



实用电工电子自学丛书

电工实用技术 自学通

● 赵红顺 主 编

(第二版)



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



自学丛书

电工实用技术 自学通

● 主 编 赵红顺

参 编 李 华

(第二版)



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《实用电工电子自学丛书》的一本。旨在普及电工技术，提高电工人员的文化、技术素质，使其掌握全面的专业基础理论和熟练的操作技能，以适应社会的发展，满足社会现代化的需求。

全书共分八章，主要内容包括电工基础知识、常用电工工具的使用、电工测量技术、室内外布线及照明技术、电动机的运行维护、常用继电器—接触器控制线路、可编程控制器原理及应用、安全用电技术。

本书深入浅出、通俗易懂、实用性强。

本书适合广大低压电工、电气技术人员和电工爱好者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工实用技术自学通/赵红顺主编. --2 版. —北京:
中国电力出版社, 2012. 4
(实用电工电子自学丛书)

ISBN 978-7-5123-2871-6

I. ①电… II. ①赵… III. ①电工技术-基本知识
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 058503 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 11 月第一版

2012 年 7 月第二版 2012 年 7 月北京第四次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 11.875 印张 312 千字

印数 10001—13000 册 定价 25.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

近年来,随着我国电力工业建设事业飞速发展,工厂、农村、家庭用电设备日益增多,电业职工队伍也在不断扩大。为了适应社会的发展,满足社会现代化的要求,必须相应地普及电工技术,提高电工人员的文化、技术素质,使其掌握全面的电工专业技术理论和熟练的操作技能。为此,我们组织编写了这本《电工实用技术自学通》,作为《实用电工电子自学丛书》中的一本。

《电工实用技术自学通》作为《实用电工电子自学丛书》中的一本,于2004年出版以来,受到了广大电工爱好者的喜爱。为了更好地适应电工技术的发展,我们组织编写人员进行了修订,对原有章节内容进行了补充和完善,并增加了可编程序控制器原理及应用方面的内容。

全书共分八章,分别介绍了电工基础知识、常用电工工具的使用、电工测量技术、室内外布线及照明技术、电动机的运行维护、常用继电器—接触器控制线路、可编程序控制器原理及应用、安全用电技术等内容。本书突出实用,深入浅出,通俗易懂。

本书由常州机电职业技术学院赵红顺主编,第一、三、五、六、八章由赵红顺编写,第二、四、七章由李华编写。

在编写过程中,我们查阅和参考了众多文献资料,从中得到许多启发,在此表示衷心感谢。

限于编者水平,书中缺点及疏漏不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正,以便今后修正完善。

本书适合广大低压电工、电气技术人员和电工爱好者阅读。

编 者

目 录

前言

第一章 电工基础知识	1
第一节 直流电路	1
第二节 单相交流电路	14
第三节 三相交流电路	31
第二章 常用电工工具的使用	40
第一节 通用工具	40
第二节 导线连接工具	44
第三节 线路安装和登高工具	46
第四节 防护工具	52
第三章 电工测量技术	60
第一节 电压及电流的测量	60
第二节 电能的测量	65
第三节 万用表	75
第四节 钳形电流表	81
第五节 绝缘电阻表	82
第四章 室内外布线及照明技术	87
第一节 常用电工材料	87
第二节 导线的接头工艺	93
第三节 室内布线	113
第四节 常用照明装置的安装和维修	121
第五节 低压安全电源和安全灯	133
第五章 电动机的运行维护	138

第一节	常用三相交流电动机·····	138
第二节	交流电动机的运行和维护·····	145
第三节	单相交流电动机·····	157
第四节	直流电动机·····	163
第五节	电动机的调速·····	173
第六章	常用继电器—接触器控制线路·····	182
第一节	常用低压电器·····	182
第二节	电气控制线路的基本环节·····	213
第三节	典型机床电气控制线路·····	231
第四节	机床电气故障的检修方法·····	260
第七章	可编程序控制器原理及应用·····	270
第一节	PLC 概述 ·····	270
第二节	三菱 FX 系列 PLC 简介 ·····	280
第三节	PLC 的编程语言与编程软元件 ·····	285
第四节	PLC 基本指令及其应用 ·····	299
第五节	PLC 步进顺控指令及其应用 ·····	311
第六节	三菱 SWOPC-FXGP/MIN-C 编程软件 ·····	319
第八章	安全用电技术·····	327
第一节	概述·····	327
第二节	电气安全工作制度·····	329
第三节	接地与接零·····	334
第四节	电气安全装置·····	344
第五节	电气防火防雷知识·····	348
第六节	触电与现场急救·····	358
参考文献 ·····		371

