

职 / 业 / 技 / 能 / 鉴 / 定 / 培 / 训 / 丛 / 书

乔德宝 主编



中级电工

技术速成

4
5

中国电力出版社

职 / 业 / 技 / 能 / 鉴 / 定 / 培 / 训 / 丛 / 书

中级电工技术速成

—— 乔德宝 主编 ——

福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

中级电工技术速成/乔德宝主编. - 福州: 福建科学技术出版社, 2009.1

(职业技能鉴定培训丛书)

ISBN 978-7-5335-3301-4

I. 中… II. 乔… III. 电工技术—职业技能鉴定—教材
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 175048 号

- | | |
|------|------------------------------------|
| 书 名 | 中级电工技术速成
(职业技能鉴定培训丛书) |
| 主 编 | 乔德宝 |
| 出版发行 | 福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001) |
| 网 址 | www.fjstp.com |
| 经 销 | 各地新华书店 |
| 排 版 | 福建科学技术出版社排版室 |
| 印 刷 | 福州晚报印刷厂 |
| 开 本 | 850 毫米×1168 毫米 1/32 |
| 印 张 | 6.75 |
| 字 数 | 162 千字 |
| 版 次 | 2009 年 1 月第 1 版 |
| 印 次 | 2009 年 1 月第 1 次印刷 |
| 书 号 | ISBN 978-7-5335-3301-4 |
| 定 价 | 12.00 元 |

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

本书是根据中华人民共和国劳动和社会保障部制定的《国家职业标准（电工）》编写的，可作为参加国家职业技能鉴定人员的学习用书，也可作为全国职业学校各相关专业的实践教学指导用书。

在学习本书过程中，要注意在内容上要把握好“宏观了解、注重应用”的原则，从宏观上了解中级电工所涉及的基础知识、电工仪表及测量、变电所运行及电气设备、电气设备试验及防雷与接地、电力线路施工、变配电所电气设备的维护与调试等。书中涉及的基础理论知识，以“了解”其层次为主体，以能够解决职业技能鉴定中应会部分的考核为目标，不宜也没有必要对“专”、“深”的专业理论进行研究。学习本书，应将应用性放在首要位置，掌握初级无线电装接工工种应会部分的技能，特别是操作性的知识和技能，应做到“明白道理，安装有序，排除故障，心中有底”。

在编写过程中，编者充分考虑到读者的自学能力及必须掌握知识的深浅，按照电工初级、中级的要求逐步加深，以帮助读者分阶段完成初级工、中级工的职业技能鉴定，顺利取得国家五级、四级职业资格证书。

读者在自学过程中，要学会运用知识，理解所学知识在实际操作和维护中的应用；重视操作的训练，在实际操作过程中学习，在应用中巩固概念，掌握分析问题的方法；在学习过程中养成发现问题、提出问题、讨论问题的习惯。

本书由乔德宝主编，乔德宝、程周等编写。由于编者学识和水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳请同行和广大读者批评指正。

编者

2008 年 10 月

目 录

第一章 电工基础知识	(1)
一、复杂直流电路	(1)
(一) 支路电流法	(1)
(二) 回路电流法	(2)
(三) 节点电位法	(3)
(四) 戴维南定理	(4)
(五) 电压源与电流源的等效变换	(5)
二、正弦交流电路	(7)
(一) 正弦交流电路分析方法	(7)
(二) 功率及功率因数	(10)
(三) 三相正弦交流电路	(11)
三、晶闸管电路	(13)
(一) 晶闸管	(13)
(二) 晶闸管可控整流电路	(16)
(三) 晶闸管触发电路	(18)
第二章 电工仪表及测量	(22)
一、测量误差及分类	(22)
(一) 测量误差的概念	(22)
(二) 测量误差的分类	(23)
二、电工测量仪表的选用	(24)
(一) 电工测量仪表的分类	(24)
(二) 电工测量仪表的选择	(25)

(三) 电工测量仪表的使用	(26)
三、电工仪表测量机构	(28)
(一) 磁电系仪表	(28)
(二) 电磁系仪表	(30)
(三) 电动系、铁磁电动系仪表	(32)
四、常用电工仪表	(35)
(一) 三相有功、无功功率表	(35)
(二) 电度表	(37)
(三) 频率表、功率因数表和相序表	(41)
(四) 兆欧表与钳形交流电流表	(44)
(五) 接地电阻测量仪	(47)
(六) 万用表	(49)
(七) 直流单、双臂电桥	(55)
(八) 示波器	(59)
第三章 变电所运行及电气设备	(65)
一、电力系统基本概念	(65)
(一) 电力系统与电力网	(65)
(二) 电力负荷及分类	(65)
(三) 电力系统运行方式	(67)
二、供电质量及功率因数的提高	(70)
(一) 供电质量	(70)
(二) 供电质量的提高	(72)
(三) 功率因数的提高	(73)
三、变压器的运行及维护	(75)
(一) 变压器并列运行	(75)
(二) 变压器的过负荷	(76)

