

## 光电传感器综合实验

光敏传感器是将光信号转换为电信号的传感器，也称为光电式传感器，它可用于检测直接引起光强度变化的非电量，如光强、光照度、辐射测温、气体成分分析等；也可用来检测能转换成光量变化的其它非电量，如零件直径、表面粗糙度、位移、速度、加速度及物体形状、工作状态识别等。光敏传感器具有非接触、响应快、性能可靠等特点，因而在工业自动控制及智能机器人中得到广泛应用。

光敏传感器的物理基础是光电效应，即光敏材料的电学特性都因受到光的照射而发生变化。光电效应通常分为外光电效应和内光电效应两大类。外光电效应是指在光照射下，电子逸出物体表面的外发射的现象，也称光电发射效应，基于这种效应的光电器件有光电管、光电倍增管等。内光电效应是指入射的光强改变物质导电率的物理现象，称为光电导效应。大多数光电控制应用的传感器，如光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、硅光电池等都是内光电效应类传感器。当然近年来新的光敏器件不断涌现，如：具有高速响应和放大功能的 APD 雪崩式光电二极管，半导体光敏传感器、光电闸流晶体管、光导摄像管、CCD 图像传感器等，为光电传感器的应用开创了新的一页。本实验主要是研究光敏电阻、硅光电池、光敏二极管、光敏三极管四种光敏传感器的强度响应特性和时间响应特性。

### 一、实验目的

1、了解光敏电阻、光敏二极管、硅光电池、光敏三极管的基本特性，测出它的光强响应特性。

2、测试光敏电阻、硅光电池、光敏三极管的时间响应特性。

### 二、仪器介绍

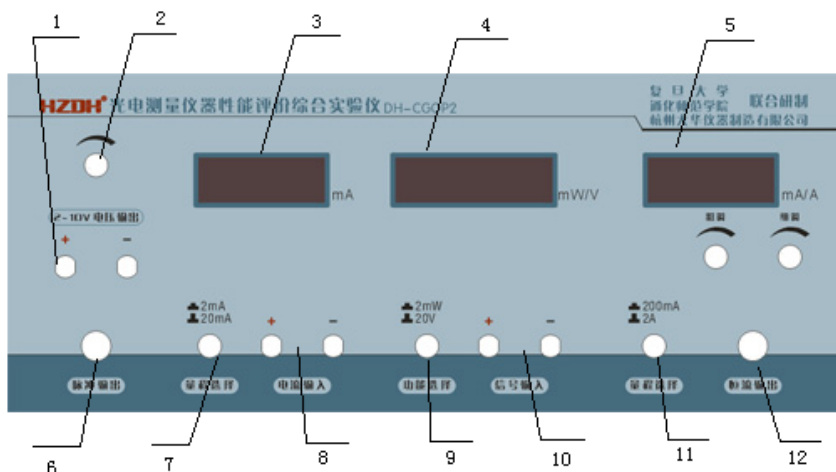


图 1 测量仪界面

- 1、2~10V 电压输出，最大输出电流 30mA； 2、输出调节电位器；
- 3、3 位半电流表； 7、电流表量程切换，按下为 2.000mA 档(内阻  $100\Omega$ )，弹起为 20.00mA 档(内阻  $10\Omega$ )； 8、电流输入接口；
- 4、20.000V 电压表和光功率计  $\times 10^{-1}\text{mW}$  复用表头； 9、功能切换按键，弹起为电压表，按下为光功率计； 10、传感器输入接口；
- 5、恒流源输出，为 LED 光源供电，最大输出电流 350.0mA，可通过 11 来切换电流显示量程 200.0mA 或 2.000A； 12、电流输出接口
- 6、脉冲电源输出，输出频率 100Hz，为 LED 光源供电，产生脉冲光源。

