

安装工人应知丛书

电气调整工

(三级工)

中国建筑工业出版社

安装工人应知丛书

电 气 调 整 工

(三 级 工)

刘 文 亮 编

中国建筑工程出版社

本书系《安装工人应知丛书》之一，内容是根据国家建筑工程总局颁发的《安装工人技术等级标准》（试行）中对电气调整工三级工所规定的应知项目，顺序作出解答。主要应知项目有：看懂一般电气设备的控制原理图；正弦交流电路的概念、特性及其计算；晶体管电路的基础知识；绝缘体的电性能及常用绝缘试验项目和方法；10千伏以下电器设备、材料的名称、构造、用途和试验方法；常用交直流电动机的种类、构造、接线方式和启动方法；常用电工仪表的构造原理等。供电气调整工人考工复习参考。

安装工人应知丛书

电 气 调 整 工

（三 级 工）

刘 文 亮 编

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷（北京阜外南礼士路）

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：4¹/₁₆ 字数：91千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷

印数：1—26,100册 定价：0.34元

统一书号：15040·4234

出版说明

本丛书是根据国家建筑工程总局颁发的《安装工人技术等级标准》（试行），针对各级安装工人规定的应知项目和具体要求编写的，适合具有初中以上文化程度，并具备该工种相应级别的基础知识和操作技能的安装工人阅读。

本丛书是按照《安装工人技术等级标准》（试行）所列的应知项目顺序作答，解答内容尽量保持知识的系统性和完整性，以帮助各工种的安装工人考工复习参考使用。

本丛书按不同工种和等级分册编写，陆续出版。

中国建筑工业出版社

1981年7月

目 录

一、看懂一般电气设备的控制原理图	1
二、正弦交流电路的概念、特性及其计算	4
三、晶体管电路的基础知识	7
(一) 二极管整流电路	7
(二) 三极管放大电路	8
(三) 三极管稳压电路	9
四、绝缘体的电性能及常用绝缘试验项目和方法	11
(一) 绝缘体的电性能	11
(二) 常用的绝缘试验项目与方法	15
五、10千伏以下电器设备、材料的名称、构造、 用途和试验方法	27
(一) 电力变压器	27
(二) 油断路器	48
(三) 仪用互感器	61
(四) 电力电容器	69
(五) 避雷器	74
(六) 隔离开关与负荷开关	78
(七) 铅蓄电池	84
(八) 接地装置	87
(九) 电力电缆	91
(十) 绝缘油试验	98
六、常用交直流电动机的种类、构造、接线方式 和起动方法	102
(一) 交直流电动机的分类	102
(二) 直流电动机的构造、接线方式和起动方法	102
(三) 交流电动机的构造、接线方式和起动方法	107
七、常用电工仪表的构造原理	116

一、看懂一般电气设备的控制原理图

识读电气设备的控制原理图时，应参照以下的规则：

(1) 在电气控制原理图中，表示母线、干线和主电路中的导线和电器元件，用粗实线画在图的左侧或上方。控制线路用细实线画在图的右侧或下方。

(2) 所有电器的图形符号均应按元电压、无外力作用下的正常状态下画出。

(3) 为了便于识图，在控制原理图中，同一接触器的触点和线圈通常是分开画的，而用相同的文字符号标明。例如，用文字“C”标注的触点和线圈，在图中虽不是画在一起的，却都是属于同一电器。线路中如果有几个接触器，一般是用1C、2C、3C、……加以区别。有时也按不同的用途，选用不同的文字符号来表示。例如以“ZC”表示控制电动机正转的接触器，“FC”表示反转用的接触器等等。

(4) 交流电源的三条相线，一般用 X_1 、 X_2 、 X_3 表示。三相电源线以后每经过一个电器而引到新的连接点时，顺次地用 X_{11} 、 X_{12} 、 X_{13} 、 X_{21} 、 X_{22} 、 X_{23} 、……标注，以作区别。控制线路中的每个公共接线点，可用不同的数字从左右、自上而下顺次加以标注。为了便于查线，对于各线圈、绕组、电阻和其它降压元件的左面的公共接线点宜使用奇数数字，右面的用偶数数字进行标注。

下面举例说明电气控制原理图的识图。

(1) 电动机的点动控制

图1是用接触器对鼠笼式电动机进行点动控制的示意原

理图。接触器的主动合触点串联在三相电源与电动机的定子绕组之间，而接触器的线圈则与“点动”按钮 DA 的动合触点串联后与电源相接。按下按钮时，接触器的电磁铁通电动作，使动合触点闭合，电动机通电起动，按钮放开时，接触器断电释放，动合触点分断，电动机就断电停转。

