

实验四 功率因数的提高

姓名：夏卓 学号：2020303245

一、实验任务

(1) 根据电路原理图搭建电路，缓慢增加调压器输出，让日光灯点亮，记录 U 、 I 、 I_C 、 I_L 、 P 。

(2) 将电压调至 220V，分别测量不接入电容 C 、接入 $1\mu F$ 、接入 $2.2\mu F$ 、接入 $4.7\mu F$ 的电容后电路的 U 、 I 、 I_C 、 I_L 、 P ，并计算 S 、 Q 、 $\cos \Phi$ 和 Φ 。

(3) 定性分析上述三个实验情况下 I 、 I_C 、 I_L 相对于 U 的相量图。

(4) 根据实验数据，画出四个实验情况下的功率三角形。

二、实验原理

1、功率因数

功率因数为有功功率 P 和视在功率 S 之比。在交流电路中，如果有电感或电容元件，就产生负载与电源之间功率来回推送的现象，这部分功率就是无功功率 Q 。有功功率 P 是单位时间内电源提供的电能转化为机械能、光能、热能、磁能等形式的能量。视在功率 S 是电源输入负载的电压有效值和电流有效值的乘积，即 $S=UI$ 。

2、功率因数提高的原理

物理角度：因为感性无功功率 Q_L 与容性无功功率 Q_C 相互补偿，所以若在感性负载（用电负载多为感性）上并联一个适当的电容，则使负载所需的无功功率部分或全部由电容补偿，从而减少或消除了由电源供给的无功功率，且不影响负载有功功率，达到提高功率因数的目的。

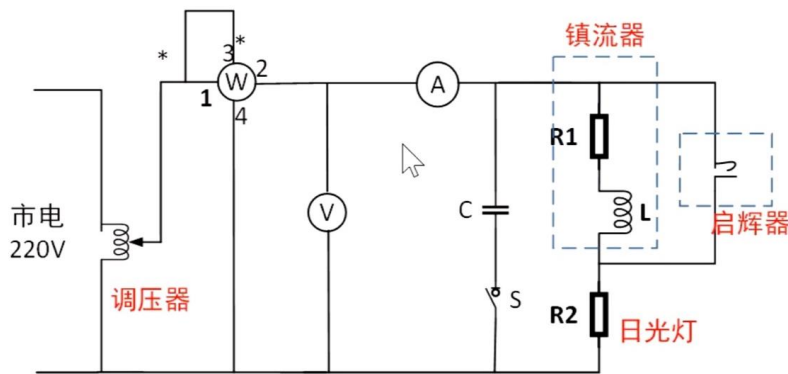
数学角度：由 $S^2=P^2+Q^2$ 可知，要使得有功功率 P 增大，在 S 不变的情况下，可使无功功率 Q 减小，即努力减小电路的无功功率，提高有功功率的占比。

3、日光灯工作原理：

日光灯通电后，电流流过镇流器并经过灯管两端灯丝加在启辉器上，此时启辉器内产生辉光放电，双金属片受热膨胀，两接点闭合，这时，市电经过镇流器线圈限流将电压加在灯管的两端灯丝上，此时灯丝略发红。

一段时间后，启辉器内双金属片恢复原位，电路断开，这时镇流器内的线圈会产生很大的自感电动势，与电源电压叠加后作用于管两端，瞬间击穿灯管内气体发光，气体发光后镇流器内的电感线圈又起到限制流过灯管电流的作用，如果灯管没有点燃则重复以上动作。

三、实验电路方案



四、测试与分析

1. 测试用仪器

仪器名称	数量
220V 交流电源	1
调压器	1
功率表	1
交流电压表	1
交流电流表	1
镇流器	1
启辉器	1
日光灯	1
1 μF 电容	1
2.2 μF 电容	1
4.7 μF 电容	1

导线	若干
----	----

2. 测试步骤

- (1) 按电路原理图正确连接电路。
- (2) 打开电源，从零开始缓慢增加调压器输出，让日光灯点亮，记录 U 、 I 、 I_C 、 I_L 、 P 。
- (3) 将电压调至 220V，不接入电容 C ，测量 U 、 I 、 I_C 、 I_L 、 P ，计算 S 、 Q 、 $\cos \Phi$ 和 Φ 。
- (4) 接入 $1\ \mu\text{F}$ 电容，重复上述步骤。
- (5) 接入 $2.2\ \mu\text{F}$ 电容，重复上述步骤。
- (6) 接入 $4.7\ \mu\text{F}$ 电容，重复上述步骤。
- (7) 根据实验数据，画出四个实验情况下的功率三角形。

