

南开大学电子信息与光学工程学院

电路基础实验 六

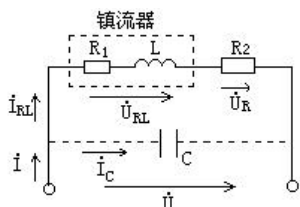
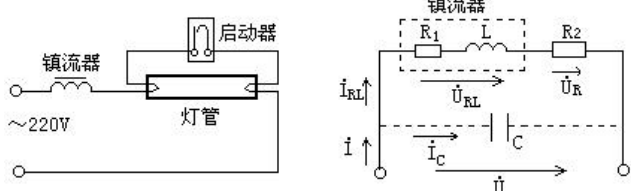
实验名称 单相交流电路及功率因数的提高

一. 实验目的

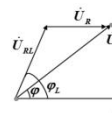
- 1、通过 RL 串联电路掌握单相交流电路的电压、电流、复阻抗之间的相量关系、有效值关系。
- 2、熟悉日光灯电路的组成, 各元件的作用及日光灯的工作原理, 学会日光灯电路的连接, 了解线路故障的检查方法。
- 3、掌握交流电路的电压、电流和功率的测量方法。
- 4、掌握提高感性负载功率因数的方法。

二. 实验原理

镇流器是一个铁心线圈, 其电感 L 比较大, 而线圈本身具有电阻 R_1 。日光灯在稳态工作时近似认为是一个阻性负载 R_2 。镇流器和灯管串联后接在交流电路中, 可以把这个电路等效为 RL 串联电路。



日光灯管等效电阻: $R_2 = \frac{U_R}{I}$
 电路消耗的有功功率 $P = UI \cos \varphi = I^2 (R_1 + R_2)$
 镇流器的等效电阻: $R_1 = \frac{P}{I^2} - R_2$
 镇流器的等效复阻抗模: $|Z_{RL}| = \frac{U_{RL}}{I}$
 镇流器电感线圈的感抗: $X_L = \sqrt{|Z_{RL}|^2 - R_1^2}$
 电感线圈的电感: $L = \frac{X_L}{2\pi f}$
 镇流器的功率因数: $\cos \varphi_L = \frac{R_1}{|Z_{RL}|}$
 电路的功率因数: $\cos \varphi = \frac{P}{UI}$



图(1)日光灯电路 图(2)日光灯等效电路

因镇流器本身的电感较大, 故整个电路的功率因数较低, 为了提高电路的功率因数, 可以采用在日光灯两端并联电容的方法。并联电容后电路的总电流。由于电容的无功电流抵消了一部分日光灯电流中的感性无功分量, 所以总电流将减小, 电路的功率因数被提高。由于电源电压是固定的, 并联电容器并不影响感性负载的工作状态, 即日光灯支路的电流、功率和功率因数并不随并联电容的大小而改变, 仅是电路的总电流及总功率因数发生变化。提高电路的功率因数能够减小供电线路的损耗及电压损失, 提高电源设备的利用率而又不影响负载的工作, 所以并联电容器提高电路的功率因数的方法被供电部门广泛采用。

如果要功率因数 $\cos \phi$ 提高到 $\cos \phi'$ ，所并联电容的大

小计算如下:

$$\cos \phi = \frac{P}{UI}$$
$$\cos \phi' = \frac{P}{UI'}$$
$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \phi')$$

ϕ ——原电路的功率因数角

ϕ' ——提高功率因数后的功率因数角

$\omega = 2\pi f$ ——电源的角频率

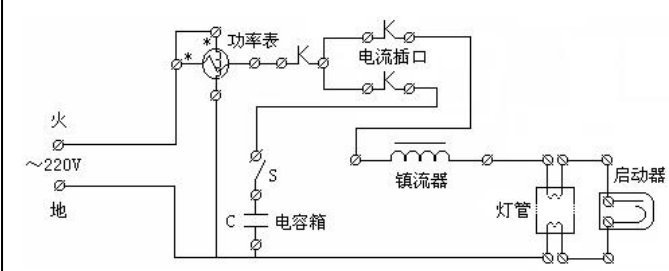


序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	交流电压表	0~500V	1	实验台
2	交流电流表	0~5A	1	实验台
3	功率表		1	实验台
4	自耦调压器		1	实验台
5	日光灯灯管	30W	1	实验台
6	镇流器、启辉器	与30W灯管配用	各1	实验台
7	电容器	1 μF, 2.2 μF, 4.7 μF/500V	各1	电工原理1
8	电流插座		3	实验台

三. 实验设备

四. 实验内容及数据

1、按图所示连接电路，注意功率表和电流插座的接线方法。



2. 经反复检查后接通实验台电源，调节自耦调压器的输出，使其输出电压缓慢增大，直到调至额定电压 **220V**，测量有功功率 **P**，日光灯支路电流 **I**，电源电压 **U**，镇流器电压 **URL**，灯管电压 **UR** 等值，把测得的数据填入表 **1** 中，验证电压相量关系。

测量数值							计算值			
	P(W)	cos φ	I(mA)	U(V)	URL(V)	UR(V)	R1(Ω)	L(H)	cos φL	R2(Ω)
正常工作值	27.32	0.51	255	219.5	167.7	111.4	3.45	2.09	0.005	416.7

3、并联不同值的电容，读取并记录功率表、电压表读数。通过一只电流表和三个电流插座分别测得三条支路的电流。将数据记入表 **2** 中。

电容值	测量数值					
	P(W)	cos φ'	U(V)	总电流 I (mA)	负载电流 IRL (mA)	电容电流 IC (mA)
0.47	27.31	L0.57	220	235	265	39
1	27.64	L0.66	220	209	267	81
2.3	28.10	L0.87	220	165	268	172
4.3	28.67	C0.75	220	190	269	330

