

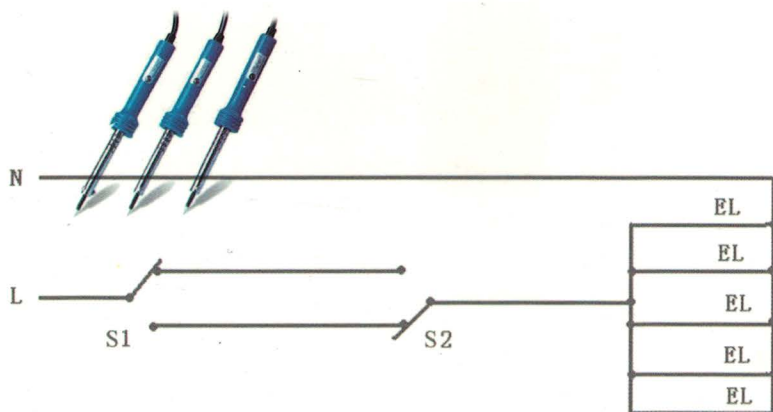


职业技能培训系列教材

初级电工 技能实战训练

CHUJI DIANGONG JINENG
SHIZHAN XUNLIAN

王跃军 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

- ✓ 模块形式编写 理论技能一体
- ✓ 理论必需够用 技能训练强化
- ✓ 先进实用适用 成就初级电工



职业技能培训系列教材

初级电工技能实战训练

主 编 王跃军

主 审 彭旭昀



机械工业出版社

本书依据《国家职业技能标准》和职业技能鉴定规范,参照深圳市电工职业技能标准,系统地阐述了初级电工技能考核及低压电工安全操作考核必须掌握的内容。全书共分7个模块:模块1介绍了电工基础知识;模块2介绍了电工常用工具、仪表及其使用;模块3介绍了常用低压电器的基本知识和使用方法;模块4介绍了电工作业基本操作;模块5介绍了电力拖动控制原理与技能;模块6介绍了电工安装技术基础知识;模块7介绍了电子技术基础知识及基本操作技能。

本书对具体实训内容进行了重点介绍,详细讲解了实训步骤、接线方法及其操作过程,以期达到培养实操技能和专业适应能力的学习目标。

本书可用于初级电工技能培训和低压电工安全操作的培训,同时还可作为技工学校、职业院校机电工程专业的实训教材,亦可作为电气工程技术人员和电气工人的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

初级电工技能实战训练/王跃军主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 7
职业技能培训系列教材
ISBN 978-7-111-46766-3

I. ①初… II. ①王… III. ①电工技术—技术培训—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第102894号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:何月秋 陈玉芝 责任编辑:王振国

版式设计:赵颖喆 责任校对:刘怡丹

封面设计:马精明 责任印制:刘 岚

涿州市京南印刷厂印刷

2014年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.75印张·278千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-46766-3

定价:29.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

职业技能培训系列教材

编委会名单

主 任 黎德良

副主任 王 德 彭旭昀 何月秋

委 员 郭昕文 乔建伟 涂爱云 邵 纯

陈 芸 王跃军 谭 斌 邱 东

黄太平 鄂永雄

序

随着我国经济的不断发展和产业结构的转型升级以及经济的全球化发展，我国已逐步成为世界的“制造中心”，而制造业的主力军——技能人才却严重匮乏，成为影响我国经济进一步发展的瓶颈。为此，国家提出了新的人才发展战略目标，全面推进技能振兴计划和技能人才培养工程。

在技能人才培养的教学过程中，教材处于基础地位，是课程体系设计的核心。为加快技能人才的培养，我们精心策划了这套“职业技能培训系列教材”。本系列丛书的编写特色体现在以下几个方面：

一是书中内容突出一个“新”字，做到结合当前企业的生产实际，力求教学内容能反映本工种新技术、新标准、新工艺和新设备的应用。

二是根据《国家职业标准》和职业技能鉴定规范，同时结合深圳市电工、电梯、制冷等专业工种的职业技能标准，力求教学内容能覆盖相应工种、相应层次的技能鉴定要求。

三是教学中注重培养学员的职业能力，把相关知识点的学习与专业技能的训练有机地结合起来，摒弃以往“就知识讲知识”的做法，坚持技能人才的培养方向。

四是内容安排上符合认知规律，由浅及深，由易到难，做到理论知识以够用为度，侧重实践操作。

本系列教材的编者来自深圳技师学院从事培训教学的一线教师和企业的一部分专家，书中内容基本反映了深圳技能培训教学和社会化考核的方向。相信本书会受到中、高职类院校广大师生和广大青年读者的欢迎。

编委会主任 黎德良

前 言

为帮助电工从业人员、技工学校、职业院校学生顺利通过电工技能鉴定，根据《国家职业技能标准》和职业技能鉴定规范，参照深圳市电工技能职业标准，结合目前电工的文化素质、技术状况和企业生产对电工技能的实际需要，我们编写了这本《初级电工技能实战训练》，供初级电工培训及考核训练时使用，也可供电工爱好者自学时使用。

本书内容注重系统性，在编写时做到理论与实践紧密结合，侧重实践操作。理论知识以够用为度，技能实践方面以培养学员掌握复杂操作和新技术操作的技能和增强分析、判断、排除各种实际故障的能力为重点。全书分7个模块将初级电工必备的专业知识和专业技能呈现给读者。每个模块先介绍“必需够用”的理论知识，再给出若干与技能考核密切相关的实训项目及其详尽的操作步骤、考核要求以及应用实例。书中模块1介绍了电工基础知识；模块2介绍了电工常用工具、仪表及其使用；模块3介绍了常用低压电器的基本知识和使用方法；模块4介绍了电工作业基本操作；模块5介绍了电力拖动控制原理与技能；模块6介绍了电工安装技术基础知识；模块7介绍了电子技术基础知识及基本操作技能。

书中内容收录了编者的大量教学成果，部分内容参考了国内外相关教材和著作，在此谨对有关作者表示衷心的感谢。

本书可用于初级电工技能培训和低压电工安全操作的培训，同时还可作为技工学校、职业技术学院机电工程专业的实训教材，亦可作为电气工程技术人员和电气工人的参考书。

本书由王跃军编写模块1、4、5；王跃军、邵纯共同编写模块2、3；王跃军、谭斌共同编写模块6、7；全书由王跃军主编并完成统稿，彭旭昀担任主审。

限于编者业务水平和掌握资料有限，书中难免存在错误及不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

模块 1 电工基础知识	1
1.1 电路和电磁知识	1
1.1.1 电路的基础知识	1
1.1.2 欧姆定律	4
1.1.3 电路的三种状态	4
1.1.4 电功与电功率、电流的热效应	4
1.1.5 基尔霍夫定律	5
1.1.6 简单直流电路的计算	5
1.1.7 电磁与电磁感应	7
1.2 单相正弦交流电	12
1.2.1 正弦交流电的基本概念	12
1.2.2 正弦交流电的表示方法及分析方法	14
1.2.3 单一元件正弦交流电路	15
1.2.4 简单正弦交流电路	19
1.3 三相交流电路	22
1.3.1 三相交流电	22
1.3.2 三相电源的连接	22
1.3.3 三相交流电路的功率	24
1.4 电工基础知识实训	25
实训 1 三相负载电压与电流的测量	25
模块 2 电工常用工具及基本操作	29
2.1 常用电工工具及使用	29
2.1.1 验电器	29
2.1.2 螺钉旋具	30
2.1.3 钢丝钳	31
2.1.4 尖嘴钳	31
2.1.5 断线钳	32
2.1.6 剥线钳	32
2.1.7 电工刀	32
2.1.8 活扳手	32

2.2 电工常用仪表的原理与使用	33
2.2.1 电工仪表的基本知识	33
2.2.2 电流表	36
2.2.3 电压表	37
2.2.4 万用表	37
2.2.5 钳形电流表	43
2.2.6 绝缘电阻表	44
2.2.7 接地电阻测量仪	45
2.2.8 手持式转速表	46
2.2.9 电能表	47
2.3 电工常用工具及基本操作实训	48
实训2 电动机控制与电功的测量	48
模块3 常用低压电器	52
3.1 开关与断路器	52
3.1.1 刀开关	52
3.1.2 低压断路器	53
3.2 熔断器	55
3.3 主令电器	57
3.3.1 按钮	57
3.3.2 位置开关	59
3.4 交流接触器	60
3.5 继电器	62
3.5.1 热继电器	62
3.5.2 时间继电器	63
3.5.3 中间继电器	65
3.6 电流互感器	66
3.7 三相异步电动机	67
3.8 常用低压电器实训	69
实训3 限位控制与测量	69
模块4 电工作业基本操作	73
4.1 导线的连接与绝缘恢复	73
4.1.1 导线绝缘层的剖削	73
4.1.2 铜芯导线的连接	74
4.1.3 铝芯导线的连接	76
4.1.4 导线绝缘层的恢复	77
4.2 触电急救	78
4.3 灭火知识	79



4.4 电工作业基本操作实训	81
实训4 电动机点动控制及电流测量	81
实训5 三相四线照明电路	83
实训6 电动机两地控制电路	86
实训7 电动机正反转控制电路	88
实训8 电动机自动顺序控制电路	91
实训9 电动机控制与功率测量电路	94
模块5 电力拖动控制及技能实训	98
5.1 电气控制电路的接线及故障排除	98
5.2 电力拖动控制电路安装实训	101
实训10 多地控制与测量	101
实训11 手动顺序控制与测量	104
实训12 自动顺序控制与测量	109
实训13 正反转控制与测量	113
实训14 行程及限位控制	118
实训15 能耗制动控制与测量	123
实训16 星形—三角形起动控制与测量	127
实训17 车床空载自停控制与测量	131
实训18 三相五线供电系统	135
模块6 电工安装技术基础	138
6.1 电工安装预备知识	138
6.1.1 常用图形符号	138
6.1.2 常用字符代号	138
6.1.3 字符标注格式	139
6.1.4 照明配电系统图	139
6.1.5 电气照明平面图	140
6.2 电工安装技能实训	140
实训19 照明电路及单相电动机的控制	140
模块7 电子技术基础及实训	147
7.1 电子基础知识	147
7.1.1 半导体和PN结	147
7.1.2 晶体二极管	148
7.1.3 整流电路	149
7.1.4 滤波电路	152
7.1.5 晶体管	153
7.2 常用电子元器件的识别与测量	156
7.2.1 常见电阻及阻值的判别	156

7.2.2 常见电容及电容量的判别	159
7.2.3 常见二极管及其判别	160
7.2.4 常见晶体管及其判别	161
7.3 电子技术技能实训	164
实训 20 延时开关的制作与调试	164
实训 21 二极管整流电路的焊接与调试	168
实训 22 三端可调稳压电源的焊接与调试	171
参考文献	175

模块 1 电工基础知识

1.1 电路和电磁知识

1.1.1 电路的基础知识

电路是指电流流通的路径。它的作用是传递和分配电能，并使电能和其他形式的能量相互转换。

最简单的电路如图 1-1 所示。当开关闭合后，电路中就有电流流过，电池的化学能转化为电能而输出，灯泡则发光、发热而消耗电能，这就实现了电能与热能、光能的转换。当开关断开后，电路便被切断，电流则不能流通，灯泡就不亮了。

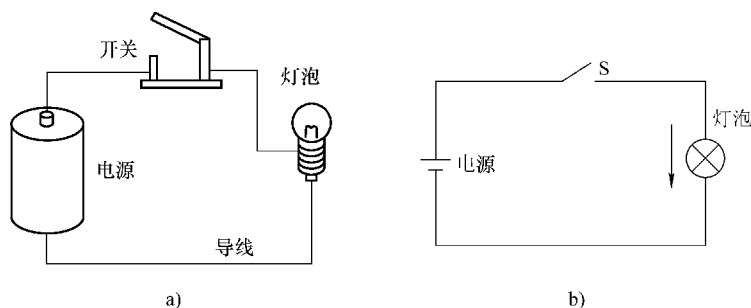


图 1-1 最简单的电路

a) 实物连接图 b) 电路图

从上面的例子可以看出，电路主要由三个部分组成。

【电源】 它是电路中输出电能的一个装置，如发电机、蓄电池、光电池等。在工作时，分别将机械能、化学能、光能等其他形式的能量转化为电能。

【负载】 它是使用或消耗电能的装置，又称为用电设备，如电灯、电炉、电动机等，分别将电源所产生的电能转化为光能、热能、机械能等。

【连接导线】 用来传输和分配电能。

实际的电路，还配有附属设备，如开关、熔丝、仪表等，以作为控制、保护、测量之用。

1.1.1.1 电流

物质中带电粒子（电荷）的定向移动叫做电流，习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的正方向，电流的单位是安（A）。

(1) 形成 物质中带电粒子在电场力的作用下定向、有规则的移动，形成电流。

(2) 大小 单位时间内通过导体横截面的电量，见式（1-1）。



$$I = \frac{q}{t} \quad (1-1)$$

式中 q ——电量 (C);

t ——时间 (s);

I ——电流 (A), $1\text{A} = 1000\text{mA}$, $1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$ 。

电流常用 I 表示, 电流分为直流和交流两种。电流的大小和方向不随时间变化的叫做直流电流; 电流的大小和方向随时间变化的叫做交流电流。

电流可以用电流表测量。测量时, 把电流表串联在电路中, 应选择电流表的量程大于电路中的电流值, 这样可以防止电流过大而损坏电流表。

1.1.1.2 电压和电位

1. 电压 (U)

(1) 定义 1 电场力将单位正电荷从电路中的某一点移动到另一点所做的功, 见式 (1-2)。

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1-2)$$

式中 W ——功 (J);

q ——电荷 (C);

U_{AB} ——电压 (V), $1\text{V} = 1000\text{mV}$, $1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$ 。

(2) 定义 2 电路中某两点间的电压, 等于这两点间的电位差, 见式 (1-3)。

$$U_{AB} = U_A - U_B \quad (1-3)$$

2. 电压方向 (见图 1-2)

1) 实际方向: 从高电位指向低电位, 即电压方向, 也就是正方向。

2) 参考方向是假设方向。通过计算, 电压为负值, 电压实际方向与假设方向相反; 计算电压方向为正, 实际方向与假设方向相同。

3. 种类

(1) 直流 (U) 电流大小和方向都不随时间变化。

(2) 交流 (u) 电流大小和方向都随时间变化。

4. 电位

电场中单位正电荷所具有的电位能, 即该点的电位。与参考点间的电位差为电压。

一般规定: 参考点电位为零。

5. 电压与电位的区别

电压是指两个点的电位差; 电位是指一个点相对零电位的值, 其随参考点变化而变化。

例如: 如图 1-2 所示, 若 B 端接地, 则 B 点电位 $U_B = 0\text{V}$, A 点电位 $U_A = 1.5\text{V}$, $E = 1.5\text{V}$ 。

A、B 两点间电压即电位差 $U_{AB} = U_A - U_B = 1.5\text{V} - 0\text{V} = 1.5\text{V}$ 。

若 A 端接地, A 点电位 $U_A = 0\text{V}$, B 点电位 $U_B = -1.5\text{V}$, A 到 B 两点间电压 $U_{AB} = 0\text{V} - (-1.5)\text{V} = 1.5\text{V}$, B 到 A 两点间电压 $U_{BA} = (-1.5)\text{V} - 0\text{V} = -1.5\text{V}$ 。

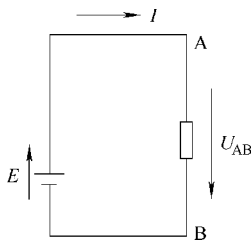


图 1-2 电压的方向



1.1.1.3 电动势 (E)

1. 定义

电源力克服电场力将单位正电荷从电源负极推向正极所做的功即电动势，见式 (1-4)。

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

式中 W ——功 (J)；

q ——电荷 (C)；

E ——电动势 (V)。

2. 方向

从负极指向正极或从低电位指向高电位 (与电压方向相反)，如图 1-3 所示。

电压与电动势的区别：电动势指的是电源内部，电源力做功；电压指的是电源外部，电场力做功。

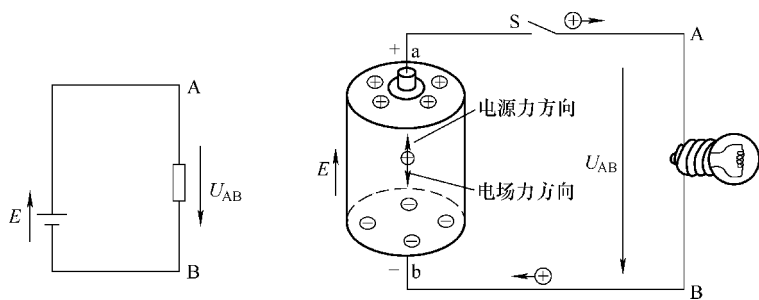


图 1-3 电动势的方向

1.1.1.4 电阻与电导

1. 电阻

自由电子在导体中定向移动时，受到了阻碍，把导体对电流的阻碍作用称为电阻，用 R 表示。电阻的大小与导体的电阻率、长度、截面积有关，电阻大小与长度成正比，与截面积成反比，见式 (1-5)。

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-5)$$

式中 L ——长度 (m)；

S ——截面积 (mm^2)；

R ——电阻 (Ω)， $1000\Omega = 1\text{k}\Omega$ ， $1000\text{k}\Omega = 1\text{M}\Omega$ ；

ρ ——电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)，电阻率 ρ 的大小由材质决定，各种材质的 ρ 有所不同。

另外，电阻率 ρ 的大小也与温度有关。

2. 物质电阻的分类

按照导电性能的优劣，即电阻率 ρ 的大小可分为：

(1) 导体 $\rho = 10^{-2} \sim 10\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，导电性能好。

(2) 半导体 $\rho = 10 \sim 10^{12}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，导电性介于导体和绝缘体之间。

(3) 绝缘体 $\rho = 10^{12} \sim 10^{24}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，几乎不导电。



3. 电导 (G)

1) 定义：电导即电阻的倒数，单位为西门子 (S) 或 $1/\Omega$ ，计算公式为 $G = 1/R$ 。

2) 电阻率的倒数称为电导率 (γ)， $\gamma = 1/\rho$ 。电导越大导电性越好，电阻越小导电性越好。

1.1.2 欧姆定律

1.1.2.1 部分电路欧姆定律

欧姆定律表示了电压（电动势）、电流和电阻三者之间关系。

即一段电路的电流 I 与该段电路两端的电压 U 成正比，而与该段电路的电阻 R 成反比，这就是欧姆定律，如图 1-4 所示，用式 (1-6) 表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

式中 U ——电压 (V)；

R ——电阻 (Ω)；

I ——电流 (A)。

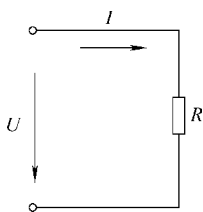


图 1-4 电路中电压电流

注意： $R = U/I$ 不能说导体的电阻（电阻本身的大小）与电压成正比，与电流成反比。因为电阻 R 的大小只取决于 $R = \rho L/S$ ，所以其大小与电流和电压无关。

1.1.2.2 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律用式 (1-7) 表示，电路如图 1-5 所示，回路电流为

$$I = \frac{E}{r_0 + R} \quad (1-7)$$

电源内电阻用 r_0 表示，电压 $U = E - Ir_0$ ，电动势 $E = U + Ir_0$ ($E > U$ ，即电压小于电动势，因为 r_0 损失部分电压)。

当 $r_0 = 0$ 时， $E = U$ （恒压源，即理想电压源）。

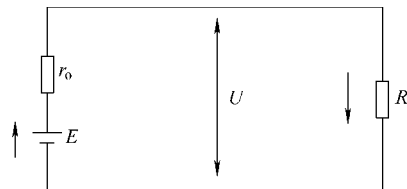


图 1-5 闭合电路

1.1.3 电路的三种状态

(1) 通路 如图 1-6 所示，当开关 S 接到 a 点时，a 点的电压为

$$U = E - Ir_0 \quad \text{其中} \quad I = E/(r_0 + R)$$

(2) 断路 当 S 接到 b 点时， $I = 0$ ， $U = E$ 。

(3) 短路 当 S 接到 c 点时， $U \approx 0$ ， $R = 0$ ， $I = E/r_0$ （短路时 r_0 很小，但电流很大，将很可能烧坏电源）。

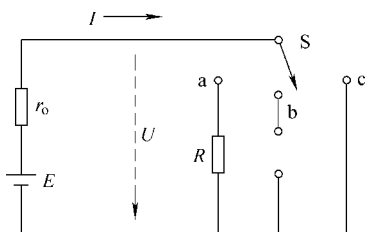


图 1-6 电路的通、断

1.1.4 电功与电功率、电流的热效应

1.1.4.1 电功 (W)

电流所做的功叫做电功。电能转换为其他能量，例如：热能、光能、电磁能等，是通过电流做功来实现的。电流做功多少是能量转换的量度，见式 (1-8)。



$$W = UIt \quad (1-8)$$

式中 W ——电功 (J);

t ——电能做功的时间 (s)。

电功在实际应用中常用“度”来表示: 1 度电 = $1\text{kW} \times 1\text{h} = 1$ 千瓦·小时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)。电功的计量仪表常用电能表。

1.1.4.2 电功率

单位时间内电流所做的功称为电功率, 其单位为瓦特 (W), $1000\text{W} = 1\text{kW}$ (千瓦), 1 马力 = 0.736kW 。

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-9)$$

电功率 $P = W/t = UIt/t = UI$, 即

$$P = UI \quad (1-10)$$

将 $I = U/R$ 代入 $U = IR$, 得

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{或} \quad P = I^2 R$$

1.1.4.3 电流的热效应

1) 电流通过导体会产生热量, 即电能转换为热能, 产生热量的大小用焦耳 - 楞次定律来判定。电流通过导体所产生的热量与电流的二次方、导体的电阻, 以及电流通过的时间成正比。

$$Q = I^2 R t \quad (1-11)$$

2) 利用电流的热效应有: 电灯泡可实现发光发热、电炉可实现发热、熔断器可实现电流较大发热到一定值熔断器熔断等。不利的因素为: 导体发热后其载流量下降。

为使电器正常工作, 电器上常标有: 额定电压、额定电流和额定功率; 照明电器上常标有: 额定电压和额定功率; 电阻上常标有: 额定阻值和额定功率。

1.1.5 基尔霍夫定律

1.1.5.1 基尔霍夫定律电流定律

电路中任一节点, 任一时刻, 流进节点的电流等于流出节点的电流, 即

$$\sum I = 0 \quad (1-12)$$

1.1.5.2 基尔霍夫定律电压定律

电路中任一回路, 任一时刻, 沿任一绕行方向, 闭合回路电压的代数和恒等于零, 即

$$\sum U = 0 \quad (1-13)$$

1.1.6 简单直流电路的计算

电路的串联和并联是最基本的连接方式。

1.1.6.1 串联电路

电阻串联时电路总电阻等于各电阻之和, 电阻头、尾相连, 如图 1-7 所示。

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-14)$$

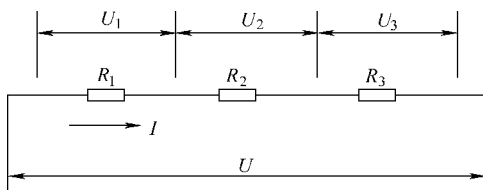


图 1-7 电阻串联电路



- 1) 各电阻的电流相同, 即 $I = I_1 = I_2 = I_3$ 。
- 2) 电压与电阻成正比 (正比分配), 即 $U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$ 。
- 3) 功率与电阻成正比 (正比分配), 即 $P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3$ 。

在串联电路中总电阻 R 不变, 分电阻 R_n 越大, 所获得的电压越大、功率越大。

- 4) 总电压等于各段分电压之和, 即 $U = U_1 + U_2 + U_3$ 。

因 $I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3}$, 将其代入 $U_1 = IR_1$, 则

分压公式为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} U \quad U_3 = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} U$$

- 5) 总电阻等于各段分电阻之和, 即 $R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + R_3$ 。当 $R_1 = R_2 = R_3$ 时, $R_{\text{总}} = 3R_1$ 。
- 6) 电源的串联。当一个电源电动势太小时, 可采用串联以增大电压, 电流不变。

$$E = \sum_{n=1}^n E_n \quad r = \sum_{n=1}^n r_n$$

1.1.6.2 并联电路

连接时, 头头相连、尾尾相连, 如图 1-8 所示。

- 1) 总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和, 可表示为

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-15)$$

- 2) 各电阻两端电压相等, 即 $U = U_1 = U_2 = U_3$ 。
- 3) 通过各电阻的电流与电阻成反比 (反比分配), 即 $I_1 : I_2 : I_3 =$

$$\frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}。$$

- 4) 功率与电阻成反比 (反比分配) $P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$ 。

在并联电路中总电阻 R 不变, 分电阻 R_n 越小, 它获得的电流越大, 功率也就越大。

- 5) 电流等于各支路电流之和, 即 $I = I_1 + I_2 + I_3$ 。

当 n 个相同的电阻并联时, 即 $R = R_1 = R_2 \cdots R_n$, 电路的总电阻 $R_{\text{总}} = R/n$ 。

若两个电阻并联, $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 。因为 $I_1 = \frac{U}{R_1}$, $U = IR = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$, 由此可得分流比公式:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1-16)$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-17)$$

- 6) 当负载需要的电流大于单个电源提供的电流时, 可得多个电源并联, 以增大电流。
 m 个电源并联, 并联条件为: 电动势相等、内阻相等。

总电动势和总内阻为

$$E = E_1 = E_2 \cdots = E_m$$

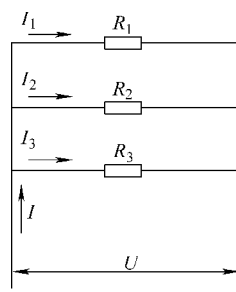


图 1-8 电阻并联电路



$$r_{\text{总}} = r_o / m$$

1.1.6.3 复联电路（混联电路）

电路中既有串联，又有并联，称为混联电路，如图 1-9 所示。

一般计算中首先要看清电路各部分电阻的串、并联关系，再运用串、并联的运算方式将电路化简，然后用欧姆定律计算出电路的电流、电压。根据要求可求出总电阻、总电流（或总电压）、各支路电流、电压。

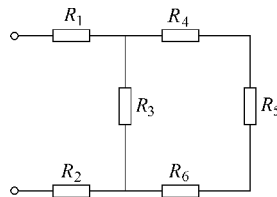


图 1-9 电阻的混联电路

1.1.7 电磁与电磁感应

1.1.7.1 电流的磁场

1. 磁体

1) 自然界中能够吸引铁、钴、镍等铁磁物质的物体称为磁体。磁体周围的空间存在着一种特殊物质称为磁场，它能表现出一种力的作用，即磁场力。磁场力的大小和方向可以用假想的磁力线来表示。

2) 铁磁物质内部有许多杂乱无章的微小磁畴，在磁场作用下微小磁畴按照一定的方向排列形成磁铁，如图 1-10 所示。

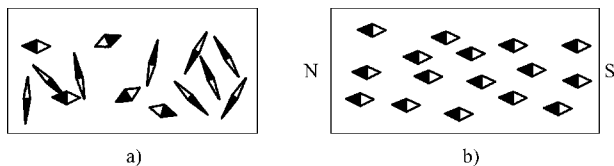


图 1-10 铁磁物质中的磁畴

a) 无磁场作用 b) 有磁场作用

3) 在磁体内部磁力线从 S 极（南极）出发，回到 N 极（北极）。在磁体外部磁力线从 N 极（北极）出发，回到 S 极（南极）。

4) 磁力线的疏密表示了磁场的强弱，某点磁场的方向为该点切线的方向。磁感应强度为矢量（矢量是有大小、有方向的量；标量是有大小、无方向的量）。

5) 磁力线总是闭合的。

6) 磁力线互不相交、且互相排斥。

2. 电流的磁场

1) 导体中有电流流过时，在导体周围也能产生磁场。电流越大，磁场越强。

2) 电能生磁的现象称为电流的磁效应。

3) 磁场的方向可用右手螺旋定则来判定，如图 1-11 所示。对于通电直导线，用右手握住直导线，拇指指向电流的方向，四指即为磁力线的方向；对于通电螺线管，用右手握住螺线管，四指指向电流的方向，大拇指指向磁力线的方向。

1.1.7.2 描述磁场的基本物理量

1. 磁感应强度

反映磁场强弱的物理量叫磁感应强度（磁通密度），用 B 表示，在磁场中垂直于磁场方向的带电导体受到磁场的作用力与电流和导体长度乘积的比值是 B 的大小，如图 1-12 所示。

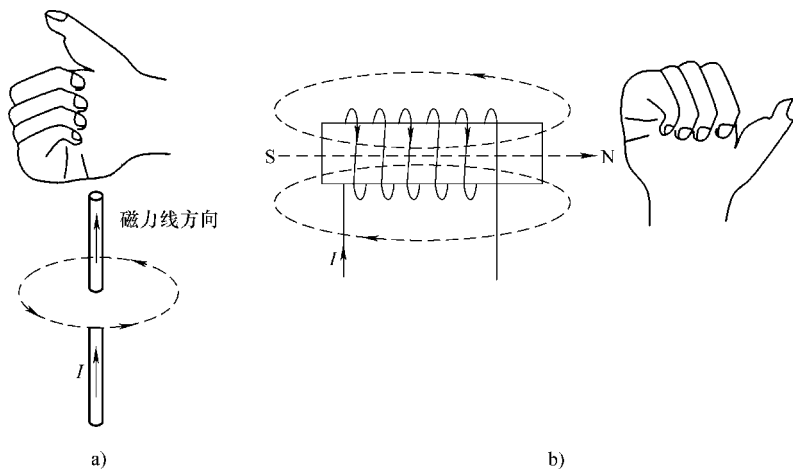


图 1-11 带电导体磁场方向的判断

a) 直导线磁力线方向 b) 螺线管磁力线方向

可表示为

$$B = \frac{F}{IL} \quad (1-18)$$

条件: $I \perp B \perp F$

式中 F ——导体受磁场的作用力 (N);

I ——导体电流 (A);

L ——导体长度 (m);

B ——磁感应强度, 特斯拉 (T), 工程中用高斯 (G),
 $1\text{T} = 10^4\text{G}$ 。

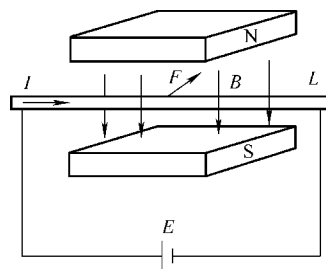


图 1-12 测定方法

2. 磁通

在均匀磁场中, 磁感应强度 B 和垂直于磁场方向的面积 S 的乘积称为磁通, 用 Φ 表示。

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-19)$$

条件: $S \perp B$, 如图 1-13 所示。

式中 S ——与磁力线垂直的面积 (m^2);

Φ ——磁通 (磁通量) (Wb);

B ——磁通密度 (Wb/m^2)。

在工程中常用麦克斯韦作为磁通的单位: $1\text{韦伯} = 10^8\text{麦}$ 。

B 和 Φ 是从不同角度来描述磁场性质的物理量。 B 是描述磁场中某一点或单位面积内的磁通密度。 Φ 是描述磁场中某一指定范围内磁场总体大小的物理量。 B 是矢量, Φ 是标量。

一般永久磁铁的磁感应强度为 $B\ 2000 \sim 7000\text{G}$, 变压器铁心中的磁感应强度 B 为 $9000 \sim 18000\text{G}$ 。

3. 磁场强度

在磁场中, 磁感应强度 B 描述的是铁磁物质被磁化后产生的附加磁场与外磁场的叠加, 而磁场强度 H 是描述外磁场的量, 表示为

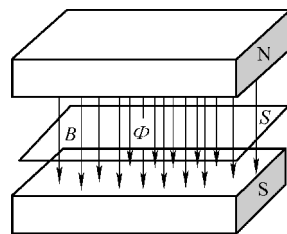


图 1-13 磁感应强度示意



$$H = \frac{B}{\mu} \quad (1-20)$$

式中 H ——磁场强度 (A/m);
 μ ——磁导率, 物质导磁能力;
 B ——磁感应强度。

1.1.7.3 磁场对电流的作用

在磁场中移动电荷或通电导体所受到的作用力称为电磁力。

1. 受力方向

如图 1-14 所示, 左手定则 (电动机定则) ——平伸左手, 拇指与四指同一平面且相互垂直。掌心垂直对磁力线, 四指指向电流方向, 拇指即是带电导线受电磁力的方向。

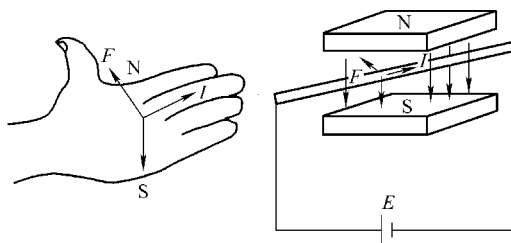


图 1-14 左手定则示意图

2. 电磁力大小

$$F = BIL\sin\theta \quad (1-21)$$

式中 F ——导体受磁场的作用力, 牛顿 (N);
 θ —— I 与 B 的夹角, 一般为 $0^\circ \sim 90^\circ$;
 I ——通电导体的电流 (A);
 B ——磁感应强度 (T);
 L ——磁场中导体的长度 (m)。

例如: 当 $\theta = 90^\circ$ 时, $\sin\theta = 1$, $F = BIL$, F 最大; 当 $\theta = 0^\circ$ 时, $\sin\theta = 0$, $F = 0$, F 最小。

1.1.7.4 电磁感应

导体在磁场中做切割磁力线运动, 可以产生电动势。在闭合导体中可以产生电流。这种现象叫做电磁感应。感应电流的方向如图 1-15 所示。

(1) 产生电动势的条件 导体切割磁力线或线圈中磁通量变化。

(2) 感应电动势大小

$$E = BvL\sin\theta \quad (1-22)$$

式中 v ——切割磁力线的速度 (m/s);

θ —— B 与 v 之间的夹角。

当 $\theta = 90^\circ$ 时, $\sin\theta = 1$, $E = BvL$, E 最大。当 $\theta = 0^\circ$ 时, $\sin\theta = 0$, $E = 0$, E 最小。

(3) 电动势的方向 右手定则示意图如图 1-16 所示, 伸平右手, 拇指与四指同一个平面且相互垂直。让磁力线垂直穿过掌心, 拇指指向运动方向, 四指表示感应电动势方向。

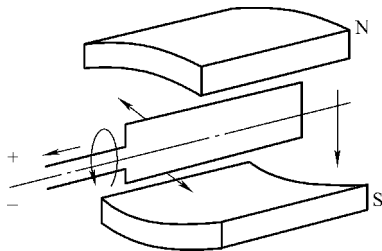


图 1-15 线圈转动产生感应电动势

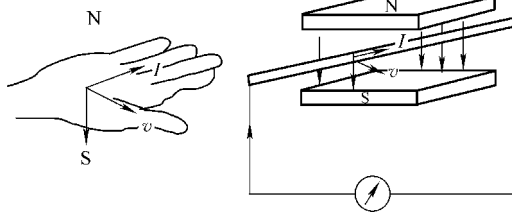


图 1-16 右手定则示意图



1.1.7.5 楞次定律

楞次定律为：穿过闭合回路的磁通发生变化时，回路中就有感应电流产生，而感应电流的方向总是使它产生的磁场去阻碍闭合回路中原有磁通的变化。

例如：如图 1-17 所示，当磁铁进入线圈，磁通量增加，在线圈中产生感应电流，线圈电流所产生的磁场将阻碍原磁场的增加，线圈中的电流和它产生的磁通方向用右手定则判定。

当磁铁拔出线圈时线圈中的磁通量减少，线圈的电流将产生与原磁通方向相同的磁通来阻碍原磁通量的减少。线圈的电流和它产生的磁通方向用右手定则判定。

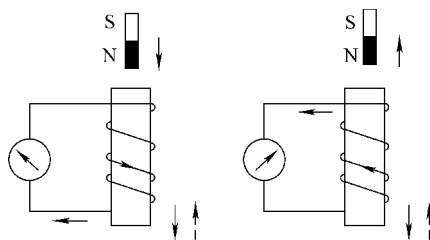


图 1-17 线圈内感应电流的方向

1.1.7.6 自感和互感

1. 自感

线圈自身电流变化所引起的感应电动势称为自感电动势。其过程可表示如下：

线圈电流 I 变化 $\rightarrow$ 磁通量 Φ 变化 $\rightarrow$ 磁感应强度 B 变化，即

$$\Delta i \rightarrow \Delta \Phi \rightarrow \Delta B \rightarrow e(\text{感应电动势})$$

(1) 电流的变化率 $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ 反映了电流变化的快慢，它影响感应电动势的大小。

(2) 电感 (L) 它表示线圈所固有的物理特性，又称为自感系数（电感量），国际单位制中单位是亨利（H）， $1\text{H} = 1000\text{mH}$ ， $1\text{mH} = 1000\mu\text{H}$ 。

L 的大小是由线圈本身的特性决定的。线圈越长、匝数越多、截面越大， L 就越大。有铁心的线圈比空心线圈 L 大得多。

(3) 感应电动势用 e 可表示为

$$e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (1-23)$$

负号表示自感电动势的方向总是与回路中电流变化相反。

例如：1s 内线圈电流由 5A 变成 10A，线圈的电感量是 1H，则

$$\begin{aligned} \Delta t &= 1\text{s} \\ \frac{\Delta I}{\Delta t} &= \frac{(10 - 5)\text{A}}{1\text{s}} = 5\text{A/s} \\ e &= -L \frac{\Delta i}{\Delta t} = -5\text{V} \end{aligned}$$

通过计算得出，感应电动势为 -5V 。

(4) 自感现象的应用 实际中使用的镇流器、扼流圈等都具有自感现象。

2. 互感

(1) 互感电动势的概念 一个线圈中电流的变化，在另一个线圈中产生的感应电动势称为互感电动势，如图 1-18 所示。互感电动势的产生过程可表示为

$$\Delta i_1 \rightarrow \Delta \Phi_{21} \rightarrow e_{21}, \Delta i_1 \propto \Delta \Phi_{21} \propto e_{21}$$

同理： $\Delta i_2 \rightarrow \Delta \Phi_{12} \rightarrow e_{12}, \Delta i_2 \propto \Delta \Phi_{12} \propto e_{12}$

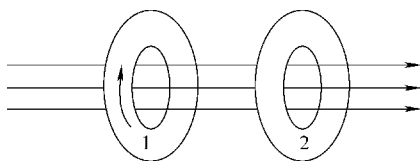


图 1-18 有互感的线圈



(2) 互感电动势的大小

$$e_{12} = M_{12} \frac{\Delta i_2}{\Delta t} \quad (1-24)$$

$$e_{21} = M_{21} \frac{\Delta i_1}{\Delta t} \quad (1-25)$$

式中 M_{12} 表示线圈 2 对线圈 1 的互感系数、 M_{21} 表示线圈 1 对线圈 2 的互感系数，可以证明两者相等，即 $M = M_{12} = M_{21}$ ，单位与电感系数相同，用亨利（H）表示。

M 的大小取决于两个线圈的几何形状、大小、相对位置、各自的匝数及周围介质的磁导率。

(3) 互感现象的应用 在实际使用中的变压器等具有互感现象。

1.1.7.7 变压器

图 1-19 所示为变压器的原理图，当变压器的一次绕组加上交流电 u_1 时，便在一次绕组中产生一个交变电流 i_1 ，此电流在铁心中产生一交变磁通 Φ ，因为一、二次绕组在同一铁心上，所以当磁通 Φ 穿过二次绕组时，便在二次绕组感应出电动势 e_2 。感应电动势的大小和线圈的匝数、磁通大小、电源频率成正比，即

$$E = 4.44nf\Phi \quad (1-26)$$

式中 E ——感应电动势（V）；

f ——频率（Hz）；

n ——线圈匝数；

Φ ——磁通（Wb）。

由于 $\Delta\Phi$ 穿过一次绕组 n_1 和二次绕组 n_2 而闭合。所以一次、二次绕组感应电动势分别为

$$E_1 = 4.44 n_1 f \Phi; \quad E_2 = 4.44 n_2 f \Phi$$

一次、二次绕组感应电动势相除得：

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = K \quad (1-27)$$

K 表示变压器的电压比。

由于一次绕组电阻很小可以忽略，则： $U_1 \approx E_1$ ； $U_2 \approx E_2$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = K$$

当二次绕组未接入负载时，二次绕组电流 $I_2 = 0$ 。当二次绕组接负载时，有 I_2 产生， I_2 又产生 Φ_2 。而 Φ_2 将抵消 Φ_1 ，使 Φ_1 减小，使总 Φ 减小。但在 $E = U = 4.44nf\Phi$ 中，要使等式成立 Φ 不能变。那么只有增加 I_1 来补充 Φ_1 。维持总磁通不变。由此可见， I_1 的大小是由 I_2 决定的。这样就实现了电压的变换及电能的传递。

从能量角度来看， $P_1 = P_2$ 即 $I_1 U_1 = I_2 U_2$ ，所以：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} = K$$

当 $K > 1$ 时， $U_1 > U_2$ ， $n_1 > n_2$ ， $I_2 > I_1$ ，此时为降压变压器。

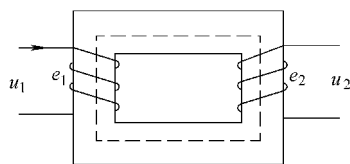


图 1-19 变压器的原理图



当 $K < 1$ 时, $U_1 < U_2$, $n_1 < n_2$, $I_2 < I_1$, 此时为升压变压器。

1.1.7.8 涡流

1. 涡流的形成

如图 1-20a 所示, 由于导体本身可以形成一系列的回路, 当交变磁通穿过导体时, 在这些回路中产生了电流, 即涡流。涡流是感应电流在导体内部自行闭合形成的。

2. 涡流的危害

涡流将使铁心发热; 损耗电能。

3. 减小涡流

如图 1-20b 所示, 变压器的铁心材料不用整块铁心, 而用 $0.2 \sim 0.4\text{mm}$ 厚, 表面涂有绝缘漆的硅钢片 (含硅 $2\% \sim 5\%$) 叠压而成, 可以较大程度地减小涡流。

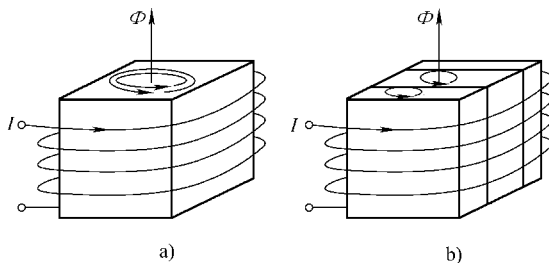


图 1-20 铁心中的涡流

a) 整块铁心 b) 叠装铁心

1.2 单相正弦交流电

1.2.1 正弦交流电的基本概念

正弦交流电 (简称交流电) —— 大小、方向随时间按正弦规律变化的交变电流或电压。

1. 交流电的产生

如图 1-21 所示, 导线 (或线圈) 在磁场中转动切割磁力线, 在导线的两端便产生了感应电动势。电动势的方向用“右手定则”判断。图中电动势的方向为: 下端为正, 上端为负; 半周后, 方向相反。感应电动势的波形如图 1-22 所示。

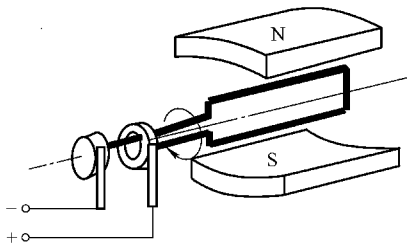


图 1-21 交流电的产生

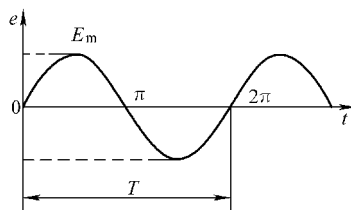


图 1-22 感应电动势的波形

(1) 周期 (T) 交流电重复变化一周所用的时间。

周期 T 越大, 表示变化一周所需要的时间越长, 波形变化越慢。周期 T 的单位是秒 (s)、毫秒 (ms)、微秒 (μs)、纳秒 (ns)。

$$1\text{s} = 1000\text{ms} \quad 1\text{ms} = 1000\mu\text{s} \quad 1\mu\text{s} = 1000\text{ns}$$

(2) 频率 (f) 1s 内交流电周期性变化的次数。频率 f 越大, 表明交流电变化得越快。它的单位是赫兹 (Hz)、千赫 (kHz)、兆赫 (MHz)。

$$1000\text{Hz} = 1\text{kHz} \quad 1000\text{kHz} = 1\text{MHz}$$

周期和频率之间关系为



$$T = \frac{1}{f} \quad (1-28)$$

(3) 角频率 正弦交流电变化一周, 相当于正弦函数变化了 2π 弧度, 为了避免与机械角度相混淆, 把它称为电角度。

单位时间内交流电变化的电角度 (电角速度) 称角频率, 用 ω 表示。单位: 弧度/秒 (rad/s)。

在我国电力系统中 $f=50\text{Hz}$, $T=0.02\text{s}$ 。

$$\omega = 2\pi f = 314\text{rad/s} \quad (1-29)$$

美、日、西欧等国家的频率 $f=60\text{Hz}$ 。

注意: 1 弧度等于半径弧长所对的圆心角, $1\text{rad} = \frac{180^\circ}{\pi} = 57^\circ 17'$, $180^\circ = 1\pi\text{rad}$ 。

2. 交流电的大小及有效值 (电动势 E 、电压 U 、电流 I)

(1) 瞬时值 电压瞬时值是某一时刻的值, 是时间的函数, 用 u 表示为 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ 。

(2) 最大值 瞬时值中最大的值称为最大值或幅值, 最大值用 U_m 表示, 它为常数。

(3) 有效值 让直流电、交流电分别通过同一电阻, 在相同的时间所产生的热量相等, 则此直流电的值称为交流电的有效值。

通常所说的 380V、220V 交流电压、电器铭牌上的额定电压、万用表所指示的数据都是有效值。有效值 U 与最大值 U_m 的关系为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (1-30)$$

3. 交流电变化的起点和相位

如图 1-23 所示为正弦电压波形, 表示该交流电压的解析式为

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (\varphi \neq 0)$$

(1) 交流电相位 (相位角) 用 $(\omega t + \varphi)$ 表示, 它是时间的函数。例如: $\omega t + \varphi = 90^\circ$ 时, $u = U_m$, 电压值最大; $\omega t + \varphi = 0^\circ$ 时, $u = 0$ 。所以, 交流电随时间变化的过程中, 不同的时刻, 对应不同的相位角, 从而得到不同的瞬时值。所以正弦量中的 $(\omega t + \varphi)$, 反映了正弦量交变过程中瞬时值的变化进程。

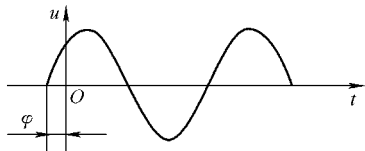


图 1-23 正弦电压波形

(2) 初相 (初相角) 初相角用 φ 表示, 是 $t=0$ 时的相位角 (起点)。 φ 是一常数。定义域是 $|\varphi| < 180^\circ$ 。

初相角的大小和正负, 与所选择的时间起点有关。通常规定正弦量由负变正经过的零点为该正弦量的零点。不同初相角的电压波形如图 1-24 所示。

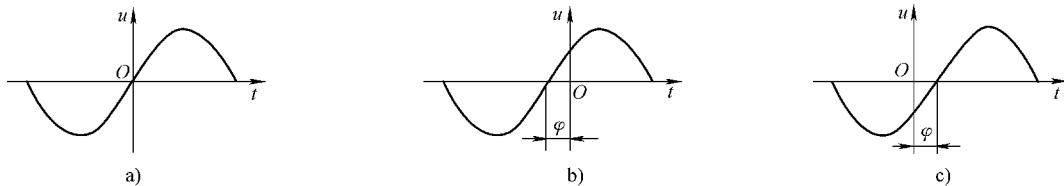


图 1-24 不同初相角的电压波形

a) $u = U_m \sin \omega t$ b) $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ φ 在左边为正 c) $u = U_m \sin(\omega t - \varphi)$ φ 在右边为负



(3) 相位差 $\Delta\varphi$ 它表示的是同频率正弦量的相位差, 如图 1-25 所示。

当 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$; $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$ 时, u 与 i 的相位差 $\Delta\varphi = (\omega t + \varphi_u) - (\omega t + \varphi_i) = \varphi_u - \varphi_i$

根据 $\Delta\varphi$ 的大小, 可以说明两正弦量之间的相位关系, 如图 1-26 所示。

φ 为正者为超前, φ 为负者为滞后。

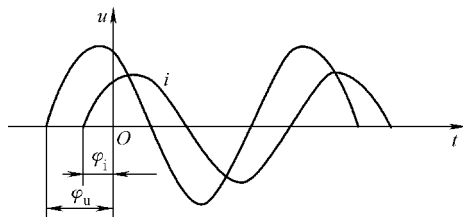


图 1-25 同频率正弦量的相位差

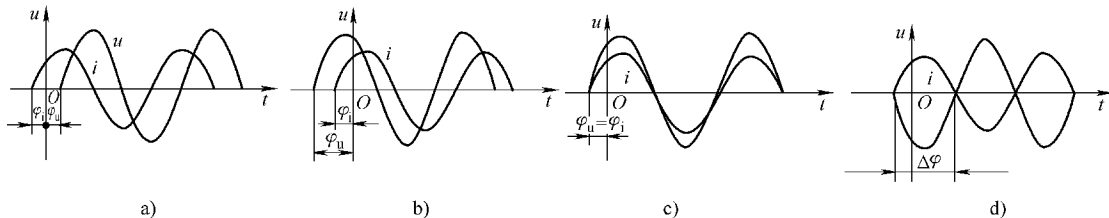


图 1-26 电压与电流的相位关系

a) u 超前 i 或 i 滞后 u b) i 超前 u 或 u 滞后 i c) u 、 i 同相 ($\Delta\varphi = 0$) d) u 、 i 反相 ($\Delta\varphi = \pm n$)

交流电的方向规定: 交流电瞬时值的正半周为正方向、负半周为负方向。

1.2.2 正弦交流电的表示方法及分析方法

正弦交流电的表示方法有解析式法、正弦曲线法、相量法。

1. 解析式法

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-31)$$

式中 e ——交流电动势的瞬时值 (V);

E_m ——交流电动势的最大值 (V);

ω ——交流电角频率 (rad/s);

φ ——交流电动势的初相角 (π)。

解析法是用数学表达式将交流电表达出来。

例如: 正弦交流电流的瞬时值 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$, i 为电流瞬时值、 I_m 为电流最大值、 ω 为角频率、 φ 为初相角。而正弦交流电压的瞬时值 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$, u 为电压瞬时值、 U_m 为电压最大值、 ω 为角频率、 φ 为初相角。

交流电的三要素: 最大值 U_m 、频率 f 、初相角 φ 。

2. 正弦曲线法

用正弦曲线表达交流电, 可显示出电压的波形、相位、幅值, 如图 1-27 所示, 在图中可看到电动势随时间按正弦规律变化。图中 E_m 交流电动势的最大值、 T 为交流电变化一周的时间称为周期。

3. 相量法

以上两种方法表达交流电的三要素, 但计算繁琐, 在电工

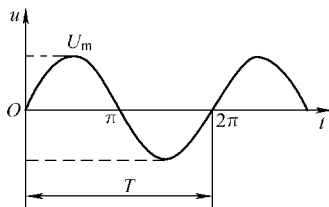


图 1-27 交流电的波形图



技术里，常用旋转相量法来简化计算。

如图 1-28 所示，从原点画一有向线段，线长等于最大值，以 X 轴夹角等于 φ ，逆时针以角速度 ω 旋转，任一时刻，有向线段在 Y 轴上的投影，就等于该正弦量的瞬时值，即 $U_m \sin(\omega t + \varphi)$ 。该有向线段称为相量。

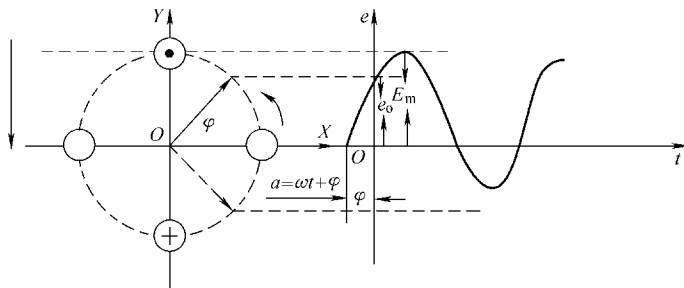


图 1-28 正弦交流电的旋转矢量图

如图 1-29 所示，用复数形式表示的正弦量称为相量。

例 1: $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$, $\varphi_u = 30^\circ$ ，则用相量表示为 $\dot{U} = U_m \angle \varphi_u$ 。

例 2: $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$, $\varphi_i = -45^\circ$ ，则用相量表示为 $\dot{I} = I_m \angle \varphi_i$ 。

例 3: $\dot{A} + \dot{B}$ ，两个相量合成（相加）用平行四边形法则，如图 1-30 所示。相量法是一种数学工具，它可以表示瞬时值、最大值、有效值。

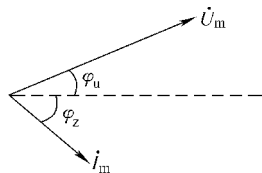


图 1-29 相量表示法

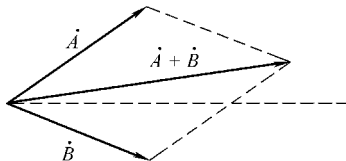


图 1-30 相量合成图

1.2.3 单一元件正弦交流电路

在直流电路中，理想的电容看作断路，理想的电感看作短路，所以我们只分析电阻元件。但在交流电路中，电容、电感的作用不可忽略，且复杂得多。当元件中只有一个参数起主要作用，其他参数可以忽略时，就可以把这个元件看作只有一个参数的理想元件，即所谓单一参数的元件。

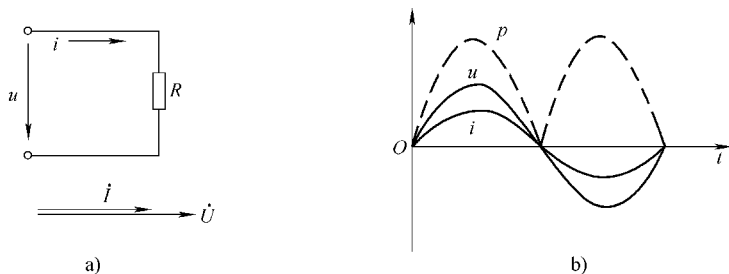
1. 纯电阻电路

(1) 电压与电流的关系 如图 1-31 所示，在电阻两端加一交流电压 $u = U_m \sin \omega t$ 则通过电阻 R 的电流为 $i = I_m \sin \omega t$ 。

①瞬时值: $i = \frac{u}{R}$

②有效值: $I = \frac{U}{R}$

③相位关系: u 、 i 同相，相量图如图 1-31 所示。

图 1-31 电阻电路 $\dot{U}$ 、 $\dot{I}$ 的相位关系

a) 电路 b) 波形图

(2) 功率

①瞬时功率 用 p 表示。

$$p = ui = U_m \sin \omega t I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t = U_m I_m \frac{1 - \cos 2\omega t}{2} = \frac{U_m I_m}{\sqrt{2} \sqrt{2}} (1 - \cos 2\omega t) = UI (1 - \cos 2\omega t)$$

波形图如图 1-31 所示。可见，电压电流同相，它们的乘积始终为正，因此电阻总是从电源吸取功率，把电能转变成热能。

结论：电阻是耗能元件。

②有功功率（平均功率） 用 P 表示。有功功率是瞬时功率在一个周期里的平均值。电阻在电路中消耗的平均功率为

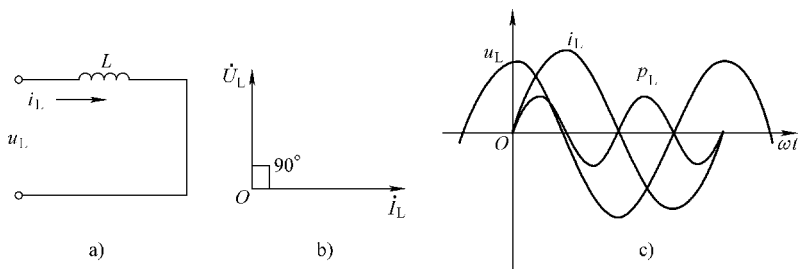
$$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-32)$$

2. 纯电感电路

(1) 电感 电感元件可以看成是一个理想的线圈。当线圈的直流内阻可以忽略时，即构成纯电感电路。电感量用 L 表示，如图 1-32 所示。当交流电通过线圈时，在线圈中产生自感电动势。根据电磁感应定律，自感电动势总是阻碍电路中电流的变化，形成对电流的“阻力”，称为电感的电抗，简称感抗，用 X_L 表示，单位欧姆（ Ω ）。定义为

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (1-33)$$

当 $f=0$ 时， $X_L=0$ ，说明在直流电路中，电感元件相当于短路。当 $f \rightarrow \infty$ 时， $X_L \rightarrow \infty$ ，说明在交流电路中， f 越大， X_L 越大。可见，电感元件在电路中具有通直流、阻交流的特性。

图 1-32 电感电路 U 和 I 的相位关系

a) 电路 b) 相量图 c) 波形图

(2) 电压与电流关系

①大小关系 在电感两端加一交流电压 $u_L = U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ)$ ，则通过电感 L 的电流 i_L

$= I_{Lm} \sin \omega t$ ，可以从理论上推导出电流的有效值为

$$I_L = \frac{U_L}{X_L} = \frac{U_L}{2\omega L} \quad (1-34)$$

式 (1-34) 表明电感元件两端电压及电流有效值也满足欧姆定律，但是瞬时值不满足这种关系，这是因为 u_L 、 i_L 相位不同。电压瞬时值 u_L 为

$$u_L = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \quad (1-35)$$

式 (1-35) 说明电感两端电压的大小取决于电感电流的变化率。当 $i_L = 0$ 时， i_L 的变化率最大，斜率最大， $u_L = U_{Lm}$ ；当 $i_L = I_{Lm}$ 时， i_L 的变化率最小，斜率最小， $u_L = 0$ 。

② 相位关系 电感元件两端的电压超前电流 90° ，如图 1-32c 所示。

(3) 功率

① 瞬时功率 $p_L = u_L i_L$

假设 $u_L = U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ)$ ， $i_L = I_{Lm} \sin \omega t$ ，则

$$p_L = U_{Lm} \sin(\omega t + 90^\circ) I_{Lm} \sin \omega t = U_{Lm} I_{Lm} \cos \omega t \sin \omega t = U_{Lm} I_{Lm} \frac{1}{2} \sin 2\omega t = U_L I_L \sin 2\omega t$$

可见瞬时功率也是按正弦规律变化的。功率波形变化如图 1-32c 所示。

② 有功功率 用 P_L 表示。第一个 $1/4$ 周期， $u_L i_L$ 同为正， $p_L > 0$ ，电流从零增到最大，电感从电源吸取能量，并存于电感中。

第二个 $1/4$ 周期， $u_L i_L$ 为负， $p_L < 0$ ，电流从最大减小到零，电感把储存的能量返还给电源。依此类推，电感的电能吸收与返还中进行，可见电感是储能元件，也叫无功元件，即： $P_L = 0$ 。

③ 无功功率 无功功率用 Q_L 表示，单位为乏 (var)。纯电感电路中瞬时功率的最大值叫做无功功率。它表示电感与电源之间能量交换规模的大小。

电感的无功功率为

$$Q_L = U_L I_L = \frac{U_L^2}{X_L} = I_L^2 X_L \quad (1-36)$$

3. 纯电容电路

(1) 电容

① 电容存在于相互绝缘的两导体之间。电容用 C 表示，电容量的大小与电容器的几何尺寸、介质介电常数 ε 有关。电容器能够储存电荷，电容越大，储存的电荷越多。单位电压下所能容纳电荷的多少叫做电容，表示为

$$C = \frac{q}{u_C} \quad (1-37)$$

式中 C ——电容 (F)， $1F = 10^6 \mu F$ ， $1\mu F = 10^6 pF$ ；

q ——电荷量 (C)；

u_C ——电压 (V)。

② 容抗 电容器是由两个相互绝缘金属片组成。将电容两金属间绝缘介质的介电作用忽略的话，可看作纯电容。如图 1-33 所示，当交流电接到电容两端时，开始向电容充电，原两极板上无电荷，电容两端无电压，充电电流较大，随着电容极板上电荷的增多，电压上升，充电电流减小，充满时电流为零。交流电源方向相反时，电容向电源放电。依此类推，



交流电源反复向电容充电, 电容反复向电源放电, 形成了电容的交流电流。电容容量越小, 电荷存储量越小, 充、放电电流越小, 即容抗越大。容抗的大小表示为

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (1-38)$$

式中, X_C 表示电容的电抗, 简称容抗, 单位是欧姆 (Ω)。

当 $f=0$ 时, $X_C \rightarrow \infty$ 。说明在直流电路中, 电容元件相当于断路。当 $f \rightarrow \infty$ 时: $X_C \rightarrow 0$ 。说明电容元件在电路中具有通交流、阻直流的特性。在交流电路中 X_C 与 f 成反比、与容量 C 成反比。

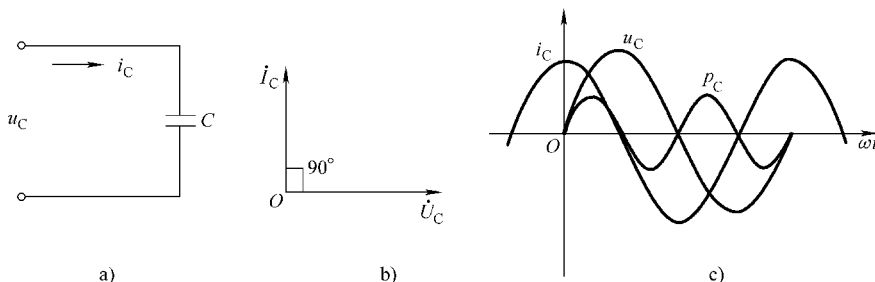


图 1-33 电容电路 $\dot{U}$ 和 $\dot{I}$ 的相位关系

a) 电路 b) 相量图 c) 波形图

(2) 电压与电流关系

① 大小关系 电容接在交流电路中, 若电容两端电压为 $u_C = U_{Cm} \sin \omega t$, 则通过电容 C 的电流 $i_C = I_{Cm} \sin(\omega t + 90^\circ)$, 可以从理论上推导得出电流的有效值为

$$I_C = \frac{U_C}{X_C} \quad (1-39)$$

式 (1-39) 表明电容元件两端的电压及电流的有效值也满足欧姆定律, 但是瞬时值不满足这种关系, 因为 u_C 、 i_C 相位不同。电流瞬时值 i_C 为

$$i_C = C \frac{\Delta u_C}{\Delta t} \quad (1-40)$$

式 (1-40) 说明通过电容的电流取决于电容两端电压的变化率。当 $u_C = 0$ 时, u_C 的变化率最大, 斜率最大, $i_C = I_{Cm}$; 当 $u_C = U_{Cm}$ 时, u_C 的变化率最小, 斜率最小, $i_C = 0$ 。

② 相位关系

电容的电流超前其端电压 90° , 如图 1-34 所示。

(3) 功率

① 瞬时功率 用 p_C 表示。

$$\begin{aligned} p_C &= u_C i_C = U_{Cm} \sin \omega t I_{Cm} \sin(\omega t + 90^\circ) \\ &= U_{Cm} I_{Cm} \cos \omega t \sin \omega t = U_{Cm} I_{Cm} \frac{1}{2} \sin 2\omega t \end{aligned}$$

