浙江大学实验报告

专业：_____
姓名：_____
学号：_____
日期：2026 年 4 月 5 日
地点：东 3-208

课程名称：电工电子学实验　　指导老师：_____　　成　绩：_____
实验名称：单相交流电路特性及功率因数提高　　实验类型：基础型　　学　期：25-26 春夏

一、实验目的和要求　　二、实验内容和原理
三、主要仪器设备　　四、实验数据记录和处理
五、实验结果与分析　　六、讨论、心得

一、 实验目的和要求

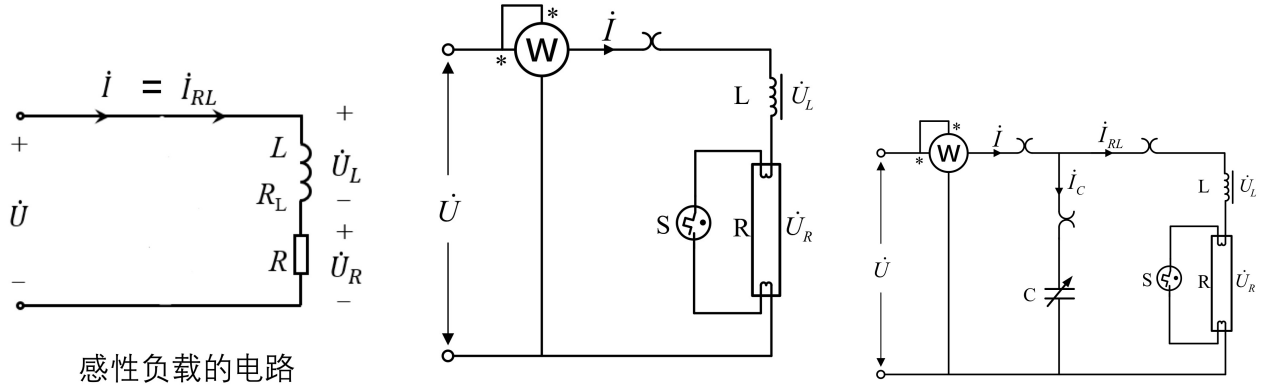
(1) 学会使用交流仪表，包括交流电压表、交流电流表和功率表。

(2) 掌握用交流仪表测量交流电路电压、电流和功率的方法。

(3) 了解提高电感性电路功率因数的方法及其工程意义。

二、 实验内容和原理

本实验分为两部分。第一部分测量 RL 支路在不并联电容时的电压、电流和功率，并据此计算电路参数；第二部分在 RL 支路两端并联不同电容，比较总电流、功率因数及电路性质的变化，观察功率因数补偿效果。



(a) 电感性负载等效电路　　(b) RL 支路参数测量电路　　(c) 并联电容补偿测量电路

图 1: 实验电路示意图

以电源电压 U 为参考相量，RL 支路满足课件中的相量关系。由电压三角形可得

$$\cos\varphi_{RL} = \frac{U^2 + U_R^2 - U_L^2}{2U_R U} \tag{1}$$

进一步可以计算

$$R = \frac{U_R}{I_{RL}}, \qquad R_L = \frac{U\cos\varphi_{RL} - U_R}{I_{RL}}, \qquad X_L = \frac{U\sin\varphi_{RL}}{I_{RL}}, \qquad L = \frac{X_L}{\omega} \tag{2}$$

其中 $\omega = 2\pi f$，本实验取工频 $f = 50\,\mathrm{Hz}$。

对于并联电容补偿部分，电流相量满足

$$\dot{I} = \dot{I}_{RL} + \dot{I}_C \tag{3}$$

当电容较小时，电容支路电流 I_C 只能补偿 RL 支路无功分量的一部分，电路仍呈电感性；随着电容增大，功率因数逐渐提高；当电容继续增大，补偿过度后总电流转为超前，电路呈电容性。因此，本实验的关键是借助相量关系把电流大小变化与相位关系变化统一起来理解，从而观察无功补偿由不足到接近最佳，再到过补偿的完整变化规律。

三、 主要仪器设备

(1) 实验电路板。

(2) 电工电子综合实验台。

(3) 单相交流电源（220V）。

(4) 交流智能仪表。

(5) 数字式万用表。

四、 实验数据记录和处理

1.RL 支路电压、电流及功率测量

表 1 为 RL 支路在不并联电容时的原始测量数据及计算结果。

表 1: 交流电压、电流及功率测量结果

U/V	U_L/V	U_R/V	I_{RL}/A	P/W	λ	$\cos\varphi_{RL}$
227.9	203.0	61.6	0.310	30.0	0.420	0.517

