

14.3 综合练习答案

14.3.1 填空

1. 传感器是一种能够感受被测量,并能把外界被测量按一定规律转换成可用输出信号的器件和装置。

2. 构成现代信息技术的三大支柱是传感器、通信、计算机,它们分别起到信息的采集、传输、处理作用。

3. 传感器在机器人系统中可以起到感官作用,如类似于人的听觉、视觉、嗅觉、味觉、触觉。

4. 传感器的静态特性指标主要有线性度、重复性、灵敏度、迟滞等,而影响动态特性指标的主要参数是时间常数、阻尼系数、固有频率。

5. 传感器最小检测量越小,则表示传感器分辨力越高。

6. 红外传感器主要有热电型、光量子型两大类型。其中热释电元件通过光→热→电的两次转换过程实现红外检测。

7. 交通警察进行酒后驾车检测时,一般通过检测酒精(乙醇)含量,检测系统通常采用气敏传感器实现定量检测。

8. 红外光敏二极管只能接收红外光信号,对可见光没有响应。

9. 金属应变片工作原理是利用金属应变效应;半导体应变片工作原理是利用半导体材料的压阻效应。二者灵敏度系数主要区别是:金属应变片的电阻变化主要由几何形状变化引起的,半导体应变片的电阻变化主要由电阻率变化引起的。

10. 电容式传感器,变极距型多用于检测小位移,变面积型主要用于检测大位移或角位移,变介电常数型可用于检测介质厚度(物位、液位)等参数。

11. 块状金属导体置于变化的磁场中或在磁场中作切割磁力线运动时,导体内部会产生一圈圈闭合的电流,利用该原理制作的传感器称电涡流传感器。当被测材料的物体靠近它时,利用线圈的阻抗变化进行非电量检测。

12. 把一导体(或半导体)两端通以控制电流 I ,在电流垂直方向施加磁场 B ,在另外两侧会产生一个与控制电流和磁场成比例的电动势,这种现象称霍尔效应;利用这一效应的制作的元件一般可用于检测电流、磁场。

13. 磁敏电阻基于磁阻效应;磁敏二极管是利用导体中载流子在磁场中运动时受到洛伦兹力作用使电阻增加的原理制成。

14. 压电元件的工作原理是利用压电效应;目前使用的压电材料主要有:石英晶体、压电陶瓷、聚偏氟乙烯高分子材料。

15. 超声波传感器的发射与接收换能器是利用压电效应,其中超声波发射换能器是将电能转换为机械能,它是利用压电材料的逆压电效应。

16. 半导体材料在光线作用下,入射光强改变物质导电率的现象称光电导效应,基于这种效应的器件有光敏电阻;半导体材料吸收光能后在P-N结上产生电动势的效应称光生伏特效应效应,基于这种效应的器件有光敏晶体管、光电池。

17. 核辐射传感器是利用放射性同位素的原子核在没有外力作用下,自动的发生衰变过程中释放出 α 、 β 、 γ 三种射线,核辐射传感器是通过核辐射与物质间的 电离、吸收、散射 的相互作用进行测量的。

18. 热电偶温度传感器是由两种不同金属导体连在一起构成闭合回路,如果两端温度(T 、 T_0)不同时回路中会产生电动势,这种物理现象称 热电 效应;由热电效应原理可知,总的热电势是由 两种导体的接触电势 和 单一导体的温差电势 两个部分组成。据此能够产生热电势的两个必要条件是 热电偶必须用不同材料做电极, 在 T 、 T_0 两端必须有温度梯度。

19. 视频手机上可用于图像采集的传感器是由 CCD 器件完成的,图像的分辨率与器件的 像素 有关。

20. 两个电子秤,电压输出灵敏度分别为 1mV/g 、 0.5mV/g ,其中 0.5mV/g 的灵敏度高。

14.3.2 选择填空

1. 选择以下传感器填入空内(每空填两项,可重复填写)

