

目 录

一、可燃性气体泄漏声光报警及浓度分析实验	3
二、声控定时器实验	6
三、霍耳测速实验	8
四、光纤形变传感器	9
五、光控测速实验	11
六、光控制应用实例	
实例一：高灵敏度光控电路	13
实例二：激光探测报警器	14
七、温度传感器测量与控制实验	14
附录：温控程序	22

前言

现代科技迅速发展，新技术大量涌现，特别是物联网的大量应用，传感技术正以潮水般地进入各个应用领域。传感器及应用的学习是非常必要的。针对我们电子工程学院开设的传感技术与应用课程，为理论与实践结合，深入认识传感技术理论、掌握传感器应用技术知识，培养学生实际动手能力，我们开设了传感技术应用实验。传感技术应用实验电路经过了多年的实验，不断改进、更新，完善。传感技术应用实验深受学生的欢迎和喜爱，基于这一基础我们编写了这本传感技术应用实验讲义。

在该书中，包括气体、声控、霍尔（磁敏）、光控、光纤和温度控制等实验。我们分别介绍了几种传感器的实验原理，将实验的电路的结构、性能、工作原理、制作和调测方法都进行了详细的说明。

编写疏漏之处在所难免，望读者指正。

编者 2018. 5. 1

实验一 可燃气体泄漏声光报警及浓度分析

一. 实验目的

- 1. 认识半导体气敏传感器对可燃性气体敏感的特性。
- 2. 学会运用NE555 时基集成电路、LM331电压 / 频率变换器，实现气体的自动报警装置。

二. 使用仪器

双踪电源、示波器、函数发生器、数字万用表

三. 实验原理

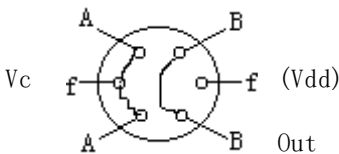
(一) 可燃性气体泄漏，有可能造成人身中毒，也有可能发生爆炸事故。因此，及时报警可防患于未然。本次实验着力于声光报警，且通过对于气体浓度的测量了解气敏传感器的性能。下面对于主要器件进行简略说明：

1. QM-N5B 型气敏元件

QM-N5B型半导体器件，是新型“气—电”传感器件。适用于对可燃性气体的检测、检漏、监控等设备。其探头具有灵敏度高、稳定性好、响应和恢复时间短、电导率变化大等优点。

QM—N5B 型气敏器件主要技术特性：

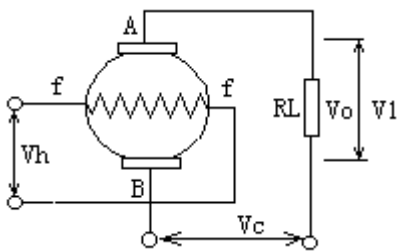
- (1) 适应范围：天然气、煤气、液化石油气、烟雾等。最适用做家用可燃气体报警器。
- (2) 气敏器件外型结构和测试电路图：



图中：f-f 为加热丝的引线端

A-A 为测量级一端的两根引线

B-B 为测量级另一端的两根引线



- (3) 最佳工作条件：加热电压 $V_h=5V$ ，回路电压 $V_c=10V$ ，负载电阻 $R_L=10K\Omega$

- (4) 灵敏度： $S=V_1 / V_o > 2$ (V_o 为器件在清洁空气中的电压， V_1 为器件在含 0.3%丁烷的空气中的电压，见图测试电路)

- (5) 响应时间： $t_s < 10$ 秒

- (6) 恢复时间： $t_c < 3$ 秒

- (7) 环境条件：环境温度 $20^{\circ}C \sim 40^{\circ}C$ ，环境湿度 $< 85\% RH$ ，大气压力650—800Mhg

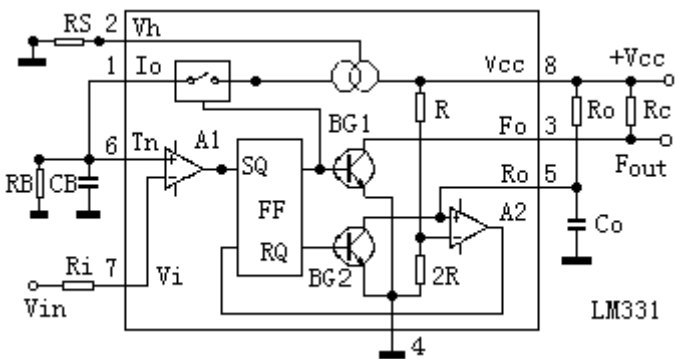
- (8) 使用方法及注意事项：

- a. 气敏半导体器件开始工

作时，在没有遇到可燃性气体时，其电导率也将增加。这是由于器件工作需要一个热稳定过程，经过几分钟左右，电导率便下降到某一个稳定值，这时方可正常工作。

- b. 加热电压5V，是用丁烷气体选择的最佳加热电压，测量其它气体时为了获得 R_L 上的最大电压，可以重新选择。

2. LM331



LM331是电压 / 频率变换器，可把电压大小不同的信号转换为频率高低不同的信号，其内部结构如下：

7 脚为 V_{in} 输入端，6脚门限输入端内连比较器A1，去控制FF，FF与比较器A2构成MMV电路，5 脚外接单稳定时阻容 R_o / C_o 。 2 脚外恒流设定电阻 R_s 决定V/F变换比例系数，也就是决定1脚输出的恒流 I_o 的大小， I_o 的有无受MMV开关的控制，MMV的脉冲通过使 3 脚端输出形成 F_{out} 。作为VFC电压频率转换使用时，6脚要外接积分电路 $R_b、C_b$ 且与 1脚连接， C_b 为积分电容由 I_o 断续充电而由 R_b 自动放电，产生的输出频率为 $F_{out}=Kv_{in}$ 。输出脉冲宽度 $TW=1.1R_oC_o$ 。 $F_{out}=KV_{in}$ 中的系数 K 为：

$$K=0.486 R_s / R_bC_oR_o \quad (\text{KHz} / \text{V})$$

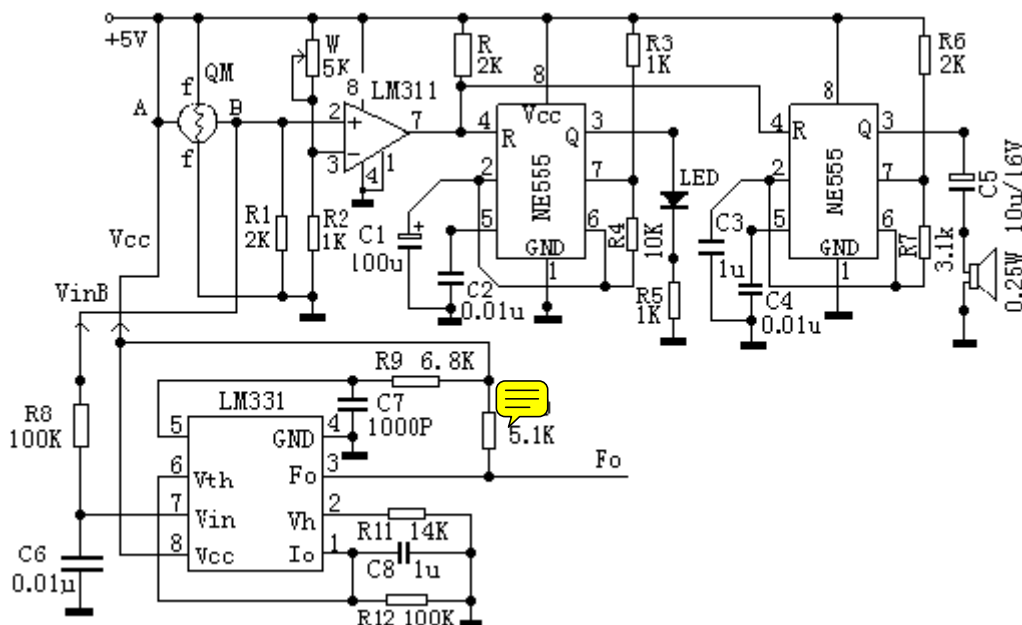
其余元件如LM311(电平比较器)、NE555等均为常用器件，在此不再阐述，其中计算NE555的振荡频率的公式为：

$$f=1 / 0.7 (R_a+2R_b)C \quad (\text{Hz})$$

3. 气样：（此实验选用酒精头）

在室温下，用棉花球从乙醇瓶中取一些乙醇，将带有乙醇棉花球的气体正向气敏头移动，距气敏头距离越近，相对的气体浓度越大，通过移动距离来改变浓度的大小。

(二). 实验电路原理图



实验电路原理图如上，QM是气敏元件，直流电源 V_{in} 加到气敏元件加热丝上和给整个电路供电。敏头 A端接电源正端，B端接到LM311比较器的 2脚，并通过 R_1 接地，LM311的输出 7脚分别接到两个NE555的 4 端，控制告警的发光指示和声响指示，B 端还接到LM331（电压频率转换器）的7脚，通过它测量气体浓度与 V_B 的关系。

