

模块 5

速度传感器的应用

引入项目

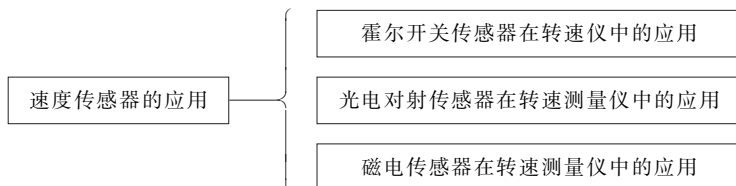
概述

速度是机械行业常见的测量参数之一,用来测定电机的转速、线速度或频率。常用于电机、电扇、造纸、塑料、化纤、洗衣机、汽车、飞机、轮船等制造业。速度测量主要分为两种,即线速度和角速度(转速)。目前,线速度的测量主要采用时间、位移计算法;转速测量的方法有多种,主要分为计数式、模拟式、同步式三大类,应用比较多的是计数式,计数式又可分为机械式、光电式和电磁式。随着计算机的广泛应用,自动化、信息化技术的要求,电子式转速测量已占主流,成为多数场合转速测量的首选。本模块主要介绍电子式转速测量的实现方法。

要实现速度测量,首先要分析测量的对象,根据被测对象的特点、现有条件及测量精度等要求,选择合适的传感器,继而配合相应的电子电路来实现。

通过本模块的学习,可以掌握测量速度所用传感器的类型、特点、应用场合及信号处理电路,理解信号处理电路的工作原理及测量方法,掌握传感器的选用原则,为工程应用打下基础。

模块结构



预备知识

- ◆ 霍尔效应。
- ◆ 光电效应。
- ◆ 电磁感应原理。



项目 5.1 霍尔传感器在转速测量系统中的应用

5.1.1 项目目标

通过霍尔传感器测速电路的制作和调试,掌握霍尔传感器的特性、电路原理和调试技能。

以霍尔传感器作为检测元件,制作一数字显示速度表,测速范围:小于 10 000r/min。

5.1.2 项目方案

设计基于霍尔传感器速度检测系统,以 AT89C52 单片机为核心控制单元,通过对速度信息采集与处理,获取当前运行速度,并且通过 LCD1602 显示当前速度。速度检测系统框图如图 5.1 所示。

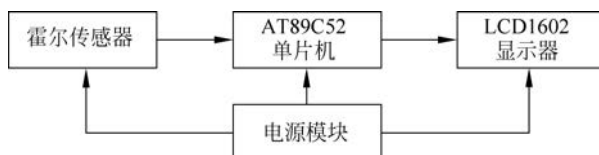


图 5.1 速度检测系统框图

5.1.3 项目实施

1. 电路原理图

此速度测量电路采用 AT89C52 单片机作为主控制器,霍尔元件作为速度传感器。通过单片机的 IO 引脚进行速度数据的采集,并进行速度的显示。

单片机与霍尔传感器的电源电压均为 5V,通过编写 C 语言程序,采集速度信息,并且进行速度信息的显示。霍尔传感器测速系统原理如图 5.2 所示。

本项目主要使用以下器件,即霍尔集成开关传感器、AT89C52 单片机最小系统、电阻、电容、电源模块、数码管显示模块等。

2. 实施步骤

- (1) 准备好单片机最小系统实验板、霍尔传感器。
- (2) 将传感器正确安装在单片机最小系统实验板上。
- (3) 将编写好的速度测量的程序下载到实验板中。此部分可查看附录。

```
void main(void)
{
    LcdInitiate();
    TMOD = 0x51;
    TH0 = (65536 - 46083)/256;
    TL0 = (65536 - 46083) % 256;
```

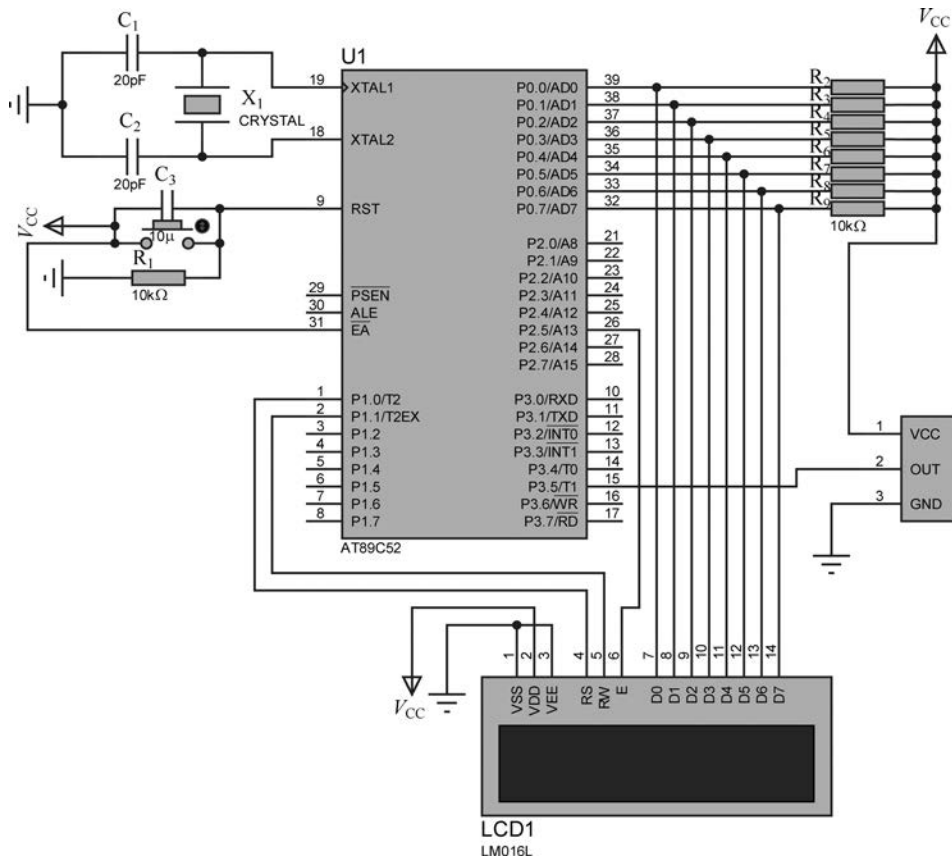


图 5.2 霍尔传感器测速系统原理

```

EA = 1;
ETO = 1;
TR0 = 1;
count = 0;
display_sym();
display_val(0000);
display_unit();
while(1)
{
    TR1 = 1;
    TH1 = 0;
    TL1 = 0;
    flag = 0;
    while(flag == 0)
    {
        v = (TH1 * 256 + TL1) * 60 / 16;
        display_val(v);
    }
}

```

- (4) 下载完成后,单片机实验板上电,液晶显示器即可显示当前运行速度。
- (5) 改变当前速度,观察液晶显示器上速度值的变化,并做好记录和分析。



电路调试主要有两项内容：一是对分度进行标定；二是调节输入 IC2 的信号幅度。

(1) 分度标定。

可以进行现场调试,也可通过模拟装置进行调试。为了调试及教学方便,可以用信号发生器提供脉冲信号,模拟传感器输出信号。方法是将信号发生器输出电缆接到 R_{P1} 上端,调节频率调节旋钮,使输出信号频率为 166.6Hz,调节 R_{P2} ,使电压表指示为 10V 即可。

(2) 信号幅度调节。

调节前首先安装好传感器,将霍尔开关集成传感器的 3 根线与电路对应端相连,启动机器,电压表应指示转速。不能指示转速或不准确,则可调节 R_{P1} 加大输入 IC2 的信号幅度,使电压表指示稳定即可。

