

实验 3

正弦稳态交流电路相量的研究

3.1 实验目的

- (1) 掌握正弦稳态交流电路中电压、电流相量之间的关系。
- (2) 掌握日光灯线路的接线。
- (3) 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。
- (4) 学会使用功率表。

3.2 实验原理

1. RC 串联电路

在单相正弦交流电路中,用交流电流表测得各支路的电流值和用交流电压表测得回路各元件两端的电压值,它们之间的关系满足相量形式的基尔霍夫定律,即

$$\sum \dot{I} = 0 \quad \text{和} \quad \sum \dot{U} = 0 \quad (3.1)$$

实验电路为 RC 串联电路,如图 3.1(a)所示,在正弦稳态信号 $\dot{U}$ 的激励下,满足基尔霍夫电压定律:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_C = \dot{I}(R - jX_C) \quad (3.2)$$

相应的相量图如图 3.1(b)所示。由于 $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_C$ 三个相量构成一个直角三角形,当正弦稳态信号 $\dot{U}$ 不变时,随着 R 值的改变, $\dot{U}_R$ 的相量轨迹是一个半圆,因此可改变 φ 角的大小,从而达到移相的目的。

2. 日光灯电路及其功率因数的提高

日光灯电路如图 3.2(a)所示,图中 A 是日光灯管, L 是镇流器, S 是启辉器, C 是补偿电容器,用以改善电路的功率因数($\cos\varphi$ 值)。有关日光灯的工作原理请自行翻阅有关资料。日光灯点亮以后的等效电路如图 3.2(b)所示,从等效电路可以看到,整个日光灯

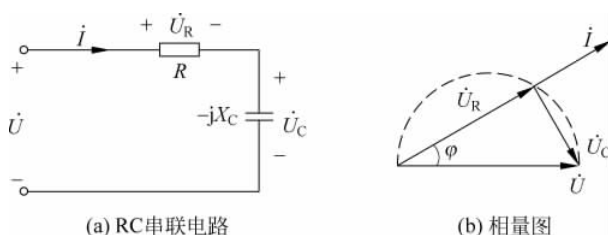


图 3.1 RC 串联电路及相量图

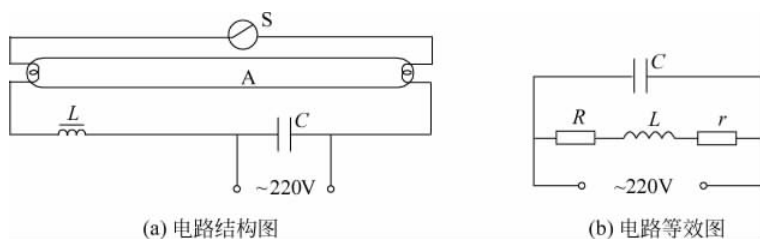


图 3.2 日光灯电路结构图及等效图

装置相当于一个感性负载,其中灯管可近似为负载电阻 R ,镇流器可近似等效为小电阻 r 和电感 L 的串联;电容 C 为总负载两端的补偿电容。

日光灯实验电路如图 3.3 所示。

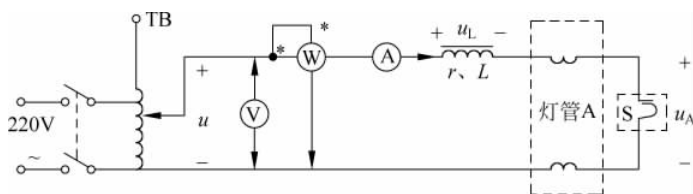


图 3.3 日光灯测量电路图

利用功率表可以测得各元件的有功功率、无功功率,如测镇流器所消耗的功率 P_{Lr} ,实际就是等效电阻 r 所消耗的功率,利用功率表中的电流及电压测量模块可以同时测得电流值及镇流器两端电压,则可求得镇流器的等效电阻 r 。

