

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称： 电路实验

第4次实验

实验名称： 交流电路认识及参数测试

院（系）： 自动化学院 专 业： 自动化

姓 名： 陈鲲龙 学 号： 08022311

实 验 室： 204 实验组别：

同组人员： 实验时间： 2023年 11月 21日

评定成绩： 审阅教师：

一、实验目的

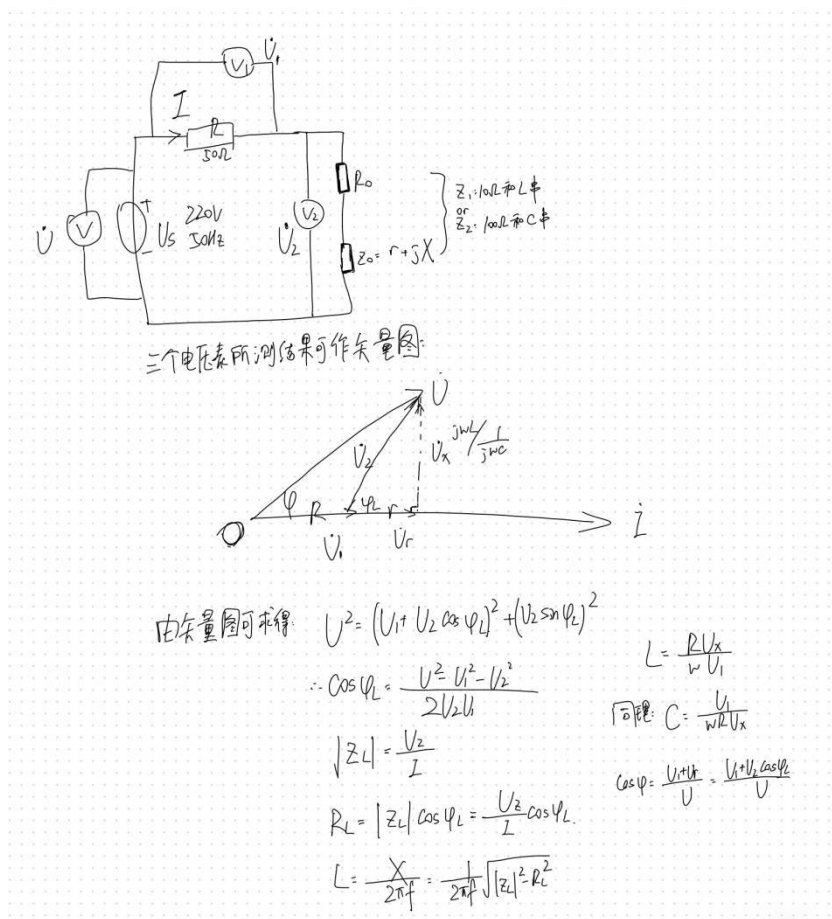
- (1) 了解交流电基础知识及电器设备使用操作方法;
- (2) 掌握电阻、电感、电容等单相交流电路参数测量方法, 通过实验加深对阻抗概念的理解;
- (3) 掌握多功能表测量电压、电流、功率以及单相自耦调压器的正确使用方法,
- (4) 掌握功率因数的测量及其改变方法。

二、实验原理 (预习报告内容, 如无, 则简述相关的理论知识点。)

