

嵌入式功能接口技术

武汉大学国家网络安全学院
丁玉龙 涂航

2024



嵌入式接口技术-数模转换

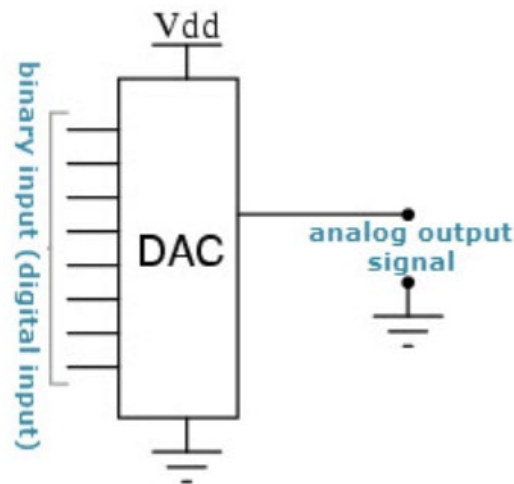
数模转换原理

■ DAC

◆ DAC将输入的数字量按权的大小，通过电阻网络转化为模拟量，再通过加法电路，转换为与数字量成比例的模拟量。

◆ DAC基本组成包括：

- 锁存器：保存输入的数字量。
- 电子开关：被数字量控制开关，用来决定是否将某一路数字量转换为有效模拟量输出。
- 基准源：给模拟量提供参考电压。
- 权电阻网络：提供每一路数字量的比例。
- 求和电路：将每路数字量转化的模拟量按权相加



数模转换原理

DAC基本组成

◆锁存器· 保存输入的数字量

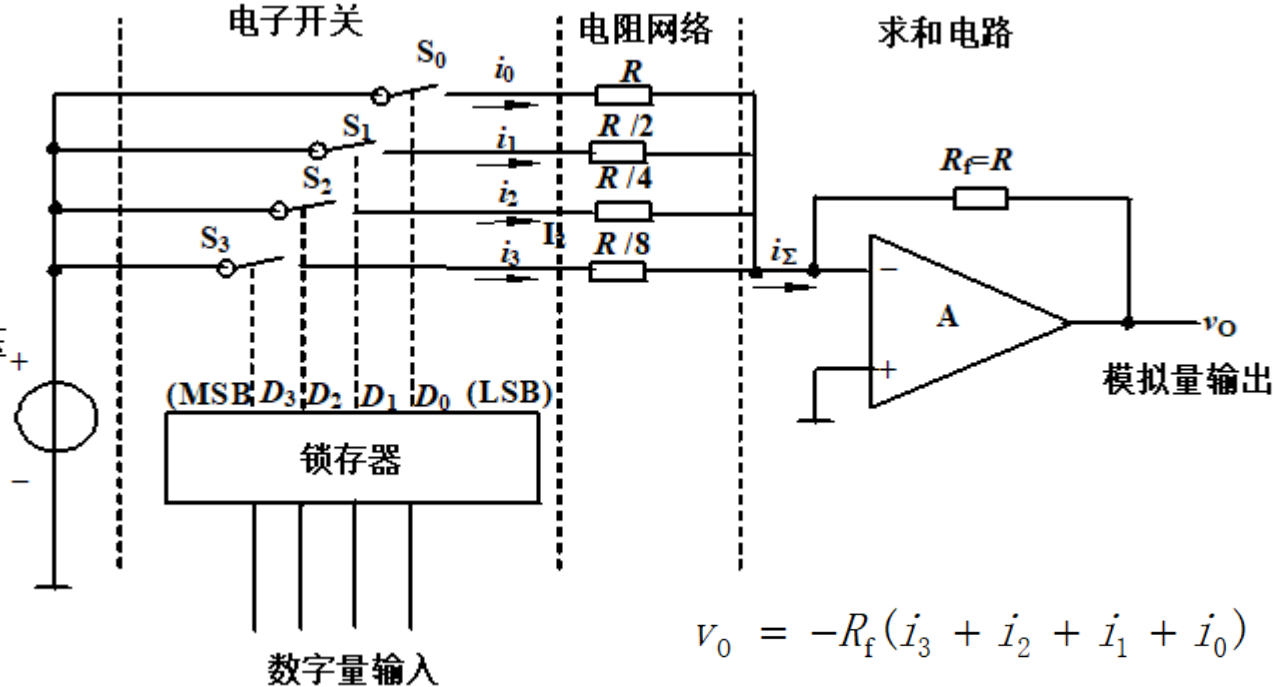
◆电子

◆基准

◆权电

◆求和基准电压+

V_{REF}



$$v_0 = -R_f(i_3 + i_2 + i_1 + i_0)$$

$$v_0 = -V_{REF}(D_3 2^3 + D_2 2^2 + D_1 2^1 + D_0 2^0)$$

$$= -V_{REF} \sum_{i=0}^3 D_i \cdot 2^i$$

数模转换原理

■ DAC电路的关键是基准源

- ◆ 基准源越大，可输出的模拟量的范围当然也就会越大。
- ◆ 基准源是测量精度的重要保证。
 - 基准的关键指标是温漂，一般用ppm/K(ppm百万分之一)来表示。
 - 假设某基准30ppm/K，系统在20~70度之间工作，温度跨度50度，那么，会引起基准电压 $30 \times 50 = 1500$ ppm的漂移，从而带来0.15%的误差。
 - 温漂越小的基准源越贵。

■ DAC分类

- ◆ 按解码结构分，有倒T型电阻网络，T型电阻网络，权电流转换器。

数模转换原理

■ DAC的主要指标

- ◆ 分辨率：模拟输出电压可被分离的等级数， n 位DA分辨率一般为 $1/2^n$ 。
 - 位数越高，分辨率越高。
- ◆ 转换精度：实际转换为模拟量与理想模拟量的误差。
 - 转换精度的影响因素有：电路元件误差，基准误差，运放零漂等。
 - 用来衡量转换精度的参数主要有：
 - ✓ 比例系数误差（实际数模转换斜率与理想斜率之比）；
 - ✓ 失调误差（模拟量的实际起始数值与理想起始数值之差，由运放的零漂引起）；
 - ✓ 非线性误差（指在满刻度范围内，偏离理想转移特性的误差，无规律可言，可能是开关器件导通参数不一致引起，也有可能是由于电阻精度误差引起）。
- ◆ 转换速度：用来描述数字量变化引起模拟量变换的转换时间。
 - 用来衡量此指标的参数有：
 - ✓ 建立时间：指数字量变化，输出电压在规定误差范围内所需要的时间。
 - ✓ 转换速率：指大信号工作状态下，模拟输出电压的最大变化率。

数模转换原理

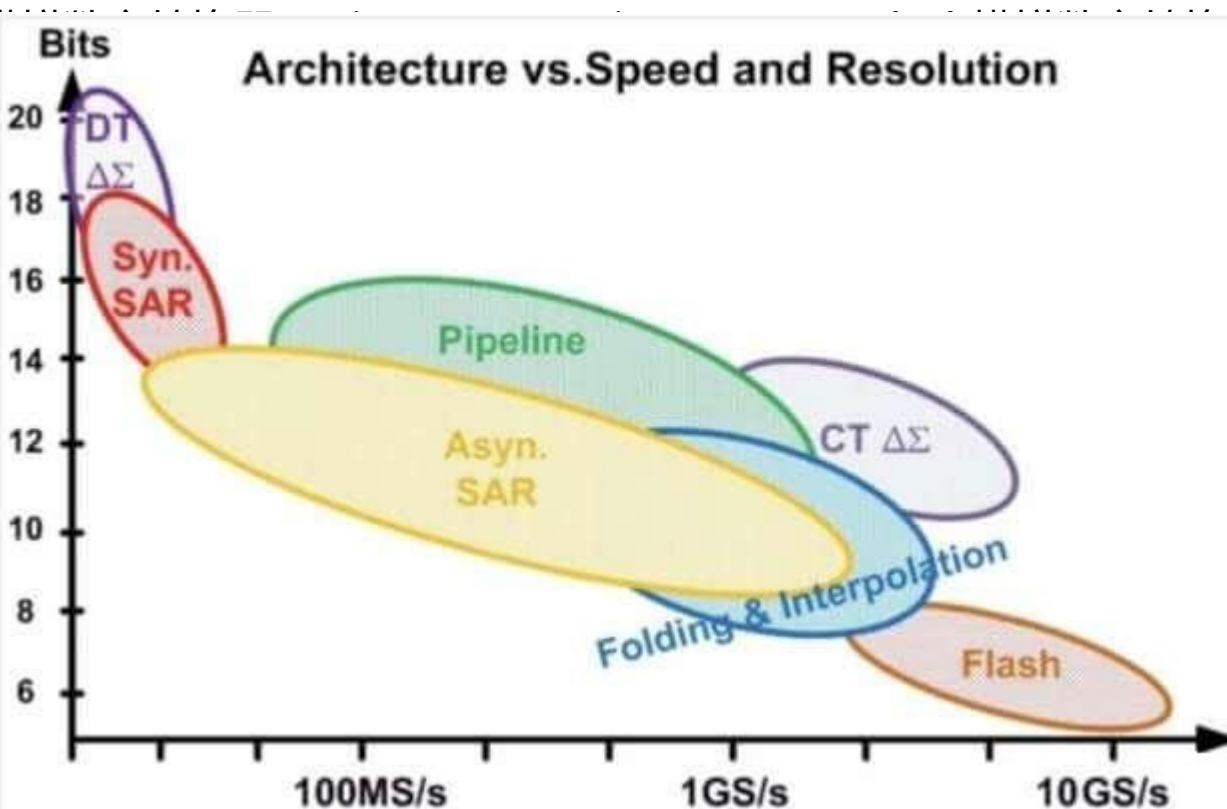
■ ADC分类

- ◆直接转换模拟数字转换器 (Direct-conversion ADC, 即Flash模拟数字转换器Flash ADC)
- ◆循序渐进式模拟数字转换器 (Successive approximation Register ADC, SAR ADC)
- ◆跃升-比较模拟数字转换器 (Ramp-compare ADC)
- ◆威尔金森模拟数字转换器 (Wilkinson ADC)
- ◆集成模拟数字转换器 (Integrating ADC)
- ◆Delta编码模拟数字转换器 (Delta-encoded ADC)
- ◆管道模拟数字转换器 (Pipeline ADC)
- ◆Sigma-Delta模拟数字转换器 (Sigma-delta ADC)
- ◆时间交织模拟数字转换器 (Time-interleaved ADC)

数模转换原理

ADC分类

- ◆直接转换模
- ◆循序渐进式
- ◆跃升-比较
- ◆威尔金森
- ◆集成模拟
- ◆Delta编码
- ◆管道模拟
- ◆Sigma-Delta
- ◆时间交织



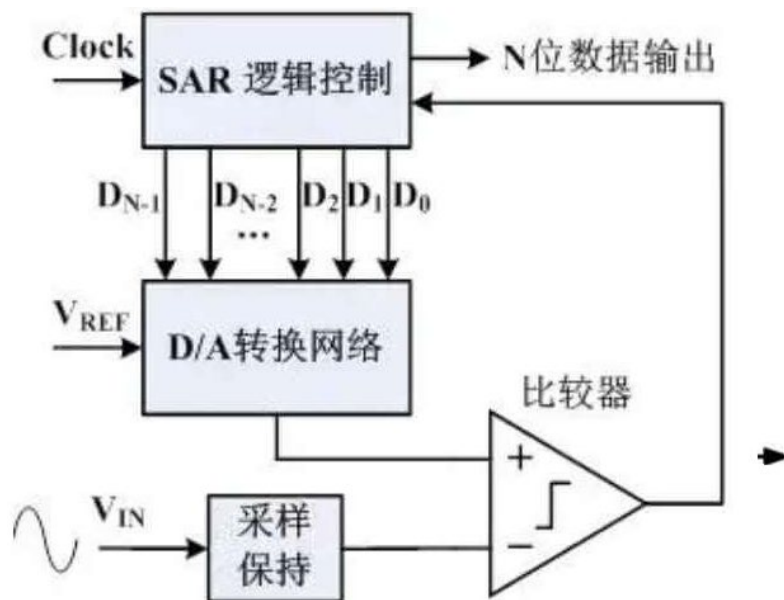
Flash ADC)

SAR ADC)

数模转换原理

■ SAR ADC

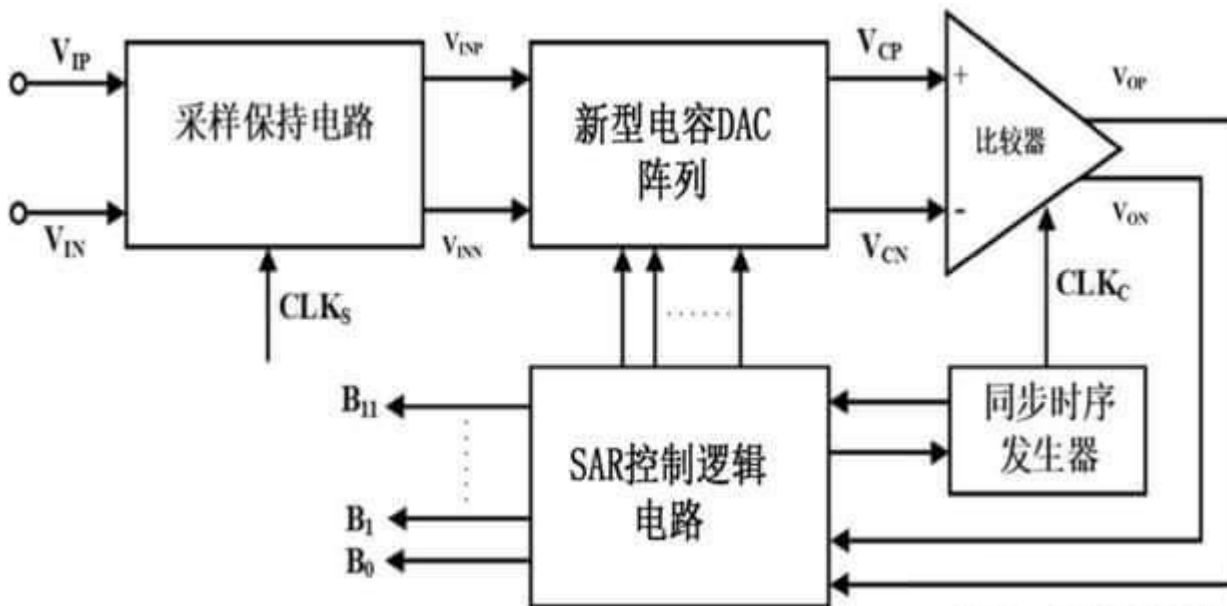
◆ 循序渐进式模拟数字转换器 (Successive approximation Register ADC, SAR ADC)



