

教 案

2025-2026 学年第一学期

课程名称 电工实训

专业班级 电气 241

总学时数 54 学时

任课教师 王娜娜

课程基本信息

课程名称	电工实训			
课程性质	专业必修	学分	3	
学时	总学时：54 学时。其中：课堂讲授 0 学时；实训/实验 54 学时；线上教学 0 学时			
开课部门	机电工程系	任课教师	王娜娜	
授课专业、班级	电气 241	开课学期	2025-2026 第一学期	
成绩评定	平时成绩占 50 %；期末成绩占 50 %	考核方式	考查/考试	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	维修电子工业出版社实训教程	顾怀平	电子工业出版社	2018.9
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	<p>电工实训是电气、自动化等相关专业培养计划中的核心环节，它直接关联到学生专业技能的形成和实际应用能力的培养。电工实训在专业培养中扮演着至关重要的角色，它不仅是对理论知识的实践应用，更是提升学生专业技能、培养实际操作能力和安全意识的重要途径。作为连接理论知识与实践操作的纽带，电工实训将学生所学的抽象概念转化为具体技能，帮助学生实现从理论到实践的跨越。</p>			
本课程教学目标	<p>掌握电工工具和设备的使用； 培养电路识别与绘制能力； 培养电路分析与计算能力； 培养电气设备安装与检修能力； 培养安全用电与操作能力</p>			
素质(思政)内容与要求	<p>在课程设计阶段，将思政元素与专业技能训练相结合，确保学生在学习专业技能的同时，理解和掌握与电气工程相关的职业道德和社会责任。让学生在实践中学习如何遵守行业规范和法律法规，强调职业道德和环境保护的重要性。在实训课程的评价体系中加入思政元素的评价标准，鼓励学生在实训中体现思政教育的要求。鼓励学生参与与电气工程相关的社会实践活动，如社区服务、环保项目等，以实际行动体现思政教育的成果。</p>			
学生用主要参考资料	<p>《电工实训基础》，杨智勇，高等教育出版社 《维修电工与实训——综合篇》，俞艳，人民邮电出版社 《电工实训技术》，陈德华，机械工业出版社</p>			

课程思政设计：

- 1、课程设计：**在课程设计阶段，将思政元素与专业技能训练相结合，确保学生在学习专业技能的同时，理解和掌握与电气工程相关的职业道德和社会责任。
- 2、案例教学：**通过分析电气工程领域的实际案例，强调安全规范、环境保护和社会责任，让学生在解决实际问题的过程中，增强安全意识和社会责任感。
- 3、实训项目：**设计实训项目，让学生在实践中学习如何遵守行业规范和法律法规，强调职业道德和环境保护的重要性。
- 4、团队合作：**通过团队合作项目，培养学生的团队协作能力和沟通能力，同时强调诚信、责任和公平竞争的重要性。
- 5、职业道德教育：**在实训课程中加入职业道德教育，讨论电气工程师的职业道德和行为准则。
- 6、社会责任：**通过讨论电气工程对社会的影响，让学生认识到自己的工作对环境和社会的责任。
- 7、创新与创业教育：**鼓励学生在实训中发挥创新精神和创业意识，同时强调创新与创业过程中的社会责任和伦理问题。
- 8、反思与讨论：**在实训结束后，组织学生进行反思和讨论，让学生思考实训过程中的思政元素，如诚信、责任、公平和可持续性。
- 9、行业规范与法规：**在实训课程中加入行业规范和法规的学习，让学生了解并遵守相关法律法规，增强法律意识。
- 10、教师示范：**教师在实训过程中应以身作则，展示专业技能和思政元素的结合，作为学生的榜样。
- 11、评价体系：**在实训课程的评价体系中加入思政元素的评价标准，鼓励学生在实训中体现思政教育的要求。
- 12、社会实践：**鼓励学生参与与电气工程相关的社会实践活动，如社区服务、环保项目等，以实际行动体现思政教育的成果。

实训 1 常用电工仪器仪表的使用

教学目的	掌握常用仪器设备的使用方法。
教学重难点	常用仪器设备的使用方法
课程思政	培养学生的团队协作能力和沟通能力
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

1. 了解常用仪表表盘上主要标注的意义。
2. 掌握常用仪器设备的使用方法。

二、原理说明

实训中常用的电工仪器仪表的工作原理分别如下：

1. 万用表

万用表具有带标尺的刻度盘、转换开关、零欧姆调节旋钮和供测量接线的插孔。万用表应水平放置，测量前首先检查表头指针是否在零点，若不在零点，则可调节表头下方的机械调零旋钮使指针置于零位。

1) 直流电压的测量

将万用表转换开关拨至直流电压挡，估计被测电压的大小，选择适当的量程，两表

笔应跨接在被测电压的两端。红色表笔插“+”孔，接至被测电压的正极；黑色表笔插“-”孔，接至被测电压的负极。当指针反向偏转时，将两表笔交换后接至电路，再读取读数。被测电压的正负由电压的参考极性和实际极性是否一致来决定。

2) 交流电压的测量

将万用表转换开关拨至交流电压挡，把两表笔跨接在被测电压的两端（不必区分正负端），交流电压挡的标尺刻度为正弦交流电压的有效值。

3) 直流电阻的测量

将万用表转换开关拨至电阻挡，估计被测电阻的大小，选择电阻挡的量程，被测电阻的值应尽量接近这一挡的中心电阻值，这样才能提高测量电阻的准确性。

2. 双路直流稳压电源

直流稳压电源是输出可调稳定直流电压的电源设备。它一般可以输出稳定的直流电压0~30 V，输出最大电流3 A。使用时先插上仪器的电源插头，输入220 V的交流电压，再打开面板上的电源开关，指示灯即亮。

3. 低频信号发生器

信号发生器是产生适合一定技术要求的电信号的电子仪器，工作频率在低频范围内的称为低频信号发生器。在电路实验中，常用的正弦波低频信号发生器型号众多，我们以功能较全的XD₇型为例来说明低频信号发生器的一般使用方法。

XD₇型低频信号发生器的使用方法如下：

(1) 仪器通电前，先将输出调节旋钮逆时针方向旋到最小位置，检查电源电压是否与仪器所需电源电压相符，然后接通电源开关，电源指示灯亮。

(2) 频率调节：根据所需频率，先选择频段，再调节“频率调节”旋钮，使指针指在所需频率位置即可。

(3) 电压输出：由面板上“电压输出”插座引出，可用“输出调节”旋钮调节输出电压的大小。

(4) 功率输出：两种输出方式，一种是对称式输出，一种是不对称式输出。(5) 输出指示：本仪器面板上的电压表所示的电压值为仪器不对称输出时电压的有效值。当仪器接成对称输出时，电压表指示值为实际输出电压值的二分之一。

4. 电子管毫伏表

电子管毫伏表是测量正弦交流电压有效值的电子仪器。与一般交流电压表相比，它的量程多，测量电压的频率宽，灵敏度高，使用范围更广，输出阻抗高，输入电容小，对被测电路影响小。

GB-9B型电子管毫伏表的使用方法如下：

(1) 通电前，检查电源电压是否与仪器所需的电源电压相符。

(2) 将仪器的两输入端短路后，打开仪器电源开关，指示灯亮。

(3) 将量程选择开关（量限）置于所需量限位置，重新调节零点，然后即可进行测量。

(4) 仪器的输入端有一端是接地的，它与被测电路的接地端应可靠连接，以减少测量时的外来干扰。

(5) 使用中为了防止因感应电压使毫伏表指针过偏而受到损坏，在停止测量的时间内，可将量限开关置于10 V以上的高量限位置。在使用毫伏级量限时，读数后应将量限开关置于高量限位置后才可断开毫伏表输入端。

(6) 本仪表一般不能用于非正弦电压的测量。

三、实训仪器设备

MF-47型万用表	1块	交流电流表	1块
双路直流稳压电源	1台	功率表	1块

低频信号发生器	1 台	交流电压表	1 块
毫伏表	1 台	滑动变阻器	1 只
直流电流表	1 块		

四、实训内容

1. 熟悉电流表及功率表表盘标注。
2. 观察交、直流电流表和功率表的表盘标注与型号，并将它们记录在下表中。
3. 用万用表测量直流电流

(1) 按图 1 接线，将万用表转换开关置于直流电流 500 mA 挡，万用表的红表笔接至电路的 A 点，黑表笔接至 B 点，万用表被串联接入电路，直流稳压电源输出电压 $U_s=10\text{ V}$ ， $R=100\ \Omega$ ，可变电阻器 R_p 调至最大电阻值， R_p 最大阻值为 $200\ \Omega$ 。

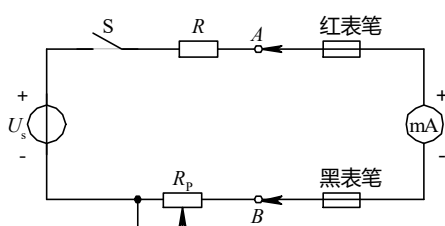


图1 万用表测量直流电流电路图

(2) 闭合开关 S，可变电阻器分别取 $R_p/4$ 、 $R_p/2$ 、 $3R_p/4$ 、 R_p ，测量相应的直流电流值，记入下表中。

3. 用毫伏表测量信号发生器的输出电压

直流电流	可变电阻器	$R_p/4$	$R_p/2$	$3R_p/4$	R_p
	测量电流值/mA				

调节信号发生器频率为 1 kHz，输出衰减为 0 dB，功率接成不对称输出形式，输出电压为 10 V，然后逐挡改变输出衰减，读取相应的毫伏表指示值，记入下表中。

五、实训注意事项

1. 直流稳压源的输出不允许短路，恒流源的输出不允许开路。
2. 切记不可误用万用表的电阻挡和电流挡去测量电压，以免烧坏表头。

六、实训报告

1. 测量电压或电流时，若不知具体数值，万用表应如何选择量程？
2. 由实验数据说明在测量交流电压时，万用表（或普通交流电压表）和电子毫伏表各适用于何种场合。

实训 2：导线的连接

教学目的	掌握导线的连接、导线绝缘皮的恢复
教学重难点	导线的连接
课程思政	培养学生的团队协作能力和沟通能力
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

1. 掌握导线的连接
2. 掌握导线绝缘皮的恢复。

二、原理说明

原理分别如下：

在进行电气线路、设备的安装过程中，如果当导线不够长或要分接支路时，就需要进行导线与导线间的连接。常用导线的线芯有单股 7 芯和 19 芯等几种，连接方法随芯线的金属材料、股数不同而异。

(一) 单股铜线的直线连接

- 1) 首先把两线头的芯线做 X 形相交，互相紧密缠绕 2-3 圈，如图 2-1a 所示。
- 2) 接着把两线头扳直，如图 2-1b 所示。
- 3) 然后将每个线头围绕芯线紧密缠绕 6 圈，并用钢丝钳把余下的芯线切去，最后钳平芯线的末端，如图 2-1c 所示。

