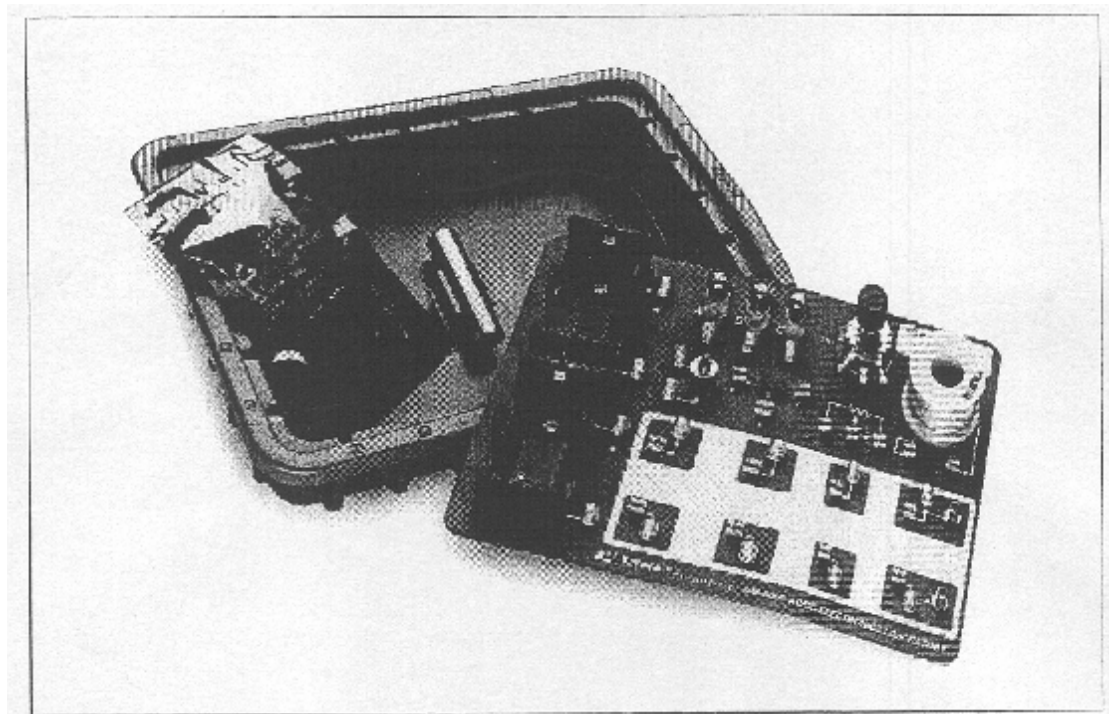


PASCO 物理组合实验系列

交直流电子学组合实验

周礼冲 编译



上海交通大学物理实验中心

目 录

实验 1 欧姆定律 II	2
实验 2 RC 电路	4
实验 3 LR 电路	6
实验 4 LRC 电路	8
实验 5 二极管实验 (一)	10
实验 6 二极管实验 (二)	12
实验 7 晶体管实验 (一) —— NPN 晶体管作为数字开关	16
实验 8 晶体管实验 (二) —— 电流增益 NPN 射极跟随放大器	17
实验 9 晶体管实验 (三) —— 共发射极放大器	19

实验 1 欧姆定律 II

实验仪器

计算机	10 Ω 电阻
接口	导线
功率放大器	香蕉插头连线。
电子学实验线路板	

实验目的

研究欧姆定律和非欧姆材料电压和电流间的关系。

实验原理

欧姆定律表示为 $I=V/R$ ，欧姆电阻的电压和电流关系是直线，直线斜率的数值等于电阻。

实验内容

一. 10 Ω 电阻实验

1. 计算机设置

- (1) 连接计算机和接口，接通电源。
- (2) 连接功率放大器和模拟通道 A，接通电源。
- (3) 采样频率设置为 4000Hz。
- (4) 设置信号发生器，使它能输出 60HZ 3.00V 三角信号。
- (5) 设置显示器窗口，使得垂直轴表示输出电压 (1.000V/div)。水平轴表示模拟通道 A 的电流 (0.100V/div)。

