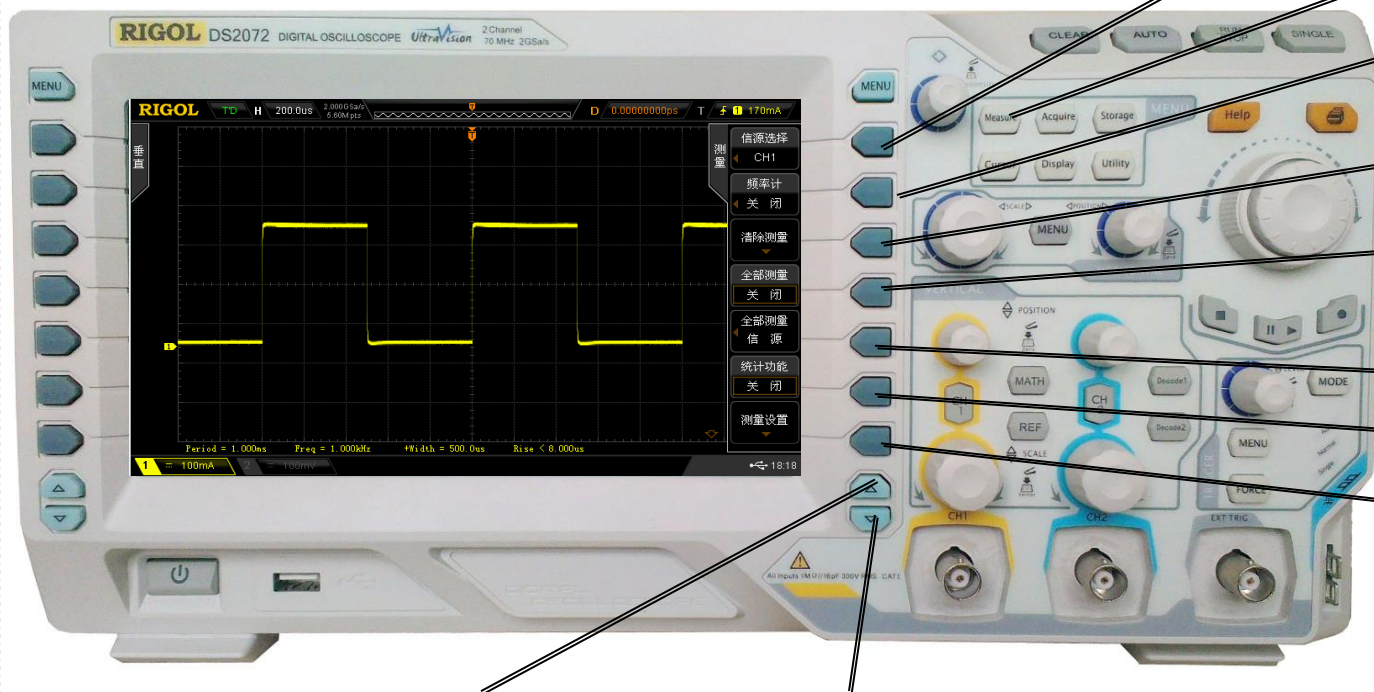
按下此键



系统菜单介绍



-----测量键



信源选择

按下此键

频率计开关

清除测量按键

全部测量开关

全部测量信源选择

统计功能开关

测量设置按键

向上翻页按键

向下翻页按键



波形的测量

测量波形的周期

测量波形的频率

测量波形的上升时间

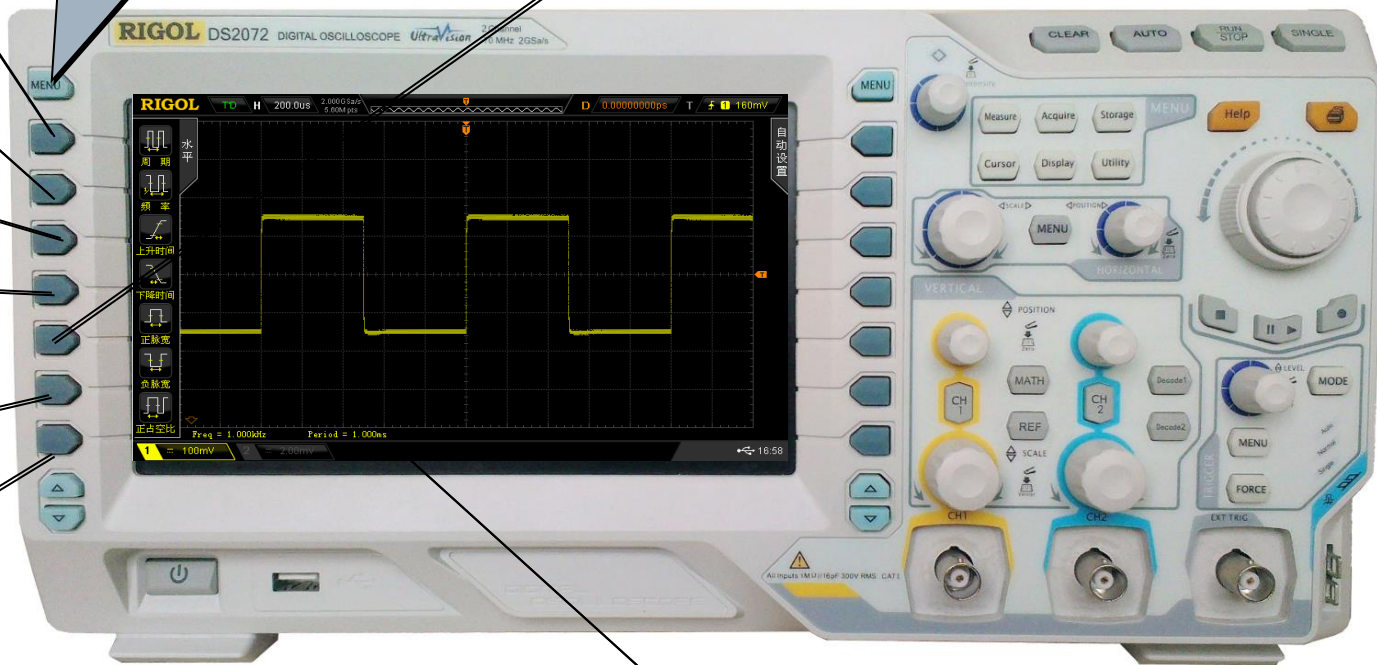
测量波形的下降时间

测量波形的负脉宽

测量波形 正占空比

**按下
MENU**

测量波形的正脉宽



屏幕的下方会出现相应的测量量



波形的测量

测量波形的最大值