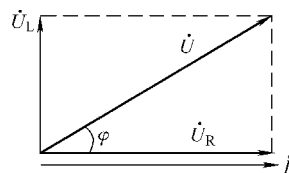


图 1-34 电压电流相量图

即 $p_C = U_C I_C \sin 2\omega t$, 可见瞬时功率也是按正弦规律变化的, 如图 1-33 所示。

② 有功功率 用 P_C 表示。

第一个 $1/4$ 周期, u_C 、 i_C 同为正, $p_C > 0$, 电压从零增加到最大值, 电容从电源吸取能量, 并存储于电容中。

第二个 $1/4$ 周期, u_C 为正, i_C 为负, $p_C < 0$, 电压从最大值减小到零, 电容把储存的能量返还给电源。依此类推, 电容与电源反复进行能量交换, 可见电容是储能元件, 又叫无功元件, $P_C = 0$ 。

③无功功率 瞬时功率的最大值叫做无功功率, 用 Q_C 表示, 单位: 乏 (var)。它表示电容与电源之间交换能量规模的大小, 即

$$Q_C = U_C I_C = \frac{U_C^2}{X_C} = I_C^2 X_C \quad (1-41)$$

1.2.4 简单正弦交流电路

1. RL 串联电路

RL 串联电路如图 1-35 所示。

(1) 电压与电流的关系

① 瞬时值 $u = u_R + u_L$

② 有效值 $U < U_R + U_L$ 。例如将电阻、电感串联接在电压为 220V 的电路中, 测量 $U_R = 200V$, $U_L = 70V$ 。这是因为 U_R 、 U_L 相位不同, 所以代数和大于相量和 220V, 即

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

令 $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$, 称为阻抗 (Ω), 得交流电路的欧姆定律:

$$I = \frac{U}{Z}$$

(2) 功率关系 如图 1-36 所示。

①有功功率 P

$P = U_R I$, 在电压三角形中 $\cos\varphi = \frac{U_R}{U}$, $U_R = U \cos\varphi$, 则

$$P = UI \cos\varphi$$

②无功功率 Q

$Q = U_L I$, 在电压三角形中 $\sin\varphi = \frac{U_L}{U}$, $U_L = U \sin\varphi$, 则

$$Q_L = UI \sin\varphi$$

③视在功率 S

$$S = UI$$

视在功率单位是伏安 ($V \cdot A$)。视在功率 S 是电源提供给电路的总功率, 它包含有功功率 P 和无功功率 Q 两部分, 三者关系符合功率三角形, 即 $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ 。

④功率因数 $\cos\varphi$

$\cos\varphi$ 是重要的用电技术指标, 是衡量在有限的视在功率中, 有功功率是否能够得到充分的利用。在功率三角形中, 若 S 不变, $Q \uparrow \rightarrow P \downarrow \rightarrow \varphi \uparrow \rightarrow \cos\varphi \downarrow$ 。反过来说 $\cos\varphi$ 越小,

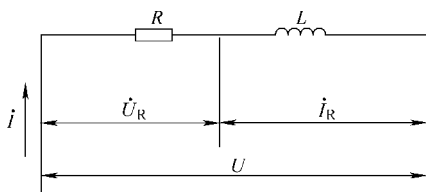


图 1-35 RL 串联电路

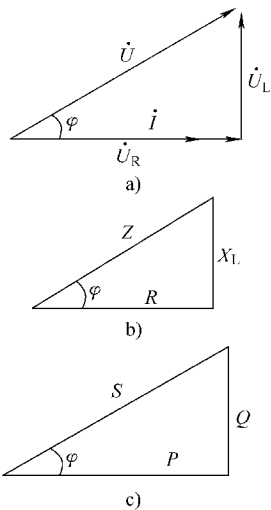


图 1-36 电压、阻抗、功率三角形

a) 电压三角形 b) 阻抗三角形 c) 功率三角形



有功功率越小,无功功率越大。

2. RLC 串联电路

RLC 串联电路如图 1-37 所示。

(1) 电压与电流的关系 设 $i = I_m \sin \omega t$ 且 $X_L > X_C$, 则有:

①瞬时值 $u = u_R + u_L + u_C$ 。

②电压、电流相量 根据勾股定理计算总电压:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} \\ = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

其中阻抗 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$, $X_L - X_C = X$ 称为电抗。由此可得交流电路欧姆定律:

$$U = IZ \quad I = \frac{U}{Z}$$

当 $X_L > X_C$ 时,电压相量图如图 1-38 所示;当 $X_L < X_C$ 时,电压相量图如图 1-39 所示;当 $X_L = X_C$ 时,电压相量图如图 1-40 所示。

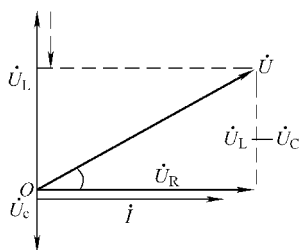


图 1-38 相量图 (一)

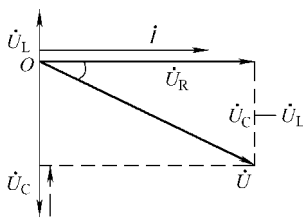


图 1-39 相量图 (二)

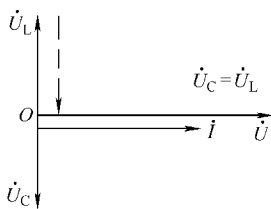


图 1-40 相量图 (三)

(2) 从阻抗 Z 看电路的性质

①当 $X_L > X_C$ 时,电路呈感性, $U_L > U_C$, $\varphi > 0$, 电压超前电流。

②当 $X_L < X_C$ 时,电路呈容性, $U_L < U_C$, $\varphi < 0$, 电压滞后电流。

③当 $X_L = X_C$ 时,电路呈纯阻性, $U_L = U_C$, $\varphi = 0$, 电压与电流同相位。

当 $Z = R$, $U_R = U$ 时电路产生串联谐振或电压谐振, 电容或电感的电压可以高于电源电压。

3. C 与 RL 并联电路

(1) 电流关系

C 与 RL 并联电路如图 1-41 所示, 相量图如图 1-42 所示, 电路中的电流存在以下关系:

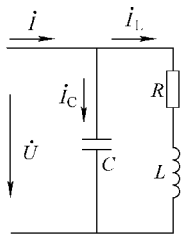


图 1-41 C 与 RL 并联电路

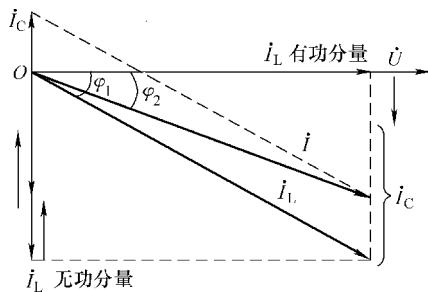


图 1-42 相量图



①电流瞬时值 $i = i_C + i_L$ 。

②电流有效值 $I < I_C + I_L$ 。

③电流相量值 $\dot{I} = \dot{I}_C + \dot{I}_L$ 。

从图中可看出, 没有并联电容时, 电阻电感串联的电流 $\dot{I}_L$ 滞后电压 φ_1 角度; 并联电容后, $\dot{I}_C$ 与 $\dot{I}_L$ 无功分量相反, 相互抵消, 形成总电流 $\dot{I}$, 滞后电压 φ_2 角度, $\varphi_2 < \varphi_1$, 功率因数得到提高。

(2) 提高功率因数的意义 当负载固定时, 并联电容后有以下结论:

①提高了电源的利用率。

②总电流减小, 即减小了输电线路的电压损失和功耗。

③有功功率不变, 视在功率减小。

④当视在功率不变, 无用功率减小, 有用功率增加, 提高了电源的利用率, 减小线路设备的“线损”。

注: 并联电容后, 电容、电感元件所吸收的无功功率并没有减少, 而是电容和电感之间进行无功交换。

(3) 补偿电容的计算 设并联电容前的功率因数为 $\cos\varphi_1$, 并联电容后的功率因数提高到 $\cos\varphi_2$, 求电容量 C 。

加电容前: $P = UI_L \cos\varphi_1$ 得: $I_L = \frac{P}{U \cos\varphi_1}$

加电容后: $P = UI \cos\varphi_2$ 得: $I = \frac{P}{U \cos\varphi_2}$

由图 1-44 可得: $I_C = I_L \sin\varphi_1 - I \sin\varphi_2$, 即

$$I_C = \frac{P}{U \cos\varphi_1} \sin\varphi_1 - \frac{P}{U \cos\varphi_2} \sin\varphi_2 = \frac{P}{U} \tan\varphi_1 - \frac{P}{U} \tan\varphi_2 = \frac{P}{U} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

因 $I_C = \frac{U}{X_C} = U\omega C$, 故

$$U\omega C = \frac{P}{U} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

$$C = \frac{P}{\omega U^2} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

因为补偿电容上通常标定的是额定电压 U_e 和额定无功功率 Q_e , 所以也可以通过计算无功功率来选取补偿电容。

$$\text{由 } Q_C = \frac{U^2}{X_C} = U^2 \omega C \text{ 得 } \frac{Q_C}{\omega U^2} = \frac{P}{\omega U^2} (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

$$Q_C = P (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

电力电容补偿方法通常有三种:

①个别补偿。

②分组补偿。

③集体补偿。



1.3 三相交流电路

1.3.1 三相交流电

前面分析的都是单相交流电，但是在生产实际中，普遍使用的是三相交流电，它由三相交流发电机发电，并且由三相供电系统输送给用户。用导线把三相交流电源和负载正确地连接起来就构成了三相交流电路。

三相交流电具有电能输送方便、经济、三相功率比单相功率的波动性小等优点，因而得到了广泛的应用。三相交流电路一般是指电路中同时存在着三个最大值相等、频率相同、相位彼此互差 120° 的正弦交流电动势。每一个电动势组成的部分电路叫做“单相”电路。

三相交流电的表示方式有解析式、相量图和波形图。其中三相电压的相量图和波形图如图 1-43 所示。

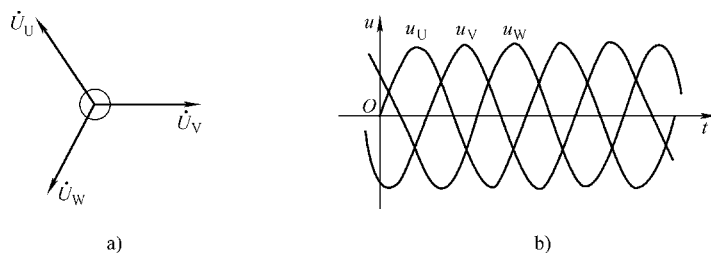


图 1-43 三相电压的相量图与波形图

a) 三相电压相量图 b) 三相电压波形图

解析式表示的三相电动势瞬时值为：

$$e_u = E_m \sin \omega t$$

$$e_v = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_w = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

相量图和波形图如图 1-45 所示。可见，瞬时值之和恒为零，或相量和为零。

把三相交流电到达最大值的先后顺序叫相序。如 $U - V - W$ 为顺相序。在相量图中，逆时针方向旋转为正方向。

1.3.2 三相电源的连接

1. 星形联结（Y 联结）

三相电源星形联结如图 1-44 所示。

(1) Y 联结（三相四线制） 由图 1-44 可以得到两种电压，有线电压 U_L (U_{UV} 、 U_{VW} 和 U_{WU}) 和相电压 U_P (U_U 、 U_V 、 U_W)。

(2) U_L 与 U_P 的关系 如图 1-45 所示， U_{UV} 表示 U 相到 V 相的线电压 U_L ； U_U 、 U_V 和 U_W 分别表示 U 、 V 和 W 相的相电压 (U_P)。

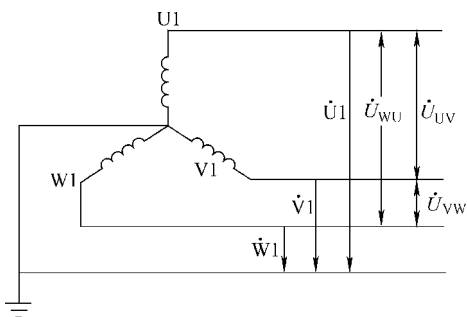


图 1-44 三相电源星形联结

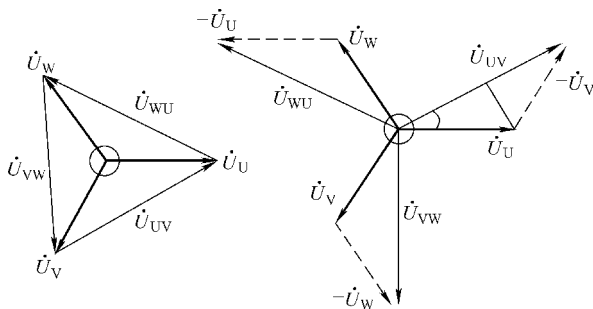


图 1-45 星形联结电压相量图

①大小 $\dot{U}_{UV} = \dot{U}_U + (-\dot{U}_V)$

$$U_{UV} = U_U \cos 30^\circ + (-U_V) \cos 30^\circ = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} U_U = \sqrt{3} U_U$$

所以

$$U_L = \sqrt{3} U_P \quad (1-42)$$

如果相电压 $U_P = 220\text{V}$ ，则线电压 $U_L = \sqrt{3} U_P = 1.732 \times 220\text{V} = 380\text{V}$ 。

②相位 从图 1-45 可看到 U_{UV} 超前 $U_U 30^\circ$ 、 U_{VW} 超前 $U_V 30^\circ$ 、 U_{WU} 超前 $U_W 30^\circ$ ，即线电压 U_L 超前相电压 $U_P 30^\circ$ 。

(3) 中性线 星形联结是将三相绕组的首端作为出线端，末端联在一起称为“中性点”，中性点引出的线称为“中性线”，中性点接地时引出的中性线称为“零线”。

① 星形联结对称负载的电压与电流。

如图 1-46 所示，当三相负载阻抗相等，即 $Z_U = Z_V = Z_W$ 时，三相电流相等， $I_U = I_V = I_W$ ， $\dot{I}_U$ 、 $\dot{I}_V$ 、 $\dot{I}_W$ 相位互差 120° 。

线电流等于相电流，即

$$I_L = I_P \quad (1-43)$$

②中性线的作用。三相负载对称时，中性线电流等于零；三相负载不对称时，三相电流不平衡，有电流经中性线回流构成回路，保证三相电压基本平衡。

如果中性线断开，会造成三相电压不对称。此时一定要有中性线，且中性线不准装熔断器。

2. 三角形联结

三相电源三角联结如图 1-47 所示。

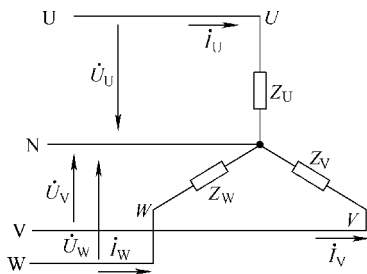


图 1-46 三相负载星形联结

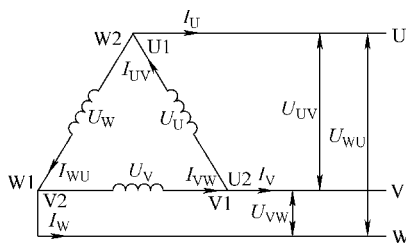


图 1-47 三相三角联结图



(1) Δ 联结 由图 1-47 可以得到一种电压, 其中 U_{UV} 表示 U 相到 V 相的线电压 (U_L); 同时, $U_{UV} = U_U$, 线电压与相电压相等, 即

$$U_L = U_P \quad (1-44)$$

(2) I_L 与 I_P 的关系 如图 1-47 所示, I_U 、 I_V 、 I_W 、分别表示三相线电流 (I_L); I_{UV} 、 I_{VW} 、 I_{WU} 分别表示三相相电流 (I_P)。

①大小: 从 U_1 、 W_2 的连接点看到线电流 I_U 从该节点流出, 根据节点定律, $\dot{I}_{UV} = \dot{I}_U + \dot{I}_{WU}$ 得: $\dot{I}_U = \dot{I}_{UV} + (-\dot{I}_{WU})$ 。

如图 1-48 所示为三角形联结电流相量图, 由于 $\dot{I}_U = \dot{I}_{UV} + (-\dot{I}_{WU})$; 可以得出 $I_U = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} I_{UV} = \sqrt{3} I_{UV}$, 即

$$\begin{aligned} I_U &= \sqrt{3} I_{UV} \\ I_L &= \sqrt{3} I_P \end{aligned} \quad (1-45)$$

所以三角连接电路的线电压与相电压相等, 线电流为相电流 $\sqrt{3}$ 的倍。

②相位关系: 由图 1-48 可得出, $\dot{I}_U$ 滞后 $\dot{I}_{UV}$ 30° , 即三角联结对称负载电路中, 线电流滞后相电流 30° 。

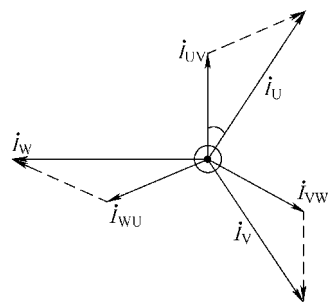


图 1-48 三角联结电流向量图

1.3.3 三相交流电路的功率

1. 有功功率

(1) 总有功功率 不论负载对称与否, 也不论 Y 或 Δ 联结, 总有功功率等于各相有功功率之和, 即

$$P = P_U + P_V + P_W$$

(2) 对称负载 $P = 3U_P I_P \cos \varphi$

Y 联结: $U_L = \sqrt{3} U_P$ $I_L = I_P$

Δ 联结: $U_L = U_P$ $I_L = \sqrt{3} I_P$

$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi$ (用于对称三相负载, 无论 Y 、 Δ 联结)

2. 无功功率

(1) 总无功功率 不论负载对称与否, 也不论 Y 或 Δ 联结, 总无功功率等于各相无功功率之和, 即

$$Q = Q_U + Q_V + Q_W$$

(2) 对称负载 $Q = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi$ (用于对称负载, 无论 Y 、 Δ 联结)

3. 视在功率

(1) 视在功率 电路的视在功率等于各相视在功率之和 (不管负载对称与否, 无论 Y 、 Δ 联结), 即

$$S = S_U + S_V + S_W$$

视在功率 S 、有功功率 P 、无功功率 Q 的关系为

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

(2) 对称负载 $S = \sqrt{3}U_L I_L$ (用于对称负载, 无论Y、Δ联结)

4. 应用

1) 同一对称负载, 接入线电压为 220V (Δ联结) 和接入线电压为 380V (Y联结) 负载获得的功率 P 相同。

2) 同一对称负载, 接入线电压为 380V (Δ联结) 和接入线电压为 380V (Y联结) 负载获得的功率 P 不相同, $P_{\Delta} = 3P_Y$ 。

Δ 联结: $U_{\Delta L} = U_{\Delta P}$, 线电压等于相电压; $I_{\Delta L} = \sqrt{3}I_{\Delta P}$ 线电流为相电流的 $\sqrt{3}$ 倍。

Y 联结: $U_{YL} = \sqrt{3}U_{YP}$, 线电压为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍; $I_{YL} = I_{YP}$ 线电流、相电流相同。

若两种联结使用相同线电压, 即 $U_{\Delta L} = U_{YL}$, 两种联结相比, Δ联结相电压是Y联结相电压的 $\sqrt{3}$ 倍, Δ联结线电流是Y联结线电流的 $\sqrt{3}$ 倍, 所以Δ联结和Y联结的功率关系为:

$$\frac{P_{\Delta}}{P_Y} = \frac{\sqrt{3}U_{\Delta L}I_{\Delta L}\cos\varphi}{\sqrt{3}U_{YL}I_{YL}\cos\varphi} = \frac{\sqrt{3}U_{YL}3I_{YL}\cos\varphi}{\sqrt{3}U_{YL}I_{YL}\cos\varphi} = 3$$

即 $\frac{P_{\Delta}}{P_Y} = 3$

1.4 电工基础知识实训

实训1 三相负载电压与电流的测量

1. 实训目的

- 1) 熟悉低压供电系统中中性线的作用。
- 2) 熟悉无中性线时, 负载不平衡所造成的严重后果。
- 3) 熟悉低压供电系统中相电流、线电流、相电压、线电压的测量。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 1-1。

表 1-1 实训设备及器材清单

序号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	
		电流表 (量程为 300mA)	1 个
		白炽灯 (60W 或 100W, 220V)	7 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	3 个
		交流电压表 (500V) 或万用表	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干



3. 实训准备

检查清点本题目所用的仪表及器材，并校对所用的仪表及器材各种功能是否正常。

4. 工作原理

1) 三相负载有两种连接方式，即三角形联结和星形联结。本次实训只讨论星形联结的负载情况如图 1-49 所示。在负载对称和不对称情况下，通过测量各相负载的电压、电流来说明中性线的作用。

2) 当各相负载的阻抗大小相同，即三相负载对称平衡时，如图 1-49 (S 断开)，无论有无中性线（即中性线不起作用），各相负载所承受的电压相等，各相电流对称，中性线电流为零，各相负载都能正常工作，是理想的三相电路。

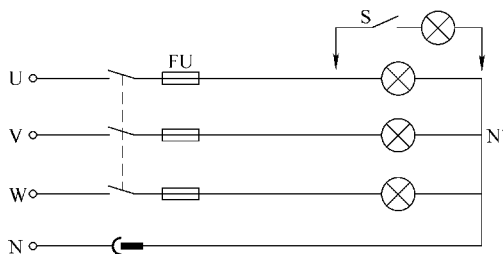


图 1-49 三相负载原理图

3) 当各相负载的阻抗大小不相同，即三相负载不对称时，如图 1-49 所示 (S 闭合)。在有中性线的情况下，即三相四线制电路中，由于三相电源的相电压是对称的，每相负载所承受的电压仍为电源的相电压，也是对称的，都能正常工作，但是，经过负载的电流（即相电流）等于线电流，由于负载不对称，各相负载电流的大小不同，应按单相电路的计算方法，分别对每相进行计算。因为各相电流不对称，所以中性线电流不为零。若忽略中性线阻抗，认为中性线上无电压降，负载端电压则对称。若中性线断了，此时中性线电流无法通过，强迫负载改变原来的工作状态，这样使负载某一相（或两相）的电压升高，而另两相（或一相）的电压降低。严重时会使电压高的那相负载损坏，而电压低的那些负载不能正常工作。

对于低压配电系统来讲，负载对称是特殊情况，而负载不对称则是一般情况，所以中性线是很重要的。中性线的作用是在三相不对称负载星形联结中，使三相负载成为互不影响的独立回路，无论负载有无变动，每相负载所承受的都是电源相电压，从而保证负载正常工作。为避免中性线断开，需采用机械强度较高的导线作中性线，并且中性线上不允许安装熔断器及开关。因为一旦熔断器熔断，中性线的作用就失去了。此外，在安装和设计时，应尽量考虑三相负载平衡。因为三相负载严重不平衡时，会有较大的中性线电流，在中性线上产生较大的阻抗压降而不能忽略，导致三相负载的电压不对称而不能正常工作。

5. 实训步骤

1) 按图 1-50 将三相星形负载连接好，待检查无误后，接入三相四线制电源。

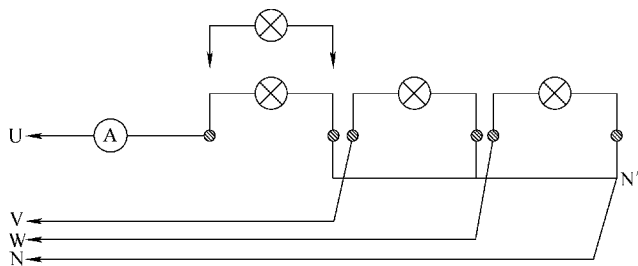


图 1-50 三相负载接线图

2) 按照表 1-2 的要求对各点电压或电流进行测量并记录数据。

表 1-2 三相负载情况表

项 目 顺 序		测 量							
		U_{UV}	$U_{UN'}$	$U'_{VN'}$	$U'_{WN'}$	$U'_{NN'}$	I_U	I_V	I_N
有中性线	负载对称								
	负载不对称								
无中性线	负载对称								
	负载不对称								

3) 数据分析。通过对所测数据进行分析,可得出如下结论:

①在四种情况下 U_{UV} 相同,因为它是电源电压。

②在有中性线(包括对称与不对称)和无中性线负载对称时, U'_{UN} 、 U'_{VN} 、 U'_{WN} 三个相电压皆相同。

③无中性线负载不对称时, U'_{UN} 、 U'_{VN} 、 U'_{WN} 的相电压不相等。

④无中性线负载不对称时 $U_{NN'}$ 不为零,有中性线(包括对称与不对称)与无中性线负载对称时 $U_{MN'}$ 皆为 0V。

⑤负载对称时(不管有无中性线) I_U 、 I_V 电流相等。

⑥负载不对称时(不管有无中性线) I_U 、 I_V 电流不相等。

⑦有中性线不对称时有电流 I_N ,有中性线负载对称时电流 I_N 为 0,无中性线时就无 I_N 可言。

6. 操作技能比例要求(操作时间 90min)

(1) 三相四线制电路的连接与测量(48%)

①对称负载的测量(24%)

S 断开时,按表 1-2 要求测量并将结果填入表 1-2 中。

②不对称负载的测量(24%)

S 闭合时,按表 1-2 要求测量并将结果填入表 1-2 中。

(2) 三相三线制电路的连接与测量(52%)

①对称负载的测量(24%)

S 断开时,按表 1-2 要求测量并将结果填入表 1-2 中。

②不对称负载的测量(28%)

S 闭合时,按表 1-2 要求测量并将结果填入表 1-2 中。

注意事项



1) 电路接通时,应注意安全。

2) 测量时正确选择万用表量程和电流表量程。



- 3) 负载对称时, 要使三相负载的电阻相等。
- 4) 电流表在电路应串联连接, 若并联接入会造成短路的危险。

思考题



- 1) 三相四线制供电系统, 中性线断开会给用户的家用电器造成什么样的后果?
- 2) 为什么测量电压时电压表要并联在电路中? 而测量电流时电流表应串联在电路中?
- 3) 实训中, 为什么每相负载要用两个白炽灯串联?

模块 2 电工常用工具及基本操作

2.1 常用电工工具及使用

常用电工工具是指一般专业电工都要使用的工具。主要包括：验电器、螺钉旋具、钢丝钳、尖嘴钳、断线钳、剥线钳、电工刀、活扳手等。

电工工具在使用之前必须验证标称电压绝缘等级与所使用的场合相对应，确保安全使用。

2.1.1 验电器

验电器是检验导线和电气设备是否带电的一种电工常用检测工具。它分为低压验电器和高压验电器两种。

1. 验电器的结构

(1) 低压验电器 低压验电器又称为测电笔，有笔式和螺钉旋具式两种：笔式如图 2-1a 所示，螺钉旋具式如图 2-1b 所示。

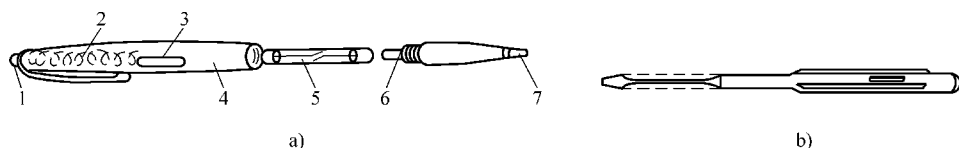


图 2-1 低压验电器

a) 笔式 b) 螺钉旋具

1—笔尾的金属体 2—弹簧 3—小窗 4—笔身 5—氖管 6—电阻 7—笔尖的金属体

笔式低压验电器由氖管、电阻、弹簧、笔身和笔尖等组成。低压验电笔使用时，必须按正确方法把笔握牢，以手指触及笔尾的金属体，使氖管小窗背光朝向自己。

当用验电器测带电体时，电流经带电体、验电器、人体、大地形成回路，只要带电体与大地之间的电位差超过 60V，验电器中的氖管就发光。低压验电笔的测试范围为 60 ~ 500V。

(2) 高压验电器 高压验电器又称为高压测电器，10kV 高压验电器由金属钩、氖管、氖管窗、固紧紧螺钉、护环和握柄组成。

高压验电器在使用时，应特别注意手握部位不得超过护环。

2. 使用验电器的安全知识

1) 验电器使用前，应在已知带电体上测试，证明验电器确实良好后方可使用。

2) 使用时，应使验电器逐渐靠近被测物体直至氖管发光；只有在氖管不发光时，人体才可以与被测物体试接触。

3) 室外使用高压验电器时，必须在气候条件良好的情况下才能使用。在雨、雪、雾及



湿度较大的天气中，不宜使用，以防发生危险。

4) 高压验电器测试时，必须戴上符合要求的绝缘手套；不可一个人单独测试，身旁必须有人监护；测试时要防止发生相间或对地短路事故；人体与带电体应保持足够的安全距离，10kV 高压的安全距离为 0.7m 以上。

3. 低压验电器的使用

(1) 区别电压高低 测试时可根据氖管发光的强弱来估计电压的高低。

(2) 区别相线与零线 在交流电路中，当验电器触及导线时，氖管发光的即为相线，正常情况下，触及零线是不会发光的。

(3) 区别直流电与交流电 交流电通过验电器时，氖管里的两个极同时发光；直流电通过验电器时，氖管里两个极只有一个发光。

(4) 区别直流电的正、负极 把验电器连接在直流电的正、负极之间，氖管中发光的一极即为直流电的负极。

(5) 识别相线碰壳 用验电器触及电机、变压器等电气设备外壳，氖管发光，则说明该设备相线有碰壳现象。如果壳体上有良好的接地装置，氖管是不会发光的。

(6) 识别相线接地 用验电器触及正常供电的星形联结三相三线制交流电时，有两根比较亮，而另一根的亮度较暗，则说明亮度较暗的相线与地有短路现象，但不太严重。如果两根相线很亮，而另一根不亮，则说明这一根相线与地肯定短路。

2.1.2 螺钉旋具

螺钉旋具俗称旋凿或起子，它是一种紧固或拆卸螺钉的工具。

1. 螺钉旋具的式样和规格

螺钉旋具的式样和规格很多，按头部形状可分为一字形和十字形两种，如图 2-2 所示。

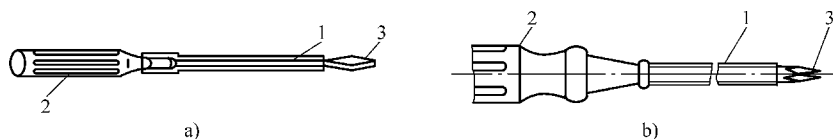


图 2-2 螺钉旋具

a) 一字形螺钉旋具 b) 十字形螺钉旋具

1—绝缘套管 2—握柄 3—头部

一字形螺钉旋具常用的规格有 50mm、100mm、150mm 和 200mm 等，电工必备的是 50mm 和 150mm 两种。十字形螺钉旋具专供紧固和拆卸十字槽螺钉，常用的规格有四个：I 号适用于螺钉直径为 2~2.5mm，II 号为 3~5mm，III 号为 6~8mm 和 IV 号为 10~12mm。

另外，还有一种磁性螺钉旋具，其握柄材料可分为木质绝缘柄和塑胶绝缘柄。它的规格较齐全，也分为十字形和一字形。金属杆的刀口端焊有磁性金属材料，可以吸住待拧紧的螺钉，能准确定位、拧紧，使用很方便，目前使用也较广泛。

2. 使用螺钉旋具的安全知识

1) 电工不可使用金属杆直通柄顶的螺钉旋具，否则易造成触电事故。

2) 使用螺钉旋具紧固和拆卸带电的螺钉时，手不得触及螺钉旋具的金属杆，以免发生



触电事故。

3) 为了避免螺钉旋具的金属杆触及皮肤或触及邻近带电体,应在金属杆上穿套绝缘管。

3. 螺钉旋具的使用方法

(1) 大螺钉旋具的使用 大螺钉旋具一般用来紧固较大的螺钉。使用时,除大拇指、食指和中指要夹住握柄外,手掌还要顶住柄的末端,这样就可防止螺钉旋具转动时滑脱。

(2) 小螺钉旋具的使用 小螺钉旋具一般用来紧固电气装置接线桩头上的小螺钉,使用时,可用手指顶住木柄的末端捻旋。

(3) 较长螺钉旋具的使用 可用右手压紧并转动手柄,左手握住螺钉旋具中间部分,以使螺钉旋具不滑脱。此时左手不得放在螺钉的周围,以免螺钉旋具滑出时将手划伤。

2.1.3 钢丝钳

钢丝钳有铁柄和绝缘柄两种,绝缘柄为电工用钢丝钳,常用规格有 150mm、175mm 和 200mm 三种。

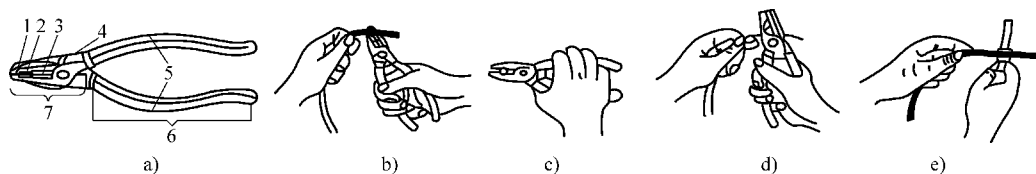


图 2-3 钢丝钳的构造及用途

a) 构造 b) 弯绞导线 c) 紧固螺母 d) 剪切导线 e) 侧切钢丝
1—钳口 2—齿口 3—刀口 4—侧口 5—绝缘管 6—钳柄 7—钳头

1. 电工钢丝钳的构造和用途

电工钢丝钳由钳头和钳柄两部分组成。钳头由钳口、齿口、刀口和侧口四部分组成,如图 2-3a 所示。其用途很多,钳口用来弯绞和钳夹导线线头;齿口用来紧固或起松螺母;刀口用来剪切或剖削软导线绝缘层;侧口用来侧切电线线芯、钢丝或铅丝等较硬金属丝,如图 2-3b~e 所示。

2. 使用电工钢丝钳的安全知识

1) 使用前,必须检查绝缘柄的绝缘是否良好。绝缘如损坏,进行带电作业时会发生触电事故。

2) 剪切带电导线时,不得用刀口同时剪切相线和零线,或同时剪切两根相线,以免发生短路事故。

2.1.4 尖嘴钳

尖嘴钳的头部尖细,适用于在狭小的工作空间操作。尖嘴钳也有铁柄和绝缘柄两种,绝缘柄的耐压为 500V,如图 2-4 所示。

尖嘴钳的用途如下:

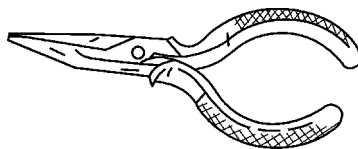


图 2-4 尖嘴钳



- 1) 带有刀口的尖嘴钳能剪断细小金属丝。
- 2) 尖嘴钳能夹持较小螺钉、垫圈、导线等元件。
- 3) 在装接控制电路时，尖嘴钳能将单股导线弯成所需的各种形状。

2.1.5 断线钳

断线钳又称为斜口钳，钳柄有铁柄、管柄和绝缘柄三种。电工用的绝缘柄断线钳的绝缘柄耐压为 500V，如图 2-5 所示。

断线钳是专供剪断较粗的金属丝、线材及导线电缆时使用。

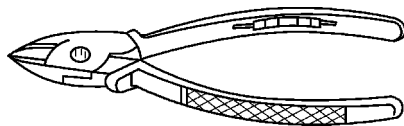


图 2-5 断线钳

2.1.6 剥线钳

剥线钳是用来剥削小直径导线绝缘层的专用工具。它的手柄是绝缘的，耐压为 500V，如图 2-6 所示。

剥线钳使用时，将要剥削的绝缘层长度用标尺定好后，即可把导线放入相应的刀口（比导线直径稍大），用手将钳柄一握紧，导线的绝缘层即被割破，且自动弹出。

2.1.7 电工刀

电工刀是用来剖削电线线头、切割木台缺口、削制木榫的专用工具，如图 2-7 所示。

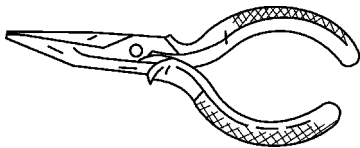


图 2-6 剥线钳

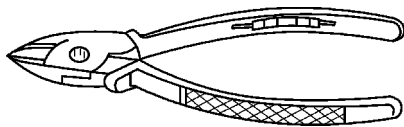


图 2-7 电工刀

1. 电工刀的使用

使用时，应将刀口朝外剖削。剖削导线绝缘层时，应使刀面与导线呈较小的锐角，以免割伤导线。

2. 使用电工刀的安全知识

- 1) 使用电工刀时应注意避免伤手，不得传递未折进刀柄的电工刀。
- 2) 电工刀用毕，随时将刀身折进刀柄。
- 3) 电工刀刀柄无绝缘保护，不能用于带电作业，以免触电。

2.1.8 活扳手

活扳手是用来紧固和旋松螺母的一种专用工具，如图 2-8 所示。

1. 活扳手的构造和规格

活扳手由头部和柄部组成，头部由活扳唇、呆扳唇、扳口、蜗轮和轴销等构成。旋动蜗轮可调节扳口大小。其规格以长度×最大开口宽度（单位为 mm）来表示，电工常用的活扳手有 150mm×19mm、200mm×24mm、250mm×30mm 和 300mm×36mm 四种规格。

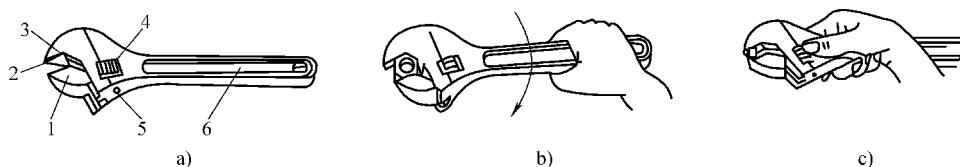


图 2-8 活扳手的结构及使用

a) 活扳手的结构 b) 扳动较大螺母时的握法 c) 扳动较小螺母时的握法

1—活扳唇 2—扳口 3—呆扳唇 4—蜗轮 5—轴销 6—手柄

2. 活扳手的使用方法

- 1) 扳动大螺母时，常用较大的力矩，手应握在近柄尾处。
- 2) 扳动较小螺母时，所用力矩不大，但螺母过小易打滑，故手应握在接近扳头的地方，这样可随时调节蜗轮，收紧活扳唇，防止打滑。
- 3) 活扳手不可反用，以免损坏活扳唇，也不可用钢管接长手柄来施加较大的扳拧力矩。
- 4) 活扳手不得当做撬棍和锤子使用。

2.2 电工常用仪表的原理与使用

在电气线路、用电设备的安装、使用与维修过程中，电工仪表起着极为重要的作用。在电子电器的装修工作中，万用表更是起着特殊重要的作用。本节将介绍电流表、电压表、万用表、钳形电流表、绝缘电阻表、接地电阻测量仪等的正确使用，使学员通过专业训练能较熟练地操作万用表、钳形电流表、绝缘电阻表等的基本测量原理及正确使用方法。

2.2.1 电工仪表的基本知识

学习电工仪表的基本知识是正确使用和维护电工仪表的基础。本节将叙述常用电工仪表的分类、面板符号、准确度等级和一般电工仪表的基本结构。

2.2.1.1 常用电工仪表的分类

电工仪表按测量对象不同，分为电流表（安培表）、电压表（伏特表）、功率表（瓦特表）、电能表（千瓦时表）、欧姆表等；按仪表工作原理的不同分为磁电系、电磁系、电动系、感应系等；按被测电量种类的不同分为交流表、直流表、交直流两用表等；按使用性质和装置方法的不同分为固定式（开关板式）、携带式；按准确度等级不同分为 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级和 5.0 级共七个等级。

2.2.1.2 电工仪表常用面板符号

电工仪表的面板上，标志着表示该仪表有关技术特性的各种符号。这些符号表示该仪表的使用条件，所测有关的电气参数范围、结构和准确度等级等，为该仪表的选择和使用提供了重要依据，见表 2-1 ~ 表 2-8。



表 2-1 测量单位名称及符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
千安	kA	瓦特	W	毫欧	mΩ
安培	A	兆乏	Mvar	微欧	μΩ
毫安	mA	千乏	kvar	相位角	φ
微安	μA	乏尔	var	功率因数	cosφ
千伏	kV	兆赫	MHz	无功功率因数	sinφ
伏特	V	千赫	kHz	微法	μF
毫伏	mV	赫兹	Hz	微微法	pF
微伏	μV	兆欧	MΩ	亨	H
兆瓦	MW	千欧	kΩ	毫亨	mH
千瓦	kW	欧姆	Ω	微亨	μH

表 2-2 电流种类的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
直流		单相交流		直流和交流	

表 2-3 仪表工作原理的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系仪表		电动系仪表		感应系仪表	
磁电系比率表		电动系比率表		静电系仪表	
电磁系仪表		铁磁电动系仪表		动磁系仪表	
电磁系比率表		铁磁电动系比率表		动磁系比率表	

表 2-4 准确度等级的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
以标度尺量限百分数表示的等级指数	1.5	以标度尺长度百分数表示的等级指数		以指示值百分数表示的等级指数	



表 2-5 工作位置的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
标度盘为垂直的		标度盘为水平的		标度盘与水平面倾斜成一角度	

表 2-6 绝缘强度的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号
不进行绝缘强度试验		绝缘强度试验电压为 2kV	

表 2-7 端钮、调零器的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
正端钮		接地用的端钮		零位调节器	
负端钮		与外壳相连接的端钮			
公共端钮		与屏蔽相连接的端钮			

表 2-8 按外界条件分组的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
I 级防外磁场		Ⅲ级防外磁场及电场		A 组仪表	
I 级防外电场		Ⅳ级防外磁场及电场		B 组仪表	
Ⅱ级防外磁场及电场				C 组仪表	

2.2.1.3 电工仪表的准确度等级

电工仪表的准确度等级是指在规定条件下使用时，可能产生的基本误差占满刻度的百分数。它表示了该仪表基本误差的大小。在前述的七个准确度等级中，数字越小者，准确度等级越高，基本误差越小。0.1 级到 0.5 级仪表准确度等级较高，多用于实验室作校验仪表；1.5 级以下的仪表准确度等级较低，多用于工程上的检测与计量。

所谓基本误差，是指仪表在正常使用条件下，由于本身内部结构的特性和质量等方面的缺陷所引起的误差，这是仪表本身的固有误差。例如 0.5 级电流表的基本误差是满刻度的



0.5/100。若所测电流为 100A 时，实际电流值为 99.5 ~ 100.5A。

2.2.1.4 常用电工仪表的基本结构

常用电工仪表主要由电木、铁皮或硬塑料制成的外壳、有标度尺和有关符号的面板、测量电路（简单仪表没有）、表头电磁系统、指针、阻尼器、转轴、轴承、游丝、零位调整器等组成。

2.2.1.5 电工仪表的保养

- 1) 严格按说明书要求，在温度、湿度、粉尘、振动、电磁场等条件允许范围内保存和使用。
- 2) 经过长时间存放的仪表，应定期通电检查和驱除潮气。
- 3) 经过长时间使用的仪表，应按电气计量要求，进行必要的检验和校正。
- 4) 不得随意拆卸、调试仪表，否则将影响其灵敏度与准确性。
- 5) 对表内装有电池的仪表，应注意检查电池放电情况，对不能使用者应及时更换，以免电池电解液溢出腐蚀机件。对长时间不用的仪表，应取出表内电池。

2.2.2 电流表

常用的电流表为直读式，从结构类型上可分为电磁系和磁电系。电磁系表头结构简单，价格便宜，测量精度较低，常用于电流较大的生产现场。磁电系电流表如图 2-9 所示。

磁电系电流表用途广泛，用于仪器、仪表、现场的电流电压测量。测量电流时，根据电流的大小、方向将表串入被测电路，直流电流表的测量连接端分为“+”、“-”极，“+”极接电流进入点，“-”极接电流出点。否则电流表指针反偏。

测量电流较大的电路时，即被测电路电流大于电流表的量程（满刻度）时，电流表要采用并联“分流电阻”进行分流，如图 2-10 所示。例如：表的量程 $I_0 = 0.05\text{A}$ ，表的内阻 $R_A = 0.05\Omega$ ，被测电流为 1.5A，表的量程可定为 $I = 2\text{A}$ ，并联的分流电阻为 R_A ，计算分流电阻 R_A ：

$$I_0 R_0 = I_A R_A = (I - I_0) R_A$$

$$R_A = \frac{I_0}{I - I_0} R_0 = \frac{0.05\text{A}}{2\text{A} - 0.05\text{A}} \times 0.05\Omega = 0.0256\Omega$$

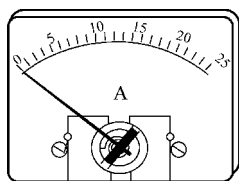


图 2-9 电流表

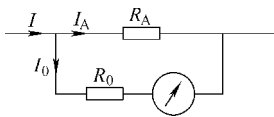


图 2-10 电流表分流电路

通过以上的分析计算，在电流表上并联 0.0256Ω 的电阻，电流表的量程由原来的 0 ~ 0.05A 扩展为 0 ~ 2A，电流表可测量 2A 内的电流。以上的量程扩展也可用于交流电流的测量。

在生产现场负荷大多采用交流电（磁电系电流表中加整流器件），且电流很大，测量电流可配用电流互感器来扩展量程。



例如：电流表的量程多为 $0 \sim 5\text{A}$ ，若测量电流为 60A 左右，就应采用电流互感器，如图 2-11 所示。

比如，电流互感器标注有 $\frac{150}{1}$ ， $\frac{75}{2}$ ， $\dots$ ，其意义是：导线穿过互感器 1 匝，互感器电流比为 $150/5 = 30$ ，即被测电路电流为 150A 时，互感器感应出的电流为 5A ；导线穿过互感器 2 匝时电流比为 $75/5 = 15$ ，被测电路电流为 75A 时，互感器感应输出的电流为 5A 。用此种方法可对 75A 以下电流测量，可按要求测量 60A 的电路。

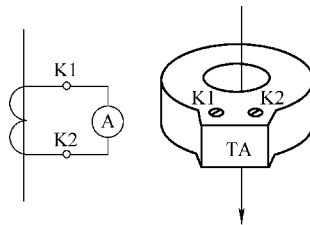


图 2-11 电流互感器

2.2.3 电压表

常用的电压表为直读式，磁电系表头应用较多，生产现场可直接连接。对高压供电系统电压进行测量时，要采用电压互感器变压及与高压系统隔离。电压表如图 2-12 所示。

磁电系电压表用途广泛，用于仪器、仪表、现场的电压测量。电压测量时，根据电压的大小、方向将电压表并入被测电路。直流电压表的测量连接端分为“+”、“-”极，“+”极接电路高电位端，“-”极接电路的低电位端，否则电压表指针反偏。

电压表的表头一般由 mA 表头或 μA 表头串联电阻构成。

例如：如图 2-13 所示，微安表的满刻度电流为 $I_0 = 500\mu\text{A}$ (0.5mA)，内阻 $R_0 = 500\Omega$ ，用于测量 $U_A = 300\text{V}$ 的直流电压，需要串联的电阻 R_A 为：

$$R_A + R_0 = \frac{U_A}{I_0} \quad \text{则} \quad R_A = \frac{U_A}{I_0} - R_0 = \frac{300\text{V}}{0.5\text{mA}} - 500\Omega = 599.5\text{k}\Omega$$

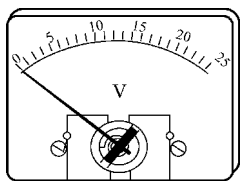


图 2-12 电压表

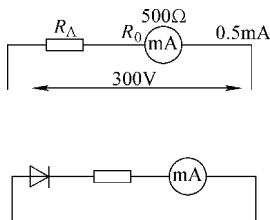


图 2-13 电压表原理图

所以在表上串联 $599.5\text{k}\Omega$ 的电阻，即构成一个量程 300V 的直流电压表。

改装交流电压表时，要在电路中串联二极管，同时修改表头指示的刻度（交流电压测量的读数为有效值）。

2.2.4 万用表

万用表是一种多功能、多量程的便携式电工仪表，一般的万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压和电阻等。有些万用表还可测量电容、电感、功率、晶体管共射极直流放大系数 h_{fe} 等。万用表是电工专业必备的仪表之一。

万用表一般可分为指针式万用表和数字式万用表两种。

2.2.4.1 指针式万用表

1. 指针式万用表的结构与工作原理

(1) 指针式万用表的结构 指针式万用表的形式很多，但基本结构是类似的。指针式



万用表的结构主要由表头、转换开关（又称为选择开关）、测量电路等三部分组成。

表头采用高灵敏度的磁电系机构，是测量的显示装置。万用表的表头实际上是一个高灵敏度的电流计。表头上的表盘印有多种符号、刻度线和数值。符号 $A-V-\Omega$ 表示这种万用表是可以测量电流、电压和电阻。表盘上印有多条标度线，其中右端标有“ Ω ”的是电阻标度线，其右端为零，左端为“ ∞ ”，标度值分布是不均匀的。符号“-”或“DC”表示直流，“~”或“AC”表示交流；“ $\sphericalangle$ ”表示交流和直流共用的标度线；“10 $\sphericalangle$ ”表示交流10V量程的专用标度线。标度线下的几行数字是与选择开关的不同挡位相对应的标度值。另外表盘上还有一些表示表头参数的符号：如 $20000\Omega/VDC$ 、 $AC\ 4000\Omega/V$ 等。表头上还设有机械零位调整旋钮（螺钉），用以校正指针在左端时的指零位。

万用表的量程转换开关是一个多挡位的旋转开关。用来选择测量项目和量程（或倍率）。一般的万用表测量项目包括：“mA”——直流电流、“V”——直流电压、“ $\sphericalangle$ ”——交流电压、“ Ω ”——电阻。每个测量项目又划分为几个不同的量程（或倍率）以供选择。

测量电路的作用是将不同性质和大小 的被电量，转换为表头所能接受的直流电流。图 2-14 为 MF-500 型万用表的外形，该万用表可以测量直流电流、直流电压、交流电压和电阻等多种电量。

当转换开关拨到直流电流挡“A”时，可用于 500mA、100mA、10mA、1mA 和 50 μ A 量程的直流电流测量；同样，当转换开关拨到欧姆挡“ Ω ”时，可用 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k\Omega$ 、 $R \times 10k\Omega$ 倍率分别测量电阻；当转换开关拨到直流电压挡“V”时，可用于 2.5V、10V、50V、250V、500V 和 2500V 量程的直流电压测量；当转换开关拨到交流电压挡“ $\sphericalangle$ ”时，可用于 10V、50V、250V、500V、2500V 量程的交流电压测量。

（2）表笔和表笔插孔 表笔分为红、黑二只。使用时应将红色表笔插入标有“+”号的插孔中，黑色表笔插入标有“-”号的插孔中。另外，MF500 型万用表还提供 2500V 交直流电压扩大量程插孔。使用时分别将红表笔移至对应插孔中即可，如图 2-14 所示。

（3）指针式万用表的工作原理 如图 2-15 所示，使用直流微安（ μ A）电流表串联一定的电阻及电池可对电路的电阻进行测量；电流表串联一定的电阻可对相应的直流电压进行测量；电流表串联一定的电阻和二极管可对相应的交流电压进行测量。

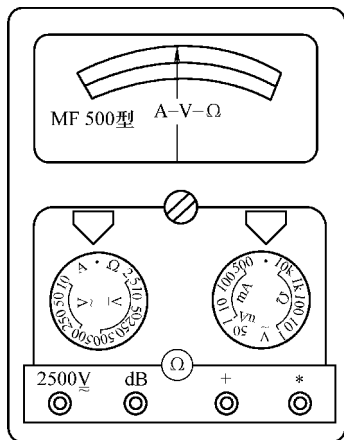


图 2-14 500 型万用表的外形

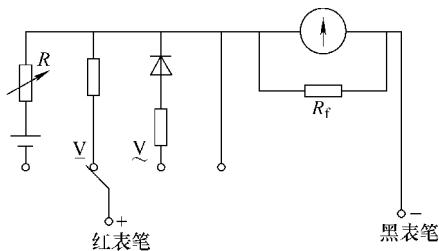


图 2-15 指针式万用表的测量原理图



2. 指针式万用表的使用

(1) 万用表使用时的注意事项

1) 在使用万用表之前,应先进行“机械调零”,即在没有接入被测电量时,使万用表指针指在零电压或零电流的位置上(注意:一般经常使用的万用表无需经常进行机械调零)。

2) 万用表在使用时,必须按规定放置,以免造成误差。

3) 万用表在使用过程中不要碰撞硬物或跌落到地面上。

4) 万用表在使用过程中不要靠近强磁场,以免测量结果不准确。

5) 在使用万用表过程中,不能用手去接触表笔的金属部分,以免影响测量结果的准确度,也为了保证人身安全。

6) 在测量某一电量时,不能在测量的同时转换量程。尤其是在测量高电压或大电流时,否则会毁坏万用表。如需转换量程,应先断开表笔,转换量程后再测量。

7) 万用表使用完毕,应将转换开关置于交流电压的最大挡。如果长期不使用,还应将万用表内部的电池取出来,以免电池腐蚀表内其他器件。

(2) 万用表测量电阻 万用表最常用的功能之一就是用于测量各种直流电阻的阻值。

1) 测量电阻的操作步骤:

①初测(试测) 把万用表的转换开关拨到欧姆 $R \times 100$ 挡。红黑表笔分别接被测电阻的两引脚进行测量。观察指针的指示位置,如图2-16所示,标度值看最上面的“ Ω ”行。

②选择合适倍率 根据指针所指的位置选择合适的倍率。

合适倍率的选择标准是使指针指示在中值附近。尽量避免使用左边1/3或右边1/3的刻度部分,因这部分标度值读数偏差较大。因此,指针尽量指在欧姆挡标度尺数字的5~50。

③欧姆调零 倍率选好后要进行欧姆调零。将两表笔短接后,转动零欧姆调节旋钮,使指针指在电阻标度尺右边的“0” Ω 处。

④测量及读数:将红、黑表笔分别接触待测电阻的两端,读出电阻值大小。

读数方法:表头指针所指示的示数乘以所选的倍率值即为所测电阻的阻值。例如选用 $R \times 100$ 挡测量,指针指示40,则被测电阻值为 $40 \times 100 = 4000\Omega = 4k\Omega$ 。

2) 测量电阻时的注意事项:

①当电阻连接在电路中时,首先应将电路的电源断开,决不允许带电测量。若带电测量,容易烧坏万用表,并使测量结果不准确。

②万用表内干电池的正极与面板上“-”号插孔相连,干电池的负极与面板上的“+”号插孔相连。在测量电解电容和晶体管等器件的电阻时要注意极性。

③每换一次倍率挡,都要重新进行欧姆调零。

④不允许用万用表的电阻挡直接测量高灵敏度表头内阻。因为这样做可能使流过表头的电流超过其承受能力(微安级)而烧坏表头。

⑤不准用两只手同时捏住表笔的金属部分测电阻,否则会将人体电阻并接于被测电阻两

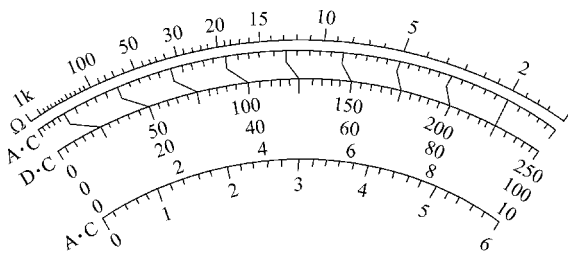


图2-16 万用表标度盘



端而引起测量误差。因为这样测得的阻值是人体电阻与待测电阻并联后的等效电阻的阻值，而不是待测电阻的真实阻值。

⑥在线测量电阻时，可能会引起较大偏差。因为这样测得的阻值是部分电路电阻与待测电阻并联后的等效电阻的阻值，而不是待测电阻的阻值。最好将电阻的一只引脚焊开进行测量。

⑦用万用表不同倍率的欧姆挡测量非线性元件的等效电阻时，测出电阻值是不相同的。这是由于各挡位的中值电阻和满度电流各不相同所造成的。机械表中，一般倍率越小，测出的阻值越小。

⑧测量晶体管、电解电容等有极性元器件的等效电阻时，必须注意两支笔的极性。

⑨测量完毕，将转换开关置于交流电压最高挡或空挡。

(3) 万用表测量直流电压 MF500 型万用表的直流电压挡主要有 2.5V、10V、50V、250V、500V、2500V 六挡。测量直流电压时首先估计被测直流电压的大小，然后将转换开关拨至适当的电压量程（万用表直流电压挡标有“V”或标“DCV”符号），将红表笔接被测电压“+”端即高电位端，黑表笔接被测量电压“-”端即低电位端。然后根据所选量程与标直流符号“DC”标度线（标度盘的第二条线）上指针所指的数字，读出被测电压的大小。例如：用直流 500V 挡测量时，被测电压的最大值为 500V；如用直流 50V 挡测量时，此时万用表所测电压的最大值只有 50V。万用表测量直流电压的具体操作步骤如下：

①调节万用表转换开关至直流电压挡位。

②选择合适量程 根据待测电路中电压的大小选择量程。若未知待测电压的大小，应先用最高电压挡试触测量，然后再逐渐换用低电压挡直到找到合适的量程为止。

电压挡合适量程的标准是：指针尽量指在标度盘的满刻度的 2/3 以上位置。

③测量方法：万用表测电压时应使万用表与被测电路相并联。将万用表红表笔接被测电路的高电位端即直流电流流入端，黑表笔接被测电路的低电位端即直流电流流出端。例如测量干电池的电压时，我们将红表笔接干电池的正极端，黑表笔接干电池的负极端。

④正确读数：

a. 找到所读电压标度尺：仔细观察表盘，直流电压挡标度线应是表盘中的第二条标度线。表盘第二条标度线下方有 V 符号，表明该标度线可用来读取交、直流电压和直流电流的测量值。

b. 选择合适的标度尺：在第二条标度线的下方有三个不同的标度尺，0-10-20-30-40-50、0-50-100-150-200-250、0-2-4-6-8-10。根据所选用不同量程选择合适标度尺，例如：2.5V、250V 量程可选用 0-50-100-150-200-250 这一标度尺来读数；10V 量程可选用 0-2-4-6-8-10 标度尺来读数；50V 量程可选 0-10-20-30-40-50 这一标度尺来读数。因为这样读数比较方便和容易。

c. 确定最小标度单位：根据所选用的标度尺来确定最小标度单位。例如：用 0-50-100-150-200-250 标度尺时，每一小格代表 5 个单位；用 0-10-20-30-40-50 标度尺时，每一小格代表 1 个单位；用 0-2-4-6-8-10 标度尺时，每一小格代表 0.2 个单位。

d. 读出指针示数大小：根据指针所指位置和所选择的标度尺读出示数大小。例如：指针指在 0-50-100-150-200-250 标度尺的 100 向右过 2 小格时，读数为 110。

e. 读出电压值大小：根据示数大小及所选量程读出所测电压值大小。例如：所选量程

是 2.5V，示数是 110（选用 0-50-100-150-200-250 标度尺读数），则所测电压值是 $(110/250) \times 2.5V = 1.1V$ 。

f. 视线应正对指针。读数时，指针应与弧形反光镜中指针的影像重合。

如果被测的直流电压大于 500V 时，则可选择 2500V 挡进行测量。方法很简单，将转换开关置于 1000V 量程，红表笔从原来的“+”插孔中取出，插入标有 2500V 的插孔中即可测 2500V 以下的高电压了。

（4）万用表测量交流电压 MF500 型万用表的交流电压挡主要有 10V、50V、250V、500V、2500V 五挡。交流电压的测量方法与直流电压的测量方法基本相同。不同之处就是转换开关要放在交流电压挡处。此时红黑表笔搭接时不需再区分正负极了。另外，选择交流 10V 量程测量时，应该选择第三条“10V”量程的专用标度线读数。

用万用表测量电压时应注意以下几点：

- 1) 测量电压时，万用表的红黑表笔需与被测量的电路部分并联。
- 2) 禁止选用万用表的电流量程和电阻量程测量电压。否则，会毁坏万用表。
- 3) 在测量某一电量时，不能在测量的同时换挡，尤其是在测量高电压或大电流时更应注意。否则会使万用表毁坏。如需换挡，应先断开表笔，换挡后再去测量。
- 4) 测量电压时，不能用手去接触表笔的金属部分，以防触电事故的发生。
- 5) 万用表使用完毕，应将转换开关置于交流电压的最大挡。如果长期不使用，还应将万用表内部的电池取出，以免电池腐蚀表内其他器件。

（5）万用表测量直流电流 万用表除了进行电阻、电压测量之外，最常用的另一个功能就是测量电流。MF500 型万用表只能测量直流电流，而不能进行交流电流的测量。若要测量交流电流可选用具有测量交流电流功能的其他型号的万用表。

1) 万用表测量直流电流步骤：

①选择量程：根据待测电路中被测直流电流的大小，选择量程。若未知电流的大小，应先用最高电流挡（500mA 挡）测量，然后逐渐换用低电流挡，直至找到合适电流挡（方法与测电压相同）。

②正确使用标度和读数。万用表测直流电流时选择表盘标度线与测量电压时相同，都是第二条。读数方法与电压的测量相同。

2) 万用表测电流时的注意事项：

- ①测电流时，转换开关的位置一定要置电流挡处。
- ②万用表必须是串联在被测电路中。
- ③测量中不能将手碰到表笔的金属部分，以免触电。

2.2.4.2 数字式万用表

数字式万用表是指测量结果主要以数字的方式显示的万用表。如图 2-17 所示为 DT-830 型数字万用表的面板。数字式万用表与指针式万用表相比，具有以下特点：

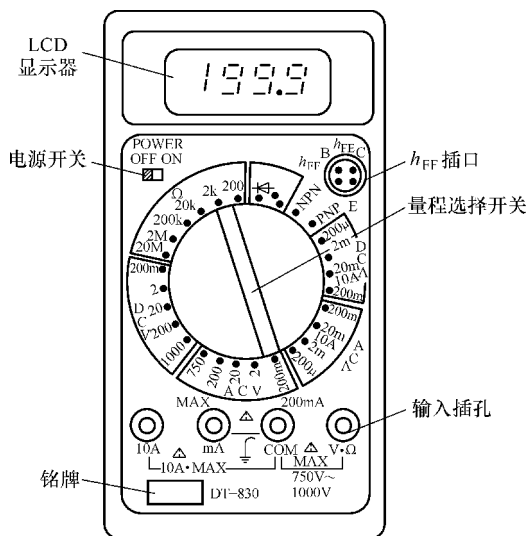


图 2-17 DT-830 型数字万用表的面板



- 1) 采用大规模集成电路,提高了测量精度,减少了测量误差。
- 2) 以数字方式在屏幕上显示测量值,使读数变得更为直观、准确。
- 3) 增设了快速熔断器和过电压、过电流保护装置,使过载能力进一步加强。
- 4) 具有防磁抗干扰能力、测试数据稳定,可使万用表在强磁场中也能正常工作。
- 5) 具有自动调零、极性显示、超量程显示及低压指示功能。有的数字式万用表还增加了语音自动报测数据装置。

1. 使用方法

使用前应熟悉数字式万用表的面板结构和使用功能,并将电源开关置于“ON”位置。具体使用方法如下:

(1) 交直流电压的测量 根据被测电压的种类和大小,将量程转换开关拨至“DCV”(直流电压)或“ACV”(交流电压)的合适量程;将红表笔插入“V/ Ω ”插孔,黑表笔插入“COM”插孔;并将红黑表笔与被测电路部分并联,即可在显示屏幕上直接读取被测电压的数值。测量直流电压时,可以自动显示电压的极性。

(2) 交直流电流的测量 根据被测电流的种类和大小,将量程转换开关拨至“DCA”(直流电流)或“ACA”(交流电流)的合适量程;将红表笔插入“mA”插孔或“10A”插孔(被测电流 $>200\text{mA}$ 时选用),黑表笔插入“COM”插孔;并将红黑表笔与被测电路部分串联,即可在显示屏幕上直接读取被测电流的数值。测量直流电流时,同样可以自动显示电流的极性。

(3) 电阻的测量 将量程转换开关拨至合适的“ Ω ”量程位置;将红表笔插入“V/ Ω ”插孔,黑表笔插入“COM”插孔后进行测量。如果被测电阻的阻值超出所选量程的最大值,则数字式万用表显示屏的最高位将显示“1”,此时应该选择更高的量程再进行测量。

注意:数字式万用表的红表笔与表中电池的正极相连接,黑表笔与表中电池的负极相连接,这与指针式万用表正好相反。因此,测量晶体管和电解电容器等有极性的元器件时,必须注意数字式万用表与指针式万用表的区别。

2. 使用注意事项

1) 根据被测电压或电流的大小,选择合适的量程。若未知被测量的大小,应先用最高量程测量,再视情况逐渐把量程减小到合适的位置。测量结束后,应将量程开关置于最高电压挡并关闭电源开关。

2) 满量程或超量程测量时,万用表仅在最高位显示“1”,其他位不显示,此时应该选择更高的量程测量。

3) 测量电压时,应将数字式万用表与被测电路并联;测量电流时,应将数字式万用表与被测电路串联。测量直流电压或电流时,不必考虑万用表的正负极性。

4) 若误用交流量程测直流电或者是用交流量程测直流电时,显示屏将显示接近为“0”的跳跃数字。

5) 禁止在测量高电压(200V以上)或大电流时转换量程。否则将产生电弧,烧毁电路板上的开关触点。

6) 当显示屏上出现带“+”、“-”极性电池的图标,或出现“BATT”、“LOW BAT”等显示符号或文字时,表示电池电压已低于工作电压,应及时更换表内的电池。



2.2.5 钳形电流表

用前面介绍的仪表测量电流时，仪表必须与被测电路串联。在实际操作时，如果断开被测电路，显然很不方便。而钳形电流表就是一种无需断开被测电路就可直接测电路电流的便携式仪表，在电气检修中使用非常方便，应用相当广泛。

2.2.5.1 钳形电流表的基本结构和工作原理

钳形电流表简称钳形表。其工作部分主要由一只整流式电流表和穿心式电流互感器组成（或电磁式电流表）。穿心式电流互感器铁心制成活动开口，且成钳形，故名钳形电流表，如图 2-18 所示。穿心式电流互感器的二次绕组缠绕在铁心上且与交流电流表相连，它的一次绕组即为穿过互感器中心的被测导线。旋钮实际上是一个量程选择开关，扳手的作用是开合穿心式互感器铁心的可动部分，以便使被测导线钳入其中。

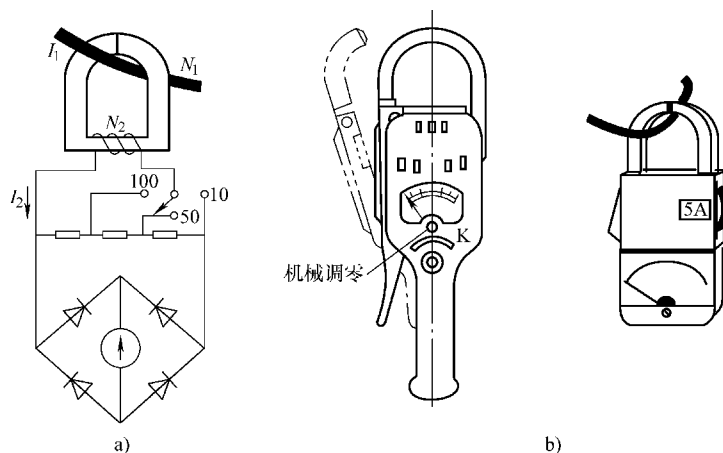


图 2-18 钳形电流表

a) 电路 b) 外形

测量电流时，按动扳手，打开钳口，将被测载流导线置于穿心式电流互感器的中间，当被测导线中有交变电流通过时，交流电流的磁通在互感器二次绕组中感应出电流，该电流通过整流式电流表的线圈，使指针发生偏转，在表盘标度尺上显示出被测电流值。

2.2.5.2 钳形表的正确使用

- 1) 测量前，应检查电流表指针是否指向零位，否则，应进行机械调零。
- 2) 测量前，还应检查钳口的开合情况，要求钳口可动部分开合自如，两边钳口结合面接触紧密。如钳口上有油污和杂物，应用溶剂洗净；如有锈斑，应轻轻擦去。测量时务必使钳口接合紧密，以减少漏磁通，提高测量精确度。
- 3) 测量时，量程选择旋钮应置于适当位置，以便在测量时使指针超过中间刻度，以减少测量误差。如未知被测电路电流的大小，可先将量程选择旋钮置于高档，然后再根据指针偏转情况将量程旋钮调整到合适位置。
- 4) 当被测电路电流太小，即使在最低量程挡指针偏转角也不大时，为提高测量精确度，可将被测载流导线在钳口部分的铁心柱上缠绕几圈后进行测量，将指针指示数除以穿入钳口内导线根数即得实测电流值。



5) 测量时, 应使被测导线置于钳口内中心位置, 以利于减小测量误差。

6) 钳形表不用时, 应将量程选择旋钮旋至最高量程挡, 以免下次使用时, 不慎损坏仪表。

2.2.6 绝缘电阻表

绝缘电阻表又叫摇表、迈格表、高阻计、绝缘电阻测定仪等。它是一种测量电气设备及电气线路绝缘电阻的仪表, 其外形及内部电路如图 2-19 所示。

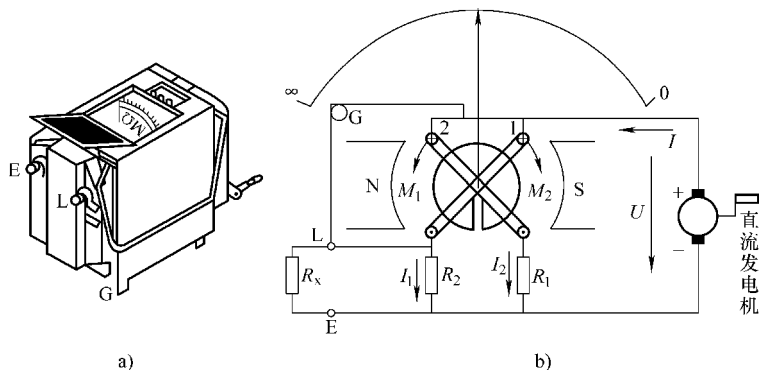


图 2-19 绝缘电阻表的外形及内部电路

a) 外形 b) 内部电路

绝缘电阻表主要由三部分组成: 手摇直流发电机 (或交流发电机加整流器)、磁电式流比计及接线桩 (L、E、G)。

2.2.6.1 绝缘电阻表的选用

绝缘电阻表常用的规格有 250V、500V、1000V、2500V 和 5000V 等电压等级。选用绝缘电阻表主要应考虑它的输出电压及其测量范围。一般高压电气设备和电路的检测需要使用电压等级高的绝缘电阻表, 而低压电气设备和电路的检测应选用电压等级低的绝缘电阻表。通常 500V 以下的电气设备和线路选用 500 ~ 1000V 的绝缘电阻表, 而瓷绝缘子、母线、刀开关等应选 2500V 以上的绝缘电阻表。

2.2.6.2 绝缘电阻表的使用方法

1. 测量前的检查

1) 检查绝缘电阻表是否能正常工作。将绝缘电阻表水平放置, 空摇绝缘电阻表手柄 (摇动速度为 120r/min), 待指针指示稳定后, 指针应该指到 “ ∞ ” 处; 再慢慢摇动手柄, 使 L 和 E 两接线桩输出线瞬间短接, 指针应迅速指零 (注意在摇动手柄时不得让 L 和 E 短接时间过长, 否则将损坏绝缘电阻表)。如果该绝缘电阻表指针不能指到该指示的位置, 表明该绝缘电阻表有故障。

2) 检查被测电气设备和电路, 看是否已全部切断电源。严禁设备和线路带电时使用绝缘电阻表测量。

3) 测量前, 应对设备和线路先行放电, 以免设备或线路的电容放电危及人身安全和损坏绝缘电阻表。

2. 正确使用

1) 绝缘电阻表必须水平放置于平稳牢固的地方,以免在摇动时因抖动和倾斜产生测量误差。

2) 接线必须正确无误,绝缘电阻表有“E”(接地)、“L”(线路)和“G”(保护环或叫屏蔽端子)三个接线桩。保护环的作用是消除表面漏电电流,即清除“L”与“E”接线桩间的漏电和被测绝缘物表面漏电的影响。在测量电气设备对地绝缘电阻时,“L”用单根导线接在被测物体与大地绝缘的导体部位;“E”用单根导线接在设备的外壳或大地;如测电气设备内两绕组之间的绝缘电阻时,将“L”和“E”分别与两绕组相接;当测量电缆的绝缘电阻时,为消除因表面漏电电流产生的误差,应使“L”接线芯,“E”接外壳,“G”接线芯与外壳之间的屏蔽层上或不需要测量的部分。

“L”、“E”、“G”与被测物体的连接线必须用单根线,绝缘良好,不得绞合,表面不得与被测物体接触。

3) 摇动手柄的转速要均匀,一般规定为 $120\text{r}/\text{min}$ 。通常需要摇动一分钟后,待指针稳定下来再读数。如被测电路中有电容时,先连续摇动一段时间,让绝缘电阻表对电容充电,指针稳定后再读数,测完后先拆去接线,再停止摇动。若测量中发现指针指零,应立即停止摇动手柄。

4) 测量完毕,应对设备充分放电,以免引起触电事故。

5) 禁止在雷电时或附近有高压导体的设备上测量绝缘电阻。只有在设备不带电又不可能受其他电源感应而带电的情况下才可测量。

6) 绝缘电阻表未停止转动以前,切勿用手去触及设备的测量部分或绝缘电阻表接线桩。拆线时也不可直接去触及引线的裸露部分。

7) 绝缘电阻表应定期校验。校验方法是直接测量有确定值的标准电阻,检查其测量误差是否在允许范围以内。

2.2.7 接地电阻测量仪

接地电阻测量仪又称为接地电阻摇表,主要用于直接测量各种接地装置的接地电阻和土壤电阻率。它的形式较多,使用方法也不尽相同,但基本原理是一样的。常用的国产接地电阻测量仪有ZC-8型、ZC-29型等。

ZC-8型接地电阻测量仪由高灵敏度检流计、手摇发电机、电流互感器和调节电位器等组成。当手摇发电机以 $120\text{r}/\text{min}$ 转动时,便产生 $90\sim 98\text{Hz}$ 交流电流。电流经电流互感器一次绕组、接地极、大地和探测针后回到发电机。电流互感器产生二次电流使检流计指针偏转,调节电位调节器,使检流计达到平衡。该表量程有 $0\sim 10\sim 100\Omega$ 和 $0\sim 10\sim 100\sim 1000\Omega$ 两种。

ZC-29型等接地电阻测量仪,主要用于测量电气接地装置和避雷接地装置的接地电阻。该表由手摇发电机、检流计、电流互感器和滑线电阻等组成。该表测量范围为 $0\sim 10\Omega$ 时,最小分度是 0.1Ω ;测量范围为 $0\sim 100\Omega$ 时,最小分度是 1Ω ;测量范围为 $0\sim 1000\Omega$ 时,最小分度是 10Ω 。当测量范围为 $0\sim 100\Omega$ 时,辅助接地棒的接地电阻不大于 2000Ω ;当测量范围为 $0\sim 1000\Omega$ 时,接地电阻不大于 5000Ω ,对测量均无影响。

测量时,先将电位探测针P、电流探测针C插入地中,使接地极E与P、C成一直线,



并相距 20m, P 位于 E 与 C 之间。再用专用测量导线将 E、P、C 与表上相应接线柱分别连接, 如图 2-20 所示。测量前应将被测接地引线与设备断开。

摇测时, 先将表放于水平位置, 检查检流计的指针是否在中心线上, 否则应用零位调整器把指针调到中心线上。然后, 将表“倍率标度”置于最大倍数, 缓慢摇动发电机手把, 同时旋动“测量标度盘”, 使指针在中心线上。用“测量标度盘”的读数乘以“倍率标度”倍数, 得数为所测的电阻值。

2.2.8 手持式转速表

转速表是电梯安装和日常维修保养工作中必不可少的测量仪表。常用转速表的型号有数字转速表 HT-331 型和 HT-441 型, 机械转速表 ZS-840 型, 如图 2-21 所示。

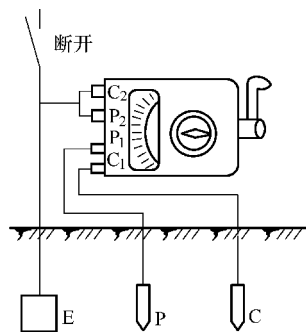


图 2-20 接地电阻测量

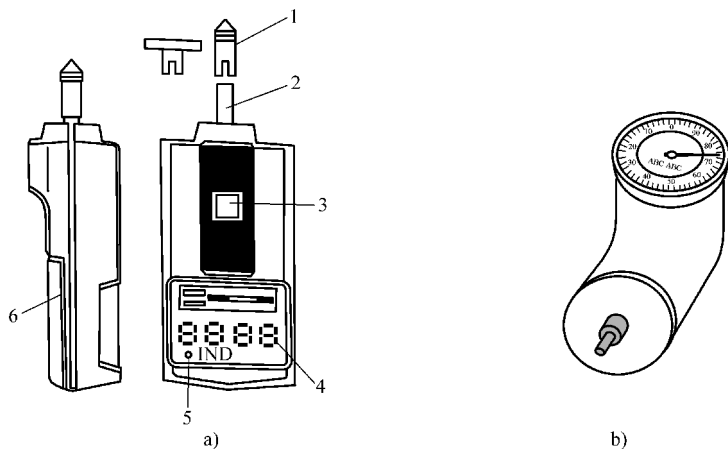


图 2-21 转速表

a) 数字转速表 b) 机械转速表

1—测试头 2—传感器 3—开关 4—显示器 5—低电压指示灯 6—测试环

HT-331 型转速表可以放在手上使用, 按下开关即可测量转速, 以数字显示。ZS-840 型转速表以指针指示转速, 测量时, 把测试头压紧到旋转轴中心孔, 即可测出正确转速, 测速表测量周期为 1s, 可连续测定。

2.2.8.1 各部名称及作用

- (1) 电源开关 如图 2-21 所示, 按下开关 3, 即可进行测量。
- (2) 传感器 它是检测旋转信号的传感器轴, 在轴端安装测试头, 将测试头压在旋转轴端的中心孔内。
- (3) 转速显示器 测量结果以转速 (r/min) 直接显示出来。
- (4) 最低电压指示灯 该指示灯亮时说明电池应更新。

2.2.8.2 测定方法

首先在传感器轴上装上测试头, 然后按下电源开关, 将测试头压在被测旋转轴的中心孔内 (注意安全千万不要打滑), 并保持测试头与轴同心, 测试 1s 后即可显示出转速来。



将测试头换成圆周速度测试环即可直接读出圆周速度：KS-100 型是 $0 \sim 9999 \text{ mm/s}$ ；KS-200 型是 $0 \sim 9999 \text{ m/min}$ 。

如果电池使用时间太久，电压下降，显示数据就会暗淡，这时需要换新电池（此时 BATLOW 指示灯亮）。

换电池时，打开电池盖，将新的 5 号干电池 4 节按规定的极性装好，关上电池盒盖即可，电池的极性不可接错。

测试头磨损，将引起测量误差，需要换新测试头。换新测试头时，将测试头的槽对准测定轴上的定位销进行插入。

转速表的保存温度为 $20 \sim 60^\circ\text{C}$ ，用后应放在阴凉干燥通风良好的地方。长期不用时，必须将电池取出。

对于机械转速表，测量时应选择适当挡位，且测试头直接与被测件的轴孔对接。

2.2.9 电能表

电能表是计量电能的仪表，测量某一时间内消耗的电能，它是累计表。一般地，用电动式直流电能表测量直流电能，用感应式交流电能表测量交流电能。交流电能表分为单相电能表和三相电能表（见图 2-22）。

单相电能表主要由驱动部件、转动部分、制动部分、计算机构等组成。其中驱动部件由电压元件和电流元件组成，转动部分的铝制圆盘安装在驱动部件和制动部件的磁铁的间隙中。

它的工作原理是：如图 2-23 所示，当电能表接入被测电路后，被测电路电压 U 加在电压线圈上，被测电路电流 I 加在电流线圈上，产生两个交变磁通穿过铝盘，分别在铝盘上产生涡流。由于磁通与涡流的相互作用将产生转动力矩，铝盘旋转，带动计数齿轮计数。负载越大，电流 I 越大，磁通越大，转动力矩越大，转动越快，相同的时间内计数越多，计出了实际消耗的电能。制动磁铁的磁通也穿过铝盘，铝盘转动时，切割此磁通，铝盘上产生感应电流，此电流与制动磁铁的磁通相互作用产生与原转动方向相反的制动力矩，使铝盘的转速达到均匀。制动磁铁还可以校对表的计量精度。

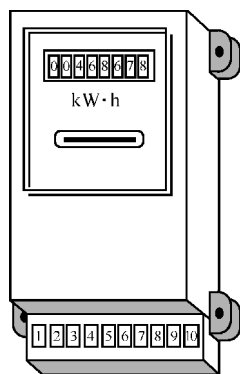


图 2-22 三相电能表

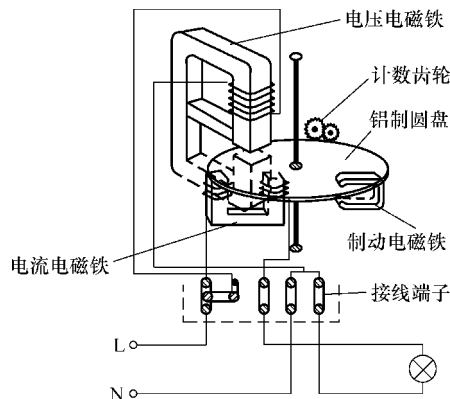


图 2-23 单相电能表原理图

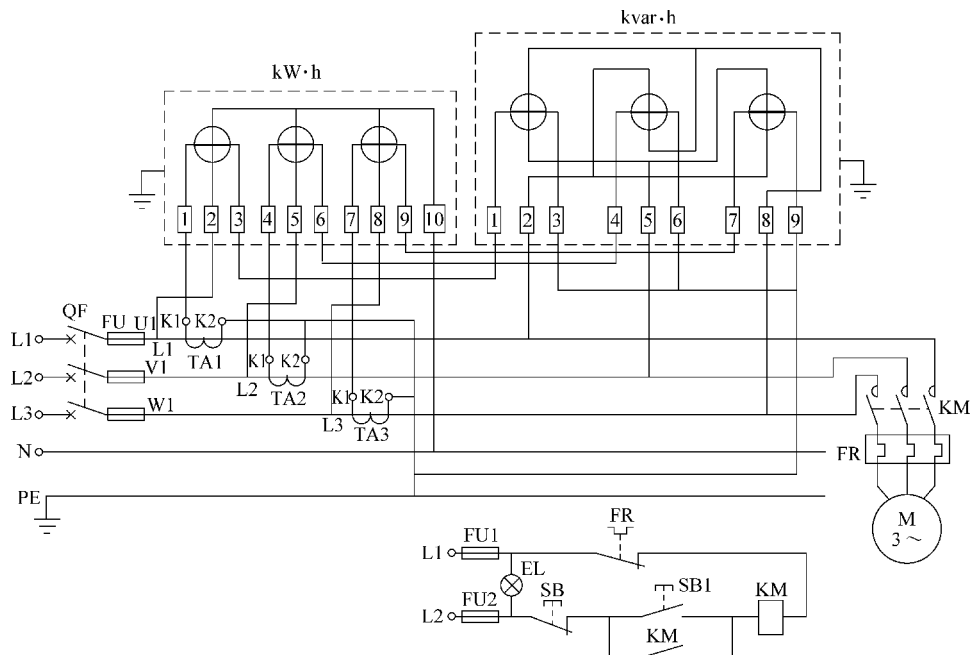
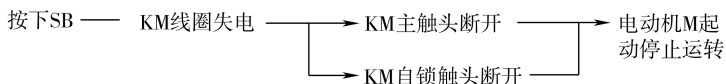
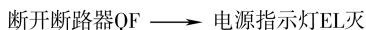


图 2-24 电动机控制与功率测量电路原理图

3) 电动机 M 停止运行:



4) 电路断电:



4. 实训步骤

1) 电器元器件的选择和检查。

2) 电路的连接 (见图 2-25)。先接主电路穿过电流互感器 (圈数要符合要求), 接 KM 主电路和 FR 主电路到电动机; 然后接两表, 别忘记两表的外壳和电流互感器的二次侧要接地。

3) 控制电路的检查 (断电)。首先检查电流互感器一次侧导线所穿的方向, 保证上进出方向一致。所穿匝数根据互感器铭牌指示。电流二次侧 K1 和 K2 不能开路, 所以接有功电能表和无功电能表的电流线圈 (电流线圈电阻很小) 并经过保护零线形成回路。将万用表置于欧姆挡, 在接好线的情况下三个互感器的 K1 至 K2 之间的电阻应该很小 (比不串有功电能表和无功电能表的电流线圈时的电阻还要小), 否则应该检查从 K1 到 K2 之间的回路是否有开路。

① 拧松一只熔断器 FU, 用万用表表笔放至熔断器后端, 此时读数应为无穷大。

② 分别按下 SB1、KM, 读取 KM 线圈的电阻值。

③ 再同时按下 SB1 和 SB, 若电阻值为无穷大, 则控制电路正确。

4) 主电路的检查 (断电)。主电路的检查 (先断开计量回路): 表笔放在 QF 下端, 按下 KM, 读数为电动机两绕组的串联电阻值: 测量三次 R_{UV} 、 R_{UW} 、 R_{VW} , 阻值都为两绕组的串联电阻值, 则电路接线正确。

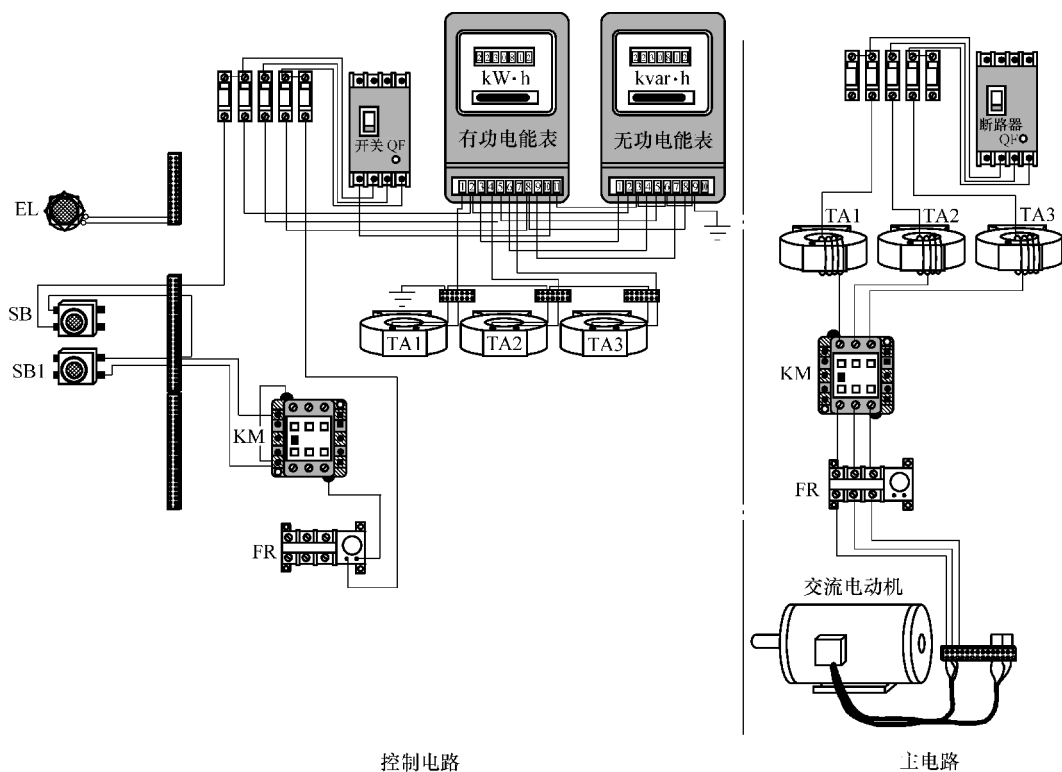


图 2-25 电动机控制与功率测量电路接线示意图

5) 通电试车。经上述检查正确后,可在老师的监护下通电试车。具体步骤如下:

- ①合上 QF。
- ②按下 SB1, 则 KM 吸合, 电动机起动, 有功及无功电能表正转。
- ③按下 SB, 电动机停止, 有功及无功电能表停转。
- ④断开 QF。

5. 操作技能比例要求

技术要求如下: (训练时间 120min)

(1) 元器件选择和检查 (10%)

一定要按图选择及检查元器件, 如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 接线工艺 (15%)

此项得分以三个等级评定: A 级为 15%, B 级为 10%, C 级为 5%。

(3) 电能表的接线 (10%)

通电试车成功后, 指示正确得 10%, 错接或通电试车不成功此项失误。

(4) 通电试车 (40%)

在规定的实训时间内给予两次通电机机会, 得到教师许可后:

- 1) 第一次通电成功得 40%。
- 2) 第二次通电成功得 20%。
- 3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(5) 电气测量 (25%)

按表 2-10 要求测量数据，并填入表格中。

表 2-10 测量数据

序 号	测 量 内 容		测 量 结 果
1	测量有功电能表的电压线圈电阻 (4%)		
2	测量无功电能表的 2、5 或 5、8 之间的电阻 (4%)		
3	电动机绝缘电阻 (5%)	绕组对地	
4	电动机电流 (试车成功后测量有效) (9%)	线电流	
		相电流	
		零序电流	
5	电流互感器实际匝数 (3%)		

6. 故障分析和排除

不能正常工作，如果判断是控制电路故障，如何查找故障这里不再详述。如果电动机启动后电能表表盘不转动，应该先检查电流互感器的 K1 和 K2 端子之间所串联的两表电流线圈是否形成回路；再检查主电路所串的方向是否正确和一致。另外，如果电动机功率过小即使接线正确可能转动也很缓慢，要仔细观察。

模块 3 常用低压电器

3.1 开关与断路器

低压开关主要作隔离、转换、接通和分断电路用。常用的主要类型有刀开关和低压断路器等。

3.1.1 刀开关

刀开关的种类很多，在电力拖动控制电路中最常用的是由刀开关和熔断器组合而成的负荷开关。负荷开关分为开启式负荷开关和封闭式负荷开关两种。

1. 开启式负荷开关

开启式负荷开关俗称瓷底胶盖刀开关，常用的是 HK 系列产品。它适用于照明、电热设备及小功率电动机控制电路中，供手动不频繁地接通和分断电路，并起短路保护，如图 3-1 所示。

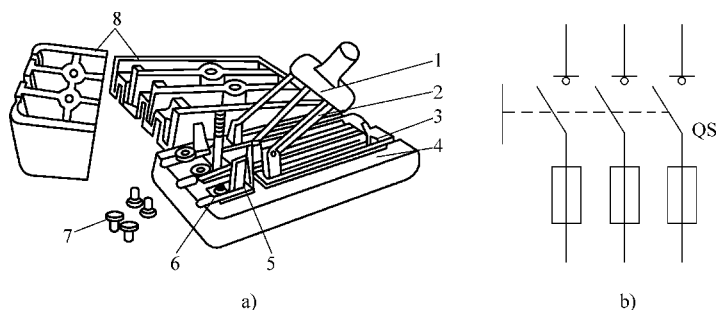


图 3-1 HK 系列开启式负荷开关

a) 结构 b) 符号

1—瓷质手柄 2—动触头 3—熔断器与出线座 4—瓷底座
5—静触头 6—进线座 7—紧固螺钉 8—胶盖

开启式负荷开关的结构简单，价格便宜，在一般的照明电路和功率小于 5.5kW 的电动机控制电路中被广泛采用。但这种开关没有专门的灭弧装置，其刀式动触头和静触头易被电弧灼伤而引起接触不良，因此不宜用于操作频繁的电路。具体选用方法如下：

用于照明和电热设备时，选用额定电压 220V 或 250V，额定电流不小于电路所有负载额定电流之和的两极开关。

用于控制电动机的直接起动和停止时，选用额定电压 380V 或 500V，额定电流不小于电动机额定电流 3 倍的三极开关。

安装与使用注意事项如下：

1) 开启式负荷开关应垂直安装在控制屏或开关板上,且合闸状态时手柄应朝向上方。不允许倒装或平装,以防发生误合闸事故。

2) 开启式负荷开关控制照明和电热负载使用时,要装接熔断器作短路和过载保护。接线时应把电源进线接在静触头一边的进线座,负载接在动触头一边的出线座,这样在开关断开后,动触头和熔体上都不会带电。

3) 更换熔体时,必须在刀开关断开的情况下按原规格更换。

4) 在分闸和合闸操作时,应动作迅速,使电弧尽快熄灭。

2. 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关是在开启式负荷开关的基础上改进设计的一种开关。其灭弧性能、操作性能、通断能力和安全防护性能都优于开启式负荷开关。因其外壳多为薄钢板冲压而成,故俗称铁壳开关。常用的是 HH 系列产品。可用于手动不频繁地接通和分断带负载的电路以及作为线路末端的短路保护,也可用于控制 15kW 以下的交流电动机不频繁地直接起动和停止。

具体选用方法如下:

封闭式负荷开关的额定电压不小于线路工作电压。

封闭式负荷开关用于控制照明和电热负载时,开关的额定电流应不小于电路所有负载额定电流之和;用于控制电动机时,额定电流应不小于电动机额定电流的 3 倍。

安装与使用注意事项如下:

1) 封闭式负荷开关必须垂直安装,安装高度一般离地不低于 1.3 ~ 1.5m,并以操作方便和安全为原则。

2) 开关外壳的接地螺钉必须可靠接地。

3) 接线时,应将电源进线接在静触头一侧的接线端子上,负载引线接在熔断器一侧的接线端子上,且进出线都必须穿过开关的进出线孔。

4) 分合闸操作时,要站在开关的手柄侧,不准面对开关,以免因意外故障电流使开关爆炸伤人。

3.1.2 低压断路器

低压断路器是低压电网和电力拖动控制系统中常用的一种配电电器。它集控制和多功能保护功能于一体。在正常情况下可用于不频繁地接通和分断电路以及控制电动机的运行。当电路发生短路、过载和失电压等故障时,能自动切断故障电路,保护电路和电气设备,如图 3-2 所示。

1. 结构及工作原理

断路器的工作原理示意图如图 3-3 所示。

断路器主要由动触头、静触头、灭弧装置、操作机构、热脱扣器、电磁脱扣器及外壳等部分组成。其结构采用立体布置,操作机构在中间,上面是由加热元件和双金属片等构成的热脱扣器,作过载保护,配有电流调节装置,调节整定电流。下面是由线圈铁芯等组成的电磁脱扣器,作短路保护,它也有一个电流调节装置,调节瞬时脱扣整定电流。主触头在操作机构后面,由动触头和静触头组成,配有栅片灭弧装置,用以接通和分断主电路的大电流。另外,还有常开和常闭辅助触头各一对。主、辅触头的接线柱均伸出壳外,以便于接线。在

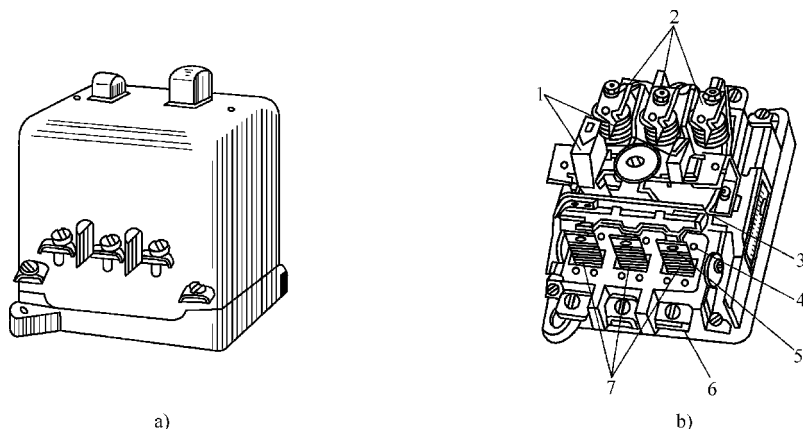


图 3-2 DZ5-20 型低压断路器

a) 外形 b) 结构

1—按钮 2—电磁脱扣器 3—自动脱扣器 4—动触头
5—静触头 6—接线柱 7—热脱扣器

外壳顶部还伸出接通（绿色）和分断（红色）按钮，通过储能弹簧和杠杆机构实现断路器的手动接通和分断操作。

在使用时，断路器的三对主触头串联在被控制的三相电路中，按下接通按钮时，外力使锁扣克服反作用弹簧的反力，将固定在锁扣上面的动触头与静触头闭合，并由锁扣锁住搭钩使动、静触头保持闭合，开关处于接通状态。

当电路发生过载时，过载电流流过热元件产生一定的热量，使双金属片受热向上弯曲，通过杠杆推动搭钩与锁扣脱开，在反作用弹簧的推动下，动、静触头分开，从而切断电路，使用电设备不致因过载而烧毁。

当电路发生短路故障时，短路电流超过电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流，电磁脱扣器产生足够大的吸力将衔铁吸合，通过杠杆推动搭钩与锁扣分开，从而切断电路，实现短路保护。低压断路器出厂时，电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流一般整定为 $10I_N$ （ I_N 为断路器的额定电流）。

欠电压脱扣器的动作过程与电磁脱扣器恰好相反。当电路电压正常时，欠电压脱扣器的衔铁被吸合，衔铁与杠杆脱离，断路器的主触头能够闭合；当电路上的电压消失或下降到某一数值时，欠电压脱扣器的吸力消失或减小到不足以克服拉力弹簧的拉力时，衔铁在拉力弹簧的作用下撞击杠杆，将搭钩顶开，使触头分断。由此也可看出，具有欠电压脱扣器的断路器在欠电压脱扣器两端无电压或电压过低时，不能接通电路。

需手动分断电路时，按下分断按钮即可。

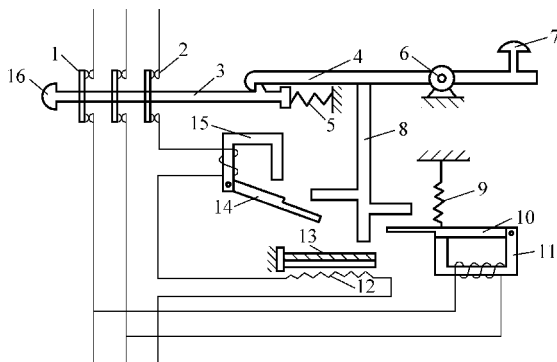


图 3-3 低压断路器的工作原理示意图

1—动触头 2—静触头 3—锁扣 4—搭钩
5—反作用弹簧 6—转轴座 7—分断按钮 8—杠杆
9—拉力弹簧 10—欠电压磁脱扣器衔铁 11—欠电压磁脱扣器
12—热元件 13—双金属片 14—电磁脱扣器衔铁
15—电磁脱扣器 16—接通按钮

低压断路器在电路图中的符号如图 3-4 所示。

2. 一般选用原则

低压断路器的一般选用原则有以下几点：

1) 低压断路器的额定电压和额定电流应不小于电路的正常工作电压和负载电流。

2) 热脱扣器的整定电流应等于所控制负载的额定电流。

3) 电磁脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载正常工作时可能出现的峰值电流。用于控制电动机的断路器，其瞬时脱扣整定电流可按下式选取：

$$I_Z \geq KI_{st} \quad (3-1)$$

式中 K ——安全系数，可取 1.5 ~ 1.7；

I_{st} ——电动机的起动电流。

4) 欠电压脱扣器的额定电压应等于电路的额定电压。

5) 断路器的极限通断能力应不小于电路最大短路电流。

3. 低压断路器的安装与使用

1) 低压断路器应垂直于配电板安装，电源引线应接到上端，负载引线接到下端。

2) 低压断路器用作电源总开关或电动机的控制开关时，在电源进线侧必须加装刀开关或熔断器等，以形成明显的断开点。

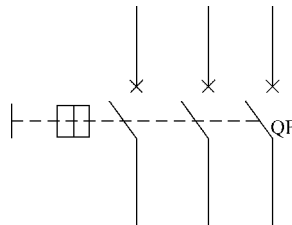


图 3-4 低压断路器的符号

3.2 熔断器

熔断器是低压电网和电力拖动控制系统中主要用作短路保护的一种电器。使用时熔断器应串联在被保护的电路中，当电路发生短路故障时，通过熔断器的电流达到或超过某一规定值时，其自身产生的热量使熔体熔断，从而自动分断电路，起到保护作用。它具有结构简单，价格便宜、动作可靠、使用维护方便等优点，因此得到广泛应用。

1. 熔断器的结构

熔断器主要由熔体、安装熔体的熔管和熔座三部分组成。

熔体是熔断器的主要组成部分，常做成丝状、片状或栅状。熔体的材料通常有两种，一种是由铅、铅锡合金或锌等低熔点材料制成，多用于小电流电路；另一种是由银、铜等较高熔点的金属制成，多用于大电流电路。

熔管是熔体的保护外壳，用耐热绝缘材料制成，在熔体熔断时兼有灭弧作用。

熔座是熔断器的底座，作用是固定熔管和外接引线。

2. 熔断器的主要技术参数

(1) 额定电压 熔断器的额定电压是指能保证熔断器长期正常工作的电压。若熔断器的实际工作电压大于其额定电压，熔体熔断时可能会发生电弧不能熄灭的危险。

(2) 额定电流 熔断器的额定电流是指保证熔断器能长期正常工作的电流，是由熔断器各部分长期工作时的允许温升决定的。它与熔体的额定电流是两个不同的概念。熔体的额定电流是指在规定的工作条件下，长时间通过熔体而熔体不熔断的最大电流值。通常，一个额定电流等级的熔断器可以配用若干个额定电流等级的熔体，但熔体的额定电流不能大于熔断器的额定电流值。



(3) 分断能力 在规定的使用和性能条件下,熔断器在规定电压下能按预期分断的电流值。常用极限分断电流值来表示。

(4) 时间—电流特性 在规定工作条件下,表征流过熔体的电流与熔体熔断时间关系的函数曲线,也称为保护特性或熔断特性。

3. 常用的低压熔断器

熔断器按结构形式分为半封闭插入式、无填料封闭管式、有填料封闭管式和自复式四类。

(1) RC1A 系列插入式熔断器(瓷插式熔断器) 如图 3-5 所示。

1) 结构。RC1A 系列插入式熔断器是在 RC1 系列的基础上改进设计的,可取代 RC1 系列老产品,属于半封闭插入式,它由瓷座、瓷盖、动触头、静触头及熔丝五部分组成。

2) 用途。RC1A 系列插入式熔断器结构简单,更换方便,价格低廉,一般在交流 50Hz、额定电压 380V 及以下、额定电流 200A 及以下的低压线路末端或分支电路中,作为电气设备的短路保护及一定程度的过载保护。

(2) RL1 系列螺旋式熔断器

1) 结构。RL1 系列螺旋式熔断器属于有填料封闭管式,其外形和结构如图 3-6 所示。

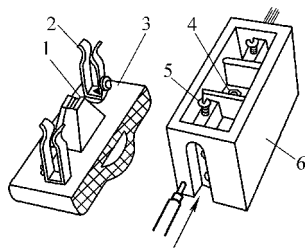


图 3-5 RC1A 系列插入式熔断器

1—熔丝 2—动触头 3—瓷盖
4—空腔 5—静触头 6—瓷座

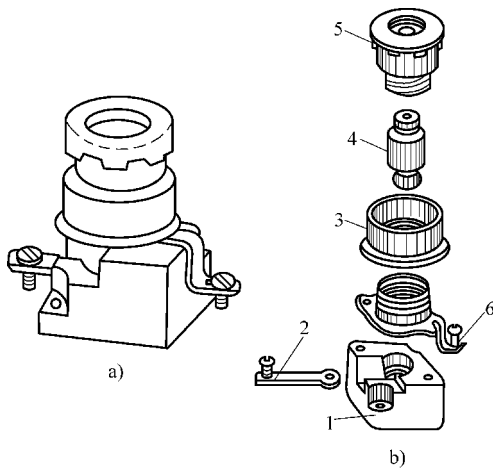


图 3-6 RL1 系列螺旋式熔断器

a) 外形 b) 结构

1—瓷座 2—下接线座 3—瓷套
4—熔管 5—瓷帽 6—上接线座

它主要由瓷帽、熔管、瓷套、上接线座、下接线座及瓷座等部分组成。

该系列熔断器的熔管内,在熔丝的周围填充着硅砂以增强灭弧性能。熔丝焊接在瓷管两端的金属盖上,其中一端有一个标有不同颜色的熔断指示器,当熔丝熔断时,熔断指示器自动脱落,此时只需更换同规格的熔管即可。

2) 用途。RL1 系列螺旋式熔断器的分断能力较高,结构紧凑,体积小,安装面积小,更换熔体方便,工作安全可靠,并且熔丝熔断后有明显指示,因此广泛应用于控制箱、配电屏、机床设备及较大的场合,在交流额定电压 500V、额定电流 200A 及以下的电路中,作为短路保护器件。



4. 电路符号

熔断器的电路符号如图 3-7 所示。

5. 选用原则

熔断器和熔体只有经过正确的选择，才能起到应有的保护作用。

(1) 熔断器类型的选择 根据使用环境和负载性质选择适当类型的熔断器。例如，用于容量较小的照明电路，可选用 RC1A 系列插入式熔断器；在开关柜或配电屏中可选用 RM10 系列无填料封闭管式熔断器；对于短路电流相当大或有易燃气体的地方，应选用 RT0 系列有填料封闭管式熔断器；在机床控制电路中，多选用 RL1 系列螺旋式熔断器；用于半导体功率器件及晶闸管保护时，则应选用 RLS 或 RS 系列快速熔断器等。

(2) 熔体额定电流的选择

1) 对照明、电热等电流较平稳、无冲击电流的负载短路保护，熔体的额定电流应等于或稍大于负载的额定电流。

2) 对一台不经常启动且启动时间不长的电动机的短路保护，熔体的额定电流 I_{RN} 应大于或等于 1.5 ~ 2.5 倍电动机额定电流 I_N ，即

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_N \quad (3-2)$$

对于频繁启动或启动时间较长的电动机，该系数应增加到 3 ~ 3.5。

3) 对多台电动机的短路保护，熔体的额定电流应大于或等于其中最大功率电动机的额定电流 I_{Nmax} 的 1.5 ~ 2.5 倍，再加上其余电动机额定电流的总和 $\sum I_N$ ，即

$$I_{RN} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{Nmax} + \sum I_N \quad (3-3)$$

在电动机功率较大而实际负载较小时，熔体额定电流可适当小些，小到电动机启动时熔体不熔断为准。

(3) 熔断器额定电压和额定电流的选择 熔断器的额定电压必须大于或等于线路的额定电压；熔断器的额定电流必须大于或等于所装熔体的额定电流。

(4) 熔断器的分断能力的选择 其分断能力应大于电路中可能出现的最大短路电流。

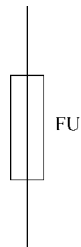


图 3-7 熔断器的电路符号

3.3 主令电器

主令电器是用作接通和断开控制电路，以发出指令或作程序控制的开关电器。常用的主令电器有按钮、位置开关等。

3.3.1 按钮

按钮是一种通过人体某一部分（一般为手指或手掌）所施加的力而操作的开关电器，并具有储能（弹簧）复位的一种控制开关。按钮的触头允许通过的电流较小，一般不超过 5A，因此一般情况下它不直接控制主电路的通断，而是在控制电路中发出指令或信号去控制接触器、继电器等电器，再由它们去控制主电路的通断、功能转换或电气联锁。部分按钮的外形如图 3-8 所示。

1. 按钮的结构及符号

按钮一般由按钮帽、复位弹簧、桥式动触头、静触头、支柱连杆及外壳等部分组成，如

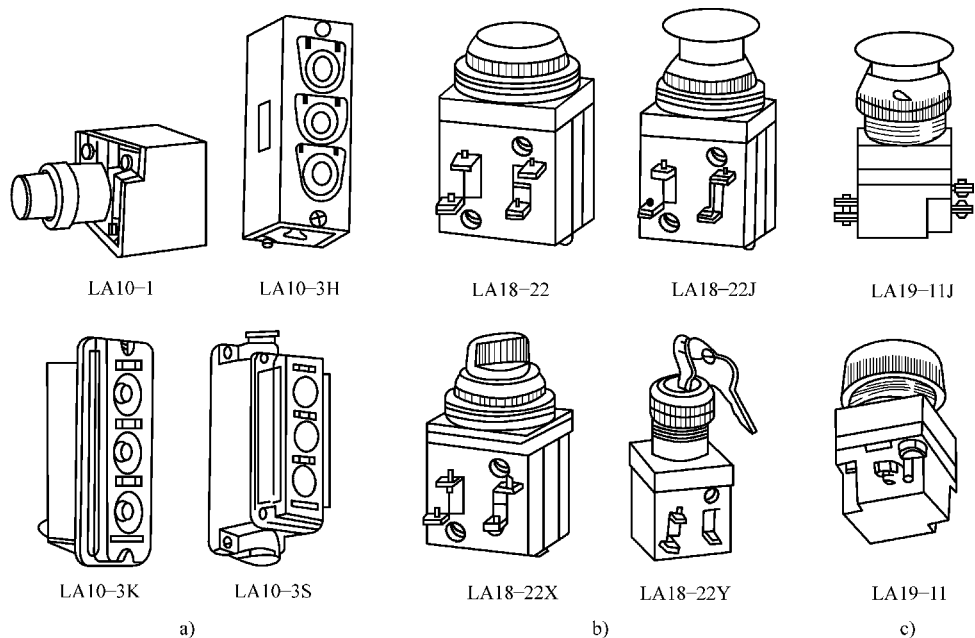


图 3-8 部分按钮的外形

a) LA10 系列 b) LA18 系列 c) LA19 系列

图 3-9 所示。

按钮按静态（不受外力作用）时触头的分合状态，可分为常开按钮（起动按钮）、常闭按钮（停止按钮）和复合按钮（常开、常闭组合为一体的按钮）。

常开按钮：未按下时触头是断开的；按下时触头闭合；松开后按钮自动复位。

常闭按钮：与常开按钮相反，未按下时触头是闭合的；按下时触头断开；松开后按钮自动复位。

复合按钮：将常开和常闭按钮组合为一体。按下复合按钮时，其常闭触头先断开，然后常开触头再闭合；而松开时，常开触头先断开，然后常闭触头再闭合。

结构			
符号			
名称	常开按钮 (停止按钮)	常闭按钮 (起动按钮)	复合按钮

图 3-9 按钮的结构与符号

1—按钮帽 2—复位弹簧 3—支柱连杆 4—常闭静触头
5—桥式动触头 6—常开静触头 7—外壳

2. 选用原则

(1) 根据使用场合和具体用途选择按钮的种类 例如：嵌装在操作面板上的按钮可选用开启式；需显示工作状态的选用光标式；在非常重要的地方，为防止无关人员误操作宜用钥匙操作式；在有腐蚀性气体的场所要用防腐式。

(2) 根据工作状态指示和工作情况要求选择按钮或指示灯的颜色 例如：起动按钮可选用白色、灰色或黑色，优先选用白色，也允许选用绿色。急停按钮应选用红色。停止按钮

可选用黑色、灰色或白色，优先用黑色，也允许选用红色。

(3) 根据控制电路的需要选择按钮的数量 如单联钮、双联钮和三联钮等。

3.3.2 位置开关

位置开关是操作机构在机器的运动部件到达一个预定位置时一种指示开关。它包括行程开关（限位开关）、接近开关等。这里着重介绍在生产中应用较广泛的行程开关（限位开关）。

1. 结构及工作原理

各系列行程开关的基本结构大体相同，都是由触头系统、操作机构和外壳组成。以某种行程开关元件为基础，装置不同的操作机构，可得到各种不同形式的行程开关，常见的有按钮式（直动式）和旋转式（滚轮式）。JLXK1 系列行程开关的外形如图 3-10 所示。

JLXK1 系列行程开关的结构和动作原理如图 3-11 所示。

当运动部件的挡铁碰压行程开关的滚轮 1 时，杠杆 2 连同转轴 3 一起转动，使凸轮 7 推击撞块 5，当撞块被压到一定位置时，推动微动开关 6 快速动作，使其常闭触头断开，常开触头闭合。

行程开关动作后，复位方式有自动复位和非自动复位两种。

2. 选用原则

行程开关主要根据动作要求、安装位置及触头数量选择。

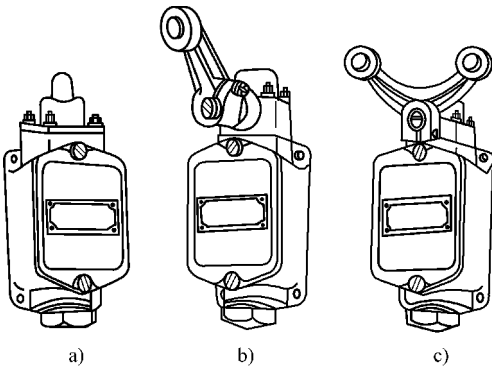


图 3-10 JLXK1 系列行程开关的外形

a) JLXK1—311 按钮式 b) JLXK1—111 单轮旋转式
c) JLXK1—211 双轮旋转式

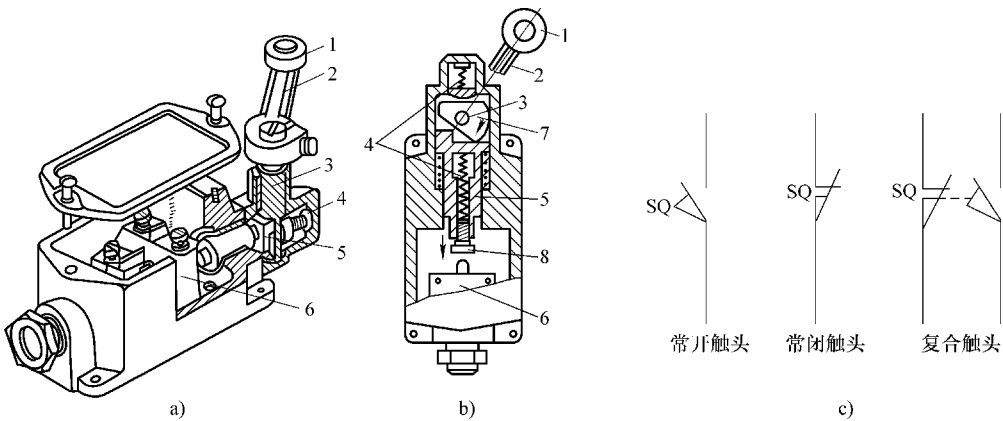


图 3-11 JLXK1—111 型行程开关的结构和动作原理

a) 结构 b) 动作原理 c) 符号

1—滚轮 2—杠杆 3—转轴 4—复位弹簧常
5—撞块 6—微动开关 7—凸轮 8—调节螺钉



3.4 交流接触器

接触器是一种自动的电磁式开关,适用于远距离频繁地接通和断开交、直流主电路及大容量控制电路。其主要控制对象是电动机,也可用于控制其他负载,如电热设备、电焊机及电容器组等。它不仅能实现远距离自动操作和欠电压释放保护功能,而且具有控制容量大、工作可靠、操作频率高、使用寿命长等优点。因而在电力拖动系统中得到了广泛应用。

接触器按主触头通过的电流种类不同,可分为交流接触器和直流接触器两种。这里着重介绍在生产中应用较为广泛的交流接触器。

1. 结构

交流接触器主要由电磁系统、触头系统、灭弧装置及辅助部件等组成。CJ10—20 型交流接触器的结构如图 3-12a 所示。

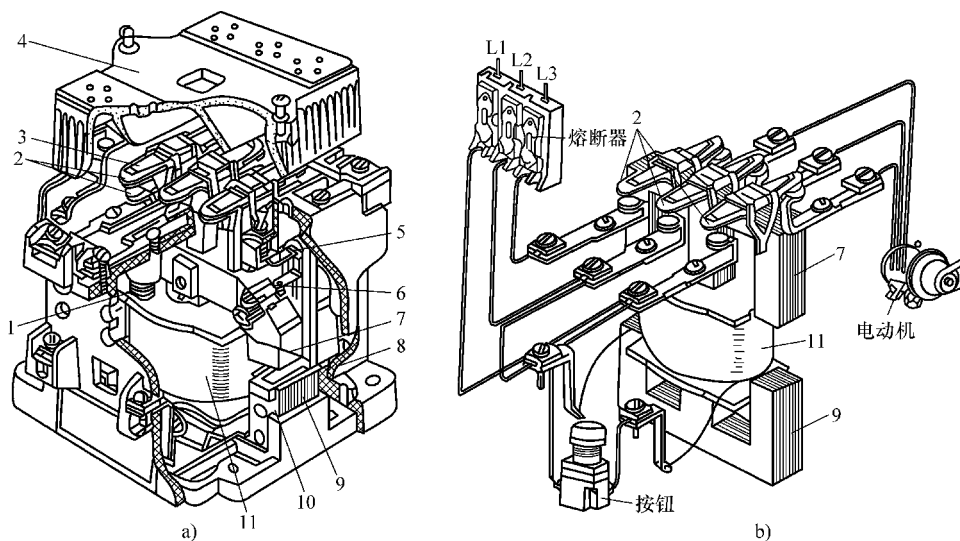


图 3-12 交流接触器的结构和工作原理

a) 结构 b) 工作原理

1—反作用弹簧 2—主触头 3—触头压力弹簧 4—灭弧罩 5—辅助常闭触头
6—辅助常开触头 7—动铁心 8—缓冲弹簧 9—静铁心 10—短路环 11—线圈

(1) 电磁系统 交流接触器的电磁系统主要由线圈、铁心(静铁心)和衔铁(动铁心)三部分组成。其作用是利用电磁线圈的通电或断电,使衔铁和铁心吸合或释放,从而带动动触头与静触头闭合或分断,实现接通或断开电路的目的。

(2) 触头系统 交流接触器的触头分为主触头和辅助触头。主触头用以通断电流较大的主电路,一般由三对接触面较大的常开触头组成。辅助触头用以通断电流较小的控制电路,一般由两对常开和两对常闭触头组成。

所谓触头的常开和常闭,是指电磁系统未通电动作时触头的状态。常开触头和常闭触头是联动的。当线圈通电时,常闭触头先断开,常开触头随后闭合。而线圈断电时,常开触头首先恢复断开,随后常闭触头恢复闭合。两种触头在改变工作状态时,先后有个时间差,尽

管这个时间差很短，但对分析电路的控制原理却很重要。

(3) 灭弧装置 交流接触器在断开大电流或高电压电路时，在动、静触头之间会产生很强的电弧。电弧是触头间气体在强电场作用下产生的放电现象，电弧的产生，一方面会灼伤触头，减少触头的使用寿命；另一方面会使电路切断时间延长，甚至造成弧光短路或引起火灾事故。因此灭弧装置的作用是尽快熄灭触头间的电弧。

(4) 辅助部件 交流接触器的辅助部件有反作用弹簧、缓冲弹簧、触头压力弹簧、传动机构及底座、接线柱等。反作用弹簧安装在动铁心和线圈之间，其作用是线圈断电后，推动衔铁释放，使各触头恢复原状态。缓冲弹簧安装在静铁心与线圈之间，其作用是缓冲衔铁在吸合时对静铁心和外壳的冲击力，保护外壳。触头压力弹簧安装在动触头上面，其作用是增加动、静触头间的压力，从而增大接触面积，以减小接触电阻，防止触头过热灼伤。传动机构的作用是在衔铁或反作用弹簧的作用下，带动动触头实现与静触头的接通或分断。

2. 交流接触器的工作原理

交流接触器的工作原理如图 3-12b 所示。当接触器的线圈通电后，线圈中流过的电流产生磁场，使铁心产生足够大的吸力，克服反作用弹簧的反作用力，将衔铁吸合，通过传动机构带动三对主触头和辅助常开触头闭合，辅助常闭触头断开。当接触器线圈断电或电压显著下降时，由于电磁吸力消失或过小，衔铁在反作用弹簧力的作用下复位，带动各触头恢复到原始状态。

3. 符号

交流接触器在电路图中的符号如图 3-13 所示。

4. 交流接触器的选用

电力拖动控制系统中，交流接触器可按下列方法选用：

(1) 选择接触器主触头的额定电压 接触器主触头的额定电压应大于或等于控制电路的额定电压。

(2) 选择接触器主触头的额定电流 接触器控制电阻性负载时，主触头的额定电流应等于负载的额定电流；控制电动机时，主触头的额定电流应大于或稍大于电动机的额定电流。还可以按下列经验公式计算（仅适用于 CJ0、CJ10 系列）：

$$I_C = P_N \times 10^3 / K U_N \quad (3-4)$$

式中 K ——经验系数，一般取 1 ~ 1.4；

P_N ——被控制电动机的额定功率（kW）；

U_N ——被控制电动机的额定电压（V）；

I_C ——接触器主触头电流（A）。

接触器若使用在频繁起动、制动及正反转的场合，应将接触器主触头的额定电流降低一个等级使用。

(3) 选择接触器吸引线圈的电压 当控制电路简单，使用电器较少时，为节省变压器，可直接选用 380V 或 220V 的电压。当电路复杂，使用电器超过 5 个时，从人身和设备安全角度考虑，吸引线圈电压要选得低一些，可用 36V 或 110V 电压的线圈。

(4) 选择接触器的触头数量及类型 接触器的触头数量、类型应满足控制电路的要求。

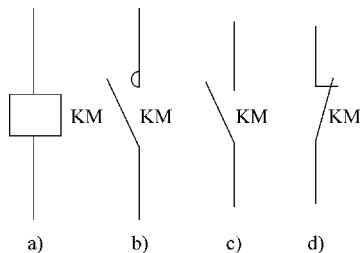


图 3-13 接触器的符号

a) 线圈 b) 主触头
c) 辅助常开触头 d) 辅助常闭触头



3.5 继电器

继电器是一种根据输入信号（电量或非电量）的变化，接通或断开小电流电路，实现自动控制和保护电力拖动装置的电器。一般情况下不直接控制电流较大的主电路，而是通过接触器或其他电器对主电路进行控制。同接触器相比，继电器具有触头分断能力小、结构简单、体积小、重量轻、反应灵敏、动作准确、工作可靠等特点。

继电器主要由感测机构、中间机构和执行机构三部分组成。感测机构把感测到的电量或非电量传递给中间机构，并将它与预定值相比较，当达到预定值（过量或欠量）时，中间机构便使执行机构动作，从而接通或断开电路。

继电器的分类方法有多种，按输入信号的性质可分为：电压继电器、电流继电器、速度继电器、压力继电器等；按工作原理可分为：电磁式继电器、电动式继电器、感应式继电器、晶体管式继电器和热继电器等；按输出方式可分为：有触点式和无触点式。下面介绍几种在电力拖动控制系统中常用的继电器。

3.5.1 热继电器

热继电器是利用流过继电器的电流所产生的热效应而反时限动作的继电器。所谓反时限动作，是指电器的延时动作时间随通过电路电流的增加而缩短。热继电器主要用于电动机的过载保护、断相保护、电流不平衡运行的保护及其他电气设备发热状态的控制。

热继电器的形式有多种，其中双金属片式应用最多。按极数划分，热继电器可分为单极、两极和三极三种，其中三极的又包括带断相保护装置的和不带断相保护装置的；按复位方式划分，热继电器有自动复位式（触头动作后能自动返回原来位置）和手动复位式。

1. 结构

JR16 系列热继电器的外形和结构如图 3-14 所示。它主要由热元件、动作机构、触头系统、电流整定装置、温度补偿元件和复位机构等部分组成。

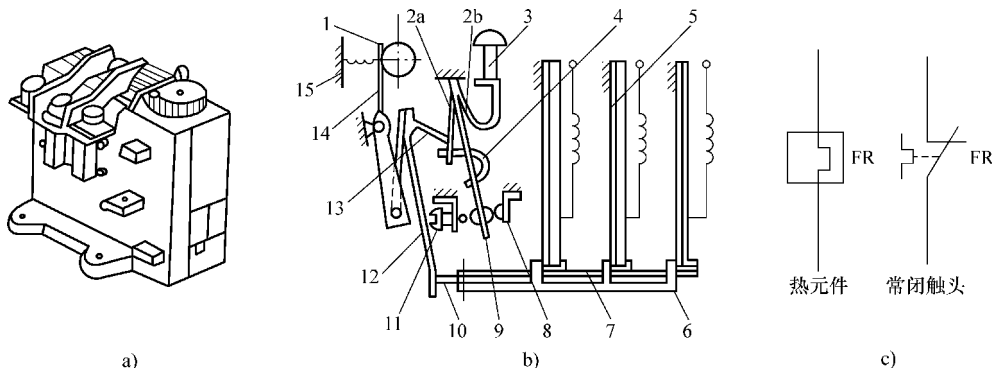


图 3-14 JR16 系列热继电器

a) 外形 b) 结构 c) 符号

- 1—电流调节凸轮 2—片簧 3—手动复位按钮 4—弹簧 5—主双金属片
6—外导板 7—内导板 8—静触头 9—动触头 10—杠杆 11—复位调节螺钉
12—补偿双金属片 13—推杆 14—连杆 15—压簧



(1) 热元件 热元件是热继电器的主要组成部分,由主双金属片和绕在外面的电阻丝组成。主双金属片是由两种热膨胀系数不同的金属片复合而成,金属片的材料多为铁镍铬合金和铁镍合金。电阻丝一般用康铜或镍铬合金等材料制成。

(2) 动作机构和触头系统 动作机构利用杠杆传递及弹簧式瞬跳机构来保证触头动作的迅速、可靠。触头为单断点弹簧跳跃式动作,一般为一个常开触头、一个常闭触头。

(3) 电流整定装置 通过旋钮和电流调节凸轮调节推杆间隙,改变推杆移动距离,从而调节整定电流值。

(4) 温度补偿元件 温度补偿元件也称为双金属片,其受热弯曲的方向与主双金属片一致,它能保证热继电器的动作特性在 $-20 \sim +40^{\circ}\text{C}$ 的环境温度范围内基本上不受周围介质温度的影响。

(5) 复位机构 复位机构有手动和自动两种形式,可根据使用要求通过复位调节螺钉来进行调整 and 选择。一般自动复位的时间不大于 5min ,手动复位时间不大于 2min 。

