

光电传感器物理设计性实验装置

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基本特性以及光纤传感器基本特性和光纤通讯基本原理。

一、实验目的

- 1、了解光敏电阻的基本特性，测出它的伏安特性曲线和光照特性曲线。
- 2、了解光敏二极管的基本特性，测出它的伏安特性和光照特性曲线。
- 3、了解硅光电池的基本特性，测出它的伏安特性曲线和光照特性曲线。
- 4、了解光敏三极管的基本特性，测出它的伏安特性和光照特性曲线。
- 5、了解光纤传感器基本特性和光纤通讯基本原理。

二、光敏传感器的基本特性及实验原理

1、伏安特性

光敏传感器在一定的入射光强度下，光敏元件的电流 I 与所加电压 U 之间的关系称为光敏器件的伏安特性。改变照度则可以得到一组伏安特性曲线，它是

传感器应用设计时选择电参数的重要依据。某种光敏电阻、硅光电池、光敏二极管、光敏三极管的伏安特性曲线如图 1、图 2、图 3、图 4 所示。

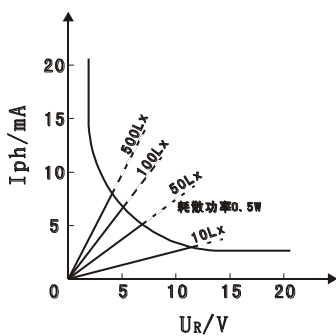


图 1 光敏电阻的伏安特性曲线

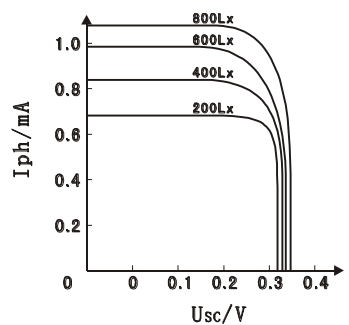


图 2 硅光电池的伏安特性曲线

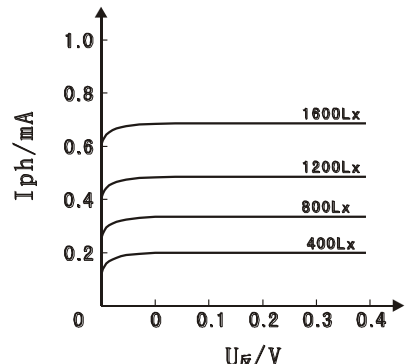


图 3 光敏二极管的伏安特性曲线

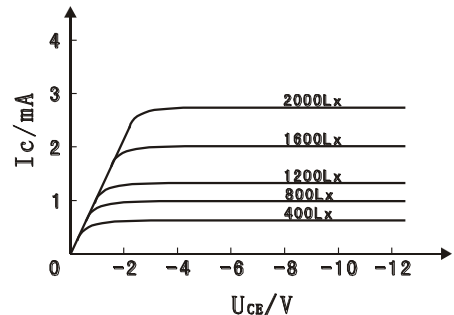


图 4 光敏三极管的伏安特性曲线

从上述四种光敏器件的伏安特性可以看出，光敏电阻类似一个纯电阻，其伏安特性线性良好，在一定照度下，电压越大光电流越大，但必须考虑光敏电阻的最大耗散功率，超过额定电压和最大电流都可能导致光敏电阻的永久性损坏。光敏二极管的伏安特性和光敏三极管的伏安特性类似，但光敏三极管的光电流比同类型的光敏二极管大几十倍，零偏压时，光敏二极管有光电流输出，而光敏三极管则无光电流输出。在一定光照度下硅光电池的伏安特性呈非线性。

2、光照特性

光敏传感器的光谱灵敏度与入射光强之间的关系称为光照特性，有时光敏传感器的输出电压或电流与入射光强之间的关系也称为光照特性，它也是光敏传感器应用设计时选择参数的重要依据之一。某种光敏电阻、硅光电池、光敏二极管、光敏三极管的光照特性如图 5、图 6、图 7、图 8 所示。

