

实验 2 单相交流电路

实验目的

1. 学习正确使用交流电表及自耦调压变压器。
2. 学习用交流电流表、电压表、功率表来测定线圈参数 R_L 及 L 。
3. 熟悉荧光灯电路的组成，掌握其接线方法及线路故障检查方法。
4. 加深理解感性负载并联电容器提高功率因数的基本概念。

实验原理

1. 电感线圈的研究

电感线圈(R_L 、 L)和滑线电阻 R 串联后,组成如图 3.2a.1 所示的感性负载电路,接在自耦调压变压器的输出端。电路中自耦调压变压器的输出电压 U 不等于线圈端电压 U_1 和滑线电阻端电压 U_2 的代数和,而是它们的相量和,即 $\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$,其电压相量图如图 3.2a.2 所示。

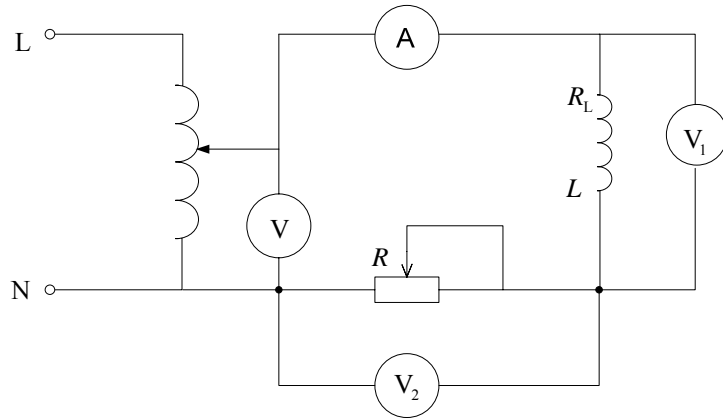


图 3.2a.1 RL 串联实验电路

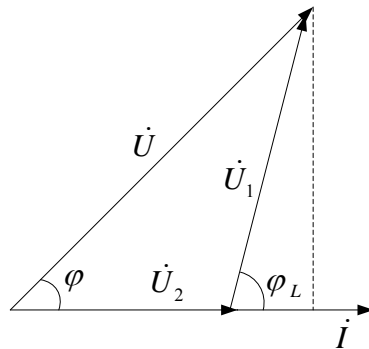


图 3.2a.2 RL 串联电路的相量图

图 3.2a.2 中滑线电阻端电压 \dot{U}_2 与电流 \dot{I} 同相,因为电感线圈本身具有电阻 R_L ,所以端电压 \dot{U}_1 超前于电流 \dot{I} , φ_L 角($\varphi_L < 90^\circ$)。根据电压相量图可以求出以下数值:

$$\text{电路总功率因数 } \cos \varphi = \frac{U^2 + U_2^2 - U_1^2}{2UU_2}$$

$$\text{电感线圈功率因数 } \cos \varphi_L = \frac{U^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2}$$

$$\text{电感线圈阻抗 } Z_L = \frac{U_1}{I}$$

$$\text{电感线圈电阻 } R_L = \frac{U_1 \cos \varphi_L}{I}$$

$$\text{电感线圈感抗 } X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2}$$

$$\text{电感线圈电感 } L = \frac{X_L}{2\pi f} \approx \frac{X_L}{314} \quad (f = 50\text{Hz})$$

因此如测量得 U 、 U_1 、 U_2 及 I 的数值，利用上列公式就可以求出各个电路参数。

如果把电感线圈单独接在自耦调压变压器的输出端，并用电流表、电压表、功率表测量电路的电流 I 、电压 U 、功率 P (图 3.2a.3)，亦可以利用以下公式求出线圈参数：