(三). 工作过程：

电源 V_{in} 将输出的稳定电压5V接到加热丝上使器件加热，气敏元件在洁净空气中充分预热后，测量极A-A与B-B之间的阻值为一个稳定值，当气敏元件遇到可燃性气体时，随着气体浓度的增加，测量极A-A与B-B之间的阻值相继下降，B-B端的电位则相继上升，此电压信号输入到电压比较器LM311的 2脚上，实验开始时，[注意]先调整LM311的 3脚电位为某一灵敏度域值 V_3 ，

低于它时，LM311的 7 端输出为低电平，当 2脚电压上升到高于LM311的 3脚电压时，LM311 翻转，使LM311的 7端输出高电位，这时告警指示电路NE555被触发开始工作，前一个NE555振荡频率设置为1HZ，LED闪光，后一个NE555振荡频率设置为1KHZ，蜂鸣器发出宏亮“嘀...”声。

与此同时，气敏元件的 B端电压经RC滤除干扰后加到LM331的 7脚，与其 6脚电位 V_{th} 比较，当 $V_B > V_{th}$ 时，则比较器翻转，其输出去触发MMV建立单稳过程，MMV控制电流源开关以产生 I_o 给C8充电，同时输出频率 F_o ，记录 F_o 则可测得气体浓度与 V_B (F_o)的特性。电路设计中为保证 F_o 与 V_B 成线性比例，需要使输出频率 $F_o = 0.486R_{11} / R_{12}R_{9C9} = 10KHz / V$ 。至此，气体浓度信号经气敏元件转变为电信号，再由LM331转变为数字信号，只需外接计数器，即可知某一浓度的气体对应的频率是多少。

三. 实验过程：

1. 在面包板上按图插接电路，并仔细检查是否插接正确。
2. 确认电路插接无误后，首先断开LM311的 7 脚与NE555电路 4脚的连线，接通电源，检查 NE555是否正常工作，正常工作时蜂鸣器发出宏亮的“嘀……”声。以此证明报警部分电路连接无误，这时候NE555的 4 脚悬空用示波器测量，电压为高电平。然后断电，把LM311的 7 脚和NE555的 4脚接上，再次接通电源，适当调整 W值，测量LM311电压比较器的 2 和 3脚电压。改变 W阻值可使声光报警部分工作[调灵敏度]。
3. F_o 接到频率计上，得到某一频率值，当乙醇气体接近气敏头时，频率改变，以此证明此部分电路也连接正确。
4. 调定LM311的 3 脚电压后，用示波器监测LM311的 2脚电位，用频率计测量频率。频率计在没气体接近气敏头时，频率计有某一值，当气体接近气敏头时频率发生变化，LM311的 2 脚电位也在变，当 2脚电位固定在某一电压值，频率也固定下来，这是所测频率。
5. 进行测试，记录并观察一定的气体浓度（由棉球距离敏头的距离决定）所对应的 V_{inB} 电压、LM311的 2脚、3脚、7脚的电压及LM331的 3脚 F_o 的输出频率变化情况，记录实验结果。

四. 测试数据记录：



LM311	3脚 (V)	2脚 (V)	7脚 (V)	LM331输出频率
气体浓度 小 ()				
中 ()				
大 ()				

五. 思考题：如何改变本实验的电路设计，使实验电路能实现安全浓度指示，警戒浓度和危险浓度告警。

实验二 声控定时器

一、实验目的:

- 1、掌握声电转换器件、NE555时基集成电路的特性和应用
- 2、利用声电转换器件、NE555时基集成电路进行自动控制

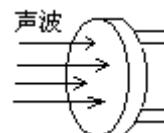
二、测试使用仪器:

双踪电源、示波器、数字万用表、函数发生器

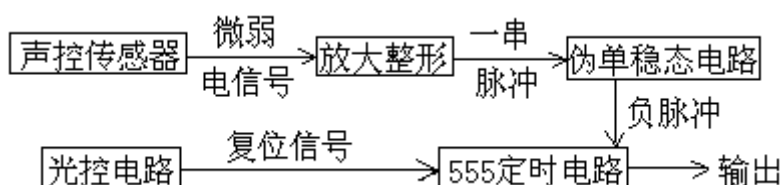
三、实验原理:

1、器件介绍：

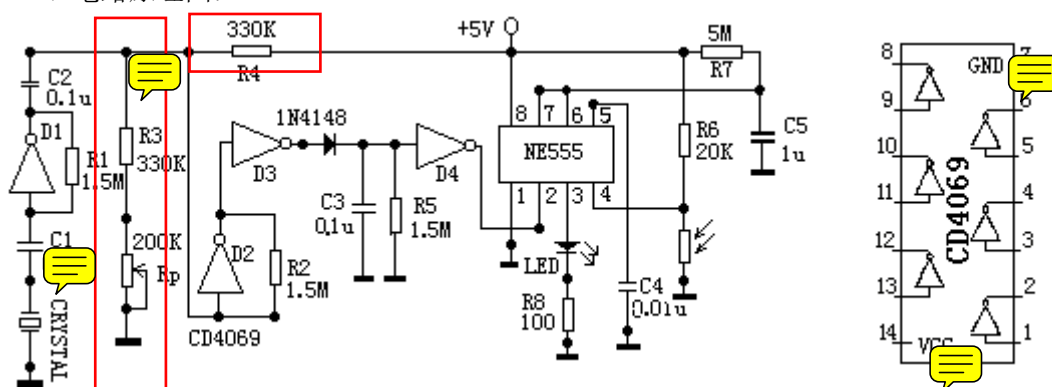
声电转换器件采用压电陶瓷传感器器件，其工作原理是利用陶瓷介质材料的压电效应，即当有压强作用于传感器表面时，使传感器的输出端产生电位差。电位差与压强的大小成比例关系。



2、电路原理框图:

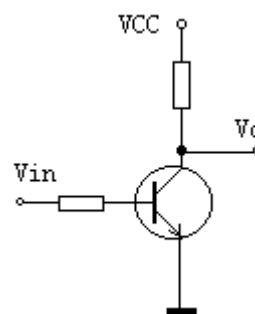


3、电路原理图:



4、电路工作原理：

D1, D2放大器原理（见电路原理图）：D1, D2为CD4069集成块中的反相器，通常做数字逻辑电路使用，其基本原理是相当于利用三极管的开关状态。如图所示，使三极管工作于饱和区和截止区。但是，在原理图上，D1、D2两个反相器分别加入一大电阻 $1.5\text{ M}\Omega$ 后，则相当构成三极管负反馈放大电路。R1、R2为负反馈电阻，其作用：一是使三极管组成闭环负反馈电路，使三极管处于线性区，二是扩大电压增益，形成高放大倍数。



电路工作原理：由于压电陶瓷对猝发的声响信号有一转换作用，当有声响发生时，则将其转换成微弱的电信号。该电信号经CD4069中的D1, D2组成的两极放大器放大后，被D3隔离整形，输出一串脉冲电压，D3输出经二极管1N4148初始状态为低电平。D4和C3、R5组成伪单稳态电路。D3输出脉冲向C3充电，使D4输入端由低变成高电平，使输出端由高变为低电平。脉冲过后，C3向R5放电，当C3上电压降到某一值时，D4输出又恢复为高电平。故每来一个声信号，D4输出一个负脉冲，利用此脉冲触发NE555集成电路组成的延迟系统，达到定时效果。NE555集成电路复位端（4脚）上加一只光敏电阻（普通光）及阻值为20K Ω （根据不同的光敏电阻而定）的固定电阻组成分压电路，使其白天输入低电平，NE555电路处于复位状态，输出 3脚为低电平，D4 的触发负脉冲不起作用。在光线暗时，输入高电平，NE555电路脱离复位状态，利用D4产生负脉冲触发定时。C5、R7是决定LED发光的时间常数，调整C5或R7来改变LED发光的时间。

四、实验步骤：

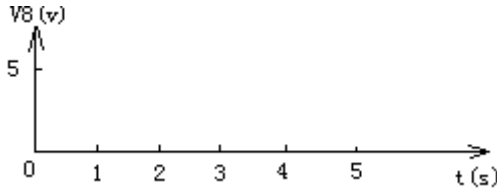
- 1、按原理图连接电路
- 2、测量灵敏度
 - a. 将电位器Rp中心抽头调整电阻为 0。
 - b. 利用示波器，测D4输出，即NE555的输出 2脚为高电平。
 - c. 用示波器监测，在有光照条件下，调整Rp，增大Rp阻值至使D4输出刚好要变化为低电平为止。
 - d. 向压电陶瓷片吹一口气，看电压值跌落后又恢复高电平，测试完毕。
- 3、击掌，用示波器测出D4输出负脉冲。
- 4、遮住光敏电阻，击掌，用测NE555电路输出端 3脚电压，并观察发光二极管指示，记录延迟时间。
- 5、将光敏电阻的遮挡物去掉，测出此时NE555电路输出 3脚电压，并观察发光二极管指示。

五、数据记录：

1、灵敏度测试：

VD4 高(V)	VD4低(V)	NE555 V3高(V)	NE555 V3低(V)

2、负脉冲测试：



3、定时器功能测试：

实验条件		NE555三脚电压 (V)	LED 状态（亮、灭）	LED亮的时长（s）
无光照	击掌前			
无光照	击掌后			
有光照	击掌前			
有光照	击掌后			