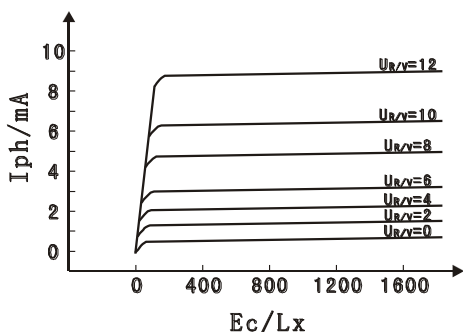


图 5 光敏电阻的光照特性曲线

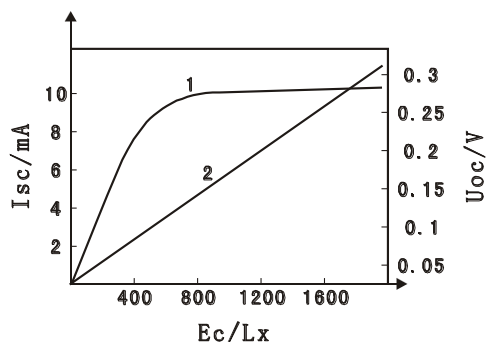


图 6 硅光电池的光照特性曲线

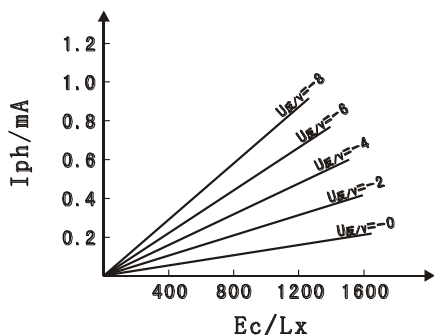


图 7 光敏二极管的光照特性曲线

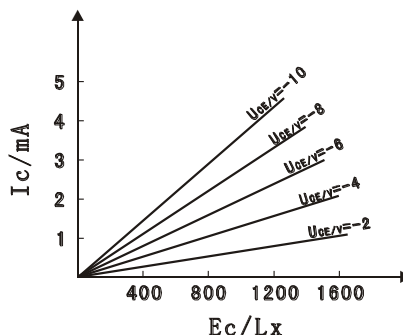


图 8 光敏三极管的光照特性曲线

从上述四种光敏器件的光照特性可以看出光敏电阻、光敏三极管的光照特性呈非线性，一般不适宜作线性检测元件，硅光电池的开路电压也呈非线性且有饱和现象，但硅光电池的短路电流呈良好的线性，故以硅光电池作测量元件应用时，应该利用短路电流与光照度的良好线性关系。所谓短路电流是指外接负载电阻远小于硅光电池内阻时的电流，一般负载在 20Ω 以下时，其短路电流与光照度呈良好的线性，且负载越小，线性关系越好、线性范围越宽。光敏二极管的光照特性亦呈良好线性，而光敏三极管在大电流时有饱和现象，故一般在作线性检测元件时，可选择光敏二极管而不能用光敏三极管。

三、实验仪器

DH-SJ3 光电传感器设计实验仪由下列部分组成：光敏电阻板、硅光电池板、光敏二极管板、光敏三极管板、红光发射管 LED3、接受管（包括 PHD 101 光电二极管和 PHT 101 光电三极管）、 $\Phi 2.2$ 和 $\Phi 2$ 光纤、光纤座、测试架、DH-VC3 直