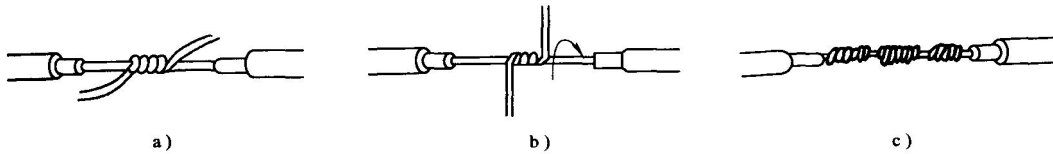


图 2-1 单股铜线的直线连接

(二)、单股铜线的 T 字形连接

- 1) 如果导线直径较小，可按图 2-2a 所示方法绕制成结状，然后再把支路芯线线头拉紧扳直，紧密地缠绕 6-8 圈后，剪去多余芯线，并钳平毛刺。
- 2) 如果导线直径较大，先将支路芯线的线头与干线芯线做十字相交，使支路芯线根部留出约 3-5mm，然后缠绕支路芯线，缠绕 6-8 圈后，用钢丝钳切去余下的芯线，并钳平芯线末端，如图 2-2b 所示。

(三)、7 芯铜线的直线连接

- 1) 先将剖去绝缘层的芯线头散开并拉直，然后把靠近绝缘层约 1/3 线段的芯线绞紧，接着把余下的 2/3 芯线分散成伞状，并将每根芯线拉直，如图 2-3a 所示。
- 2) 把两个伞状芯线隔根对叉，并将两端芯线拉平，如图 2-3b 所示。
- 3) 把其中一端的 7 股芯线按两根、三根分成三组，把第一组两根芯线扳起，垂直于芯线紧密缠绕，如图 2-3c 所示。
- 4) 缠绕两圈后，把余下的芯线向右拉直，把第二组的两根芯线扳直，与第一组芯线的方向一致，压着前两根扳直的芯线紧密缠绕，如图 2-3d 所示。
- 5) 缠绕两圈后，也将余下的芯线向右扳直，把第三组的三根芯线扳直，与前两组芯线的方向一致，压着前四根扳直的芯线紧密缠绕，如图 2-3e 所示。
- 6) 缠绕三圈后，切去每组多余的芯线，钳平线端，如图 2-3f 所示。
- 7) 除了芯线缠绕方向相反，另一侧的制作方法 with 2-3 相同。

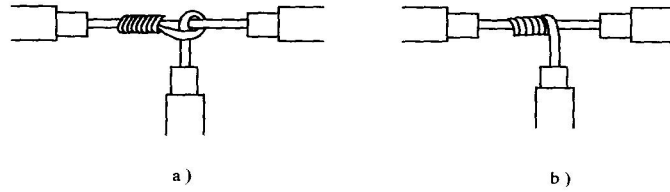


图 2-2 单股铜线的 T 字形连接

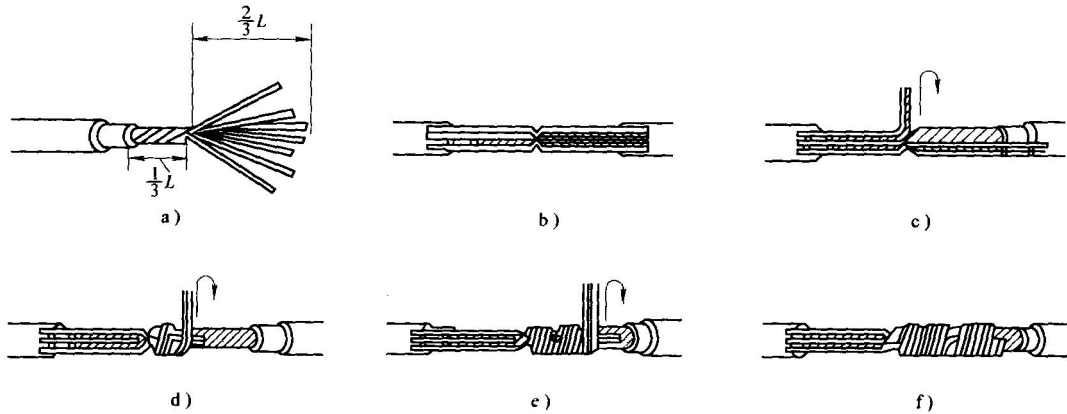


图 2-3 7 芯铜线的直线连接

(四)、7 芯铜线的 T 字形连接

1) 把分支芯线散开钳平，将距离绝缘层 1-8 处的芯线绞紧，再把支路线头 $\frac{7}{8}$ 的芯线分成 4 根和 3 根两组，并排齐；然后用螺钉旋具把干线的芯线撬开分为两组，把支线中 4 根芯线的一组插入干线两组芯线之间，把支线中另外 3 根芯线放在干线芯线的前面，如图 2-4a 所示。

2) 把 3 根芯线的一组在干线右边紧密缠绕 3-4 圈，钳平线端；再把 4 根芯线的一组按相反方向在干线左边紧密缠绕，如图 2-4b 所示。缠绕 4-5 圈后，钳平线端，如图 2-4c 所示。

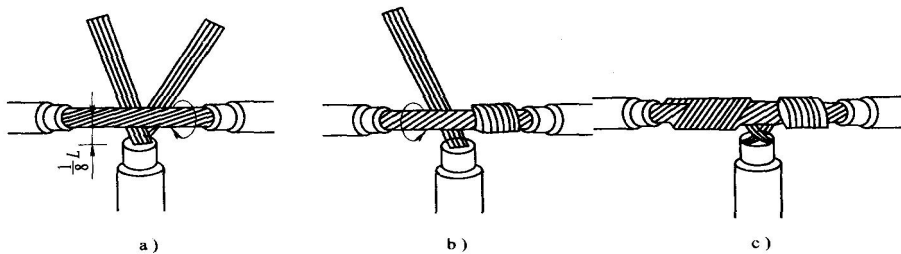


图 2-4 7 芯铜线的 T 字形连接

7 芯铜线的直线连接方法同样适用于 19 芯铜导线，只是芯线太多可剪去中间的几根芯线；连接后，需要在连接处进行钎焊处理，这样可以改善导电性能和增加其力学强度。19 芯

铜线的 T 字形分支连接方法与 7 芯铜线也基本相同。将支路导线的芯线分成 10 根和 9 根两组，而把其中 10 根芯线那组插入干线中进行绕制。

(五)、铜芯导线接头处的锡焊处理

1) 电烙铁锡焊。如果铜芯导线截面积不大于 10mm^2 , 它们的接头可用 150W 电烙铁进行锡焊。可以先将接头上涂一层无酸焊锡膏, 待电烙铁加热后, 再进行锡焊即可。

2) 浇焊。对于截面积大于 16mm^2 的铜芯导线接头, 常采用浇焊法。首先将焊锡放在化锡锅内, 用喷灯或电炉使其熔化, 待表面呈磷黄色时, 说明焊锡已经达到高热状态, 然后将涂有无酸焊锡膏的导线接头放在锡锅上面, 再用勺盛上熔化的锡, 从接头上面浇下,

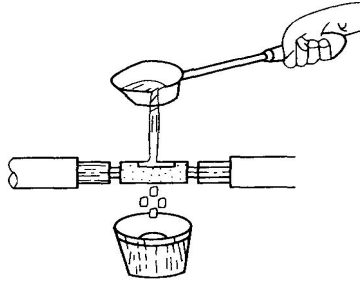


图 2-5 铜芯导线接头的浇焊

如图 2-5 所示。因为起初接头较凉, 锡在接头上不会有很好的流动性, 所以应持续浇下去, 使接头处温度提高, 直到全部缝隙焊满为止。最后用抹布擦去焊渣即可。

(六)、压接管压接法连接

由于铝极易氧化, 而铝氧化膜的电阻率很高, 严重影响导线的导电性能, 所以铝芯导线直线连接不宜采用铜芯导线的方法进行, 多股铝芯导线常用压接管压接法连接(此方法同样适用于多股铜导线)。其方法和步骤如下:

1) 根据多股导线规格选择合适的压接管。

2) 用钢丝刷清除铝芯线表面及压接管内壁的氧化层或其他污物, 并在其外表涂上一层中性凡士林。

3) 将两根导线线头相对插入压接管内, 并使两线端穿出压接管 25-30mm , 如图 3-22c 所示。

4) 按如图 3-22d 所示进行压接。压坑的数目与连接点所处的环境有关, 通常情况下, 室内是 4 个, 室外为 6 个。

(七)、导线绝缘层的恢复

当发现导线绝缘层破损或完成导线连接后, 一定要恢复导线的绝缘。要求恢复后的绝缘强度不应低于原有绝缘层。所用材料通常是黄蜡带、涤纶薄膜带和黑胶带, 黄蜡带和黑胶带一般选用宽度为 20mm 的。

直线连接接头的绝缘恢复

1) 首先将黄蜡带从导线左侧完整的绝缘层上开始包缠, 包缠两根带宽后再进入无绝缘层的接头部分, 如图 2-6a 所示。

2) 包缠时, 应将黄蜡带与导线保持约 55° 的倾斜角, 每圈叠压带宽的 $1/2$ 左右, 如图 2-6b 所示。

3) 包缠一层黄蜡带后, 把黑胶布接在黄蜡带的尾端, 按另一斜叠方向再包缠一层黑胶布, 每圈仍要压叠带宽的 $1/2$, 如图 2-6c 、 d 所示。

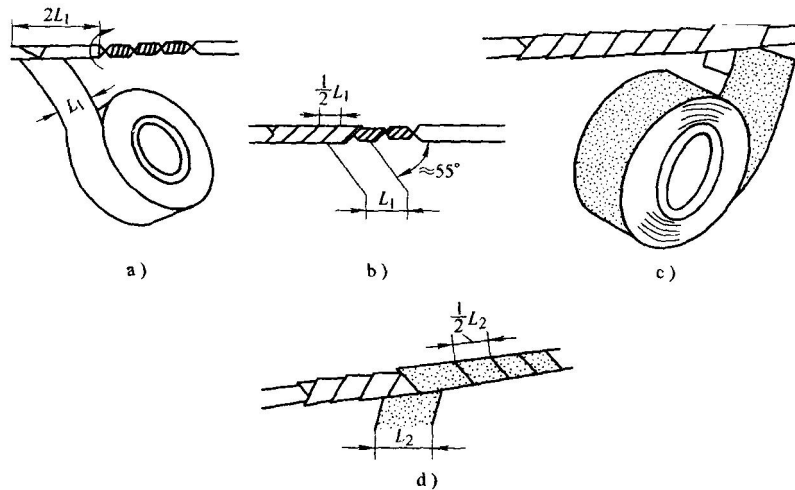


图 2-6 直线连接接头的绝缘恢复

T 字形连接接头的绝缘恢复

- 1) 首先将黄蜡带从接头左端开始包缠，每圈叠压带宽的 $1/2$ 左右，如图 2-7a 所示。
- 2) 缠绕至支线时，用左手拇指顶住左侧直角处的带面，使它紧贴于转角处芯线，而且要使处于接头顶部的带面尽量向右侧斜压，如图 2-6b 所示。
- 3) 当围绕到右侧转角处时，用手指顶住右侧直角处带面，将带面在干线顶部向左侧斜压，使其与被压在下边的带面呈 X 状交叉，然后把带再回绕到左侧转角处，如图 2-6c 所示。
- 4) 使黄蜡带从接头交叉处开始在支线上向下包缠，并使黄蜡带向右侧倾斜，如图 2-7d 所示。
- 5) 在支线上绕至绝缘层上约两个带宽时，黄蜡带折回向上包缠，并使黄蜡带向左侧倾斜，绕至接头交叉处，使黄蜡带围绕过干线顶部，然后开始在干线右侧芯线上进行包缠。如图 2-7e 所示。
- 6) 包缠至干线右端的完好绝缘层后，再接上黑胶带，按上述方法包缠一层即可，如图 2-7f 所示。