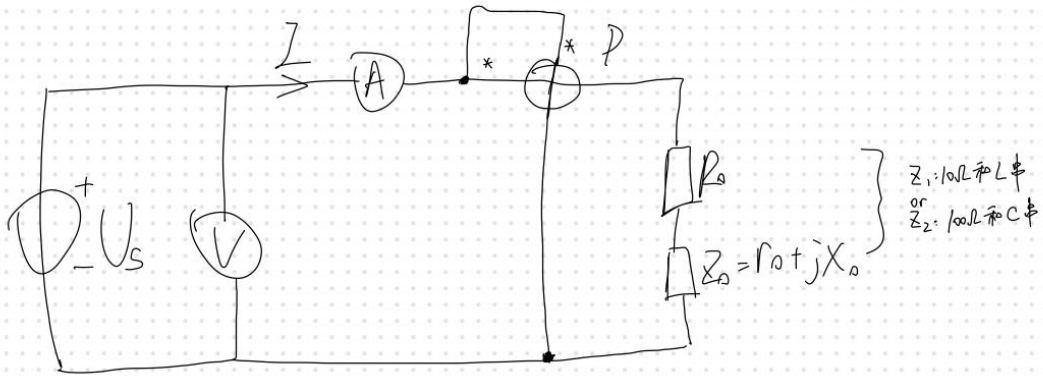
- (1) 查找资料, 了解交流电安全用电知识:
 - 一、实验室工作人员必须时刻牢记“安全第一, 预防为主”的方针和“谁主管, 谁负责”的原则, 做好实验室用电安全工作。
 - 二、使用电子仪器设备时, 应先了解其性能, 按操作规程操作。实验前先检查用电设备, 再接通电源; 实验结束后, 先关仪器设备, 再关闭电源。
 - 三、若电器设备发生过热现象或出现焦糊味时, 应立即关闭电源。
 - 四、实验室人员如离开实验室或遇突然断电, 应关闭电源, 尤其要关闭加热电器的电源开关。
 - 五、电源或电器设备的保险丝烧断后, 应先检查保险丝被烧断的原因, 排除故障后再按原负荷更换合适的保险丝, 不得随意加大或用其它金属线代替。
 - 六、实验室内不能有裸露的电线头; 如有裸露, 应设置安全罩; 需接地线的设备要按规定接地, 以防发生漏电、触电事故。
 - 七、如遇触电时, 应立即切断电源, 或用绝缘物体将电线与触电者分离, 再实施抢救。
 - 八、电源开关附近不得存放易燃易爆物品或堆放杂物, 以免引发火灾事故。
 - 九、电器设备或电源线路应由专业人员按规定装设, 严禁超负荷用电; 不准乱拉、乱接电线; 严禁实验室内用电炉、电加热器取暖和实验工作以外的其它用电。
 - 十、严格执行学校关于用电方面的规章制度。

- (2) 了解电阻、电感、电容、功率因数等单相交流电路参数测量方法。

1. 三电压表法的原理:



2. 三电表法的原理:



被测元件阻抗参数 r, L, C 可由下列公式确定:

$$Z = \frac{U}{I}, \quad \cos \varphi = \frac{P}{UI}, \quad r = \frac{P}{I^2} = Z \cos \varphi$$

$$X = \sqrt{Z^2 - r^2} = Z \sin \varphi, \quad L = \frac{X}{\omega}, \quad C = \frac{1}{\omega X}$$

3. 理论计算分析实验内容 (3) 中 $Z_1 + Z_2$ (Z_1 串联 Z_2)、 $Z_1 // Z_2$ (Z_1 并联 Z_2) 时, 电路的性质 (容性电路还是感性电路)。

$$Z_1 = 10\Omega + L \quad (114\text{mH})$$

$$Z_2 = 100\Omega + C \quad (10\mu\text{F})$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= 10\Omega + j2\pi fL \\ &= 10\Omega + j2\pi \cdot 50 \cdot 114 \times 10^{-3} \\ &= 10\Omega + j35.814\Omega \end{aligned}$$

串联:

$$Z_1 + Z_2 = 110\Omega - j282.5\Omega$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= 100\Omega + j\frac{-1}{2\pi fC} \\ &= 100\Omega + j\frac{-1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10 \times 10^{-6}} \\ &= 100\Omega - j318.31\Omega \end{aligned}$$

并联:

$$\frac{Z_1 Z_2}{Z_2 + Z_1} = 13.6 + j38.6\Omega$$

4. 复习功率因数概念，试列出负载功率因数改变（提高、减小）的方法。

功率因数：工程上通常用到功率因数 λ 的概念，其定义为 $\lambda = \cos \psi \leq 1$ ， ψ 称为功率因数角（不含独立源的一端口的阻抗角）。它是衡量传输电能效果的一个非常重要的指标，表示传输系统有功功率所占的比例，即 $\lambda = P/S$ 。