第一章 电工基础知识

第一节 直 流 电 路

一、电路的基本概念

1. 电路的组成和作用

电路就是能使电流流通的闭合回路。最简单的电路是由电源、负载、导线和开关等部分组成的。图 1-1 是一个最简单的手电筒电路。

(1) 电源。电源能把其他形式的能量转换成电能。例如发电机能把机械能转换为电能，电池能把化学能转换为电能。

(2) 负载。负载又称负荷、用电设备，是取用电能转换为其他形式能量的设备。例如电动机将电能转换为机械能去带动生产机械，电灯把电能转换为光能，电炉把电能转换为热能。

(3) 导线。导线是用

来连接电源和负载以构成电流通路的导体。它能将电源的电传送给负载，常用的有铝线和铜线。

(4) 开关。开关是接通或断开电路的控制元件。当它闭合

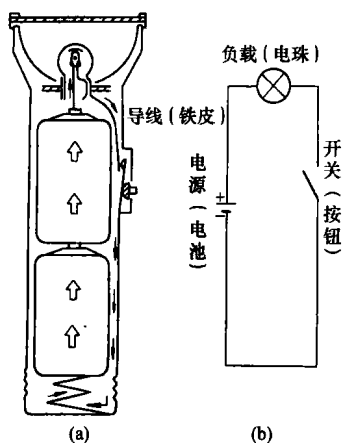


图 1-1 手电筒电路

(a) 实物电路图；(b) 电路原理图

时，可以看做是导线的一部分。

在实际生产中，电路中还常装有其他一些设备，例如熔断器、测量仪表等，起保护、测量及监视电路等作用。

2. 电流

(1) 电流及其方向。电荷在导体中的定向移动就形成电流。习惯上将正电荷运动的方向作为电流的正方向，电流是从电源的正极经导线、负载及另一根导线，流向电源的负极。

(2) 电流。电流（俗称电流强度）是衡量电流强弱的物理量。通过导体截面电流的大小，等于单位时间内通过该横截面的总电荷量。

在国际单位制中，电流的单位为 A（安培，简称安）。常用单位还有 kA（千安）、mA（毫安）、 μA （微安）。它们之间的换算关系如下

$$1\text{kA} \text{ (千安)} = 1000\text{A} \text{ (安)}$$

$$1\text{A} \text{ (安)} = 1000\text{mA} \text{ (毫安)}$$

$$1\text{mA} \text{ (毫安)} = 1000\mu\text{A} \text{ (微安)}$$

电流用 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中 q ——电荷量，C；

t ——时间，s。

电流有直流和交流两种。方向和大小都不随时间变化的电流，叫做直流电流，简称直流（DC），习惯上用大写字母 I 表示。方向和大小随时间作周期性变化的电流，叫做交流电流，简称交流（AC），习惯上用小写字母 i 表示。我们可从干电池、蓄电池及直流发电机中获得直流电流，从交流发电机中获得交流电流。

3. 电压、电位与电动势

(1) 电压。电荷在电场中，必定要受到电场力的作用，电场力将单位正电荷从 A 点移到 B 点所做的功（ W_{AB} ，J）称为 A、

B 间的电压，用 u_{AB} 表示，即

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dt} \quad (1-2)$$

在国际单位制中，电压的单位为 V（伏特，简称伏）。常用单位还有 kV（千伏）、mV（毫伏）、微伏（ μV ）。

如果电压的大小和极性都不随时间而变化，这样的电压称为恒定电压或直流电压，用 U 表示。如果电压的大小和极性都随时间变化，则称其为交变电压或交流电压，用 u 表示。

习惯上把电场力移动正电荷的方向规定为电压的实际方向。

(2) 电位。电路中某点 A 的电位是指电场力将单位正电荷从该点 A 移到参考点 O 所做的功。A 点的电位用 V_A 表示，电位实质上就是电压，其单位也是 V（伏特）。由电位的定义知

$$V_A = U_{AO} \quad (1-3)$$

电路参考点本身的电位为零，即 $V_O = 0$ ，所以参考点也称零电位点。电工技术中，电路为了安全而接地的，常以大地为零电位体，接地点就是零电位点，是确定电路中其他各点电位的参考点。