(2) 电动机的起动停转控制

图2是用接触器组成的（具有自锁作用）电动机起停控制的示意原理图。在这里，电动机的起动和停止分别由“起动”按钮 QA 和“停止”按钮 TA 进行操纵的。

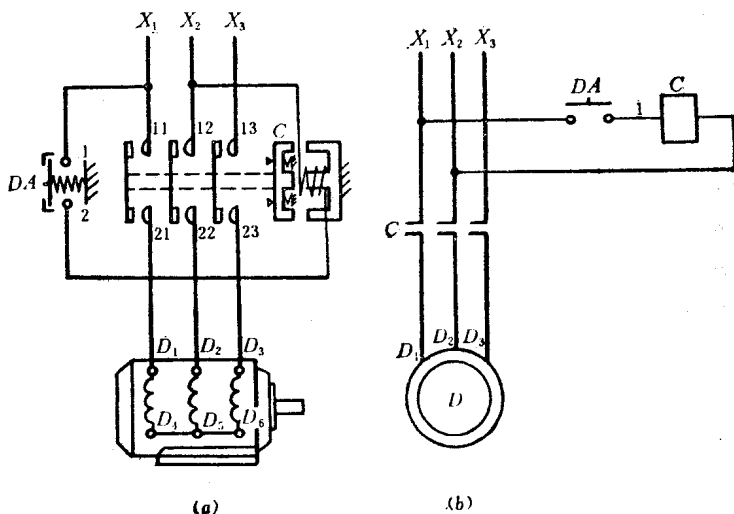


图 1 电动机的点动控制

该控制线路的工作原理如下：

按下起动按钮 QA 时，接触器通电动作，所有动合触点闭合。这时：

通过主动合触点11-21~13-23使电动机起动，通过辅助

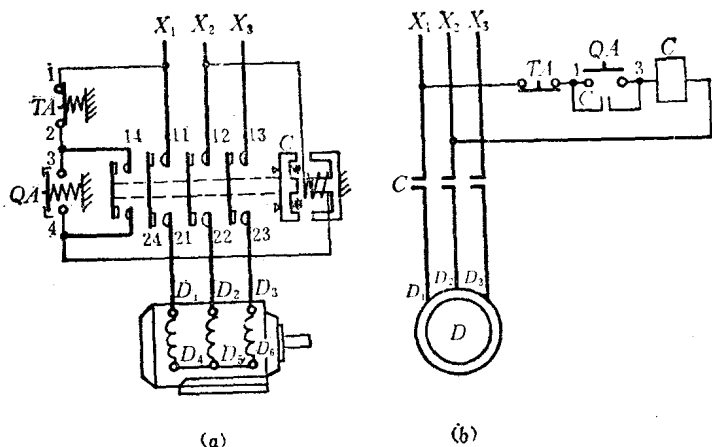


图 2 电动机的起停控制

动合触点14-24将起动按钮 QA 的两端3-4又并联了一条闭合通路。

起动按钮放松后，触点3-4分断。这时，经由起动按钮 QA 的动合触点给接触器线圈供电的通路就被切断。但是，由接触器的辅助动合触点14-24所提供的闭合通路则仍使接触器的线圈继续通过电流。因此，在起动按钮放松后，接触器并不释放，而是继续保持工作状态，电动机也将继续通电运行。

由于接触器的线圈是和停止按钮 TA 的动断触点1-2串联连接的，因此，按下停止按钮时，接触器就因线圈的断电而释放，电动机就断电停止。

放开按钮后，它的动断触点1-2又重新转为闭合。但是这时由于起动按钮的动合触点3-4、接触器的辅助动合触点14-24都已返回到原始的分断状态，所以接触器是不会再动作的。这样，整个线路就回到原始状态。

二、正弦交流电路的概念、 特性及其计算

电动势、电压和电流的大小和方向随时间作周期性变化的电路叫做交流电路。电动势、电压、电流的大小和方向随时间作正弦规律变化的电路则叫做正弦交流电路，它是交流电路的基本形式。

正弦交流电路的特性如下：

(1) 同一频率的正弦量的和或差仍是同频率的正弦量；所以正弦交流电路中所有的电压和电流都是同频率的正弦量。这对发电、输电、配电和用电都是有利的，同时对计量和分析也比较方便；