数模转换原理

■ SAR ADC

◆SAR ADC是一种获得高精度ADC转换的方法，它采用逐步逼近的方法进行比较。它首先将输入信号与一个参考电压进行比较，然后将比较结果与参考电压的一半进行比较，再根据比较结果确定下一步比较的阈值。通过不断重复此过程，逼近输出的精度越来越高，最终得到目标的数字化结果，这个比较的次数正好是ADC的量化深度，也就是位数。



数模转换原理

■ 积分型

◆将输入电压转换成时间(脉冲宽度信号)或频率(脉冲频率), 然后由定时器/计数器获得数字值

◆优点:

- 用简单电路就能获得高分辨率
- 抗干扰能力强(假设一个对于零点正负白噪声干扰, 通过积分可滤掉该噪声)

◆缺点:

- 由于转换精度依赖于积分时间, 因此转换速率极低。
- 初期的单片AD转换器大多采用积分型, 现在逐次比较型已逐步成为主流。

■ 并行比较型/串并行比较型

◆并行比较型AD采用多个比较器, 仅作一次比较而实行转换, 又称Flash(快速)型。由于转换速率极高, n 位的转换需要 2^n-1 个比较器, 因此电路规模也极大, 价格也高, 只适用于视频AD转换器等速度特别高的领域。

◆串并行比较型AD结构上介于并行型和逐次比较型之间, 最典型的是由2个 $n/2$ 位的并行型AD

转换器配合DA转换器组成, 用两次比较实行转换, 所以称为 Half flash(半快速)型。还有分成

数模转换原理

■ 并行比较型/串并行比较型

◆ 并行比较型AD采用多个比较器，仅作一次比较而实行转换，又称Flash(快速)型。

- 由于转换速率极高， n 位的转换需要 2^n-1 个比较器，因此电路规模也极大，价格也高，只适用于视频AD转换器等速度特别高的领域。

◆ 串并行比较型AD结构上介于并行型和逐次比较型之间

- 典型的是由2个 $n/2$ 位的并行型AD转换器配合DA转换器组成，用两次比较实行转换，所以称为Half flash(半快速)型。
- 还有分成三步或多步实现AD转换的叫做分级(Multistep/Subranging)型AD。
- 而从转换时序角度又可称为流水线(Pipelined)型AD，现代的分级型AD中还加入了对多次转换结果作数字运算而修正特性等功能。
- 这类AD速度比逐次比较型高，电路规模比并行型小。

数模转换原理

■ Σ - Δ (Sigma delta)调制型(如AD7705)

- ◆ Σ - Δ 型AD由积分器、比较器、1位DA转换器和数字滤波器等组成。
- ◆ 原理近似于积分型，将输入电压转换成时间(脉冲宽度)信号，用数字滤波器处理后得到数字值。
- ◆ 电路的数字部分基本上容易单片化，因此容易做到高分辨率。
- ◆ 主要用于音频和测量。

■ 电容阵列逐次比较型

- ◆ 电容阵列逐次比较型AD在内置DA转换器中采用电容矩阵方式，也可称为电荷再分配型。
- ◆ 一般的电阻阵列DA转换器中多数电阻的值必须一致，在单芯片上生成高精度的电阻并不容易。
- ◆ 如果用电容阵列取代电阻阵列，可以用低廉成本制成高精度单片AD转换器。最近的逐次比较型AD转换器大多为电容阵列式的。

数模转换原理

■ 压频变换型(如AD650)

- ◆ 压频变换型(Voltage-Frequency Converter)是通过间接转换方式实现模数转换的。
- ◆ 原理是首先将输入的模拟信号转换成频率，然后用计数器将频率转换成数字量。
- ◆ 从理论上讲这种AD的分辨率几乎可以无限增加，只要采样的时间能够满足输出频率分辨率要求的累积脉冲个数的宽度。
- ◆ 其优点是分辨率高、功耗低、价格低，但是需要外部计数电路共同完成AD转换。

数模转换原理

■ 压频变换型(如AD650)

- ◆ 压频变换型(Voltage-Frequency Converter)是通过间接转换方式实现模数转换的。
- ◆ 原理是首先将输入的模拟信号转换成频率，然后用计数器将频率转换成数字量。
- ◆ 从理论上讲这种AD的分辨率几乎可以无限增加，只要采样的时间能够满足输出频率分辨率要求的累积脉冲个数的宽度。
- ◆ 其优点是分辨率高、功耗低、价格低，但是需要外部计数电路共同完成AD转换。

数模转换原理

■ ADC性能指标

◆ 分辨率(Resolution)：数字量变化一个最小量时模拟信号的变化量

- 有时用精度代替，通常以数字信号的位数来表示。
- 分辨率其实并不等同于精度。例如一块精度0.2%(或常说的准确度0.2级)的四位半万用表，测得A点电压1.0000V，B电压1.0005V,可以分辨出B比A高0.0005V，但A点电压的真实值可能在0.9980~1.0020之间不确定。

◆ 转换速率(Conversion Rate)是指完成一次从模拟转换到数字的AD转换所需的的时间的倒数。

- 积分型AD的转换时间是毫秒级属低速AD，
- 逐次比较型AD是微秒级属中速AD，
- 全并行/串并行型AD可达到纳秒级。

◆ 采样时间是指两次转换的间隔。

- 为了保证转换正确完成，采样速率 (Sample Rate)必须小于或等于转换速率。因此有人习惯上将转换速率在数值上等同于采样速率也是可以接受的。
- 常用单位是ksps和Msps，表示每秒采样千/百万次(kilo / Million Samples per Second)。

数模转换原理

■ ADC性能指标

◆ 量化误差(Quantizing Error)

- 由于AD的有限分辨率而引起的误差，即有限分辨率AD的阶梯状转移特性曲线与无限分辨率AD(理想AD)的转移特性曲线(直线)之间的最大偏差。
- 通常是1个或半个最小数字量的模拟变化量，表示为1LSB、1/2LSB。

◆ 偏移误差(Offset Error)：输入信号为零时输出信号不为零的值

- 可外接电位器调至最小。

◆ 满刻度误差(Full Scale Error)：满度输出时对应的输入信号与理想输入信号值之差。

数模转换原理

■ ADC性能指标

- ◆ 线性度(Linearity) 实际转换器的转移函数与理想直线的最大偏移，不包括以上三种误差。
- ◆ 模数器件的精度指标是用积分非线性度(Integer NonLiner)即INL值来表示。
 - INL表示了ADC器件在所有的数值点上对应的模拟值，和真实值之间误差最大的那一点的误差值，即输出数值偏离线性最大的距离。单位是LSB(即最低位所表示的量)。
- ◆ 差分非线性值(Differencial NonLiner): ADC相邻两刻度之间最大的差异
 - 理论上说，模数器件相邻量个数据之间，模拟量的差值都是一样的。实际并不如此。例如一把分辨率1毫米的尺子，相邻两刻度之间也不可能都是1毫米整。
 - DNL值如果大于1，那么这个ADC甚至不能保证是单调的，输入电压增大，在某个点数值反而会减小，这种现象在SAR(逐位比较)型ADC中很常见。
 - 分辨率相同的ADC价格却相差很多。除了速度、温度等级等原因之外，主要是因为INL、DNL这两个值的差异。

数模转换原理

■ ADC性能指标

◆ 工艺和原理决定了精度。比如SAR型ADC，由于采用了R-2R或C-2C型结构，使得高权值电阻的一点点误差，将造成末位好几位的误差。在SAR型ADC的 2^n 点附近，比如128、1024、2048、切换权值点阻，误差是最大的。1024值对应的电压甚至可能会比1023值对应电压要小。这就是很多SAR型器件DNL值会超过1的原因。但SAR型ADC的INL值都很小，因为权值电阻的误差不会累加。

◆和SAR型器件完全相反的是阶梯电阻型模数/数模器件。

◆这里要提一下双积分ADC，它的原理就能保证线性



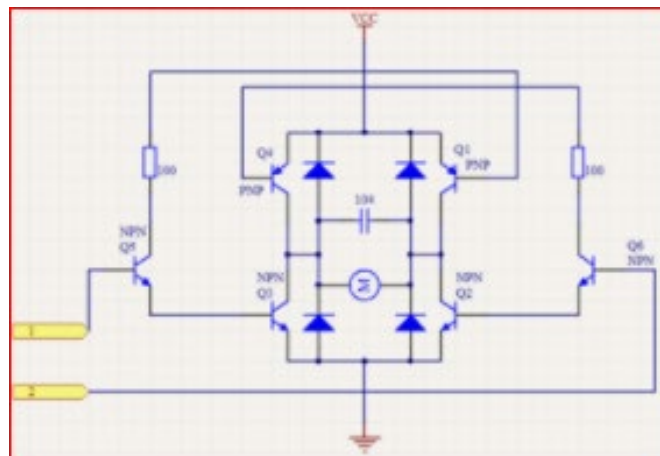
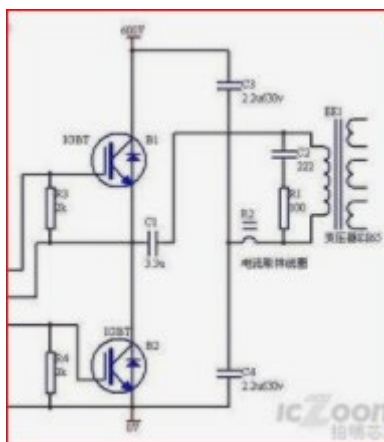
嵌入式接口技术-功率驱动

常用功率驱动器件

- 功率晶体管（电流型、可靠性高）
- 场效应管（电压型、速度快）
- 晶闸管（可控硅、交流、单向/双向）
- 电磁继电器
- 固态继电器

功率晶体管

- 功率晶体管具有工作性能高、寄生电容小、易于集成等特点。
- 特别适合在集成电路中作功率器件。
- 应用：模拟放大、开关（开关电源、电机驱动）



场效应管

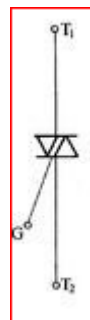
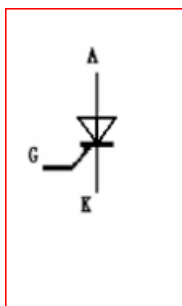
- 属于电压控制型半导体器件。

- ◆优点：

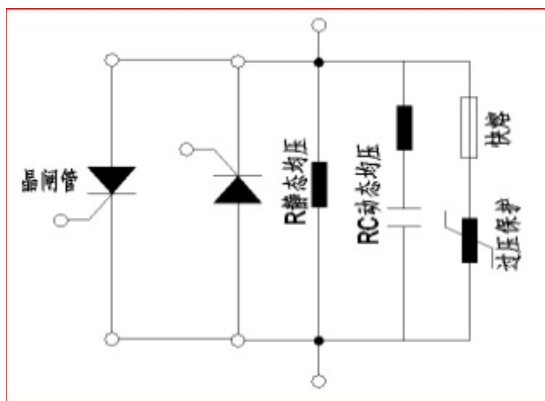
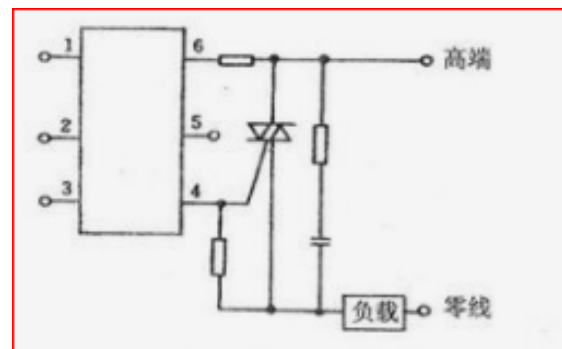
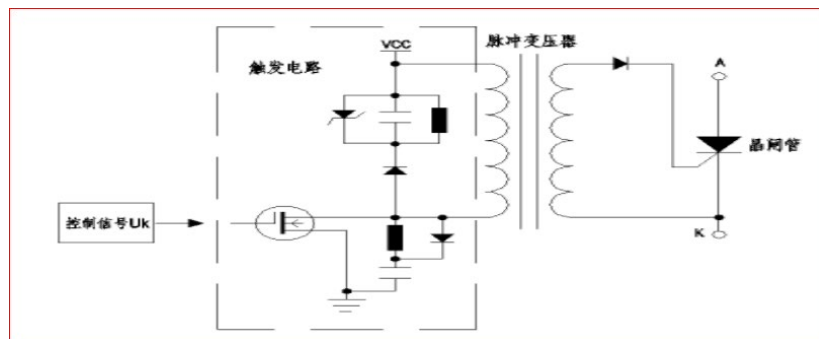
- 输入电阻高 ($10^8 \sim 10^9 \Omega$) 、
 - 噪声小、
 - 功耗低、
 - 动态范围大、
 - 易于集成、
 - 没有二次击穿现象、
 - 安全工作区域宽。

