



DIANGONGXUE
SHIYANJI SHU

电工学实验技术

周筱珍 叶佳卓

湖南大学出版社

1-33

800

电 工 学 实 验 技 术

周 筱 珍 叶 佳 卓

湖 南 大 学 出 版 社

2000 年·长沙

内 容 简 介

本书是根据国家教育部颁布的高等院校理工科非电类专业《电工学实验大纲》的要求编写的。

全书分两大部分:即实验项目和附录部分。

实验项目包括四个部分的实验内容:第一部分为电工实验。内容有直流电路、交流电路、串、并联谐振电路、三相电路、一阶电路、变压器及电机控制等 7 个实验;第二部分为模拟电路实验。内容有单管放大、差动放大、功率放大、运算放大器及其应用电路、负反馈和电源等 8 个实验;第三部分为数字电路实验。其内容有门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、计数器及定时器等 6 个实验;第四部分为综合应用型实验共 6 个。

附录 A 介绍了实验室常用的电工、电子仪表、仪器的性能、工作原理及使用方法。

附录 B 介绍了常用电路及电子元器件的型号、主要参数、作用功能及引脚排列等。

本书可作为大专院校理工科非电类专业电工学实验用教材,也可供从事此类工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学实验技术/周筱珍,叶佳卓

—长沙:湖南大学出版社,2000.9

ISBN 7-81053-258-8

I. 电... II. ①周...②叶... III. 电工-实验-高等学校-教材 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 48083 号

电工学实验技术

Diangongxue Shinian Jishu

周筱珍 叶佳卓

☐ 责任编辑 戴东宁

☐ 出版发行 湖南大学出版社

社址 长沙岳麓山 邮码 410082

电话 0731-8821691 0731-8821315

☐ 经 销 湖南省新华书店

☐ 印 装 湖南大学印刷厂

☐ 开本 787×1092 16 开 ☐ 印张 9.5 ☐ 字数 220 千

☐ 版次 2001 年 1 月第 1 版 ☐ 2001 年 1 月第 1 次印刷

☐ 印数 1—5 000 册

☐ 书号 ISBN 7-81053-258-8/TM·1

☐ 定价 12.00 元

(湖南大学版图书凡属印装差错,请向承印厂调换)

前 言

本书是根据国家教育部颁布的高等院校理工科非电类专业《电工学实验大纲》编写的电工学实验课程教学指导书。

随着科学技术的发展和课程教学改革的深入,原来以验证实验为主的实验课程体系逐步被打破。一种以培养学生动手能力、工程实践能力、综合能力和创新能力为目的的新型实验教学体系正在逐渐形成。

为适应这一新的形势,推动电工学实验课程的改革,针对我校电工学实验课独立设课的特点,编写了这本教材。

本书是在总结湖南大学电工学实验课程多年教学经验的基础上编写而成的。在编写过程中,既继承了湖南大学原有电工学实验教材的构架与内容,又补充了部分设计型、综合型、工程实践型的实验项目,旨在对电工学实验课程进行新的尝试。

全书实验内容包括四大部分共 28 个实验项目。这四部分内容有:第一部分是电工实验;第二部分是模拟电路实验;第三部分是数字电路实验;第四部分是综合应用实验。基本上覆盖了电工学的主要内容。

本书由周筱珍主编,叶佳卓编写了实验二、实验五、实验八至实验十五、实验二十三、实验二十四,其余部分由周筱珍编写。谢胜曙副教授主审了全部书稿。

在编写过程中,得到了方厚辉、郭美钧、曹建龙等老师的帮助,也得到了湖南大学电气与信息工程学院基础实验中心全体老师的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正,并希望提出宝贵的意见,以便今后进一步修改。

编者

1999 年 11 月

目 次

第一部分 电工实验

实验一 叠加定理与戴维南定理	(1)
实验二 RLC 串联谐振电路	(4)
实验三 单相交流并联电路	(8)
实验四 三相交流电路	(11)
实验五 一阶电路的过渡过程	(13)
实验六 单相变压器	(17)
实验七 鼠笼式异步电动机的直接起动与正反转控制	(20)