流恒压源、九孔板、万用表、电阻元件盒以及转接盒等组成。

实验时，测试架中的光源电源插孔以及传感器插孔均通过转接盒与九孔板相连，其它连接都在九孔板中实现；测试架中可以更换传感器板。

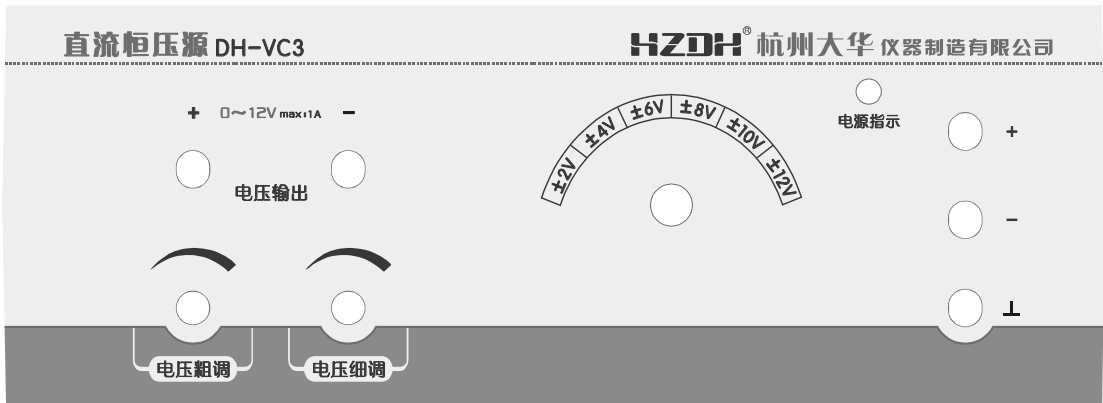


图 9 DH-VC3 直流恒压源面板图



图 10-1 转接盒



图 10-2 发射管



图 10-3 接收管



图 10-4 接收管

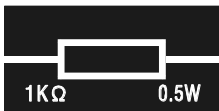


图 10-5 电阻盒 1kΩ

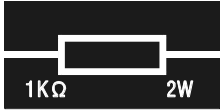


图 10-6 电阻盒 1kΩ

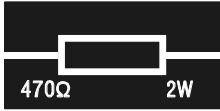


图 10-7 电阻盒 470Ω

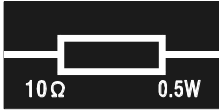


图 10-8 电阻盒 10Ω



图 10-9 电阻盒 4.7KΩ



图 10-10 电阻盒 47Ω



图 10-11 电容盒 1μF

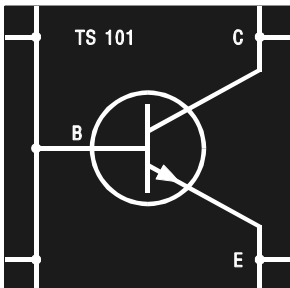
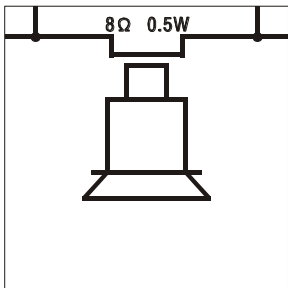


