

实用电工技术必读丛书

SHIYONGDIANGONG
JISHUBIDU
CONGSHU

工厂

实用电工



人民出版社

实用电工技术必读丛书

工厂实用电工

主 编	李 强		
副主编	李 光		
编 委	王洪强	王 佳	卢琳皓
	张艳玲	钱文艳	高雅君
	啜宝龙	费宏伟	唐春和

延边人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

工厂实用电工/李强主编,李光副主编.一延吉:延边人民出版社,2003.4

ISBN 7-80648-964-9

(实用电工技术必读丛书)

I.工... II.李... III.工厂-电工 IV.TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 025814 号

·实用电工技术必读丛书·

工厂实用电工

主 编:李 强

责任编辑:金河范

出 版:延边人民出版社

经 销:各地新华书店

印 刷:长春市东文印刷厂

开 本:850×1168 毫米 1/32

字 数:4200 千字

印 张:200

版 次:2003 年 6 月第 1 版

印 次:2003 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1-2000 册

书 号:ISBN 7-80648-964-9/TM·2

总定价:300.00 元(单册:20.00 元 共 15 册)

内 容 提 要

电力在工业、农业、国防和科学技术现代化建设中起着相当重要的作用。工业生产实现电气自动化以后,可增加产量,提高质量,降低成本,减轻劳动强度,改善劳动条件,提高劳动生产率。为了使工厂电气工人系统地了解 and 掌握这方面的知识,我们特编写了这本《工厂实用电工》一书,以飨读者。

本书主要内容:电工基础知识、电工仪表与测量、变压器、直流电动机、异步电动机、低压电器、机床电路及电动起重机电气控制线路、工厂照明等。本书内容通俗易懂,选材新颖,理论与实践相结合,具有系统性、实用性和科学性。适合广大电工及工厂技术人员阅读参考。

限于时间和水平,书中难免有不足之处,敬请广大读者批评指正。在此,表示衷心的感谢。

目 录

第一章 电工基础知识概要	1
第一节 直流电路	1
一、导体、绝缘体和半导体	1
二、电路及其基本物理量	2
三、电路的基本定律	3
四、电阻的连接方式	4
五、电功和电功率	5
六、电流的热效应	6
七、基尔霍夫定律	6
第二节 磁和电磁现象	8
一、磁的概念及描述磁场的基本物理量	8
二、电流的磁场及其相互作用	10
三、电磁感应	11
第三节 正弦交流电的概念	14
一、交流电和正弦交流电	14
二、正弦交流电的参数	15
三、正弦交流电的三种表示法	17
第四节 交流电路	19
一、纯电阻交流电路	19
二、纯电感交流电路	21
三、电容器和纯电容交流电路	22
四、电阻、电感和电容器串联的交流电路	25
五、电阻、电感和电容并联的交流电路	27
六、功率因数和提高功率因数的方法	29
第五节 三相交流电	30
一、三相交流电	30
二、三相发电机三个绕组的连接方式	31
三、三相交流电路中负载的连接方式	33

四、三相交流电路的功率	36
第二章 电工仪表与测量	38
第一节 电工测量基础知识	38
一、电工测量仪表的分类	38
二、测量误差与测量仪表的精度等级	39
三、常用电气测量指示仪表的符号	40
第二节 主要电气测量指示仪表	45
一、磁电式仪表的结构和原理	45
二、电磁式仪表的结构原理	48
三、电动式仪表的结构和原理	50
四、感应式仪表的结构和原理	53
第三节 直流电路的测量	55
一、电流的测量	56
二、电压的测量	59
三、直流电路功率的直接测量	61
第四节 交流电路的测量	64
一、交流电流的测量	64
二、交流电压的测量	73
第五节 交流电路功率测量	76
一、交流电路功率测量的特点	76
二、交流功率表的组成和测量原理	77
三、单相交流电路有功功率的测量	77
四、三相交流电路有功功率的测量	79
第六节 交流电能的测量	87
一、电度表测量原理	87
二、单相交流电路电能的测量	89
三、三相交流电路有功电能的测量	91
四、三相交流电路无功电能的测量	94
五、有关电能测量应注意的几个问题	98
第七节 电阻的直接测量	99
一、电阻的一般测量	100
二、电阻的精密测量	103
三、绝缘电阻的测量	109
第八节 万用电表及其使用	112
一、万用电表的结构	113