测量波形的
最小值

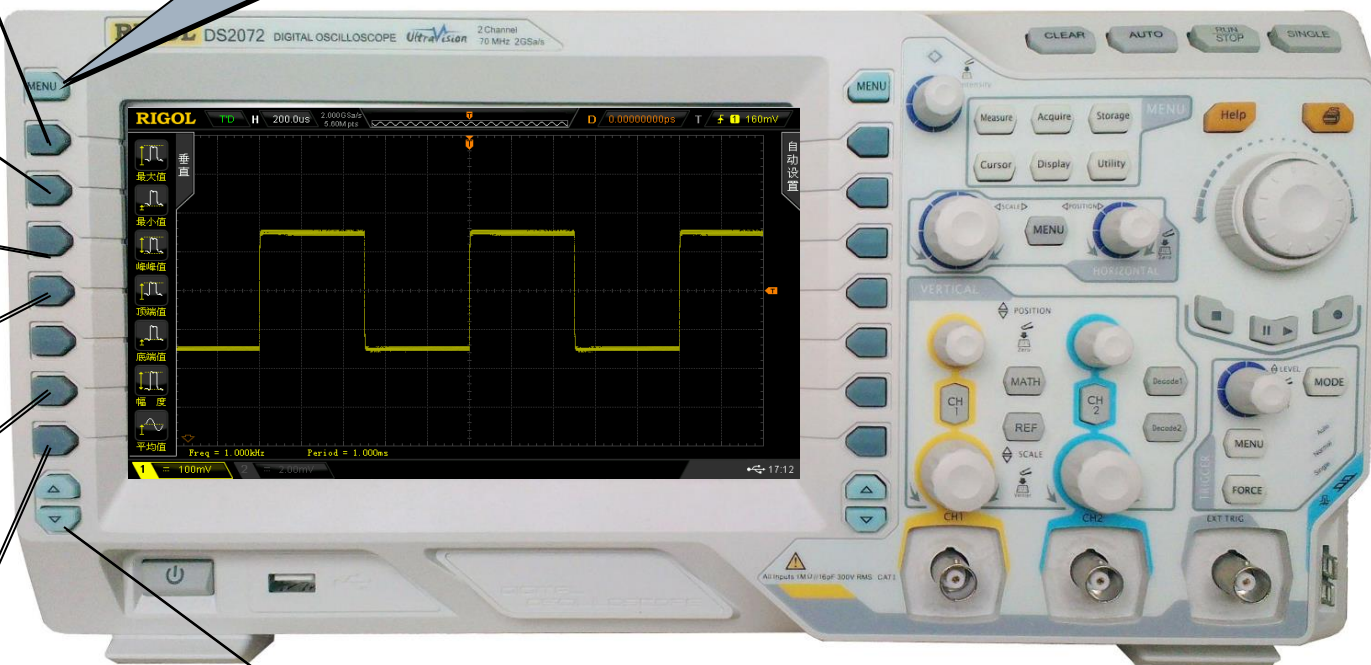
测量波形的
峰峰值

测量波形的
顶端值

测量波形的
幅度

测量波形的平均值

再次按下
MENU



按下翻页键后如下图所示



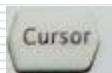
系统菜单介绍



-----采集按键



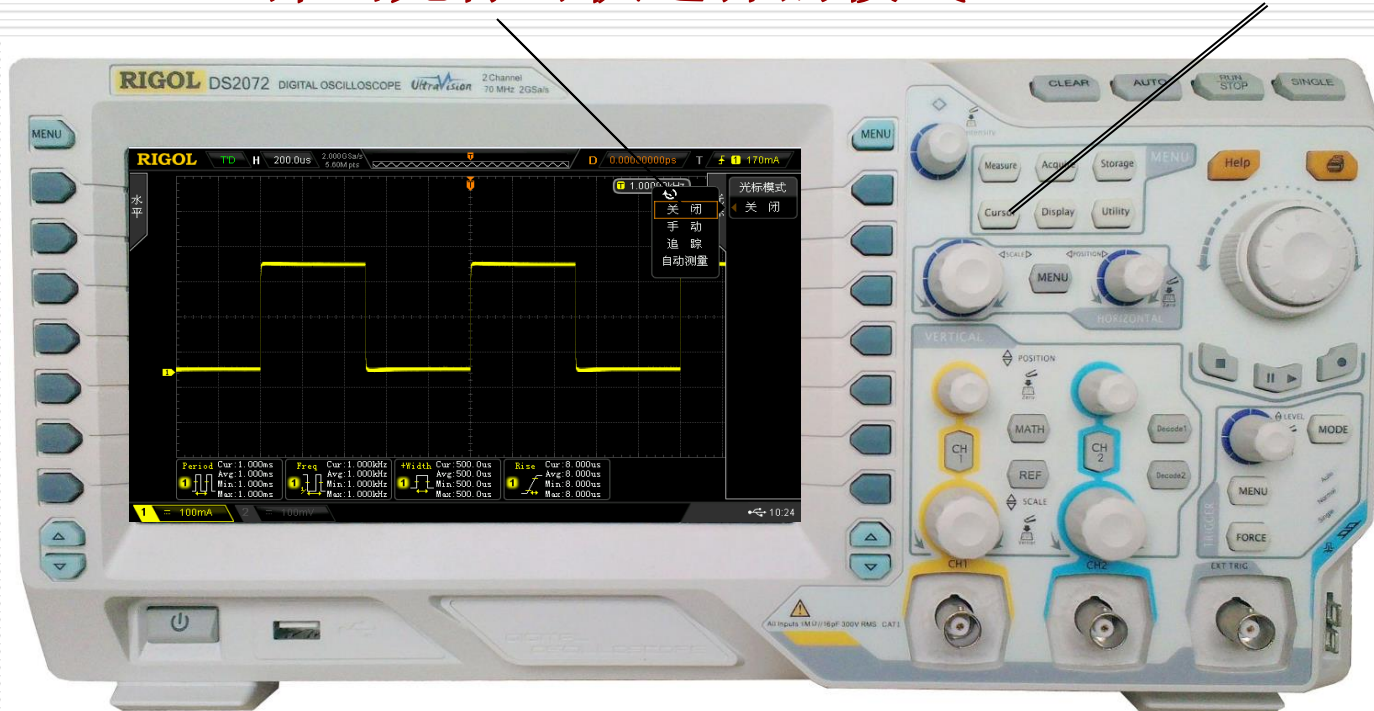
系统菜单介绍



-----光标键

弹出光标可供选择的模式

按下此键



系统菜单介绍



----显示键

显示类型选择，
可选择“点显示”
或“矢量显示”