晶闸管

- 晶闸管是晶体闸流管的简称，又可称做可控硅整流器，以前被简称为可控硅；
- 它有三个极：阳极，阴极和门极；
- 能在高电压、大电流条件下工作，且其工作过程可以控制；
- 被广泛应用于可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频等电子电路中。



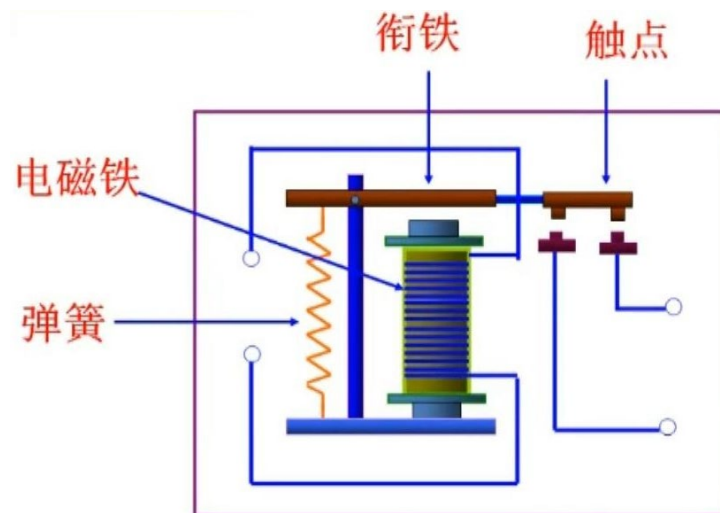
晶闸管驱动和保护



继电器作用

- 扩大控制范围：按触点组的不同形式，同时换接、开断、接通多路电路。
- 放大：用一个很微小的控制量，可以控制高电压、大电流、大功率的电路。
- 隔离

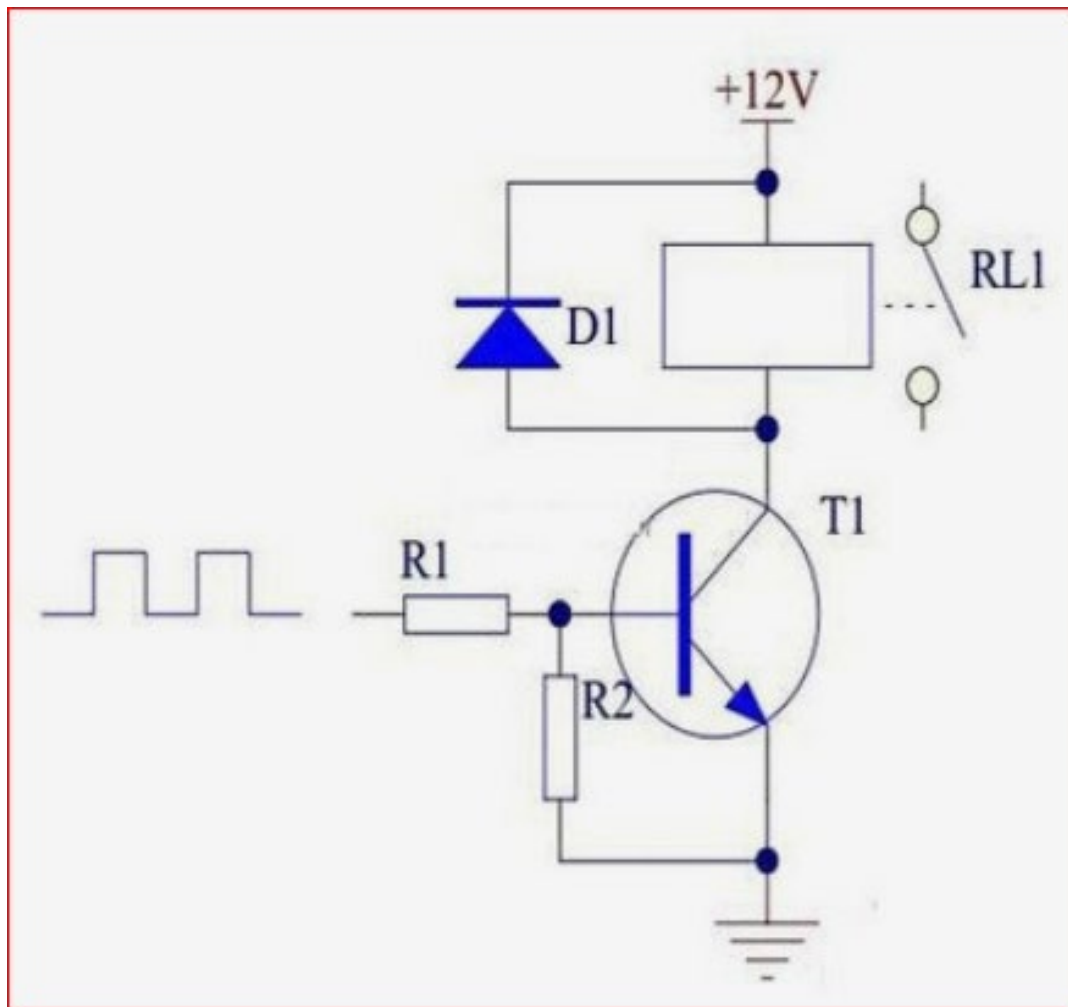
电磁继电器原理



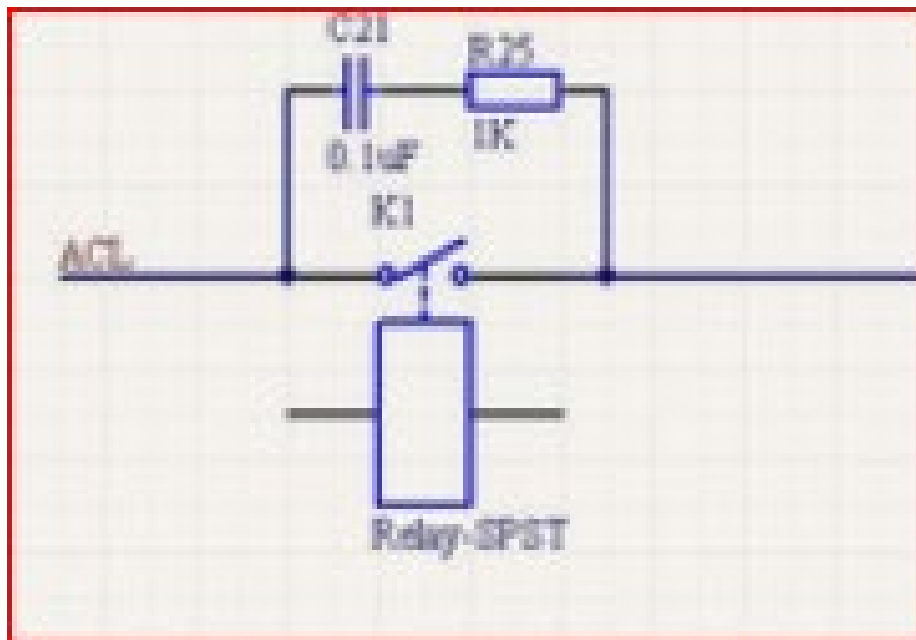
电磁继电器分类

- 按工作原理和结构分为电磁，时间，固态，极化，磁保持，温度，平衡力，高频和其它。
- 按触点负载分微功率，弱功率，中功率，强功率。
- 按防护特征分为，密封，封闭，敞开
- 按触点形式分：单刀单掷、单刀双掷、双刀双掷

电磁继电器驱动及保护

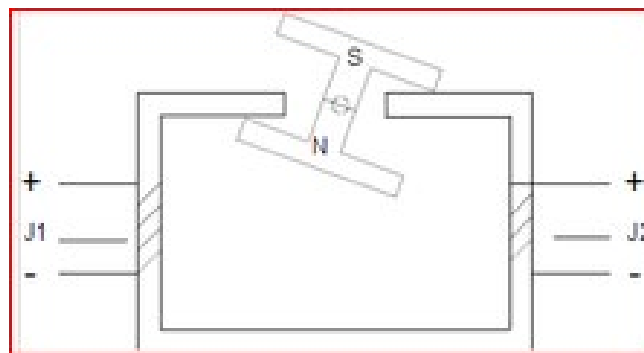


电磁继电器触电灭弧保护



磁保持继电器

- 磁保持继电器和其他电磁继电器作用一样。不同的是，磁保持继电器的常闭或常开状态完全是依赖永久磁钢的作用，其开关状态的转换是靠一定宽度的脉冲电信号触发而完成的。
- 省电、性能稳定、体积小、承载能力大。
- 磁保持继电器分为单相和三相。市场上的磁保持继电器的触点转换电流最大可达150A;控制线圈电压分为DC9V、DC12V等。



固态继电器

- 固态继电器(Solid State Relay,缩写SSR), 是由微电子电路, 分立电子器件, 电力电子功率器件组成的无触点开关。
- 控制端与负载端的隔离用光电耦合或脉冲信号。
- 固态继电器的输入端用微小的控制信号, 达到直接驱动大电流负载。
- 耐振耐机械冲击, 具有良好的防潮防霉防腐蚀性能, 在防爆方面的性能也极佳, 输入功率小, 灵敏度高, 控制功率小, 电磁兼容性好, 噪声低和工作频率高等特点。固态继电器专用的固态继电器可以具有短路保护, 过载保护和过热保护功能, 与组合逻辑固化封装就可以实现用一块, 直接用于控制系统中。



固态继电器组成与分类

■ 固态继电器由三部分组成：输入电路，隔离（耦合）和输出电路。

◆输入电路：输入电路可分为直流输入电路，交流输入电路和交直流输入电路三种。有些输入控制电路还具有与TTL/CMOS兼容，正负逻辑控制和反相等功能，可以方便的与TTL,MOS逻辑电路连接。

◆隔离（耦合）：光电耦合和变压器耦合两种。

◆输出电路：大功率晶体三极管、单向可控硅、双向可控硅、功率场效应管、绝缘栅型双极晶体管（IGBT）。固态继电器的输出电路也可分为直流输出电路，交流输出电路和交直流输出电路等形式。

■ 按负载类型，可分为直流固态继电器和交流固态继电器。

◆交流固态继电器又可分为单相交流固态继电器和三相交流固态继电器。

◆交流固态继电器，按导通与关断的时机，可分为随机型交流固态继电器和过零型交流固态继电器。

电磁铁/电磁阀

■ 驱动参见继电器



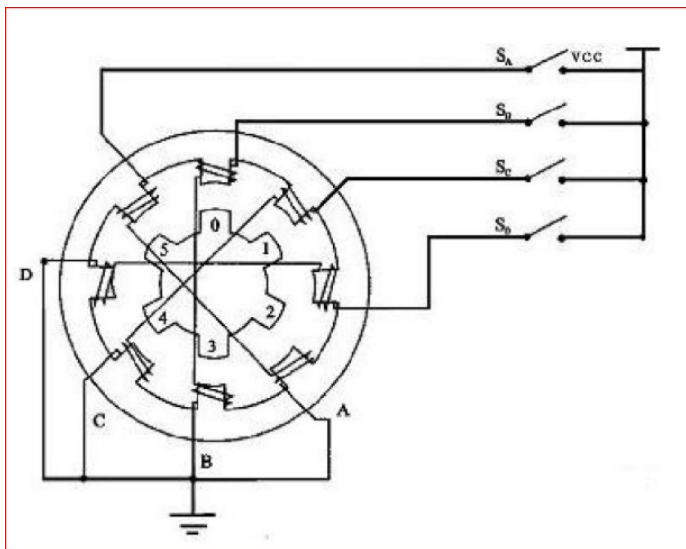
马达/电动阀

- 步进马达
- 调速马达
- 线性马达

步进电机

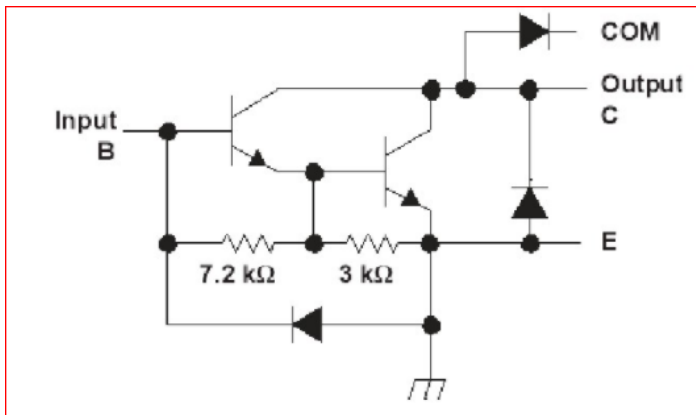
- 步进电机是将电脉冲信号转变为角位移或线位移的开环控制元件。
- 在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响，
- 当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度，称为"步距角"，它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。
- 可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的；
- 同时可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度，从而达到调速的目的。

步进电机驱动



单四拍					双四拍					八拍				
励磁序列	A	B	C	D	励磁序列	A	B	C	D	励磁序列	A	B	C	D
	1	0	0	0		1	1	0	0		1	0	0	0
	0	1	0	0		0	1	1	0		1	1	0	0
	0	0	1	0		0	0	1	1		0	1	0	0
	0	0	0	1		1	0	0	1		0	1	1	0
	1	0	0	0		1	1	0	0		0	0	1	0
	0	1	0	0		0	1	1	0		0	0	1	1
	0	0	1	0		0	0	1	1		0	0	0	1
	0	0	0	1		1	0	0	1		1	0	0	1