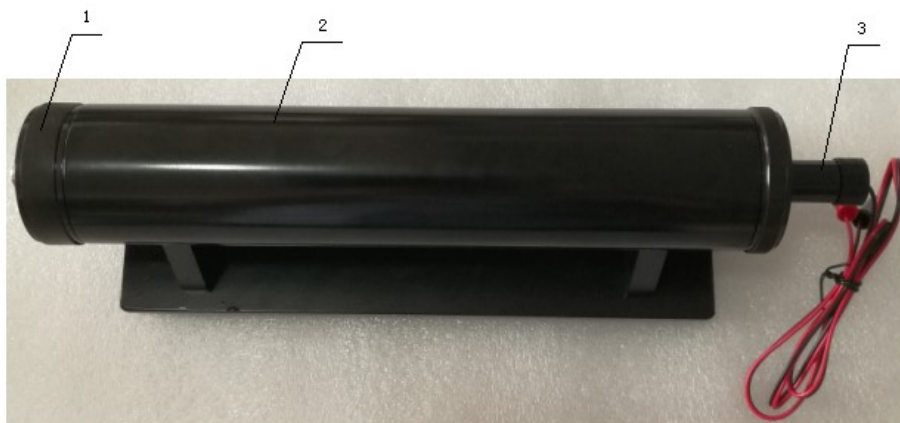


图 2 暗筒和调节杆

- 1、LED 光源座 2、暗筒 3、传感器安装座及距离调节杆



图 3 光电二极管探测器模块图



图 4 LED 光源模块

(1 只红色 LED (波长 620-630nm), 1 只暖白 LED)

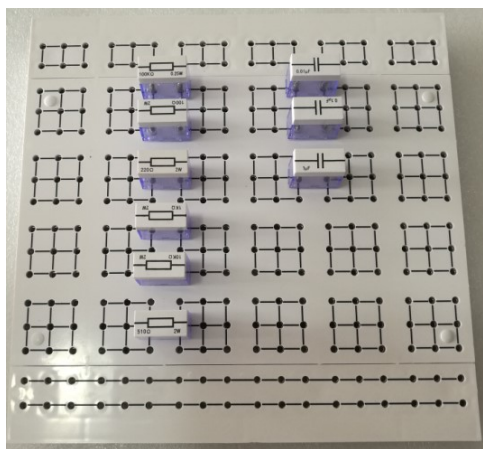


图 5 九孔板及电阻、电容元件  
( $100\ \Omega$ ,  $220\ \Omega$ ,  $510\ \Omega$ ,  $1k\ \Omega$ ,  $10k\ \Omega$ ,  $100k\ \Omega$ ,  
 $0.001\mu F$ ,  $0.1\mu F$ ,  $1\mu F$ )



图 6 光电二极管、光电三极管、光电池、  
光敏电阻元件，光功率探头

### 三、实验步骤

#### 1、光功率计

光功率探头使用 PIN 光电二极管，光敏面积  $7\text{mm}^2$ ，在  $633\text{nm}$  波长的激光下校准，其它波长下的光根据光电二极管的光谱灵敏度响应曲线图 7 得到校准系数  $h$ ，光功率计表头内部放大了十倍，所以实际光功率：

某波长下的光功率 (mW) = 读数 \* 0.1 \* 校准系数  $h$

如：我们实验中使用的红色 LED 光源的波长为  $620\sim 630\text{nm}$ ，校准系数  $h=0.98$ 。

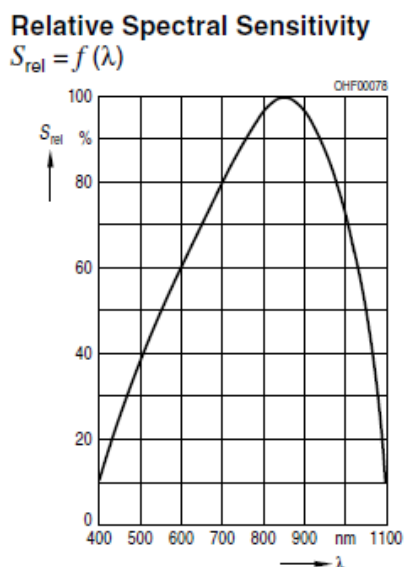


图 7 光电二极管的光谱灵敏度响应曲线图

### 1.1 使用光功率计测量红色 LED 光源的光功率曲线

将光功率探头安装在调节杆上的传感器座上，注意光功率探头有方向性（方向未标出），接入光功率计表头的信号输入端（图 1-10），红色 LED 光源接信号源的恒流输出（图 1-12）。

