

电工学习题及实验指导

(第二版)

石 家 庄 铁 道 大 学

2013.01

内容简介

全书内容分为二部分，第一部分为电工电子课程习题，包含电路基本概念和基本定律、电路的分析方法及电路定理、动态电路分析、正弦交流电路、三相交流电路、变压器、三相交流异步电动机、低压电器与继电接触控制和可编程控制器原理及应用等章节的典型习题。

第二部分为电工学课程实验指导。其中第一章对电工学实验课程的目的、意义、要求及误差分析等基本知识进行了介绍；第二章为电工学实验指导，包括直流电路的叠加原理与戴维南定理的验证、RL 串联电路及功率因数的提高、三相电路实验、异步电动机正反转控制、PLC 可编程控制器设计实验。

本书是供大土木各专业学生学习电工学课程而编写的，除可作为土木、交通、建筑、材料等专业的电工学课程习题指导和实验参考书之外，也适用于其他本科和高职、高专各专业进行自学和参考。

前 言

自 2002 年石家庄铁道学院《电工电子技术》被评为河北省首批精品课程以来，全体授课教师针对该课程进行了持续不断的课程改革和建设。先后完成“非电类电工与电子技术教学内容与方法改革”、“基于多计算机仿真技术的电路实验装置研究”、“非电类电工电子课程立体化改革研究”等多项教学改革和科学研究项目。从教学方法、教学手段、教学体系以及教学内容等方面都进行了持续不断的改革。本教材就是进行上述研究和实践的具体成果之一。

近年来由于我校部分学院进行了教学计划的修订和课程设置的调整，将 64 学时的《电工与电子技术》课程压缩到 40 学时，并且有的学院把该课由必修改为选修。因此，我们根据新的教学大纲和近几年的教学实践，以我院多年使用的《电工与电子技术实验》、《电工与电子技术习题集》两本教材为基础，编写了适合于非电类专业少学时教学的《电工学习题及实验指导》，全书由王小平、刘宁宁负责改编。在本次改编中作了如下工作：部分章节增加了选择填空题，对原书答案中的错误作了校正，对原教材中部分模糊的电路图重新进行了绘制，对部分较难的题作了提示，另外，还对部分章节的习题作了增删及顺序调整等；对实验部分也做了部分修改，使实验更具有操作性，安全性。

本书是依据教育部电工学课程指导组拟定的非电类电工、电子技术系列课程教学基本要求，针对目前非电类电工学课程教学现状并结合编者多年教学和实践经验以及教学改革成果编写而成。内容丰富而实用，既有典型习题，帮助学生掌握本课程的基本理论、基本知识和基本技能；又包括电工学实验必备的基础知识和电工实验两部分。实验中既包含了如直流电路等传统的实验项目，又有反映本学科最新技术发展的设计性、综合性实验，如 PLC 可编程控制器设计实验。基础实验可以帮助学生巩固和加深理解所学的知识，培养学生的实践技能和动手能力；综合性、设计性实验旨在培养学生面向工程问题的思维方法和设计能力。习题与实验的有机结合，既培养学生的解题能力和分析问题、解决问题的能力又贯穿了综合培养学生实际动手能力的指导思想。

限于编者学识和水平所限，书中难免存在缺点和疏忽，衷心欢迎使用本书的师生及其他读者批评指正。

编 者

2013. 01

目 录

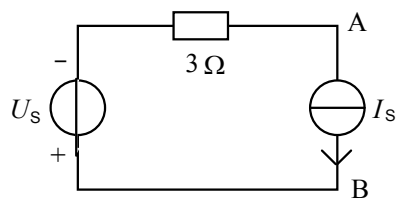
第一部分 电工学习题	1
第一章 电路基本概念和基本定律.....	1
第二章 电路的分析方法及电路定理.....	5
第三章 动态电路分析.....	9
第四章 正弦交流电路.....	11
第五章 三相交流电路.....	19
第六章 变压器.....	25
第七章 三相交流异步电动机.....	27
第八章 低压电器与继电接触控制.....	33
第九章 可编程控制器原理及应用.....	39
第二部分 电工学课程实验	41
第一章 电工电子实验课程基础知识.....	41
§ 1-1 电工电子实验课程的作用和意义	41
§ 1-2 电工电子实验课程的目的和要求	41
§ 1-3 电工电子实验过程的正确顺序	42
§ 1-4 电工电子实验设计的基本知识	43
§ 1-5 测量方法和误差分析	46
§ 1-6 实验操作规程与注意事项	50
第二章 电工课程实验.....	53
实验一 叠加原理与戴维宁定理的验证	53
实验二 感性负载功率因数的提高	57
实验三 三相交流电路电压、电流的测量	61
实验四 异步电动机正反转控制	65
实验五 PLC 可编程控制器设计.....	69

第一部分 电工学习题

第一章 电路基本概念和基本定律

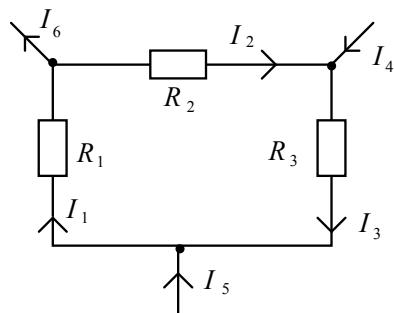
学院（系）_____班级_____姓名_____学号_____第 1 次

1-1 在图示电路中，已知 $U_s = 12\text{V}$ ， $I_s = 2\text{A}$ 。求 A、B 两点间的电压 U_{AB} ，并验证功率平衡；说明哪些元件是电源？哪些元件是负载？（答案： $U_{AB} = -18\text{V}$ ，电流源是电源，其余是负载。）



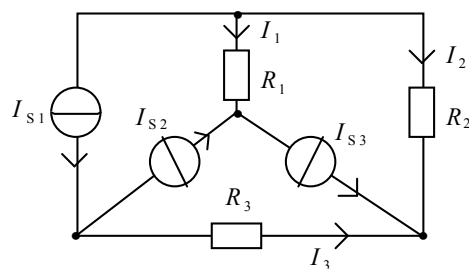
习题 1-1 图

1-2 图示电路中，已知 $I_1 = 11\text{mA}$ ， $I_4 = 12\text{mA}$ ， $I_5 = 6\text{mA}$ 。求 I_2 ， I_3 和 I_6 。（答案： $I_3 = 5\text{mA}$ ； $I_2 = -7\text{mA}$ ； $I_6 = 18\text{mA}$ ）



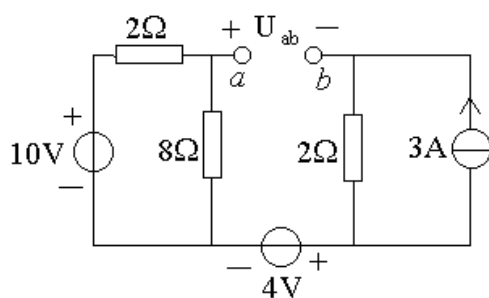
习题 1-2 图

1-3 图 示 电 路 中，已 知： $I_{S1}=3\text{A}$ ， $I_{S2}=2\text{A}$ ， $I_{S3}=1\text{A}$ ， $R_1=6\Omega$ ， $R_2=5\Omega$ ， $R_3=7\Omega$ 。用 基 尔 霍 夫 电 流 定 律 求 电 流 I_1 ， I_2 和 I_3 。（答案： $I_1=-1\text{A}$ ； $I_2=-2\text{A}$ ； $I_3=1\text{A}$ ）



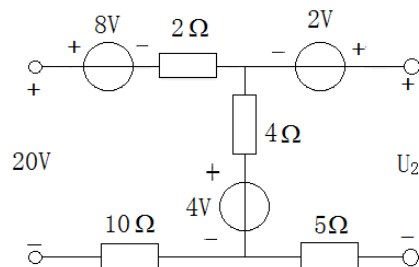
习题 1-3 图

1-4 求 下 图 所 示 电 路 中 的 开 路 电 压 U_{ab} 。（提示：先标出元件上电
流的参考方向和回路的绕行方向，以下同。答案： $U_{ab}=-2\text{V}$ ）



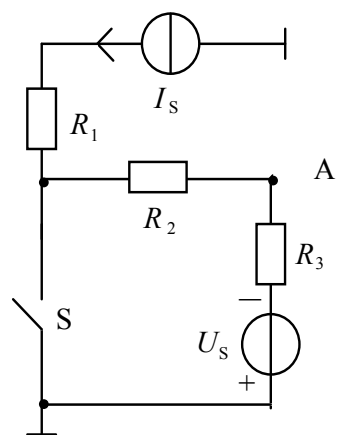
习题 1-4 图

1-5 在图示电路中，试计算开路电压 U_2 。（提示：画出回路的绕行方向；左侧的 $20V$ 相当于一个恒压源，右侧断开的支路没有电流。答案： $U_2 = 8V$ ）



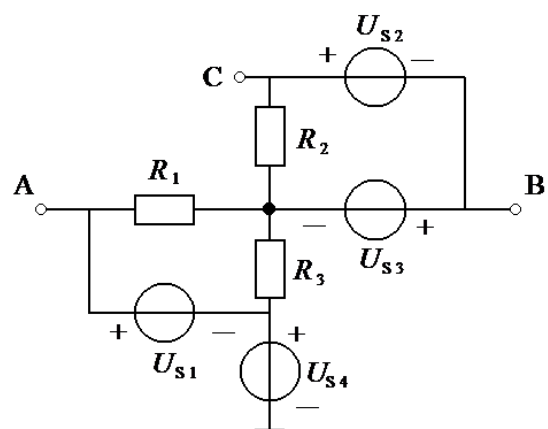
习题 1-5 图

1-6 图示电路中，已知： $I_s = 2A$ ， $U_s = 12V$ ， $R_1 = R_2 = 4\Omega$ ， $R_3 = 16\Omega$ 。求：(1) S 断开后 A 点电位 V_A ；(2) S 闭合后 A 点电位 V_A 。（答案：(1) $V_A = 20V$ ；(2) $V_A = -2.4V$ ）



习题 1-6 图

1-7 图 示 电 路 ， 已 知： $U_{S1}=15\text{ V}$ ， $U_{S2}=16\text{ V}$ ， $U_{S3}=12\text{ V}$ ， $U_{S4}=10\text{ V}$ ， $R_1=50\ \Omega$ ， $R_2=40\ \Omega$ ， $R_3=100\ \Omega$ 。 计 算 电 位 V_A ， V_B 和 V_C 。（提 示： 由 广 义 的 KCL 可 知： R_1 、 R_3 、 U_{S1} 流 过 相 同 的 电 流。 答 案： $V_A=25\text{ V}$ ， $V_B=32\text{ V}$ ， $V_C=48\text{ V}$ ）

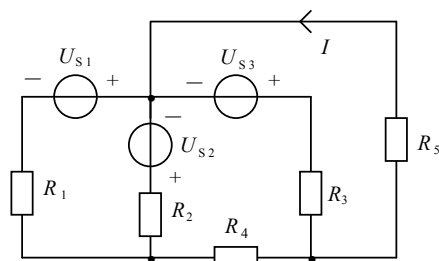


习题 1-7 图

第二章 电路的分析方法及电路定理

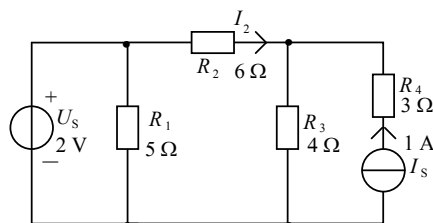
学院(系) _____ 班级 _____ 姓名 _____ 学号 _____ 第 1 次

2-1 图 示 电 路 中 , 已 知 : $U_{S1} = 15V$, $U_{S2} = 5V$, $U_{S3} = 70V$, $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = R_3 = 10\Omega$, $R_4 = 2.25\Omega$, $R_5 = 15\Omega$ 。试 用 电 源 等 效 变 换 法 求 电 流 I 。
(提示 : 把 电 路 经 过 几 次 变 换 后 最 终 等 效 变 换 为 单 回 路 。 答 案 : $I = 1.15 A$ 。)



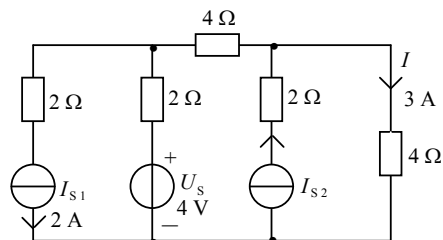
习题 2-1 图

2-2 用 电 源 等 效 变 换 法 求 图 示 电 路 中 的 电 流 I_2 。
(提示 : 与 恒 流 源 串 联 的 任 何 元 件 对 外 均 可 等 效 为 恒 流 源 ; 与 恒 压 源 并 联 的 任 何 元 件 对 外 均 可 等 效 为 恒 压 源 , 以 下 同 。
答 案 : $I_2 = -0.2 A$)



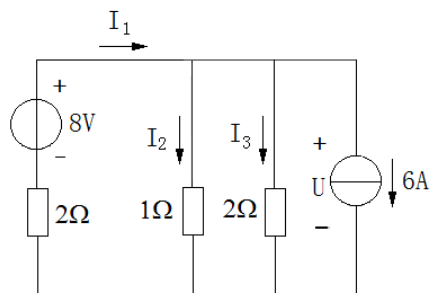
习题 2-2 图

2-3 用电源等效变换法求图示电路中的 I_{S2} 。(答案: $I_{S2} = 5 \text{ A}$)



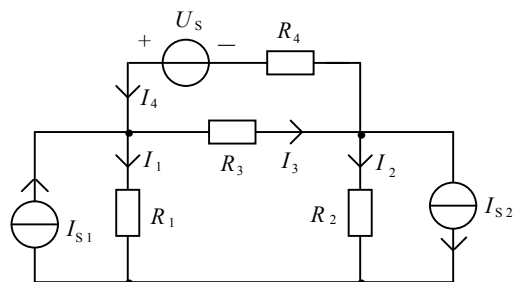
习题 2—3 图

2-4 用支路电流法求图中电流 I_1 , I_2 , I_3 和电压 U , 并说明电压源和电流源是发出功率还是吸收功率。(答案: $I_1 = 4.5 \text{ A}$; $I_2 = -1 \text{ A}$; $I_3 = -0.5 \text{ A}$; $U = -1 \text{ V}$, 电压源和电流源都发出功率)



习题 2-4 图

2-5 图示电路中, 已知: $U_S = 30 \text{ V}$, $I_{S1} = 10 \text{ A}$, $I_{S2} = 5 \text{ A}$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 3 \Omega$ 。试用支路电流法求各未知支路电流。
(答案: $I_1 = 6 \text{ A}$, $I_2 = -1 \text{ A}$, $I_3 = 7 \text{ A}$, $I_4 = 3 \text{ A}$)

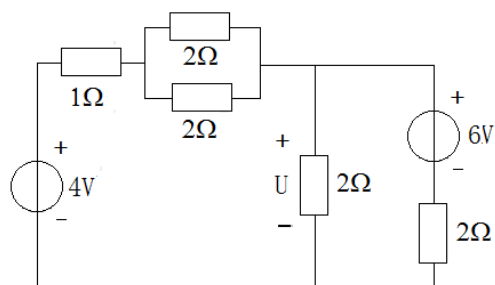


习题 2-5 图

第二章 电路的分析方法及电路定理

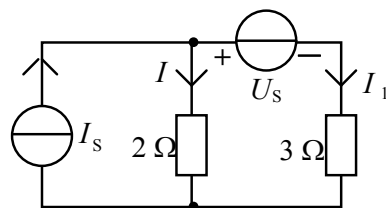
学院（系）_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____ 第 2 次

2-6 用结点电压法求图中的电压 U 。（答案： $U = \frac{10}{3}V$ ）



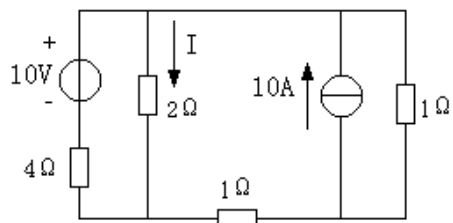
习题 2-6 图

2-7 图 示 电 路 中，已 知： $U_S = 15V$ ，当 I_S 单独作用时， 3Ω 电阻中电流 $I_1 = 2A$ ，那么当 I_S 、 U_S 共同作用时，求 2Ω 电阻中电流 I 。（答案： $I = 6A$ ）