按下此键

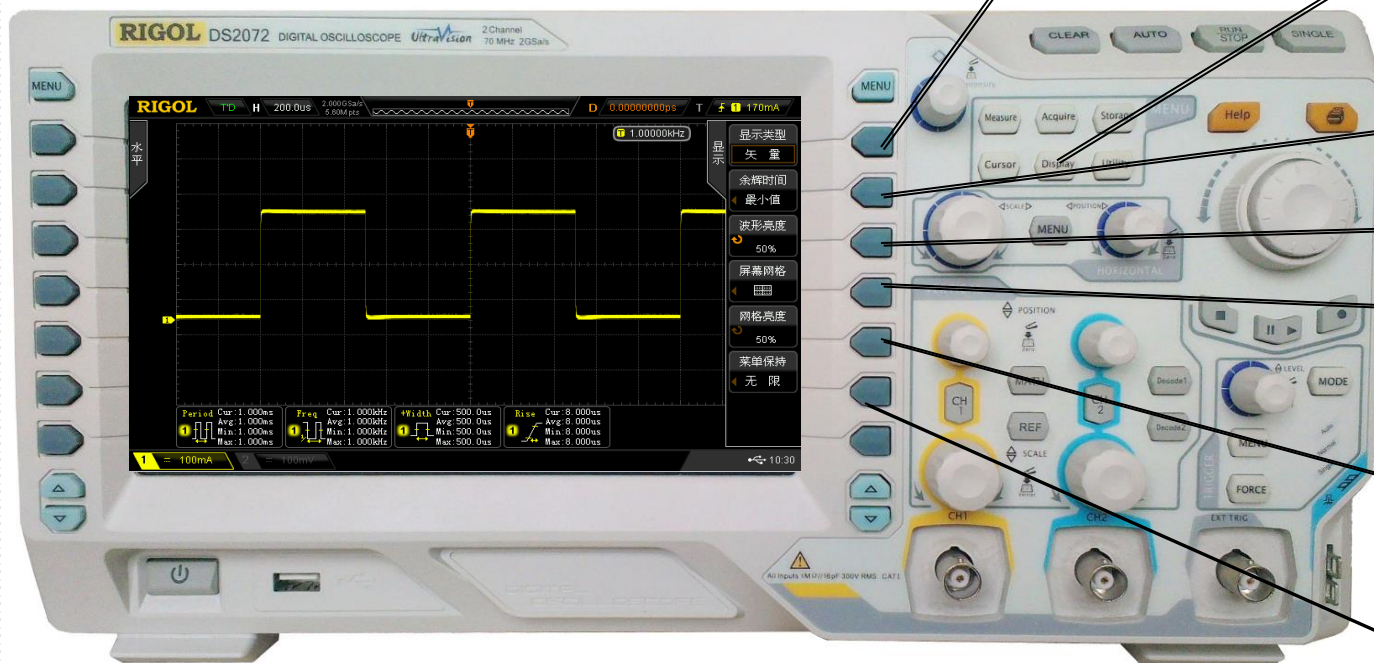
余辉时间选择

波形亮度调节

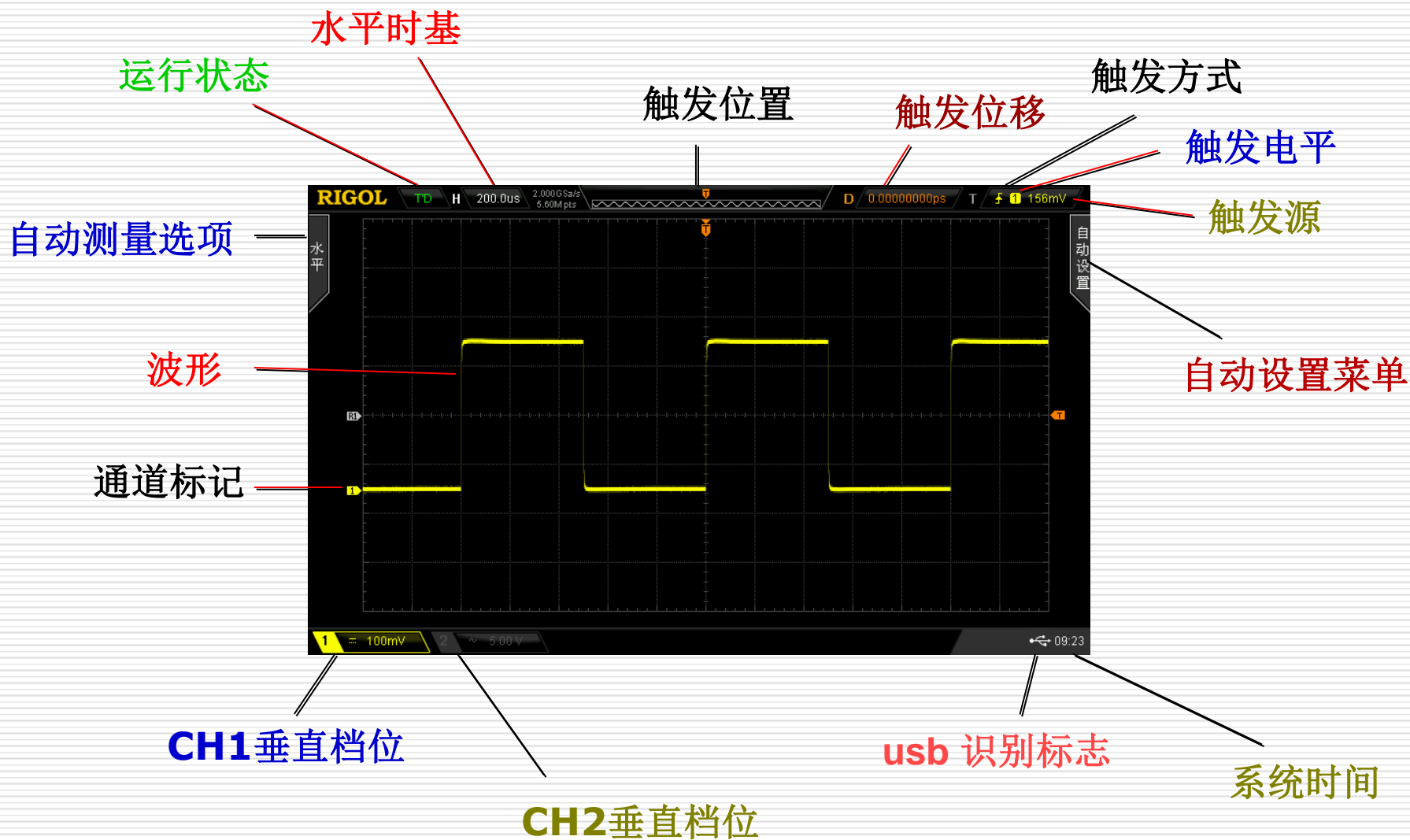
屏幕网格模
式选择

网格亮度调节

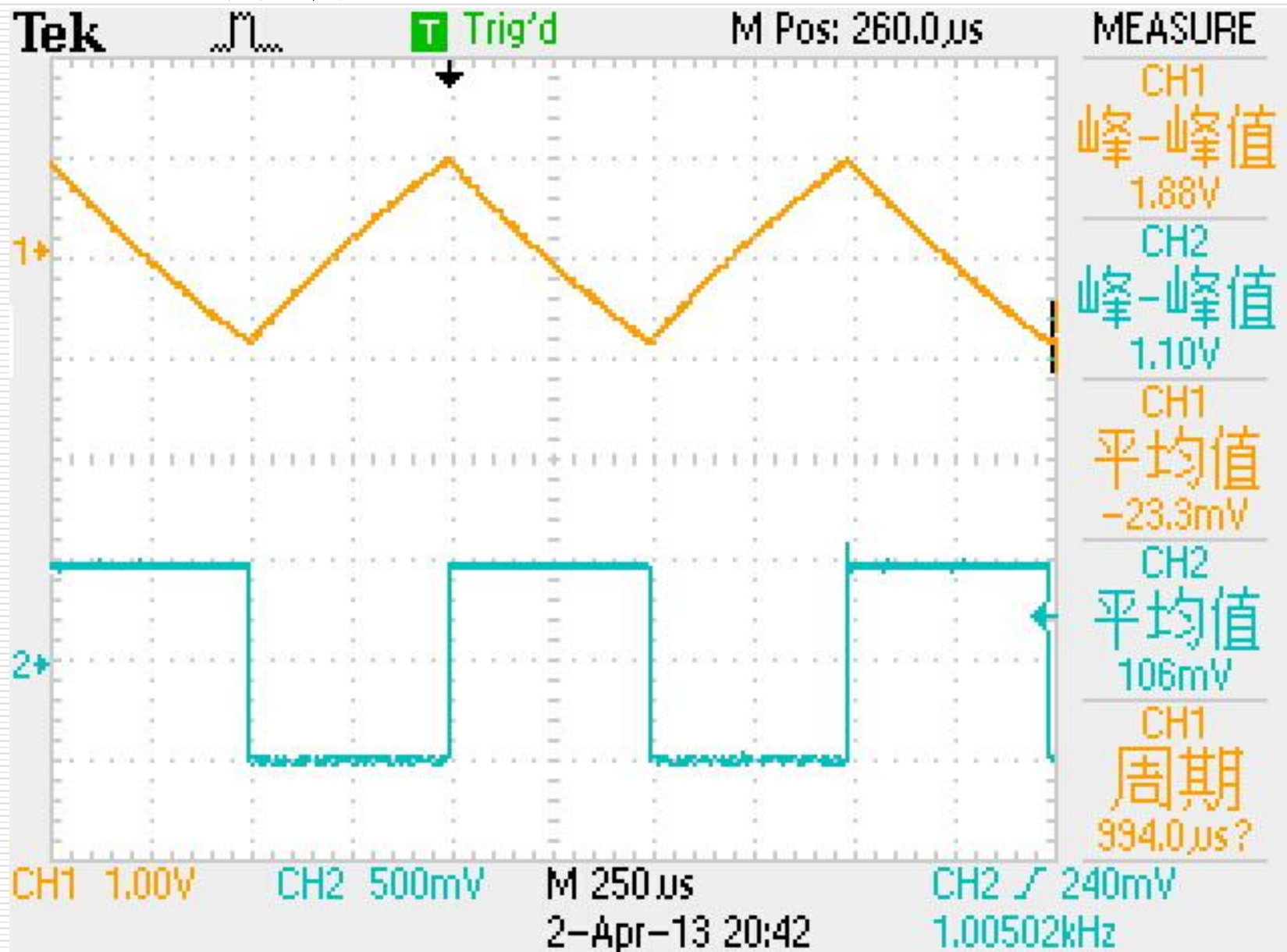
菜单保持时
间选择



功能检查



波形保存方式



信号发生器

▲前面板说明





测试端子

- 调整信号产生器，分别输出正弦波、方波，改变其频率与幅度，用示波器观测波形；
- 调整信号产生器的占空比、直流电平旋（按）钮，观测波形有何变化；在调整时，分别用直流与交流耦合观测波形，注意显示波形的变化；
- 测试信号产生器TTL OUT的功能。

训练内容-常用电子仪器使用

➤ 任务1：万用表使用

- 要求：使用万用表，验证面包板插线区各列内部的联通性与各列之间的隔绝性，验证面包板公共区各列的联通性与区段之间的隔绝性。---写出测量结论。

➤ 任务2：示波器各通道自检

- 要求：使用示波器自检端子输入信号，分别对示波器各通道进行自检，在示波器各通道得到输出清晰、完整、稳定，测量值正确的正方波（1KHz，5V幅值）。
(注意示波器的触发信源与触发电平选择)

训练内容-常用电子仪器使用

➤ 任务3：信号源使用

- 要求：使用信号源输出，在**示波器通道1**测得信号源输出的频率为2KHz,峰峰值为2V的正弦波。（测量波形截图，截图明确显示测量结果，自动测量方法）

集成运算放大器的基本应用

□一.实验目的

1. 熟练掌握集成运算放大器的正确使用方法。
2. 掌握用集成运算放大器构成各种基本运算电路的方法。
3. 学会合理选用示波器的直流、交流耦合方式观察不同波形的的方法。

二、实验内容 (P75)