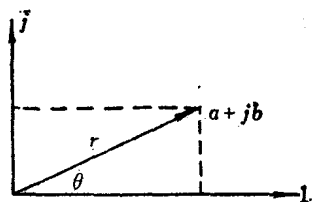
(2) 正弦量是最简单的周期量，同时正弦量的导数和微分仍是同频率的正弦量。

正弦交流电路中的电动势、电压和电流的性能运算是用相量表示法，也叫做复数符号法，简称符号法。

复数有两种主要的表示式：直角坐标形式和极坐标形式。为了便于进行复数的四则运算，经常需要两种形式的互换，即

直角坐标式 极坐标式

$$a + jb \quad r \angle \theta \text{ 或 } re^{j\theta}$$



附图 1

$$a + jb = r \cos \theta + j r \sin \theta$$

$$r \angle \theta = \sqrt{a^2 + b^2} \angle \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

相量法是利用复数量来代替正弦量，用以进行稳态交流电路性能的计算。因为在一个稳态正弦交流电路中，电动势、电压、电流等各个正弦量都是同频率的，所以进行分析计算时可以暂不考虑 ω ，只要确定正弦量中的有效值和初相角就可以了。一个代替正弦量的复数，它的模就是表示正弦量的有效值，它的幅角就表示正弦量的初相角。所以这种复数叫做相量。正弦量和相量间的变换关系如下：

$$\text{电流 } i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \psi) = \dot{I} = I \angle \psi \text{ (安)}$$

$$\text{电压 } u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \psi + \varphi) = \dot{U} = U \angle \psi + \varphi \text{ (伏)}$$

由于正弦量的导数和积分仍是同频率的正弦量，所以一个正弦量采用相量表示后，则该正弦量的导数和积分也是相量。例如

$$i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \psi) \text{ 采用相量 } \dot{I} = I \angle \psi \text{ 后,}$$

则

$$L \frac{di}{dt} = j\omega L \dot{I}$$

$$\frac{1}{C} \int i dt = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I}$$

所以在采用相量法后，稳态正弦电路的微分方程成了复数的代数方程。同时，复数可以采用两种座标来表示，互换起来很方便，所以能简便地进行四则运算。因此采用了相量后，可以大大简化稳态正弦电路的运算。

例：

(1) r 、 L 、 C 串联电路（图3）

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

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{\dot{U}}{Z}$$

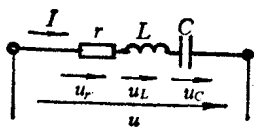


图 3 rLC 串联电路

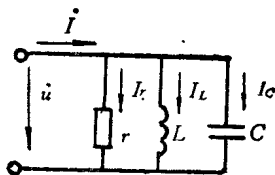


图 4 rLC 并联电路

(2) r 、 L 、 C 并联电路 (图 4)

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

$$\dot{U} = \frac{\dot{I}}{\frac{1}{r} - j\frac{1}{\omega C} + j\omega C} = \frac{\dot{I}}{Y}$$

三、晶体管电路的基础知识

(一) 二极管整流电路

发电厂供给的是交流电，对于需要使用直流电的设备，就要先把交流电变换为直流电。所谓整流就是把交流电变换为直流电的过程。把交流电整流为直流电是利用半导体二极管的单向导电的特性。我们试考察图 5 所示的电路，电路的输入是正弦交变电压 u ，负载是纯电阻 R ，并假设二极管 D 是理想的二极管。

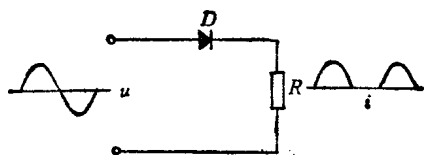


图 5 二极管整流的基本原理图

当电压 u 处于正半周，例如上端 a 为正，下端 b 为负时，二极管 D 因加上正的电压而导通，电路中有电流，在负载 R 上产生了负载电压 u_R 。显然，这时的电路是简单的纯电阻交流电路，因而可得负载电压 u_R 的波形。

当在电压 u 的负半周，例如上端 a 为负，下端 b 为正时，二极管 D 因加反向电压而截止，电路中没有电流，因而负载 R 上没有电压，即 $u_R = 0$ 。这样，我们就在负载中得到

