

嵌入式芯片与系统设计竞赛 ——基于CH32V307的口袋万用表

目 录

- 01 应用需求
- 02 元器件特性介绍
- 03 元器件快速分类
- 04 元器件测量
- 05 硬件与软件介绍

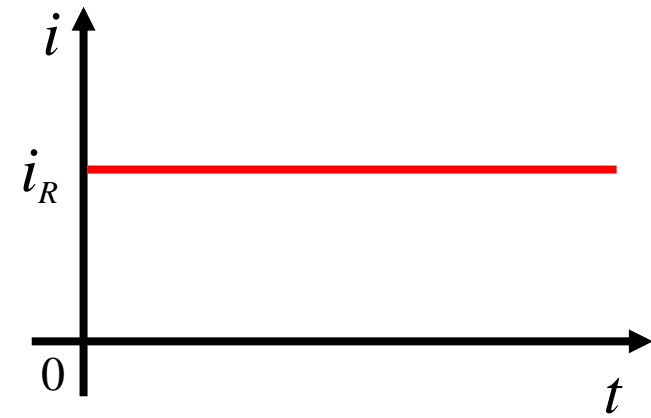
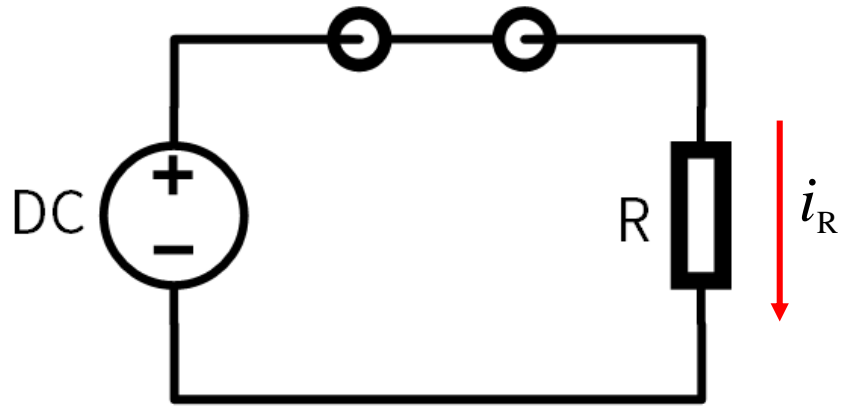
01 应用需求

每一个使用万用表的人都会遇到一个问题，那就是测量时要调挡位。不同的元器件需要调档位，不同的量程也需要调挡位。当准备测量一个三极管时，需要提前知道三极管的类型以及各个管脚对应的是哪个级。

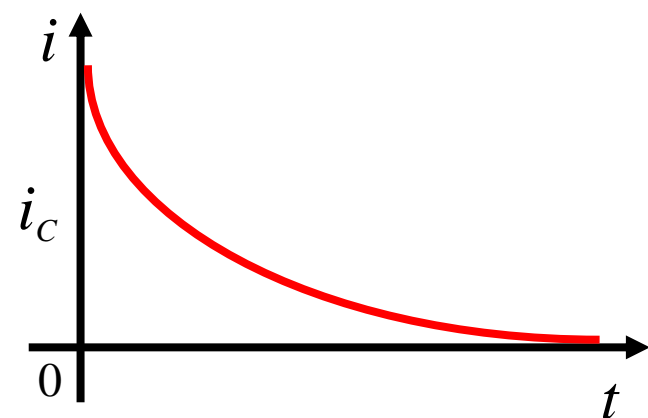
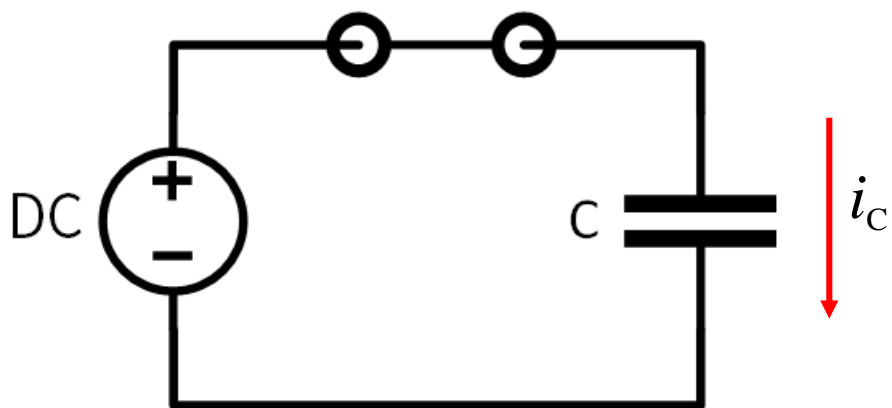
是否可以有一个简单易用的万用表，将上述问题都解决呢？

本应用的**目标**就是设计一个便携式的万用表，可以自动识别不同元器件的类型，并能够测量出它的各项参数，同时显示到屏幕上。元器件类型包括电阻、电容、二极管、三极管这些常用的**电子元件**。

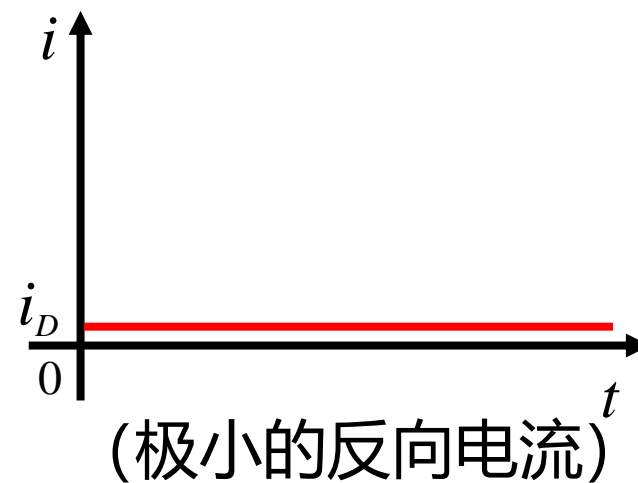
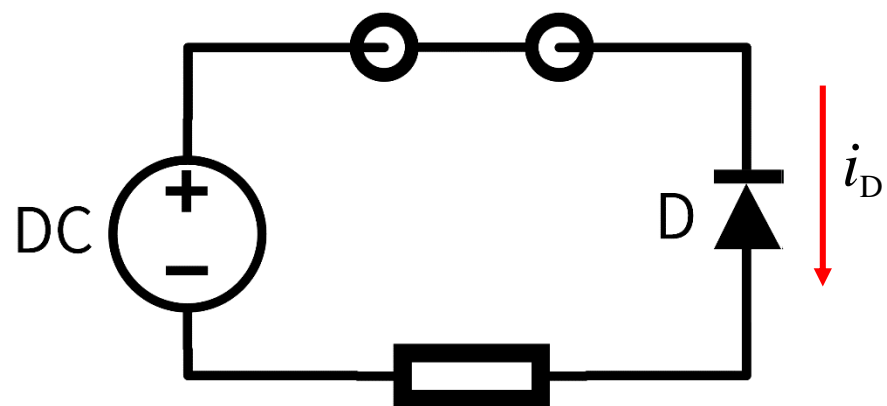
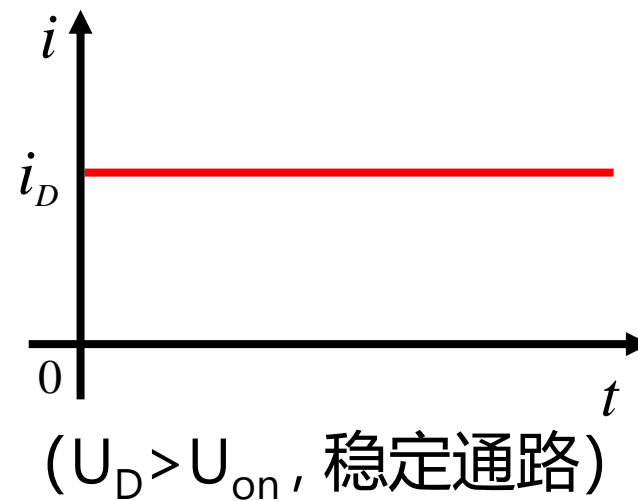
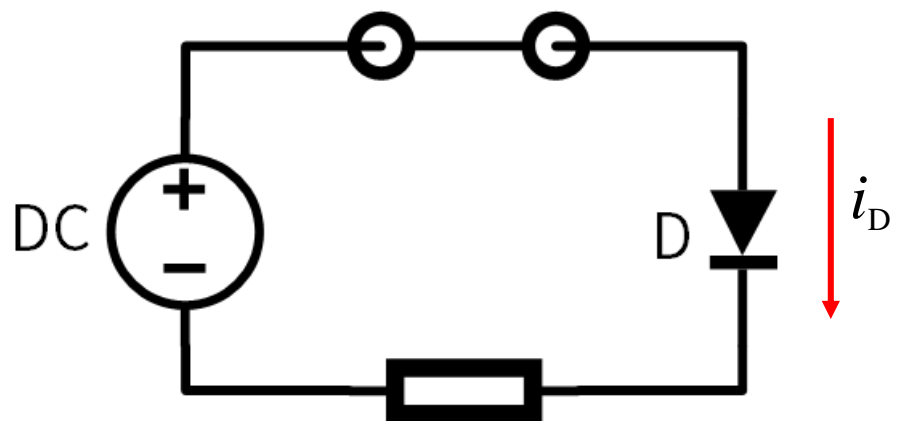
02 元器件特性介绍

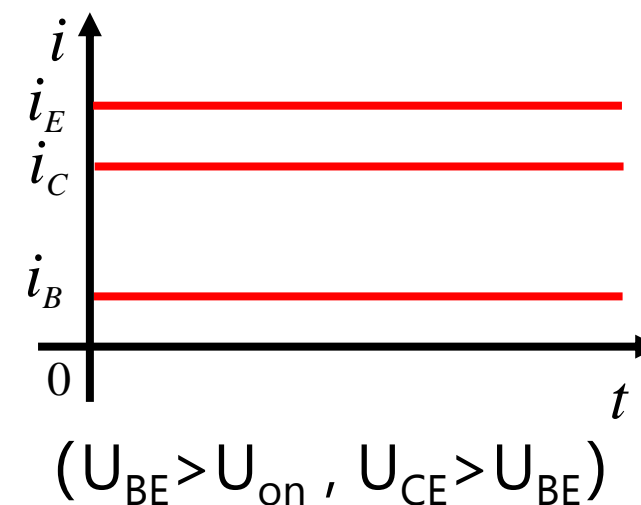
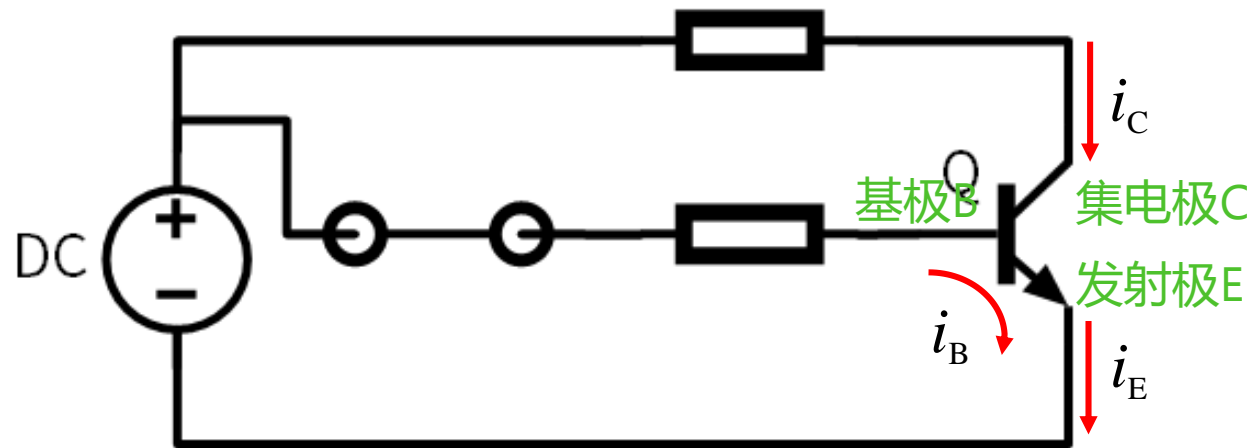
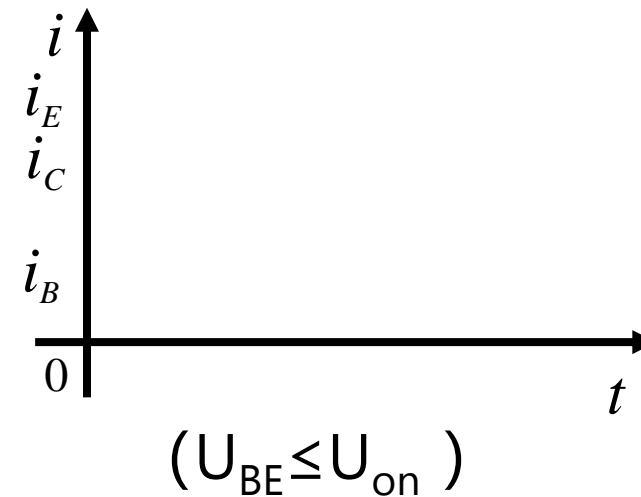
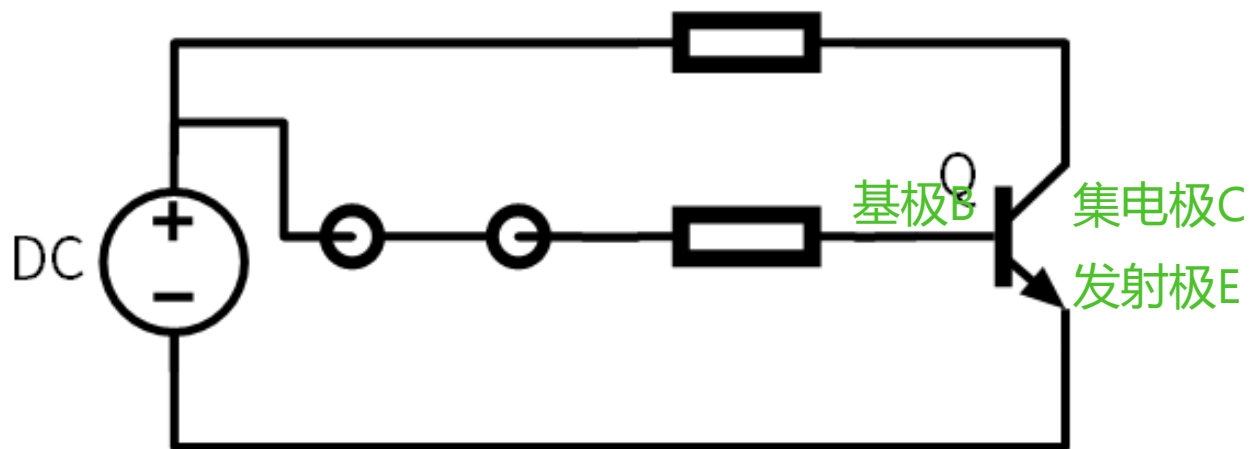


(稳定通路)



(电容充电完成后为断路)

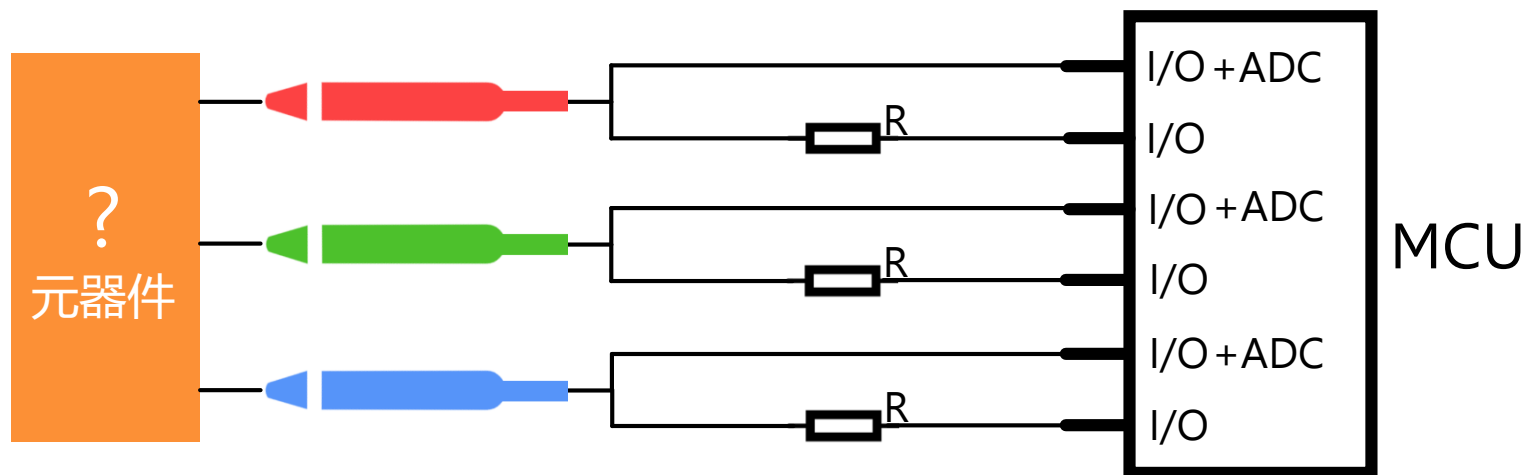




?

留给同学们去思考

03 元器件快速分类



分类方法:

1. 三个表笔任选两个，一个输出3.3V，一个输出0V。同一个表笔的不同输出电压为两种情况，共有6种可能。未被选择的那个表笔需要分别输出3.3V和0V参与判断，所以总共有12种可能。
2. 被选择为输出3.3V的表笔将未串联电阻的IO设置为推挽输出，另一个串联电阻的IO初始化为模拟输入。模拟输入为高阻态，可以认为是断路。
3. 被选择为输出0V的表笔将串联电阻的IO初始化为推挽输出，另一个未串联电阻的IO初始化为模拟输入来进行ADC采集，通过比较采集到的电阻上的分压值来判断当前电路是否导通。

序号	红表笔		绿表笔		蓝表笔	
	无电阻I/O	有电阻I/O	无电阻I/O	有电阻I/O	无电阻I/O	有电阻I/O
1	3.3V	—	ADC	0V	—	3.3V
2	ADC	0V	3.3V	—		
3	3.3V	—	—	3.3V	ADC	0V
4	ADC	0V			3.3V	—
5	—	3.3V	3.3V	—	ADC	0V
6			ADC	0V	3.3V	—

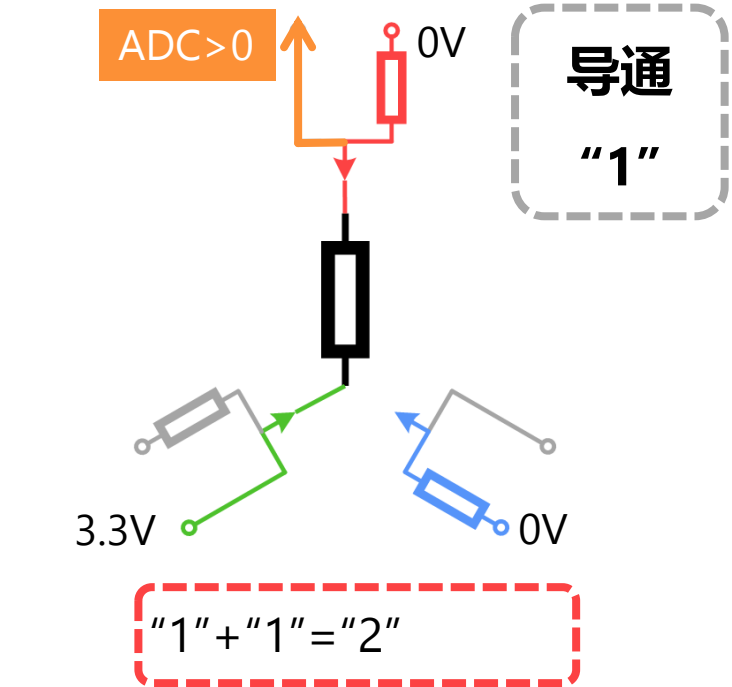
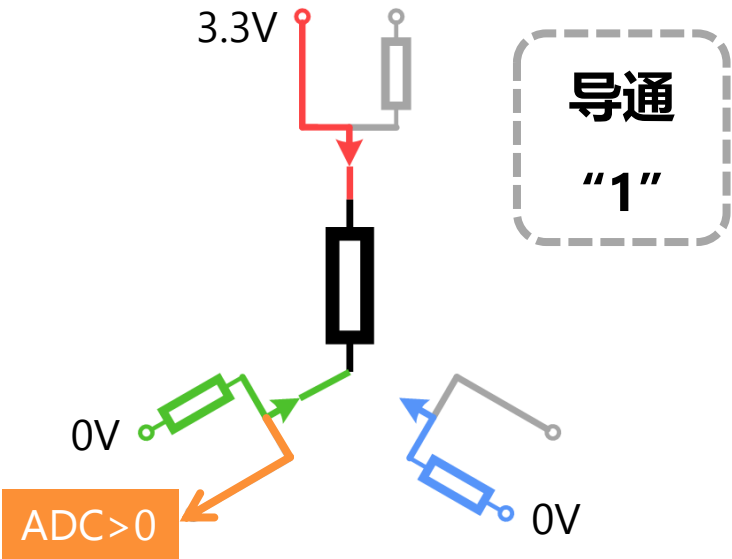
(框选的是被选中的两支表笔，未被选中的表笔输出3.3V)