电阻应变片;磁敏电阻;霍尔传感器;气敏传感器;压电传感器;电容传感器;热释电器件;热敏电阻;光纤传感器;磁敏晶体管;电动式磁电传感器;光电二极管;差动变压器;红外传感器;色敏传感器;电涡流传感器;超声波传感器;光电开关;核辐射探测器;压阻式传感器;光电池;热电偶;CCD 电荷耦合器件;集成温度传感器。

1) 选择合适小位移测量的传感器: 光纤传感器; 电涡流传感器;

2) 便于检测机械振动或加速度的传感器: 电动式磁电传感器; 压电传感器;

3) 可用于磁场检测的传感器: 磁敏晶体管; 霍尔传感器;

4) 适用于家用电器的温度检测传感器: 集成温度传感器; 热敏电阻;

5) 可以实现图像采集的器件、可以完成光强检测的传感器分别有: CCD 电荷耦合器件、光电池;

6) 图 14-28 为自动生产线上的金属瓶盖和标签有无检测,请合理选择可应用于该生产线的传感器:

瓶盖 光电开关; 标签 光纤传感器。

2. 选择填空

(1) 负温度系数热敏电阻也称为 B 热敏电阻,在常温下其阻值随温度上升而 D。

A. PTC

B. NTC

C. 增大

D. 减小

(2) 硅光电池的结构类似一只半导体 A,属于 C 器件。

A. 二极管

B. 三极管

C. 有源

D. 无源

(3) 热释电元件属于 A 红外线传感器,它可检测红外线的 C 波长。

A. 热电型

B. 光量子型

C. 全波段

D. 有限段

(4) 通常我们用绝对湿度、相对湿度和露点温度表示环境中的水蒸气含量,其中相对湿度表示为 A,量纲为 C。

A. RH%

B. A_H

C. 无

D. g/m^3

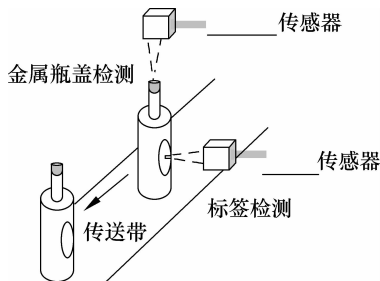
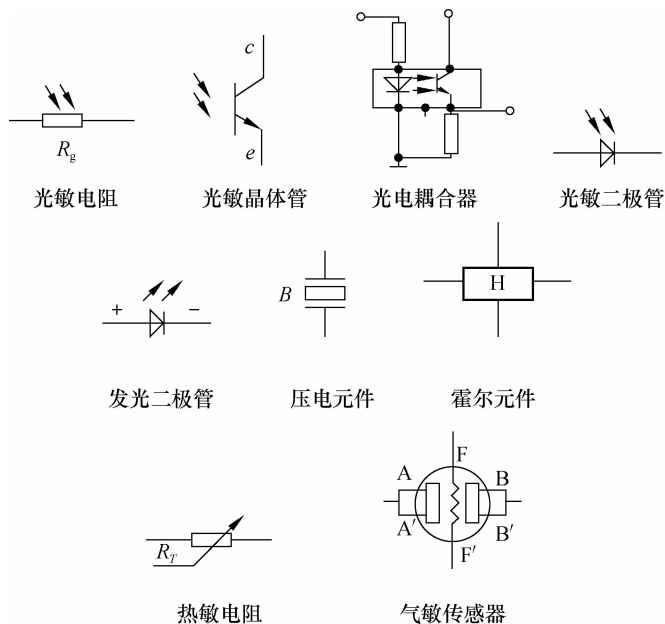