$$r = \frac{P_{Lr}}{I_{Lr}^2} \quad (3.3)$$

根据 $\dot{U}_{Lr} = \dot{I}_{Lr}(jX_L + r)$ 可以求得镇流器的等效电感如下。

$$X_L = \sqrt{\left(\frac{U_{Lr}}{I_{Lr}}\right)^2 - r^2} \quad (3.4)$$

则镇流器的等效电感如下。

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (3.5)$$

其中, $f=50\text{Hz}$ 。

日光灯灯管 R 所消耗的功率为 P_R ,电路消耗的总功率为 $P=P_R+P_{Lr}$ 。只要测出电

路的总功率 P 、总电流 I 和总电压 U , 就能求出电路的功率因数 $\cos\varphi = \frac{P}{UI}$ 。

日光灯的功率因数较低, 一般在 0.6 以下, 且为感性负载, 因此往往采用并联电容器的方法来提高功率因数。由于电容支路的电流 $\dot{I}_C$ 超前电压 $\dot{U}_C$ 90° , 抵消了一部分日光灯支路电流中的无功分量, 使电路总电流减少, 从而提高了电路的功率因数。当电容增加到一定值时, 感性负载与容性负载抵消, 总电流下降到最低值, 此时整个电路呈纯电阻性, 电路的功率因数为 1。若继续增加电容值, 会出现过补偿现象, 总电流又增加, 电路呈电容性, 功率因数再次降低。

3.3 实验设备与器件

实验 3 所需的设备与器件见表 3.1。

表 3.1 实验 3 所需的设备与器件

序号	名 称	型号与规格	数量	备 注
1	交流电压表	0~500V	1	
2	交流电流表	0~5A	1	
3	功率表		1	DGJ-07A
4	自耦调压器		1	屏内
5	镇流器、启辉器	与 40W 灯管配用	各 1	屏内
6	日光灯灯管	40W	1	屏内
7	电容器	$1\mu\text{F}$ 、 $2.2\mu\text{F}$ 、 $4.7\mu\text{F}/500\text{V}$	各 1	DGJ-04A
8	白炽灯及灯座	220V, 15W	1~3	DGJ-04A
9	电流插座		3	DGJ-04A

3.4 实验内容

调节实验台侧面自耦调压器的输出, 使其输出电压为 220V, 关断电源待用。按图 3.4 所示的线路接好实验电路, 检查无误后打开电源, 观察日光灯的启辉过程。分别测量未接入电容和并入不同电容时的各种参数, 将其填入表 3.2 中。

注意: 日光灯必须完全被点亮, 不能处于半启辉状态。

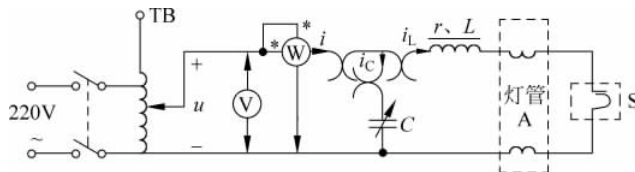


图 3.4 改善功率因数的并联电路

表 3.2 验证日光灯电路的功率因数与并联电容 C 之间的关系

电容值 / μF	测量数值									
	P/W	U/V	I/A	U_{R}/V	P_{R}/W	I_{Lr}/A	U_{Lr}/V	P_{Lr}/W	I_{C}/A	$\cos\varphi$
0										
1										
2.2										
3.2										
4.7										
5.7										
7.9										

3.5 注意事项

- (1) 本实验用交流市电 220V, 务必注意用电和人身安全。
- (2) 功率表要正确接入电路。
- (3) 线路接线正确, 日光灯不能启辉时, 应检查启辉器及其接触是否良好。

3.6 思考题

- (1) 参阅课外资料, 了解日光灯的启辉原理。
- (2) 在日常生活中, 当日光灯上缺少了启辉器时, 人们常用一根导线将启辉器的两端短接一下, 然后迅速断开, 使日光灯点亮; 或用一只启辉器去点亮多只同类型的日光灯。这是为什么?
- (3) 为了改善电路的功率因数, 常在感性负载上并联电容器, 此时增加了一条电流支路, 试问电路的总电流是增大还是减小? 此时感性元件上的电流和功率是否改变?
- (4) 提高线路功率因数为什么只采用并联电容器法, 而不用串联法? 所并联的电容器是否越大越好?