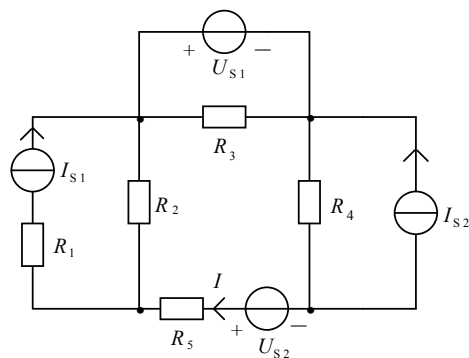
习题 2-7 图

2-8 用 叠 加 定 理 求 图 中 电 路 中 的 I 。（答案： $I = 3A$ ）



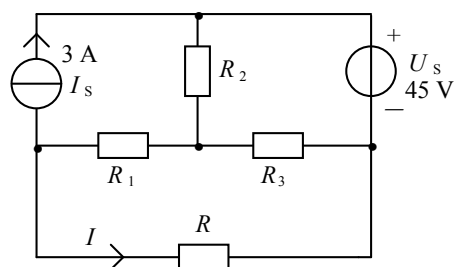
习题 2-8 图

2-9 图示电路中，已知： $U_{S1} = 2\text{ V}$ ， $U_{S2} = 2\text{ V}$ ， $I_{S1} = 1\text{ A}$ ， $I_{S2} = 4\text{ A}$ ， $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 2\ \Omega$ 。用戴维宁定理求电流 I 。（答案： $U_O = -8\text{ V}$ ； $R_O = 4\ \Omega$ ； $I = -1\text{ A}$ ）



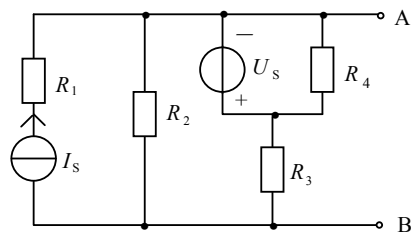
习题 2-9 图

2-10 图示电路中，已知： $R_1 = 4\ \Omega$ ， $R_2 = 6\ \Omega$ ， $R_3 = 12\ \Omega$ ， $R = 16\ \Omega$ 。用戴维宁定理求电流 I 。（答案： $U_O = 6\text{ V}$ ； $R_O = 8\ \Omega$ ； $I = 0.25\text{ A}$ ）



习题 2-10 图

2-11 图示电路中，已知： $U_S = 30\text{ V}$ ， $I_S = 4\text{ A}$ ， $R_1 = 1\ \Omega$ ， $R_2 = 3\ \Omega$ ， $R_3 = R_4 = 6\ \Omega$ 。求 A, B 两端的戴维宁等效电压源。（答案： $U_{AB} = -2\text{ V}$ ； $R_O = 2\ \Omega$ ，最后要画出 AB 端的等效电压源模型。）

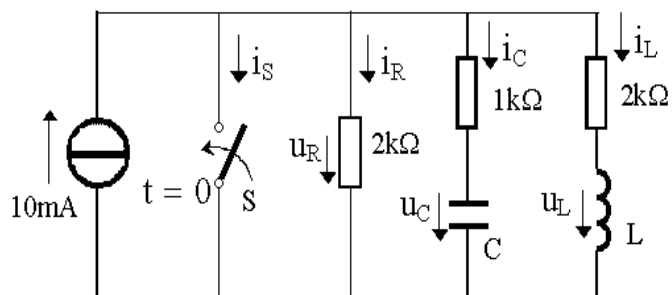


习题 2-11 图

第三章 动态电路分析

学院（系）_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____ 第 1 次

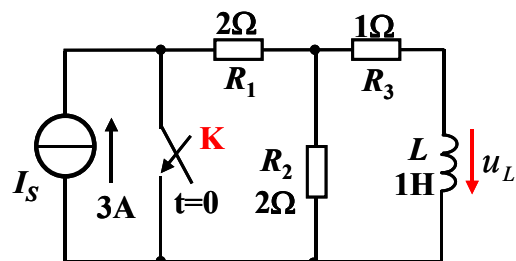
3-1 试确定如图电路在开关 S 闭合后的初始值。（答案： $i_L = 5mA$ $u_C = 10V$ ）。



习题 3-1 图

3-2 已知：K 在 $t=0$ 时闭合，换路前电路处于稳态。求：电感电压 $u_L(t)$ 。（答案：

$$u_L(t) = -4 e^{-2t} \text{V}$$



习题 3-2 图

第四章 正弦交流电路

学院（系）_____班级_____姓名_____学号_____第 1 次

4-1 有一正弦电压 $u = 311\sin(100\pi t + \frac{\pi}{3})$ V，试求（1）角频率 ω 、频率 f 、周期 T 、有效值 U 和初相位 φ_u ；（2） $t = 0$ 和 $t = 0.1$ s 时电压的瞬时值；（3）画出电压的波形图。

（答案：（1） 314 rad/s ； 50 Hz ； 0.02 s ； 220 V ； $\varphi_u = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$

（2） $u_{(t=0)} = u_{(t=0.1)} = 269.3 \text{ V}$ ）

4-2 已知 $i_1 = 10\sin(314t + 30^\circ) \text{ A}$ ， $i_2 = 10\sin(314t - 60^\circ) \text{ A}$ ， $i = i_1 + i_2$ 。试用相量法求 i ，并画出三个电流的相量图。（提示： $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$ 。答案： $i = 10\sqrt{2}\sin(314t - 15^\circ) \text{ A}$ ）

4-3 判断下述表达式的正误，对错误的表达式加以改正。

(1)、 $u = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$, $u = u_1 + u_2$, $U = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$;

(2)、 $\dot{U} = 50 e^{j15^\circ} = 50\sqrt{2} \sin(\omega t + 15^\circ) V$;

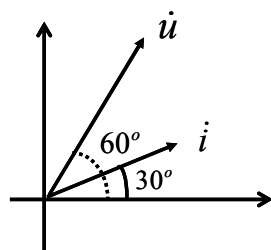
(3)、已知 $i = 10 \sin(\omega t + 45^\circ) A$, 则 $I = \frac{10}{\sqrt{2}} \angle 45^\circ$, $\dot{I}_m = 10 e^{45^\circ}$;

(4)、已知 $\dot{I} = 100 \angle 25^\circ$, 则 $i = 100 \sin(\omega t + 25^\circ) A$;

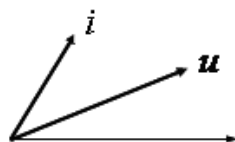
(5)、 $\dot{U} = -3 - j4(V)$, $u = 5\sqrt{2} \sin(\omega t + 53.1^\circ) V$;

(6)、 $\dot{U} = -3 + j4(V)$, $u = 5\sqrt{2} \sin(\omega t - 53.1^\circ) V$ 。

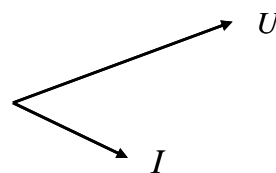
4-4 判断下述相量图是否正确，如果有错误请加以改正。



(1)



(2)



(3)

第四章 正弦交流电路

学院（系）_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____ 第 2 次

4-5 电压 $u = 220\sqrt{2} \sin 314t \text{ V}$ ，分别作用在（1） $R = 100 \Omega$ ；（2） $L = 0.5 \text{ H}$ ；（3） $C = 10 \mu\text{F}$ 的元件上。试求 i_R 、 i_L 、 i_C ，并画出相量图。（答案： $i_R = 2.2\sqrt{2} \sin 314t \text{ A}$ ； $i_L = 1.4\sqrt{2} \sin(314t - 90^\circ) \text{ A}$ ； $i_C = 0.69\sqrt{2} \sin(314t + 90^\circ) \text{ A}$ ）

4-6 一个电感线圈接在 $U = 120 \text{ V}$ 的直流电源上，电流为 20 A ，若接在 $f = 50 \text{ Hz}$ ， $U = 220 \text{ V}$ 的交流电源上，则电流为 28.2 A ，求该线圈的电阻和电感。（提示：电感线圈接交流电时 $\frac{U}{I} \neq X_L$ 。答案： $R = 6 \Omega$ ； $L = 15.9 \text{ mH}$ ）

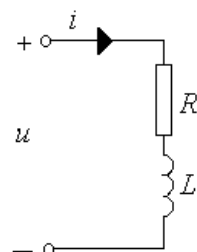
4-7 在 R - L - C 串联的正弦交流电路中，判断下述表达式的正误，对错误的表达式加以改正。

$$(1)、i = \frac{u}{|Z|}, \quad I = \frac{U}{Z}$$

$$(2)、U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2 + U_C^2}$$

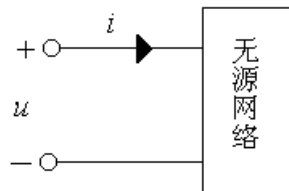
$$(3)、\varphi = \lg^{-1} \frac{U_L - U_C}{U}, \quad \varphi = \lg^{-1} \frac{\omega L - \omega C}{R}$$

4-8 如图所示电路中 $R = 4 \Omega$ ，频率 $f = 50 \text{ Hz}$ 时，电路的功率 $P = 16 \text{ W}$ ，功率因数 $\lambda = 0.8$ ，求 $f = 25 \text{ Hz}$ 时电路的电流 I' ，有功功率 P' ，无功功率 Q' 和视在功率 S' 。（答案： $I' = 2.34 \text{ A}$ ； $P' = 21.9 \text{ W}$ ； $Q' = 8.21 \text{ Var}$ ； $S' = 23.4 \text{ VA}$ ）



习题 4-8 图

4-9 无源二端网络如图所示，输入端电压 $u = 220\sqrt{2} \sin(314t + 20^\circ) \text{ V}$ ，电流 $i = 4.4\sqrt{2} \sin(314t - 33^\circ) \text{ A}$ ，求该二端网络的等效电路（两个元件串联）和元件参数值；并求二端网络的功率因数及输入的有功功率和无功功率。（答案： $R = 30 \Omega$ ； $L = 0.127 \text{ H}$ ； $\cos \varphi = 0.6$ ； $P = 580.8 \text{ W}$ ； $Q = 773 \text{ Var}$ ）



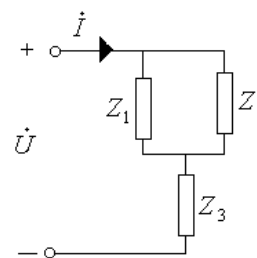
习题 4-9 图

第四章 正弦交流电路

学院(系)_____班级_____姓名_____学号_____第 3 次

4-10 在图示电路中，电源电压 $\dot{U} = 220/\underline{0}^\circ \text{ V}$ ，阻抗 $Z_1 = 4.4 + j2.65 \Omega$ ， $Z_2 = 21.69 - j12.6 \Omega$ ， $Z_3 = 1.5 + j2.6 \Omega$ 求电路的有功功率，无功功率和视在功率。

(答案: $P = 5.39 \text{ kW}$; $Q = 4 \text{ kVar}$; $S = 6.71 \text{ kVA}$)

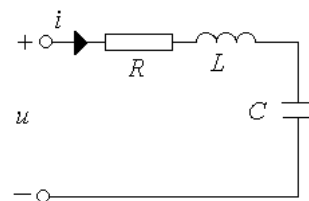


习题 4-10 图

4-11 图示电路中， $u = 100\sqrt{2} \sin 314t \text{ V}$ ， $R = 30 \Omega$ ， $X_L = 40 \Omega$ ， $X_C = 80 \Omega$ 。

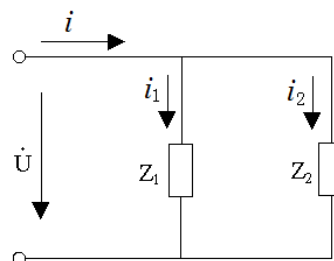
(1) 求电流 i 及功率因数 λ ；(2) 若 u 的有效值不变，调节其频率使电路谐振，求谐振时的电流 I_0 及谐振频率 f_0 。(答案: (1) $i = 2\sqrt{2} \sin(314t + 53.1^\circ) \text{ A}$; $\lambda = 0.6$ (2)

$I_0 = 3.33 \text{ A}$; $f_0 = 70.6 \text{ Hz}$)



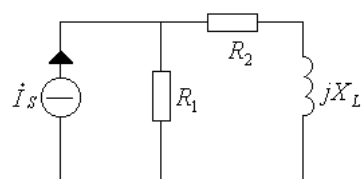
习题 4-11 图

4-12 在图示电路中，已知： $Z_1 = 12 + j16 \Omega$ ， $Z_2 = 10 - j20 \Omega$ ， $\dot{U} = 120 + j160 \text{ V}$ ，求各支路电流 \dot{I} 、 \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 ，总有功功率 P 及总功率因数 $\cos \varphi$ ，作电压、电流相量图。（答案： $\dot{I} = 10 / \underline{53.13}^\circ \text{ A}$ ， $\dot{I}_1 = 10 / \underline{0}^\circ \text{ A}$ ， $\dot{I}_2 = 8.94 / \underline{116.56}^\circ \text{ A}$ ， $P = 2000 \text{ W}$ ， $\cos \varphi = 1$ ）



习题 4-12 图

4-13 图示电路中， $R_2 = 48 \Omega$ ， $X_L = 36 \Omega$ ， R_1 、 R_2 所消耗的有功功率 $P_1 = P_2 = 1.5 \text{ W}$ ，求 R_1 及电流源的电流有效值 I_S 。（提示：标出电流的参考方向，注意：有效值 $I_S \neq I_{R1} + I_{R2}$ 。答案： $R_1 = 75 \Omega$ ； $I_S = 0.303 \text{ A}$ ）



习题 4—13 图

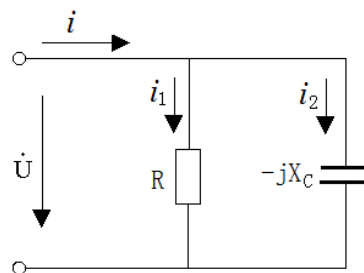
第四章 正弦交流电路

学院（系）_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____ 第 4 次

4-14 在图示电路中，电流有效值 $I = 5\text{ A}$ ， $I_2 = 3\text{ A}$ ， $R = 25\ \Omega$ ，求电路的阻抗 $|Z|$ 为

多少？（提示： $|Z| \neq \frac{R \cdot X_L}{R + X_L}$ ，以电压为参考相量，利用相量图求解比较简单。答案：

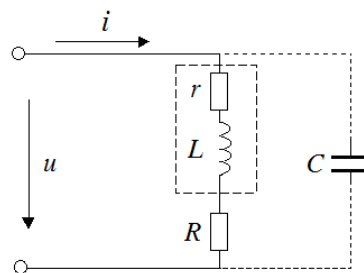
$|Z| = 20\ \Omega$ ）



习题 4-14 图

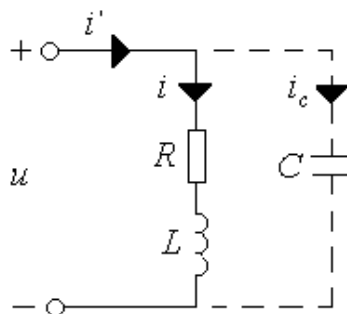
4-15 日光灯电路如图所示，灯管电阻 $R = 530\ \Omega$ ，镇流器电阻 $r = 120\ \Omega$ ，电感 $L = 1.9\text{ H}$ ，接在 220 V ， 50 Hz 交流电源上，求电路电流；灯管电压；镇流器电压； P 、 Q 、 S 及 $\cos \varphi_1$ ，要把电路功率因数提高到 $\cos \varphi = 0.85$ ，问在日光灯两端应并多大电容？

（答案： $I = 0.25\text{ A}$ ， $U_R = 132.16\text{ V}$ ， $U_{rL} = 152.14\text{ V}$ ， $P = 40.63\text{ W}$ ， $Q = 37.29\text{ Var}$ ， $S = 55.15\text{ VA}$ ， $\cos \varphi_1 = 0.74$ ， $C = 0.8\ \mu\text{F}$ ）