第二部分 模拟电子电路实验

实验八 常用电子仪器使用	(23)
实验九 共射低频电压放大器	(27)
实验十 差动放大电路	(31)
实验十一 集成功率放大器	(34)
实验十二 运算放大器的基本运算功能	(37)
实验十三 负反馈放大器的研究(集成电路)	(43)
(实验十三)附 负反馈放大器的研究(分立元件)	(48)
实验十四 信号发生器	(51)
实验十五 整流、滤波电路	(54)
实验十六 集成稳压电源参数测试	(58)

第三部分 数字电子电路实验

实验十七 门电路及其应用	(62)
实验十八 组合逻辑电路的设计	(67)
实验十九 译码器与编码器	(69)
实验二十 触发器	(74)
实验二十一 时序逻辑电路	(78)
实验二十二 集成定时器及其应用	(81)

第四部分 综合应用实验

实验二十三	电池自动充电电路	(85)
实验二十四	多路防盗报警器	(87)
实验二十五	煤汽灶熄灭报警器	(89)
实验二十六	触模式照明小灯	(91)
实验二十七	智力竞赛抢答器	(92)
实验二十八	电子记分牌	(94)

附录 A

常用电工电子仪表仪器简介	(96)
--------------------	------

附录 B

常用的电路及电子元器件简介	(119)
---------------------	-------

第一部分 电工实验

实验一 叠加定理与戴维南定理

一、实验目的

1. 通过实验验证叠加定理和戴维南定理。
2. 学会测定含源电路开路电压及二端无源电路等效电阻的方法。

二、实验原理

1. 叠加定理: 在线性电路中, 任一支路的电流或电压都等于电路中每一个独立电源单独作用时在该支路所产生的电流或电压的代数和。

2. 戴维南定理: 任何一个线性有源二端网络, 对外电路来说, 可用一个电压源和一个电阻相串联的有源电路来等效代替。该电压源的电压等于该有源二端网络的开路电压, 其内阻等于该有源二端网络化为无源二端网络后的等效电阻。

以上两定理分别用图 1-1 及图 1-2 来表示。

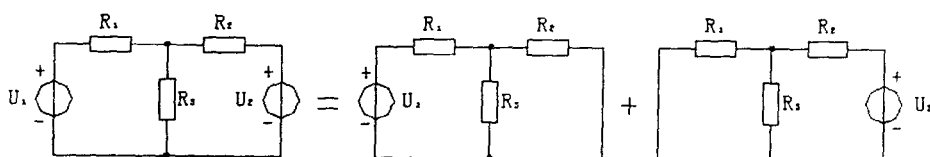


图 1-1 叠加定理

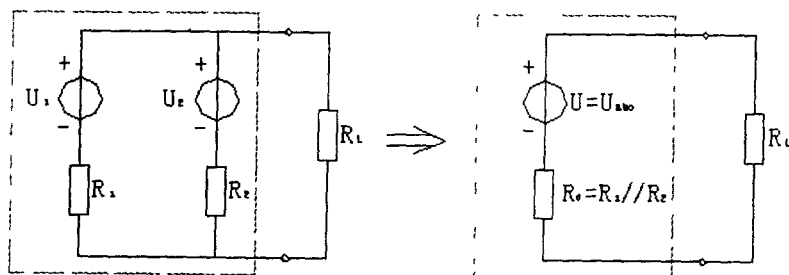


图 1-2 戴维南定理

三、实验内容

1. 叠加定理的验证

在直流电路实验板上,按图 1-3 连线,图中 U_1 、 U_2 由直流稳压电源供给,且 $U_1 = 20$ 伏, $U_2 = 25$ V。两路电源分别由开关 K_1 、 K_2 来控制。当开关拨至短路一侧时,说明该电源不作用于电路。

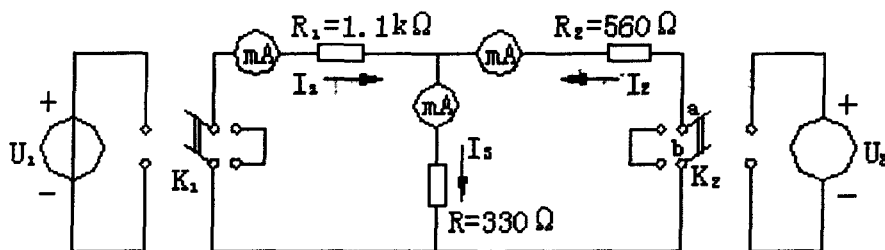


图 1-3 直流电路实验图

接好电路后,调节好电源,然后按表 1-1 的要求进行测试,并将数据填入此表中。

当 U_1 单独作用时,将开关 K_2 拨至短路端;而 U_2 单独作用时, K_1 拨至短路端。在测电流时,要注意电流的方向,以免将电流表的正负极按反而引起“打表”现象。