单四拍与双四拍的步距角相等，但单四拍的转动力矩小。八拍工作方式的步距角是单四拍与双四拍的一半，因此，八拍工作方式既可以保持较高的转动力矩又可以提高控制精度。



步进电机应用注意事项

■失步：

- 电机负载能力差、高速运转中电压不稳，造成输出扭矩下降，最终导致失步。
- 转速设置过高，力矩不够。
- 外部阻力过大、速度上升或下降过快。

■注意事项：

- 缓升缓降、
- 齿轮间隙、
- 皮带张紧。

霍尔传感器

■霍尔效应

- ◆在半导体薄片两端通以控制电流 I ，并在薄片的垂直方向施加磁感应强度为 B 的匀强磁场，则在垂直于电流和磁场的方向上，将产生电势差为 U_H 的霍尔电压
- ◆ U_H 与薄片厚度 d 及霍尔系数 k 相关， k 与薄片的材料有关。
- ◆是德国物理学家霍尔于1879年研究载流导体在磁场中受力的性质时发现的。

■根据霍尔效应，人们用半导体材料制成的元件叫霍尔元件。

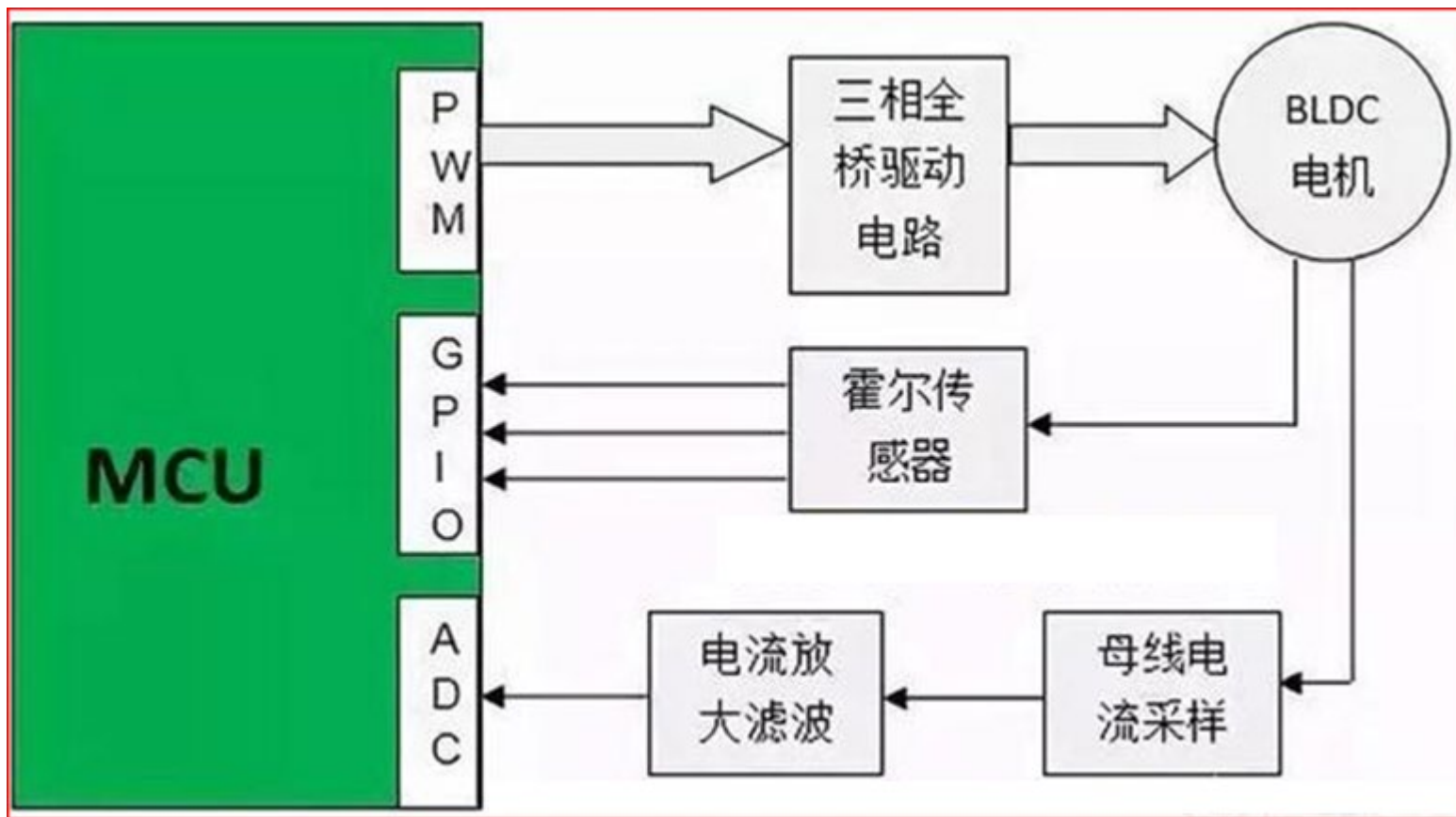
- ◆具有对磁场敏感、结构简单、体积小、频率响应宽、输出电压变化大和使用寿命长等优点
- ◆在测量、自动化、计算机和信息技术等领域得到广泛的应用。

霍尔传感器

- 由于霍尔元件产生的电势差很小，故通常将霍尔元件与放大器电路、温度补偿电路及稳压电源电路等集成在一个芯片上，称之为霍尔传感器。
- 按被检测对象的性质可将霍尔传感器的应用分为：
 - ◆ 直接应用：直接检测受检对象本身的磁场或磁特性；
 - ◆ 间接应用：检测受检对象上人为设置的磁场，这个磁场是被检测的信息的载体，通过它，将许多非电、非磁的物理量，例如速度、加速度、角度、角速度、转数、转速以及工作状态发生变化的时间等，转变成电学量来进行检测和控制。
- 使用霍尔传感器，只要再配置一块小永久磁铁就很容易做成车门是否关好的指示器，开关型霍尔传感器分别装在汽车的三个门框上，在车门适当位置各固定一块磁钢，当车门开着时，磁钢远离霍尔开关，输出端为高电平。车门关上，输出为低电平。

BLDC马达

■ 直流无刷电机 (BrushLess DC Motor)



BLDC马达

■接口:

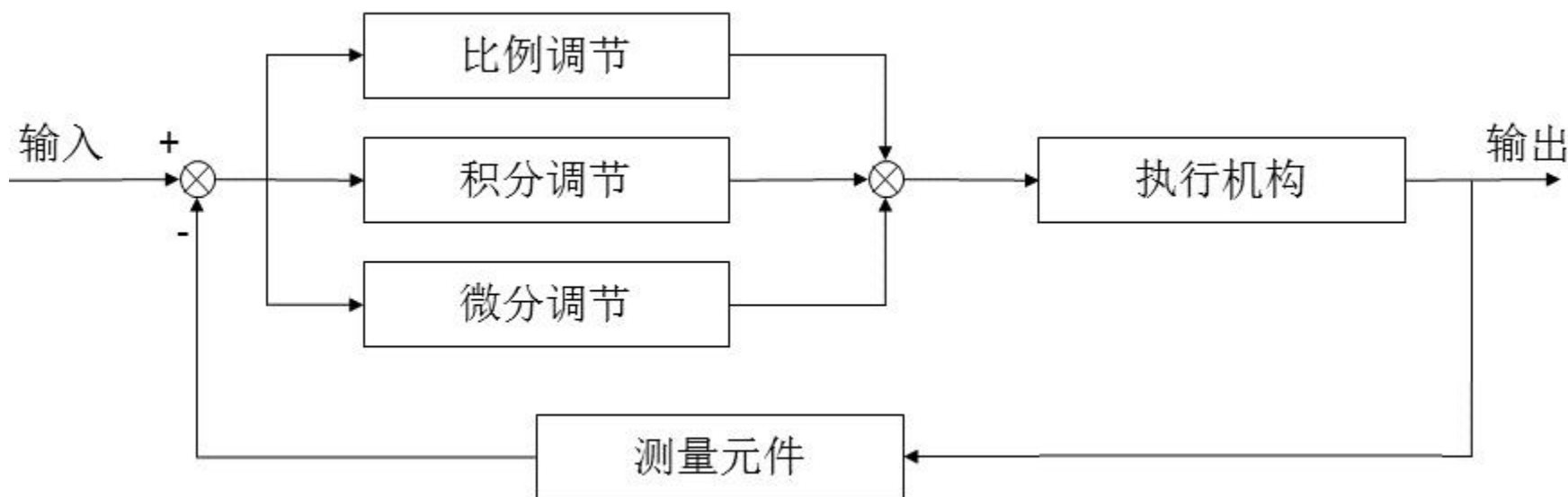
- ◆Vm (电机动力电源)
- ◆Vp (电机控制电源)
- ◆Vsp (PWW占空比调速、频率)
- ◆FG (转速脉冲, n个/转)

■加载时序: Vp加载→ Vm加载→ Vsp加载

■卸载时序: Vsp卸载→ Vm卸载→ Vp卸载

BLDC马达的PID控制算法

- PID(proportion integration differentiation) 是指比例，积分和微分控制
- 小到控制一个元件的温度，大到控制无人机的飞行姿态和飞行速度等等，都可以使用PID控制。



BLDC马达的PID控制算法

- PID(proportion integration differentiation) 是指比例，积分和微分控制
- 小到控制一个元件的温度，大到控制无人机的飞行姿态和飞行速度等等，都可以使用PID控制。

$$U(t) = kp(err(t) + \frac{1}{T_I} \int err(t)dt + \frac{T_D d err(t)}{dt})$$

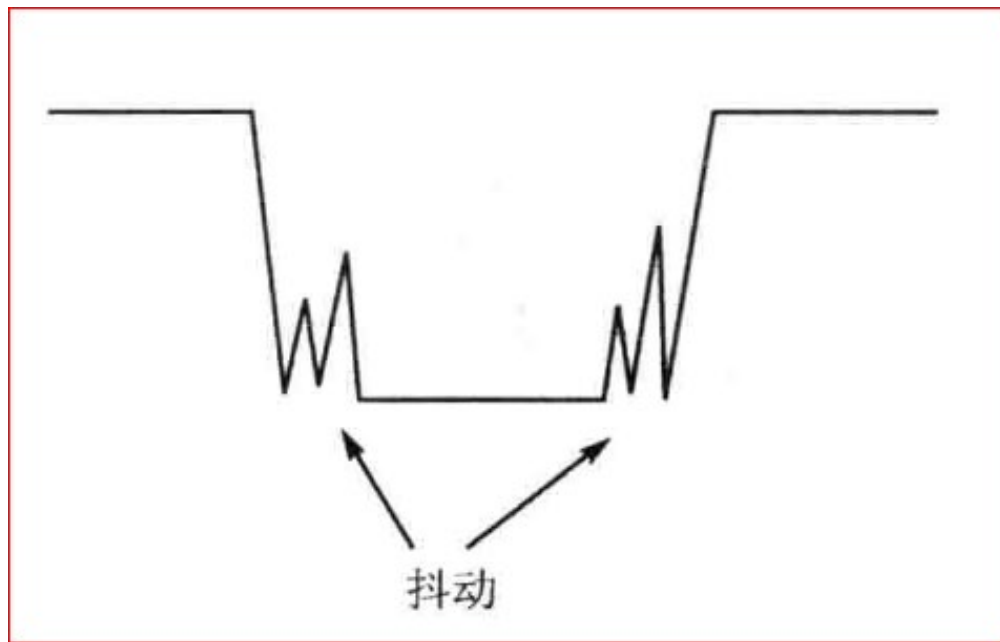


嵌入式接口技术-人机接口

- 输入 (按键、电位器、编码器、摇杆)
- 输出 (声音、显示)

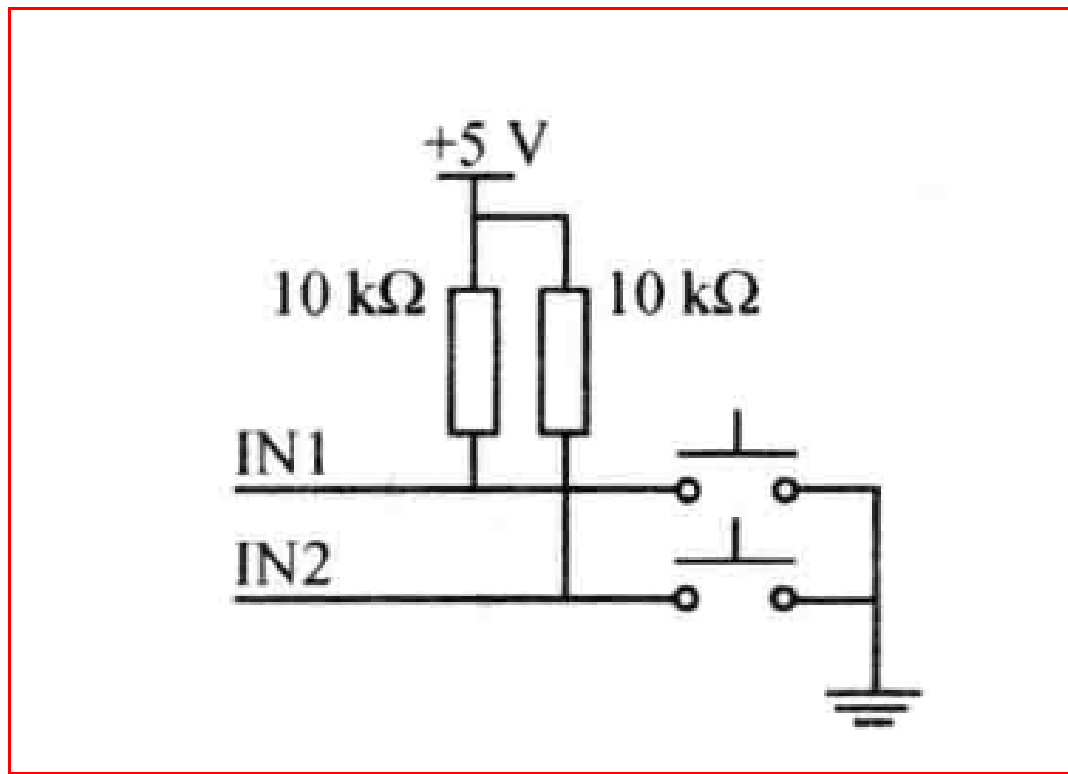
人机界面 (HMI)