2. 工作原理

使用时,将热继电器的三相热元件分别串接在电动机的三相主电路中,常闭触头串接在控制电路的接触器线圈回路中。当电动机过载时,流过电阻丝的电流超过热继电器的整定电流,电阻丝发热,主双金属片向右弯曲,推动导板6和7向右移动,通过温度补偿双金属片12推动推杆13绕轴转动,从而推动触头系统动作,动触头9与常闭静触头8分开,使接触器线圈断电,接触器触头断开,将电源切除起保护作用。电源切除后,主双金属片逐渐冷却恢复原位,于是动触头在失去作用力的情况下,靠弹簧4的弹性自动复位。

这种热继电器也可采用手动复位,以防止故障排除前,设备带故障再次投入运行。将复位调节螺钉11向外调节到一定位置,使动触头弹簧的转动超过一定角度失去反弹性,此时即使主双金属片冷却复原,动触头也不能自动复位,必须采用手动复位。按下复位按钮3,动触头弹簧恢复到具有弹性的角度,推动动触头与静触头恢复闭合。

3. 选用原则

选择热继电器主要根据所保护电动机的额定电流来确定热继电器的规格和热元件的电流等级。

(1) 根据电动机的额定电流选择热继电器的规格 一般情况下,应使热继电器的额定电流略大于电动机的额定电流。

(2) 根据需要的整定电流值选择热元件的编号和电流等级 一般情况下,热元件的整定电流为电动机额定电流的 $0.95 \sim 1.05$ 倍。但如果电动机拖动的是冲击性负载或起动时间较长及拖动的设备不允许停电的场合,热继电器的整定电流值可取电动机额定电流的 $1.1 \sim 1.5$ 倍。如果电动机的过载能力较差,热继电器的整定电流可取电动机额定电流的 $0.6 \sim 0.8$ 倍。同时,整定电流应留有一定的上、下限调整范围。

(3) 根据电动机定子绕组的连接方式选择热继电器的结构形式 一般情况下,定子绕组作 Y 联结的电动机选用普通三相结构的热继电器,而作 Δ 联结的电动机应选用三相结构带断相保护装置的热继电器。

3.5.2 时间继电器

自得到动作信号起至触头动作或输出电路产生跳跃式改变有一定延时时间,该延时时间又符合其准确度要求的继电器称为时间继电器。它广泛用于需要按时间顺序进行控制的电气

控制电路中。

常用的时间继电器主要有电磁式、电动式、空气阻尼式、晶体管式等。近年来随着电子技术的发展，晶体管式时间继电器的应用日益广泛。

晶体管式时间继电器也称为半导体时间继电器或电子式时间继电器，具有机械结构简单、延时范围广、精度高、消耗功率小、调整方便及寿命长等优点，发展迅速，应用越来越广泛。晶体管式时间继电器按结构可分为阻容式和数字式两类；按延时方式可分为通电延时型、断电延时型及带瞬动触点的通电延时型。常用的 JS20 系列晶体管式时间继电器是全国推广的统一设计产品，适用于交流 50Hz、电压 380V 及以下或直流 110V 及以下的控制电路，作为时间控制元件，按预定的时间延时，周期性地接通或分断电路。

1. 时间继电器的电路符号

时间继电器的电路符号如图 3-15 所示。

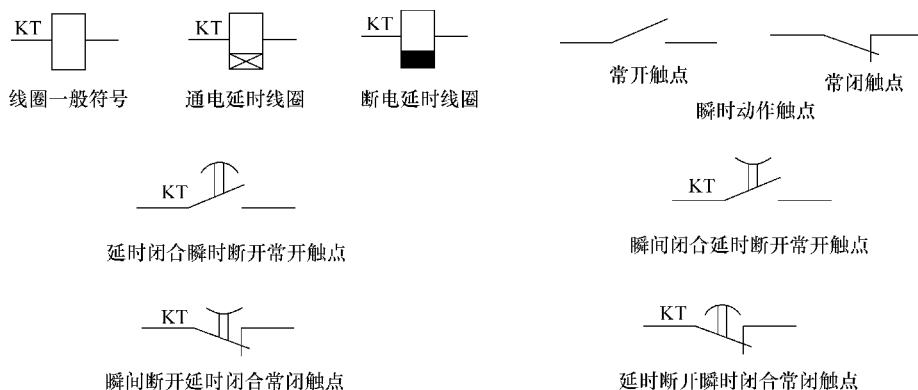


图 3-15 时间继电器的符号

2. 结构

JS20 系列时间继电器的外形如图 3-16a 所示。继电器具有保护外壳，其内部结构采用印制电路组件。安装和接线采用专用的插接座，并配有带插脚标记的下标牌作接线指示，上标盘上还带有发光二极管作为动作指示。其结构形式有外接式、装置式和面板式三种。外接式的整定电位器可通过插座用导线接到所需的控制板上；装置式具有带接线端子的胶木底座；面板式采用通用八大脚插座，可直接安装在控制台的面板上，另外还带有延时刻度和延时旋钮供整定延时时间用。JS20 系列通电延时型时间继电器的引脚接线示意图如图 3-16b 所示。

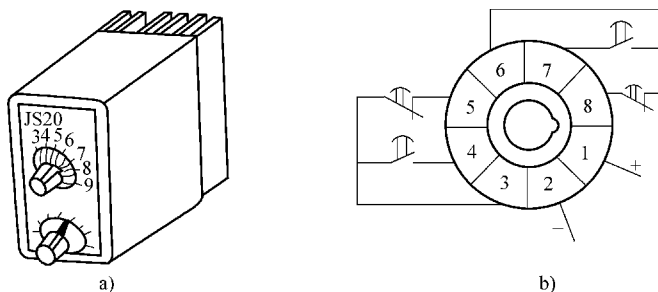


图 3-16 JS20 系列时间继电器的外形与引脚接线示意图

a) 外形 b) 引脚接线示意图

3.5.3 中间继电器

中间继电器是用来增加控制电路中的信号数量或将信号放大的继电器。其输入信号是线圈的通电和断电，输出信号是触头的动作，由于触头的数量较多，所以可用来控制多个元件或回路。

1. 结构及工作原理

中间继电器的结构及工作原理与接触器基本相同，因而中间继电器又称为接触器式继电器。但中间继电器的触头对数多，且没有主辅之分，各对触头允许通过的电流大小相同，多数为5A。因此，对于工作电流小于5A的电气控制电路，可用中间继电器代替接触器实施控制。

常用的中间继电器有JZ7、JZ14等系列，其中JZ7系列为交流中间继电器，其结构如图3-17a所示。

JZ7系列中间继电器采用立体布置，由铁心、衔铁、线圈、触头系统、反作用弹簧和缓冲弹簧等组成。触头采用双断点桥式结构，上下两层各有四对触头，下层触头只能是常开触头，故触头系统可按8常开；6常开、2常闭；4常开、4常闭组合。继电器吸引线圈额定电压有12V、36V、110V、220V、380V等。

JZ14系列中间继电器有交流操作和直流操作两种，采用螺线管式电磁系统和双断点桥式触头，其基本结构为交直流通用，只是交流铁心为平顶形，直流铁心与衔铁为圆锥形接触面，触头采用直列式分布，对数达8对，可按6常开、2常闭；4常开、4常闭或2常开、6常闭组合。该系列继电器带有透明外罩，可防止尘埃进入内部而影响工作的可靠性。

2. 电路符号

中间继电器在电路中的符号如图3-17b所示。

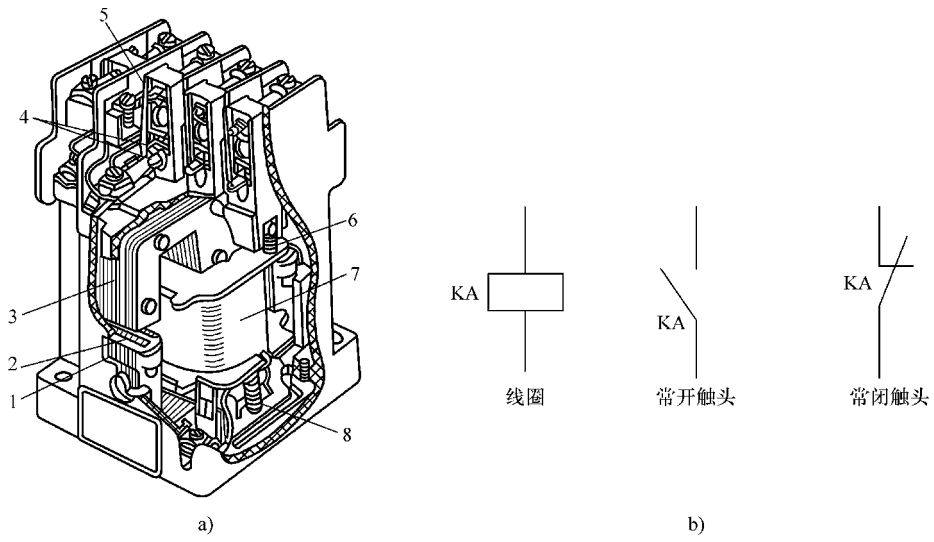


图 3-17 JZ7 系列中间继电器

a) 结构 b) 符号

1—静铁心 2—短路环 3—衔铁 4—常开触头 5—常闭触头
6—反作用弹簧 7—线圈 8—缓冲弹簧



3. 选用原则

中间继电器主要依据被控制电路的电压等级、所需触头的数量、种类、容量等要求来选择。

3.6 电流互感器

互感器是用来按比例变换交流电压或交流电流的仪器。它包括变换交流电压的电压互感器和变换交流电流的电流互感器。

1. 互感器的作用

1) 扩大了交流仪表的量程。利用互感器按比例把高电压、大电流变换成易于测量的低电压、小电流，再采用低量程的仪表进行测量，就相当于扩大了交流仪表的量程。

2) 测量高电压时保证了工作人员和仪表的安全。

3) 有利于仪表生产的标准化，降低了生产成本。

由于电压互感器二次侧的额定电压统一规定为 100V；电流互感器二次侧的额定电流统一规定为 5A。于是只要生产量程为 100V 的电压表和量程为 5A 的电流表，再配以不同变比的互感器，就能满足测量各种高电压和大电流的要求。

2. 结构及工作原理

电流互感器实际上是一个降流变压器，能把一次侧的大电流变换成二次侧的小电流。一般电流互感器二次侧的额定电流为 5A。由于变压器的一、二次电流之比，与一、二次侧的匝数成反比，所以电流互感器一次侧的匝数远少于二次侧匝数，一般只有一匝到几匝。电流互感器的电路符号如图 3-18a 所示。使用时，将一次侧与被测电路串联，二次侧与电流表串联，如图 3-18b 所示。由于电流表的内阻一般都很小，所以电流互感器在正常工作状态时，接近于变压器的短路状态。

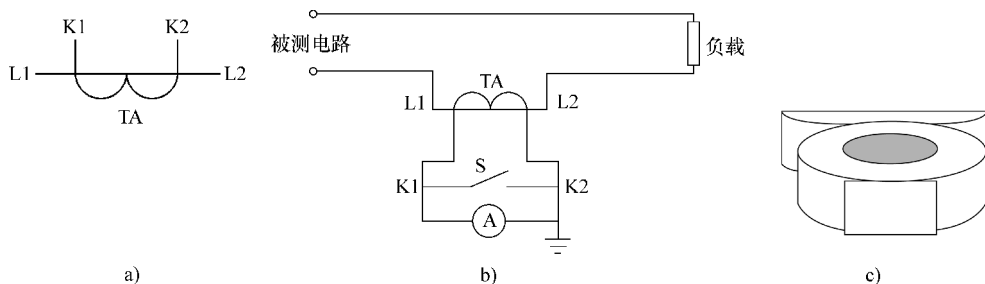


图 3-18 电流互感器

a) 符号 b) 接线 c) 外形

电流互感器一次侧的额定电流 I_{1N} 与二次侧的额定电流 I_{2N} 之比，叫做电流互感器的额定电流比，用 K_{TA} 表示，即

$$K_{TA} = I_{1N}/I_{2N} \quad (3-5)$$

每个电流互感器的铭牌上都标有它的额定电流比。测量时可根据电流表的指示值 I_2 ，计算一次侧被测电流的数值 I_1 ，即

$$I_1 = K_{TA} I_2 \quad (3-6)$$



同理, 对与电流互感器配合使用的电流表, 也可按一次电流直接进行标度。例如, 按 5A 设计制造, 但与 $K_{TA} = 300/5$ 的电流互感器配合使用的电流表, 其标度尺可按 300A 进行标度。

3. 电流互感器的正确使用

1) 要正确接线。将电流互感器的一次侧与被测电路串联, 二次侧与电流表 (或仪表的电流线圈) 串联。

对功率表、电能表等转动力矩与电流方向有关的仪表, 当其与电流互感器配合使用时, 还要注意电流互感器的极性, 极性接反会导致仪表指针反转。电流互感器一次侧、二次侧的 L1 和 K1、L2 和 K2 是同名端。

2) 电流互感器的二次侧在运行中绝对不允许开路。因此, 在电流互感器的二次侧回路中严禁加装熔断器。运行中需拆除或更换仪表时, 应先将二次侧短路后再进行操作。有的电流互感器中装有供短路用的开关, 如图 3-18b 中的开关 S 就起这个作用。

3) 电流互感器的铁心和二次侧的一端必须可靠接地, 以确保人身和设备的安全。

4) 接在同一互感器上的仪表不能太多, 否则接在二次侧的仪表消耗的功率将超过互感器二次侧的额定功率, 会使测量误差增大。

3.7 三相异步电动机

电动机是一种将电能转变为机械能的电气设备。按使用电能的种类不同, 电动机可分为直流和交流电动机。其中交流电动机中, 按电源相数不同, 又可分为单相和三相电动机; 按工作原理不同, 还可分为同步和异步电动机。异步电动机具有结构简单、价格便宜、运行可靠和维护方便等优点。

1. 结构

三相笼型异步电动机是由静止的定子和转动的转子两大部分组成的, 其结构如图 3-19 所示。

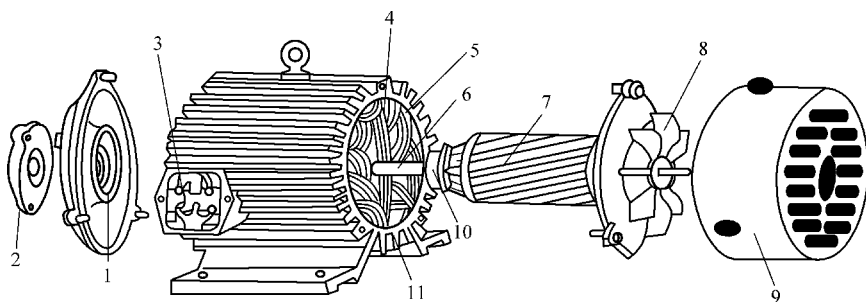


图 3-19 三相笼型异步电动机的结构示意图

1—端盖 2—轴承盖 3—接线盒 4—定子铁心 5—定子绕组 6—转轴
7—转子 8—风扇 9—罩壳 10—轴承 11—机座

(1) 定子 电动机静止部分称为定子, 主要包括定子铁心、定子绕组、机座等部分。定子铁心是电动机的磁路部分, 在其上嵌有定子绕组。定子铁心一般由 0.35mm 厚的表面涂有绝缘漆的硅钢片叠压而成。定子绕组是电动机的电路部分, 通入三相交流电后, 能产生旋



转磁场。定子绕组分三相（分别嵌放在定子铁心的不同部位），六个出线端分别引至机座的接线盒内。三相绕组可按铭牌接成星形（即 γ 联结）或三角形（即 Δ 联结），如图 3-20 所示。机座是固定定子铁心和定子绕组的，并以两个端盖支承转子，同时起保护整个电动机的电磁部分并散发电机运行中产生的热量，一般由铸铁制成。

（2）转子 转子是电动机的旋转部分，包括转子绕组和转轴等部分组成。转子铁心也是电动机的磁路部分，一般由 0.5mm 厚的硅钢片冲制叠压而成，转子绕组就放置在里面。转子绕组根据构造不同可分为笼型和绕线式两种。笼型转子是在转子铁心内嵌入铜条，在铜条两端焊接两个铜环，其外形如同鼠笼，因此取名为笼型。绕线式转子是在转子铁心内嵌入接成星形的三个绕组，三个绕组分别通过三个集电环、电刷与外电路连接。转轴一般由中碳钢或合金钢制成，支承转子的全部重量，并传递转矩，使转子旋转。除了定子和转子两大部分外，还有端盖、风扇和罩壳等其他附件。

2. 工作原理

三相异步电动机是根据电磁感应原理制成的，当定子绕组通以对称的三相交流电时，则在定子与转子的气隙间产生旋转磁场，如图 3-21 所示，旋转磁场穿过转子的笼条（绕组导线），使转子的笼条（绕组导线）切割磁力线产生电流，且旋转磁场对带电导体产生作用力，从而使转子产生转矩而转动起来的。

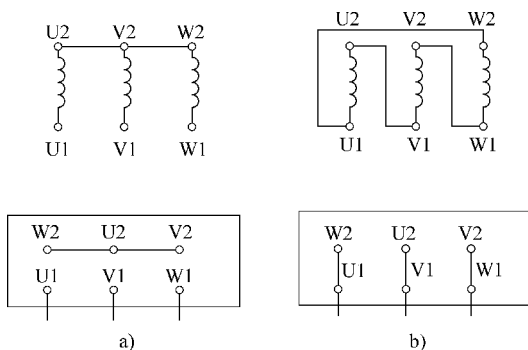


图 3-20 三相定子绕组的接线方法

a) γ 联结 b) Δ 联结

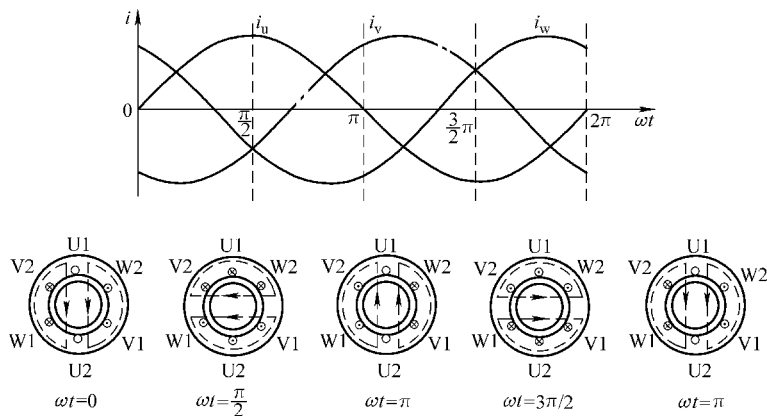


图 3-21 三相（两极）定子绕组的旋转磁场形成

3. 检查

三相交流电动机可用万用表的电阻挡检查其绕组是否有断（或短）路。其方法是将被电动机的接线盒拆下，将接线端子上的短路片取下，用万用表测量每两个端子间的电阻即可检查绕组是否有断（或短）路。

4. 首尾端判别

电动机绕组的首尾端一般由其引出线端标记可知，但对于无引出端标记的电动机，就必须先判别其首尾端才能接线，否则会因接错绕组而损坏电动机。下面介绍用剩磁法判别电动机绕组的首尾端。首先用万用表电阻挡查出每相绕组的两端，分出三相绕组，共6个接线端。然后将三相绕组的三个端假设为首端接在一起，另三个端假设为尾端接在一起。再在这两个连接点之间接上万用表（置于毫安挡），如图3-22所示。接好仪表后，用手转动转子，如表针摆动，则表明假设的首尾端有错误，可调换其中任意一相的两个线端，再转动，如果表针不动或只有极微弱的抖动即表明为正确。否则，将已对调的绕组复原后，再对调另一相绕组的两个接线端，再转动观察，直到指针不动为止。

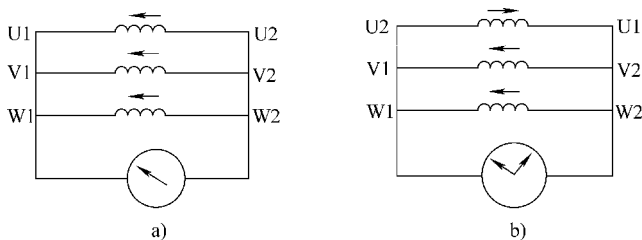


图3-22 三相电动机定子绕组首尾端判别的接线图

a) 表针不摆动（首尾端正确） b) 表针摆动（首尾端不正确）

5. 接线

电动机的接线，一般要根据电动机外壳上的铭牌进行。若铭牌上标有“380V”“ Δ ”，则表示电动机定子绕组应接成 Δ 联结，所加电源线电压为380V。若铭牌上标有“380V”“Y”，则表示电动机定子绕组应接成Y联结，所加电源线电压为380V。若铭牌上标有“220/380”“ Δ /Y”则表示电动机定子绕组接成 Δ 联结时，所加电源线电压为220V；定子绕组接成Y联结时，所加电源线电压为380V。一般情况下，4kW以下的电动机为Y联结，4kW及以上的电动机为 Δ 联结。

3.8 常用低压电器实训

实训3 限位控制与测量

1. 实训目的

- 1) 掌握三相异步电动机正反转的接线方法及注意事项。
- 2) 掌握电动机的启动、点动的控制方式。
- 3) 掌握电动机限位控制的接线方法。
- 4) 掌握电路中各种故障的检查方法，能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表3-1。

3. 识读电路图

识读电路图，并分析其工作（动作）原理，如图3-23所示。



表 3-1 实训设备及器材清单

序 号	器 材	数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	三相异步电动机 (Y-112-4 型、4kW)
		漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)
		交流接触器 (额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V)
		热继电器 (额定电流为 40A、整定电流为 8.8A)
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)
		时间继电器
		按钮 (1 对常开、1 对常闭)
		指示灯 (额定电压为 380V)
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线

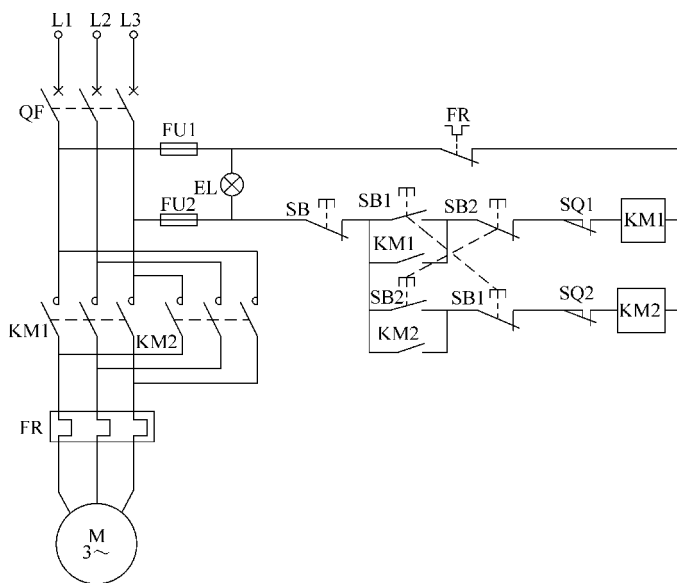


图 3-23 限位控制与测量电路原理图

合上电源开关 QF，按动正转起动按钮 SB1，控制电源接通接触器 KM1 的线圈使之吸合，KM1 三相主触头闭合，电动机起动（正转），控制电路中 KM1 辅助常开触头闭合形成自锁，电动机正转运行；当按动反转按钮 SB2，常闭按钮断开，KM1 线圈断电释放，常开按钮闭合，接通 KM2 线圈使之吸合，电动机反转运行；同样的方法，再按动 SB1 也可由反转转入正转；按动 SB 时，控制电路断电，全部停止。

正反转控制电路中的行程开关 SQ1、SQ2 各限制了设备运行的行程，当正转运行到位没有转入反转，将触动行程开关 SQ1，切断 KM1 电源，电动机停止运行；同样，当反转运行到位没有转入正转，将触动行程开关 SQ2，切断 KM2 电源，电动机停止运行；所以 SQ1、SQ2 是正反转的行程限位开关。



4. 实训步骤

1) 电路元器件的选择和检查。

2) 电路的连接。电路连接可参照图 3-24，本电动机的转向有正反转，注意在两接触器 KM1、KM2 的主触头上要颠倒相序。控制电路中按钮 SB1、SB2 使用的是常开、常闭的双层按钮，常开按钮起动闭合后，常闭按钮将断开另一条控制电路。

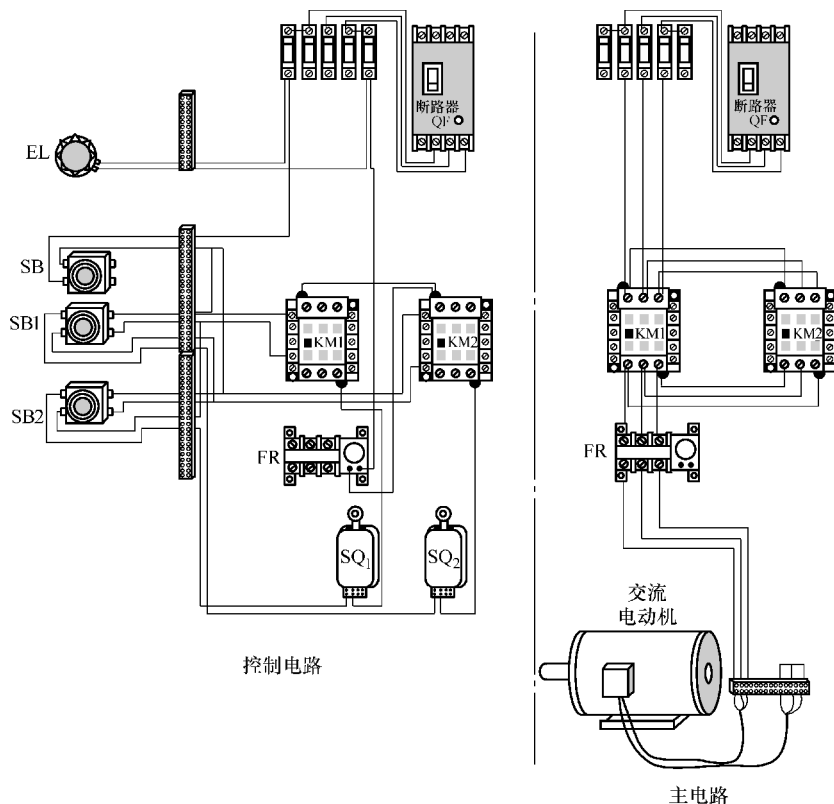


图 3-24 限位控制与测量电路接线示意图

5. 技术要求

(1) 元器件选择 (10%)

学生应按图选择及检查元器件，如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 接线工艺 (15%)

此项得分以三个等级评定：A 级为 15%，B 级为 10%，C 级为 5%。

(3) 通电试车 (55%)

每名同学只允许通电试车两次，得到教师许可后：

1) 第一次通电成功得 55%。

2) 第二次通电成功得 30%。

3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(4) 电气测量 (20%)

按照表格要求测量数据，并填入表 3-2 中。



表 3-2 测量数据

序 号	测 量 内 容		测量结果（由学生填写）
1	接触器线圈电阻（3%）		
2	电动机绝缘电阻（5%）	绕组对地	
3	电动机电流（试车成功后测量有效）（12%）	线电流	
		相电流	
		零序电流	

模块 4 电工作业基本操作

4.1 导线的连接与绝缘恢复

4.1.1 导线绝缘层的剖削

导线线头的绝缘层必须剖削除去，以便芯线连接，电工必须学会用电工刀或钢丝钳剖削绝缘层。

1. 塑料硬线绝缘层的剖削

芯线截面积为 4mm^2 及其以下的塑料硬线，一般可用钢丝钳进行剖削，如图 4-1 所示。剖削步骤如下：

- 1) 左手捏导线，根据线头所需长短用钢丝钳口切割绝缘层，但不可切入线芯。
- 2) 用手握住钢丝钳头部用力向外勒出塑料绝缘层。
- 3) 剖削出的芯线应保持完整无损，如损伤较大应重新剖削。芯线截面积大于 4mm^2 的塑料导线，可用电工刀来剖削绝缘层，如图 4-2 所示。

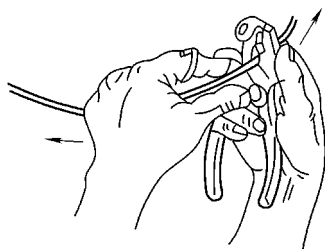


图 4-1 钢丝钳剖削塑料硬线绝缘层

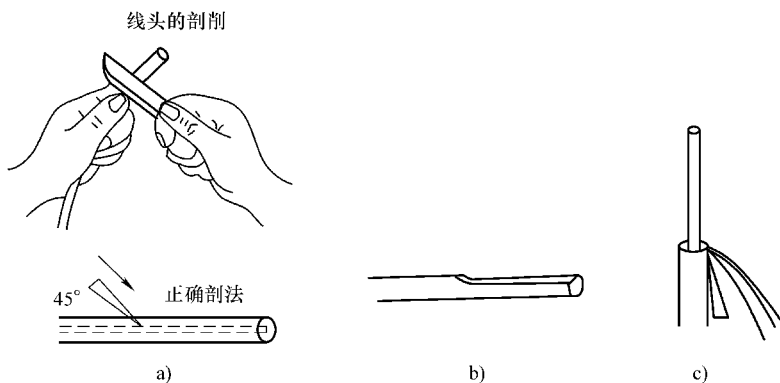


图 4-2 电工刀剖削塑料硬线绝缘层

- 4) 根据所需的长度用电工刀以倾斜 45° 切入塑料层。
- 5) 刀面与芯线保持 25° 左右，用力向线端推削，但不可切入线芯，削去上面一层塑料绝缘层。
- 6) 将下面塑料绝缘层向后扳翻，最后用电工刀齐根切去。

2. 塑料软线绝缘层的剖削

塑料软线绝缘层只能用剥线钳或钢丝钳剖削，不可用电工刀剖削，其剖削方法与塑料硬



线绝缘层的剖削相同。

3. 塑料护套线绝缘层的剖削

塑料护套线的绝缘层必须用电工刀来剖削，剖削方法如下：

- 1) 按所需长度用刀尖对准芯线缝隙划开套层。
- 2) 向后扳翻护套层，用刀齐根切去。
- 3) 在距离护套层 5 ~ 10mm 处，用电工刀以倾斜 45° 切入绝缘层。其他剖削方法与塑料硬线绝缘层的剖削相同。

4.1.2 铜芯导线的连接

1. 铜芯导线的连接

当导线不够长或要分接支路时，就要进行导线与导线的连接。常用导线的线芯有单股、7 股和 11 股等多种，连接方法随芯线的股数不同而异。

(1) 单股铜芯线的直线连接 如图 4-3 所示。

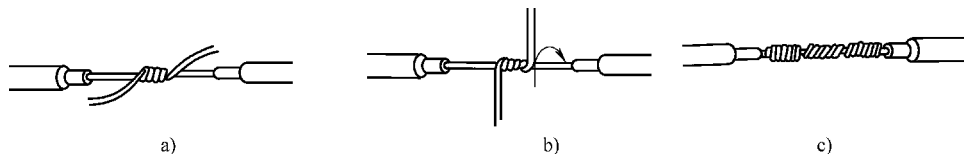


图 4-3 单股铜芯线的直线连接

- 1) 绝缘剖削长度为芯线直径的 70 倍左右，去掉氧化层。
- 2) 把两线头的芯线成 X 形相交，互相缠绕 2 ~ 3 圈。
- 3) 扳直两线头。
- 4) 将每个线头在芯线上紧贴并缠绕 6 圈，用钢丝钳切去余下的芯线，并钳平芯线末端。

(2) 单股铜芯线的分支连接 如图 4-4 所示。

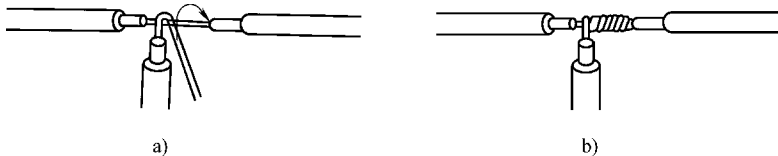


图 4-4 单股铜芯线的分支连接

1) 将分支芯线的线头与干线芯线十字相交，使支路芯线根部留出 3 ~ 5mm，然后按顺时针方向缠绕支路芯线。缠绕 6 ~ 8 圈后，用钢丝钳切去余下的芯线，并钳平芯线末端。

2) 较小截面芯线可环绕成结状，然后再把支路芯线线头抽紧扳直，紧密缠绕 6 ~ 8 圈，剪去多余芯线，钳平切口毛刺。

(3) 7 股铜芯线的直线连接 如图 4-5 所示。

- 1) 绝缘剖削长度应为导线直径的 21 倍左右。
- 2) 先把剖去绝缘层的芯线散开并拉直，把靠近根部的 1/3 线段的芯线绞紧，然后把余下的 2/3 芯线头，分散成伞形，并把每根芯线拉直。
- 3) 把两个伞形芯线线头隔根对叉，并拉平两端芯线。

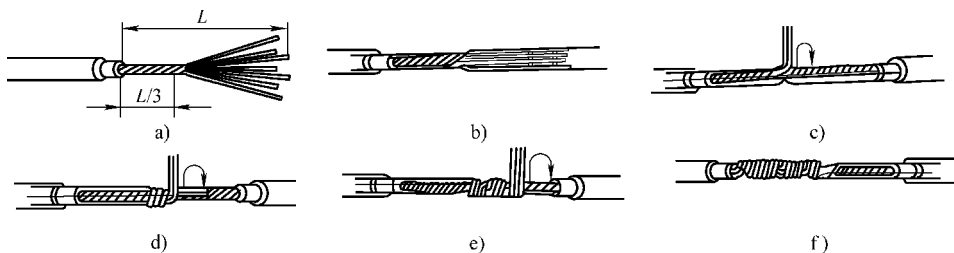


图 4-5 7 股铜芯线的直线连接

4) 把一端 7 股芯线按 2、2、3 根分成三组，接着把第一组 2 根芯线扳起，垂直于芯线，并按顺时针方向缠绕。

5) 缠绕 2 圈后，余下的芯线向右扳直，再把下边第二组的 2 根芯线向上扳直，也按顺时针方向紧紧压着前 2 根扳直的芯线缠绕。

6) 缠绕 2 圈后，也将余下的芯线向右扳直，再把下边第三组的 3 根芯线向上扳直，按顺时针方向紧紧压着前 4 根扳直的芯线向右缠绕。

7) 缠 3 圈后，切去每组多余的芯线，钳平线端。

8) 用同样的方法再缠绕另一端芯线。

(4) 7 股铜芯线的分支连接 如图 4-6 所示。

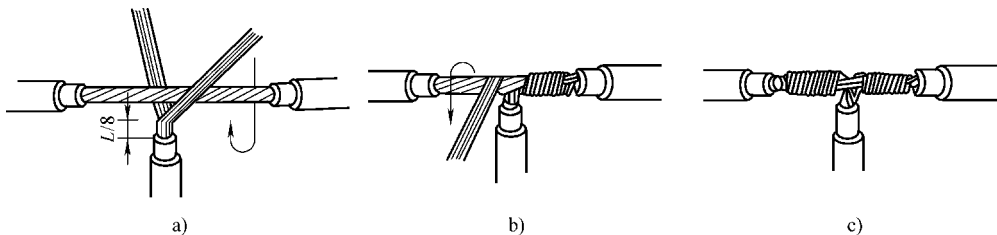


图 4-6 7 股铜芯线的分支连接

1) 把分支芯线散开钳直，线端剖开长度为 l ，接着把近绝缘层 $l/8$ 的芯线绞紧，把分支线头的 $7l/8$ 的芯线分成两组，一组 4 根；另一组 3 根，并排齐。然后用螺钉旋具把干线芯线撬分成两组，再把支线中 4 根芯线的一组插入缝隙间。

2) 把两组芯线分别按顺时针方向和逆时针方向缠绕 3~4 圈后，钳平线端。

2. 铜芯导线接头处的锡焊

(1) 电烙铁锡焊 10mm^2 及其以下的铜芯导线接头，可用 150W 电烙铁进行锡焊。锡焊前，接头上均需涂一层无酸焊锡膏，待电烙铁烧热后，即可锡焊。

(2) 浇焊 16mm^2 及其以上铜芯导线接头，应用浇焊法。浇焊时，首先将焊锡放在化锡锅内，用喷灯或电炉熔化，使表面呈磷黄色，焊锡即达到高热。然后将导线接头放在锡锅上面，用勺盛上熔化的锡，从接头上浇下。刚开始时，因为接头较冷，锡在接头上不会有很好的流动性，应继续浇下去，使接头处温度提高，直到全部焊牢为止。最后用抹布轻轻擦去焊渣，使接头表面光滑，如图 4-7 所示。

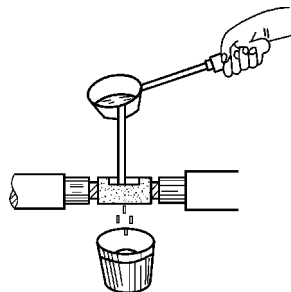


图 4-7 浇焊



4.1.3 铝芯导线的连接

由于铝极易氧化，且铝氧化膜的电阻率很高，所以铝芯导线不宜采用铜芯导线的方法进行连接，铝芯导线常采用螺钉压接法和压接管压接法连接。

1. 螺钉压接法连接

螺钉压接法适用于负荷较小的单股铝芯导线的连接，其步骤如下：

1) 把削去绝缘层的铝芯线头用钢丝刷刷去表面的铝氧化膜，并涂上中性凡士林。
2) 做直线连接时，先把每根铝芯导线在接近线端处卷上 2~3 圈，以备线头断裂再次连接用；然后把四个线头两两相对地插入两只瓷接头（又称为接线桥）的四个接线桩上，最后旋紧接线桩上的螺钉。

3) 若要进行分路连接时，要把支路导线的两个芯线头分别插入两个瓷接头的两个接线桩上，最后旋紧螺钉。

4) 最后在瓷接头上加罩铁皮盒盖或木罩盒盖。

如果连接处是在插座或熔断器附近，则不必用瓷接头，可用插座或熔断器上的接线桩进行过渡连接。

2. 用压接管压接法连接

压接管压接法适用于较大负荷的多根铝芯导线的直线连接。常用压接钳和压接管（又称为钳接管）如图 4-8 所示。

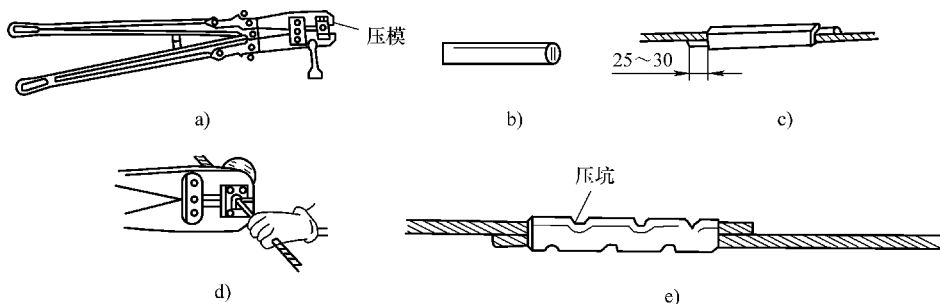


图 4-8 压接钳和压接管

a) 压接钳 b) 压接管 c) 穿进压接管 d) 进行压接 e) 压接后的铝芯线

其步骤如下：

1) 根据多股铝芯导线规格选择合适的铝压接管。
2) 用钢丝刷清除铝芯表面和压接管内壁的铝氧化层，涂上一层中性凡士林。
3) 把两根铝芯导线线端相对穿入压接管，并使线端穿出压接管 25~30mm。
4) 进行压接，第一道压坑应在铝芯线端一侧，不可压反，压接坑的距离和数量应符合技术要求。

3. 线头与接线桩的连接

在各种用电器或电气装置上，均有连接导线的接线桩。常用的接线桩有针孔式和螺钉平压式两种。

(1) 线头与针孔式接线桩的连接 如图 4-9 所示，在针孔式接线桩上接线时，如果单股

芯线与接线桩插线孔大小适宜，只要把芯线插入针孔，旋紧螺钉即可。如果单股芯线较细，则要把芯线折成双根，再插入针孔，如果是多根细丝的软线芯线，必须先绞紧，再插入针孔，切不可有细丝露在外面，以免发生短路事故。

(2) 线头与螺钉平压式接线桩的连接 如图 4-10 所示，在螺钉平压式接线桩上接线时，如果是较小截面积的单股芯线，则必须把线头弯成羊眼圈，羊眼圈弯曲的方向应与螺钉拧紧的方向一致。较大截面积的单股芯线与螺钉平压式接线桩连接时，线头必须装上接线耳，由接线耳与接线桩连接。

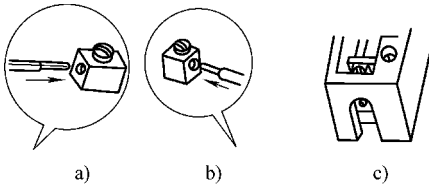


图 4-9 针孔式接线桩的连接图

a) 芯线折成双股进行连接
b) 单股芯线插入连接 c) 瓷接线座

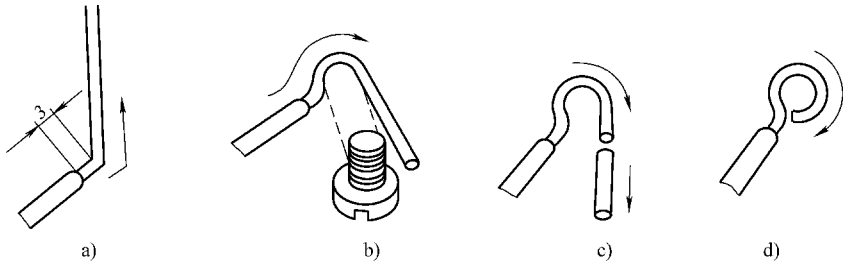


图 4-10 线头与螺钉平压式接线桩的连接

4.1.4 导线绝缘层的恢复

导线绝缘层破损后必须恢复绝缘，导线连接后，也必须恢复绝缘。恢复后的绝缘强度不应低于原来的绝缘层。通常用黄蜡带、涤纶薄膜带和黑胶布作为恢复绝缘层的材料，黄蜡带和黑胶布一般宽为 20mm 较适中，包扎也方便，如图 4-11 所示。

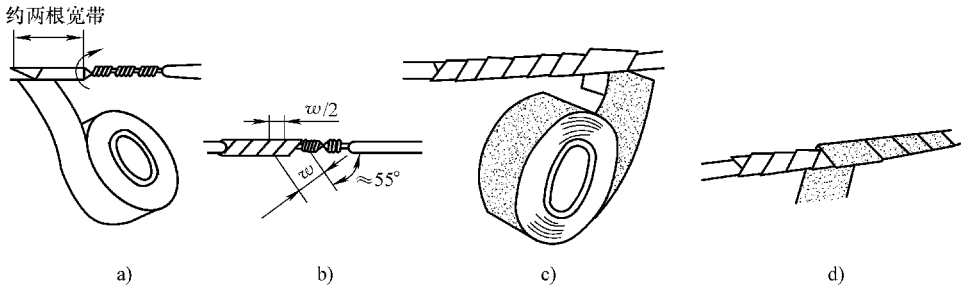


图 4-11 导线绝缘层的包扎方法

1. 绝缘带的包扎方法

将黄蜡带从导线左边完整的绝缘层上开始包扎，包扎两根带宽后方可进入无绝缘层的芯线部分。包扎时，黄蜡带与导线保持约 55° 的倾斜角，每圈压叠带宽的 1/2。

包扎 1 层黄蜡带后，将黑胶布接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向包扎 1 层黑胶布，每圈也压叠带宽的 1/2。

2. 注意事项

1) 在 380V 线路上恢复导线绝缘时，必须先包扎 1~2 层黄蜡带，然后再包 1 层黑



胶布。

2) 在 220V 线路上恢复导线绝缘时, 先包扎 1 层黄蜡带, 然后再包 1 层黑胶布, 或者只包 2 层黑胶布。

3) 绝缘带包扎时, 各包层之间应紧密相接, 不能稀疏, 更不能露出芯线。

4) 存放绝缘带时, 不可放在温度很高的地方, 也不可被油类浸染。

5) 用绝缘电阻表对电路及电气设备进行绝缘测量的方法在模块 2 做了介绍, 读者可参阅 2.2.6。

6) 用钳形电流表测量线路电流的方法也在模块 2 做了相应介绍, 读者可参阅 2.2.5。

4.2 触电急救

1. 使触电者迅速脱离电源

出事地点附近有电源开关或插头时, 应立即断开电源开关或将插头拔掉。如果电源开关距出事地点太远, 可用带绝缘柄的钢丝钳等切断电源线; 也可用干燥的木棒、竹竿等绝缘工具挑开电源线; 或戴上绝缘手套, 拉开触电者, 使之迅速离开触电现场, 如图 4-12 所示。

2. 迅速诊断

1) 将脱离电源的触电者迅速移至比较坚实的地方, 使其仰卧, 将衣领和裤带放松。

2) 观察触电者是否有呼吸; 触摸触电者颈部的动脉有无搏动, 以作为有无心跳的依据。

3) 查看触电者的瞳孔是否放大。当触电者处于假死状态时, 脑细胞严重缺氧, 处于死亡边缘, 瞳孔就会自行放大。

3. 根据诊断结果, 迅速采取相应的急救措施

1) 对“有心跳而呼吸停止”的触电者, 应采取“口对口人工呼吸法”进行抢救。

2) 对“有呼吸而心跳停止”的触电者, 应采取“胸外心脏按压法”进行抢救。

3) 对“呼吸和心跳都已停止”的触电者, 应同时采取“口对口人工呼吸法”和“胸外心脏按压法”进行抢救。

一旦出现上述现象, 如不及时进行抢救, 则人体脑细胞由于严重缺氧将造成死亡事故。所以一方面向医院求救, 另一方面必须及时对触电者进行现场抢救。抢救触电者要有耐心, 不可轻易放弃。有些触电者需要进行数小时甚至数十小时的抢救, 方能苏醒。同时对触电者不可采取泼冷水或注射肾上腺素或打强心针等做法。

4. 急救方法

(1) 口对口人工呼吸法 (见图 4-13)

1) 将触电者仰卧, 解开衣领和裤带。

2) 将触电者头偏向一侧, 张开其口, 清除口腔中的假牙、血块、痰液等异物, 头部后仰, 使呼吸道畅通。

3) 抢救者在触电者一侧, 用手捏紧触电者的鼻子, 深吸一口气, 用嘴贴紧触电者的嘴, 大口吹气, 每次 2s, 吹气量 1000 ~ 1500mL。接着放松鼻子, 让触电者自行呼吸, 每次

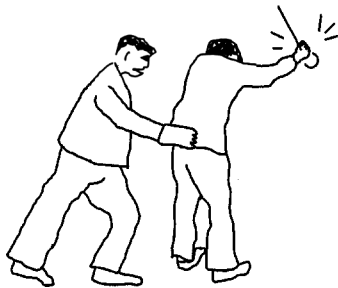


图 4-12 拉开触电者



3s。如此反复进行，不可间断，直到触电者恢复呼吸为止。

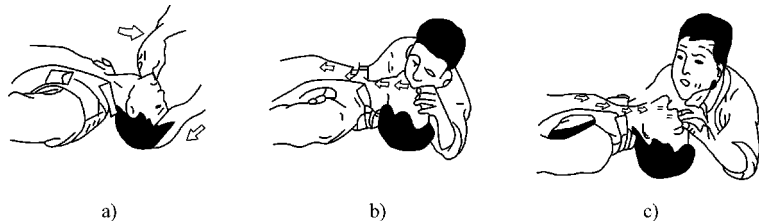


图 4-13 口对口人工呼吸法

(2) 胸外心脏按压法（见图 4-14）

1) 将触电者仰卧在硬板或地面上，颈部垫起，头部后仰，松开衣领和裤带，抢救者跪在触电者一侧或跪跨在触电者腰部的两侧。

2) 抢救者将右手掌根部按于触电者胸骨下 1/2 处，中指指尖对准其颈部凹陷的下缘，当胸一掌。左手掌复压在右手背上，如图 4-14 所示。

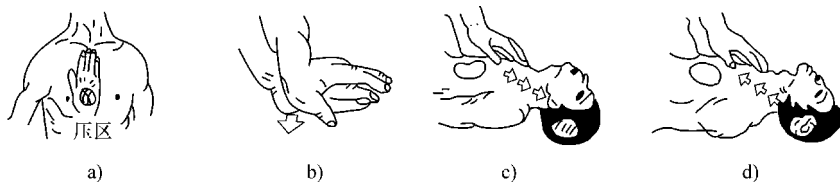


图 4-14 胸外心脏按压法

a) 中指对凹陷当胸一手掌 b) 掌根用力向下压 c) 慢慢压下 d) 突然放松

3) 掌根用力按压胸膛，压下 3~4cm，要求慢压突放，掌根不离胸膛，每分钟 80~100 次。挤压时定位必须准确，压力要适当，连续进行到触电者苏醒为止。

4.3 灭火知识

干粉、二氧化碳 (CO_2) 及四氯化碳 (CCl_4) 灭火器的操作方法相同。操作时都要先拔掉插销，一手持喷嘴把手，一手压紧压把，筒内气体就会自动喷出；不用时，将手放松即可自动关闭。它们适用于扑灭电气及其他各类火灾。

1. 泡沫灭火器

它是利用硫酸或硫酸铝与碳酸氢钠作用时释放出二氧化碳气体的原理制成的。其中加入甘草根汁等化学药品造成泡沫，覆盖在燃烧物的表面，可起到隔热、隔氧作用，使燃烧停止，但这种灭火器绝不可以带电灭火，可用于扑灭油类和固体的火灾。

泡沫灭火器使用时应将筒体倒置，筒内两种液体混合产生化学反应，喷出灭火泡沫。它不能扑灭电气火灾，因为泡沫液体有导电性。

泡沫灭火剂溶液在温度低于摄氏零度时容易结冰，故冬季要注意保温，防止结冻。筒内溶液需每年更换一次。

2. 二氧化碳灭火器

二氧化碳是一种常用的灭火剂，不导电，在常温 20°C 和 $6.08 \times 10^6 \text{ Pa}$ 大气压下液化。这种灭火剂在液态喷射时体积可扩大 400~700 倍，因强烈吸热而冷凝为霜状干冰，干冰在燃烧区



又直接变为气体,吸热降温并使燃烧物隔离空气,从而达到灭火的目的。当气体二氧化碳占蒸气浓度的 30% ~ 35% 时,即可使燃烧迅速熄灭。由于它易使人窒息,使用时人应站在上风侧。

二氧化碳灭火器不畏低温怕高热,故不能放在火源和热源附近。存放地点的温度不得超过 42℃,也不能存放在潮湿的地方,以免生锈。钢瓶内的二氧化碳重量应每三个月检查一次,如二氧化碳重量比额定重量减少 10% 时,应进行加装。

3. 干粉灭火器

它所使用的灭火剂主要由钾(或钠)的碳酸盐类化合物加入滑石粉、硅藻土等混合而成,具备不导电的特性。干粉灭火剂在火区覆盖燃烧物时,因受热而产生二氧化碳和水蒸气,并有隔热、吸热和阻隔空气的作用,故使燃烧熄灭。这种灭火器适用于扑灭可燃气体、液体、油类、忌水类物质(如电石等)及除旋转电动机外的其他电气设备的初起火灾。它有人工投掷和压缩气体喷射两种。

干粉灭火器应保持干燥、密封,防止干粉受潮结块;还要避免日光曝晒,以防因受热膨胀及发生漏气现象。每半年检查一次罐内干粉是否结块,每 3 个月检查一次钢瓶的剂量是否充足。干粉灭火器的有效期限一般为 4 ~ 5 年。

4. 四氯化碳灭火器

四氯化碳是一种无色透明、易挥发的有毒液体,它不自燃、不助燃、不导电。当液态的四氯化碳喷射到火区时会迅速吸热气化,其蒸汽浓度达 10% ~ 14% 时,即可有效扑灭电石、乙炔气体和部分金属的火灾。因四氯化碳与某些物质混合时,会产生剧毒气体,故使用时应戴防毒面具,且应站在上风侧。

四氯化碳灭火器要定期检查筒体、阀门和喷嘴有无损坏、漏气、腐蚀或堵塞现象;气压要经常保持在 $5.39 \times 10^5 \sim 6.8 \times 10^5 \text{ Pa}$,不足时,应充气;筒内药液减少时应补充。不要放在高温处,以免内部的液体变成气体。

5. 灭火器的使用步骤

发生起火现象,应根据现场情况,迅速采取灭火抢救。其使用步骤如图 4-15 所示。

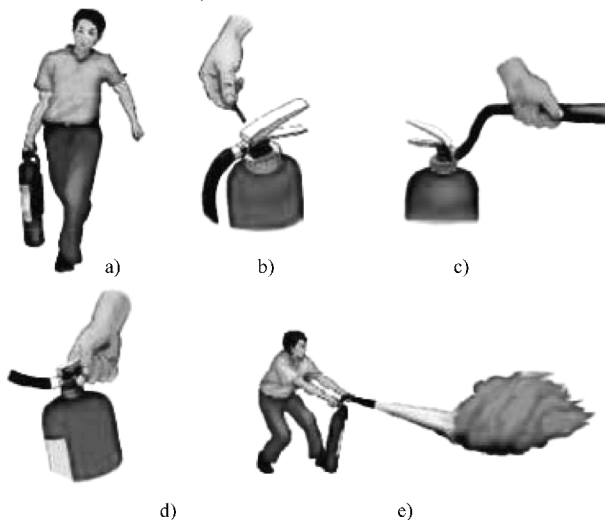


图 4-15 灭火器的使用步骤

a) 提往火场 b) 拔去销钉 c) 握住喷管 d) 开启压把 e) 根部喷射

4.4 电工作业基本操作实训

实训4 电动机点动控制及电流测量

1. 训练目的

- 1) 选择和检查元器件。
- 2) 熟知并掌握电气控制电路的接线工艺及要求。
- 3) 掌握触电急救人工呼吸与胸外心脏按压的救护方法。
- 4) 掌握灭火器带电或不带电的灭火方法。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 4-1。

表 4-1 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	三相异步电动机 (Y-112-4 型、4kW)	1 台
		漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	1 个
		交流接触器 (额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V)	1 个
		热继电器 (额定电流为 40A、整定电流为 8.8A)	3 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
		电流互感器	3 个
		交流电流表	3 个
		按钮 (1 对常开、1 对常闭)	1 个
		指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

电路中电动机为点动控制，三相主电路接有电流互感器及电流表，如图 4-16 所示。合上断路器 QF，按动按钮 SB，接触器 KM 吸合，电动机 M 转动，电流表有三相电流指示。松开按钮，KM 释放，电动机停止。此电路为点动控制电路。

4. 实训步骤

- 1) 电路元器件的选择和检查 (电流互感器及电流表的检测前面已做了介绍)。
- 2) 布线整齐美观，主电路按规定颜色区分控制电路；主电路横平竖直，弯成直角，进入接线端子不超过 2 根导线，导线露铜不超过 2mm，导线与接线桩连接做羊眼圈、瓦形或反圈。连接可参见图 4-17 的接线方式。
- 3) 掌握人工呼吸与胸外心脏按压的抢救方法，在人体模型上进行练习。
 - ①演练采用安全的方法使触电者迅速脱离电源。
 - ②演练施行人工呼吸，首先迅速将触电者 (模型) 衣领、上衣、裤带解开；取出



口腔异物，捏住鼻孔对口吹气 1000 ~ 1500mL，时间为 2s，松开手让它排气 3s，同样方法继续吹气。此种方法连续 2 ~ 3 次接着胸外心脏按压。

③ 胸外心脏按压时应双手相叠，手根部放在心窝上方，胸骨下 1/3 ~ 1/2 处，掌根用力下压 3 ~ 4cm，每分钟约 80 次为宜。吹气与挤压交替进行，每吹气 2 ~ 3 次接着按压 10 ~ 15 次。

4) 灭火器灭火的练习。电气设备发生火灾时灭火应先迅速停电再进行灭火，若来不及停电，要使用干粉、二氧化碳（CO₂）及四氯化碳（CCl₄）灭火器（不导电）进行灭火。泡沫灭火器绝不可以带电灭火。

灭火器使用时先要拔掉销钉，一手持喷嘴把手，一手压紧压把，筒内气体就会自动喷出；对准火源直到火完全熄灭。然后将手放松即可自动关闭。

泡沫灭火器仅停电后可以灭火。

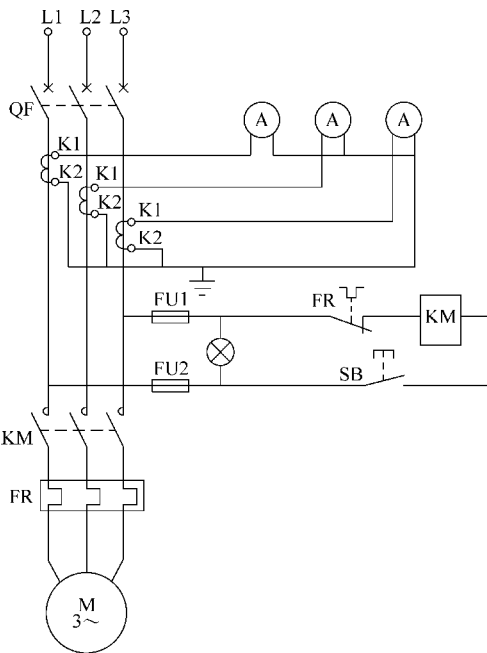


图 4-16 电动机点动控制及电流测量电路原理图

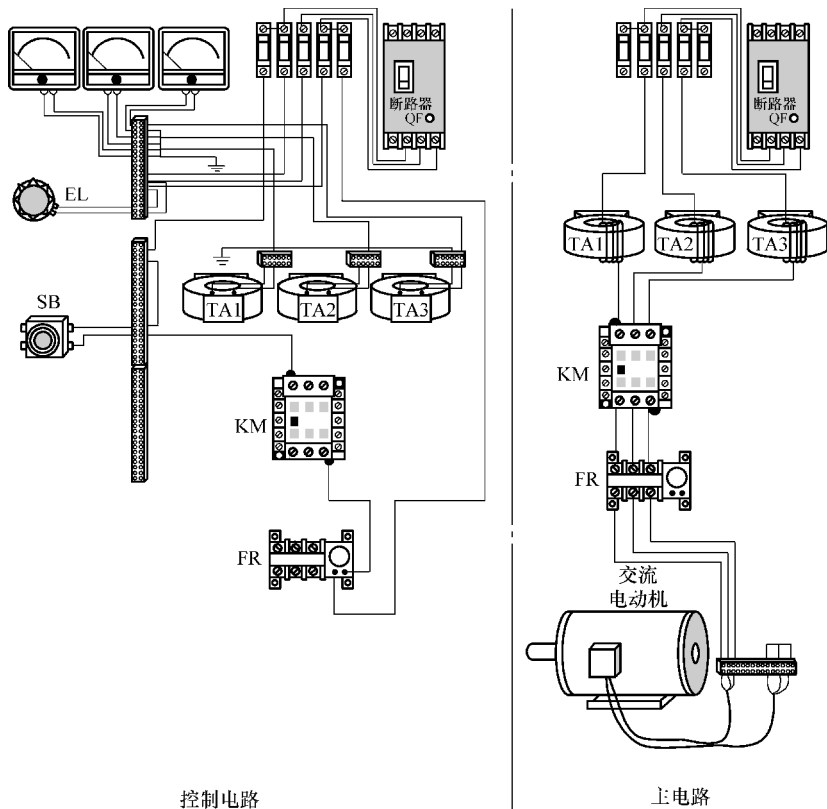


图 4-17 电动机点动控制及电流测量接线示意图

5. 安全操作技能比例要求

(1) 选择及检查元器件 (6%)

未进行选择 and 检查元器件者视为失误。

(2) 接线工艺 (21%)

1) 布线整齐美观, 主电路符合规定颜色要求得 3%。

2) 主电路横平竖直, 弯成直角, 得 3%。

3) 接线端子不超过 2 根导线得 3%。

4) 导线与接线端子接触良好得 3%。

5) 无导线绝缘压入端子得 3%。

6) 导线露铜不超过 2mm 得 3%。

7) 导线与接线桩连接做羊眼圈、瓦形或反圈得 3%。

(3) 线路检查 (5%)

经教师检查不能通电此项视为失误。

(4) 通电试车 (20%)

1) 第一次通电不成功扣 10%。

2) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(5) 接地线 (8%)

电动机、柜体、仪表外壳有一处不接地扣 4%。

(6) 触电急救 (25%)

1) 演示人工呼吸与胸外心脏按压法同时进行的救护方法 (10%), 每项操作为 5%。

2) 胸外心脏按压法的操作 (15%), 救护不成功视为失误。

(7) 灭火器材使用 (15%)

1) 不带电设备起火。

2) 带电设备起火 (由教师指定一种情况), 灭火方法。

①宜选用的灭火器。

②演示使用方法。

实训5 三相四线照明电路

1. 训练目的

1) 选择和检查元器件。

2) 熟知并掌握电气控制电路的接线工艺及要求。

3) 掌握测量负载的相电压、相电流的测量方法。

4) 掌握单股或多股导线的连接方法及电工胶布进行绝缘处理的方法。

5) 熟悉移动电气设备使用前安全检查。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 4-2。

3. 识读电路图

电路负载采用白炽灯泡, 三相负载星形联结且是有中性线, W 相的两只灯泡并联。因此三相负载是不平衡的。但由于有中性线, 各相电压相同, 如图 4-18 所示。



表 4-2 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	三相异步电动机 (Y-112-4、4kW)	1 台
		漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	1 个
		交流接触器 (额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V)	1 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
		白炽灯泡 (220V、25W)	4 个
		按钮 (1 对常开、1 对常闭)	2 个
		手电钻一个 (220V)	1 个
		指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

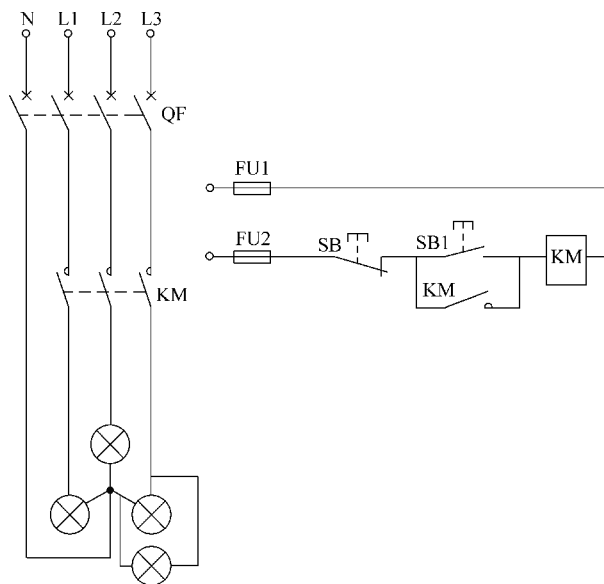


图 4-18 三相四线照明电路连接原理图

合上断路器 QF，按动按钮 SB1，接触器 KM 吸合，4 个灯泡亮。W 相是两个灯泡，三相负载是不平衡的，但由于有中性线，各相电压相同（220V），4 个灯泡亮度相同。停止时，按动 SB，KM 释放，灯泡灭。

4. 实训步骤

- 1) 电器元器件的选择和检查（电流互感器及电流表的检测前面已做了介绍）。
- 2) 布线整齐美观，主电路按规定颜色布线；主电路横平竖直，弯成直角，接线端子不超过 2 根导线，导线露铜不超过 2mm，导线与接线桩连接做羊眼圈、瓦形或反圈。接线示意图如图 4-19 所示。
- 3) 线路连接完毕后，认真检查线路无误方可通电试验。