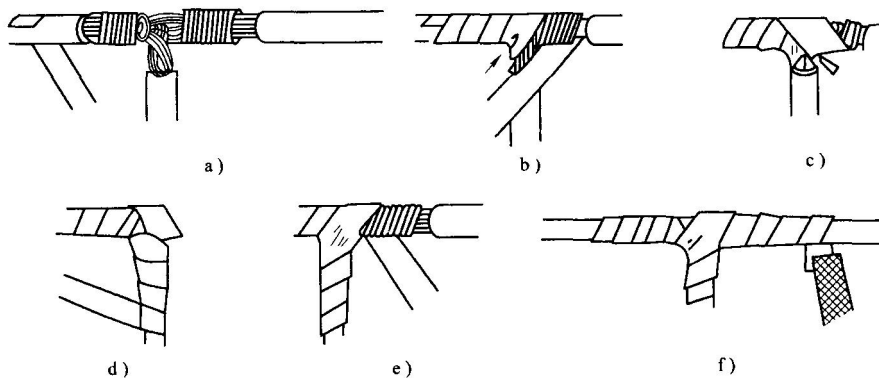


图 2-7 T 字形连接接头的绝缘恢复

注意事项

- 1) 在为工作电压为 380V 的导线恢复绝缘时,必须先包缠 1-2 层黄蜡带,然后再包缠一层黑胶带。
- 2) 在为工作电压为 220V 的导线恢复绝缘时,应先包缠一层黄蜡带,然后再包缠一层黑胶带,也可只包缠两层黑胶带。
- 3) 包缠绝缘带时,不能过疏,更不能露出芯线,以免造成触电或短路事故。
- 4) 绝缘带平时不可放在温度很高的地方,也不可浸染油类。

三、使用内容

- 1) 单股导线的直接连接;
- 2) 单股导线的 T 型连接;
- 3) 7 股导线的直接连接;
- 4) 7 股导线的 T 型连接;
- 5) 导线绝缘的恢复

四、实验报告

实训 3: 照明电路的安装与调试

教学目的	掌握简单照明电路的安装
教学重难点	简单照明电路的安装、熟练使用电工常用工具检测及调试
课程思政	在实践中学习如何遵守行业规范和法律法规
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

1. 了解和掌握简单照明电路的安装
2. 熟练使用电工常用工具检测及调试

二、实训设备

序号	名称	数量	备注
1	电源及仪表控制屏	1	提供三相四线制 380V、220V 电压
2	白炽灯泡及灯座	2	
3	灯开关两线	2	
4	灯开关三线	2	
5	延时开关	1	
6	空气开关	1	
7	电度表	1	
8	万用表、剥线钳、螺丝刀、尖嘴钳等	1 套	
9	导线	1 米左右	
10	插头	1	

三、实训电路

1. 单开关控制电路如图 3.1 所示,最上面的两根线分别为火线和零线。

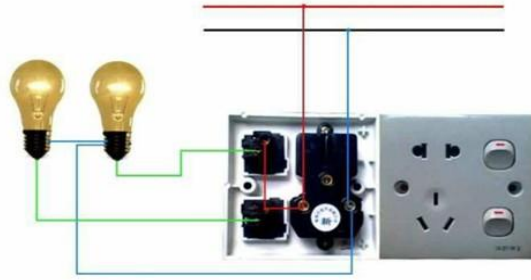


图 3.1 两个单开关控制电路

2. 双联开关控制电路如图 3.2 所示，两三线开关控制一盏灯。

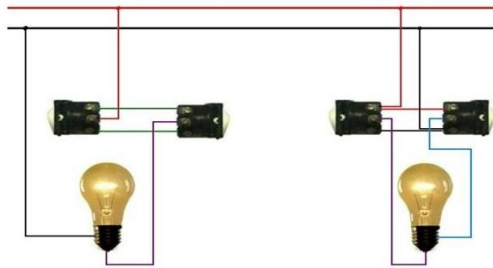


图 3.2 双联开关控制电路的两种接法

3. 单相电度表的接线如图 3.3 所示，单相电度表引出四根线，分别为两根进线和两根出线。

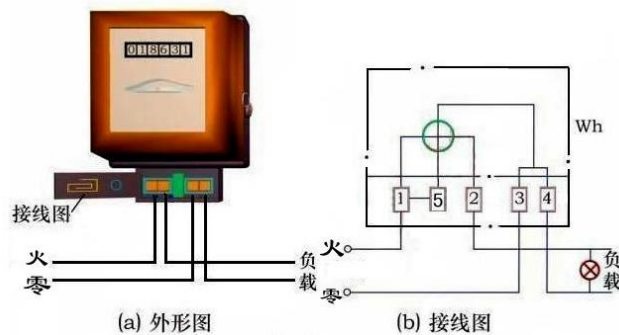


图 3.3 单相电度表的接线

四、实训步骤

1. 根据实际情况和电路图将器件合理布局；
2. 根据图 3.1、3.2、3.3 按先后顺序接好线路，自己先检查一遍，后与一位同学互相对换检查，检查无误后经指导老师许可后送电；
3. 观察实验现象，如得不出实验结果，马上切断电源，用万用表进行检测并调试好后再通电。
4. 记录图 3.3 电度表工作 10 分钟走过的值（换算成能量）。

五、思考题

1. 怎样设计电路才能使通电后灯过一会儿才亮？
2. 计算负载电路接通 10 分钟后消耗的电能，并与电度表 10 分钟所走的值对比？
3. 为了使图 3.3 的电度表变化快些，如何设计负载电路？

六、实验报告

实训 4：仪表内阻引起测量误差的分析

教学目的	验证线性电路的叠加原理的正确性
教学重难点	熟练使用电工常用工具检测及调试，误差分析
课程思政	在实践中学习如何遵守行业规范和法律法规
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

1. 验证线性电路的叠加原理的正确性, 从而加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。
2. 熟练使用电工常用工具检测及调试

二、实训设备

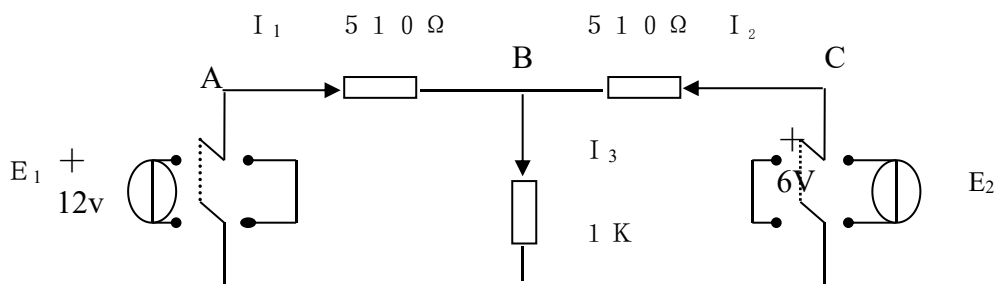
实训台、直流稳压电源 (+6V、+12V)，直流数字毫安表， 直流数字电压表。

三、使用原理

叠加原理: 在有几个独立源共同作用下的线性电路中, 通过每一个元件的电流或其两端的电压, 可以看成是由每一个独立源单独作用是在该元件上所产生的电流或电压的代数和。线性电路的齐次性是指当激励信号 (与独立源的值) 增加或减小 K 倍时, 电路的响应 (即在电路其他各电阻元件上所建立的电流和电压值) 也将增加或减小 K 倍。

四、实训内容:

- 1、按实验电路图 2-1 接线, 取 $E_1 = +12\text{V}$, $E_2 = +6\text{V}$ 。
- 2、令 E_1 电源单独作用时, 用数字万用表的电压档和毫安表测量各支路电流及各电阻元件两端电压, 数据记入表格中。



- 3、令 E_2 电源单独作用时, 重复实验图 2-1 的测量和记录。
- 4、令 E_1 和 E_2 共同作用时, 重复上述的测量和记录。
- 5、将 E_2 的数值调到 +12V, 重复上述第 3 项的测量并记录。

测量项目	E1	E2	I1	I2	I3	UAB	UBC	UCD	UDA	UBD
实训内容	(V)	(V)	(mA)	(mA)	(mA)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)

E1 单独作用	12	/								
E2 单独作用	/	6								
E1\E2 共同作用	12	6								
2E2 单独作用	/	12								

(表格 1)

五、实训注意事项

- 1、 测量各支路电流时，应注意仪表的极性，在数据表中用+、一号记录。
- 2、 注意仪表的量程和及时换挡。

六、实验报告：

- 1、 根据实验数据验证线性电路的叠加性和齐次性。
- 2、 各电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出？试用上述数据进行计算并作结论。

七、实训预习思考：

- 1、叠加原理中 E1、E2 分别单独作用，在实验中应如何操作？可否直接将不作用的电源（E1 或 E2）置零（短接）？为什么？
- 2、实验电路中，若有一个电阻器改为二极管，叠加原理的叠加性与齐次性还成立吗？为什么？

实训 5：三相负载电路特性

教学目的	三相负载的正确联接方法
教学重难点	三相电路中电压、相电压、线电压、相电流、线电流的关系，了解三相四线制低压配电系统中中线的作用
课程思政	课程中加入职业道德教育
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

1. 学习三相负载的正确联接方法。
2. 掌握三相电路中电压、相电压、线电压、相电流、线电流的关系，了解三相四线制低压配电系统中中线的作用。

二、实训原理

1. 工业及民用的交流电源，几乎都是由三相电源供给的，单相交流电源也是由三相电源的一相提供的。三相电源一般来自发电机或变压器二次侧的三个绕组。三个绕组的始端为 A、B、C、末端为 X、Y、Z，若将三个绕组的末端连在一起，便形成星形（Y 型）联结。三个绕组的连接点成为一个公共端，称为中点，从公共端引出的导线称为中线（或零线），

并用字母 N 表示，有时中线与大地直接相连称为地线。从三个绕组始端引出的三条输电线称为端线或相线（俗称火线）。这时电源有四条输电线，称为三相四线制电源。

端线（A、B、C）与中线之间的电压，就是一相绕组的电压，称为相电压，用 U_P 表示。相电压有三个，即 U_A 、 U_B 、 U_C ，三个相电压是一组对称的电压，它们的相量表示式为