图 14-28 瓶装自动检测示意图

3. 画出下列传感器的电路图形符号

光敏电阻；光敏晶体管；光电耦合器；光敏二极管；发光二极管；压电元件；霍尔元件；热敏电阻；气敏传感器。



14.3.3 分析与计算

1. 图 14-29a 所示悬臂梁，距梁端部为 L 位置上下各粘贴完全相同的电阻应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 。已知电源电压 $U=4\text{V}$ ， R 是固定电阻，并且 $R=R_1=R_2=R_3=R_4=250\Omega$ ，当有一个力 F 作用时，应变片电阻变化量为 $\Delta R=2.5\Omega$ ，请分别求出图 14-29b、c、d、e 四种桥臂接法的桥路输出电压 U_0 。

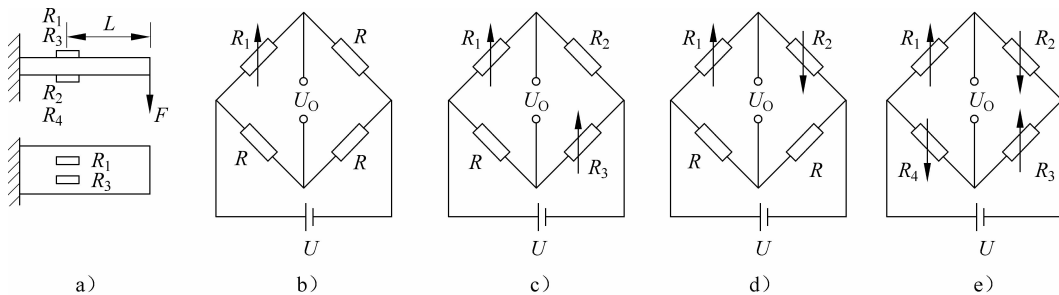


图 14-29 悬臂梁及电路结构

【解】已知电源电压 $U=4\text{V}$ ；臂接电阻和固定电阻 $R=R_1=R_2=R_3=R_4=250\Omega$ ， $\Delta R=2.5\Omega$ ；

1) 图 14-29b(按单桥计算)桥路输出电压：

$$U_0 = U/4 (\Delta R_1/R_1) = 4/4 (2.5\Omega/250\Omega) = 0.01\text{V}$$

2) 图 14-29c、d(由半桥计算)，c、d 电路有差别，可近似：

$$U_0 = U/2(\Delta R/R) = 4/2(2.5\Omega/250\Omega) = 0.02V$$

3) 图 14-29e(按全桥计算):

$$U_0 = U(\Delta R/R) = 4(2.5\Omega/250\Omega) = 0.04V$$

2. 有一吊车的拉力传感器如图 14-30 所示, 其中电阻应变片 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 贴在等截面轴上。已知标称阻值 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 120\Omega$, 桥路电压为 $2V$, 物重 M 引起变化增量 $\Delta R = 1.2\Omega$ 。请完成以下内容:

- (1) 画出应变片组成的直流电桥电路, 标出各应变片;
- (2) 计算出测得的电桥输出电压和电桥输出灵敏度;
- (3) 说明 R_3 、 R_4 起到什么作用。

【解】 已知 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 120\Omega$; $E = 2V$; $\Delta R = 1.2\Omega$;

- 1) 直流电桥电路如图 14-30b 所示;
- 2) 电桥输出灵敏度 $K = E/2 = 1V$; 电桥输出 $U_0 = E/2(\Delta R/R) = 2/2(1.2/120) = 0.01V$;
- 3) R_3 、 R_4 可起到温度补偿和减小横向干扰的作用。