1. 根据表1中额定电压工作时的实验数据计算 $R_1, L, \cos \phi_L, R_2$ 的值。
2. 根据表1中额定电压工作时的实验数据计算 ϕ 和 ϕ_L ，绘出的电压相量图，验证相量形式的基尔霍夫电压定律。
3. 根据表2中的实验数据计算并联不同电容时，功率因数角 ϕ 和 ϕ' ，绘出电流相量图，验证相量形式的基尔霍夫电流定律。
4. 讨论改善电路功率因数的意义和方法。

五. 数据分析

1.

$$R_2 = \frac{U_R}{I} = 416.7 \Omega$$

$$R_1 = \frac{P}{I^2} - R_2 = 3.45 \Omega$$

$$|Z_{RL}| = \frac{U_{RL}}{I} = 657.6 \Omega$$

$$X_L = \sqrt{|Z_{RL}|^2 - R_1^2} = 657.6 \Omega$$

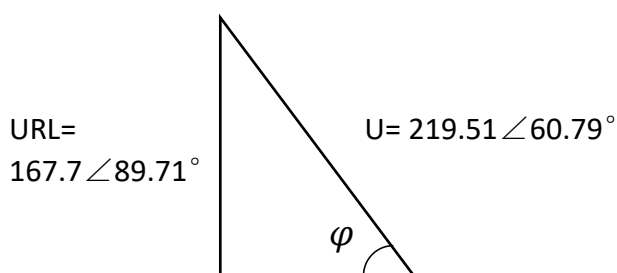
$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = 2.09H$$

$$\cos \varphi_L = \frac{R_1}{|Z_{RL}|} = 0.005$$

2.

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = 0.488$$

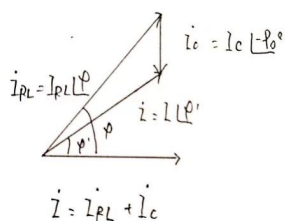
$$\cos \varphi_L = \frac{R_1}{|Z_{RL}|} = 0.005 \quad \varphi = 60.79^\circ \quad \varphi_L = 89.71^\circ$$



在误差允许范围内, 可以验证基尔霍夫电压定律。

3.

电容值	$\cos \varphi$	φ	$\cos \varphi'$	φ'
0.47	0.53	57.99°	0.57	55.25°
1	0.6	53.13°	0.66	48.7°
2.3	0.77	39.65°	0.87	29.54°
4.3	0.69	46.37°	0.75	41.41°



在误差允许范围内, 可以验证基尔霍夫电压定律。

4.

改善电路功率因数的意义是如下:

- 1、通过改善功率因数, 减少了线路中总电流和供电系统中的电气元件, 如变压器、电器设备、导线等的容量, 因此不但减少了投资费用, 而且降低了本身电能的损耗。
- 2、藉由良好功因值的确保, 从而减少供电系统中的电压损失, 可以使负载电压更稳定, 改善电能的质量。
- 3、可以增加系统的裕度, 挖掘出了发供电设备的潜力。如果系统的功率因数低, 那么在既有设备容量不变的情况下, 装设电容器后, 可以提高功率因数, 增加负载的容量。
- 4、减少了用户的电费支出; 透过上述各元件损失的减少及功率因数提高的电费优惠。

改善电路功率因数的方法如下:

- 1、提高设备自身的自然功率因数, 这个主要是选择电器设备的时候, 避免大马拉小车的状况。
- 2、就是利用电容补偿柜等无功功率补偿装置来提高系统的功率因数。

六. 思考题

1、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?

答: 日光灯管的工作原理: 用瞬间高压激活灯管内的惰性气体并将管壁上荧光粉激活发光。图中镇流器的作用是在启辉器接通、断开的瞬间产生高压自感电动势, 灯管内的灯丝用来加热惰性气体。启辉器在电路刚接通电源时两端的电压大于 65V, 启辉泡内的氖气启辉发热、U 型双金属片受热伸直, a、b 两点接通灯丝发热, 同时因 a、b 两端接通后泡内电压消失 U 型双金属片变冷缩回断开接点。镇流器在启辉器断开时产生瞬间高压使日光灯管激活发光。灯管发光后, 启辉器两端的电压维持在 65V 一下不再动作。

用导线瞬时短接启辉器座就是模拟启辉器的工作过程。

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, 此时感性支路的电流和功率是否改变?

答: 由于电容的无功电流抵消了一部分日光灯电流中的感性无功分量, 所以总电流将减小, 电路的功率因数被提高。由于电源电压是固定的, 并联电容器并不影响感性负载的工作状态, 即日光灯支路的电流、功率和功率因数并不随并联电容的大小而改变, 仅是电路的总电流及总功率因数发生变化。

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? 所并联的电容器是否越大越好?

答: 采用并联电容补偿, 是线路与负载的连接方式决定的: 在低压线路上 (1KV 以下), 因为用电设备大多数是电机类的, 都是感性负载, 又是并联在线路上, 线路需要补偿的是感性无功, 所以要用电容器并联补偿. 串联无法补偿。

高压输电线路, 特别是高压电缆, 他们对电源端呈容性, 所以线路补偿常常串联电感 (电力上叫: 电抗器)。

电容器也是无功元件, 如果电容过大的话电路由感性变为容性, 出现过补的情况, 功率因数反而会降低, 对电路造成损害。

4、本节实验中, 为了改善功率因数, 分别并联了四个容值由小到大不等的电容, 对应的功率因数是否也随之由小到大的变化? 如果不是, 分析原因。

答: 不是, 用电容器进行补偿, 应为合理补偿, 如果电容过大的话电路由感性变为容性, 出现过补的情况, 功率因数反而会降低, 对电路造成损害。