图 10-12 喇叭盒

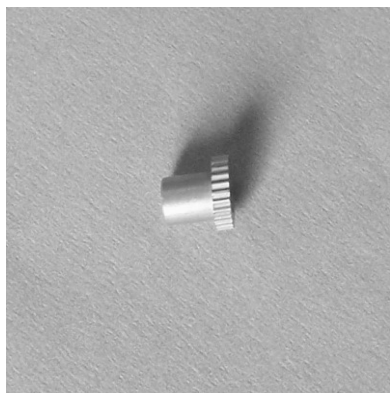


图 10-13 NPN 三极管盒

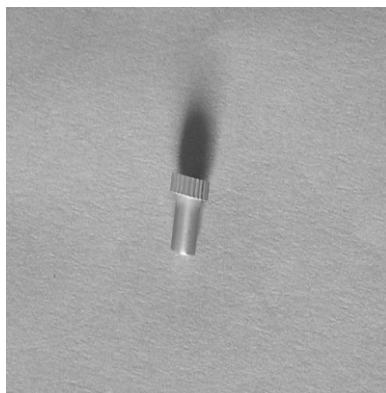


图 10-14 $\Phi 2.2$ 光纤座



图 10-15 $\Phi 2$ 光纤座

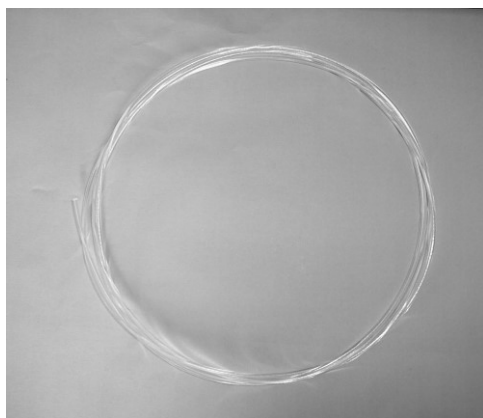


图 10-16 $\Phi 2.2$ 光纤

图 10-17 $\Phi 2$ 光纤座

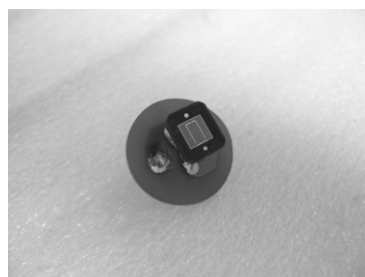
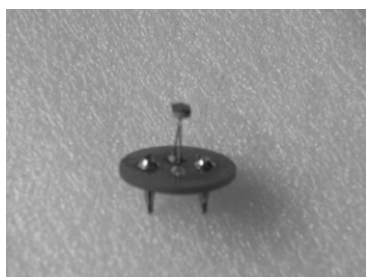


图 10-18 光敏电阻板

图 10-19 硅光电池板

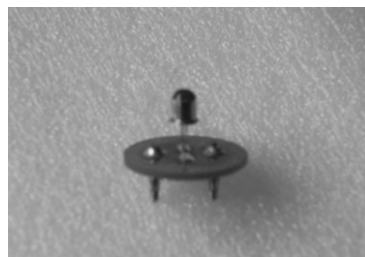
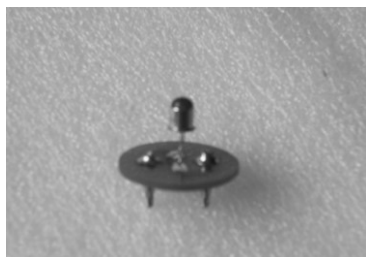