(5) 电气测量（通电成功后测量，8%）

测量负载的相电压为_____（4%），线电压为_____（4%）。

(6) 导线连接（25%）

1) 单股或多股导线的一字或 T 字连接（由教师指定）（15%）按四个等级评定：A 级为 15%，B 级为 10%，C 级为 5%，D 级为 0%。

2) 用电工胶布进行绝缘处理（10%）按 3 个等级评定：A 级为 10%，B 级为 5%，C 级为 0%。

(7) 移动设备检查（15%）

手电钻或电焊机使用前安全检查（由教师指定）（15%），每错一项扣 5%。

实训 6 电动机两地控制电路

1. 训练目的

- 1) 选择和检查元器件。
- 2) 熟知并掌握电气控制电路的接线工艺及要求。
- 3) 掌握低压电气设备接地保护的必要性及方法。
- 4) 掌握低压电气设备使用前绝缘电阻的测量方法。
- 5) 熟知低压相关的电气规程、掌握低压电路停、送电的操作方法。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 4-3。

表 4-3 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	三相异步电动机 (Y-112-4、4kW)	1 台
		漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	1 个
		交流接触器 (额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V)	1 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
		按钮 (1 对常开、1 对常闭)	4 个
		指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

电路负载是三相异步电动机，本控制电路中起动和停止按钮共设两对，起动和停止按钮分别安装在两个地方，可达到同一台设备的两地控制的效果，如图 4-20 所示。

合上电源开关 QF，按动起动按钮 SB3，接触器 KM 吸合后电动机开始转动，KM 辅助常开触头闭合完成电路的“自锁”。停止时按动 SB1 按钮，接触器 KM 失电释放，电动机停止转动，达到在一个控制点对电动机进行控制。

同样的方法，按动按钮 SB4，接触器 KM 吸合电动机转动，需要停止时按动 SB2，KM 释放，电动机停止，到达在另外一个控制点对电动机进行控制。

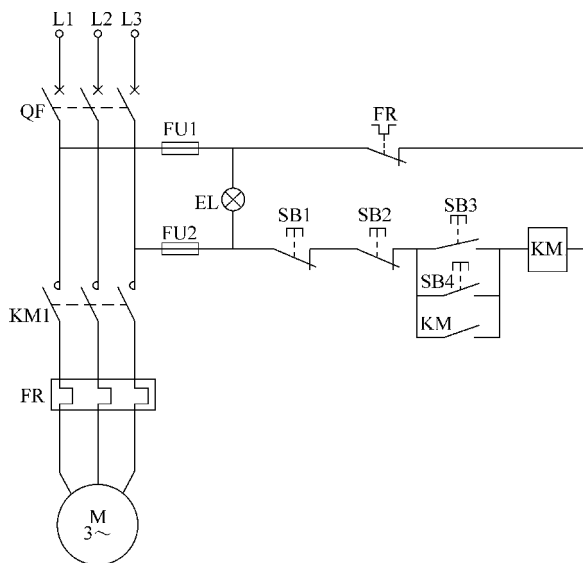


图 4-20 电动机两地控制电路原理图

4. 实训步骤

1) 电路元器件的选择和检查。

2) 布线整齐美观，主电路按规定颜色布线；主电路横平竖直，弯成直角，接线端子不超过 2 根导线，导线露铜不超过 2mm，导线与接线桩连接做羊眼圈、瓦形或反圈。接线示意图如图 4-21 所示。

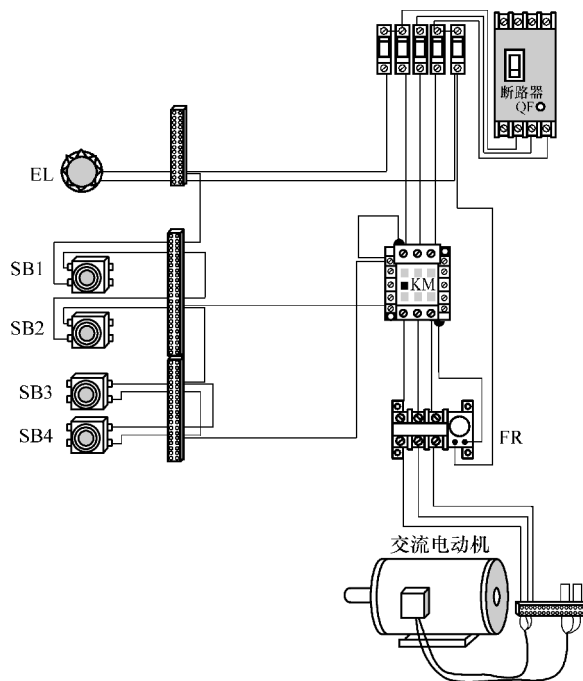


图 4-21 电动机两地控制电路接线示意图



3) 掌握使用绝缘电阻表对低压电动机的绝缘电阻进行测量,达到要求后方可使用。
4) 掌握电路停、送电的规程要求,送电“先隔离,后负荷”;停电“先负荷,后隔离”。

5) 线路连接完,认真检查线路无误后方可通电试验。

5. 安全操作技能比例要求

(1) 选择及检查元器件 (6%)

未进行选择 and 检查元器件者视为失误。

(2) 接线工艺 (21%)

1) 布线整齐美观,主电路符合规定颜色要求的得 3%。

2) 主电路横平竖直,弯成直角,得 3%。

3) 接线端子不超过 2 根导线得 3%。

4) 导线与接线端子接触良好得 3%。

5) 无导线绝缘压入端子得 3%。

6) 导线露铜不超过 2mm 得 3%。

7) 导线与接线桩连接做羊眼圈、瓦形或反圈得 3%。

(3) 线路检查 (5%)

经教师检查不能通电此项视为失误。

(4) 通电试车 (20%)

1) 第一次通电不成功扣 10%。

2) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(5) 接地线 (8%)

电机、柜体、仪表外壳有一处不接地扣 4%。

(6) 测量绝缘电阻 (20%)

1) 检验绝缘电阻表好坏 (6%),每错一项视为失败。

2) 测量电动机绕组间及绕组对地绝缘电阻 (14%):

①相间绝缘电阻 7%。

②相对地绝缘电阻 7%。

(7) 停、送电操作 (20%)

1) 低压电源停电、送电操作。

2) 停电或送电顺序错误此相视为失败。

实训 7 电动机正反转控制电路

1. 训练目的

1) 选择和检查元器件。

2) 熟知并掌握电气控制电路的接线工艺及要求。

3) 掌握低压电气设备接地保护的必要性及方法。

4) 掌握低压电气设备电流电压的测量方法。

5) 熟知低压电气控制电路故障的检查方法。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 4-4。

表 4-4 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	三相异步电动机 (Y-112-4 型、4kW)	1 台
		漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	1 个
		交流接触器 (额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V)	2 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
		按钮 (1 对常开、1 对常闭)	3 个
		指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

电路的负载是三相异步电动机，本电路实现的是三相异步电动机的正反转控制，KM1、KM2 主触头控制电动机的电源，组成了主电路。控制电路由 SB2、SB3、SB1 分别控制了 KM1、KM2 的线圈，形成了电动机的正转、反转和停止的控制电路，如图 4-22 所示。

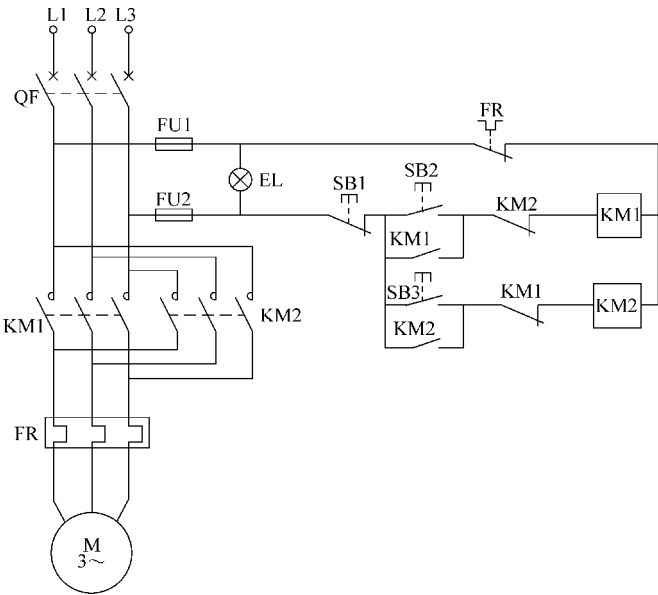


图 4-22 电动机正反转控制电路原理图

合上断路器 QF，按动按钮 SB2，接触器 KM1 吸合后电动机正转，按动 SB1，KM1 释放，电动机停止；然后按动按钮 SB3，接触器 KM2 吸合，电动机的电源颠倒相序，电动机反转，按动 SB1，KM2 释放，电动机停止。三相交流电动机的正反转控制均是以此种方法操作的。为了避免 KM1、KM2 同时吸合（相间短路），在 KM 1 的控制电路中加入 KM2 互锁触头，在 KM2 的控制电路中加入 KM1 互锁触头，使得 KM1、KM2 不会同时吸合。



4. 实训步骤

- 1) 电路元器件的选择和检查。
- 2) 布线整齐美观，主电路按规定颜色布线；主电路横平竖直，弯成直角，接线端子不超过 2 根导线，导线露铜不超过 2mm，导线与接线桩连接做羊眼圈、瓦形或反圈。接线示意图如图 4-23 所示。
- 3) 掌握用万用表测量线电压、相电压的方法。
- 4) 掌握用钳形电流表测量线路的线电流、相电流及零序电流。
- 5) 熟知照明电路及插座电路故障的检查方法。
- 6) 线路连接完，认真检查线路无误后方可通电试验。

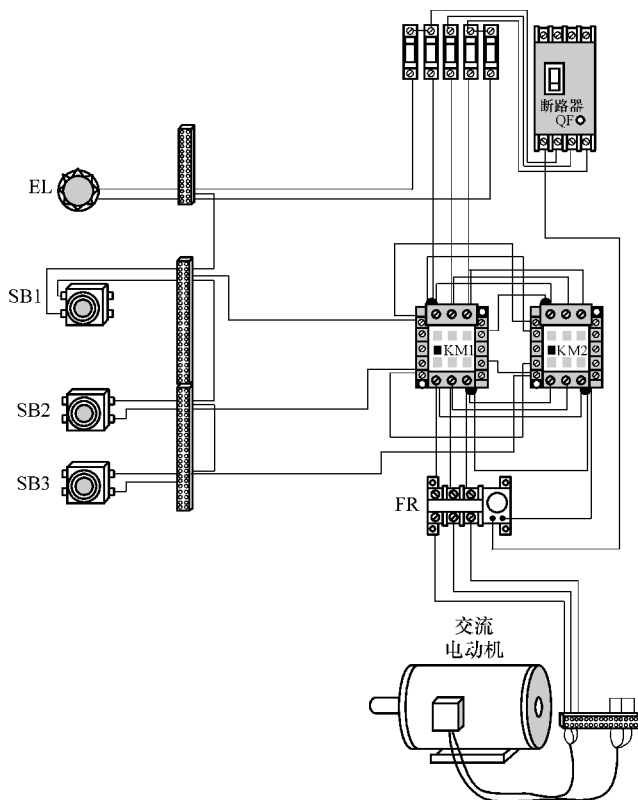


图 4-23 电动机正反转控制电路接线示意图

5. 安全操作技能比例要求

- (1) 选择及检查元器件 (6%)

未进行选择 and 检查元器件者视为失误。

- (2) 接线工艺 (21%)

- 1) 布线整齐美观，主电路符合规定颜色要求的得 3%。
- 2) 主电路横平竖直，弯成直角，得 3%。
- 3) 接线端子不超过 2 根导线得 3%。
- 4) 导线与接线端子接触良好得 3%。



5) 无导线绝缘压入端子得3%。

6) 导线露铜不超过2mm得3%。

7) 导线与接线桩连接做羊眼圈、瓦形或反圈得3%。

(3) 线路检查(5%)

经教师检查不能通电此项视为失误。

(4) 通电试车(20%)

1) 第一次通电不成功扣10%。

2) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(5) 接地线(8%)

电动机、柜体、仪表外壳有一处不接地扣4%。

(6) 电气测量(通电试车成功后进行)(24%)

1) 电动机实际接法_____(2%)，线电压_____(5%)，相电压_____(5%)。

2) 电动机电流测量(12%)：线电流_____(4%)，相电流_____(4%)，零序电流_____(4%)。

(7) 照明电路故障检修(16%)

在指定线路上进行故障检修操作，如图4-24所示(由教师设置故障)，错或漏一个步骤视为失误。

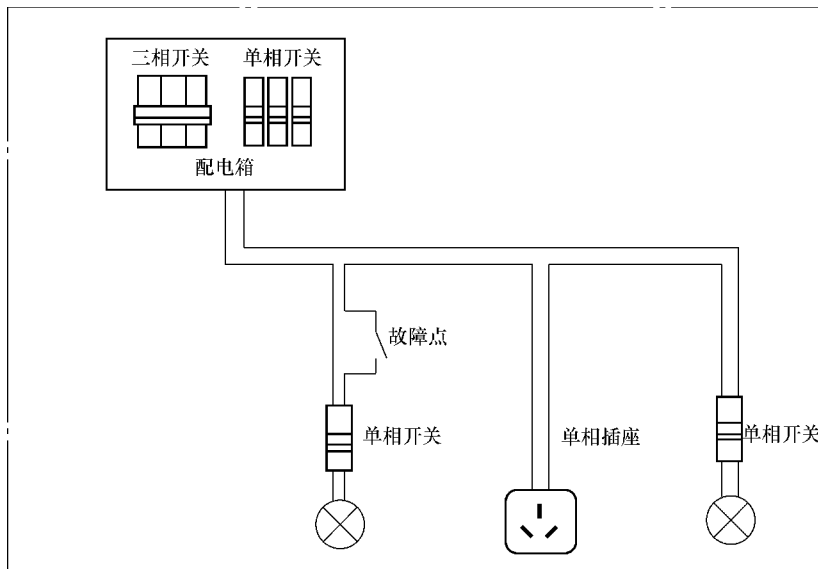


图4-24 电路故障检修操作项目考核板

实训8 电动机自动顺序控制电路

1. 训练目的

1) 选择和检查元器件。

2) 熟知并掌握电气控制电路接线工艺及要求。

3) 掌握低压电气控制电路的接线及线路裸露部分绝缘包扎的处理方法。

- 4) 掌握三相五线制电路中漏电保护连接方法。
- 5) 熟知低压电气控制电路故障的检查方法。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 4-5。

表 4-5 实训设备及器材清单

序 号	器 材	数 量
1	三相异步电动机 (Y-112-4、4kW)	1 台
	漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	1 个
	交流接触器 (额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V)	2 个
	熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
	时间继电器	1 个
	按钮 (1 对常开、1 对常闭)	3 个
	指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线

3. 识读电路图

电路的负载是两台三相异步电动机，当第一台电动机运转后，第二台电动机将在设定的时间自行起动。所以是按照第一、第二顺序起动运行的。如图 4-25 所示，本电路为电动机的延时顺序控制电路。

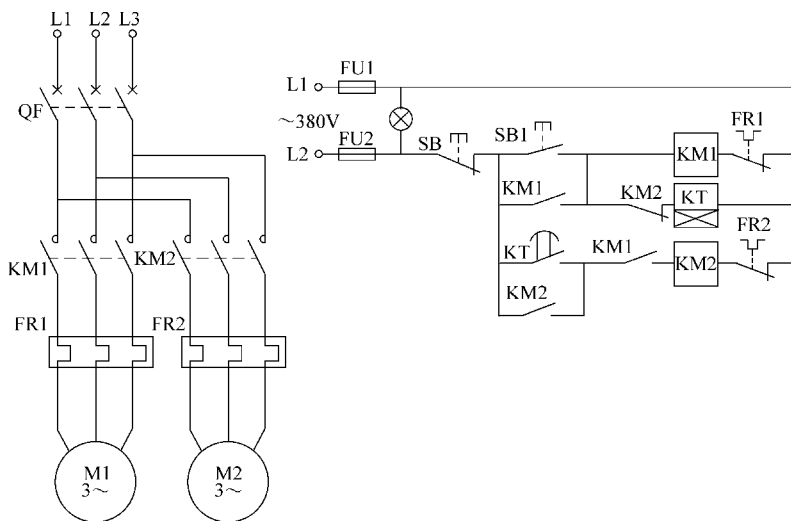


图 4-25 电动机自动顺序控制电路原理图

合上断路器 QF，按动按钮 SB1，接触器 KM1 吸合，电动机 M1 转动，同时时间继电器 KT 通电开始延时，3s 后（设定时间 3s）KT 动作，常开触头接通，KM2 吸合，电动机 M2 起动。两台电动机按此顺序起动运转。

当需要停止时，按动按钮 SB，KM1、KM2 断电释放，电动机 M1、M2 停止转动。



4. 实训步骤

- 1) 电路元器件的选择和检查。
- 2) 布线整齐美观，主电路按规定颜色布线；主电路横平竖直，弯成直角，接线端子不超过2根导线，导线露铜不超过2mm，导线与接线桩连接做羊眼圈、瓦形或反圈。
- 3) 掌握三相五线制供电电路中，电动机接地保护方法。
- 4) 掌握供电电路中，单相负载“左零、右相”的接线方法。
- 5) 掌握电路中单相三线插座“左零、右相、中地”的接线方法。
- 6) 参照图4-26连线。线路连接完，认真检查线路无误后方可通电试验

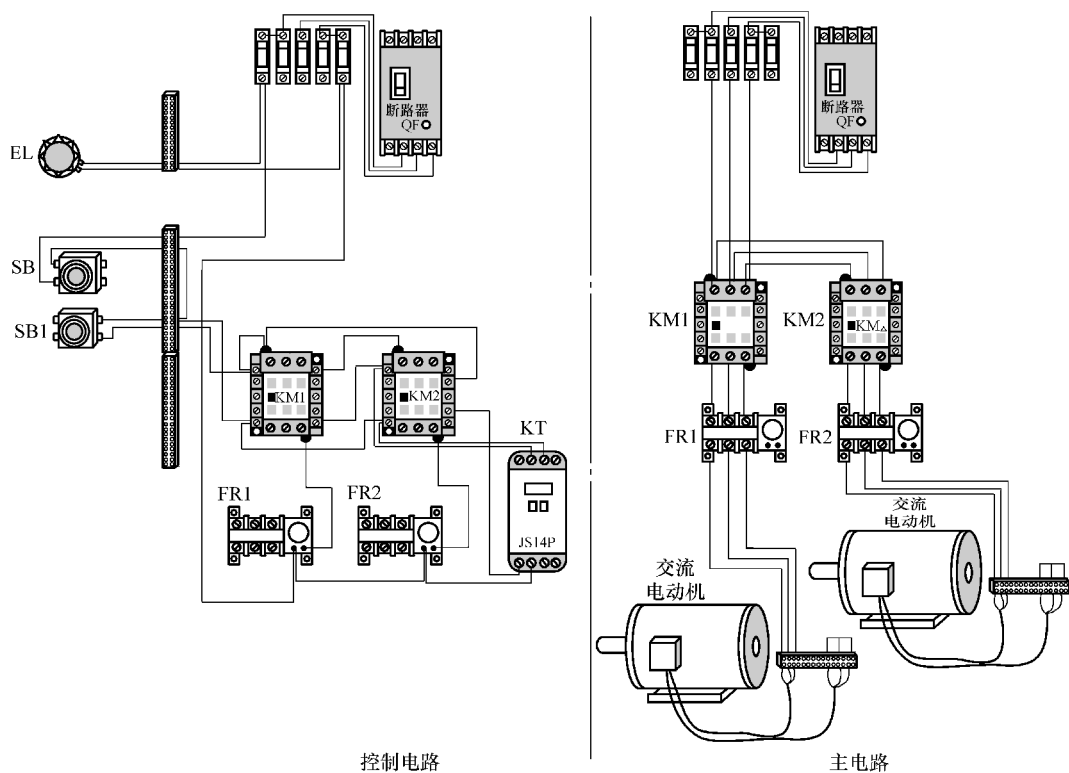


图4-26 电动机自动顺序控制电路接线示意图

5. 安全操作技能比例要求

- (1) 选择及检查元器件 (10%)

未进行选择 and 检查元器件者视为失误。

- (2) 接线工艺 (15%)

此项得分以三个等级评定：A (15%)，B (10%)，C (5%)，有一处未包绝缘此项不得分。

- (3) 线路检查 (10%)

经教师检查不能通电此项视为失误。

- (4) 通电试车 (35%)

- 1) 第一次通电不成功扣20%。

- 2) 第二次通电不成功或放弃者同等。



(5) 三相五线制系统模拟接线（在图 4-27 上进行标示）（30%）。

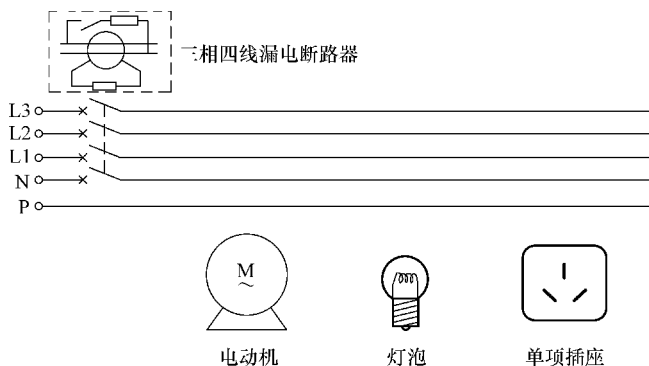


图 4-27 三相五线制电路与负载

实训 9 电动机控制与功率测量电路

1. 训练目的

- 1) 选择和检查元器件。
- 2) 熟知并掌握电气线路接线工艺及要求。
- 3) 掌握有功电能表外壳接地、无功电能表外壳接地的安全重要性及方法。
- 4) 掌握电流互感器的接地方法及电动机外壳接地的安全重要性及方法。
- 5) 掌握用电能表的读数与电流互感器的电流比来换算用电量的方法。
- 6) 熟知低压电气线路故障的检查方法。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 4-6。

表 4-6 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	三相异步电动机 (Y-112-4 型、4kW)	1 台
		漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	1 个
		交流接触器 (额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V)	1 个
		热继电器 (额定电流为 40A、整定电流为 8.8A)	1 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
		电流互感器	3 个
		有功电能表	1 个
		无功电能表	1 个
		按钮 (1 对常开、1 对常闭)	2 个
		指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干



3. 识读电路图

本电路中负载为三相异步电动机，起动后电动机运转，消耗有功电量，也有无功功率，在电路中通过电流互感器对电流的取样和对线电压的采集送入有功电能表和无功电能表进行计量，两个电能表分别记录了电动机的有功电量 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 和无功电量 $\text{kvar} \cdot \text{h}$ 。

如图 4-28 所示，电路通电，按动起动按钮 SB1 ， KM 吸合，电动机起动，本电路安装了有功电能表和无功电能表，有功电能表、无功电能表转动分别记录电动机的有功电量和无功电量。按动按钮 SB ， KM 释放，电动机停止转动。电能表记下电动机在运行时间内有功电量和无功电量。

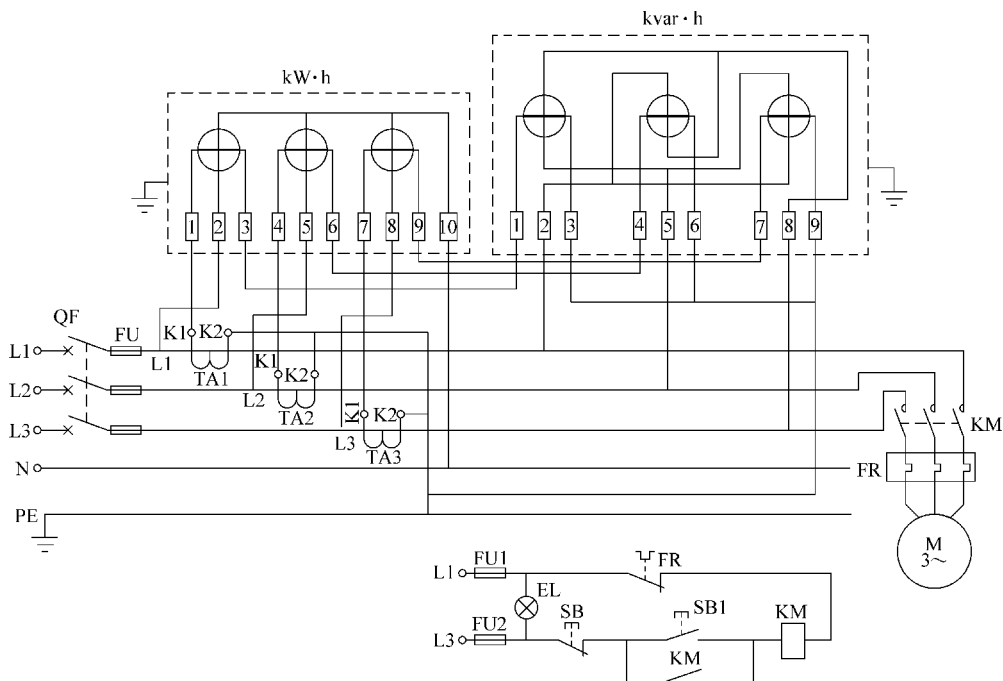


图 4-28 电动机控制与功率测量电路原理图

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查。

(2) 线路的连接（可参照图 4-29） 先将主电路穿过电流互感器（圈数要符合要求），以及连接 KM 主电路和 FR 主电路到电动机；然后接两表，两表的外壳和电流互感器的二次侧一定要接地。

(3) 控制电路的检查（断电） 首先检查电流互感器一次侧导线所穿的方向，保证上进下出方向一致。所穿匝数根据互感器铭牌指示。电流互感器二次侧 K1 和 K2 不能开路，所以接有功和无功电能表的电流线圈（电流线圈电阻很小）经过保护零线形成回路。将万用表置于欧姆挡，在接好线的情况下三个互感器的 K1 至 K2 之间的电阻应该很小（比不串有功和无功电能表的电流线圈时的电阻还要小），否则应该检查从 K1 到 K2 之间的回路是否有开路。

1) 拧松一只熔断器 FU ，用万用表表笔放至熔断器后端，此时读数应为无穷大。

2) 按下 SB1 ，读数为 KM 线圈的电阻值。

3) 再同时按下 SB1 和 SB ，电阻值为无穷大，则控制电路接线正确。

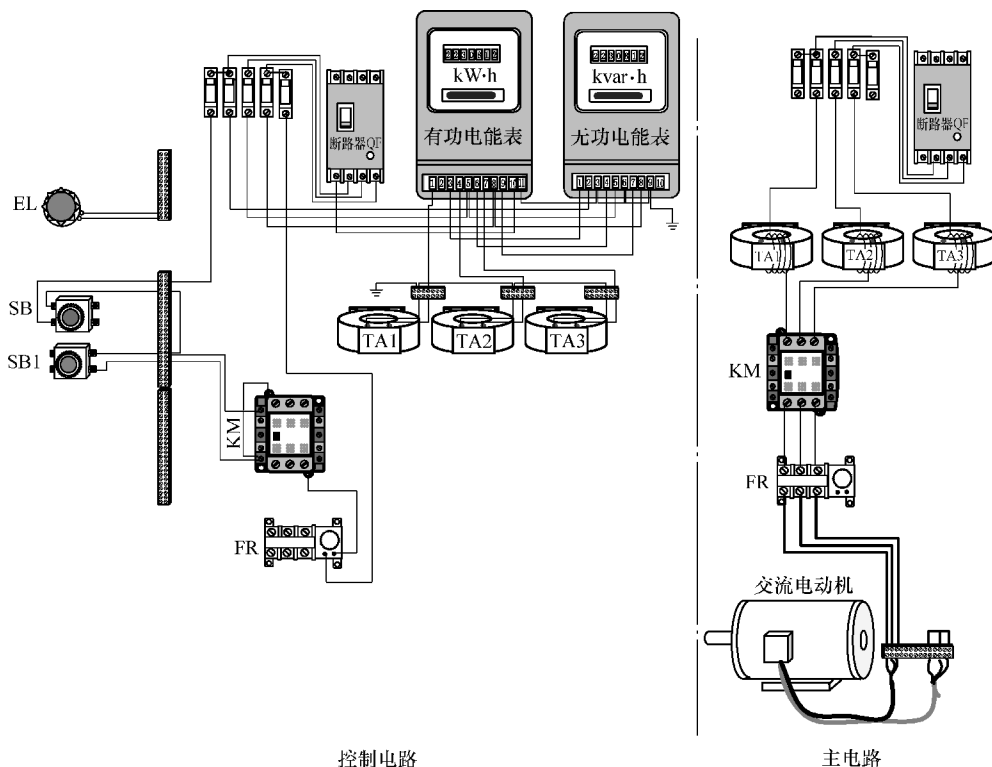


图 4-29 电动机控制与功率测量电路接线示意图

(4) 主电路的检查（断电） 主电路的检查（先断开计量回路）：表笔放在 QF 下端，按下 KM 进行读数。因为此时万用表读数为电动机两绕组的串联电阻值，即 R_{UV} 、 R_{UW} 、 R_{VW} ，说明主电路接线正确。

(5) 通电试车 经上述检查正确后，可在老师的监护下通电试车。具体步骤如下：

- 1) 合上 QF。
- 2) 按下 SB1，则 KM 吸合，电动机起动，有功及无功电能表正转。
- 3) 按下 SB，电动机停止，有功及无功电能表停转。
- 4) 断开 QF。

5. 安全操作技能比例要求

(1) 选择及检查元器件（10%）

未进行选择 and 检查元器件者视为失误。

(2) 接线工艺（15%）

此项得分以三个等级评定：A（15%），B（10%），C（5%）。有一处未包绝缘此项不得分。

(3) 线路检查（10%）

经教师检查不能通电此项视为失误。

(4) 通电试车（35%）

- 1) 第一次通电不成功扣 10%。
- 2) 第二次通电不成功或放弃者同等。



(5) 保护接地 (20%)

- 1) 有功电能表外壳接地 (5%)。
- 2) 无功电能表外壳接地 (5%)。
- 3) 电流互感器 K2 接地 (5%)。
- 4) 电动机外壳接地 (5%)。

(6) 回答问题 (10%)

某有功电能表 (或无功电能表) 经电流互感器接入, 本月读数为_____, 上月读数为_____, 电流互感器电流比_____, 实际用电量为_____。

注意: 表的类型、读数及电流互感器电流比由教师现场指定并填写。

模块5 电力拖动控制及技能实训

电气控制是根据设备功能用途及控制方式来设计原理图，根据原理图及实际要求来进行装配和布线，以达到控制要求。安装接线前应读懂原理图，了解布线方式、器件性能等准备工作。在接线练习时要检查所用元器件、接线端，待检查无误后才可以连接及试验。

5.1 电气控制电路的接线及故障排除

1. 选择并检测电路元器件

1) 熟悉电气控制柜的基本结构、供电方式及安全注意事项。电气控制柜的结构组成如图 5-1 所示。

2) 根据安装电路的要求，选择所需要的元器件的种类和数量。

3) 选择万用表适当的“ Ω ”挡位，测量所选择元器件的好坏（查主、辅触头通断是否正常、线圈阻值是否正常；结构是否有松动或不正常；可动作部件是否灵活可靠）。

2. 电气控制电路的接线原则

熟悉电气控制柜中的元器件接线方式、接线端子等。电气控制电路的接线可以“先主后辅”或“先辅后主”、“先串后并；从上到下，从左到右；上进下出，左进右出”的规律进行接线。其基本含义是：接线时可以先接主（辅助）电路，后控制（主）电路。不混合；先接串联电路，后接并联电路；并且按照从上到下进出线，必须从左到右的顺序逐根接线；对于元器件按照上面为进线，下为出线；左边为进线，右边为出线的原则接线，以免造成接错线路。

3. 电气控制电路接线的工艺要求

电气控制电路的接线工艺应遵循“横平竖直，弯成直角；少用导线少交叉，多线并行”的原则进行施工。其基本含义是：横线要水平，竖线要垂直，转弯要成直角，不能有斜线；接线时，避免导线过长，避免导线交叉，如果同一方向有多条导线，而不能分散走，以免杂乱无章。

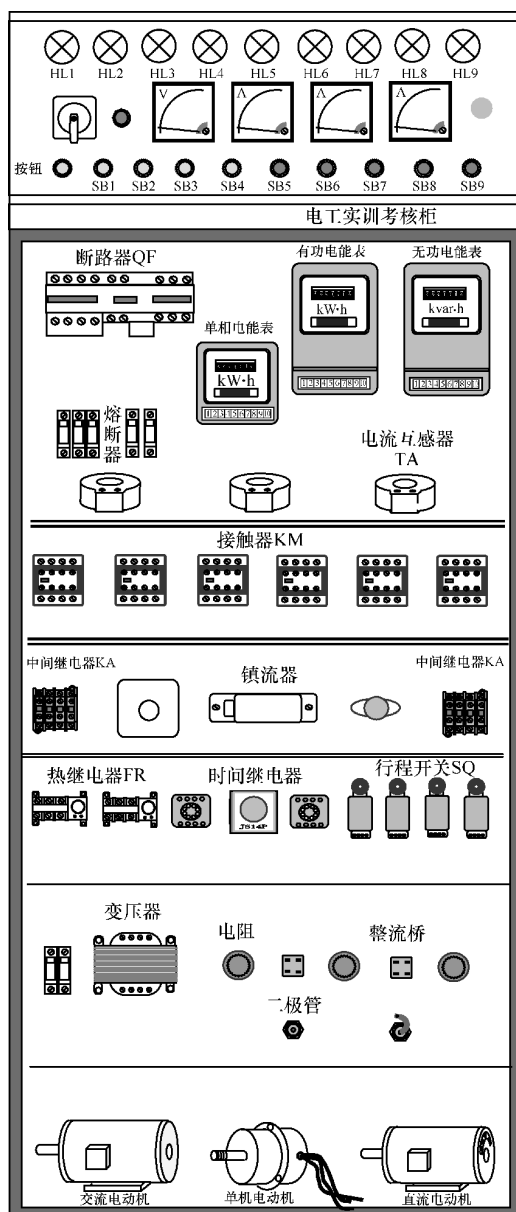


图 5-1 电气控制柜的结构组成



4. 电气控制电路的接线方法

本节将以电路图 5-2 为例，讲述电气控制电路的接线方法。电气控制柜以图 5-1 为例。

1) 将检测合格的元器件，分别按图 5-2 中的元器件符号进行标注。

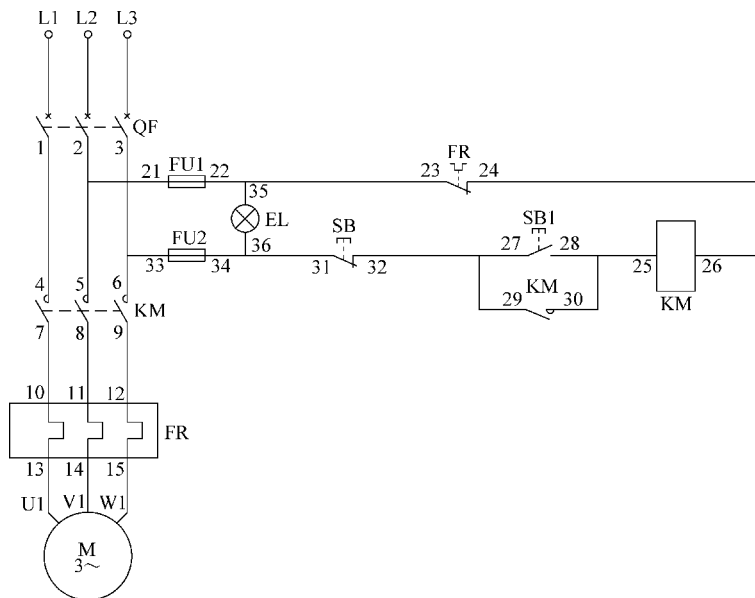


图 5-2 三相异步电动机单向连续运行控制电路

2) 将标注后的各个元器件的端子号码标注在电路图中。端子的左（或上）侧标注单数号码，端子的右（或下）侧标注双数号码。电路接线示意图如图 5-3 所示。

完成上述两步工作后，就是整个电气控制电路接线的依据，用导线将电路中各个元器件的不同号码的端子连接起来（如图 5-2 中的 2 与 21、22 与 35、35 与 23……）。使较复杂的线路接线变得简单，从而最大限度地避免了接错线路。

若图中端子号与实际元器件端子号不同，可对电路图中的每段连线加以线号的标注，然后按顺序连接各段导线，如图 5-3 所示，即 1 号线、2 号线、3、…，连接后加以记录。

5. 电气控制电路的线路检查

电路接线如图 5-3 所示，接完后进行以下检查。

1) 主电路的检查 将万用表拨到 $R \times 1$ 挡（数字式万用表的 200Ω 电阻挡），检查主电路时均置于该位置。

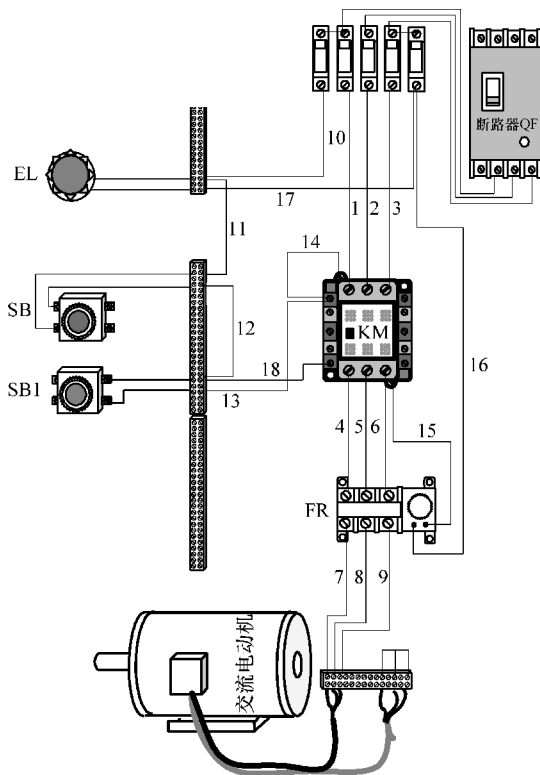


图 5-3 三相异步电动机电路接线示意图



①将表笔放在图 5-2 中的 1、2 处，按压 KM 的衔铁按键，人为使 KM 吸合，此时万用表的读数应为电动机两绕组的串联电阻值（设电动机为 Y 联结）。

②将表笔放在图 5-2 中的 1、3 处，按压 KM 的衔铁按键，万用表的读数同上。

③将表笔放在图 5-2 中的 2、3 处，按压 KM 的衔铁按键，万用表的读数同上。

2) 控制电路的检查 将万用表打到 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 挡或数字式万用表的 $2k\Omega$ 挡（检查控制电路时均置于该位置），取下 FU1，将表笔放在图 5-2 中的 3、22 处。

①此时万用表的读数应为无穷大，按下 SB1，读数应为线圈 KM 的电阻值。

②按下 KM，万用表读数应为 KM 线圈的电阻值，再同时按 SB，读数则变为无穷大。

6. 电气控制电路的通电试验

1) 安装上 FU1，合上 QF，接通电源，则指示灯 EL 亮。

2) 按一下起动按钮 SB1，接触器 KM 得电吸合，电动机连续运转。

3) 按一下停止按钮 SB，接触器 KM 失电断开，电动机停转。

4) 断开 QF，电源指示灯 EL 灭。

上述检查正确后，必须在教师的监护下通电试车。

7. 电气控制电路的故障及排除

1) 合上 QF 后，烧熔断器或断路器跳闸，则可能存在以下故障。

①指示灯被短接。

②KM 的线圈和 SB1 同时被短接。

③主电路可能有短路（可能发生 QF 到 KM 主触头这一段电路）。

2) 合上 QF 后，若指示灯不亮，则需检查：

①熔断器是否熔断？

②电源是否断相？

③接线是否有误？（尤其是电源至控制电路部分必须仔细检查）？

④指示灯本身是否损坏？

3) 合上 QF 后，若指示灯亮，电动机马上运转，则可能是：

①SB1 起动按钮被短接。

②KM 辅助常开触头错接成常闭触头。

4) 合上 QF 后，指示灯亮，但按下 SB1 时，烧熔丝或断路器跳闸，则可能是：

①KM 的线圈被短接。

②主电路可能有短路（KM 主触头至电动机部分）。

5) 合上 QF 后，指示灯亮，按下 SB1，KM 不动作，电动机也不转动，则可能是：

①SB 不能闭合，或接成常开触头。

②FR 的辅助常闭触头断开或错接成常开触头。

③KM 线圈未接上，或线圈坏，未形成回路。

④控制电路部分接线有误。

6) 合上 QF 后，指示灯亮，按下 SB1，若 KM 接触器能吸合，但电动机不转动，则可能是：

①电动机星形（Y）联结的中性点未接好。

②电源断相（有嗡嗡声）。

- ③主电路有接线错误。
- 7) 合上 QF 后，指示灯亮，若按下 SB1，电动机只能点动运转，则可能是：
 - ①KM 的自锁触头未接好。
 - ②KM 的自锁触头损坏。

5.2 电力拖动控制电路安装实训

实训 10 多地控制与测量

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 通过识读电路图分析多地控制电路的动作原理。
- 3) 掌握电路中各种故障的检查思路，能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-1。

表 5-1 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	三相异步电动机 (Y-112-4 型、4kW)	1 台
		漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	1 个
		交流接触器 (额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V)	3 个
		热继电器 (额定电流为 40A、整定电流为 8.8A)	1 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
		时间继电器 (线圈额定电压为 380V、延时闭合与延时断开触头各 1 对)	1 个
		按钮 (1 对常开、1 对常闭)	3 个
		指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

识读电路图并分析其工作 (动作) 原理，如图 5-4 所示。

(1) 电路通电

合上断路器 QF → 电源指示灯 EL1 亮

(2) 电路起动操作过程

按下 SB3 (或 SB4) → KM 线圈吸合

- KM 主触头闭合 → 电动机起动运行
- KM 常开辅助触头闭合自锁
- KM 另一常开辅助触头闭合 → 指示灯 EL2 点亮
- KM 常闭辅助触头断开 → 指示灯 EL1 熄灭

(3) 电路停止操作过程

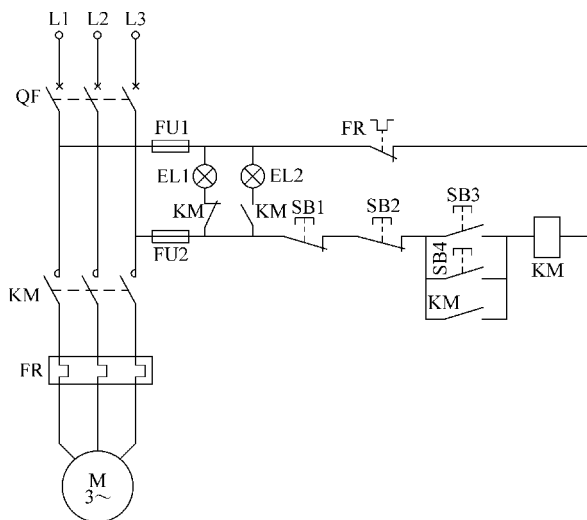
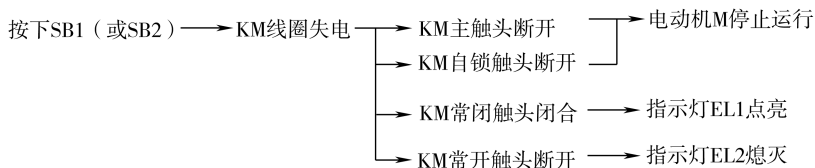


图 5-4 多地控制与测量电路原理图

注：EL1 为电源指示灯，EL2 为运行指示灯。



(4) 电路断电

断开断路器QF → 电源指示灯EL1熄灭

多地控制实际应用示意图如图 5-5 所示：当甲地按下起动按钮 SB3 或乙地按下 SB4 后，KM 吸合，电动机起动；这时甲乙两地运行指示灯 EL2 亮。当要求电动机停止时，甲地可以按下 SB1 或乙地按下 SB2 电动机都可以停止；停止后甲乙两地停止指示灯 EL1 亮。

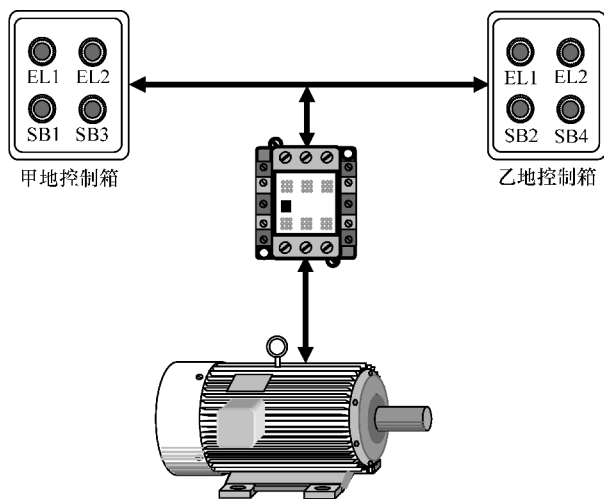


图 5-5 多地控制实际应用示意图

注：甲地 EL1 与乙地 EL1 为并联关系；甲地 EL2 与乙地 EL2 也为并联关系。



所谓多地控制就是将所有的停止按钮串联使用，所有的起动按钮并联即可。

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查

1) 按钮常闭触头的检查方法。例如，当选定一个红色按钮作为 SB1，使用的是它的常闭触头，这时将万用表置于 $R \times 1$ 挡，将两表笔接在 SB1 的常闭触头的两端，这时万用表的指示电阻为零，当按下 SB1 时，应该显示电阻为无穷大，如果测量结果不对，则电路存在故障。用以上方法检测所有要用到的常闭触头。

2) 按钮常开触头的检查方法。例如，当选定一个绿色按钮作为 SB3，使用的是它的常开触头，这时将万用表置于 $R \times 1$ 挡，将两表笔接在 SB3 的常开触头的两端，这时万用表的指示电阻为无穷大，当按下 SB3 时，应该显示电阻为零，如果不是，则电路存在故障。用以上方法检测所有要用到的常开触头。

3) 接触器的检查方法对于如图 5-6 所示的接触器，主触头和常开、常闭辅助触头都可以使用以上的方法检测其好坏。但是接触器还需要检查其线圈是否能正常工作。具体方法是：用万用表的 $R \times 100$ 挡测量接触器两个线圈接线端 A1 和 A2 之间的电阻，阻值应为 1600Ω 左右。若电阻为零或无穷大，都表明接触器已损坏。

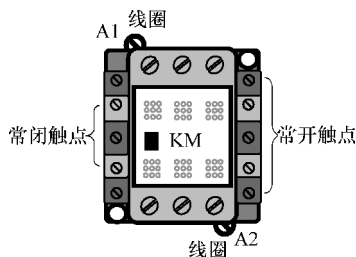


图 5-6 接触器

(2) 线路的连接 线路的连接方法如图 5-7 所示，从断路器 QF 下方 W 相接熔断器 FU2，FU2 的出线端接常闭按钮 SB1，SB1 的出线端接常闭按钮 SB2，SB2 的出线端接常开按钮 SB3，SB3 的出线端接至接触器线圈 KM，KM 的出线端接热继电器 FR 常闭触头，FR 的出线端接至熔断器 FU1，FU1 的出线端接 U 相，将常开按钮 SB4 并联在常开按钮 SB3 两端；将接触器常开触头 KM 并联在常开按钮 SB4 两端；从 FU2 的出线端接接触器 KM 常闭触头，KM 常闭触头出线端接 EL1（指示灯），EL1 的出线端接 FU1 进线端；从接触器 KM 常闭触头的进线端接 KM 的常开触头，KM 常开触头出线端接 EL2（指示灯），EL2 的出线端接 EL1 的出线端。

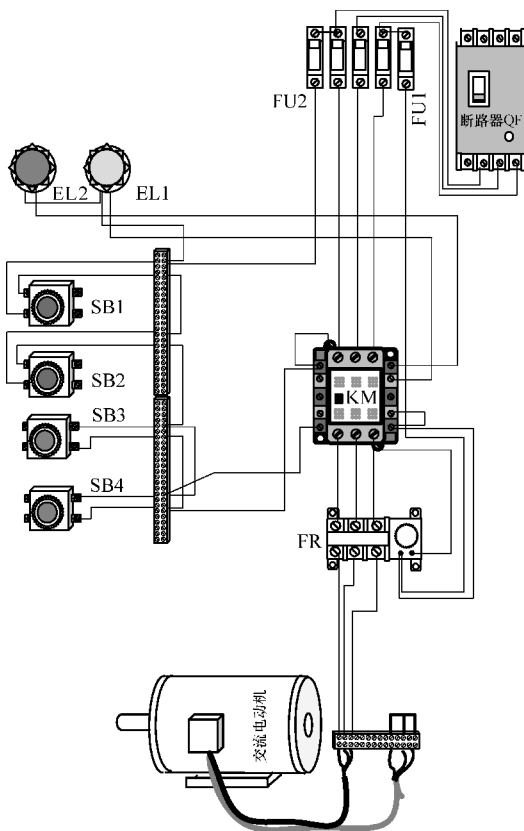


图 5-7 多地控制电路接线示意图

(3) 控制电路的检查（断电） 在断开电源的情况下，用万用表的欧姆挡（指针式万用表宜用 $R \times 100$ 挡，数字式万用表宜用 $2k$ 挡位）检查控制电路。将表笔放置在 FU1 和 FU2 的出线端，松开一个熔断器，按下按钮 SB3，阻值应为接触器线圈的阻值；按下按钮 SB4，阻值应为接触器线圈的阻值；按下 KM，阻值应为接触器线圈的阻值。



(4) 通电试车。

5. 操作技能比例要求（训练时间 90min）

(1) 元器件选择（10%）

一定要按图选择及检查元器件，如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 接线工艺（15%）

此项比例以三个等级评定：A 级为 15%；B 级为 10%；C 级为 5%。

(3) 通电试车（50%）

只允许通电试车两次，得到教师许可后才可通电试车。

1) 第一次通电成功得 50%。

2) 第二次通电成功得 25%。

3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(4) 指示电路（10%）

1) 通电成功后电源指示 4%。

2) 运行指示正确 6%。

3) 无指示此项失误。

(5) 电气测量（15%）

按照表格要求测量数据，并填入表 5-2 中。

表 5-2 测量数据

序 号	测 量 内 容		测 量 结 果
1	电动机绝缘电阻（5%）	绕组对地/ Ω	
2	电动机电压（试车成功后测量有效）（10%）	线电压/V	
		相电压/V	

实训 11 手动顺序控制与测量

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 通过识读电路图分析手动顺序控制电路的动作原理。
- 3) 掌握电流互感器和电压转换开关的使用方法和接线方法。
- 4) 掌握电路中各种故障的检查思路，能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-3。

表 5-3 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	三相异步电动机（Y-112-4 型、4kW）	2 台
		漏电断路器（动作电流小于 30mA、额定电流为 25A）	1 个
		交流接触器（额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V）	2 个



(续)

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装相应低压电 器及接线端子) 1 台	热继电器 (额定电流为 40A、整定电流为 8.8A)	2 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
		电流互感器 30/5	3 个
		电流表	3 个
		电压表	1 个
		电压转换开关 SVP	1 个
		按钮 (1 对常开、1 对常闭)	4 个
		指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

识读电路图并分析其工作（动作）原理，如图 5-8 所示。

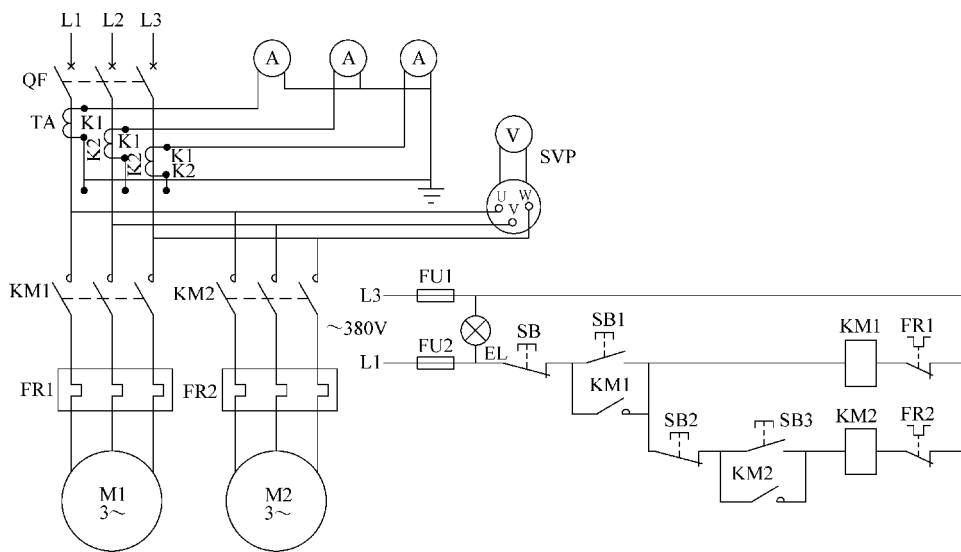


图 5-8 手动顺序控制与测量电路原理图

(1) 电路通电

合上断路器QF $\longrightarrow$ 电源指示灯EL亮

(2) M1、M2 电动机顺序启动

按下SB1 → KM1线圈
得电

KM1主触头闭合

KM1自锁触头闭合自锁

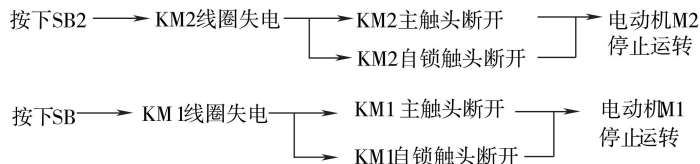
电动机M1起
动连续运转

按下SB3 → KM2线圈得电

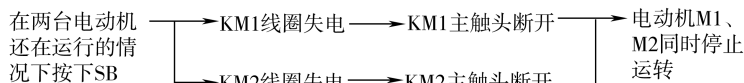
KM2主触头闭合
KM2自锁触头闭合自锁

电动机M2启动连续运转

(3) 电动机 M2、M1 顺序停止



(4) 电动机 M1、M2 同时停止



由以上分析可知，电路的动作特点是：起动时，只有 M1 起动后 M2 才能起动。这是因为只有 KM1 吸合后其辅助常开触头闭合后接通 KM2 的控制回路，KM2 才能吸合。停止时，M1、M2 可同时停止，M2 也可单独停止。

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查。开关和接触器的检查方法在前面实训过程中已经介绍过，这里要求掌握基本测量方法。

1) 交流电流表的检查：图 5-9a 是电流表的外形，电路符号为Ⓐ，它必须串联在被测量电路中。它的内电阻很小，一般接近于零。电流表的测量范围一般为 0 ~ 5A 等，在测量大电流时，都要配合分流电阻或电流互感器使用。

2) 交流电压表的检查：图 5-9b 是电压表的外形，电路符号为Ⓥ，电压表必须并联在被测电路中。它的内电阻很大，通常为数千欧或几兆欧。



图 5-9 电流表和电压表的外形

a) 电流表 b) 电压表

3) 电压转换开关 SVP：又叫做组合开关或万能转换开关，它可以用于接通或分断相关电路，本电路的要求是测量线电压，即 U_{UV} 、 U_{VW} 、 U_{WU} 。

4) 电流互感器：如图 5-10 所示，它是一种特殊的电磁变换器件。它也有两个绕组和铁心，但它本身不一定带一次绕组，它的一次绕组是一次回路的导线，为一匝或几匝，而二次

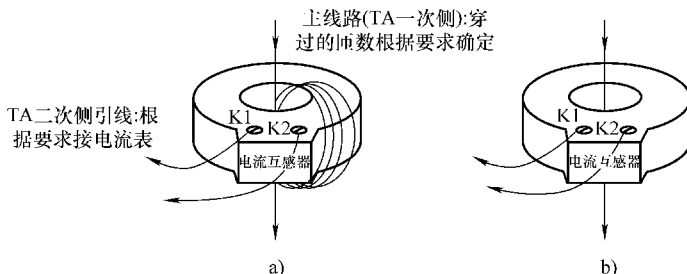


图 5-10 电流互感器



绕组匝数较多,在互感器的内部,可以将一次回路的大电流变为二次回路的标准小电流(5A或1A),与电流表串联一起使用。

使用时,除了要检查电流互感器的外观,还要用万用表测量它的二次绕组的电阻值(其电阻值很小,一般零点几欧),检查二次绕组是否有断路。电流互感器一般要根据其铭牌和实际情况接线。

通过铭牌上的标识判断电流互感器的电流比。如电流互感器的铭牌上标有电流比,如表5-4所示。“电流比150/5”,即:一次侧绕了3匝,则电流互感器的电流比 $K_i = 50/5 = 10$;如果一次侧绕穿1匝,则电流互感器的电比 $K_i = 150/5 = 30$;如果一次侧绕了2匝,则电流互感器的电流比 $K_i = 75/5 = 15$ 。

实际使用时,一次侧穿的匝数要根据电流表盘的量程来确定匝数;电能表使用电流互感器,穿过的匝数确定了变比 K_i ,电能表的读数乘以 K_i 才是实际的耗电量。

表 5-4 电流互感器的电流比

电 流 比	150/5	75/5	50/5	40/5	30/5
一次卷绕匝数	1	2	3	4	5

注:1. 电流互感器的铁心和二次绕组的一端要接地。

2. 电流互感器的二次侧绝对不允许开路。

(2) 线路的连接

1) 先接主线路,如图5-11所示,在确认断路器QF断开的情况下,将U、V、W三电源线路穿过各相电流互感器(穿过电流互感器时绕多少圈根据电流比来定)接到接触器KM1的主触头进线端,KM1主触头出线端接热继电器FR1的主触头进线端,FR1主触头出线端接三相交流电动机M1。同样按照原理图接好KM2、FR2、M2。

2) 将万用表置于 $R \times 1$ 挡,将红表笔接在U相的QF出线端,黑表笔接在U相电动机M1进线端,此时按下KM1中间的突出测试按钮,结果应该是万用表显示电阻为零。如果显示电阻为无穷大,则表明两表笔之间有开路,这时需要查找两表笔之间的故障。

3) 将万用表置于 $R \times 1$ 挡,将红表笔接在U相的QF出线端,黑表笔接在U相电机进线端,此时按下KM2中间的突出测试按钮,结果应该是万用表显示电阻为零。如果显示电阻为无穷大,则表明两表笔之间有开路,这时需要查找两表笔之间的故障。

4) 接好主线路后开始接控制电路。即从QF下方U相出发接至FU2进线端,从FU2出线端接至SB常闭触头进线端,从SB出线端接至SB1常开触头进线端,从SB1出线端接至KM1线圈进线端,从KM1线圈出线端接至热继电器常闭触头FR1;将KM1常开并联在常开SB1两端(自锁)。从SB1出线端接至SB2常闭触头进线端,从SB2出线端接至SB3常开触头进线端,从SB3出线端接至KM2进线端,从KM2线圈出线接至热继电器常闭触头FR2;将KM2常开触头并联在SB3两端(自锁)。合并FR1与FR2的出线端接至FU1→从FU1出线端接至QF下方W相,最后接指示灯。

5) 连接电压转换开关。电压转换开关要根据控制转换要求及触头转换分布图来使用,例如转换开关采用LW5—16 YH3/3型万能转换开关,共有6对触头,分上下两层,位置为4个,在零位时,开关处于断开,在其他位置时,上层和下层各有一对错开闭合。

例如:在位置1时,1-2,7-8通;在位置2时,5-6,11-12通;在位置3时,9-10,3-4

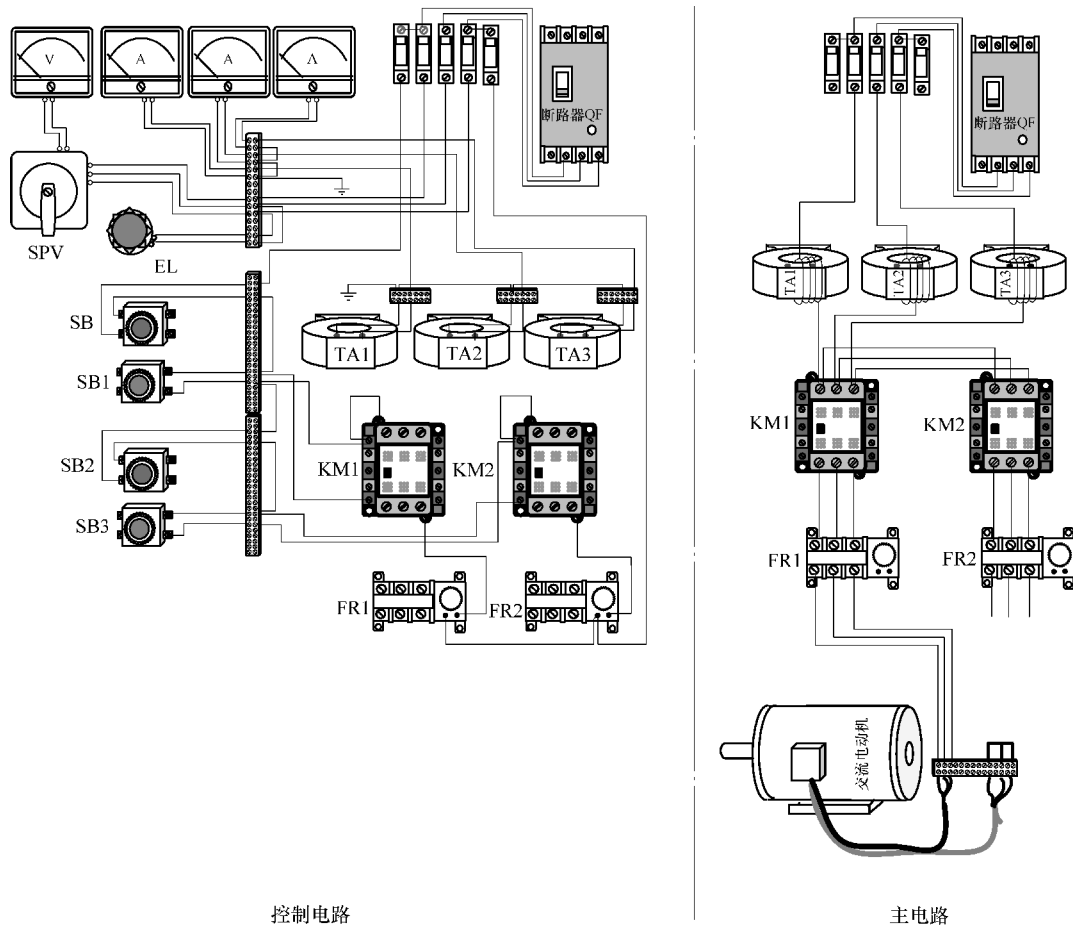


图 5-11 手动顺序控制与测量接线示意图

通。测线电压时，单数上下相连，即 1-3，5-7，9-11 相连，对其加三相电源；双数 2、6、10 短接，4、8、12 短接，接到电压表两端。

(3) 控制电路的检查（断电）

- 1) 选好欧姆挡，将万用表的表笔放置 U、W，按下 SB1，电阻为 KM1 线圈电阻。
- 2) 测量 SB3 两端，其电阻值为 KM1 与 KM2 的串联值。

(4) 通电试车 经上述检查无误后，可在教师监护下通电试车。

- 1) 电路送电。合上 QF，电源指示灯 EL 亮，供电正常。
- 2) 按下 SB1，电动机 M1 起动连续运转。
- 3) 按下 SB3，电动机 M2 起动连续运转。
- 4) 按下 SB，电动机 M1 和 M2 停转。若在按下 SB 之前按下 SB2，电动机 M2 停转。

5. 技能操作比例要求（训练时间 120min）

(1) 元器件选择（10%）

一定要按图选择及检查元器件，如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 接线工艺（15%）

此项得分以三个等级评定：A 级为 15%，B 级为 10%，C 级为 5%。



(3) 通电试车 (40%)

只允许通电试车两次, 得到教师许可后:

- 1) 第一次通电成功得 40%。
- 2) 第二次通电成功得 20%。
- 3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(4) 电流表的接线 (10%)

通电试车成功后, 指示正确得 10%, 错接或通电试车不成功不得分。

(5) 电压表的接线 (10%)

通电试车成功后, 指示正确得 10%, 错接或通电试车不成功不得分。

(6) 电气测量 (15%)

按照表格要求测量数据, 并填入表 5-5 中。

表 5-5 测量数据

序 号	测 量 内 容		测 量 结 果
1	接触器线圈电阻 (2%)		
2	电动机绝缘电阻 (5%)	(绕组对地)	
3	电动机电压 (试车成功后测量有效) (8%)	线电压	
		相电压	

6. 故障分析和排除

1) 电动机运转不正常, 如很慢、抖动、声音沉重或不转, 说明可能断相或电动机有故障, 这时就应查找主电路和检测电动机。

2) 如果按下 SB1 时 KM1 不吸合, 应检查熔断器, 如果熔断器正常, 在断电的情况下检查控制电路, 以确定故障位置。

思考与复习



- 1) 若电动机 M2 为点动, 是什么原因造成的?
- 2) 若将 SB2 进线端误接到 SB 的出线端能否起到顺序控制作用?
- 3) 若误将 SB3 接成常闭按钮, 会出现什么现象?