由实验数据代入公式

$$\cos\varphi_{RL} = \frac{227.9^2 + 61.6^2 - 203.0^2}{2 \times 61.6 \times 227.9} \approx 0.5173 \tag{4}$$

据此得到

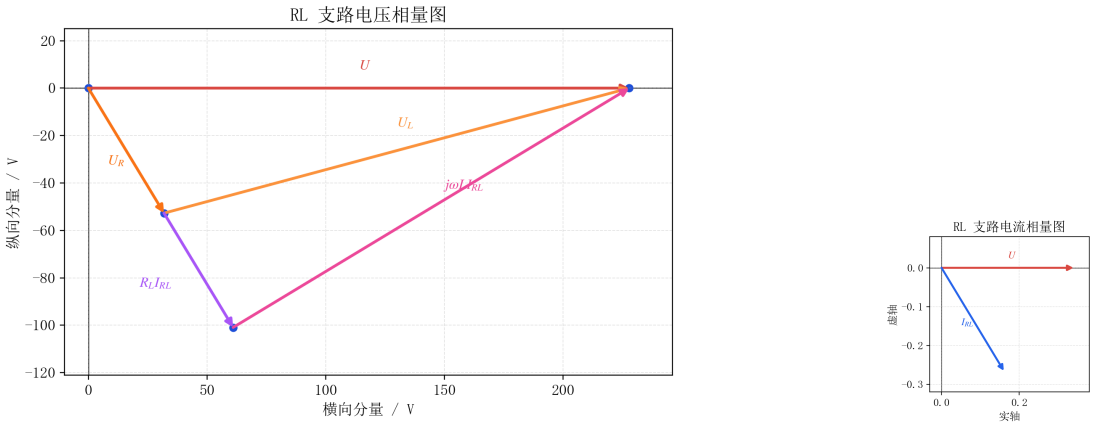
$$R = \frac{61.6}{0.310} \approx 198.7\,\Omega \tag{5}$$

$$R_L = \frac{227.9 \times 0.5173 - 61.6}{0.310} \approx 181.6\,\Omega \tag{6}$$

$$X_L = \frac{227.9 \times \sqrt{1 - 0.5173^2}}{0.310} \approx 629.2\,\Omega \tag{7}$$

$$L = \frac{629.2}{2\pi \times 50} \approx 2.00\,\mathrm{H} \tag{8}$$

根据计算结果绘制 RL 支路电压相量图和电流相量图，如图 2 所示。



(a) RL 支路电压相量图

(b) RL 支路电流相量图

图 2: RL 支路相量图

2.并联电容对功率因数的影响

表 2 同时保留了仪表直接读数 λ 和按电流相量三角形计算得到的 $\cos\varphi$，便于后续比较。

表 2: 并联电容对功率因数的影响

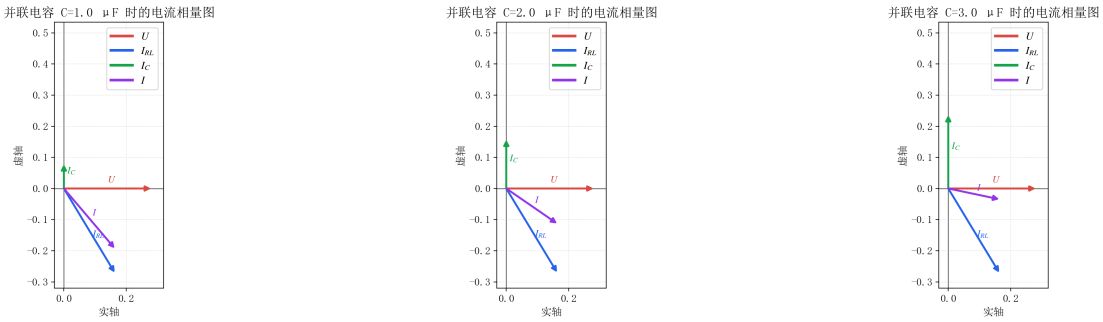
C/μF	I/A	I_C/A	I_{RL}/A	P/W	仪表读数 λ	计算值 $\cos\varphi$	电路性质
1.0	0.254	0.078	0.316	30.2	0.516	0.674	电感性
2.0	0.197	0.157	0.315	30.5	0.648	0.816	电感性
3.0	0.167	0.236	0.316	30.6	0.771	0.978	电感性
3.1	0.163	0.236	0.314	30.5	0.795	0.977	电感性（近补偿点）
4.0	0.187	0.332	0.314	30.8	0.667	0.927	电容性
5.0	0.230	0.409	0.313	30.6	0.563	0.760	电容性
6.0	0.260	0.484	0.312	30.6	0.471	0.583	电容性