3. 霍尔开关集成传感器的安装方式

应用霍尔开关传感器测量转速,安装的位置与被测物的距离视安装方式而定,一般为几毫米到十几毫米。霍尔传感器安装示意图如图 5.3 所示。

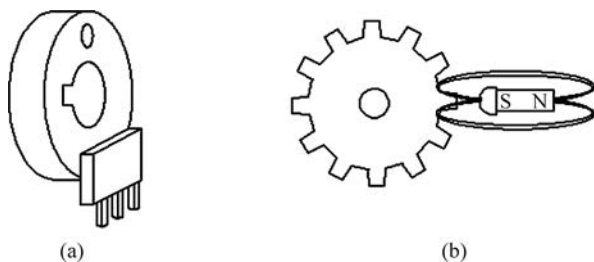


图 5.3 霍尔传感器安装示意图

图 5.3(a)所示为在一个圆盘上安装一个磁钢,霍尔传感器则安装在圆盘旋转时磁钢经过的地方。圆盘上磁钢的数目可以为 1 个、2 个、4 个、8 个等,均匀地分布在圆盘的一面。图 5.3(b)所示安装方式适用于原转轴上已经有磁性齿轮的场合,此时工作磁钢固定在霍尔传感器的背面(外壳上没有打标志的一面),当齿轮的齿顶经过传感器时,有较多的磁力线穿过传感器,霍尔集成开关传感器输出导通;而当齿谷经过霍尔开关传感器时,穿过传感器的磁力线较少,传感器输出截止,即每个齿经过传感器时则产生一个脉冲信号。

5.1.4 知识链接

霍尔传感器是基于霍尔效应的一种传感器。1879 年美国物理学家霍尔首先在金属材料中发现了霍尔效应,但由于金属材料的霍尔效应太弱而没有得到应用。随着半导体技术的发展,开始用半导体材料制成霍尔元件,由于它的霍尔效应显著而得到应用和发展。

1. 霍尔元件的特性

(1) 输入电阻 R_i 。

霍尔元件两激励电流端的电阻称为输入电阻。它的数值从几十欧到几百欧,视不同型

号而定。温度升高,输入电阻变小,从而使输入电流 I_{ab} 变大,最终引起霍尔电动势变大。为了减少这种影响,最好采用恒流源作为激励源。

(2) 输出电阻 R_o 。

两个霍尔电动势输出端之间的电阻称为输出电阻,它的数值与输入电阻为同一数量级。它也随温度改变而改变。选择适当的负载电阻 R_L 与之匹配,可以使由温度引起的霍尔电动势的漂移减至最小。

(3) 额定功耗 P_o 和控制电流 I_c 。

霍尔元件在环境 $t = 25^\circ\text{C}$ 时,允许通过霍尔元件的电流 I 和电压 U 的乘积,分最小、典型和最大 3 挡,单位为 mW 。当供给霍尔元件的电压确定后,根据额定功耗可知额定控制电流 I_c 。由于霍尔电动势随激励电流增大而增大,故在应用中总希望选用较大的控制电流。但控制电流增大,霍尔元件的功耗增大,元件的温度升高,从而引起霍尔电动势的温漂增大,因此每种型号的元件均规定了相应的最大激励电流,一般为几毫安到几十毫安。

(4) 霍尔灵敏度系数 K_H 。

在单位控制电流和单位磁感应强度作用下,霍尔元件端的开路电压,单位为 $\text{V}/(\text{A} \cdot \text{T})$, $K_H = U_H / (IB)$ 。

(5) 不平衡电势 U_o 。

在额定电流 I 下,不加磁场时霍尔元件输出端的空载电势称为不平衡电势,单位为 mV 。

(6) 霍尔电动势温度系数。

在一定磁场强度和控制电流的作用下,温度每变化 1°C 时霍尔电动势变化的百分数称为霍尔电动势温度系数,它与霍尔元件的材料有关,一般约为 $0.1\%/^\circ\text{C}$ 。在要求较高的场合,应选择低温漂的霍尔元件。

随着微电子技术的发展,将霍尔元件、恒流源、放大电路等电路集成到一起就构成了霍尔集成传感器,它具有体积小、灵敏度高、输出幅度大、温漂小、对电源稳定性要求低等优点。目前,根据使用场合的不同,霍尔集成传感器主要有开关型和线性型两大类。

(1) 开关型霍尔集成传感器。

开关型霍尔集成传感器是将霍尔元件、稳压电路、放大器、施密特触发器、OC 门等电路集成在同一个芯片上构成,如图 5.4 所示。

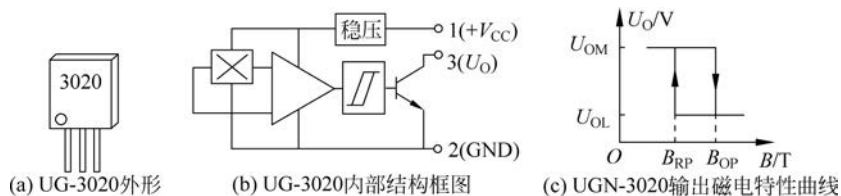


图 5.4 开关型霍尔集成传感器

这种集成传感器一般对外为 3 只引脚,分别是电源、地及输出端。

典型的霍尔开关集成传感器有 UGN-3020、UGN-3050 等,图 5.4(a) 所示的 UGN-3020 外形图,其输出特性如图 5.4(c) 所示。在外磁场的作用下,当磁感应强度超过导通

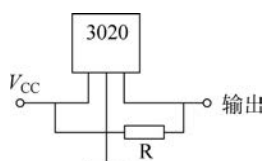


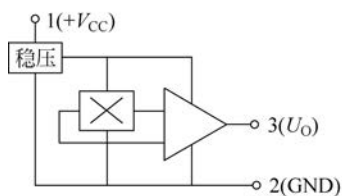
图 5.5 开关型霍尔集成传感器应用电路

阈值 B_{OP} 时,霍尔电路输出管导通,OC 门输出低电平。之后, B 再增加,仍保持导通态。若外加磁场的 B 值降低到 B_{RP} 时,输出管截止,OC 门输出高电平。称 B_{OP} 为工作点, B_{RP} 为释放点, $B_{OP} - B_{RP} = B_H$ 称为回差。回差的存在使开关电路的抗干扰能力增强。

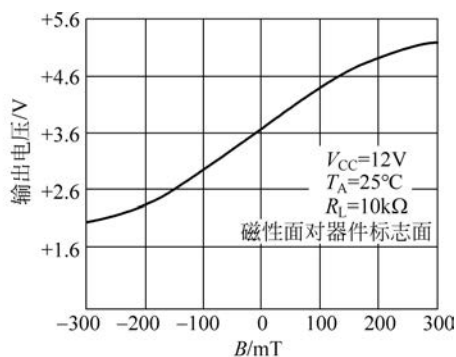
霍尔集成开关传感器常用于接近开关、速度检测及位置检测,其典型应用电路如图 5.5 所示。

(2) 霍尔线性集成传感器。

霍尔线性集成传感器的输出电压与外加磁场强度的大小呈线性比例关系。为了提高测量精度,这类传感器主要由霍尔元件、恒流源电路、差分放大电路等组成,如图 5.6 所示。



(a) 内部框图



(b) 特性曲线

图 5.6 霍尔线性集成传感器

图 5.6(a)所示为其结构框图。霍尔线性集成传感器根据输出端的不同,分为单端输出和双端输出两种,用得较多的为单端输出型,典型产品有 UGN-3501 等,图 5.6(b)所示为其传输特性。

霍尔集成传感器常用于转速测量、机械设备限位开关、电流检测与控制、保安系统、位置及角度检测等场合。

2. 霍尔元件的工作原理

霍尔元件是基于霍尔效应制作的。置于磁场中的静止载流导体,当它的电流方向与磁场方向不一致时,载流导体上垂直于电流和磁场方向上的两个面之间产生电动势,这种现象称霍尔效应,该电势称霍尔电势,半导体薄片称为霍尔元件。