实训 12 自动顺序控制与测量

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 通过识读电路图熟练分析自动顺序控制电路的动作原理。
- 3) 熟练掌握时间继电器的使用方法和接线方法。
- 4) 熟练掌握各种电工仪表的正确使用方法。
- 5) 掌握电路中各种故障的检查思路, 能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-6。



表 5-6 实训设备及器材清单

序 号	器 材	数 量
1	电力拖动实训柜（已安装相应低压电器及接线端子）1 台	三相异步电动机（Y-112-4 型、4kW）
		漏电断路器（动作电流小于 30mA、额定电流为 25A）
		交流接触器（额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V）
		热继电器（额定电流为 40A、整定电流为 8.8A）
		熔断器（控制电路用可 1~5A）
		时间继电器（线圈额定电压为 380V、延时闭合与延时断开触头各 1 对）
		按钮（1 对常开、1 对常闭）
		指示灯（额定电压为 380V）
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线

3. 识读电路图

识读电路图，并分析其工作（动作）原理，如图 5-12 所示。

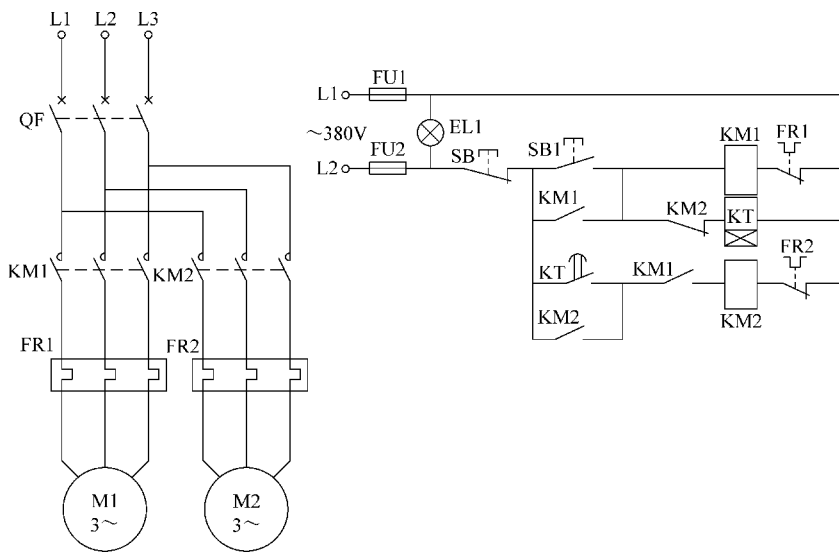
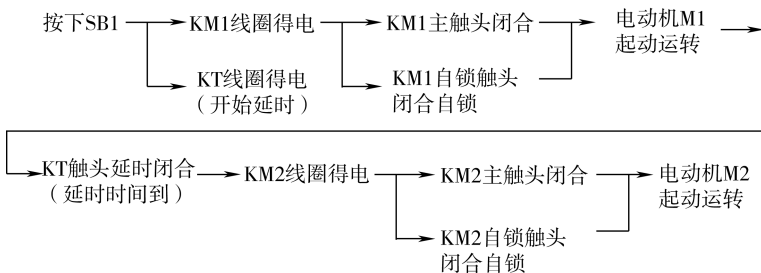


图 5-12 自动顺序控制与测量电路原理图

(1) 电路通电

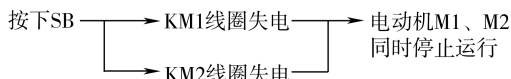
合上断路器 QF → 电源指示灯 EL 亮

(2) 电动机 M1 和电动机 M2 顺序起动操作





(3) 电动机停止操作



(4) 线路断电

断开断路器QF → 电源指示灯EL1灭

由以上分析可知，电路的动作特点是：起动时，电动机 M1、M2 顺序起动，其顺序起动间隔时间由时间继电器决定。停止时，M1、M2 同时停止运行。

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查 从控制柜中选出所需的电路元器件，并分别检查与测量其好坏。

时间继电器 KT 是利用电磁原理、机械动作、电子延时电路原理来实现触头延时（或瞬时）接通或断开的器件。按其动作原理和构造的不同，常用的有空气阻尼式和晶体管式两种，如图 5-13 所示。

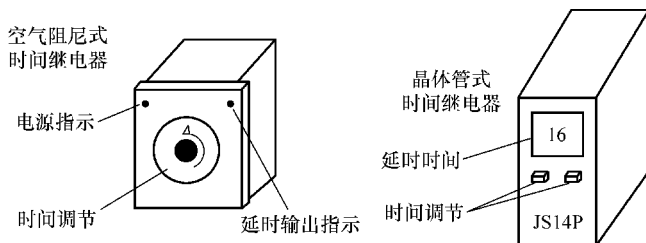


图 5-13 时间继电器的外形

时间继电器有通电延时和断电延时两种类型。通电延时型时间继电器的动作原理是：线圈通电时使触头延时动作，线圈断电时触头瞬时复位。断电延时型时间继电器的动作原理则与通电延时型时间继电器相反：线圈通电时使触头瞬时动作，线圈断电时触头延时复位。JS14P 型时间继电器的图形符号如图 5-14 所示，时间继电器文字符号为 KT。

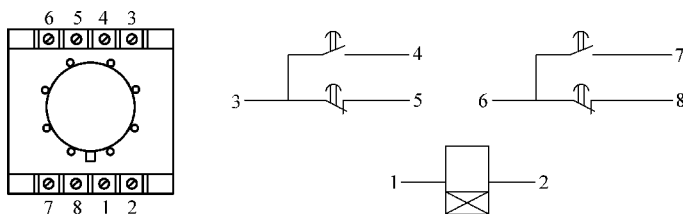


图 5-14 JS14P 型时间继电器端对应的触头符号

(1—2)—时间继电器线圈 (3—4)—延时闭合常开触头 (3—5)—延时断开常闭触头
(6—7)—延时闭合常开触头 (6—8)—延时断开常闭触头

(2) 线路的连接 如图 5-12 所示，先接主电路。在确认断路器 QF 断开的情况下，将 U、V、W 接到接触器 KM1 的主触头进线端，KM1 主触头出线端接热继电器 FR1 的主触头进线端，FR1 主触头出线端接三相交流电动机 M1。同样按照原理图接好 KM2、FR2、M2。连接好的电路如图 5-15 所示。



(3) 保证接好主电路后开始接控制电路 选定所有需要用到的电路元器件，找到各元器件需要用到的常开和常闭触头，并检查各个触头是否正常。检查方法同前面所讲；然后按照从左至右，从上至下的顺序进行控制电路的接线。

对于时间继电器的连接，不同型号的时间继电器的引脚可能有差别，一般都会把引脚图印制在时间继电器的外壳上，在接线时根据引脚图接线。

(4) 控制电路的检查（断电） 选好欧姆挡，将万用表的表笔放置 U、W，按下 SB1，电阻为 KM1 线圈电阻。测量 KM1 两常开触头下端，其电阻值为 KM1 线圈与 KT 线圈的并联再与 KM2 线圈串联的阻值。

(5) 通电试车 经上述检查无误后，可通电试车。

1) 电路送电。合上 QF，电源指示灯 EL 亮。

2) 按下 SB1，电动机 M1 起动连续运转。

3) 时间继电器通电并开始延时（指示灯亮），延时时间到，电动机 M2 起动连续运转。

4) 按下 SB，电动机 M1，M2 同时停止运行。

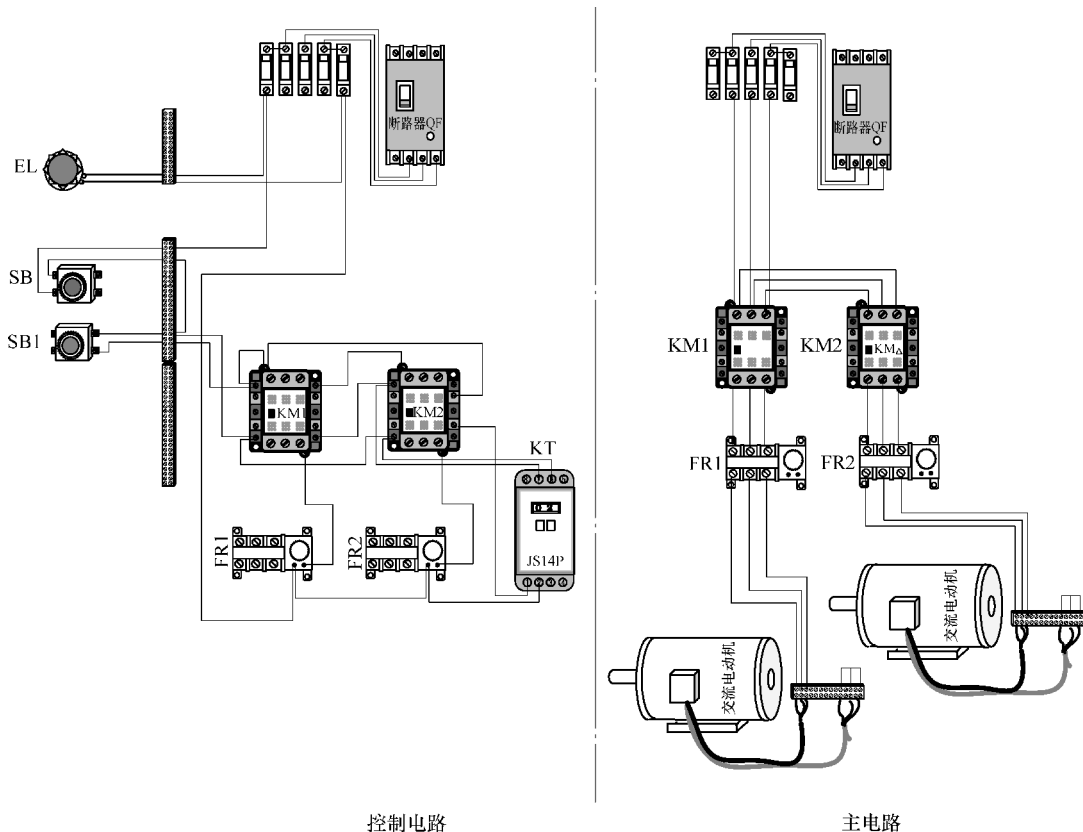


图 5-15 自动顺序控制与测量电路接线示意图

5. 技能操作比例要求（训练时间 120min）

(1) 元器件选择（10%）

一定要按图选择及检查元器件，如发现元器件损坏务必及时更换。



(2) 接线工艺 (15%)

此项得分以三个等级评定：A 级为 15%，B 级为 10%，C 级为 5%。

(3) 通电试车 (50%)

只允许通电试车两次，得到教师许可后：

- 1) 第一次通电成功得 50%。
- 2) 第二次通电成功得 25%。
- 3) 第二次通电不成功或放弃者同等

(4) 电气测量 (25%)

按照表格要求测量数据，并填入表 5-7 中。

表 5-7 测量数据

序 号	测 量 内 容	测 量 结 果
1	时间继电器线圈电阻 (4%)	
2	找出电动机同相绕组 (6%)	
3	电动机首末端的判别 (15%) (首端或末端编号)	

6. 故障分析和排除

1) 如果电动机为点动 (按下起动按钮相应接触器吸合，电动机起动，但是松开按钮电动机就停转)，说明控制电路没有自锁，应检查自锁电路。

2) 如果 KM1 起动后很久 KM2 仍然不起动，可以检查 KT 是不是设定时间太长，如果设定时间合适但 KM2 不起动，首先检查 KT 的延时闭合触头是否动作。然后检查 KM1 的常开触点是否闭合等。

3) 电动机运转不正常，如很慢、抖动、声音沉重或不转，说明可能断相或电动机有故障，这时就应查找主电路和检测电动机。

4) 如果按下 SB1 时 KM1 不吸合，应检查熔断器，如果熔断器正常，在断电的情况下检查控制电路，以确定故障位置。

实训 13 正反转控制与测量

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 熟练掌握电动机正反转起动的接线方法。
- 3) 掌握有功功率电能表的绘制和接线方法。
- 4) 掌握电路中各种故障的检查思路，能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-8。

3. 识读电路图

识读电路图，并分析其工作 (动作) 原理，如图 5-16 所示。

表 5-8 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜（已安装相应低压电器及接线端子）1 台	三相异步电动机（Y-112-4 型、4kW）	2 台
		漏电断路器（动作电流小于 30mA、额定电流为 25A）	1 个
		交流接触器（额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V）	2 个
		热继电器（额定电流为 40A、整定电流为 8.8A）	2 个
		熔断器（控制电路用可 1~5A）	5 个
		三相有功功率表	1 个
		电流互感器	3 个
		按钮（1 对常开、1 对常闭）	2 个
		指示灯（额定电压为 380V）	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

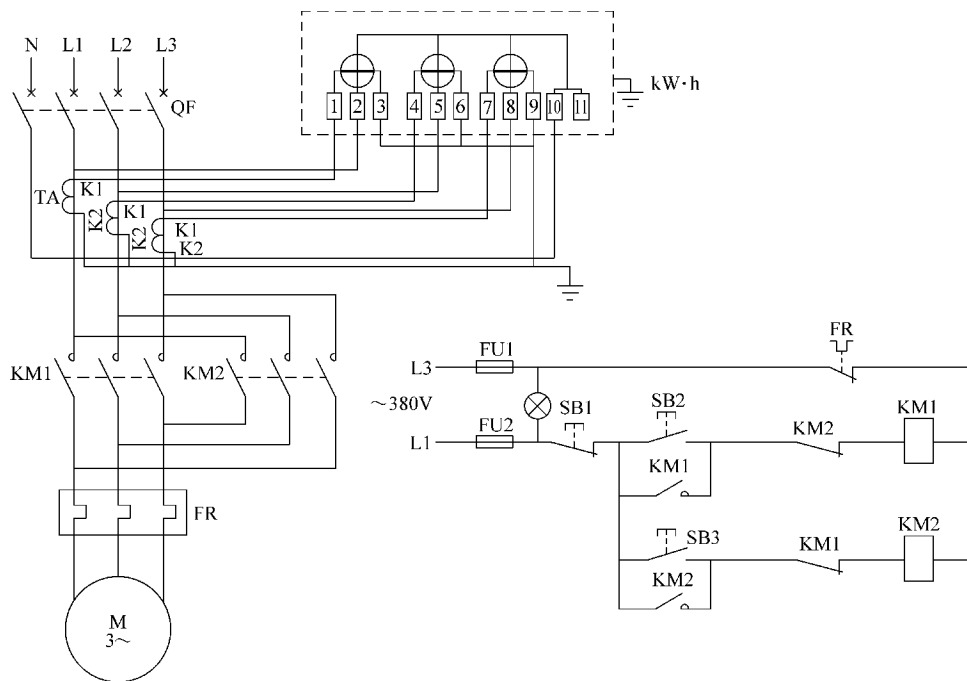


图 5-16 正反转控制与测量电路原理图

(1) 电路通电

合上断路器QF $\longrightarrow$ 电源指示灯EL亮

(2) 电动机正转起动

按下SB2 → KM1线圈得电 → {
→ KM1主触头闭合
→ KM1自锁触头闭合自锁 } → 电动机M起
动正向运转

(3) 电动机反转起动

按下SB3 → KM2线圈得电 → { KM2主触头闭合
KM2常开触头闭合自锁 } → 电动机M起
动反向运转



(4) 电动机 M 停止运行

按下SB1——→电动机M停止运行

断开断路器QF——→电源指示灯EL灭

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查 电能表分为有功、无功电能表。通常使用的是有功电能表，用来测量某一段时间内所消耗的有功功率。在低电压大电流线路中，电流较大时，有功电能表要配电流互感器使用，电能表的电流线圈要接到电流互感器的二次侧 K1、K2 端，电能表的电压线圈与负载并联，电能表除了外表检查外，还必须用万用表检查其电流线圈和电压线圈，如图 5-16 所示。其中 1 和 3、4 和 6、7 和 9 都是电流线圈接线端，其电阻一般很小，接近于零，2、5、8 均为电压线圈接线端，10 (0) 是电压线圈的公共端，其阻值较大，一般为几百欧或上千欧。

(2) 线路的连接

1) 参照图 5-17，连接主电路。在确认断路器 QF 断开的情况下，将 U、V、W 三相穿过各相电流互感器接到接触器 KM1 的主触头进线端（穿过电流互感器时绕多少圈根据电流比

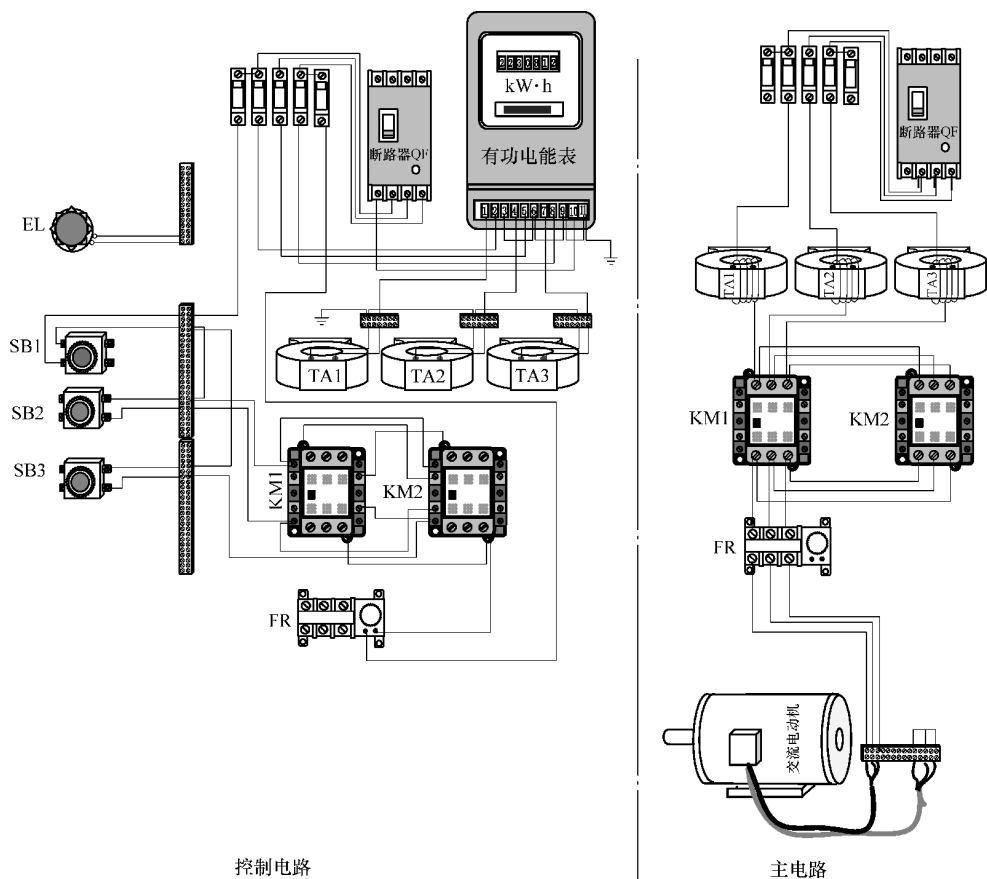


图 5-17 正反转控制与测量电路接线示意图



来定), KM1 主触头出线端接热继电器 FR1 的主触头进线端, FR1 主触头出线端接三相交流电动机 M1。接下来, 按图 5-17 连接 KM2。

2) 正反转接线。从断路器下方引出三条相线分别至 KM1 主触头→从 KM1 主触头出线至热继电器的热元件→从热继电器的热元件出线接电动机 M。

从 KM1 的进线方依次引出三条线至 KM2 主触头 (相序不变, 即 U 对 U, V 对 V, W 对 W 相)→从 KM2 出线引出三条线至 KM1 主触头的出线 (此时注意相序的调整, 只需对调其中两根线即可)。

将万用表置于 $R \times 1$ 挡, 将红表笔接在 U 相的 QF 出线端, 黑表笔接在 M 电动机 U 相进线端, 此时按下 KM1 中间的测试按钮, 结果应该是万用表显示电阻为零。如果显示电阻为无穷大, 则表明两表笔之间有开路, 这时需要查找两表笔之间的故障。

3) 保证接好主电路后开始接控制电路。

4) 电能表与电流互感器的连接。如图 5-18 所示, 1、4、7 分别接 TA1, TA2, TA3 的 K1 端; 2、5、8 分别接对应的三根相线端, 接在断路器下端; 3、6、9 分别接 TA1, TA2, TA3 的 K2 端; 10 端接开关零线 (N); 11 接地; K2 与电能表外壳分别接地。

(3) 控制电路的检查 (断电) 接好所有主电路和控制电路后, 经过检查确认接线无误后, 可进行最后的检查工作。如图 5-19 所示, 将万用表置于 $R \times 100$ 挡, 测量熔断器下端两点间的电阻 (测时取下熔断管)。

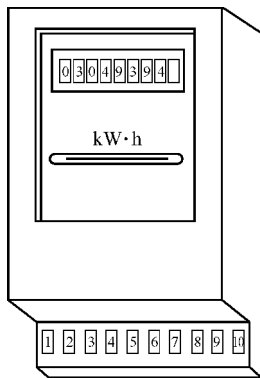


图 5-18 电能表

- 注: 1. 1 和 3—U 相电流线圈; 4 和 6—V 相电流线圈; 7 和 9—W 相电流线圈; 都是与电流互感器相接。
2. 2、5、8 分别接 U、V、W 相线。
3. 10 (0) 接零线 N。

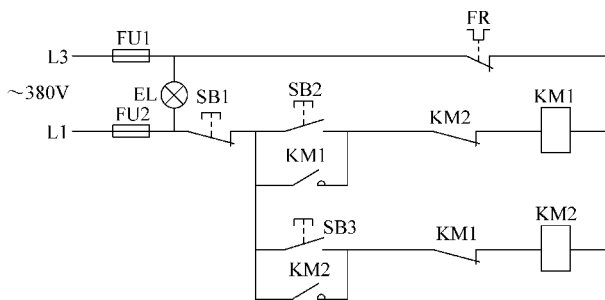


图 5-19 控制电路部分

正常情况下, 按钮按下时显示接触器线圈的阻值。

当按下 SB2 或按下 KM1 测试按钮时, 回路之间接通了 KM1 的线圈, 显示阻值为 KM1 的线圈电阻。

当按住 SB2 同时按下 SB1 或 KM2 的测试按钮, 此时 A 与 B 之间等于开路, 显示阻值无穷大。

如果如上所述,说明 SB1、SB2、KM2 的常闭触头、KM1 的线圈、FR 接线正确。

当按住 SB2 时显示阻值为 KM1 的线圈电阻,同时再按下 SB3,这时显示电阻值会变小,因为阻值为 KM1 和 KM2 两接触器线圈电阻的并联值。

如上所述,说明基本没有问题,装上熔断管可以通电试车。

(4) 通电试车 经上述检查无误后,可在教师监护下通电试车。

1) 电路送电。合上 QF,电源指示灯 EL 亮,供电正常。

2) 按下 SB2,电动机 M 起动连续正转。

3) 按下 SB1,电动机 M 停转。

4) 按下 SB3,电动机 M 起动连续反转。

5) 按下 SB1,电动机 M 停转。

5. 技能操作比例要求 (训练时间 120min)

(1) 元器件选择 (10%)

一定要按图选择及检查元器件,如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 接线工艺 (15%)

此项得分以三个等级评定:A 级为 15%,B 级为 10%,C 级为 5%。

(3) 通电试车 (40%)

只允许通电试车两次,得到教师许可后才能通电试车。

1) 第一次通电成功得 40%。

2) 第二次通电成功得 20%。

3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(4) 电能表的接线 (15%)

通电成功后,指示正确得 15%,电流互感器匝数穿错或电能表接错此项失误。

(5) 电气测量 (20%)

按照表格要求测量数据,并填入表 5-9 中。

表 5-9 测量数据

序 号	测 量 内 容		测 量 结 果
1	互感器实际的匝数 (5%)		
2	电动机绝缘电阻 (5%)	相间绝缘	
3	电能表的读数 (10%)	某有功电能表经电流互感器接入,本月读数: _____ 上月读数: _____, 互感器电流比_____, 实际用电量_____	

注:电能表的读数及电流互感器电流比由考评员现场指定。

6. 故障分析和排除

1) 电动机运转不正常,如很慢、抖动、声音沉重或不转,说明可能断相或电动机有故障。这时就应查找主电路和检测电动机。

2) 如果按下 SB2 时 KM1 不吸合,应检查熔断器,如果熔断器正常,在断电的情况下检查控制电路,查找故障。



- 1) 若电动机运行正常，但电能表转得很慢，是什么原因造成的？
- 2) 若电动机运行正常，但电能表反转，是什么原因造成的？
- 3) 电流互感器的二次侧为什么不允许开路？
- 4) 电流互感器在使用中必须注意哪些问题？
- 5) 电流互感器的电流比在测量中有什么要求？

实训 14 行程及限位控制

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 通过识读电路图分析行程及限位控制电路的动作原理。
- 3) 掌握电路中各种故障的检查思路，能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-10。

表 5-10 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜（已安装下列低压电器及接线端子）1 台	三相异步电动机（Y-112-4 型、4kW）	1 台
		漏电断路器（动作电流小于 30mA、额定电流为 25A）	1 个
		交流接触器（额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V）	2 个
		热继电器（额定电流为 40A、整定电流为 8.8A）	1 个
		熔断器（控制电路用可 1~5A）	5 个
		行程开关	4 个
		按钮（1 对常开、1 对常闭）	2 个
		指示灯（额定电压为 380V）	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

识读电路图，并分析其工作（动作）原理，如图 5-20 所示。工作台行程控制示意图如图 5-21 所示。

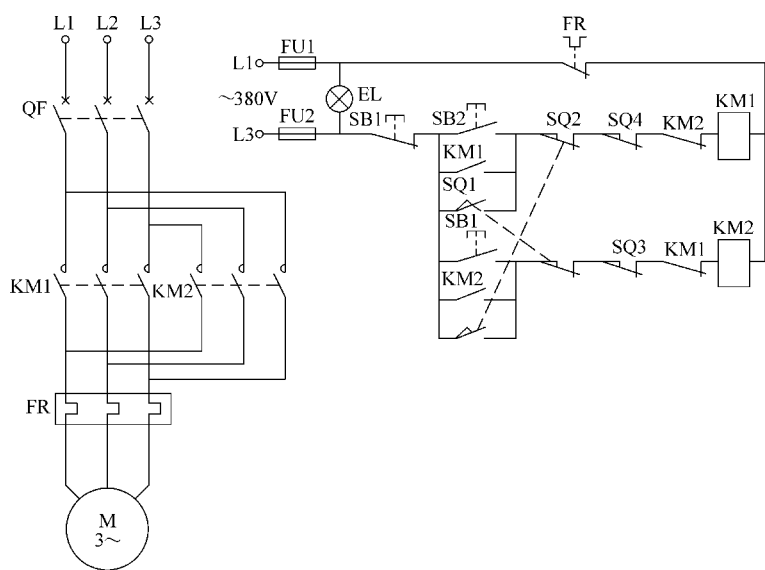


图 5-20 行程及限位控制电路原理图

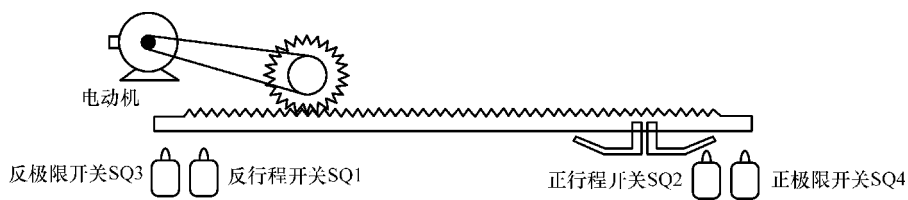


图 5-21 工作台行程控制示意图

(1) 电路通电

合上断路器QF → 电源指示灯EL亮

若需要电动机拖动工作台右移：

按下SB1 → KM1线圈得电 → KM1主触头闭合 → 电动机M正转
→ KM1常开触头闭合自锁 → 工作台右移
→ KM1联锁常闭触头断开

工作台停止右移自动左移：

当工作台右移至限定位置 → 挡块撞动SQ2 →

→ SQ2常闭触头断开 → KM1线圈失电 → KM1主触头断开 → 电动机M正转停止（停止右移）
→ KM1自锁触头断开
→ KM1联锁触头闭合

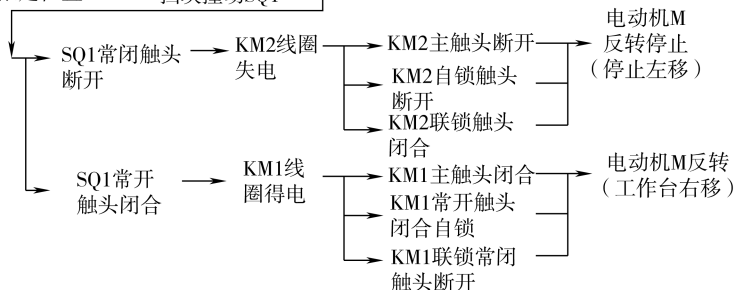
→ SQ2常开触头闭合 → KM2线圈得电 → KM2主触头闭合 → 电动机M反转（工作台左移）
→ KM2常开触头闭合自锁
→ KM2联锁常闭触头断开



工作台停止左移自动右移:

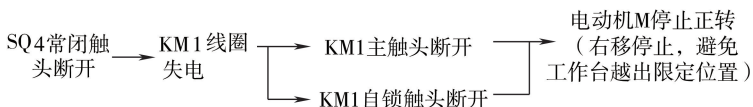
当工作台左移

至限定位置 → 挡块撞动SQ1 →

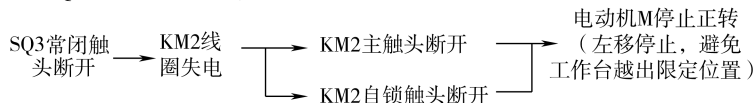


(2) 限位保护

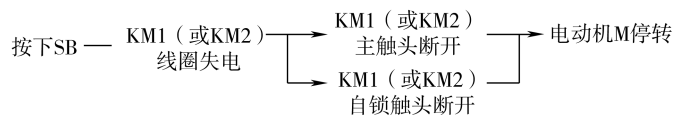
当SQ2出现故障时,工作台继续右移:



当SQ1出现故障时,工作台继续右左移:



(3) 正常停机



(4) 电路断电

断开断路器QF → 电源指示灯EL灭

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查 行程开关又称为限位开关或位置开关。它是一种根据运动部件的行程位置而切换电路工作状态的控制电器。行程开关的动作原理与控制按钮相似,在机床设备中,事先将行程开关根据工艺要求安装在一定的行程位置上,部件在运行中,装在行程开关上面的撞块压下行程开关顶杆,使行程开关的触头动作而实现电路的切换,达到控制运动部件行程位置的目的。行程开关的触头系统有常开触头、常闭触头和复合触头三种,其外形如图 5-22 所示,符号如图 5-23 所示。

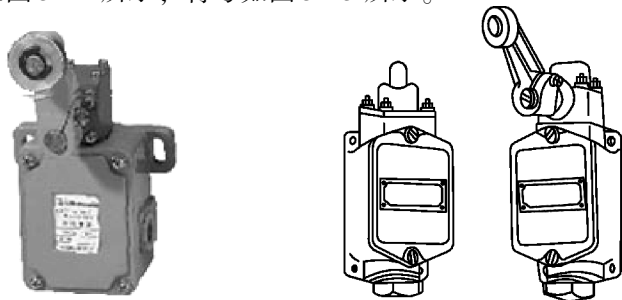


图 5-22 行程开关的外形



图 5-21 中有四个行程开关 SQ1 ~ SQ4。其中, SQ1、SQ2 用作电动机正反转自动往返控制, 即位置开关; SQ3、SQ4 用作故障停机, 即极限开关。位置开关的作用与按钮相同, 就是对控制电路发出接通或断开信号。它们的区别是, 行程开关触头的动作不是靠手指按动来完成的, 而是利用机械的某些运动部件的撞击使其触头动作以接通或断开控制电路, 达到控制主电路和电动机的目的; 而极限开关是当位置开关失灵后为限制工件继续运行而采取的极限保护措施。

(2) 线路的连接 可先接主电路, 参照图 5-24, 主电路的连接与一般的电动机正反转电路连接是同样的, 在前面已经讲过, 这里不再做详细的说明。只是在接线的过程中要注意换相。

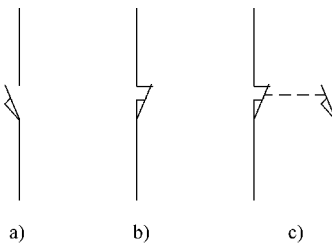


图 5-23 行程开关的符号

a) 常开触头 b) 常闭触头
c) 复合触头

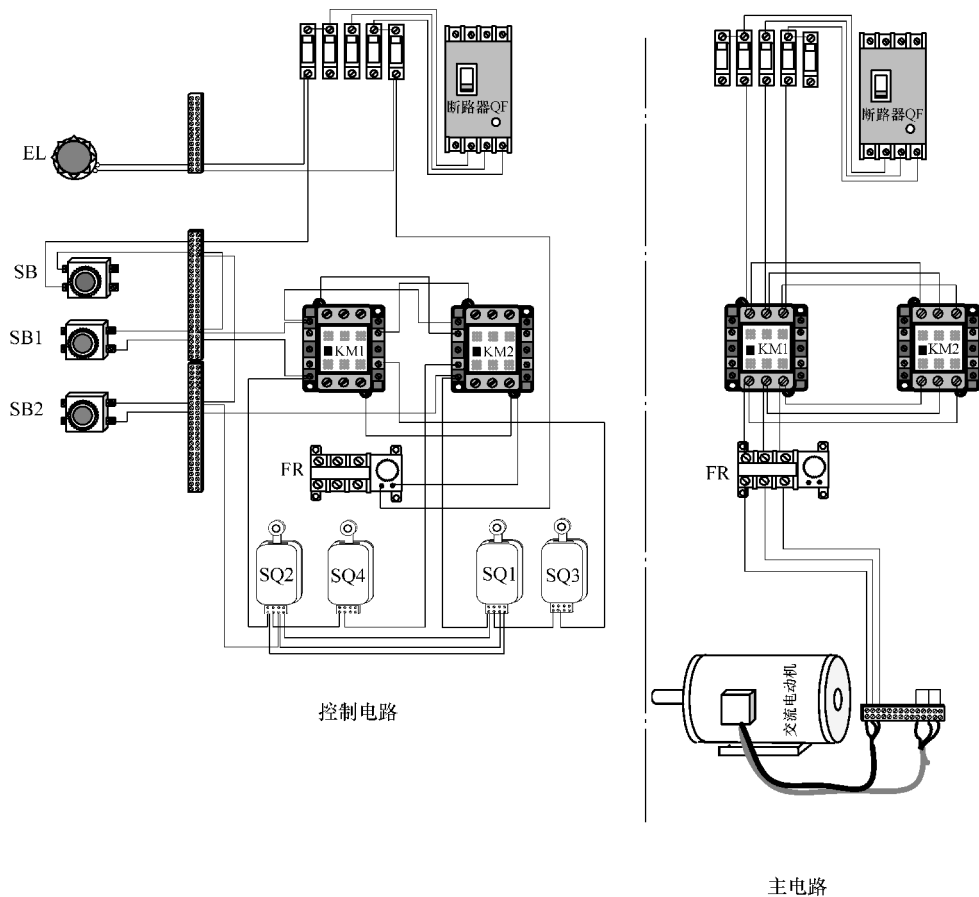


图 5-24 行程及限位控制电路接线示意图

对于控制电路的连接, 从 W 相电源出发接熔断器 FU2 的进线端, FU2 出线端接常闭按钮 SB 进线→SB 的出线端接至常开按钮 SB1→SB1 的出线端接至 SQ2 的常闭 (互锁) 进线→从 SQ2 的常闭出线端, 接 SQ4 的常闭 (限位控制) 进线→从 SQ4 的出线端接接触器 KM2 的常闭 (互锁) 进线→KM2 的常闭出线端, 接至接触器 KM1 线圈, 将 KM1 的辅助常开触头并联按钮 SB1 两端 (自锁); 将 SQ1 的常开触头并联在 KM1 常开两端;



从 SB 的出线端接至常开按钮 SB2→SB2 的出线端接至 SQ1 的常闭触头→SQ1 的常闭触头出线至 SQ3 的常闭（限位控制）→从 SQ3 的出线接至 KM1 常闭触头，再接到 KM2 的线圈，KM2 的常开触头并联在常开按钮 SB2 两端（自锁）；将 SQ2 的常开并联在 KM2 常开两端。

合并线圈 KM1、KM2 的出线接至热继电器 FR 常闭触头，FR 的出线端接至熔断器 FU1→FU1 的进线端接 U 相电源。

（3）控制电路的检查（断电） 用万用表欧姆挡（倍率自选）测量熔断器 FU1 和 FU2 下端两点间的电阻：分别按下 SB1 和 SQ1，若测得电阻为接触器线圈 KM1 的电阻值，说明第一条回路接线正确；再分别按下 SB2 和 SQ2，若测得电阻为接触器线圈 KM2 的电阻值，说明第二条回路接线正确；最后分别手动按下 KM1 和 KM2，同样可测得接触器线圈电阻，若无反应，说明自锁触头未接好。注意：未接电动机或表笔移至熔断器出线，取下一个熔断器，检查完毕，熔断器应复位。

（4）主电路的检查 分别手动按下 KM1 和 KM2，测量断路器 QF 下端（U 与 V，V 与 W，W 与 U）三次电阻阻值应一样，否则电动机断相。注意：此时电动机为星形联结。

（5）通电试车 经上述检查无误后，可在教师监护下通电试车。

- 1) 电路送电。合上 QF，电源指示灯 EL 亮，供电正常。
- 2) 按下 SB1，电动机起动连续正转。
- 3) 按下 SQ2，电动机正转停止，紧接着电动机反转。
- 4) 按下 SQ3，电动机反转停止。
- 5) 按下 SB2，电动机反转。
- 6) 按下 SQ1，电动机反转停止，紧接着电动机正转。
- 7) 按下 SQ4，电动机正转停止。
- 8) 按下 SB2，电动机反转。
- 9) 按下 SB，电动机反转停止。

5. 技能操作比例要求（训练时间 120min）

（1）元器件选择（10%）

一定要按图选择及检查元器件，如发现元器件损坏务必及时更换。

（2）接线工艺（15%）

此项得分以三个等级评定：A 级为 15%，B 级为 10%，C 级为 5%。

（3）通电试车（55%）

只允许通电试车两次，得到教师许可后才能通电试车。

- 1) 第一次通电成功得 55%。
- 2) 第二次通电成功得 30%。
- 3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

（4）电气测量（20%）

按照表格要求测量数据，并填入表 5-11 中。

6. 故障分析和排除

正反行程开关 SQ2、SQ1 出现故障时，运行方向不能切换，触板将触动正向或反向极限开关 SQ4、SQ3 动作，使运行停止。正常工作时不管是正转还是反转，只要按下停止按钮 SB，设备就应停止工作（除设备触板恰好接触到 SQ1 或 SQ2 时按下 SB）。



表 5-11 测量数据

序 号	测量内容		测量结果
1	接触器线圈电阻		
2	电动机绝缘电阻	相间	
3	电动机电流（试车成功后测量有效）	线电流	
		相电流	
		零序电流	

有些设备在检修时如果电动机起动会造成人身伤害，所以通常在设备的盖子或门上装上限位开关，然后在控制电路中串联限位开关的常开触头，这样只要打开了设备盖子或门电动机就无法起动了，只有盖好门常开触头接通控制电路，电动机才能起动，以防造成人身伤害。

思考与复习



- 1) 原理图中 SQ3 和 SQ4 的常闭触头能否互换?
- 2) 能否用 SQ1 或 SQ2 起动电动机?
- 3) 能否用 SQ3 或 SQ4 停止电动机?

实训 15 能耗制动控制与测量

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 通过识读电路图分析能耗制动控制电路的动作原理。
- 3) 掌握电路中各种故障的检查思路，能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-12。

表 5-12 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜（已安装相应低压电器及接线端子）1 台	三相异步电动机（Y-112-4 型、4kW）	1 台
		漏电断路器（动作电流小于 30mA、额定电流为 25A）	1 个
		交流接触器（额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V）	3 个
		热继电器（额定电流为 40A、整定电流为 8.8A）	1 个
		熔断器（控制电路用可 1~5A）	5 个
		整流二极管（反向击穿电压 > 1000V；额定电流 > 30A）	1 个
		时间继电器	1 个
		按钮（1 对常开、1 对常闭）	2 个
		指示灯（额定电压为 380V）	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

识读电路图，并分析其工作（动作）原理，如图 5-25 所示。

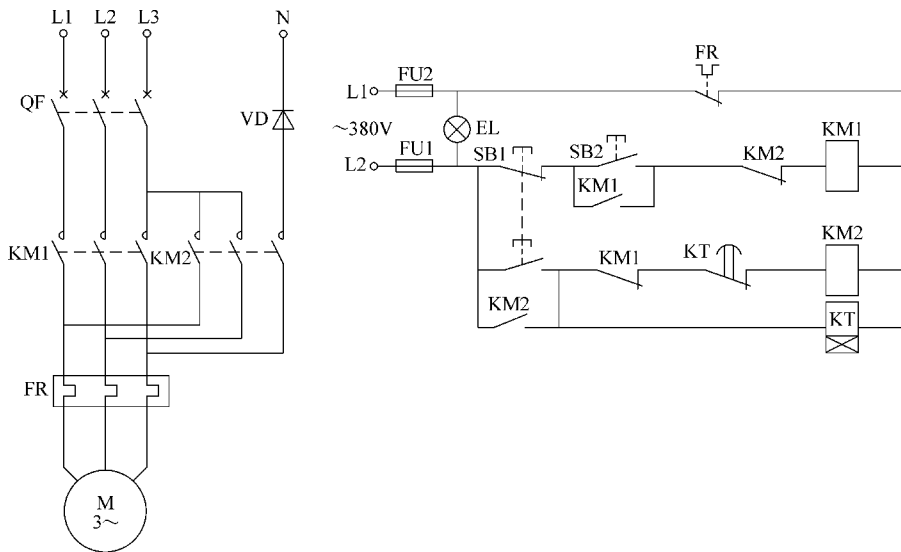


图 5-25 能耗制动控制与测量电路原理图

(1) 电路通电及运行

合上断路器QF $\longrightarrow$ 电源指示灯EL亮

按下SB2→KM1线圈通电吸合→
└─→ KM1主触头闭合 ─→ 电动机起动运行
 └─→ KM1辅助触头闭合自锁 ┘

(2) 电路能耗制动

```

graph LR
    SB1[按下SB1] --> SB1_1[SB1常闭触头断开]
    SB1 --> SB1_2[SB1常开触头闭合]
    SB1_1 --> KM1_1[KM1线圈断电释放]
    SB1_1 --> KM1_2[KM1主触头断开]
    SB1_1 --> KM1_3[电动机断开交流电]
    SB1_2 --> KM2_1[KM2线圈通电吸合]
    SB1_2 --> KM2_2[KM2主触头闭合]
    SB1_2 --> KM2_3[电动机通入直流电制动]
    SB1_2 --> KT_1[KT线圈通电吸合]
    KT_1 --> KT_2[KT常闭触头延时断开]
    KT_2 --> KM2_4[KM2线圈释放]
    KT_2 --> KT_3[制动结束]
  
```



4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查 二极管在电路中起整流作用,即将交流电变成直流电。其电路符号如图 5-27 所示,文字符号为 VD,箭头所指方向为二极管导通时电流的方向。用万用表的电阻挡可以很方便地判别出二极管的管脚极性,并粗略估测其质量好坏。其方法为:万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡,将两表笔分别接于二极管的两管脚,如果两次测出的电阻值相差很大(一般正向电阻为几十欧到几百欧,反向电阻为几百千欧以上),则说明管子的单向导电性能良好,且电阻值小的那一次,黑表笔所接的一端为正极,红表笔所接的一端为负极(数字式万用表与之相反)。如果两次测出的电阻值都很大,则说明其断路损坏;如果两次测出的电阻值都很小,则说明其击穿损坏,这两种情况,都说明二极管不能使用。

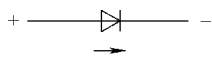


图 5-27 二极管图形符号

注意:一般选用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 测量,不选用万用表的 $R \times 1$ 或 $R \times 10k$ 挡来判别。如果用数字式万用表判别,则表笔对应二极管的两管脚的极性与上述相反。

(2) 线路的连接

1) 控制电路连接。从断路器 QF 下方 U 相接至 FU1→从 FU1 出线端接至 SB1 常闭触头→从 SB1 出线端接至 SB2 常开触头→从 SB2 出线端接至 KM2 常闭触头→从 KM2 常闭触头出线端接至 KM1 线圈;将 KM1 常开触头并联在 SB2 两端(自锁)。

从 FU1 出线端接至 SB1 常开触头→从 SB1 常开触头出线端接至 KM1 常闭触头→从 KM1 出线端接至 KT 常闭触头→从 KT 常闭触头出线端接至 KM2 线圈;将 KM2 常开触头并联在 SB1 常开触头两端。

从 SB1 常开触头出线端接至 KT 线圈;依次连接 KT 线圈出线端、KM2 线圈出线端、KM1 线圈出线端接至 FR 常闭触头→从 FR 常闭触头出线端接至 FU2→从 FU2 出线端接至 QF 下方 V 相。

2) 主电路连接(见图 5-28)。从 QF 下方串联 KM1 主触头→串联 FR 热元件→电动机。

从 KM1 主触头 W 相上方出两根线分别至 KM2 两个主触头,从 KM2 下方分别至 KM1 的两个主触头的出线端。

从 KM1 主触头另一个出线端接至 KM2 第三个主触头,从该主触头出线接至二极管阳极,二极管阴极接工作零线(N)。

(3) 控制电路的检查(断电) 选好倍率挡,将万用表表笔置断路器下方 U、V 相,按下 SB2,电阻为 KM1 线圈电阻。按下 SB1,电阻应为 KM2 和 KT 线圈电阻的并联值。

(4) 通电试车 经过上述检查正确后,可在老师监护下通电试车。

1) 合上 QF,指示灯 EL 亮。

2) 按起动按钮 SB2,则电动机起动运转。

3) 按制动按钮 SB1,则 KM2 吸合后电动机开始制动,延时时间到, KM2 断电释放,制动结束。

4) 断开 QF,指示灯灭。

5. 技能操作比例要求(训练时间 120min)

(1) 元器件选择(10%)

一定要按图选择及检查元器件,如发现元器件损坏务必及时更换。

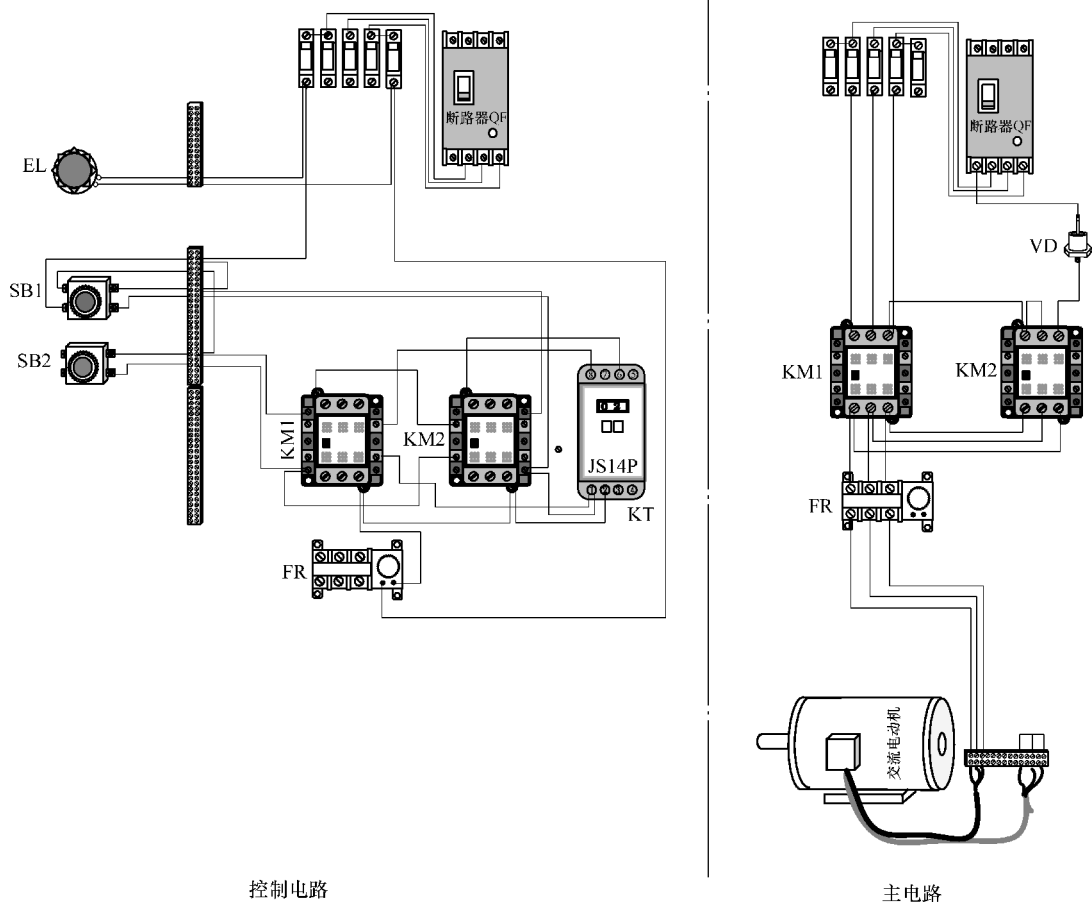


图 5-28 能耗制动控制与测量电路接线示意图

(2) 接线工艺 (15 分)

此项得分以三个等级评定：A 级为 15%，B 级为 10%，C 级为 5%。

(3) 通电试车 (55%)

只允许通电试车两次，得到教师许可后才能通电试车。

- 1) 第一次通电成功得 55%。
- 2) 第二次通电成功得 30%。
- 3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(4) 电气测量 (20%)

按照表格要求测量数据，并填入表 5-13 中。

表 5-13 测量数据

序 号	测量内容		测量结果 (由考生填写)
1	判别二极管好坏 (7%)		
2	电动机绝缘电阻 (5%)	(绕组对地)	
3	电动机电压 (试车成功后测量有效) (8%)	线电压	
		相电压	



6. 故障分析和排除

- (1) 电动机能起动，但不能制动，且 KM2 吸合后马上释放 故障原因可能是：
- 1) KT 延时时间是 0s。
 - 2) KM2 的常开自锁触头没有连接好。
- (2) 电动机能起动，但不能制动，且 KM2 没有吸合 故障原因可能是：
- 1) KM2 的线圈没有连接好。
 - 2) KT 延时断开的动断触点连接错误。
- (3) 电动机能起动，KM2 能吸合，但不能制动（自由停机） 故障原因可能是：
- 1) 二极管坏了。
 - 2) 电源零线没连接好。
 - 3) KM2 的主电路部分有问题。

思考与复习



- 1) 如何用万用表判断二极管的好坏？
- 2) 控制电路中 KT 起什么作用？
- 3) 在 KT 常闭触头未断开时，再按 SB1 会出现什么现象？
- 4) 若误将二极管阴极接在开关零线（N）的上方，会出现什么现象？

实训 16 星形—三角形起动控制与测量

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 通过识读电路图分析星形—三角形起动控制电路的动作原理。
- 3) 掌握电路中各种故障的检查思路，能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-14。

表 5-14 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜（已安装相应低压电器及接线端子）1 台	三相异步电动机（Y-112-4 型、4kW）	1 台
		漏电断路器（动作电流小于 30mA、额定电流为 25A）	1 个
		交流接触器（额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V）	3 个
		热继电器（额定电流为 40A、整定电流为 8.8A）	1 个
		熔断器（控制电路用可 1~5A）	5 个
		时间继电器	1 个
		按钮（1 对常开、1 对常闭）	2 个
		指示灯（额定电压为 380V）	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干



3. 识读电路图

识读电路图，并分析其工作（动作）原理，如图 5-29 所示。

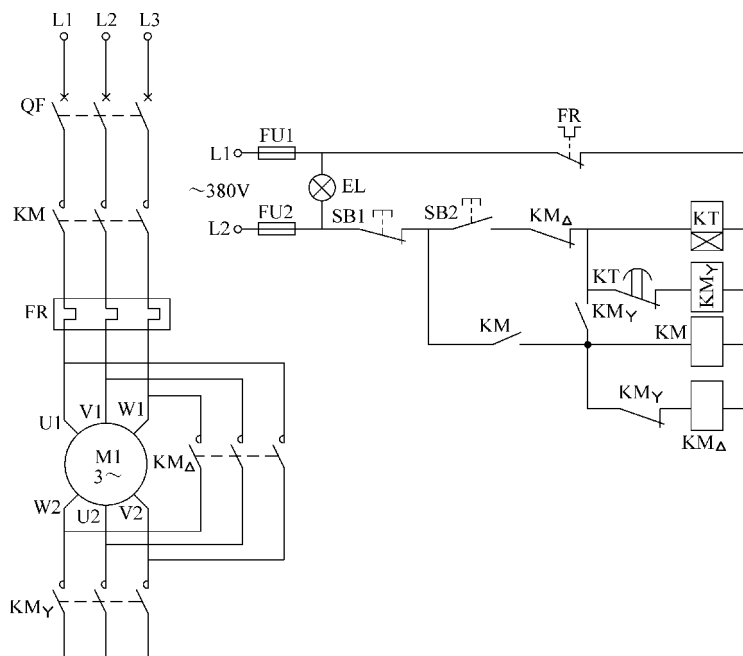


图 5-29 星形—三角形起动控制与测量电路原理图

(1) 电路通电

合上断路器QF → 电源指示灯EL亮

(2) 电动机星形—三角形起动与运行（即星形联结减压起动，三角形联结全压运行）

按动SB2 → KM_Y吸合 → KM_Y主触头闭合，电动机Y联结 → 电动机Y联结起动
 → KM_Y辅助触头闭合，KM线圈吸合 → KM常开触头自锁
 → KT通电延时 → KT延时后常闭触头断开
 → KM_Y释放，常闭触头闭合 → KM_Δ吸合 → 电动机Δ联结运行
 KM保持

(3) 电动机停机

按下SB1 → KM线圈失电 → KM自锁触头断开 → 电动机停止
 → KM主触头断开
 → KM_Δ线圈失电 → KM_Δ主触头断开

(4) 电路断电

断开断路器QF → 电源指示灯EL熄灭

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查 接触器 KM 和时间继电器 KT 的检查方法在前面的实训中已做过说明，这里不再赘述。



(2) 线路的连接 (见图 5-30)

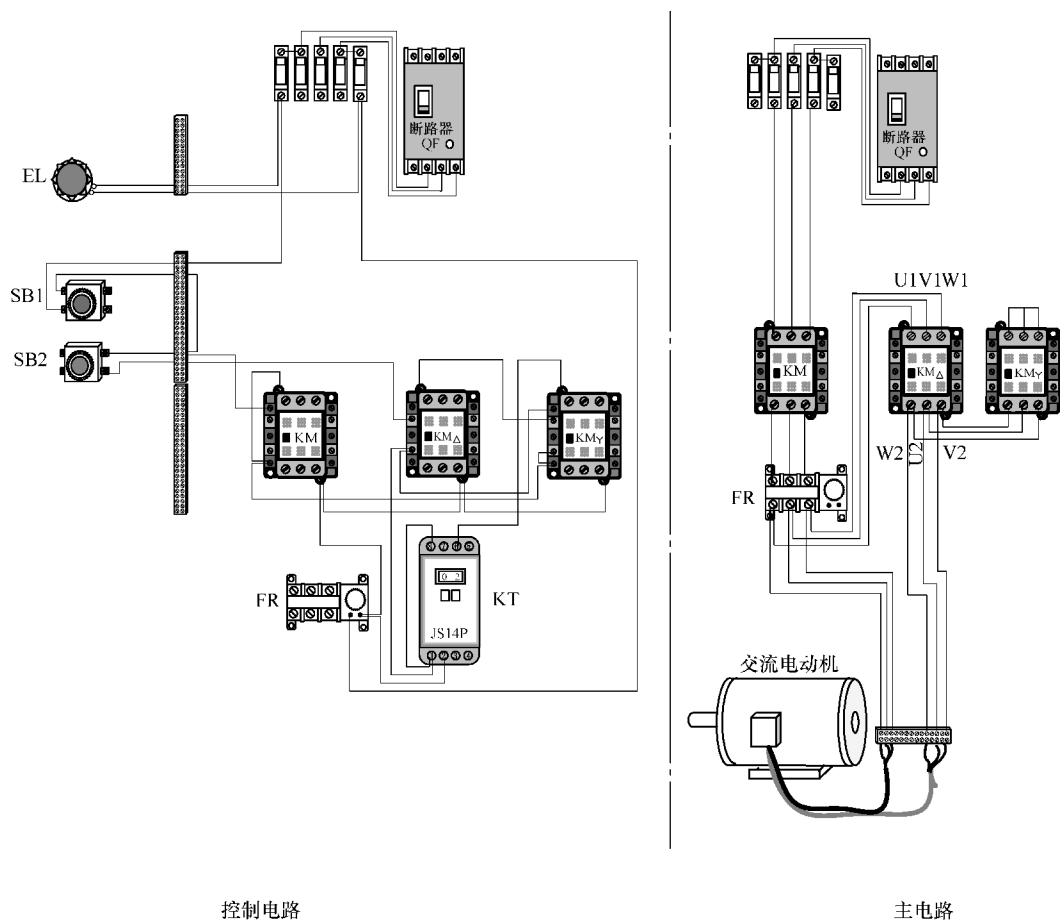


图 5-30 星形—三角形起动控制与测量电路接线示意图

1) 控制电路的连接。从 QF 下 V 相出发接至 FU2→从 FU2 的出线端接至 SB1 常闭触头→从 SB1 出线端接至 SB2 常开触头→从 SB2 出线端接至 KM_{Δ} 常闭触头→从 KM_{Δ} 出线端接至 KT 线圈；从 KM_{Δ} 常闭出线端接至 KT 常闭→从 KT 常闭出线端接至 KM_{γ} 线圈；从 KM_{Δ} 常闭出线端接至 KM_{γ} 常开→从 KM_{γ} 出线端接至 KM 线圈；从 KM_{γ} 常开出线端接至 KM 常开→从 KM 常开出线端接至 SB1 的出线端或 SB2 的进线端；从 KM_{γ} 常开出线端接至 KM_{γ} 常闭→从 KM_{γ} 常闭出线端接至 KM_{Δ} 线圈。

依次连接 KM_{Δ} 、KM、 KM_{γ} 、KT 线圈的出线端接至 FR 常闭→从 FR 常闭出线端接至 FU1→从 FU1 出线端接至 QF 下方 U 相。

难点： KM_{γ} 常开触头，两端各有三处连线不能接错。在工艺上由于一个螺钉只能压接两根导线，故此处需找公共点。

2) 主电路的连接。首先判断三相异步电动机绕组的六个接头的首端和末端。

①用万用表测量六个接头，两个接头间有较小电阻，说明是同一绕组的首端和末端，分别测出三相绕组。

②在三相分辨出来后，将假设的三个首端、三个末端分别短接成两组，如图 5-31 所示；



用万用表的直流 $0.5 \sim 2.5\text{mA}$ 或 $0.5 \sim 2.5\text{V}$ 挡, 测量两组短接点, 轻轻转动电动机轴, 如果首末端组合正确, 电动机的残磁发电三相电压是平衡的 (大小相等, 相位互差 120° , 合成电压为 0), 表针将不会摆动; 若表针产生摆动, 则说明首末端组合有错误, 要进行交换, 直到用同样方法测量表针不摆动为止, 说明三个首端和三个末端组判断完成了。

③将三个首端和三个末端判断清楚后, 要把电动机六根线接到接触器 KM_Δ 和 FR 上, 此时应按图 5-30 中 KM_Δ 的端子标注进行连接。当 KM_Δ 吸合时, 端子 $\text{U1} - \text{W2}$; $\text{U2} - \text{V1}$; $\text{V2} - \text{W1}$ 分别连接在一起, 如图 5-32 所示, 三相绕组构成三角形联结。若一个首、末端接错, 通电时有明显的振动, 短时将烧坏电动机。

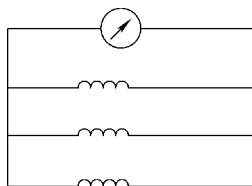


图 5-31 三相绕组首末端的判断方法

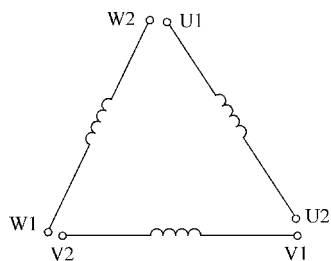


图 5-32 三相绕组的连接

④如图 5-30 所示, 先将三根首端 (本题三相绕组的首末端组可自己定义) 接到 FR 下端且并联到 KM_Δ 的上端, 从左至右命名为首端 U1 、 V1 、 W1 , 然后测量 U1 和末端组中导通的便是 U2 端, 接线到 KM_Δ 下方的中间端; V1 和末端组导通的便是 V2 端, 接到 KM_Δ 下方的右端; W1 和末端组导通的便是 W2 端, 接到 KM_Δ 下方的左端。这样就保证了 KM_Δ 在吸合时 $\text{U1}-\text{W2}$; $\text{V1}-\text{U2}$; $\text{W1}-\text{V2}$ 分别连接在一起。其余的接线比较简单, 可参照图 5-30 进行连接。

