

# 电设中的传感器应用

**【电子系统设计综合实践】讲座**

2015. 10. 20 (Tue.) (7:20-9:00PM)

自动化系 检测与电子技术研究所

曹丽 副教授

[caoli@tsinghua.edu.cn](mailto:caoli@tsinghua.edu.cn)

# 内容

- 大赛平台和传感器任务分析
- 传感器类型、光电基础知识
- 光电耦合器使用方法、抗干扰措施
- 阵列循线及安装调试方法
- 码盘脉冲输出、转角检测和控制
- 传感器与MCU/FPGA/DSP的接口
- （微动开关和除颤）

# 2015 “命悬一线”

循线  
跑圈（转弯）

白底，黑线，  
灰色缓冲区

+ 无规则跑道  
+ 各种道具影响

任务①

循线 or 碰线

任务②

转角和转速控制



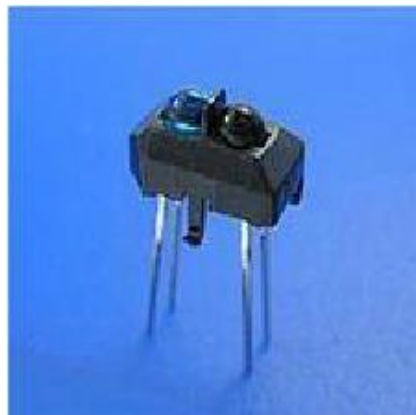
# 可能用到的传感器

- 循线或碰线检测  
反射型光电耦合器
- 转角和转速控制  
透射或反射型光电耦合器
- 测距  
红外测距开关20-50cm;  
PSD光电距离传感器10-80cm;  
超声测距10cm—300cm;
- 回避碰撞接触  
接触、限位的微动开关

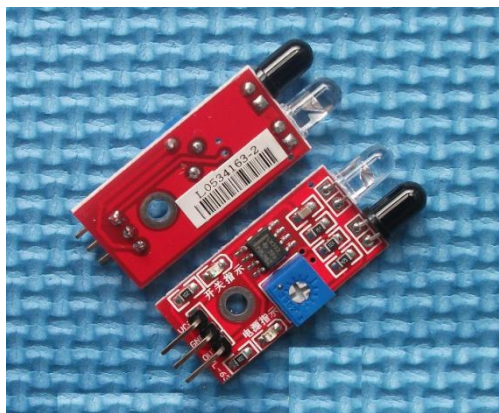
# 光电传感器（taobao或中发）



透射型光电开关



反射型光电开关



光电测距开关



光电测距开关



光电测距

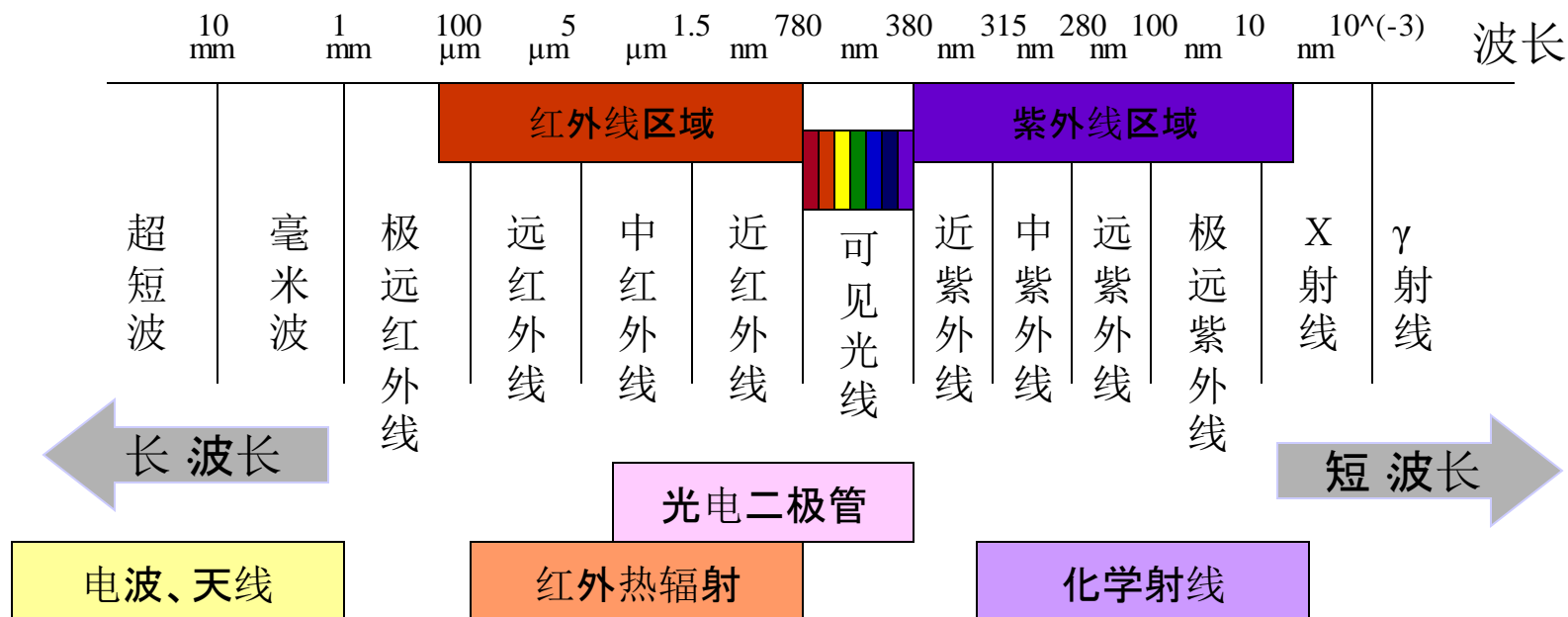
# 传感器类型与输出形式

- **模拟量：**转换成电压输出。
  - 应变片，热敏电阻，光敏电阻；
  - 差动电容，差动变压器；
  - 光敏二极管、热电偶、压电薄膜等。
- **开关量：**L/H二值输出。
  - 接近开关，接触开关等。
- **数字量：**脉冲输出。
  - 编码器，磁标尺，晶振膜等。

# 光电传感器的快速入门

- 光：分可见光、红外光等，940nm红外发光。
- 发光二极管：发光强度与通过电流成比例。
- 光敏二极管：半导体PN结，  
吸收光子能量，电子迁跃，…  
开放电压，短路电流
- 光电传感器模拟量输出：  
输出电流（电压）与光强成比例  
离光源越近输出信号越大；扩散和衰减  
正对光源比斜对光源输出信号大；指向性
- 光电传感器开关量输出：  
和阈值电压比较，输出H/L电平。

# 电磁波谱与传感器



可见光：人眼可以看到的电磁波

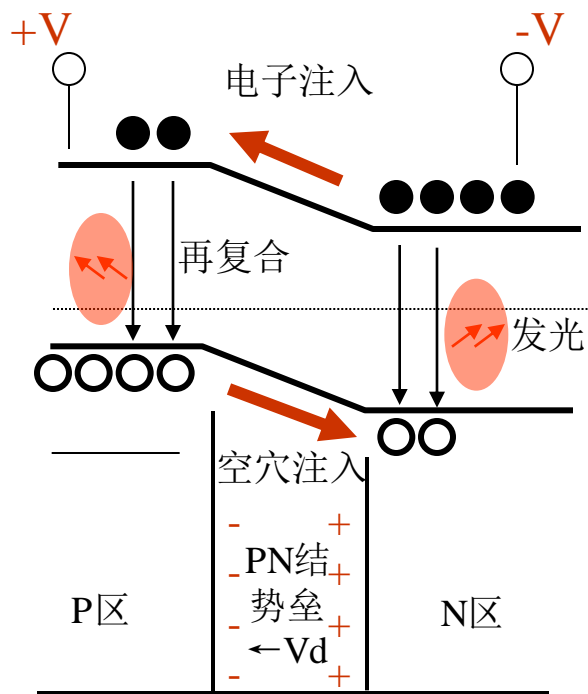
波长=光速 / 频率、光速= $3.0 \times 10^8 \text{m/sec}$