实验三 霍耳测速

一、实验目的：

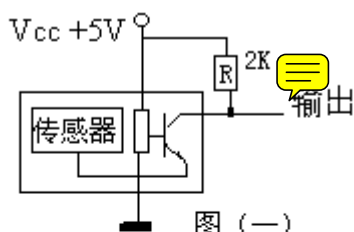
了解霍耳传感器N3120U的特性，学习霍耳传感器的应用，NE555时基集成电路应用。

二、实验设备及器件：

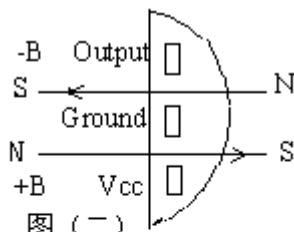
显示器、稳压电源、频率计数器；霍耳传感器、万用表、小磁铁、小电机等。

三、实验原理：

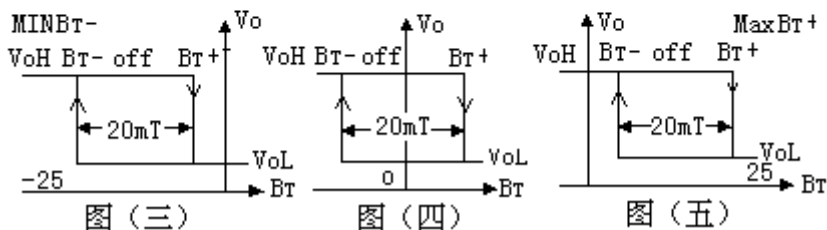
霍耳元件是一种磁电转换元件，用于检测磁场并将磁信号转换成电压。把霍耳元件置于外磁场中，沿垂直于磁力线方向通过电流时，其中的载流子受洛仑兹力作用，被推向一侧，积累以后形成电场，这个电场阻止载流子的偏移，当达到动态平衡后，电场中电位差即形成霍耳电压。当电流一定时，测量霍耳电压即可得知磁场的场强大小。



图（一）



图（二）



图（三）

图（四）

图（五）

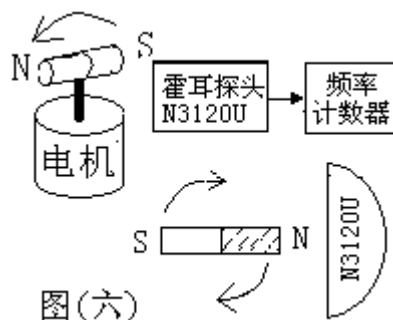
本实验采用的N3120U霍耳器件是一种集成的开关元件。它的输出可直接与多种电子元件相连。它的内部结构和主要性能如上图，其中：

图（一）显示了N3120U的内部结构和外接电路的种类。

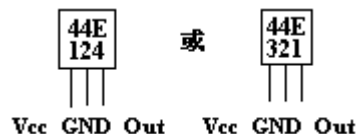
图（二）显示了对于N3120U器件来说磁场为负的情况。

图（三）、图（四）、图（五）表示了对于磁感应强度大小的不同区域输出电压翻转的情况。

图（六）给出了实验装置的示意图和磁铁与传感器的相对位置图，当磁铁转动时，N3120U输出波形为一系列方波，这时就可送计数器进行计数。



图（六）



有字面对磁铁N

实验原理框图所示：

四、实验步骤：

1、测试传感器特性：

(1) 按图(一)连接电路，输出接示波器。

(2) 如图(七)所示，测试图(五)区域的器件特性。用示波器观察N3120U的输出情况。将小磁铁由远及近移向N3120U，当输出电压发生跳变时，记录小磁体靠近霍耳探头的一端(现在是N极)与霍耳探头N3120U的距离，然后由此点由近及远移动小磁铁，观察N3120U的输出，当示波器上输出电压出现反向跳变时，再记录小磁体与N3120U的距离。

(3) 用小磁体的 S极指向N3120U，重复 (2)的步骤，测试图(三)所示的器件特性。

(4) 将磁体的 S极对准N3120U，如图(六)转动小磁体，观察示波器上的输出电压，测试如图(四)所示的特性。当连续转变小磁体时，输出电压将连续发生跳变，记录下 4次输出电压发生跳变时每次小磁体的转变角度。

2、用霍耳器件测量转速：

(1) 按图一连接电路，并将N3120U的输出连接到频率计数器的数字信号输入端。

(2) 将连接小磁体的小电机通电，使之带动小磁体旋转，将这一装置如图(六)靠近N3120U，计录频率计数器显示测出的旋转频率。

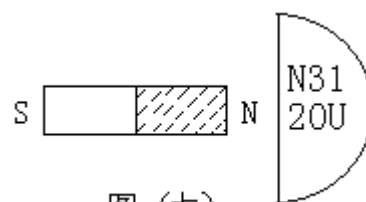


图 (七)

实验四 光纤形变传感器

一. 实验目的:

1. 了解光纤传感器原理及光纤在传感技术中的应用。
2. 测量光纤形变传感器的特性。

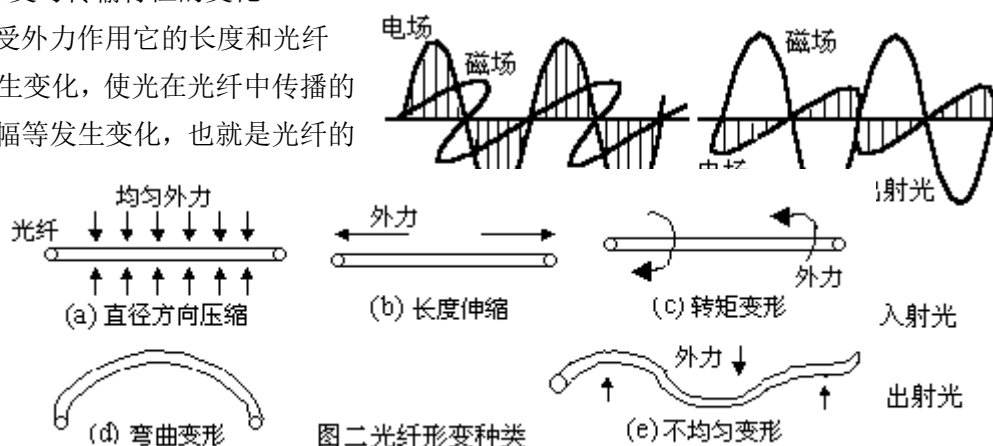
二. 使用仪器

直流电源、示波器、万用表、光信号源、光功率计、光纤形变传感器、光纤及光连接器。

三. 光纤传感器工作原理:

1、光纤形变与传输特性的变化

光纤受外力作用它的长度和光纤直径等发生变化,使光在光纤中传播的相位、振幅等发生变化,也就是光纤的



图二 光纤形变种类

传输特性发生变化,这就是光纤形变传感器的工作原理。光在光纤中传输时的变化如图一所示。光纤形变及输出特性变化的对应关系如图二所示。图二(a)

是压缩光纤直径的情况,加压时,光纤

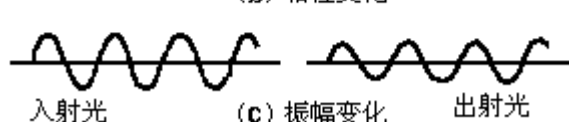
由于直径变化而产生折射率变化。图二(b)是张力使光纤长度变化的情况,加张力时,光纤由于长度变化而导致输出的相位变化。图二(c)是扭曲使光纤光学性质各向异性,从而导致光纤偏振面变化。图二(d)是弯曲形变的情况,应变集中在弯曲处的内侧和外侧,故使光纤产生光学各向异性,可观测到圆极化波。另外,

光轴弯曲,由于模之间的耦合而增加辐射损耗,从而也使输出光的辐射改变。

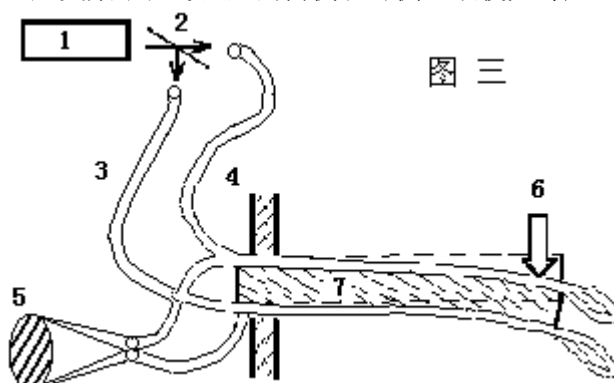
图二(e)是不均匀变形的情况,这种变形增加了模之间的耦合损耗。

2、光纤形变传感器

利用光纤形变与输出特性的对应关系,可构成光纤形变传感器。图三是



图一 光在光纤中传输时的变化



图三

利用 图二 (b) 的光纤长度伸缩与输出相位变化之间的关系构成的传感器,它是在测量对象的悬臂梁上下面分别粘上呈往复状的光纤。由激光器出来的光分成两束光,这两束光在光纤出口处汇集在一起,在屏幕上形成干涉条纹。当外力 F 作用于梁的自由端时,由于梁变形,上面的光纤伸长,下面的光纤缩短,从而使传输光的相位差变化,在屏幕上的干涉条纹产生移动。这种传感器灵敏度高而体积小,当梁长30cm、厚0.5cm时,梁的前端位移10 μ m,干涉条纹移动一条。