这里计算值 $\cos\varphi$ 采用电流相量三角形关系

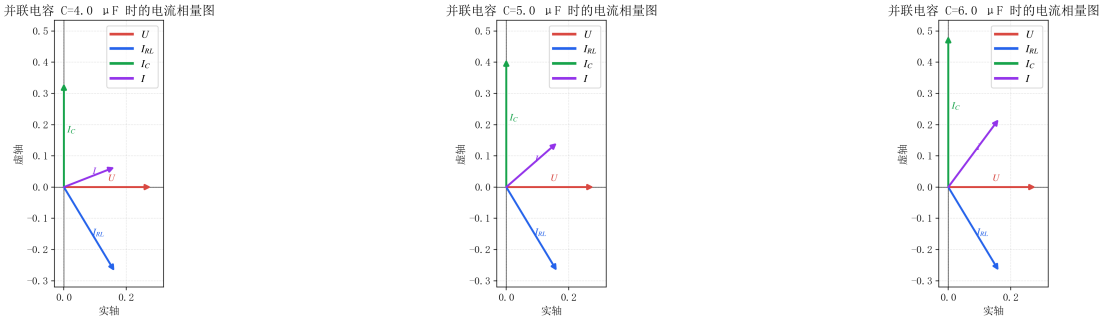
$$\cos\varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{I^2 + I_C^2 - I_{RL}^2}{2 I I_C}\right)^2} \tag{9}$$

从表中数据可以看到，并联电容增大时，RL 支路电流 I_{RL} 基本保持在 0.31 A 左右，说明原 RL 支路的工作状态变化不大。变化更明显的是电容支路和总电流：I_C 随电容增大而上升，总电流 I 则先减小后增大，在 $C = 3.1\,\mu$F 时降到最小值 0.163 A。与此同时，电路有功功率始终维持在 30 W 左右，说明并联电容主要改变的是无功分量和相位关系，而不是有功消耗本身。

为展示补偿过程中总电流相位从电感性到电容性的连续变化，现将 $C = 1.0\,\mu$F 到 $6.0\,\mu$F 的六张整档电流相量图全部列出，如图 3 所示。



(a) $C = 1.0\,\mu\text{F}$ (b) $C = 2.0\,\mu\text{F}$ (c) $C = 3.0\,\mu\text{F}$



(d) $C = 4.0\,\mu\text{F}$ (e) $C = 5.0\,\mu\text{F}$ (f) $C = 6.0\,\mu\text{F}$

图 3: 不同电容值下的电流相量图

功率因数随并联电容变化的趋势如图 4 所示。由图可见，仪表读数 λ 与计算值 $\cos\varphi$ 虽然数值不完全相同，但变化趋势一致，均在 $3.0 \sim 3.1\,\mu\text{F}$ 附近达到最佳补偿区间。