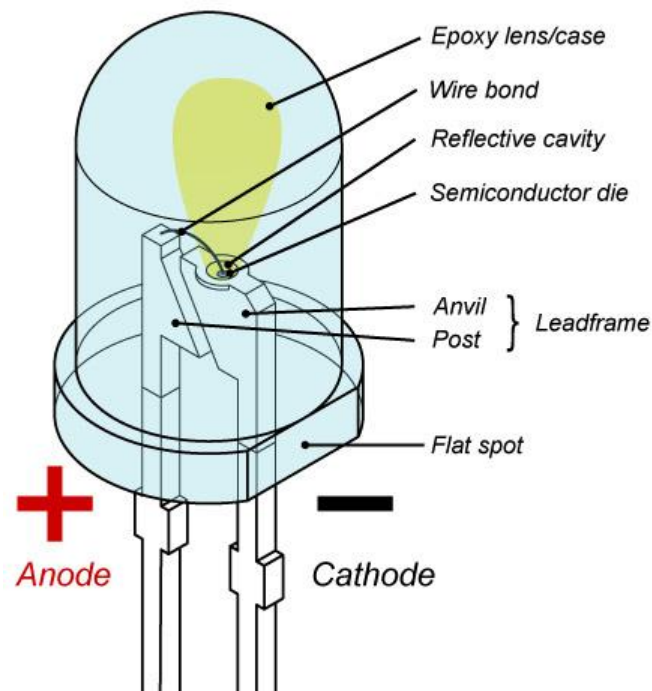
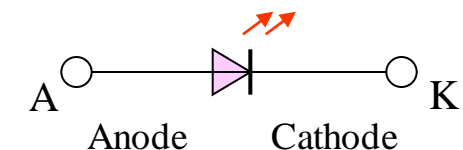
# 发光二极管(LED)

- LED : Light Emitting Diode  
半导体PN结、电能转光能
- 发光原理:  
加正向电压, 降低PN结势垒, 注入载流子, 电子和空穴复合放出光子。
- 使用方法:  
电流驱动器件, 注意电流允许值( $<40\text{mA}$ )! 导通电压( $1\text{V}$ 左右)!  
— 求串联电阻值! 注意电流方向! 击穿电压!  
正向额定电流下直流连续驱动可;  
发射额定值以上强光需脉冲电流。
- 发光特性:
  1. 发光强度与正向电流成线性关系, 与观察角度有关;
  2. 发光波段窄, 并依半导体材料段带也不同;
  3. 通常有可见光LED和红外光LED(遥控器上)、  
蓝光LED、白光LED、高发光强度LED的研究...  
(砷化镓-红光, 磷化镓-绿光, 氮化镓-蓝光)

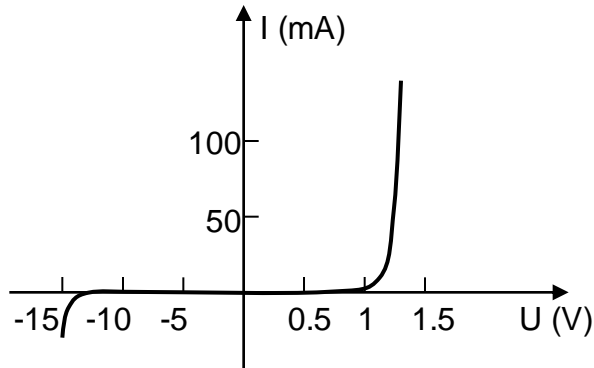
# 发光二极管(LED)：原理、符号、外形



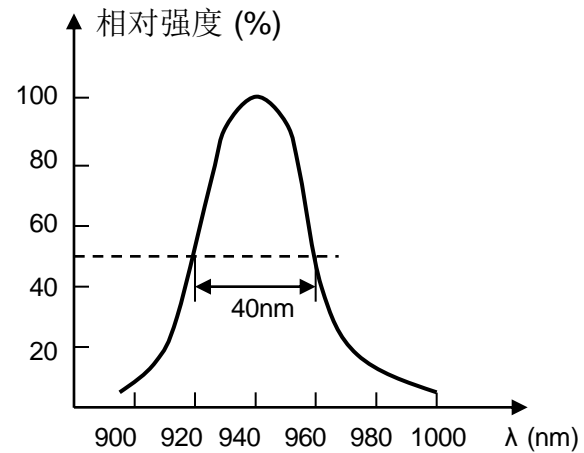
载流子注入 → 复合释放能量 → 发光



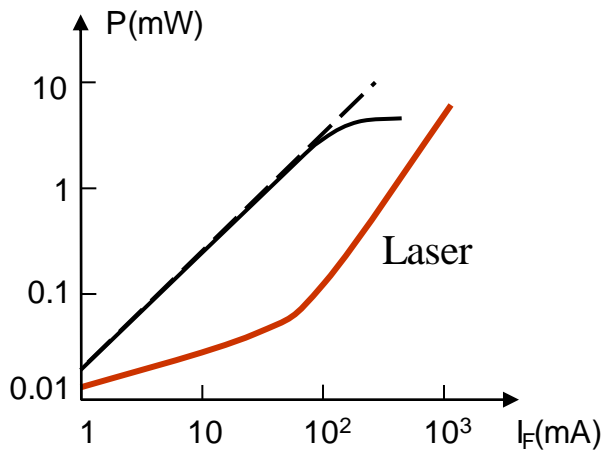
# 发光二极管(LED)：特性曲线



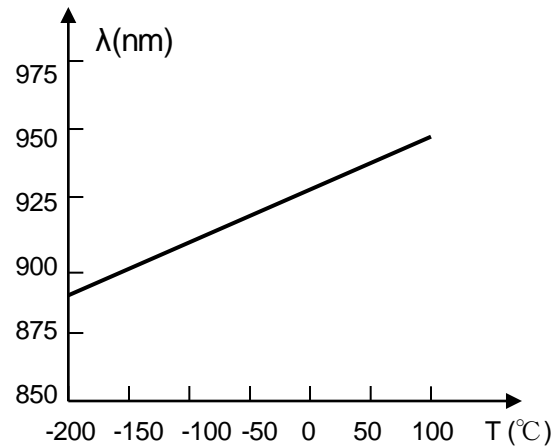
反向耐压 $>5V$ ; 正向压降 $1.2V$



半峰高带宽 $40nm$ 、近红外光



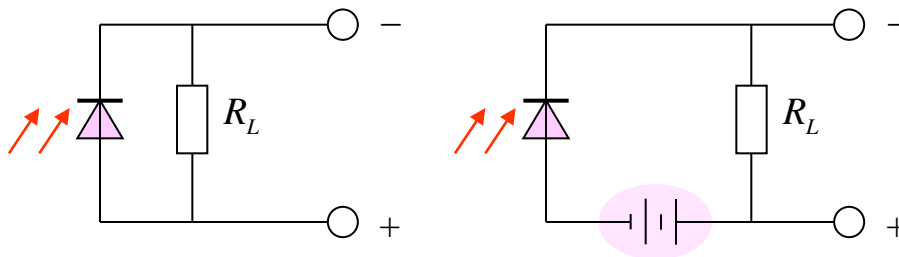
光输出功率正比于电流



温度高一  $\lambda$  长波、功率下降

# 光敏二极管(Photo Diode)

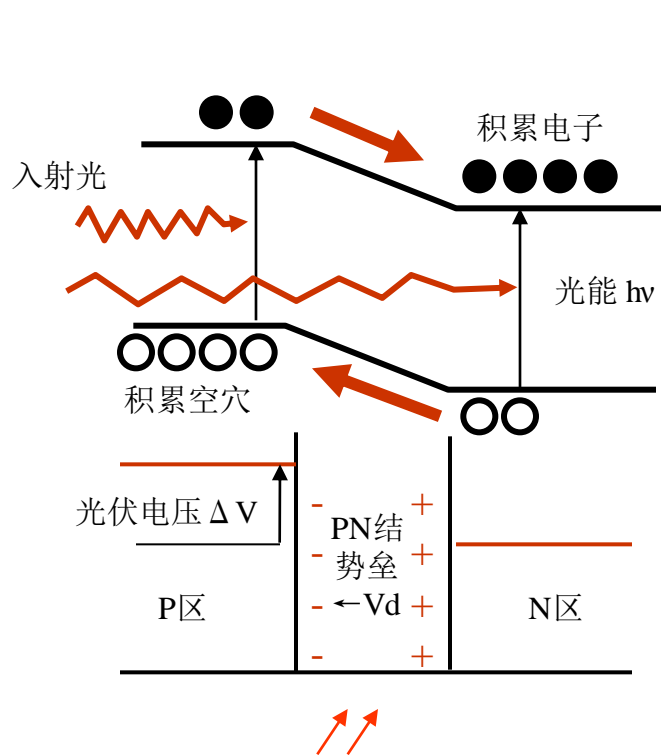
- 光伏特原理：
  - 光照 —> 电子跃进导带 —> PN结内电场作用
  - > 电子流向N区、空穴积累在P区
  - > 光电动势、**开放电压**；  
光电流、**短路电流**
- PN结应离光照表面较近
- 不加偏压与**加反向偏压**：