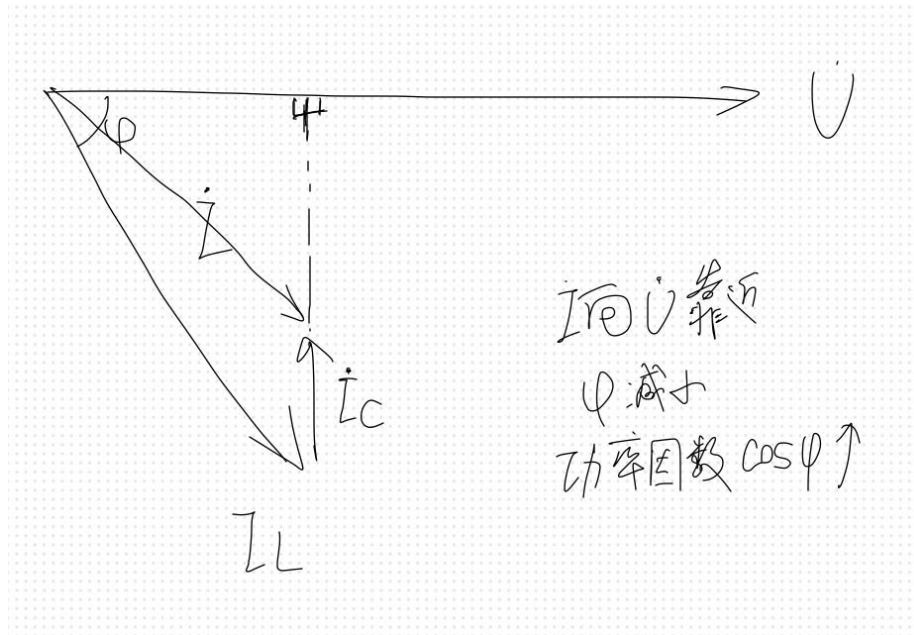
工程上功率因数低带来的问题：

设备不能充分利用，电流到了额定值，但功率容量还有；

当输出相同的有功功率时，线路上电流大，线路压降损耗大。

解决办法（提高功率因数）：

(1) 高压传输 (2) 改进自身设备 (3) 并联电容，提高功率因数（并联电容后，原负载的电压和电流不变，吸收的有功功率不变，但是电源向负载输送的无功减少了，减少了的这部分无功由电容来补偿，使感性负载吸收的无功功率不变，而功率因数得到增加。）