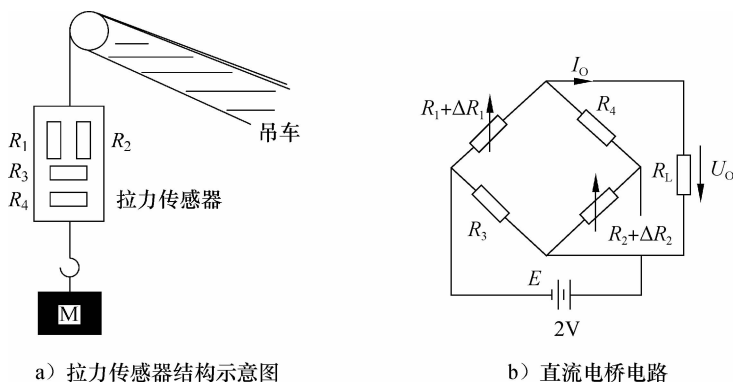


图 14-30 题图及解图

3. 图 14-31a 是电容式差压传感器结构示意图, 金属膜片与两盘构成差动电容 C_1 、 C_2 , 两边压力分别为 P_1 、 P_2 , 当 $P_1 = P_2$ 时, $C_1 = C_2$ 。图 14-31b 为二极管双 T 型电路, 电路中电容器 C_1 、 C_2 分别是图 14-31a 中差动电容 C_1 、 C_2 , 电路中电阻 $R_1 = R_2$, R_L 为负载电阻, E 电源是占空比为 50% 的方波。试分析以下两种情况时电阻 R_L 上的电压。

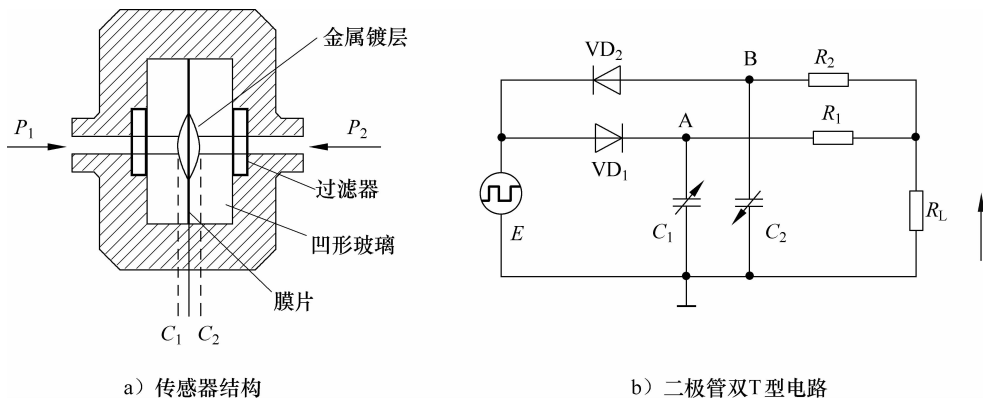


图 14-31 电容式差压传感器

(1) 当两边压力相等($P_1 = P_2$)时, 一个周期内负载电阻 R_L 上的平均电压是多少?

(2) 当压力 $P_1 > P_2$ 时, 写出一个周期内负载电阻 R_L 上的平均电压大小和方向。

【解】 已知当压力 $P_1 = P_2$ 时, $C_1 = C_2$; 电阻 $R_1 = R_2$

1) 根据二极管双 T 型电路输出: $\bar{U}_{RL} = [R(R + 2R_L)/(R + R_L)^2] R_L U_E f(C_1 - C_2)$ 可得, 当压力 $P_1 = P_2$ 时, $C_1 - C_2 = 0$, 一个周期内 $U_{RL} = 0$;

2) 当压力 $P_1 > P_2$ 时; $C_1 < C_2$, 一个周期内负载电阻 $U_{RL} < 0$ 。电流方向如图 14-31b 所示。

4. 参见第 10 章图 10-11 酒精测试仪电路示意图, 图中 LM3914 是 LED 显示驱动器, LM3914 内部有 10 个比较器, 当输入电压增加时, 发光二极管 LED 可以由 $D_1 \rightarrow D_{10}$ 被逐个点亮。请问:

(1) QM-5 是什么传感器? 并说明该器件的导电机理。

(2) QM-5 的 f 、 f' 引脚是传感器的哪个部分? 有什么作用? A、B 两端可等效为哪一种电参量?