在垂直于外磁场 B 的方向上放置一个导电板,导电板通以电流 I ,方向如图 5.7 所示。

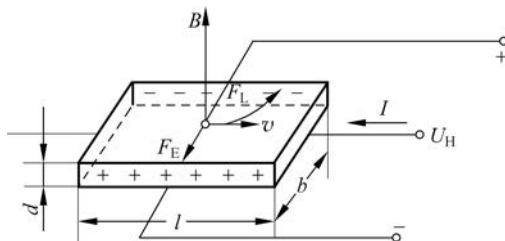


图 5.7 霍尔效应原理

导电板中的电流是金属中自由电子在电场作用下的定向运动。此时,每个电子受洛伦兹力 F_m 的作用, F_m 的大小为

$$F_L = -evB \quad (5.1)$$

式中, e 为电子电荷; v 为电子运动平均速度; B 为磁场的磁感应强度。

F_L 的方向在图 5.7 中是向上的,此时电子除了沿电流反方向做定向运动外,还在 F_L 的作用下向上漂移,结果使金属导电板上底面积累电子,而下底面积累正电荷,从而形成了附加内电场 E_H ,称为霍尔电场,该电场强度为

$$E_H = \frac{U_H}{b} \quad (5.2)$$

式中, U_H 为电位差。霍尔电场的出现,使定向运动的电子除了受洛伦兹力的作用外,还受到霍尔电场的作用力 F_e ,其大小为 $-eE_H$,此力阻止电荷继续累积。随着上、下底面累积电荷的增加,霍尔电场增加,电子受到的电场力也增加,当电子所受洛伦兹力和霍尔电场作用力大小相等、方向相反时,即

$$-eE_H = -evB \quad (5.3)$$

$$E_H = vB$$

$$U_H = bvB \quad (5.4)$$

此时电荷不再向两底面积累,达到平衡状态。

若金属导电板单位体积内电子数为 n ,电子定向运动平均速度为 v ,则激励电流 $I = nvbd(-e)$,则

$$v = -\frac{I}{bdne} \quad (5.5)$$

整理,得

$$E_H = -\frac{IB}{bdne} \quad (5.6)$$

式中,令 $R_H = -1/(ne)$,称之为霍尔常数,其大小取决于导体载流子密度,则

$$U_H = R_H \frac{IB}{d} = K_H IB \quad (5.7)$$

式中, $K_H = R_H/d$ 为霍尔片的灵敏度。

可见,霍尔电势正比于激励电流及磁感应强度,其灵敏度与霍尔常数 R_H 成正比,而与霍尔片厚度 d 成反比。为了提高灵敏度,霍尔元件常制成薄片形状。

霍尔电势的大小还与霍尔元件的几何尺寸有关。一般要求霍尔元件灵敏度越大越好,霍尔元件的厚度 d 与 K_H 成反比。因此,霍尔元件越薄,其灵敏度越高。

一般来说,金属材料载流子迁移率很高,但电阻率很小;而绝缘材料电阻率极高,但载流子迁移率极低。故只有半导体材料适于制造霍尔片。目前常用的霍尔元件材料有锗、硅、砷化钢、铋化钢等半导体材料。其中 N 型锗容易加工制造,其霍尔系数、温度性能和线性度都较好。N 型硅的线性度最好,其霍尔系数、温度性能同 N 型锗相近。铋化钢对温度最敏感,尤其在低温范围内温度系数大,但在室温时其霍尔系数较大。砷化钢的霍尔系数较小,温度系数也较小,输出特性线性度好。



霍尔元件的结构很简单,它由霍尔片、引线和壳体组成,霍尔元件外形及封装如图 5.8 所示。

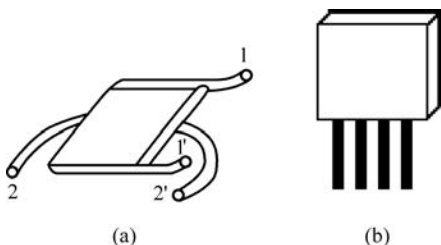


图 5.8 霍尔元件外形及封装

例如,霍尔元件灵敏度为 $R_H = -1/(ned)$, 其中: n 为半导体单位体积中的载流子数, e 为电子电荷量, d 为霍尔元件的厚度。为了提高霍尔元件灵敏度,分析霍尔元件在选材和结构设计时应中应注意考虑哪些问题? 并说明原因。

答: 首先要考虑选材问题,最好选择半导体材料,因为半导体单位体积中的载流子数 n 较小;其次要考虑结构问题,最好选择薄片结构,使厚度 d 变小。

霍尔传感器具有许多优点,其结构牢固,体积小,质量轻,寿命长,安装方便,功耗小,频率高,耐震动,不怕灰尘、油污、水汽及盐雾等的污染或腐蚀。

3. 霍尔元件的操作流程

霍尔集成元件的输出为数字量,因此可以直接接入单片机。在本项目中,直接将霍尔元件接入单片机的 P3.5 引脚,即 T1 定时器输入端,具体程序如下:

```
{ TR1 = 1;
    TH1 = 0;
    TL1 = 0;
    flag = 0;
    while(flag == 0);
    v = (TH1 * 256 + TL1) * 60/16;
    display_val(v);
}
```

此时 T1 定时器应用计数,记录霍尔传感器产生信号的次数,T0 定时器用于定时,计时的时间为 50ms,当 1s 到达时,计算速度值。在本设计中,每圈有 16 个磁钢,每周霍尔元件有 16 个信号。

4. 霍尔元件的应用

霍尔传感器可直接用于检测磁场或磁特性,也可以通过在被检对象上人为设置磁场,来检测许多非电、非磁的物理量,如力、力矩、压力、应力、位置、位移、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,还可转换成电量来进行检测和控制。

阅读资料

霍尔传感器往往用于被测旋转轴上已经装有铁磁材料的齿轮上,或者在非磁性盘上安装若干个磁钢,也可利用齿轮上的缺口或凹陷部分来实现检测。目前,用于测速的霍尔传感器主要为霍尔开关集成传感器及霍尔接近开关。

目前,国内外霍尔开关集成传感器的型号很多,如国产的 SH111~SH113 型,其各有 A、B、C、D 等 4 种类型,国产霍尔集成开关传感器的主要参数如表 5.1 所示。

表 5.1 国产霍尔集成开关传感器的主要参数

参数 型号		截止电源 电流/mA	导通电源 电流/mA	输出低 电平/V	高电平输 出电流/ μ A	导通磁通/ mT	截止磁通/ mT
SH111 SH112 SH113	A	≤ 5	≤ 8	≤ 0.4	≤ 10	80	10
	B					60	10
	C					40	10
	D					20	10

国外生产常用型号主要有 UGN/UGS 系列,美国产霍尔集成开关传感器的主要参数如表 5.2 所示。

表 5.2 美国产霍尔集成开关传感器的主要参数

参数 型号		导通磁通/mT		截止磁通/mT	
		最大值	典型值	典型值	最小值
UGN/UGS	3019L	50	42	30	10
	3020L	35	22	16	5
	3040L	20	15	10	5

5.1.5 项目总结

通过本项目的学习,应掌握以下知识重点:①理解霍尔传感器的特性;②理解测速电路的原理。

通过本项目的学习,应掌握以下实践技能:①能正确使用霍尔传感器;②掌握测速电路的调试方法;③掌握霍尔传感器的使用方法。

项目 5.2 光电传感器在机器人转速测量中的应用

5.2.1 项目目标

通过本项目的学习,使学生掌握光电传感器的基本原理,熟悉光电传感器的基本特性,掌握光电传感器的应用电路。

利用光电对射传感器设计一转速计,采用数字显示,测速范围小于 1000r/s。



5.2.2 项目方案

在环境磁场较强的场合测速时,不适宜采用磁性传感器,而光电传感器则可以解决这一问题。利用光电传感器实现转速测量时,可以采用反射式光电传感器、对射式光电传感器,也可采用光电编码器来实现。