2. 戴维南定理的验证

① 测定有源二端网络的伏安特性

在图 1-3 的基础上,去掉 U_2 ,在 a 、 b 两端接一可变电阻箱作为负载电阻 R_L 。当改变 R_L 时,分别测出 R_L 两端的电压及流过 R_L 的电流,并按表 1-2 的要求将测试数据填入表中。

表 1-1

电源作用方式	I_1			I_2			I_3		
	测量值	计算值	误差	测量值	计算值	误差	测量值	计算值	误差
U_1 单独作用									
U_2 单独作用									
$U_1 + U_2$ 共同作用									

表 1-2

R_L (k Ω)		0.6	0.8	1.0	1.5	2	3
原电路	I						
	U						
等效电路	I						
	U						

② 测量有源二端网络的戴维南等效电路参数

a. 测量 a 、 b 两端的开路电压: 当有源二端网络的等效内阻 R_0 与电压表的内阻 R_v 相比较可以忽略不计时, 可用电压表直接量取 a 、 b 两端的电压 U_{ab0} (即将图 1-3 中的 U_2 去掉, 使 a 、 b 两端开路)。

b. 测量有源二端网络的等效内阻 R_0 。

方法一 外加电压法

将有源二端网络中的独立电源 U_1 去掉, 用短路线代替, 然后在 a 、 b 两端加一固定电压, 测量出 a 、 b 支路的电流值, 即等效内阻 $R_0 = \frac{U}{I}$ 。

方法二 短路电流法

分别测出 a 、 b 两端的开路电压 U_{ab0} 及短路电流 I_{sh} , 则等效电阻

$$R_0 = U_{ab0} / I_{sh}$$

方法三 两次电压测量法

先测出 a 、 b 两端的开路电压 U_{ab0} , 然后在 a 、 b 两端接一电阻 R_L , 测出 R_L 两端的电压 U_{RL} , 则等效电阻

$$R_0 = (U_{ab0} / U_{RL} - 1) R_L$$

c. 利用上述测得的 U_{ab0} 及 R_0 组成有源二端网络的戴维南等效电路, 如图 1-4 所示。当改变 R_L 时, 分别测出 R_L 两端电压及流过 R_L 的电流, 并将测试数据填入表 1-2 中。

四、实验报告

1. 认真整理好各表格数据, 并与理论值对比, 分析误差产生的原因。

2. 根据表 1-2 中的实验数据, 在同一坐标轴上分别绘制原电路与等效电路的 $U-I$ 曲线, 并进行比较分析。

3. 叙述戴维南定理适应的条件。

4. 请问上述的 $U-I$ 曲线是否跟负载电阻 R_L 有关, 为什么?

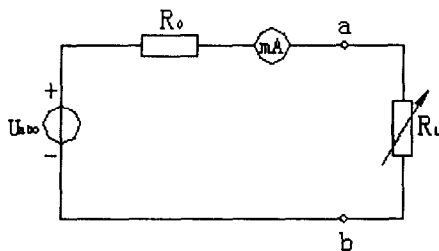


图 1-4 戴维南等效电路

实验二 RLC 串联谐振电路

一、实验目的

1. 观察串联谐振现象, 加深对串联谐振特性的了解。研究电路参数对谐振特性的影响。
2. 学习用点测法测量串联谐振电路的谐振曲线。
3. 了解电路品质因数的意义。

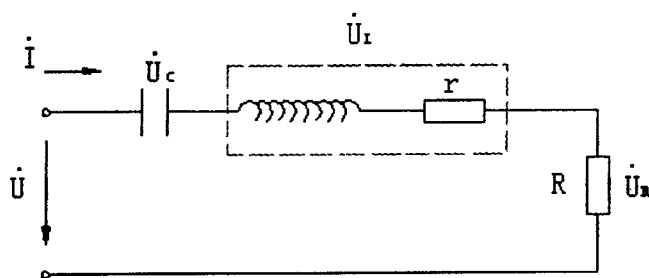


图 2-1

二、实验原理

1. 原理概述

在图 2-1 所示的 RLC 串联电路中, 外加角频率为 ω 的正弦电压 U 时, 电路中的电流

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R' + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