2. 仪器设置

在电子学线路板上选择合适部件按图 1 连线，接通功放电源。

3. 记录数据

点击信号发生器窗口“ON”按钮，接通信号发生器，点击实验设置窗口“MON”按钮，记录并显示数据。

4. 数据分析

确定并记录显示器窗口直线的斜率。

5. 选做内容

改换 100 Ω 电阻重做上述实验。

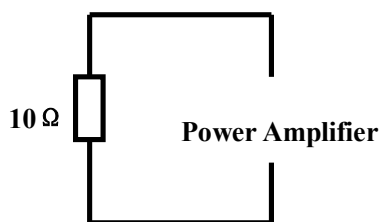


图 1

分析讨论题

1. 电阻轨迹直线斜率是否等于电阻阻值？

实验 2 RC 电路

实验仪器

计算机	100 Ω 电阻
接口	330 μF 电容
功率放大器	香蕉插头连线
电子学实验线路板	

实验目的

研究充电过程中电容器上电压的变化和测量 RC 电路时间常数。

实验原理

在充电过程中，电容器电量随时间变化为：

$$q = q_0(1 - e^{-t/\tau})$$

式中 τ 是时间常数 ($\tau = RC$, R 是电阻, C 是电容)。电量达到 $\frac{q_0}{2}$ 的时间称半衰周期, 它和时间常数关系为:

$$t_{\frac{1}{2}} = \tau \ln 2$$

实验内容

1. 计算机设置

- (1) 连接计算机和接口, 接通电源。
- (2) 分别连接电压传感器和模拟通道 A, 功率放大器和模拟通道 B, 接通电源。
- (3) 设置采样频率为 1000Hz, 停止条件为 4.00 秒。
- (4) 设置信号发生器, 使它输出 0.40Hz, 4.00V 方波信号, 输出模式为自动。
- (5) 设定图形显示窗口垂直轴显示范围为 0-5V, 水平轴显示范围为 0-4 秒。

2. 仪器设置

在电子学实验线路板上选择合适部件按图 2 连线, 接通电源。

3. 记录数据

点击“REC”按钮, 4 秒后数据图标 RUN#1 出现在实验设置窗口中。

4. 数据分析

- (1) 点击自动改变比例按钮, 使图形显示匹配数据。

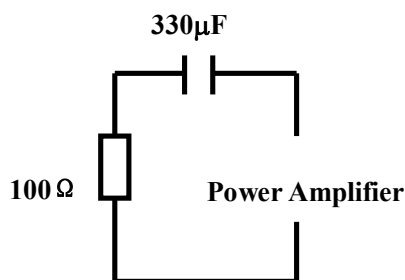


图 2

- (2) 点击放大镜按钮，利用鼠标拖出电压上升区域。
- (3) 利用鼠标显示并记录电压起始上升时间和电压达到 2.00V 时间，两者之差即 $t_{\frac{1}{2}}$ 。
- (4) 利用 $t_{\frac{1}{2}} = \tau \ln 2$ 计算电容器电容。
- (5) 测量 R 和 C，计算 τ 并和实验结果比较。

分析讨论题

1. 利用实验数据确定电容器充电到 $0.75q_0$ 花的时间。
2. 4 个半衰周期后电容器电量为多少？
3. 求出电容器最大电量。
4. 造成标称和实验测量值不符合的因素是什么？

实验 3 LR 电路

实验仪器

计算机	电感
接口	10Ω 电阻
功率放大器	导线
电压传感器	万用表
电子学实验线路板	香蕉插头连线

实验目的

研究直流电路中电感器的行为。

实验原理

直流电压 V_0 加到 RL 串联电路上，稳态电流为：

$$I_{\max} = V_0 / R$$

电流随时间按下式变化：

$$I = I_{\max} (1 - e^{-t/\tau})$$

式中 $\tau = L/R$ 是 LR 串联电路时间常数，电流达到 $0.5 I_{\max}$ 时间 $t_{\frac{1}{2}}$ 和 τ 的关系为：

$$t_{\frac{1}{2}} = \tau \ln 2$$

实验内容

1. 计算机设置

- (1) 连接计算机和接口，接通电源。
- (2) 分别连接 2 个电压传感器和功率放大器到模拟通道 A、B 和 C，接通电源。
- (3) 设置采样选择为：采样频率等于 10000Hz。开始条件是模拟通道 C 电压通过 0 伏，停止条件为采样时间达到 0.02 秒。
- (4) 设置信号发生器使它能输出 50.00Hz 3.00V 方波交流信号。