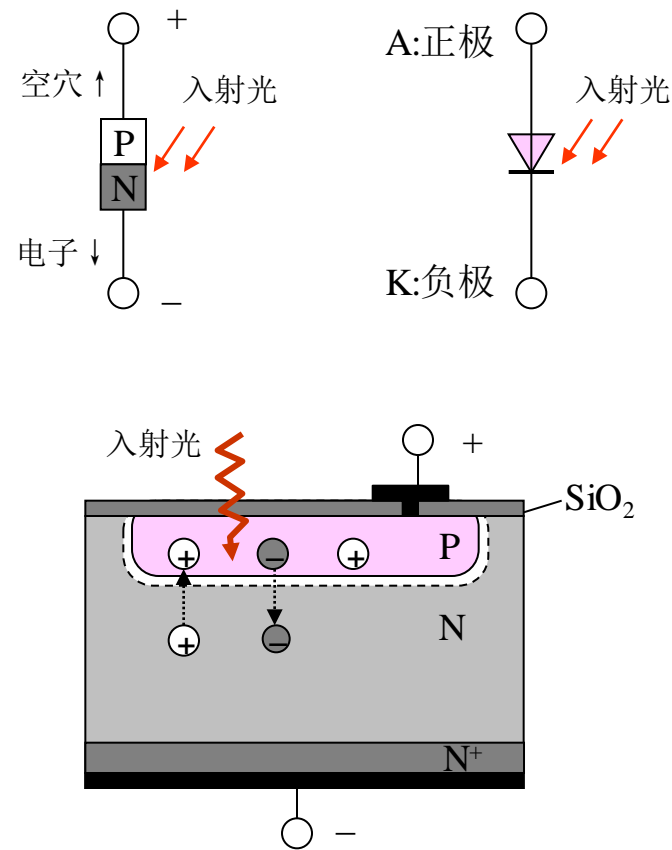
PN结容量减小，响应变快；光电流增大；**暗电流**也大；  
光电流只与光照度有关(不受负载电阻的影响)

- PD的光电流很弱需放大，但光电响应快。

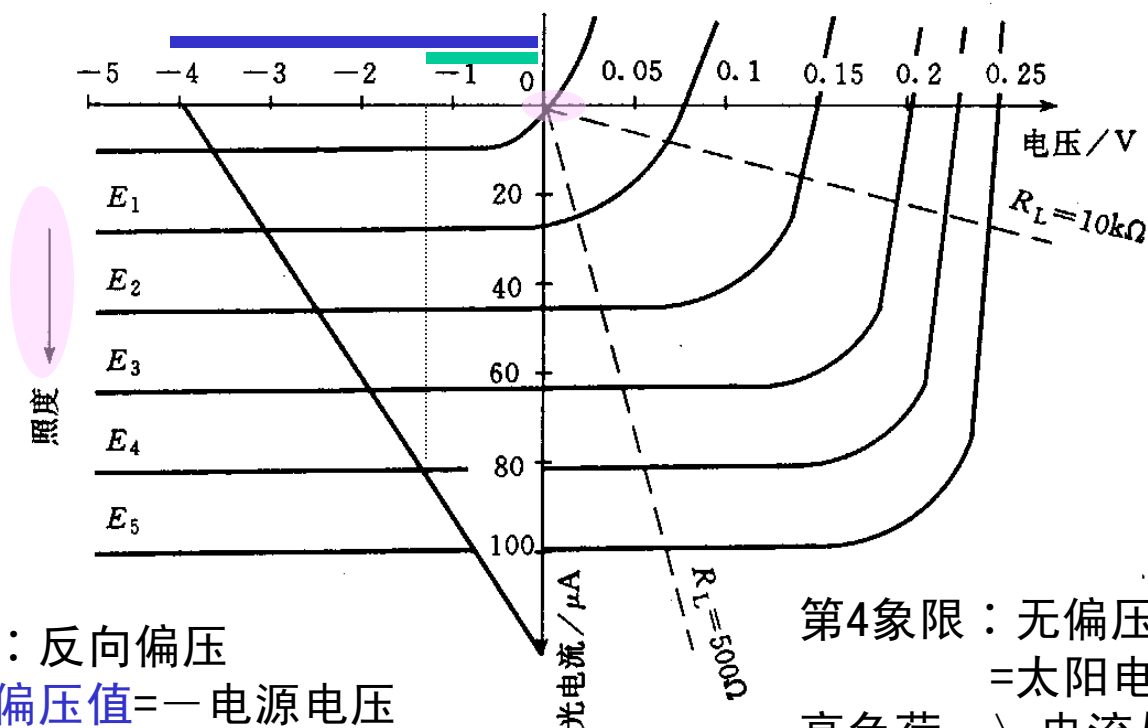
# 光敏二极管 (PhotoDiode) : 原理、符号、外形



光能转电能  
PN结上的光伏特效应



# 光敏二极管 (PD) : 特性曲线



第3象限：反向偏压

$I=0$  — 偏压值 = - 电源电压

$I \neq 0$  — 偏压值 = - 电源电压 +  $IR$

第4象限：无偏压

= 太阳能电池工作原理

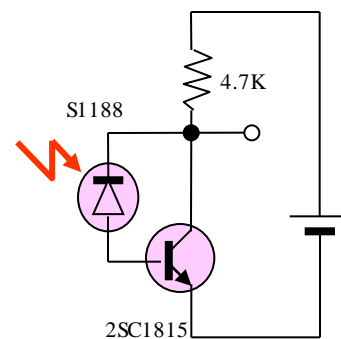
高负荷 — 电流与光照成对数

低负荷 — 线性关系

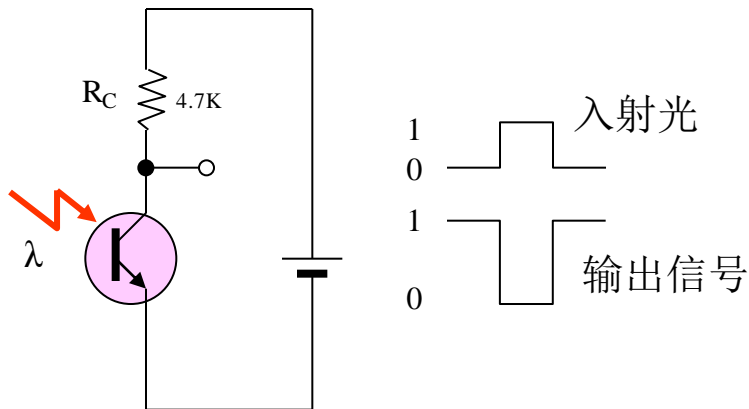
**\*光电流不受偏压值的影响, 只与照度有关**

# 光敏三极管 (PhotoTransistor)

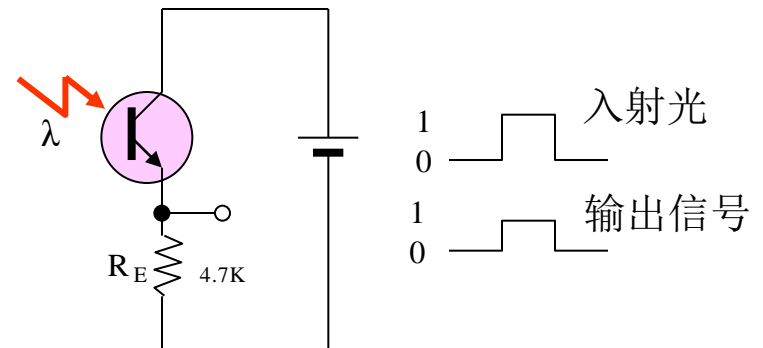
- 光敏三极管 (PT)：光敏二极管 + 普通三极管
- 光电流倍增，响应变慢，**暗电流也倍增**
- 负载阻抗越大响应越慢；
- 暗电流随环境温度升高而增大，— 温度补偿 IC
- 电路：集电极输出式（反相位，输出大）、  
发射极输出式（正相，输出小）
- 应用：脉冲光检测