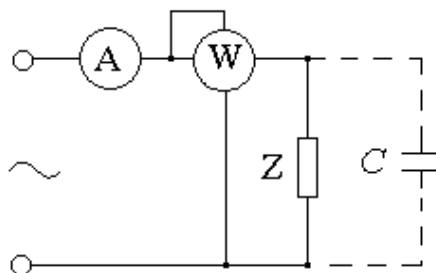
习题 4-15 图

4-16 在图示 R、L 串联电路中, 已知 $i = 2.82\sqrt{2} \sin 314t \text{ A}$, $R = 60 \Omega$, $L = 0.255 \text{ H}$, 求 (1) 若在电路两端并联 $C = 11.3 \mu\text{F}$ 的电容, 电源供出电流的有效值变化了多少? (2) 并联电容后的功率因数。(答案: (1) $\Delta I = 0.71 \text{ A}$; (2) $\lambda' = 0.8$)



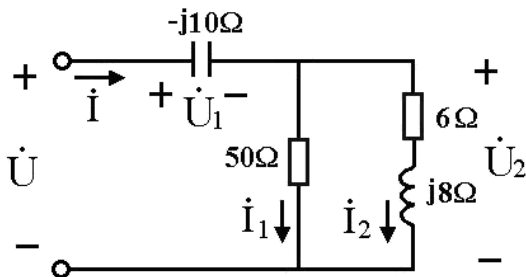
习题 4-16 图

4-17 一用电设备 (电感性负载) 接于 220 V 的交流电源上, 如图所示, 电源频率 $f = 50 \text{ Hz}$, 电流表和功率表测得的电流 $I = 0.41 \text{ A}$, 功率 $P = 40 \text{ W}$ 。试求 (1) 该电器设备的功率因数 λ ; (2) 因该电器设备是电感性负载, 故可用并联电容器 C 来提高整个电路的功率因数。若 $C = 4.75 \mu\text{F}$, 电流表的读数和整个电路的功率因数为多少? (答案: (1) $\lambda = 0.4435$; (2) $I' = 0.186 \text{ A}$; $\lambda' = 0.977$)



习题 4-17 图

4-18 已知电路及元件参数, $u_2 = 100\sqrt{2}\sin\omega t \text{ V}$, (1) 求 \dot{I}_1 、 \dot{I}_2 、 \dot{I} 、 \dot{U}_1 及 \dot{U} ; (2) 求 P 、 Q 、 S 。 ($\dot{U}_2 = 100\angle 0^\circ \text{ V}$, $\dot{I}_1 = 2\angle 0^\circ \text{ A}$, $\dot{I}_2 = 10\angle -53^\circ \text{ A}$, $\dot{I} = 11.3\angle -45^\circ \text{ A}$, $\dot{U}_1 = 113\angle -135^\circ \text{ V}$, $\dot{U} = 82.5\angle -76.0^\circ \text{ V}$, $\varphi = -31^\circ$, $P \approx 800 \text{ W}$, $Q \approx -480 \text{ Var}$, $S \approx 932 \text{ VA}$)



习题 4-18 图

第五章 三相交流电路

学院（系）_____班级_____姓名_____学号_____第 1 次

5-1 当发电机的三相绕组联成星形时，设线电压 $u_{AB} = 380\sqrt{2} \sin(\omega t + 45^\circ) \text{V}$ ，试写出相电压 u_A 、 u_B 、 u_C 的三角函数式。

（答案： $u_A = 220\sqrt{2} \sin(\omega t + 15^\circ) \text{V}$ ， $u_B = 220\sqrt{2} \sin(\omega t - 105^\circ) \text{V}$ ，

$u_C = 220\sqrt{2} \sin(\omega t + 135^\circ) \text{V}$ 。）

5-2 额定电压为 220V 的三个单相负载, 每相负载 $R=3\ \Omega$, $X_C=4\ \Omega$, 已知电源电压 $u_{AB}=380\sqrt{2}\sin\omega t\text{ V}$, 求: (1) 负载应如何连接? (2) 求各线电流瞬时值;

(答案: (1) Y 接; (2) $Z=R-jX_C=5\angle-53.1^\circ\ \Omega$, $\dot{U}_{AB}=380\angle0^\circ\text{ V}$,
 $i_A=44\sqrt{2}\sin(\omega t+23.1^\circ)\text{ A}$, $i_B=44\sqrt{2}\sin(\omega t-96.9^\circ)\text{ A}$, $i_C=44\sqrt{2}\sin(\omega t+143.1^\circ)\text{ A}$)

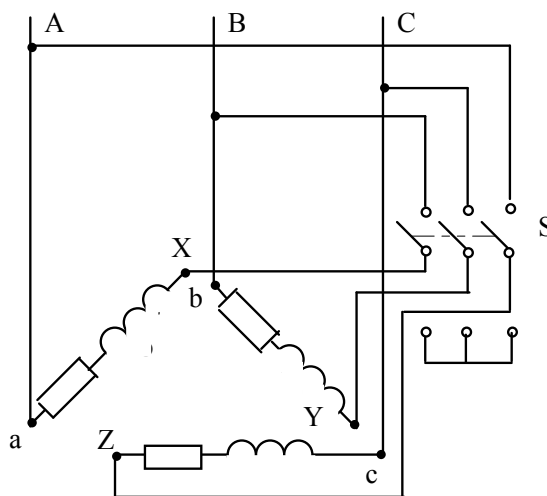
第五章 三相交流电路

学院(系) _____ 班级 _____ 姓名 _____ 学号 _____ 第 2 次

5-3 一台 50 Hz 的三相对称电源, 向星形连接的对称感性负载提供 30 kVA 的视在功率和 15 kW 的有功功率, 已知负载线电流为 45.6 A。求感性负载的参数 R , L 。(答案: $R = 2.41\Omega$, $X_L = 4.17\Omega$,

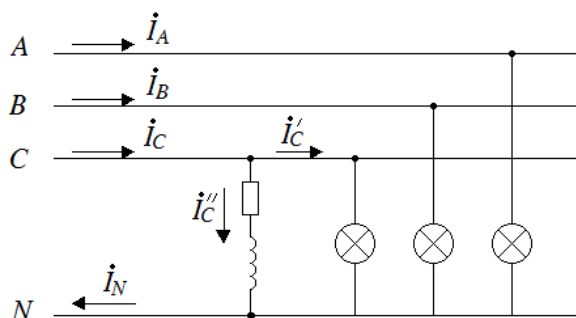
$$L = \frac{X_L}{\omega} = 13.3 \times 10^{-3} \text{ H})$$

5-4 图示电路中, 对称三相负载各相的电阻为 80Ω , 感抗为 60Ω , 电源的线电压为 380 V。当开关 S 投向上方和投向下方两种情况时, 三相负载消耗的有功功率各为多少?(答案: (1) S 向上, 负载接成 Δ , 则 $U_{p\Delta} = U_{l\Delta} = 380 \text{ V}$, $I_{p\Delta} = 3.8 \text{ A}$, $P_{\Delta} = 3.47 \text{ kW}$; (2) S 向下, 将负载接成 Y, $U_{pY} = 220 \text{ V}$, $I_{pY} = 2.2 \text{ A}$, $P_Y = 1.16 \text{ kW}$)



习题 5-4 图

5-5 在图示电路中，三相四线制电源电压为 $380\text{V}/220\text{V}$ ，接有对称星形连接的白炽灯负载，其总功率为 180W ，此外，在 C 相上接有额定电压为 220V ，功率为 40W ，功率因数为 $\cos\varphi=0.5$ 的日光灯一支。试求 \dot{I}_A 、 \dot{I}_B 、 \dot{I}_C 、 \dot{I}_N 。设 $\dot{U}_A=220/\underline{0^\circ}\text{V}$ 。（答案： $\dot{I}_A=0.273/\underline{0^\circ}\text{A}$ ， $\dot{I}_B=0.273/\underline{-120^\circ}\text{A}$ ， $\dot{I}_C=0.553/\underline{85.3^\circ}\text{A}$ ， $\dot{I}_N=0.364/\underline{60^\circ}\text{A}$ ）



习题 5-5 图

5-6 三相四线制 380V 电源供电给三层大楼，每一层作为一相负载，装有数目相同的 220V 的日光灯和白炽灯，每层总功率 2000W ，总功率因数皆为 0.91 。试求（1）负载如何接入电源？并画出线路图；（2）求全部满载时的线电流及中线电流；（3）如第一层仅用 $1/2$ 的电灯，第二层仅用 $3/4$ 的电灯，第三层满载，各层的功率因数不变，问各线电流和中线电流为多少？（答案： $I_l=10\text{A}$ ； $I_N=0$ ；（3） $I_A=5\text{A}$ ； $I_B=7.5\text{A}$ ； $I_C=10\text{A}$ ； $I_N=4.33\text{A}$ ）

5-7 在一对 称 三 相 交 流 电 源 上 连 接 的 三 角 形 接 法 的 三 相 对 称 负 载, 不 改 变 元 件 参 数 改 接 成 星 形。试 求: (1) 两 种 接 法 的 线 电 流 比

$I_{\Delta l}/I_{Y l}$; (2) 两 种 接 法 的 有 功 功 率 之 比 P_{Δ}/P_Y 。(答案: $\frac{I_{\Delta l}}{I_{Y l}}=3, \frac{P_{\Delta}}{P_Y}=3$)

5-8 三 角 形 连 接 的 三 相 对 称 感 性 负 载 由 $f=50\text{ Hz}$, $U_l=220\text{ V}$ 的 三 相 对 称 交 流 电 源 供 电, 已 知 电 源 供 出 的 有 功 功 率 为 3 kW , 负 载 线 电 流 为 10 A , 求 各 相 负 载 的 R, L 参 数。(答案: $R=30\Omega, X_L=23.5\Omega, L=75\text{mH}$)

5-9 单 项 选 择 题

1. 在 三 相 交 流 电 路 中, 负 载 对 称 的 条 件 是 ()。

(a) $|Z_A|=|Z_B|=|Z_C|$ (b) $\varphi_A=\varphi_B=\varphi_C$ (c) $Z_A=Z_B=Z_C$

2. 某 三 角 形 连 接 的 三 相 对 称 负 载 接 于 三 相 对 称 电 源, 线 电 流 与 其 对 应 的 相 电 流 的 相 位 关 系 是 ()。

(a) 线 电 流 导 前 相 电 流 30° (b) 线 电 流 滞 后 相 电 流 30°

(c) 两 者 同 相

3. 作 星 形 连 接 有 中 线 的 三 相 不 对 称 负 载, 接 于 对 称 的 三 相 四 线 制 电 源 上, 则 各 相 负 载 的 电 压 ()。

(a) 不 对 称 (b) 对 称 (c) 不 一 定 对 称

4. 对 称 三 相 电 路 的 无 功 功 率 $Q=\sqrt{3}U_l I_l \sin \varphi$, 式 中 角 φ 为 ()。

(a) 线 电 压 与 线 电 流 的 相 位 差 角 (b) 负 载 阻 抗 的 阻 抗 角

(c) 负 载 阻 抗 的 阻 抗 角 与 30° 之 和

5. 某三相对称电路的线电压 $u_{AB} = U_l \sqrt{2} \sin(\omega t + 30^\circ) V$, 线电流 $i_A = I_l \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi) A$, 正相序。负载连接成星形, 每相复阻抗 $Z = |Z| \angle \varphi$ 。该三相电路的有功功率表达式为 ()。

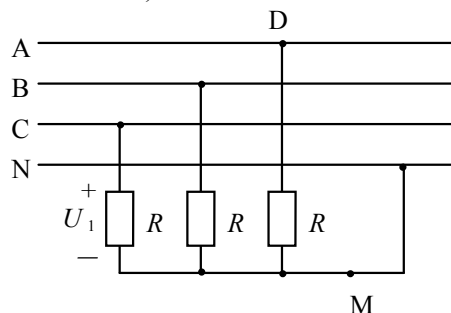
- (a) $\sqrt{3} U_l I_l \lambda$ (b) $\sqrt{3} U_l I_l \cos(30^\circ + \varphi)$ (c) $\sqrt{3} U_l I_l \cos 30^\circ$

6. 某三相电源的电动势分别为 $e_A = 20 \sin(314t + 16^\circ) V$, $e_B = 20 \sin(314t - 104^\circ) V$, $e_C = 20 \sin(314t + 136^\circ) V$, 当 $t = 25 s$ 时, 该三相电动势之和为 ()。

- (a) 20 V (b) $\frac{20}{\sqrt{2}} V$ (c) 0 V

7. 对称星形负载接于线电压为 380 V 的三相四线制电源上, 如图所示。当 M 点和 D 点同时断开时, U_1 为 ()。

- (a) 220 V
(b) 380 V
(c) 190 V



8. 在某对称星形连接的三相负载电路中, 已知线电压 $u_{AB} = 380 \sqrt{2} \sin \omega t V$, 则 C 相电压有效值相量 $\dot{U}_C =$ ()。

- (a) $380 \angle 90^\circ$ (b) $220 \angle 90^\circ$ (c) $220 \angle -90^\circ$

9. 某三角形联接的纯电容负载接于三相对称电源上, 已知各相容抗 $X_C = 6 \Omega$, 线电流为 10 A, 则三相视在功率 ()。

- (a) 1800 VA (b) 600 VA (c) 600 W

10. 三个额定电压为 380 V 的单相负载, 当用线电压为 380 V 的三相四线制电源供电时应接成 () 形。

- (a) Y (b) Δ (c) Y 或 Δ 均可

11. 作三角形连接的三相对称负载, 均为 RLC 串联电路, 且 $R = 10 \Omega$, $X_L = X_C = 5 \Omega$, 当相电流有效值为 $I_P = 1 A$ 时, 该三相负载的无功功率 $Q =$ ()。

- (a) 15 Var (b) 30 Var (c) 0 Var

(答案: 1. c; 2. b; 3. b; 4. b; 5. a; 6. c; 7. c; 8. b; 9. b; 10. b; 11. c)

第六章 变压器

学院(系) _____ 班级 _____ 姓名 _____ 学号 _____ 第 1 次

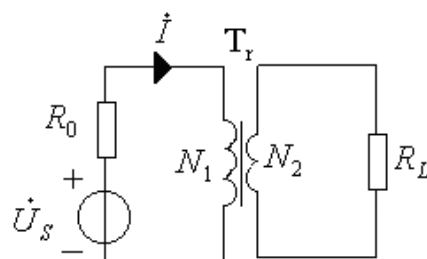
6-1 有一单相照明变压器，容量为 10 kVA，额定电压为 3300 V/220 V。今欲在二次侧接上 40 W、220 V 的白炽灯，如果要变压器在额定情况下运行，这种电灯可接多少盏？并求一次、二次绕组的额定电流。（答案： $n=250$ 盏； $I_{1N}=3.03$ A； $I_{2N}=45.5$ A）

6-2 某单相变压器一次绕组 $N_1=460$ 匝，接于 220 V 的电源上，空载电流略去不计。现二次侧需要三个电压： $U_{21}=110$ V, $U_{22}=36$ V, $U_{23}=6.3$ V；电流分别为 $I_{21}=0.2$ A, $I_{22}=0.5$ A, $I_{23}=1$ A，负载均为电阻性。试求：(1) 二次绕组匝数 N_{21} 、 N_{22} 、 N_{23} ；(2) 变压器容量 S 和一次侧电流 I_1 。（答案： $N_{21}=230$ ； $N_{22}=75$ ； $N_{23}=13$ ；(2) $S=46.3$ VA； $I_1=0.21$ A）

6-3 一信号源的内阻 R_0 为 $200\ \Omega$ ， U_S 的有效值为 18 V，负载电阻 R_L 为 $10\ \Omega$ 。求：(1) 负载直接接在信号源上，信号源的输出功率；(2) 负载通过变比为 4 的变压器接到信号源时，信号源的输出功率。

(答案：(1) $I=0.086$ A， $P=73$ mW；(2) $R'_L=K^2R_L=160\ \Omega$ ， $P=400$ mW)