图 10-20 光敏二极管板

图 10-21 光敏三极管板

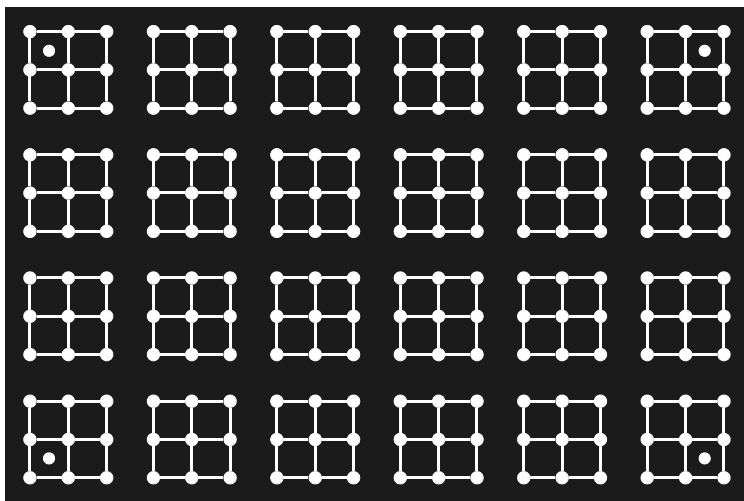


图 10-22 九孔板

图 10 实验元件图

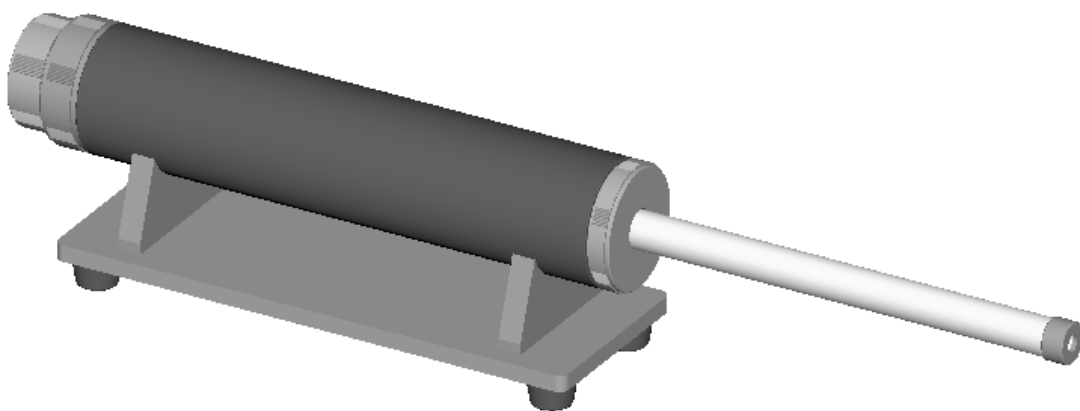


图 11 测试架

四、实验内容

实验中对应的光照强度均为相对光强，可以通过改变点光源电压或改变点光源到光敏电阻之间的距离来调节相对光强。光源电压的调节范围在 $0\sim 12\text{V}$ ，光源和传感器之间的距离调节有效范围为： $0\sim 200\text{mm}$ ，实际距离为 $50\sim 250\text{mm}$ 。

1、光敏电阻特性实验

1.1、光敏电阻伏安特性测试实验

(1) 按原理图 12 接好实验线路，将光源用的标准钨丝灯和光敏电阻板置测试架中，电阻盒以及转接盒插在九孔板中，电源由 DH-VC3 直流恒压源提供。

(2) 通过改变光源电压或调节光源到光敏电阻之间的距离以提供一定的光强，每次在一定的光照条件下，测出加在光敏电阻上电压 U 为 +2V、+4V、+6V、+8V、+10V 时 5 个光电流数据，即 $I_{ph} = \frac{U_R}{1.00K\Omega}$ ，同时算出此时光敏电阻的阻值 $R_p = \frac{U - U_R}{I_{ph}}$ 。以后逐步调大相对光强重复上述实验，进行 5~6 次不同光强实验数据测量。

(3) 根据实验数据画出光敏电阻的一组伏安特性曲线。

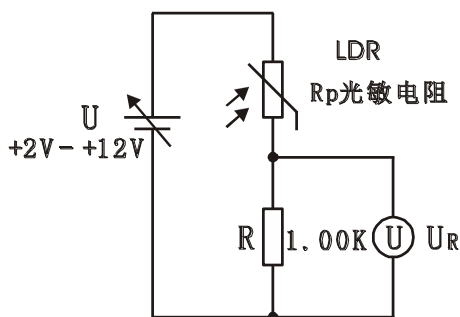


图 12 光敏电阻伏安特性测试电路

1.2、光敏电阻的光照特性测试实验

(1) 按原理图 12 接好实验线路，将光源用标准钨丝灯和检测用光敏电阻置测试架中，电阻盒以及转接盒插在九孔板中，电源由 DH-VC3 直流恒压源提供。

(2) 从 $U=0$ 开始到 $U=12V$ ，每次在一定的的外加电压下测出光敏电阻在相对光照强度从“弱光”到逐步增强的光电流数据，即： $I_{ph} = \frac{U_R}{1.00K\Omega}$ ，同时算出此