图四,也是利用光纤形变与输出特性的对应关系,构成的传感器的例子。做一个简单的实验,我们将激光器发出的光分成两束光,这两束光分别通过两根光纤输出,底下的一条为参考光。上面的一根光纤放入一个模具中压弯、扭曲变形,使光纤产生光学各向异性,增加模之间的耦合辐射损耗,使输出光的辐射改变,光强度衰减,输出光的强度变化反比于光纤形变的程度。

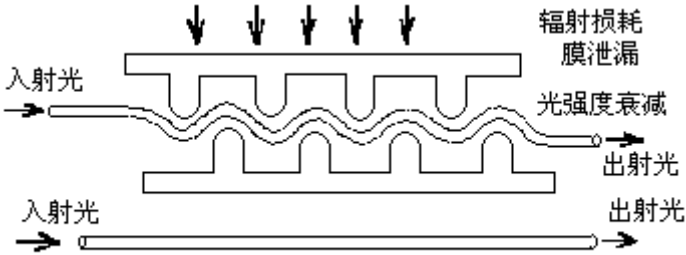


图 四

四. 实验步骤:

实验采用图五光纤形变传感器装置,测量光纤形变传感器特性。

1 图五所示建立测试系统

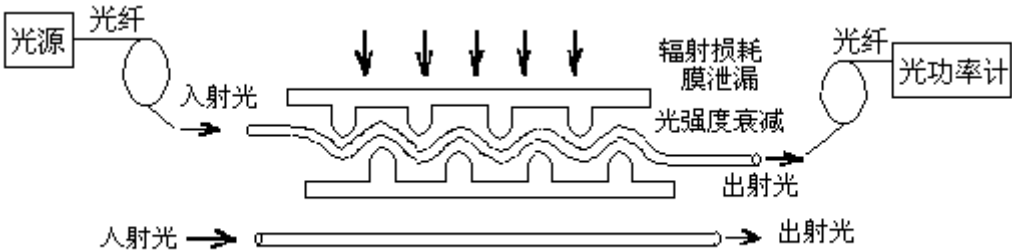


图 五

2 开启光源和光功率计,调整光探头方位和调整外力的大小,同时观察光功率计的指示,选择光输出在灵敏度较高的线性变化范围工作。

3 调节外力从小到大变化,步进记录输出的光功率值。

外力 (位移)						
输出光功率						

4 划出光纤形变传感器特性曲线。

五. 思考题: 试设计一种光纤形变传感器应用系统。

实验五 光控测速

一、实验目的

测量光电转换器件的特性；掌握NE555时基电路和NE5532双低噪声运算放大器的应用；利用光电转换器件进行自动测量。

二、实验设备

晶体管直流稳压电源、万用表、示波器、频率计数器。

三、实验原理

利用某些材料的光电和电光效应可以做成光电转换器件,半导体发光管和光电二极管就是利用半导体材料的电光效应制成的,发光管输出的光强正比于它的正向工作电流,而光电二极管产生的光生电流(即二极管反向电流)正比于接收光强度。图(一)是测量半导体发光管L1的光发射与光电二极管P1接收特性的原理电路。

光电发射—接收测试工作原理

如下：当调整RA电位器时，三极管N1工作电流 I_c 发生变化， I_c 通过发光管L1使之发光，发光功率 P 是 I_c 的函数表示为 $P=K_g \cdot I_c$ ， I_c 可以由R4上电压求得。 K_g 是电光发射系数。

L1发的光，可以通过光电接收管P1

检测；根据光电检测原理，P1的电流正比于接收光功率。当光照P1时产生光电流 I_p ，此电流在R5上产生电压；通过测R5上的电压测量所接收的光功率。接收光功率与光电流 I_p 的关系为： $I_p = K_p \cdot P$ ， K_p 是光电转换系数。注意：发光管是正向接入电路，接收管是反向接入电路。

光电转换器件的一种应用就是测量旋转飞轮的转速。当将旋转的飞轮置于电光发射和光电接收测量装置中间时,利用飞轮旋转时不断挡住红外线,从而使红外接收管形成一系列脉冲(图一所示),根据飞轮旋转一次的挡光次数,将脉冲进行分频,将分频后的脉冲送至频率计数器,显示出脉冲的频率数,即是测出飞轮的转速。

本实验是利用光电发射/接收系统传输不同频率的电脉冲，图(二)是发射电路的原理图，它是由 NE555同R、R1、R2、C1、C2一起构成多谐振荡器。NE555产生的方波经过 N1(3DG12)管的推动，使L1 (2DU)发光管发射红外线，发射出来的是脉冲式的红外光。调整R电位器可改

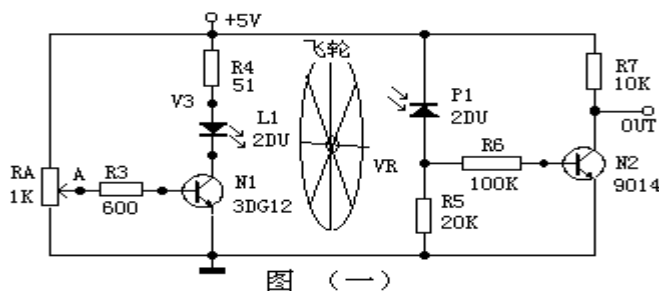
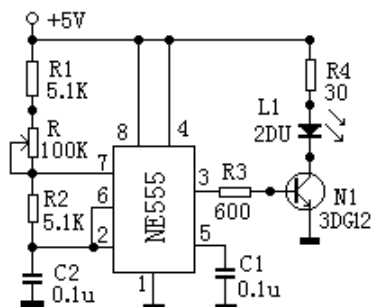


圖 (一)



图(二)

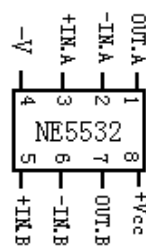
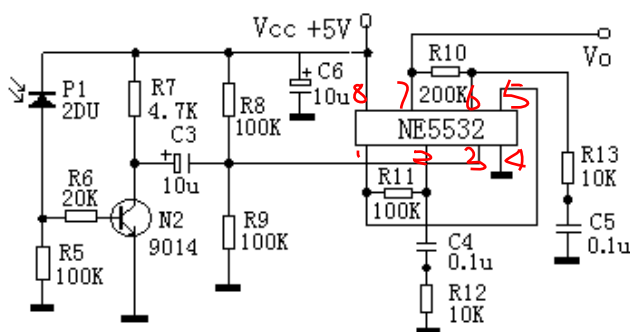


图 (三)

变脉冲的频率。

图(三)是接收电路和放大电路的原理图,P1(2DU)管为红外接收管,它能接收发自L1(2DU)发射的脉冲式红外光。接收电路在没有接收到红外光时,电流较小,N2工作在截止区,在接收到光信号时,P1产生反向电流,使R5电压升高,N2工作在放大区到饱和区,R5支路的电流、电压参数的变化,形成一系列脉冲方波,经NE5532的两级放大再送到频率计数器,即可读出脉冲方波频率。

四、实验步骤:

1、光电发射—接收管特性的测试:

(1) 按图(一)插接电路,这时A点电位通过分压在此为0到+5V间连续变化。通过调节此电压,使V3点电位发生变化,使得L1发射管发光强度发生变化,也使P1接收管的支路电流发生变化。这可以通过观测R5电阻上的压降即VR点的电位显示出来。

(2) 调节A点电压使L1不发光,用万用表测此时VR上的电位。逐步增大A点电位,当使L1发光时,测量V3、VR的电位。

(3) 逐步增大A点电位,测量几组相应的V3、VR上的电位。

2、光控测速

(1) 图(二)插接电路,确认电路连接正确,接通电源。用示波器测量NE555的3脚波形及方波频率,多谐振荡器工作正常,再测N1管的集电极C脚波形,将信号输出作为频率计数器的信号输入,记录测得的频率。

(2) 图(二)电路振荡频率的理论值可由下面公式求出: $f = 1/0.7(R_1 + R_2 + 2R_2)C_2 =$ 求出此值,并比较和实际测得的频率是否相符。

(3) 按图(三)连接电路,确认电路连接正确,接通电源;用示波器监测接收端三极管N2输出,即NE5532的3脚输入波形,经两级放大即5脚和7脚的波形、频率,将NE5532的7脚信号输出作为频率计数器的信号输入,记录测得的频率并与发射端记录进行比较。

五、实验数据报告:

1、光电发射接收管特性测试:

项目	L1不发光时	1	2	3	4	5
VA						
V3						
VR						
VOUT						

2、光控测速频率计显示频率: $F =$

3、试分析影响接收端灵敏度的原因,并提出改进意见(画出电路图)

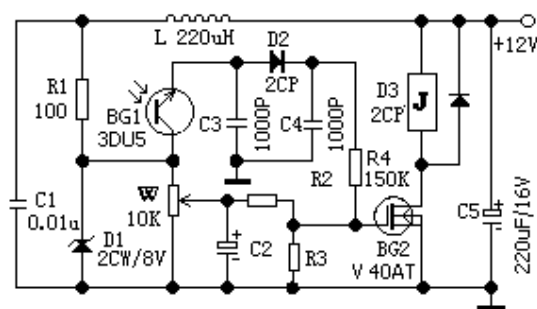
4、画出发射端、接收端及两级放大的波形图。

实验六 光电控制应用实例

实例一：高灵敏度光控电路

一般高灵敏度的光控电路中，光电转换都采用光电池；由于光电池成本高，容易损坏，安装不方便等原因，所以使用时受到一定的限制。这个电路采用普通的三极管，灵敏度同样做得很高（0.1lx能起作用）。因此它可以广泛应用于路灯自动控制及其他一些光电控制的场合。