(3) 分析电路工作原理, 当酒精浓度增加时, M 点电位如何变化? LM3914 输出端驱动的 LED 发光二极管如何变化?

(4) 调节电路中电位器 R_p 有什么作用?

【答】

1) QM-5 是电阻型气敏传感器。用一句话描述电阻型气敏传感器导电机理就是: 利用半导体表面因吸附气体引起半导体元件电阻值变化, 根据这一特性, 从阻值的变化检测出气体的种类和浓度。

2) QM-5 的 f 、 f' 引脚是传感器的加热丝, 电阻型气敏传感器加热的目的有两个方面的因素, 一是为了加速气体吸附和上述的氧化还原反应, 提高灵敏度和响应速度; 二是使附着在传感器元件壳面上的油雾、尘埃烧掉。A、B 两端可等效为电阻参量。

3) 当酒精浓度增加时, 因为氧化还原反应 A、B 两端电阻减小, 电流增加 M 点电位升高。LM3914 输入端电压值增大, 使 LM3914 输出端驱动的 LED 发光二极管点亮个数增加。

4) 调节电阻器 R_p 可调节 LM3914 输入端电压的阈值范围或测量系统满度值。

5. 用镍铬—镍硅 K 型热电偶测量加热炉温度。已知冷端温度 $T_0 = 30^\circ\text{C}$, 测得热电势 $E_{AB}(T, T_0)$ 为 33.29mV, 求加热炉温度 T 为多少摄氏度?

【解】 查镍铬—镍硅 K 型热电偶分度表得: $E_{AB}(T_0, 0) = E_{AB}(30^\circ\text{C}, 0) = 1.203\text{mV}$;

由中间温度定律可求得: $E_{AB}(T, 0) = 33.29\text{mV} + 1.203\text{mV} = 34.493\text{mV}$;

查出 K 型热电偶分度表在 34.493mV 的温度值为 $T = 829.5^\circ\text{C}$, 即加热炉温温度。

6. 图 14-32 是一温度控制电路, LM311 为比较器, VT 为达林顿晶体管。识别器件分析电路, 请回答下列问题:

(1) AD590 是什么器件? 以什么形式输出?

(2) 当温度 T 下降时 AD590 输出如何变化,

VT 如何变化, 使加热器状态如何变化?

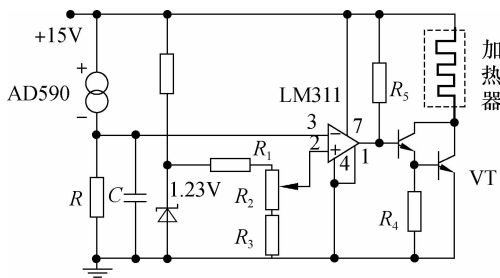


图 14-32 温度控制电路

(3) 调节 R_2 可以起到什么作用?

【答】

1) AD590 是集成温度传感器, AD590 是典型的电流输出型温度传感器, 以电流形式输出, 输出灵敏度为 $1\mu\text{A}/\text{K}$ 。

2) 当温度 T 下降时 AD590 输出电流减小, 电阻 R 上电压下降, 比较器 LM311 输入端 (反相端 3) 电压降低, 当输入端电压减小到比较电压下限时, 比较器 LM311 翻转输出变高, 达林顿管 VT 导通, 加热器工作, 所控制的环境温度升高。

3) 调节 R_2 可以改变输入信号的阈值大小, 从而调节所控温度的范围。

14.3.4 简述题

1. 国家标准 GB 对“传感器”的定义是什么? 说明该定义表征了传感器的哪三种含义?