序号	红表笔		绿表笔		蓝表笔	
	无电阻I/O	有电阻I/O	无电阻I/O	有电阻I/O	无电阻I/O	有电阻I/O
7	3.3V	—	ADC	0V	—	0V
8	ADC	0V	3.3V	—		
9	3.3V	—	—	0V	ADC	0V
10	ADC	0V			3.3V	—
11	—	0V	3.3V	—	ADC	0V
12			ADC	0V	3.3V	—

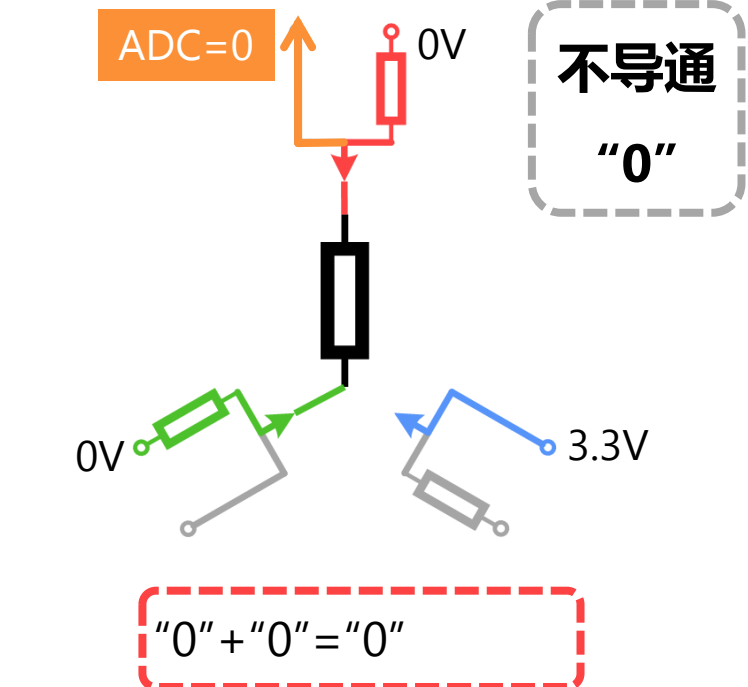
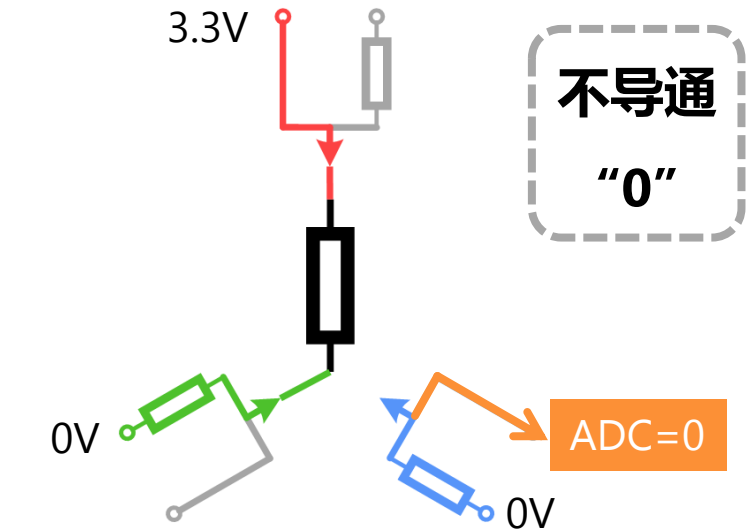
(框选的是被选中的两支表笔，未被选中的表笔输出0V)

以电阻连接在红表笔和绿表笔之间为例
研究快速分类的结果

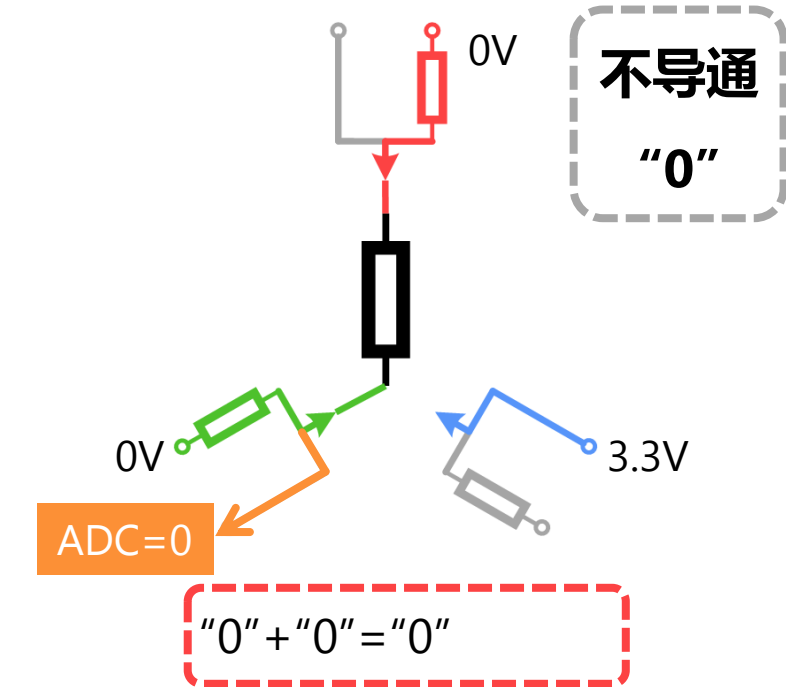
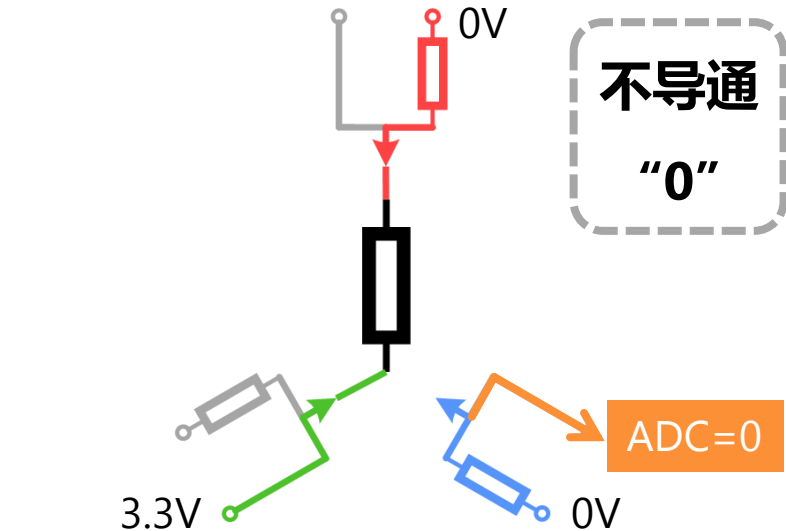
选择: 红笔 绿笔 未选择(0V): 蓝笔



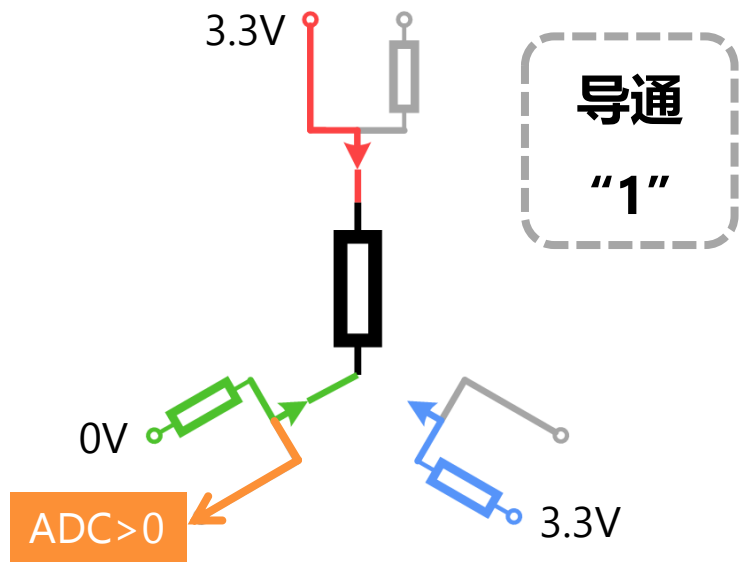
选择: 红笔 蓝笔 未选择(0V): 绿笔



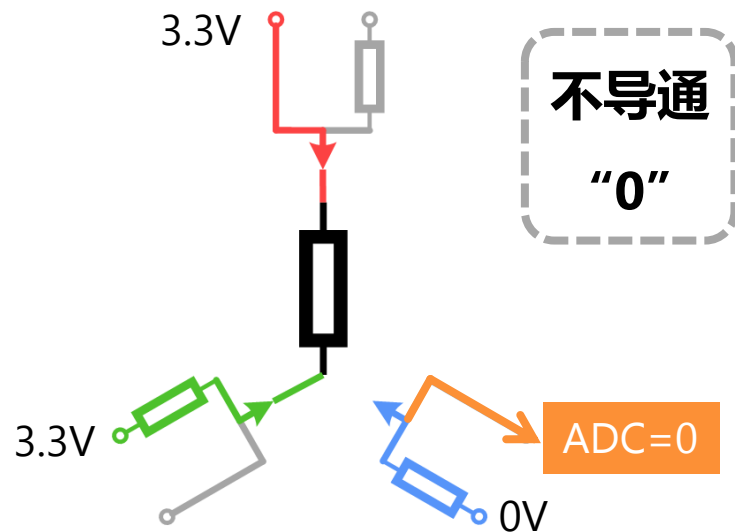
选择: 绿笔 蓝笔 未选择(0V): 红笔



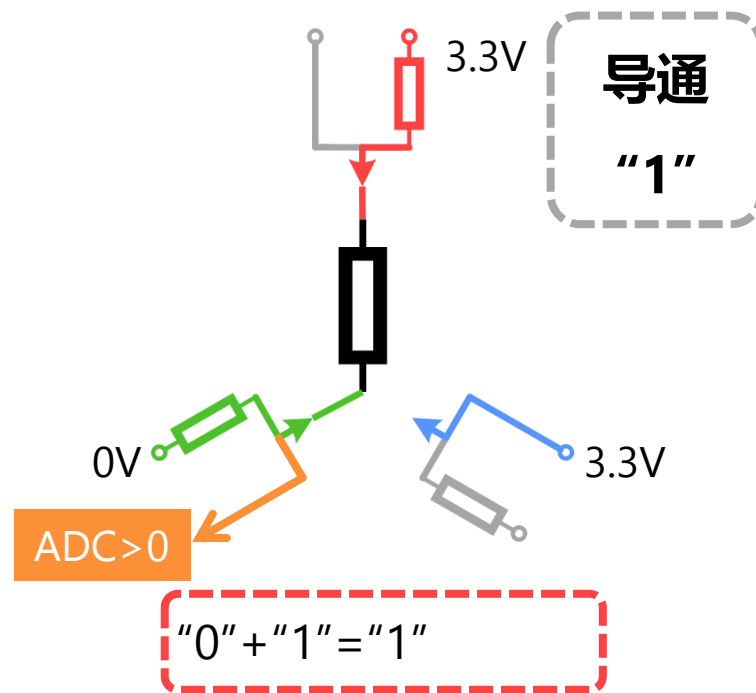
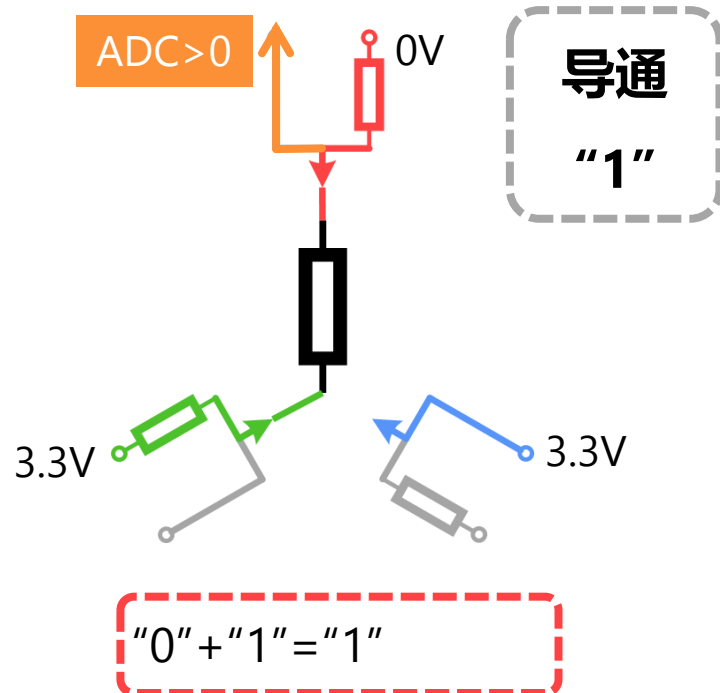
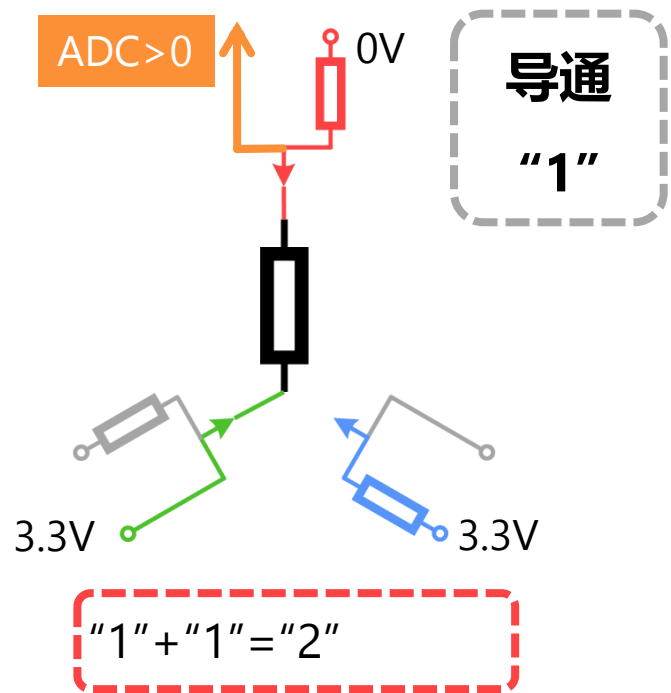
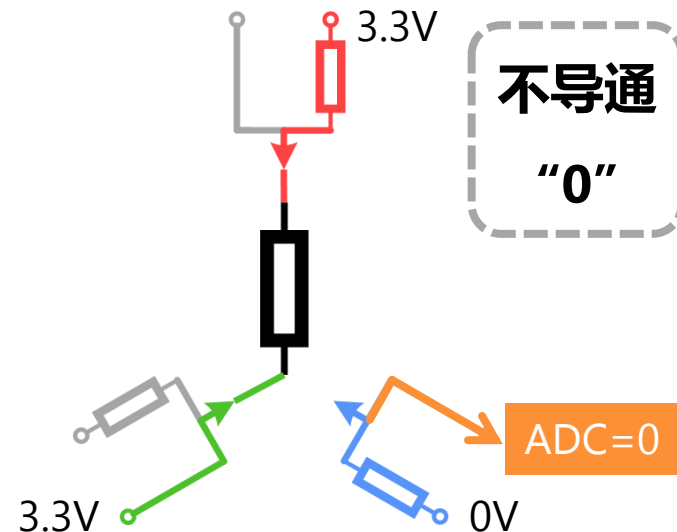
选择: 红笔 绿笔 未选择(3.3V): 蓝笔



选择: 红笔 蓝笔 未选择(3.3V): 绿笔



选择: 绿笔 蓝笔 未选择(3.3V): 红笔



电阻连接的表笔	未被选中的表笔输出/V	表笔之间的导通情况						
		红-绿	红-蓝	绿-蓝				
红笔-电阻-绿笔	0	2	0	0	}	{2,0,0}	}	{0,0,2} 特征值
	3.3	2	1	1				
红笔-电阻-蓝笔	0	0	2	0	}	{0,2,0}		
	3.3	1	2	1				
绿笔-电阻-蓝笔	0	0	0	2	}	{0,0,2}		
	3.3	1	1	2				

(同一组表笔下取较小值)

(从小到大排序)

通过导通情况可以知道电阻所连接的表笔

电阻连接的 表笔	未被选中的 表笔输出/V	表笔之间的导通情况		
		红-绿	红-蓝	绿-蓝
红笔-电阻-绿笔	0	0	0	0
	3.3	0	0	0
红笔-电阻-蓝笔	0	0	0	0
	3.3	0	0	0
绿笔-电阻-蓝笔	0	0	0	0
	3.3	0	0	0

{0,0,0}

{0,0,0}

{0,0,0}

{0,0,0}

特征值

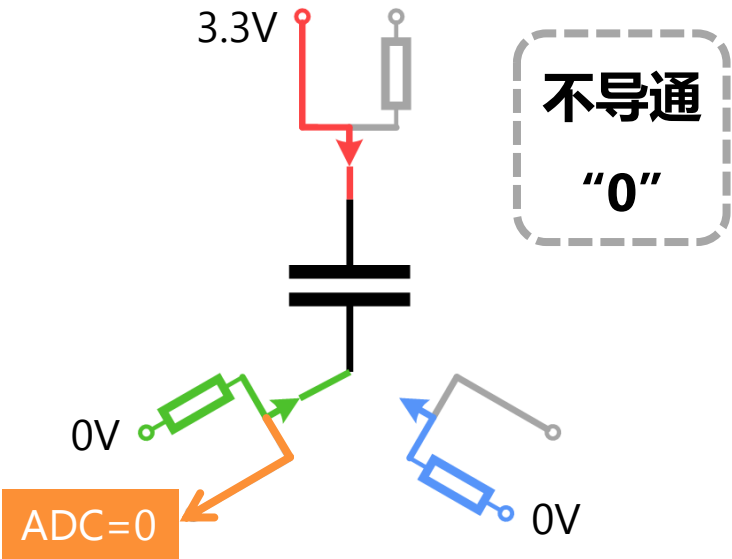
(同一组表笔下取较小值)

(从小到大排序)

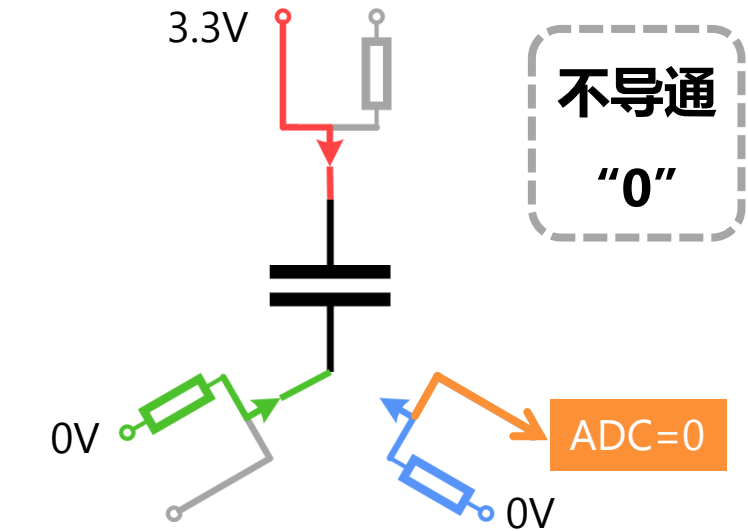
大电阻：电阻值远大于分压电阻（IO上串联的电阻），导致分压电阻上的电压很小，通过ADC的采样值无法确认该电路导通