电路原理如图所示，当有光照时，BG1、D2同时导通，给BG2正向偏置，使BG2饱和，J吸合。无光照时，BG1、D2截止，BG2反向截止，J释放。从而达到接通或断开的目的。R1、D1、W、R2、R3组成了BG2的稳压式可调偏置电路。其主要特点是：输入阻抗高，灵敏度任意调节。在使用条件高的场合，W采用多圈电位器。D1、D2、D3组成了抗干扰电路，防止电火花等高频干扰。R4为保护电阻，防止强光损坏BG2。C1、L、C5组成电源滤波电路。J是BG2的负载。这个电路只要接好，不需要任何调试，只要接上光电管调节W电位器就可得到不同的灵敏度。元器件除BG1要求10001x大于5mA以上，其他均无要求。

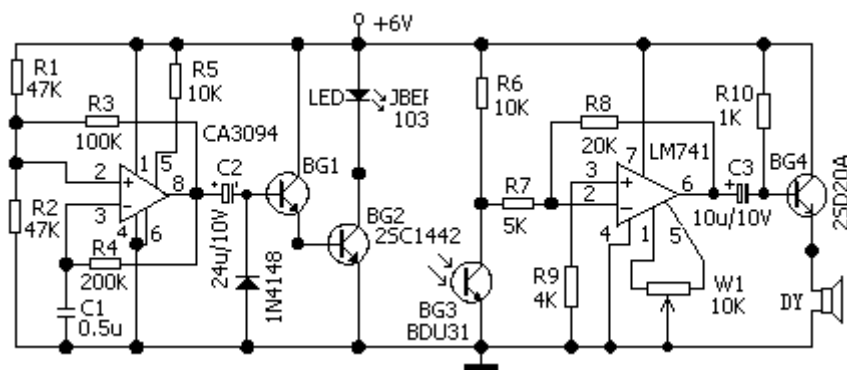


实例二：激光探测报警器

这种探测器分成发射和接收两部分。发射部分是采用半导体大功率激光器件，接收部分是以高灵敏度三极管作检测元件。整个电路工作时由激光器发射头定向输出强激光束脉冲信号，遇到被测物体后，反射回一个信号，再由传感器接收处理，并作显示。该探测器探测距离可达10 ~ 20Km。

工作原理：电路由图所示，第一级运算放大器CA3094与电阻R1~R5、电容器C1组成无稳态多谐振荡器，振荡频率为500~1000Hz。运放输出的振荡电流经过电解电容器C2耦合，至三极管BG1和BG2做功率放大，BG2输出的音频强脉冲电流驱动发光LED1激光器发射头，LED1是砷化镓大功率脉冲激光器，其峰值波长为0.89um，属近红外光谱。与此同时500~1000Hz的音频电流将近红外光调制，使输出功率达到3~5W。BG3是3DU31光敏三极管，光谱峰值波长为0.88um，被它感受的光电流经第二级运算放大器UA741进行高倍率放大。UA741将输出的调制音频脉冲电流经C3耦合，至射级BG4，并推动扬声器DY发出报警信号。

这种探测器具有光束集中、单色性好、分辨率高、昼夜可用等优点，并有很强的方向性和抗干扰能力。也可用来做工业自动控制的视觉传感器等。



实验七 温度传感器测量与控制实验

一、实验目的：

- (1) 通过对温度传感器性能的测量，加深对传感器原理的理解。
- (2) 学习ADC0809模/数(A/D)转换器件与微机接口的使用。
- (3) 学习单片机数据采集原理，并利用温度传感器进行自动控制。

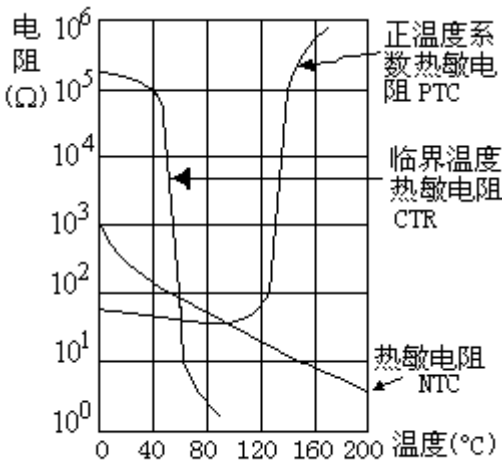
二、实验仪器及器件：

计算机、单片机实验箱、双路稳压电源、示波器、万用表，ADC0809转换器件、运算放大器、电阻、电容、温度计、电烙铁、热敏电阻(1.2K/25℃，200Ω/25℃ 各一只)。

三、实验原理：

● 热敏电阻的温度—电阻特性

利用电阻随着温度变化特性制成的传感器叫热电阻传感器。它主要用于对温度和与温度有关的参数进行检测。按电阻的性质来分，可分为金属热电阻和半导体热电阻两大类。半导体热电阻又称热敏电阻。不同材料烧结的热敏电阻其特性也不同。热敏电阻的特性，基本取决于初始电阻 $R(\Omega)$ ，热敏电阻 B 常数(K)，热扩散常数 $K(mW/^\circ C)$ 和热时常数 $\tau(s)$ 四个常数。热敏电阻大致可分为负温度系数热敏电阻(NTC)、正温度系数热敏电阻(PTC)和临界温度电阻器(CTR)三类。图<一>是几种热敏电阻的电阻温度特性。



图<一>

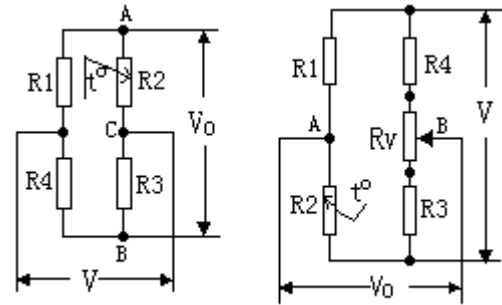
在某一特定的温度值，PTC和CTR的电阻值会发生急剧的变化，因此不能用于宽范围温度的测量，而适于特定温度的检测。负温度系数热敏电阻的温度系数一般为-2~-6%/℃，而开关型则大于10%/℃。

热敏电阻传感器可用于液体、固体、固熔体等方面的温度测量。测量范围一般为-10~300℃，也可以做到-200~10℃和300~1200℃。

● 热敏电阻V-I特性

热敏电阻为一种温度响应器件，受外界温度影响而改变其阻值。但由于其电流过大，而使自身发热，也会改变其阻值。因此V-I特性不是一条直线。通过V-I特性的测量可了解器件工作状态、误差。

经常使用电桥作为传感器测量电路，因为电桥能精确地测量电阻的微小变化。图<二>所示的桥式电路，其输出电压 V_o 可用 V_{BC} 与 V_{AC} 之差表示：



图<二>桥式测量电路

图<三>

$$V_o = V_{BC} - V_{AC} = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \times V \quad \langle 1 \rangle$$

为使测量前输出 $V_o=0$ ，即使电桥平衡，应满足：

$$R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \quad \langle 2 \rangle$$

在满足 $\langle 2 \rangle$ 式的条件下，当电桥各个臂电阻变化远小于本身值（ $\Delta R \ll R_i$ ），桥的负载电阻无限大时，输出电压可近似用以下公式表示：

$$V_o = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \times V$$

如果将热敏电阻接入一臂，如图 $\langle 二 \rangle$ ；并且测量前，令 $R_1=R_2$ ， $R_3=R_4$ ，则：

$$V_o = \frac{V}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

在测量过程中，电阻 R_1 ， R_3 ， R_4 都不变化，即 $\Delta R_1=\Delta R_3=\Delta R_4=0$ ，因此：

$$V_o = \frac{-V}{4} \times \frac{\Delta R_2}{R_2}$$

为了使电桥测量之前便于调零，可加一小阻值的可变电阻 R_V ，如图 $\langle 三 \rangle$ 所示。

● 单片机温度采集

热敏电阻作为温度传感器应用时，通常与A/D转换器和计算机连在一起，构成温度采集和控制系统。下面介绍实验中采用的数据采集和控制系统的工作原理和程序设计。检测系统分为