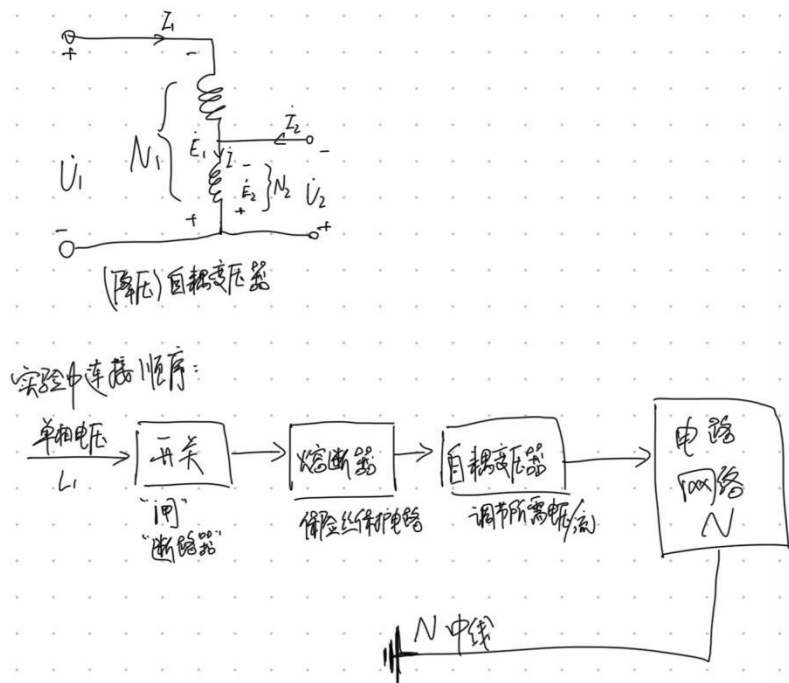


提高功率因数：增大电阻，减小电感，并联电容；

减小功率因数：减小电阻，增大电感（插入铁芯）；

三、实验内容

(1) 单相、三相交流电路的接线操作，按照强电实验操作规范接线、通电、操作：包括开关、熔断器、自耦变压器等电器设备结构原理的理解和使用方法。



自耦变压器也称为自励式变压器，是一种变压器类型。它通过在同一线圈中采用自感电路的方式来实现升高或降低电压或电流。

自耦变压器是一种只有一组绕组的变压器。这个唯一的绕组既是输入侧（原边）又是输出侧（副边）。通过对输入/输出引脚的选择，可以在输出和输入之间获得所需的电压比例。

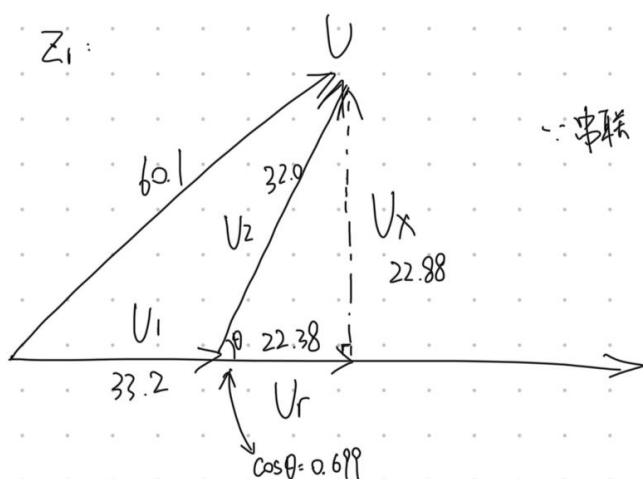
自耦变压器的工作原理基于自感电路，它将唯一的绕组分成两部分：主绕组和副绕组。主要绕组长度一般大于副绕组，并固定地跨越副绕组。当输入电压施加在主绕组上时，它会在同一线圈内产生一个磁通量，在副绕组上感应出相应的电动势。

由于主绕组和副绕组共享相同的磁场，因此将二者串联起来得到的总电感会增加。由于在同一个绕组上，使自耦变压器的功率因子接近1。此外，自耦变压器还具有较高的效率和低成本，因为它只有一个绕组。

（2）三电压表法测量电路参数

测量电路如图 所示，串联的已知电阻为 50Ω ， $Z_1=10\Omega+L$ （114mH）， $Z_2=100\Omega+C$ （10uF）

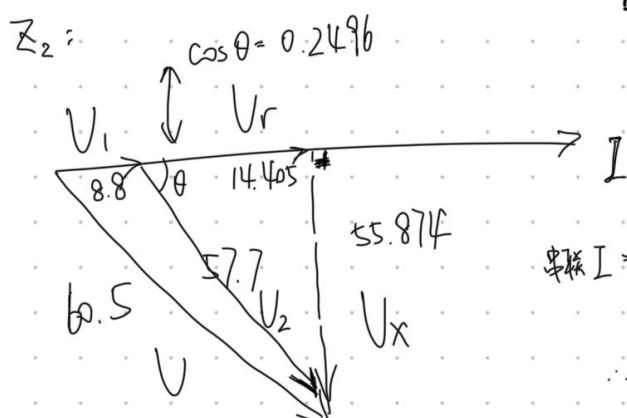
Z	测量参数			计算参数					
	U (V)	U1 (V)	U2 (V)	$\cos\theta$	Ur (V)	Ux (V)	r0 (Ω)	L (mH)	C (μF)
Z1	60.1	33.2	32.0	0.699	22.38	22.88	33.7	109.68	/
Z2	60.5	8.8	57.7	0.2496	14.405	55.874	81.85	/	10.03



$$\because \text{串联} \therefore I = \frac{U_1}{R} = \frac{U_x}{\omega L}$$

$$\therefore L = \frac{RU_x}{U_1 \omega} = \frac{R U_x}{2\pi f U_1} = 109.68 \text{ mH}$$