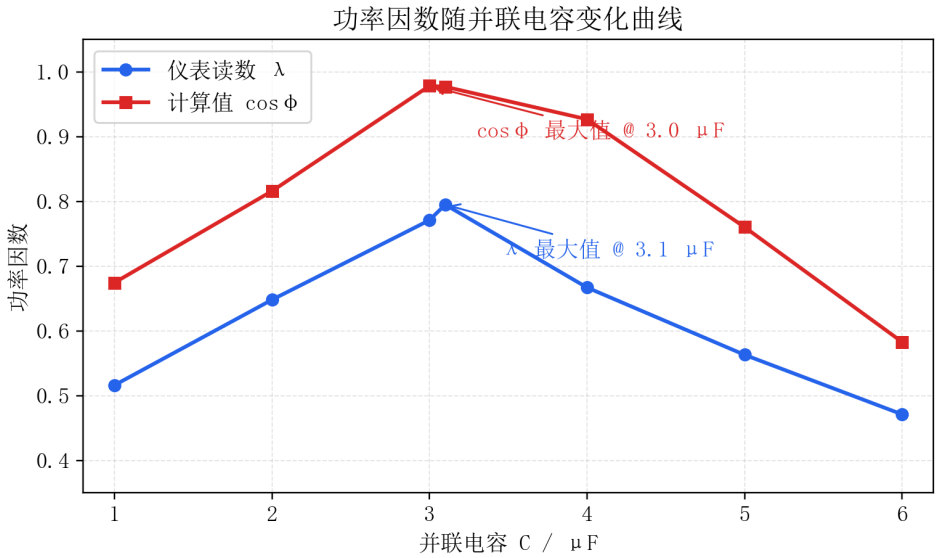


图 4: 功率因数随并联电容变化曲线

五、 实验结果与分析

1.RL 支路参数分析

根据表 1 计算可得，电阻支路电阻约为 198.7 Ω，线圈等效电阻约为 181.6 Ω，感抗约为 629.2 Ω，对应电感约为 2.00 H。这说明实验中的线圈并不是理想纯电感，而是同时具有明显的电阻成分，因此在相量图中，U_L 与

U_R 并不是简单的垂直关系。

从图 2 也可以看出，RL 支路电流明显滞后于电源电压，说明不加补偿时电路具有典型的电感性特征。此时功率因数较低，仪表读数 $\lambda = 0.420$，意味着存在较大的无功分量。若直接将这类负载接入交流电网，就会在传输相同有功功率的前提下引入更大的电流，从而增大线路损耗并降低设备利用率。

2.并联电容补偿效果分析

随着并联电容从 $1.0\,\mu$F 增大到 $3.1\,\mu$F，总电流由 $0.254\,$A 下降到 $0.163\,$A，仪表读数 λ 由 0.516 增加到 0.795，说明功率因数改善明显。此时电容电流对 RL 支路的无功分量形成了较充分的补偿，使总电流与电源电压之间的相位差不断减小。

从计算得到的 $\cos\varphi$ 来看，$3.0 \sim 3.1\,\mu$F 区间最接近 1，说明这一带是本组数据中的最佳补偿区间。仪表读数在 $3.1\,\mu$F 处达到最大，而电流三角形计算值在 $3.0\,\mu$F 略大，两者都表明最佳补偿点位于该区间，而不必机械理解为某一个唯一精确电容值。这也说明实验中更有意义的是判断最佳补偿范围，而不是追求一个完全不受误差影响的单点数值。

继续增大电容到 $4.0\,\mu$F 及以上后，总电流重新增大，而功率因数开始下降，表明补偿已经过度。按表中数据重建相量可知，$3.1\,\mu$F 时总电流虚部仍略小于零，因此本报告仍将其归为电感性近补偿点；当电容增至 $4.0\,\mu$F 及以上后，总电流虚部转为正值，电路转为电容性。

3.仪表读数与计算值差异分析

本组数据中，仪表直接读数 λ 与按相量关系计算得到的 $\cos\varphi$ 存在一定差异，但两者给出的变化趋势一致，即都是先增大后减小，且最佳区间都落在 $3.0 \sim 3.1\,\mu$F 附近。尤其在表 1 中，$\lambda = 0.420$ 与由 $P/(UI)$ 得到的结果基本一致，而电压三角形法计算值偏大，说明间接几何计算对电压读数较敏感；再考虑到铁芯线圈并非理想线性元件，因此后续对功率因数的判断以仪表读数和功率关系为主，将相量计算结果主要作为趋势分析的参考。

这种差异不会改变对补偿效果的判断。按本组数据，随着并联电容增加，电路由较强电感性逐渐接近同相，随后在过补偿后转为电容性，最佳补偿区间位于 $3.0 \sim 3.1\,\mu$F 附近。

六、 讨论、心得

本次实验把提高功率因数这一抽象概念转化成了可以直接观察的电流相量变化。通过逐步增大并联电容，可以直观看到总电流由滞后减小、接近同相，再到超前的全过程，这比单纯套公式更有助于理解无功补偿的物理意义。

从本组实验结果看，选择合适的并联电容可以明显改善电感性负载的功率因数，减少线路中的无功电流；但如果补偿过度，电路又会转为电容性，因此工程上需要根据实际负载选择合适的补偿容量，而不能简单地认为电容越大越好。

这次实验里更容易出错的其实是功率表接线和读数时机。功率表的电流线圈、电压线圈以及同名端一旦接错，测得的功率和功率因数就会明显失真；并联电容切换后如果没有等待示值稳定就记录，也会让表中相邻数据出现较大波动。实际操作时应先断电改线，确认量程和接线端后再上电，并在数据稳定后尽快同步记录 U、I、P 以及各支路电流。和套用公式相比，这些操作细节对结果是否可信往往更关键。