式中 $R' = R + r$, r 为线圈内阻, 在输入电压不变的条件下, 电流 I 的大小随频率而改变, 当 $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ 时电路发生谐振, 谐振的角频率为 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, 谐振频率 $f = 1/2(\pi\sqrt{LC})$ 。电路在谐振状态时, 谐振电流 $I_0 = \frac{U}{R'}$, 其品质因素 $Q = \frac{\omega L}{R'}$ 。

由此可见改变 L 、 C 或电源频率 f 都可以实现谐振, 本实验通过改变外加电压的频率使电路达到谐振。

2. 谐振特征

1) 串联电路的品质因素 $Q = \omega_0 L / R' = 1/(\omega_0 C R')$

电路在串联谐振时, 电流的大小与 Q 值无关, 而在其他频率下, Q 值愈大, 电流愈小,

串联谐振曲线的形状愈尖,说明选择性愈好。如图 2-2 所示。

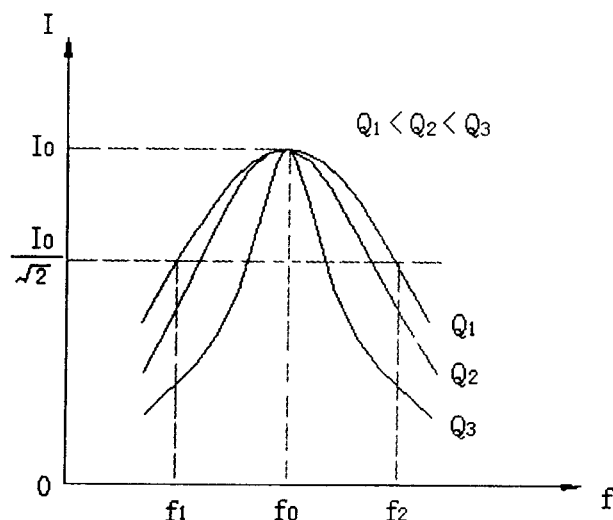


图 2-2 电流谐振曲线

2)RLC 串联电路中,电路发生谐振时,图 2-1 电路的复阻抗 $Z = R' + j(\omega L - 1/\omega C)$ $= R'$,电路呈纯电阻性,电路的阻抗角 $\varphi = \arctg[(\omega L - 1/(\omega C))/R']$,谐振时 $\varphi = 0$,电流与输入电压同相,当电源角频率从 0 增大到 ∞ 时, φ 与 ω 的关系曲线如图 2-3 所示,称为相频特性。

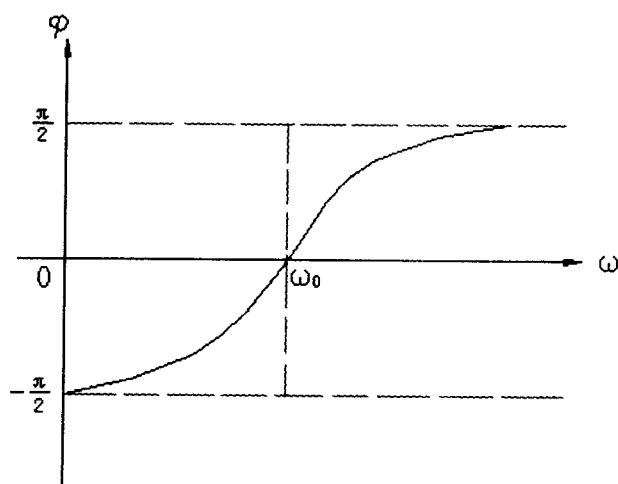


图 2-3 相频特性曲线

三、实验内容与步骤

1. 取电感 $L = 0.15\text{H}$,线圈内阻 r , R 为十进制式电阻箱,取值为 $R = 1000 - r(\Omega)$

C 为 $0.01\mu\text{F}$ 插线式电容,按图 2-4 所示连接测试电路图。

2. 调节谐振点

调节函数信号发生器,使输出频率大约为

$$f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC}) \text{ (理论值)}$$

输出电压 $\dot{U}$ 为 2V (用晶体管毫伏表测),作为 RLC 串联电路的输入电压 U 。

谐振时输入电压 $\dot{U}$ 与电路中的电流 $\dot{I}$ 同相,用双踪示波器同时观察 $\dot{U}$ 和 $\dot{U}_R$ (根据 $\dot{I}$ 与 $\dot{U}_R$ 同相) 的波形,逐渐改变 $\dot{U}$ 的频率,直到 $\dot{U}$ 与 $\dot{U}_R$ 同相,此时电路达到谐振其频率为谐振频率 f_0 ,记下 f_0 及 U_R 。