# 光敏三极管 (PhotoTransistor) : 基本电路



集电极输出：  
反相位，  
输出大，  
用于电压输出、  
脉冲光照射。

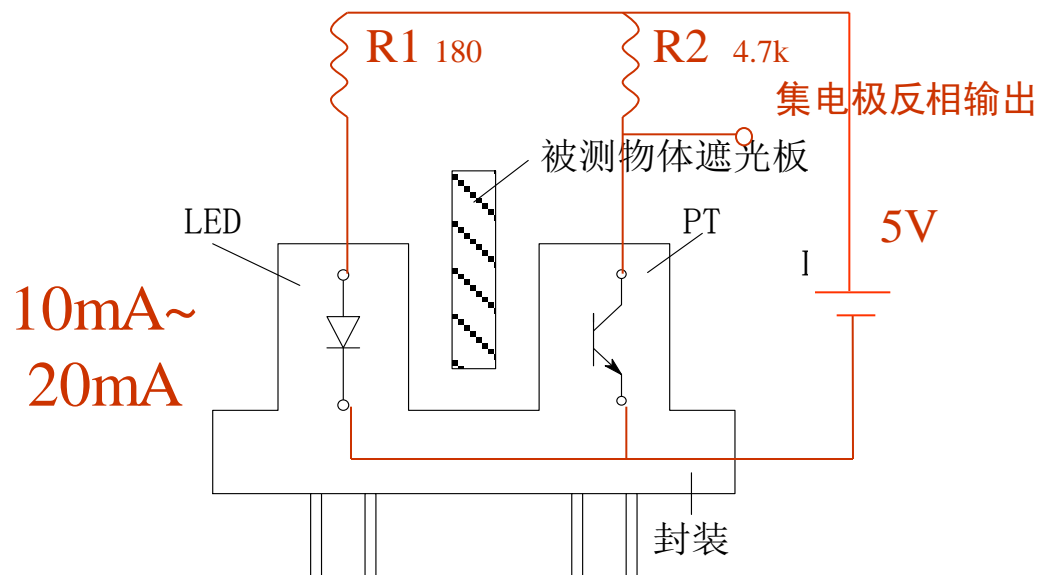


发射极输出：  
正相，  
输出小，  
用于电流输出、  
连续光照射。

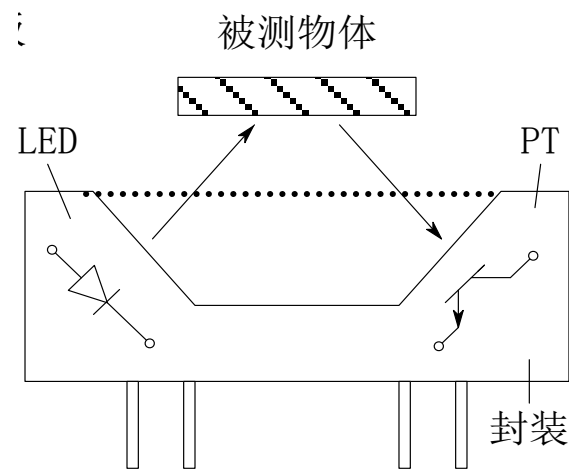
频率特性: 负载阻抗越大响应越慢。



# 光电耦合器 (Photo Coupler)



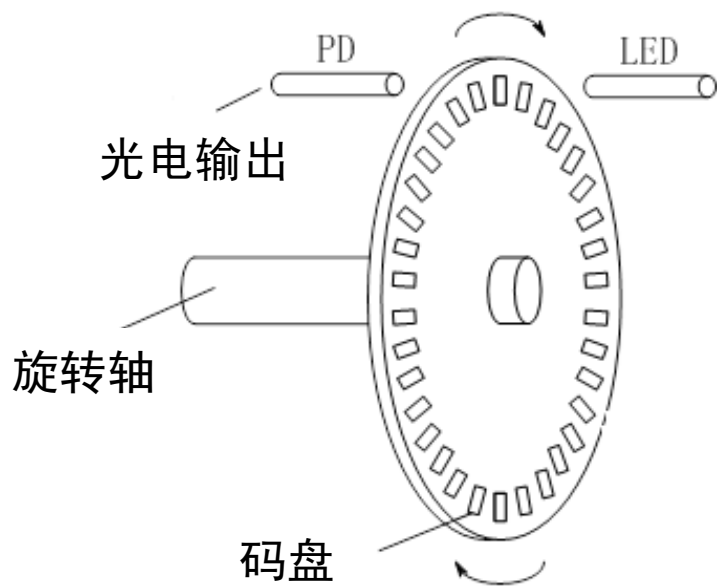
(a) 透射型



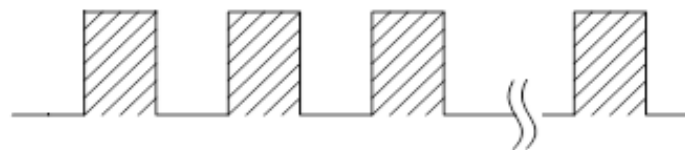
(b) 反射型

# 透射型光耦和码盘检测转角

## —脉冲输出

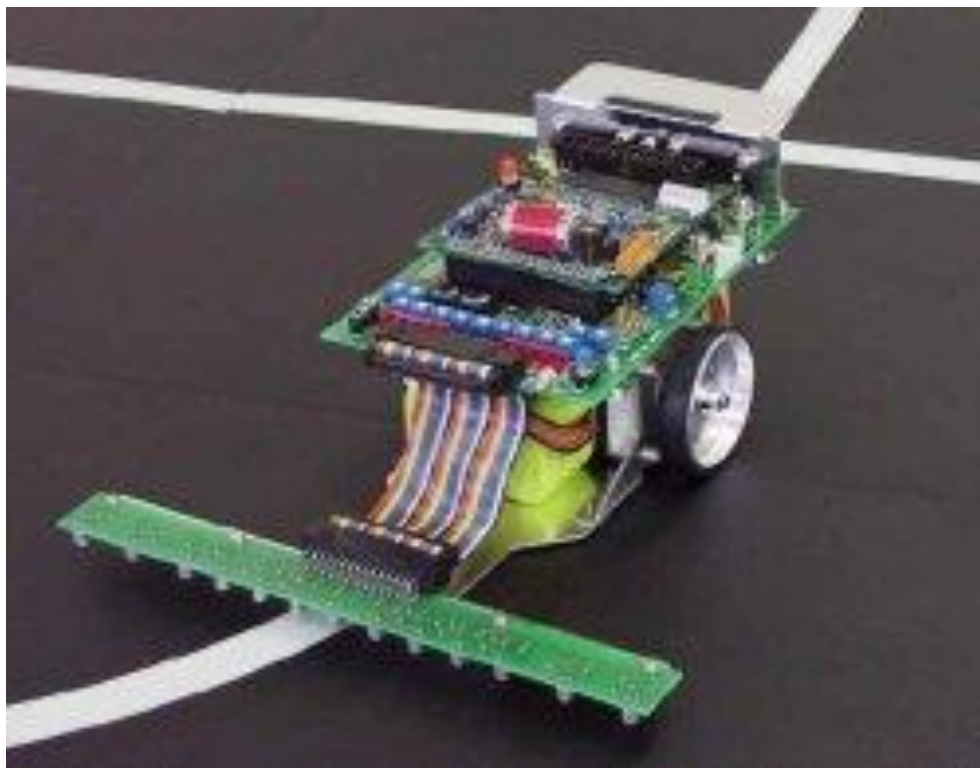


(a) 转角增量码盘



(b) 光电输出信号的波形

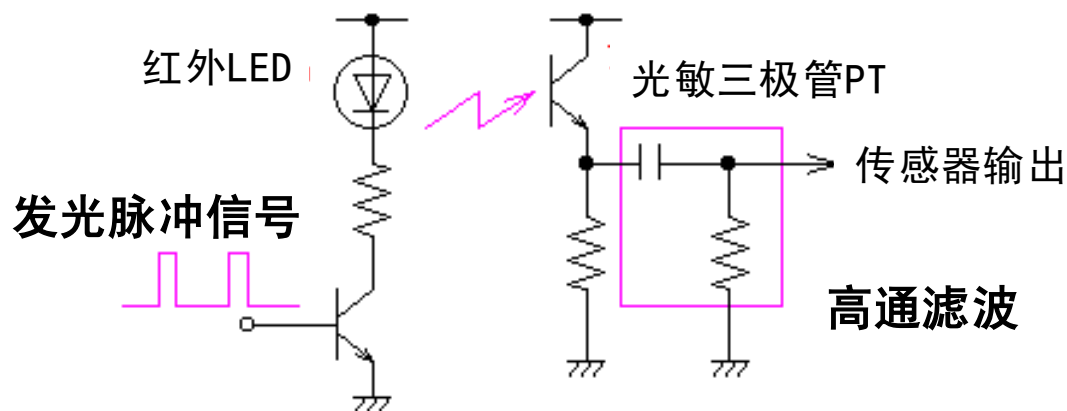
# 反射型光耦检测黑线



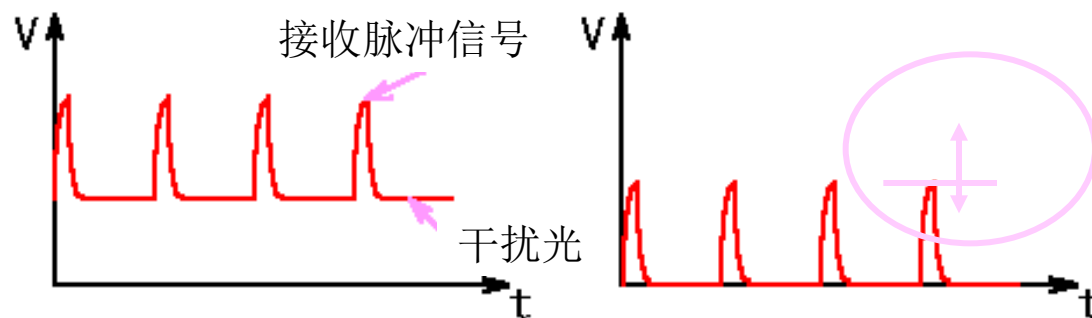
黑白地面：  
光反射系数不同；  
反射型光电耦合器；  
传感器阵列。

# 光电传感器抗干扰措施

## ——发射和接收信号的调制解调

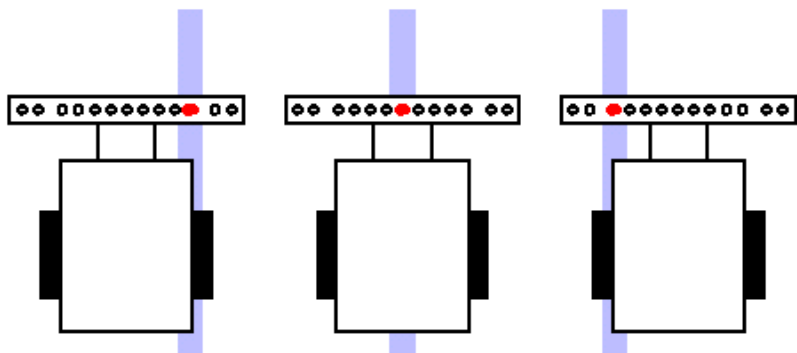


光干扰：  
—照明光；  
—地面反光；  
—闪光灯；  
.....