采用光电反射式传感器测量转速时,只需在转轴上贴一张反光纸或涂黑的纸即可,反射式光电传感器示意图如图 5.9 所示。

其实现起来简单、方便,每转一圈产生一个脉冲信号,一般用于便携式转速测量仪。实际应用中,通常采用红外光电传感器,这类传感器目前也比较多,如 ST602 型,其外形结构及内部电路示意图如图 5.10 所示。

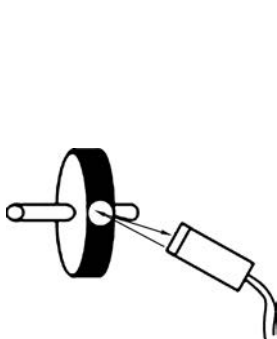


图 5.9 反射式光电传感器测量示意图

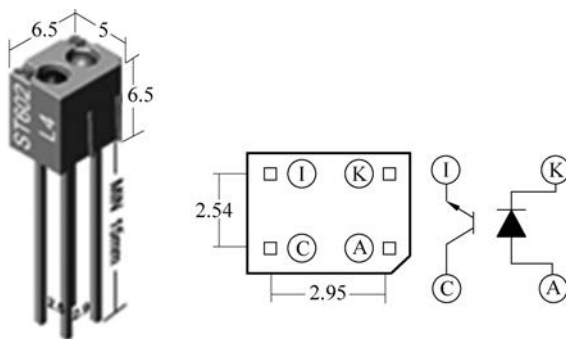


图 5.10 ST602 的外形结构及内部电路示意图

ST602 的测量距离为 4~10mm,ST602 的光电特性参数如表 5.3 所示。

表 5.3 ST602 的光电特性参数表

($T_a = 25^\circ\text{C}$)

项 目		符号	测 试 条 件		最小	典型	最大	单位
输入	正向压降	U_F	$I_F = 20\text{mA}$		—	1.25	1.5	V
	反向电流	I_R	$U_R = 3\text{V}$		—	—	10	μA
输出	集电极暗电流	I_{ce0}	$U_{ce} = 20\text{V}$		—	—	1	μA
	集电极亮电流	I_L	$U_{ce} = 15\text{V}$ $I_F = 8\text{mA}$	L3	0.30	—	—	mA
				L4	0.40	—	—	mA
				L5	0.50	—	—	mA
	饱和压降	U_{CE}	$I_F = 8\text{mA}$ 、 $I_c = 0.5\text{mA}$		—	—	0.4	V
传输特性	响应时间	T_r	$I_F = 20\text{mA}$ 、 $U_{ce} = 10\text{V}$ 、 $I_{Rc} = 100\Omega$		—	5	—	μs
		T_f			—	5	—	μs

采用对射式光电传感器测量转速时,转速测量示意图如图 5.11 所示。

它是在转轴上安装一个圆盘,圆盘边缘开若干个孔(如 60 个),这样圆盘每转一圈即可产生 60 个脉冲信号。例如,ST155 对射式光电传感器,ST155 的外形结构及内部电路示意图如图 5.12 所示。

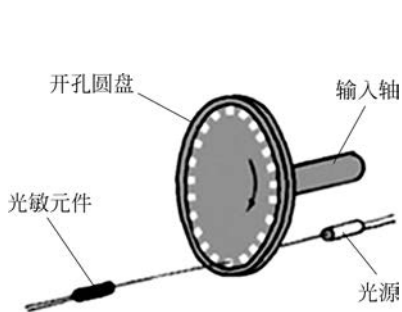


图 5.11 对射式光电传感器转速测量示意图

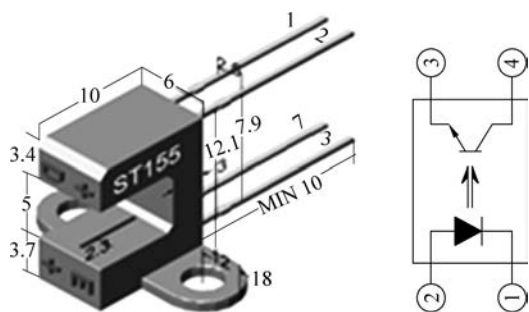


图 5.12 ST155 的外形结构及内部电路示意图

ST155 的光电特性参数如表 5.4 所示。

表 5.4 ST155 的光电特性参数 $(T_a = 25^{\circ}\text{C})$

项 目		符号	测试 条 件	最小	典型	最大	单位
输入	正向压降	U_F	$I_F = 20\text{mA}$	—	1.25	1.5	V
	反向电流	I_R	$U_R = 3\text{V}$	—	—	10	μA
输出	集电极遮电流	I_{ce0}	$U_{ce} = 20\text{V}$	—	—	1	μA
	集电极通电流	I_L	$U_{ce} = 5\text{V}, I_F = 8\text{mA}$	0.25	—	—	mA
	饱和压降	U_{CE}	$I_F = 8\text{mA}, I_c = 0.5\text{mA}$	—	—	0.4	V
传输特性	响应时间	T_r	$I_F = 20\text{mA}, U_{ce} = 10\text{V}$	—	5	—	μs
		T_f	$I_{Rc} = 100\Omega$	—	5	—	μs

采用光电传感器实现转速测量时,要设计检测电路及信号处理电路,最终得到标准的脉冲信号(如 TTL 电平)。其电路比较复杂,但价格便宜,很容易实现一个测速系统。

除了使用光电传感器外,还可以采用光电接近开关来实现。光电接近开关是将输入电路、输出电路、信号处理电路已经做成一个整体,其输出就是标准的脉冲信号,使用起来比较方便,其输出可直接显示在转速测量仪表上。

考虑到学习的需要,采用对射式光电传感器实现转速测量,检测电路如图 5.13 所示。

根据参数,其输出电压最小值为 2.5V,实际上其输出电压要大于此值,也可对输出的信号进行放大、整形。实现放大、整形的电路可以采用集成运放进行放大、利用触发器实现整形,当然也可采用专用集成芯片来实现,如 74HC14 或 CD40106 等。

由于系统要求以数字显示实际转速,即要对整形后的信号进行计数并显示,对于这部分电路可以采用数字电路来实现,也可以用单片机来实现,而后一种应用较多,但若同学们还没有学习单片机的话,则只能使用前一种,即用数字电路来实现。

考虑到同学在学习本门课程时,还没有学习单片机课程,所以采用数字电路来实现该项目。即用计数器在单位时间内对脉冲信号进行计数,这里的单位时间通常为 s;而国际单位制中转速的单位为: r/min,即计数周期为 1min,这样显得时间太长,也不太现实,为了项目实现的方便,采用红外光电直射传感器来实现,选有 60 个孔的的转盘,即每转一圈就得到

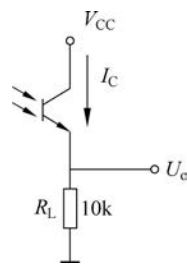
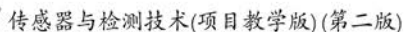


图 5.13 光电传感器检测电路



5.2.3 项目实施

1. 电路原理

[illegible]