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= U_P \angle 0^\circ \\ \dot{U}_B &= U_P \angle -120^\circ \\ \dot{U}_C &= U_P \angle +120^\circ\end{aligned}$$

任意两根端线（火线）之间的电压，称为三相电源的线电压，用 U_1 表示。三个线电压与相电压之间的关系为

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A\end{aligned}$$

根据它们之间的几何关系，可得

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \sqrt{3}U_P \angle 30^\circ \\ \dot{U}_{BC} &= \sqrt{3}U_P \angle -90^\circ \\ \dot{U}_{AC} &= \sqrt{3}U_P \angle +150^\circ\end{aligned}$$

三个线电压也是一组对称的电压，线电压的大小是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，在相位上超前相应的相电压 30° 。如果三相四线制电源的线电压 $U_1 = 380V$ ，则此电源的相电压 $U_P = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220V$ 。

2. 三相交流电路中负载有星形和三角形两种联结方法，如图 5.1。采用哪种联结方法取决于电源电压与负载的额定电压。目前我国低压配电大多数为 380V，三相四线制系统，通常电灯（单相负载）的额定电压为 220V，因此要接在相线与中线之间，并尽可能使电源各相负载均匀、对称，所以总体看负载联结成星形。由于有中线，可以保证在负载不对称时，负载各相电压仍是对称的。三相异步电动机、三相电炉等为三相对称负载（指各相负载阻抗的模与阻抗角完全相等，即 $Z_A = Z_B = Z_C$ ），所以当星形联结时，由于中线电流 I_N 等于零，可以采用三相三线制（即去除中线）。本实验用白炽灯来模拟三相负载。

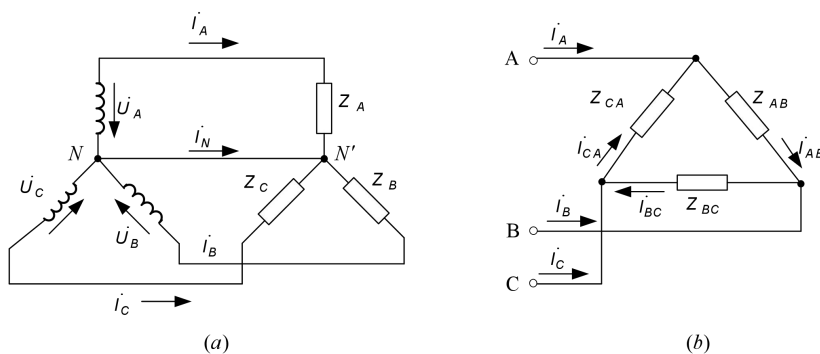


图 5.1 三相电路中负载的联结

(a) 负载星形联结

(b) 负载三角形联结

3. 三相对称负载不论是星形还是三角形联结，三相电路的有功功率

$$P = 3P_P = 3U_P I_P \cos \varphi = \sqrt{3}U_1 I_1 \cos \varphi$$

式中 P_P 为其中一相的功率， I_P 及 I_1 为相电流及线电流， φ 为相电压和相电流的相位差。

三相电路有功功率的测量，在三相四线制供电系统中，可采用一瓦特计法（负载对称）和三瓦特计法（负载不对称）。对三相三线制供电系统，不论负载对称与否，亦不论负载是

星形还是三角形联接，一般都采用二瓦特计法。

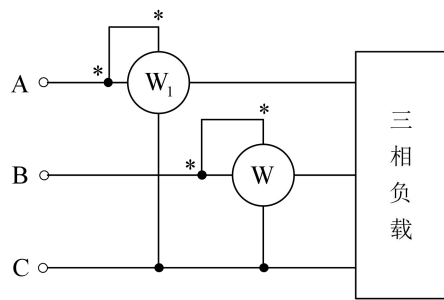


图 5.2 二瓦特计法测量三相功率

本实验采用二瓦特计法测量三相功率，测量的原理电路如图 5.2 所示。三相电路的总功率等于两个功率表读数的代数和，即 $P=P_1 \pm P_2$ 。当负载的功率因数 $\cos\varphi < 0.5$ 时（例如电动机空载或轻载运行），测量时会出现一个功率表指针反偏现象，无法读数，此时可拨动面板上的极性开关（有些功率表无此开关，可调换电流线圈的两个接线端），使指针正偏，但读数应取负值。本次实验为电阻性电灯负载，不会出现负值，测量的总功率就为 $P=P_1+P_2$ 。

三、实训仪器和设备

电流插座、插头（各 1）、灯板（配 4 个 220V、100W 白炽灯泡）、交流电压表（0~250~500V）、交流电流表（0~1~2A 及 0~0.5~1A 各 1）、功率表（0~0.5~1A、0~75~150~300~600V）。

四、实训内容和步骤

1. 本实验采用线电压为 220V 的三相电源，用四个 220V、100W 的白炽灯泡接成三相负载。

2. 灯泡负载接成星形

(1) 测量对称负载有中线及无中线两种情况下的各线电压、相电压、线电流，有中线时的中线电流和无中线时电源中点与负载中点之间的电压 $U_{N'N}$ 。将测得数据记入自拟表格。

(2) 测量不对称负载（A 相负载中并联一个白炽灯泡），有中线及无中线两种情况下与实训内容 2（1）中所测相同内容的各数据，记入自拟表格。

3. 灯泡负载接成三角形

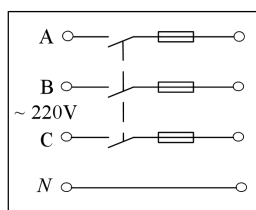
(1) 测量负载对称与不对称（AB 相负载上并联一个白炽灯泡）两种情况下的各线电压、线电流及 AB 相的相电流，将测得数据记入自拟表格。

(2) 用二瓦计法测量对称情况下三相灯泡负载的总功率，将两功率表的数据记入自拟表格。

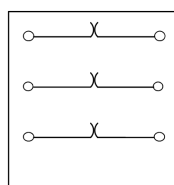
五、预习要求

1. 将图 5.3 中白炽灯泡负载画成星形联结和三相电流插座及电源开关相连。要求一次接线能完成实训内容 2 中各项要求。分析图（c）中 S_1 、 S_2 起什么作用。

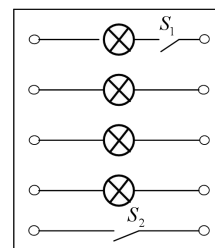
2. 将图 5.3 中白炽灯泡负载画成三角形联结的三相对称负载，并在 AB 相中串联一个测量相电流的电流表。



(a)



(b)



(c)

图 5.3 三相交流实验中所用电源板、电流插座及灯板的示意图

(a) 电源的开关板 (b) 电流插座 (c) 灯板

3. 根据实训内容 1、2、3，自拟相应的数据表格和选择仪表量程。

4. 按实训内容 3（2）的要求，画出用二瓦特计法测量三相功率的接线图。

六、实验总结报告

1. 根据实训内容 2 的结果，说明中线的作用，以及在星形联结时 $U_1 = \sqrt{3}U_P$ 的条件。

2. 画实训内容 2（2）中不对称负载星形联接有中线情况下的电流相量图（以 U_A 为参考相量）。

3. 画出实训内容 3（1）不对称负载情况下的各线电流和 AB 相电流的相量图（以 U_{AB} 为参考量）。

实训 6：示波器与信号发生器的使用

教学目的	示波器的基本使用方法、信号发生器的基本使用方法
教学重难点	示波器的基本使用方法、信号发生器的基本使用方法
课程思政	课程中加入职业道德教育
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

- 1、学习示波器的基本使用方法；
- 2、学习信号发生器的基本使用方法。

二、实训仪器

- 1、模拟示波器一台；
- 2、模拟电路实验箱一台。

三、实验要求

- 1、小心操作、爱护仪器；
- 2、仔细体会各项操作，理解各项操作的作用。

四、实训原理

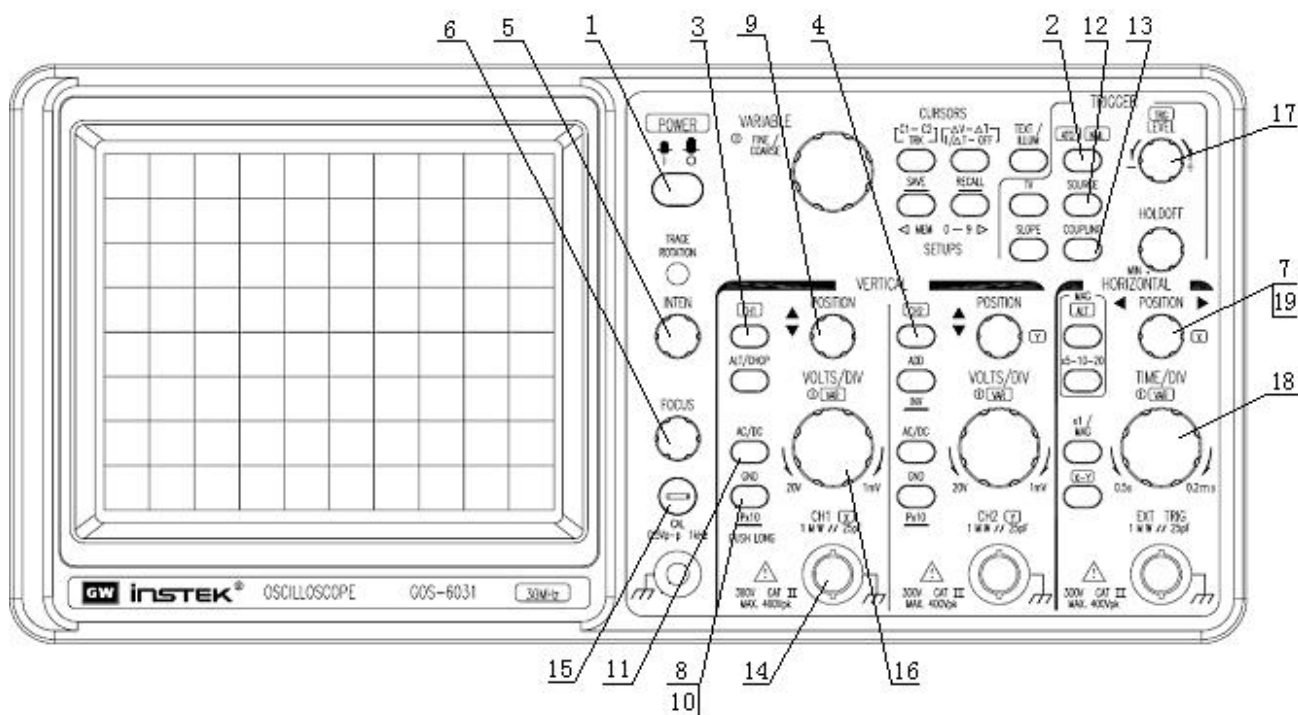


图 5-1 示波器面板图

1、示波器使用练习（测量校准信号的波形、周期、峰峰值电压）。

- 1) 按下电源开关（POWER 键），示波器上电。等待几秒钟，使示波器完成初始化。
- 2) 按自动手动切换键，使“ATO”灯亮。
- 3) 按通道 1 选择键（CH1 键），使“CH1”灯亮。
- 4) 按通道 2 选择键（CH2 键），使“CH2”灯灭。
- 5) 调节亮度旋钮（INTEN 旋钮），使扫描线的亮度适当。
- 6) 调节聚焦旋钮（FOCUS 旋钮），使扫描线成清晰的细实线。
- 7) 调节水平位置旋钮（HORIZONTAL 区的 POSITION 旋钮），使扫描线左右居中。
- 8) 按通道 1 的输入接地键（VERTICAL 区 CH1 的 GND 键），使屏幕左下角显示接地符号“ \perp ”。
- 9) 调节通道 1 垂直位置旋钮（VERTICAL 区 CH1 的 POSITION 旋钮），使扫描线上下居中。
- 10) 再按通道 1 的输入接地键（VERTICAL 区 CH1 的 GND 键），使屏幕左下角的接地符号“ \perp ”消失。
- 11) 按通道 1 的交/直流耦合选择键（VERTICAL 区 CH1 的 AC/DC 键），使屏幕左下角显示直流耦合符号“ \equiv ”。
- 12) 按触发源选择键（TRIGGER 区的 SOURCE 键），使屏幕右下角显示通道 1 符号“CH1”。
- 13) 按触发耦合选择键（TRIGGER 区的 COUPLING 键），使屏幕右下角显示交流耦合符号“AC”。
- 14) 将输入信号线插如通道 1 插座。
- 15) 将探头勾在 CAL（校准信号）端子上。