信号水平高/低  
=》光反射强/弱  
=》地板白/黑  
=》距离近/远  
=》入射光强/弱

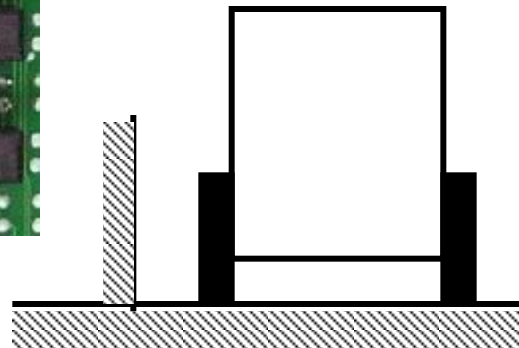
# (红外LED, PT) 阵列传感器



黑线偏置检测



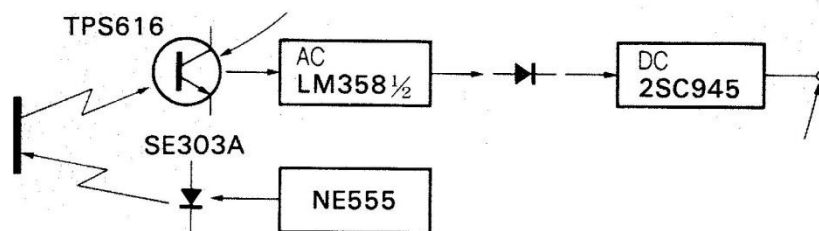
障碍高度检测



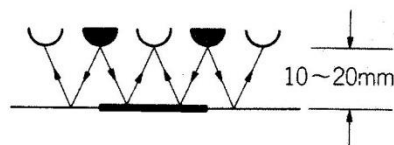
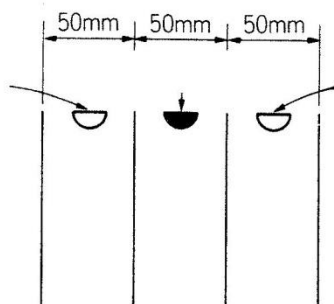
# 反射型光耦的设计及安装的要点

- 焦距（最大灵敏度，几个mm）
- 焦点深度（浅，需要精密安装），  
（机械振动或地面不平整对输出有影响）
- 在到达反射面距离相同的条件下，反射光强代表反射系数。
- 可见照明光中有红外光，需要有遮挡或抗干扰措施。
- 红外灯无法视觉确认其工作，采用指示灯。
- 筛选特性一致的传感器，或依靠可变电阻进行调整。
- 白纸和浅色地板：反射系数不同，留出可调余地。
- 给定工作条件下，明和暗的区别，差值重要。
- 设置传感器和电机的电源开关，分别调试。

