

实验一 直流电路实验

一、实验目的

- (1) 验证基尔霍夫定律的正确性，加深对基尔霍夫定律的理解。
- (2) 学会用电流插头、插座测量各支路电流。
- (3) 验证电路中电位的相对性、电压的绝对性。

二、实验原理

1. 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律是电路的基本定律。测量某电路的各支路电流及每个元件两端的电压，应能分别满足基尔霍夫电流定律（KCL）和电压定律（KVL）。即对电路中的任一个节点而言，应有 $\Sigma I=0$ ；对任何一个闭合回路而言，应有 $\Sigma U=0$ 。

运用上述定律时必须注意各支路电流或闭合回路的正方向，此方向可预先任意设定。

2. 电位测量

在一个闭合电路中，各点电位的高低视所选电位参考点的不同而变，但任意两点间的电位差（即电压）则是绝对的，它不因参考点的变动而改变。

电位图是一种平面坐标一、四两象限内的折线图。其纵坐标为电位值，横坐标为各被测点。要制作某一电路的电位图，先以一定的顺序对电路中各被测点编号。以图 1-1 所示的电路为例，如图中的 $A\sim F$ ，并在坐标横轴上按顺序、均匀间隔标上 $A、B、C、D、E、F、A$ 。再根据测得的各点电位值，在各点所在的垂直线上描点。用直线依次连接相邻两个电位点，即得该电路的电位图。

在电位图中，任意两个被测点的纵坐标值之差即为该两点之间的电压值。

在电路中电位参考点可任意选定。对于不同的参考点，所绘出的电位图形是不同的，但其各点电位变化的规律却是一样的。

三、实验设备

- (1) 可调直流稳压电源，型号与规格 $0\sim 30V$ 、双路。
- (2) 万用表，1 块。
- (3) 直流数字电压表， $0\sim 200V$ ，1 块。

(4) 电位、电压测定实验电路挂箱，TKDG-03，1 件。

四、实验内容与步骤

选用 TKDG-03 挂箱的“基尔霍夫定律/叠加原理”电路。实验线路如图 1-1 所示，电路上的 K_1 和 K_2 应拨向两边电源侧， K_3 应拨向 330Ω 侧，三个故障按钮均不得按下。