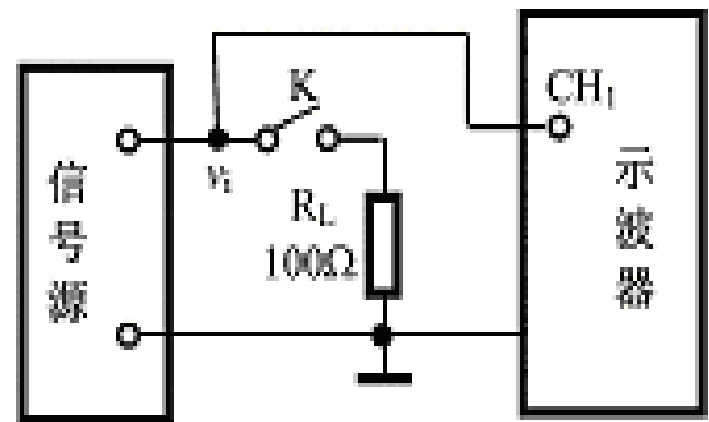
1. 研究电压跟随器的作用

(1)按图连接电路。

断开开关K。输入 f 为1kHz, $v_{i\text{pp}}=1\text{V}$ 的正弦信号, 用示波器观察输出波形。

闭合开关K。观察输出波形的变化情况。

分别记录K闭合前、后信号源输出信号的峰-峰值, 计算信号源的内阻 R_S , 并解释 100Ω 负载电阻连接到信号源上产生的负载效应。

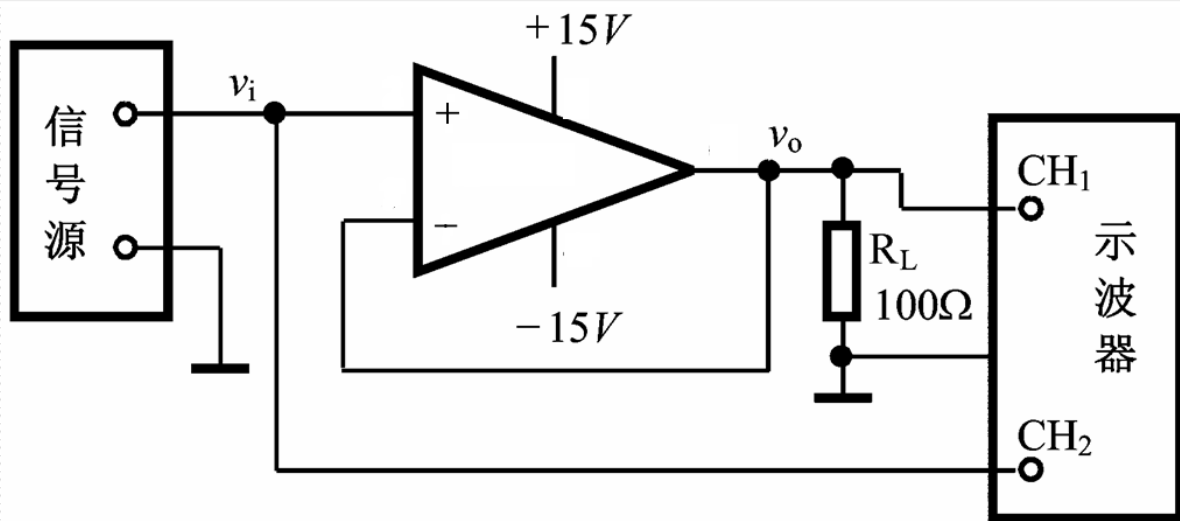


直接连接

1. 研究电压跟随器的作用

(2) 按图 (b) 连接电路。

仍然从信号源送出频率为1kHz、峰-峰值为1V的正弦信号，用示波器观察输入、输出波形（幅值与相位关系）。分别记录接上 R_L 和去掉 R_L 两种情况下输出信号 v_o 的大小，并解释观察到的实验现象。



(b) 通过电压跟随器连接

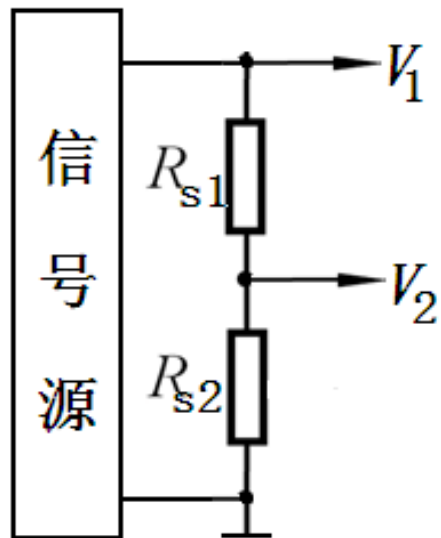
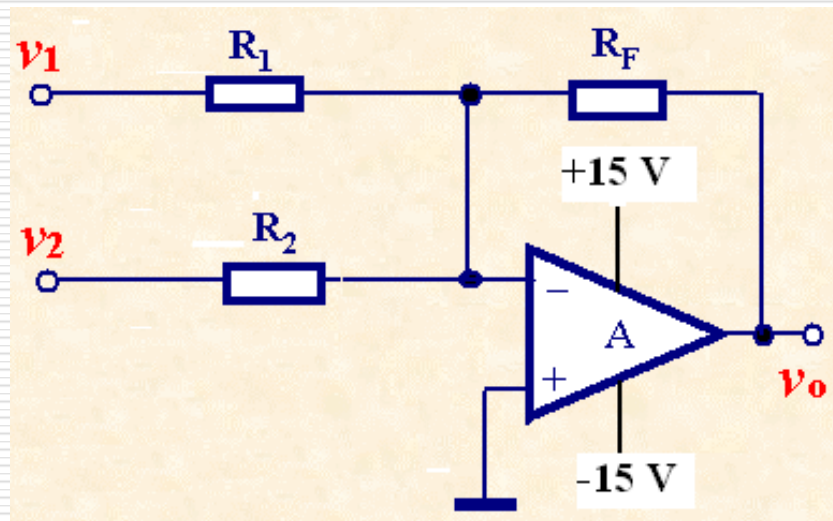
2. 反向比例加法电路

(1) 参考实验电路

P76 图3.6.8

(2) 实验内容

➤ 取 $R_F = 100\text{ k}$,
 $R_1 = 10\text{ k}$, $R_2 = 5.1\text{ k}$



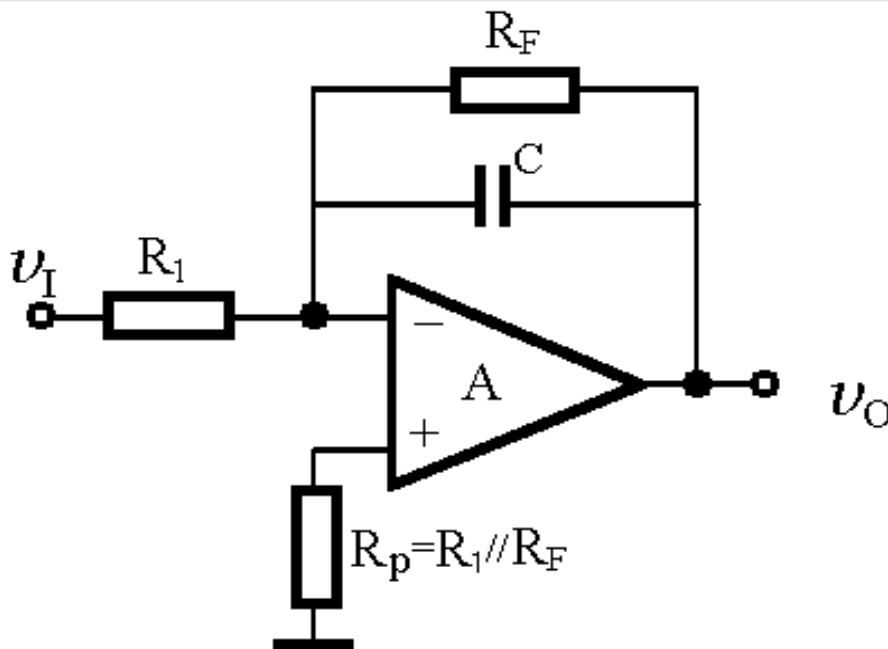
➤ 输入频率为1KHz、峰峰值为300mV的正弦信号,完成表3.6.2。

3. 积分电路

(1) 实验电路

参考P69 图4.4.7b

(2) 实验内容



➤ 取 $R_1 = 10\text{ k}$, $R_F = 100\text{ k}$, $C = 0.22\text{ }\mu\text{F}$, $R_p = 10\text{ k}$ 。