二、万用电表的测量原理	113
三、常用万用电表电路介绍	115
四、万用电表使用注意事项	119
五、万用电表的维护	120
第三章 变压器	121
第一节 变压器的基本知识	121
一、变压器的功能	121
二、变压器的分类	121
三、变压器的构造	123
四、变压器型号及技术数据	126
五、变压器的工作原理	128
第二节 小型变压器	131
一、控制用变压器的选用	132
二、安全照明电源变压器的选用	133
三、电子设备电源变压器的制作	133
第三节 电力变压器	141
一、电力变压器的结构	141
二、电力变压器运行	147
三、电力变压器的维修	157
第四节 特殊变压器	166
一、三绕组变压器	166
二、自耦变压器	167
三、调压变压器	170
四、电焊变压器	173
五、电压互感器	173
六、电流互感器	174
第五节 磁放大器	175
一、磁放大器原理	176
二、磁放大器的铁芯	177
三、反馈在磁放大器中应用	179
四、单拍磁放大器	181
五、双拍磁放大器	182
第四章 直流电动机	185
第一节 直流电动机的结构及工作原理	185
一、直流电动机的结构	185

二、直流电动机种类	188
三、直流电动机的工作原理	189
四、直流电动机的反电动势与电磁转矩	189
第二节 常用小型直流电动机型号、规格及用途	190
一、常用规格型号介绍	190
二、铭牌	191
三、直流电动机绕组出线端标记	192
第三节 直流电机的电枢绕组	193
一、概述	193
二、单迭绕组	195
三、单波绕组	198
四、均压线	202
第四节 直流电动机的电枢反应及换向原理	203
一、电枢反应	203
二、换向原理	204
三、改善换向的方法	206
四、环火与补偿绕组	209
第五节 直流电动机的运行	210
一、直流电动机的机械特性	210
二、直流电动机的启动、调速与改变转向	214
三、直流电动机的制动	218
四、直流电动机常见故障的分析	220
第五章 异步电动机	224
第一节 三相异步电动机的构造和工作原理	224
一、三相异步电动机的构造	224
二、三相异步电动机工作原理	227
三、三相异步电动机的电磁转矩与机械特性曲线	229
四、常用小型异步电动机型号、规格及用途	233
第二节 三相异步电动机的定子绕组	235
一、基本概念	235
二、三相双层迭绕组的连数	236
三、三相单层绕组	239
第三节 三相异步电动机的启动、调速和制动	241
一、三相异步电动机的启动	241
二、三相异步电动机的调速	248

三、三相异步电动机的制动	251
第四节 三相异步电动机运行故障的分析	253
一、定子绕组故障	253
二、转子绕组故障	256
第五节 三相鼠笼式多速异步电动机	257
一、三相鼠笼式多速异步电动机的种类	257
二、单绕组多速电动机的原理和接线	258
三、多绕组多速电动机	266
第六节 单相异步电动机	266
一、工作原理	266
二、单相异步电动机的类型	267
第六章 低压电器	270
第一节 概 述	270
第二节 手动控制电器	271
一、闸刀开关	271
二、铁壳开关	276
三、组合开关	277
四、倒顺开关	279
五、按钮开关	282
六、主令开关	283
第三节 自动控制开关	285
一、自动开关	285
二、接触器	289
三、继电器	295
第七章 机床电路及电动起重机电气控制线路	303
第一节 电气控制线路中电机、电器符号	303
一、国家标准电工系统图图形和文字符号	303
二、机床电路的原理图和接线图	303
第二节 继电—接触控制线路的基本环节	315
一、三相鼠笼式感应电动机单方向运转的线路	315
二、三相鼠笼式感应电动机正反转控制线路	316
三、三相鼠笼式感应电动机星—三角起动控制线路	317
四、三相鼠笼式感应电动机动能制动控制线路	319
五、三相鼠笼式感应电动机反接制动控制线路	320
第三节 常用机床电路	322

一、C620—1 普通车床电气线路	322
二、Z35 钻床电气线路	323
三、T611 卧式镗床电气线路	326
四、M7120A 平面磨床电气线路	331
五、X62W 铣床电气线路	334
第四节 电动吊钩桥式起重机的控制线路	339
一、5 吨电吊钩单梁桥式起重机	340
二、20/5 吨电动吊钩桥式起重机的控制线路	344
三、起重机常用制动器的构造和维护	351
第八章 工厂供电系统及其装置	360
第一节 有关供电的基本知识	360
一、概述	360
二、电能的生产、输送与分配	360
三、额定电压与频率	363
四、对供电系统的基本要求	365
五、电力负荷的划分	366
第二节 工厂供电系统	367
一、供电系统	367
二、变配电所的一次接线	370
第三节 高压配电设备的构造、性能和作用原理	375
一、隔离开关	376
二、断路器	381
三、负荷开关	382
四、高压熔断器	385
五、高压开关板	390
第四节 低压配电设备	391
第五节 配电设备的运行、检修与试验	392
一、配电设备的运行与检修	393
二、配电设备的预防性试验	396
第六节 电气线路	398
一、架空电气线路	398
二、电缆线路	402

