

职业技能鉴定教材

工程电气设备安装调试工

(初 级)

建筑专业职业技能鉴定教材
编审委员会



中国劳动社会保障出版社

职业技能鉴定教材

工程电气设备安装调试工

(初 级)

建筑专业《职业技能鉴定教材》编审委员会

中国劳动社会保障出版社

版权所有 翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

工程电气设备安装调试工：初级/胡晓元编著. —北京：中国劳动社会保障出版社，2002.2
职业技能鉴定教材

ISBN 7-5045-3454-4

I. 工…

II. 胡…

III. 电气设备—安装—职业技能鉴定—教材

IV. TM05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 080450 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出版人：张梦欣

*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 11 印张 268 千字

2002 年 4 月第 1 版 2002 年 4 月第 1 次印刷

印数：5000 册

定价：18.00 元

读者服务部电话：64929211

发行部电话：64911190

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

建筑专业《职业技能鉴定教材》编审委员会

主任 唐云岐

副主任 张梦欣 王永田 刘奇兰 苏衍训 陈显才 张同武

委员 任萍 周雨阳 胡长建 卫天石 卢燕生 吕殿美

何仁缘 金光普 张鸣高 梁文潮 高鲁民 章锦湘

钟少云 卓超

编审人员

主编 胡晓元

参编 向勤 罗炜

内 容 简 介

本书根据《建筑行业技能标准初级工程电气设备安装调试工》编写，是职业技能培训用书。本书从知识和技能两个方面介绍了初级工程电气设备安装调试工需掌握和了解的知识和技能，内容涉及直流电路、交流电路、电动机、低压电器和控制线路、晶体管知识、电工技能基础、常用仪表的使用、电气设备安装基本知识、室内配线工程、架空线路、常用电器装置安装调试、变配电工程施工、接地防雷和安全用电知识。本书在电工知识理论上以必须够用为度，突出实用，重点放在了应用和技能上。

本书可作为工程电气设备安装调试工职业技能鉴定的培训教材和自学用书，也适合具有初中以上文化程度的电工学习。

前 言

培养同现代化建设要求相适应的数以亿计的高素质劳动者，是建立现代企业制度，实现国民经济持续、稳定、快速发展的重要基础。企业之间的竞争，归根结底是技术的竞争，人才的竞争。是否拥有一支力量雄厚的技术工人队伍是企业实力的重要标志。

当前，建筑企业技术人才数量不足、专业素质和技能偏低，已经影响了企业技术进步以及产品质量的提高。加快培养一大批具有熟练操作技能的技术工人队伍，是建筑企业进一步发展的当务之急。

为满足职业培训和职业技能鉴定工作需要，劳动和社会保障部教材办公室组织河北、山东、浙江、四川、江西、湖南等省的职业培训和职业技能鉴定管理部门，编写了供建筑行业初级工、中级工、高级工培训和鉴定使用的《职业技能鉴定教材》。《教材》涵盖 15 个工种，即：瓦工、木工、抹灰工、装饰工、混凝土工、电梯安装维修工、管道工、防水工、架子工、安装起重工、钢筋工、通风工、测量放线工、工程电气设备安装调试工、建筑油漆工。

《职业技能鉴定教材》依据建设部最新颁布的《建设行业职业技能标准》编写。在编写指导思想，突出为考核服务，面向企业生产实际的基本原则。在细化《标准》内容的前提下，以提高实际操作技能为目标，具有浓缩精练、典型实用、易于掌握的特点。

在具体内容编写上，根据《标准》规定，按照知识要求和技能操作要求分别组织内容。知识要求部分着重介绍本工种初、中级工或高级工应掌握的专业基础知识、原材料知识、工具设备知识、典型工艺知识、管理知识和相关工种知识；技能操作部分阐述工具设备的使用维护方法、生产岗位的操作要求和操作技巧、典型工艺的操作，以及常见故障分析、排除方法。为了检测学习效果，学以致用，组织了具有典型性的知识练习题和技能操作实例。掌握并利用这些练习，可以熟悉职业技能鉴定的基本要求，了解分析问题的思路和方法，提高在实际工作中解决问题的能力，而后一点尤为重要。