表 1 光功率探头和光源的相对距离为 15cm

LED 工作电流(mA)	表头读数(mW)	光功率(mW)= 表头读数(mw)*0.1*0.98
0	0	0
2	0.008	0.000784
4	0.019	0.001862
6	0.031	0.003038
8	0.042	0.004116
10	0.054	0.005292
12	0.065	0.00637
14	0.077	0.007546
18	0.101	0.009898
22	0.124	0.012152
25	0.142	0.013916
29	0.165	0.01617
35	0.201	0.019698
40	0.231	0.022638
45	0.26	0.02548
50	0.289	0.028322
60	0.347	0.034006
80	0.463	0.045374
100	0.577	0.056546
120	0.69	0.06762
140	0.801	0.078498
180	1.02	0.09996
230	1.281	0.125538

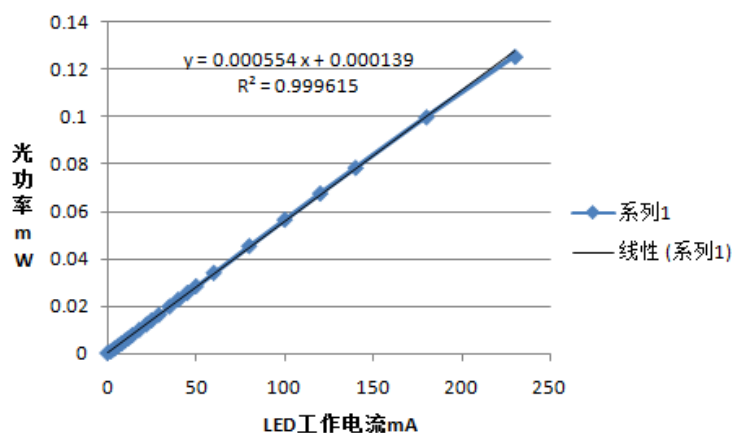


图 8

得到光功率探头和光源的相对距离为 15cm 时光功率与 LED 工作电流的关系直线如图 8 所示，拟合直线为： $y=0.000554x+0.000139$ ；线性关系良好。

表 2 光功率探头和光源的相对距离为 7cm

LED 工作电流 (mA)	表头读数 (mW)	光功率 (mW) = 表头读数 (mW) * 0.1 * 0.98
0	0	0
4	0.068	0.006664
10	0.181	0.017738
20	0.377	0.036946
40	0.769	0.075362
80	1.548	0.151704
120	2.306	0.225988
180	3.405	0.33369
230	4.295	0.42091

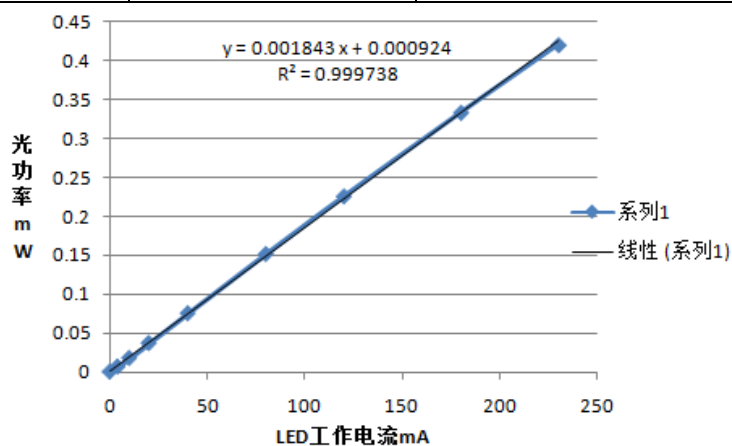


图 9

得到光功率探头和光源的相对距离为 7cm 时光功率与 LED 工作电流的关系直线如图 9 所示，拟合直线为： $y=0.001843x+0.000924$ ；线性关系良好。

由上可知，在一定距离范围，LED 光电流与发光强度成线性关系。

2、光敏传感器的光照强度响应特性（使用红色 LED）

2.1、光敏电阻

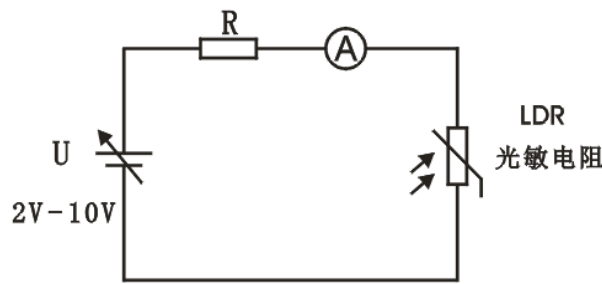


图 10 光敏电阻光照特性测试电路

将 U 调到 4V，将光敏电阻安装在调节杆上的传感器座上，电流表量程选 2mA，实验中忽略电流表内阻 R 的影响，实验过程中最好不要切换电流表量程 (不同量程内阻不同)；表 3 中光功率值根据表 1 拟合直线计算得到。