2. 仪器设置

在电子学实验线路板选用合适部件按图 3 连线，接通电源。

3. 记录数据

- (1) 利用万用表测量并记录电感和电阻器电阻。

(2) 点击“ON”按钮，接通信号发生器。

(3) 点击“REC”按钮，数据图标 RUN#1 立即出现在设置窗口中。

4. 数据分析

点击“Smart Cursor”按钮，利用鼠标，在图形显示窗口测量并记录电阻器峰值电压，峰值电压的时间，半极大值电压时间和达到半极大值化的时间，计算 τ 。

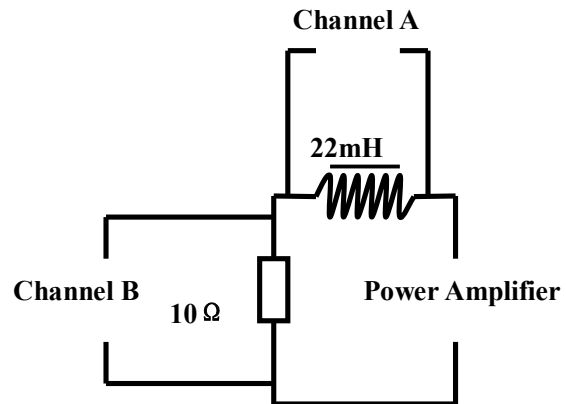


图 3

讨论思考题

1. 试比较 LR 串联电路时间常数理论值和实验测量值。
2. 利用图形显示窗口中显示的三张图，测量有关数据验证克希荷夫环路定律。

实验 4 LRC 电路

实验仪器

计算机	电感
接口	10 Ω 电阻
功率放大器	100 μF 电容
电压传感器	导线
电子学实验线路板	香蕉插头连线

实验目的

研究 LRC 电路共振现象。

实验原理

串联 LRC 电路电流振幅 I_0 依赖于外加电压振幅和电路阻抗：

$$I_0 = V_0 / Z$$

由于阻抗依赖于频率，电流随频率改变。

$$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2}$$

式中 $X_L = \omega L$, $X_C = 1/\omega C$ ，当外加电压频率等于 LRC 电路共振频率 $\omega_{res} = 1/\sqrt{LC}$ 时，电流最大。

实验内容

1. 计算机设置

- (1) 连接计算机和接口，接通电源。
- (2) 分别连接功放和电压传感器到模拟通道 A 和 B。
- (3) 设置信号发生器使它能输出 10.00Hz, 3.00V 正弦交流波，输出模式设置为自动。

2. 仪器设置

在电子实验线路板上选择合适部件按图

4 连线，接通功放电源。

3. 记录数据

- (1) 点击“MON”按钮开始监视数据。
- (2) 点击“Smart Cursor”按钮，利用鼠标在显示器窗口测量并记录输出电压峰值 V_0 和电阻上电压峰值 V_R 。
- (3) 调整信号发生器输出电压频率为 20, 30, ……150Hz 重复上述实验。

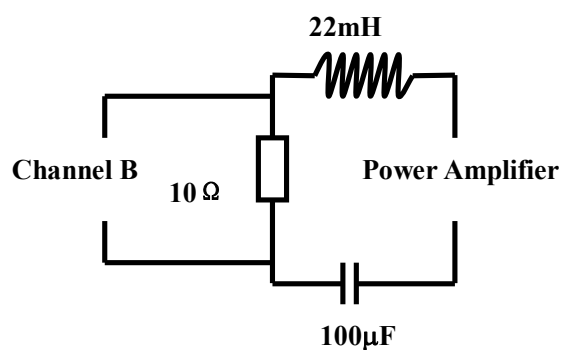


图 4

(4) 观察实验数据, 估计共振频率, 调整信号发生器输出电压频率为共振频率估计值, 再微调频率使显示器窗口在 X-Y 模式上显示直线, 这时 LRC 电路处于共振状态, 记下共振频率。

(5) 利用 LCR 测量仪测量线圈电感, 电容器电容和线圈和电阻总电阻。

4. 数据处理和分析

记下共振频率, 共振角频率, 电感, 电容, 计算理论共振角频率, 在方格纸上作电流和线频率关系图, 计算理论共振频率 $\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 并和实验值比较。