3. 数据记录

(1) 日光灯刚好点亮时的实验数据

U/V	I/A	I_C/A	I_L/A	P/W
200	0.118	0	0.118	12.07

(2) 将电压调至 220V 后的实验数据

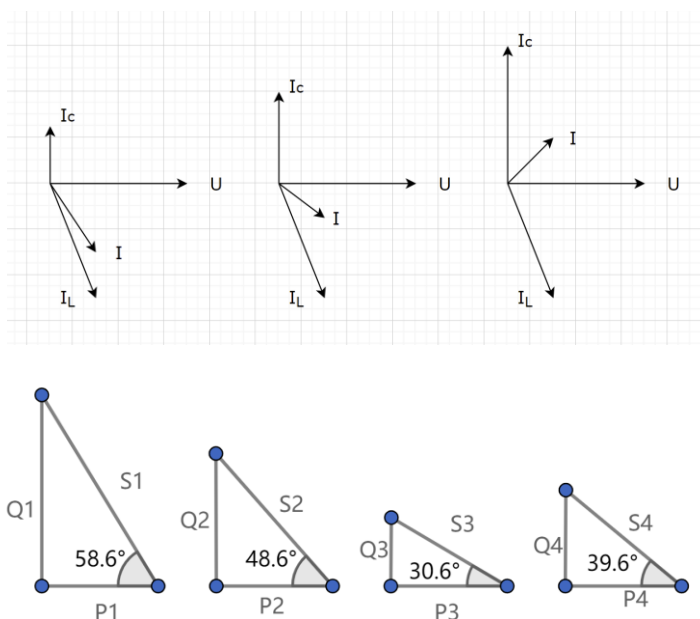
	U/V	I/A	I_C/A	I_L/A	P/W
不接电容	220	0.132	0	0.132	15.03
接入 $1\ \mu\text{F}$ 电容	220	0.105	0.072	0.130	15.21
接入 $2.2\ \mu\text{F}$ 电容	220	0.081	0.162	0.133	15.33
接入 $4.7\ \mu\text{F}$ 电容	220	0.091	0.316	0.131	15.48

(3) 将电压调至 220V 后的计算值

	$S/(\text{A} \cdot \text{V})$	$Q/(\text{A} \cdot \text{V})$	$\cos \Phi$	$\Phi/\text{度}$
不接电容	29.04	24.85	0.52	58.7
接入 $1\ \mu\text{F}$ 电容	23.10	17.39	0.66	48.7
接入 $2.2\ \mu\text{F}$ 电容	17.82	9.08	0.86	30.7

接入 $4.7\ \mu\text{F}$ 电容	20.02	12.70	0.77	39.6
--------------------------	-------	-------	------	------

4. 相量图和功率三角形



五、分析与结论

1、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：总电流减小，感性支路的电流和功率基本不变。

2、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，因为用电设备大多数是感性负载，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。而串联会造成电路总电流偏大，改变了负载的工作电压，使其电压低于额定电压，线路损耗加重。并联的电容器不是越大越好，而是要与负荷的无功功率相适应，并联电容器容值过大会造成过补偿，同样会使功率因数降低。

3、本节实验中，为了改善功率因数，分别并联了三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：对应的功率因数先增大后减小，这是因为当电容增大到一定数值后，造成了过补偿，线路中的容性无功功率过大，线路的功率因数一样会降低。

预习实验五 谐振频率的测量

一、万用表测量交流信号的电流电压的缺陷

(1) 万用表的交流档适用于测量市电工频电压(约 50Hz)，而实验所用电压为 kHz 级别，采样频率过低，不能准确测量。

(2) 不同量程的选择产生误差：表头灵敏度较低，内阻较低，档位越低误差就会越大。

(3) 实验操作产生误差：使用表笔进行测量，在实验操作时非常容易出现接触不良、手碰到表笔头等影响实验结果，并且在交流电路的测量时，使用人工使用表笔测量来保持一个稳定的电流或电压示数是非常困难；