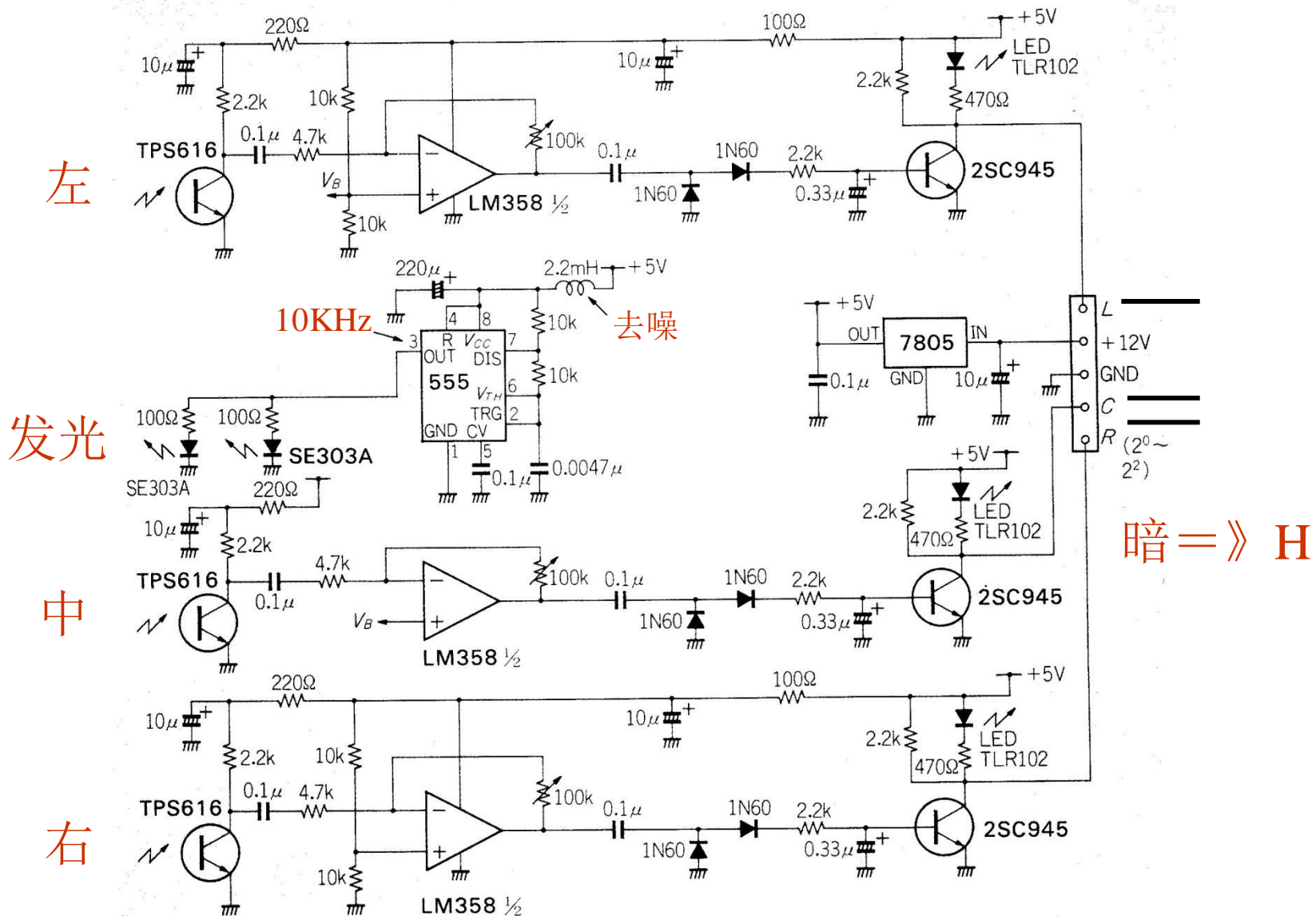
# 左中右式路面反射光检测（例）



用离散器件搭建：  
LED发光管  
光敏三极管



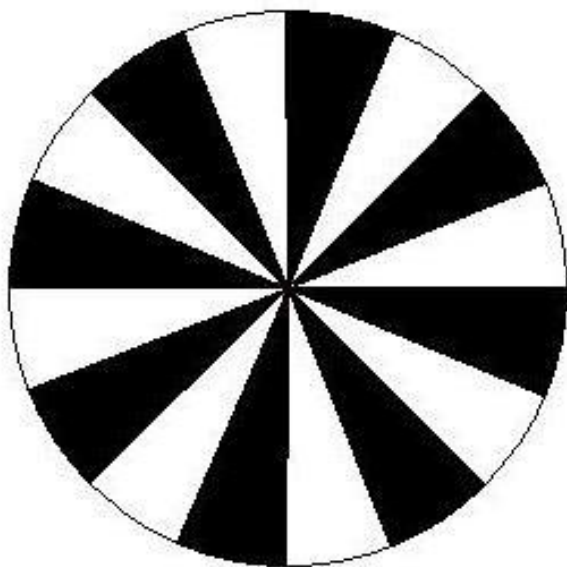
# 左中右式反射光检测电路（例）





# 转角和转速控制

## ——自制码盘



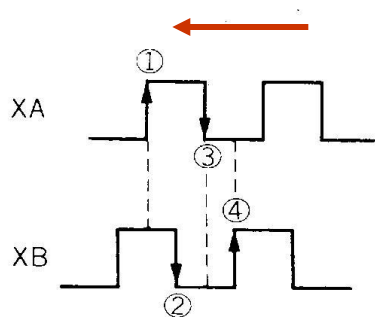
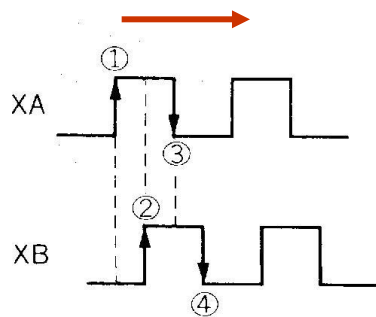
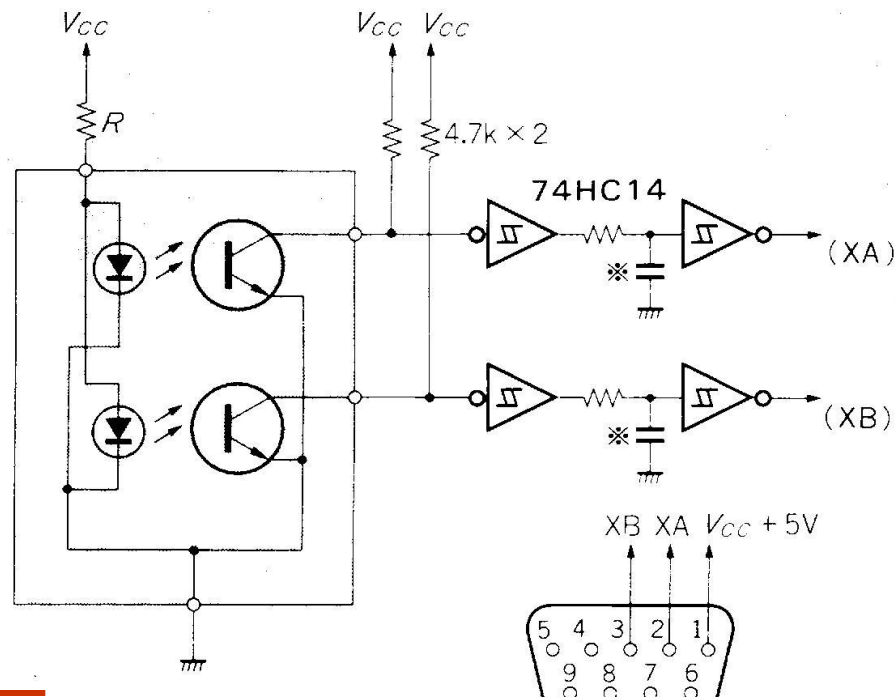
透明胶片上印刷：  
——》透射型光耦

白纸上印刷：  
——》反射型光耦

淘宝上采购？  
20线

# 码盘、光耦及脉冲输出

## ——光耦输出波形整形（例）



# 为什么需要自制码盘

- 给两个电机同样的PWM驱动，应该跑直线？
- 转弯处“适当”调整左右电机的转速？
- 小车载物等配重变化导致重心变化
- 湿度、灰尘等环境变化导致轮胎摩擦系数变化



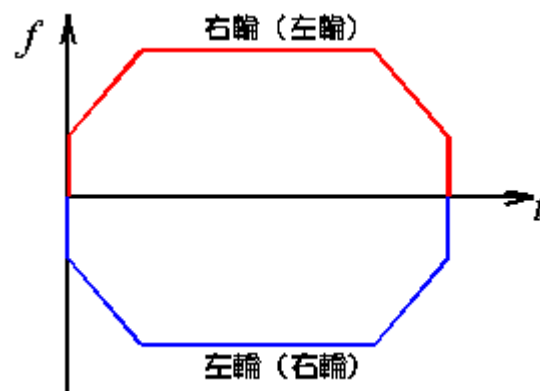
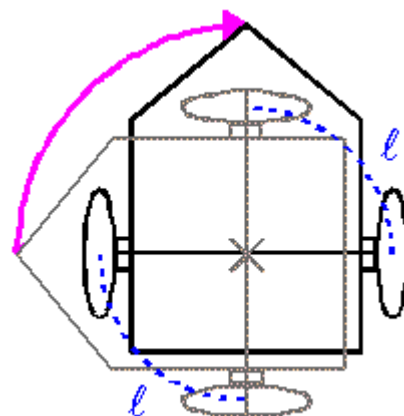
- 跑直线不容易
- 严格90度或180度转弯的调试烦琐

# 转角检测和控制



基本控制模式：

- 直进
- 转弯（90度）
- 旋转（微调）

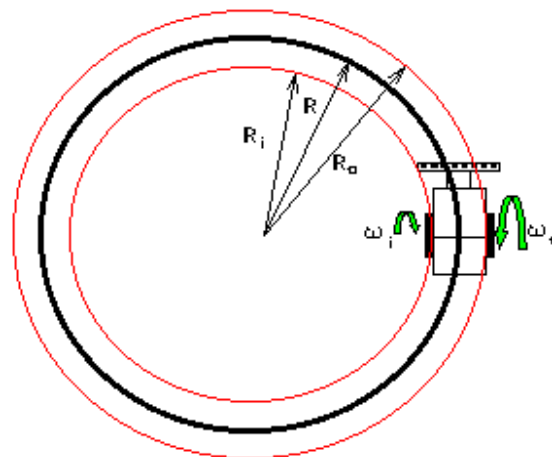


f: PWM的频率

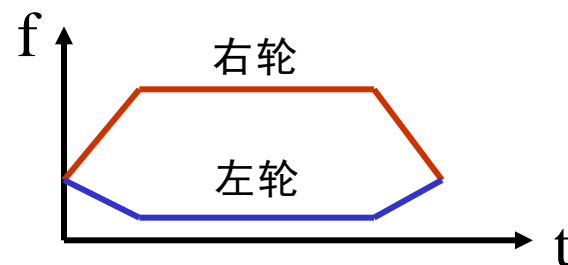
# 转角计算

- 内轮速度  $\omega_i$ , 外轮速度  $\omega_o$

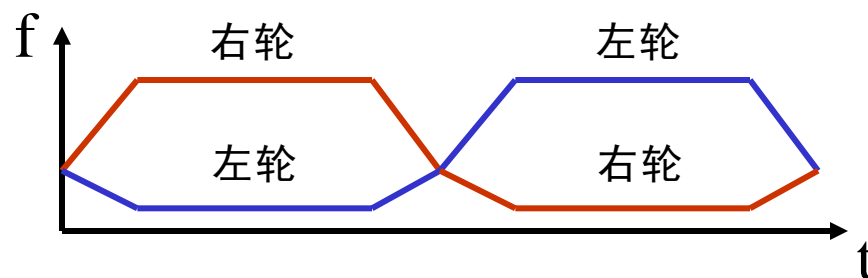
$$\frac{\omega_i}{\omega_o} = \frac{R_i}{R_o}, \quad \frac{\omega_i}{\omega_o} = \frac{R - L/2}{R + L/2}$$



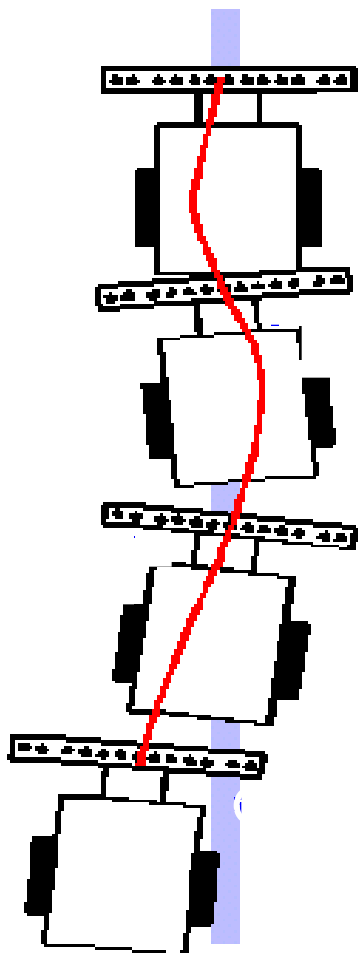
- (加/减速—匀速—加/减速)