四部分，如下框图所示：

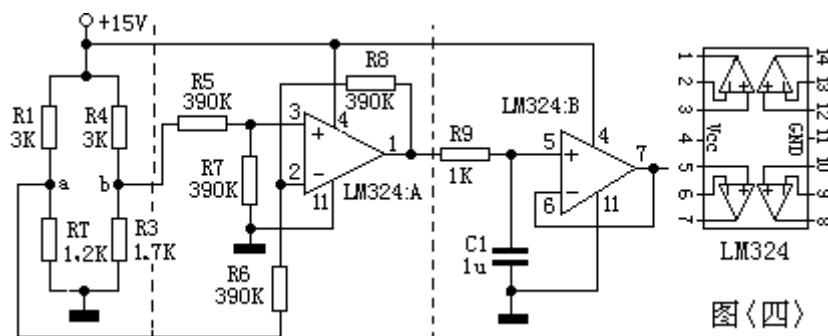


图 $\langle 四 \rangle$

1、温度采集部分：

图 $\langle 四 \rangle$ 是温度采集部分的原理图，在图 $\langle 四 \rangle$ 中用电桥作T-V转换，热敏电阻 R_t 为负温度系数型，即 R 随 t 的升高而将低， R_t 在 16°C 时为 1.67K ，为使 t 在 $16^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 之间变化时，输出在 $0 \sim 5\text{V}$ 之间， R 应等于 1.67K ，但为保证 $V_a \geq V_b$ ， R 取 1.7K ，则由 $\langle 1 \rangle$ 式得：

$$V_a - V_b = 15 \times \left(\frac{1.7}{1.7 + 3} - \frac{R_t}{R_t + 3} \right) \quad \langle 3 \rangle$$

LM324:A作的电压放大，使输出最大 $\approx 5\text{V}$ 。由于前级热敏电阻在温度为 $16^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ 之间变化时， V_{ab} 已接近 5V 。因此，运放放大比例为 $1:1$ 。LM324:B为低通滤波，本电路中 f_c 为：

$$f_c = 1/2\pi\sqrt{RC} = 1/2\pi\sqrt{10^3 \times 10^{-6}} = 5\text{HZ}$$

2、A/D 转换部分

ADC0809的内部结构及管脚功能:

ADC0809是CMOS数据采集器件，它包括一个8位的逐次逼近型的ADC部分，一

个8通道的模拟多路开关和联合寻址逻辑，模数转换分辨率为8位，精度为8位，转换时间为100 μ S，工作温度范围为-40 $^{\circ}$ C \sim +85 $^{\circ}$ C，功耗为15mW，输入电压范围为0 \sim 5V。因采用了电阻阶梯和开关组成的开关树型D/A，能确保无漏码。因零偏差和满量程误差均小于1/2LSB，故不需要校准。5V电源供电。八个模拟输入通道，有通道地址锁存。数据有三态输出能力，易于与微处理器相连，亦可独立使用，内部结构见图〈六〉。

数据输出线 $2^{-1} \sim 2^{-8}$

即D7~D0 (TTL电平)来自具有三态输出能力的8位锁存器,除OE为高电平外,均为高阻状态,故可直接接到系统数据总线上。

三个地址输入ADDA, ADDB和ADDC, 用于选择模拟通道, 地址输入通过ALE信号予以锁存, 所以地址输入可直接取自地址或数据总线,

而不需另加锁存。地址输入与通道选择如下:

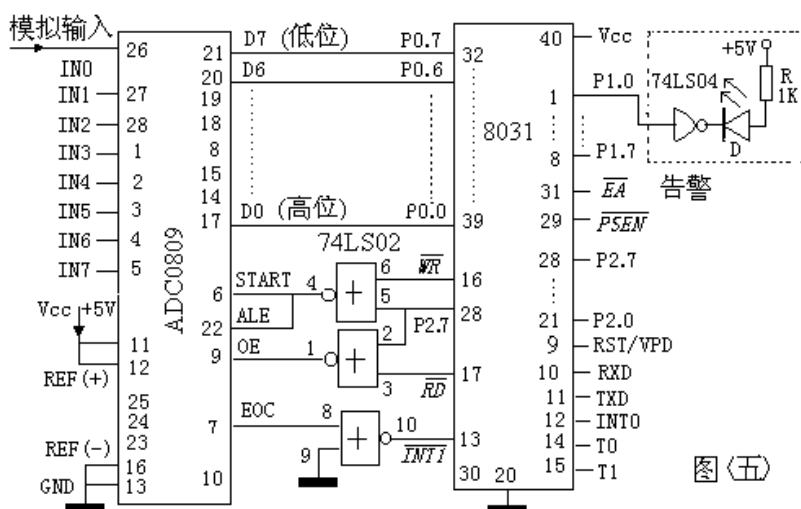
地址 CBA: 000 001 010 011 100 101 110 111

选中通道: IN0 IN1 IN2 IN3 IN4 IN5 IN6 IN7

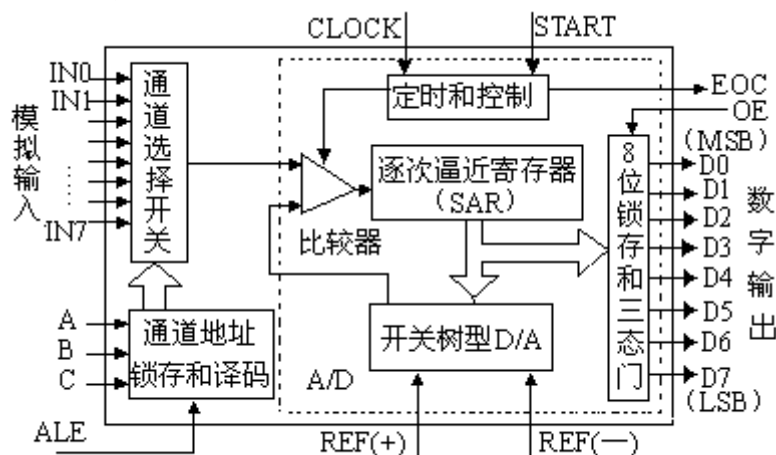
启动信号START: 要求持续时间在200nS以上, 大多数微处理机产生的读写信号都符合这一要求, 因此可用它们产生START信号, 启动A/D转换。

时钟脉冲CLOCK：要求频率范围为10KHz~1.2MHz（典型值为640KHz）可由微处理机时钟分频得到，即由8031的ALE提供。

转换结束信号EOC：转换正在进行中时，为低电平，其余时间为高电平，用于指示转换已经完成，结果数据已存入锁存器。这个状态信号可用作中断申请。



图(五)



图(六) ADC0809 原理框图

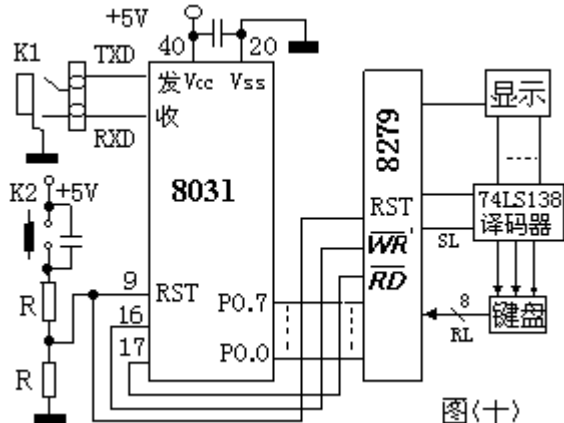
转换工作情况时序图略。

由START为高电平来启动（START对CLOCK可不同步），START的上升沿信号将SAR复位，真正转换从START的下降沿开始。在START上升沿之后的2 μ S加8个时钟周期内（不定），EOC状态输出信号将变低，用以指示转换操作正在进行中。EOC保持低电平直至转换完成后再次变为高电平。当输出控制端OE被置为高电平时，三态门打开，数据锁存器的内容输出到数据总线上。

地址锁存信号ALE，当该信号有效时，同译码输入端A、B、C共同选择指定的通道。ALE=OE=“1”，地址、输出均有效。

模拟输入通道的选择，可以相对转换开始操作独立的进行（当然，不能在转换过程中进行），然而通常是把通道选择和启动转换结合起来完成（因为ADC0809的时间特性允许这样作）。这样可以用一条写指令即用于选择模拟通道又用于启动转换。

如用EOC信号去产生中断申请，要特别注意EOC的变低相对于启动信号有2 μ S加8个时钟周期的延时，要设法使它不致产生虚假的中断申请。



图(十)

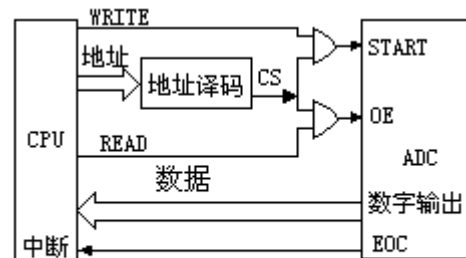
ADC0809的最大模拟输入范围为0~5.25V。基准电压VREF根据Vcc确定，典型值为VREF(+)=Vcc，VREF(-)=0，VREF(+)不允许比Vcc正，VREF(-)不允许比地电平负。如果用于测量电压或电流的绝对值，则基准电压必须是标准的，如基准电压选为5.12V，则1LSB的误差为20mV。