表 3 光敏电阻和光源的相对距离为 15cm

U= 4 V

LED 工作电流 (mA)	对应光功率 (mW)	电流表读数 (mA)	计算阻值=U/电流表读数
0.1	0.0001944	0.005	800000
0.2	0.0002498	0.011	363636.3636
0.4	0.0003606	0.016	250000
0.8	0.0005822	0.037	108108.1081
1.6	0.0010254	0.073	54794.52055
2.7	0.0016348	0.122	32786.88525
4	0.002355	0.171	23391.81287
5	0.002909	0.205	19512.19512
7	0.004017	0.268	14925.37313
9	0.005125	0.328	12195.12195
11	0.006233	0.382	10471.20419
14	0.007895	0.456	8771.929825
16	0.009003	0.503	7952.286282
19	0.010665	0.569	7029.876977
21	0.011773	0.61	6557.377049
25	0.013989	0.693	5772.005772
29	0.016205	0.758	5277.044855

33	0.018421	0.828	4830.917874
38	0.021191	0.91	4395.604396
45	0.025069	1.017	3933.136676
50	0.027839	1.089	3673.094582
60	0.033379	1.224	3267.973856
70	0.038919	1.346	2971.768202
80	0.044459	1.469	2722.940776
90	0.049999	1.567	2552.648373
100	0.055539	1.667	2399.520096
110	0.061079	1.761	2271.436684
120	0.066619	1.851	2160.994057
130	0.072159	1.937	2065.049045

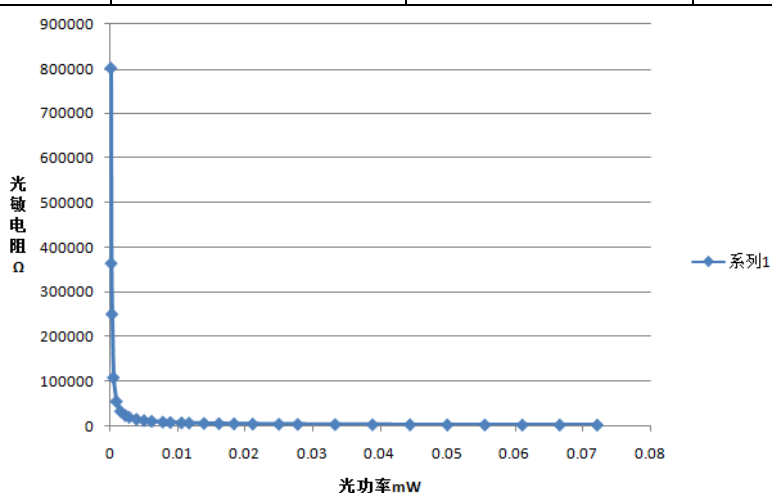


图 11 光敏电阻光照特性曲线

由上可知光敏电阻的光照特性呈非线性，一般不适宜作线性检测元件。

## 2.2、硅光电池

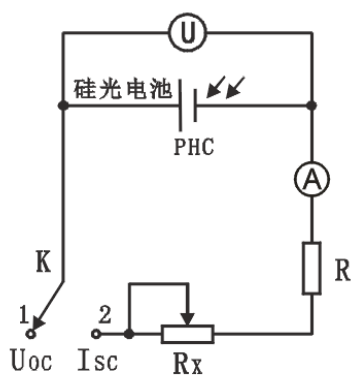


图 12 硅光电池光照特性测试电路

将硅光电池安装在调节杆上的传感器座上，电流表量程选 2mA，将硅光电池直接接电流表，忽略电流表内阻 R 的影响，Rx 短路不用。

(1) 测量硅光电池的短路电流，如图 12 所示，K 拨向 Isc；

表 4 硅光电池和光源的相对距离为 15cm（光功率值根据表 1 拟合直线计算得到）

LED 工作电流 (mA)	对应光功率 (mw)	短路电流(mA)
0	0.000139	0
5	0.002909	0.003
10	0.005679	0.006
15	0.008449	0.01
20	0.011219	0.013
30	0.016759	0.02
40	0.022299	0.027
50	0.027839	0.034
60	0.033379	0.041
70	0.038919	0.048
80	0.044459	0.055
90	0.049999	0.062
100	0.055539	0.068
120	0.066619	0.082
160	0.088779	0.107