分析讨论题

1. 共振角频率测量值和理论值百分误差是多少?
2. 电流频率曲线是否对共振频率对称, 为什么?
3. 利用测量数据计算 LRC 电路共振电阻, 共振电阻是否等于 10Ω ? 为什么。

选做内容

1. 利用模拟通道 B 的电压传感器分别测量每个元件的峰值电压, 峰值电压之和为什么不等于外加电压峰值? 试作相位复矢量图说明之。
2. 确定共振频率是否依赖于电阻。

实验 5 二极管实验（一）

实验仪器

计算机	电压传感器
接口	电子实验线路板
功率放大器	香蕉插头连线。

实验目的

研究各种二极管性质。

实验原理

二极管加上合适的正向电压后，允许电流单向流过，正向电压过小或改变电压方向时没有电流流过二极管，电流正向通过发光二极管时发光二极管会发光，红绿双色二极管实际上是红绿两种发光二极管反平行连接在一齐构成的。双色 LED 是一种齐纳二极管。

实验内容

一. 第一单元——二极管性质

1. 计算机设置

- (1) 连接计算机和接口，接通电源。
- (2) 连接二个电压传感器和模拟通道 A 和 B。
- (3) 连接功率放大器和模拟通道 C。
- (4) 设置信号发生器使它能输出上斜交流信号，输出信号频率为 2.00Hz，振幅为 6.00V。
- (5) 设置采样频率为 500Hz，开始条件为模拟信号为-5.9V，停止条件为样本数达到 250。

2. 仪器设置

在电子实验线路板选择合适部件按图 15.1 接线，接通电源。

3. 记录数据——二极管和 1K 电阻。

- (1) 点击“ON”按钮接通信号发生器。
- (2) 点击“REC”按钮记录数据，数据图标 Run#1 出现在实验设置窗口中。

4. 数据分析——二极管和 1K 电阻。

- (1) 点击自动改变比例按钮改变图形显示比例来拟合实验数据。
- (2) 存数据。
- (3) 点击放大器按钮。
- (4) 利用鼠标拖出包含电流上升部分的矩形，保证矩形区域上界超过 2mA。
- (5) 点击“Smart Cursor”按钮，在图形显示窗口找出并记电流达到 2mA 时的电压。

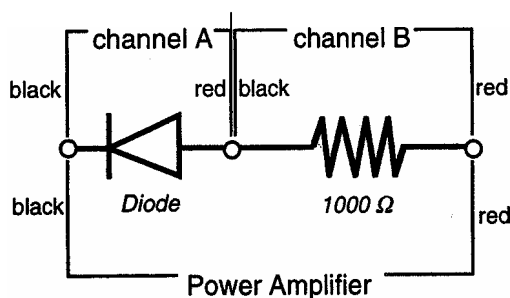


图 15.1

二. 第二单元——发光二极管性质

1. 分别对红、黄、绿三种发光二极管重复上述实验。
2. 利用双色二极管重复上述实验，唯一的不同是应分别测量并记录正向和反向电流达到 $2\mu\text{A}$ 时电压。

分析讨论题

1. 比较二极管、发光二极管和双色发光二极管的性质。

实验 6 二极管实验（二）

实验仪器

计算机	电压传感器
接口	电子实验线路板
功率放大器	香蕉插头连线。

实验目的

利用二极管整流交流信号和构成直流电源。

实验原理

利用二极管的单向导电性，从交流电源获得直流电，通过电子滤波器滤波后即可作为直流电源，二极管是直流电源的一个重要组成部分。

实验内容

一. 第三单元——交流正弦波整流

1. 计算机设置

- (1) 连接计算机和接口，接通电源。
- (2) 分别连接 2 个电压传感器和模拟通道 A 和 B。
- (3) 连接功放和模拟通道 C。
- (4) 设置信号发生器，使它能输出 2.00Hz, 6.00V 正弦信号。

2. 仪器设置

在电子实验线路板选合适部件按图 6.1 连线，接通电源。

3. 记录数据——利用二极管整流正弦波。

- (1) 点击“ON”按钮接通信号发生器。
- (2) 点击“MON”按钮开始数据监视。
- (3) 点击“PAUSE”按钮。
- (4) 点击显示器窗口顶部第一个“Data Snapshot”按钮，存储数据。设置数据集长名为二极管电压，短名为 Diode V，单位为 V。
- (5) 点击显示器窗口中部第二个“Data Snapshot”按钮，存储数据。设置数据集长名为 Resistor Voltage，短名为 Resistor V，单位为 V。
- (6) 点击“Stop”按钮。