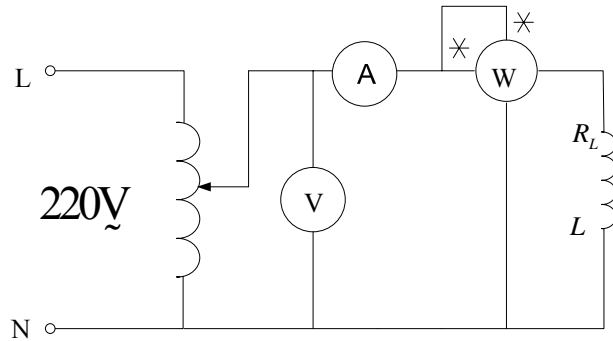


图 3.2a.3 用电流表、电压表、功率表测电感线圈参数

$$Z_L = \frac{U}{I}$$

$$R_L = \frac{U \cos \varphi}{I} = \frac{P}{I^2}$$

$$X_L = \sqrt{Z_L^2 - R_L^2} = \frac{U}{I} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

2. 交流荧光灯电路的研究

在图 3.2a.4 电路中荧光灯管与镇流器串联构成一个电阻和电感串联的电感性负载电路，由于镇流器本身电感较大，故整个电路功率因数很低。整个电路所消耗的功率 P 包括荧光灯管消耗功率 ($P_R = U_2 I$) 以及镇流器所消耗的有功功率 $P_L = P - P_R$ 。

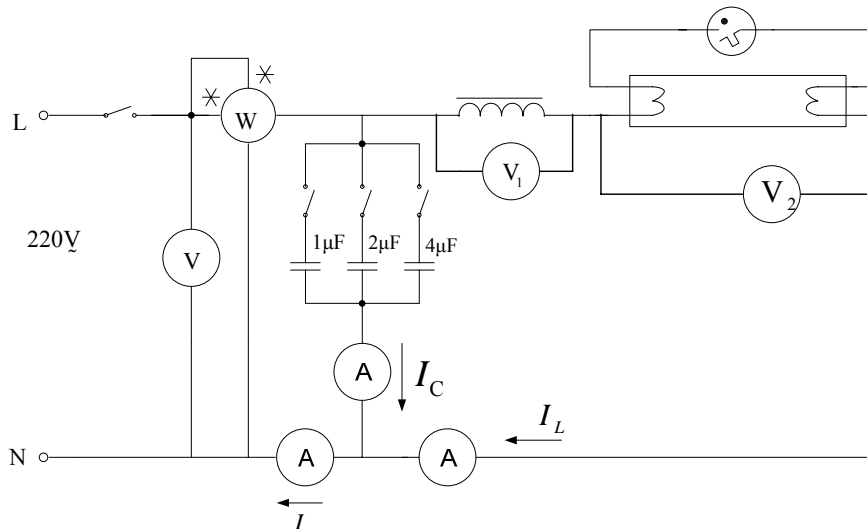


图 3.2a.4 荧光灯电路

为了提高电路的功率因数，可以与电感性负载并联电容器，此时总电流 I 是荧光灯电流 I_L 和电容器电流 I_C 的相量和 $\dot{I} = \dot{I}_L + \dot{I}_C$ ，其相量图如图 3.2a.5 所示。因为电容器吸取的容性无功电流 I_C 抵消了一部分荧光灯电流中的感性无功分量，所以电路总电流将下降，亦

即电路的功率因数被提高了。当电容器逐步增加到一定电容量时，总电流下降到最小值，此时电路的功率因数 $\cos \varphi \approx 1$ 。若继续增加电容量，总电流 I 又将上升。由于电源电压是固定的，所以并联电容器并不影响感性负载的正常工作，即感性负载电流、功率及功率因数并不随并联电容量的多少而改变，仅仅是电路总电流及总功率因数发生变化。这样能够减少供电线路损耗及电压损失，而不影响负载的工作。所以并联电容器提高电网功率因数的方法为供电部门广泛采用。