《职业技能鉴定教材》以初步具备本工种知识要求和技能操作要点为编写起点，有利于准备参加考核鉴定的人员掌握考核鉴定的范围和内容，适用于各级培训和鉴定机构组织升级考核复习，以及各类人员自学。对于相关专业职业技术学校师生和技术人员有较重要的参考价值。

本书由胡晓元主编，由吴昌江主审。

编写建筑专业《职业技能鉴定教材》有相当的难度，是一项探索性工作，参与编写的专家为此付出了艰苦的努力。由于时间仓促，缺乏经验，难免存在缺点和不足，恳切希望广大读者提出宝贵意见和建议，以便今后修订，逐步完善。

建筑专业《职业技能鉴定教材》编审委员会

目 录

第一章 直流电路	(1)
§1—1 直流电路的基本概念	(1)
§1—2 简单直流电路的计算	(6)
习题	(9)
第二章 磁与电磁	(10)
§2—1 电流的磁场	(10)
§2—2 磁场对电流的作用	(11)
§2—3 电磁感应	(13)
习题	(17)
第三章 正弦交流电路	(19)
§3—1 交流电的基本知识	(19)
§3—2 正弦交流电的表示法	(22)
§3—3 单相交流电路	(23)
§3—4 提高功率因数的意义及方法	(26)
§3—5 三相交流电路	(27)
习题	(30)
第四章 变压器与三相笼型异步电动机	(31)
§4—1 变压器	(31)
§4—2 三相笼型异步电动机	(35)
习题	(37)
第五章 低压电器和控制线路	(38)
§5—1 常用低压电器	(38)
§5—2 电气控制原理图	(41)
§5—3 几种常见控制线路的识读	(44)
习题	(46)
第六章 晶体管电路知识	(47)
§6—1 晶体二极管	(47)
§6—2 晶体三极管	(50)
§6—3 晶闸管	(51)
习题	(52)
第七章 电工技能基础知识	(53)
§7—1 钳工常用工具及基本操作知识	(53)
§7—2 焊接常用设备及基本操作知识	(59)

§7—3	管道工常用工具及基本操作知识	(62)
§7—4	电工常用工具及基本操作知识	(64)
§7—5	起重常识简介	(71)
第八章	常用测量仪表的使用	(74)
§8—1	电流表及电压表的使用	(74)
§8—2	万用表的使用	(74)
§8—3	钳形表的使用	(75)
§8—4	兆欧表的使用	(76)
§8—5	功率表和电能表的使用方法	(77)
§8—6	接地电阻测量仪及使用方法	(79)
§8—7	直流单臂电桥及使用	(80)
第九章	电气设备安装基本知识	(83)
§9—1	安装工程施工工艺特点	(83)
§9—2	常用导线及电缆的性能、特点及用途	(84)
§9—3	常用绝缘材料	(86)
§9—4	常用线管	(89)
§9—5	电气安装施工图识读	(90)
§9—6	电气安装工程操作规程、规范及质量评定	(96)
第十章	室内配线	(98)
§10—1	室内配线的基本程序	(98)
§10—2	槽板及塑料护套线配线	(99)
§10—3	绝缘子配线	(101)
§10—4	线管配线	(104)
§10—5	电缆线路	(108)
§10—6	硬母线安装	(113)
第十一章	常用电器装置的安装及调试	(119)
§11—1	照明及低压电器安装	(119)
§11—2	常用控制器的安装及调试	(125)
§11—3	三相异步电动机的安装及调试	(127)
§11—4	配电箱安装	(128)
§11—5	导线的连接与封端	(129)
第十二章	10 kV 以下架空线路	(137)
§12—1	架空配电线路的结构	(137)
§12—2	电杆架立和组装	(140)
§12—3	拉线及安装	(143)
§12—4	导线的架设	(144)
第十三章	变配电工程施工	(148)
§13—1	变压器的安装调试	(148)
§13—2	高压开关及操作机构的安装调整	(150)