3.7 实验报告要求

- (1) 完成数据表格中的计算, 进行必要的误差分析。
- (2) 根据实验数据, 分别绘出电压、电流相量图, 验证相量形式的基尔霍夫定律(注意, 所有相量必须画在同一个相量图中)。
- (3) 根据实验数据, 计算日光灯管的等效电阻 R 、镇流器的电感 L 和电阻 r , 选择一组实验参数进行理论分析, 功率因数如果要补偿到该实验值, 对应的电容值应该为多少?
- (4) 讨论改善电路功率因数的意义和方法。

实验 4

三极管单管放大器

4.1 实验目的

- (1) 学习放大电路静态工作点的调试方法。
- (2) 掌握晶体管电压放大器动态性能指标的调测方法。
- (3) 了解集电极电阻和负载电阻对电压放大倍数的影响。
- (4) 巩固实验室常用电子仪器的使用操作技能。

4.2 实验原理

1. 实验电路

实验电路图如图 4.1 所示,该电路为共射电压放大器,射极偏置决定静态工作点。

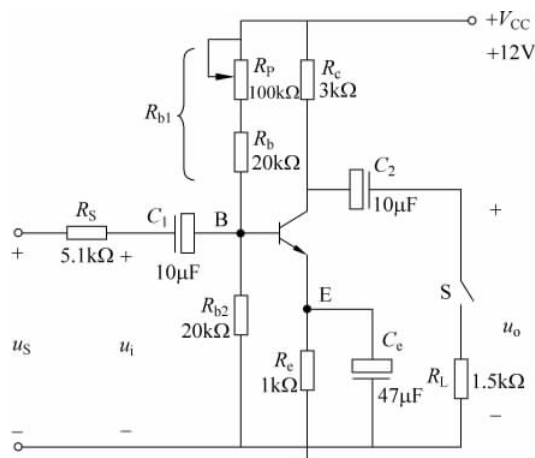


图 4.1 单管放大器原理图

2. 静态工作点的估算

静态工作点的估算公式如下。

$$V_B = \frac{R_{b2} V_{CC}}{R_{b1} + R_{b2}} \quad (4.1)$$

$$V_E = V_B - U_{BE} \quad (4.2)$$

式中： U_{BE} 硅管取 0.7V，锗管取 0.3V。

$$I_C \approx I_E \approx \frac{V_E}{R_e} \quad (4.3)$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C(R_c + R_e) \quad (4.4)$$

3. 交流微变等效电路

交流微变等效电路如图 4.2 所示。

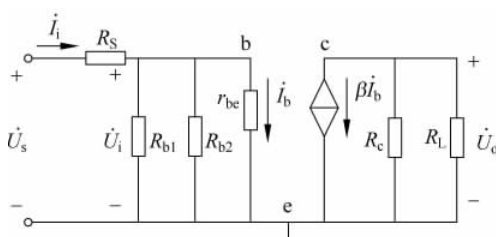


图 4.2 交流微变等效电路

4. 电压放大倍数估算

电压放大倍数估算公式如下。

$$A_v = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta i_b (R_c // R_L)}{i_b r_{be}} = \frac{-\beta (R_c // R_L)}{r_{be}} \quad (4.5)$$

5. 放大器输入电阻

放大器输入电阻的计算公式如下。

$$r_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = r_{be} // R_{b1} // R_{b2} \quad (4.6)$$

6. 放大器输出电阻

忽略三极管的输出电阻，则放大器的输出电阻为 $r_o \approx R_c$ 。

4.3 实验设备与器件

实验 4 所需的设备与器件见表 4.1。

表 4.1 实验 4 所需的设备与器件

序号	名 称	型号与规格	数量	备 注
1	万用电表	GDM-8135	1	
2	函数信号发生器	DF1641B	1	
3	交流毫伏表	AS2174F	1	
4	双踪示波器	GOS-6021	1	
5	晶体三极管	3DG6	1	
6	模拟电子技术实验箱	THM-7	1	

4.4 实验内容

1. 按原理图接成实际电路

各仪器的公共地端必须连接在一起,接通电源前将 R_P 调至最大。

2. 静态工作点的调试

(1) 令 $u_i=0$ (即放大器的输入端与地短接),接好 $+12V$ 电源。函数信号发生器输出旋钮旋至零。

(2) 调节电位器 R_P ,直到用万用电表直流电压挡测发射极对地的电位 V_E 约为 $2.0V$ 为止,根据式(4.3),计算 I_C 的值。同时用直流电压表或万用电表电压挡测量 V_C 、 V_B ,并用万用电表欧姆挡测量基极偏置电阻 R_{b1} ,注意测量电阻 R_{b1} 时两端电路都应该断开。将测量及相应的计算数据记录到表 4.2 中。