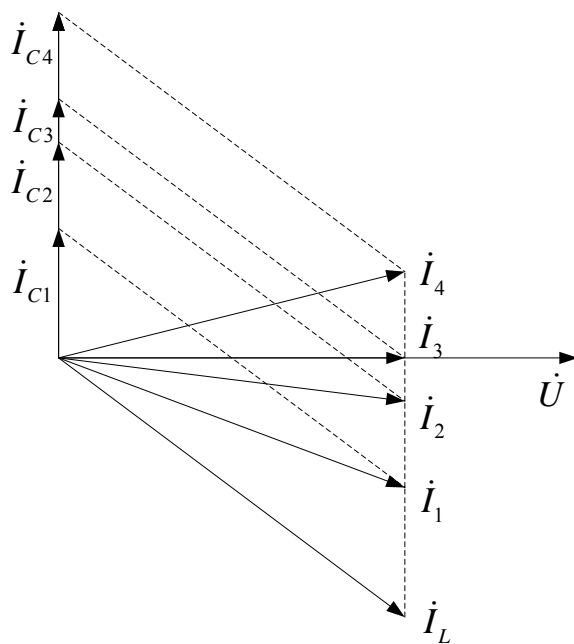


图 3.2a.5 荧光灯并联电容器的相量图

实验仪器设备

1. 自耦调压变压器	1kVA 220/0~250V	1 台
2. 交流电流表	0-1-2A	1 只
3. 交流电流表	0-0.5-1A	2 只
4. 交流电压表	0-150-300-600V	1 只
5. 单相功率表	0-0.5-1A 0-125-250-500V	1 只
6. 滑线电阻	207 Ω 1.45A	1 只
7. 电感线圈	0.1H	2 只
8. 荧光灯实验板		1 块

实验步骤

1. 感性负载电路的相量图

(1) 按图 3.2a.1 接线, 两只电感线圈串联使用, 并注意保持一定距离, 避免互感的影响。自耦调压变压器的公共端“X”应接电源的中线, 电源输入端“A”接电源相线, 禁止把自耦调压变压器的输出端“a”接到电源上去。合闸前应将自耦调压变压器的手盘逆时针方向转到零位。

(2) 接通电源, 调节调压变压器输出电压到 100V 左右, 用电压表测量 U_1 和 U_2 , 并调节滑线电阻 R , 使 $U_1 \approx U_2$ 。

(3) 再调节调压变压器输出电压, 使电流表读数 I 为 1A, 然后用电压表测量 U , U_1 、 U_2 , 并根据实验数据计算线圈参数, 填入表 3.2a.1。

表 3.2a.1 电感线圈参数的测量

U/V	U_1/V	U_2/V	I/A	$\cos \varphi_L$	Z_L/Ω	R_L/Ω	X_L/Ω	L/H

2. 用电流、电压、功率表法测线圈参数

(1) 按图 3.2a.3 接线, 注意功率表的两组电流线圈引出端应接成并联, 以得到电流高量程, 电压线圈与电流线圈的“*”符号端应一起接到自耦调压变压器的负载端“a”。

(2) 接通电源, 调节自耦调压变压器输出电压, 使线圈电流为 1A, 读取电流表、电压表、功率表的读数, 记入表 3.2a.2 内, 并计算出线圈参数。

表 3.2a.2 用功率表测量电感线圈参数

P/W	U/V	I/A	R_L/Ω	Z_L/Ω	X_L/Ω	L/H

3. 荧光灯电路中的功率关系

(1) 按图 3.2a.4 接线, 注意开关端应接电源相线, 公共端应接中线, 把电容器开关置于“断”位置。注意测量 I_C 的电流表用 1A 量程, 其余两只电流表用 0.5A 量程。

(2) 合上电源, 接通开关, 起辉器应立即起动, 使荧光灯管发光 (如灯管未发光, 可先检查起动器及灯管与插座间的接触是否完好, 然后用电压表检查接线故障)。并用电压表测量总电压 U , 整流器两端的电压 U_1 及灯管两端的电压 U_2 , 读取电流表、功率表的读数, 根据实验数据计算灯管及镇流器消耗的功率, 记入表 3.2a.3 内。