§ 13—3	互感器及电容器的安装调试	(152)
§ 13—4	成套配电柜的安装	(154)
§ 13—5	变配电系统调试	(156)
第十四章	防雷及接地装置	(158)
§ 14—1	防雷知识	(158)
§ 14—2	人工接地装置的安装	(159)
习题	(160)
第十五章	安全用电	(161)
§ 15—1	安全用电知识	(161)
§ 15—2	人工急救常识	(163)
习题	(164)

第一章 直流电路

§ 1—1 直流电路的基本概念

电流经过的路径称为电路。最基本的简单电路由电源、负载、连接导线和开关等组成。图 1—1a 所示即为一个最简单的电路。

用国家标准规定的符号来表示电路连接情况的图叫电路图，如图 1—1b 就是图 1—1a 的电路图。

电源是供应电能的装置，它把其他形式的能量转换为电能。例如，发电机把机械能转换为电能，电池把化学能转换为电能。

负载通常也称为电器，它们是将电能转变为其他形式能的元器件或设备。如电灯把电能转换为光能和热能，电动机把电能转换为机械能等。

开关是控制电路接通或断开的元件。

连接导线担负传输或分配电能的任务。

电路通常有三种状态：

通路：指处处连通的电路。通常也称闭合电路，简称闭路。此时电路有工作电流。

开路：指电路中某处断开不成通路的电路，开路也称断路，此时电路中无电流。

短路：指电路（或电路中的一部分）被短接。如负载或电源两端被导线连接在一起，此时电源提供的电流比通路时提供的电流大很多，是一种事故状态。

一、电路中的常用物理量

1. 电流和电流密度 电荷有规则的运动就称之为电流，在金属导体中，电流是自由电子在电场作用下作有规则运动形成的。在某些液体或气体中，电流则是正、负离子在电场力作用下作有规则运动而形成的。

在分析或计算电路时，常常要求出电流的方向，但当电路较复杂时，某段电路中的电流实际方向往往难以确定，此时可先假定电流的参考方向（也称正方向，规定以正电荷移动的方向为电流的正方向），然后列方程式求解，当解出的电流为正值时，电流方向与参考方向一致，如图 1—2a 所示；反之，当电流为负值时，电流方向与参考方向相反，如图 1—2b 所示。

电流的大小取决于在一定时间内通过导体横截面的电量多少，用电流强度来衡量。若在 t 秒 (s) 内通过导体横截面的电量是 Q 库仑 (C)，则电流强度 I 就可用下式表示：

$$I = Q/t \quad (1-1)$$

如果在 1 s 内通过导体横截面的电量是 1 C，则导体中的电流强度就是 1 安培，简称安，用字母 A 表示。除安培外，常用的电流强度单位还有千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)

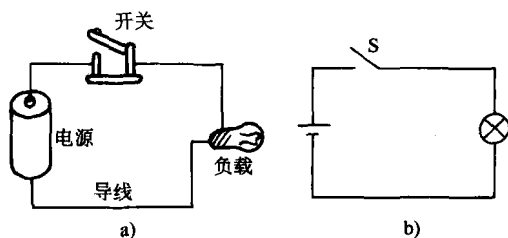


图 1—1 电路和电路图

a) 电路 b) 电路图

1 千安 (kA) = 10^3 安 (A)

1 毫安 (mA) = 10^{-3} 安 (A)

1 微安 (μ A) = 10^{-3} 毫安 (mA) = 10^{-6} 安 (A)