$$\text{相对误差} = \frac{109.68 - 114}{114} = -3.79\%$$



* $U_1 (R=50\Omega)$
 U_r (-5 电感串联的电阻及电感线圈内阻)
~~电容~~

$$\text{串联 } I = \frac{U_1}{R} = \frac{U_x}{\frac{1}{\omega C}}$$

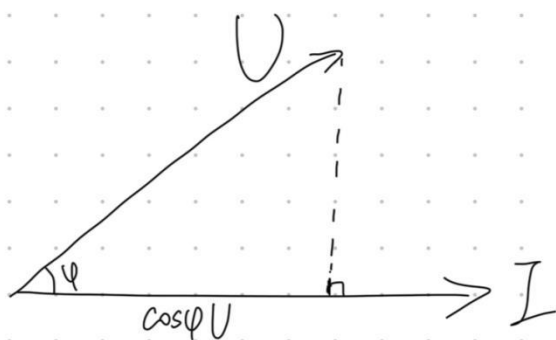
$$\therefore C = \frac{U_1}{R \omega U_x} = \frac{U_1}{2\pi f R U_x} = 10.03 \mu F$$

$$\text{相对误差} = \frac{10.03 - 10}{10} = 0.26\%$$

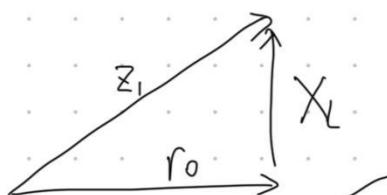
(3) 三表法测量电路参数

测量电路如图 2 所示, $Z_1=10\Omega+L$ (114mH), $Z_2=100\Omega+C$ (10uF)。

Z	测量参数			计算参数						相对误差 (%)
	I (A)	U (V)	P (W)	$z(\Omega)$	$\cos \phi$	$r_0(\Omega)$	$x(\Omega)$	L (mH)	C (μF)	
Z1	0.3063	15.2	3.4	49.625	0.73	36.24	33.92(感抗)	107.97	/	-5.29
Z2	0.3019	101.5	9.5	336.204	0.31	104.23	319.64(容抗)	/	9.958	-0.42
Z1+Z2	0.3033	97.2	13.2	320.47	0.448	143.49	286.51(容抗)	/	11.1	-0.28
Z1//Z2	0.3092	17.0	4.5	54.98	0.856	47.07	28.42(感抗)	90.46	/	-5.42

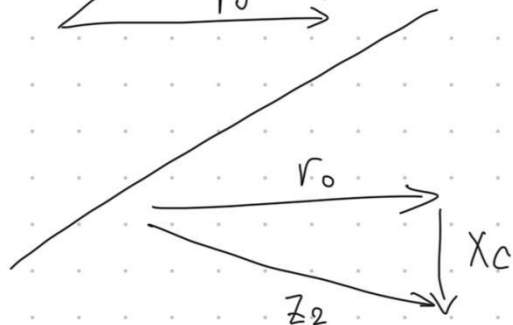


$$P = \cos \phi UI$$



Z : 总阻抗
 r_0 : 串联的电阻以及元件内阻
 X : 感抗/容抗

$$\begin{cases}
 Z_1 = (36.24 + j33.92) \Omega \\
 Z_2 = (104.23 - j319.64) \Omega
 \end{cases}$$