先将两路直流稳压电源输出电压值分别调至 $U_1=6V$ ， $U_2=12V$ ，再接入实验线路中。

1. 基尔霍夫电流定律 (KCL) 的验证

(1) 实验前先任意设定三条支路电流正方向。如图 1-1 中的 I_1 、 I_2 、 I_3 的方向已设定。

(2) 熟悉电流插头的结构，将电流插头的两端接至数字毫安表的+、-两端。

(3) 利用电流插头分别测量三条支路的三个电流，并记录电流值于表 1-1 中。

(4) 根据基尔霍夫电流定律 (KCL) 计算 ΣI 值，填入表 1-1 中。

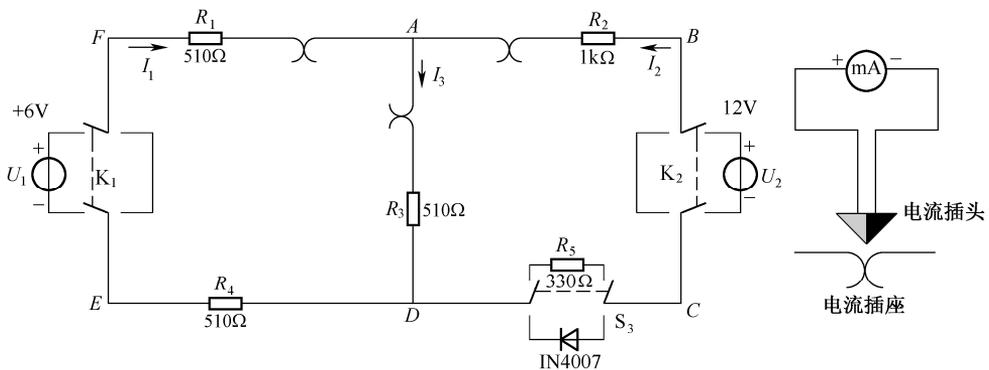


图 1-1 验证基尔霍夫定律和电位测量电路

表 1-1 验证 KCL 数据

I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)	ΣI

2. 基尔霍夫电压定律 (KVL) 的验证

(1) 用直流数字电压表分别测量两路电源及电阻元件上的电压值，记录于表 1-2 中。

闭合回路的正方向可任意设定。

(2) 根据基尔霍夫电压定律 (KVL) 计算 ΣU 值, 填入表 1-2 中。

表 1-2 验证 KVL 数据

回路 <i>ABCD</i>	U_{AB} (V)	U_{BC} (V)	U_{CD} (V)	U_{DA} (V)	ΣU
回路 <i>ADEFA</i>	U_{AD} (V)	U_{DE} (V)	U_{EF} (V)	U_{FA} (V)	ΣU

3. 电位的测量

(1) 以 A 点作为电位的参考点, 分别测量 B 、 C 、 D 、 E 、 F 各点的电位, 并用测量值计算任意两点之间的电压, 如 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CD} 、 U_{DE} 、 U_{EF} 及 U_{FA} , 填入表 1-3 中。

(2) 以 D 点作为参考点, 重复步骤 (1) 的测量, 并记录于表 1-3 中。

(3) 比较表 1-3 中的两组数据有何异同, 再与表 1-2 中的部分数据比较, 是否相同?

表 1-3 不同参考点电位与电压数据

电位 参考点	测量值						用测量值计算					
	U_A	U_B	U_C	U_D	U_E	U_F	U_{AB}	U_{BC}	U_{CD}	U_{DE}	U_{EF}	U_{FA}
A												
D												

五、预习要求

- (1) 写出基尔霍夫定律的基本内容。
- (2) 写出电位、电压测量的基本方法。
- (3) 根据图 1-1 的电路参数, 计算出待测的电流 I_1 、 I_2 、 I_3 和各电阻上的电压值, 记入表中, 以便实验测量时, 可正确地选定毫安表和电压表的量程。
- (4) 了解电位图的画法和作用。

六、注意事项

(1) 本实验电路箱是多个实验通用, 基尔霍夫定律实验中需要使用电流插头, 电位测量实验不使用电流插头。

(2) 所有需要测量的电压值, 均以电压表测量的读数为准。 U_1 、 U_2 也需进行测量, 不能直接读取电源本身的显示值。

(3) 防止稳压电源两个输出端碰线短路。

(4) 用数字电压表或电流表测量，则可直接读出电压或电流值。但应注意：所读得的电压或电流值的正、负号应根据设定的电流参考方向来判断。

(5) 用数字电压表测量电位时，用负表笔（黑色）接参考电位点，用正表笔（红色）接被测各点，直接读取显示值。

七、思考题

(1) 实验中，若用指针式万用表测电流和电压时，在什么情况下可能出现指针反偏？应如何处理？在记录数据时应注意什么？若用直流表进行测量时，则会有什么显示呢？

(2) 若以 F 点为参考电位点，实验测得各点的电位值；若令 E 点作为参考电位点，试问此时各点的电位值应有何变化？

八、实验报告要求

(1) 根据实验数据，选定节点 A ，验证 KCL 的正确性。

(2) 根据实验数据，选定实验电路中的任一个闭合回路，验证 KVL 的正确性。

(3) 完成电位测量数据表格中的计算。

(4) 总结电位相对性和电压绝对性的结论。

实验二 戴维南定理的验证

一、实验目的

- (1) 验证戴维南定理的正确性，加深对该定理的理解。
- (2) 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

二、实验原理

(1) 任何一个线性含源网络，如果仅研究其中一条支路的电压和电流，则可将电路的其余部分看作是一个有源二端网络（或称为含源二端口网络）。

戴维南定理指出：任何一个线性有源网络，总可以用一个电压源与一个电阻的串联来等效代替，此电压源的电动势 U_S 等于这个有源二端网络的开路电压 U_{OC} ，其等效内阻 R_0 等于该网络中所有独立源均置零（理想电压源视为短接，理想电流源视为开路）时的等效电阻。 U_{OC} 和 R_0 称为有源二端网络的等效参数。