以电容连接在红表笔和绿表笔之间为例
研究快速分类的结果

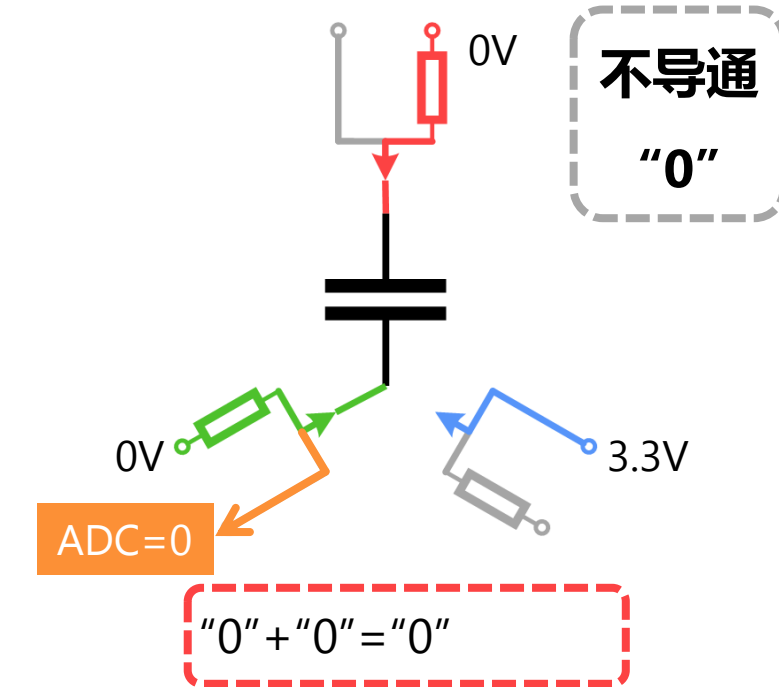
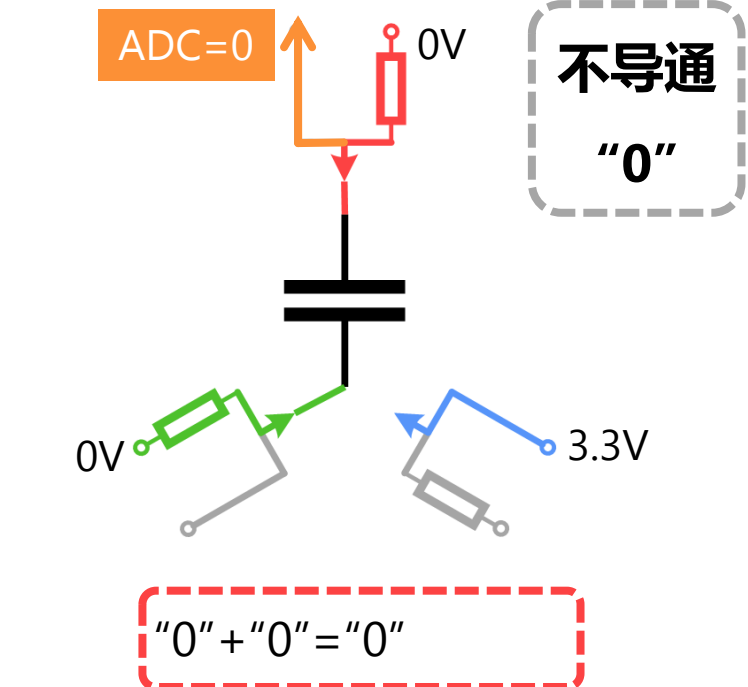
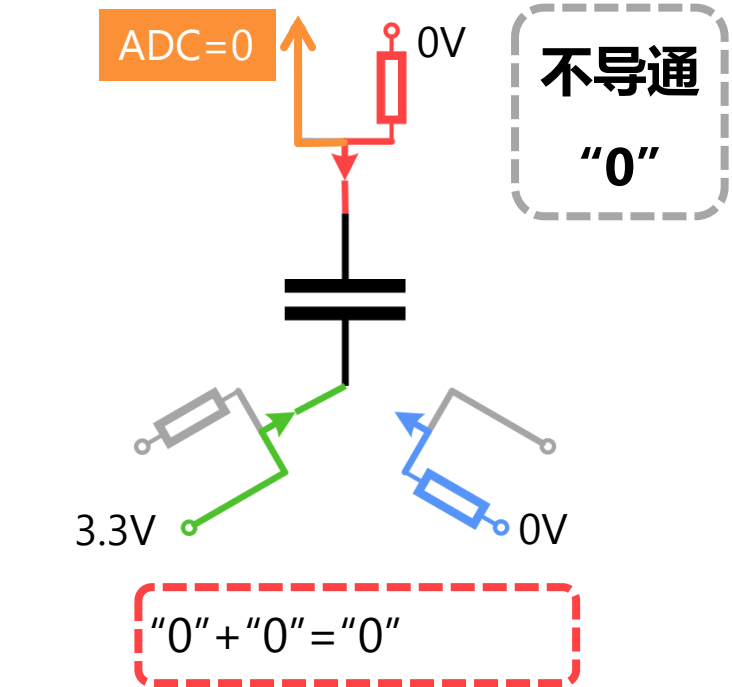
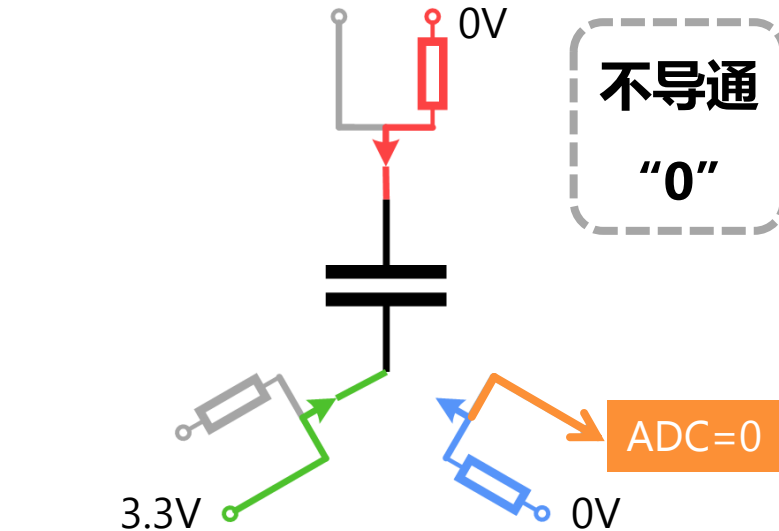
选择: 红笔 绿笔 未选择(0V): 蓝笔



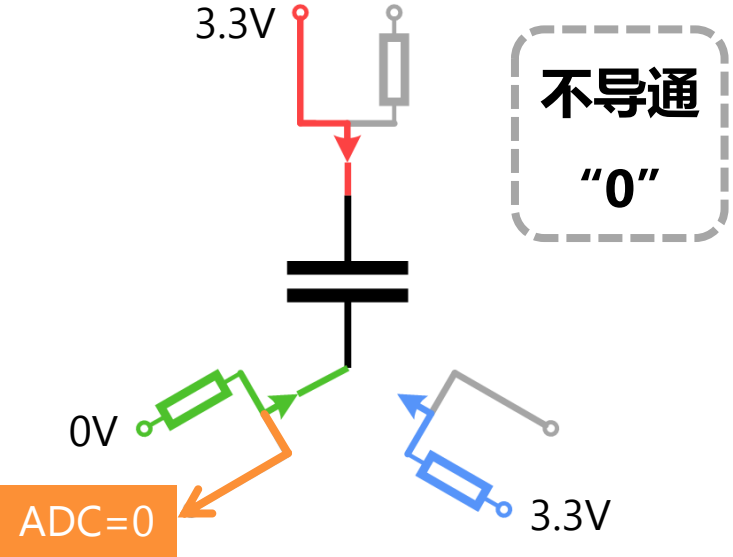
选择: 红笔 蓝笔 未选择(0V): 绿笔



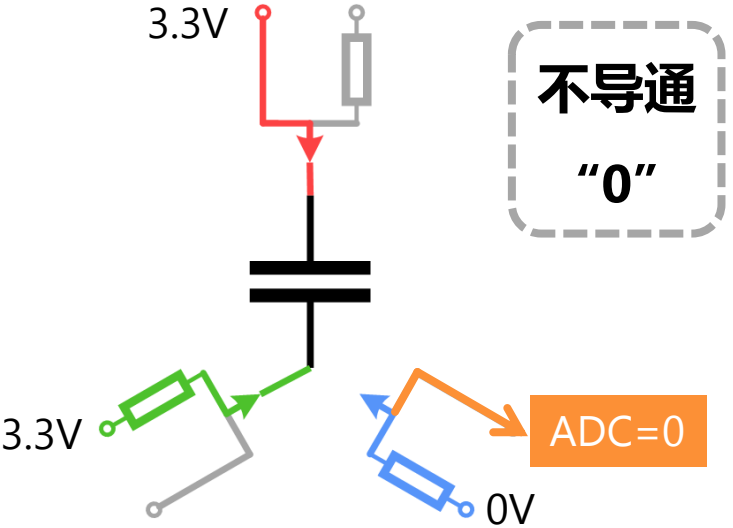
选择: 绿笔 蓝笔 未选择(0V): 红笔



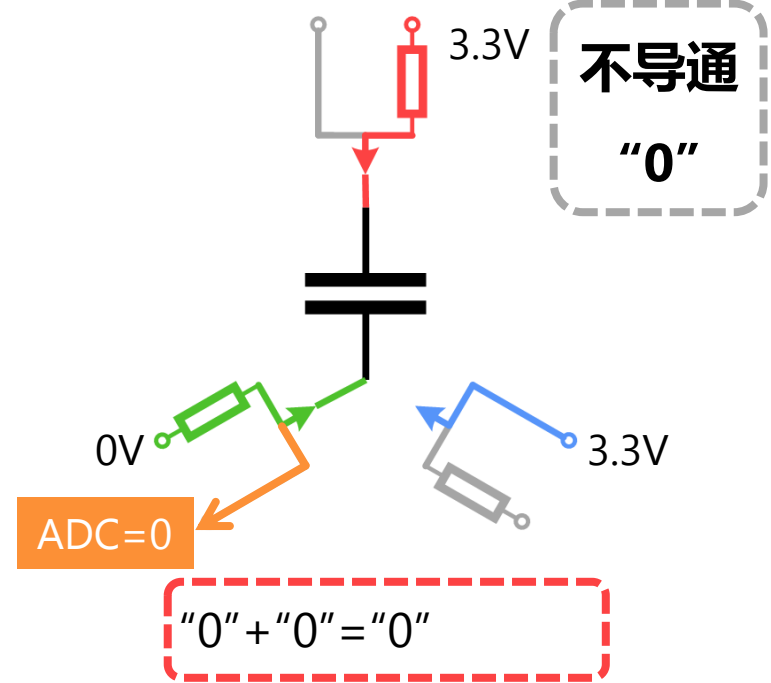
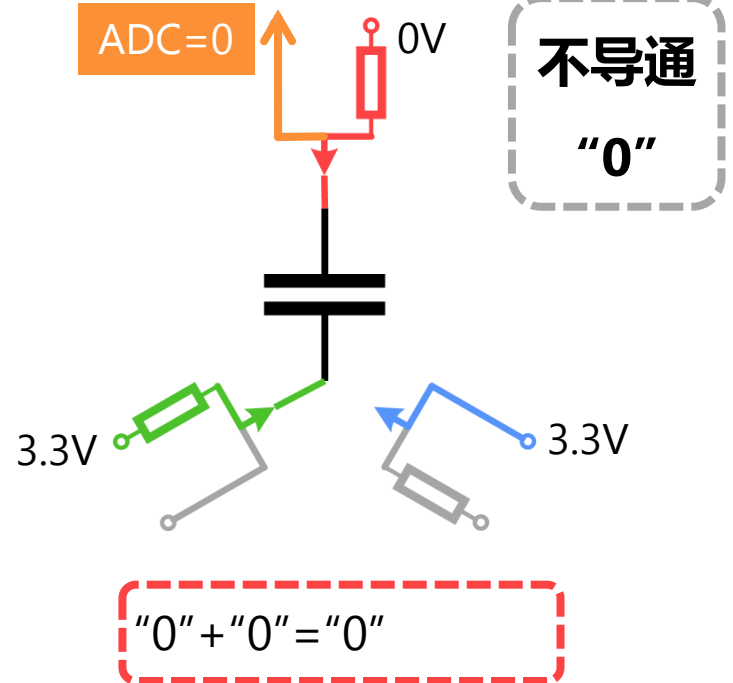
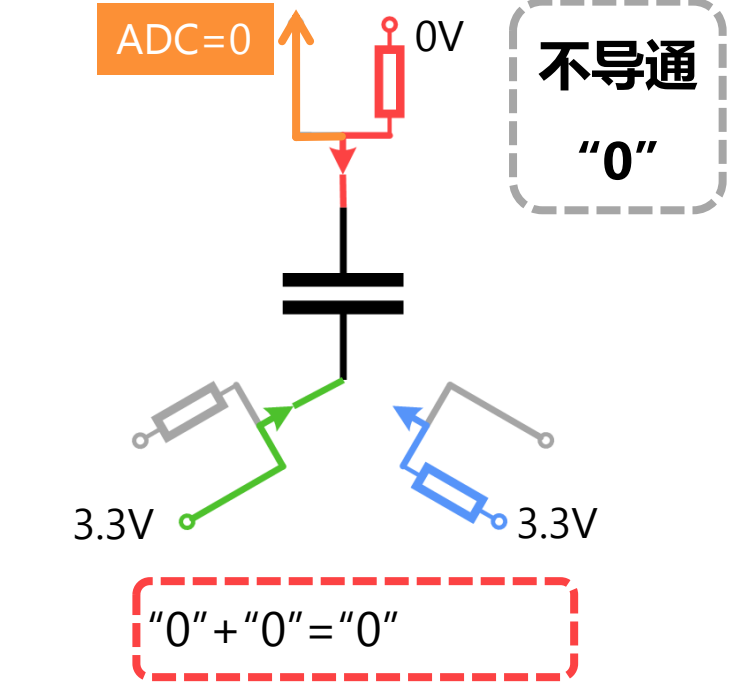
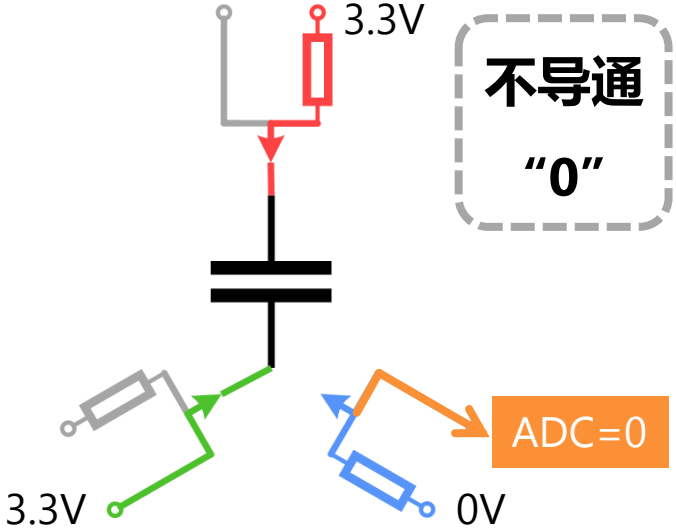
选择: 红笔 绿笔 未选择(3.3V): 蓝笔



选择: 红笔 蓝笔 未选择(3.3V): 绿笔



选择: 绿笔 蓝笔 未选择(3.3V): 红笔



电容连接的 表笔	未被选中的 表笔输出/V	表笔之间的导通情况						
		红-绿	红-蓝	绿-蓝				
红笔-电容-绿笔	0	0	0	0	}	{0,0,0}	}	{0,0,0} 特征值
	3.3	0	0	0				
红笔-电容-蓝笔	0	0	0	0	}	{0,0,0}		
	3.3	0	0	0				
绿笔-电容-蓝笔	0	0	0	0	}	{0,0,0}		
	3.3	0	0	0				
					(同一组表笔下取较小值)		(从小到大排序)	

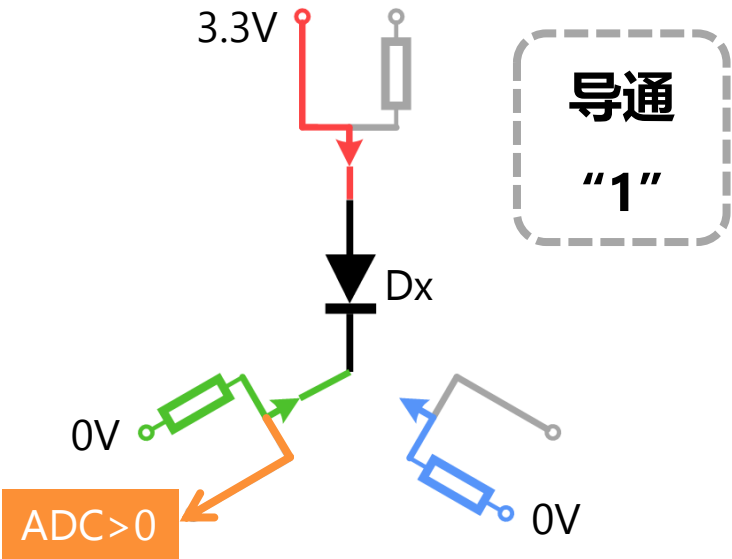
电容连接的 表笔	未被选中的 表笔输出/V	表笔之间的导通情况					
		红-绿	红-蓝	绿-蓝			
红笔-电容-绿笔	0	2	0	0	{2,0,0}	{0,0,2}	特征值
	3.3	2	1	1			
红笔-电容-蓝笔	0	0	2	0	{0,2,0}		
	3.3	1	2	1			
绿笔-电容-蓝笔	0	0	0	2	{0,0,2}		
	3.3	1	1	2			

(同一组表笔下取较小值) (从小到大排序)

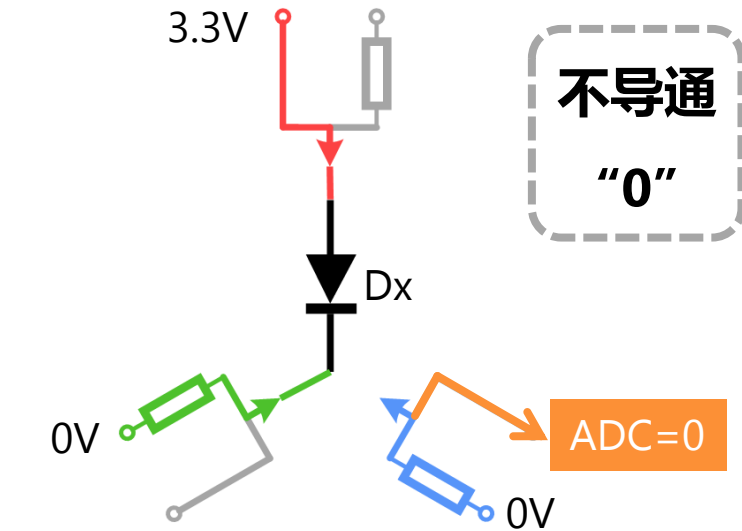
大电容：在一定时间内（如50ms内）电容无法被充满，分压电阻（IO上串联的电阻）上存在电流，所以ADC能够采集到电压，与电容大小和充电电流有关

以二极管的正极连接红表笔，负极连接绿表笔为例
研究快速分类的结果

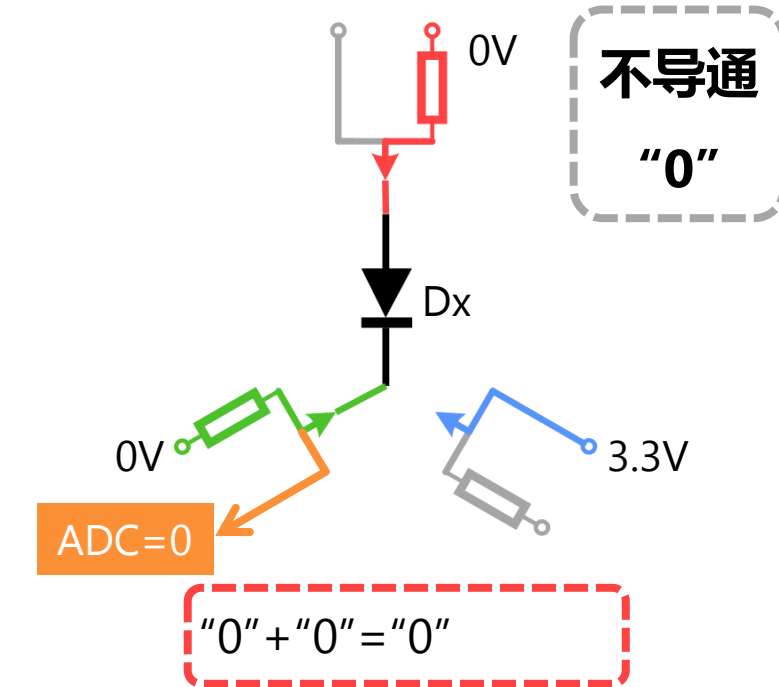
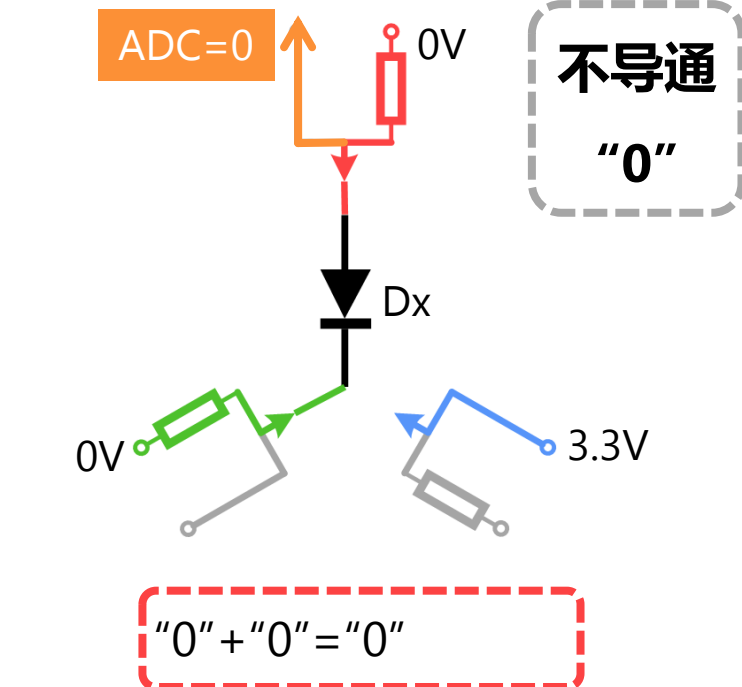
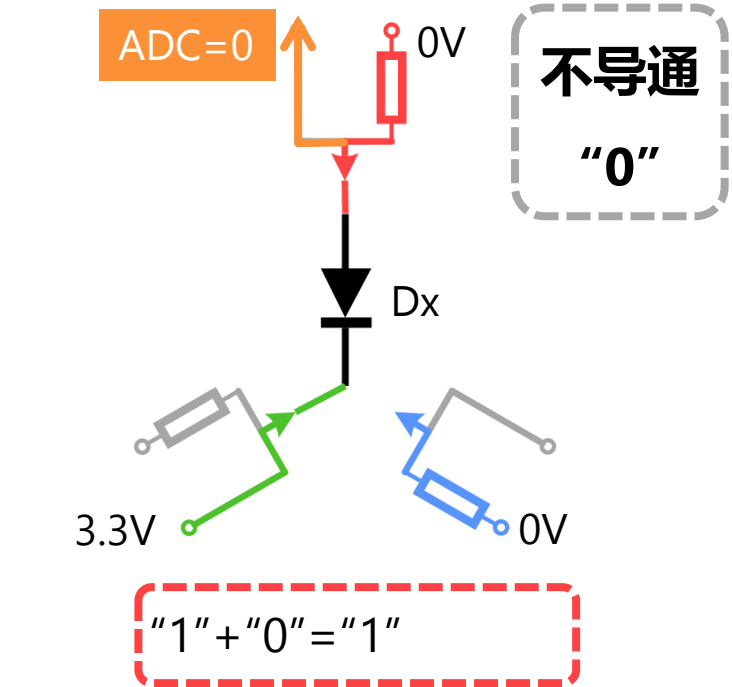
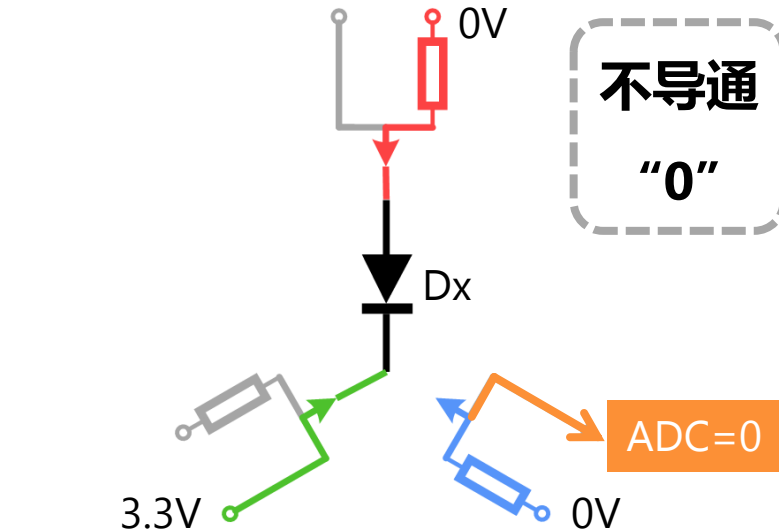
选择: 红笔 绿笔 未选择(0V): 蓝笔