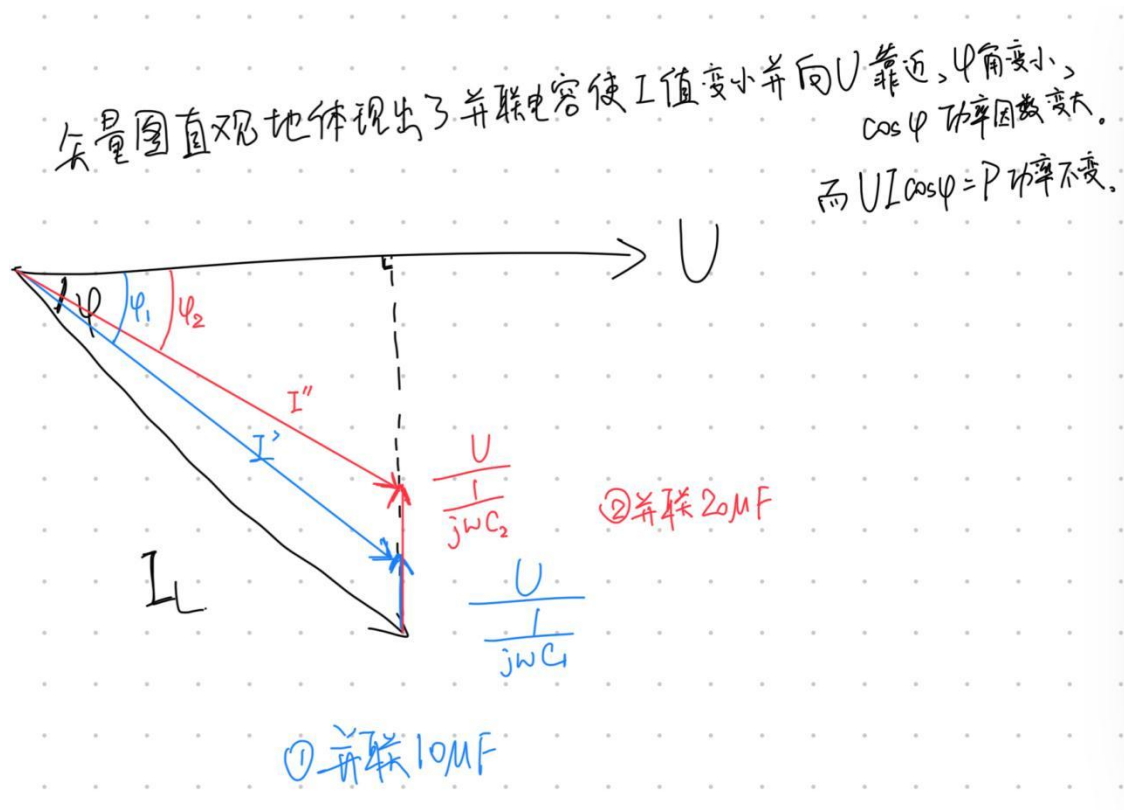
$$\begin{cases}
 \text{串联: } Z_1 + Z_2 = (140.47 - j285.72) \Omega < 0 \text{ "容性"} \\
 \text{并联: } \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = (42.94 + j20.05) \Omega > 0 \text{ "感性"}
 \end{cases}$$

(4) 功率因数的改变

根据 (3) 测得的 Z_L (R、L 电路) 的功率因数 ($\cos \phi$ 值) 为参照, 试采用不同方法改变功率因数。

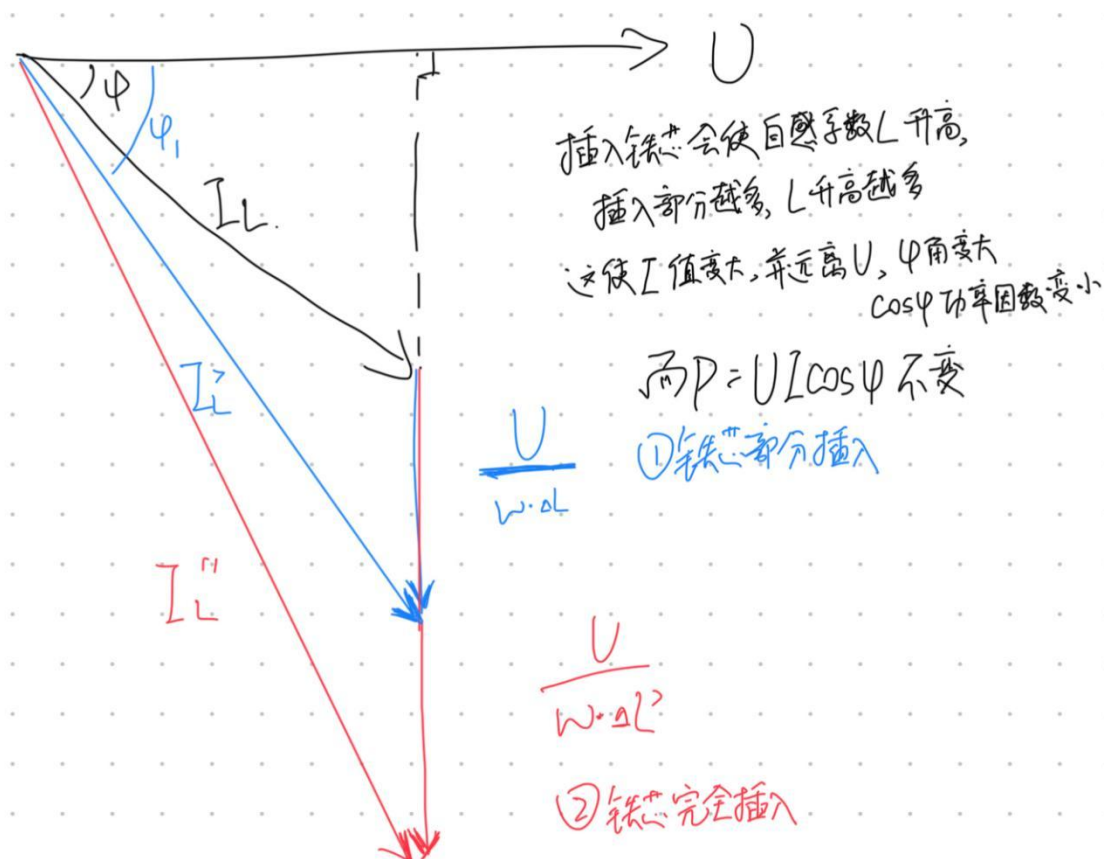
1) 接线, 选取电容并联在负载 Z_L 两端。首先调节单相自耦调压器, 使副方电压等于负载为 Z_L 时对应的电压值, 然后测出 I 、 P , 计算 $\cos \phi$, 与不接电容前的负载功率因数相比较, 进行总结分析