4. 数据分析

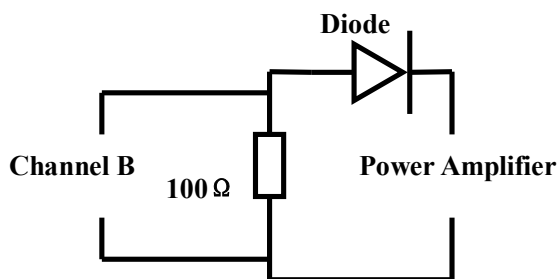


图 6.1

- (1) 在文件菜单选“Save As……”菜单项存储数据。
- (2) 从显示菜单选“New Graph”菜单项。
- (3) 点击“Input Menu”按钮，选“Data Cache, Diode Voltage”。
- (4) 点击“Add plot”按钮，选 Data Cache, Resistor Voltage。
- (5) 分别设置二极管电压和电阻器电压显示范围为±6.5V。
- (6) 用发光二极管替换二极管重复上述实验。

二. 第四单元第一部分——单二极管电源

1. 计算机设置

- (1) 移去模拟通道 A 电压传感器。
- (2) 移去数据集。
- (3) 重新设置信号发生器，使它能输出 60HZ, 6.00V 正弦交流信号。

2. 仪器设置

在电子实验线路板上选用合适部件按图 6.2 连线。

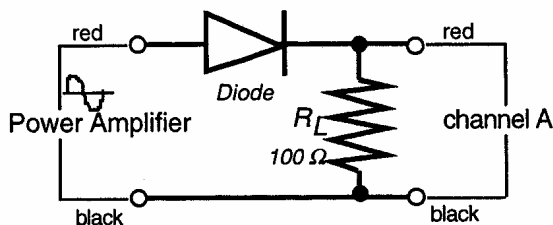


图 6.2

3. 记录数据——单二极管整流器。

- (1) 接通电源。
- (2) 点击“ON”按钮接通信号发生器。
- (3) 点击：“MON”按钮监视数据。
- (4) 点击“Stop”按钮。
- (5) 点击 B 通道“Data Snapshot”按钮，设置数据集长名为：Rectified Voltage，短名为：Rectified V 和单位为 V。
- (6) 点击“off”按钮关闭信号发生器。

4. 记录数据——二极管和电容。

- (1) 在电子实验线路板上选用合适部件按图 6.3 连线，接通电源。
- (2) 点击“ON”按钮接通信号发生器。

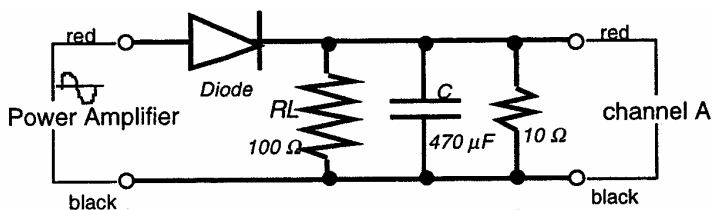


图 6.3

- (3) 点击“MON”按钮监视数据。
- (4) 点击“Stop”按钮。
- (5) 点击 B 通道“Data Snapshot”按钮，设置数据集长名为 Filtered Voltage，短名为 Filter V，单位为 V。
- (6) 点击“off”按钮关闭信号发生器。
- (7) 在 100 Ω 电阻上并联 470 μF 电容和 10 Ω 电阻。
- (8) 点击“ON”按钮接通信号发生器。
- (9) 点击“MON”按钮监视数据。
- (10) 点击“Stop”按钮。
- (11) 点击 B 通道“Data Snapshot”按钮，设置数据集长名为 Load Resistor Voltage，短