➤ 输入 $f = 200\text{ Hz}$, 峰峰值为 1 V 的正方波。

➤ 用示波器测试 v_i 和 v_o , 并画出其波形。

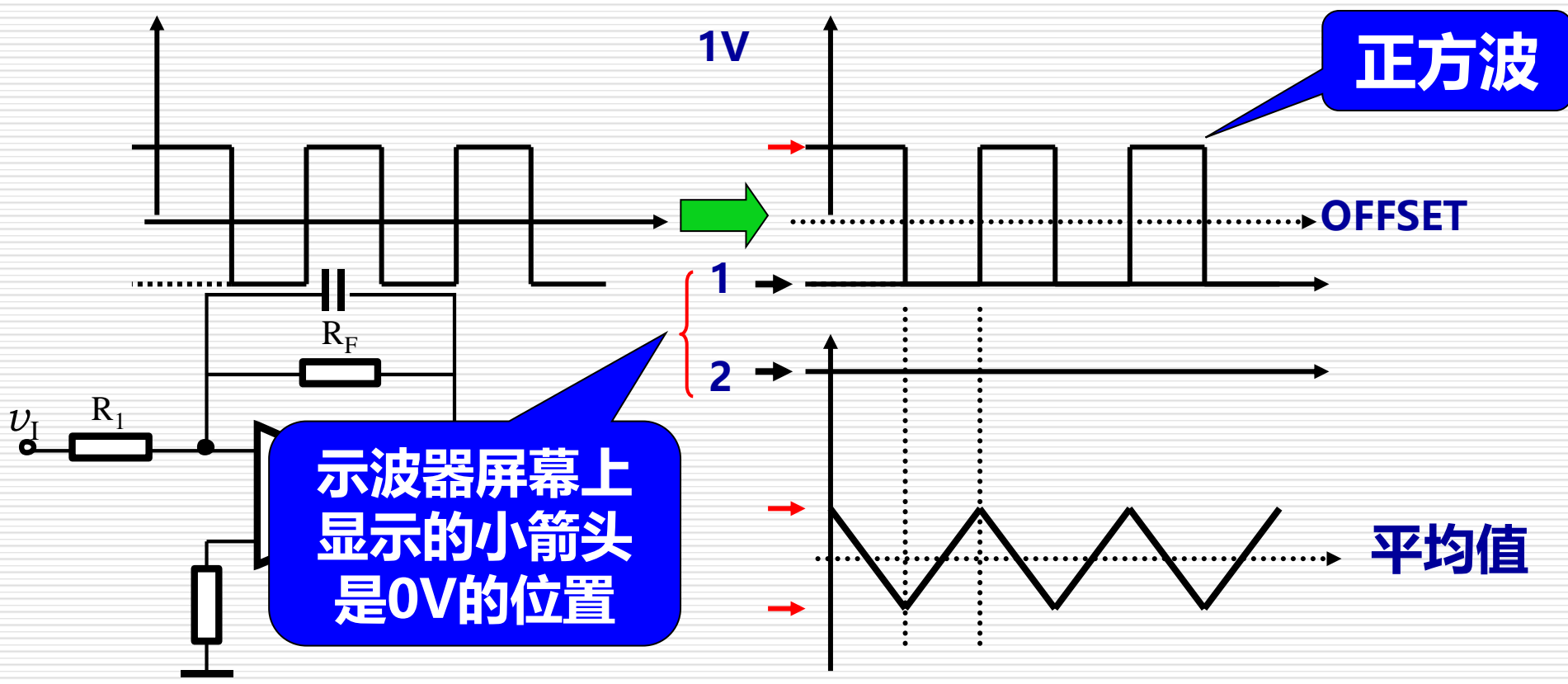
◆ 如何从信号发生器得到**正方波**?

注意：直流电平旋钮的用法

(2) 实验内容

输入信号： $f=200\text{Hz}$ ，峰峰值为 1V 的正方波（调节offset使其为正方波）

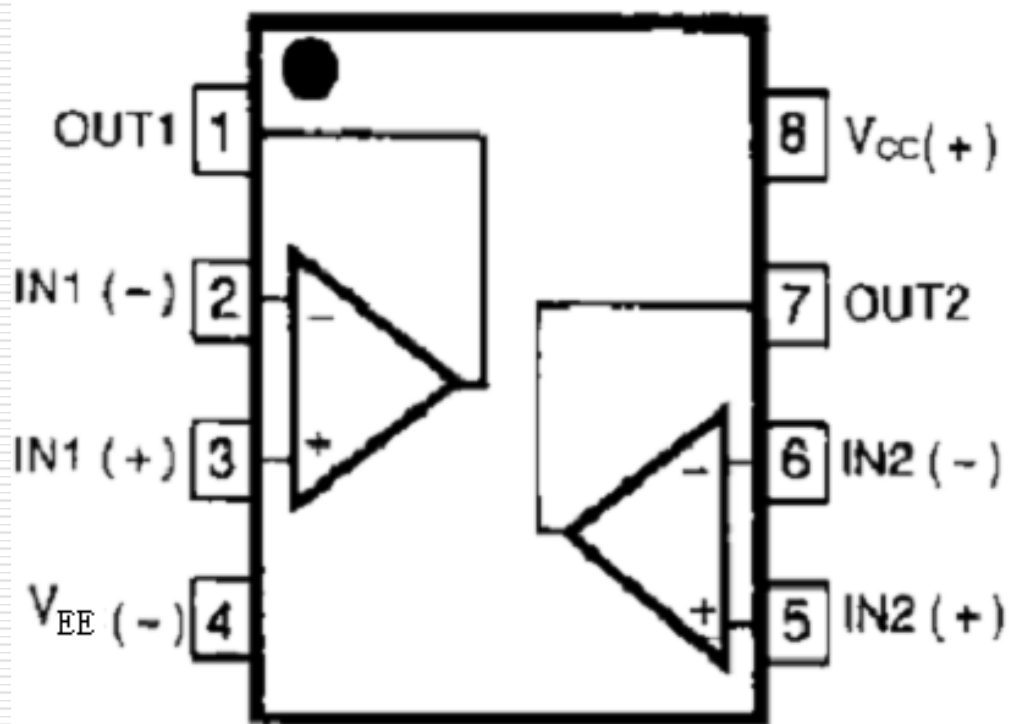
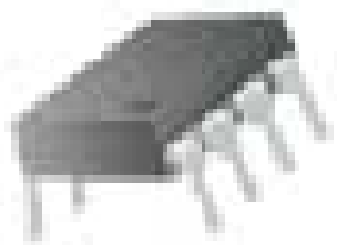
用示波器DC挡测试 v_i 和 v_o ，画出其波形，标出其幅值和周期