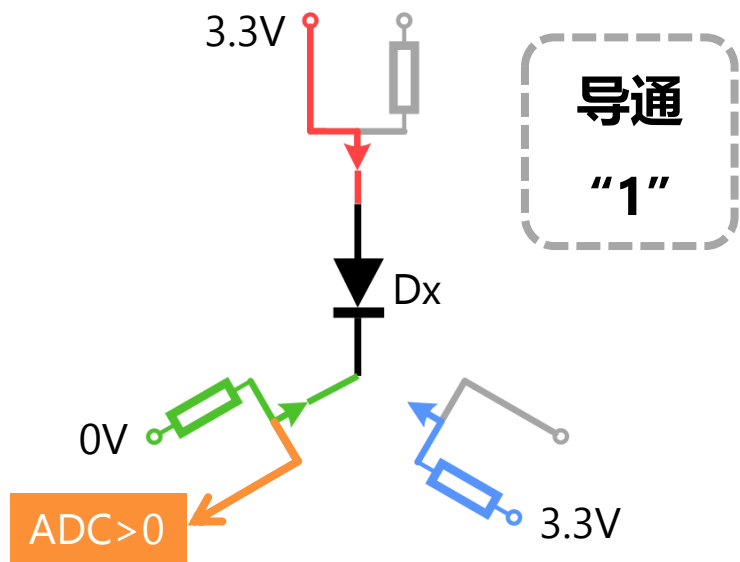
选择: 红笔 蓝笔 未选择(0V): 绿笔



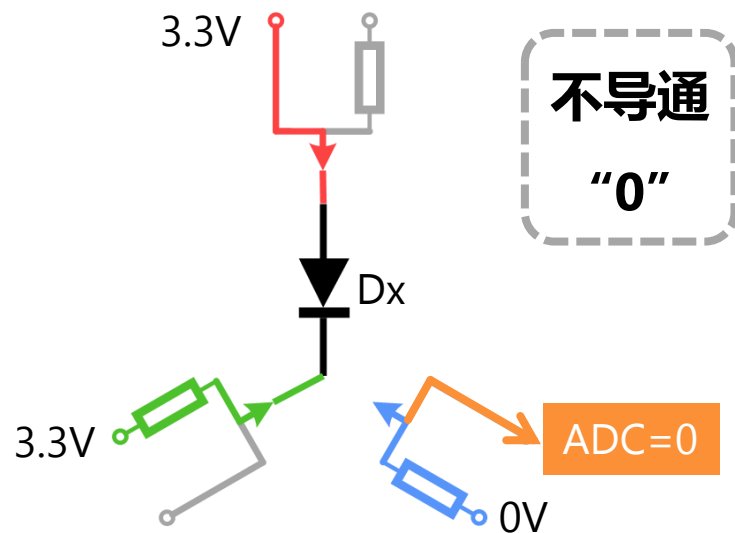
选择: 绿笔 蓝笔 未选择(0V): 红笔



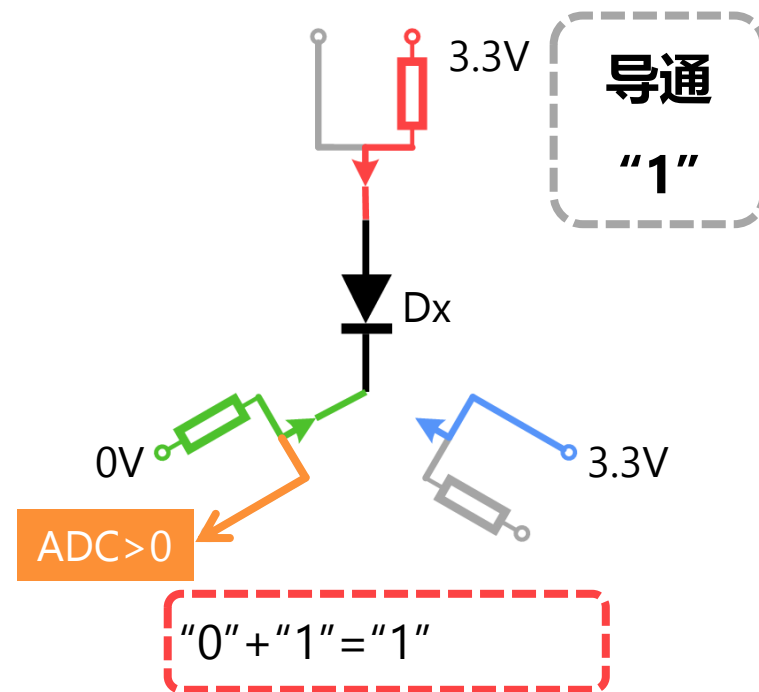
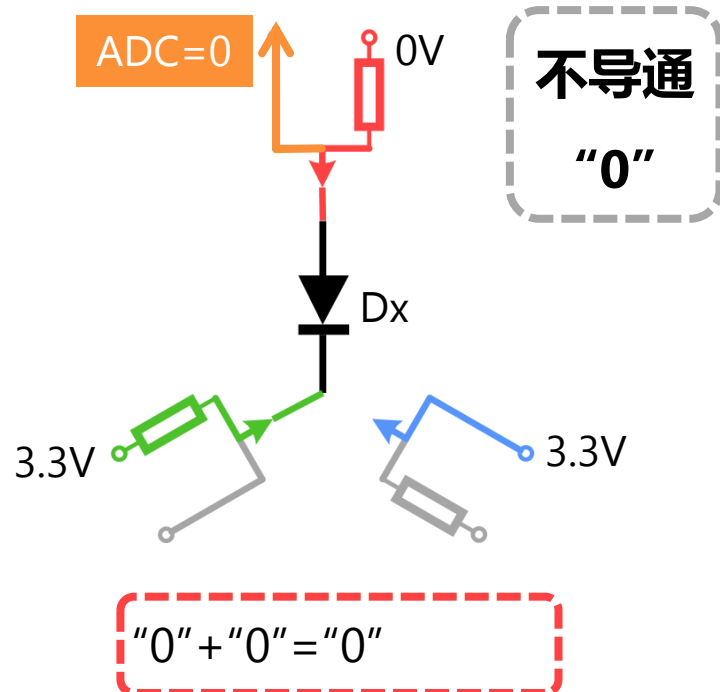
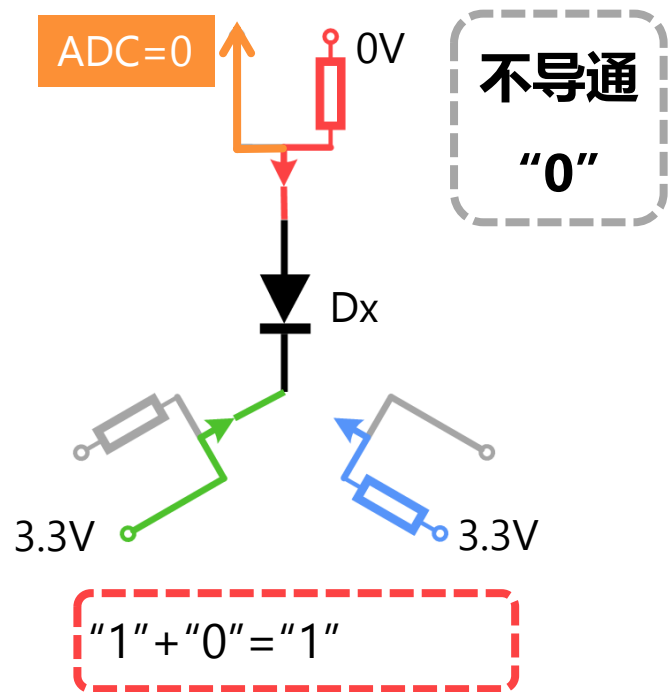
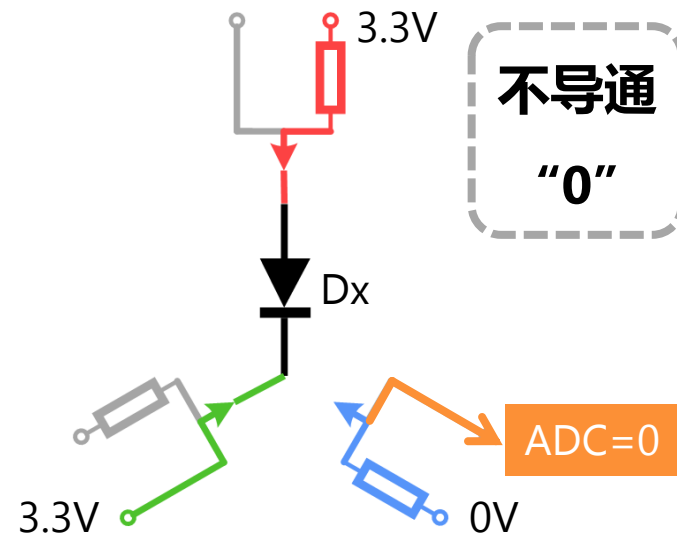
选择: 红笔 绿笔 未选择(3.3V): 蓝笔



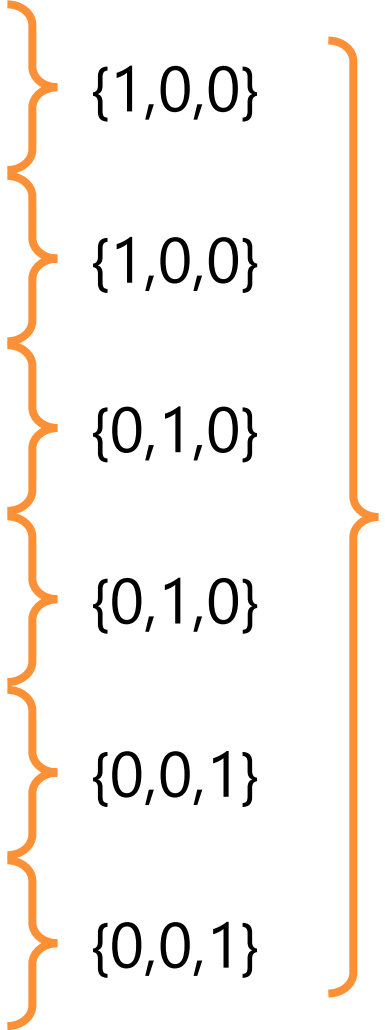
选择: 红笔 蓝笔 未选择(3.3V): 绿笔



选择: 绿笔 蓝笔 未选择(3.3V): 红笔



二极管连接的表笔	未被选中的表笔输出/V	测量值		
		红-绿	红-蓝	绿-蓝
红笔-二极管-绿笔	0	1	0	0
	3.3	1	0	1
绿笔-二极管-红笔	0	1	0	0
	3.3	1	1	0
红笔-二极管-蓝笔	0	0	1	0
	3.3	0	1	1
蓝笔-二极管-红笔	0	0	1	0
	3.3	1	1	0
绿笔-二极管-蓝笔	0	0	0	1
	3.3	0	1	1
蓝笔-二极管-绿笔	0	0	0	1
	3.3	1	0	1



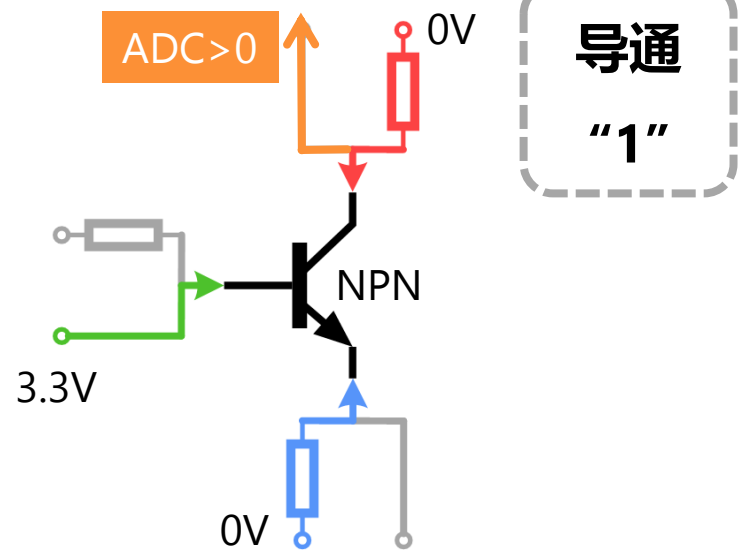
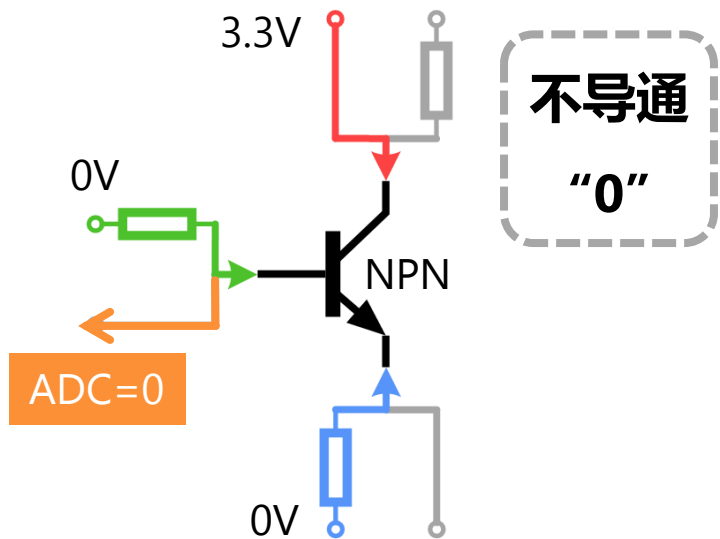
通过导通情况可以知道二极管方向，以及所连接的表笔

{0,0,1} 特征值

(同一组表笔下取较小值) (从小到大排序)

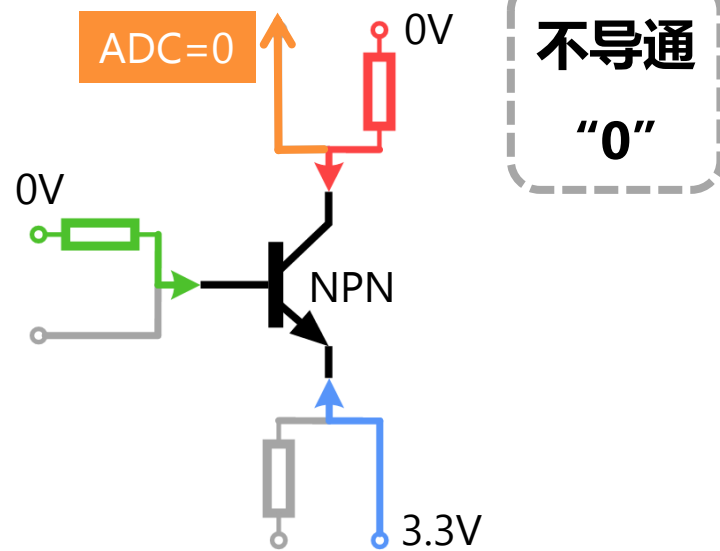
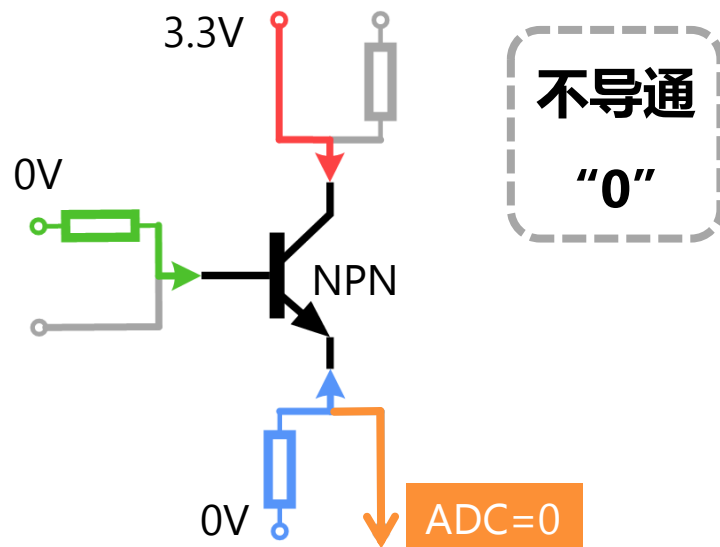
以NPN三极管的集电极连接红表笔，
基极连接绿表笔，
发射极连接蓝表笔为例
研究快速分类的结果

选择: 红笔 绿笔 未选择(0V): 蓝笔



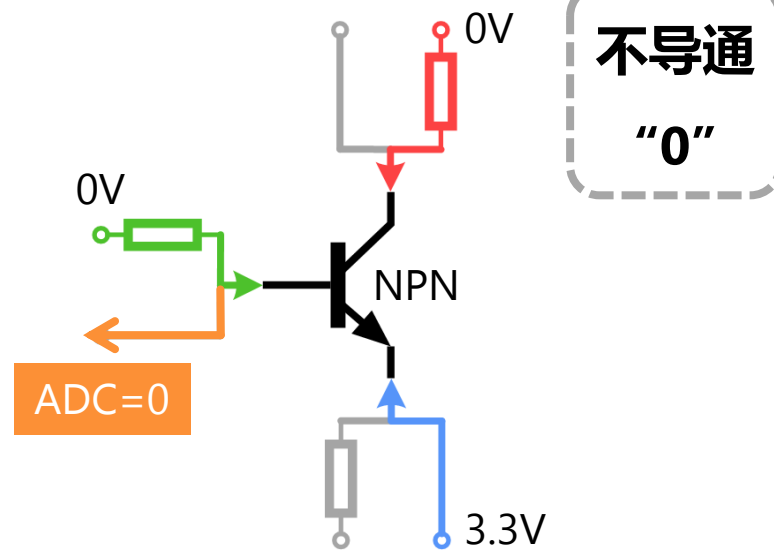
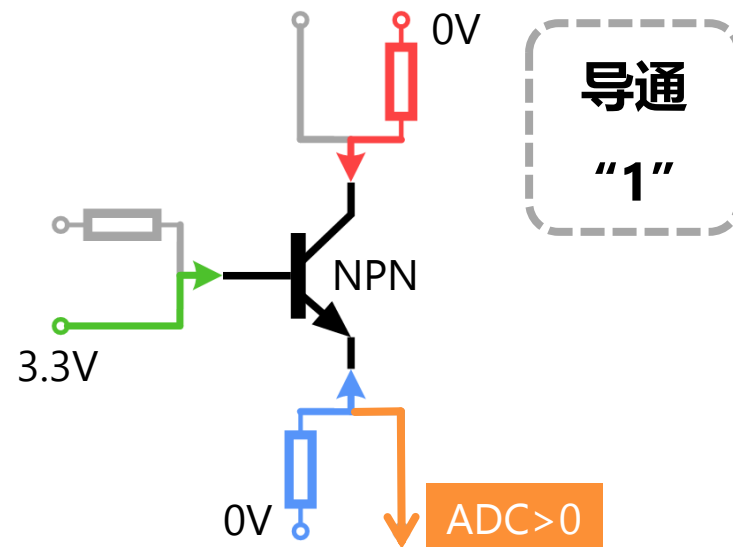
"0" + "1" = "1"