(2) 有源二端网络等效参数的测量方法。

1) 开路电压、短路电流法测 R_0 。

在有源二端网络输出端开路时，用电压表直接测其输出端的开路电压 U_{OC} ，然后再将其输出端短路，用电流表测其短路电流 I_{SC} ，则等效内阻为

$$R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

如果二端网络的内阻很小，若将其输出端口短路则易损坏其内部元件，因此不宜用此法。

2) 伏安法测 R_0 。

用电压表、电流表测出有源二端网络的外特性曲线，如图 2-1 所示。根据外特性曲线求出斜率 $\tan\varphi$ ，则内阻为

$$R_0 = \tan\varphi = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$$

也可以先测量开路电压 U_{OC} ，再测量电流为额定值 I_N 时的输出端电压值 U_N ，则内阻为

$$R_0 = \tan\varphi = \frac{U_{OC} - U_N}{I_N}$$

3) 半电压法测 R_0 。

如图 2-2 所示，当负载电压为被测网络开路电压的一半时，负载电阻（由电阻箱的读数确定）即为被测有源二端网络的等效内阻值。

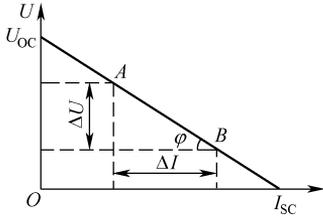
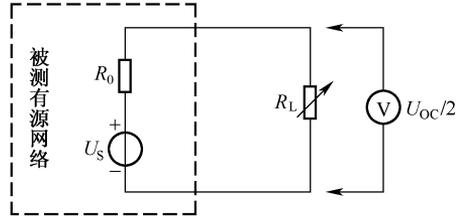
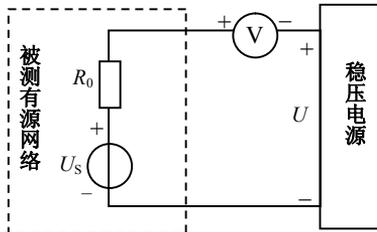


图 2-1 有源二端网络的外特性曲线

图 2-2 半电压法测 R_0 4) 零示法测 U_{Oc} 。

在测量具有高内阻有源二端网络的开路电压时，用电压表直接测量会造成较大的误差。为了消除电压表内阻的影响，往往采用零示测量法，如图 2-3 所示。

图 2-3 零示法测 U_{Oc}

零示法测量原理是用一低内阻的稳压电源与被测有源二端网络进行比较，当稳压电源的输出电压与有源二端网络的开路电压相等时，电压表的读数将为“0”。然后将电路断开，测量此时稳压电源的输出电压，即为被测有源二端网络的开路电压。

三、实验设备

- (1) 可调直流稳压电源，0~30V，1 路。
- (2) 可调直流恒流源，0~500mA，1 路。
- (3) 直流数字电压表，0~200V，1 块。
- (4) 直流数字毫安表，0~2000mA，1 块。
- (5) 万用表 1 块。

(6) 戴维南定理实验电路板挂箱，TKDG-03，1 件。

四、实验内容

选用 TKDG-03 挂箱的“戴维南定理/诺顿定理”电路板。有源二端网络如图 2-4 (a) 所示。

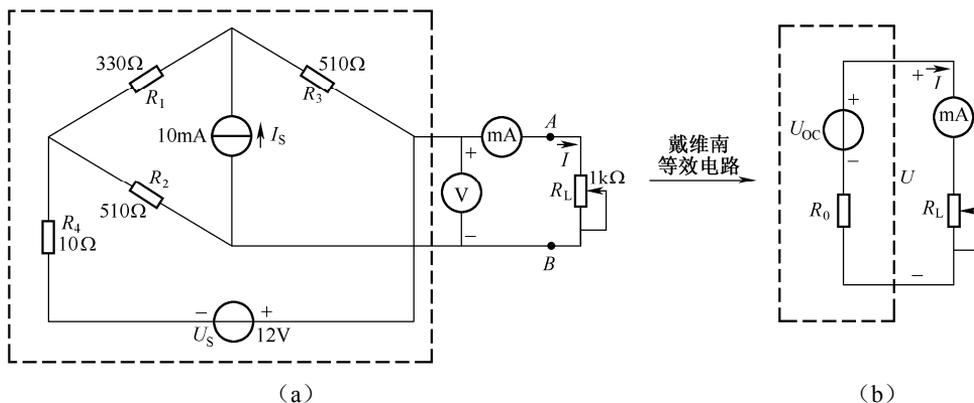


图 2-4 被测有源二端网络

(1) 用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的 U_{OC} 、 R_0 。

按图 2-4 (a) 接入稳压电源 $U_S=12V$ 和恒流源 $I_S=10mA$ ，不接入 R_L 。测出 U_{OC} 和 I_{SC} 记录于表 2-1 中，并计算出 R_0 。