名为 Load V，单位为 V。

(12) 点击“off”关闭信号发生器。

5. 数据分析

(1) 在文件菜单选“Save As……”菜单项存储数据。

(2) 在显示菜单选“New Graph”菜单项。

(3) 点击“Input menu”按钮，选“Data Cache, Rectified Voltage”。

(4) 点击“Add plot”按钮，选“Data Cache, Filtered Voltage”。

(5) 点击“Add plot”按钮，选“Data Cache, Load Resistor Voltage”。

(6) 设置 3 张图显示范围为 $\pm 6.5\text{V}$ 。

三. 第四单元第二部分——电源

1. 计算机设置

不变。

2. 仪器设置

在电子实验线路板上选用合适部件按图 6.4 连线，接通电源。

3. 桥型整流器数据记录。

(1) 点击“ON”按钮接通信号发生器。

(2) 点击“MON”按钮监视数据。

(3) 点击“Stop”按钮。

(4) 点击通道 B“Data Snapshot”按钮，数据集设置为长名 Full rectified voltage，短名 Full V，单位为 V。

(5) 点击“off”按钮断开信号发生器。

(6) 在 100Ω 电阻两端并联 $470\mu\text{F}$ 电容器。

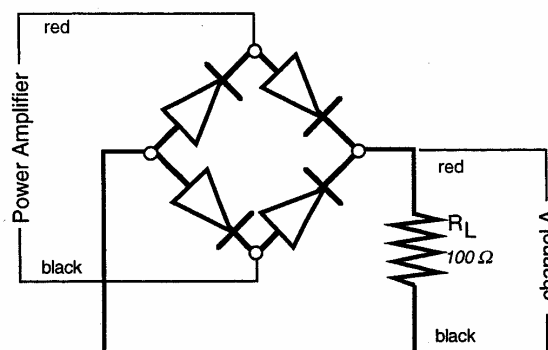


图 6.4

(7) 点击“ON”按钮接通信号发生器。

(8) 点击“MON”按钮监视数据。

(9) 点击“Stop”按钮。

(10) 点击 B 通道“Data Snapshot”按钮，数据集设置为长名 Filtered Full Rectified voltage，短名 Filtered V，单位为 V。

(11) 点击“off”按钮关闭信号发生器。

(12) 在 $470\mu\text{F}$ 电容器两端再并联 10Ω 电阻器。

(13) 点击“ON”接通信号发生器。

(14) 点击“MON”监视数据。

(15) 点击“Stop”按钮。

(16) 点击 B 通道“Data Snapshot”按钮，数据集设置为长名：Load Resistor Voltage，短名：Load V 和单位为 V。

(17) 点击“off”按钮。

4. 桥式整流器数据分析

- (1) 在文件菜单选“Save As……”存数据。
- (2) 选显示菜单“New Graph”菜单项。
- (3) 点击“Input Menu”按钮，选“Data Cache, Full rectified Voltage”。
- (4) 点击“Add plot”按钮，选“Data Cache, Filtered Full Rectified voltage”。
- (5) 点击“Add plot”按钮，选“Data Cache, Load Resistor Voltage”。
- (6) 设置图形显示窗口3张图显示范围为 $\pm 10\text{V}$ 。

讨论思考题

1. 滤波电容在整流电路中有什么作用？
2. 比较桥式整流器和单二极管整流器的性能。
3. 分析负载对整流器输出的影响。

实验 17 晶体管实验（一）—— NPN 晶体管作为数字开关

实验仪器

计算机	电子学实验线路板
接口	可调直流电源（0~5V）
功放	香蕉插头连线
电压传感器	

实验目的

研究 WPN 晶体管数字开关。

实验原理

晶体管是数字电路的基本元件，在晶体管电路中，集电极电流由基极电流控制，基极电流远小于集电极电流。通过控制基极电流就能实现晶体管数字开关。

实验内容

1. 计算机设置

- (1) 连接计算机和接口，接通电源。
- (2) 连接电压传感器和模拟通道 A。
- (3) 连接功放和模拟通道 B。
- (4) 设置采样频率为 200Hz，起始条件为模拟输出为 0.01V。停止条件为样本数等于 200。
- (5) 设置信号发生器使它能输出 1Hz1.6V 正弦信号。

2. 仪器设置

在电子实验线路板上选用合适部件按图 7 连线。接通电源。

3. 记录数据

- (1) 点击“ON”按钮接通信号发生器。
- (2) 点击“REC”按钮记录数据，数据图标 Run#1 立即出现在实验设置窗口。
- (3) 断开信号发生器和电源。