- 16) 调节通道 1 的垂直灵敏度旋钮 (VOLTS/DIV 旋钮), 使显示信号的峰与峰之间为一格 (1cm)。
 - 17) 调节触发电平旋钮 (TRIGGER 区的 LEVEL 旋钮), 使波形显示稳定 (TRG 灯亮)。
 - 18) 调节时基旋钮 (HORIZONTAL 区的 TIME/DIV 旋钮), 使屏幕显示波形的 2~3 个周期。
 - 19) 调节水平位置旋钮 (HORIZONTAL 区的 POSITION 旋钮), 使波形中一个周期的上升沿对齐屏幕上的一条垂直刻线。
 - 20) 读取波形一个周期占据的水平格数 (如 3.2 格), 再用格数乘以每格的时间值 (在屏幕右下角, 如 “.2mS” 为 0.2mS), 即得到信号的周期值。
 - 21) 读取波形在垂直方向占据的格数 (如 1.1 格), 在用格数乘以每格的电压值 (在屏幕左下角, 如 “.5V” 为 0.5V), 即得到信号的峰峰值电压。
- 2、信号发生器使用练习 (产生正弦信号, 频率为 2000Hz、峰峰值电压为 2V_{p-p})。

五、实训内容

(一)、正弦波波形观测

- 1) 打开电源。
- 2) 将波形选择开关置于“正弦波”, 设置为产生正弦信号。(波形选择完毕)
- 3) 频率选择开关设在 900Hz~10kHz。
- 4) 将频率调节旋钮“粗调”、“细调”顺时针旋到底。
- 5) 将幅值调节旋钮也顺时针调到底, 如果出现切顶或削底失真, 则将该旋钮适当回调, 使正弦波不失真。
- 6) 将信号发生器输出的信号连接到示波器, 用示波器实际测量信号的波形、周期、峰峰值电压。
- 7) 描绘观测到的波形, 标示出该波形的周期、峰峰值电压。

(二)、方波波形观测

- 1) 将波形选择开关置于“方波”, 设置为产生方波信号。其余操作步骤参照上述步骤。
- 2) 描绘观测到的波形, 标示出该波形的周期、峰峰值电压。

项目一、正弦波波形观测

- 1) 打开电源。
- 2) 将波形选择开关置于“正弦波”, 设置为产生正弦信号。(波形选择完毕)
- 3) 频率选择开关设在 900Hz~10kHz。
- 4) 将频率调节旋钮“粗调”、“细调”顺时针旋到底。
- 5) 将幅值调节旋钮也顺时针调到底, 如果出现切顶或削底失真, 则将该旋钮适当回调, 使正弦波不失真。
- 6) 将信号发生器输出的信号连接到示波器, 用示波器实际测量信号的波形、周期、峰峰值电压。
- 7) 描绘观测到的波形 (两个周期), 标注出该波形的周期、峰峰值电压。



项目二、方波波形观测

- 1) 打开电源。
- 2) 将波形选择开关置于“方波”，设置为产生方波信号。（波形选择完毕）
- 3) 频率选择开关设在 900Hz~10kHz。
- 4) 将频率调节旋钮“粗调”、“细调”顺时针旋到底。
- 5) 将幅值调节旋钮也顺时针调到底。
- 6) 将信号发生器输出的信号连接到示波器，用示波器实际测量信号的波形、周期、峰峰值电压。
- 7) 描绘观测到的波形（两个周期），标注出该波形的周期、峰峰值电压。



实训 7：暂态电路特性

教学目的	暂态电路特性
教学重难点	暂态电路特性
课程思政	培养学生对环境和社会的责任
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一 实训目的

- 1) 学会使用数字示波器、信号发生器观测电路的暂态过程。
- 2) 学会观测并选择合适的波形测量电路的时间常数。
- 3) 学会观测并选择合适的波形测量电路半衰期的时间常数。

二 实训仪器

实验台 示波器 函数发生器

三 实训原理

RC 电路

电阻 R 及电容 C 组成的直流串联电路中，接通或断开电源的瞬间，电容上的电压随时间发生变化。如图 7-1 (a) 所示，当开关 K 闭合在位置 1 时，将对电容 C 充电直到其电压等于电源的开路电压 V_0 为止；当开关 K 闭合在位置 2 时，电容将通过电阻 R 放电。其充、放电关系曲线如图 7-1 (b) 所示，这一过程称为瞬态过程。

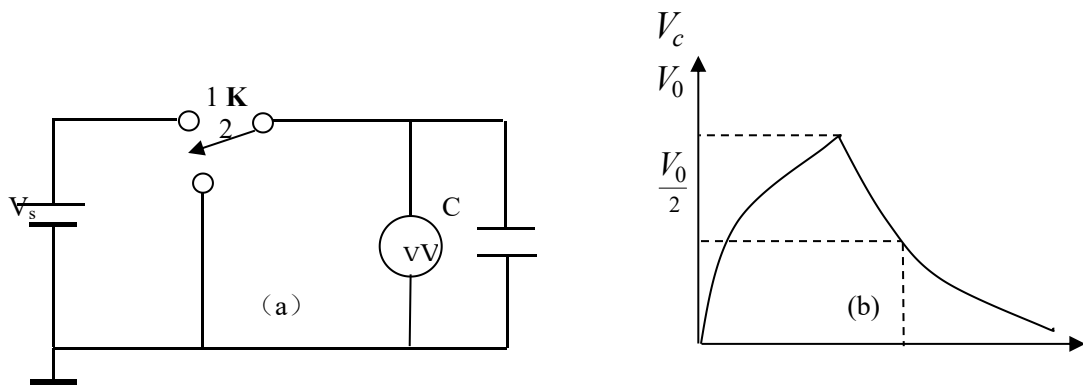


图 7-1

在此过程中，电容器 C 上的电压随时间的变化关系如下：

$$V_c = V_0(1 - e^{-t/RC}) \quad (1) \text{ (充电过程);}$$

$$V_c = V_0 e^{-t/RC} \quad (2) \text{ (放电过程),}$$

式中 RC 称为电路的时间常数（或弛豫时间）。当 V_c 由 V_s 减小到 $V_s/2$ 时，相应的时间称为半衰期 $T_{1/2}$ 。

$$T_{1/2} = RC \ln 2 = 0.693RC$$

$$RC = \frac{T_{1/2}}{0.693}$$

如果测出半衰期 $T_{1/2}$ ，从式中（2）就可以求出时间常数

RL 电路

电阻 R 及电感 L 组成的直流串联电路中，接通或断开电源的瞬间，电路中的电流将逐渐增大或减小。如图 7-2 (a) 所示，当开关闭合在位置 1 时，电路中的电流随时间 t 的变化关系为

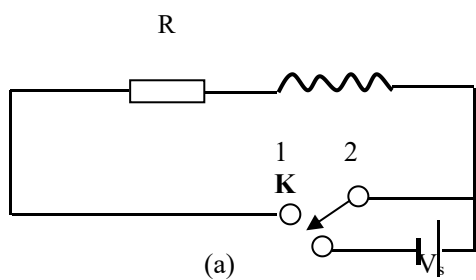
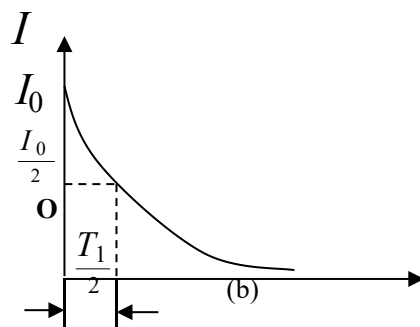


图 7-2

$$I = I_0(1 - e^{-Rt/L}) \quad (3)$$



式中 I_0 为稳定时的电流强度，R 包括 R_1 及电感 L 的损耗电阻 R_L 。当电路中电流达到稳定后，将开关 K 闭合在位置 2 时，电流随时间衰减的关系为式中 L/R 称为时间常数（或弛豫时间）

$$\frac{L}{R} = \frac{T_{1/2}}{0.693}$$

半衰期为由图 7-2 (b) 中可测得 $T_{1/2}$ ，从式（3）可求出时间常数

实验方法

RC 电路

1) 按图 7-3 接线。选择电容 $C=0.01\ \mu\text{F}$ ，调节函数发生器使其输出方波信号、信号频率为 $f=500\text{Hz}$ ，电压输出到合适的幅度， R 的电阻值分别调整为 $1\text{k}\Omega$ 、 $20\text{k}\Omega$ 、 $100\text{k}\Omega$ ，按动示波器 ‘AUTOSET’ 按钮，调节示波器的 Y 轴衰减倍率旋钮 (VOLTS/DIV) 及 X 扫描速度旋钮 (SEC/DIV)，观察示波器显示的波形。

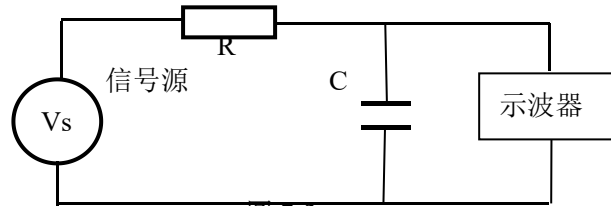


图 7-3

2) 固定 $R=10\text{k}\Omega$ ，逐次调节函数发生器频率 f (相应地须调节数字示波器的 Y 轴衰减倍率旋钮及 X 扫描速度旋钮)，使再现类似上述的各种波形，记录 f 并在计算机中储存相应波形。