三、电路的组装

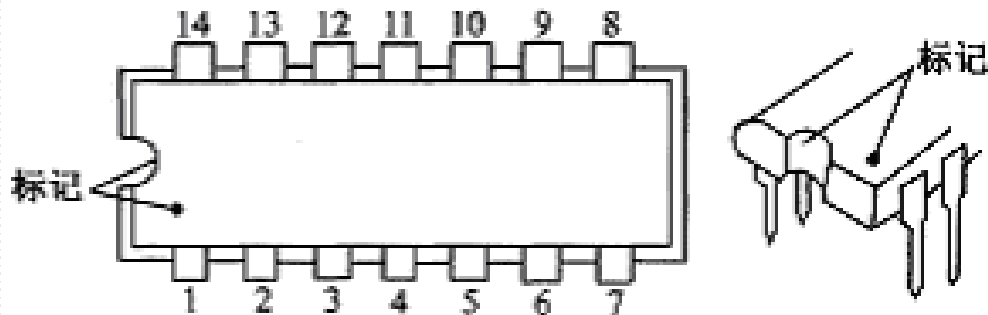
1. NE5532 (高速低噪声双运算放大器) 引脚图

8-DIP

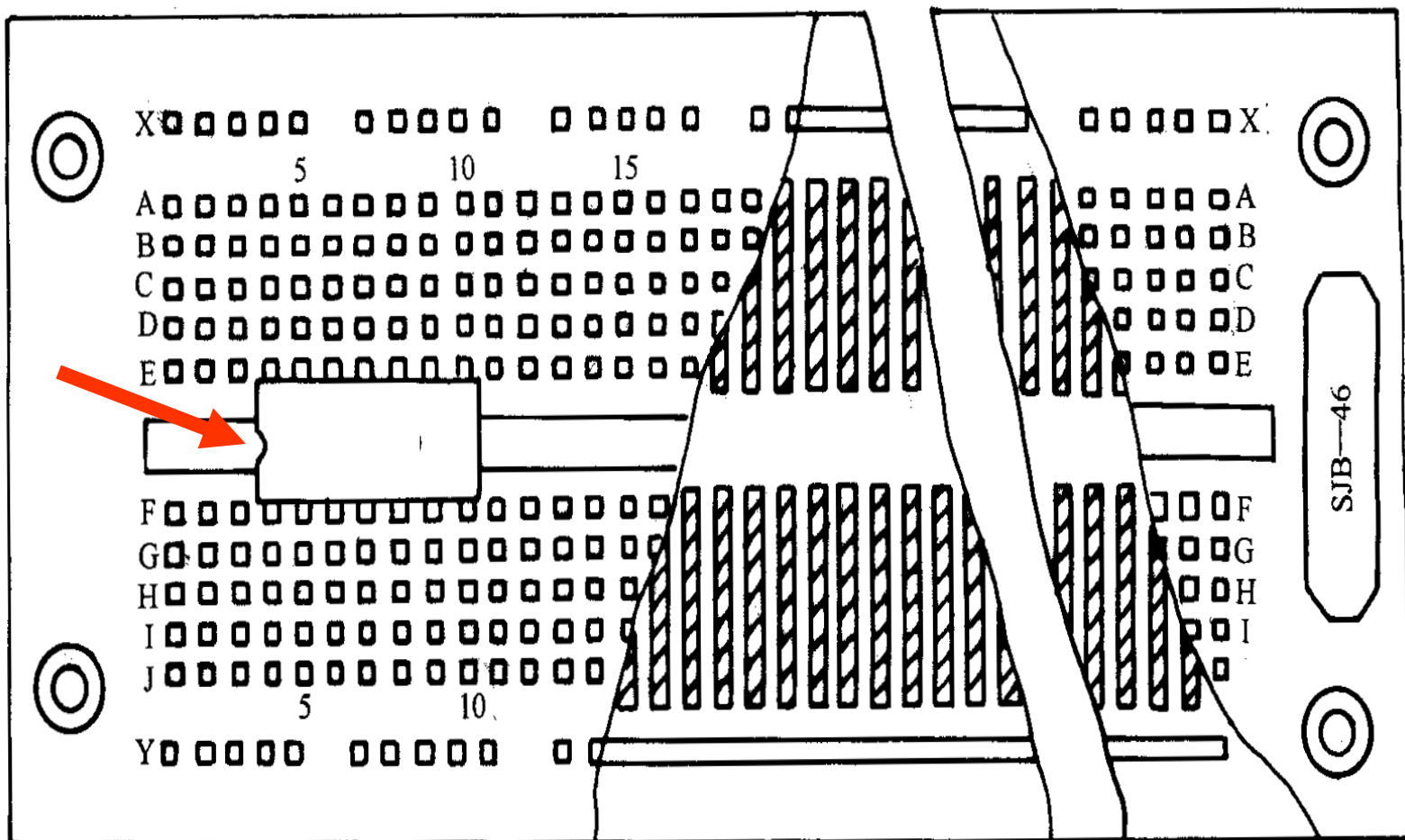


集成电路外引线的识别

- 扁平型和双列直插型集成电路：识别时，将文字符号标记正放（一般集成电路上有一圆点或有一缺口，将缺口或圆点置于左方），由顶部俯视，从左下脚起，按逆时针方向数，依次为1，2，3，4……。扁平型多用于数字集成电路。双列直插型广泛应用于模拟和数字集成电路。