图 5.14 光电转速仪原理

图中光电转盘安装在被测转轴上,与被测轴同时转动。当光被遮住时,由光电传感器组成的检测电路输出为低电平(此时流过电阻 R_5 的电流为暗电流,非常小);当转盘上的小孔转到传感器时,光电传感器接收到光信号,输出为高电平,之后又为低电平;这样,转盘上每个小孔经过传感器时,传感器输出一个脉冲信号,每转一圈就可产生 60 个脉冲信号。此信号与时基电路产生的时基信号同时被送到闸门 U3A 输入端,如果此时时基信号为低电平,则闸门呈关闭状态,转速信号无法通过闸门加到计数器输入端。当时基电路产生的闸门信号为高电平时,打开闸门 U3A,此时转速信号加到计数器输入端;同时,闸门信号也加到由 R_6 、 R_7 、 R_8 、 C_3 、 VD_2 及 VD_3 组成的微分复位电路,在 R_8 上产生的复位脉冲使计数器清零;而且,该闸门信号也使 LE 端呈寄存状态,在时基信号为高电平期间(1s),计数器对转速信号进行计数。当时基信号变为低电平时,使闸门 U3A 关闭;该信号使锁存信号端为低电平,将计数器的计数结果送到寄存器中,并经译码器译码后由驱动电路驱动显示器显示计数结果(转速)。当第二个时基信号到来时,又重复上述过程。但在第二次计数期间,寄存器的

数据将保持不变,只有当锁存信号再由高到低变化时,才将新的计数结果送入寄存器,以显示新的转速数据。

NE555 电路及外围元件组成一个多谐振荡器,闸门信号由 3 脚输出。 R_{P1} 用于调节时基信号,使其闸门时间为 1s。

计数与显示装置由计数器、寄存器、译码器、驱动器及显示器五部分组成,使电路更简洁,实现起来更方便;可以采用专业模块,如 CL102,也可以采用数字电路来实现,此处不再阐述。

系统电源可采用电池供电,也可以采用 220V 市电经降压、整流、滤波后由三端稳压器 7805 得到 5V 电压,电路比较简单,故此处没有给出,读者感兴趣可以自己加上。

2. 所需材料及设备

光电直射传感器 ST155、时基集成器 NE555、与非门 74LS00、非门反相器 74LS04、电阻、电容、二极管 1N4148、5V 稳压电源、3 位数数码显示管。

3. 电路制作

根据电路原理图,列出元器件清单,并选购相应的元器件进行安装。其中,传感器可以外接。若将传感器安装在电路板上,可能会影响系统安装。

4. 电路调试

电路制作完成后,即可进行电路调试工作。

(1) 电源电路调试。如果自己制作电源,首先要调试电源。先检测电源对地电阻,确保无短路现象。接通电源,测量 7805 的输出电压,应为 5V 左右;否则,应检查相应电路。

(2) 时基电路调试。接通电源后,用示波器观察闸门信号,通过调节 R_{P1} 使闸门信号的脉宽为 1s。

(3) 传感器检测电路的调试。启动机器,用示波器观察传感器的输出信号,若没有信号或信号比实际的少,则可能是传感器安装位置过低,适当调整传感器的位置,直到输出信号正常为止。

(4) 启动机器,此时数码管显示的即为被测转轴的转速。若数码管显示数据不变,则可用示波器检测送到闸门两输入端及输出端的信号,从而可以判断故障的范围,以进行检修。

5.2.4 知识链接

光耦合器件是由发光元件(如发光二极管)和光电接收元件合并而成,以光作为媒介传递信号的光电器件。光耦合器中的发光元件通常是半导体的发光二极管,光电接收元件有光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管或光可控硅等。根据其结构和用途不同,又可分为用于实现电隔离的光耦合器和用于检测有无物体的光电开关。

1. 光耦合器

光耦合器的发光和接收元件都封装在一个外壳内,一般有金属封装和塑料封装两种。



光耦合器组合形式原理如图 5.15 所示。

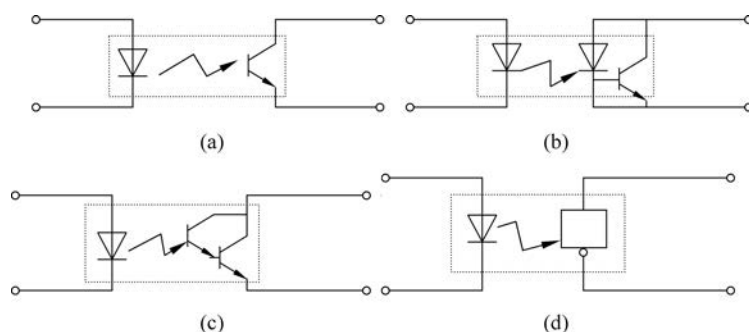


图 5.15 光耦合器组合形式原理

2. 光电开关

光电开关(光电传感器)是光电接近开关的简称,它是利用被检测物对光束的遮挡或反射,从而检测物体的有无。物体不限于金属,所有能反射光线的物体均可被检测。光电开关将输入电流在发射器上转换为光信号射出,接收器再根据接收到的光线强弱或有无对目标物体进行探测。实际应用中,光电开关一般采用波长比可见光长的红外光作为光源。光电开关一般由发射器、接收器及控制电路三部分组成。光电开关分为直射型与反射型两大类型。光电开关的结构示意图如图 5.16 所示。

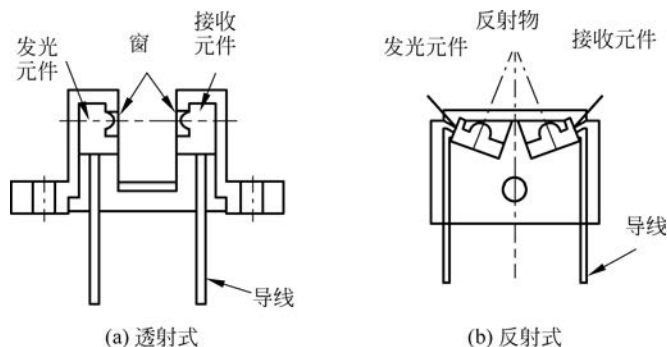


图 5.16 光电开关的结构示意图

图 5.16(a)是一种透射式的光电开关,它的发光元件和接收元件的光轴是重合的。当不透明的物体位于或经过它们之间时,会阻断光路,使接收元件接收不到来自发光元件的光,从而起到检测作用。

图 5.16(b)是一种反射式的光电开关,它的发光元件和接收元件的光轴在同一平面且以某一角度相交,交点一般即为待测物所在处。当有物体经过时,接收元件将接收到从物体表面反射的光,没有物体时则接收不到。光电开关的特点是小型、高速、非接触,而且与 TTL、MOS 等电路容易结合。

常用的光电开关有以下几种。

(1) 漫反射式光电开关。

漫反射式光电开关是一种集发射器和接收器于一体的传感器,当有被检测物体经过时,将光电开关发射器发射的足够量的光线反射到接收器,于是光电开关就产生了开关信号。当被检测物体的表面光亮或其反光率极高时,漫反射式的光电开关是首选的检测模式。

(2) 镜反射式光电开关。

镜反射式光电开关也是集发射器与接收器于一体,光电开关发射器发出的光线经过反射镜,反射回接收器,当被检测物体经过且完全阻断光线时,光电开关就产生了检测开关信号,镜反射式光电开关示意图如图 5.17 所示。

(3) 对射式光电开关。

对射式光电开关包含在结构上相互分离且光轴相对放置的发射器和接收器,发射器发出的光线直接进入接收器。当被检测物体经过发射器和接收器之间且阻断光线时,光电开关就产生了开关信号,当检测物体是不透明时,对射式光电开关是最可靠的检测模式。对射式光电开关示意图如图 5.18 所示。