在实际工作中,有时需选择导线的粗细,这就要用到电流密度这一概念。所谓电流密度就是当电流在导体上均匀分布时,该电流 I 与导体横截面积 S 的比值,这样电流密度 J 可用下式表示:

$$J = I/S \quad (1-2)$$

导线允许流过的电流随导体截面不同而不同。例如, 1 mm^2 的铜导线允许流过 6 A 的电流 ($J=6 \text{ A/mm}^2$); 2.5 mm^2 的铜导线允许通过 15 A 的电流 ($J=6 \text{ A/mm}^2$); 120 mm^2 的铜导线允许通过 280 A 的电流 ($J=2.3 \text{ A/mm}^2$)。当导线中通过的电流超过允许电流时,导线将过热且加速绝缘老化而发生事故,甚至引发火灾。

2. 电位、电压和电动势 电压又称电位差,是衡量电场做功本领大小的物理量。在电路中若电场力将电荷 Q 从 a 点移动到 b 点,所做的功为 W_{ab} ,则功 W_{ab} 与电量 Q 的比值称为两点间的电压,用符号 U_{ab} 表示。其数学式为:

$$U_{ab} = W_{ab}/Q \quad (1-3)$$

若电场力将 1 C 的电荷从 a 移到 b ,所做的功是 1 焦耳 (J),则 ab 间的电压就是 1 伏特,简称伏,用字母 V 表示。除伏特外常用单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μ V)。

1 千伏 (kV) = 10^3 伏 (V)

1 毫伏 (mV) = 10^{-3} 伏 (V)

1 微伏 (μ V) = 10^{-3} 毫伏 (mV) = 10^{-6} 伏 (V)

电压和电流一样,不但有大小,而且有方向,即有正、负。对于负载来说,规定电流流进端为电压的正端,电流流出端为电压的负端。电压的方向由正指向负,也就是负载中电压的实际方向与电流方向一致。如图 1—3 中的 U_{ab} 为正, U_{ba} 为负,即 $U_{ab} = -U_{ba}$ 。在电路图中常以带箭头的实线来表示电压的方向。若遇到电路中某两点间的电压方向不能确定时,也可设参考方向,然后按计算得出的正、负来判断。

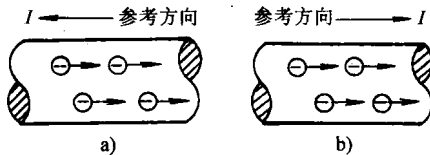


图 1—2 电流的正负
a) 方向一致 b) 方向相反

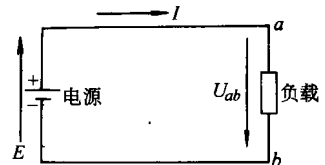


图 1—3 电压与电动势的方向

显然,对于负载来说,没有电压就没有电流,电压是产生电流的条件。电阻两端的电压称为电压降。

电动势是衡量电源将非电能转换成电能本领的物理量。电动势的定义是:在电源内部,外力将单位正电荷从电源的负极移动到正极所做的功,用字母 E 表示。若外力将电荷 Q 从负极移到正极所做的功是 W_E ,则电动势的数学式为:

$$E = W_E/Q \quad (1-4)$$

电动势的单位和电压相同,也是伏特。

电动势的方向规定为电源内部由负极指向正极。在电路中，也用带箭头的实线表示电动势的正方向。

对于一个电源来说，既有电动势又有电压，但电动势只存在于电源内部。电源两端不接负载的电压（即开路电压）等于电源电动势，但两者方向相反。而电源电压方向规定为：在电源外部由正极指向负极，如图 1—3 所示。

在电路分析中，有时需比较某两点的电性能，需引入电位的概念。电路中某点与参考点之间的电压称该点的电位。通常把参考点电位规定为零电位。电位的符号常用带下标的字母 U （或 u ）表示，如 U_A 表示 A 点的电位。电位的单位也是伏特。

在工程上，通常以大地或金属机壳或电路的公共接点的电位为零电位。零电位的符号是 \perp （表示接大地）， \perp 或 ω （表示电路的公共接点或设备的金属外壳）。