- 按键
- 去抖动
- 延时时间: 10-20ms



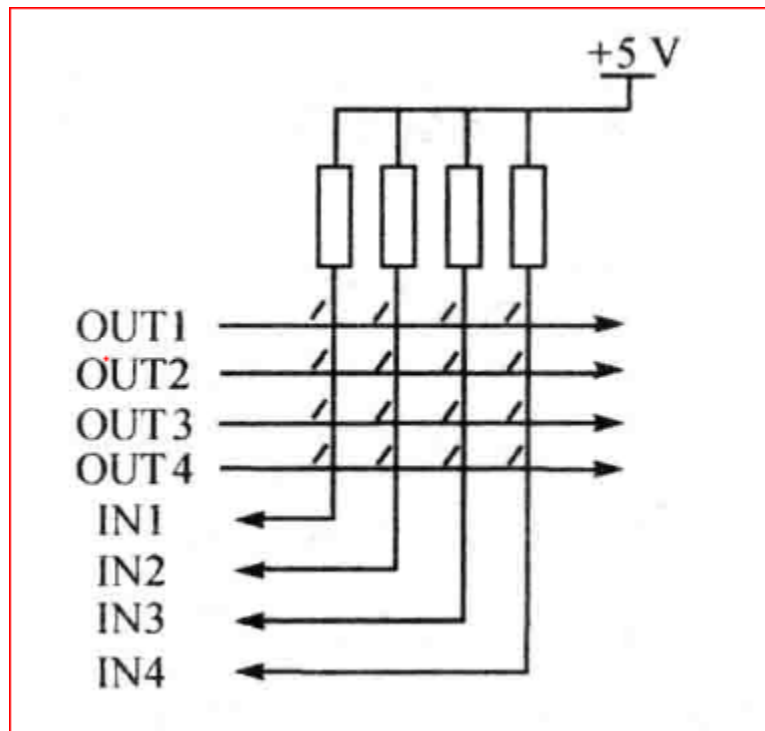
人机界面 (HMI)

■ 独立式键盘

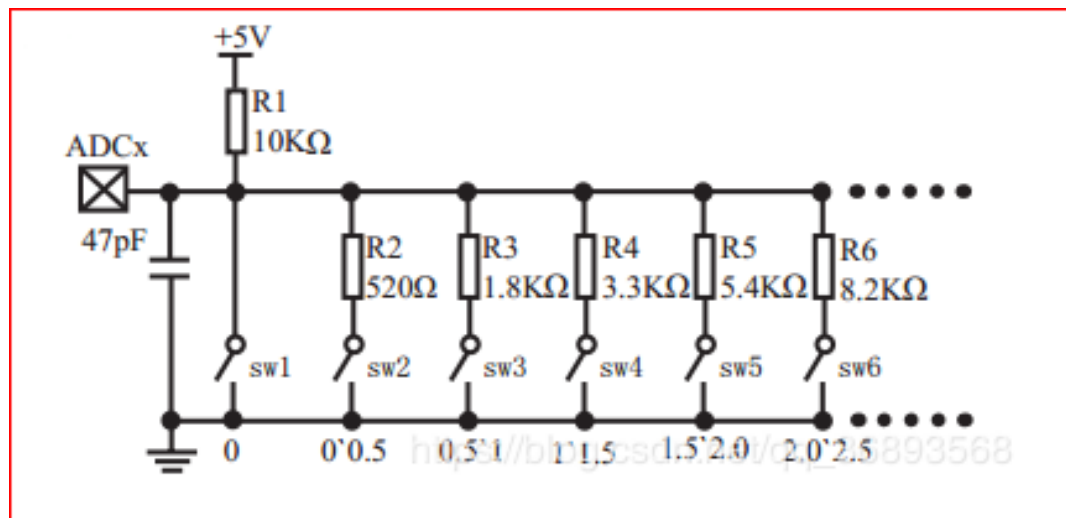


人机界面 (HMI)

■ 矩阵式键盘 (输出OC)



■ AD键盘

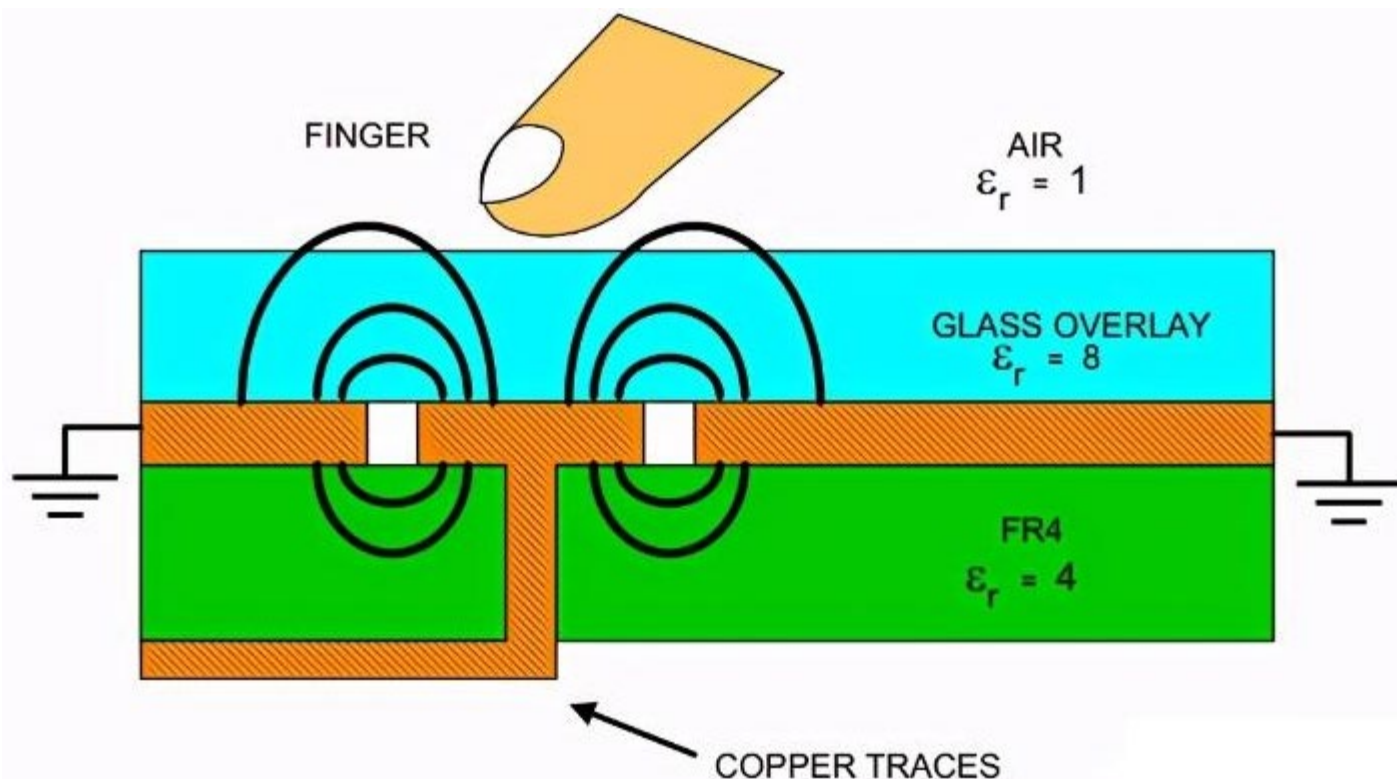


■ 常用按键种类

- 1、机械开关
- 2、导电橡胶
- 3、锅仔片
- 4、PVC按键（锅仔片、三层PVC）
- 5、触摸按键
- 6、触摸屏（电阻式、电容式、红外、声表面波）

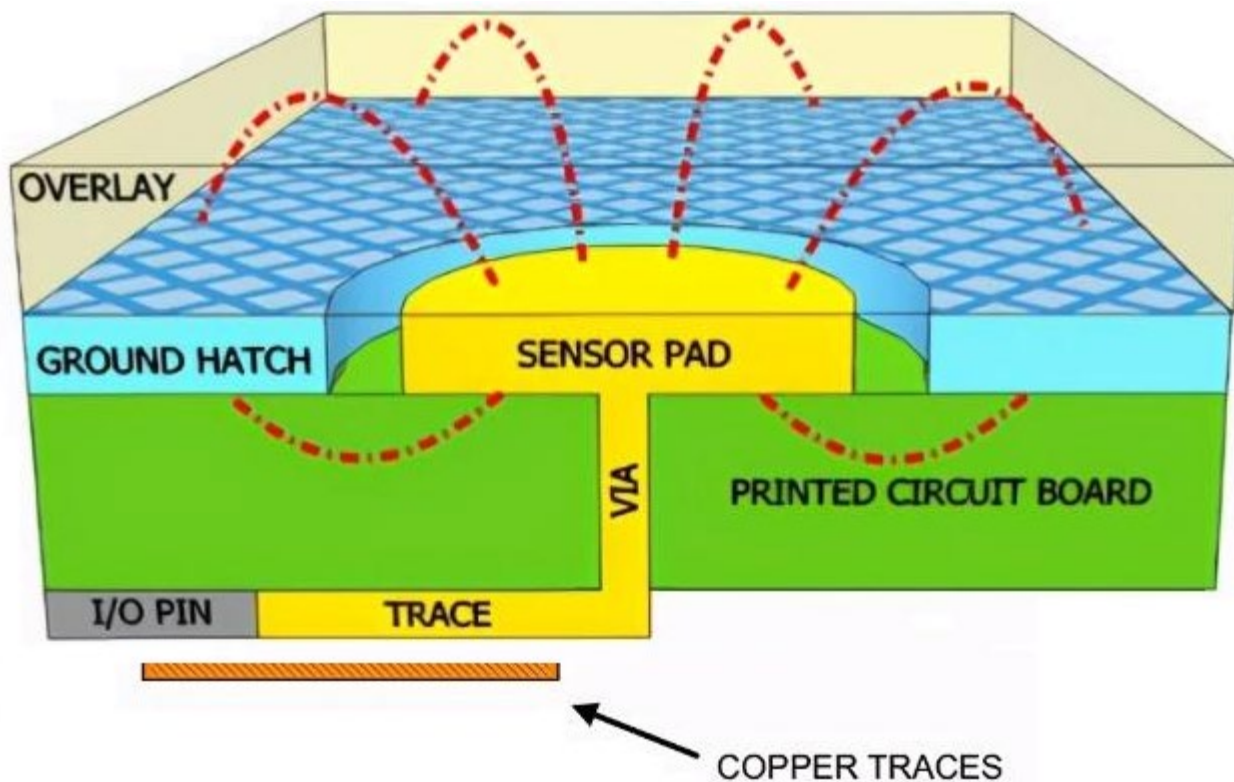
电容式触摸按键

- 所有的电容式触摸的核心都是一组与电场相互作用的导体。
- 人体组织的皮肤是一种有损电解质，相当于导电电极，在简单的平行片电容中间隔着一层电介质，该系统中的大部分能量聚集在电容器极板之间，少许的能量会溢出到电容器极板以外的区域。
- 当手指放在电容触摸系统时，相当于放置于能量溢出区域（称为：边缘场），并将增加该电容系统的导电表面积。