(三) 变压器的异常运行与检修	(78)
四、变、配电所电气设备	(80)
(一) 高压断路器	(80)
(二) 高压隔离开关	(84)
(三) 高压熔断器	(86)
(四) 高压负荷开关	(88)
(五) 低压断路器	(88)
(六) 母线	(90)
(七) 接触器	(92)
(八) 行程开关	(95)
(九) 低压开关	(96)
五、变、配电所电气设备常用继电保护	(97)
(一) 变压器常用继电保护	(99)
(二) 电力线路常用继电保护	(101)
(三) 高压异步电动机保护	(103)
(四) 断路器控制回路	(104)
第四章 电气设备试验及防雷与接地	(106)
一、电气设备试验的项目与标准	(106)
(一) 电力变压器的试验项目与标准	(106)
(二) 互感器的试验项目与标准	(108)
(三) 断路器的试验项目与标准	(109)
(四) 隔离开关的试验项目与标准	(110)
(五) 母线、套管和支柱绝缘子的试验项目与标准	(110)
(六) 阀型避雷器的试验项目与标准	(112)
(七) 电力电缆的试验项目与标准	(112)

(八) 移相电容器的试验项目与标准·····	(115)
二、常用试验仪器设备·····	(116)
(一) 交流耐压试验仪器设备·····	(116)
(二) 直流耐压试验仪器设备·····	(117)
(三) 交流耐压试验·····	(118)
(四) 直流耐压试验·····	(118)
三、变压器参数的测定及耐压试验·····	(119)
(一) 变压器直流电阻和变比的测量·····	(119)
(二) 变压器绕组接线组别的鉴别·····	(120)
(三) 变压器试验·····	(120)
四、绝缘油试验标准与试验方法·····	(129)
(一) 绝缘油试验项目·····	(129)
(二) 电气强度及 $\tan\delta$ 值试验·····	(132)
五、避雷器结构原理及预防性试验·····	(133)
(一) 避雷器的结构与原理·····	(133)
(二) 避雷器试验项目及标准·····	(136)
六、电气系统的防雷与接地·····	(138)
(一) 雷电的预防·····	(138)
(二) 电气系统接地的类型·····	(139)
(三) 接地体与接地电阻·····	(141)

第五章 电力线路施工 ····· (144)

一、架空电力线路·····	(144)
(一) 架空电力线路的安装·····	(144)
(二) 架空线路的施工·····	(149)
二、高、低压接户线·····	(153)
(一) 接户线的安装·····	(153)

(二) 导线的分类与选择·····	(156)
三、电缆及敷设施工·····	(158)
(一) 电力电缆·····	(158)
(二) 电力电缆敷设方式·····	(160)
四、电缆中间头和终端头的制作·····	(161)
(一) 电缆的中间接头·····	(161)
(二) 电缆的终端安装·····	(162)
五、电缆线路的维修·····	(164)
第六章 变、配电所电气设备的维护与调试 ·····	(165)
一、10kV 高压开关柜的维护与调试 ·····	(165)
(一) 10kV 高压开关柜的维护 ·····	(165)
(二) 10kV 高压开关柜的调试 ·····	(167)
二、10kV 高压油开关的维护与调试 ·····	(168)
(一) SN10-10I 型少油断路器的拆装与维护 ···	(168)
(二) SN10-10I 型少油断路器的调试 ·····	(170)
三、变压器的吊心检查·····	(171)
(一) 变压器吊心检查的准备工作·····	(171)
(二) 变压器吊心检查的步骤·····	(171)
(三) 容易出现的问题及解决方法·····	(172)
四、新建变电所的安装·····	(173)
(一) 变电所的电气系统图和布置图·····	(173)
(二) 变电所设备的安装·····	(176)
(三) 变电所设备的调整·····	(177)
五、变、配电所的倒换操作和负荷的调整·····	(177)
(一) 单母线两路电源的倒换·····	(177)
(二) 负荷的调整·····	(179)

六、变、配电所停电事故处理·····	(180)
(一) 主要设备停电故障处理·····	(180)
(二) 根据现象查找故障并排除·····	(182)
模拟试题及参考答案·····	(184)
附录 常用电工符号及表盘符号标记·····	(204)