3) 分析波形，选择合适的波形测量半衰期。按动数字示波器上的 ‘CURSOR’ 按钮，然后按动液晶上 ‘类型’ 对应的在功能面板上的按钮，使液晶上 ‘类型’ 下方出现 ‘时间’ 字样。调节光标 1 (CURSOR1) 和光标 2 (CURSOR2) 旋钮测量并记录半衰期 $T_{1/2}$ ，计算时间常数 RC ($R=R_1+R_s$) 并比较。 (R_s 为信号源内阻)

RL 电路

1) 按图 7-4 接线。固定方波频率 $f=1000\text{Hz}$ ，调节 R 分别为 $10\text{k}\Omega$ 、 $1\text{k}\Omega$ 和 $100\ \Omega$ ，并相应调节可变电感为 $L=0.04\text{H}$ ，观察各种波形并在计算机中储存相应波形。

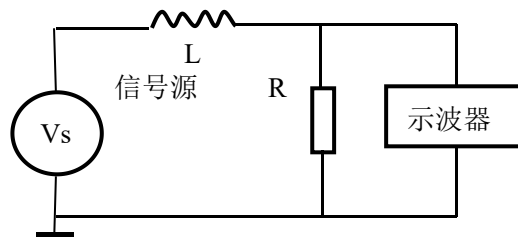


图 7-4

2) 选择合适波形测量半衰期。利用示波器 ‘光标’ 测量 $T_{1/2}$ ，计算时间常数 $\frac{L}{R}$ (与测量 RC 电路的时间常数的方法相同)。

3) 用电桥测量 L 及其损耗电阻 R_L 。

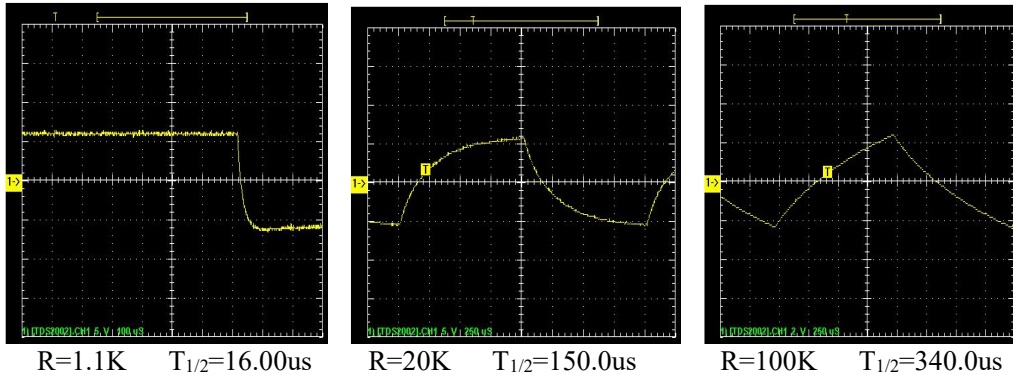
4) 计算 $\frac{L}{R}$ (其中 $R=R_1+R_L+R_s$)，并与用示波器测得的 $\frac{L}{R}$ 进行比较。

四、实训内容

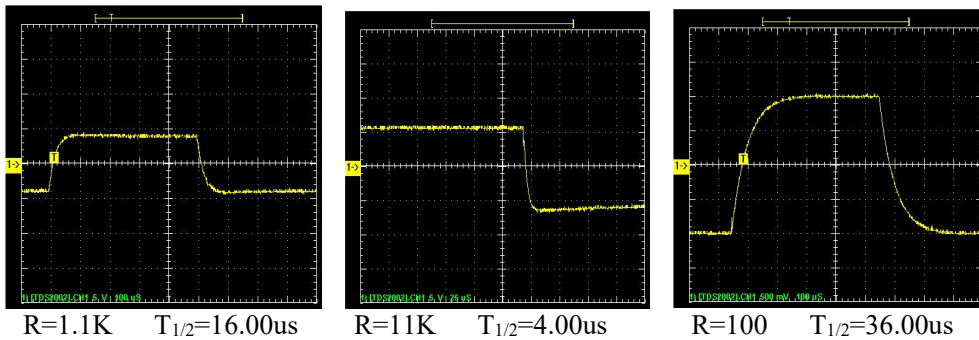
- 1) 设计表格记录信号源内阻、可调电感的 L 值及耗损电阻 R_L 。
- 2) 设计表格记录 RC、RL、RLC 电路的半衰期及其相应的 R 、 C 、 L 值。
- 3) 计算三种电路的时间常数及其不确定度，并给出测量结果。
- 4) 比较测量所得的时间常数与用元件示值代入公式计算得到的时间常数值。

五、实训参考数据

- 1) RC 电路不同电阻值的暂稳态波形图



2) RL 电路不同电阻值的暂稳态波形图



课堂实验预习检查题目

- 1) 在 RC 电路中，固定方波频率 f 改变电阻 R_1 ，为什么会有各种不同的波形？固定 R_1 改变 f ，为什么也会得到类似的波形？
- 2) 在 RL 电路中，固定方波频率 f 改变电阻 R_1 ，为什么会有各种不同的波形？
- 3) 在 RLC 电路中，为什么要适当调节方波的频率才能观测到阻尼振荡的波形？如果频率很高，将发生怎样情况？试观察。

实训 8：三相异步电机点动控制

教学目的	三相异步电机点动控制
教学重难点	控制电路连接
课程思政	培养学生对环境和社会的责任
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

1. 了解按钮、交流接触器和热继电器的基本结构和动作原理；
2. 掌握三相异步电动机直接启动的工作原理、接线及操作方法；
3. 了解三相异步电动机运行时的保护方法。

二、实验设备

实训台、三相异步电动机

三、实训原理

交流接触器主由铁芯、吸引线圈和触点组等部件组成。铁芯分为动铁芯和静铁芯，当吸引线圈加上额定电压时，两铁芯吸合，从而带动触点组动作。触点可分主触点和辅助触点。主触点的接触面积大，并具有灭弧装置，能通断较大的电流，可接在主电路中，控制电动机的工作。辅助触点只能通断较小的电流，常接在辅助电路（控制电路）中。触点还有动合触点和动断触点之分，前者当吸引线圈无电时处于断开状态，后者为吸引线圈无电时处于闭合状态。当吸引线圈带电时，动合触点闭合，动断触点断开。

交流接触器在工作时，如加于吸引线圈的电压过低，则铁芯会释放，使触点组复位，故具有欠位保护功能。

按钮是一种简单的手动开关，在控制电路中用来发出“接通”或“断开”的指令。它的点也有动合和动断两种形式。

热继电器是一种利用感受到的热量进行动作的保护电器，用来保护电路的过载。它主要由发热元件和辅助触点等组成。当电路过载时点动作，从而使控制电路失电，达到切断主电路的目的。

四、实训内容

四. 实训内容

1. 了解常用低压电器的结构和动作原理，掌握常用继电器接触控制电路的工作原理。

2. 三相异步电动机的点动控制

1) 按图 8-1 接线，其中电动机采用 Y 接法；并请指导教师检查线路是否无误，方可通电；

2) 合上电源开关，操作按钮 SB, 使电动机起动，观察电动机和交流接触器的动作情况；

3) 断开 SB, 观察电动机的工作情况，体会自锁触头的的作用。

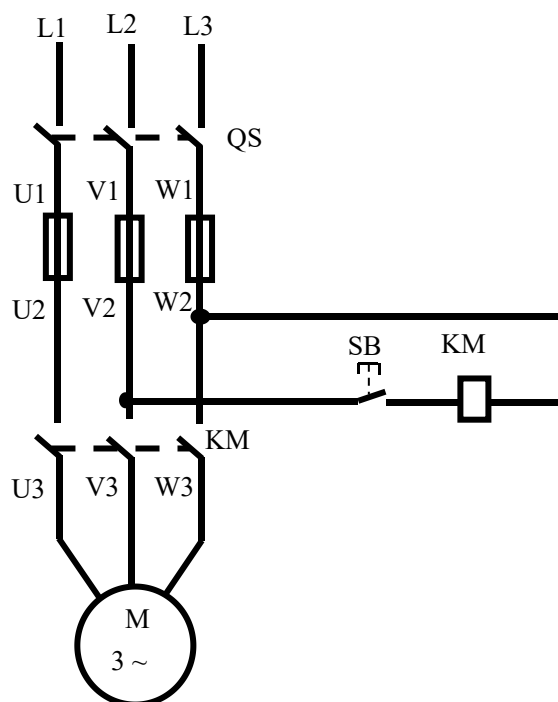


图 8-1 电动机点动控制

五、实验报告

实训 9：三相异步电动机自锁控制

教学目的	三相异步电机自锁控制
教学重难点	控制电路连接、操作
课程思政	鼓励学生在实训中发挥创新精神和创业意识
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

掌握三相异步电动机自锁控制的工作原理、接线及操作方法；

二、实验设备

实训台、三相异步电动机

三、实训原理

工作原理如图 9-1

四、实训内容

1) 按图 9-1 接线，其中电动机采用 Y 接法；并请指导教师检查线路是否无误，方可通电；

2) 合上电源开关，操作按钮 SB1 和 SB2，使电动机起动和停止，观察电动机和交流接触器的动作情况；

3) 断开电源开关，拆除控制电路中的自锁触头，再合上电源开关，操作按钮 SB2，观察电动机的点动工作情况，体会自锁触头的作用。

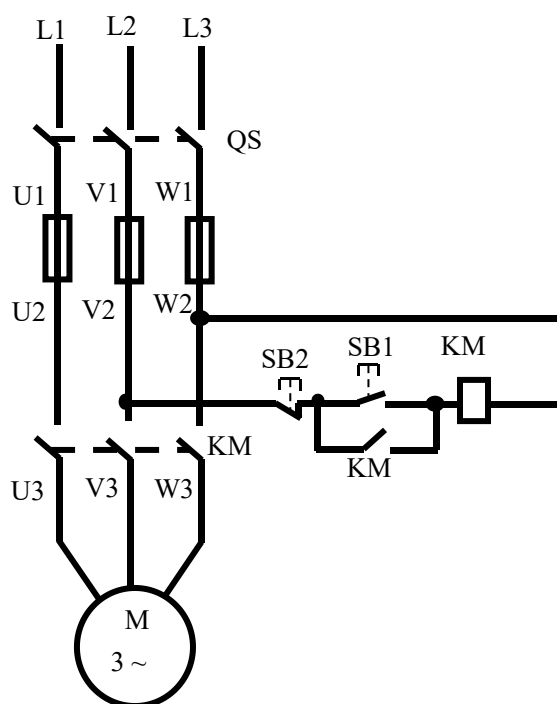


图 9-1 电动机自锁控制

五、实验报告

实训 10：三相异步电动机正反转控制

教学目的	三相异步电机正反转控制
教学重难点	控制电路连接与操作、正反转控制
课程思政	鼓励学生在实训中发挥创新精神和创业意识
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