- 返回正前方姿态



# 循线控制策略



左偏大	右急转
左偏小	右转
居中	直进
右偏小	左转
右偏大	左急转

直流电机转动量的控制：

- 转动时间 经验调试
- 车轮转角检测 编码器
- 黑线或障碍检测 主动检测
- 指令执行周期影响

# 小车基本动作的测试要点

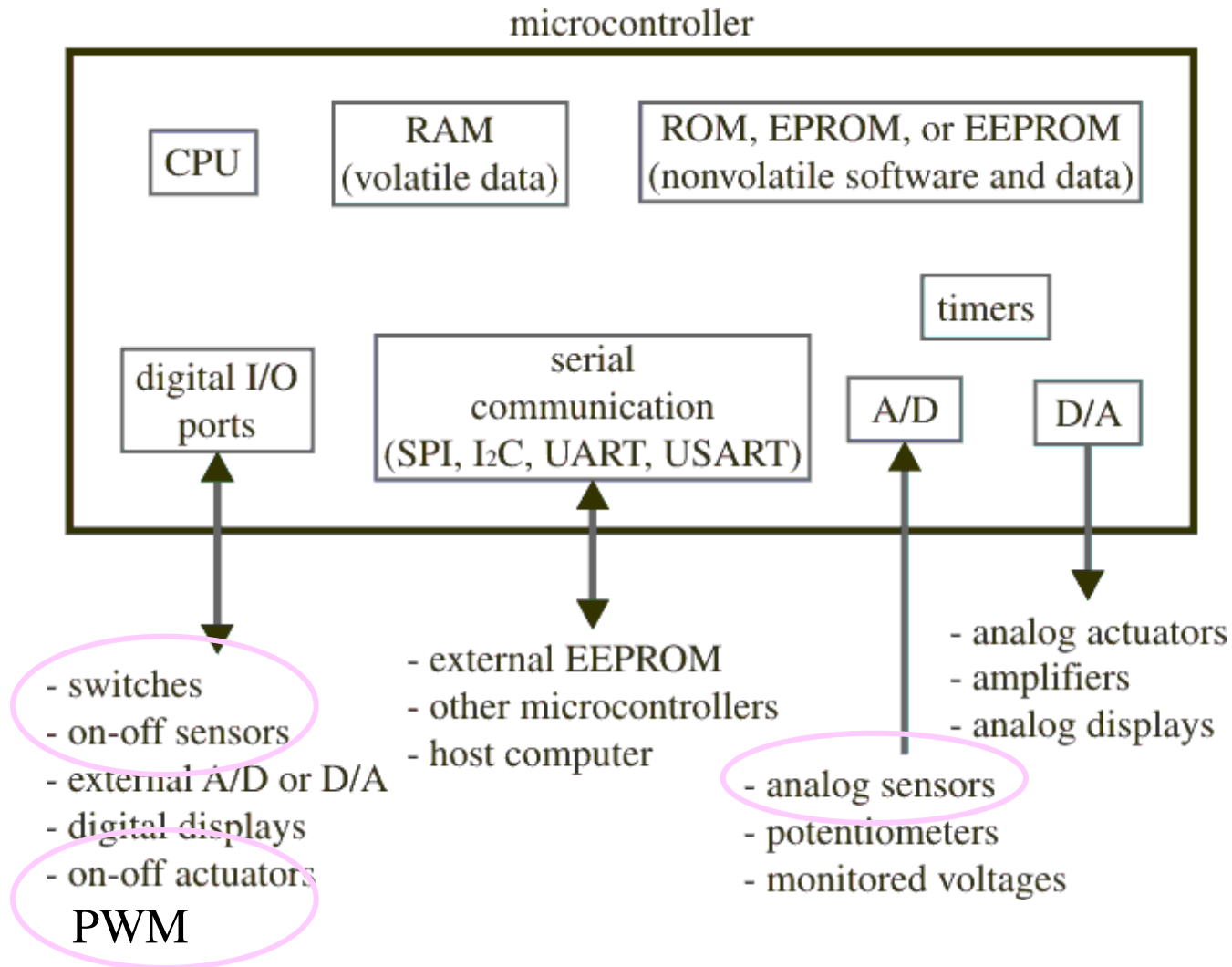
## 直线运动：

- 直进性能和偏差，机械调整；
- 最高速度和最低低速；
- 达到最高速度的快速稳定启动；
- 加速和减速曲线的确定；
- 刹车距离和摩擦性能测试。

## 90度或180度转弯：

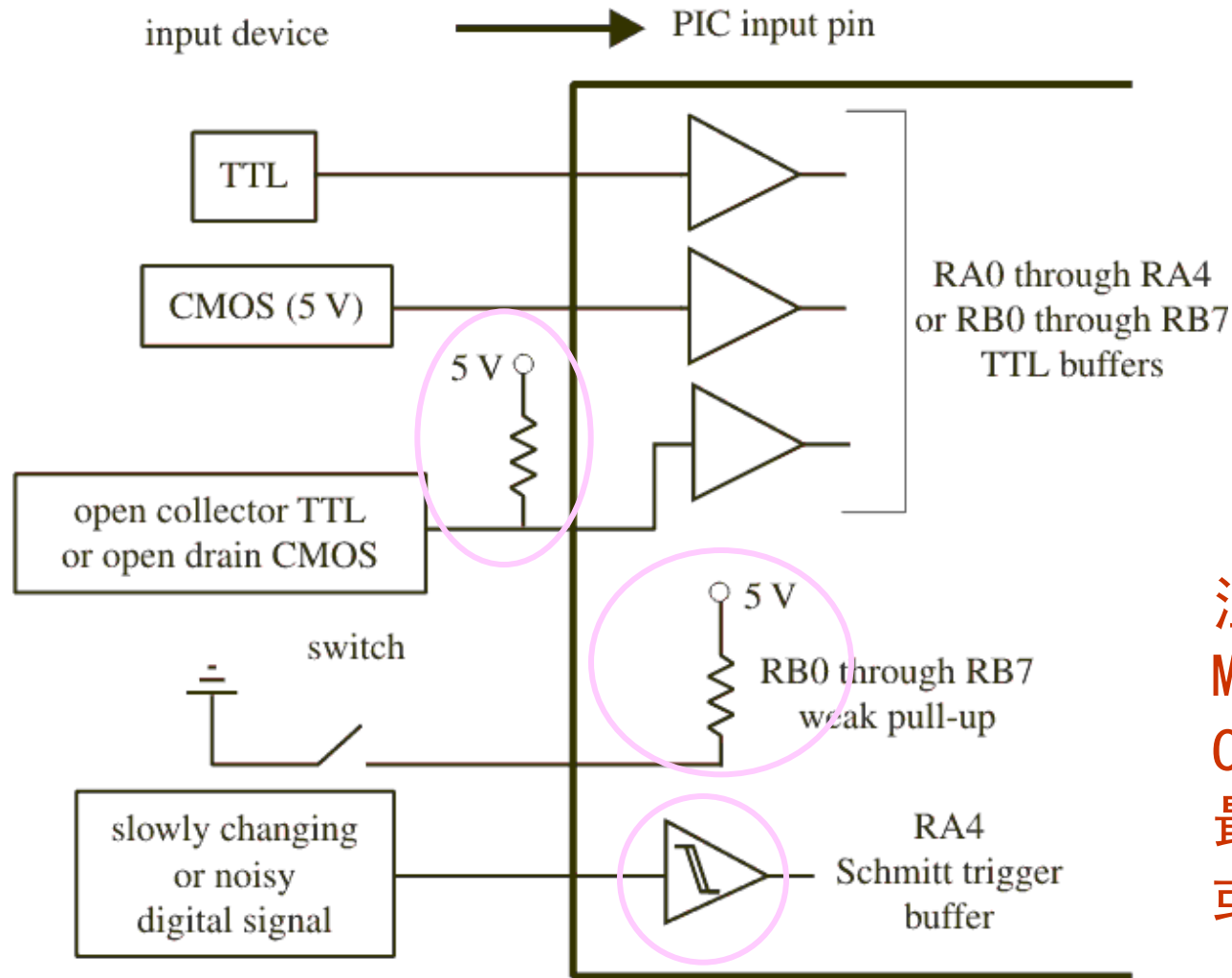
- 到达目标点的判断和减速曲线设置；
- 转动轴线的中点在交叉点或端点等；
- 制动和free的不同。