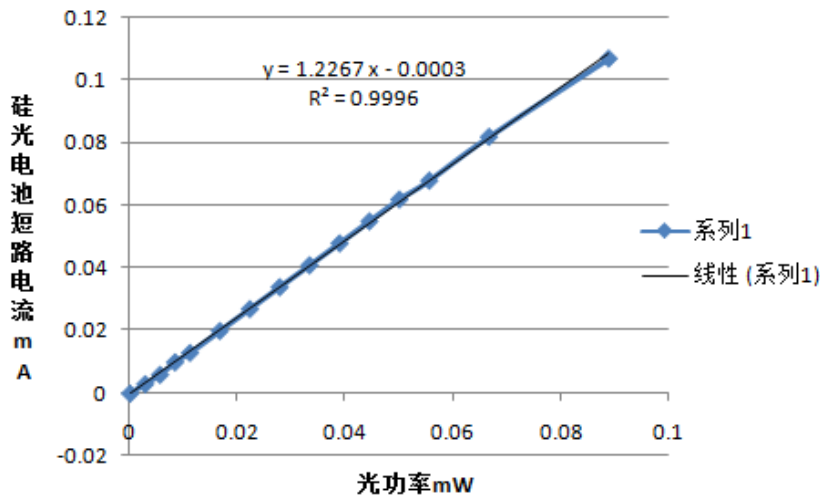


图 12 硅光电池短路电流与光照强度关系曲线

(2) 测量硅光电池的开路电压，如图 12 所示，K 拨向 Uoc，电压表 U 直接测量硅光电池两端电压。



表 5 硅光电池和光源的相对距离为 15cm（光功率值根据表 1 拟合直线计算得到）

LED 工作电流 (mA)	对应光功率 (mw)	开路电压(V)
0	0.000139	0
0.4	0.0003606	0.067
1	0.000693	0.178
3	0.001801	0.261
5	0.002909	0.291
10	0.005679	0.327
15	0.008449	0.346
20	0.011219	0.358
30	0.016759	0.374
40	0.022299	0.384
50	0.027839	0.392
60	0.033379	0.398
70	0.038919	0.403
80	0.044459	0.407
90	0.049999	0.411
100	0.055539	0.414
120	0.066619	0.419
160	0.088779	0.428