掌握三相异步电动机正反转工作原理、接线及操作方法；

二、实验设备

实训台、三相异步电动机

三、实训原理

图 10-1 是异步电动机正反转控制电路，其中 KM_F 和 KM_R 分别是用作正反转控制的两个交流接触器。为防止接触器同时工作，而使电源通过它们的主触点发生短路，所以在控制电路中，正转接触器 KM_F 的一个动断（常闭）辅助触点串接在反转接触器 KM_R 的线圈电路中；反转触器 KM_R 的一个动断（常闭）辅助触点串接在正转接触器 KM_F 的线圈电路中，这两个动断（常闭）辅助触点起联锁作用。如果在正转过程中要求反转，必须先按停止按钮 SB_{STP} ，使联锁触点 KM_F 闭合后，按反转起动按钮 SB_{STR} ，电动机才能反转。

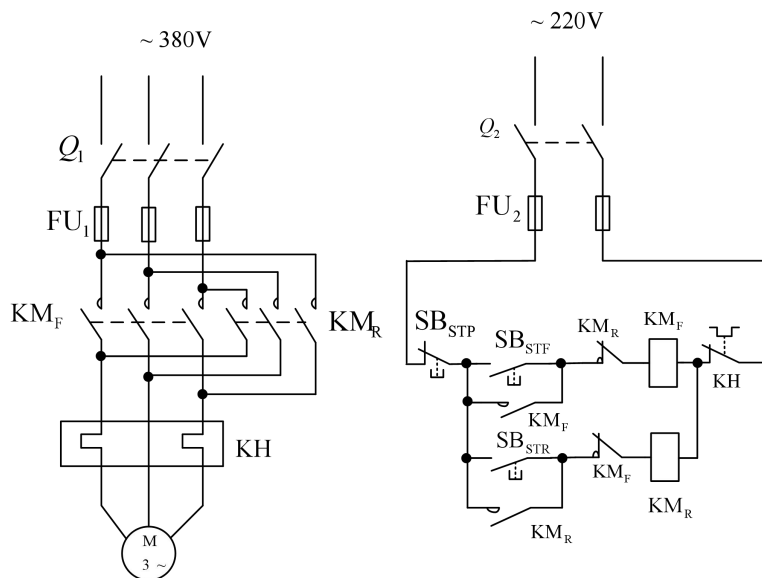


图 10-1 异步电动机正反转控制电路

四、实训内容

1) 按图 10-1 接线，其中电动机采用 Y 接法；并请指导教师检查线路是否无误，方可通电；

2) 合上电源开关, 操作按钮 SB2STF, 使电动机起动和停止, 观察电动机和交流接触器的动作情况;

3) 按下按钮 SBSTp; 观察电动机和交流接触器的动作情况;

4) 按下按钮 SBSTR; 观察电动机和交流接触器的动作情况;

5) 按下按钮 SBSTp, 观察此时电动机和交流接触器的动作情况;

五、实验报告

实训 11 三相异步电动机通电型 Y-Δ自动降压启动控制

教学目的	三相异步电机 Y-Δ自动降压启动控制
教学重难点	三相异步电动机 Y-Δ自动降压启动控制、接线及操作
课程思政	鼓励学生在实训中发挥创新精神和创业意识
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的:

掌握三相异步电动机 Y-Δ自动降压启动控制、接线及操作方法;

二、实验设备

实训台、三相异步电动机

三、实训原理

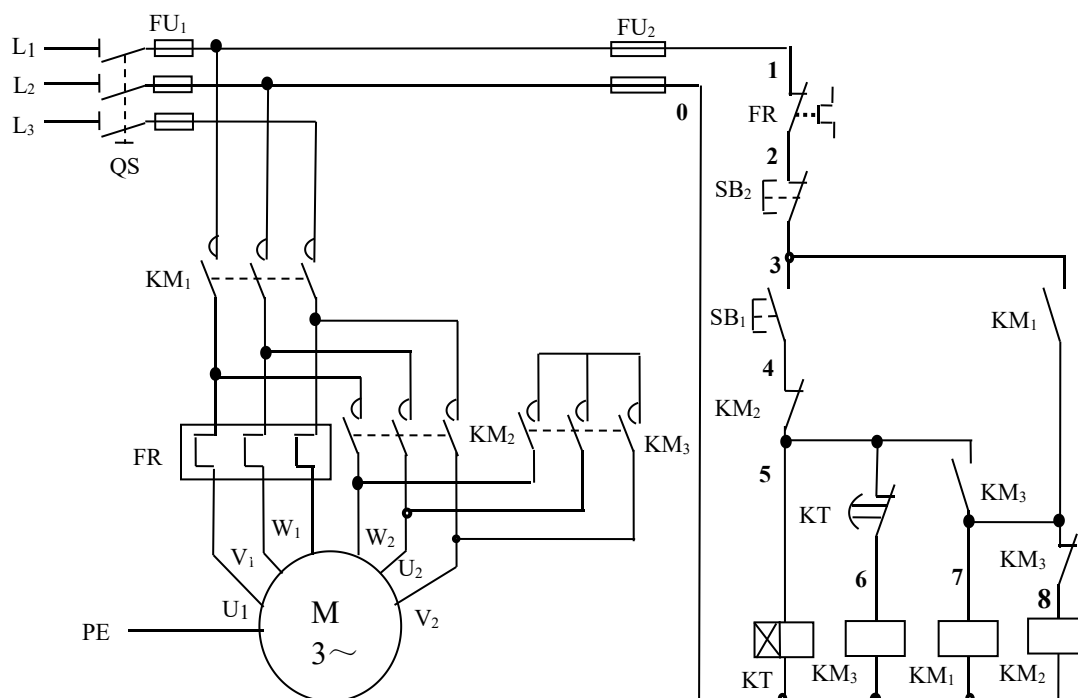


图 11-1 三相异步电动机通电型 Y-Δ自动降压, 整定时间 2S+1S

(二)实训内容

1、将所需器材配齐并检验元件质量

检验元件要在不通电的情况下进行，若有损坏应立即向指导教师报告；

2、根据电器布置图在控制板上安装所有电器元件；要求：

①控制板上的电器元件应安装牢固，排列整齐、匀称、合理和便于更换元件；

②紧固电器元件要受力均匀、紧固程度适当，以防止损坏元件；

3、按原理图进行板前明线布线；要求：

①控制板内部布线应平直、整齐、紧贴敷设面，走线合理及接点不得松动，不露铜过长、不反圈、不压绝缘层等；

②布线时，严禁损伤线芯和导线绝缘；

③接线时要注意电动机的 Δ 接法不能接错，应将电动机定子绕组的U1、V1、W1通过KM2接触器分别与W2、U2、V2连接，否则，会使电动机在 Δ 接法时造成三相绕组各接同一相电源或其中一相绕组接入同一相电源而无法工作等故障；

4、布线完工后，必须对控制线路的正确性进行全面的自检，以确保通电的一次成功；

5、经教师检查后，通电校验；要求：

①通电时，必须得到指导老师同意，以初检后，由指导老师接通电源L1、L2、L3，并在现场进行监护；

②学生合上电源开关QS后，允许用万用表或验电笔等检查主、控电路的熔体是否完好，但不得对线路是否正确进行带电检查；

第一次按下按钮时，应短时点动，以观察线路和电动机有无异常现象；

试车成功率以通电后第一次按下按钮时计算；

出现故障后，学生应独立进行检修，若需带电检查时，也必须有指导老师在现场监护；检修完毕再次试车，也应有教师监护，并做好本课题的实习时间记录；

实习课题应在规定定额时间内完成，做到安全、文明生产；

四、巡回指导要求

1、检查每个学生元件布置的是否合理，对于不合理的及时纠正；

2、观察各学生是否严格按照工艺要求进行布线，各接线点是否符合工艺要求，对于不符合要求的线和接点必须拆掉重接；必要时，指导老师示范操作，教会他们接好每一根线和接点；特别注意：KM3接触器的进线必须从三相绕组的末端引入，若误将首端引入，则在KM3接触器吸合时，会产生三相电源短路事故；

3、及时处理在课堂上随时发生的安全隐患；

4、及时维修或更换学生在实训过程中损坏的或因长期使用被磨损的器件和工量具；

5、通电时，必须由指导老师接通电源，并在现场进行监护；

6、在通电过程中，指导学生观察各用电器在电路中的动作现象；

7、通电后，随机提问电路中相关电器的作用；及其电路中的相关问题；

五、实验报告

实训 12：两台三相异步电动机顺序启动

教学目的	两台三相异步电动机顺序启动
教学重难点	两台三相异步电动机顺序启动
课程思政	实训课程中加入行业规范和法规的学习
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的：

掌握两台三相异步电动机顺序启动、接线及操作方法；

二、实验设备

实训台、三相异步电动机

三、实训原理

在实验桌上找到时间继电器和行程开关，了解其结构和工作原理，在断开电源的情况下，用万用表判断它们线圈和触点对应接线柱的位置，记录所测线圈的电阻值，并检查其工作情况是否正常。

② 两台电动机顺序起动的控制电路按图 12-1 接线。参照实训内容（3）①介绍的方法检查控制电路。（此时测得的电阻值为 KM1 和 KT 两个线圈并联后的阻值）然后合上 Q2，观察控制电路接触器、继电器动作情况，若控制电路动作正常，主电路接线正确，则可接通电源开关 Q1，观察一台电动机先起动，同时时间继电器线圈通电，延时一段时间后，时间继电器动作，另一台电动机随之起动。