第一章 电工基础知识

一、复杂直流电路

不能用串、并联的方法进行简化的直流电路都是复杂直流电路。用来分析、计算复杂直流电路的方法很多，通常采用的有支路电流法、回路电流法、节点电位法和戴维南定理，还可以采用电压源与电流源等效变换的方法。

(一) 支路电流法

支路电流法是解决复杂直流电路最基本最常用的方法。它是
以各支路电流作为未知量，根据基尔霍夫定律，写出所需的回路电压方程和节点电流方程，然后联立方程求出各支路电流。其步骤是：先假设各支路电流的参考方向并设定各回路的绕行方向；根据基尔霍夫第一定律（电流定律）写出节点电流方程，其电流方程的数目等于电路所有节点数减去1；根据基尔霍夫第二定律（电压定律）写出回路电压方程，其电压方程的数目等于电路所有独立的回路数；联立电流方程和电压方程求出各支路电流。在电工、电子学中，复杂电路中的回路常称为网孔。

例1 如图 1-1 所示电路，已知 $E_1 = 120\text{V}$ ， $E_2 = 130\text{V}$ ， $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 2\Omega$ ， $R_3 = 10\Omega$ ，求各支路电流。

解：各支路电流的参考方向及回路绕行方向如图中所示，由基尔霍夫定律写出方程。

节点 a: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ （电流流入节点的为正，流出的为负）

回路 A: $I_1 R_1 + I_3 R_3 - E_1 = 0$ （沿绕行方向，电位降为正，电位升为负）

回路 B: $-I_2 R_2 - I_3 R_3 + E_2 = 0$

联立方程并代入题目所给的数据，有：

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$10I_1 + 10I_2 - 120 = 0$$

$$-2I_2 - 10I_3 + 130 = 0。$$

解此方程组得到： $I_1 = 1\text{A}$ ， $I_2 = 10\text{A}$ ， $I_3 = 11\text{A}$ 。各支路电流实际方向与参考方向一致。

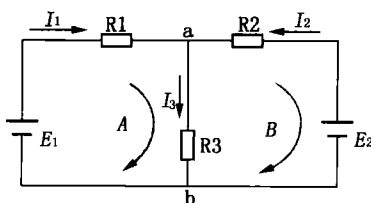


图 1-1 支路电流法

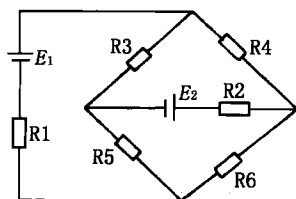


图 1-2 回路电流法

(二) 回路电流法

对于支路数较多的电路，一般选用回路电流法。如图 1-2 所示，我们假设每一个网孔有一独立的回路电流，并设为未知数，然后由基尔霍夫定律列出回路电压方程，再联立求解方程。回路电流法的步骤是：

先假设各支路电流的参考方向，再以各网孔为基础，假设各网孔的回路电流的参考方向；根据基尔霍夫第二定律写出回路（网孔）电压方程组，写方程时应注意相邻回路的电流在公共支路电阻上的电压降不能忽视，电压降的正、负由公共支路上相邻回路电流的方向与本回路假设的回路电流参考方向是否一致来决定，一致时为正、相反时为负；代入题目所给的数据，解联立方程组，求出回路电流；根据支路电流的参考方向与回路电流的参考方向确定各支路电流的实际方向。

例 2 用回路电流法求例 1 中各支路电流。

解：图 1-1 电路中的 I_{11} 、 I_{22} 分别是 A、B 两个网孔回路电流的参考方向，根据基尔霍夫第二定律写出回路（网孔）电压方程组

$$(R_1 + R_3)I_{11} - R_3 I_{22} - E_1 = 0 \text{ 和 } (R_2 + R_3)I_{22} - R_3 I_{11} + E_2 = 0$$

代入题目所给的数据，则： $20I_{11} - 10I_{22} - 120 = 0$ ； $12I_{22} - 10I_{11} + 130 = 0$ 。解此方程组得到： $I_{11} = 1\text{A}$ ， $I_{22} = -10\text{A}$ 。结合图 1-1 可得： $I_1 = I_{11} = 1\text{A}$ ， $I_2 = -I_{22} = 10\text{A}$ ， $I_3 = I_{11} - I_{22} = 11\text{A}$ 。

(三) 节点电位法

图 1-3 所示电路有 2 个节点、5 条支路、4 个独立回路（网孔）。若能求出 2 个节点之间的电压，那么各支路电流均可用欧姆定律计算出来，这就是节点电位法。对于节点数较少的电路，此方法具有明显的优越性。其步骤是：确定参考节点，假设其他节点相对于参考节点的电压（通是指向参考节点的）；按照公式 $U_{ab} = \sum \frac{E}{R} / \sum \frac{1}{R}$ 求出节点 a、b 之间的电压 U_{ab} ；代入题目所给的数据求出 U_{ab} ，然后由欧姆定律计算各支路电流。