电路中除参考点外其他各点的电位可能是正值，也可能是负值。某点的电位比参考点高，则该点电位就是正值，反之则为负值。

电路中参考点选择不同，各点电位的数值不同。电路中任意两点间的电压与参考点选择无关。电压与电位的关系是

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

(3) 电动势。电源的电动势用 E 表示，单位是 V（伏特），方向规定从低电位点指向高电位点，即从电源的负极指向正极。

4. 电阻

(1) 电阻。导体中的自由电子在移动的过程中，不断地互相碰撞，并且与导体中其他不带电的质子也发生碰撞，同时还必须克服原子核对它的吸引力，因而会受到一定的阻力，导体对电流的这种阻力称为电阻，用字母 R 表示。电阻大的物体导电能力差，电阻小的物体导电能力强。电源本身也有电阻，称做电源的

内电阻（简称内阻）。

(2) 导体电阻的计算。实验证明，金属导体的电阻与其长度成正比，与其横截面积成反比，并与材料、温度等因素有关。导体的电阻可用式 (1-5) 表示，即

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

式中 R ——导体的电阻， Ω ；

l ——导体的长度，m；

S ——导体的截面积， mm^2 ；

ρ ——导体的电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ （现在国际单位用 $\Omega \cdot \text{m}$ ，即 $1\Omega \cdot \text{m} = 10^6\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）。

电阻的常用单位是 Ω （欧姆，简称欧）。常用的还有 $\text{k}\Omega$ （千欧）和 $\text{M}\Omega$ （兆欧），它们之间的关系是

$$1\text{M}\Omega (\text{兆欧}) = 1000\text{k}\Omega (\text{千欧})$$

$$1\text{k}\Omega (\text{千欧}) = 1000\Omega (\text{欧})$$

导体的电阻率 ρ 取决于导体的材料。电阻率高的材料，导电性能差；电阻率低的材料，导电性能好。常用材料的电阻率见表 1-1。

表 1-1 几种常见导体材料的电阻率

材料	电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	材料	电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)
银	0.016×10^{-6}	青铜	$(0.021 \sim 0.4) \times 10^{-6}$
铜	0.0175×10^{-6}	锰铜	0.42×10^{-6}
铝	0.029×10^{-6}	康铜	$(0.4 \sim 0.51) \times 10^{-6}$
钢	$(0.13 \sim 0.25) \times 10^{-6}$	镍铬	1.1×10^{-6}
铁	$(0.13 \sim 0.3) \times 10^{-6}$	铁铬铝	1.4×10^{-6}
黄铜	$(0.07 \sim 0.08) \times 10^{-6}$		

(3) 导体和绝缘体。物体按照它的导电性能可分为导体和绝缘体。例如各种金属、酸、碱、盐的水溶液以及人体等，因为有自由电子、离子等带电微粒存在，比较善于传导电流，所以这类物体被称为导体。相反，如橡胶、塑料、玻璃、云母、陶瓷、电木、油类以及干燥的木材、纸张、空气等物体，在一般情况下，

内部几乎没有自由电子，不善于传导电流，这类物体被称为绝缘体。导电性能介于导体和绝缘体之间的物体，称为半导体，例如锗、硅、硒等。目前广泛应用的晶体管和集成电路，就是用半导体材料做成的。

(4) 温度对导体电阻的影响。同一导体在不同温度下，它的电阻值是不同的。实践证明，各种金属材料温度升高时，电阻将增大；石墨、碳及电解液等当温度升高时，电阻则减小；至于康铜及锰钢等合金的电阻，受温度的影响极小，比较稳定，故它们常用来制造标准电阻、变阻器及仪表中的分流器、倍压器等。