表 2-1 戴维南等效参数数据

U_{OC} (V)	I_{SC} (mA)	$R_0=U_{OC}/I_{SC}$ (Ω)

(2) 负载实验。

按图 2-4 (a) 接入 R_L 。改变 R_L 的阻值，读取电压表和电流表的相应数值，填入表 2-2 中。

表 2-2 有源二端网络的外特性数据

U (V)					
I (mA)					

(3) 验证戴维南定理：从电阻箱上取得按步骤 (1) 所得的等效电阻 R_0 的值，然后令其与直流稳压电源（调到步骤 (1) 所测得的开路电压 U_{OC} 的值）相串联，

如图 2-4 (b) 所示, 仿照步骤 (2) 测其外特性, 对戴维南定理进行验证, 数据记录于表 2-3 中。

表 2-3 等效网络的外特性数据

U (V)					
I (mA)					

(4) 有源二端网络等效电阻 (又称入端电阻) 的直接测量法。电路连接如图 2-4 (a) 所示。将被测有源网络内的所有独立源置零 (将电流源 I_S 断开, 去掉电压源 U_S , 并在原电压源的位置用一根短路导线代替), 然后用伏安法或者直接用万用表的欧姆挡去测定负载 R_L 开路时 A、B 两点间的电阻, 此即为被测网络的等效内阻 R_0 , 或称网络的入端电阻 R_i 。

(5) 用半电压法和零示法测量被测网络的等效内阻 R_0 及其开路电压 U_{OC} 。线路及数据表格自拟。

五、预习要求

- (1) 根据图 2-4 (a) 计算出开路电压 U_{OC} 、等效内阻 R_0 。
- (2) 写出有源二端网络等效参数的测量方法。

六、注意事项

- (1) 测量时应注意电流表量程的更换。
- (2) 步骤 (4) 中, 电压源置零时不可将稳压源短接。
- (3) 用万用表直接测 R_0 时, 网络内的独立源必须先置零, 以免损坏万用表。其次欧姆挡必须经调零后再进行测量。
- (4) 用零示法测量 U_{OC} 时, 应先将稳压电源的输出调至接近于 U_{OC} , 再按图 2-3 测量。
- (5) 改接线路时, 要关掉电源。

七、思考题

- (1) 在测量等效参数时, 作短路实验, 测 I_{SC} 的条件是什么? 在本实验中可否直接作负载短路实验? 请实验前对线路图 2-4 (a) 预先作好计算, 以便调整实验线路及测量时可准确地选取电表的量程。
- (2) 说明测有源二端网络开路电压及等效内阻的几种方法, 并比较其优缺点。

八、实验报告要求

(1) 根据步骤(2)、(3), 分别绘出曲线, 验证戴维南定理的正确性, 并分析产生误差的原因。

(2) 根据步骤(1)、(4)、(5)的几种方法测得的 U_{OC} 与 R_0 与预习时电路计算的结果作比较, 你能得出什么结论?

(3) 归纳、总结实验结果。

实验三 R 、 L 、 C 串联电路

一、实验目的

- (1) 验证电阻、感抗、容抗与频率的关系，测定 $R \sim f$ 、 $X_L \sim f$ 及 $X_C \sim f$ 特性曲线。
- (2) 加深理解 R 、 L 、 C 元件端电压与电流间的相位关系。

二、实验原理

- (1) 在正弦交变信号作用下， R 、 L 、 C 电路元件在电路中的抗流作用与信号的频率有关，它们的阻抗频率特性 $R \sim f$ 、 $X_L \sim f$ 、 $X_C \sim f$ 曲线如图 3-1 所示。
- (2) 单一参数 R 、 L 、 C 阻抗频率特性的测量电路如图 3-2 所示。