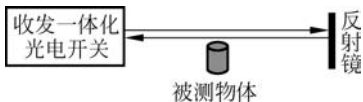


图 5.17 镜反射式光电开关示意图



图 5.18 对射式光电开关示意图

(4) 槽式光电开关。

槽式光电开关通常是标准的 U 形结构,其发射器和接收器分别位于 U 形槽的两边,并形成一光轴,当被检测物体经过 U 形槽且阻断光轴时,光电开关就产生了检测到的开关量信号,槽式光电开关比较安全可靠,适合检测高速变化的物体。槽式光电开关示意图如图 5.19 所示。

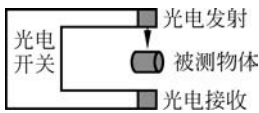


图 5.19 槽式光电开关示意图

光电开关可用于生产流水线上对产品进行记数,统计每班产量或日产量,还可用于位置检测(如流水线上的装配体有没有到位)、质量检查(如瓶盖是否压上、标签是否漏贴等),并且可以根据被测物的特定标记进行自动控制。目前,光电开关已广泛应用于自动包装机、自动灌装机、自动封装机、自动或半自动装配流水线等自动化机械装置。

以光为媒介进行耦合来传递电信号,可实现电隔离,在电气上实现绝缘耦合,因而提高了系统的抗干扰能力。由于它具有单向信号传输功能,因此适用于数字逻辑中开关信号的传输和在逻辑电路中作为隔离器件及不同逻辑电路间的接口。

5.2.5 项目总结

通过本项目的学习,应掌握以下知识重点:①光电传感器测量速度的基本原理;②用于测速的光电传感器的特点;③常见的光电测速传感器的特性。

通过本项目的学习,应掌握以下实践技能:①能根据应用场合选择合适的光电传感器;②针对所测速度范围选择合适的测量方法;③会调试速度检测电路。



项目 5.3 磁电传感器在转速测量中的应用

5.3.1 项目目标

通过本项目的学习,使学生了解磁电传感器的基本原理,熟悉磁电传感器的基本特性,掌握磁电传感器的应用电路。

利用磁电传感器设计一个转速测量仪,以数字显示转速,测速范围不大于 9 999r/min。

5.3.2 项目方案

若被测转轴上安装了由钢、铁、镍等金属或者合金材料的齿轮,则可以采用磁电传感器测量转速,如汽车发动机的转速测量。若齿轮的齿数 z 为 60,则频率数等于转速。可见,只要测量频率 f ,即可得到被测转速。磁电传感器具有体积小、结实可靠、寿命长、不需电源和润滑油等优点,可在烟雾、油气、水气等恶劣环境中使用,磁电转速传感器已经成熟,这类传感器较多,如 SM-16、LZZS-60、OD9001 等。SM-16 的外形图如图 5.20 所示。



图 5.20 SM-16 外形

常用磁电转速传感器技术参数如表 5.5 所示。

表 5.5 常用磁电转速传感器技术参数

名 称	参 数
输出波形	近似正弦波($\geq 50\text{r/min}$ 时)
输出信号幅值	50r/min 时 $\geq 300\text{mV}$, 高速时可达 30V
测量范围	$10 \sim 99\,999\text{r/min}$
使用时间	连续使用
工作环境	温度 $-50 \sim +150^\circ\text{C}$
输出形式	X12K4P 四芯插头
外形尺寸	外径一般为 16mm , 长度一般为 120mm
质量	$100 \sim 200\text{g}$ (不计输出导线)
测速齿轮要求	60 齿, 电工钢(高导磁材料), 渐开线齿形(输出波形好)

要实现转速测量,只要对传感器输出的脉冲信号进行计数即可,由表 5.5 中参数可知,当转速达到 50r/min 时,其幅值不小于 300mV (有的磁电传感器输出幅值更高),为了能够准确计数,应对传感器输出的脉冲信号进行放大、整形(若被测转速较高,可以不进行放大),得到标准的脉冲信号,然后进行计数。

本项目以 51 系列单片机为核心来完成。利用 51 系列单片机内部的定时器/计数器对传感器输出的信号进行计数,若采用 12MHz 晶振,其计数的最高频率可达 $50\,000\text{Hz}$,即测量的转速可达 $50\,000\text{r/min}$ (设测速齿轮有 60 个齿),完全满足系统要求。

5.3.3 项目实施

1. 电路原理

以 SM-16 磁电传感器为测速传感器的磁电转速测量仪原理如图 5.21 所示。

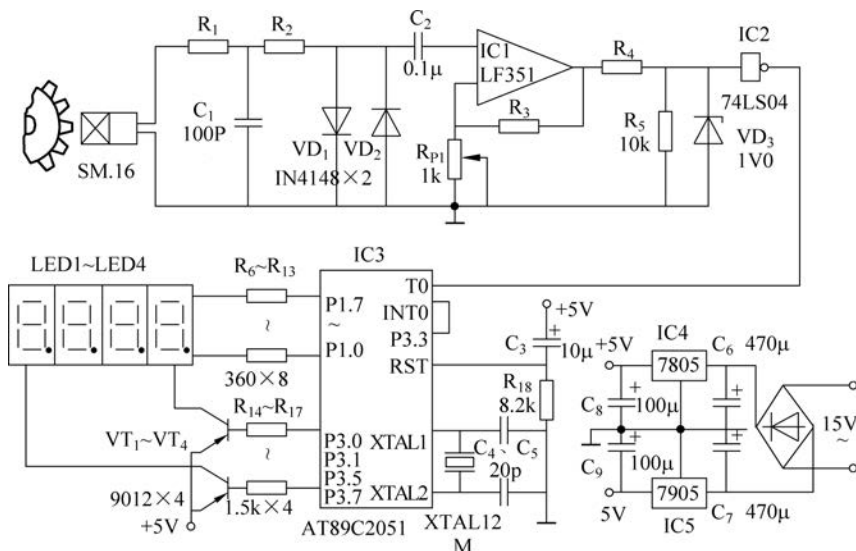


图 5.21 磁电转速测量仪原理

系统由传感器、信号处理电路、单片机最小系统、显示电路及电源电路组成。磁电传感器选用 SM.16。信号处理电路由低通滤波、限幅、放大、整形等电路组成,其中 R_1 、 R_2 、 C_1 构成低通滤波器,滤除高次谐波、杂波信号等; VD_1 、 VD_2 对输入的信号进行双向限幅,以保护 LF351 的输入级电路;由 LF351 及相关元件组成的高输入阻抗放大器,将输入信号放大到足够的幅度;LF351 输出的信号经 R_4 、 R_5 、 VD_3 进行单向限幅,并经 74LS04 反向(起到整形作用),得到标准的 TTL 电平脉冲信号,送到以 AT89C2051 为核心的单片机电路。

单片机系统由 AT89C2051、晶振及复位电路组成,以完成系统信号计数、数据处理及控制工作。

LED1~LED4、 $VT_1 \sim VT_4$ 及 $R_6 \sim R_{17}$ 组成动态扫描显示电路,将测量结果在 LED1~LED4 上显示出来。

电源电路由变压器、整流、滤波及经三端稳压集成电路 78L05 和 79L05 组成,输出 +5V 和 -5V 电源,以提供系统电源。

2. 程序设计

磁电转速测量仪的程序由主程序和 T1 中断服务子程序组成(T0 工作于计数方式,其计数结果不可能溢出),主程序完成系统的初始化工作,T1 中断服务子程序产生 1s 时基信号、T0 初始化、T0 计数结果的读取及处理,以使显示形式为 r/min。程序设计时,使 T1 工作于方式 1 定时,使 P3.3 脚输出周期为 2s 的方波,送到 INT0 引脚,作为定时器 0 计数的