二、欧姆定律

欧姆定律是反映电路中电压、电流和电阻之间关系的定律，是电路基本定律之一，在工程上应用极为广泛。

1. 一段电阻电路的欧姆定律

如图 1-2 所示是闭合电路中一段电阻电路，在这段电路段中不含电动势，而仅有电阻，所以称为一段电阻电路。

实验证明：当导体温度不变时，通过导体的电流与加在导体两端的电压成正比，而与其电阻成反比，这个结论叫做一段电路的欧姆定律，即

$$U = IR \quad (1-6)$$

2. 全电路的欧姆定律

在实际工作中，会遇到以直流发电机或蓄电池等作电源供给负载的电路。如图 1-3 所示为一台直流发电机供负载的简单电

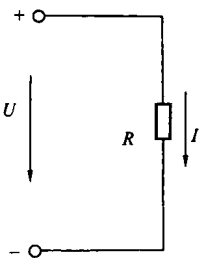


图 1-2 一段电阻电路

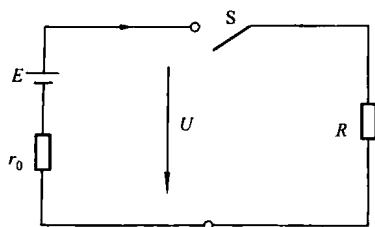


图 1-3 全电路

(2) 总电压 U 等于各个电阻上的分电压之和, 即

$$U = U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2 \quad (1-8)$$

由此可见, 电阻越大, 其分电压也越大, 这就是串联电阻的分压原理。

(3) 电路的总电阻等于各分电阻之和, 用 R 代表总电阻, 即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-9)$$

串联电路的这三个特点非常重要, 工程中常利用此来进行分压及降压。

【例 1-1】 假设有一个表头, 如图 1-5 所示, 电阻 $R_g = 1000\Omega$, 满偏电流 $I_g = 100\mu\text{A}$ 。要把它改装成量程是 10V 的电压表, 应该串联多大的电阻?

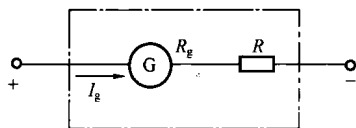


图 1-5 [例 1-1] 图

解 表头指针偏转到满刻度时它两端的电压为 $U_g = I_g R_g = 0.1\text{V}$, 这是它能承担的最大电压。现在要让它测量最大为 10V 的电压, 则分压电阻 R 必须分担 9.9V 的电压。由于串联电路中电压与电阻成正比, 即

$$\frac{U_g}{U_R} = \frac{R_g}{R}$$

$$\text{则} \quad R = \frac{U_R}{U_g} R_g = \frac{9.9}{0.1} \times 1000 = 99 \times 10^3 (\Omega) = 99\text{k}\Omega$$

可见, 串联 $99\text{k}\Omega$ 的分压电阻后, 就把这个表头改装成了量程为 10V 的电压表。

说明: 常用的电压表是用微安表头或毫安表头改装成的。表头的电阻值 R_g 为几百到几千欧, 允许通过的最大电流 I_g 为几十微安到几毫安。每个表头都有它的 R_g 值和 I_g 值, 当通过它的电流为 I_g 时, 它的指针偏转到最大刻度, 所以 I_g 也叫满偏电流。如果电流超过满偏电流, 不但指针指示不出数值, 还会烧毁表头。因此, 不能直接用表头来测较大的电压, 只有给表头串联一

电阻，分担一部分电压，才可以用来测较大电压。

2. 电源的串联

电源的串联一般指电池的串联。电池的串联就是把几个电池的正、负极相间地连接起来，如图 1-6 (a) 所示。电池串联时应注意，必须使它们推动电流的方向一致。如果把电池接反了，电池的电动势便互相抵消，如图 1-6 (b) 所示。在需要获得较高电源电压的地方，常采用电源的串联接法。

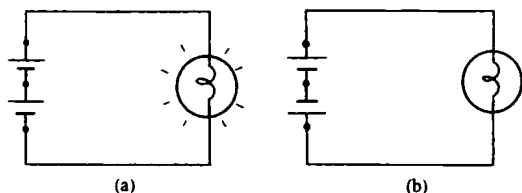


图 1-6 电池的串联

(a) 正确；(b) 错误

(二) 并联电路

1. 电阻的并联

如图 1-7 所示，几个电阻并排地接到承受同一电压的两个节点之间的连接，叫做电阻的并联。并联电路的特点如下：

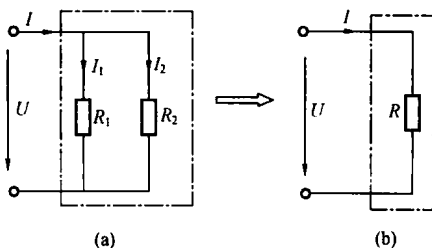


图 1-7 电阻的并联

(a) 实际电路；(b) 等效电路

(1) 各并联支路两端的电压相等。

(2) 总电流等于各并联支路电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \quad (1-10)$$