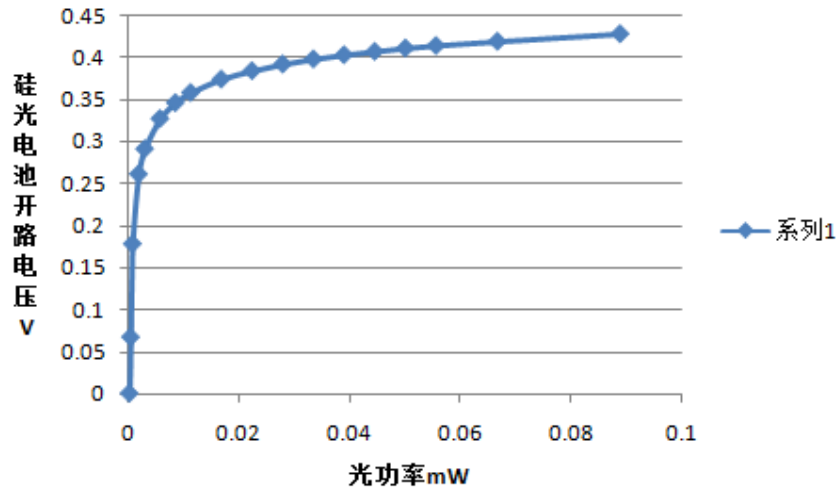


图 13 硅光电池开路电压与光照强度关系曲线

由上可知硅光电池的开路电压与光照强度呈非线性且有饱和现象；但硅光电池的短路电流与光照强度呈良好的线性关系，故在实际应用中可以利用硅光电池的短路电流测量光强。

2.3、光电二极管

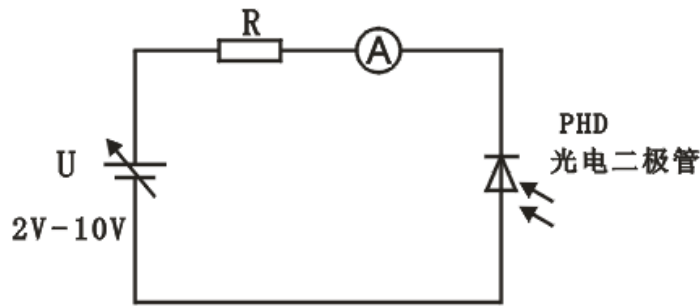


图 14 光电二极管光照特性测试电路

调节  $U=8V$ ，将光电二极管安装在调节杆上的传感器座上，电流表量程选  $2mA$ ，按图 14 接线，忽略电流表内阻  $R$  的影响；光电二极管到光源相对距离调节为  $7cm$ 。  
表 6 光电二极管和光源的相对距离为  $7cm$ （光功率值根据表 2 拟合直线计算得到）

LED 工作电流 (mA)	对应光功率 (mw)	光电流(mA)
0	0.000924	0
4	0.008296	0.002
10	0.019354	0.006
20	0.037784	0.013
40	0.074644	0.027
80	0.148364	0.054
120	0.222084	0.081
180	0.332664	0.12
230	0.424814	0.152

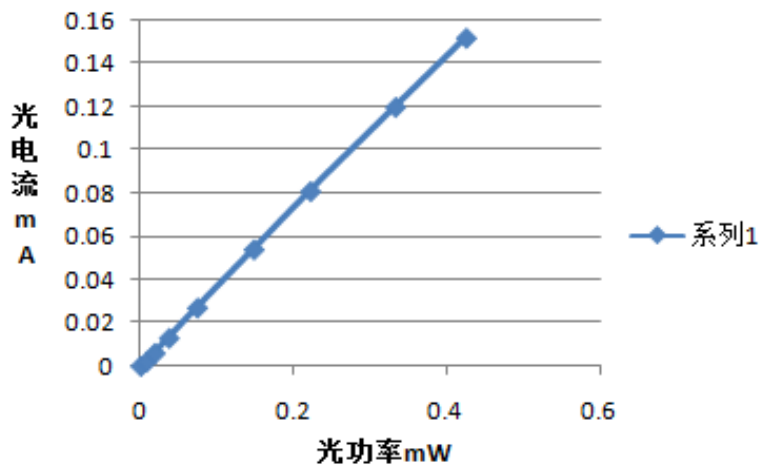


图 15 光电二极管光照特性曲线 ( $U=8V$ )

由上可知光电二极管的光照特性亦呈良好线性。

## 2.4、光电三极管

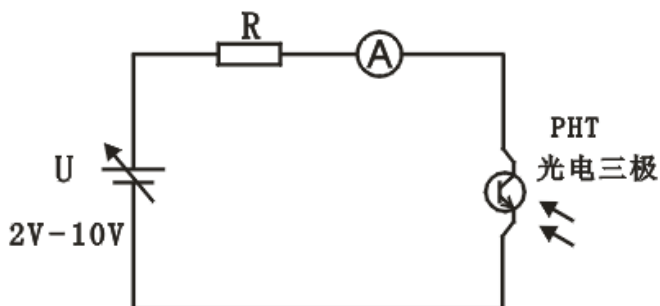


图 16 光电三极管光照特性测试电路

调节  $U=2V$ ，将光电三极管安装在调节杆上的传感器座上，电流表量程选  $20mA$ ，按图 5 接线，忽略电流表内阻  $R$  的影响；光电二极管到光源相对距离调节为  $7cm$ 。

表 7 光电三极管和光源的相对距离为  $7cm$ （光功率值根据表 2 拟合直线计算得到）

LED 工作电流 (mA)	对应光功率 (mw)	$U=2V$ ，光电电流(mA)
0	0.000924	0
1	0.002767	0.18
2	0.00461	0.4
4	0.008296	0.88
8	0.015668	1.85
10	0.019354	2.35
14	0.026726	3.36
18	0.034098	4.34
20	0.037784	4.85
24	0.045156	5.83
30	0.056214	7.3
40	0.074644	9.67
50	0.093074	11.97
60	0.111504	14.17
70	0.129934	16.22
80	0.148364	17.79
90	0.166794	18.78
100	0.185224	19.44