【答】

1) 国家标准 GB 对“传感器”的定义是: 能够感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件和装置。

2) 定义表征传感器有这样三种含义: 它是由敏感元件和转换元件构成的一种检测装置; 能按一定规律将被测量转换成电信号输出; 传感器的输出与输入之间存在确定的关系。按使用的场合不同, 传感器又称为变换器、换能器、探测器。

2. 传感器的性能参数反映了传感器的什么关系? 静态特性参数中线性度描述了传感器的什么特征? 动态特性参数分别讨论了一阶系统、二阶系统的哪些响应特性? 传递函数的定义是什么?

【答】

1) 描述传感器静态特性的主要指标包括: 线性度、迟滞、重复性、阈值、灵敏度、稳定性、噪声、漂移等。线性度 γ_L 是表征实际特性与拟合直线不吻合的参数。

2) 传感器的动态特性讨论了一阶系统、二阶系统的频域(频率)和时域(瞬态阶跃)响应特性。一阶传感器系统的动态响应主要取决于时间常数 τ , τ 越小越好, 减少时间常数 τ 可改善传感器频率特性。二阶传感器对阶跃信号响应和频率响应特性的好坏很大程度取决于阻尼比 ξ 和传感器的固有频率 ω_n 。

3. 图 14-33 为螺线管式差动变压器等效电路结构示意图, 请分析并回答下列问题:

(1) 铁心 T 处于线圈中间位置时, 次级线圈输出电压为最小值 0, 当铁心向下移动时, 输出电压的大小和极性如何变化? 并画出差动变压器的输出特性曲线示意图。

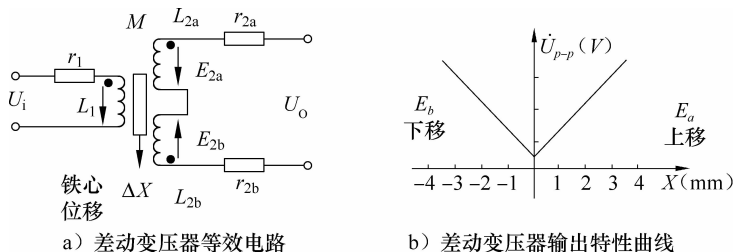


图 14-33 差动变压器等效电路及输出特性曲线

(2) 当衔铁位于中心位置时,理论上讲输出电压为零,而实际上差动变压器输出电压不为零,我们把这个不为零的电压称为什么电压?这个输出电压会造成什么后果?简述产生该电压的原因及宜采用哪些方法进行补偿。

(3) 采用哪种信号转换调理电路可以直接由输出电压的大小与极性辨别铁心位移的大小和方向?

【答】

1) 差动变压器次级线圈输出的是交流信号,用示波器可以观察到,当铁心向下移动时,输出电压幅值(峰-峰值)增大,输入/输出信号有相位变化,无极性变化。输出特性曲线见图 14-33b。

2) 铁心处于中间位置时,最小不为零的电压称为零点残余电压。零点残余电压过大会使灵敏度下降,非线性误差增大,信号在放大器末级饱和而使输出不能真实反映被测量。产生零点残余电压的原因主要是由于两个次级线圈绕组电气系数(互感 M 、电感 L 、内阻 R)不完全相同,几何尺寸也不完全相同,工艺上很难保证完全一致。为减小零点残余电压的影响,除工业上采取措施外,一般要用电路进行补偿。电路补偿的方法较多,基本方法是:①串联电阻,消除两次级绕组基波分量幅值上的差异;②并联电阻、电容,消除基波分量的相位差异,减小谐波分量;③加反馈支路,初、次级间加入反馈,减小谐波分量;④另外,相敏检波电路对零点残余误差有很好的抑制作用。

3) 差动变压器输出交流信号,为正确反映衔铁位移大小和方向,常常采用差动整流电路和相敏检波电路。

4. 叙述反射式光纤位移传感器的工作原理,画出传感器的输出特性(位移-相对输出)曲线示意图,并在 X 、 Y 坐标上标出近似的实验参数值。说明利用反射式光纤位移传感器输出特性的前坡、后坡和光峰值可分别进行哪些物理量的检测。