由此可见，支路电阻越小，分流电流越大，这就是并联电阻的分流原理。

(3) 并联电路总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-11)$$

或写成

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-12)$$

由此可见，并联电路总电阻的值，必定小于任一支路的电阻值。

【例 1-2】 [例 1-1] 中的表头，要把它改装成量程为 1A 的电流表，应该并联多大的电阻？

解 表头指针偏转到满刻度时它所能测量的最大电流是 $I_g = 100\mu\text{A}$ ，现在要用它来测量最大为 1A 的电流，则分流电阻 R 必须分担 I_1 的电流，如图 1-8 所示，则

$$I_1 = 1 - 0.0001 = 0.9999(\text{A})$$

由于并联电路中电流与电阻成反比，即

$$\frac{I_1}{I_g} = \frac{R_g}{R}$$

$$\text{则 } R = \frac{I_g R_g}{I_1} = \frac{0.0001}{0.9999} \times 1000 = 0.1(\Omega)$$

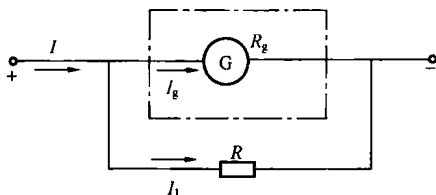


图 1-8 [例 1-2] 图

2. 电源的并联

电源的并联，是把各电源的正极与正极、负极与负极相接，

如图 1-9 (a) 所示。电源并联时，各个电源的电动势以及内阻必须相等（至少非常相近），如果正极和负极接错了，就会产生大量的环流在它们内部循环，这相当于把串接电池组的两极短接了，如图 1-9 (b) 所示。

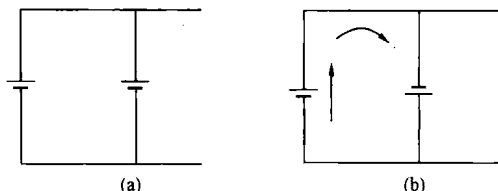


图 1-9 电池的并联

(a) 正确；(b) 错误

在负载需要获得较大的电流时，常采用电源的并联连接。电源并联连接后，总内电阻降低，而回路电流及电源的端电压均增大。

(三) 混联电路

既含有电阻串联又含有电阻并联的混合连接方法，称电阻的混联。混联电路的计算方法和化简步骤如下：

(1) 整理化简电路。把几个串联或并联的电阻分别用等效电阻来代替，然后求出该电路的总电阻。

(2) 根据电路的总电压、总电阻、计算出该电路的总电流。

(3) 最后推算出各部分的电压和电流等。

四、功率与电能

前面介绍了电压、电流、电阻，并研究了各量之间的相互关系，在电路分析计算时还经常遇到功率和电能的问题。在电力系统中，发电厂和供电部门的主要任务就是发出输送功率，向用户销售电能。因此电路中的功率和电能的计算就成为电路计算中的一个重要问题。

1. 功率

负载是接受电能的。负载接受的功率就等于它的电压和电流

的乘积，通常用字母 P 表示，即

$$P = UI \quad (1-13)$$

式中 P ——负载功率，W；

U ——负载两端的电压，V；

I ——通过负载的电流，A。

功率的单位为 W（瓦特），在实际应用中，还有 kW（千瓦）、MW（兆瓦），它们之间的换算关系是

$$1\text{MW（兆瓦）} = 1000\text{kW（千瓦）}$$

$$1\text{kW（千瓦）} = 1000\text{W（瓦）}$$

因为有 $U = IR$ ，所以电阻消耗的功率通常写成

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-14)$$

【例 1-3】 一只 220V、100W 的灯泡，当接到 220V 的电源时，通过的电流为多少？灯泡的电阻是多少？

解 由式 (1-14) 可知，电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.45(\text{A})$$

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220 \times 220}{100} = 484(\Omega)$$

2. 电能

电动机、灯泡的功率只表示它们工作能力的大小，而它们所完成的工作量不仅取决于其功率的大小，还与它们工作时间的长短有关。因此，电能（W）就是用来表示电力在一段时间内所做的功，即

$$W = Pt \quad (1-15)$$

式中 t ——时间，s；

P ——功率，W。

国际单位中，电能的单位是 J（焦耳），它表示功率为 1W 的用电设备在 1s 时间内所消耗的电能。实用中还常采用 kWh（千瓦·小时），即通常所说的 1 度电。

$$1 \text{ 度电} = 1\text{kWh} = 3600\text{kJ} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$