时光敏电阻的阻值，即： $R_p = \frac{U - U_R}{I_{ph}}$ 。

(3) 根据实验数据画出光敏电阻的一组光照特性曲线。

2、硅光电池的特性实验

2.1、硅光电池的伏安特性实验

(1) 将硅光电池板置测试架中、电阻盒置于九孔插板中，电源由 DH-VC3 直流恒压源提供， R_x 接到暗箱边的插孔中以便于同外部电阻箱相连。按图 13 连接好实验线路，开关 K 指向“1”时，电压表测量开路电压 U_{oc} ，开关指向“2”

时, R_x 短路, 电压表测量 R 电压 U_R 。光源用钨丝灯, 光源电压 $0\sim 12V$ (可调), 串接好电阻箱 ($0\sim 10000\Omega$ 可调)。

(2) 先将可调光源调至相对光强为“弱光”位置, 每次在一定的照度下, 测出硅光电池的光电流 I_{ph} 与光电压 U_{sc} 在不同的负载条件下的关系 ($0\sim 10000\Omega$) 数据, 其中 $I_{ph} = \frac{U_R}{10.00\Omega}$ 。(10.00 为取样电阻 R), 以后逐步调大相对光强 (5~6 次), 重复上述实验。

(3) 根据实验数据画出硅光电池的一组伏安特性曲线。

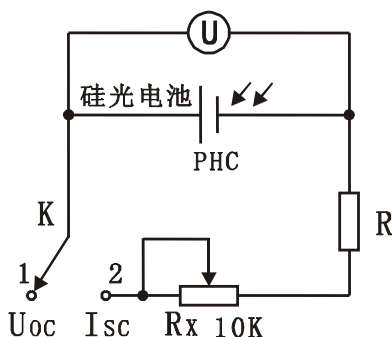


图 13 硅光电池特性测试电路

2.2、硅光电池的光照度特性实验

(1) 实验线路见图 13, 电阻箱调到 0Ω 。

(2) 先将可调光源调至相对光强为“弱光”位置, 每次在一定的照度下, 测出硅光电池的开路电压 U_{oc} 和短路电流 I_s , 其中短路电流为 $I_s = \frac{U_R}{10.00\Omega}$ (取样电阻 R 为 10.00Ω), 以后逐步调大相对光强 (5~6 次), 重复上述实验。

(3) 根据实验数据画出硅光电池的光照特性曲线。

3、光敏二极管的特性实验

3.1、光敏二极管伏安特性实验

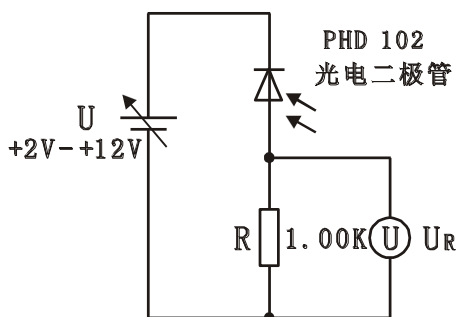


图 14 光敏二极管特性测试电路

(1) 按原理图 14 接好实验线路，将光电二极管板置测试架中、电阻盒置于九孔插板中，电源由 DH-VC3 直流恒压源提供，光源电压 0~12V（可调）。

(2) 先将可调光源调至相对光强为“弱光”位置，每次在一定的照度下，测出加在光敏二极管上的反偏电压与产生的光电流的关系数据，其中光电流：

$$I_{ph} = \frac{U_R}{1.00K\Omega}$$
 (1.00K Ω 为取样电阻 R)，以后逐步调大相对光强（5~6 次），重复上述实验。

(3) 根据实验数据画出光敏二极管的一组伏安特性曲线。

3.2、光敏二极管的光照度特性实验

(1) 按原理图 14 接好实验线路。

(2) 反偏压从 U=0 开始到 U=+12V，每次在一定的反偏电压下测出光敏二极管在相对光照度为“弱光”到逐步增强的光电流数据，其中光电流 $I_{ph} = \frac{U_R}{1.00K\Omega}$ (1.00K Ω 为取样电阻 R)。