6-4 已知信号源电压为 10 V ，内阻 R_0 为 $560\ \Omega$ ，负载电阻 R_L 为 $8\ \Omega$ ，欲使负载获得最大功率，阻抗需要变换，今在信号源与负载之间接入一变压器，如图所示。（1）试求变压器最合理的变比；（2）原、副边电流及电压；（3）负载获得的功率。（答案：（1） $K=8.4$ ；（2） $U_1=5\text{ V}$ ； $U_2=0.6\text{ V}$ ； $I_1=9\text{ mA}$ ； $I_2=75\text{ mA}$ （3） $P_L=45\text{ mW}$ ）



习题 6-4 图

6-5 有一台三相变压器， $S_N=5600\text{ kVA}$ ，一次侧绕组的额定电压 $U_{1N}=35\text{ kV}$ ，二次绕组的额定电压 $U_{2N}=10.5\text{ kV}$ ， Yd 接法。求（1）一次、二次侧的额定电流；（2）一次、二次侧绕组的额定电流。（提示：阅读教材第六章第一节三中的内容。答案：（1） $I_{1N}=92.38\text{ A}$ ； $I_{2N}=307.92\text{ A}$ ；（2） $I_{1P}=92.38\text{ A}$ ； $I_{2P}=177.8\text{ A}$ ）

第七章 三相交流异步电动机

学院（系）_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____ 第 1 次

7-1 有一台三相异步电动机，其额定转速 $n_N = 975 r/min$ ，电源频率 $f_1 = 50 \text{ Hz}$ 。试求电动机的磁极对数和额定负载时的转差率。（答案： $P = 3$ ； $S_N = 0.025$ ）

7-2 有一台三相四极异步电动机，频率为 50 Hz， $n_N = 1425 \text{ r/min}$ ，转子电阻 $R_2 = 0.02 \Omega$ ，感抗 $X_{20} = 0.08 \Omega$ ， $E_1 / E_{20} = 10$ ，当 $E_1 = 200 \text{ V}$ 时，求（1）电动机起动瞬间（ $n = 0$ ）时转子每相电路的电动势 E_{20} ，电流 I_{20} 和功率因数 $\cos \varphi_{20}$ ；（2）额定转速时的 E_2 、 I_2 和 $\cos \varphi_2$ 。（答案：（1） $E_{20} = 20 \text{ V}$ ， $I_{20} = 242.54 \text{ A}$ ， $\cos \varphi_{20} = 0.243$ （2） $E_2 = 1 \text{ V}$ ， $I_2 = 49 \text{ A}$ ， $\cos \varphi_2 = 0.98$ ）

第七章 三相交流异步电动机

学院(系) _____ 班级 _____ 姓名 _____ 学号 _____ 第 2 次

7-3 有一台 Y225M—4 型三相异步电动机，其额定数据如下表所示，试求：(1) 额定电流 I_N ；(2) 额定转差率 s_N ；(3) 额定转矩 T_N 、最大转矩 T_{\max} 、起动转矩 T_{st} 。

功率	转速	电压	效率	功率因数	I_{st}/I_N	T_{st}/T_N	T_{\max}/T_N
45 kW	1480r/min	380 V	92.3%	0.88	7.0	1.9	2.2

(答案: (1) $I_N = 84.2 \text{ A}$; (2) $s_N = 0.013$; (3) $T_N = 290.4 \text{ N} \cdot \text{m}$; $T_{\max} = 638.8 \text{ N} \cdot \text{m}$;

$T_{st} = 551.8 \text{ N} \cdot \text{m}$)

7-4 某鼠笼式异步电动机，电压为 380 V，接法为 Δ 形，额定功率为 40 kW，额定转速为 1470 r/min， $T_{st}/T_N = 1.2$ 。求：(1) 额定转矩 T_N ；(2) 采用 Y- Δ 起动时，负载转矩须应小于何值？(1) $T_N = 259.86 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，

(2) $T_{stY} = \frac{1}{3} \times 1.2 T_N = 103.94 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，负载 T_L 必须小于 103.94 N·m)

7-5 一台三相异步电动机，铭牌数据如下：Y形接法， $P_N=2.2\text{ kW}$ ， $U_N=380\text{ V}$ ， $n_N=2970\text{ r/min}$ ， $\eta_N=82\%$ ， $\lambda_N=0.83$ 。试求此电动机的额定相电流，线电流及额定转矩，并问这台电动机能否采用Y- Δ 起动方法来减小起动电流？为什么？（答案：电动机Y接， $I_l=I_p=I_N=4.91\text{ A}$ ，

$T_N=7.07\text{ N}\cdot\text{m}$ ，因为电动机在额定运行时的定子绕组连接方式为Y接，所以不能采用Y- Δ 起动法降低起动电流。）

7-6—台三相异步电动机，铭牌数据如下： Δ 接法， $U_N=380\text{ V}$ ， $I_N=15.2\text{ A}$ ， $n_N=1450\text{ r/min}$ ， $\eta_N=87\%$ ， $\cos\varphi_N=0.86$ ， $I_{st}/I_N=6.5$ ， $T_{\max}/T_N=1.8$ 。（1）求此电动机短时能带动的最大负载转矩是多少？（2）如果电源允许的最大起动电流为 30 A ，试问能否采用Y- Δ 方法起动该电动机？（答案：（1） $T_{\max}=88.74\text{ N}\cdot\text{m}$ ；不能。）

7—7 Y801—2 型三相异步电动机的额定数据如下： $U_N=380\text{ V}$ ， $I_N=1.9\text{ A}$ ， $P_N=0.75\text{ kW}$ ， $n_N=2825\text{ r/min}$ ， $\lambda_N=0.84$ ，Y 形接法。求：(1) 在额定情况下的效率 η_N 和额定转矩 T_N ；(2) 若电源线电压为 220 V ，该电动机应采用何种接法才能正常运转？此时的额定线电流为多少？

(答案：(1) $\eta_N=0.715$ ， $T_N=2.54\text{ N}\cdot\text{m}$ ；(2) 电源线电压为 220 V ，应采用 Δ

形接法才能正常运转 $I_{\Delta}=\sqrt{3}I_Y=3.3\text{ A}$)

7-8、单项选择题

1、三相异步电动机在额定负载下欠压运行，其定子电流将 ()。

(a) 小于额定电流 (b) 大于额定电流 (c) 等于额定电流

2、三相异步电动机在额定电压和额定频率下运行时，若负载发生变化，则旋转磁场每极的磁通 ()。

(a) 基本保持不变 (b) 随负载增大而增大

(c) 随负载增大而减小

3、绕线式三相异步电动机，如将转子电阻加大，其起动转矩将 ()。

(a) 增大 (b) 下降 (c) 不变 (提示： $T_{ST}=K\frac{R_2U_1^2}{R_2^2+X_{20}^2}$)

4、三相鼠笼式异步电动机在空载和满载两种情况下的起动电流的关系是 ()。

(a) 满载起动电流较大 (b) 空载起动电流较大

(c) 两者相等

5、三相鼠笼式异步电动机在空载和满载两种情况下的起动转矩的关系是()。

- (a) 满载起动转矩较大 (b) 空载起动转矩较大
- (c) 两者相等
- 6、在起重设备上的绕线式异步电动机常采用的起动方式是 ()。
- (a) 转子串电阻起动法 (b) 降压起动法 (c) 直接起动法
- 7、三相异步电动机的同步转速决定于()。
- (a) 电源频率 (b) 磁极对数 (c) 电源频率和磁极对数
- 8、三相鼠笼式电动机转子电路的感应电动势 E_2 与转差率 s 的关系是()。
- (a) $E_2 \propto s$ (b) $E_2 \propto 1/s$ (c) 无关
- 9、三相异步电动机的转速越高,其转差率()。
- (a) 越大 (b) 越小 (c) 不变
- 10、三相异步电动机在额定电压和额定频率下运行时,若负载发生变化,则旋转磁场每极的磁通 ()。
- (a) 基本保持不变 (b) 随负载增大而增大
- (c) 随负载增大而减小
- 11、三相异步电动机的转差率 $s = 1$ 时,其转速为 ()。
- (a) 额定转速 (b) 同步转速 (c) 零
- 12、三相异步电动机的旋转方向决定于()。
- (a) 电源电压大小 (b) 电源频率高低
- (c) 定子电流的相序
- 13、额定电压为 380/220 V 的三相异步电动机,在接成 Y 形和接成 Δ 形两种情况下运行时,其额定电流 I_Y 和 I_Δ 的关系是 ()。
- (a) $I_\Delta = \sqrt{3} I_Y$ (b) $I_Y = \sqrt{3} I_\Delta$ (c) $I_Y = I_\Delta$
- 14、一般规定电动机工作电压允许的波动范围是 ()。
- (a) $\pm 1\%$ (b) $\pm 2\%$ (c) $\pm 5\%$
- 15、在额定情况下运行的三相异步电动机,若电源电压突然下降,而负载转矩不变,则定子电流和转速的变化情况为 ()。
- (a) 定子电流减小,转速下降; (b) 定子电流减小,转速升高;
- (c) 定子电流增大,转速下降; (d) 定子电流增大,转速升高。
16. 鼠笼式、绕线式异步电动机区别在于 ()。
- (a) 定子结构 (b) 转子结构 (c) 定子和转子的结构

(答案: 1.b; 2.a; 3.a; 4.c; 5.c; 6.a; 7.c; 8.a; 9.b; 10.a; 11.c; 12.c; 13.a; 14.c; 15.c; 16.b)

第八章 低压电器与继电接触控制

学院（系）_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____ 第 1 次

8-1 填空题：

- 1、复合按钮被按下时_____先断开， _____后闭合。
- 2、HZ10-20/3 型的组合开关，其额定电流为_____、 _____极、交流额定电压为_____。
- 3、自动空气断路器中的_____、 _____对电路完成欠压保护和过载保护的功能。
- 4、交流接触器通电后，两对触点的动作顺序是：“_____先断开， _____后闭合”。
- 5、按使继电器动作的参数进行分类，继电器可分为：_____、 _____、
和_____、压力继电器等。按它们的用途进行分类，继电器可分为
_____和_____。

8-2 简答题：

- 1、 短路保护和过载保护的主要区别是什么？

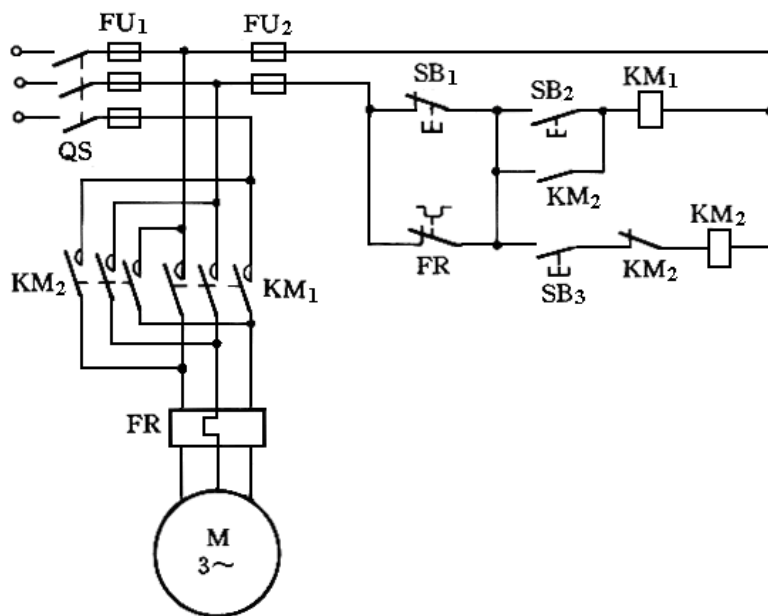
2、 分别画出接触器联锁和按钮联锁的正反转控制电路图，说明电路中各元件的名称和作用并简述电路中的保护措施。

第八章 低压电器与继电接触控制

学院（系）_____ 班级_____ 姓名_____ 学号_____ 第 2 次

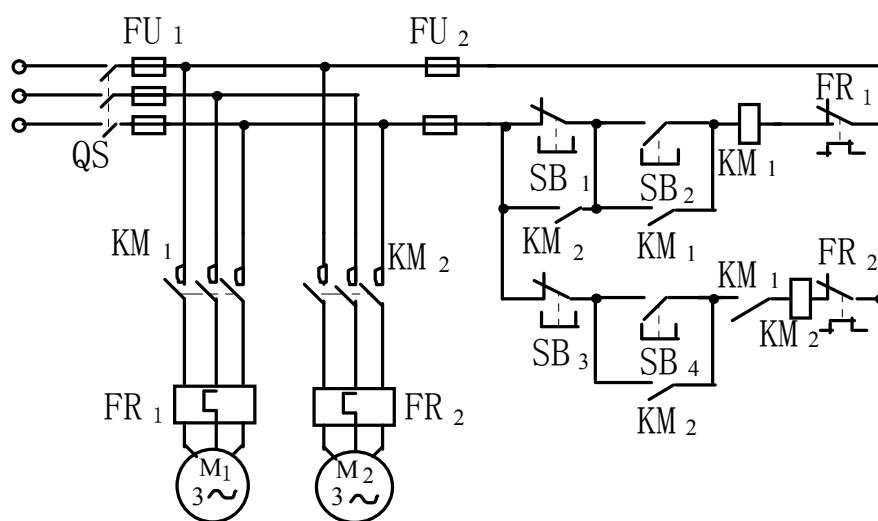
8-3 画出能在两个不同地点起动和停转电动机的主电路和控制电路，并使其具有短路及过载保护功能。

8-4 请用文字说明下图的电动机正反转电路中存在的错误之处，并画出正确电路。



8-5 画出三相异步电动机既可点动又可连续运行的电气控制线路。

8-6 图示为电动机 M_1 和 M_2 的联锁控制电路。试说明 M_1 和 M_2 之间的联锁关系，并问电动机 M_1 可否单独运行？ M_1 过载后 M_2 能否继续运行？



(答案: (1) M_1 先起动运行后 M_2 才能起动; M_2 停止后才能停 M_1 ; (2) M_1 能单独运行; (3) M_1 过载时 M_2 不能继续运行, 与 M_1 一起停车。)

8-7 单项选择题

1、在电动机的继电器接触器控制电路中，零压保护的功能是()。

- (c) 防止电源电压降低烧坏电动机;
- (d) 防止停电后再恢复供电时电动机自行启动;
- (e) 实现短路保护。

2、在电动机的继电器接触器控制电路中，热继电器的正确连接方法应当是()。

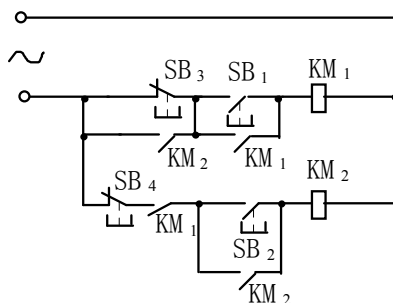
(a) 热继电器的发热元件串接在主电路内，而把它的动合触点与接触器的线圈串联接在控制电路内;

(b) 热继电器的发热元件串联接在主电路内，而把它的动断触点与接触器的线圈串联接在控制电路内;

(c) 热继电器的发热元件并接在主电路内，而把它的动断触点与接触器的线圈并联接在控制电路内。

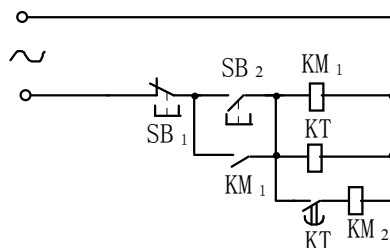
3、在图示电路中，SB 是按钮，KM 是接触器，KM₁ 控制电动机 M₁，KM₂ 控制电动机 M₂，能单独运行的电动机是()。

- (a) M₁
- (b) M₂
- (c) M₁ 和 M₂ 都可以



4、在图示的控制电路中，按下 SB₂，则()。

- (a) KM₁，KT 和 KM₂同时通电，按下 SB₁ 后经过一定时间 KM₂ 断电;
- (b) KM₁，KT 和 KM₂ 同时通电，经过一定时间后 KM₂ 断电;
- (c) KM₁ 和 KT 线圈同时通电，经过一定时间后 KM₂ 线圈通电。