选择: 红笔 蓝笔 未选择(0V): 绿笔



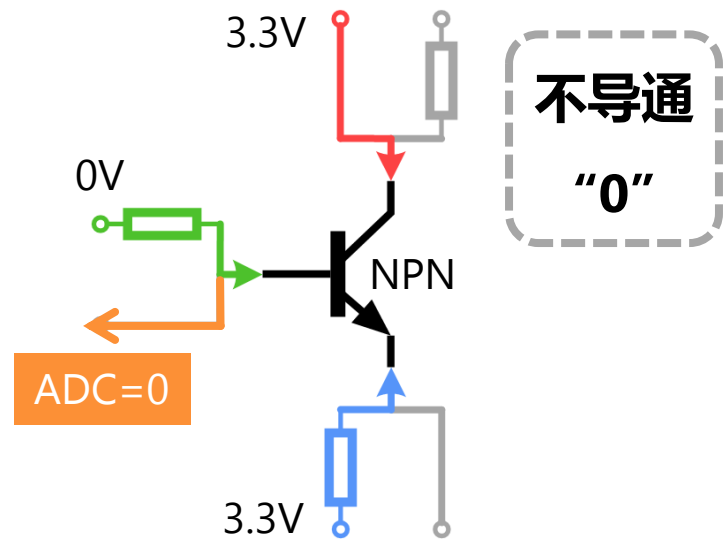
"0" + "0" = "0"

选择: 绿笔 蓝笔 未选择(0V): 红笔

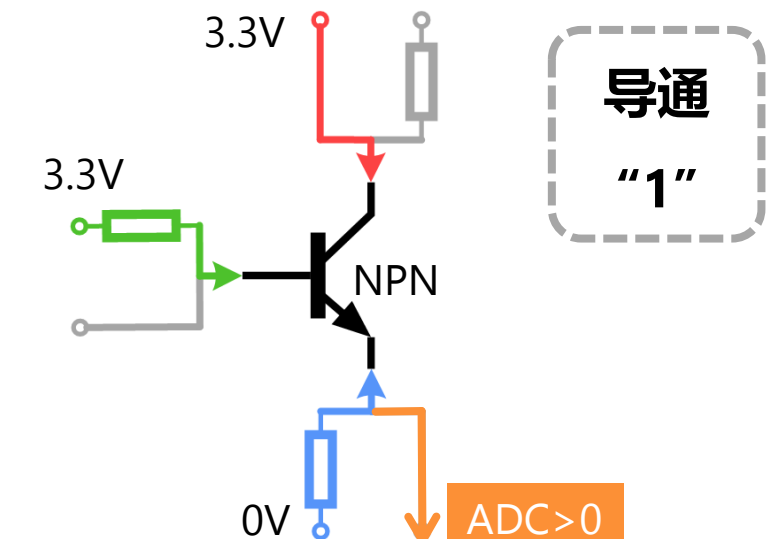


"1" + "0" = "1"

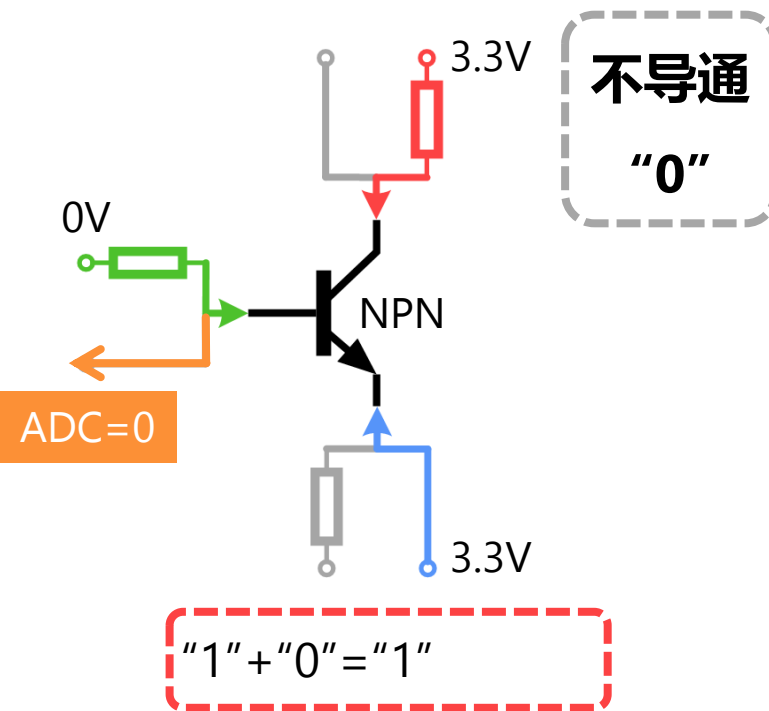
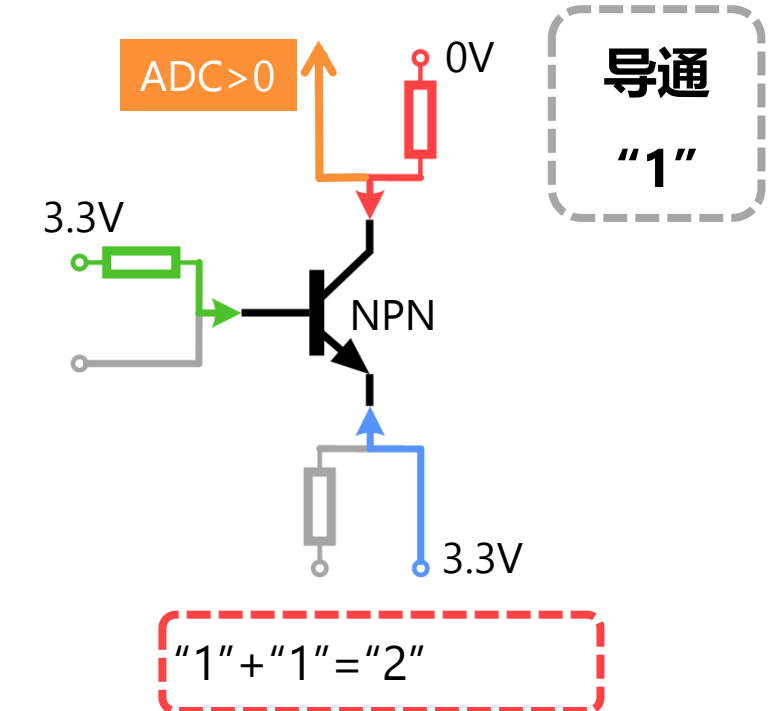
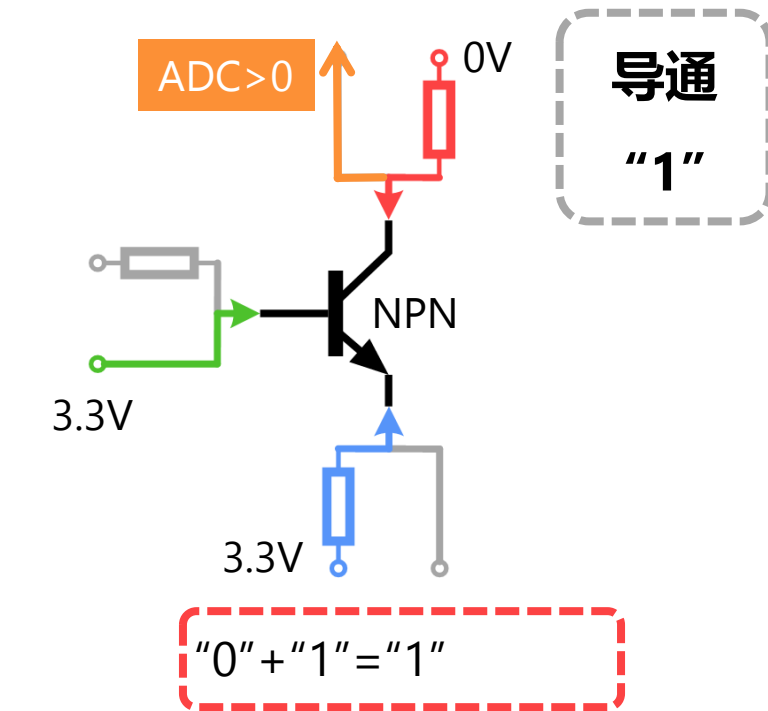
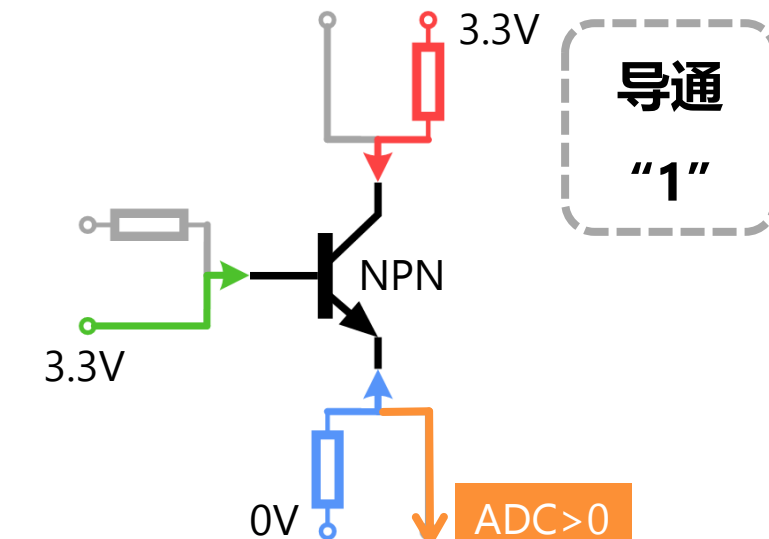
选择: 红笔 绿笔 未选择(3.3V): 蓝笔



选择: 红笔 蓝笔 未选择(3.3V): 绿笔



选择: 绿笔 蓝笔 未选择(3.3V): 红笔



三极管连接的 表笔	未被选中的 表笔输出/V	测量值			
		红-绿	红-蓝	绿-蓝	
红笔-集电极 绿笔-发射极	0	0	1	1	{0,1,1}
	3.3	2	1	1	
绿笔-集电极 红笔-发射极	0	0	1	1	{0,1,1}
	3.3	2	1	1	
红笔-集电极 蓝笔-发射极	0	1	0	1	{1,0,1}
	3.3	1	2	1	
蓝笔-集电极 红笔-发射极	0	1	0	1	{1,0,1}
	3.3	1	2	1	
绿笔-集电极 蓝笔-发射极	0	1	1	0	{1,1,0}
	3.3	1	1	2	
蓝笔-集电极 绿笔-发射极	0	1	1	0	{1,1,0}
	3.3	1	1	2	

通过导通情况可以
知道三极管类型，
以及基极所连接的
表笔

{0,1,1} 特征值

(同一组表笔下取较小值) (从小到大排序)

?

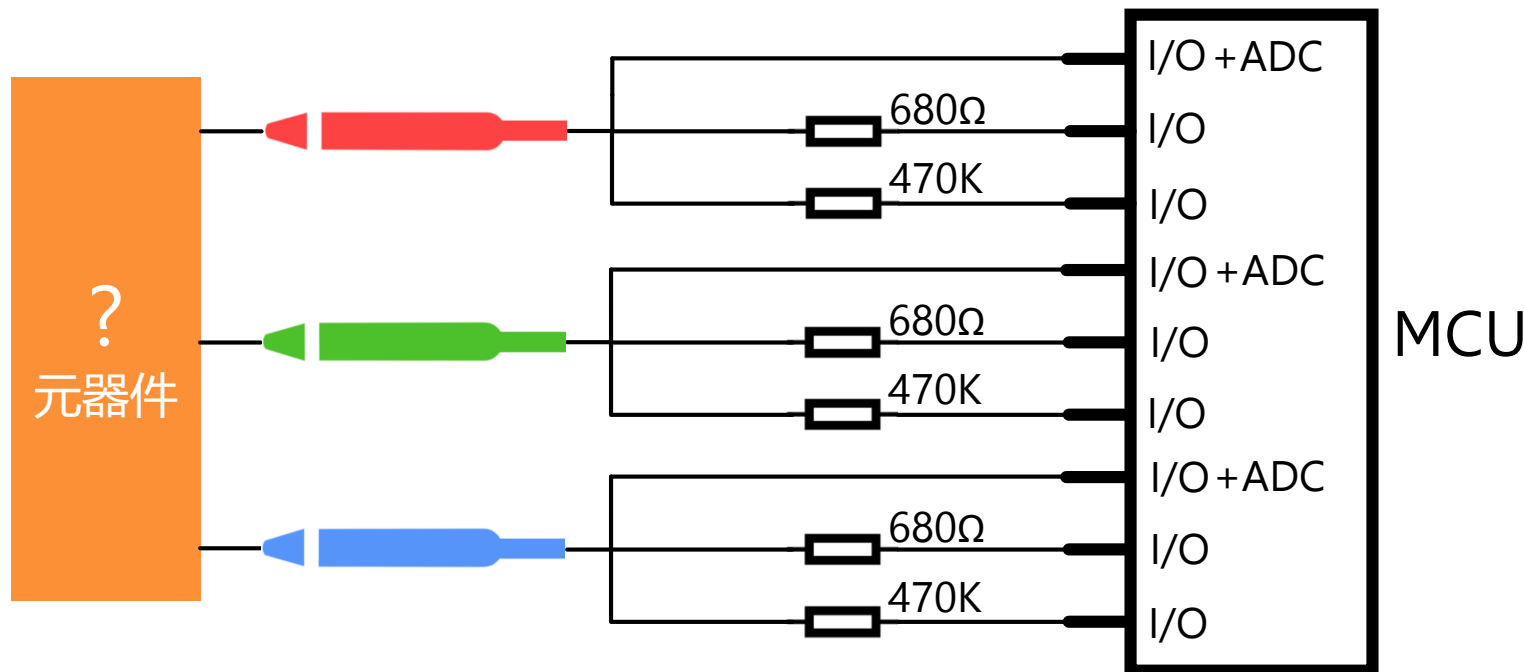
留给同学们去思考

器件类型	特征值		
电阻/大电容	0	0	2
电容/大电阻/未连接	0	0	0
二极管	0	0	1
三极管	0	1	1

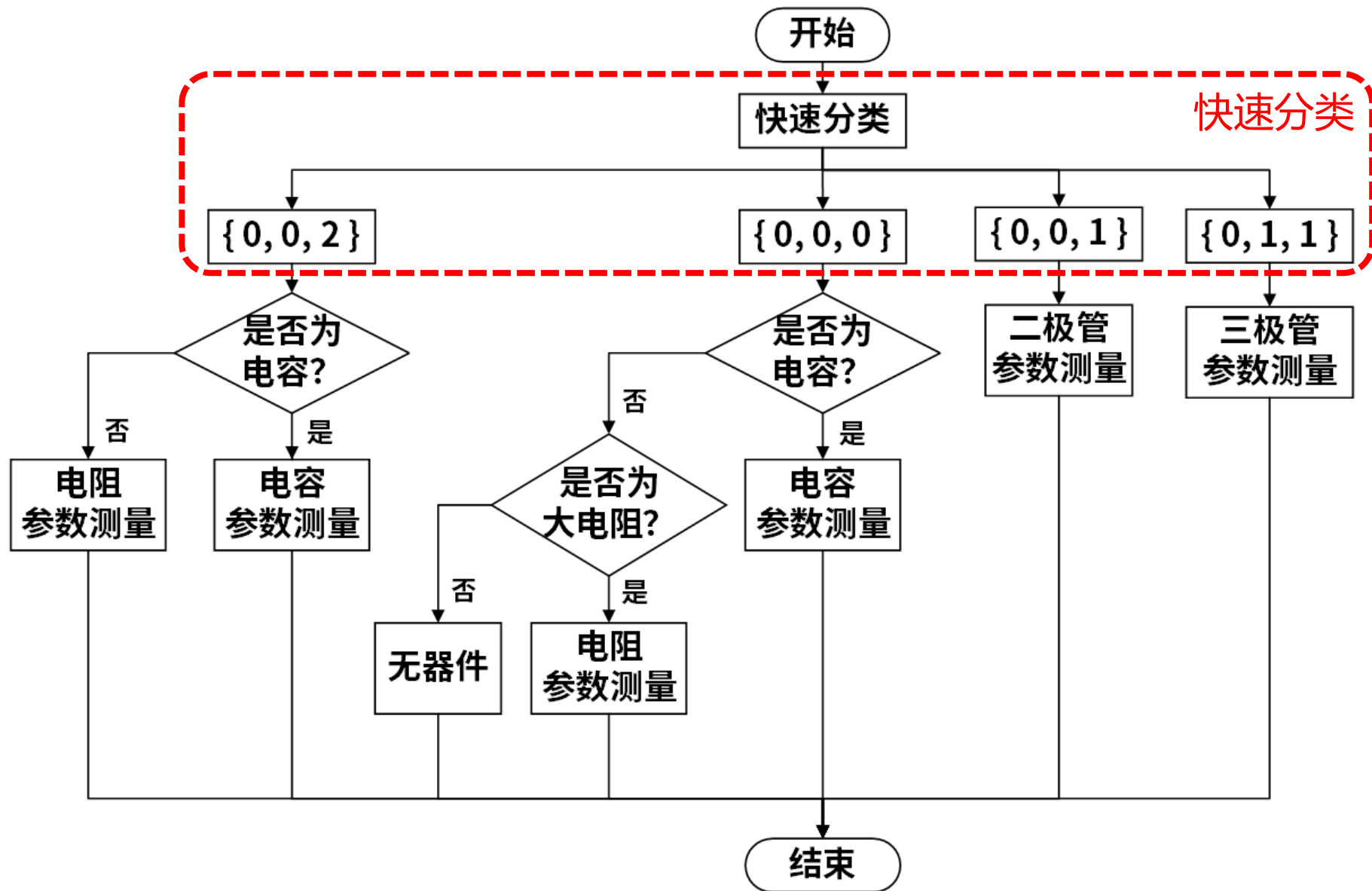
- 大电容：在一定时间内（如50ms内）电容无法被充满，分压电阻（IO上串联的电阻）上存在电流，所以ADC能够采集到电压，与电容大小和充电电流有关
- 大电阻：电阻值远大于分压电阻（IO上串联的电阻），导致分压电阻上的电压很小，通过ADC的采样值无法确认该电路导通

04

元器件测量

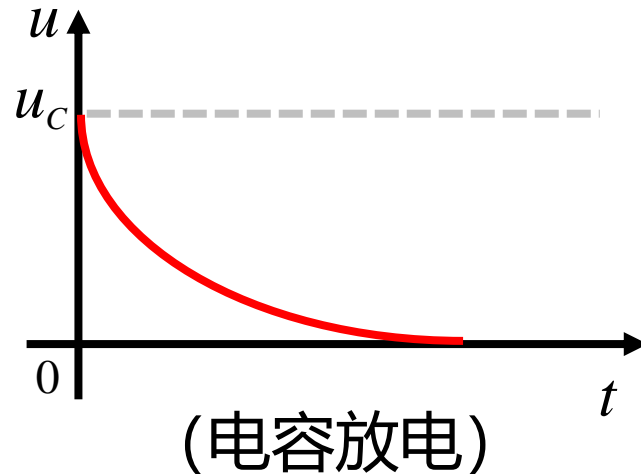
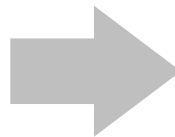
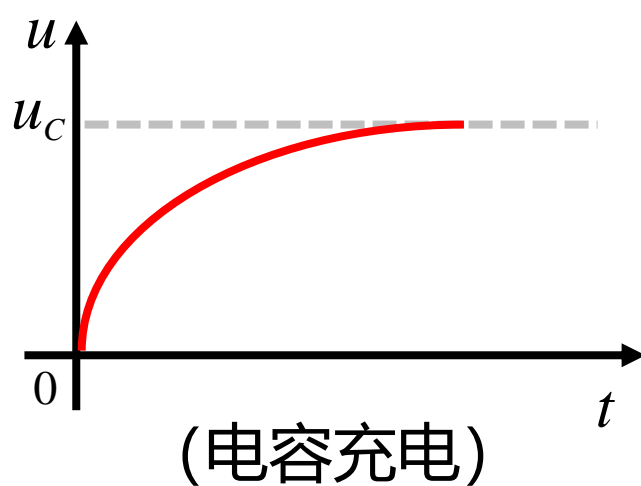


- 只使用一种电阻进行分压测量，会使得量程较小，所以每个表笔增加了一路串联电阻的I/O，电阻值一大一小，分别为 680Ω 和 $470K\Omega$ 。
- 每次需要分压电阻参与测量时，只需要在两个中选择一个合适的进行输出。快速分类的时候建议选择 680Ω 进行分压测量。