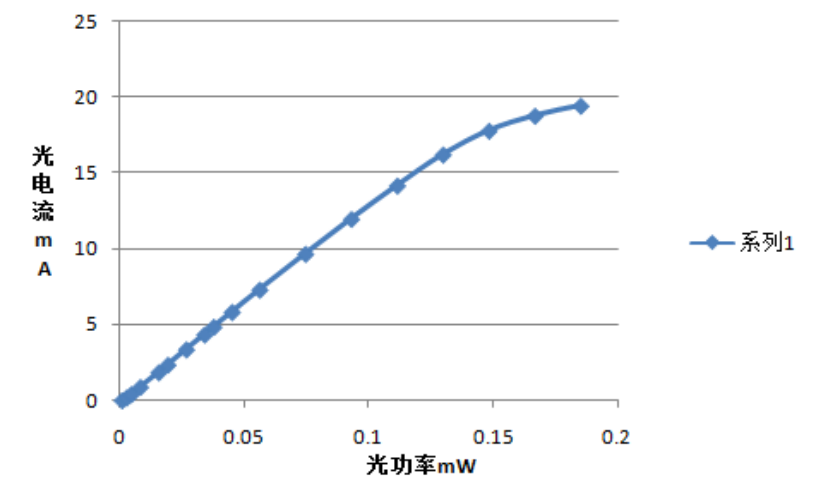


图 17 光电三极管光照特性曲线 ( $U=8V$ )