4. 数据分析

- (1) 存储数据。
- (2) 点击“Autoscale”使显示的图匹配数据。
- (3) 点击“Smar Cursor”
- (4) 利用鼠标测出集电极电压开始上开时的基极偏置电压。

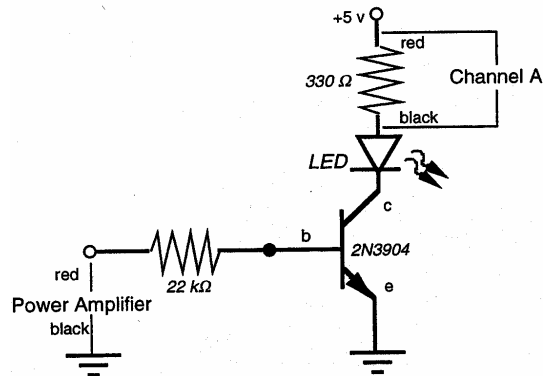


图 7

讨论思考题

1. 电路中发光二极管有什么作用？
2. 比较基极偏置电压和集电极电压形状。

实验 8 晶体管实验（二）—— 电流增益

NPN 射极跟随放大器

实验仪器

计算机	交直流电子学实验板
Science Workshop 接口	可调直流电源 (+5V)
功率放大器	香蕉插座连接线
电压传感器	

实验目的

研究晶体管直流转换特性和确定晶体管电流增益。

实验原理

晶体管是所有类型现代电子放大器的基本元件，在晶体管电路中，集电极电流由基极电流控制，增益定义为输出电流和输入电流之比，晶体管电路可以放大电压和电流。

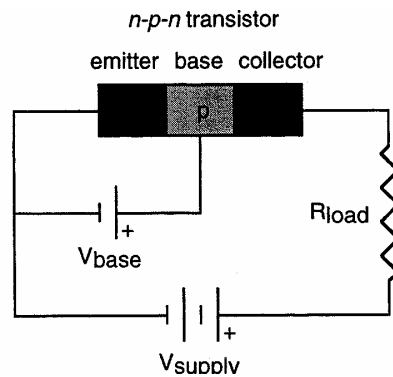


图 8.1

实验步骤

1. 计算机设置

- (1) 连接接口和计算机，依次接通电源。
- (2) 分别连接两个电压传感器到接口模拟通道 A 和 B。
- (3) 连接功率放大器和模拟通道 C，接通电源。
- (4) 设置采样周期等于 200Hz，采样开始条件为模拟输出等于 0.01V 和采样停止条件为样本数等于 200。
- (5) 设置信号发生器，输出频率 1Hz，振幅 3.98V 正弦信号。
- (6) 重新安排窗口位置，应能同时看见信号发生器和图形显示窗口。