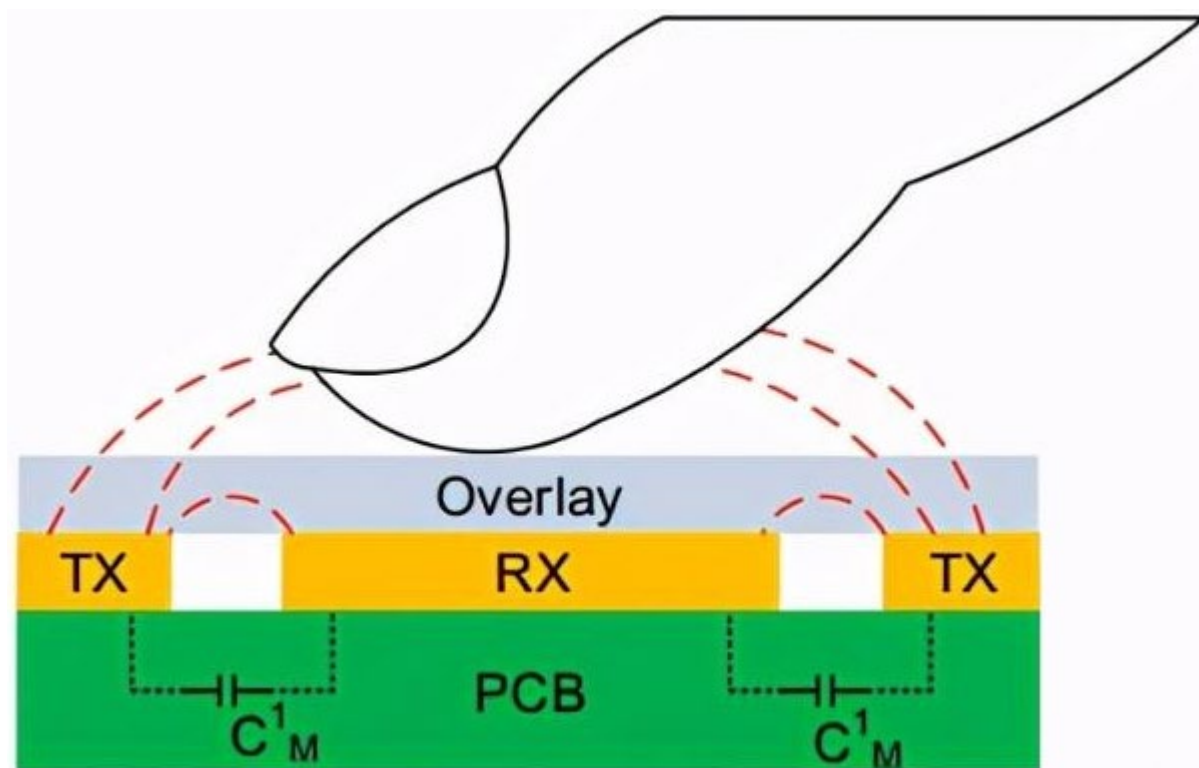
电容式触摸按键

- 电容感应的方法分为两种：自电容感应、互电容感应技术
- 自电容使用一个引脚，并测量该引脚和电源地之间的电容。即：驱动与传感器相连的引脚上的电流，由于将手指放在传感器上，其系统的电容会增加，因此其电压也会增加，实测电压的变化即可检测是否有手指进行触摸。这种技术一般用于单点触摸或滑条。



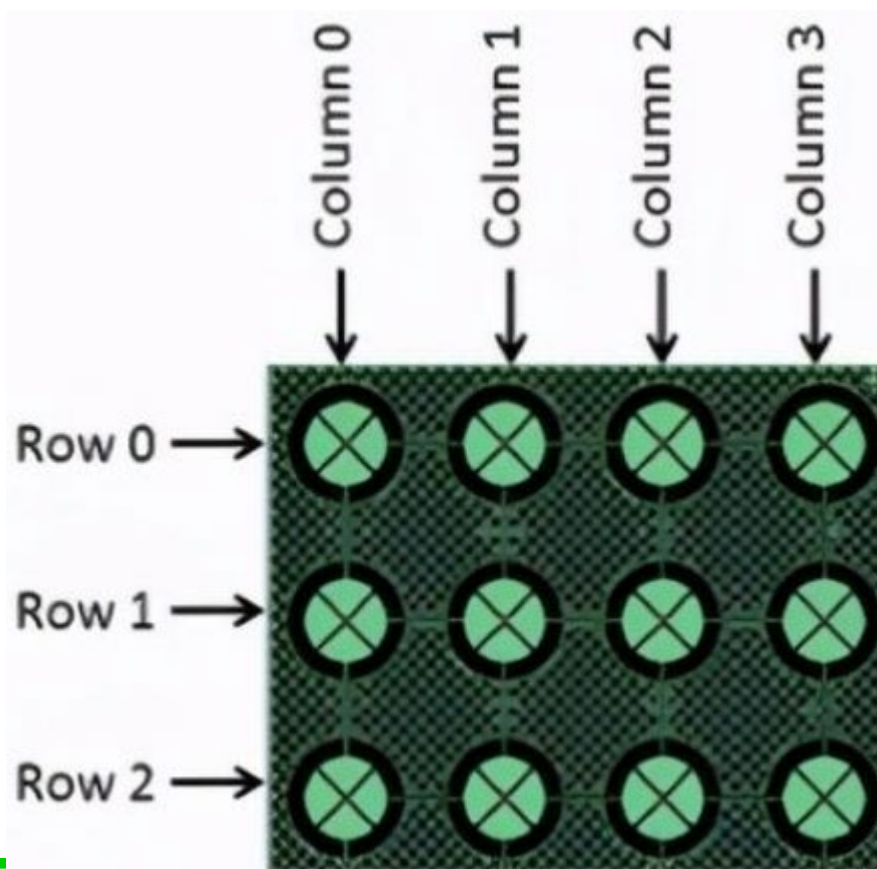
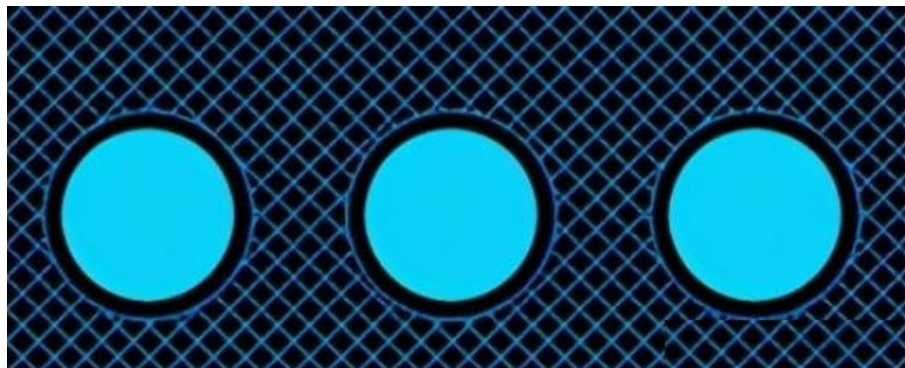
电容式触摸按键

- 互电容感应技术使用两个电容，一个为发送电极、一个为接收电极，TX引脚提供数字电压，并测量RX引脚上所接收到的电荷。
- 在RX电极上接收到的电荷与两个电极间的互电容成正比，当TX和RX电极间放置手指时，互电容降低，因此RX电极上接收到的电荷也会降低。由此通过检测RX电极上的电荷检测触摸/无触摸状态。



电容式触摸按键

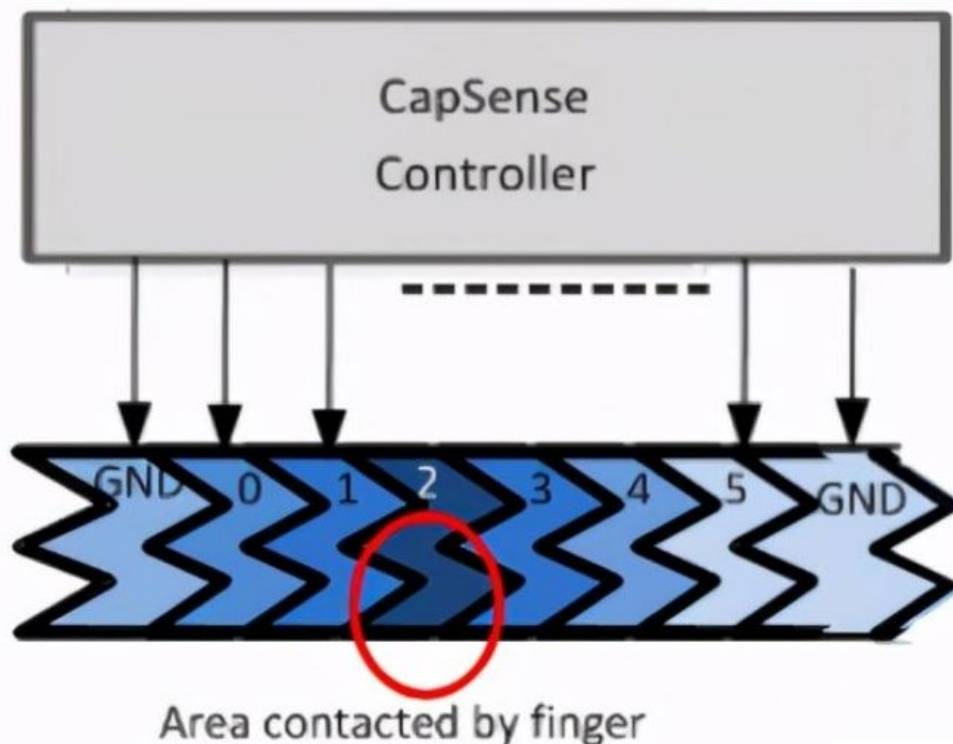
- 根据传感器感应的维度可以分为：按键传感器（0维）、滑条传感器（1维）、触摸板传感器（2维）、接近感应传感器（3维）
- 零维传感器
 - ◆ 在白色家电、照明控制等领域有众多应用
 - ◆ 输出两种状态：有手指触摸、无手指触摸
 - ◆ 通过一根走线连接到控制器引脚
 - ◆ 当需要大量按键时，如计算器的键盘等，可以将电容传感器排列成一个矩阵



电容式触摸按键

■ 一维传感器

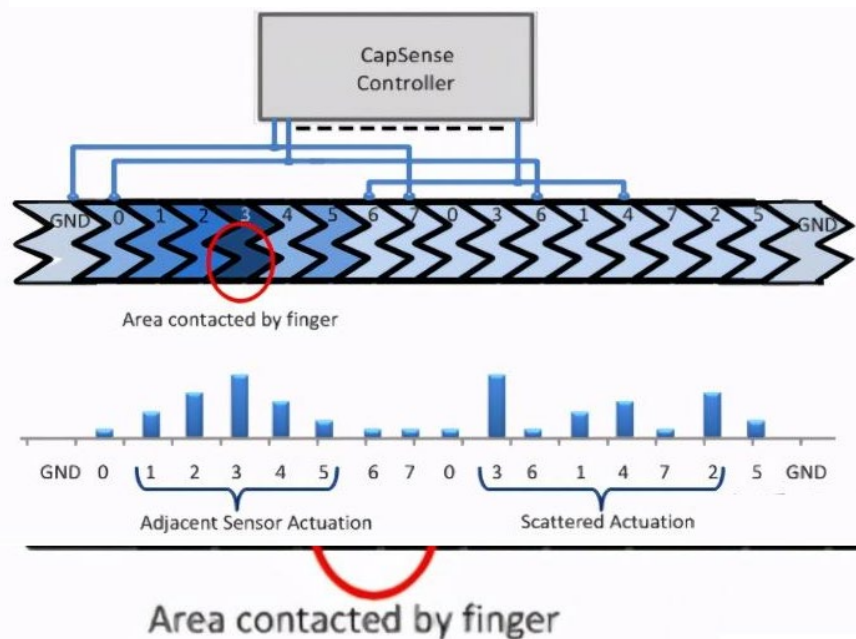
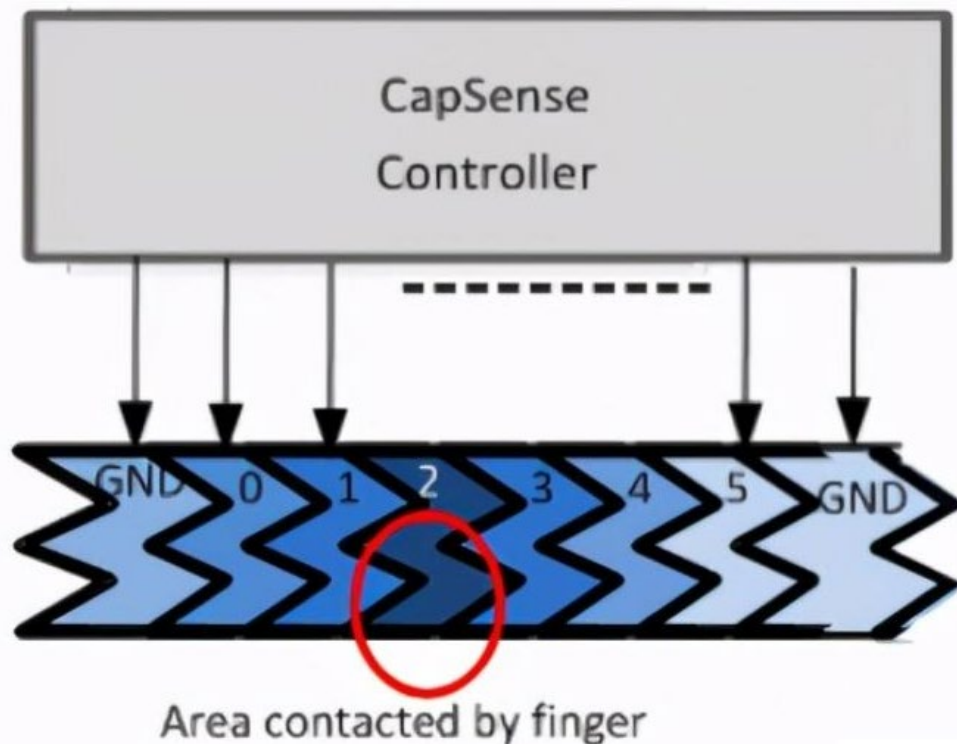
- ◆ 一维传感器也称滑条传感器，适用于需要渐进式调节的控制应用，如照明调光、音量控制、图示均衡器等，一个滑条传感器由一系列称为段的电容传感器构成，某一个段的动作会导致邻近其他传感器的部分动作，通过插值算法的中心位置计算方式可以使触摸位置分辨率大于滑条段数量。
- ◆ 线性滑条，每个IO引脚连接一个滑条段