【答】

1) 光纤位移传感器的输出特性如图 14-34 所示,由于光纤有一定的数值孔径,当光纤探头端紧贴被测物体时,发射光纤中的光信号不能反射到接受光纤中;当被测物体逐渐远离光纤时,发射光纤照亮被测物体的面积越来越大;当整个接收光纤被照亮时,输出达到最大;被测体继续远离时,光强开始减弱。

2) 前坡区输出信号的强度增加快,这一区域位移输出曲线有较好的线性关系,可进行小位移测量(微米级);后坡区信号随探头和被测体之间的距离增加而减弱,该区域可用于距离较远,而灵敏度、线性度要求不高的较大位移测量(毫米级);光峰区信号有最大值,值的大小决定被测表面的状态,光峰区域可用于表面状态测量,如工件的光洁度或光滑度。

5. 霍尔传感器基于霍尔效应,请叙述什么是霍尔效应,画出霍尔元件的基本测量电路。已知霍尔元件的电压输出为: $U_0 = KIB$, 当灵敏度 K 为常数,若磁场强度 B 为零时,霍尔传感器的电压输出是多少?由此说明霍尔传感器可检测哪些物理量。

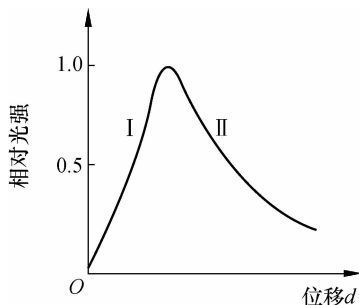


图 14-34 反射式光纤位移传感器输出特性曲线

【答】

1) 通电的导体(半导体)放在磁场中, 电流方向与磁场方向垂直, 在导体另外两侧会产生感应电动势, 这种现象称为霍尔效应。

2) 霍尔元件的基本测量电路如图 14-35 所示。

3) 根据霍尔元件的电压输出定义可以说明: 霍尔传感器不仅可以检测电流大小还可以检测磁场强弱。当灵敏度 K 为常数, 磁场强度 B 为零时, 霍尔传感器的电压输出为零。

6. CCD 中文全称如何描述(英文含义)? CCD 器件在结构上分为哪两个部分? 这两个部分在器件工作时分别起到什么作用? 面阵 CCD 和线阵 CCD 器件主要可以完成哪些信号检测?

【答】

1) CCD(Charge—Coupled Devices), 中文全称: 电荷耦合器件, 又称图像传感器。

2) CCD 基本结构组成成分两部分, 即: MOS 光敏元阵列和读出移位寄存器。MOS 光敏元进行电荷存储, 读出移位寄存器完成电荷转移。

3) 利用线阵 CCD 测量几何量, 是由物体通过物镜在 CCD 光敏元上造成影像, 用 CCD 输出的脉冲个数表征测量工件的尺寸或缺陷。线阵 CCD 广泛用于在线检测尺寸、位移、速度、定位和自动调焦等方面。面阵 CCD 主要用来装配轻型摄像机、摄像头、工业监视器等。

7. 你身边有哪些实例是通过传感器技术实现自动化、智能化检测的, 请举例说明家用电器中的电冰箱、空调、数码相机分别采用了哪些传感器技术。

1) 电冰箱、空调安装有温、湿度传感器, 可实现温度控制与环境湿度调节; 遥控器采用红外传感器技术, 实现信号的遥测与控制。

2) 数码相机中采用了 CCD 器件和光电传感器, 完成图像采集和光圈自动曝光等功能。

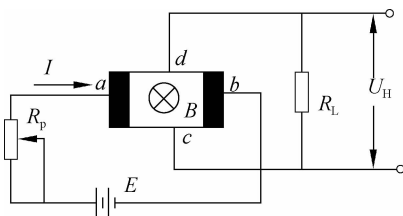


图 14-35 霍尔元件基本测量电路