电路中两点间的电位之差，称为两点间电位差，常用带双下标的字母 U 表示，如 U_{ab} 表示 a 、 b 两点间的电位差，即：

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-5)$$

电位和电位差（即电压）的异同点是：

(1) 电位是某点对参考点的电压，电位差是某两点间的电压。因此，电位相同的各点间的电位差为零，电流也为零。

(2) 电位是相对值，其值随参考点变化而变化。而电位差是绝对值，不随参考点变化而变化。

(3) $U_{ab} = U_a - U_b = - (U_b - U_a) = -U_{ba}$ ，当 $U_{ab} > 0$ 时， a 点电位高于 b 点电位；反之， a 点电位低于 b 点电位。

3. 电阻和电导 当电流通过金属导体时，作定向运动的自由电子会与金属中的带电粒子发生摩擦、碰撞。可见，导体对电荷的定向运动有阻碍作用，导体对电流的阻力小，说明其导电能力强；导体对电流阻力大，说明其导电能力差。电阻就是反映导体对电流阻碍作用大小的一个物理量。

电阻用字母 R 表示。电阻的单位是欧姆，简称欧，用字母 Ω 表示。

1 千欧 ($k\Omega$) = 10^3 欧 (Ω)

1 兆欧 ($M\Omega$) = 10^3 千欧 ($k\Omega$) = 10^6 欧 (Ω)

导体的电阻是客观存在的，它不随导体两端电压大小而变化。即使没有电压，导体仍然有电阻。实验证明，电阻的大小对于长度为 L 而截面积为 S 的导体，其电阻可表示为：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-6)$$

式中 ρ ——电阻率或电阻系数， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

有时为了方便，引入了电导的概念，在数值上电导等于电阻的倒数。电导用符号 G 表示，即：

$$G = 1/R \quad (1-7)$$

电阻和电导是同一事物的两种表示方法。

电导的单位称为西门子，简称西，用字母 S 表示。

4. 电功和电功率 把电能转换为其他形式的能量时，电流都要做功。电流所做的功叫电功。根据 $I = \frac{Q}{t}$ 、 $U = \frac{W}{Q}$ 以及欧姆定律，可得电功的数学表达式为：

$$W = UQ = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t \quad (1-8)$$

式(1—8)中,若电压单位为伏,电流单位为安,电阻单位为欧,时间单位为秒,则电功单位为焦耳,简称焦,用字母J表示。

电功不能表示电流做功的快慢,只能表示做功的多少,因为不知道这些功是在多少时间内完成的。我们把单位时间内电流所做的功,称为电功率,用字母P表示,即:

$$P = W/t \quad (1-9)$$

式(1—9)中,若电功单位为焦耳,时间单位为秒,则电功率的单位称为瓦特,简称瓦,用字母W表示。电功率用来表示电流做功的快慢。

在工程上,电功率常用单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)。

$$1 \text{ 千瓦 (kW)} = 10^3 \text{ 瓦 (W)}$$

$$1 \text{ 毫瓦 (mW)} = 10^{-3} \text{ 瓦 (W)}$$

根据式(1—8)、(1—9)还可得到常见的电功率计算公式:

$$P = IU = I^2R = U^2/R \quad (1-10)$$

由式(1—10)可以看出:

(1) 当用电器的电阻一定时,电功率与电流的平方或电压的平方成正比。

(2) 当流过用电器的电流一定时,电功率与电阻值成正比。

(3) 当用电器两端的电压一定时,电功率与电阻值成反比。

在实际工作中,电功的单位常用千瓦时(kW·h),也叫“度”。它表示功率为1 kW的用电器在1 h中所消耗的电能,即:

$$1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

例 1—1 某电视机的功率为30 W,平均每天开机2 h,若每度电费为人民币0.48元,则一年(以365天计算)要交纳多少电费?