改变方法	测量参数			计算参数	同比原功率因数 (0.73) 变化
	I (A)	U (V)	P (W)	$\cos \phi$	
并联电容1 (10 μ F)	0.2821	15.4	3.7	0.8517	+0.1217
并联电容2 (20 μ F)	0.2921	15.1	4.0	0.9078	+0.1778



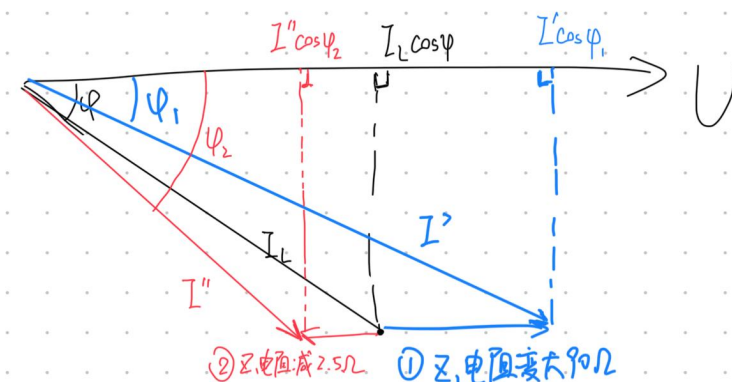
2) 接线不变, 将电感线圈中插入铁芯, 调节调压器, 观察电流表读数保持在 0.3A, 与未插入铁芯时数据比较, 总结分析功率因数改变的原因。

改变方法	测量参数			计算参数	同比原功率因数 (0.73) 变化
	I (A)	U (V)	P (W)	$\cos \phi$	
铁芯部分插入	0.3019	21.6	3.5	0.5367	-0.1933
铁芯完全插入	0.3025	62.7	3.7	0.195	-0.535



3) 接线不变, 改变 Z1 中串联的电阻阻值, 调节调压器, 观察电流表读数保持在 0.3A, 与原数据比较, 进行分析总结。

改变方法	测量参数			计算参数	同比原功率因数 (0.73) 变化
	I (A)	U (V)	P (W)	$\cos \phi$	
Z1 中电阻值增大 (10- \rightarrow 100 Ω)	0.3010	41.9	12.2	0.96734	+0.23734
Z1 中电阻值减小 (10- \rightarrow 7.5 Ω)	0.3063	15.1	3.3	0.7135	-0.0165



由矢量图可见, Z 电阻增大可使 I 值变大, 且 ϕ 角变小, $\cos \phi$ 功率因数变大
功率 $P = UI \cos \phi$ 也变大

反之, Z 电阻减小会使 ϕ 角加大, 功率因数减小, 功率 $P = UI \cos \phi$ 也变小.