(3) 根据这些数据,判断三极管是否工作于放大状态。

表 4.2 静态工作点的测试数据表

实际测量值				测量计算值		
V_E/V	V_C/V	V_B/V	$R_{b1}/k\Omega$	U_{CE}/V	U_{BE}/V	I_C/mA

3. 测量电压放大倍数 A_v

在放大器输入端加入频率为 $1kHz$ 的正弦信号 u_s ,调节函数信号发生器的输出旋钮使放大器输入电压 $U_i \approx 10mV$,同时用示波器观察放大器输出电压 u_o 波形,在波形不失真的条件下用交流毫伏表测量下述三种情况下的 U_o 值,并用双踪示波器观察 u_o 和 u_i 的相位关系,记入表 4.3 中。

表 4.3 电压放大倍数 A_v 数据表

$R_C/k\Omega$	$R_L/k\Omega$	U_o/V	A_v	观察记录一组 u_o 和 u_i 波形
2.4	∞			
1.2	∞			
2.4	2.4			

在上述三种情况下分别计算出 A_v , 填入表 4.3 中, 并与理论估算值进行比较。

4. 测试放大器输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o 。

置 $R_c = 2.4\text{k}\Omega$, $R_L = 2.4\text{k}\Omega$, $V_E = 2\text{V}$ 。在放大器输入端接一个 $R_s = 5.1\text{k}\Omega$ 电阻, 函数信号发生器输出一个频率为 1kHz 、有效值为 10mV 的正弦波, 送到 R_s 前端作为 u_s 信号。测得该电阻前后两个电压有效值 U_s 和 U_i , 由式(4.7)便可计算出放大器的输入电阻 r_i 。其测试原理如图 4.3 所示。

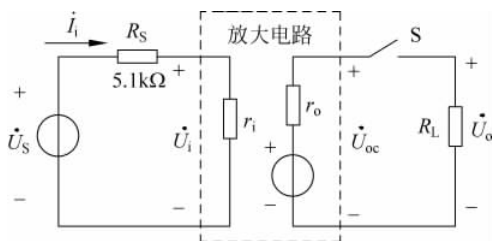


图 4.3 r_i 及 r_o 的测试原理图

$$r_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_s - U_i}{R_s}} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s \quad (4.7)$$

同理, 保持 u_s 不变, 测得输出电压有效值 U_{oc} ($R_L = \infty$ 时) 及 U_o ($R_L = 2.4\text{k}\Omega$ 时) 的值, 可由式(4.8)算得放大器输出电阻 r_o 。

$$r_o = \frac{U_{oc} - U_o}{\frac{U_o}{R_L}} = \frac{U_{oc} - U_o}{U_o} R_L \quad (4.8)$$

将所测数据填入表 4.4 中, 并分析测试结果。

表 4.4 输入电阻和输出电阻测试数据表

$\dot{U}_s$ /mV	测输入电阻 r_i			测输出电阻 r_o			
	实际测量		测量计算	实际测量			测量计算
	$\dot{U}_i$ /mV	R_s /kΩ	r_i /kΩ	U_o /V(接 R_L 时)	U_{oc} /V($R_L = \infty$)	R_L /kΩ	r_o /kΩ

将计算得到的理论输入、输出阻抗值与表 4.4 测量计算得到的输入、输出阻抗值进行分析比较。

* 5. 观察静态工作点对输出波形失真的影响

置 $R_c = 2.4\text{k}\Omega$, $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ (开关 S 合上), $u_i = 0$, 调节 R_P 使 $V_E \approx 2\text{V}$ ($I_C \approx 2\text{mA}$), 测出 U_{CE} 的值, 再逐步加大输入信号 u_i 幅度, 使输出 u_o 足够大且不失真。然后保持输入信号不变, 分别增大或减少 R_P , 使输出波形出现失真, 记录 u_o 。饱和失真和截止失真的波形, 并测出失真情况下的 I_C 和 U_{CE} 的值, 记入表 4.5 中, 每次测 I_C 和 U_{CE} 值时都要将信号源的输出旋钮旋至零。