解:

$$30 \text{ W} = 0.03 \text{ kW}$$

$$0.03 \times 2 \times 365 = 21.9 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

则一年的电费为:

$$0.48 \times 21.9 = 10.51 \text{ 元}$$

二、电路中的基本定律

1. 部分电路欧姆定律 图1—4中双点划线框所示的电路为不含电源的部分电路。

当在电阻R两端加上电压U时,电阻中就有电流流过。通过实验可以知道,如果加在电阻R两端的电压U发生变化时,流过电阻的电流也随着变化,而且这种变化是成正比例的,即电压和电流的比值是一个常数,这个常数就是电路中的电阻,写成公式就是:

$$R = U/I \quad (1-11)$$

由式(1—11)可得到:

$$I = U/R \quad (1-12)$$

式(1—12)说明,流过导体的电流强度与这段导体两端的电压成正比,而与这段导体的电阻则成反比。这一规律,是由德国物理学家欧姆在1827年发现的,故称为欧姆定律。它揭示了电路中电流、电压、电阻三者之间的关系,是电路的基本定律之一。

由式 (1—12) 还可得到:

$$U = IR \quad (1-13)$$

从图 1—4 还可看出, 电阻两端的电压方向是由高电位指向低电位的, 而且电位逐点降落。通常说的“电压降”或“压降”, 就是指的这个意思。

例 1—2 某电炉接在 220 V 电源上, 正常工作时流过电阻丝的电流为 5 A, 试求电阻丝的电阻。

解:

$$R = U/I = 220/5 = 44 \Omega$$

2. 全电路欧姆定律 全电路是指含有电源的闭合电路, 如图 1—5 所示。图中的双点划线框内代表一个电源。电源的内部一般都是有电阻的, 这个电阻称为内电阻, 用字母 r 表示。内电阻是在电源内部, 与电动势是分不开的, 所以也可以不单独画出, 只在电源符号旁边注明内电阻的数值就行了。

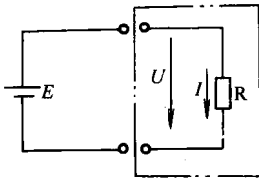


图 1—4 部分电路

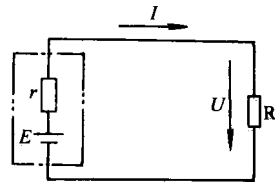


图 1—5 全电路

当电路为通路时, 负载 R 上就有电流流过, 这是因为电阻两端有了电压 U 的缘故。电压 U 是电动势 E 产生的, 它既是电阻两端的电压, 又是电源的端电压。

下面我们来讨论 E 和 U 的关系: 电路开路时, 电源端电压数值上等于电源电动势 (方向相反)。电路为通路时, 用电压表测电阻两端电压则比开路电压小, 这是因为电流流过电源内部时, 在内电阻上产生了电压降 $U_0 = Ir$, 这时:

$$U = E - U_0 \quad (1-14)$$

把 $U_0 = Ir$ 和 $U = IR$ 代入式 (1—14) 可得:

$$I = E/(R + r) \quad (1-15)$$

这一规律称为全电路欧姆定律。

例 1—3 有一电源的电动势为 3 V, 内阻 r 为 0.4 Ω , 外接负载电阻为 9.6 Ω , 求电源端电压和内压降。

解:

$$\begin{aligned} I &= E/(R + r) \\ &= 3 \text{ V}/(9.6 + 0.4) \Omega = 0.3 \text{ A} \end{aligned}$$

内压降 $U_0 = Ir = 0.3 \text{ A} \times 0.4 \Omega = 0.12 \text{ V}$

端电压 $U = IR = 0.3 \text{ A} \times 9.6 \Omega = 2.88 \text{ V}$

或 $U = E - U_0 = 3 \text{ V} - 0.12 \text{ V} = 2.88 \text{ V}$

3. 焦耳定律 电流流过电阻时, 电流所做的功被电阻吸收并全部转化为热能, 产生的热量 Q 为:

$$Q = W = I^2 R t = U I t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-16)$$