⑤接完线后可在 KM_Δ 上进行检查, 直接测量 KM_Δ 的首端 U1 与末端 U2 是导通的; 同样的方法测 $\text{V1}-\text{V2}$ 应该是导通的; $\text{W1}-\text{W2}$ 也应该是导通的。

(3) 线路的检查 (断电)

1) 主电路检查。

2) 控制电路的检查 选好倍率挡, 将万用表笔置于断路器 QF 下方 U 、 V 相, 按下 SB2 , 电阻应为线圈 KT 和 KM_Δ 的并联值; 或者, 测量 KM_Y 常开触头两端, 其阻值为 KT 线圈、 KM_Y 线圈、 KM 线圈、 KM_Δ 的并联值。

(4) 通电试车 经上述检查正确后, 可在老师的监护下通电试车。

1) 合上 QF , 则指示灯 EL 亮。

2) 按下 SB2 , 则 KM 和 KM_Y 吸合, 电动机接成 Y 减压起动, 并且 KT 线圈得电开始延时。

3) 延时时间到时, KM_Y 断电释放, KT 线圈失电, KM_Δ 吸合, 电动机接成 Δ 全压运行。

4) 按下 SB1 , KM 和 KM_Δ 断电释放, 电动机停止。

5) 断开 QF , 指示灯 EL 熄灭。

5. 技能操作比例要求 (训练时间 120min)

(1) 元器件选择 (10%)

一定要按图选择及检查元器件, 如发现元器件损坏务必及时更换。



(2) 接线工艺 (15%)

此项得分以三个等级评定：A 级为 15%，B 级为 10%，C 级为 5%。

(3) 通电试车 (55%)

只允许通电试车两次，得到教师许可后才能通电试车。

- 1) 第一次通电成功得 55%。
- 2) 第二次通电成功得 30%。
- 3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(4) 电气测量 (20%)

按照表格要求测量数据，并填入表 5-15 中。

表 5-15 测量数据

序 号	测量内容		测量结果
1	时间继电器线圈电阻 (3%)		
2	电动机绝缘电阻 (5%)	(绕组对地)	
3	电动机电流 (试车成功后测量有效) (12%)	线电流	
		相电流	
		零序电流	

6. 故障分析和排除

试车按下 SB2 时 KM_Y 吸合，这时 KM_Y 的常开触头闭合，所以 KM 线圈得电吸合电动机星形起动。当 KT 定时到延时断开触点动作，使得 KM_Y 失电，但 KM 已经实现自锁，所以 KM 并不释放，当 KM_Y 失电后常闭触头接通使得 KM_Δ 得电，这时电动机三角形运行。电动机正常运转后按下 SB1，这时 KM 失电同时解除自锁，电动机停止运转。如果电动机运转不正常，则需要查找主电路和电动机。如果是控制电路有问题，可使用万用表按照前面讲述的方法进行检查。

思考与复习



- 1) 当合上 QF，按下 SB2 电动机由星形联结转换为三角形联结后，电动机有嗡嗡声，是什么原因造成的？
- 2) 若电动机起动后又停机是什么原因造成的？
- 3) 当合上 QF 按下 SB2 后，电动机只有一种运行方式（如 Δ ），这是什么原因？

实训 17 车床空载自停控制与测量

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 通过识读电路图分析车床空载自停电路的动作原理。
- 3) 掌握电动机绕组首末端组的判断方法和三角联结的接线方法。
- 4) 掌握电路中各种故障的检查方法，能通过分析准确判断故障位置。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-16。

表 5-16 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜（已安装相应低压电器及接线端子）1 台	三相异步电动机（Y-112-4 型、4kW）	1 台
		漏电断路器（动作电流小于 30mA、额定电流为 25A）	1 个
		交流接触器（额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V）	2 个
		热继电器（额定电流为 40A、整定电流为 8.8A）	1 个
		熔断器（控制电路用可 1~5A）	5 个
		时间继电器	1 个
		按钮（1 对常开、1 对常闭）	2 个
		指示灯（额定电压为 380V）	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

识读电路图，并分析其工作（动作）原理，如图 5-33 所示。

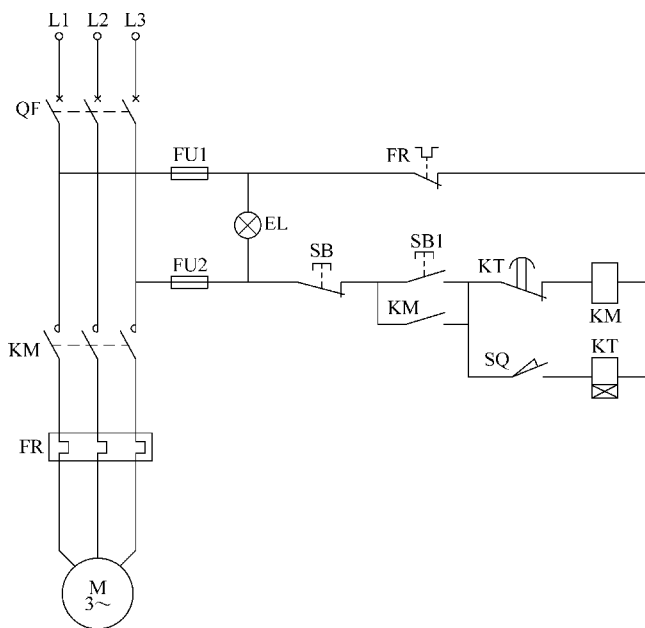


图 5-33 车床空载自停控制与测量电路

注：电动机必须接成三角形联结。

(1) 电路通电

合上断路器QF $\longrightarrow$ 电源指示灯EL亮

(2) 电动机 M 启动

按下SB1 → KM线圈得电

	→	KM主触头闭合	→	电动机M起动运转
	└─→	KM自锁触头闭合自锁	└─→	



(3) 电动机 M 停机

按下 SB → KM 线圈失电 → KM 主触头断开 → 电动机 M 停止运转
 → KM 自锁触头断开

(4) 电动机 M 空载运行

通过机械挡块使 SQ 闭合 → KT 线圈得电 → KT 延时触头断开 → KM 线圈失电
 → KM 主触头断开 → 电动机 M 停止运行

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查。

(2) 线路的连接 如图 5-34 所示, 从断路器 QF 下方 W 相出发接熔断器 FU2 → FU2 的出线端接常闭按钮 SB → SB 的出线端接常开按钮 SB1 → SB1 的出线端接 KT 的常闭 → KT 常闭的出线端接至接触器 KM 线圈 → KM 的线圈出线端接热继电器 FR 常闭触头 → FR 的出线端接至熔断器 FU1 → FU1 的出线端接 U 相; 将接触器 KM 常开触头并联在常开按钮 SB1 两端; 从接触器 KM 常开触头的出线端接行程开关 SQ 的常开触头 → SQ 的常开触头出线端接至时间继电器 KT 线圈 → KT 的线圈出线端接 KM 线圈的出线端。

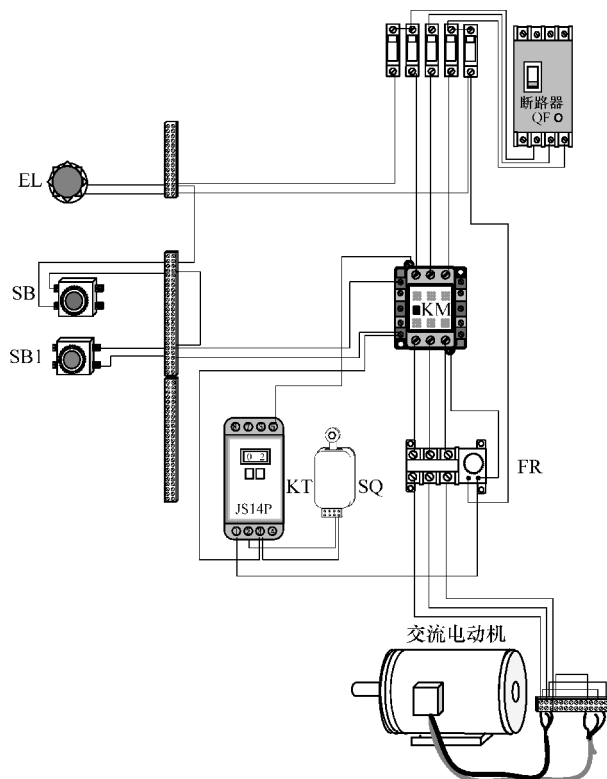


图 5-34 车床空载自停控制与测量电路接线示意图

(3) 控制电路的检查 (断电) 在断开电源的情况下, 用万用表的欧姆挡 (指针式仪表宜用 $R \times 100$ 挡, 数字式仪表宜用 $2k$ 挡) 检查控制电路。将表笔放置开关下方 U、W 相, 按下按钮 SB1, 阻值应为接触器 KM 线圈的阻值; 或者按下 KM 测试按钮, 阻值应为接触器线圈的阻值。注意: 测量电阻时应未接电动机)。



此外, 指针表用 $R \times 1k$ 挡, 数字表用 20k 的挡, 将表笔放置在行程开关 SQ 常开触头的两端, 这时测得接触器 KM 线圈与时间电器 KT 线圈的并联阻值。

(4) 电动机的连接 本电路电动机要求三角形联结, 连接时应注意的是: 首先要判断首端组、末端组。具体方法是: 分别将假定的首端组 (3 个)、末端组 (3 个) 端子短接, 用万用表电压的最小挡测量首末端, 轻轻转动电动机的轴, 若有电压指示, 说明首末端分组是错误的; 若转动时电压表无指示, 说明首末分组是正确的。

首末端分组判断正确后, 拆掉首末端的短接线, 开始连接, 第一步用万用表电阻挡测量, 将首末端不导通的两个端子 (说明不是同一绕组) 连接并接上一相电源线。第二步用同样的方法, 再找两个不导通的首末端子, 进行短接并接上另一相电源线。第三步将剩余的两个首末端子短接并接上最后一相电源线。

(5) 通电试车 经上述检查无误后, 可在教师监护下通电试车。

1) 电路送电。合上 QF, 电源指示灯 EL 亮, 供电正常。

2) 按下 SB1, 电动机 M 起动连续运转。

3) 按下 SQ, 电动机 M 延时停止。

4) 断开 QF。

5. 操作技能比例要求 (训练时间 90min)

(1) 元器件选择 (10%)

要按图选择及检查元器件, 如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 接线工艺 (15%)

此项得分以三个等级评定: A 级为 15%, B 级为 10%, C 级为 5%。

(3) 通电试车 (55%)

只允许通电试车两次, 得到教师许可后才能通电试车。

1) 第一次通电成功得 55%。

2) 第二次通电成功得 30%。

3) 第二次通电不成功或放弃者同等。

(4) 电气测量 (20%)

按照表格要求测量数据, 并填入表 5-17 中。

表 5-17 测量数据

序 号	测 量 内 容		测 量 结 果
1	电动机绝缘电阻 (4%)	(相间绝缘)	
2	电流的测量 (试车成功后测量有效) (8%)	线电流	
		零序电流	
3	电动机电压 (试车成功后测量有效) (8%)	线电压	
		相电压	

6. 故障分析和排除

先检查主电路接线有没有开路, KM 的主触头和 FR 是否都正常, 特别要注意的是电动机应采用三角形联结。主电路正确无误后取下熔断器开始检查控制电路, 将万用表置于 $R \times$

100 挡测量 EL 两端的电阻值。没有任何操作时显示阻值很大，当按下起动按钮 SB1 或 KM 的突出测试按钮时，显示阻值基本上为 KM 的线圈电阻。当按下 SB1 后同时按下 SQ 则阻值为 KM 和 KT 线圈的并联电阻值。测量结果如上所述，则可判断基本正常。

当按下起动按钮 SB1 后 KM 不吸合，则应先检查熔断器再检查 SB、FR 和 KT 的延时断开触头。如果按下起动后松开手，电动机停止，则表明没有自锁，应该检查 KM 的常开触头是否与 SB1 并联。如果 SQ 动作并保持很久后电动机仍然不停，则可能是定时太久，如定时正常则应检查 KT 的延时断开触头。

实训18 三相五线供电系统

1. 实训目的

- 1) 熟悉各元器件的图形符号及其作用。
- 2) 通过识读电路图分析三相五线供电系统的工作原理。
- 3) 熟悉三相五线制动力线路、单相线路的连接及保护措施。
- 4) 掌握单相线路供电、线路排布方位及单相电能表的接线方式。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 5-18。

表 5-18 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜（已安装相应低压电器及接线端子）1 台	三相异步电动机（Y-112-4 型、4kW）	1 台
		漏电断路器（动作电流小于 30mA、额定电流为 25A）	1 个
		交流接触器（额定电流为 60A、线圈额定电压为 380V）	2 个
		热继电器（额定电流为 40A、整定电流为 8.8A）	1 个
		熔断器（控制电路用可 1~5A）	5 个
		单相电能表	1 个
		单相三孔插座	1 个
		白炽灯（220V、40W）	1 个
		两相刀开关	1 个
		按钮（1 对常开、1 对常闭）	2 个
		指示灯（额定电压为 380V）	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

识读电路图，并分析其工作（动作）原理，如图 5-35 所示。

图 5-35 所示为低压供电线路的基本模式，采用三相五线（TN—S 制）供电，负载为动力负载，即三相电动机，照明配电箱接单相负载，有灯泡、单相插座、单相电能表。合上电源总开关 QF1 后，再合上 QF2 电动机起动；合上 QF3 和 S 点亮灯泡，合上 QF4 单相插座可以供电，单相电能表转动开始对单行负载进行计量。

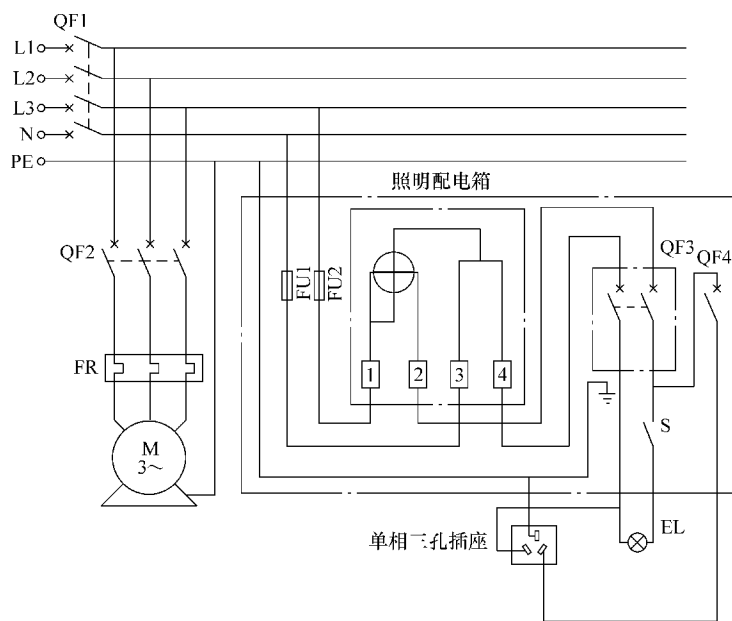


图 5-35 三相五线制系统电路原理图

注意事项：插座接线“左零、右相”；“电动机外壳接地线保护”；照明开关控制相线。接地线接在柜子外壳的接地线端上。

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查。

(2) 线路的连接 三相电路的连接依然按照前面的练习方式进行。接线示意图如图 5-36 所示。单相电路的连接要遵循“左零、右相”的布线方式进行，要做好接地保护线路，电路的接线应规范整齐。

5. 操作技能比例要求（训练时间 90min）

(1) 元器件选择（10%）

要按图选择及检查元器件，如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 接线工艺（15%）

此项得分以三个等级评定：A 级为 15%，B 级为 10%，C 级为 5%。

(3) 通电调试（50%）

在规定的时间内，只允许通电两次，得到教师许可后才能通电。

1) 第一次全部正常得 50%。

2) 第二次全部正常得 30%。

3) 第二次照明部分正常得 15%，动力部分正常得 10%。

(4) 保护措施（10%）

动力部分保护接地正确得 10%。

(5) 回答问题（5%）

简述三相五线制供电系统的特点（简述准确得 5%；简述不准确此项失误）。

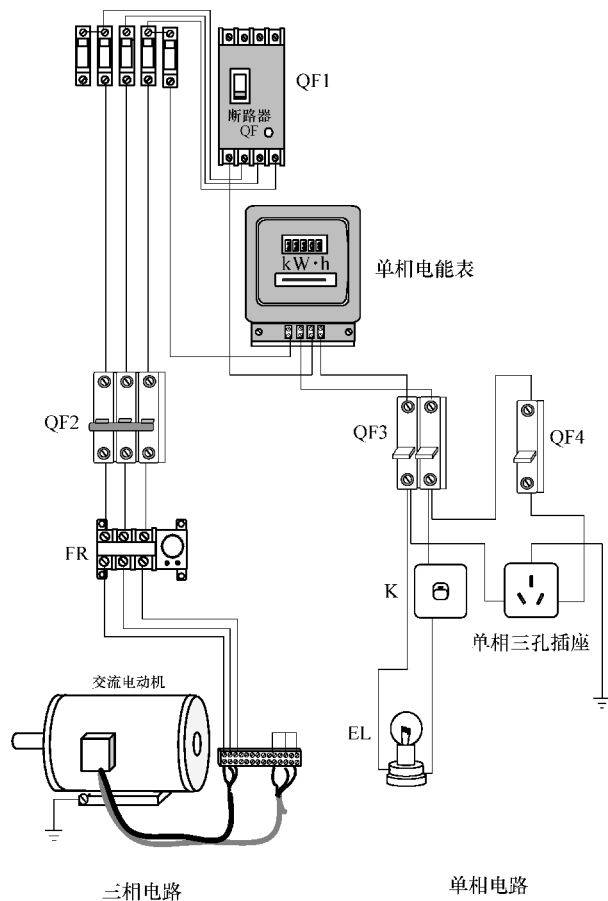


图 5-36 三相五线供电系统接线示意图

(6) 电气测量（10%）

正常通电成功后进行测量，按表 5-19 要求进行测量，由教师现场抽查数据。

表 5-19 测量数据

序 号	测 量 内 容	测 量 结 果
1	配电箱进线端电压（5%）	
2	配电箱出线端电压（5%）	

模块 6 电工安装技术基础

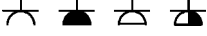
6.1 电工安装预备知识

施工图样是工程语言，常用的有原理图、安装布线图等。施工图样应力求简练而又能够直观地表明设计意图，它是设计方案的集中表达，是进行工程施工的重要依据。照明平面图和系统图都要用规定的图形符号和文字符号来表示。

6.1.1 常用图形符号

电工施工图样常用图形符号见表 6-1。

表 6-1 常用图形符号

图 形 符 号	所代表名称	图 形 符 号	所代表名称
	照明配电屏（箱）		电风扇调速开关
	动力或动力-照明配电箱		荧光灯
	多种电源配电箱		三根导线
	事故照明配电箱		N 根导线
	电能表		开关一般符号
	一般灯具		三极开关，分别对应：一般、暗装、防水、防爆型
	吊扇		带接地插孔的单相插座，分别对应：一般、暗装、防水、防爆型

6.1.2 常用字符代号

电工施工图样常用字符代号见表 6-2。

表 6-2 常用字符代号

	名 称	旧 代 号	新 代 号		名 称	旧 代 号	新 代 号
线路敷 设方式	明敷	M	E	线路 敷设 部位	沿墙面	QM（Q）	WE
	暗敷	A	C		暗敷设在墙内	QA	WC
	穿塑料阻燃管		FPC		暗敷设在地面或地板内	DA	FC
	穿电线管	DG	TC	灯具 安装 方式	线吊式	X	CP
	穿硬质塑料管	VG	PC		壁式	B	W
	穿钢管	G	SC		吸顶式	D	S



6.1.3 字符标注格式

1. 照明灯具的标注格式

一般格式 $a-b \frac{c \times d \times l}{e} f$

当灯具安装方式为吸顶安装时, 应标注为

$$a-b \frac{c \times d \times l}{-} D$$

标注格式中, a —灯具数量; b —灯具型号; c —每盏灯内的灯泡数; d —每只灯泡的功率 (W); e —安装高度; f —安装方式; l —光源种类 (常不标出)

例如: $32-YG 2-2 \frac{2 \times 35 \times FL}{2.7} X$, 表示有 32 盏灯具, 型号为 YG 2—2 的荧光灯, 每盏灯有 2 个 35W 的灯管, 安装高度为 2.7m, 采用常用线吊式安装。

常用光源种类有: 荧光灯 (FL)、白炽灯 (IN)、汞灯 (Hg)、钠灯 (Na)、碘钨灯 (I)、氙气灯 (Xe)、氖灯 (Ne)。

2. 配电线路标注格式

一般格式为: $a(b \times c)d-e$

标注格式中, a —导线型号; b —导线根数; c —导线截面积; d —导线敷设方式及穿管的管径; e —导线在建筑物中敷设部位。

例: BV(3×6+1×4)G25-QA 表示该段干线采用型号为 BV 导线, 即聚氯乙烯绝缘铜芯导线, 其中有三根截面积为 6mm² 的导线作为三根相线, 一根截面积为 4mm² 的导线作为零线, 穿钢管敷设, 钢管直径为 25mm, 且沿墙暗敷设。

3. 电力或照明配电箱的标注格式

一般标注格式 $a \frac{b}{c}$ 或 $a-b-c$

当需要标注引入线的规格时, 应标注为

$$a \frac{b-c}{d(e \times f)-g}$$

标注格式中, a —设备编号; b —设备型号; c —设备功率 (kW); d —导线型号; e —导线根数; f —导线截面积 (mm²); g —导线敷设方式及部位。

例如: $5 \frac{XL-3-2-32}{BV(3 \times 35G40)-CE}$ 表示 5 号动力配电箱, 型号为 XL—3—2 型, 功率为 32kW, 配电箱进线为 3 根, 其截面积均为 35mm² 的铜芯聚氯乙烯绝缘导线, 穿管直径为 40mm 的水煤气钢管, 沿柱子明敷设。

6.1.4 照明配电系统图

照明配电系统图是对整个建筑室内的配电系统的设备容量、配电装置型号数量、配电线路、各支路容量分配等情况进行描述。通过照明配电系统图可以了解整个工程的供电全貌和连接关系, 通常采用粗实线表示, 一般不标明电气设备的具体安装位置。如图 6-1 所示为简单的照明配电系统图。

图 6-1 中, 电源由建筑物外墙距地面 5m 高的进户线支架架空引来交流单相 220V 二线



制,进建筑物的导线为两根,截面积为 4mm^2 的铝芯聚氯乙烯绝缘导线,穿在一根直径为 20mm 的焊接钢管内,沿墙部分埋墙暗设“QA”,沿地部分埋地暗设“DA”。电源进入ZMR—13A型嵌入式照明配电箱内,经过开启式负荷开关“HK1—15/2”、单相电能表“DD—10—10A”后,相线分三个支路经三个熔断器“RC1A—10A”,每个熔断器控制两层楼,零线1~6层公用。引出的电源在1~2层之间为4根截面积为 2.5mm^2 的铝芯聚氯乙烯绝缘导线穿1根直径为 20mm 的焊接钢管埋墙暗设。3~4层,5~6层分别减少一根和两根导线,并且保护钢管的直径均改为 15mm 。引至各房间的供电支线均为两根,截面积为 2.5mm^2 的铝芯聚氯乙烯绝缘导线采用槽板配线沿墙明设“QM”或沿顶棚明设“PM”。垂直引至插座段线路,改为导线穿直径为 15mm 的焊接钢管。插座为带保护功能的安全型暗插座。

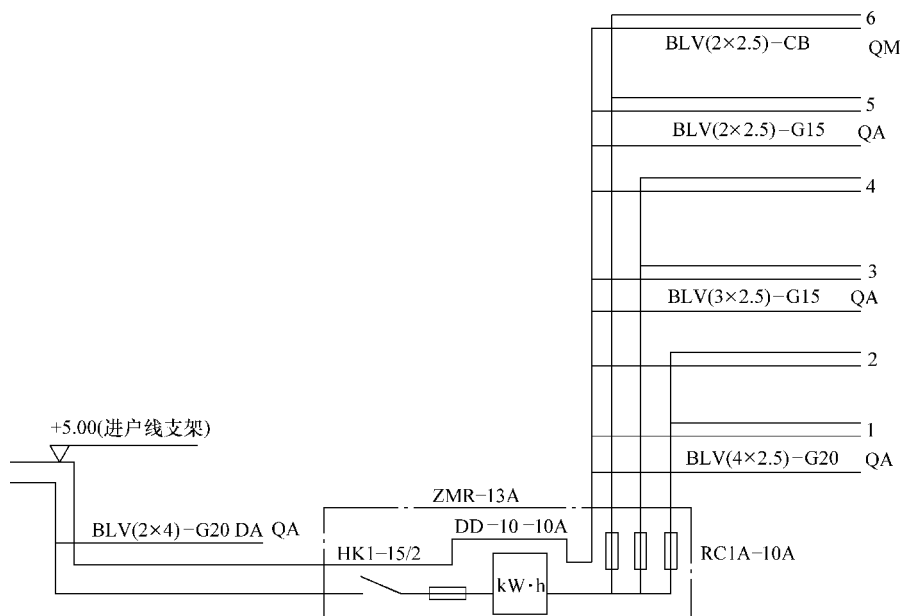


图 6-1 简单的照明配电系统图

6.1.5 电气照明平面图

电气照明平面图是在土建施工用的平面图上绘制出电气照明分布图,即在土建平面上先用细线绘出建筑和室内布置的轮廓,然后按照电气照明设备和线路的图例规定。在土建平面上画出电源进线和线路,配电箱(盘)安装位置,干线和支线的编号、走向、穿线管径、数量、敷设方式,以及开关、插座、灯具种类、安装位置和高度等。

电气照明平面图应逐层来画,当有标准层时,可用一张图样来表示布置相同的各层平面。

6.2 电工安装技能实训

实训 19 照明电路及单相电动机的控制

1. 训练目的

- 1) 熟悉房间照明施工平面图中的图形符号及文字代号。



- 2) 熟悉文字代号的标注格式。
- 3) 读懂电气照明系统图,并能画出供电分路图。
- 4) 掌握常见照明设备及其安装规范及要求。
- 5) 能够根据施工平面图进线现场施工。
- 6) 熟悉电气控制柜及元器件的结构。
- 7) 掌握施工过程中单相电能表、计数调光开关、单相电动机、荧光灯、插座等电气设备的接线。
- 8) 掌握在施工过程中导线连接工艺。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表6-3。

表 6-3 实训设备及器材清单

序 号	器 材		数 量
1	电力拖动实训柜 (已安装荧光低压电器及接线端子) 1 台	单相异步电动机 (YST—45 型、4 极、0.045W)	1 台
		电容 (400V 2 μ F)	1 个
		漏电断路器 (动作电流小于 30mA、额定电流为 25A)	1 个
		单相电能表	1 个
		两相断路器 (380V 10A)	1 个
		单相开关 (2A)	3 个
		单相转换开关 (2A)	1 个
		电子计数开关	1 个
		单相三孔插座	1 个
		白炽灯 (220V 25W)	4 个
		熔断器 (控制电路用可 1~5A)	5 个
		荧光灯 (220V 20W)	1 套
		指示灯 (额定电压为 380V)	1 个
2	电工常用工具	螺钉旋具、电工钳、剥线钳、电工刀、万用表等	1 套
3	导线	常温明敷 1mm ² 或穿管暗敷 2.5mm ² 的 BV 铜芯塑料绝缘导线	若干

3. 识读电路图

如图6-2所示,电路电源由QF1控制,电能表记录电路电量的消耗,电路的负载部分由四部分组成。它的工作过程如下:

S1控制计数开关,计数开关控制三个灯泡且对S1动作进行计数,合上S1,计数开关控制的灯亮1个;关闭再合上S1,计数开关控制的灯亮2个,关闭再合上S1,计数开关控制的灯亮3个。

合上开关S2点亮荧光灯。

合上开关S3和S4,单相电动机主绕组接通,辅助绕组通过电容构成回路,由于辅助绕组串入电容,两绕组的电流相位不同,产生了旋转磁场,电动机转动。扳动转换开关S4电动机主绕组接入电容变为辅助绕组,原辅助绕组直接接通电源变为主绕组,因此旋转磁场的转向反转,电动机变为反转。S4即为电动机实现转向的转换开关。

第四部分负载是一个插座,根据需要插接插头可接通负载。

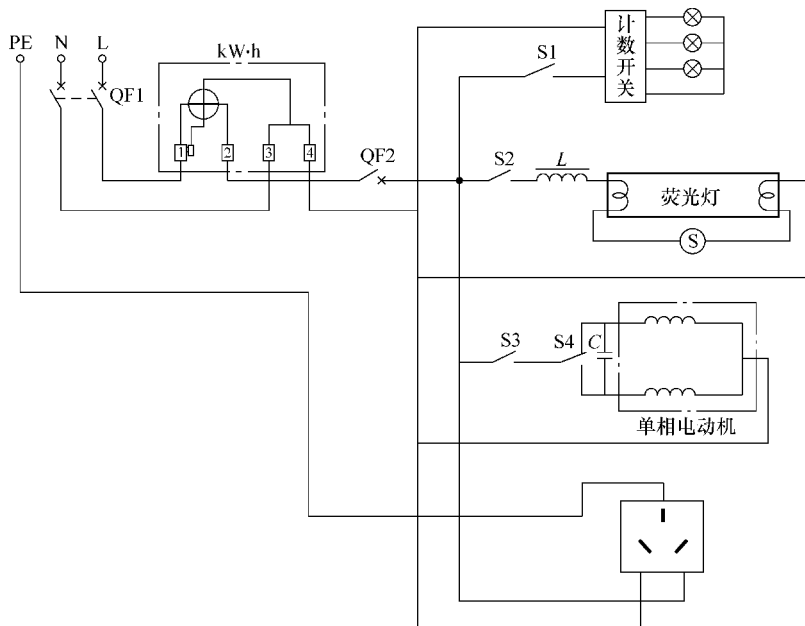


图 6-2 照明电路及单相电动机控制电路原理图

4. 实训步骤

(1) 电路元器件的选择和检查。

(2) 电能表的接线 如图 6-3 所示，单相电能表对外有四个接线端子，从左到右排列为 1~4 号接线端子。连接电能表时，进线接 1、3 号端子，且 1 号端子接相线，3 号端子接零线。出线为 2、4 号端子，2 号端子为相线出，4 号端子为零线出。

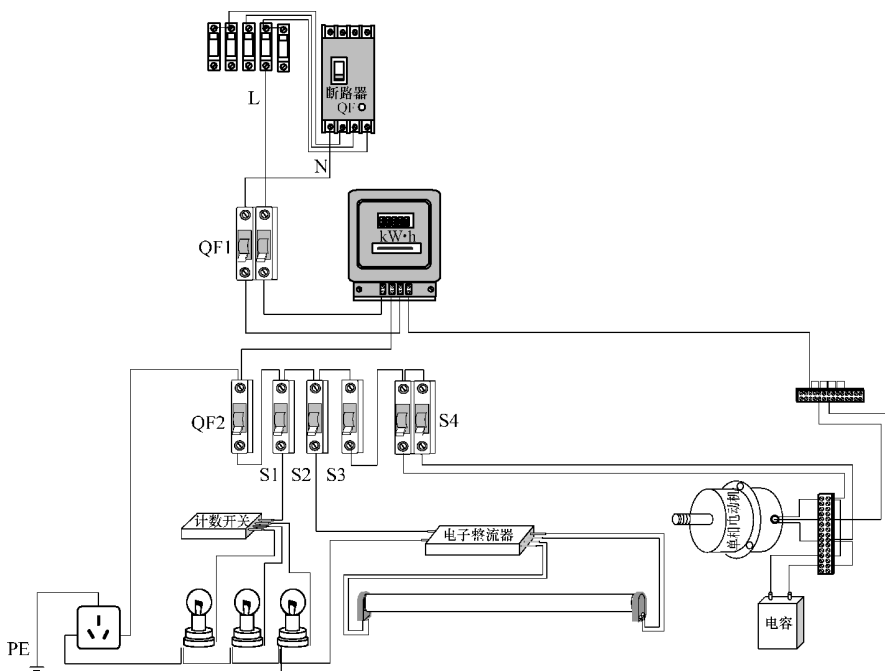


图 6-3 照明电路及单相电动机控制接线示意图



(3) 单相单极开关 QF2 的接线 QF2 单极开关控制全部负载的相线。

(4) 计数开关的接线 本电路中的计数开关可控制三盏灯，外观如同一个火柴盒，共有 6 根引线，分布在计数开关的两边，左边有两根线，右边有四根线。连接时，左边两根线中一根黑色导线直接接零线，另外一根彩色导线经过控制开关接电源。右边四根线中三根彩色导线分别接三盏灯，第四根黑色导线为三盏灯的公共线。计数开关的功能一般为调光控制，当初次接通计数开关电源时亮第一盏灯；关闭电源后立即再接通亮第一和第二盏灯；再次关闭电源后立即接通亮第一和第三盏灯；第四次关闭电源后立即接通三盏灯全亮；当第五次关闭电源后立即接通同初次接通的状态一样，如此循环往复。

注意：关闭电源后至接通电源中间的时间间隔不能太长，否则计数开关复位从初次开始。

(5) 荧光灯的接线 荧光灯的启动和正常运行需要镇流器，一般有两种镇流器：一种是线圈式镇流器，线圈式镇流器与荧光灯接线如图 6-4 所示，需要辉光启动器；另一种是电子式镇流器，接线方式如图 6-5 所示，接线时根据图中虚线走向的顺序即可，无需辉光启动器，电子镇流器较线圈式镇流器重量较、体积小，当今应用较为普遍。

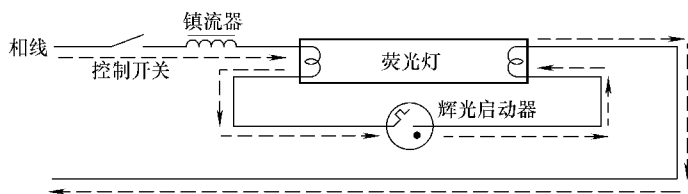


图 6-4 线圈式镇流器与荧光灯的接线

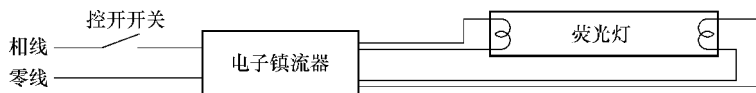


图 6-5 电子镇流器与荧光灯的接线

(6) 单相电动机的接线 单相电动机内部有两组绕组，均可作为运行绕组，当某一绕组作为运行绕组（又称为主绕组）时另一绕组就为起动绕组（又称为辅助绕组）。但对电动机外部只有三根引出线，其原理图如图 6-6 所示。如何判断这三根引出线呢？根据原理图可知，只有 1#线至 2#线之间的电阻值为最大，是两绕组的串联值，剩下的 3#线是两绕组的公共线。两根线中哪根为 1#线可自定，自定后剩下的必然是 2#线。单相电动机接线时，两绕组的公共线（3#线）接零线，另外两根线间接一只电容。

工作时的接线情况如图 6-2 所示，当开关 S3 闭合，S4 开关向上接通如果是正转，那么 S4 开关向下接通，电容串入的绕组将切换，电动机就会反转（S4 为双联开关）。

(7) 单相三孔插座的接线 单相三孔插座接线时，左边为相线，右边为零线，中间为保护地线 PE。

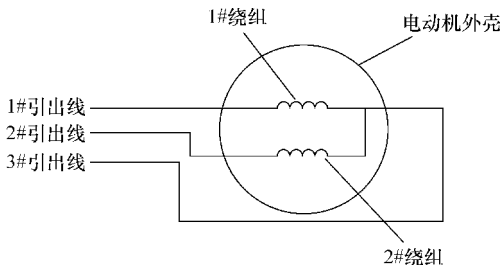


图 6-6 单相电动机结构原理图

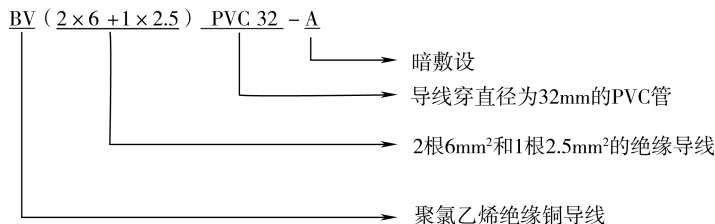


5. 识读施工平面图

1) 对施工平面图进行识读, 并根据问题了解相关知识。

问题 1: 如图 6-7 所示, 图中进线字符标注的含义是什么?

一只箭头指向室内表示进线, 该进线处加了一行字符标注, 含义为进线规格和敷设方式, 即



问题 2: 图 6-7 中 $4 - \frac{1 \times 60}{-} D$ 、 $4 - \frac{1 \times 20}{-} D$ 各自含义是什么?

$4 - \frac{1 \times 60}{-} D$ 含义为: 有四盏灯, 每盏灯内有 1 支 60W 的白炽灯, 安装方式为吸顶安装。

$4 - \frac{1 \times 20}{-} D$ 含义为: 有四盏灯, 每盏灯内有 1 只 20W 的荧光灯, 安装方式为吸顶安装。

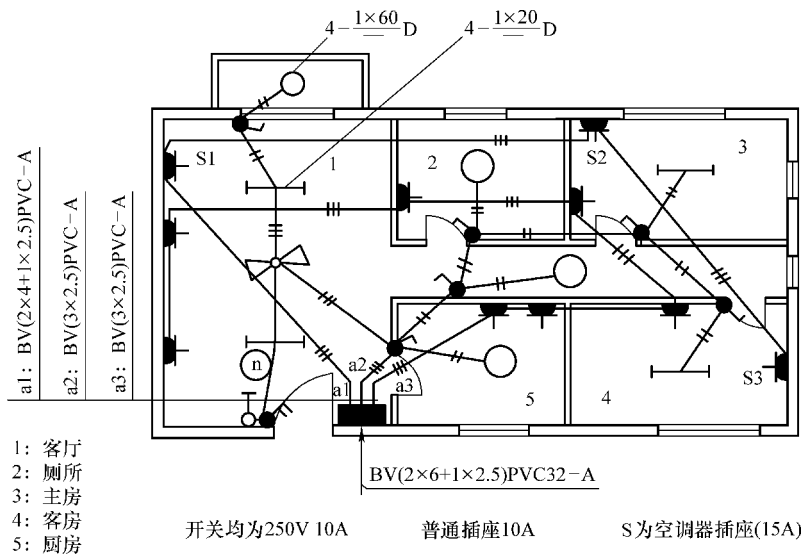
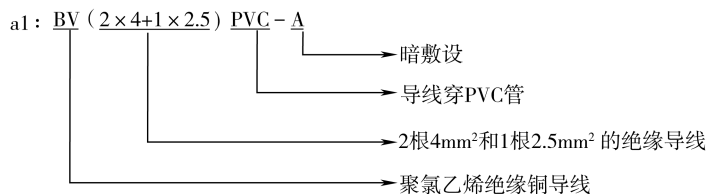
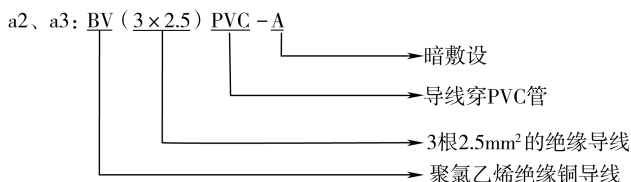


图 6-7 施工平面图

问题 3: 在图 6-7 中, 三条直线 a1、a2、a3 各表示什么含义?

三条直线各表示的含义为:





问题4：在图6-7中，④（管内导线根数）为多少？

从施工平面图中可知，该管内有4根导线，一根是开关及调速开关的进线（相线），第二、三根是经单相双极开关后分别控制两个荧光灯的相线，第四根是经调速开关后控制吊扇的相线。每根导线的规格图中未标出，但根据所带负载的功率应选择 1.5mm^2 为宜。

问题5：图6-7中的电工符号表示什么？电工符号对照表见表6-4。

表6-4 电工符号对照表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
符号									
名称规格	暗装单相三孔插座, 250V 10A	白炽灯, 吸顶安装 220V 60W	单极暗装墙壁开关 250V 10A	双极暗装墙壁开关 250V 10A	单管荧光灯吸顶暗装 220V 20W	单相吊扇 220V	调速开关, 明装, 配吊扇	暗装照明配电箱	暗装单相三孔插座, 空调专用, 220V 15A
数量	7个	4只	6个	1个	4支	1台	1个	1个	3个

2) 根据平面图画出系统原理图，其中某部分的分路原理图如图6-8所示。

6. 操作技能比例要求

(1) 识读施工平面图 (30%)

如图6-7所示，将分析结果写在答题纸上。

1) 分析进线标注符号的含义, 5%。

2) 电工符号的识别 (当场给定两个)，每对一个得2%，共10%。

3) 图中 $4 - \frac{1 \times 60}{-}D$ 的含义, 5%。

4) 图中④的含义, 5%。

5) 直线标注的含义, 5%，由教师当场指定一条直线，如a1、a2、a3。

(2) 根据平面图画出系统原理图 (10%)

(3) 通电调试 (30%)

其中单相电动机部分10%，照明部分20%。在规定的时间内，只有两次通电调试机会；得到教师许可后，第一次成功得30%，第二次成功得15%，未成功或放弃者同等。

(4) 接线工艺 (10%)

(5) 元器件选择和检查 (10%)

(6) 导线的连接 (10%)

单股线的绞接与T字形接法，一种正确得5分；两种正确得10分。

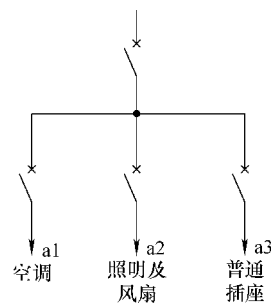


图6-8 照明配电箱供电系统分路原理图



思考与复习



- 1) 在图 6-2 中, 保护线 PE 与零线 N 各起什么作用? 能否共用?
- 2) 单相电动机起动后再切除电容是否还能继续运转? 如果某一单相电动机通电后无法起动, 但给电动机轴一个外力让其转动, 这时电动机马上能够起动, 说明什么问题?
- 3) 室内照明开关以及插座在明装或暗装时的高度各是多少?
- 4) 导线接头连接后的基本要求有哪些?
- 5) 如何根据工作环境来选择导线的敷设方式?

模块 7 电子技术基础及实训

7.1 电子基础知识

半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。常见的半导体材料有硅（Si）和锗（Ge）。其中，硅晶体原子结构如图 7-1 所示。

7.1.1 半导体和 PN 结

1. P 型半导体和型 N 半导体

(1) 半导体的导电机制

①本征半导体：不含杂质的半导体，如单晶硅。

②结构：半导体硅和锗原子结构最外层有 4 个电子，即它们都是四价元素，化合价为四，如图 7-1 所示。这 4 个电子（又称为价电子）和相邻 4 个电子结合时，形成共价键。

③特点：受外界影响大，如温度、光照射等。温度升高使价电子获得能量，挣脱原子核及共价键的束缚而成为自由电子，相应留下一个空穴。因此，自由电子和空穴总是成对出现，总体呈现中性，不带电。自由电子少，导电能力差。

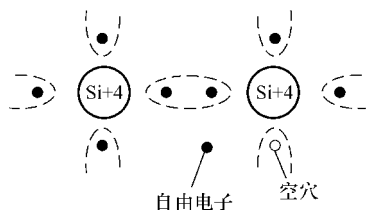


图 7-1 本征半导体原子结构

④导电性：两种载流子，即电子流和空穴流。

(2) P 型半导体和 N 型半导体的形成

①N 型半导体。在纯净硅 Si 中掺入五价元素磷 P，结果是多余一个电子，形成 N 型半导体，又称为电子型半导体，如图 7-2 所示。其特点是：电子为多数载流子，空穴为少数载流子。

②P 型半导体。在纯净硅 Si 中掺入三价元素硼 B，结果是少一个电子，形成 P 型半导体，又称为空穴型半导体，如图 7-2 所示。其特点是：空穴为多数载流子，电子为少数载流子。

2. PN 结

(1) PN 结的形成 P 区内空穴浓度大，N 区内电子浓度大，P 型半导体和 N 型半导体连接在一起，产生扩散运动和漂运动，P 区的空穴向 N 区扩散，失去空穴带负电，N 区电子向 P 区扩散，N 区失去电子而带正电，在交接面附近形成了内电场，即 PN 结或“阻挡层”，如图 7-3a 所示。

(2) PN 结的单向导电性

①正偏（正向偏置、正向电压、正向连接）。P 区接电源的正极，N 区接电源的负极，与内电场的方向相反，在电场力的作用下内电场将被削弱（即阻挡层被变薄）PN 结电阻小，电流可通过，称为正向导通状态，如图 7-3b 所示。

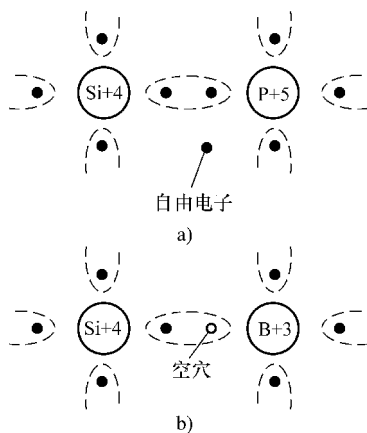


图 7-2 杂质半导体原子结构
a) N 型半导体 b) P 型半导体

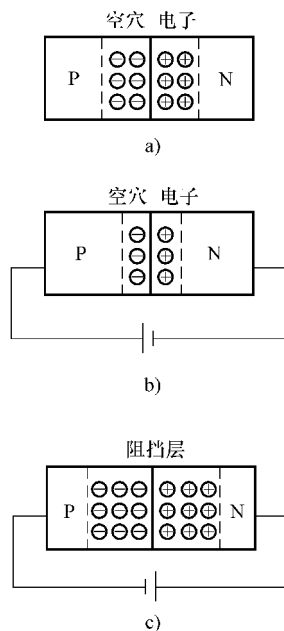


图 7-3 PN 结的形成
a) 内电场 b) 正向连接 c) 反向连接

②反偏（反向偏置、反向电压、反向连接）。P 区接电源的负极，N 区接电源的正极，与内电场的方向相同，在电场力的作用下，内电场将被加强（即阻挡层被变厚），PN 结电阻大，电流极其微弱，基本不能导通，如图 7-3c 所示。P 区接负极，N 区接正极。PN 结电阻大，称截止状态。

以上说明 PN 结具有单向导电性。

7.1.2 晶体二极管

1. 二极管的结构和类型

(1) 结构 由一个 PN 结组成，其符号如图 7-4 所示。

(2) 类型 按内部结构可分为点接触型和面接触型。

①点接触：PN 结面积小；用于高频检波、脉冲电路。

②面接触：PN 结面积大；用于低频整流电路。

2. 伏安特性和主要参数

(1) 正向特性 工作电压大于死区电压（硅管为 0.5 ~ 0.7V，锗管为 0.2 ~ 0.3V）时，二极管处于导通状态，如图 7-5 所示。

(2) 反向特性 二极管施加反向电压截止时存在很小的反向饱和电流（受温度影响大）；反向电压超过某一数值时发生击穿现象，此时的电压称为反向击穿电压。

(3) 主要参数

1) 最大整流电流 I_M ：指的是长期使用时允许通过的最大正向电流平均值。

2) 最大反向工作电压 U_{RM} ： U_{RM} 为反向击穿电压的 1/2。

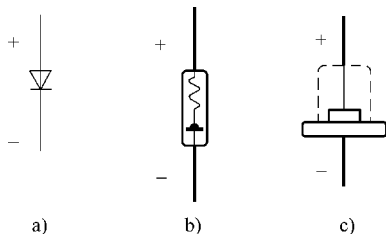


图 7-4 二极管的符号与类型

a) 符号 b) 点接触型 c) 面接触型

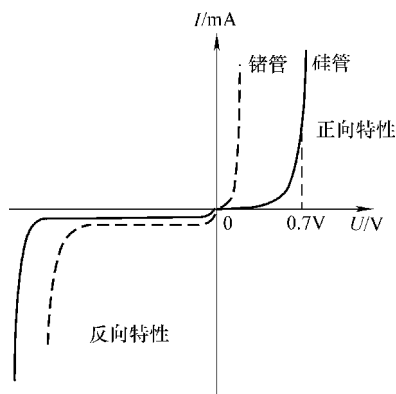


图 7-5 二极管伏安特性曲线

3) 反向电流 I_{RS} : 指的是给定的反向电压下, 通过二极管的反向电流值。反向电流 I_{RS} 越小, 单向导电性越好。硅管的反向电流 $\leq 5\mu A$; 锗管的反向电流 $\leq 250\mu A$ 。反向电流受温度影响大。

3. 简易测试

用万用表 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 挡来测。这里以指针万用表为例, 表内电池极性黑表笔接电池的正极, 红表笔接电池的负极。

(1) 判断二极管的好坏 正向电阻小, 几十到几百欧。反向电阻大, 几十到几百千欧。正反向电阻均较小, 说明二极管已损坏。正反向电阻的差值越大, 其单向导电性越好。

(2) 极性判别 导通时, 黑笔接的为二极管的正极; 红笔接的为二极管的负极。

7.1.3 整流电路

利用二极管的单向导电性, 把交流电变成直流电的电路, 叫做整流电路。

整流电路主要由交流电源用变压器、整流管或整流堆以及负载等部分组成。

1. 单相半波整流

如图 7-6 所示, 变压器提供需要的交流电压, 当 a 点为 “+” b 点为 “-” 的半个周期时, 二极管导通; a 点为 “-” b 点为 “+” 的半个周期, 二极管不导通。此电路形成了半波整流电路。

输出电压的平均值为

$$U_L = 0.45 U_2 \quad (7-1)$$

电路中二极管的电流等于负载电流, 即

$$I_V = I_L \quad (7-2)$$

二极管承受的最大反向电压为

$$U_{RM} = \sqrt{2} U_2 \quad (7-3)$$

电路的特点是: 结构简单, 效率较低, 波动最大。其电压与电流波形如图 7-7 所示。

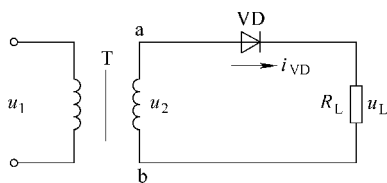


图 7-6 单相半波整流电路

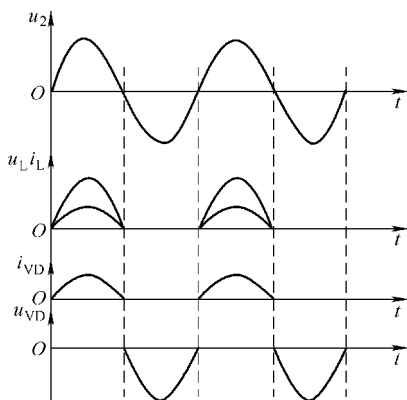


图 7-7 单相半波整流电路电压波形

2. 单相全波整流

如图 7-8 所示, 变压器二次绕组设有中心抽头, 提供两段相同的交流电压 u_{2a} 、 u_{2b} , 当 a 点为“+” b 点为“-”时, 二极管 VD1 导通, ac 段绕组供电, VD2 不导通; 当 a 点为“-” b 点为“+”时, 二极管 VD2 导通, bc 段绕组供电, 这样便为负载提供了全波整流电压。此电路称为全波整流电路。其电压与电流波形如图 7-9 所示。

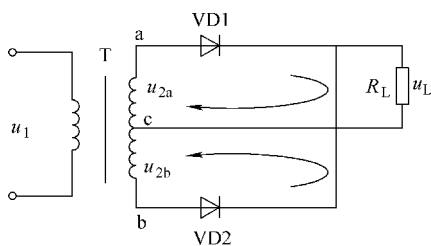


图 7-8 全波整流电路

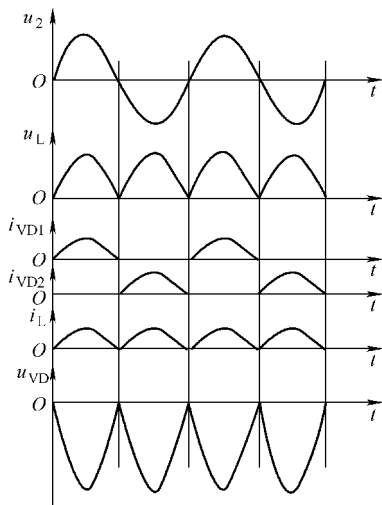


图 7-9 单相全波整流电路波形

输出电压的平均值为

$$U_L = 0.9U_2 \quad (7-4)$$

二极管的电流为

$$I_{VD} = \frac{1}{2}I_L \quad (7-5)$$

二极管承受的最大反向电压为

$$U_{RM} = 2\sqrt{2}U_2 \quad (7-6)$$

电路的特点是: 二极管工作效率高, 反向耐压高, 多一组绕组。



3. 单相桥式整流

如图 7-10 所示, 变压器提供电路所需的交流电压, 整流部分由四个二极管组成桥式连接, 交流电源接通后, 在 a 点为 “+” b 点为 “-” 时, 二极管 VD1 和 VD3 导通; 在 a 点为 “-” b 点为 “+” 时, 二极管 VD2 和 VD4 导通, 这样同样使负载获得了全波整流电压。此电路为桥式整流电路。其电压与电流波形如图 7-11 所示。

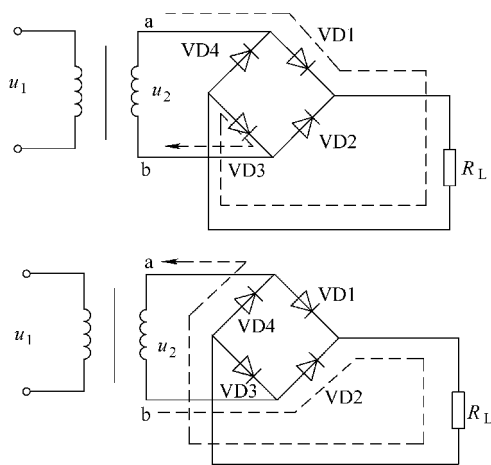


图 7-10 桥式整流电路

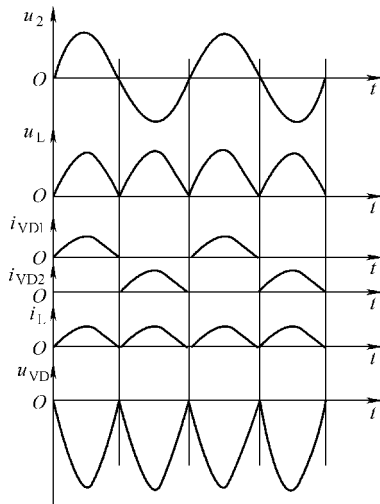


图 7-11 单相桥式整流电路电压与电流波形

输出电压的平均值为

$$U_L = 0.9U_2 \quad (7-7)$$

二极管电流为

$$I_{VD} = \frac{1}{2}I_L \quad (7-8)$$

二极管承受的最大反向电压为

$$U_{RM} = \sqrt{2}U_2 \quad (7-9)$$

电路的特点是: 效率较高, 使用 4 个二极管, 且二极管的最大反向电压较低, 变压器无需抽头, 波动较大。

4. 三相桥式整流

如图 7-12 所示, 变压器为三相输出, 提供电路所需的交流电压, 整流部分由 6 个二极管组成三相桥式连接。常用于功率较大的电路。电压波形如图 7-13 所示。电路的工作原理是:

在时间段 1, u_c 电压最高, u_b 电压最低, 电流从二极管 VD5 $\rightarrow$ R_L $\rightarrow$ VD4 形成回路。
 在时间段 2, u_a 电压最高, u_b 电压最低, 电流从二极管 VD1 $\rightarrow$ R_L $\rightarrow$ VD4 形成回路。
 在时间段 3, u_a 电压最高, u_c 电压最低, 电流从二极管 VD1 $\rightarrow$ R_L $\rightarrow$ VD6 形成回路。
 在时间段 4, u_b 电压最高, u_c 电压最低, 电流从二极管 VD3 $\rightarrow$ R_L $\rightarrow$ VD6 形成回路。
 在时间段 5, u_b 电压最高, u_a 电压最低, 电流从二极管 VD3 $\rightarrow$ R_L $\rightarrow$ VD2 形成回路。
 在时间段 6, u_c 电压最高, u_a 电压最低, 电流从二极管 VD5 $\rightarrow$ R_L $\rightarrow$ VD2 形成回路。
 在时间段 7, u_c 电压最高, u_b 电压最低, 电流从二极管 VD5 $\rightarrow$ R_L $\rightarrow$ VD4 形成回路。



整流过程如以上交换、循环。

输出电压的平均值为

$$U_L = 2.34U_2 \text{ (线电压)} \quad (7-10)$$

二极管中的电流为

$$I_{VD} = \frac{1}{3}I_L \quad (7-11)$$

二极管承受的最大反向电压为

$$U_{RM} = \sqrt{2}\sqrt{3}U_2 \quad (7-12)$$

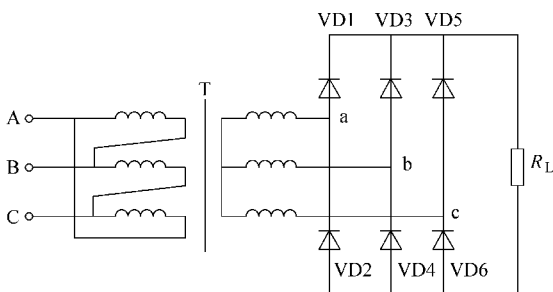


图 7-12 三相桥式整流电路

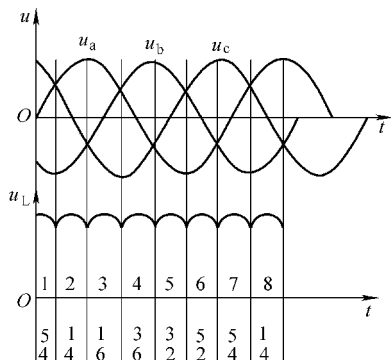


图 7-13 三相桥式整流电路电压波形

电路的特点是：功率大、效率高、输出电压平稳波动最小。该电路是工业中常用的整流电路。

7.1.4 滤波电路

滤波电路常用于滤除整流电路输出电压中的交流成分，使输出电压更加平稳。

1) 电容滤波电路：如图 7-14a 所示。

2) 电感滤波电路：如图 7-14b 所示。

3) π 型滤波电路：如图 7-14c 所示。

常用滤波电路的电压波形如图 7-15 所示。

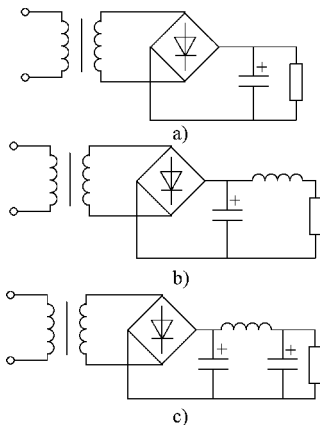


图 7-14 滤波电路的类型

a) 电容滤波 b) LC 滤波 c) π 型滤波

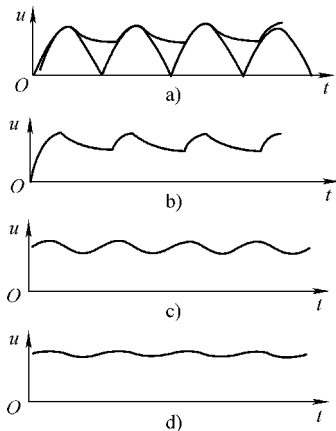


图 7-15 滤波电路的电压波形

a)、b) 电容滤波 c) 电感滤波 d) π 型滤波

滤波后的输出电压会升高, 即

$$U_0 = 1.2U_2$$

7.1.5 晶体管

1. 晶体管的结构

(1) 结构组成 晶体管是由两个 PN 结组成。它可分为三个区: 发射区、基区、集电区。晶体管有两种 PNP 和 NPN 两种类型, 如图 7-16 所示。

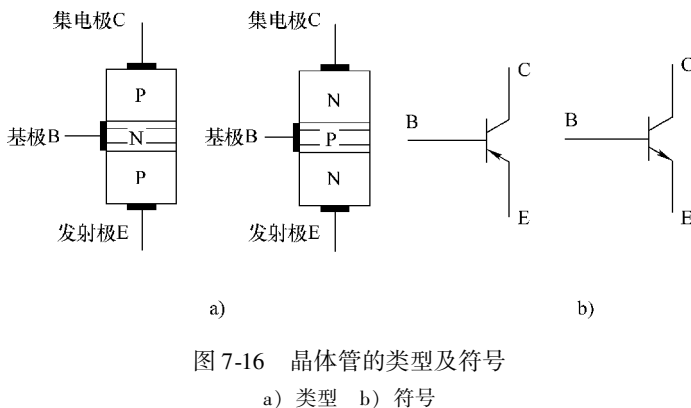


图 7-16 晶体管的类型及符号

a) 类型 b) 符号

(2) 结构特点

- ①发射区掺杂浓度大。
- ②基区很薄 (几微米几十微米) 掺杂质少。
- ③集电结面积大。

2. 晶体管中的电流分配

晶体管中载流子的运动规律, 如图 7-17 所示。

①发射结正向偏置导通后, 发射区向基区发射电子, 电子扩散运动形成 I_E 。

②电子在基区中不断扩散与复合。由于基区很薄, 电子很快扩散到集电结边缘。又由于基区掺杂浓度 (空穴) 小, 很少一部分电子与空穴复合, 复合掉的空穴由 E_B 再提供, 便形成了 I_B 。

③电子不断被集电极所收集。由于集电结反偏, 漂移运动占主导地位, 集电结附近的电子可顺利通过集电区, 这样就形成了 I_C 。

④电子运动规律。当基极和发射极之间加正向偏置电压时, 内电场被削弱, 相当于 PN 结变窄, 所以发射区的电子因浓度高很容易扩散到基区, 形成发射极电流 I_E , 同时由于集电结反偏, 内电场加强, 相当于 PN 结变宽, 所以集电结附近的电子则在集电极外加电场的作用下, 很容易到达集电区, 形成集电极电流。同时基区在正向电源的作用下电子和空穴不断发生复合, 形成基极电流 I_B 。三种电流的分配关系为

$$I_E = I_C + I_B \quad (7-13)$$

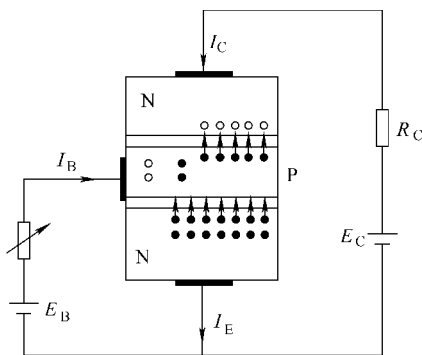


图 7-17 载流子的运动规律



假设发射极提供了 50 个电子，基极有 1 个空穴与其中 1 个电子发生复合，则集电极将收集 49 个电子，这种分配关系是不变的。这就是电流的放大作用，令 $I_C/I_B = h_{FE}$ ， h_{FE} 是晶体管的直流电流放大倍数。

3. 晶体管中的电流放大作用

将一个 NPN 型晶体管按图 7-18 进行连接，则此电路存在两个回路，回路 1 为基极回路，回路 2 为集电极回路，两回路均经过发射极，因此被称为共发射极放大电路。