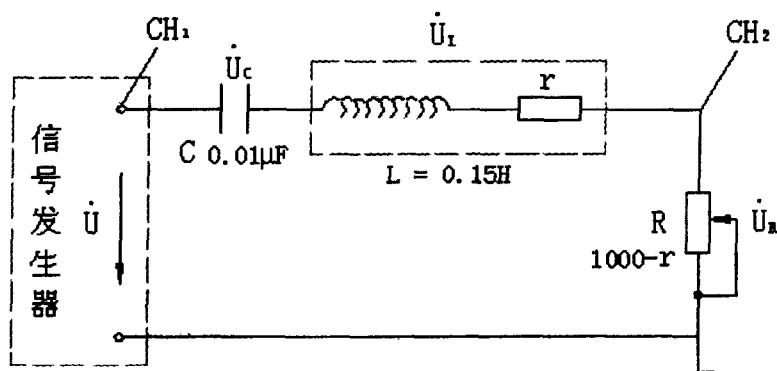


图 2-4 测试电路

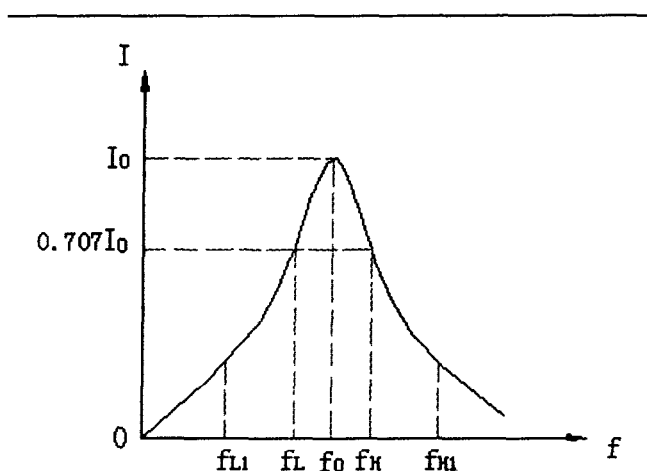


图 2-5 测试曲线

3. 测 f_L (f_H) 点: 由 f_0 点减小 (或增大) 信号频率, 电阻上的电压均随之下降, 当 U_{RL} (或

$U_{RH}) = 0.70 U_R$ 时, 信号源所对应的频率值即为 f_L (或 f_H), 记下 f_L (或 f_H) 及 U_{RL} (U_{RH}) 值。

4. 测 f_L, f_H 点: 取 $f_L = f_0 - 1\,000\text{Hz}$, $f_H = f_0 + 1\,000\text{Hz}$, 记下相应的 U_{RL} 和 U_{RH} 的值。

5. 完成下表的测试内容, 根据以上五点的测试值, 描绘电流谐振曲线 $I = F(f)$

注意: 以上测试过程中, 须始终保持信号源电压 $U = 2\text{V}$ 不变。

表 2-2

f (Hz)	测试点	$f_L - 1\,000$	f_L	f_0	f_H	$f_H + 1\,000$
	测试值					
U						
U_R						
U_L						
U_C						
$I = U_R/R$						
Q (品质因素)						
形波及 φ 角						

四、实验报告

1. 根据测试结果, 在坐标轴上绘出电流谐振曲线, 分析 LC 对谐振曲线的影响。
2. 根据表 2-2 的测试结果, 分别验算各点的 $U = U_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C$, 作出相应的相量图, 并根据所测值分析外施信号频率的变化对电路工作状态的影响。
3. 根据元件参数计算谐振频率 f_0 , 并同实测的 f_0 比较, 分析误差原因。

思考题

1. 实验中如何判断电路已处于谐振?
2. 测试过程中, 为什么输入电压 U 必须保持常量?
3. 在 RLC 串联电路中, 谐振时电流最大, 此时 U_C 与 U_L 是否最大? U_R, U_L, U_C 随 ω 增大时, 谁先达到最大值?