(3) 根据实验数据画出光敏二极管的一组光照特性曲线。

4、光敏三极管特性实验

4.1、光敏三极管的伏安特性实验

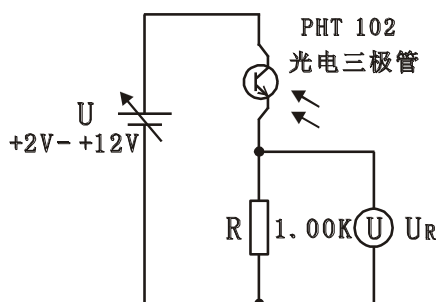


图 15 光敏三极管特性测试实验

(1) 按原理图 15 接好实验线路，将光敏三极管板置测试架中、电阻盒置于九孔插板中，电源由 DH-VC3 直流恒压源提供，光源电压 0~12V（可调）。

(2) 先将可调光源调至相对光强为“弱光”位置，每次在一定光照条件下，测出加在光敏三极管的偏置电压 U_{CE} 与产生的光电流 I_C 的关系数据。其中光电流

$$I_C = \frac{U_R}{1.00K\Omega} \quad (1.00K\Omega \text{ 为取样电阻 } R)。$$

(3) 根据实验数据画出光敏三极管的一组伏安特性曲线。

4.2、光敏三极管的光照度特性实验

(1) 实验线路如图 15 所示。

(2) 偏置电压 U_C ：从 0 开始到+12V，每次在一定的偏置电压下测出光敏三极管在相对光照度为“弱光”到逐步增强的光电流 I_C 的数据，其中光电流

$$I_C = \frac{U_R}{1.00K\Omega} \quad (1.00K\Omega \text{ 为取样电阻 } R)。$$

(3) 根据实验数据画出光敏三极管的一组光照特性曲线。

5、光纤传感器原理及其应用

5.1、光纤传感器基本特性研究

图 16 和图 17 分别是用光电三极管和光电二极管构成的光纤传感器原理图。图中 LED3 为红光发射管，提供光纤光源；光通过光纤传输后由光电三极管或光电二极管接受。LED3、PHT 101、PHD 101 上面的插座用于插光纤座和光纤。

①通过改变红光发射管供电电流的大小来改变光强，分别测量通过光纤传输后，光电三极管和光电二极管上产生的光电流，得出它们之间的函数关系。注意：流过红光发射管 LED3 的最大电流不要超过 40mA；光电三极管的最大集电极电流为 20mA，功耗最大为：75mW/25℃。

②红光发射管供电电流的大小不变，即光强不变，通过改变光纤的长短来测量产生的光电流的大小与光纤长短之间的函数。

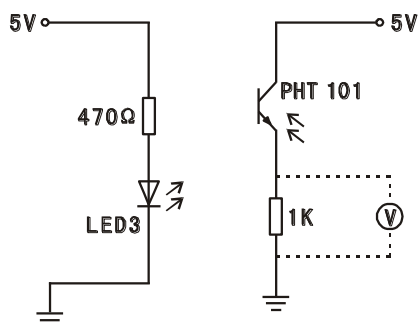


图 16 光纤传感器之光电三极管

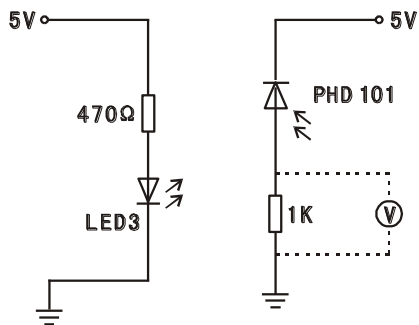


图 17 光纤传感器之光电二极管

5.2、光纤通讯的基本原理

实验时按图 17 进行接线，把波形发生器设定为正弦波输出，幅度调到合适值，示波器将会有波形输出；改变正弦波的幅度和频率，接受的波形也将随之改变，并且喇叭盒也发出频率和响度不一样的单频声音。注意：流过 LED3 的最高峰值电流为 180mA/1kHz。