3、单片机和数据显示/键盘

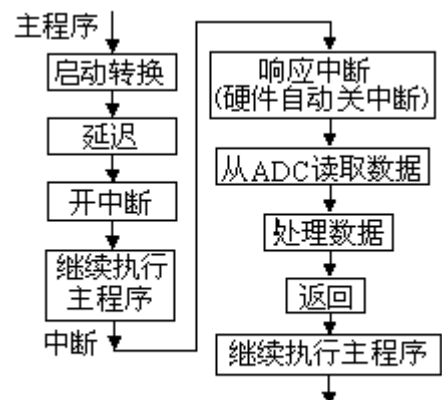
单片机采用MCS51系列的8031，它是一种8位处理器，实验中我们采用简易的开发系统进行实验。它与A/D的接口通过DB总线，地址选择线，中断响应线连接。系统配置的显示/键盘板作为我们实验的显示部分。实验用A/D是0809芯片，8位A/D转换器。每采集一次数据需要100 μ S时间。连接电路如图(十)。A/D输出接到8031的数据总线，端口地址为0CFA0H，EOC接8031的INT0，显示部分通过输出显示电路8279，输出到数码管LED。数据系统的工作原理和程序流程，我们在下面来分别介绍：

① 中断响应法：图(七)

微处理器按ADC所占用的口地址执行一条输出指令启动A/D转换以后，在等待转换完成期间，微处理器可以继续执行其它任务。当转换完成时，ADC产生的状态信号EOC向微处理器申请中断。微处理器响应中断，在中断服务程序中对ADC占用的口地址执行一条输入指令，以获得转换的结果数据。



图(七) 中断响应法下ADC与CPU接口原理图



图(八) 中断响应法的程序流程

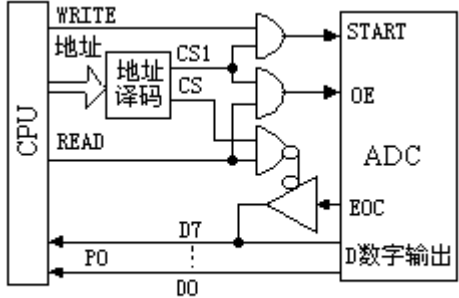
中断响应法的特点是：A/D 转换完成后微处理机能立即得到通知，且不需花费等待时间，接口硬件简单，一般来讲程序会稍微复杂些。

采用中断响应法时应注意：(1)很多ADC除了转换正在进行当中外，所有其他时间它的状态信号EOC总是“真”，就是说它总是企图去中断微处理机。(2)更有一些ADC在启动转换以后，EOC的“真”状态还要继续一段时间，然后才变“假”，在这段时间内就会产生虚假的中断申请。为了使ADC在转换完成后只产生一次真正的中断申请，可以在中断申请线上加入附加的逻辑电路。这样就能保证只有当EOC由“假”变“真”后才产生中断申请，且申请一旦被响应，就由OE信号即刻撤销申请。如果系统没有其他中断的器件，则可在不增加前述附加电路下用软件的办法解决这个问题。程序的安排是：启动转换以后，要延迟一段时间后再开中断，以屏蔽由于EOC延迟变“假”所产生的虚假中断申请，响应中断以后就不再开中断，以保证一次转换后只响应一次中断。

程序流程图如图〈八〉。

② 查寻法：图〈九〉

当读取转换结果数据得紧迫性不是很高时，可以采用查询的方法。



图(九)查询法下ADC与CPU接口原理图

和前面的方法一样，微处理机对ADC器件所占有的口地址(CS1)执行一条输出指令启动A/D转换之后，就可去执行其它任务。然后，在适当的时候去询问A/D转换是否完成。查询是通过测试转换结束信号EOC的状态来实现的。具体作法是：把来自ADC的EOC信号经过一个三态门连到数据总线的某一位上，查询过程是对另一地址(CS2)执行一条输入指令，这将导致将EOC信号通过三态门加到数据总线的D7位上，然后微处理机测试该位的状态，以判断是否完成。如EOC为1，说明转换以完成，这对ADC的口地址CS1执行一条输入指令，以读取转换结果；如果EOC为0，说明转换尚未完成，就仍去执行其它任务，然后再返回来进行再一次的查询。

查询法的主要缺点：微处理机查询到转换完成并读出数据，在时间上可能有相当大的延迟。

4、数字显示和键盘：电路如图〈十〉：

键盘和显示程序见附录。六位显示的输出过程是先将要显示的数据存入缓冲寄存器LED1~LED6，然后运行显示程序，数据就在相对应位置显示出来，修改显示缓冲寄存器的内容就改变了显示。

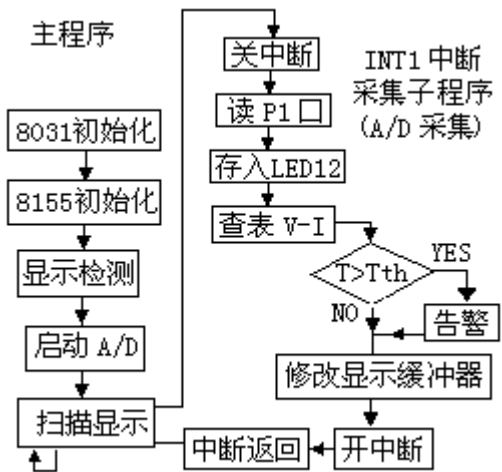
四、本实验数据采集部分程序流程和说明：

● 流程图：

● 说明：8031工作原理如下：(程序见附录)

主程序：系统初始化，启动A/D，进入显示RAM的50H~55H单元中读取数据，经查表得出字符显示代码，进入等待循环程序。

中断程序：当INT0有中断信号时，程序转入中断子程序，读入0809输出，存入数据寄存器R1，经查表转换为温度值，存入显示寄存器R3，并与



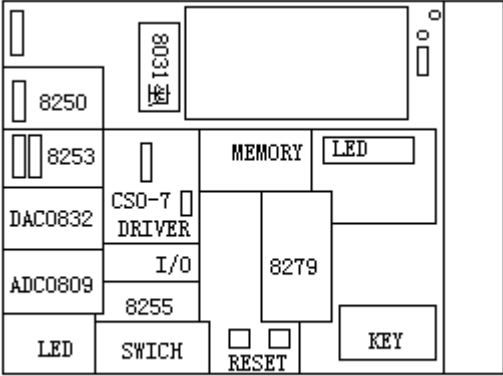
告警温度比较；如大于，则说明温度已超过门限，置P1.1脚为“1”，LED亮，模拟报警，（或接声响报警电路）中断结束。返回主程序，显示当前的温度值。

其中：从P0口读得的数据经查表转换为温度值，温度表的制作方法如下：由于0809输出数字量有8位， $2^8 = 256$ ，即256种可能，16进制数为00H~FFH，对应的电压 0~5V，对应的温度为16℃~80℃。温度表的首地址为00，存16；尾地址为FF，存80。数据实测存入存储区，不同的热敏电阻温度表不同。

五、实验用单片机实验箱简介及通用接口板位置图

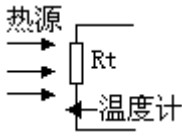
该系统的主要技术特性如下：

1. 微处理器：INTEL8051、8096、80C198、PC机总线接口任选。
2. 时钟频率：8051，80C198(6MHZ)
3. 存储器：随机存处器RAM40K字节（32K+8K字节），EPROM32K字节。
4. 8255A：可编程并行接口芯片一个。
5. 串行接口：（1）8250芯片一个，在8086总线系统中供用户使用；在8051、80C198、8086系统中已用作与主机通讯。（2）单片机串行接口一个，供用户使用。
6. 8279键盘、显示键盘一个。
7. 6*5键盘一个，除CNTL键与SHIFT键外，其余28键用户自定义。
8. 六位LED数码显示。
9. ADC0809A/D转换芯片一个。
10. DAC0832D/A转化芯片一个。
11. 8位简单输入接口一个，8位简单输出接口两个。



功能实验板各电路模块在通用接口板上的位置图

12. 8位逻辑电平输入开关。
13. 三路可调模拟量输入量。（0~5V）
14. 8位发光二极管显示电路。
15. 六路可自由使用的反相器。
16. 脉冲发生器一个，可产生正、负脉冲。
17. 8253可编程定时器/计数器一个，74LS161计数器一个，输出4路时钟信号。
18. 实验系统配备电源模块为 +5V、+12V、-12V，并有输出接口。



六、实验步骤及要求：

- 1、实验接好电，路使用热源（电烙铁）逐渐接近热敏电阻Rt，Rt用1.2K/25℃。升高温度，记下各温度时的阻值（t室温~60℃）。

注意：一定要使万用表稳定后才读数，因为Rt有个响应的过程。温度表尽量靠近Rt，使结果准确。

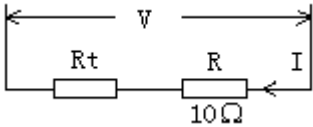
温度—电阻曲线

t (°C)									
R (Ω)									