由上可知，光电三极管在电流较大时有饱和趋势呈现非线性，故一般在作线性检测元件时，可选择光电二极管而不能用光电三极管。

### 3、光电传感器的时间响应特性

光电传感器的响应时间受光电器件和处理电路的影响，一般需要测量光电传感器的上升时间  $t_r$  和下降时间  $t_f$ ；

上升时间  $t_r$ ，响应由 10% 上升到 90% 所用时间

下降时间  $t_f$ ，响应由 90% 下降到 10% 所用时间。

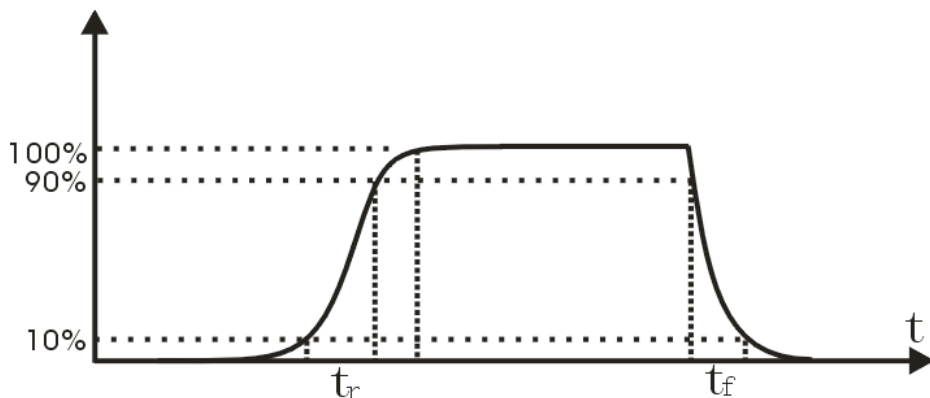


图 18 光电传感器时间响应曲线

#### 3.1、用光电二极管探测器测量光源的上升时间和下降时间

红色 LED 光源接脉冲输出，这样就产生了一个脉冲光源。光电二极管响应速度快，配合高速处理电路可以用来测量脉冲光源的上升时间和下降时间。

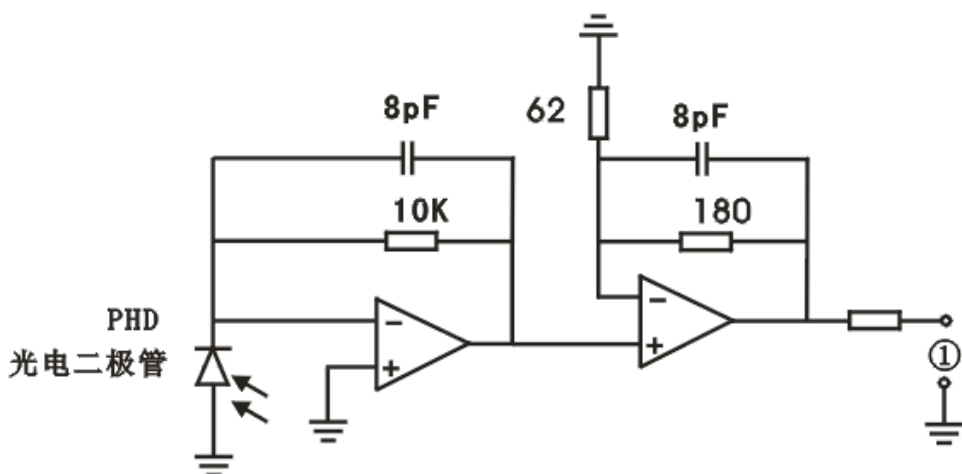


图 19 光电二极管探测器原理图

将暗筒里调节杆取下，把光电二极管探测器放在暗筒右侧，接上 5V 电源，输出信号接示波器，从示波器上可以看到 100Hz 方波信号，用示波器测量其上升时间（由暗变亮）和下降时间（由亮变暗）

上升时间(us)	下降时间(us)
1.5	0.75

### 3.2、硅光电池

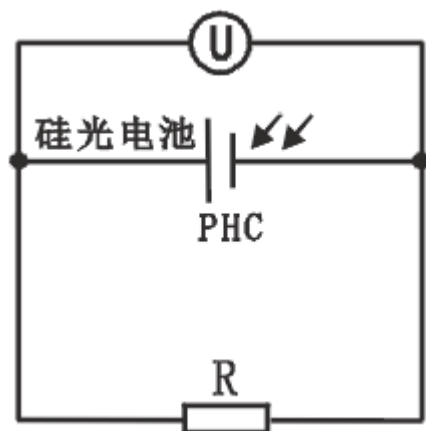


图 20 硅光电池时间响应特性测试电路

如图 20 接测试电路，硅光电池和光源的相对距离为 7cm

负载电阻 R( $\Omega$ )	R 并联电容	上升时间(us)	下降时间(us)
1k	无	2.5	35

1k	0.01uF	12	78
100k	无	2.5	>600
100k	0.01uF	12.5	>1700

由上可知，图 20 传感器电路负载电阻变大时，上升时间变化不明显，下降时间变长；R 两端并联电容时，上升时间和下降时间均变长，要想提高电路的响应速度，需要减小电路中的电容，提高无光照时的电流泄放速度。

### 3.3、光敏电阻

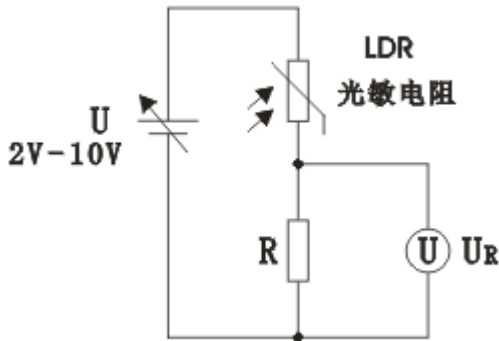


图 21 光敏电阻时间响应特性测试电路

如图 21 接测试电路，光敏电阻和光源的相对距离为 7cm，U=8V

负载电阻 R( $\Omega$ )	上升时间(us)	下降时间(us)
1k	350	2600

由上可知，光敏电阻响应慢，不适宜要求响应较快的地方。

### 3.4、光电三极管

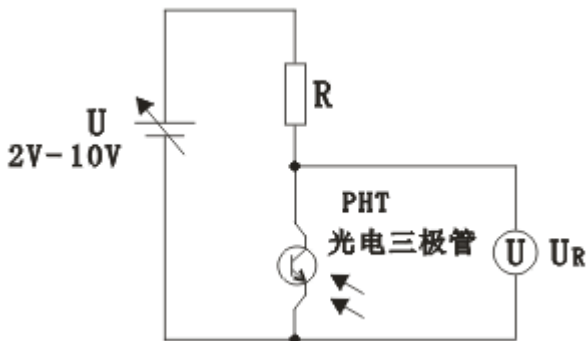


图 22 光电三极管时间响应特性测试电路

如图 22 接测试电路，光电三极管和光源的相对距离为 5cm，U=8V

负载电阻 R( $\Omega$ )	上升时间(us)	下降时间(us)
--------------------	----------	----------

1k	1	2.1
100k	55	2.5

由上可知，上述测试电路负载电阻明显影响  $U_R$  的上升时间 (灯亮时信号由高变低，灯灭时信号由低变高)。