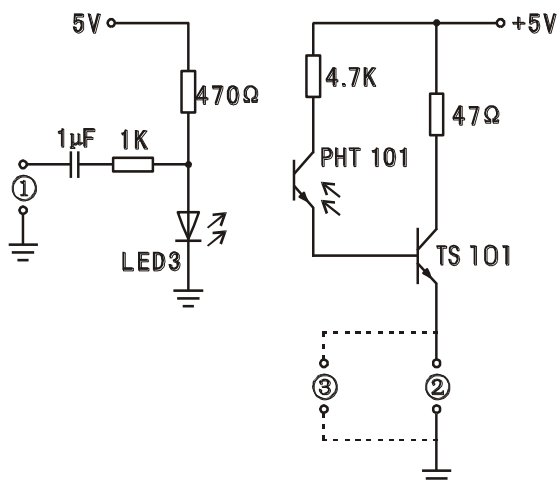


图 18 光纤通讯的基本应用的原理图

图中：①为波形发生器，②为喇叭，③为示波器

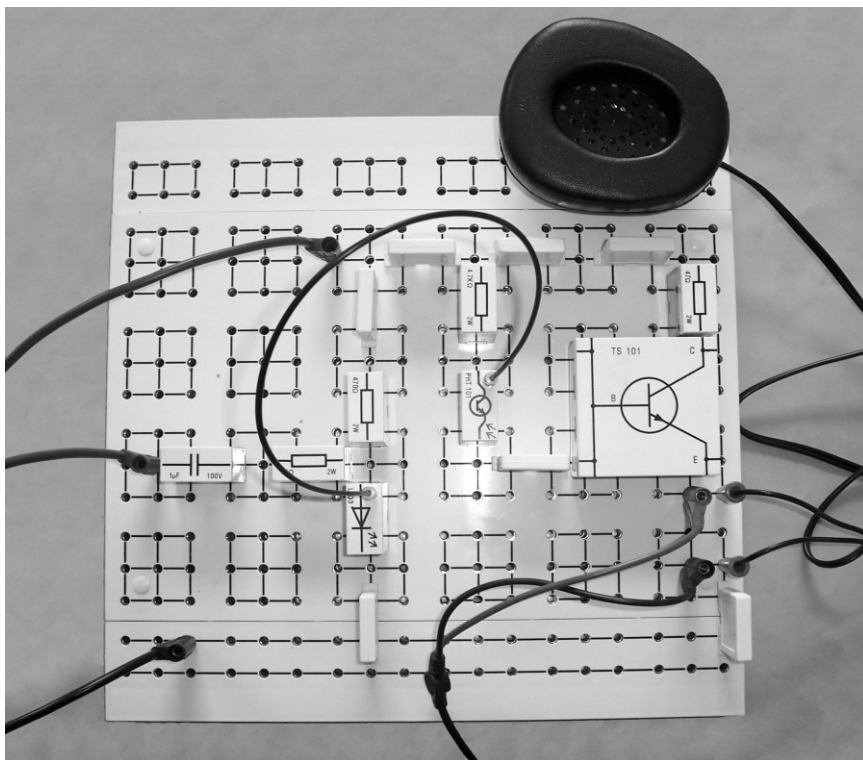


图 19 光纤通讯的基本应用接线图

说明：实际实验的过程中用喇叭盒代替耳机听筒，光电三极管 PHT 101 也可以换成光电二极管 PHD 101 来做实验。

五、思考题

- 1、验证光照强度与距离的平方成反比（把实验装置近似为点光源）。
- 2、当光敏电阻所受光强发生改变时，光电流要经过一段时间才能达到稳态值，光照突然消失时，光电流也不立刻为零，这说明光敏电阻有延时特性。试研究这一特性。
- 3、什么叫光敏电阻的光谱特性以及频率特性？如何研究？

附图：做实验时，需要更换各种光电传感器，此时只需拧开测试架，换上对应的传感器板即可，安装图如下：



图 20 光电传感器更换示意图