第一章 电工基础知识概要

第一节 直流电路

一、导体、绝缘体和半导体

自然界的一切物质都是由原子组成的。由于组成物质的原子种类和数量不同,因此使自然界中存在着形形色色的物质的物理、化学性质也各不相同。

原子是由原子核和围绕原子核运动的电子组成的。原子核带正电,电子带负电,正负电荷间存在着相互作用力。在正常情况下,正负电荷数量相等,对外不显电性。不同的原子,其原子核内部结构和它周围的电子数量也不同。由于原子核的内部结构和它周围的电子数量与分布不一样,因此使各种不同的物质具有各自的特性。

物质原子最外层电子数量的多少,往往决定着该种物质传导电荷的能力(导电性能)。各种物质按照导电性能不同,大体上可分成三大类:

导体:组成这类物质的原子,最外层电子数量少于四个,距原子核较远,受原子核的作用力较小,当获得一定能量后,就能挣脱原子核的束缚,跑出轨道成为自由电子。因而这类物质在常温下就存在大量的自由电子,具有良好的导电能力,称为导体。如各种金属和碳等。

绝缘体(非导体):组成这类物质的原子,最外层电子往往多于四个,它们受原子核的作用力较强,不易挣脱原子核的束缚而成为自由电子,因而在常温下具有极少的自由电子,导电能力很差或几乎不导电,如橡胶、云母、陶瓷、塑料、玻璃等。

半导体:这类物质在常温下具有的自由电子数量介于导体和绝缘体之间,因而导电能力也介于导体和绝缘体之间,如硅、锗、硒等。

二、电路及其基本物理量

1. 电路

电流经过的闭合路,称为电路。一个最简单最基本的电路,必须由电源、负载和连接导线组成。

2. 电路的基本物理量

(1) 电流:电荷有规则的定向运动,就称为电流。正电荷运动的方向规定为电流的方向。

电流的大小用电流强度来量度,简称为电流,用 I 表示。若在 t 秒时间内通过导体任一截面的电量为 Q ,那么电流强度可表示为:

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

若电量的单位为库仑(1库仑 = 6.24×10^{18} 个电子所带的电量),时间为秒,则电流强度的单位为安培,用 A 表示。除安培单位外,还常用毫安(mA)和微安(μA),其换算关系为:

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

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

(2) 电压:电路中任意两点的电位差,称为电压。电压的单位有伏特(V)、毫伏(mV)、微伏(μV)。

$$1 \text{ 伏}(V) = 1000 \text{ 毫伏}(mV)$$

$$1 \text{ 毫伏}(mV) = 1000 \text{ 微伏}(\mu V)$$

(3) 电阻:导体对电流通过时所呈现的阻力,称为导体的电阻,用 R 表示。电阻的基本单位为欧姆(Ω),较大的单位为千欧($K\Omega$)和兆欧($M\Omega$),即:

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

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

对一定材料的导体,其电阻大小与导体长度(l)成正比,与导体横截面积(S)成反比,这个关系称为电阻定律,即:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

式中 ρ 是比例常数,称为导体的电阻率,不同材料的导体,其 ρ 值不一样,它反映着不同材料各自的导电性能,其单位为欧姆·毫米²($\Omega \cdot mm^2/m$)。若 l 单位为米, S 单位为平方毫米,则电阻单位为欧姆。

导体的电阻大小与温度有关,可用下式表示:

$$R_t = R_0[1 + \alpha(t_1 - t_0)] \quad (1-3)$$

式中: R_0 是对应温度 t_0 时的电阻值, R_t 是对应温度 t_1 时的电阻值, α 叫做材料的电阻温度系数,它取决于导体的材料。不同材料的导体, α 的大小也不同。其大小表示温度每升高一度时,电阻值增加的百分数,单位为 $1/^\circ\text{C}$ 。

三、电路的基本定律

1. 部分电路欧姆定律

德国物理学家欧姆研究了电路中电流、电压与电阻之间的关系,从大量的实验中得出:通过部分电路的电流 I 和该电路两端电压 U 成正比,和该电路的电阻 R 成反比,这就是部分电路欧姆定律的内容。用数学式表示为:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-4)$$