Q 的单位是焦耳 (J)。

电流通过导体时使导体发热的现象, 称为电流的热效应。

§ 1—2 简单直流电路的计算

在 § 1—1 介绍了直流电路的一些基本概念和规律, 本节着重介绍简单直流电路的计算方法, 包括串联电路、并联电路。所谓简单直流电路, 这就是指可以用串、并联关系转化并计算的电路。

一、电阻的串联电路

图 1—6a 所示为三个电阻组成的串联电路

在电路中, 若两个或两个以上的电阻按顺序一个接一个地联成一串, 使电流只有一条通路, 电阻的这种连接方式叫做电阻的串联。

电阻串联电路具有下面一些特点:

(1) 串联电路中流过每个电阻的电流都相等, 即:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n \quad (1-17)$$

式中脚标 1、2、3... n 分别表示第一、第二、第三...第 n 个电阻。这是因为在电压 U 作用下, 整个闭合回路都有电流流过, 由于串联电路只有惟一通路, 所以流过各串联电阻的电流相同。

(2) 电路两端的总电压等于各电阻两端的电压之和, 即:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n \quad (1-18)$$

由电压与电位的关系可知 (如图 1—6 所示)

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

$$U_{BC} = U_B - U_C$$

$$U_{CD} = U_C - U_D$$

由上面三式相加得:

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = U_A - U_D$$

因为

$$U_A - U_D = U_{AD}$$

所以

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = U_{AD}$$

即

$$U_1 + U_2 + U_3 = U_{AD}$$

由同样的方法, 便可推导出式 (1—18):

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$$

(3) 串联电路的等效电路 (即总电阻) 等于各电阻之和, 即:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \quad (1-19)$$

在分析电路时, 为了方便起见, 常用一个电阻来代替几个串联电阻的总电阻, 这个电阻叫等效电阻。图 1—6b 所示就是等效电阻和等效后的电路。在图 1—6a 中, 总电阻应该等于总电压除以电流, 即:

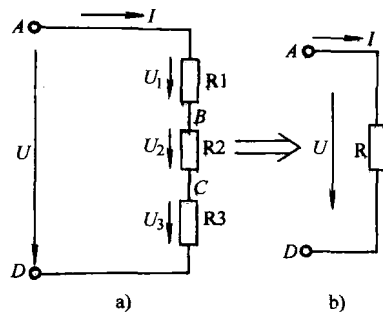


图 1—6 三个电阻的串联
a) 串联电路 b) 等效电路

$$R = U/I = (IR_1 + IR_2 + IR_3)/I \\ = R_1 + R_2 + R_3$$

串联电路应用很广，分压器便是串联电路的典型应用。

例 1—4 图 1—7 所示的分压器中，已知 $U=300\text{ V}$ ， d 点是公共接点， R_1 为 $150\text{ k}\Omega$ ， R_2 为 $100\text{ k}\Omega$ ， R_3 为 $50\text{ k}\Omega$ ，求输出电压 U_{bd} 、 U_{cd} 各为多少伏？

解：

$$U_{cd} = U_3 = IR_3 = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} \times R_3 \\ = 300 \times 50 / (150 + 100 + 50) \\ = 50\text{ V}$$

$$U_{bd} = U_2 + U_3 = IR_2 + U_3 = \frac{U}{R} R_2 + U_3 \\ = UR_2 / (R_1 + R_2 + R_3) + U_3 \\ = 300 \times 100 / (150 + 100 + 50) + 50 \\ = 150\text{ V}$$

二、电阻的并联电路

两个或两个以上的电阻一端连在一起，另一端也连在一起，使每一电阻都承受同一电压的作用。电阻的这种连接形式叫做电阻的并联。图 1—8a 所示为由三个电阻组成的并联电路。