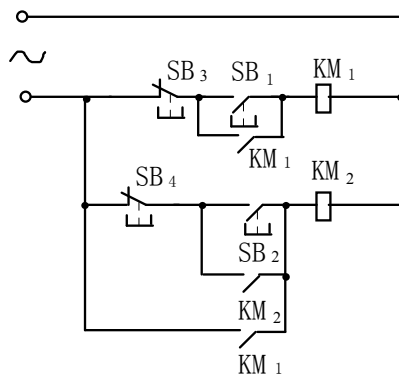


5、在电动机的继电器接触器控制电路中，热继电器的功能是实现()。

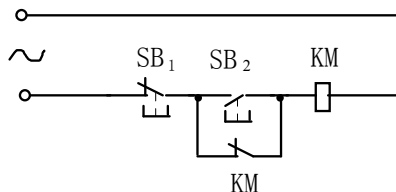
- (a) 短路保护
- (b) 零压保护
- (c) 过载保护

6、在图示控制电路中，SB 是按钮，KM 是接触器。若按动 SB₂，则()。

- (a) 接触器 KM₂ 通电动作后 KM₁ 跟着动作;
- (b) 只有接触器 KM₂ 通电动作;
- (c) 只有接触器 KM₂ 通电动作。

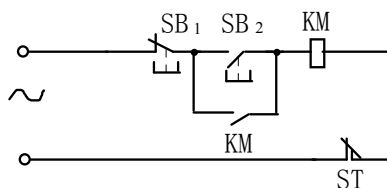


7、图示控制电路中,在接通电源后将出现的现象是()。



- (a).按一下 SB_2 , 接触器 KM 长期吸合
- (b).接触器的线圈交替通电断电造成触点不停地跳动
- (c).按一下 SB_2 , 接触器不能吸合

8、图示的控制电路中,具有()等保护功能。



- (a). 过载和零压
- (b). 限位和零压
- (c). 短路和过载

9、在三相异步电动机的正反转控制电路中,正转接触器与反转接触器间的互锁环节功能是()。

- (a) 防止电动机同时正转和反转
- (b) 防止误操作时电源短路
- (c) 实现电动机过载保护

(答案: 1.b; 2.b; 3. a; 4. c, 5. c; 6.b; 7.b; 8.b; 9.b;)

第九章 可编程控制器原理及应用

学院（系）_____班级_____姓名_____学号_____第 1 次

9-1 有三台三相鼠笼式电动机 M_1 、 M_2 、 M_3 ，按下启动按钮 SB_2 时， M_1 起动，延时5s后 M_2 起动，再延时4s后 M_3 起动。设计用PLC实现控制的硬件连接图，编制实现上述控制要求的梯形图。

9-2 有8个彩灯排成一行，自左至右依次每秒有一个灯点亮，循环五次后，全部灯同时点亮，5s后，全部熄灭，2s后，自右至左每秒由一个灯点亮，循环五次后，全部灯同时点亮，5s后，全部熄灭。2s后，重新开始从左至右，如此不断重复循环，使用PLC实现上述的控制。

第二部分 电工学课程实验

第一章 电工电子实验课程基础知识

§ 1-1 电工电子实验课程的作用和意义

进入二十一世纪后,随着现代科学技术的高速发展,对于工程技术人员的综合素质要求越来越高,不仅要有扎实的理论知识,更要具备良好的实验技能和综合解决工程实际问题的能力,这些能力的培养都离不开实验课程的基本训练。

对于工程技术人员来说,如果没有一定的理论知识及良好的科学试验能力,不仅不能做出创造性成果,也难于胜任本职工作。而实验课程正是培养工程技术人员综合素质的一个重要环节。

电工理论是从十九世纪发展起来的电学相关专业的重要基础理论课程,它的发展和提高离不开实验技术的发展,因此电工实验是电工课程学习必不可少的一个重要环节,是电工理论学习的一个重要组成部分。教育部电工理论课程指导小组把电工实验课与电工理论课一并列入相关各专业教学计划规定的学位课程,它是培养电气、电子、信息等专业工程技术人员实验技能的重要一环。

电工电子实验的内容涉及到电工基本理论与实践中的常见现象,通过实验将理论与实践结合,巩固所学知识,培养有关电路连接、电工测量及故障排除等实验技巧,掌握常用电工仪器、仪表的基本原理和使用、选择方法,学习了解数据的采集与处理、各种现象的观察与分析等。所有这些都是培养电气技术人员必要的基本训练内容。

总而言之,该实验课的主要作用就是对学生进行基本技能的训练,提高学生用基本理论分析及解决实际问题的能力;同时在实验过程中培养学生严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风,为今后的专业实验、生产实践与科学研究打下坚实的基础。

§ 1-2 电工电子实验课程的目的和要求

一. 电工课程实验的目的

1. 增加感性认识,巩固和扩展电工理论知识,加深对电工基本理论的理解,培养实际工作能力。
2. 学习实验的基本知识,进行实验技能的训练,掌握常用电工仪器设备的选用方法及测试技术。
3. 应用理论知识对实验结果进行数据处理和图解处理,提高分析和解决问题的能力。
4. 养成良好的实验习惯及安全用电的操作习惯,培养严肃的工作态度,严格的工作纪律及严谨的工作作风。

二. 课程基本要求

1. 正确使用电压表、电流表和万用表,学会使用常用的一些电工设备;初步会用功率

表和一些电子仪器、仪表及电子设备，如普通示波器、直流稳压电源、晶体管毫伏表等。

2. 掌握电压、电流的测量，信号波形的观察方法，电阻器、电容器、电感器参数以及元件电压、电流特性的测量及功率的测量。

3. 能正确设计和连接实验电路，认真观察实验现象和正确读取数据，并具有一定的分析判断能力；能初步分析和排除实验故障，培养实事求是的科学态度。

4. 能写出合乎规格的实验报告，正确绘制实验曲线，做出正确的分析、解释。

§ 1-3 电工电子实验过程的正确顺序

一. 课前预习

课前预习是实验课非常重要的一个环节，实验课程效果的好坏与实验预习准备情况直接密切相关。学生必须事先认真阅读实验指导书，认真思考后，写出预习报告，设计好实验的步骤，做到对实验的每一个步骤心中有数，才能做到有条不紊，主动的去观察实验现象，发现并分析问题，取得最佳实验效果。否则，必然手忙脚乱，不仅完不成实验任务，达不到实验的目的与要求，甚至发生事故。

预习的重点包括：

1. 明确实验目的、任务与要求，估算实验结果。
2. 复习有关理论，看懂实验原理、方法。
3. 了解所需的实验元件、仪器设备及使用方法介绍。
4. 设计、熟悉实验电路和实验过程。

二. 熟悉设备和连线

在接线之前应了解使用的仪器、设备、刻度、各旋钮的位置及作用，电源开关位置，确定所用仪表的量程及极性等。应根据实验线路合理布置仪表及实验器材，以便接线、查对，便于操作和读数。

对于初学者来说，首先应按照实验指导书给出的参考电路图一一对应元件，认真进行设计和布局接线。较复杂的电路应先串联后并联，同时考虑元件、仪器仪表的同名端、极性和公共参考点等与电路设定的方位一致，最后连接电源端。

接线时，避免在同一插孔的连线过于集中，减少因牵(碰)一线而引起接线松动、接触不良或导线脱落。改接线路时，应力求改动量最小，避免拆光重接。插接导线手法要轻盈，避免生拉硬拽，损坏设备。

三. 通电操作及读数

线路接好后，经自查无误，并请指导教师复查后方可接通电源。通电操作时必须集中注意力观察电路的变化，如有异常，如声响、冒烟、发臭等现象，应立即断开电源，检查原因。接通电源后应将设备大致操作一遍，观察一下实验现象，判断结果是否合理。若不合理，则线路有误，需要立即切断电源重新检查线路并修正；若结果合理，则可正式操作。读数时要姿势正确、思想集中，防止误读。数据要记录在事先准备好的表格中，凌乱和无序的记录常常是造成错误和失败的原因。为获得正确的数据，在做实验报告时若发现原始数据不合理，不得任意涂改，应当分析问题所在。当需要把数据绘成曲线时，读数的多少和分布情况，应

以足够描绘一条光滑而完整的曲线为原则。读数的分布可随曲线的曲率而异,曲率较大处可多读几点。

四. 实验结束

完成全部实验内容后,不要急于拆除线路,应先检查实验数据有无遗漏或不合理的情况,经指导教师同意方可拆除线路,整理桌面,摆放好各种实验器材、用具,方可离开实验室。

五. 安全操作问题

实验过程中应随时注意安全,包括人身与设备的安全。需特别注意以下几点:

1. 当电源接通进行正常实验时,不可用手触及带电部分,改装或拆除电路时必须先切断电源。

2. 使用仪器仪表设备时,必须了解其性能和使用方法。切勿违反操作规程乱拨乱调旋钮,尤其注意不得超过仪表的量程和设备的额定值。

3. 如果实验中用到调压器、电位器以及可变电阻器等设备时,在电源接通前,应将其调节位置放在使电路中的电流为最小的地方,然后接通电源,再逐步调节电压、电流,使其缓慢上升,一旦发现异常,应立即切断电源。

§ 1-4 电工电子实验设计的基本知识

一. 正确进行实验仪器的选用

1. 仪器设备的选用

仪器设备的选用必须注意以下几个内容:

首先,应根据被测量的性质及测量对象的数值特点选择仪表设备的类型。根据被测量是直流还是交流选择直流或交流仪表和设备。测量交流时,应区分是正弦交流还是非正弦交流。如果是正弦交流,采用任何一种交流仪表(电流表或电压表)均可测量。如果是非正弦交流电流(电压),则需区别是有效值、均绝值或最大值。有效值可用电磁系或电动系电流表(电压表)测量;均绝值用整流系仪表测量;最大值用峰值表测量。测量交流时,还应考虑被测量的频率要求。一般常见的交流仪表(电磁系、电动系和感应系)频率范围较窄,当被测量的频率较高时应选择频率范围与其相适应的仪表。

其次,选择仪表设备的准确度等级。仪表准确度等级有 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 七级。其中 0.1~0.2 级常用作标准表或作精确测量;0.5~1.5 用于实验室一般测量;1.5~5.0 级仪表用作安装仪表或作工业测量。

再次,选择仪表的量程及设备的额定容量值。对于仪表应合理选择量程再进行测量。量程小了易“打表”造成设备损坏,量程太大则测量结果误差也大。一般工程测量中量程选择应为所估被测量最大值的 1.2~1.5 倍,仪表表针指示值尽可能不低于满偏读数的一半。对于功率表特别应注意被测量的电压和电流都不允许超过表的量程。对于示波器应注意衰减器的档位,最大信号电压不能超过测试端的最大允许值。如果不知道被测量大小,则按先大(粗侧)后小(细侧)的原则选择仪表的量限档位。

最后,必须注意选择仪表的内阻。实验中应根据被测对象的阻抗大小选择合适的仪表内阻。在电阻串联电路中,当需测量电阻 R 两端电压时,如果电压表内阻 R_V 与被测对象的阻

值相差不大,则电压表的接入将严重的改变被测电路原有工作状态,造成测量结果有很大误差,甚至测量结果失去意义。例如,假设电源电压 $U_S = 180\text{ V}$, 负载 R 和内阻 R_0 等值均为 $20\text{ k}\Omega$, 量程为 100 V , 在电压表未接入前

$$U_R = \frac{U_S \times R}{R_0 + R} = 90\text{ V}$$

接入电压表后,相当于在 R 两端并接上一个电阻 R_V , 并联后的等效电阻为

$$\frac{R_V \times R}{R_V + R} = 10\text{ k}\Omega$$

这时不论电压表的准确度有多高,电阻 R 两端的电压总是 $\frac{U_S}{3}$, 即 60 V 与原电路中 R 两端实际电压 90 V 电压相差很大。显然这样的测量没有意义。如果改用内阻 $R_V = 2000\text{ k}\Omega$, 量程仍为 100 V 的电压表进行测量,测得电阻电压为 89.55 V , 此值与电阻两端的实际电压已非常接近。由此可见,电压表的内阻越大对测量结果影响越小。

一般工程测量中,当电压表内阻 $R_V \geq 100R$ 时(R 为与电压表并联的被测对象的总的等效电阻),就可以忽略电压表内阻的影响。

电流表在测量中串入被测电路,因此要求电流表内阻 R_A 越小越好。在一般工程测量中,当电流表内阻 $R_A \leq \frac{1}{100} \times R$ (R 为与电流表串联的总等效电阻),就可以忽略电流表内阻的影响。

对于直流稳压电源、稳流电源等设备一般认为前者内阻等于零,后者内阻为无穷大,即作为理想电源看待。但对信号发生器及其它电源设备必须考虑其内阻。在使用有内阻的电源设备时,负载如需获得最大功率,必须考虑阻抗匹配。

2. 仪器设备的使用程序

在使用或操作仪器设备之前,首先了解仪器设备的表面标记、铭牌参数及各端钮的功能。再查看连线、仪器设备的状态是否满足实验要求。接下来,扳动仪器设备的开关、旋钮至实验要求的状态。如选好实验仪表的量程,把电源设备的可调旋钮或手柄调至安全位置等。而后,对仪器设备进行测试、试用。电压表是接两个表笔进行电压的试测。所谓试测是指先将一表笔触在一个待测点上,另一只表笔瞬间触碰另一个待测点,看表针指示是否正常。如表针反偏,说明极性不对;表针变化急剧,说明量程选择不合适。对于电流的测量,通常为了—表多用而利用插座代替电流表的位置,当用接有电流表的插头插入插座进行电流测量,仍可利用插座内弹簧片的弹力,通过插头的“试插”来判断极性),观察整个电路中各仪器设备的工作是否正常。发现异常及时做出处理。

按照上述程序使用仪器设备,既能避免误用仪器设备,又能防止误操作。即使在操作中出现了预想不到的问题时,也能使仪器设备不被损坏。

二. 合理布局与正确接线

1. 合理布局

根据实验任务和仪器设备条件,合理安排各仪器设备和实验装置的位置,布线时避免不必要的交叉和跨越设备,防止出现影响操作、读数及产生不安全因素。电源设备靠近电源开

关, 仪表严禁放置歪斜或重叠。总之力求做到安全方便、整齐清晰, 使实验操作顺手, 又易于观察和读数。

2. 正确接线

接线时根据电路的特点, 选择合理的接线步骤。正确接线的程序是: 按图摆台, 先串后并; 先分后合, 先主后从。首先根据合理布局所设计的原理图, 找出所需要的各仪器、仪表与设备, 放在实验台的相应位置。而后, 按照设计电路, 先连接串联回路中各器件, 然后连接并联支路的器件。注意: 复杂的线路要根据其特点分成几个部分进行连接, 通常是先主回路后辅助回路。

连接电路还应注意, 导线长短要适中, 实验箱提供了几种不同规格长度的连接电线, 要合理选择应用。接线太长则缠绕不清, 不便检查和操作; 太短则牵扯仪器, 容易脱线造成事故。

三. 正确操作和读测数据

1. 正确操作的方法应该是先连线, 后合电源开关, 再观察整个线路上的所有设备、仪器。如发现有不正常现象(光、热、声、味、烟及表针指示异常等)应立即断开电源, 查找原因。若电路正常, 先粗略确定一些关键数据, 做到心中有数, 再进行正式测量, 读取实验结果。

2. 正确读测数据的方法

正确读测数据要求做到只读取实测的实际偏转格数, 而不直读含有单位的读数值。为了减小视值误差, 读数时用单眼; 为了符合有效数字要求, 读数时要根据仪表最小刻度单位或准确等级确定有效数字位数。即当仪表指示器指示在两条刻度(分度)线之间时, 必须估读一位数字(欠准数字)。

四. 实验故障的分析和处理

排除实验故障是培养学生实际工作能力的-一个重要方面, 它不但需要一定的理论基础, 而且需要较熟练的实验技能, 应在实践中不断总结经验。

1. 电工电子实验中产生故障的常见原因有如下几种:

- (1)电路连接点接触不良, 导线内部断线。
- (2)器件、导线裸露部分相碰造成短路。
- (3)电路连线错误, 测试条件不对。
- (4)器件参数不合适, 实验装置、器件使用条件不符。
- (5)仪器设备或器件损坏。

2. 故障处理的一般步骤

- (1)出现故障立即切断电源, 避免故障扩大。

- (2)检查电路器件的外观, 查找有无外观异常的器件。

(3)根据故障现象, 判断故障性质。故障可分为两大类: 一类属破坏性故障, 可使仪器设备、器件等造成损坏, 其现象是烟、味、声、热等。另一类属非破坏性故障, 其现象是无电压、无电流, 电压或电流值不正常及波形异常等。