门控信号。定时器/计数器 T0 工作于方式 1 计数,需要门控;在 $\overline{\text{INT0}}$ 为低电平期间,使 TH0、TL0 清零,运行控制位 TR0 置位,使系统工作于准备计数状态,当 $\overline{\text{INT0}}$ 变为高电平时,定时器/计数器 0(T0)开始对 T0 引脚的脉冲信号(转速信号)进行计数,当 $\overline{\text{INT0}}$ 再次变为低电平时,停止计数;取出 TH0、TL0 中的数据进行处理后,送 LED 数码管显示出具体的转速,磁电转速测量仪程序流程图如图 5.22 所示。具体程序请自己完成。

3. 所需材料及设备

磁电传感器 SM-16、单片机 AT89C2051、12M 晶振、集成运放 LF351、PNP 型硅三极管 9012、六非门反相器 74LS04、电阻、电容、二极管 1N4148、 $\pm 5\text{V}$ 稳压电源、4 位数码显示器。

4. 电路制作

根据电路原理图,列出元器件清单,并选购相应的元器件进行安装。

5. 电路调试

电路制作完成后,即可进行电路调试工作。

(1) 电源电路调试,其调试方法见前面项目。

(2) 传感器及检测电路的调试。启动机器,用示波器观察传感器的输出信号,若没有信号或信号比实际的小,则可调节传感器安装位置,使之与齿轮靠近些,并固定。再检测 IC1 的输入信号,观察其波形,若信号幅度低,可以调节 R_{P1} ,以增加放大电路增益,提高输出信号幅度。

(3) 显示值校准。由于闸门时间是由定时器 T1 通过软件计数的方式实现的,其总时间不一定正好是 1s,校准的方法是用示波器或计数器测量 IC2 的输出信号频率,计算出显示值(单位为 r/min),并和实际显示值进行比较,若显示值与理论值不符,则通过调整定时时间来调节系统显示精度。

经过以上调试,系统可以进行实际的转速测量。

5.3.4 知识链接

磁电感应式传感器又称为磁电式传感器,是利用电磁感应原理将被测量(如振动、位移、转速等)转换成电信号的一种传感器。它不需要辅助电源就能把被测对象的机械量转换成易于测量的电信号,是有源传感器。由于它输出功率大且性能稳定,具有一定的工作带宽($10\sim 1000\text{Hz}$),所以得到普遍应用。

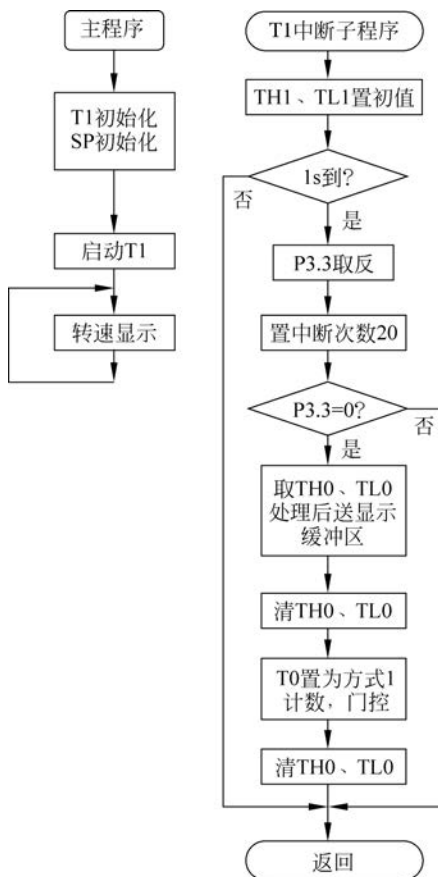


图 5.22 磁电转速测量仪程序流程框图

1. 磁电感应式传感器的工作原理

根据电磁感应定律,当导体在稳恒均匀磁场中,如图 5.23 所示。

沿垂直磁场方向运动时,导体内产生的感应电势为

$$e = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = B l \frac{dx}{dt} = B l v \quad (5.8)$$

式中, B 为稳恒均匀磁场的磁感应强度; l 为导体有效长度; v 为导体相对磁场的运动速度。

当一个 N 匝线圈相对静止地处于随时间变化的磁场中时,设穿过线圈的磁通为 Φ ,则线圈内的感应电势 e 与磁通变化率 $d\Phi/dt$ 有以下关系,即

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (5.9)$$

根据以上原理,人们设计出两种磁电式传感器结构,即恒磁通式和变磁通式。变磁通式又称为磁阻式。

2. 恒磁通式磁电传感器

若以线圈相对磁场运动的速度 v 或角速度 ω 表示,则所产生的感应电动势 e 为

$$e = -N B l v \quad (5.10)$$

$$e = -N B S \omega \quad (5.11)$$

式中, l 为每匝线圈的平均长度; B 为线圈所在磁场的磁感应强度; S 为每匝线圈的平均截面积。

当结构参数确定后, B 、 l 、 N 、 S 均为定值,感应电动势 e 与线圈相对磁场的运动速度(v 或 ω)成正比,所以这类传感器的基本形式是速度传感器,能直接测量线速度或角速度。磁电感应式传感器只适用于动态测量。

3. 变磁通式磁电传感器

开磁路变磁通式传感器工作原理示意图如图 5.24 所示。

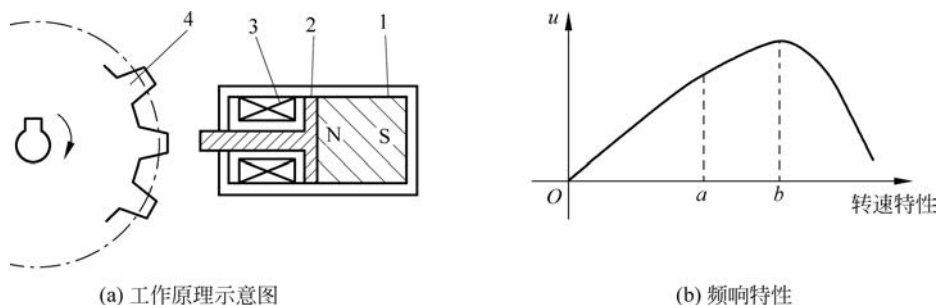


图 5.24 开磁路变磁通式传感器工作原理示意图

1—永久磁铁; 2—软磁铁; 3—感应线圈; 4—旋转齿轮



线圈、磁铁静止不动,测量齿轮安装在被测旋转体上,随之一起转动。当齿轮齿顶对准线圈时,有较多的磁力线穿过线圈,线圈上的感应电动势比较大;而当齿谷对准线圈时,则穿过线圈的磁力线较少,线圈上的感应电动势比较小,这样齿轮每转动一个齿,齿的凹凸引起磁路磁阻变化一次,磁通也就变化一次,线圈中产生感应电势的大小也随其改变,其频率与被测转速成正比。

若齿轮齿数为 z ,转速为 n ,则线圈中感应电动势的频率 f 为

$$f = \frac{nz}{60} \quad (\text{r/min}) \quad (5.12)$$

若齿轮的齿数 z 为60,则 $f=z$ 。可见,只要测得频率 f ,即可得到被测转速。

磁电传感器结构简单,但输出信号较小,且因高速轴上加装齿轮较危险而不宜测量高转速。

闭磁路变磁通式传感器工作原理示意图如图5.25所示。

它由装在转轴上的内齿轮和外齿轮、永久磁铁和感应线圈组成,内、外齿轮齿数相同。当转轴连接到被测转轴上时,外齿轮不动,内齿轮随被测轴转动,内、外齿轮的相对转动使气隙磁阻产生周期性变化,从而引起磁路中磁通的变化,使线圈内产生周期性变化的感应电动势。显然,感应电势的频率与被测转速成正比。线圈2和磁铁1静止不动,

测量齿轮(导磁材料制成)每转过一个齿,传感器磁路磁阻变化一次,线圈2产生的感应电动势的变化频率等于测量齿轮上齿轮的齿数和转速的乘积。

变磁通式传感器对环境条件要求不高,能在 $-150\sim+90^{\circ}\text{C}$ 的温度下工作,不影响测量精度,也能在油、水雾、灰尘等条件下工作。但它的工作频率下限较高,约为50Hz,上限可达100Hz。