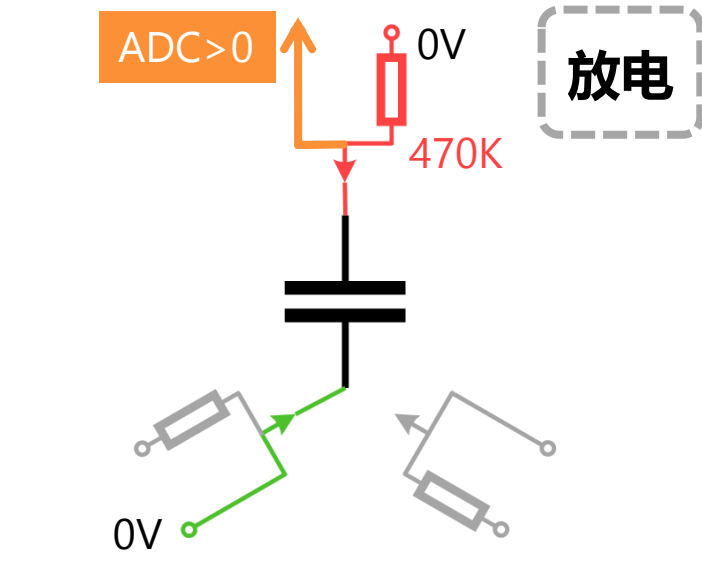
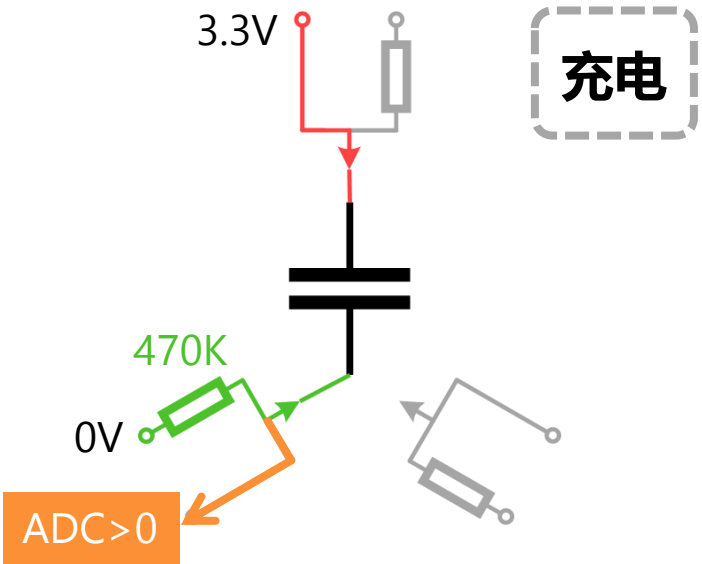
步骤:

1. 因为不知道电容连接的表笔（如果特征值为[0, 0, 2]，可以知道电容连接的表笔，但为了减少代码，统一采用该判断步骤），所以要判断所有电容连接方式的可能性，共3种情况；
2. 电容的特点在于能够储存电量，所以只要先对元器件充电，然后再放电，如果在电路中既能检测到充电电流又能够检测到放电电流，就可以确认该元器件为电容；
3. 如果确认为电容，通过测试时的导通情况可以知道电容连接的表笔。



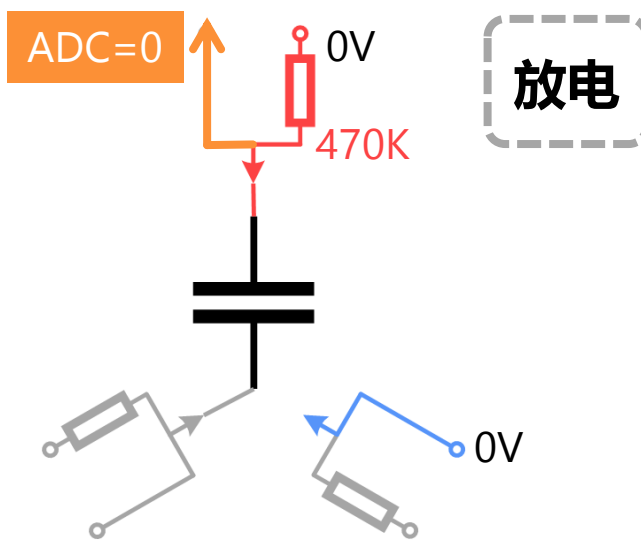
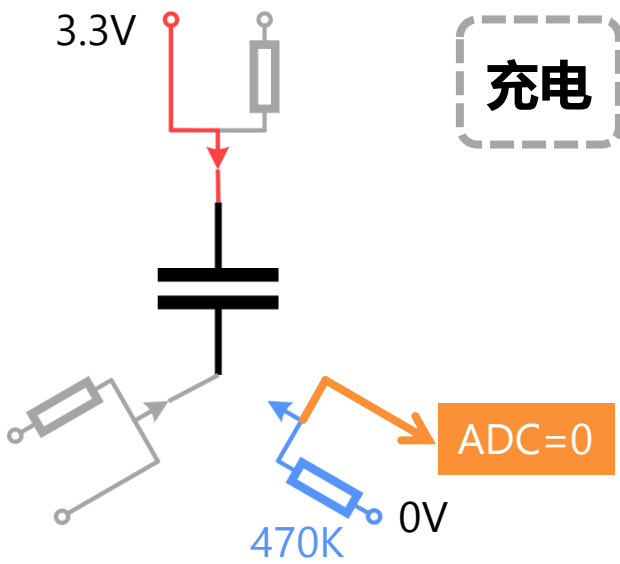
以电容连接在红表笔和绿表笔之间为例
研究判断元器件是否为电容的结果

选择: 红笔 绿笔 未选择(AIN): 蓝笔

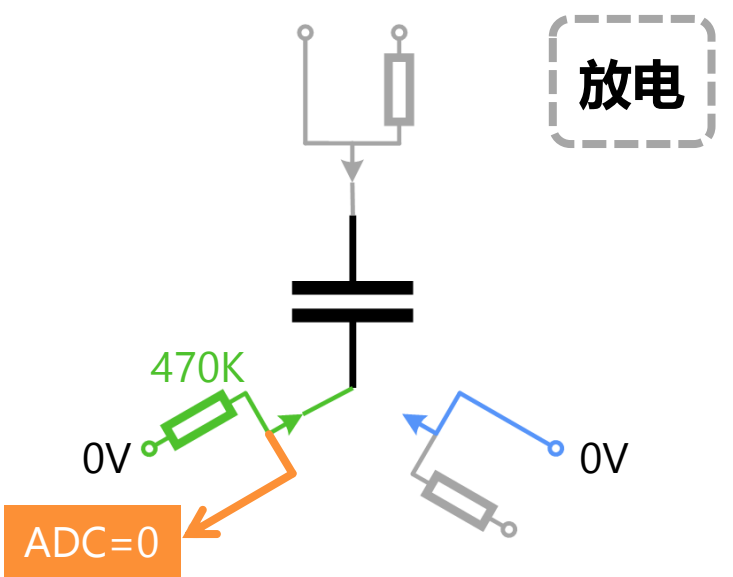
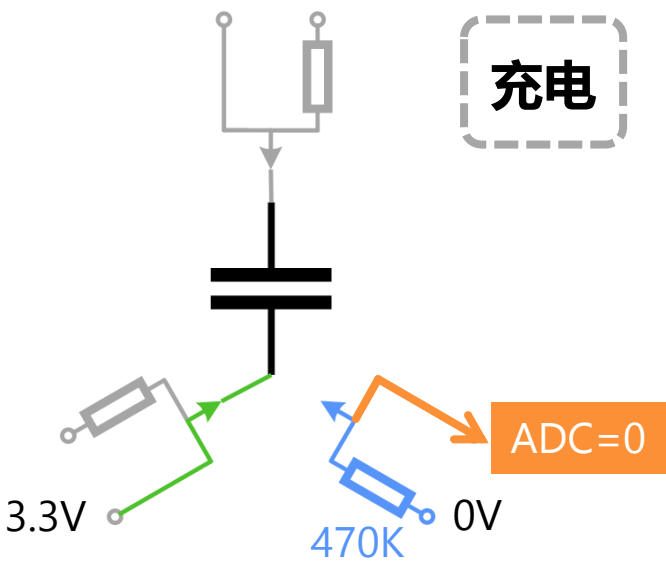


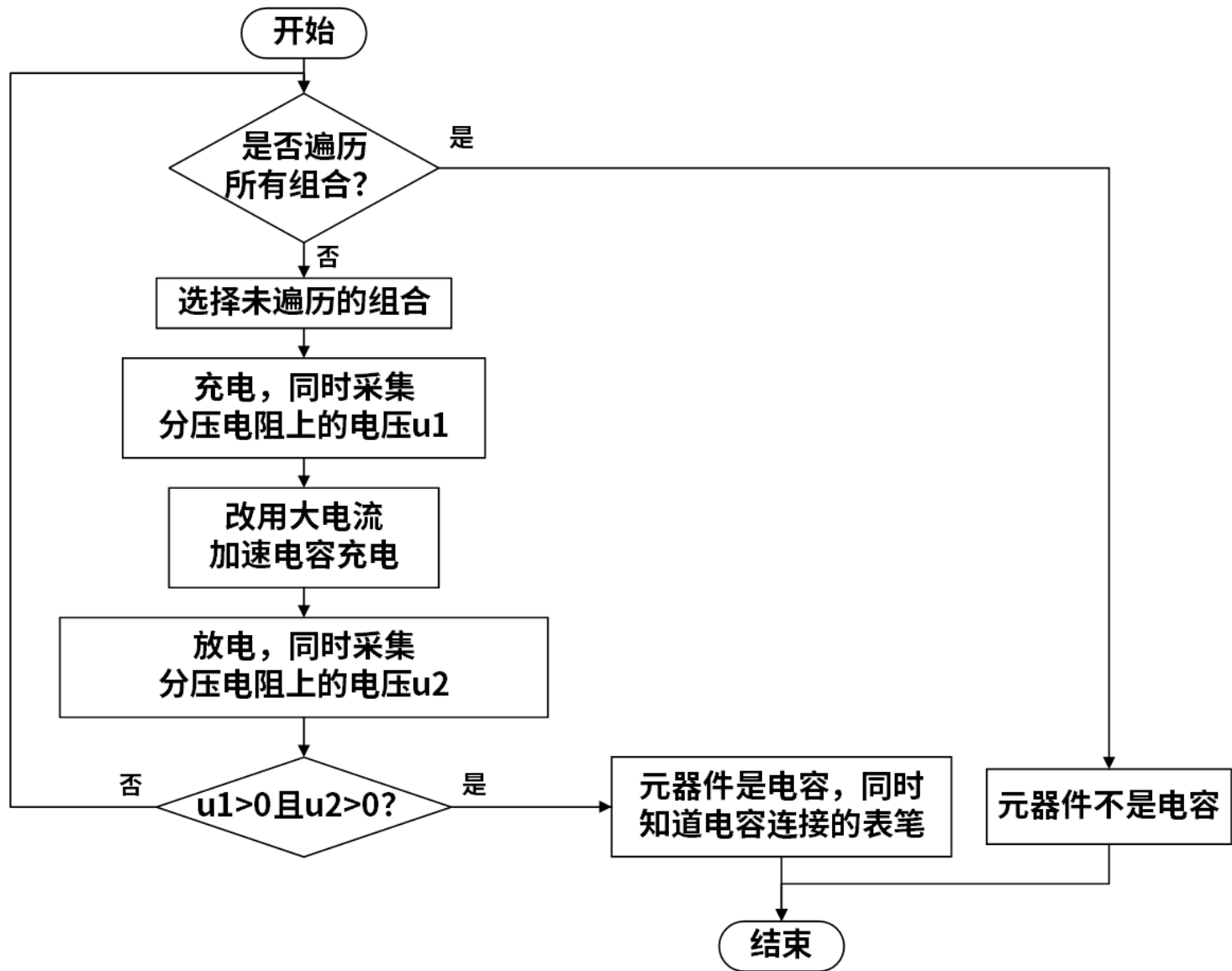
充电电流 + 放电电流 => 电容

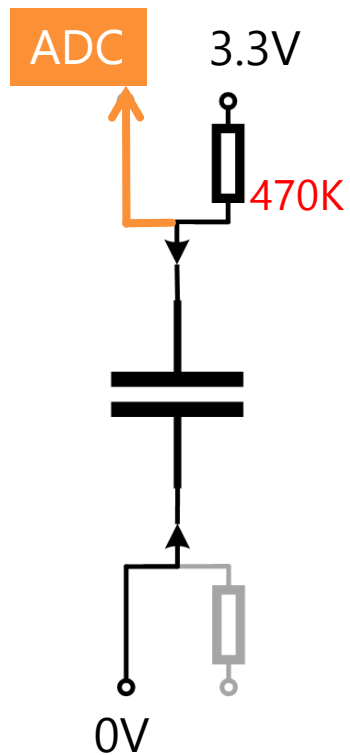
选择: 红笔 蓝笔 未选择(AIN): 绿笔



选择: 绿笔 蓝笔 未选择(AIN): 红笔





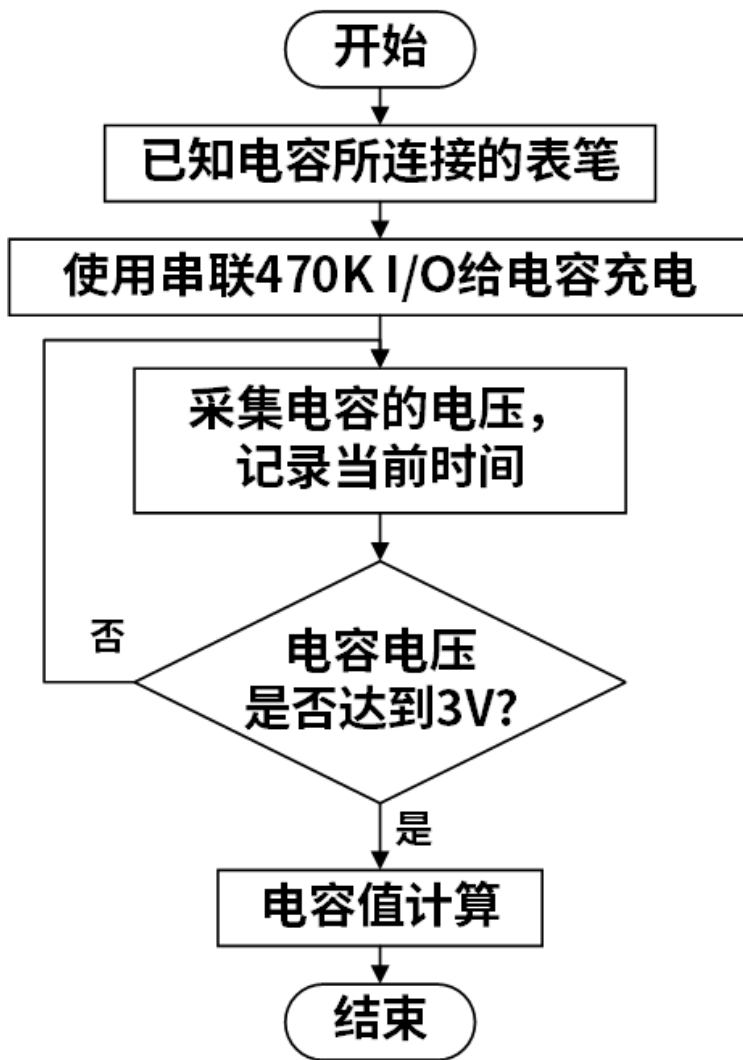


步骤：(已知电容连接的表笔)

1. 采用如图所示的电路对电容进行充电，充电开始的同时启动定时器计数；
2. 在充电过程中持续采集电容的电压值，直到电压大于3V，记录此时的电压值和定时器计数时间；
3. 根据电容的充电公式可以计算出电容值。

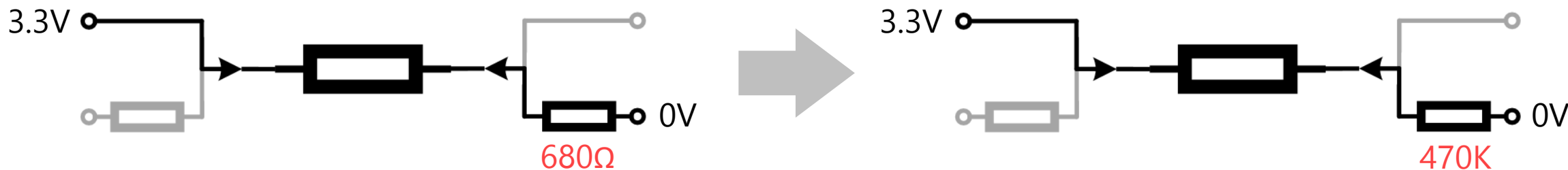
电容充电公式： $V_t = V_0 + (V_1 - V_0) \left[1 - e^{\frac{-t}{RC}} \right] \quad (V_1 = 3.3, V_0 = 0)$

$$C = \frac{t}{R \cdot \ln \frac{3.3}{3.3 - V_t}}$$



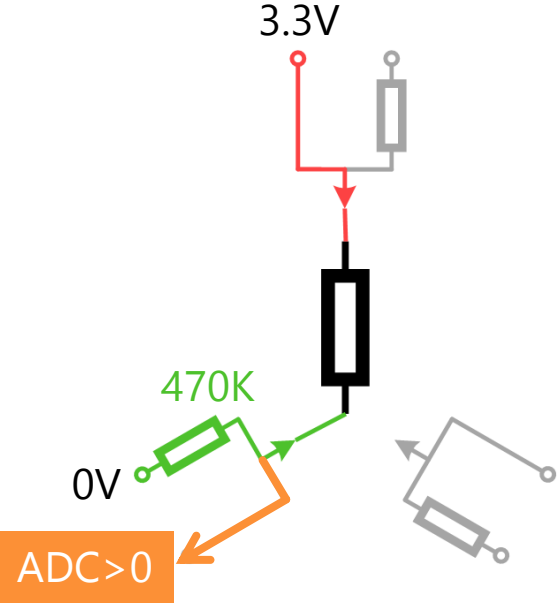
步骤:

1. 因为不知道电阻连接的表笔，所以要判断所有电阻连接方式的可能性，共3种情况；
2. 因为快速分类过程中使用的是 680Ω 的分压电阻，所以在测量大电阻的过程中会出现分压值很小的情况。这里使用 $470K$ 的分压电阻再进行一次分压，如果存在分压值就可以确认该元器件为电阻；
3. 如果确认为电阻，通过测试时的导通情况可以知道电阻连接的表笔。