在电路中改变 R_B ，基极回路的电流 I_B 发生改变，则集电极电流 I_C 也产生了相应的变化，将变化的电流测量，列入表 7-1 中，在表中反映出， I_B 的变化（调整 R_B ）， I_C 、 I_E 发生了相应的变化。

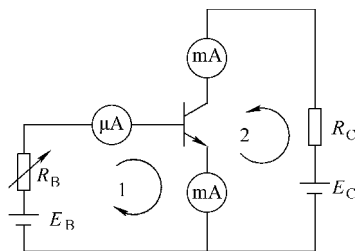


图 7-18 晶体管的电流分配

表 7-1 I_B 、 I_C 、 I_E 之间的电流关系

I_E/mA	0	0.4	1	2	3	4	5	6
I_C/mA	0.007	0.4	0.98	1.96	2.94	3.92	4.90	5.87
I_B/mA	-0.007	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13

从表中可看出：发射极电流 $I_E = I_C + I_B$ ，基极电流由 0.02mA 变化到 0.10mA，变化量 $\Delta I_B = 0.10\text{mA} - 0.02\text{mA} = 0.08\text{mA}$ ，集电极电流变化量 $\Delta I_C = 4.90\text{mA} - 0.98\text{mA} = 3.92\text{mA}$ ，可以看出，基极电流较小的变化，可引起集电极电流较大的变化。这即为放大作用，电流分配关系如下：

(1) 电流分配关系 $I_E = I_C + I_B$

(2) 直流放大倍数 $\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{2.94}{0.06} = 49$

(3) 交流放大倍数 $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2.94 - 1.96}{0.06 - 0.04} = 49$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad (7-14)$$

注意：在实际使用中，各晶体管的放大倍数是不同的。

(4) 三种接法即共发射极接法、共基极接法、共集电极接法，如图 7-19 所示。

(5) 三种工作状态

①放大状态：发射结正偏，集电结反偏。用于模拟放大电路。

②饱和状态：发射结和集电结均正偏。用于开关电路（数字电路）导通状态。

③截止状态：发射结和集电结均反偏。用于开关电路（数字电路）阻断状态。

4. 特性曲线及主要参数

(1) 输入特性曲线 晶体管按照图 7-20 所示电路进行连接，输入特性是测量 U_{BE} 与 I_B 之间的关系。

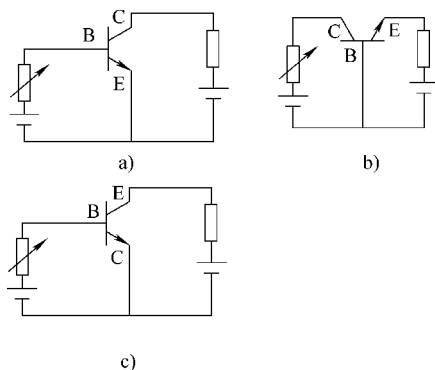


图 7-19 晶体管的接法

a) 共发射极 b) 共基极 c) 共集电极



U_{CE} 不变时, 调整 R_B , 测量 U_{BE} 、 I_B , 得到输入特性曲线。从输入特性曲线可以看出, U_{BE} 小于 0.5V 时 I_B 为 0, 当 U_{BE} 达到 0.5 ~ 0.7V 时基极与发射极之间导通, 有了基极电流 I_B 。若 U_{BE} 发生变化, 则基极电流 I_B 也产生相应的变化, 即基极电流的大小 (在一定的范围内) 是随 U_{BE} 的变化而变化的。这就是晶体管的输入特性。它反映了晶体管的 U_{BE} 与 I_B 之间的对应关系, 如图 7-21 所示。

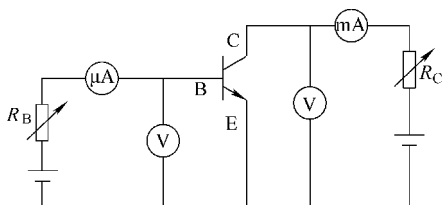


图 7-20 晶体管特性测试电路

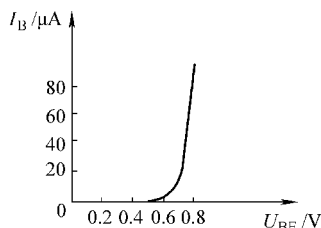


图 7-21 晶体管的输入特性

(2) 输出特性曲线 晶体管按照图 7-20 所示电路进行连接, 输出特性是测量 U_{CE} 与 I_C 之间的关系, I_B 保持为一定值。 U_{CE} 与 I_C 的对应关系如图 7-22a 所示。

由图 7-22a 中可以看出, 当 I_B 为 30 μ A 时 I_C 约为 3mA, U_{CE} 的变化对 I_C 基本没有影响。

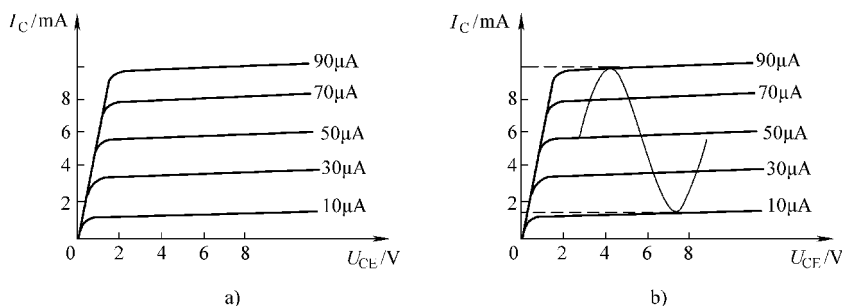


图 7-22 晶体管输出特性

a) 特性曲线 b) 放大作用

当 I_B 为 50 μ A 时 I_C 约为 5mA, U_{CE} 的变化对 I_C 基本没有影响。

当 I_B 为 70 μ A 时 I_C 约为 7mA, U_{CE} 的变化对 I_C 基本没有影响。

这就说明 I_C 的变化是随着 I_B 的变化而变化, $I_C/I_B = h_{FE}$ 即直流放大倍数, $h_{FE} \approx \beta$ 。

从输出特性曲线上可以看出, 在输入电流变化 (即 ΔI_B 发生变化) 时, 将导致集电极电流发生变化 ΔI_C 。如图 7-22b 所示, 基极电流在 10 ~ 90 μ A 间放生变化, 引起集电极在 1 ~ 9mA 之间发生变化。这就是说, 基极电流的微小变化使集电极电流产生较大的变化, 若基极电流按正弦规律变化, 集电极电流也将按照正弦规律做较大的变化。这就是所谓的电流放大作用。

5. 单管放大电路

图 7-23 所示为共发射极放大电路。接入电源 E_C , R_B 提供基极电流 I_B ; R_C 提供集电极电流 I_C 。 I_B 、 I_C 为静态

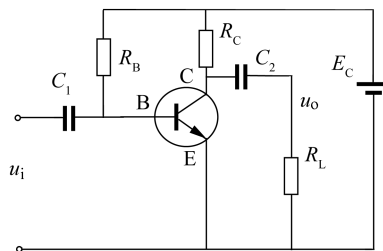
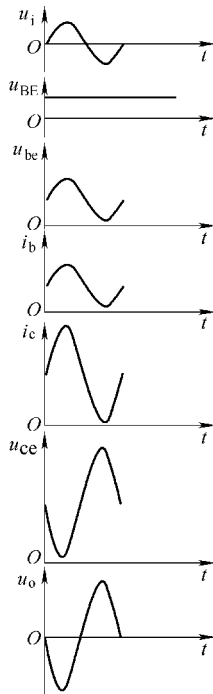


图 7-23 晶体管共发射极放大电路



工作电流。

正弦交流信号电压 u_i 经过 C_1 从基极输入，在进入基极后，与基极原静态电压 U_{BE} ($0.5 \sim 0.7V$) 叠加，使 U_{BE} 出现相应的变动的电压，即 u_{be} ， U_{BE} 的变动（由输入特性曲线）引起 I_B 的变动， I_B 的变动经放大后 I_C 有了较大 ($I_C = \beta I_B$) 的变化，由于 I_C 经电阻 R_C 提供的，流过 R_C 的电流发生了变化，则 $U_{CE} = E_C - I_C R_C$ 也产生了较大的变化（各点电压的变化如图 7-24 所示），经过电容 C_2 将 U_{CE} 变化电压的交流成分 u_o 送到了负载电阻 R_L 两端。 U_o/U_i 即为电压放大倍数 A_u 。



7.2 常用电子元器件的识别与测量

7.2.1 常见电阻及阻值的判别

电阻，顾名思义就是物体对电流的阻碍。在同一电压作用下，电阻值越大则流过该电阻的电流就越小；相反，电阻值越小则流过该电阻的电流越大。当某一电源两极所接的电阻为 0 时，则该电源被短路。电阻在电子电路中常起到限制电流和分压的作用。图 7-24 共发射极放大电路常用电阻分为定值电阻（电阻）和可变电阻（电位器）。

1. 电阻

(1) 电阻的外形 常用电阻的外形如图 7-25 所示。

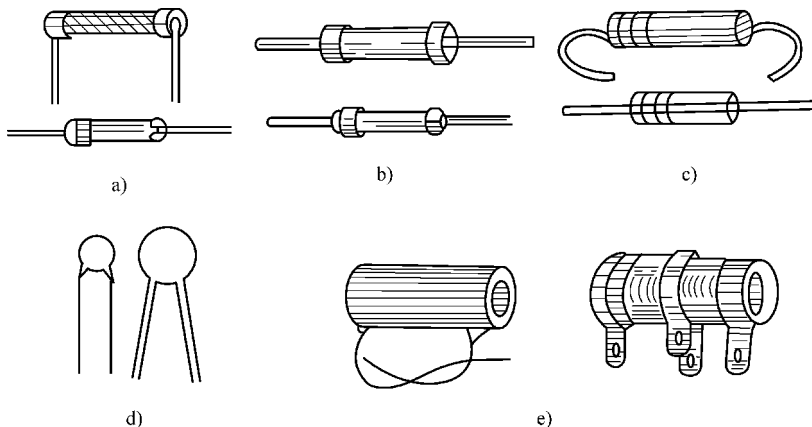


图 7-25 常用电阻的外形

a) 碳膜电阻 b) 金属膜电阻 c) 碳质电阻 d) 热敏电阻 e) 绕线电阻

(2) 阻值的判别 判断电阻阻值最直接的方法就是利用万用表的欧姆挡进行测量，测量时万用表的量程要大于被测电阻的阻值。如果不能确定电阻的大概阻值，可用万用表的最高量程进行测量，然后再减小量程逐渐靠近直至最接近被测电阻阻值。如果没有万用表，也可通过观察电阻表面的色环来计算电阻的阻值及其误差。电阻色环对应的数值见表 7-2。

表 7-2 电阻色环对应的数值

颜 色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	无色环
对应数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—	—	—
误差 (± %)	—	1	2	—	—	0.5	0.25	0.1	—	—	5	10	20
对应次方	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	—	—	—

色环表示方法有两种形式：四环表示法和五环表示法。

1) 四环表示方法：如图 7-26a 所示，色环排列顺序为黄、紫、棕、银，查表 7-2 找到对应的数值分别是 4、7、1、10。

则该色环所表示的阻值为： $47 \times 10^1 (1 \pm 10\%) \Omega = (470 \pm 47) \Omega$ 。

说明：四环表示法中第一环和第二环为有效数值环，第三环为 10^n 次方，第四环表示阻值误差。

2) 五环表示方法：如图 7-26b 所示，色环排列顺序为：绿、棕、黑、橙、金，查表 7-2 找到对应的数值分别是 5、1、0、3 和 5。

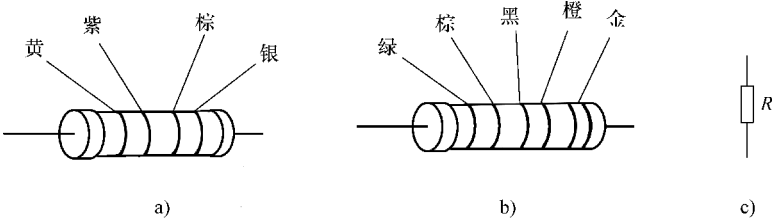


图 7-26 电阻色环表示法和电路符号

a) 电阻四环标注 b) 电阻五环标注 c) 电阻符号

则该色环所表示的阻值为： $510 \times 10^3 (1 \pm 5\%) \Omega = (510 \pm 25.5) \text{k}\Omega$

说明：五环表示法中第一环、第二环、第三环为有效数值环，第四环为 10^n 次方，第五环表示阻值误差。

2. 电位器

电位器是电阻值可调节的电阻器，有三个端子，其中两个端子间标准的阻值是电位器的电阻值，第三个端子为电阻值可调端子，如图 7-27a 所示：1 号端子与 3 号端子间为电阻体，电位器的阻值就是所标注的阻值，2 号端子通过滑动片与电阻体保持接触，通过旋转调节轴可使滑动片均匀地在电阻体上滑动，使 2 号端子对 1 号或 3 号端子间的电阻值可调节。图 7-27b 为电位器的电路符号。

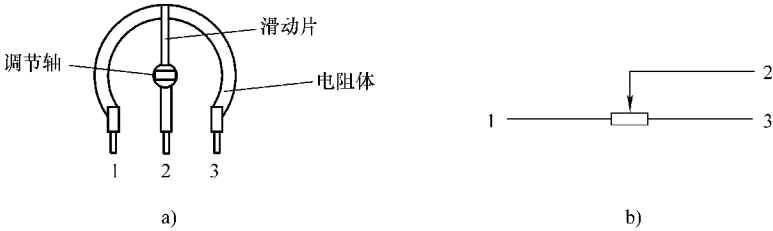


图 7-27 电位器的原理图及电路符号

a) 原理图 b) 电路符号



电位器的旋转角度与阻值变化之间常见有三种关系：X 型（阻值按照旋转角度均匀变化）、Z 型（也称为指数型，当角度均匀变化时阻值变化先慢后快，适用于音量调节）和 D 型（阻值变化趋势与 Z 型相反，适用于仪器仪表）。常用电位器的型号见表 7-3。

表 7-3 常用电位器的型号

型 号	WT、WTK		WS	WTH		WX
名称	碳膜电位器		有机实心电位器	合成碳膜电位器		线绕电位器
功率/W	0.25	0.1	0.5	1、2	0.5、1	1、3、5、10
线型	X	Z、D	X	X	Z、D	
适用场所	常见用于音量调节。有时集成电源开关于一体		常用于仪器设备作机内调节。其中 WS—2 为非锁紧型，WS—3 为锁紧型		常用于通信设备及仪器仪表	常用于大功率电路

常见电位器的外形如图 7-28 所示。

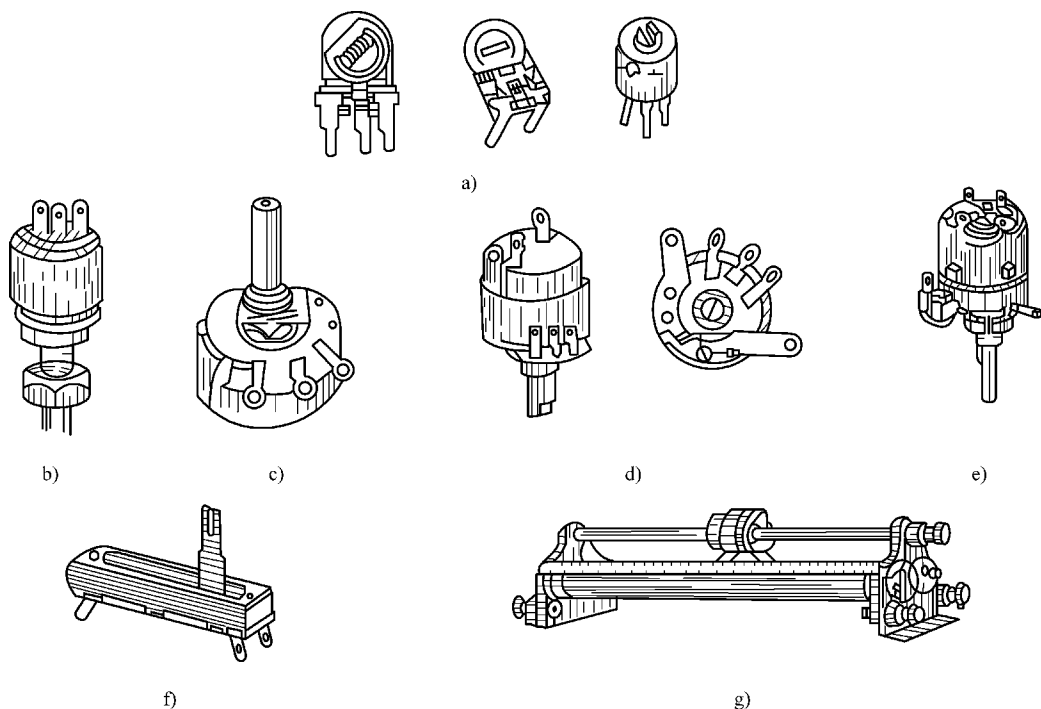


图 7-28 常见电位器的外形

a) 微调电阻 b) 有机实心电位器 c) 碳膜电位器 d) 带开关电位器
e) 推拉式电位器 f) 直滑式电位器 g) 滑线变阻器

电位器的简单应用如图 7-29 所示。电源电压为 5V，输出电压 U_o 。可通过电位器进行调节，其变化范围是 0 ~ 2.5V。

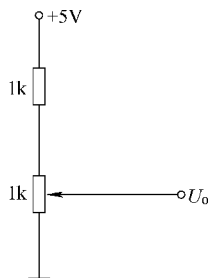
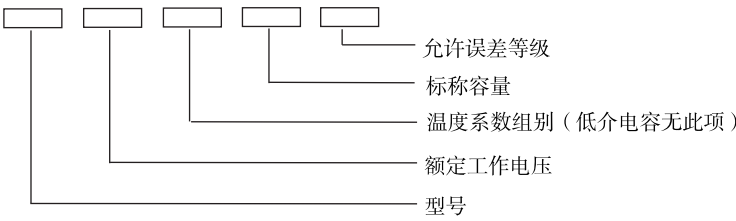


图 7-29 电位器的简单应用

7.2.2 常见电容及电容量的判别

电容在电子电路中常用来滤波、耦合、退耦、旁路、延迟、补偿、匹配、振荡和调谐等。其可分为有极性电容和无极性电容两种，具有隔直流、通交流的特性。电容器型号一般由以下几部分组成：



例如：CZJX-250-0.033-±10% 表示小型金属化纸介电容器，它的额定电压为 250V，标称容量为 0.033μF，允许误差为 ±10%。电容器型号字母的意义见表 7-4。

表 7-4 电容器型号字母的意义

主 称		介 质 材 料				特 征	
字 母	意 义	字 母	意 义	字 母	意 义	字 母	意 义
C	电容器	C	瓷介	Q	漆膜	X	小型
		Y	云母	L	涤纶	W	微调
		Z	纸介	S	聚碳酸酯	M	密封
		D	(铝) 电解	A	(钽) 电解	J	金属化
		O	玻璃膜	N	(铌) 电解	D	低压
		I	玻璃釉	T	钛	Y	高压
		H	混合介质	M	压敏	G	管形
		B	聚苯乙烯			T	筒形
		F	聚四氟乙烯			Y	圆形

电容量的单位有 F、μF 和 pF。它们之间的关系是：1F = 10⁶μF，1μF = 10⁶pF。1F 是什么概念呢？假设在地球表面加一根导线，同时在月球表面上加一根导线，这样两个星球之间就产生了一个 1F 的电容，可见 1F 的电容量是非常大的。若两个导体间是绝缘的，则这两个导体间就存在电容，电容量的大小同这两个导体间的距离和面积有关，计算方法是

$$C = \frac{\epsilon s S}{d} \tag{7-15}$$

式中 ε ——绝缘介质的介电常数；
 S ——两导体之间的面积；
 d ——两导体之间的距离。

由此可见，电容量 C 与 ε 和 S 成正比，与 d 成反比。

电容量的大小通常直接标出，一般规律是：当电容量小于 10000pF（0.01μF）时，以 pF 作单位；当电容量大于 10000pF 时，以 μF 作单位；当电容量小于 1μF 时，用小数点表示并省去符号 μF，例如，0.47 表示 0.47μF。电解电容器还同时标注直流最高工作电压。

电解电容分正负极，应用时在注意区分极性的同时注意耐压等级，否则可能会产生电容爆炸，对于新购买的电解电容较长的引脚为正极。无极性电容器的电容量在皮法级的标注方法通常利用数字直接标出，如 104 表示 $10 \times 10^4 \text{ pF} = 100000 \text{ pF}$ ，332 表示 $33 \times 10^2 \text{ pF} = 3300 \text{ pF}$ 。电子电路中常用 104 来进行高频滤波抗干扰信号。

常用电容的外形及符号如图 7-30 所示。

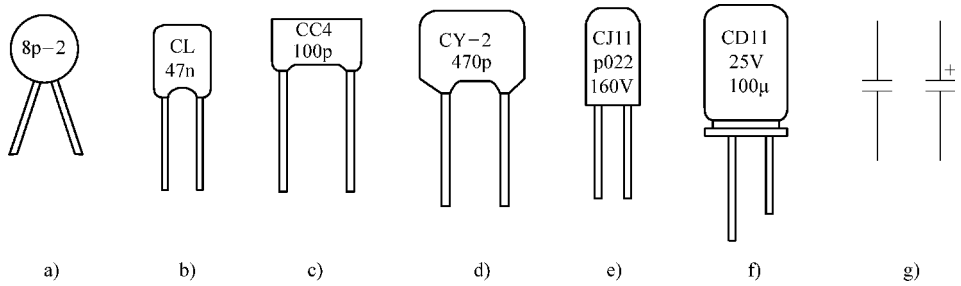


图 7-30 常见电容器的外形及符号

a) 瓷介质电容器 b) 涤纶电容器 c) 独石电容器 d) 云母电容器
 e) 金属化纸介电容器 f) 铝电解电容器 g) 符号

7.2.3 常见二极管及其判别

1. 概述

二极管按用途不同可分为整流二极管、稳压二极管、光敏二极管、发光二极管和变容二极管。常见二极管的符号及用途见表 7-5。

表 7-5 常见二极管的符号及用途

名 称	符 号	典 型 型 号	特 性	一 般 用 途
整流二极管		2CZ	单向导电	主要用于整流
稳压二极管		2CW、2DW	工作在反向击穿状态	主要用于稳压
光敏二极管			反向电流随光照强度的增加而上升	在光线测量仪中用于光的测量，也可作光电池
发光二极管			正向通过电流时发光	用于显示或指示
变容二极管			结电容随反向电压增加而减小	用于自动控制和通讯系统中，可用来代替可变电容器



2. 二极管的测量

(1) 普通二极管的测量

1) 用指针式万用表测量。将万用表置于 $R \times 1k\Omega$ 挡或者是 $R \times 100\Omega$ 挡, 对调表笔 (指针式万用表的欧姆挡黑表笔接内部电池的正极, 红表笔接内部电池的负极) 分别测量二极管的两极, 使用 $R \times 1k\Omega$ 挡测量时, 硅管正向导通时的电阻值为 $3 \sim 10k\Omega$, 锗管正向导通时的电阻值约为 $1k\Omega$, 如图 7-31 所示。

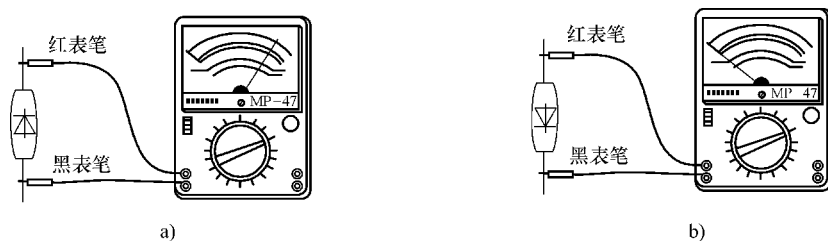


图 7-31 二极管的正负极的区分与测量

a) 二极管正向测量时电阻值小 b) 二极管反向测量时电阻值大

2) 用数字式万用表测量。采用数字式万用表测量二极管时, 通常将挡位选择开关置于标有二极管符号的位置, 这时可直接测量出二极管正向导通时的压降, 但数字式万用表与指针式万用表的表笔相反, 即红表笔接内部电池的正极, 黑表笔接内部电池的负极。二极管使用的材料不同其压降也不同, 硅管正向导通时为 $0.55 \sim 0.7V$, 锗管正向导通时为 $0.15 \sim 0.3V$ 。当测量反向电阻时不管是硅管还是锗管, 如果二极管良好, 数字式万用表均显示为无穷大。

注意: 不管是硅管还是锗管, 也不管使用哪种万用表, 当正反向均导通说明二极管已击穿短路, 当正反向均为无穷大说明二极管已开路损坏。

(2) 稳压二极管的测量 测量稳压二极管的电阻时, 通常将指针式万用表置于 $R \times 10k\Omega$ 挡, 正向电阻的阻值小, 反向电阻的阻值大, 并且可以利用反向阻值计算出被测稳压二极管的稳压值, 估算方法如下:

被测稳压二极管的稳压值 = $(10 - \text{读数}) \times 1.5V$

例如: 当测量某稳压二极管的反向阻值为 $6.9 \times 10k\Omega$ 时, 则该稳压二极管的稳压值 = $(10 - 6.9) \times 1.5V = 4.65V$ (此方法只适合测量稳压值为 $15V$ 以下的稳压二极管)。

(3) 发光二极管的测量 当测量发光二极管时, 对于新购买的二极管, 长管脚为正极, 短管脚为负极。当无法区分正负极时, 测量方法是: 将指针式万用表置于 $R \times 10k\Omega$ 挡或 $R \times 1k\Omega$ 挡。当对一个良好的发光二极管进行正向测量时它会发光, 反向测量则不会发光并且阻值很大。采用数字式万用表测量发光二极管时也要将挡位置于标有二极管符号的位置。

7.2.4 常见晶体管及其判别

晶体管通常作为电子电路里的信号放大器件和电子开关器件使用。晶体管有两大类: NPN 型和 PNP 型。晶体管符号如图 7-32 所示, B 为基极, C 为集电极, E 为发射极。

晶体管的型号较多, 通常根据实际工作环境的频率、电压、电流来选取。

晶体管的测量也相对较复杂, 首先要判断它属于 NPN 型还是 PNP 型, 然后再判断晶体

管的管脚。具体判断方法如下：

1. 判断晶体管的基极和类型

此处以指针式万用表为例进行判断，当判断一个晶体管时，首先假设它为 NPN 型，再假设其中任一管脚为基极 B，这时将万用表置于 $R \times 1k\Omega$ 挡，黑表笔（电池正）接假设的基极，红表笔分别接其他两个管脚，如果假设正确均会导通，反之假设错误，则重新假设基极并重复以上测量方法，最多假设三次。当三次假设均未出现基极时则说明型号假设错误。这时可以断定为 PNP 型晶体管（前提是晶体管未损坏）。判断 PNP 型晶体管基极时，红表笔接假设的基极，黑表笔分别接其他两个管脚，如果假设正确均会导通，反之假设错误，则重新假设基极并重复以上测量方法，最多假设三次即可找出基极和确定类型。

2. 集电极与发射极的判断

(1) NPN 型晶体管的集电极与发射极的判断 首先假设除基极外的任一管脚为集电极，这时依然将万用表置于 $R \times 1k\Omega$ 挡，并将黑表笔接集电极，红表笔接发射极，阻值应为无穷大，这时可在集电极与基极间接一只 $100k\Omega$ 左右的电阻，给晶体管的基极提供一个小电流，如果假设正确，则晶体管的基极电流被放大，这时黑表笔到红表笔间导通，显示阻值较小。但这时的阻值没有一个参考值，因此可将另外一只管脚假设为集电极再根据以上方法测量一次导通阻值，比较两次测量值，阻值较小的一次假设正确。在测量过程中，如果不方便接 $100k\Omega$ 电阻时，可用手指接通假设的集电极与基极来代替 $100k\Omega$ 电阻，具体操作方法如图 7-33 所示。

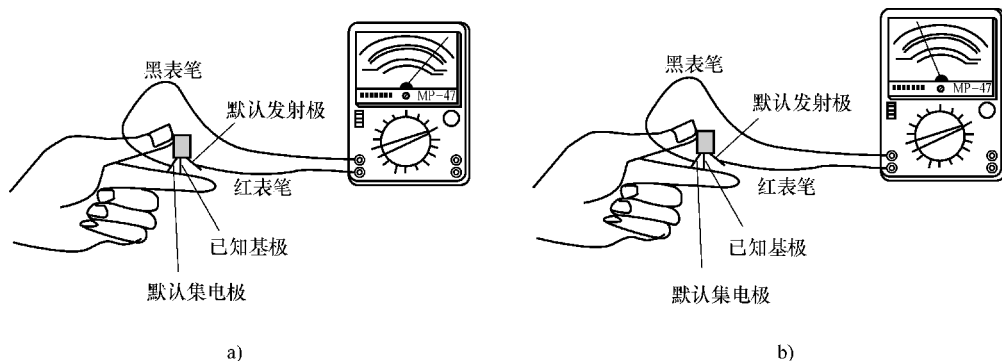


图 7-33 利用手指接通假设的集电极与已知基极测量 NPN 型晶体管
a) 默认正确指示导通阻值小 b) 默认错误指示导通阻值大

(2) PNP 型晶体管的集电极与发射极的判断 首先假设除基极外的任一管脚为发射极，这时依然将万用表置于 $R \times 1k\Omega$ 挡，并将黑表笔接发射极，红表笔接集电极，阻值应为无穷大，这时可在集电极与基极间接一只 $100k\Omega$ 左右的电阻，给晶体管的基极提供一个从发射极到基极的小电流，如果假设正确，则晶体管的基极电流被放大，这时黑表笔到红表笔间导通，显示阻值较小。但这时的阻值同样没有一个参考值，因此可将另外一只管脚假设为发射极再根据以上方法测量一次导通阻值，比较两次测量值，阻值较小的一次假设正确。在测量

过程中，如果不方便接 100kΩ 电阻时，可用手指接通假设的集电极与基极来代替 100kΩ 电阻，具体操作方法如图 7-34 所示。

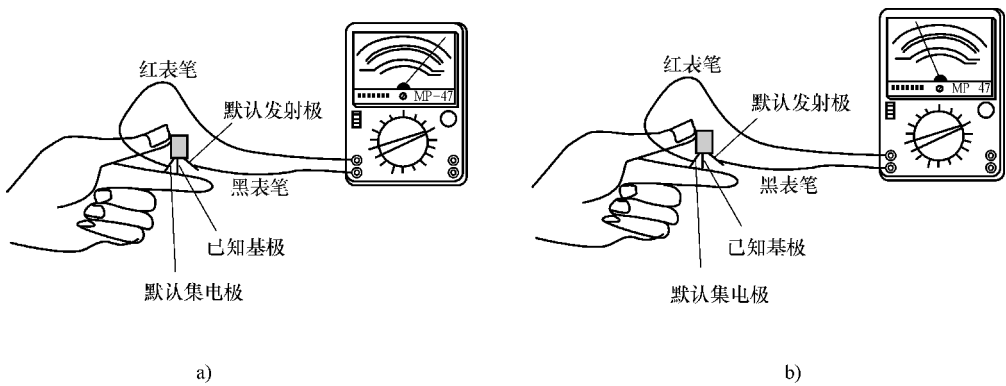


图 7-34 利用手指接通假设的集电极与已知基极测量 PNP 型晶体管
a) 默认正确则指示导通阻值小 b) 默认错误则指示导通阻值大

3. 晶体管好坏的判别

在判别基极、集电极与发射极的过程中，当测得 B 与 C、E 之间的阻值正反向均为零或无穷大，或者 C、E 间电阻为零，均说明该晶体管已损坏。

4. 国产半导体部分器件的型号

根据国家标准的规定，国产半导体分立器件的型号由五个部分组成，其符号及意义见表 7-6。

表 7-6 国产半导体分立器件的型号命名方法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用阿拉伯数字表示器件的电极数目		用汉字拼音字母表示器件的材料和极性		用汉字拼音字母表示器件的类别		用阿拉伯数字表示器件的序号	用汉字拼音字母表示规格号
符 号	意 义	符 号	意 义	符 号	意 义		
2	二极管	A	N 型，锗材料	P	小信号管	表示某些性能与参数上的差别	
		B	P 型，锗材料	V	混频检波管		
		C	N 型，硅材料	W	电压调整管和电压基准管		
		D	P 型，硅材料	C	变容管		
3	三极管			Z	整流管		
				L	整流堆		
				S	隧道管		
				K	开关管		
		A	PNP 型，锗材料	X	低频小功率管		
		B	NPN 型，锗材料	G	高频小功率管		
		C	PNP 型，硅材料	D	低频大功率管		
		D	NPN 型，硅材料	A	高频大功率管		
		E	化合物材料	T	闸流管		

例如：2 C W 21 D 表示序号为 21，规格号为 D，用于电压调整和作为电压基准的 N 型



硅材料二极管；而 3AX31 表示序号为 31 的 PNP 型锗材料低频小功率晶体管。

7.3 电子技术技能实训

实训 20 延时开关的制作与调试

1. 训练目的

- 1) 初步掌握二极管、晶体管、发光二极管、电容、电位器的作用。
- 2) 学习简单电子电路的调试。
- 3) 掌握色环电阻的识别方法。
- 4) 掌握用万用表判别二极管、晶体管的极性及好坏。
- 5) 熟悉晶体管延时电路的构成及电路的原理。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 7-7。

表 7-7 实训设备及器材清单

序 号		器材及电子元器件	数 量
1	电子实训柜 1 台	电解电容 220 μ F/25V	1 个
		碳膜电阻 1/8W (470 Ω)	1 个
		碳膜电阻 1/8W (50k Ω)	1 个
		碳膜电阻 1/8W (1.5k Ω)	1 个
		电位器 (1M Ω)	1 个
		晶体管 (9013)	1 个
		二极管 (1N4007)	1 个
		微型继电器 (12V1A)	1 个
		发光二极管	1 个
		印制电路实验板	1 个
2	电子常用工具	螺钉旋具、电工钳、万用表等、电烙铁 (220V 30W)	1 套
3	导线	BV 铜芯绝缘导线 0.3mm ² 、松香焊锡丝	若干

3. 识读电路图

图 7-35 所示为简单的电子延时开关原理图，延时范围为 1 ~ 180s。其工作原理为：当按下按钮 SB 后，电源迅速给电容 C 充电，这时电容两端的电压等于电源电压，电阻 R_2 提供基极电流，晶体管 VT 导通，继电器 K 得电吸合使常开触头闭合接通 LED 电源，使 LED 发光。当松开按钮 SB 后，充电停止。这时电容通过两个回路放电：第一个放电回路是通过 R_1 和 RP，第二个放电回路是通过 R_2 和晶体管的基极至发射极。由于电容的第二个放电回路电阻大，缓慢放电，所以通过第一个放电回路的 RP 调节可改变放电的快慢。当电容电压变小，向晶体管基极提供的电压小于 0.7V 时，晶体管截止，继电器失电，常开触头断开 LED 熄灭。所以调节 RP 大小即可调节放电快慢，就可调节继电器 K 吸合时间，也就是 LED 点

亮时间。因此，该电路中的继电器具有延时作用。

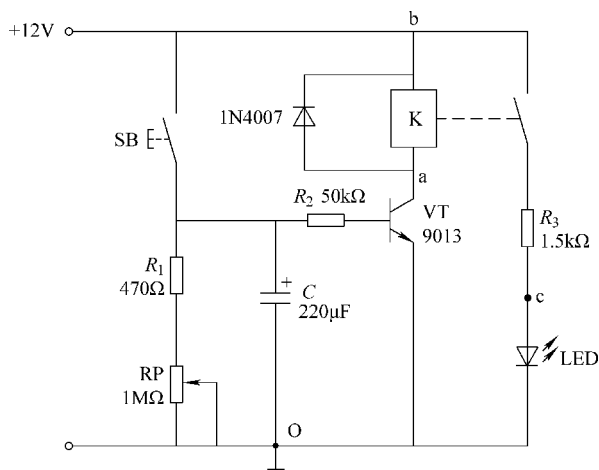


图 7-35 简单的电子延时开关原理图

4. 实训步骤

(1) 根据原理图选择元器件并判断元器件的好坏

1) 晶体管与二极管的测量。这部分内容前文已有介绍，这里不再赘述。

2) 继电器的测量 继电器主要由线圈、动静触头、衔铁、返回弹簧、铁心组成。其根据工作电源分为直流继电器和交流继电器。它的作用是用小电流驱动线圈后再利用继电器触头驱动大电流设备。选用时应注意线圈额定工作电压、线圈驱动交流或直流、触头工作电压与电流、触头组合形式等。

一般情况下，继电器的实际工作电压应不大于标识的额定电压；如果利用晶体管驱动继电器，则要注意晶体管额定电流应大于继电器额定电流。继电器触头组合形式有多种，一般有动合（常开）触头，称 H 型；动断（常闭）触头，称 D 型；切换（转换）触头，称 Z 型。其内部结构示意图如图 7-36 所示（图中继电器引脚朝向测量者）。

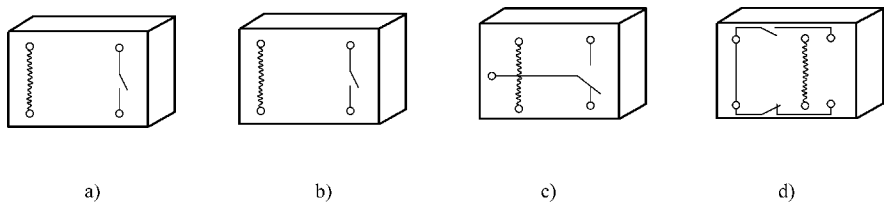


图 7-36 继电器的内部结构示意图

a) H 型继电器 b) D 型继电器 c) Z 型五脚继电器 d) Z 型六脚继电器

①四脚继电器的测量：利用万用表 $R \times 10\Omega$ 挡测量任意两引脚间的电阻值，如果继电器未损坏，则必然出现一次测量阻值为几百欧姆，这两个引脚所对应的就是继电器线圈；然后测量剩下两只引脚，当测量中出现阻值为 0，则这两个引脚为动断（常闭）触头；如果测量出现阻值无穷大，则这两个引脚为动合（常开）触头。

②五脚继电器的测量：先测量出继电器线圈，然后测量剩下三只引脚，当出现某一次两



脚间出现阻值为 0，则这两只引脚对应为动断（常闭）触头，这时肯定有一引脚靠近线圈，这只引脚就是公共引脚，剩下最后一只引脚与公共引脚间阻值应为无穷大，这对引脚就是转换型继电器的动合（常开）触头。

③六脚继电器的测量：结合图 7-36 并参考五脚继电器测量方法即可区分引脚。

3) 发光二极管 (LED) 的测量：其测量方法与二极管的测量基本相同，挡位选择 $R \times 10k\Omega$ 即可。

4) 电解电容器的测量：测量时选择 $R \times 100$ 挡（本电容为 $220\mu F$ ），黑表笔接长引脚，红表笔接短引脚，万用表指针将由小阻值摆向大阻值，直到“ ∞ ”。若中途停止说明电容漏电，需要进行更换。

(2) 线路板的连接

1) 焊接前首先根据原理图对元器件进行布局，大概确定元器件的位置、方向，如图 7-37 所示。由于本电路不考虑元器件相互高频干扰的问题，所以布局可按原理图的顺序布置。元器件放在电路板的光面（无铜箔面），元器件引脚穿过板孔进入有铜箔面（焊接面），如图 7-38 所示。焊接时应使用 30W 的电烙铁（功率过大会烫坏元器件或使铜箔脱落），元器件焊接要牢固，避免虚焊。元器件焊接完后，还要连接各元器件之间的相互连接线（连接线焊在电路板的铜箔面）。

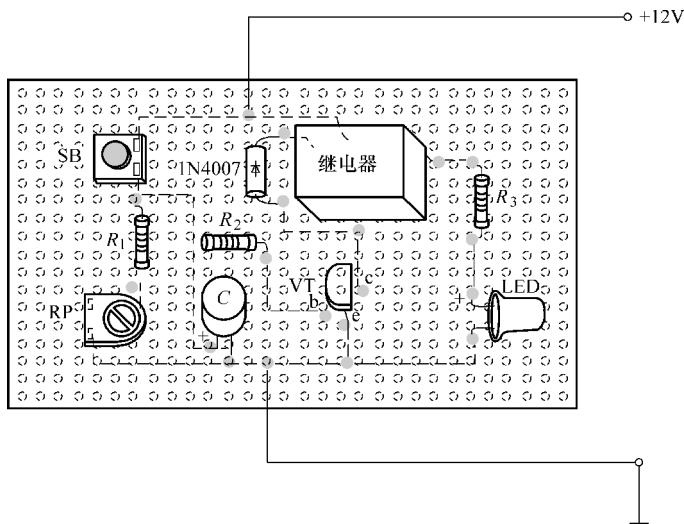


图 7-37 延时开关接线示意图

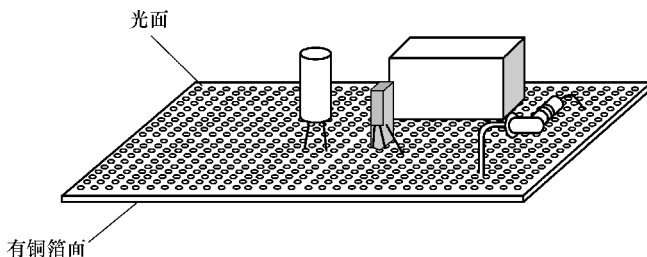


图 7-38 焊接线路板布局示意图

2) 焊接元器件完毕进行电路检查。检查时可以对照原理图（见图 7-35）进行详细检查或进行测量：在未接通电源的状态下，测量 b 点与 o 点间的电阻值（此时，万用表内部电池正极对应表笔在 o 点，选择 2M 挡位）；按下 SB，调节 RP 则显示电阻值应可变；松开 SB 时的阻值应为无穷大。测量 c 点至 o 点应导通（电池正极对应表笔在 c 点），测量 o 点至 c 点应不导通（电池负极对应表笔在 c 点）。其他连接处根据原理图测量均应接触良好。

3) 检查接线无误后通电运行电路。连接完毕经教师检查无误后可通电运行，电源采用 12V 直流电压。

(3) 注意事项

- 1) 二极管不能接反，否则会烧毁二极管或晶体管。
- 2) 继电器的引脚要仔细确认，避免接错。
- 3) 直流电压为 12V。

5. 调试与测量

按下 SB 后 LED 点亮，松开 SB，LED 延时一段时间后熄灭。调节 RP，观察延时时间。测量 LED 亮与不亮时 a、b、c 三个点分别对 o 点的电压值并记录在表 7-8 中。

注意：按下 SB 后 LED 亮，而松开 SB 后，LED 需要延时一段时间才会熄灭，在延时过程中电容放电，a 点电压逐渐上升，造成每次测量 a 点电压均会不同，但测量值范围应为 0.3 ~ 5V，而 U_{bo} 与 U_{co} 是不变的。

6. 操作技能比例要求（训练时间 90min）

(1) 元器件选择和检查（16%）

未选择检查元器件此项无效，学生应按图选择及检查元器件，如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 按图连接线路（10%）

- 1) 第一次连接正确得 10%。
- 2) 第二次连接正确得 5%。
- 3) 第二次连接不正确视为不成功。

(3) 调试结果（40%）

调节 RP 延时有明显变化。在规定的训练时间内给予两次通电机机会，得到教师的许可后才能通电。

- 1) 第一次成功得 40%。
- 2) 第二次成功得 20%。
- 3) 第二次不成功或放弃者同等。

(4) 电气测量（24%）

按表 7-8 中的要求进行调试，调试成功后由教师抽查结果。每对一项得 4%。

表 7-8 数据测量

电 压	U_{ao}	U_{bo}	U_{co}	教师签名
条 件				
不按 SB（发光管不亮时）				
按下 SB（发光管亮）				

注：未调试成功者或未经教抽查，填写无效。



(5) 色环电阻的识别 (10%)

由教师当场指定四环和五环各一只，将结果填写在表 7-9 中，每对一只得 5%。

表 5-9 色环电阻的识别

色环 (由教师指定)		
电阻值 (由学生填写)		

注：四环、五环各一个。

思考题

- 1) 电容起什么作用？如果增大电容的电容量，电路延时过程中会有什么变化？
- 2) 二极管 1N4007 起什么作用？能否接反？

实训 21 二极管整流电路的焊接与调试

1. 训练目的

- 1) 掌握用万用表判断二极管好坏的方法。
- 2) 学习简单电子电路焊接、数据测量及原理分析方法。
- 3) 熟悉半波整流电路、桥式整流电路的电压测量方法。
- 4) 熟悉整流电路中电容滤波的特性。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 7-10。

表 7-10 实训设备及器材清单

序 号		器材及电子元器件	数 量
1	电子实训柜 1 台	电解电容 470 μ F/25V	1 个
		碳膜电阻 1/4W (10 Ω)	1 个
		二极管 (1N4007)	4 个
		灯泡 12V/5W	1 个
		印制电路实验板	1 个
2	电子常用工具	螺钉旋具、电工钳、万用表等、电烙铁 (220V 30W)	1 套
3	导线	BV 铜芯绝缘导线 0.3mm ² 、松香焊锡丝	若干

3. 识读电路图

如图 7-39 所示，当 S1 和 S2 全断开时，该电路为单相半波整流电路；当 S1 断开、S2 闭合时，该电路为单相半波整流电容滤波电路；当 S1 闭合、S2 断开时，该电路为单相桥式全波整流电路；当 S1 和 S2 全部闭合时，该电路为单相桥式全波整流电容滤波电路。灯泡在电路中作为负载，S1 为单相半波与全波选择开关，S2 为滤波电容及是否加载开关。

4. 实训步骤

(1) 根据原理图选择元器件并判断元器件的好坏

1) 变压器的判断：该电路所用变压器为降压变压器，所接的 220V 交流电源为输入电

压，相应的绕组称为一次绕组， u_2 为输出电压，相应的绕组称为二次绕组。测量一次绕组的电阻值大，测量二次绕组的电阻值小。当实训台直接提供交流电源时可省去变压器，并将电压调整到 12V 交流来代替 u_2 。

2) 二极管的测量：四个二极管均需通过万用表 $R \times 1k\Omega$ 挡进行测量。二极管正向测量时应导通，电阻值小；反向测量时应截止，电阻值很大。若测量某二极管正反向阻值均较小或均为无穷大，则说明该二极管已损坏。

3) 电容的测量：使用万用表（欧姆挡位）测量电容的两个引脚，刚接通时电容迅速充电，相当于表笔短接，显示阻值为 0；充电完毕后显示阻值为无穷大。当万用表表笔离开电容引脚后，用同样方法再次测量电容，这时由于电容充电后储存电荷无需充电，显示阻值依然为无穷大，如果将电容两引脚短接进行放电，放电完毕分开电容引脚，再次测量如出现第一次测量现象则说明电容基本正常。若短接电容引脚后分开，测量电容阻值为无穷大，则说明该电容内部已开路，若测量电容阻值一直为 0，则说明电容内部已短路。

4) 电阻、灯泡的测量：使用万用表（选择欧姆挡）即可测量电阻和灯泡的好坏。

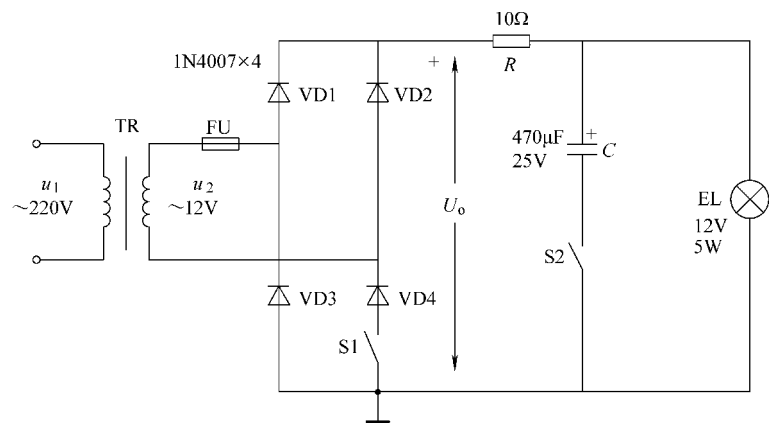


图 7-39 二极管整流电路原理图

(2) 根据原理图焊接元器件 根据原理图先在万能焊接板上进行元器件的合理布局，尤其要注意四个二极管的摆放方向，如图 7-40 所示，如任一只二极管摆放方向与原理图相反则会造成短路。开关 S1 和 S2 分别引出两根导线即可。焊接工艺要求光滑、整洁、均匀。

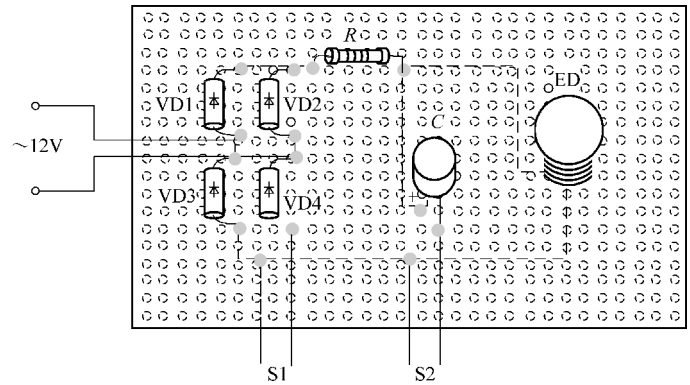


图 7-40 二极管整流电路接线示意图



(3) 元器件焊接完毕进行电路检查 焊接完毕,取下灯泡,测量变压器二次绕组所接两点间的电阻值应为无穷大。当接上灯泡和和闭合 S1 后有阻值,其阻值为两个二极管正向串联的电阻再串联电阻 R 和灯泡。

(4) 电路检查无误通电运行 焊接完毕经教师检查无误后可通电运行, u_2 为 12V 交流电压。

注意事项如下:

- 1) 二极管不能接反,否则会烧毁二极管。
- 2) 电容不能接反(一般电容的负极通过观察电容体可判断出),否则可能会出现电容爆炸。

5. 调试与测量

接通电源后灯泡应点亮, S1 和 S2 进行组合闭合与断开时,灯泡亮度会发生变化,此时可认为电路焊接成功。成功后 S1 和 S2 分别进行三种组合来进行电压测量,然后将测量数据填入表 7-11 中。

6. 操作技能比例要求(训练时间 90min)

(1) 元器件选择和检查(12%)

学生应按图选择及检查元器件,如发现元器件损坏务必及时更换。

(2) 焊接工艺(20%)

- 1) 布局合理、美观,焊点光亮、圆滑,大小一致,得 20%。
- 2) 布局一般,焊点大小不一,得 10%。
- 3) 布局杂乱,得 5%。

(3) 调试结果(40%)

在规定的时间内给予两次通电机,得到教师许可后才能通电。

- 1) 第一次成功 40%。
- 2) 第二次成功 20%。
- 3) 第二次不成功或放弃者同等。

(4) 电气测量(18%)

按表 7-11 中要求进行调试。调试成功后由教师抽查结果。每对一个得 3%。

表 7-11 数据测量

电 压 条 件	U_2	U_o	教 师 签 名
S1 断, S2 断			
S1 合, S2 断			
S1 合, S2 合			

注:未调试成功或未经考评员抽查,填写均无效。

(5) 电容的识别(10%)

由教师现场指定两只无极性电容的代号,学生在表 7-12 中写出规格,每对一只 5%。

表 7-12 电容的识别

电容的代号 (由教师以书写方式指定)		
电容规格 (由学生填写)		

注：电容的规格一般是指电容量。当考评员给出一个电容代号为 104，即表示该电容有 $10 \times 10^4 \text{ pF}$ 的电容量。

思考题

- 1) S2 断开，S1 闭合与断开时 U_0 分别为 U_2 的多少倍？
- 2) 测量 U_0 与 U_2 时万用表的挡位是否需要改变？如需改变，应如何改变？
- 3) 闭合 S2 时灯泡两端电压是否会增大？为什么？

实训 22 三端可调稳压电源的焊接与调试

1. 训练目的

- 1) 学习串联稳压电源的工作原理。
- 2) 熟悉集成稳压元件的特性及基本参数。
- 3) 掌握由三端集成稳压器组成电源的安装及调试方法和测量。
- 4) 熟悉整流滤波电路中电容滤波的特性。

2. 实训平台

本实训项目需要的设备及器材见表 7-13。

表 7-13 实训设备及器材清单

序 号		器材及电子元件	数 量
1	电子实训柜 1 台	电解电容 $220\mu\text{F}/25\text{V}$	1 个
		电解电容 $100\mu\text{F}/25\text{V}$	1 个
		稳压集成 LM7805	1 个
		碳膜电阻 $1/8\text{W} (200\Omega)$	1 个
		电位器 ($1\text{k}\Omega$)	1 个
		灯泡 $12\text{V}/1\text{W}$	1 个
		微型开关	1 个
		印制电路实验板	1 个
2	电子常用工具	螺钉旋具、电工钳、万用表等、电烙铁 ($220\text{V } 30\text{W}$)	1 套
3	导线	BV 铜芯绝缘导线 0.3mm^2 、松香焊锡丝	若干

3. 识读电路图

如图 7-41 所示，12V 交流电经过桥式整流电路（桥堆）和滤波电容 C_1 的整流和滤波，在固定式三端稳压器 LM7805 的 1 和 2 两端形成一个并不十分稳定的直流电压（该电压常常会因为交流电电压的波动或负载的变化等原因而发生变化）此直流电压经过 LM7805 的稳压



和 C_2 的滤波，在稳压电源的输出端，即 3~2 端产生了稳定性好的直流输出电压。由于本集成电路内部的调节作用，电路 3~2 端保持基本稳定的 +5V 电压，通过调节 RP，改变了 2 端对地电压，此时 2 端对地电压加上 3~2 端的电压（+5V）即为输出到灯泡（负载）的电压 U_{BO} ， U_{BO} 电压较为稳定，所以此电路组成了稳压电源，供负载使用。

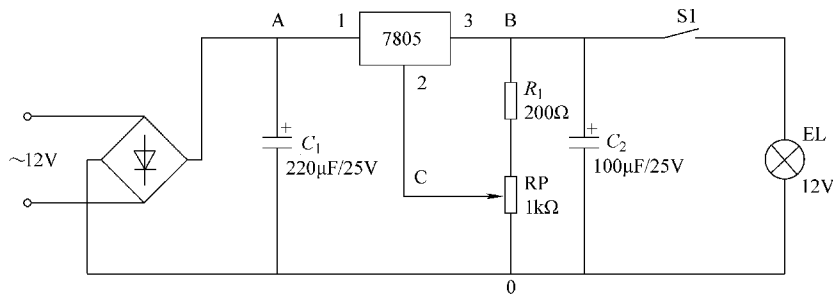


图 7-41 稳压电路原理图

使用时应注意的是，LM7805 散热功率为 1W 左右（加散热片），最大输出电流大约 1.5A。如图 7-41 所示，假设输入电压 U_{A0} 为 12V，LM7805 稳压器 3~2 端为 +5V，如果将 2 端对地的电压 U_{C0} 调整到 3V，则输出电压 U_{B0} 为 $(5+3)V=8V$ ，此时 LM7805 稳压器压降为 $(12-8)V=4V$ ，最大可输出的电流为 $1W/4V=0.25A$ 。若调节 RP 使输出电压上升，LM7805 压降减小，可输出的电流增大。以此方法推算，稳压电路输出不同的电压，稳压器压降不同，可输出的电流也有所不同，以此方法推算并确定稳压电路可提供的电压和最大电流。

4. 实训步骤

(1) 根据原理图选择元器件并判断元器件的好坏

1) 电阻、电解电容的检查：具体检查方法在前面的实训中已做了介绍，这里不再赘述。

2) 整流桥（桥堆）的测量：它是由四只二极管组成的，电路的连接已成形且引出四个引脚，如图 7-42 所示。测量时用指针式万用表的 $R \times 1k\Omega$ 挡位。

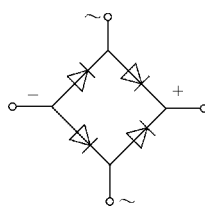


图 7-42 整流桥内部连接电路

①黑表笔放在桥堆的“-”端，红表笔分别测量“~”和“+”等三个端子，电阻应较小（约为几千欧），说明正向电阻正常。

②对调两表笔用同样方法进行测量：红表笔放在桥堆的“-”端，黑表笔分别测量“~”和“+”等三个端子，电阻应较大（接近“ ∞ ”），说明反向电阻正常。

③黑红表笔对调测量两个“~”端子，电阻值均应较大（接近“ ∞ ”）。

测量达到以上情况说明桥堆是好的，如有一项不符合，则说明桥堆已损坏，需要更换。

3) 稳压器 LM7805 的测量应连接在电路上进行。

(2) 焊接元器件 按照图 7-43 所示布线方式进行焊接，焊接完毕后进行电路检查。

(3) 通电测试 检查无误后可通电测试，将交流 12V 电压加到桥堆两个“~”端，合上开关 S1 灯泡将发亮，调节电位器 RP，改变输出电压，灯泡的亮度将随之变化，说明电路是正常的，可以按照要求对电路进行相关的测量。

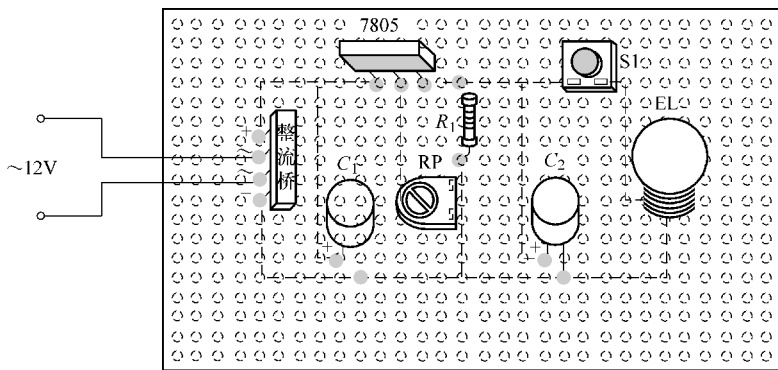


图 7-43 三端可调稳压电源接线示意图

5. 调试与测量

- 1) 开关 S1 断开时，调节 RP 使 $U_{BO} = 12V$ ，测量 U_{BO} 、 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AO} 的电压值；再合上 S1 接入 EL 进行测量 U_{BO} 、 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AO} 的电压值；计算 S1 断开时与合上时 U_{BO} 的电压差值。将测量及计算结果填入表 7-14 中。
- 2) 调节 RP 将 U_{BO} 调到 14V 进行测量。
- ①开关 S1 断开时，调节 $U_{BO} = 14V$ ，测量 U_{BO} 、 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AO} 的电压值。
- ②再合上 S1 接入 EL 进行测量 U_{BO} 、 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{AO} 的电压值。
- ③计算 S1 断开时与合上时 U_{BO} 的电压差值。以上的测量结果填入表 7-14 中。
- 通过以上的测量可以看到经过稳压和滤波后，在负载变化的过程中，输出电压是比较稳定的。这就是稳压电源的“稳压”效果。

表 7-14 测量数据

电 压 值	U_{BO}	U_{AB}	U_{BC}	U_{AO}	变化值 ΔU_{BO}
条 件					
开关 S1 不合时，调节 $U_{BO} = 12V$ ，再合上 S1 接入 EL 进行测量					
开关 S1 不合时，调节 $U_{BO} = 14V$ ，再合上 S1 接入 EL 进行测量					

注：未调试成功者或未经教师抽查，填写无效。

6. 操作技能比例要求（训练时间 120min）

- (1) 元器件选择和检查（15%）。
- (2) 焊接工艺（20%）。
- 1) 布局合理、美观，焊点光亮、圆滑，大小一致，得 20%。
- 2) 布局一般，焊点大小不一，得 10%；
- 3) 布局杂乱，得 5%。
- (3) 调试结果（40%）
- 调节 RP 使 U_{BO} 在 12V 左右连续可调。在规定的训练时间内给予两次通电机机会。
- 1) 第一次成功得 40%。
- 2) 第二次成功得 20%。



3) 第二次不成功或放弃同等。

(4) 电气测量 (25%)

按表 7-14 中要求进行调试, 调试成功后由教师抽查结果, 每对一项得 2.5%。

思考题

1) 图 7-41 中灯泡电流过大将出现什么现象?

2) 稳压器 LM7805 承受的功率如何计算, 功率偏大要怎样解决?

参 考 文 献

- [1] 机械工业职业教育研究中心. 电工技能实战训练——入门版 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [2] 机械工业职业教育研究中心. 电工技能实战训练——提高版 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [3] 机械工业职业技能鉴定指导中心. 电工技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [4] 张帆. 电工技能 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.

读者信息反馈表

感谢您购买《初级电工技能实战训练》一书。为了更好地为您服务，有针对性地为您提供图书信息，方便您选购合适图书，我们希望了解您的需求和对我们教材的意见和建议，愿这小小的表格为我们架起一座沟通的桥梁。

姓 名		所在单位名称		
性 别		所从事工作（或专业）		
通信地址			邮 编	
办公电话			移动电话	
E-mail				
1. 您选择图书时主要考虑的因素：（在相应项前面√） （ ） 出版社 （ ） 内容 （ ） 价格 （ ） 封面设计 （ ） 其他				
2. 您选择我们图书的途径（在相应项前面√） （ ） 书目 （ ） 书店 （ ） 网站 （ ） 朋友推介 （ ） 其他				
希望我们与您经常保持联系的方式： ☐ 电子邮件信息 ☐ 定期邮寄书目 ☐ 通过编辑联络 ☐ 定期电话咨询				
您关注（或需要）哪些类图书和教材：				
您对我社图书出版有哪些意见和建议（可从内容、质量、设计、需求等方面谈）：				
您今后是否准备出版相应的教材、图书或专著（请写出出版的专业方向、准备出版的时间、出版社的选择等）：				

非常感谢您能抽出宝贵的时间完成这张调查表的填写并回寄给我们。我们愿以真诚的服务回报您对机械工业出版社技能教育分社的关心和支持。

请联系我们——

地 址 北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社技能教育分社

邮 编 100037

社长电话 （010）88379080 88379083 68329397（带传真）

E-mail jnfs@mail.machineinfo.gov.cn

本书特色:

模块化——本书按模块式编写，理论技能一体化，在必备知识的指导下操作更加胸有成竹，在实操中学习理论知识更容易理解掌握，好教易学

先进性——依据《国家职业标准》，参照深圳职业技能鉴定要求，加强初级电工应具备的新技术、新设备、新标准、新工艺的知识和技能，培养现代电工高技能人才

实用性——理论技能有机结合，理论“必需够用”，技能训练强化，操作步骤详尽，犹如师傅手把手教

职业技能培训系列教材

- ◎初级电工技能实战训练
- ◎中级电工技能实战训练
- ◎高级电工技能实战训练
- ◎初级电梯安装维修工技能实战训练
- ◎中级电梯安装维修工技能实战训练
- ◎初级制冷设备维修工技能实战训练
- ◎中级制冷设备维修工技能实战训练

地址:北京市百万庄大街22号
邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工微博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导:工业技术/电气工程/电工技术

ISBN 978-7-111-46766-3

策划编辑◎陈玉芝 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-46766-3



9 787111 467663 >

定价: 29.80元