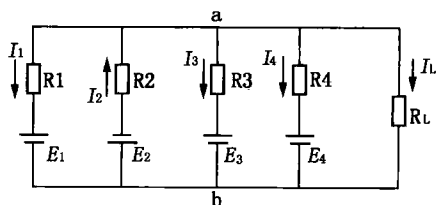


图 1-3 节点电位法

例 3 图 1-3 中，已知 $R_1 = 2\Omega$ ， $R_2 = R_3 = 4\Omega$ ， $R_4 = 5\Omega$ ， $R_L = 10\Omega$ ， $E_1 = 12\text{V}$ ， $E_2 = 20\text{V}$ ， $E_3 = 15\text{V}$ ， $E_4 = 12\text{V}$ ，求各支路电流。

解：假设各支路电流的参考方向如图中所示，选 b 点作为参

考节点，由已知条件可得

$$\sum \frac{E}{R} = \sum \left(\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} + \frac{E_4}{R_4} \right) = \sum \left(\frac{12}{2} - \frac{20}{4} + \frac{15}{4} + \frac{12}{5} \right) = 7.15$$

$$\sum \frac{1}{R} = \sum \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_l} \right) = \sum \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} \right) = 1.3$$

节点电压 $U_{ab} = \frac{7.15}{1.3} = 5.5\text{V}$ 。再由欧姆定律计算各支路

电流：

$$I_1 = \frac{U_{ab} - E_1}{R_1} = \frac{5.5 - 12}{2} = -3.25\text{A}; I_2 = \frac{U_{ab} + E_2}{R_2} = \frac{5.5 + 20}{4} = -6.38\text{A};$$

$$I_3 = \frac{U_{ab} - E_3}{R_3} = \frac{5.5 - 15}{4} = -2.38\text{A}; I_4 = \frac{U_{ab} - E_4}{R_4} = \frac{5.5 - 12}{5} = -1.3\text{A};$$

$$I_5 = \frac{U_{ab}}{R_l} = \frac{5.5}{10} = 0.55\text{A}。负号表示电流实际方向与电流参考$$

方向相反。

(四) 戴维南定理

如果我们只需要知道电路中某一条支路（或某一元件）的电流，运用戴维南定理就可以解决。戴维南定理指出：任何一个含有电源的线性网络（指较复杂的电路），对外电路来说，都可以用一个具有电动势 E_0 和内阻 R_0 相串联的等效电路来代替。其中 E_0 值等于含有电源线性网络两端点之间的开路电压； R_0 值等于不考虑电源情况下的线性网络两端点之间的等效电阻值。其步骤是：将原电路划分为有源二端网络和待求支路两部分；断开待求支路，求出有源二端网络开路电压；将网络内的电源电动势全部短接，内阻保留，求出无源二端网络的等效电阻；画出等效电路，再接入待求支路，由欧姆定律求出该支路的电流。

例4 图 1-4 (a) 中，已知 $E_1 = 15\text{V}$ ， $E_2 = 10\text{V}$ ， $E_3 = 6\text{V}$ ， $R_1 = 3\Omega$ ， $R_2 = 2\Omega$ ， $R_3 = 1.8\Omega$ ， $R_4 = 12\Omega$ ，试用戴维南定理求 R_4 中的电流 I 。

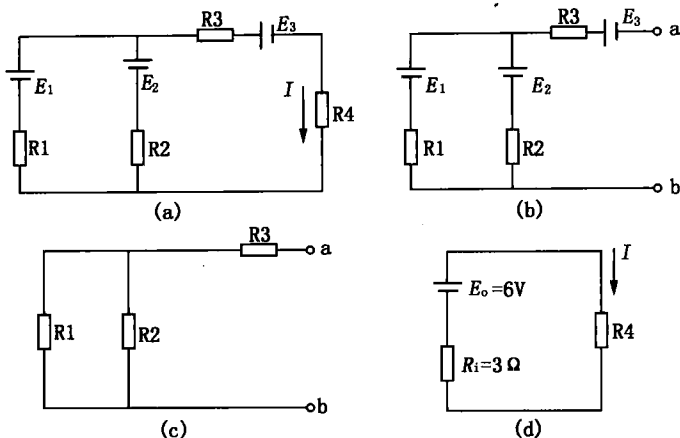


图 1-4 戴维南等效电路

解：先断开 R_4 支路，余下的部分就是一个含有电源的线性二端网络，见图 (b)，按戴维南定理可以求出开路电压：

$$U_{ab} = -E_3 + E_2 + \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} R_2 = -6 + 10 + \frac{15 - 10}{3 + 2} \times 2 = 6V,$$