四、实验使用仪器设备（名称、型号、规格、编号、使用状况）

电工实验台（上海宝徕科技开发有限公司）

五、实验总结

（实验出现的问题及解决方法、思考题（如有）、收获体会等）

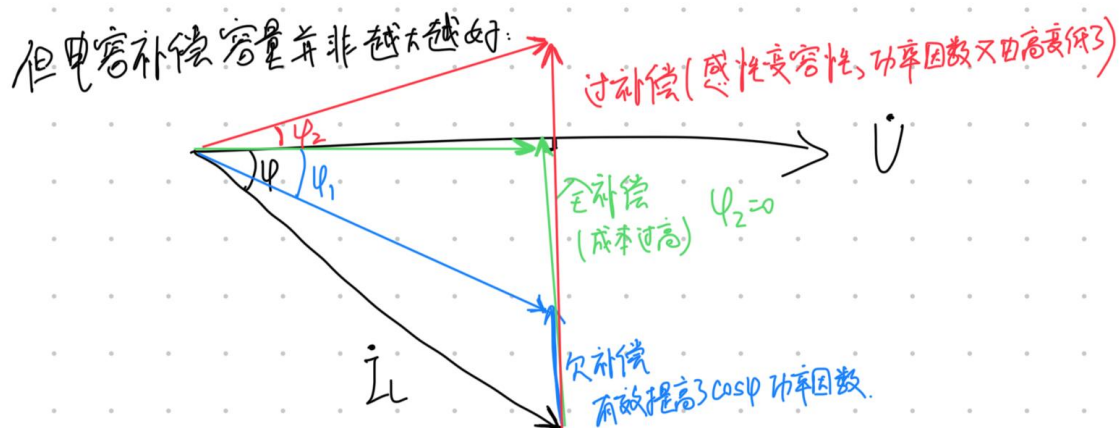
总结：

在实验中使用电表时，要注意电压表和电流表的电流都从同名端流入，这样才能测出正确的有功功率 P 。在连接电路时，要注意电表的位置，避免将电流表错接入支路。

思考题：

（1）“并联电容”可以提高感性阻抗的功率因数，使用矢量图来分析并联的电容容量是否越大越好？

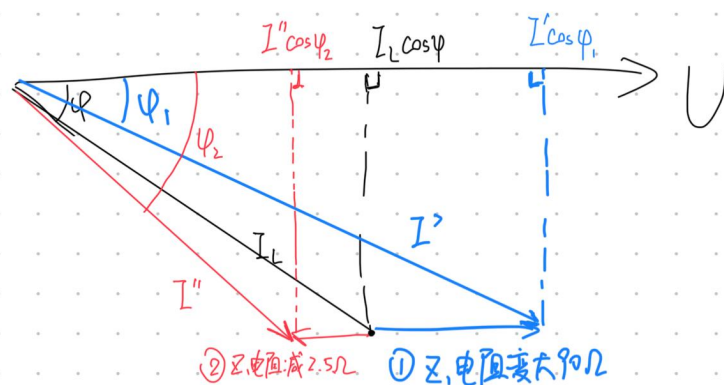
并联电容后，电源向负载输送的有功功率 P 不变，
无功功率 Q 减少 \rightarrow 由电容补偿，功率因数得到改善。



（2）通过实验分析电感线圈中插入铁棒，电感值会有怎样变化？

插入铁棒，电感会增大。铁棒插入的部分越多，电感值的增长越大。

（3）使用矢量图分析 Z_1 中串联的电阻阻值变化对功率因数的影响。



由矢量图可见， Z_1 电阻增大可使 I 值变大，且 φ 角变小， $\cos\varphi$ 功率因数变大
功率 $P=UI\cos\varphi$ 也变大
反之， Z_1 电阻减小会使 φ 角加大，功率因数减小，功率 $P=UI\cos\varphi$ 也变小。

六、参考资料（预习、实验中参考阅读的资料）

[1] M. S. Rahman, A. Memy, M. A. Mahmud and S. Siddique, "Automatic Power Factor Measurement And Improvement Using Capacitor Bank," 2022 IEEE International Power and Renewable Energy Conference (IPRECON), Kollam, India, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/IPRECON55716.2022.10059553.

[2] 高雪. 电缆电容对无功补偿容量的影响浅析[J]. 化工设计, 2023, 33(04): 41-43+2. DOI: 10.15910/j.cnki.1007-6247.2023.04.010.