(4)根据故障现象性质, 确定故障的检查方法。对破坏性故障只能采用断电检查方法, 可用欧姆表检查线路的通断、短路或器件阻值等。对非破坏性故障, 既可采用断电检查, 也

可采用通电检查或两者结合的方法。通电检查主要是用电压表检查电路有关部分的电压是否正常。欧姆表法与电压表法是检查故障的两种常用方法，通常是配合使用。

五. 实验设计的基本方法

实验设计是指给定某个实验题目和要求，确定实验方案，正确选择所需的实验仪器和设备，自拟实验线路，进行实验，并解决实验中遇到的各种问题。实验设计不但能巩固和扩展理论知识，而且能提高实验技能，丰富实践经验。它是实验能力和独立工作的综合锻炼。

实验设计的内容包括以下几个方面：

1. 实验方案的确定。根据实验课题、任务、要求等选择可行的实验方案，既要考虑可靠的理论依据，又要考虑有无实现的可能性。实验方案能否正确拟定，是实验成败的关键。如果偏废正确的测量方法，一味追求高精度仪表、仪器、反而得不到预期的实验目的。因此需要综合理论知识和实际经验，将两者融合在一起，才有可能作出好的实验方案。

2. 确定实验的步骤。实验步骤的确定应分以下几个顺序进行：

(1)实验原理的研究。包括了解与实验题目有关的理论知识，选择实验电路、实验方法及实验方式等。

(2)仪器设备与器件的选择。包括电路参数的计算，仪器设备和器件的型号、规格、数量的选择等。

(3)实验条件的确定。包括电源电压，信号频率的选择，测试范围的确定等。

3. 实验进行中出现问题的处理

(1)得不到预期的实验结果。先检查电路、仪器设备、实验方法、实验条件等，再检查实验方案，然后修订实验方案。

(2)实验结果与理论不一致。仔细观察现象，分析数据并找出原因。

(3)误差偏大。分析产生误差的原因，找出减小误差的方法。

4. 实验结果的分析

实验结果分析应紧扣实验题目和要求。它包括实验结果的理论解释；实验误差分析；实验方案的评价与改进意见；解决实验问题的体会等。

§ 1-5 测量方法和误差分析

电工测量的基本任务就是借助各种仪器仪表，对电压、电流、功率等各种电量进行测量，以便掌握电器设备的运行状态。利用电工仪表进行测量，具有快速、连续、自动检测和远距离测量等一系列优点。在工农业生产中，产品质量的检测、生产过程的监视与自动化等方面都与电工仪表与测量技术紧密相关。

通常，将指示仪表简称为仪表，将校量仪器简称为仪器，而把整个用于电工测量的仪器、仪表统称为电工仪表。在利用电工仪表进行电路参数的测量过程中，测量方法的正确与否直接关系到测量结果的精度和正确性。

一. 测量方法

测量是指通过实验的方法，把被测量与同类单位进行比较的过程。测量是实验进行

过程中非常重要的一个环节，测量方法的正确与否直接关系到测量数据的准确性。

1. 测量方法的分类

(1)直接测量。用测量仪器仪表直接得到被测量的数值。例如用电流表测电流、用电桥测电阻等。

(2)间接测量。先测出与被测量有关的几个中间量，然后通过计算求得被测量。如用伏安法测量电阻。

(3)组合测量。在直接测量和间接测量所得到的实验数据基础上，通过联立求解各函数关系方程得到被测量。例如电阻温度系数 α 和 β 的测量。电阻值(R_t)与温度(t)之间的关系为

$$R_t = R_{20}[1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

式中 t 为电阻温度的摄氏度数， R_{20} 是温度为 20°C 时的电阻值， α 、 β 是待求的电阻温度系数。若分别测量 20°C 和 t_1 、 t_2 时的电阻值 R_{20} 、 R_{t1} 和 R_{t2} ，联立求解下列方程

$$R_{t1} = R_{20}[1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2]$$

$$R_{t2} = R_{20}[1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2]$$

即可得到电阻的温度系数 α 和 β 。

2. 测量方法的选择

在实验中测量方法的选择通常考虑以下几个要求：

足够的灵敏度；适当的准确度；对被测电路的状态的影响要尽量小；测量简单可靠；测量前的准备工作和测量后的数据处理尽可能简便；对被测量性质作深入了解。如参数是否线性、数量级如何、对波形和频率有无要求、对测量过程的稳定性有无要求等。

二、误差的简单分析

测量时，无论采用什么测量方法、何种测量方式，都不可避免的会受到测量工具、方法、环境等因素的影响，产生测量误差。所谓测量误差，是指测量结果与被测量的真值(或实际值)之间的差异。

1. 误差分析：

按误差来源分：工具误差、使用误差、人为误差、环境误差及方法误差。

按误差性质分：系统误差、随机误差、疏失误差。

按表示方法分：绝对误差、相对误差、引用误差。

2. 误差的表示方法：

(1) 绝对误差：被测量的给定值 A_x 与真值 A_0 (或实际值)之间的差值称为绝对误差。

$$\text{用 } \Delta \text{ 表示为: } \Delta = A_x - A_0 \quad (1-5-1)$$

式中给出值 A_x 指的是：在测量时被测量对象的读测值；在检定仪表时，它为被检刻度线指示值；在检定度量器(如标准电阻)时，它为被检度量器的标称值，即铭牌上的标明值；在近似计算中，它为所取的近似值。

式中真值 A_0 是指在规定的条件下，被测量所具有的真实值大小。实际测量中，通常用更高一级的标准仪表所测的值来代替。

(2) 相对误差：绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 比值的百分数称为相对误差。用 γ 表示为：

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-5-2)$$

式中被测量的真值 A_0 较难求得，但被测量的给出值 A_x 与真值 A_0 相差不大，常用 A_x 代替 A_0 ，相对误差近似可表示为：

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-5-3)$$

式(1-5-3)说明，仪表指示值越大，其测量相对误差越小。

例：A 表在测量实际值为 100V 的电压时，指示值为 99V，B 表在测量实际值为 1000V 的电压时，指示值为 1002V，求两表的测量误差。

解：设 A、B 两表的测量绝对误差分别为 Δ_A 、 Δ_B ，相对误差分别为 γ_A 、 γ_B ，则

$$\begin{aligned} \Delta_A &= (99 - 100) \text{V} = -1 \text{V} & \Delta_B &= (1002 - 1000) \text{V} = 2 \text{V} \\ \gamma_A &= \frac{-1}{100} \times 100\% = -1\% & \gamma_B &= \frac{2}{1000} \times 100\% = 0.2\% \end{aligned}$$

相对误差表明误差对测量结果的相对影响，反映了实际情况。

(3) 引用误差：绝对误差 Δ 与仪表上量限 A_m 比值的百分数称为引用误差 γ_n ，表示为

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-5-4)$$

由于仪表标尺各处的绝对误差不同，因此标尺各处的引用误差也不同，若用全标尺上绝对误差最大值 Δ_m 与仪表量限 A_m 比值的百分数表示最大引用误差，则有

$$\gamma_{n,m} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-5-5)$$

最大引用误差是仪表在正常工作条件下不应超过的最大相对误差。仪表在规定工作条件下，在标尺工作部分的所有刻度上，允许的最大引用误差称为仪表的准确度，用符号 K 表示为：

$$\pm K\% = \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100\% \quad (1-5-6)$$

在我国根据 GB776-76《电测指示仪表通用技术条件》规定，仪表准确度分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 级。

(4) 工程测量中最大误差的估算

由于测量过程中，测量误差总是不可避免的。因此，在测量工作结束之后，不仅要确定被测量的数值，而且还要确定测量结果中所包含的误差大小，以评估测量结果的可信度。

在工程测量中，随机误差与系统误差相比往往很小，除精密测量之外，可以略去不计。通常只考虑系统误差的影响。

① 直接测量中误差的估算。

系统误差主要来源是工具误差和方法误差。工具误差又分为基本误差和附加误差。

I. 基本误差的估算：仪表在正常条件(规定温度、压力、放置方式等)下使用，由于结构和工艺等原因产生的误差称为基本误差。它是仪表本身固有的。若用真值仪表测量时，已知仪表准确度等级 K ，最大量限为 A_m ，可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm \frac{K\% \times A_m}{100\%} = \pm K\% \times A_m \quad (1-5-7)$$

仪表读数为 A_x 时，测量可能出现的最大相对误差为

$$\gamma = \pm \frac{K\% \times A_m}{A_x} \times 100\% \quad (1-5-8)$$

II. 附加误差的估算：仪表偏离正常使用条件，如温度、湿度、波形、频率、放置方式等超出仪表使用范围，即外界因素影响造成的仪表使用误差称为附加误差。当这些外界因素在规定的最大允许范围变化时，仪表附加误差的表示方法与基本误差相同。

② 间接测量中误差的估算。

间接测量中，除了需要考虑直接测量中的工具误差和方法误差之外，还必须考虑计算时可能造成的最大误差。

具体情况需要根据被测量是两个直接测量量之和、被测量是两个直接测量量之差、被测量是几个直接测量量之积或商的情况分别考虑。详细处理办法请参照相关的参考书。

§1-6 实验操作规程与注意事项

一、实验操作要求

实验室是进行课程科学实验的主要场所,为确保实验顺利及人身和设备的安全,同学应自觉遵守各项实验规则,养成良好的实验习惯。

1. 注意安静。实验需要安静的环境,它有利于集中精力做实验,有利于思考问题、解决问题,因此学员们在讨论问题时应轻声讲话,不要干扰其他同学的实验。
2. 遵守实验时间,不准迟到、旷课。
3. 实验前必须预习,写好预习报告,否则不允许参加实验或另行安排时间做实验。
4. 各组设备都已配全、编号。各组间不得自行互换和借用仪器设备,若仪器设备有毛病,可请老师解决。
5. 严禁带电接线拆线。
6. 若在实验中发生意外情况,应立即断开电源,保护现场,并立即报告教员。
7. 保持实验室整洁,实验完毕后要整理好一切用具。
8. 爱护国家财产,对所用仪器设备要了解使用方法后再做实验,如发生仪器设备损坏事故,根据具体情况按学校规定处理。

二、预习要求

预习的内容和要求主要有以下几点:

1. 明确实验目的,彻底搞懂实验线路的工作原理和测量仪器的使用方法。
2. 思考实际操作是的具体步骤,明确要测量的数据和测量方法,对被测数据的范围要有初步估计,明确要通过计算得到的数据和计算公式。
3. 完成各个实验的预习思考题,编写预习报告。

三、实际操作要求

首先要熟悉一下本次实验中所用的各种仪器设备,然后分工按照有关线路接线。接线时先将主要回路逐个接通,由电源端开始,按照线路图由前向后顺序连接,然后并接电压表及功率表的电压线圈等。电路中各元件及测试仪表等位置的安排应使实际操作及仪表读数均感方便为标准,一般按电路图的顺序排列,同时还应避免感应线圈磁场对仪表产生的影响。接线时必须拧紧接线柱上的螺帽或塞紧接线插头,一个接线柱上的连接线不要太多,以防连接松动引起导线脱落造成事故。

连接仪表时,对于电工仪表应注意类别,如:是电压表还是电流表;是交流表还是直流表;等等,以及其量程和极性。对于电子仪器应注意使用的电源电压大小,输出信号的大小和频率,测量的量程及频率范围,连接导线的屏蔽作用。

必须指出,电源线应在整个线路检查无误后才能接上。严格禁止将导线的一端接在电源上,而把另一端随便地放在桌上或悬空。

同一组的同学在接线及查线上应有分工。未接通电源前的查线方法与接线情况一样,即按照电路图先查主要回路,后查并联的支路,再查各类测试仪表的量程、极性、输出信号的大小及频率、测量频率的范围等。若上述查线没有查出毛病,但在接通电源后出现故障,则应断开电源后仔细查找故障,排除故障,使线路恢复正常后,才能通电进行测试。

一般故障现象及产生的原因有以下几点：

开路故障其现象有：电路无电压、无电流；示波器无波形显示；电表无读数等。造成开路故障的原因有：保险丝熔断；接线柱松动；接触不良；连接导线的根部被折断；个别元件已损坏断线等。

短路故障其现象有：电流急剧增加而将电流表指针打弯；保险丝熔断；电路元件冒白烟；有烧焦气味等。造成短路故障的原因有：接线错误，如把大电阻负载短路了；仪表接错，如把电流表并联在电路中了；连接导线脱落；多余导线遗留在电路中等。

排查故障的办法有：

1. 外表观察。如电源是否已接上；电源保险丝是否良好；连接导线是否脱落；是否有多余导线混杂在电路中。

2. 断电检查。从电源端拆下一根导线后，用万用表欧姆档逐点测试观察线路是否通路，即从电源端开始逐个检查元件是否损坏，导线是否断开，接线柱上接线接触是否良好等。

3. 通电检查。在电子线路输入端加上适当的信号，逐级测试输出情况，或观察各级测试点的波形，逐步缩小故障范围，以便迅速找出故障所在。在开路故障时，可以在通电情况下用电压表测量各点的电位并判断是否正常。

为了保证实验高速度高质量完成，在读取数据之前应试做一遍，注意观察被测量的变化情况和出现的现象，并与事先估计的变化规律是否接近，同时合理地选择几个测试点。

读取数据时应注意以下几点：

1. 当电源电压或信号不稳定时，对几个仪表要同时进行读数。
2. 对指针式仪表读数时，要在指针与小镜中的针影相重合的情况下读取。
3. 为减小误差，测试点不应跳跃。
4. 读取数值的有效位数应充分利用测试仪器的准确度等级。

最终，应首先检查需测数据是否已测量，若有遗漏应马上补测。然后检查测试点的间隔选择是否合适，在曲线的平滑部分可少测几点而曲线的弯曲部分要多测几点。最后再与事先估计的数据进行比较，当发现测得的数据或通过实验算出的数据与事先估计的数据有较大差别时应及时分析，找出原因。实验中一般原因有：线路中可能还存在着故障未被查出来，测试方法上存在较大误差，测试点搞错，读数错误，测试仪器有毛病。但在排除上述所有故障及原因后重新测得的数据仍有较大差别时，则应尊重事实，实事求是地把数据记录于表格中，以后要进行仔细分析，提出自己的见解。切忌弄虚作假或抄袭他人。

在结束实际操作之前还应注意如下几件事：

1. 把使用仪器设备的名称、规格和编号记录下来，以后如对实验测量的结果有怀疑，或对仪器设备的准确度有怀疑时，可仍用原来的仪器设备重做实验，以便校核。但有些不影响实验准确度的设备，如自耦变压器、滑线电阻、开关等，可不必记录。

2. 把自己已检查过的测量数据交给教员审阅，并与教员一起检查仪器设备的使用情况，然后再进行拆线。注意拆线时，一定要先将本组的电源断开，以免发生人身或设备事故。

3. 将仪器设备整理好，安放在原来的位置上，等老师认可签字后方可离开实验室。

第二章 电工课程实验

实验一 叠加原理与戴维宁定理的验证

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____

桌号：_____ 指导教师签字：_____ 实验日期：20__年__月__日

一、实验目的

1. 验证线性电路叠加原理的正确性，加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。
2. 验证戴维南定理的正确性，加深对该定理的理解。
3. 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。

二、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30V	1	
2	可调直流恒流源	0~500mA	1	
3	直流数字电压表	0~300V	1	
4	直流数字毫安表	0~500mA	1	
5	万用表		1	自备
6	可调电阻箱	0~99999.9Ω	1	HE-19
7	电位器	1K/2W	1	HE-11
8	戴维宁定理实验电路板		1	HE-12
9	迭加原理实验电路板		1	HE-12