# MCU的结构及功能





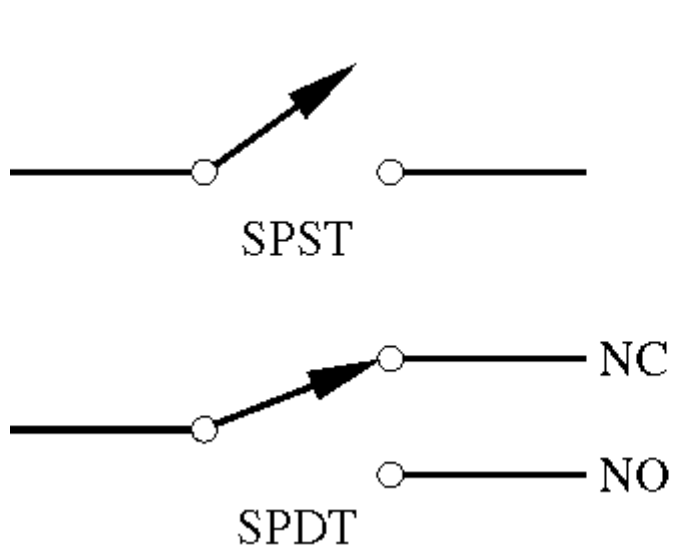
# MCU数字输入设备的连接



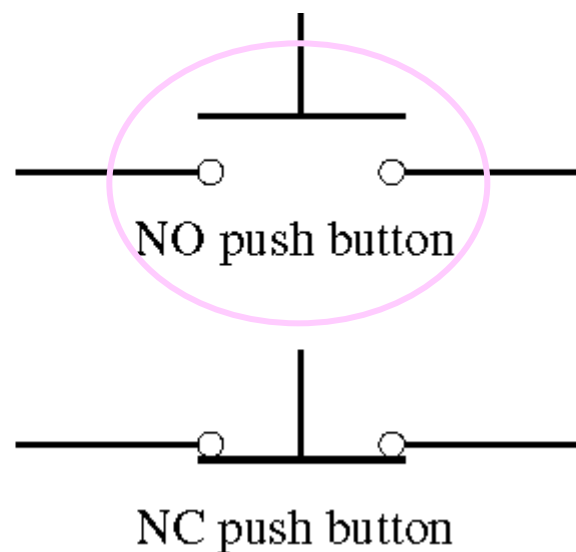
注意：  
MCU引脚或  
CMOS和TTL的  
最大输出  
或吸入电流

# 接触开关

- 避免小车碰撞卡住不动
- 代替测距开关，不故意碰撞破坏

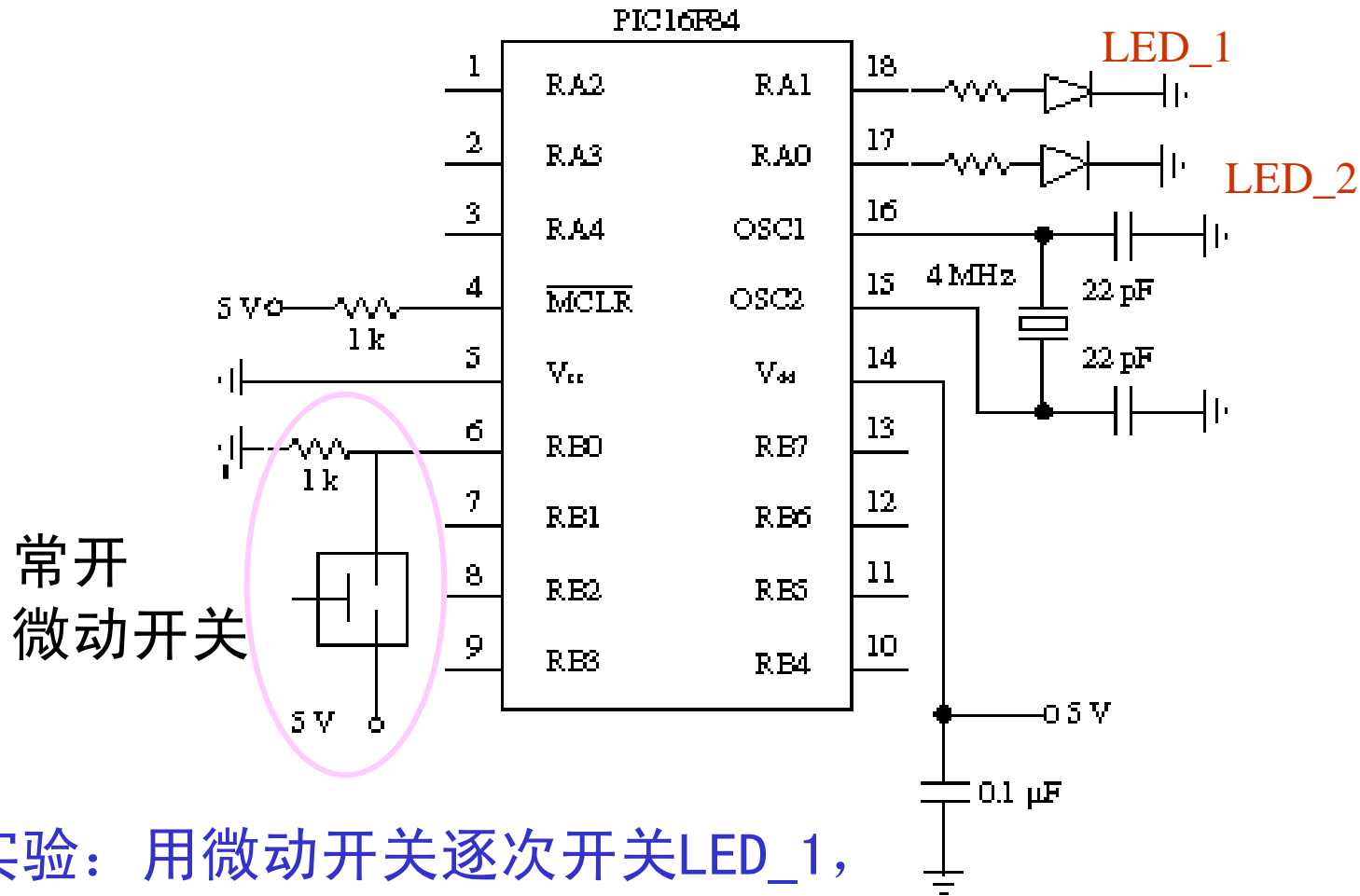


SP: 单刀  
DT: 双掷



NO: 常开  
NC: 常关

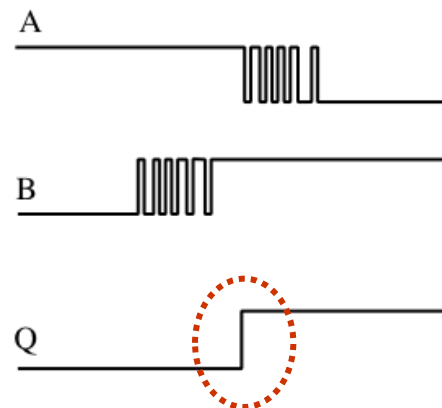
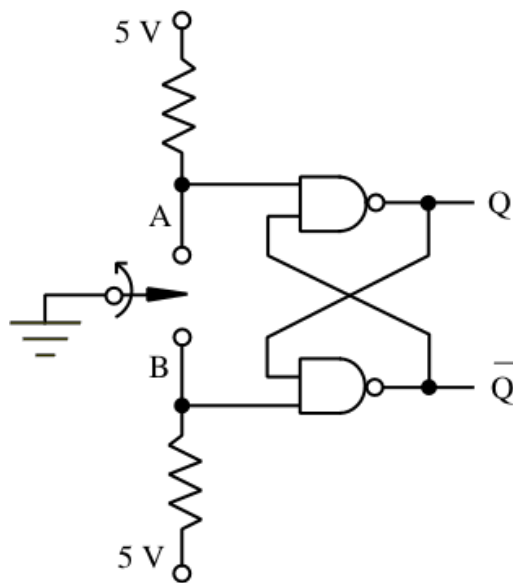
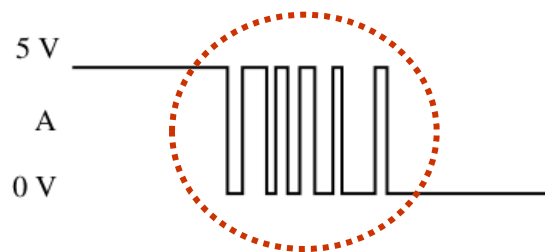
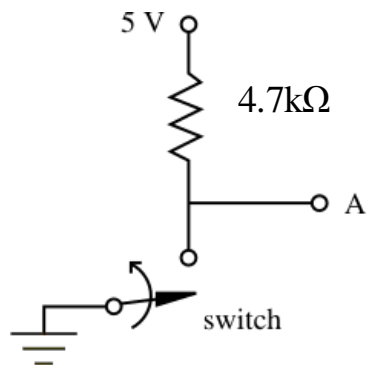
# 微动开关控制LED灯的实验



实验：用微动开关逐次开关LED\_1，  
开关一定次数后，点亮LED\_2

发现：没有开关那些次数，LED\_2就亮了，为什么？

# 开关颤动和去颤动电路



单一转换数字电路

软件除颤方法！？

# 大赛比什么？

- 比主动学习、比创意  
制定策略、目标、方案；  
学习、思考、讨论，展示创意。
- 比技术、比功夫  
模块化设计，全局参数；  
制作调试用模块和测试程序。
- 比好习惯  
进度安排；  
结构图，流程图，沟通记录文档；  
测试结果记录和分析。

*加油！*