一个方向不变的、脉动的直流电压。这就是利用二极管的单向导电特性实现整流的基本原理。

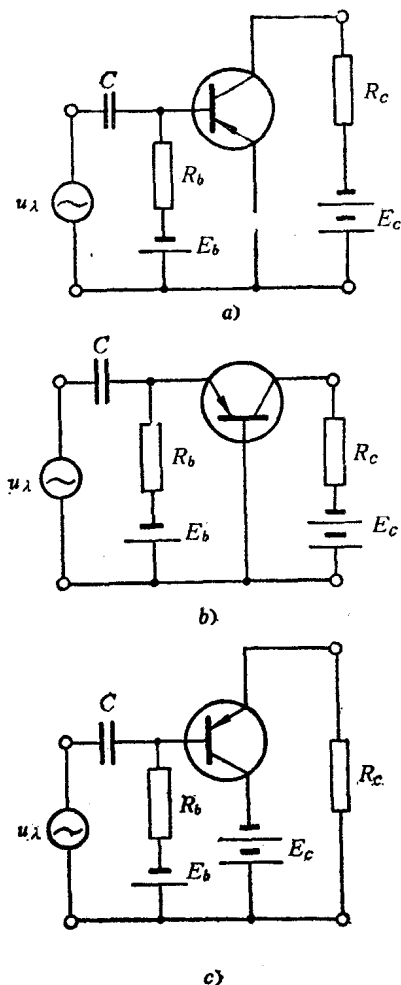


图 6 单管放大单元电路

(二) 三极管放大电路

三极管放大器有三种基本单元电路。图 6, *a* 叫做共发射极放大电路。它是以发射极作为输入、输出端的公共端, 信号从基极和发射极输入, 而从集电极和发射极输出。图 6, *b* 叫做共基极放大电路。它是以基极作为输入、输出的公共端。信号从发射极和基极输入而从集电极和基极输出。图 6, *c* 叫做共集电极放大电路。它是以集电极作为输入、输出的公共端。信号从基极和集电极输入而从发射极和集电极输出。

在图 6 中的共发射极电路和共基极电路的输入回路都是由基极与发射极组成的回路。这里的电容 *C* 起着隔直流的作用, 并

且可以防止信号源将基极和发射极之间的直流电压短路，保证三极管发射极回路的正向偏置不受影响。电容 C 常叫做隔直电容。图 6，c 所示的共集电极电路中的电容 C 也具有同样的作用。

E_b 是输入回路电源，它通过电阻 R_b 供给三极管的发射结以正向偏压，以便使三极管正常工作。当电源 E_b 和 R_b 的大小确定后，三极管发射结的正向偏压也就确定了。因此，电源 E_b 常称为偏置电源，电阻 R_b 叫做偏置电阻。

E_c 是输出回路电源，用以供给三极管集电结的反向偏压。 R_c 叫做集电极电阻，它的作用是将集电极电流的变化转换为集电极电压的变化，从而获得放大的电压输出。因此， R_c 也就是负载电阻，而 E_c 也叫做负载电源。

(三) 三极管稳压电路

整流电路是为了解决生产需要直流电源与供电电源是交流电之间的矛盾而产生的。但是，整流电路输出的直流电压往往会随电网电压的波动或负载的变化而变化，因而对于一些要求很稳定的直流电源的电子设备，例如精密的电子测量仪器、自动控制或电子计算装置等，就需要首先对整流电路输出的直流电压进行稳压。因此，稳压就是指交流电网或负载变化时，使整流输出的直流电压基本保持不变。稳压电路就是用以实现稳压的电路，它通常接在整流器与负载之间，而装有稳压电路的整流器通常叫做直流稳压电源。

最简单的晶体管稳压电路如图 7 所示。接在三极管基极上的电源 E 叫做基准电源，通过它和输出电压比较后来控制基极电流。比方说，输出电压 U_o 有所增大，由于基准电源的电压是不变的，则 U_{be} 也随着增大，即 U_{ce} 减小，也就是

说，三极管的正向偏压有所减小，因而 I_b 也就要减小， U_{ec} 就要增大，最后使 U_o 降下来。这个稳压过程可以简单表示如下：

$$U_o \uparrow \rightarrow U_{be} \uparrow \rightarrow U_{eb} \downarrow \rightarrow I_b \downarrow \rightarrow U_{ec} \uparrow \rightarrow U_o \downarrow$$