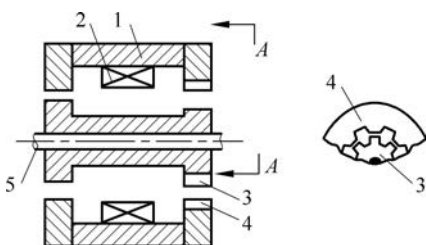


图 5.25 闭磁路变磁通式传感器
工作原理示意图

1—永久磁铁;2—感应线圈;
3—内齿轮;4—外齿轮;5—转轴

5.3.5 项目总结

通过本项目的学习,应掌握以下知识重点:①磁电传感器的基本原理;②磁电传感器的基本参数;③常见的磁电传感器的特性。

通过本项目的学习,应掌握以下实践技能:①针对所测速度范围选择合适的测量方法;②会调试磁电转速测量电路。

阅读材料 7 传感器的最新发展

1. 传感器的市场前景

随着工业数字化、智能化发展,传感器在行业发展中的应用越来越广泛。近年来我国传感器市场发展也比较迅猛,增速超过了15%。但专家表示,目前我国传感器技术并不成熟,在国际竞争中不占优势。工信部电子元器件行业发展研究中心总工程师郭源生

指出,2015 年全球传感器市场达到 1 770 亿美元,未来 5 年内,全球传感器复合年增长率预计将超过 10%。随着人们对健康问题的重视,健康照护功能的传感器技术越发受到人们的重视。

《2014—2018 年中国传感器行业预测及投资策略研究报告》表明,尽管中国的传感器行业发展迅速,但现阶段我国市场主要应用的传感器绝大部分仍依赖进口,其中数字化、智能化、微型化等高新技术产品严重短缺。国内从事传感器的研制、生产和应用的企事业单位大约有 1 688 家,从事 MEMS 研制生产的仅有 50 多家,且规模和应用领域都较小。传感器市场被德国、美国、日本等工业国家所主导,有些企业的年生产能力达到几千万只甚至几亿只。目前,中国的传感器产品大约有 6 000 种,然而国外已达 20 000 多种,根本满足不了国内市场需求。其中,中、高端的传感器进口比例达 80%之多,而传感器芯片的进口更是达到了 90%,传感器国产化缺口相当巨大。同时,国内传感器的应用范围狭窄,其应用更多的是停留在工业测量与控制等基础领域。由此,中国传感器市场竞争相当激烈。

2. 传感器技术的发展方向

(1) 智能化。传感器将由单一检测、单一功能对象向多功能、多变量检测方向发展,由信号转换的被动形式向主动信息处理发展,由单独的元器件向网络化、系统化方向发展。智能化未来将从两个方向齐头并进:一是多种传感功能与数据处理、双向通信、数据存储等的集成;二是软传感技术,即将智能传感器和人工智能相结合。

(2) 网络化。网络化传感器则是以嵌入式微处理器为核心,集成了传感器、网络接口和信号处理器的新一代传感器。网络接口的应用,为系统的扩充提供极大方便,降低了现场布线的复杂性,同时减少了电缆数量。特别是无线传感网技术应用,促进传感器的可移动化发展。克服节点资源限制,满足传感器网络容错性、扩展性等要求是无线传感网技术的关键。

(3) 微型化。伴随着集成微电子机械加工技术的日益成熟,传感器的生产制造将半导体加工工艺引入到 MEMS 传感器的生成中,实现其规模化生产,同时为传感器微型化发展提供了关键的技术支持。MEMS 具有体积小、功耗低、性能稳定等优点,被认为是继微电子之后又一个对国民经济和军事具有重大影响的技术领域。

(4) 集成化。借鉴混合集成工艺,将微传感器、微执行器、微驱动器以及信号处理器和控制电路、通信、接口和电源等组成一体化系统。传感器集成化包括两类:一类是同类型多个传感器的集成;另一类是多功能一体化。

(5) 多样化。随着新材料技术的突破,传感器将涌现出更多新型种类,传感器性能的优劣更多地取决于其材料的好坏,新型敏感材料将是传感器的技术基础。

阅读材料 8 传感器的最新应用

1. 传感器在智能穿戴设备上的应用

近几年各种智能穿戴设备兴起,其中智能手环、腕表甚至是智能服装的形式也是多种多样。但究其根本,在于传感器的不同。目前主流智能手环所用的传感器有意法半导



体公司的 LIS3DH、BoschSensortec 公司的 BMA250、ADI 公司的 ADXL362、InvenSense 公司的 MPU6500 等。这些传感器几乎都集成了陀螺仪和加速度传感器,陀螺仪用于测量角速度,加速度传感器则用于测量线性加速度,两者结合可以实现对人体睡眠、日常运动强度等监测操作。

而且定位更高端的一些手环,还搭载有心率传感器,内置有 GPS。心率传感器能够读取用户运动时的心跳频率,比如目前很火的 AppleWatch。这种传感器可发射 LED 绿光照射皮肤,再通过光敏二极管检测血液对绿光的吸收,从而判断血管的血流量,进一步了解心脏的运动频率。内置有 GPS 的专用运动手表,可精确捕捉运动者位置,实现测距、测时间,根据公式计算速度等专业运动功能。相比于一般的运动手环、智能手表,它可以获得更加精确的数据。

2. 传感器在智能家居中的应用

智能家居与普通家居相比,不仅具有传统的居住功能,还兼备信息家电、设备自动化,提供全方位的信息交互功能。而这些功能的实现几乎都需要大量的传感器作为支持。传感器在智能家居中的应用包括:居家安全与便利,如安防监视、火灾烟雾检测、可燃和有毒气体检测等;节能与健康环境,如光线明亮检测、温湿度控制、空气质量等。

在居家安全方面,市面上推出的传感器有小米公司的小米门窗传感器和 Loopabs 公司的“notion”传感器。前者可以监控门窗的开关状态,后者可以识别门的开关与否,同时还能监听烟雾警报及门铃。在居家节能与健康环境方面,智慧云谷推出系列能检测出精确数值的家用无线自动组网空气质量传感器,能够检测损害健康的甲醛、苯、一氧化碳等 10 几种气体及家中的温湿度并实时显示,且可以根据检测的结果对通风、加氧、除湿等进行自动调整。

3. 传感器在智能交通中的应用

传感器在智能交通系统里,就如同人的五官一样,发挥着极其重要的作用。例如,采用多目标雷达传感器与图像传感器的技术目前已经在智能交通领域崭露头角,传感器配合相机,可以在一张图片上同时显示多辆车的速度、距离、角度等信息,有效地监控道路车辆状况。同时,随着智能城市的兴起,车流量雷达、2D/3D 多目标跟踪雷达也逐渐普及。作为系统眼睛的传感器,实时搜集道路交通状况,以便更好地控制车流显得越发重要。

未来车辆排放法规、燃油的效能都将成为智能交通行业的驱动力,而传感器也将在这类领域发挥重要的作用。在提高汽车燃油能效方面,新一代智能型的液压泵使用一个位置传感器实现对检测液压泵挡板的位置检测,从而较传统泵节省 15% 的燃油。

复习与训练

- 5.1 测量速度的方法有哪些?
- 5.2 测量速度的传感器有哪些? 各有什么特点? 分别用于什么场合?
- 5.3 什么是霍尔效应? 霍尔传感器的输出霍尔电压与哪些因素有关?
- 5.4 光电传感器用于测量转速有哪些方案?
- 5.5 霍尔传感器的工作原理是什么?
- 5.6 霍尔开关传感器分为哪些类型?