即 $E_0 = U_{ab} = 6V$ 。

图 (c) 中，按戴维南定理可以求出等效电阻：

$$R_{ab} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{3 \times 2}{3 + 2} + 1.8 = 3\Omega, \text{ 即 } R_0 = R_{ab} = 3\Omega$$

按戴维南定理，图 (a) 电路完全可以用图 (d) 来等效代替，由此可求得 R_4 中的电流：
$$I = \frac{E_0}{R_0 + R_4} = \frac{6}{3 + 12} = 0.4A.$$

(五) 电压源与电流源的等效变换

电压源：指用一个恒定的电动势 E 和一个内电阻 R_0 相串联的电路，来表示一个实际的电源，如图 1-5 (a) 所示。

电流源：指用一个恒定的电流 I_s 和一个内电阻 R_0 相并联的电路，来表示一个实际的电源，见图 1-5 (b)。

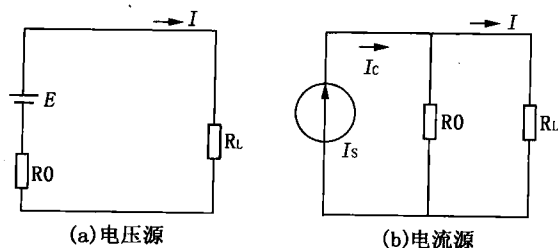


图 1-5 电压源与电流源

一个实际的电源既可以用电压源表示，又可以用电流源表示，它们之间是可以等效变换的。

(1) 如果将已知电压源等效变换为电流源时，其电流源中的恒流源 $I_s = E/R_0$ ，电流源中并联内电阻的阻值等于电压源中串联电阻的阻值。

(2) 如果将已知电流源等效变换为电压源时，其电压源中的恒压源 $E = I_s R_0$ ，电压源中串联内电阻的阻值等于电流源中并联电阻的阻值。

无论是哪种变换，电动势 E 的方向与电流 I_s 的方向应保持一致。

例 5 将图 1-6 (a) 所示的电压源电路等效变换为图 (b) 所示的电流源电路。已知电压源电路中的 $E=10\text{V}$ ， $R_0=0.4\Omega$ 。

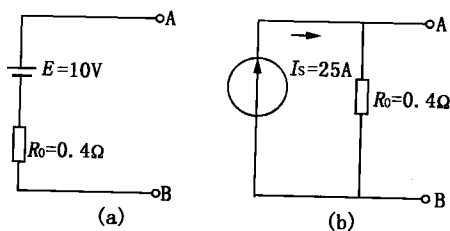


图 1-6 电压源与电流源的变换

解：根据电压源与电流源等效变换的原则，电流源中的恒定电流 $I_s = \frac{E}{R_0} = \frac{10}{0.4} = 25\text{A}$ 、电阻 $R_0 = 0.4\Omega$ 。

二、正弦交流电路

描述正弦交流电路的方法有四种：解析法，波形图法，旋转相量法，复数法。这些方法同样可以用来分析和计算正弦交流电路，常用的是旋转相量法和复数法，波形图分析法多用于晶体管电路。

（一）正弦交流电路分析方法

1. 解析法

解析法是用三角函数式的形式表示正弦交流电。如正弦交流电的电压、电流、电动势可以表示为： $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$ 、 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$ 、 $e = E_m \sin(\omega t + \varphi_e)$ 。用解析法分析正弦交流电，在计算时直接进行三角函数的运算，其特点是计算精度高，但很繁琐。

2. 波形图法

波形图法又称为曲线法，其特点是直观。波形图是在直角坐标系中描述的，在直角坐标系中，用横坐标表示时间（ t ）或弧度（ ωt ），纵坐标表示交流电的瞬时值，如图 1-7 所示。

3. 旋转相量法

旋转相量法是在直角坐标系中画一个旋转相量，并且规定：选择适当的比例，使相量的长度等于正弦交流电的最大值或有效值；相量的起端在直

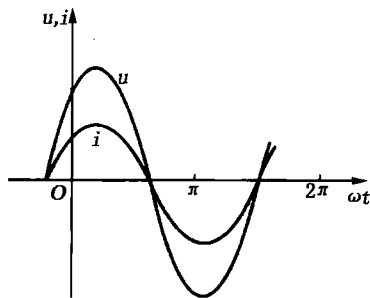


图 1-7 正弦交流电的波形图表示法