如果由于负载 R_L 减小（相当于负载电流 I_o 增加），使 U_o 有所减小，则 U_{be} 也随着减小，即 U_{eb} 增大，也就是说三极管的正向偏压 U_{eb} 有所增加，因而 I_b 也就要增加，使 U_{ec} 减小， U_o 也就升了起来。电路的稳压过程如下：

$$U_o \downarrow \rightarrow U_{be} \downarrow \rightarrow U_{eb} \uparrow \rightarrow I_b \uparrow \rightarrow U_{ec} \downarrow \rightarrow U_o \uparrow$$

实际的稳压电路是用稳压管来代替电池 E ，如图8所示，图中 R 是稳压管 D 的限流电阻，三极管 BG ，通常也叫做调整管。

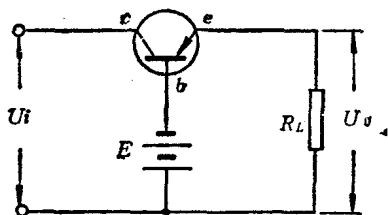


图7 最简单的串联型晶体管稳压电路

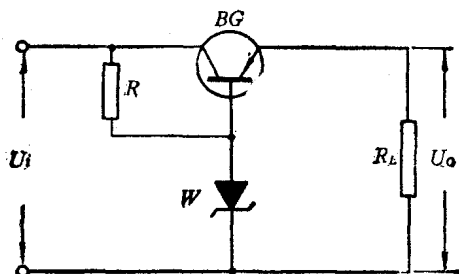


图8 简单的晶体管稳压电路

四、绝缘体的电性能及常用绝缘 试验项目和方法

(一) 绝缘体的电性能

几乎不能导电的物质叫做绝缘体，或电介质。对于一个理想的绝缘体，如果加恒定直流电压，它的绝缘电阻应是无限大，它的漏泄电流^①应是零；如果加上交流电压，则不产生介质损失，并具有很高的绝缘强度。实际上，任何物质，不论处于哪一种物质状态，都具有不同程度的导电性能，绝对绝缘的绝缘体是不存在的。一般电气设备的绝缘都采用能耐高电压的绝缘材料。绝缘材料的好坏，一般是以它的电气性能、机械性能、物理与化学性能来衡量的。而这些性能中最重要的是它的电性能，因为电性能往往决定着绝缘材料本身是否能被采用。一般绝缘体最重要的电性能有以下几个方面：

1. 电阻率或绝缘电阻；
2. 介质常数 (ϵ) 和电容比；
3. 介质损失角的正切值 ($\tan \delta$)；
4. 绝缘强度或击穿强度。

① 任何绝缘体总有一部分联系很弱的带电质点，沿电场方向运动而形成电流。当直流电压加在绝缘体上，通过绝缘体的电流实际上是由三部分组成，随时间衰减的电流有吸收电流和充电电流，不随时间衰减的稳定电流叫电导电流，这三种电流的合成电流就是漏泄电流。

现简述如下：

(1) 电阻率或绝缘电阻

绝缘体的电阻率很高，一般在 10^7 欧·米以上。绝缘体的电阻与其电阻率是成正比的，所以常以测量绝缘体的绝缘电阻和漏泄电流来检查它的电阻率的大小。当加一定值的直流电压于绝缘体时，就有一定量的电流流过绝缘体内和它的表面。通过实体的漏泄电流叫做体积漏泄，通过表面的电流叫做表面漏泄，相应的绝缘电阻可以分为体积电阻和表面电阻两种。

由于绝缘体的表面不纯净，在产生体积漏泄的同时总要产生一定量的表面漏泄。如果它的表面不纯净或者潮湿程度增大，则表面漏泄就会显著增长，但我们一般所测的绝缘电阻和漏泄电流则是指体积电阻和体积漏泄说的。因此，在测量时应该设法避免由于表面漏泄所引起的误差。

所谓绝缘电阻的测量，就是测量表示绝缘电阻与时间无关的传导电流值。当介质受潮、脏污或开裂后，传导电流要剧增，相应的绝缘电阻就很小，所以从测出的绝缘电阻大小中，可以初步了解被试物的绝缘情况。

(2) 介质常数和电容比

我们知道，在两个极板间填充以任何绝缘体都具有一定的电容，这电容的大小决定于极板的几何尺寸和它们之间的绝缘材料的介质常数 (ϵ)。

介质常数 ϵ 的定义是：由极板上的一定电荷，在介质中产生的电场强度，比在空气所产生的电场强度减小的倍数。如果把空气的介质常数作为 1，则固态和液态绝缘体的介质常数永远大于 1。

电容比的定义是：在相同温度时，在直流电场作用之下