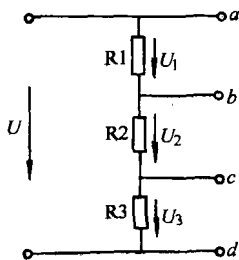


图 1—7 分压器

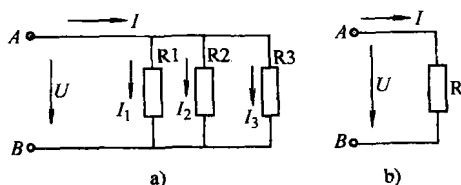


图 1—8 三个电阻的并联
a) 并联电路 b) 等效电路

电阻并联电路具有下面一些特点：

(1) 并联电路中各电阻两端电压相等，且等于电路两端的电压，即：

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n \quad (1-20)$$

由图 1—8a 可见，每个电阻两端的电压都等于 A、B 两点的电位差，也就是各电阻的端电压相等。

(2) 并联电路中的总电流等于各电阻中的电流之和，即：

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (1-21)$$

从图 1—8a 可看出，电流从正极流出，分三条支路继续流动。流入负极的电流始终等于从正极流出的电流。

(3) 并联电路的等效电阻（即总电阻）的倒数，等于各并联电阻的倒数之和，即：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1-22)$$

在图 1—8a 中，总电阻应该等于电压除以总电流，即：

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_1 + I_2 + I_3} = \frac{U}{\frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

计算出总电阻后，图 1—8b 所示即为图 1—8a 的等效电路图。

在并联电路的计算中，经常遇到两个或三个电阻并联的情况，可导出以下常用式（公式中的 // 是并联记号）：

$$\text{两个电阻的并联：} R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{三个电阻的并联：} R = R_1 // R_2 // R_3 = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$$

并联电路的应用也是十分广泛的。凡额定电压相同的负载几乎全是并联的，这样任何一个负载的正常工作都不影响其他负载，人们可以根据需要来启动或断开各个负载。有时也可用并联电路组成分流器，以提供各不相同的支路电流。

例 1—5 有一 500 Ω 电阻，分别与 600 Ω、500 Ω、20 Ω 的电阻并联，求并联后的等效电阻各等于多少？

解：根据两电阻并联公式直接计算：

$$(1) R = 500 // 600 \approx 273 \Omega$$

$$(2) R = 500 // 500 = 250 \Omega$$

$$(3) R = 500 // 20 \approx 20 \Omega$$

从上面的计算结果可以看出以下特点：第一，并联等效电阻总比任何一个分电阻小；第二，若两个电阻相等，并联后等效电阻等于一个电阻的一半；第三，若两个相差很大的电阻并联，可以认为等效电阻近似等于小电阻值，因为电阻大的电路电流很小，可近似认为是开路。

三、负载获得最大功率的条件

任何电路都在进行着由电源到负载的功率传输。由于电源总有内阻，因而电源提供的总功率是由内阻上的功率和负载上获得的功率这两部分组成的。若内阻上的功率增大，则负载功率就减小，如图 1—9 所示。

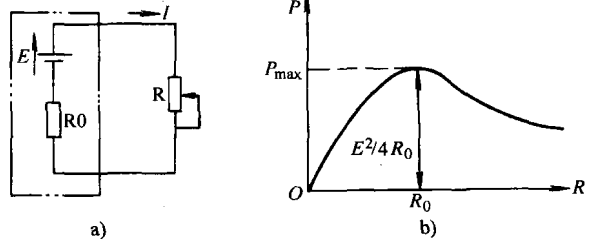


图 1—9 负载获得最大功率的条件

a) 电路 b) 功率曲线

图 1—9 中的 R 可以是串联、并联及其他的等效电路。电源的内阻一般是固定的，因而负载获得的功率和负载电阻 R 的大小有密切的关系。在图 1—9a 中，如果改变 R 的大小，就会发现 R 上获得的功率有所不同，如图 1—9b 所示。在电子电路中，总是希望负载能获得最大功率。那么，负载电阻符合什么条件，它才能从电源获得最大功率呢？

从前面的知识我们知道，负载 R 获得的功率应为：

$$P = I^2 R = \left(\frac{E}{R + R_0} \right)^2 R = \frac{E^2 R}{(R + R_0)^2}$$