电容式触摸按键

■ 一维传感器

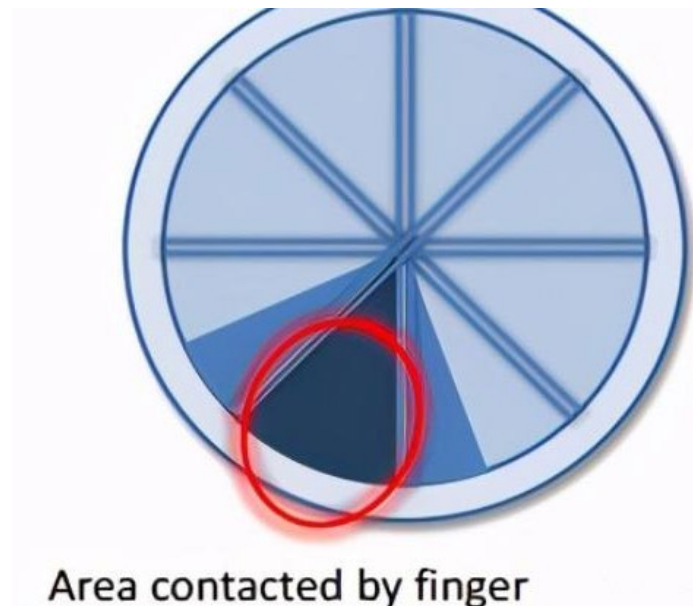
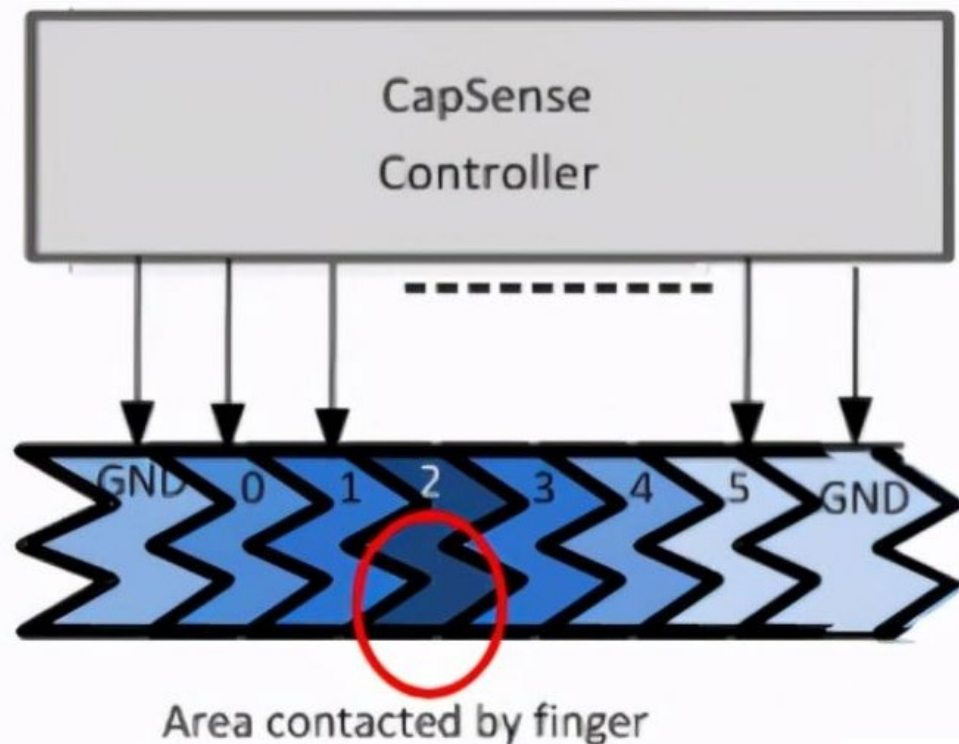
- ◆ 一维传感器也称滑条传感器，适用于需要渐进式调节的控制应用，如照明调光、音量控制、图示均衡器等，一个滑条传感器由一系列称为段的电容传感器构成，某一个段的动作会导致邻近其他传感器的部分动作，通过插值算法的中心位置计算方式可以使触摸位置分辨率大于滑条段数量。
- ◆ 线性滑条，每个IO引脚连接一个滑条段 双工滑条，每个IO引脚连接两个不同的滑条段



电容式触摸按键

■ 一维传感器

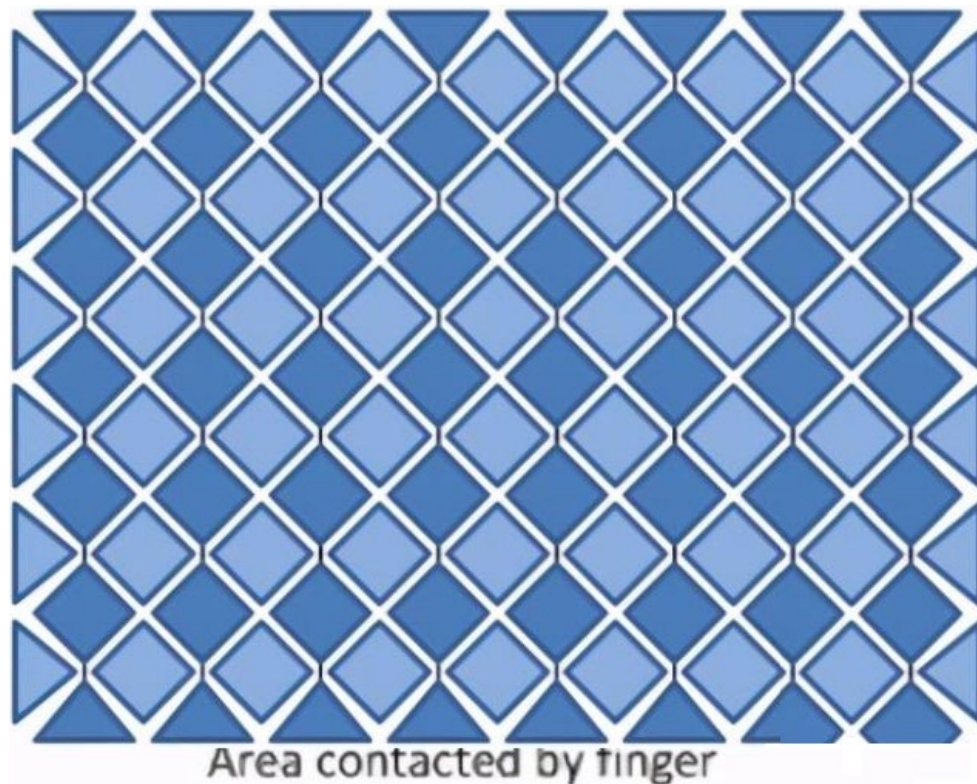
- ◆ 一维传感器也称滑条传感器，适用于需要渐进式调节的控制应用，如照明调光、音量控制、图示均衡器等，一个滑条传感器由一系列称为段的电容传感器构成，某一个段的动作会导致邻近其他传感器的部分动作，通过插值算法的中心位置计算方式可以使触摸位置分辨率大于滑条段数量。
- ◆ 线性滑条，每个IO引脚连接一个滑条段 辐射滑条，具备连续性，没有起点或终点



电容式触摸按键

■ 二维传感器

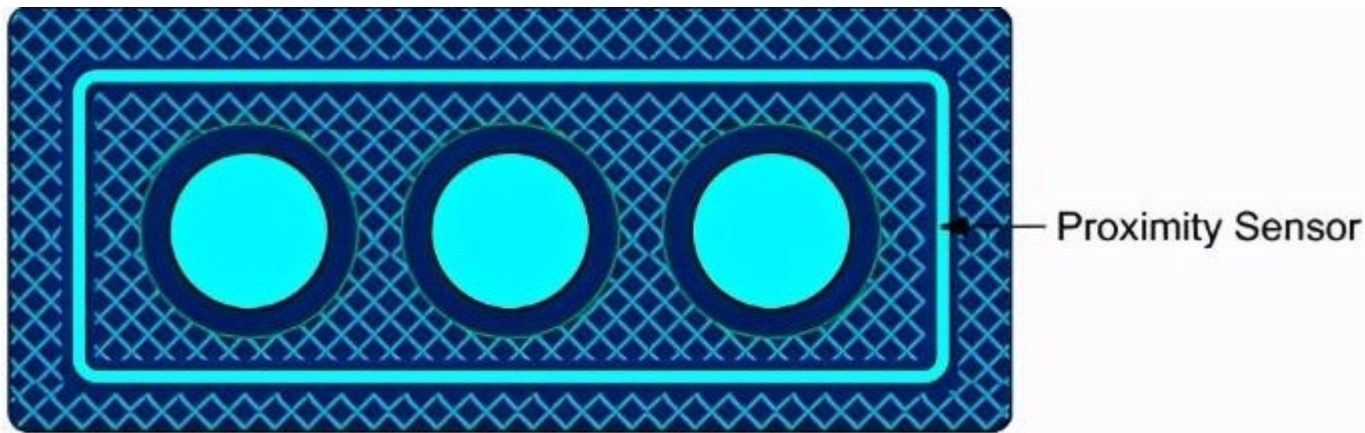
- ◆ 如触摸屏和触控板，通过按X和Y模式设置的线性滑条，可以确定手指的位置



电容式触摸按键

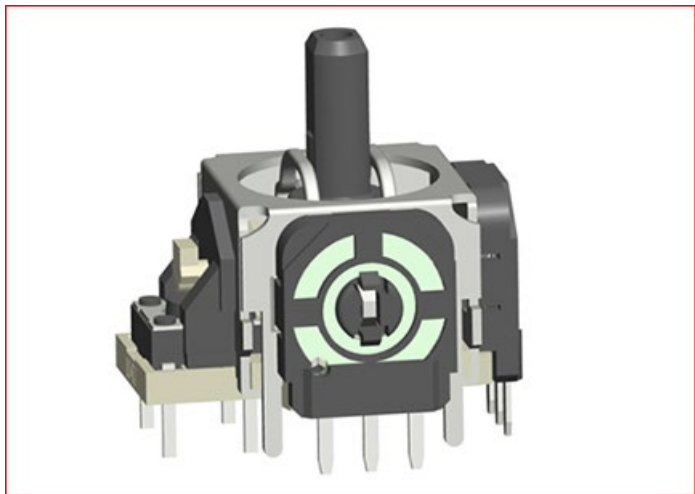
■ 三维传感器

- ◆ 接近感应传感器在手或其他导体靠近的时候就能检测到，实现接近感应的一种方法是围着用户界面铺上一条长走线，该走线可在大范围内感应电容的变化，由此使得系统对用户的触摸感应显得更加快速



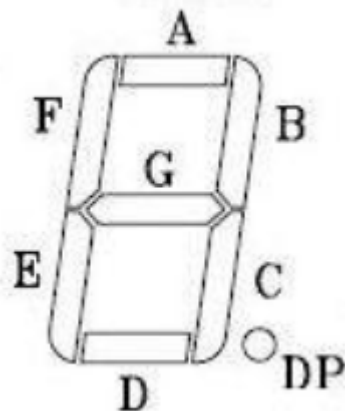
摇杆

- 1、摇杆电位器，AD接口
- 2、摇杆开关



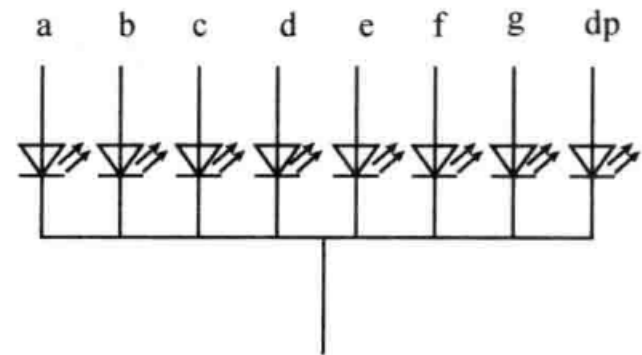
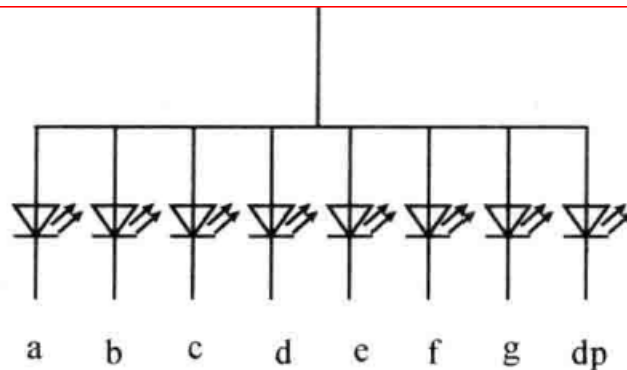
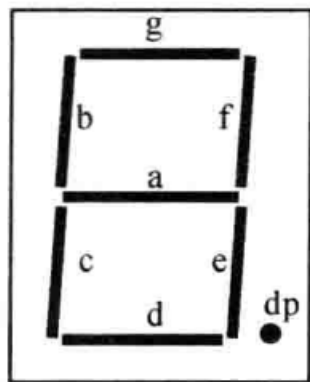
七段/米字/点阵数码管/灯带

- 按发光二极管单元连接方式可分为**共阳极**数码管和**共阴极**数码管
- **静态**显示驱动
- **动态**显示驱动
- LED**寿命**、**散热**