表 3.2a.3 荧光灯电路参数测量

U/V	U_1/V	U_2/V	I/A	P/W	P_R/W	P_L/W	$\cos \varphi_L$

表中 $P_R = U_2 I$, $P_L = P - P_R$, $\cos \varphi_L = \frac{P}{UI}$ 。

4. 并联电容器提高功率因数

将电容器接通，按 1、2、3、4、5、6、7 μF 的次序逐步增加电容量，观察 U 、 I_L 、 I_C 、 I 及 P 的变化。并将电容量 2、4、5、7 μF 时的仪表读数记入表 3.2a.4。

表 3.2a.4 交流电路的功率因数提高

$C / \mu\text{F}$	U / V	I_L / A	I_C / A	I / A	P / W	$\cos \varphi$
2						
4						
5						
7						

实验报告要求

1. 画出实验电路图，整理实验数据，列写计算公式及计算结果。
2. 线圈的端电压是否等于线圈中的感应电动势?为什么?
3. 根据实验数据说明荧光灯电路并联电容器后，总电流变化与电容量的关系。电容量过大对电路性质有什么影响?

实验现象

交流荧光灯电路实验中，当接线完毕合上电源后，起辉器应立即起动，使荧光灯管发光。如灯管未发光，通常是因为电路中存在断路故障，可先检查起辉器与插座间的接触是否完好，再检查灯管与插座间的接触是否完好，若灯管仍未发光，则用电压表检查电感线圈、荧光灯及灯丝、电流表和功率表电流线圈，寻找断路点位置（断路点二端的电压接近于电源电压）然后断开电源处理断路故障，更换已损坏的电路元件或接线。

实验结果分析

1. 线圈的端电压是否等于线圈中的感应电动势?为什么?

答:线圈的端电压不等于线圈中的感应电动势。因为线圈中存在电阻 R_L 。

2. 根据实验数据说明荧光灯电路并联电容后,总电流变化与电容量的关系。电容量过大对电路性质有什么影响?

答:总电流先随电容量的增大而减小,当电容量逐步增加到一定容量时,总电流下降到最小值,若电容量继续增加,总电流 I 又将上升。电容量过大使整个电路变为容性电路。

实验相关知识

预习要求

1. 了解交流电感线圈的特征及电阻—电感串联电路中的电压三角形关系。
2. 阅读附录，了解使用自耦调压变压器及功率表时应注意哪些问题。
3. 熟悉荧光灯实验的电路图，了解并联电容器提高感性交流电路功率因数的原理及电路现象。

4. 完成下列选择和填空题：

(1) 自耦调压变压器标有“A”与“X”的端子是调压器的_____ (输入、输出)端，“A”应接电源_____ (相线、中线)，“X”应接电源的_____ (相线、中线)，“a”与“x”的端子是调压变压器的_____ (输入、输出)端，应接_____ (电源、负载)。

(2) 自耦调压变压器在通电前，手盘应旋转到输出电压为_____ (零、任意)位置。

(3) 荧光灯灯管相当于一个_____ (电阻、电感)负载，镇流器相当于一个_____ (电阻、电感)负载，灯管上消耗的功率 $P_R =$ _____，镇流器消耗的功率 $P_L =$ _____。

(4) 荧光灯交流电路并联电容器后，随着电容量的增加，总电流逐渐减小到最小值，此时电路处于_____ (电感、电阻、电容)性负载电路；当电容量超过一定数值后，总电流又上升了，这时电路变成了_____ (电感、电阻、电容)性负载电路。

相关知识点

相量分析法	E5020304
正弦稳态功率	E5020305
功率因数及其提高	E5020306
电磁式仪表	E505010102
电动式仪表	E505010103
单相功率测量	E505010302

注意事项

1. 注意人身安全，严禁在通电的情况下接线、改接线路和拆除电路。
2. 调压变压器的输入、输出端不能接错。
3. 调压变压器在接通电源前，应注意把调压变压器的手盘按逆时针方向旋转为零，即输出电压为零的位置。
4. 在感性负载电路的相量图实验中，应力求使 $\dot{U}_1 = \dot{U}_2$ （调节 R ），此时相量图作图误差较小。