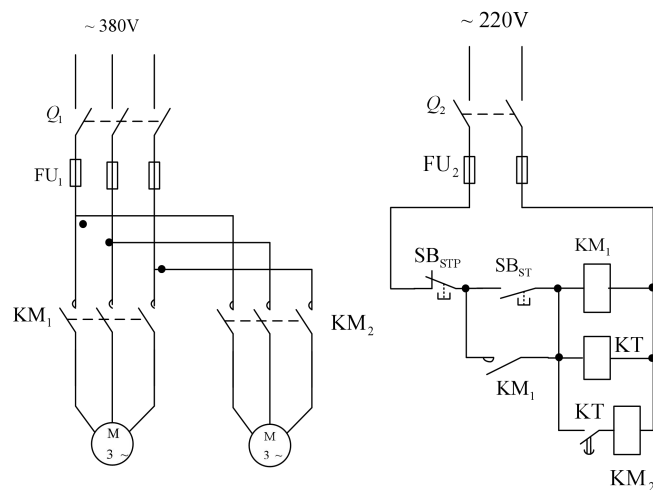


图 12-1 两台电动机顺序起动的控制电路

3. 根据预习要求自行设计的主电路和控制电路接线和操作。

注意：接线必须经指导教师认可后，才能接线。

四、实训内容

1) 按图 12-1 接线，其中电动机采用 Y 接法；并请指导教师检查线路是否无误，方可通电；

2) 合上电源开关，操作按钮 SBST, 使电动机起动，观察电动机和交流接触器的动作情况；

3) 按下按钮 SBSTp；观察电动机和交流接触器的动作情况；

五、实验报告

实验 13：三相异步电动机调速控制

教学目的	两台三相异步电动机调速
教学重难点	两台三相异步电动机调速
课程思政	实训课程中加入行业规范和法规的学习
学时	3 学时

一、实训目的：

掌握三相异步电动机调速控制；

二、实验设备

实训台、三相异步电动机

三、实训原理

三相异步电动机的自耦降压启动

(1) 电动机自耦降压启动（自动控制接线图）

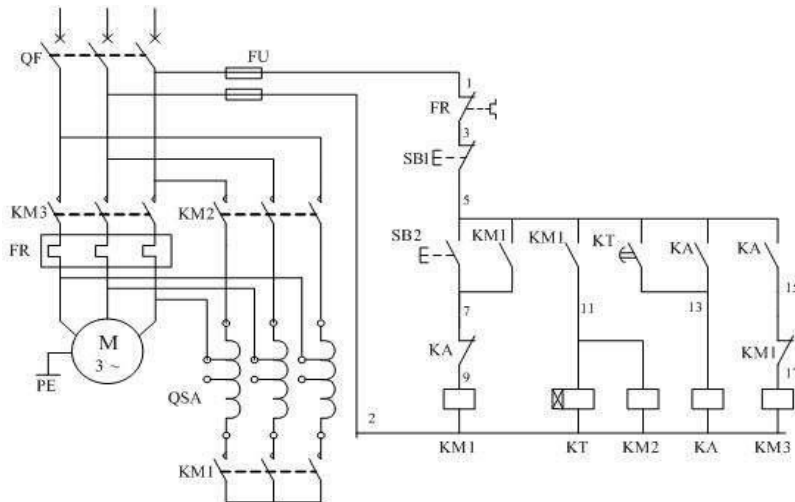


图 3-7 电动机自耦降压启动接线图

图 3-7 是交流电动机自耦降压启动自动切换控制接线图，自动切换靠时间继电器完成，用时间继电器切换能可靠地完成由启动到运行的转换过程，不会造成启动时间的长短不一的情况，也不会因启动时间长造成烧毁自耦变压器事故

控制过程如下：

a、合上空气开关 QF 接通三相电源。

b、按启动按钮 SB2 交流接触器 KM1 线圈通电吸合并自锁，其主触头闭合，将自耦变压器线圈接成星形，与此同时由于 KM1 辅助常开触点闭合，使得接触器 KM2 线圈通电吸合，KM2 的主触头闭合由自耦变压器的低压低压抽头（例如 65%）将三相电压的 65% 接入电动。

c、KM1 辅助常开触点闭合，使时间继电器 KT 线圈通电，并按已整定好的时间开始计时，当时间到达后，KT 的延时常开触点闭合，使中间继电器 KA 线圈通电吸合并自锁。

d、由于 KA 线圈通电，其常闭触点断开使 KM1 线圈断电，KM1 常开触点全部释放，主触头断开，使自耦变压器线圈封星端打开；同时 KM2 线圈断电，其主触头断开，切断自耦变压器电源。KA 的常闭触点闭合，通过 KM1 已经复位的常闭触点，使 KM3 线圈得电吸合，KM3 主触头接通电动机在全压下运行。

e、KM1 的常开触点断开也使时间继电器 KT 线圈断电，其延时闭合触点释放，也保证了在电动机启动任务完成后，使时间继电器 KT 可处于断电状态。

f、欲停车时，可按 SB1 则控制回路全部断电，电动机切除电源而停转。

g、电动机的过载保护由热继电器 FR 完成。

实验 15：三相异步电动机的软启动及调速

教学目的	两台三相异步电动机软启动
教学重难点	两台三相异步电动机软启动及调速
课程思政	实训课程中加入行业规范和法规的学习
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

- 1、通过对三相异步电动机降压起动的接线，进一步掌握降压起动在机床控制中的应用。
- 2、了解不同降压起动控制方式时电流和起动转矩的差别。
- 3、掌握在各种不同场合下应用何种起动方式。

二、实验设备

1. 刀开关（1个）、按钮（2个）、熔断器（2个）、可调三相交流电源调压器（1个）、接触器（2个）、热继电器（1个）、三相异步电动机（1台）等。
2. 连接导线若干。

三、实训内容及步骤

1、时间继电器控制降压起动控制线路：

- (1) 起动电源，合上QS，接通220V 交流电源。
- (2) 按下SB2，观察并记录电动机串电阻起动时各接触器吸合情况、电动机运行状态。
- (3) 隔一段时间，时间继电器KT 吸合后，电动机全压运行时各接触器吸合情况、电动机运行状态。

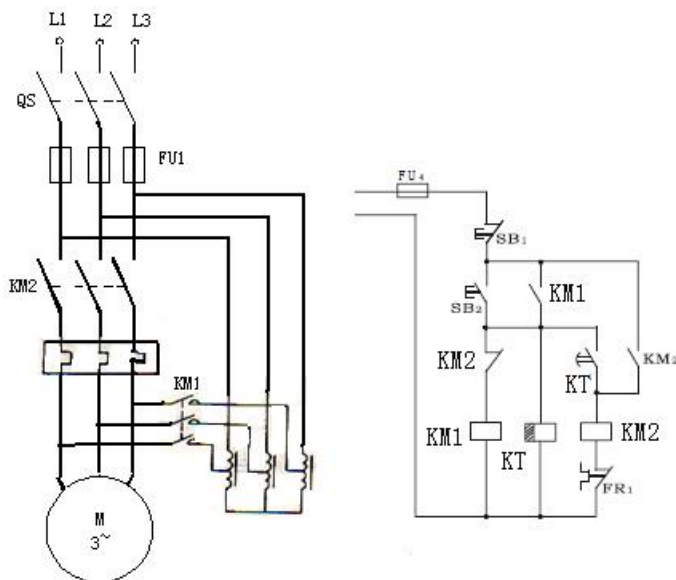


图 1 电动机的软启动及调速原理

五、实验注意事项

1. 接线时合理安排挂箱位置，接线要求牢靠、整齐、清楚、安全可靠。
2. 操作时要胆大、心细、谨慎，不许用手触及各电器元件的导电部分及电动机的转动部分，以免触电及意外损伤。
3. 通电观察继电器动作情况时，要注意安全，防止碰触带电部位。

4. 实验接线应遵循的原则是：先串后并，先分后和，先辅后主。

六、实验报告

1. 按照一定的格式书写实验报告。
2. 画出实验电路图，叙述实验操作步骤。

实验 16：双向可控硅调光电路

教学目的	双向可控硅调光电路
教学重难点	双向可控硅调光电路连接、调试
课程思政	实训课程中加入行业规范和法规的学习
学时	3 学时
教学方法	讲解法、实验法

一、实训目的

掌握双向可控硅引脚判断、双向可控硅调光电路的焊接与故障排除

二、实验重点

掌握双向可控硅引脚判断、电阻色环读数

三、实验难点

双向可控硅引脚判断

四、教学方法

讲授法、实验法

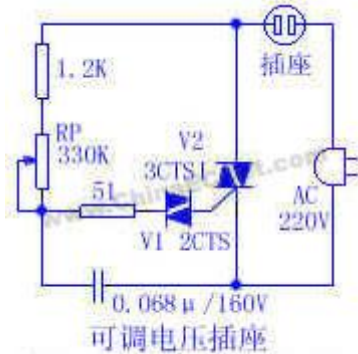
五、教学内容

(一) 实验工具

双向可控硅调光电路套件 1 套、电工工具等

(二)、实训原理

采用双向触发二极管触发双向晶闸管的调压电路是一种典型而常用的触发电路，如图所示。在一般情况下，双向触发二极管呈高阻截止状态，只有当外加电压(不论正负)的幅值大于双向触发二极管的转折电压时，它便会击穿导通。



当电路接通交流市电后，交流市电便通过负载电阻 R_L 及 R_P 、 R_1 向电容器 C 充电。只要电容器 C 上的充电电压高于双向触发二极管的转折电压，电容器 C 便通过限流电阻 R_1 以及双向触发二极管 V_1 向晶闸管 VS 的控制极放电，触发双向晶闸管 VS 导通。改变电位器 RP 的阻值便可改变向 C 充电的速度，也就改变了双向晶闸管的导通角。由于双向触发二极管在正、反电压下均能工作，所以它能在交流电的正、负两个半周内均能工作。

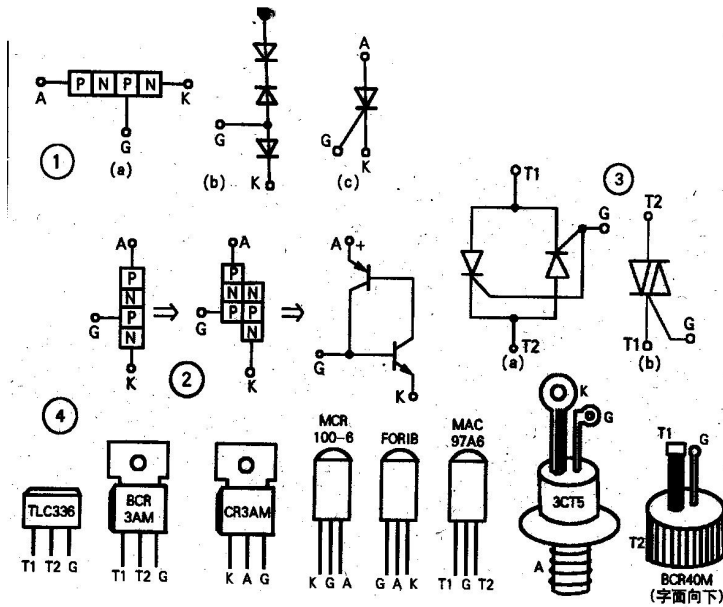
(三)、实训内容与步骤

1. 判断可控硅的引脚

可控硅测量

可控硅管脚引脚定义如上图

可控硅分单向可控硅和双向可控硅两种，都是三个电极。单向可控硅有阴极(K)、阳极(A)、控制极(G)。双向可控硅等效于两只单向可控硅反向并联而成(见上图③)。即其中一只单向硅阳极与另一只阴极相边连，其引出端称 T2 极，其中一只单向硅阴极与另一只阳极相连，其引出端称 T1 极，剩下则为控制极(G)。



a、单、双向可控硅的判别：
 先任测两个极，若正、反测指针均不动(R×1挡)，可能是A、K或G、A极(对单向可控硅)也可能是T2、T1或T2、G极(对双向可控硅)。若其中有一次测量指示为几十至几百欧，则必为单向可控硅。且红笔所接为K极，黑笔接的为G极，剩下即为A极。若正、反向测批示均为几十至几百欧，则必为双向可控硅。再将旋钮拨至R×1或R×10挡复测，其中必有一次阻值稍大，则稍大的一次红笔接的为G极，黑笔所接为T1极，余下是T2极。

b、性能的差别：将旋钮拨至R×1挡，对于1~6A单向可控硅，红笔接K极，黑笔同时接通G、A极，在保持黑笔不脱离A极状态下断开G极，指针应指示几十欧至一百欧，此时可控硅已被触发，且触发电压低(或触发电流小)。然后瞬时断开A极再接通，指针应退回∞位置，则表明可控硅良好。)

2.画出布局图和布线图

3.按布局图和布线图焊接电路

4.调试所接电路

六、板书

双向可控硅调光电路

一、双向可控硅引脚识别

二、实训原理

七、作业

认真完成实验报告