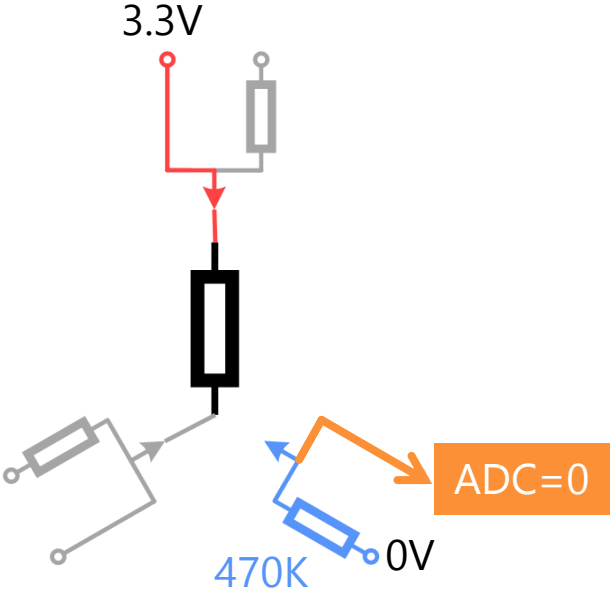
以电阻连接在红表笔和绿表笔之间为例
研究判断元器件是否为电阻的结果

选择: 红笔 绿笔 未选择(AIN): 蓝笔

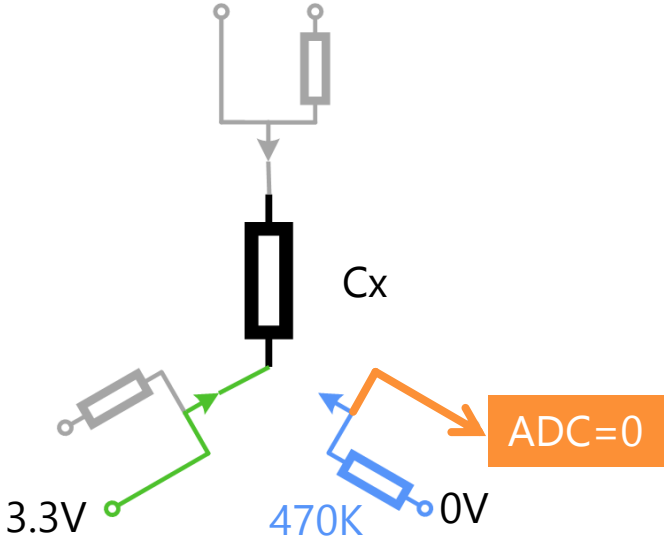


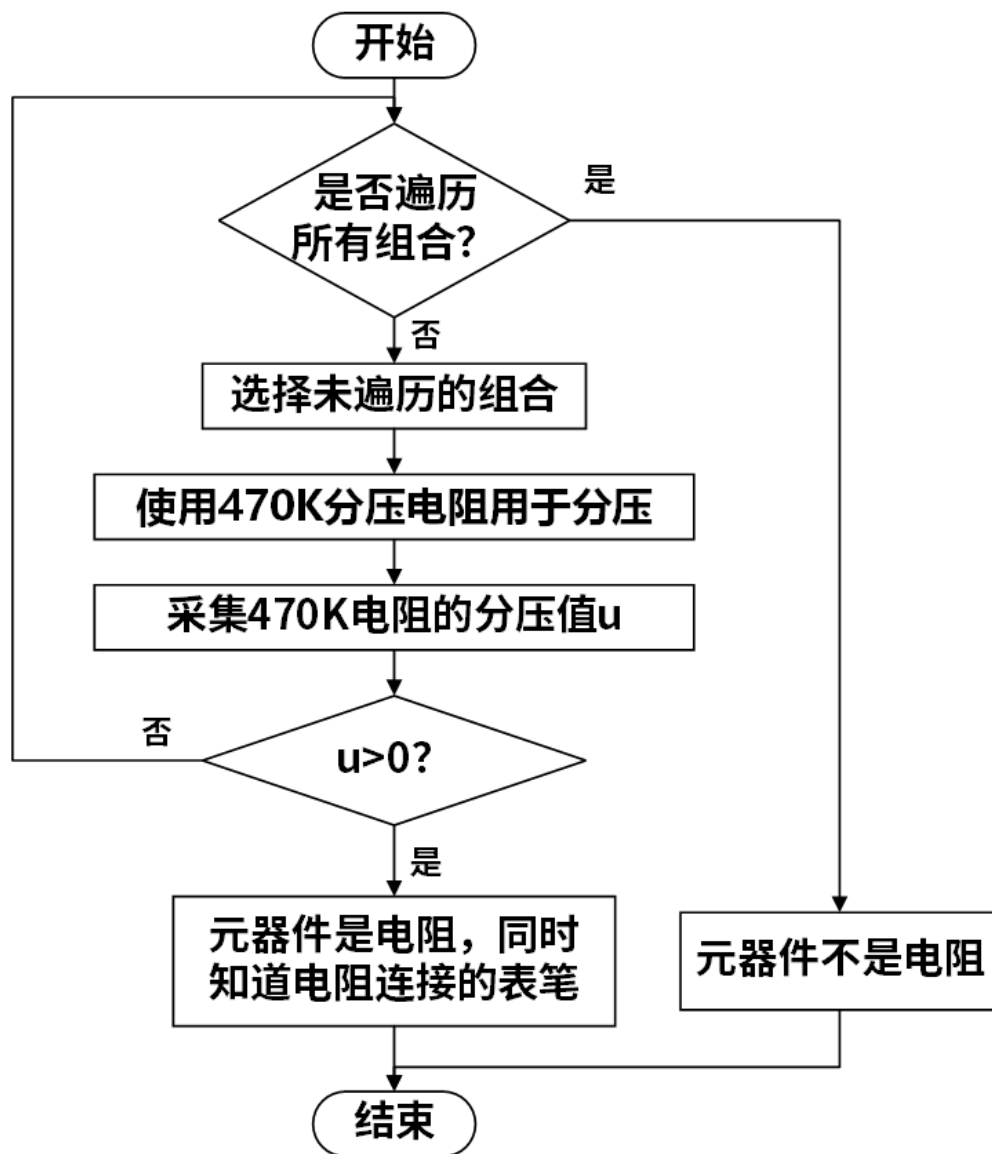
470K存在分压 => 电阻

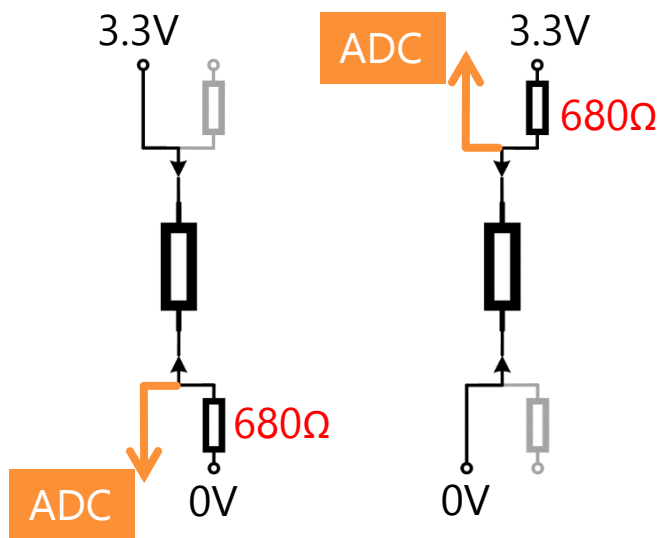
选择: 红笔 蓝笔 未选择(AIN): 绿笔



选择: 绿笔 蓝笔 未选择(AIN): 红笔

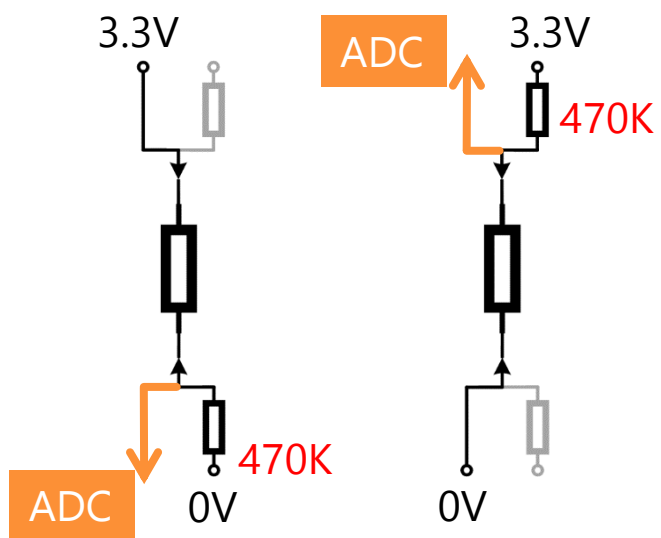






图①

图②

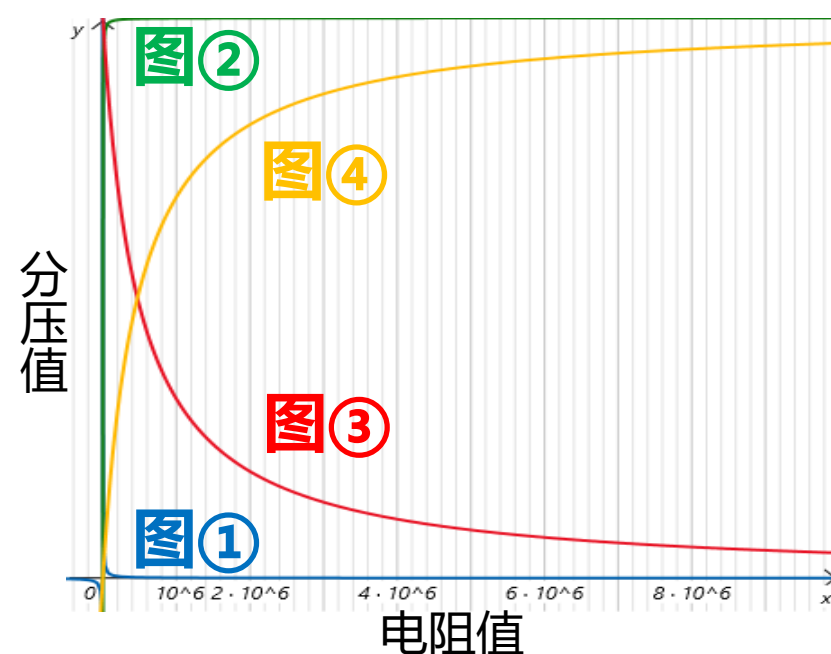
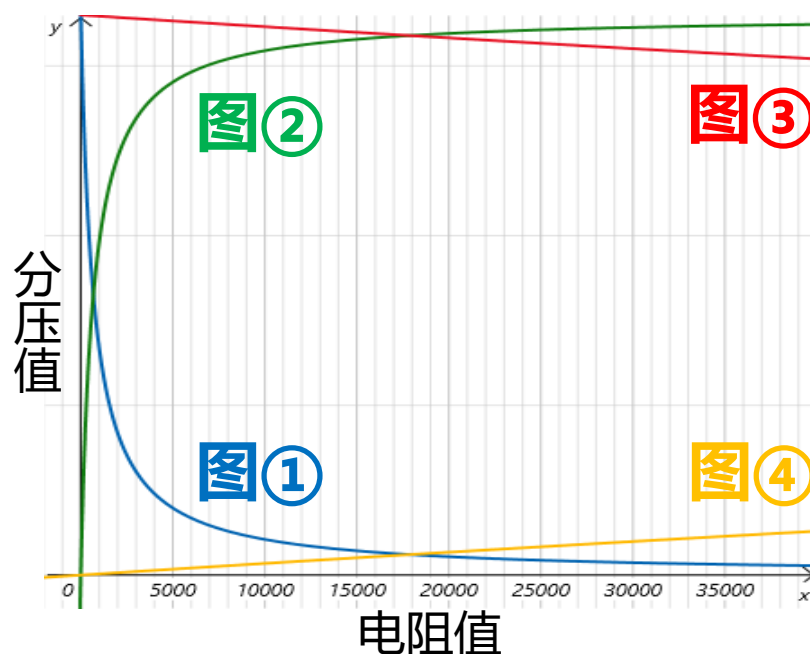


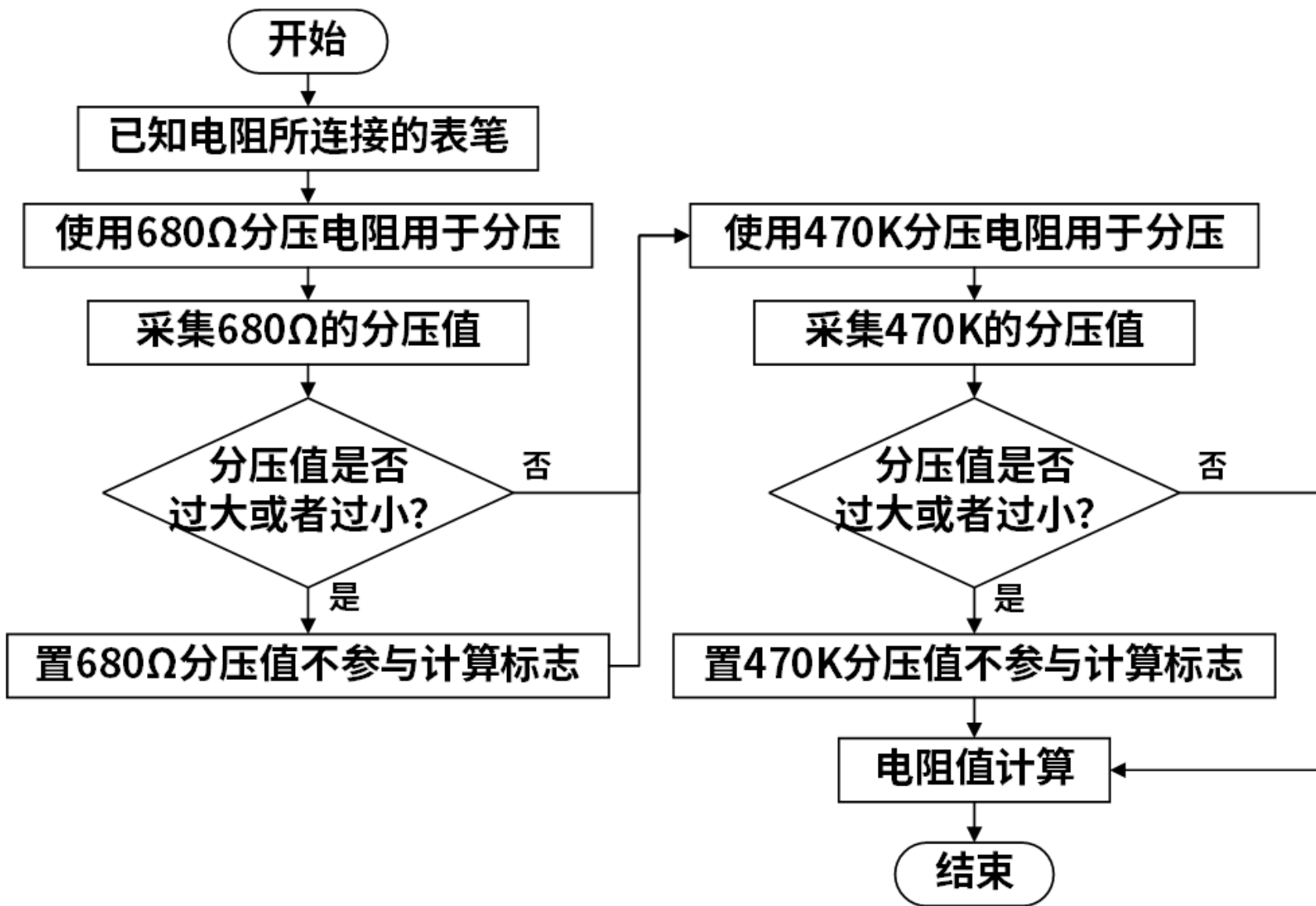
图③

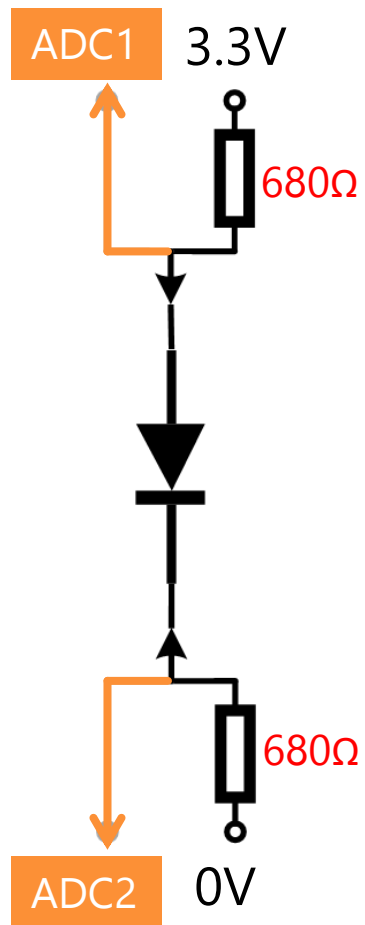
图④

步骤：(已知电阻连接的表笔号)

1. 分别采用如图①~图④所示的电路，采集分压电阻的分压值；
2. 由于680Ω与较大的电阻(>44K)分压时，以及470K与较小的电阻(<7K)分压时会产生较大的误差，所以需要判断ADC采集的值是否过大或者过小，超出阈值的测量值需要舍弃；
3. 将保留的测量值取平均值，得到电阻值。



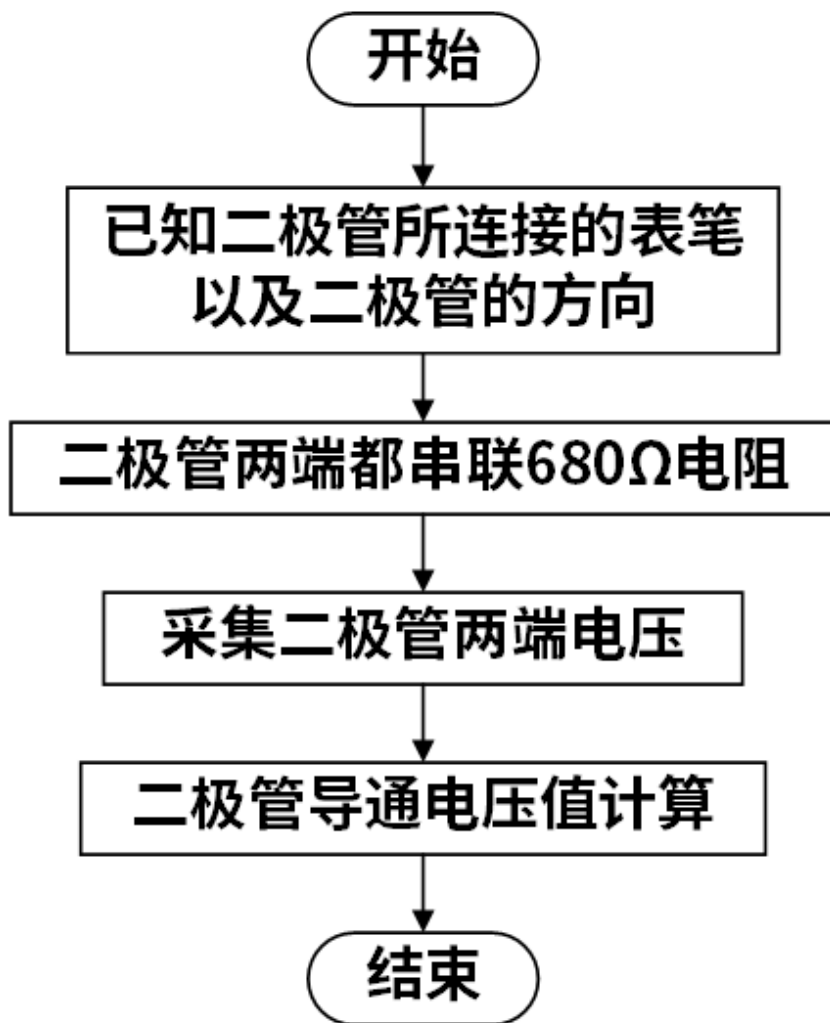


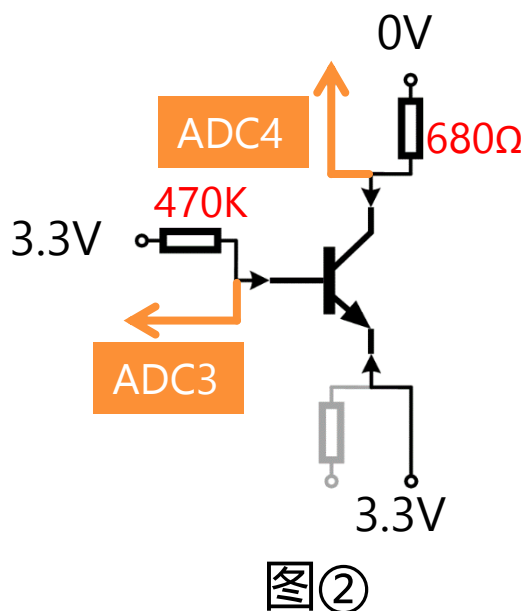
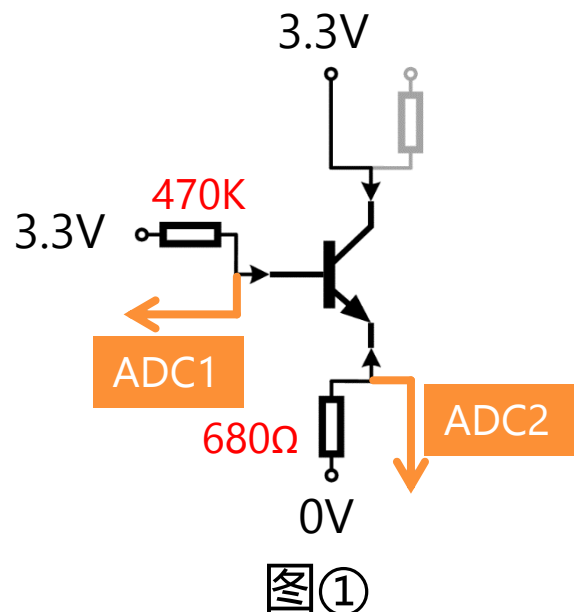


步骤：(已知二极管连接的表笔)

1. 采用图所示的电路，ADC采集二极管两端电压并相减就可以计算出二极管的导通压降。

Uon计算公式： $U_{on} = ADC1 - ADC2$





步骤：(已知三极管类型和基极连接的表笔)