实验三 单相交流并联电路

一、实验目的

1. 研究并联电路总电流与各支路电流的关系。
2. 掌握提高功率因数的方法。
3. 了解并联谐振的特点。

二、实验原理

在用电设备中,大多数是电感性负载。本实验用变阻器与带铁芯的电感线圈(R 、 L)串联来模拟电感性负载,如图 3-1(a)所示。

一般电感性负载功率因数较低,通常采用并联适当的补偿电容来提高功率因数,如图 3-1(b)所示。

并联电容后,由于电感性负载电路的感性电流与电容支路的容性电流相互补偿,从而使总电流下降,功率因数也随之提高。当功率因数提高到 1 时,电路呈现并联谐振状态,其谐振频率。

$$f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})。$$

图 3-1

在图 3-1(a)中,未并入电容, $\dot{I}_2 = 0$, $P_1 = I_1 \cdot U \cos \varphi$, $I_1 = P_1 / (U \cos \varphi_1)$
 并接电容后,如图 3-1(b)所示,则

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2, \dot{I}_1 = \dot{U} / (R + jx_L), \dot{I}_2 = j\omega C \dot{U}$$

用相量图表示如 3-2 图所示。

从图上可看出:

$$\begin{aligned} I_2 &= I_1 \sin \varphi_1 - I \sin \varphi \\ &= P_1 \sin \varphi_1 / (U \cos \varphi_1) - P \sin \varphi / (U \cos \varphi) \\ &= P / U (\tan \varphi_1 - \tan \varphi) (\because P = P_1) \end{aligned}$$

$$\text{又 } \because I_2 = \omega C U$$

$$\therefore C = [P / (\omega U^2)] (\tan \varphi_1 - \tan \varphi)$$

此式说明功率因数从 $\cos \varphi_1$ 提高到 $\cos \varphi$ 需要并联的电容值。

从功率关系讲,应用并联电容提高功率因数,就是用电容的无功功率来补偿电感的无功功率。接入电容后,可以把本应由电源供给感性负载的无功功率的部分或全部改由电容器来分担,让电源有可能输出更多的有功功率提供给其它负载。

本实验中的电容采用电容箱。每个电容器连接一个开关。所有电容器均接成并联形式。几个电容器并联后,其总电容量等于各电容量之和。

图 3-3 是本实验的电路图。图中的功率表(W 表)及单相相位表($\cos\varphi$ 表)中的电压“ U_* ”和电流“ I_* ”要连接在一起。电压的量程要根据电路要求来选择。电流线圈的连接方式(串或并)要根据电路中电流的大小来决定。

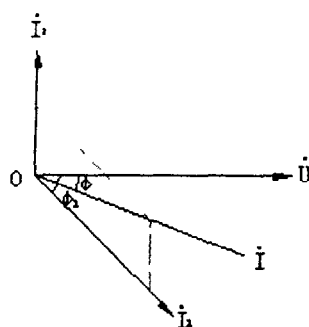


图 3-2

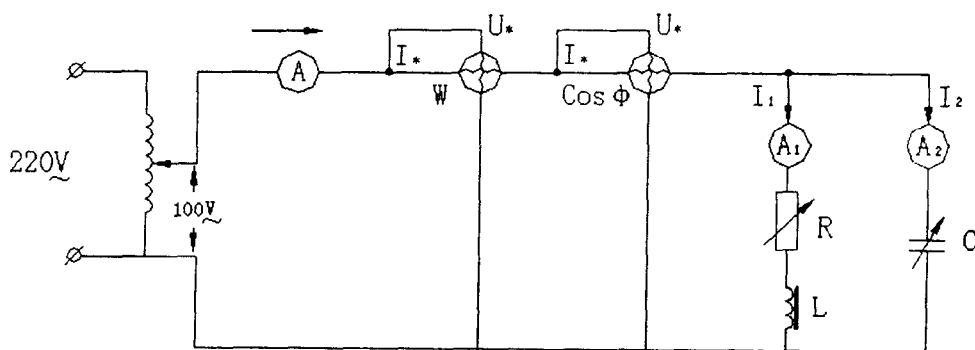


图 3-3 交流并联电路

$\cos\varphi$ 表在未通电时指针的位置是任意的,无需调节,通电后可直接读数。读出的值是相位超前还是滞后,请注意玻璃盖内的标记“超前”或“滞后”字样。

W 表在通电后,表上所显示的功率值并不能直接读出,而必须通过换算来求取。

$$P = (U_N I_N \cos\varphi / x_n) n$$

式中

U_N ——所接电压线圈的额定值(已标注在电压接线端旁)。

I_N ——电流线圈连接方式的额定电流值(已标注在表盒玻璃盖内)