三、实验内容

1. 叠加定理的验证实验

实验线路如图 1-1 所示，用 HE-12 挂箱的“基尔夫定律/叠加原理”线路。

- (1) 将两路稳压源的输出分别调节为 12V 和 6V，接入 U_1 和 U_2 处。
- (2) 令 U_1 电源单独作用(将开关 K_1 投向 U_1 侧，开关 K_2 投向短路侧)。用直流数字电压表和毫安表(接电流插头)测量各支路电流及各电阻元件两端的电压，数据记入表 1-1 中。
- (3) 令 U_2 电源单独作用(将开关 K_1 投向短路侧，开关 K_2 投向 U_2 侧)，重复实验步骤(2)的测量和记录，数据记入表 1-1。
- (4) 令 U_1 和 U_2 共同作用(开关 K_1 和 K_2 分别投向 U_1 和 U_2 侧)，重复上述的测量和记录，数据记入表 1-1。
- (5) 将 U_2 的数值调至 +12V，重复上述第 3 项的测量并记录，数据记入表 1-1。

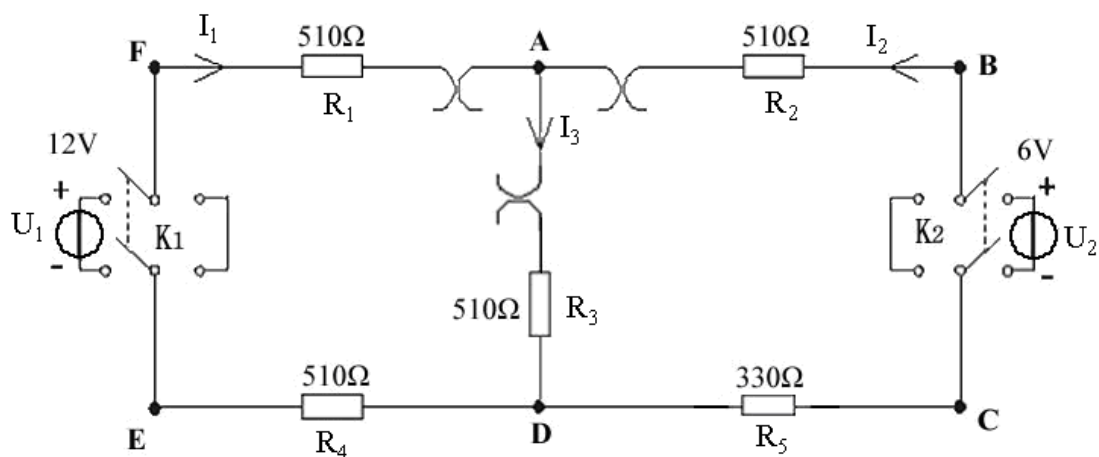


图 1-1 叠加原理的实验线路

表 1-1 叠加原理的实验数据

测量项目	U_1	U_2	I_1	I_2	I_3	U_{AB}	U_{CD}	U_{AD}	U_{DE}	U_{FA}
实验内容	(V)	(V)	(mA)	(mA)	(mA)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
U_1 单独作用										
U_2 单独作用										
U_1 、 U_2 共同作用										
$2U_2$ 单独作用										

2. 戴维南定理的验证

被测有源二端网络及戴维南等效电路如图 1-2 所示。

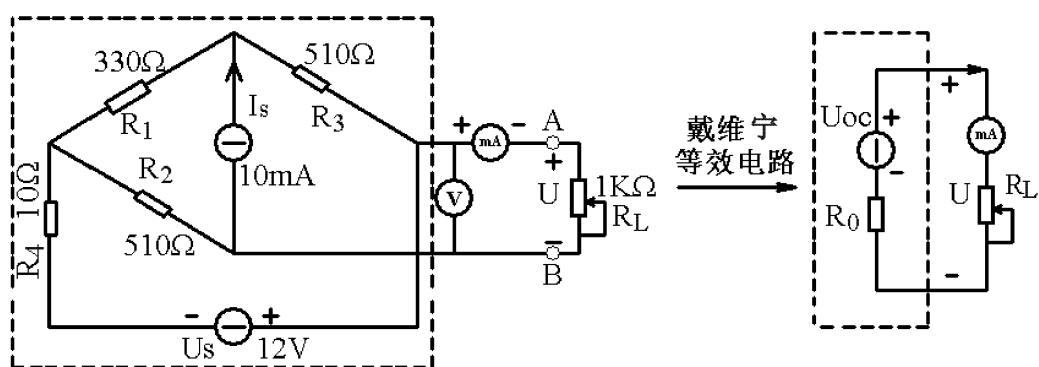


图 1-2 有源二端网络及戴维南等效电路

(1) 用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的 U_{oc} 和 R_0 。在图 1-2 中，接入稳压电源 $U_S=12V$ 和恒流源 $I_S=10mA$ ，断开 R_L ，测定 U_{oc} 。把 A、B 两端短路测定短路电流 I_{sc} ，并计算出 R_0 ，将结果填入表 1-2。(测 U_{oc} 时，不接入毫安表。)

表 1-2 戴维南等效电路的 U_{oc} 和 R_o

$U_{oc}(V)$	$I_{sc}(mA)$	$R_o = U_{oc}(V)/I_{sc}(\Omega)$

(2) 在 HE-12 挂箱上, 利用开关 K, 接入可变电阻 R_L , 改变 R_L 值 (**R_L 在 100-900 Ω 中等间隔取 9 个阻值**), 测其电压和电流值, 将结果填入表 1-3, 并在坐标纸上画出伏安特性曲线。

表 1-3 戴维南原电路的实验数据

U (V)									
I (mA)									

(3) 验证戴维南定理

①从电阻箱上取表 1-2 所得的等效电阻 R_o 之值; ②把电工实验台的直流稳压电源调到表 1-2 所测得的 U_{oc} 之值; ③将电阻 R_o 、 U_{oc} 、电流表和 R_L 相串联, 如图 1-2 所示; ④改变负载 R_L 的值 (**R_L 在 100-900 Ω 中等间隔取 9 个阻值**), 得到一组电压和电流值, 将结果填入表 1-4 中, 并在同一坐标下绘出其伏安特性曲线, 对戴维南定理进行验证。

表 1-4 戴维南等效电路的实验数据

U (V)									
I (mA)									

四、实验注意事项

1. 用电流插头测量各支路电流时, 或者用电压表测量电压降时, 应注意仪表的极性, 并应正确判断测得值的十、一号。
2. 注意仪表量程的及时更换。
3. 改接线路时, 要关掉电源。

五、预习思考题

1. 在叠加原理实验中, 要令 U_1 、 U_2 分别单独作用, 应如何操作? 可否直接将不作用的电源 (U_1 或 U_2) 短接置零?

答:

2. 在本实验中可否直接作负载短路实验? 请实验前对线路图 1-2 预先作好计算, 以便调整实验线路及测量时可准确地选取电表的量程。

答:

六、实验报告

1. 根据实验数据表格，进行分析、比较，归纳、总结实验结论，即验证线性电路的叠加性与齐次性。
2. 各电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出？试用上述实验数据，进行计算并作结论。
3. 验证戴维南定理的正确性， 并分析产生误差的原因。
4. 实验心得体会。

实验二 感性负载功率因数的提高

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____
 桌号：_____ 指导教师签字：_____ 实验日期：20__年__月__日

一、实验目的

1. 掌握日光灯线路的接线。
2. 理解改善电路功率因数的意义并掌握其方法。

二、原理说明

日光灯线路如图 2-1 所示，图中 C 是补偿电容器，用以改善电路的功率因数 $\cos \varphi$ 的值。

日光灯管的内壁涂有一层荧光物质，管两端装有灯丝电极，灯丝上涂有受热后易发射电子的氧化物，管内充有稀薄的惰性气体和水银蒸气。镇流器是一个带有铁心的电感线圈。启辉器由一个辉

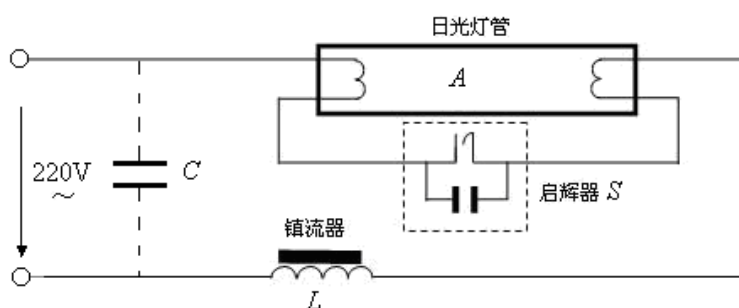


图 2-1 日光灯原理图

光管(管内由固定触头和倒 U 形双金属片构成)和一个小容量的电容并联组成，装在一个圆柱形的外壳内。电容的作用是吸收辉光放电而产生的谐波，以免影响电视、收音机、音响、手机等设备的正常运作。还能使动静触片在分离时不产生火花，以免烧坏触点。但没有电容器，启动器亦可照常工作。

工作原理：灯管在工作时，可以认为是一个电阻负载。镇流器是一个铁心线圈，可认为是一个电感很大的感性负载。两者串联构成一个 RL 串联电路。当接通电源后，启动器内双金属片与定片间的气隙被击穿，连续发生火花，使双金属片受热伸张而与定片接触，于是灯管的灯丝接通。灯丝预热而发射电子，这时双金属片逐渐冷却而与定片分开。镇流器线圈因灯丝突然断开而感应出很高的感应电动势，它和电源电压串联加到灯管的两端，使管内气体电离产生弧光放电而发光。

灯管点亮后，由于镇流器的降压限流作用，使得灯管两端的电压较低(30W 灯管约 100V 左右)，而启辉器与灯管并联，较低的电压不能使启辉器再次动作。

三、实验设备

1	镇流器、启辉器	与 30W 灯管配用	各 1
2	日光灯灯管	30W	1
3	电容器	1 μ F, 0.47 μ F, 2.2 μ F/500V	各 1
4	电流插座		3

四、实验内容

利用主屏上的电流插座，按图 2-2 组成实验线路。

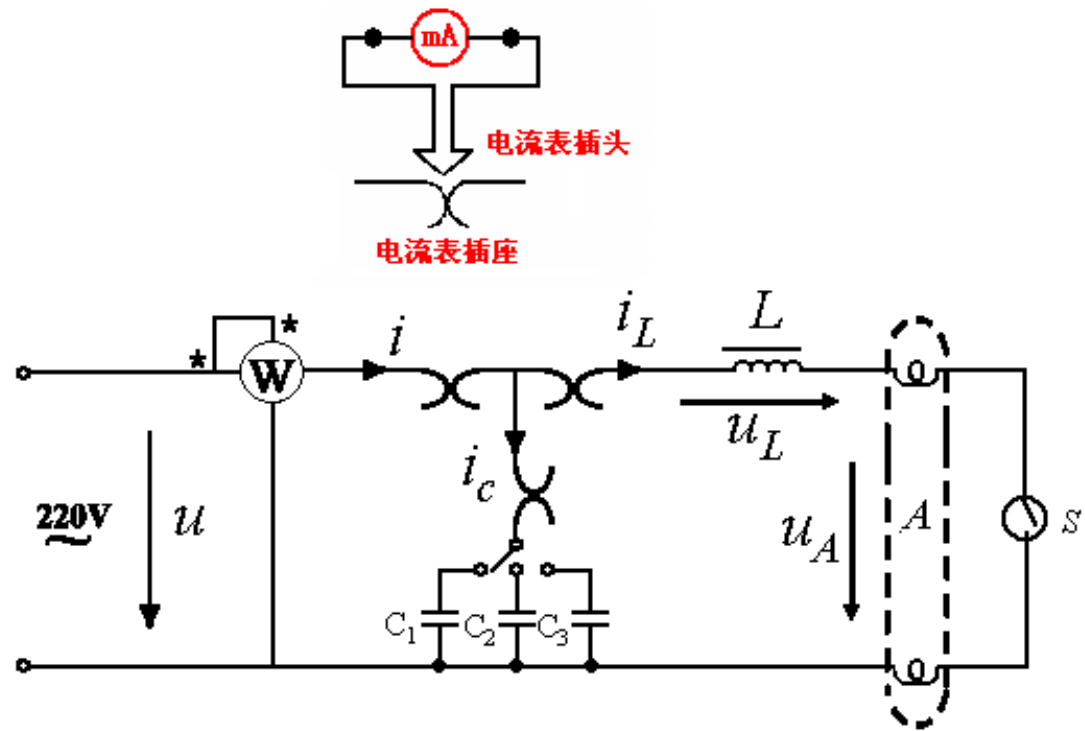


图 2-2 实验电路图

经指导老师检查后，接通实验台电源，将自耦调压器的输出调至 220V，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。改变电容值，进行重复测量，将测量结果填入表 2-1 中。

表 2-1 测量结果

测量数值 电容值(μF)	$P(\text{W})$	$\cos \varphi$	$U(\text{V})$	$U_L(\text{V})$	$U_A(\text{V})$	$I(\text{A})$	$I_L(\text{A})$	$I_C(\text{A})$
0								
0.47								
1								
1.47								
2.2								
2.67								
3.2								

五、实验注意事项

1. 本实验用交流市电 220V，务必注意用电和人身安全。
2. 每次接线完毕，同组同学应自查一遍，然后由指导教师检查后，方可接通电源，必须严格遵守先接线，后通电；先断电，后拆线的实验操作原则。
3. 功率表要正确接入电路。
4. 线路接线正确，日光灯不能启辉时，应检查启辉器及其接触是否良好。

六、预习思考题

1. 在日常生活中，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？(HE-16 实验箱上有短接按钮，可用它代替启辉器做一下试验。)

答：

2. 为了提高电路的功率因数，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，此时感性元件上的电流和功率是否改变？

答：

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：

4. 图 2-2 中的功率表如何接线？

答：

5. 指出表 2-1 中随着并联电容值的增加，哪些测量值是不变的？哪些是变化的？是增大还是减小？

答：

七、实验报告

1. 对实验数据进行必要的误差分析。
2. 根据实验数据，分别绘出电压 \dot{U} 、 \dot{U}_L 、 \dot{U}_A 和电流 \dot{I} 、 \dot{I}_L 、 \dot{I}_C 的相量图，验证相量形式的基尔霍夫定律。
3. 讨论改善电路功率因数的意义和方法。
4. 装接日光灯线路的心得体会及其他。

实验三 三相交流电路电压、电流的测量

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____

桌号：_____ 指导教师签字：_____ 实验日期：20__年__月__日

一、实验目的

1. 掌握三相负载作星形联接、三角形联接的方法，验证这两种接法下线、相电压及线、相电流之间的关系。
2. 充分理解三相四线供电系统中中线的作用。

二、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	交流电流表	0.5/1A(2.5/5A)	各 1	
2	万用表	MF-30	1	
3	灯箱		1	

三、实验内容

1. 三相负载星形联接(三相四线制供电)

按图 3-1 线路组接实验电路。即三相灯组负载经三相自耦调压器接通三相对称电源。将三相调压器的旋柄置于输出为 0V 的位置(即逆时针旋到底)。经指导教师检查合格后，方可开启实验台电源，然后调节调压器的输出，使输出的三相线电压为 220V (指黄、绿、红三个接线柱两两之间的电压)，并按下述内容完成各项实验，分别测量三相负载的线电压、相电压、线电流、相电流、中线电流、电源与负载中点间的电压。将所测得的数据记入表 3-1 中，并观察各相灯组亮暗的变化程度，特别要注意观察中线的作用。

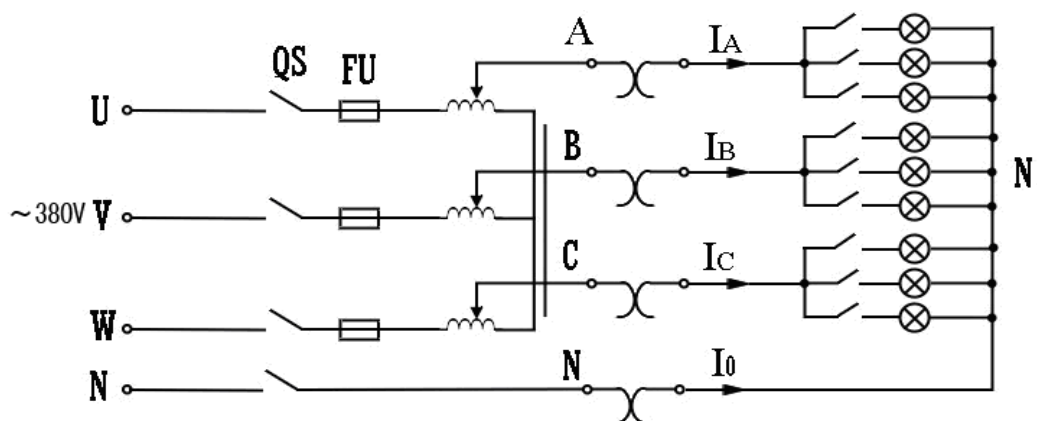


图 3-1 负载星形联接实验电路图

表 3-1 负载星形联接实验数据

测量数据 实验内容 (负载情况)	开灯盏数			线电流 (A)			线电压 (V)			相电压 (V)			中线 电流 I_0 (A)	中点 电压 $U_{NN'}$ (V)
	A 相	B 相	C 相	I_A	I_B	I_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	$U_{AN'}$	$U_{BN'}$	$U_{CN'}$		
Y_0 接平衡负载	3	3	3											
Y接平衡负载	3	3	3											
Y_0 接不平衡负载	1	2	3											
Y接不平衡负载	1	2	3											
Y_0 接 B 相断开	1		3											
Y接 B 相断开	1		3											