(4) 测交流电压虽然表盘按有效值刻度，但整流电路真正检测出来的是电压的平均值。电压的有效值 U 与平均值之比，称为仪表的定度系 $K=1.111$ ，此外还有波形因数 K_f 的影响。

所以本实验应采用交流毫伏表测量电压。

二、串联谐振概念及其测量

1. 串联谐振相关概念

在具有电阻 R 、电感 L 和电容 C 元件的交流电路中，电路两端的电压与其中电流相位一般是不同的。如果调节电路元件(L 或 C)的参数或电源频率，可以使它们相位相同，整个电路呈现为纯电阻性。电路达到这种状态称之为谐振。

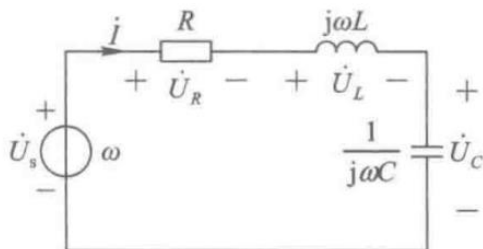


图 8-1 串联谐振电路

谐振的实质是电容中的电场能与电感中的磁场能相互转换，此增彼减，完全

补偿。电场能和磁场能的总和时刻保持不变，电源不必与电容或电感往返转换能量，只需供给电路中电阻所消耗的电能。

在电阻、电感及电容所组成的串联电路内，电路中的电压 u 与电流 i 的相位相同，电路呈现电阻性，这种现象叫串联谐振。此时电路容抗等于感抗，即 $X_C = X_L$ 。

电路固有谐振频率：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

通频带：

$$B_f = \frac{f_0}{Q}$$

2. 谐振频率的测量方法

(1) 最大电流/电压法：串联一交流电流表(用数字万用表交流毫安档代替)测量回路中的电流。先固定 RLC 的取值，调节信号源的频率使电流表的示值为最大，此时 RLC 串联电路谐振，信号源的输出频率即为该电路的谐振频率。

(2) 示波器法：将电阻电压信号送入示波器 1 通道，电源信号送入示波器的 2 通道，从示波器上可看到两列正弦波存在相位差，调节信号源的频率，使相位差为零。此时信号源的输出频率即为该电路的谐振频率。

(3) 双表法：用两块数字万用表交流电压档分别同时测电感和电容上的电压，调节信号源的频率，直到两万用表上示值完全相等，此时信号源的频率即为该电路的谐振频率。

3. 3dB 截止频率与通频带的测量

3dB：指的是比峰值功率小 3dB（就是峰值的 50%）的频谱范围的带宽；当保持电路输入信号的幅度不变，改变频率使输出信号降至最大值的 0.707 倍，或某一特殊额定值时的频率称为截止频率。

通频带：指的是当电源的 ω （或 f ）变化时，能使电流 $I \geq \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ 的频率范围。

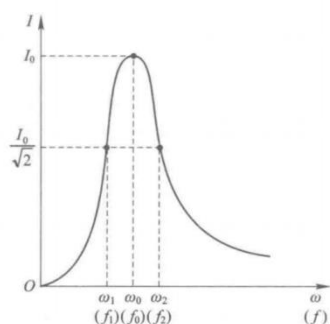


图 8-7 电路通频带的定义

在高频端和低频端各有一个截止频率，分别称为上截止频率和下截止频率。通频带即是两个截止频率之间的频率范围。

测量思路：

- (1) 先测量发生谐振时的电流 I_m ;
- (2) 由公式计算出达到截至频率时的电流 $I_1 = 0.707I_m$;
- (3) 改变信号源的频率使电路电流变为 I_1 此时的频率即为截至频率，左右两个截至频率之差即为通频带。

三、信号源内阻的影响

(1) 信号源存在内阻，信号源内阻存在会导致电路品质因数变低，通频带变宽，使电路的选择性变差。

(2) 为减小内阻影响，可以对电压源并联一个小电阻，对电流源串联一个大电阻，或者在实验前先测量电源的内阻，然后在后续实验中利用串联分压和等效电阻来进行相应操作。