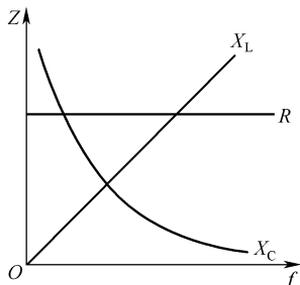


图 3-1 R 、 L 、 C 的阻抗频率特性

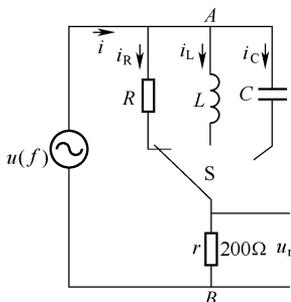


图 3-2 频率特性的测量电路

图中 R 、 L 、 C 为被测元件， r 为电流取样电阻。改变信号源频率，测量 R 、 L 、 C 元件两端电压 U_R 、 U_L 、 U_C ，流过被测元件的电流则可由 r 两端电压除以 r 的阻值得到。

(3) 元件的阻抗角（即相位差 φ ）随输入信号的频率变化而改变，将各个不同频率下的相位差画在以频率 f 为横坐标、阻抗角 φ 为纵坐标的坐标纸上，并用光滑的曲线连接这些点，即得到阻抗角的频率特性曲线。

用双踪示波器测量阻抗角的方法如图 3-3 所示。从荧光屏上数得一个周期占 n 格，相位差占 m 格，则实际的相位差 φ （阻抗角）为

$$\varphi = m \times \frac{360^\circ}{n}$$

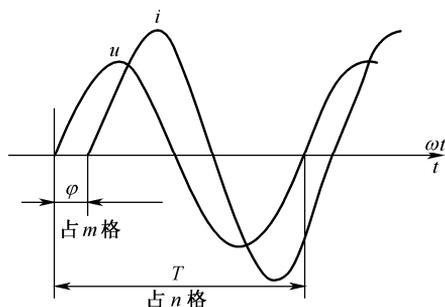


图 3-3 测量阻抗角的方法

三、实验设备

- (1) 函数信号发生器, 1 台。
- (2) 交流毫伏表, 1 块。
- (3) 双踪示波器, 1 台。
- (4) 实验线路元件 $R=1\text{k}\Omega$, $r=200\Omega$, $C=1\mu\text{F}$, L 约 10mH ; TKDG-05 挂箱, 1 件。

四、实验内容与步骤

- (1) 测量 R 、 L 、 C 元件的阻抗频率特性。

通过电缆线将函数信号发生器输出的正弦信号接至如图 3-2 所示的电路, 作为激励源 u , 并用交流毫伏表测量, 使激励电压的有效值为 $U=3\text{V}$, 并在实验过程中保持不变。

使信号源的输出频率从 200Hz 逐渐增至 5kHz 左右, 并使开关 S 分别接通 R 、 L 、 C 三个元件, 用交流毫伏表分别测量 U_R 、 U_r ; U_L 、 U_i ; U_C 、 U_r , 并通过计算得到各频率点时的 R 、 X_L 与 X_C 值, 记入表 3-1 中。

注意: 在接通 C 测试时, 信号源的频率应控制在 $200 \sim 2500\text{Hz}$ 之间。

表 3-1 R、L、C 元件的阻抗频率特性的测量数据

频率 $f(\text{Hz})$		200Hz	1kHz	1.5kHz	2kHz	2.5kHz
R	U_R (V)					
	U_r (V)					
	$I_R=U_r/r$ (mA)					
	$R=U_R/I_R$ (k Ω)					

续表

频率 $f(\text{Hz})$		200Hz	1kHz	1.5kHz	2kHz	2.5kHz
L	U_L (V)					
	U_r (V)					
	$I_L=U_r/r$ (mA)					
	$X_L=U_L/I_L$ (k Ω)					
C	U_C (V)					
	U_r (V)					
	$I_C=U_r/r$ (mA)					
	$X_C=U_C/I_C$ (k Ω)					

(2) 用双踪示波器观察 r 、 L 串联和 r 、 C 串联电路在不同频率下阻抗角的变化情况，按图 3-3 所示的方法记录 n 和 m ，算出 φ ，自拟表格记录之。