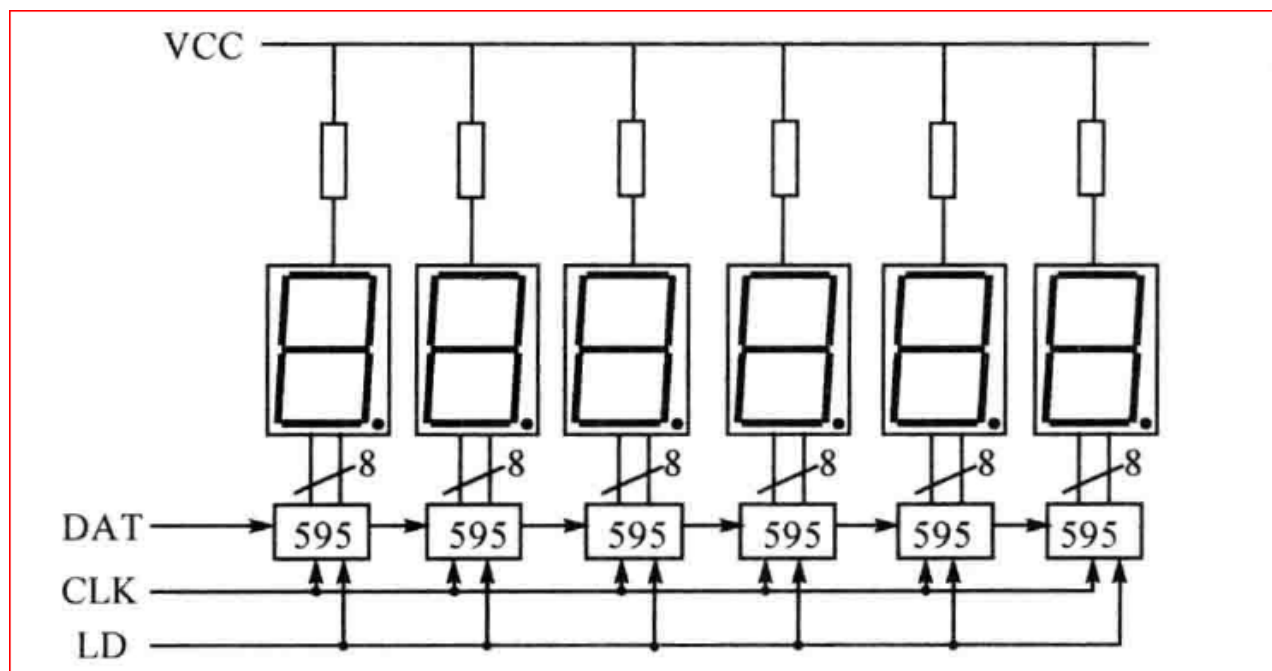
人机界面 (HMI)

- 数码管显示
- 消隐



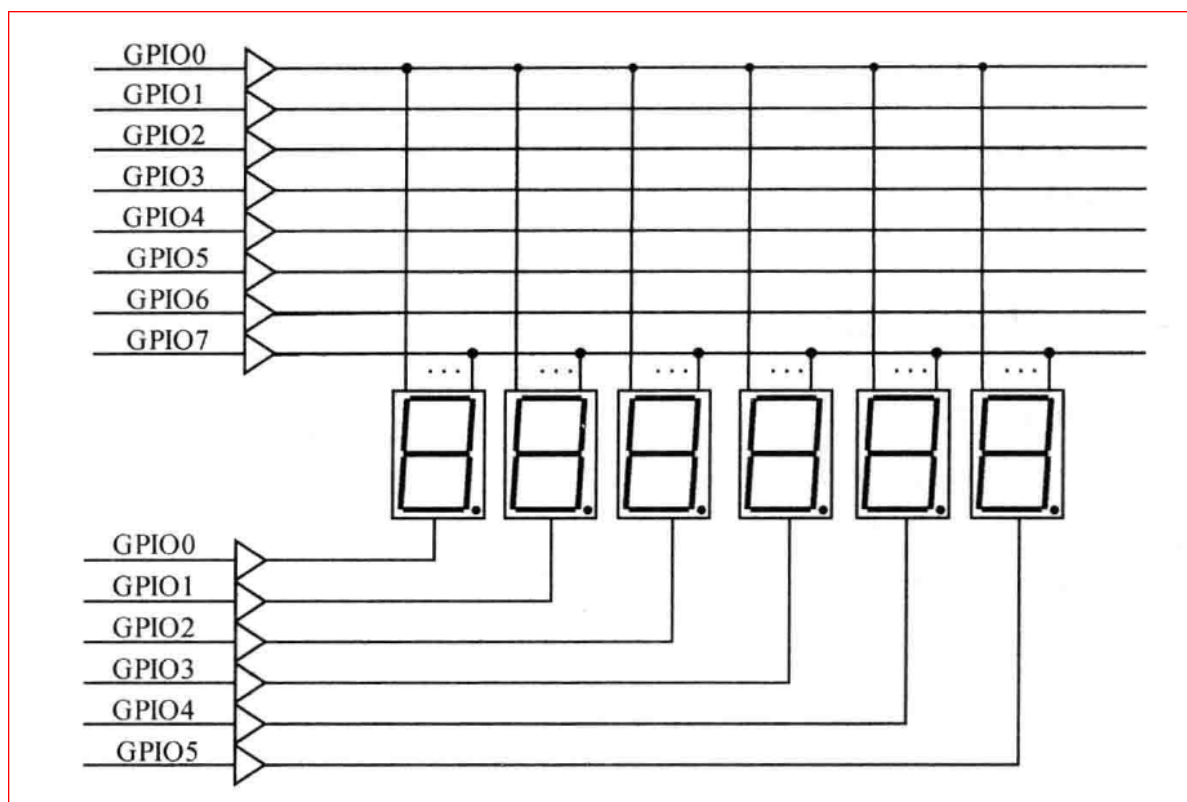
人机界面 (HMI)

■ 数码管静态显示



人机界面 (HMI)

■ 数码管动态显示



LED驱动

■ LED调光原理有三种：

- ◆ **脉宽控制恒压调光** (Pulse Width Modulation, 简称 PWM)
 - 将电源方波数位化, 并控制方波的占空比, 从而达到控制电流的目的
- ◆ **恒流电源调光**: 用模拟线性技术调整电流大小
- ◆ **分组调控** 将多颗LED分组, 用简单的分组器调控

多色LED控制

- RG LED
- RGB LED
- RGBW LED
- 呼吸灯控制（18-20HZ渐变）

LED的伽马校正

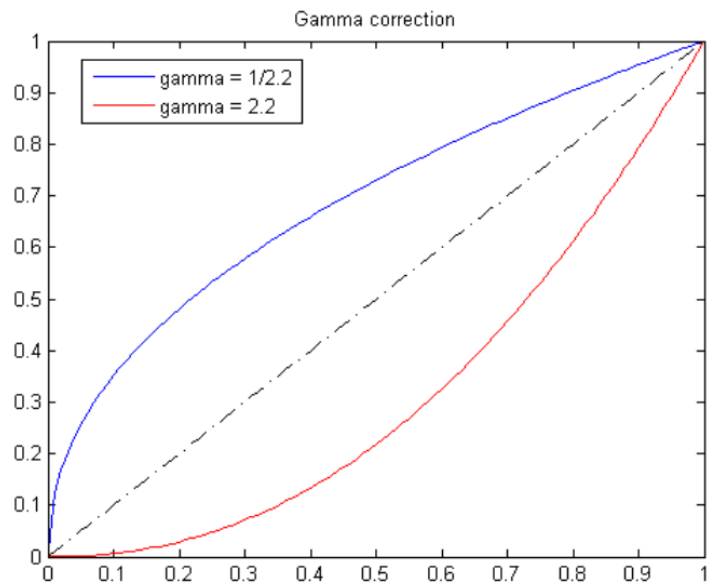
- 过去, 大多数监视器是阴极射线管显示器(CRT). 这些监视器有一个物理特性就是两倍的输入电压产生的不是两倍的亮度. 输入电压产生约为输入电压的 2.2 次幂的亮度. 这本质上是一个问题, 但是由于一个神奇的巧合, CRT显示器的这一特性被保留了下来.
 - 这个神奇的巧合就是: 人类的视觉系统进化出了一个特性, 黑暗环境下的辨识能力要强于明亮环境, 这可能有助于我们及时发现黑暗中隐藏的危险. 如下图所示, 第一行表示的人眼感受到的亮度, 第二行表示实际的物理亮度. 物理亮度基于光子数量, 是线性的, 而感知亮度基于人的感觉是非线性的.

Perceived (linear) brightness =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Physical (linear) brightness =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

- 通过观察可以看到物理亮度在我们眼中会显得暗部细节缺失而亮部细节过剩. 人眼对物理亮度的感知和 CRT 显示器显示亮度对电压的感知很接近, CRT亮度是电压的 2.2次幂而人眼的观察亮度相当于物理亮度的2次幂, 因此CRT这个缺陷正好能满足人的需要, 后面的硬件也都保留了这一非线性特性.
- 2.2 这一数字就是所谓的伽马(Gamma), 也叫灰度系数, 各种显示设备会有各自的伽马值, 矫正使用的伽马值取决于显示器, 但是现代系统基本上都统一使用 2.2.

LED的伽马校正

- 显示器的非线性特性让亮度在我们眼中看起来更好, 但是在渲染时反而会因此导致问题. 我们的渲染计算都是在伽马值为 1 的理想线性空间进行的. 比如现在我们输入了一个暗红色的光照(0.5, 0.0, 0.0), 然后希望将亮度提升一倍变为 (1.0, 0.0, 0.0). 但是由于显示器的非线性特性, 最终显示的颜色实际是从 (0.218, 0.0, 0.0) 变成了 (1.0, 0.0, 0.0)。
- 分析上面的错误情况, 问题的原因在于我们理想的输出颜色被显示器执行了 $\text{pow}2.2$ 的操作. 所以伽马校正的思路就是在颜色被输送到显示器之前, 我们先对其进行 $\text{pow}0.454$ 的逆运算以抵消显示器的作用.



蜂鸣器buzzer

- 蜂鸣器是一种一体化结构的电子讯响器，采用直流电压供电，广泛应用电子产品中作发声器件。



- 蜂鸣器的分类：

1、按其驱动方式的原理分为：**有源蜂鸣器**（也叫自激式蜂鸣器）和**无源蜂鸣器**（也叫他激式蜂鸣器）；



2、按构造方式的不同，可分为：**电磁式蜂鸣器**和**压电式蜂鸣器**

压电式结构简单耐用但音调单一音色差、电压高、电流小。而**电磁式**由于音色好、电压低、电流大，所以多用于语音、音乐等设备。

3、按封装的不同，可分为：插件蜂鸣器和贴片式蜂鸣器；

4、按电流的不同，可分为：直流蜂鸣器和交流蜂鸣器

蜂鸣器驱动电路

- 蜂鸣器驱动电路一般都包含以下几个部分：一个三极管、一个蜂鸣器、一个续流二极管和一个电源滤波电容。

1. 蜂鸣器

其主要参数是外形尺寸、发声方向、工作电压、工作频率、工作电流、驱动方式（直流/方波）等。

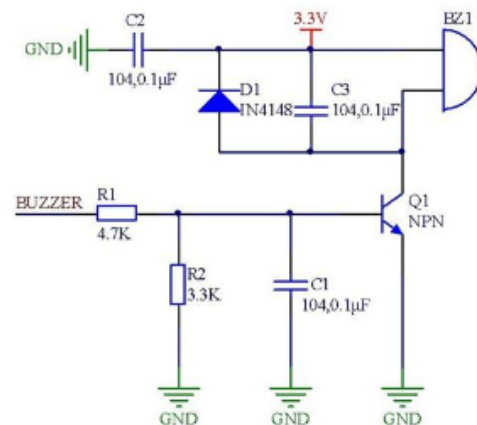
2. 续流二极管

蜂鸣器本质上是一个感性元件，其电流不能瞬变，因此必须有一个续流二极管提供续流。否则，在蜂鸣器两端会产生几十伏的尖峰电压，可能损坏驱动三极管。

3. 滤波电容

滤波电容的作用是滤波，滤除蜂鸣器电流对其它部分的影响，也可改善电源的交流阻抗，如果可能，最好是再并联一个220uF的电解电容。

4. 三极管，三极管起开关作用。



蜂鸣器的选用

- **工作电压**: 电磁式蜂鸣器, 从1.5到24V, 压电式的从3V到220V都是可行的, 但一般压电的还是建议有9V以上的电压, 以获得较大的声音。
- **消耗电流**: 电磁式的从几十到上百毫安培都有, 压电式的就省电的多, 几毫安培就可以正常的动作, 且在蜂鸣器启动时, 瞬间需消耗约三倍的电流。
- **驱动方式**: 二种蜂鸣器都有自激式的, 只要接上直流电(DC)即可发声, 因为已内建了驱动线路在蜂鸣器中了, 因为动作原理的不同, 电磁式蜂鸣器要用1/2方波来驱动, 压电的用方波, 才能有较好的声音输出。
- **尺寸**: 蜂鸣器的尺寸会影响到音量的大小, 频率的高低, 电磁式的最小从7mm到最大的25mm, 压电式的从12mm到50mm或更大都有。
- **连接方式**: 一般常见的有插针(DIP), 焊线(Wire), 贴片(SMD), 压电式大的还有锁螺丝的方式。
- **音压**: 蜂鸣器常以10cm的距离做为测试的标准, 距离增加一倍, 大概会衰减6dB, 反之距离缩短一倍则会增加6dB, 电磁式蜂鸣器大约能达到85dB / 10cm的水准, 压电式的就可以做的很大声, 常见的警报器, 大都是以压电蜂鸣器制成。

■ 其他发声方式

◆ DAC+功放+喇叭

◆ I2S+解码器+功放

其他通信显示（I2C/SPI/UART）

- OLED
- LCD
- TFT
- 串口屏(组态、参数)
- 人机界面HMI