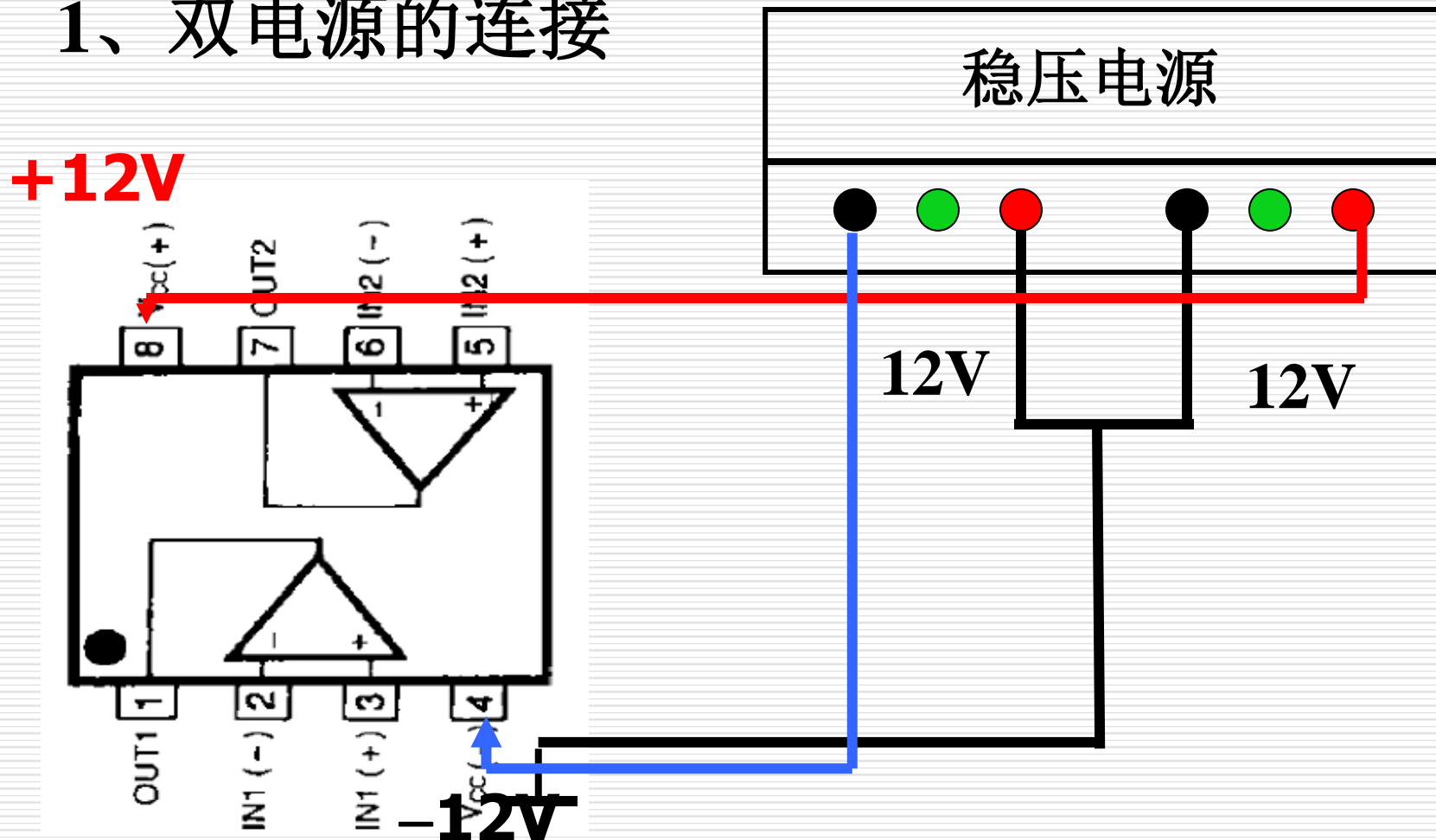


2、芯片安装



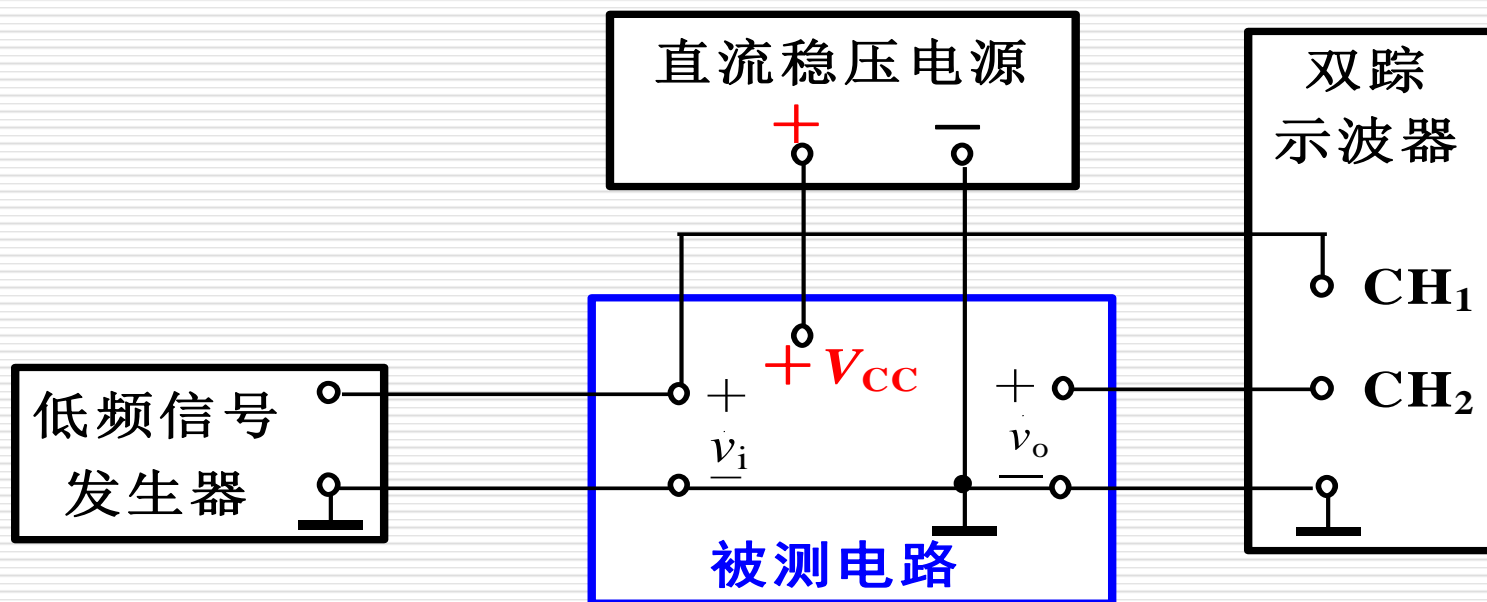
集成运放NE5532的应用

1、双电源的连接



注意：正、负电源的千万别接反！

电路安装与调试



■ 首先在面包板上组装好电路，参考上图搭接好实验测试平台。

■ 然后进行电路调试

注意事项

- 所有仪器的接地端都应 与电路的地线相连接。

验收要求

- 可现场检查波形的反相比例积分电路
- 仪器使用截图
- 实验报告（预习）
- 处理好的实验记录
 - 反相比例积分电路测量波形（坐标纸上绘出！）
- 爱课网学习情况（课堂互动，单元测验，评价）
 - 华中科技大学《电子线路设计、测试与实验（一）》MOOC课程：
 - <https://www.icourse163.org/spoc/course/HUST-1003328002>
 - 完成模块2~模块3，模块5单元测验

选作

□设计一高增益电压放大器，要求：输入信号为正弦交流电压信号，峰峰值 **$V_{ipp}=100\text{mV}$** ，频率 **$f_i=10\text{kHz}$** ，输出信号峰峰值 **$V_{opp}=24\text{V}$** ，且与输入信号反相。电路输入阻抗大于 **1M** 欧姆，输出阻抗小于 **100** 欧姆。

（1）提出电路设计方案，画出电路原理图，要求标示出电阻元件参数和电源值；简述电路的工作原理。

（2）对电路进行仿真，验证你所设计的电路能满足设计要求。

（3）插板实现所设计的电路，测试电路的性能指标，验证你所设计实现的电路能够满足设计要求。

（4）当输入信号为 **1MHz** ，请问上述电路还能满足所要求的增益，输入阻抗与输出阻抗指标吗？描述电路性能指标变化的原因，并提出改进方案。

下阶段实验——单级**MOSFET**共源 放大电路设计、仿真与实现

下次实验自学内容

- 教材:
- 第2章 电子线路计算机辅助分析与设计
 - 2.1 Orcad9.2软件概述
 - 2.2 Orcad9.2电路设计仿真分析的流程
- 第3章 模拟电子线路基础实验
 - 3.2 双极结型三极管的参数测试与基本应用
 - 3.3 MOSFET参数测试与基本应用
- 第4章 模拟电子线路应用设计
 - 4.2 双极结型晶体管共射放大器设计
 - 4.3 MOSFET放大器设计
- <http://www.icourse163.org/course/HUST-1001942004> MOOC; 模块四、模块六-单元测验