注意: 测 I_C 和 U_{CE} 的值时, 都要使 $u_i = 0$ 。

表 4.5 静态工作点调试不当引起的放大器工作情况记录($R_L = \infty$)

静态工作点		失真类型	工作状态	u_o 波形
I_C/mA	U_{CE}/V			

4.5 预习内容

- (1) 复习所学的理论知识,对实验电路进行理论分析,了解每个元件的作用。
- (2) 若要求电路的静态工作点 $V_E = 2\text{V}$, $\beta = 60$,请估算电路的基极偏置电阻 R_{b1} 的阻值,并估算相应的管压降 U_{CE} 。
- (3) 设晶体管的 $\beta = 60$, $V_E = 2\text{V}$ 时,画出微变等效电路,并估算出放大器的电压放大倍数 A_V 、输入电阻 r_i 和输出电阻 r_o 的数值。
- (4) 预习实验内容,了解放大电路的静态工作点及动态性能指标的测试方法。
- (5) 能否用直流电压表直接测量晶体管的 U_{BE} ? 为什么实验中要采用测 U_B 、 U_E ,再间接算出 U_{BE} 的方法?
- (6) 参考书后的仪器说明内容,预习示波器、函数信号发生器、交流毫伏表等仪器的使用方法。

4.6 思考题

- (1) 当调节偏置电阻 R_P ,使放大器输出波形出现饱和失真或截止失真时,晶体管的管压降 V_{CE} 怎样变化?
- (2) 如何判断截止失真和饱和失真?
- (3) 要使输出波形不失真且幅度最大,最佳的静态工作点是否应选在直流负载线的中点上?
- (4) 当调节偏置电阻 R_{b2} ,使放大器输出波形出现饱和或截止失真时,晶体管的管压降 U_{CE} 怎样变化?
- (5) 测试中,如果将函数信号发生器、交流毫伏表、示波器中任一仪器接地端和其他仪器接地端不再连在一起,将会出现什么问题?

4.7 实验报告要求

- (1) 列表整理测量结果,并把实测的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻之值与理论计算值比较,分析产生误差原因。
- (2) 总结 R_c 、 R_L 及静态工作点对放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的影响。
- (3) 讨论静态工作点变化对放大器输出波形的影响。
- (4) 分析讨论在调试过程中出现的问题。

集成运放组成的基本运算电路

5.1 实验目的

- (1) 熟悉运算放大器集成块的引脚功能及其应用。
- (2) 掌握用集成运算放大器组成基本运算电路的方法。

5.2 实验原理

集成运算放大器(集成运放)是一种高增益、高输入阻抗的直接耦合多级放大器。由于其内部线路输入级大多为复合差动式放大电路,因此两输入端有同相输入端和反向输入端之分;理想集成运放的输入电阻趋向无穷大,输出阻抗近似为零,同时运放由几级电压放大器组成中间放大部分,且用电流源代替集电极电阻,电压放大倍数达数十万倍以上。因此理想集成运放有虚断和虚短两个重要的分析依据,即运放的两端输入电流 i_+ 、 i_- 很小,可视作零,称为“虚断”;运放的输入两端电位 $v_+ - v_-$ 的输入信号很小,可近似为零,特别是接成负反馈电路在线性范围内应用时,更有 $v_+ \approx v_-$,称为“虚短”。

运算放大器的符号如图 5.1 所示,本实验采用 $\mu A741$ 型集成运算放大器,它是 8 脚双列直插式组件,外形和引脚配置如图 5.2 所示。

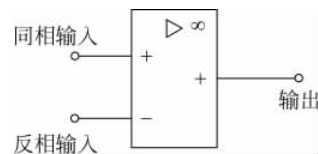


图 5.1 运算放大器符号图



图 5.2 $\mu A741$ 引脚图

集成运放内部设有电平移动电路,以保证在两输入端均为对地短路时,输出接近为零。在要求严格的场合,可外接电位器进行调零。图 5.2 中 1、5 脚是调零端,集成运放的电路参数和晶体管特性不可能完全对称,因此,在实际应用当中,若输入信号为零而输出信号不为零时,可以利用这两个外接端口实现调零。