2. 负载三角形联接(三相三线制供电)

按图 3-2 改接线路, 经指导教师检查合格后接通三相电源, 并调节调压器, 使其输出线电压为 220V (指黄、绿、红三个接线柱两两之间的电压), 并按表 3-2 的内容进行测试。

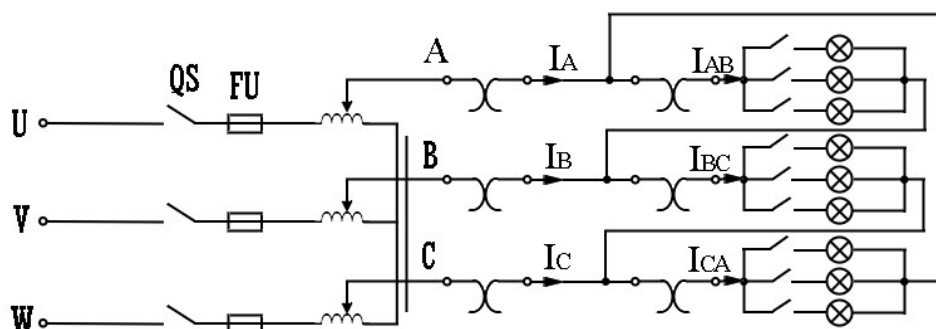


图 3-2 负载三角形联接实验电路图

表 3-2 负载三角形联接实验数据

测量数据 负载情况	开 灯 盏 数			线电压=相电压 (V)			线电流 (A)			相电流 (A)		
	A-B 相	B-C 相	C-A 相	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_A	I_B	I_C	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}
三相平衡	3	3	3									
三相不平衡	1	2	3									

四、实验注意事项

1. 本实验采用三相交流市电, 线电压 380V, 应穿绝缘鞋进实验室。实验时要注意人身安全, 不可触及导电部件, 防止意外事故发生。

2. 每次接线完毕,同组同学应自查一遍, 然后由指导教师检查后,方可接通电源,必须严格遵守先断电、再接线、后通电;先断电、后拆线的实验操作原则。

3. 为避免烧坏灯泡,HE-17 实验箱内设有过压保护装置。当任一相电压 $>245\sim 250\text{V}$ 时,即声光报警并跳闸。因此,在做 Y 接不平衡负载或缺相实验时,所加线电压应以最高相电压 $<240\text{V}$ 为宜。

五、预习思考题

1. 表 3-1 中的 Y_0 和 Y 是什么含义?

答:

2. 三相负载根据什么条件作星形或三角形连接?

答:

3. 复习三相交流电路有关内容。试分析三相星形联接的不对称负载,在无中线时,会出现什么情况?如果接上中线,情况又如何?

答:

4. 本次实验中为什么要通过三相调压器将 380V 的市电线电压降为 220V 的线电压使用?

答:

六、实验报告

1. 用实验测得的数据验证对称三相电路中的 $\sqrt{3}$ 关系。
2. 用实验数据和观察到的现象，总结三相四线供电系统中中线的作用。
3. 不对称三角形联接的负载，能否正常工作？实验是否能证明这一点？
4. 根据不对称负载三角形联接时的相电流值作相量图，并求出线电流值，然后与实验测得的线电流作比较，并进行分析。
5. 心得体会及其他。

实验四 异步电动机正反转控制

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____

桌号：_____ 指导教师签字：_____ 实验日期：20__年__月__日

一、实验目的

1. 通过对三相鼠笼式异步电动机正反转控制线路的安装接线，掌握由电气原理图接成实际操作电路的方法。
2. 加深对电气控制系统各种保护、自锁、互锁等环节的理解。
3. 学会分析、排除继电——接触控制线路故障的方法。

二、实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	三相交流电源	220V		
2	三相鼠笼式异步电动机	DJ26	1	
3	交流接触器	JZC4-40	2	HE-51
4	按 钮		3	HE-51
5	热继电器	D9305d	1	HE-51
6	交流电压表	0~450V	1	
7	万用电表		1	自备

三、实验内容

认识各电器的结构、图形符号、接线方法；抄录电动机及各电器铭牌数据；并用万用电表 Ω 档检查各电器线圈、触头是否完好。

鼠笼电机接成星形接法；实验线路接入线电压为380V的三相对称电源。

1. 接触器联锁的正反转控制线路

按图 4-1 接线，经指导教师检查后，方可进行通电操作。

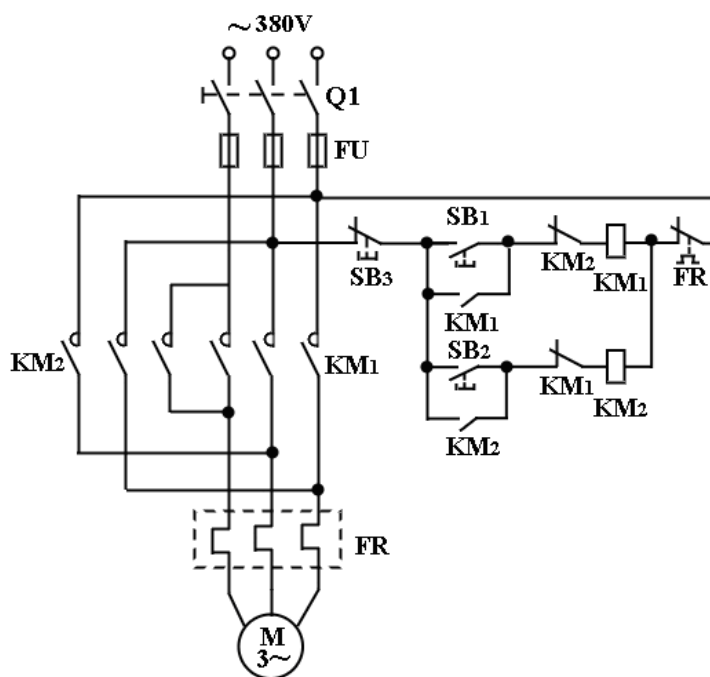


图 4-1 接触器联锁的正反转控制线路

- (1) 开启控制屏电源总开关，按启动按钮。
- (2) 按正向起动按钮 SB_1 ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (3) 按反向起动按钮 SB_2 ，观察并记录电动机和接触器的运行情况。
- (4) 按停止按钮 SB_3 ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (5) 再按 SB_2 ，观察并记录电动机的转向和接触器的运行情况。
- (6) 实验完毕，按控制屏停止按钮，切断三相交流电源。

2、接触器和按钮双重联锁的正反转控制线路

按图 4-2 接线，经指导教师检查后，方可进行通电操作。

(1) 按控制屏启动按钮，接通 380V 三相交流电源。

(2) 按正向起动按钮 SB_1 ，电动机正向起动，观察电动机的转向及接触器的动作情况。按停止按钮 SB_3 ，使电动机停转。

(3) 按反向起动按钮 SB_2 ，电动机反向起动，观察电动机的转向及接触器的动作情况。按停止按钮 SB_3 ，使电动机停转。

(4) 按正向(或反向)起动按钮，电动机起动后，再去按反向(或正向)起动按钮，观察有何情况发生？

(5) 电动机停稳后，同时按正、反向两只起动按钮，观察有何情况发生？

(6) 失压与欠压保护

①按起动按钮 SB_1 (或 SB_2)电动机起动后，按控制屏停止按钮，断开实验线路三相电源，模拟电动机失压(或零压)状态，观察电动机与接触器的动作情况，随后，再按控制屏上启动按钮，接通三相电源，但不按 SB_1 (或 SB_2)，观察电动机能否自行起动？

②重新起动电动机后，逐渐减小三相自耦调压器的输出电压，直至接触器释放，观察电动机是否自行停转。

实验完毕，将自耦调压器调回零位，按控制屏停止按钮，切断实验线路电源。

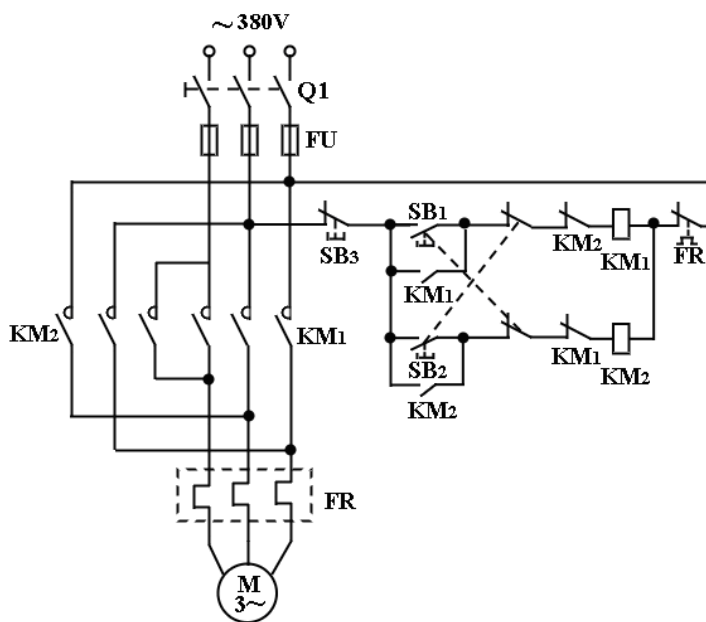


图 4-2 接触器和按钮双重联锁的正反转控制线路

四、故障分析

1. 接通电源后，按起动按钮(SB_1 或 SB_2)，接触器吸合，但电动机不转，且发出“嗡嗡”声响或电动机能起动，但转速很慢。这种故障来自主回路，大多是一相断线或电源缺相。

2. 接通电源后，按起动按钮(SB_1 或 SB_2)，若接触器通断频繁，且发出连续的劈啪声或

吸合不牢，发出颤动声，此类故障原因可能是：

- (1) 线路接错，将接触器线圈与自身的动断触头串在一条回路上了。
- (2) 自锁触头接触不良，时通时断。
- (3) 接触器铁心上的短路环脱落或断裂。
- (4) 电源电压过低或与接触器线圈电压等级不匹配。。

五、预习思考题

1. 在电动机正、反转控制线路中，为什么必须保证两个接触器不能同时工作？采用哪些措施可解决此问题，这些方法有何利弊，最佳方案是什么？

答：

2. 在控制线路中,短路、过载、失、欠压保护等功能是如何实现的？在实际运行过程中,这几种保护有何意义？

答：

3、电气联锁与机械联锁有什么异同点？画出它们的控制电路。

六、实验报告

1. 绘制所设计完成的实验控制电路的电路图。
2. 说明所设计电路中包含哪些保护，各具有什么功能。
3. 完成预习思考题，写出心得体会。

实验五 PLC 可编程控制器设计

班级：_____ 姓名：_____ 学号：_____

桌号：_____ 指导教师签字：_____ 实验日期：20__年__月__日

一、实验目的

通过实验，掌握可编程控制器(PLC)的基本控制指令、梯形图编制方法和编程技巧。

二、实验设备和条件

1. PLC 主机及相关辅助设备。(教材以松下 FP1 系列 PLC 为主机的 TVT—90A 学习机主机箱为例进行说明，学习过程中如果采用其它品牌的 PLC 可以参照试验程序和过程进行，不再一一进行说明)

2. 电机控制实验板，如图 5-1 所示。

3. 连接导线一套。

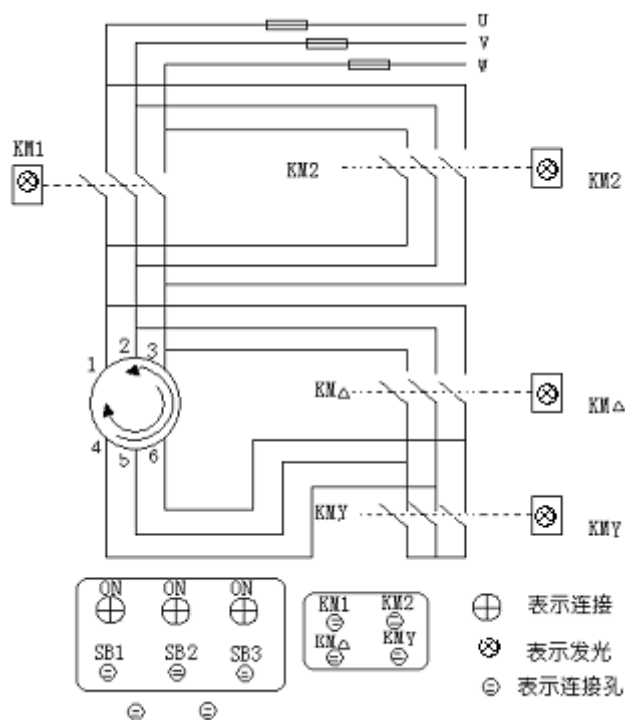


图 5-1 UNIT-1 电机控制实验板

图 5-1 为电机控制实验板的实际板图，这块板要完成的功能是用 PLC 控制三相交流异步电动机的正反转或 Y/Δ 启动，其控制对象是一台三相交流异步电动机。要完成这两项控制功能，除电动机外，还要有四组三相交流接触器 KM_1 、 KM_2 、 KM_Δ 、 KM_Y 和三个开关 SB_1 、 SB_2 、 SB_3 。

三个开关采用体积很小的按钮，可以将实物安装在实验板上，而电动机和接触器体积大，不宜安装在实验板上，若用实物将使整个学习机变得庞大而复杂。学习机采用示意图加

指示灯显示的方法模拟这两种元件，图 5-1 中的 M 代表三相交流异步电动机，两个方向的箭头下面有发光二极管 LED，实验时发光的一个表示电动机在按箭头所示的方向旋转；两者均不发光，表示电动机停转。KM₁、KM₂、KM_Δ、KM_Y 分别代表四组三相交流接触器的常开主触头，四条虚线连接的框中分别有一个发光二极管 LED，它发光时表示该接触器线圈得电，对应的常开触头闭合，不发光时表示常开点断开。

主机输入或输出点与模拟实验板的连接是通过安装在实验板上两个色块中的七个插孔，用带有插头的连接导线来实现的。

三、实验内容

1. 基于 PLC 三相异步电动机 Y/Δ 起动控制设计

控制要求：按下启动按钮，电机以 Y 形连接降压起动，在电机工作一段时间后自动换接成 Δ 形连接，电机在额定电压下运行。根据控制要求和现有实验设备，确定 I/O 点数及其分配，设计硬件接线图并搭接硬件电路，编写梯形图完成电机的 Y/Δ 起动控制。

2. 基于 PLC 三相异步电动机正反转控制实验设计

控制要求：按下起动按钮，电动机起动后正转一段时间，然后自动反转一段时间后又自动正转，如此循环下去。当按下停止按钮，电动机停止运行，要求有互锁。根据控制要求和现有实验设备，确定 I/O 点数及其分配，设计硬件接线图并搭接硬件电路，编写梯形图完成电机的正反转控制。

四、预习思考题

1. 输入继电器的作用，输入继电器能否由 PLC 内部其它继电器的触点驱动？
2. 同一“软继电器”的节点在梯形图中可使用几次？线圈能使用几次？
3. 松下 FP0 定时器的定时单位有几种？定时时间如何计算？

五、实验报告

1. 根据控制要求，确定 I/O 点数及其分配；
2. 画出硬件接线图；
3. 绘制梯形图并进行原理分析；
4. 总结实验体会。