2. 传感器校正和设备设置

把 2N3904 晶体管插入交流直流电子学实验板上晶体插座中，按图 8.2 接好线路。

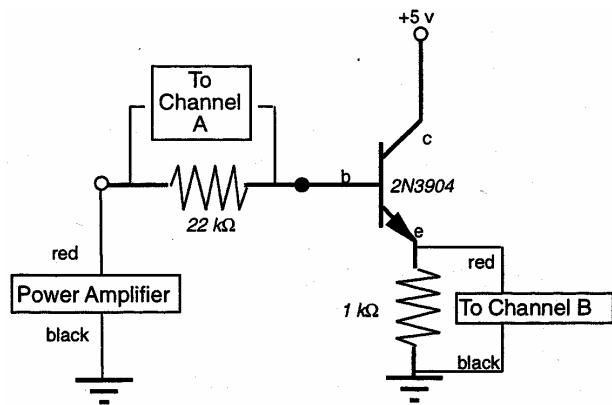


图 8.2

3. 记录数据

- (1) 接通电源
- (2) 点击信号发生器窗口 ON 按钮。

(3) 点击 REC 按钮开始记录数据，记录 200 个样本后将自动停止记录，数据集 Run#1 出现在实验设置窗口的数据清单中。

(4) 点击信号发生器窗口 off 按钮。

(5) 断开功率放大器和直流电源。

4. 数据分析

(1) 激活图形窗口，保存数据。

(2) 在图形显示窗口点击统计按钮，再点击自动确定比例按钮重新确定图形比例来拟合数据。

(3) 在图形显示区域，点击并拖出包含图中线性区域的矩形。

(4) 在图形右边的统计区域点击统计菜单——曲线拟合——线性拟合。

(5) 记录线性拟合系数 α_2 。

晶体管电流增益。

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \text{斜率}$$

(6) 记录 2N3904 晶体管电流增益。

问题

1. 试比较晶体管和二极管输入输出曲线。
2. 晶体管 2N3904 电流增益是什么？

实验 9 晶体管实验（三）—— 共发射极放大器

实验仪器

计算机
接口
功放
电压传感器

电子实验线路板
可调直流电源（+5V）
香蕉插头连线

实验目的

研究 NPN 晶体管共发射极放大器电压电流特性。

实验原理

在 NPN 晶体管电路中，基极电流远小于集电极电流，晶体管能够放大电压和电流。

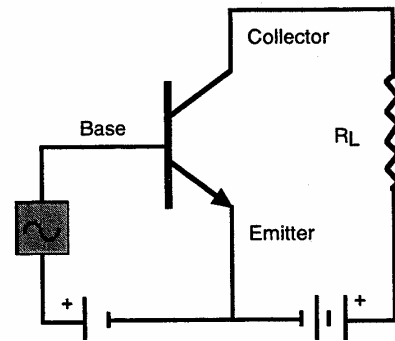


图 9.1 共发射极放大器

实验内容

1. 计算机设置

- (1) 连接计算机和接口，接通电源。
- (2) 分别连接电压传感器和功放到模拟通道 A 和 B。
- (3) 设置信号发生器，使它能输出 300Hz 0.2V 交流信号。

2. 仪器设置

在电子实验线路板上选择合适部件按图 9.2 连接。接通电源。

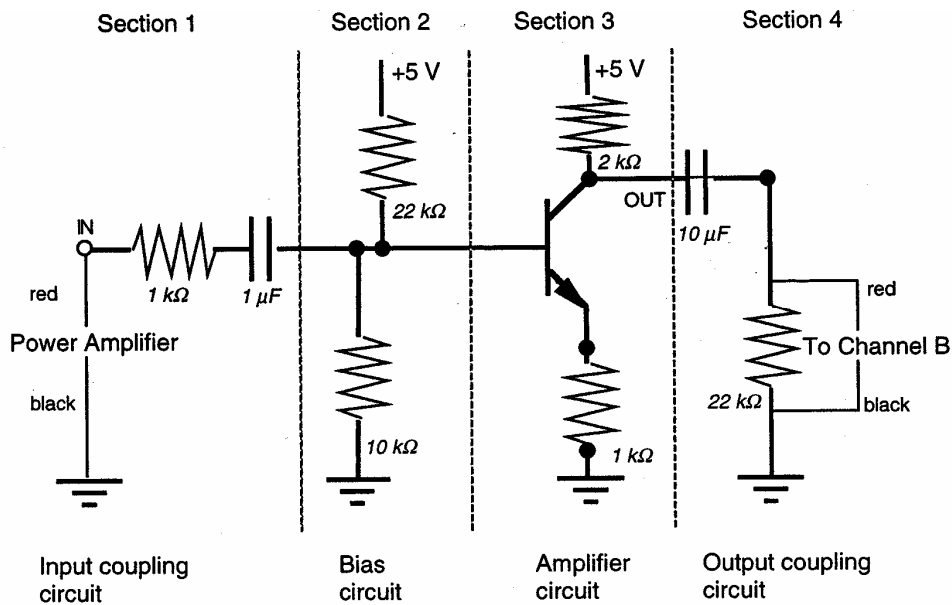


图 9.2

3. 记录数据

- (1) 调整直流电源到+5V。
- (2) 点击“ON”接通信号发生器。
- (3) 点击“MON”开始监视数据。
- (4) 点击“Smart Cursor”。
- (5) 利用鼠标测量输出电压峰值和输入电压峰值。
- (6) 点击“Stop”停止监视。
- (7) 点击“off”断开信号发生器。

4. 数据分析

利用测得数据计算输入电压和输出电压之比和理论输出电压 $V_{out} = -V_{in} \frac{R_C}{R_E}$

讨论思考题

1. 输入信号和输出信号有什么相应关系？
2. 实际输出电压是否等于理论输出电压？

选做内容

改变输入信号频率和振幅观察输出信号的形状。