1. 选择如图①和图②所示的共集电极电路，该电路能够保证三极管处于放大区，只有处于放大区才能准确测量三极管的放大倍数等参数；
2. 在电阻选择上，基极串联470K，集电极串联680Ω，这样的配置使得ADC采集到的电压不会太大或太小，便于测量；
3. 三极管的集电极和发射极交换使用时，依然能够正常工作，但是放大倍数会减小。所以三极管确认集电极和发射极的方法就是比较两种接法的放大倍数，放大倍数大的那个接法为正确的结果。

hFE计算公式：
$$hFE = \frac{470000 \cdot ADC2}{680 \cdot (3.3 - ADC1)} - 1$$

Ube计算公式：
$$U_{be} = ADC1 - ADC2$$

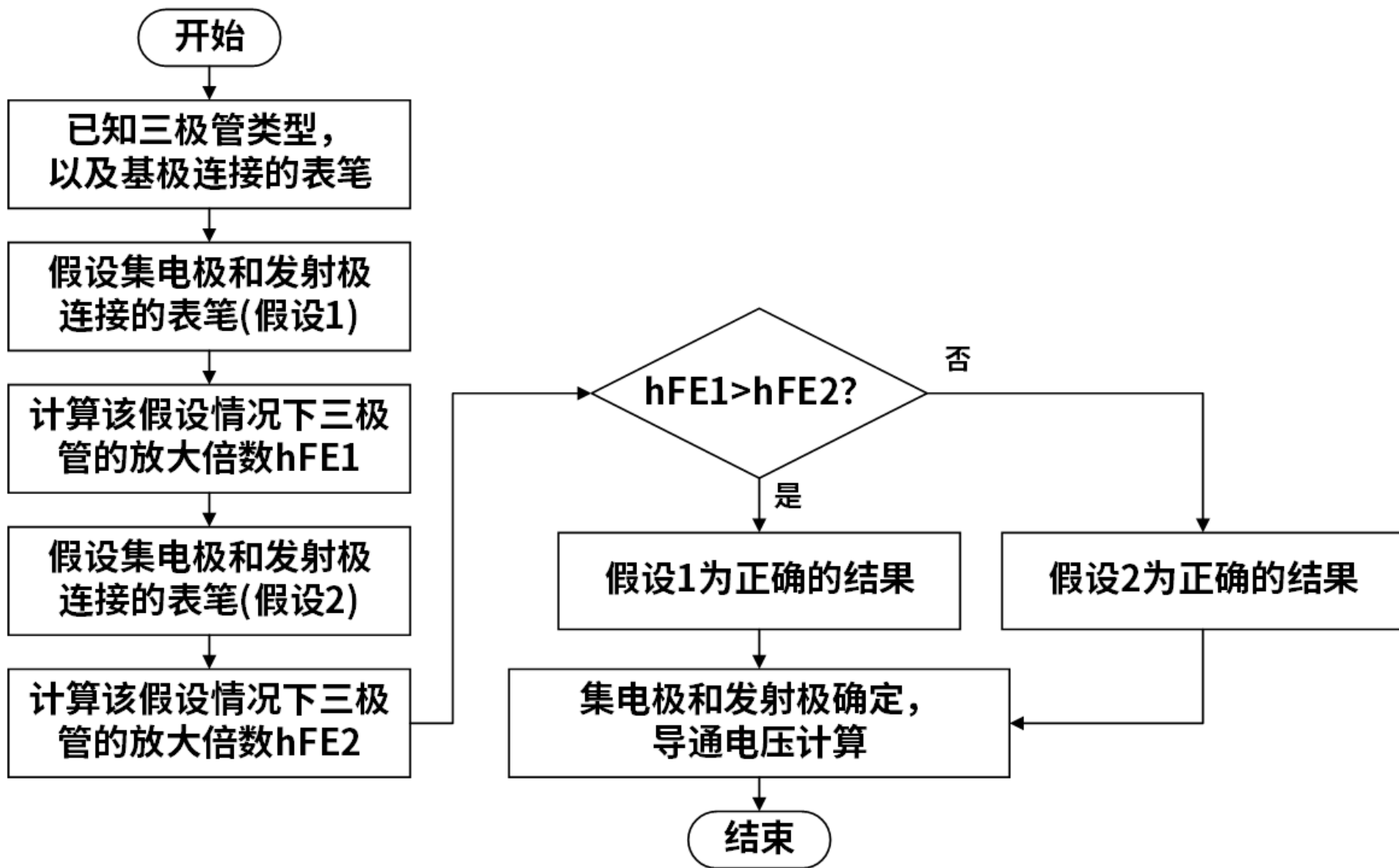
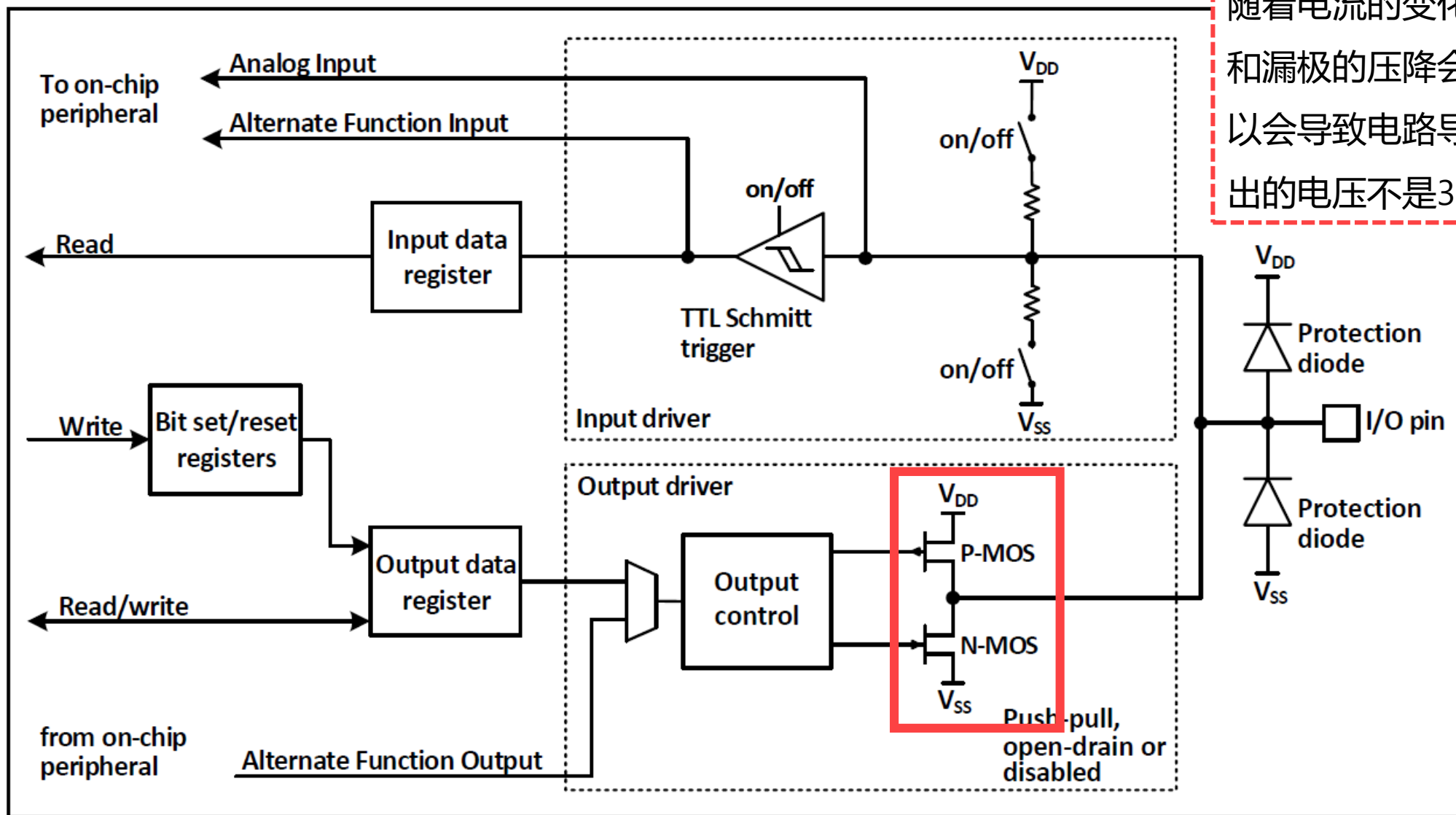


图 10-1 GPIO 模块基本结构框图



随着电流的变化，MOS上源极和漏极的压降会发生变化，所以会导致电路导通时，GPIO输出的电压不是3.3V或者0V

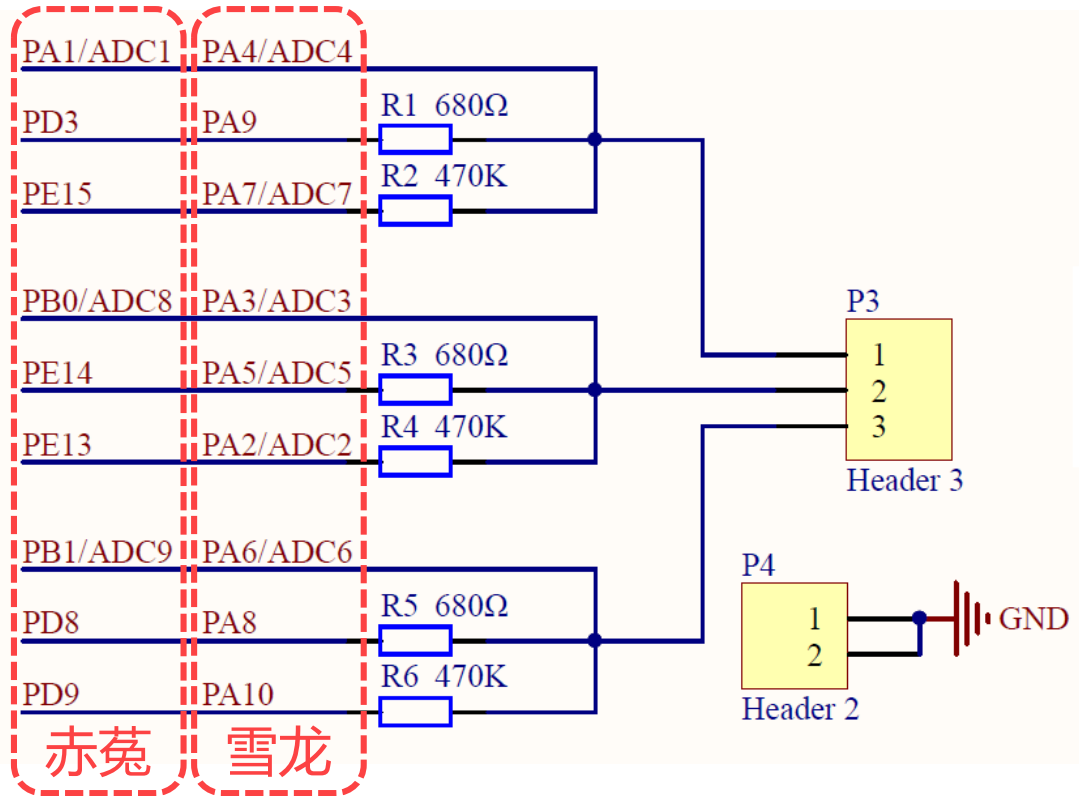
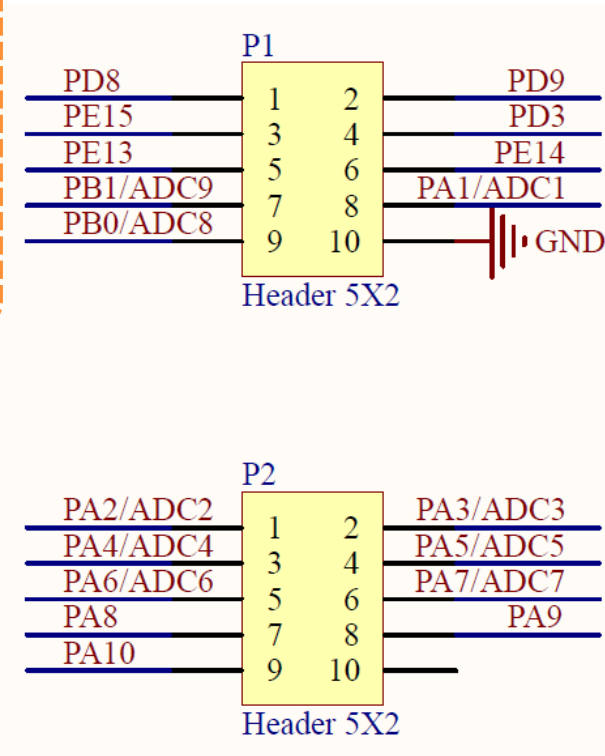
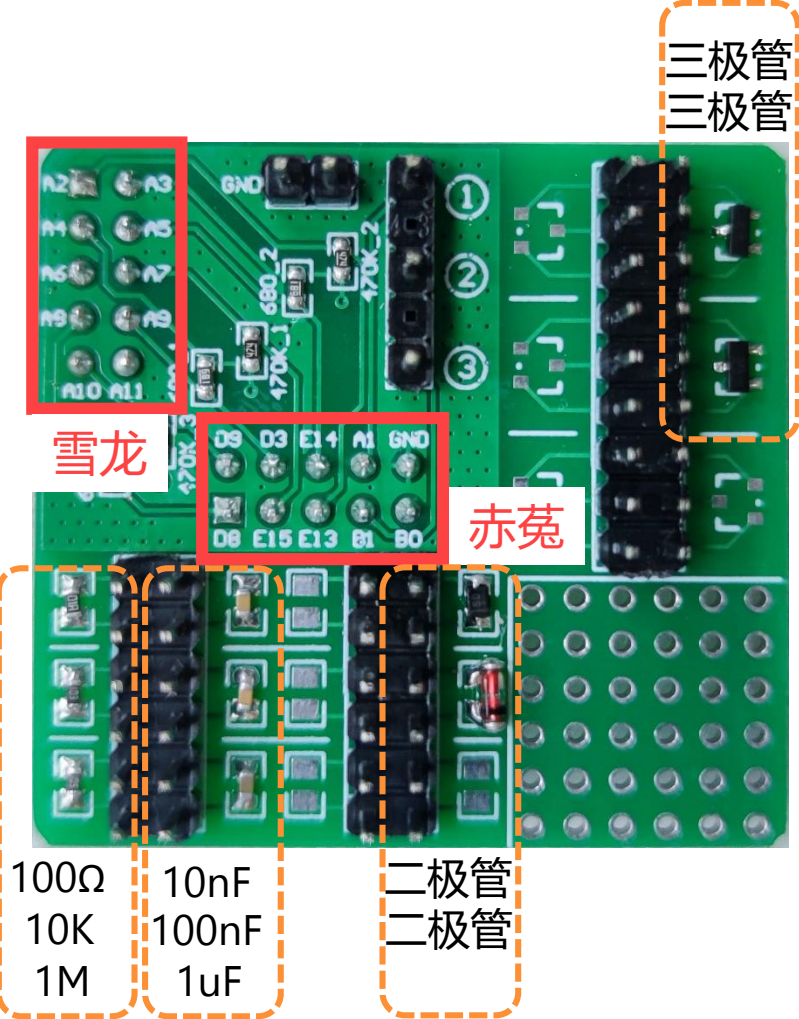
GPIO类型	电流i/mA	源极和漏极压降u/mV	公式拟合
PMOS_3.3V	0.33	4	$u = 13.27i - 0.6527$
	3.27	42	
	4.76	63	
NMOS_3.3V	0.33	4	$u = 11.694i + 0.0164$
	3.28	38	
	4.77	56	
PMOS_5V	0.33	7	$u = 24.766i - 1.4316$
	3.24	78	
	4.68	115	
NMOS_5V	0.33	4	$u = 21.52i - 0.0433$
	3.28	38	
	4.77	56	

PMOS_3.3V/NMOS_3.3V: 耐受3.3V的GPIO

PMOS_5V/NMOS_5V: 耐受5V的GPIO

05

硬件与软件介绍



```
/* GPIO推挽输出压降拟合公式
u = Slope * i + Intercept*/
typedef struct
{
    float Slope;           //斜率
    float Intercept;       //截距
}IO_VolDropParam;
```



```
/* 端口定义 */
typedef struct
{
    GPIO_TypeDef *GPIOx;    //GPIOA/B/C/D/E/F/G
    u16 GPIO_Pin;
    IO_VolDropParam PMOS;   //GPIO PMOS压降公式
    IO_VolDropParam NMOS;   //GPIO NMOS压降公式
}PM_PortDef;
```



```
/* General Purpose I/O */
typedef struct
{
    __IO uint32_t CFGLR;
    __IO uint32_t CFGHR;
    __IO uint32_t INDR;
    __IO uint32_t OUTDR;
    __IO uint32_t BSHR;
    __IO uint32_t BCR;
    __IO uint32_t LCKR;
} GPIO_TypeDef;
```

```
/* 测量端口组成(包含三个测试脚) */
typedef struct
{
    PM_PortDef PortWithNone; //未连电阻的端口定义
    PM_PortDef PortWith680;  //连接680Ω电阻端口定义
    PM_PortDef PortWith470K; //连接470K电阻端口定义
    u8 ADC_Channel;          //使用到的ADC通道
    u8 Probe_Num;            //表笔号
}PM_MeasurePortGroup;
```



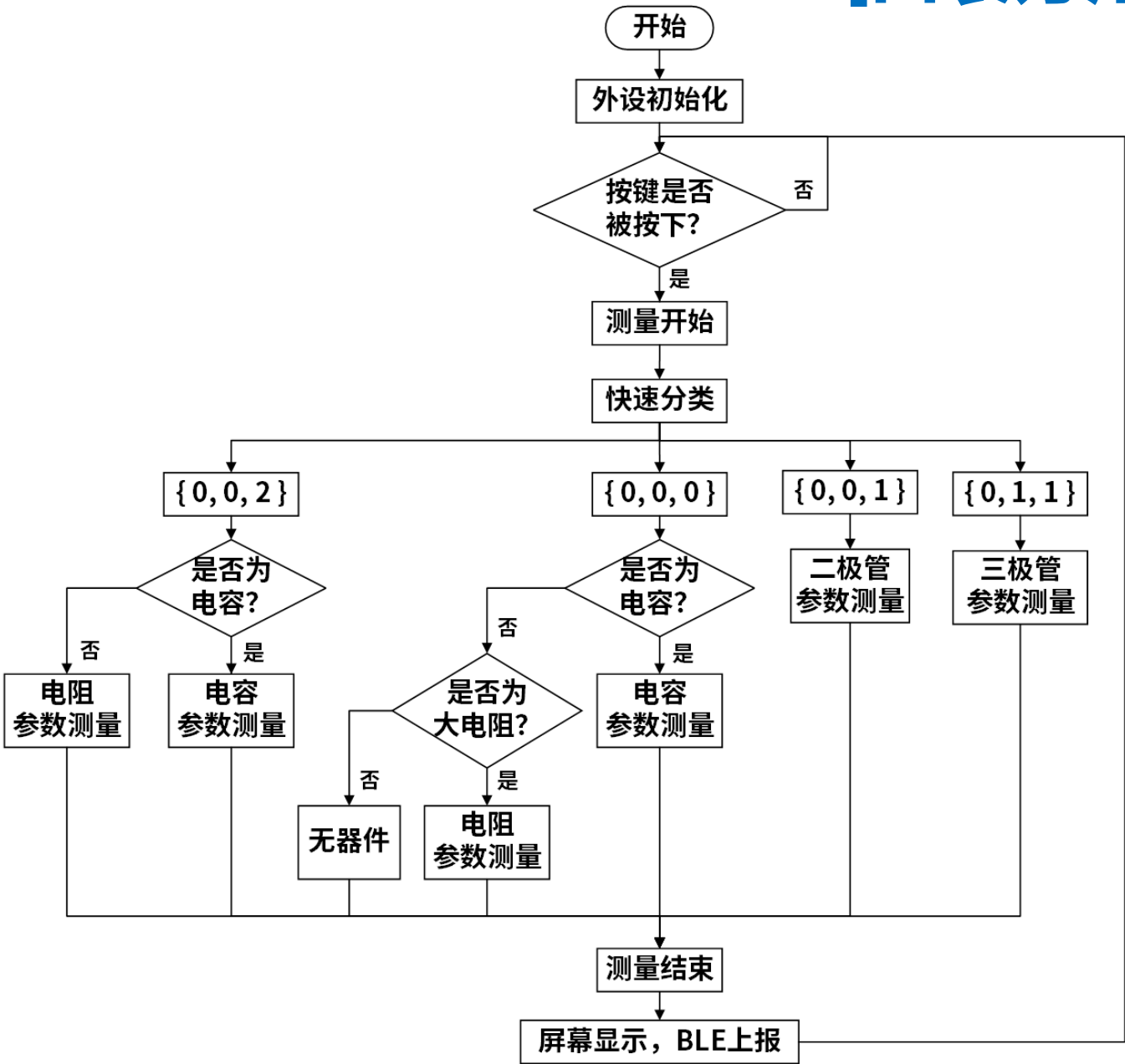
组成	长度(字节)	说明
起始码	1	0x07
数据长度	1	不包含起始码和终止码
器件类型	1	0: 无器件 1: 电阻 2: 电容 3: 二极管 4: 双极型晶体管 (BJT)
器件参数	?	不同器件类型的参数长度不相同, 详细内容见下表
结束码	1	0xD7

► 通信协议帧格式，总包长为40B，除协议帧以外的数据置0

► 扫描列表只显示名字开头是“PM”的设备

器件类型	长度(字节)	说明	器件类型	长度(字节)	说明
电阻	1	器件引脚1对应表笔号 (1-3)	电容	1	器件引脚1对应表笔号 (1-3)
	1	器件引脚2对应表笔号 (1-3)		1	器件引脚2对应表笔号 (1-3)
	1	电阻值字符串长度 _m		1	电容值字符串长度 _m
	m	电阻值字符串, 包含单位, 如“100K”		m	电容值字符串, 包含单位, 如“100F”
二极管	1	器件引脚1对应表笔号 (1-3)	双极型晶体管 (BJT)	1	集电极对应表笔号 (1-3)
	1	器件引脚2对应表笔号 (1-3)		1	基极对应表笔号 (1-3)
	1	导通电压字符串长度 _m		1	发射级对应表笔号 (1-3)
	m	导通电压字符串, 包含单位, 如“100mV”		1	类型: 1=NPN, 2=PNP
	1	寄生电容字符串长度 _n (如果为0不显示该项)		2	放大倍数 (大端模式)
	n	寄生电容字符串, 包含单位, 如“100nF”		1	基极与发射极压降 _{U_{be}} 字符串长度 _m
				m	_{U_{be}} 字符串

► 不同器件类型对应的器件参数长度



Thank You
for Your Attention