2、 测量伏-安特性曲线

利用此电路来测量V-I特性： R_t 使用 $200\Omega/25^\circ\text{C}$

伏-安特性曲线



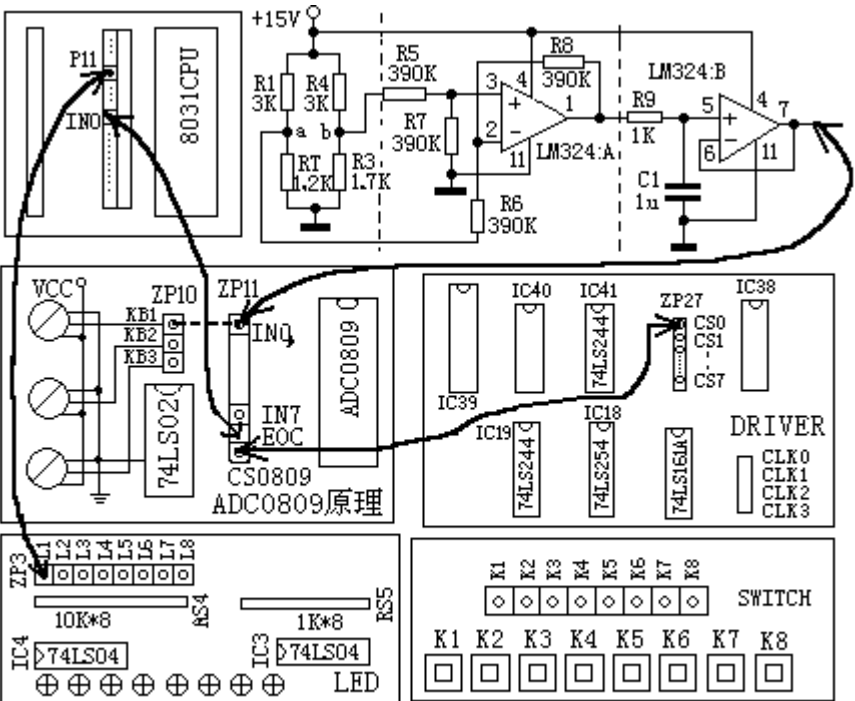
I (mA)									
V (V)									

V从零开始，逐渐升高，测R两端电压，则 $I = V_R/R$ 再测 R_t 两端电压，记下 V_{Rt} ，则完成一组(I, V_{Rt})，I最高测140mA，测十个左右点即可。并画出V-I的曲线。

注意：（1）先将电源V调至0，再接入电路。（2）一定要稳定后，才读数。

分析：热敏电阻的温度—电阻曲线，测量伏—安特性曲线。

3、 ① 按图〈四〉接好电路，接通+15V电源，测量运放LM324输出是随温度变化而变化，无问题后，断开电源。



实验 连线图

② 再按下面实验连线图将电路连接好，（8031的IN0口接0809的EOC，8031的P11接ZP3的L1，0809的CS0809接ZP27的CS0，ZP10的KB1接0809的IN0）将实验箱的电源打开，LED指示灯全亮，L1为告警灯。打开计算机→双击MCS51快捷图标→按提示按实验箱的RST复位键，数码管显示C_ →进入（80C51）教学实验环境→打开wend1.asm汇编语言源程序文件→进入编译即点击，编译结果完成→ 进入调试即点击，调试完成 →进入运行，点击，结果显示出来，调整KB1电位器，检测告警及显示，高于 50°C 告警灯L1亮，低于 50°C 告警灯L1灭；在单片机系统中，计数器显示：右边显示温度，左边显示16进制码。当一切正常后，再断开ZP10的KB1与0809的IN0接线，将运放LM324的输出接入单片机系统0809的IN0。注意：图〈四〉电路所用电源是+15V，而单片机实验箱所用电源是+5V，不要把外电源是+15V接入实验箱否则会烧

坏单片机实验箱。全部检查无误后，接通图（四）电源进行测试。

③ 用电烙铁加热，用温度计检验显示结果，注意温度超过告警值时8031输出高电平，发光管L1亮—报警，温度低于告警值时8031输出低电平，报警发光管L1—灯灭。

4、记录LM324的7脚输出电压V对应0809输出计数器右边显示的值(16进制值), 和计数器左边显示温度T值。最后计算温度的误差值 ΔT 。

参考书：MCS 系列单片机及接口实用教程

温度传感实验程序

```
NAME wendu                      ;0809 温度传感实验
CSEG AT 0000H
        LJMP START
CSEG AT 4003H
        LJMP NTO
CSEG AT 4100H
PORT    EQU 0CFA0H              ;实验班上 CS0 片选, CS1-0CFA8H, CS2-0CFB0, CS3-0CFB8
a1      EQU 50H                  ;温度告警值
START:   MOV IE, #01H            ;开放 INTO
        MOV IP, #1              ;INT0 为高级中断
        MOV R4, #0
        MOV 55H, #00H
        MOV 54H, #00H
        MOV 53H, #10H
        MOV 52H, #10H
        MOV 51H, #00H
        MOV 50H, #00H
        ACALL LOOP
LOOP1:   MOV DPTR, #PORT          ;启动通道 0
        MOVX @DPTR, A
        SETB EA
        NOP
        ACALL DISP
        NOP
        AJMP LOOP1              ;等待中断
        SJMP START
DISP:    MOV A, R1                ;从 R1, R3 中取转换结果
        SWAP A                   ;分离高四位和低四位
        ANL A, #0FH              ;并依次存放在 50H 到 55H 中
        MOV 50H, A
        MOV A, R1
        ANL A, #0FH
        MOV 51H, A
        MOV A, R3
        SWAP A
        ANL A, #0FH
        MOV 54H, A
```

```

MOV A, R3
ANL A, #0FH
MOV 55H, A
LOOP: MOV DPTR, #0CFE9H ;写显示 RAM 命令字
MOV A, #90H
MOVX @DPTR, A
MOV R7, #06H ;06 为显示位数
MOV R0, #50H ;存放转换结果地址初值送 R0
MOV DPTR, #0CFE8H ;8279 数据口地址
DLO: MOV A, @R0
ACALL TABLE ;转换为显码
MOVX @DPTR, A ;送显码输出
INC R0
DJNZ R7, DLO ;没显示完则继续
MOV R6, #20H ;延时一段时间使显示更稳定
DEL1: MOV R5, #12H
DEL2: DJNZ R5, DEL2
DJNZ R6, DEL1
RET
TABLE: INC A
MOVC A, @A+PC
RET
DB 3FH, 06H, 5BH, 4FH, 66H, 6DH, 7DH, 07H
DB 7FH, 6FH, 77H, 7CH, 39H, 5EH, 79H, 71H, 40H
NT0: CLR EA
PUSH DPH
PUSH DPL
MOV DPTR, #PORT
MOVX A, @DPTR
MOV R1, A ;通道号为 0, 则将结果存入 R1
ACALL WENDU
CJNE A, #AL, AAA
SETB P1.1
AJMP AAA2
AAA: JC AAA1
SETB P1.1
AJMP AAA2
AAA1: CLR P1.1
AAA2: MOV R3, A
POP DPL
POP DPH
RETI
WENDU: MOV DPTR, #TEM1
MOVC A, @A+DPTR
RET
;***** 温度表
TEM1: DB 16H, 16H, 16H, 17H, 17H, 17H, 17H, 17H
DB 17H, 17H, 18H, 18H, 18H, 18H, 18H, 18H
DB 18H, 18H, 18H, 18H, 19H, 19H, 19H, 19H
DB 19H, 19H, 20H, 20H, 20H, 20H, 20H, 20H
DB 20H, 21H, 21H, 21H, 21H, 21H, 22H, 22H

```

8031 输出端口[P1.0~P1.7]设置

```

DB  22H, 22H, 23H, 23H, 23H, 23H, 23H
DB  23H, 24H, 24H, 24H, 24H, 25H, 25H, 25H
DB  26H, 26H, 26H, 26H, 27H, 27H, 27H, 28H
DB  28H, 28H, 29H, 29H, 29H, 30H, 30H, 30H
DB  31H, 31H, 31H, 31H, 32H, 32H, 32H, 32H
DB  33H, 33H, 33H, 33H, 34H, 34H, 34H, 34H
DB  35H, 35H, 35H, 35H, 36H, 36H, 36H, 36H
DB  37H, 37H, 37H, 37H, 38H, 38H, 38H, 38H
DB  39H, 39H, 39H, 39H, 40H, 40H, 40H, 40H
DB  41H, 41H, 41H, 41H, 42H, 42H, 42H, 42H
DB  43H, 43H, 43H, 43H, 44H, 44H, 44H, 44H
DB  45H, 45H, 45H, 45H, 45H, 46H, 46H, 46H
DB  46H, 47H, 47H, 47H, 47H, 48H, 48H, 48H
DB  48H, 49H, 49H, 49H, 49H, 50H, 50H, 50H
DB  51H, 51H, 51H, 52H, 52H, 52H, 53H, 53H
DB  54H, 54H, 54H, 55H, 55H, 56H, 56H, 56H
DB  57H, 57H, 58H, 58H, 58H, 59H, 59H, 60H
DB  60H, 60H, 61H, 61H, 62H, 62H, 62H, 63H
DB  63H, 64H, 64H, 64H, 65H, 65H, 66H, 66H
DB  66H, 67H, 67H, 67H, 68H, 68H, 68H, 69H
DB  69H, 70H, 70H, 71H, 71H, 72H, 72H, 73H
DB  74H, 74H, 75H, 75H, 76H, 76H, 77H, 77H
DB  78H, 78H, 79H, 79H, 80H, 80H, 81H, 81H
DB  82H, 82H, 83H, 83H, 84H, 84H, 85H, 85H
DB  86H, 86H, 87H, 87H, 88H, 88H, 89H, 89H
DB  OFFH, OFFH, OFFH, OFFH, OFFH, OFFH, OFFH, OFFH
DB  OFFH, OFFH, OFFH, OFFH, OFFH, OFFH, OFFH, OFFH
;*****
END

```