五、预习要求

写出单一参数 R 、 L 、 C 元件在正弦信号作用下的电抗与频率关系式，电压与电流的相量表达关系式。

六、注意事项

(1) 信号源的输出电压在输出频率改变或负载改变后都会发生变化，故应随时重新校准，并注意输出端禁止短接。

(2) 测 φ 时，应注意示波器公共点的选择。

七、思考题

- (1) 容抗和感抗的大小与哪些因素有关？
- (2) 在直流电路中电容和电感的作用如何？
- (3) 怎样用双踪示波器观察 r 、 L 串联和 r 、 C 串联电路阻抗角的频率特性？

八、实验报告要求

(1) 根据实验数据，在方格纸上绘制 R 、 L 、 C 三个元件的阻抗频率特性曲线，从中可得出什么结论？

(2) 根据实验数据，在方格纸上绘制 r 、 L 串联、 r 、 C 串联电路的阻抗角频率特性曲线，并总结、归纳出结论。

实验四 日光灯线路安装及测试

一、实验目的

- (1) 研究正弦交流电路中电压、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。

二、实验原理

(1) 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，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 $\Sigma \dot{I} = 0$ 和 $\Sigma \dot{U} = 0$ 。

(2) 日光灯线路如图 4-1 所示，图中 A 是日光灯管，内充有稀薄的惰性气体和少量的水银、管内壁涂有荧光物，两端装有灯丝。L 是镇流器，具有铁心的线圈。S 是启辉器，一个氖气小泡，内有固定电极与双金属片电极。C 是补偿电容器，用以改善电路的功率因数 ($\cos\varphi$ 值)。日光灯的工作原理请自行翻阅有关资料。

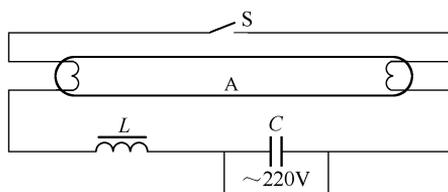


图 4-1 带补偿电容器的日光灯电路接线图

(3) 在图 4-1 所示的 R_A 、 L 串联支路中，若 L 为理想元件，则在正弦稳态信号 \dot{U} 的激励下， \dot{U}_A 与 \dot{U}_L 保持有 90° 的相位差，即 \dot{U} 、 \dot{U}_C 与 \dot{U}_A 三者形成一个直角形的电压三角形。但实际的镇流器 L 在工作时会发热，有损耗，和理想的电感元件不同，我们可以近似的用 Z_L ，即一个电阻 R_L 和一个理想的感抗 X_L 串联模型等效代替。则各个参数可以利用实验测量的数据通过计算得到。

电路的总电阻 $R = \frac{P}{I^2}$ ，灯管的等值电阻 $R_A = \frac{U_A}{I_L}$ ，镇流器的等值电阻

- (2) 改变电容值, 进行四次重复测量并记录于表 4-1 中, 验证电流相量关系。
- (3) 计算 R 、 R_A 、 X_L 、 $\cos\varphi$ 的值, 填入表 4-1 中。

五、预习要求

- (1) 参阅课外资料, 写出日光灯的启辉原理。
- (2) 用相量图画出并联电容法改善功率因数的原理图。

六、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。通电后不得触摸实验电路的导电部分, 换接电路时必须先切断电源。发现异常, 应立即断电。
- (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。
- (4) 实验结束, 因电容上已充电, 不要用手触摸电容器, 可用导线将电容短路进行放电。

七、思考题

(1) 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 (TKDG-04-1 实验挂箱上有短接按钮, 可用它代替启辉器做试验); 或用一只启辉器去点亮多只同类型的日光灯, 这是为什么?

(2) 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?

(3) 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? 所并的电容器是否越大越好?

八、实验报告要求

- (1) 完成数据表格中的计算, 分析 $\cos\varphi$ 变化的原因。
- (2) 根据实验数据 U 、 U_A 、 U_L , 绘出并验证电压三角形关系, 注意观察是否为直角三角形; 根据实验数据 I 、 I_L 、 I_C , 绘出电流相量图, 验证相量形式的基尔霍夫定律。
- (3) 讨论改善电路功率因数的意义和方法。
- (4) 装接日光灯线路的心得体会及其他。