x_n ——功率表刻度尺的满刻度数

n ——指针的偏转刻度数

$\cos\varphi$ ——功率表本身的功率因数(一般标注在表盒玻璃盖内)

三、实验内容

1. 按图 3-3 连线,先不接电容,调节滑线电阻 R ,使 $\cos\varphi = 0.6$ (滞后),然后根据表 3

-1 的要求进行测试,并将测试结果填入表中。

表 3-1

U (V)	I (A)	P (W)	$\cos\varphi$	U_L (V)	U_R (V)	$L_1 + (H)$
100			0.6			

2. 并入电容后,改变电容值,分别使 $\cos\varphi$ 由滞后 $\rightarrow 1 \rightarrow$ 超前,观测电路各参数的变化情况,根据表 3-2 的内容将测试结果填入表中。

表 3-2 超前

$\cos\varphi$	0.7	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.7
U (V)	100	100	100	100	100	100	100
C (μF)							
P (W)							
I (A)							
I_1 (A)							
I_2 (A)							

四、实验报告

1. 认真整理表格数据,并与理论值对比分析误差产生的原因。
2. 根据表 3-2 中的测试数据,在同一坐标轴上画出 $\cos\varphi$ 、 P 、 I 、 I_1 、 I_2 随电容 C 的变化曲线。
3. 总结并联谐振的特点。

五、注意事项

1. 注意安全,严禁带电接线或拆线。
2. 为了减少功率表测量误差,对于高阻抗负载,由于电压线圈的分流影响大,所以电压线圈应接在电流线圈之前;对于低阻抗负载,则由于电流线圈上的压降影响大,故电压线圈应接在电流线圈之后。

实验四 三相交流电路

一、实验目的

1. 掌握三相交流电路中负载在各种情况下的正确连接方法。
2. 验证三相负载作星形、三角形连接时, 负载的相电压和线电压、相电流和线电流之间的关系。
3. 了解不对称负载作星形连接时中线的作用。

二、实验原理

1. 在三相交流电路中, 负载有两种连接方法: 即星形连接与三角形连接, 它取决于电源电压与负载的额定电压。

目前我国的低压配电大多数为 380V 三相四线制系统。它们的线电压(U_L)与相电压(U_p)都是对称的, 其大小关系为

$$U_L = \sqrt{3} U_p$$

2. 负载作星形连接时, 相电流即为线电流。这时, 每相负载中电流的有效值为

$$I_A = U_A / |Z_A|, I_B = U_B / |Z_B|, I_C = U_C / |Z_C|。$$

当负载对称时, 负载的相电流也对称, 中线电流 $I_0 = 0$, 所以中线可以不接。此时

$$U_A = U_B = U_C, I_A = I_B = I_C$$

当负载不对称时, 中线电流 $I_0 \neq 0$, 所以中线不可去掉, 否则将使相电压不对称而导致负载无法正常工作。中线的作用就在于使星形连接的不对称负载的相电压保持对称。

3. 负载作三角形连接时, 负载的相电压和线电压相等, 且等于电源电压, 无论负载对称与否, 其相电压总是对称的, 即

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_p$$

线电流与相电流的关系

$$\dot{i}_A = \dot{i}_{AB} - \dot{i}_{CA} \quad \dot{i}_B = \dot{i}_{BC} - \dot{i}_{AB}$$

当负载对称时, 负载的线电流与相电流也是对称的, 且

$$I_L = \sqrt{3} I_p$$

4. 本实验采用灯箱(白炽灯)作为负载。由于白炽灯的额定电压为 220V。在作三角形连接时, $U_L = U_p = 380V$, 势必将白炽灯损坏。因而在实验前, 必须将电网电压通过调压器降低, 使 $U_L = 220V$ 。

三、实验内容

1. 负载作星形连接