在上式中, U 的单位为伏, R 的单位为欧姆, I 的单位就是安培。

从欧姆定律可以推得两个重要关系:

(1) 部分电路两端的电压在数值上等于通过它的电流和电阻的乘积,即为:

$$U = IR \quad (1-5)$$

(2) 部分电路的电阻在数值上等于该电路两端的电压和通过它的电流的比值,为:

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

2. 全电路(闭合电路) 欧姆定律

图 1-1 为一闭合电路。实验证明:通过闭合电路的电流 I 和电路中电源的电动势成正比,和电路中总电阻成反比,这就是全电路欧姆定律的内容。用数学表达式表示为:

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

式中 E —电源电动势;

r —电源内阻;

R —负载电阻。

从(1-7)式可得:

$$E = IR + Ir = U + U_0 \quad (1-8)$$

(1-8)式说明:电源电动势等于端电压 U 和内阻上电压降 U_0 之和。

由(1-8)式可得:

$$U = E - Ir \quad (1-9)$$

(1-9)式说明:电源端电压等于电源电动势和内阻上电压降之差。从(1-9)式可见,负载电流的变化将引起端电压的波动。电源端电压因负载变化而发生波动的这种性质,叫电源的外特性。若负载变化较大,而端电压几乎维持不变,称电源的外特性好或带负载的能力强。

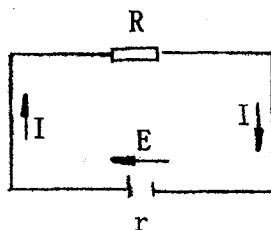


图 1-1 最基本的闭合电路

四、电阻的连接方式

电阻的连接方式,最简单和最常用的是串联和并联。

1. 电阻串联连接

两个或两个以上的电阻首尾逐个相连起来,称电阻的串联连接。

图 1-2 是由两个电阻串联组成的电路。电阻串联的特点为:

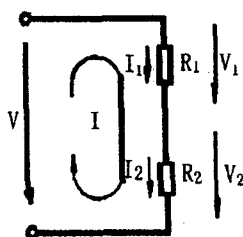


图 1-2 电阻串联

(1) 流经串联电阻的电流相等,即:

$$I = I_1 = I_2 \quad (1-10)$$

(2) 串联电路总电压等于各电阻上电压降之和,即:

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-11)$$

(3) 串联电路的总电阻(或等效电阻)等于各串联电阻之和,即:

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

(4) 分压比:串联电阻上的电压降和本电阻阻值成正比,即:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_2 + R_1} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_2 + R_1} U \quad (1-13)$$

式中 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 、 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 称为分压比(或分压系数)。

2. 电阻的并联连接

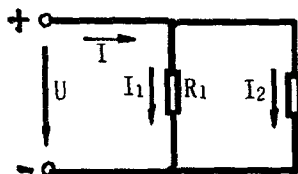


图 1-3 电阻并联

由两个或两个以上的电阻，一端连接在一起，另一端连接在一起，称为电阻的并联连接，如图 1-3 所示。 R_1 和 R_2 组成并联接法，其特点为：

(1) 并联电路中各支路的电压相等，即：

$$U = U_1 = U_2 \quad (1-14)$$

(2) 并联电路的总电流等于各支路电流之和，即：

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-15)$$

(3) 并联电路的等效电阻(总电阻)的倒数等于各支路电阻倒数之和，即：

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

(4) 分流比：当有两个电阻并联时，每一并联支路的电流和本支路的电阻成反比，即：

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-17)$$

式中： $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 和 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 称为分流比。

除电阻的串、并联外，还有电阻的混联，亦即在电路中既有串联又有并联。

五、电功和电功率

1. 电功

电流能使电动机转动，电炉发热，电灯发光等，即电流具有做功的能力。电流所做的功称为电功。电功可用下式计算：

$$A = QU = UIt \quad (1-18)$$

式中： U 为电压，单位是伏特； I 为电流，单位是安培； t 为时间，单位是秒； A 为电功，单位是焦耳(瓦特·秒)。

2. 电功率

电流所做的功和完成这些功所用的时间的比值，称为电功率，它

表示电流做功的快慢程度。电功率可用下式计算：

$$P = \frac{A}{t} = \frac{IUt}{t} = UI \quad (1-19)$$

式中： P 为电功率，单位是焦耳/秒，即瓦特（用 W 表示），简称瓦比瓦大的单位有千瓦和马力，比瓦小的单位有毫瓦、微瓦。其换算关系：

$$1 \text{ 千瓦}(KW) = 1000 \text{ 瓦}(W)$$

$$1 \text{ 毫瓦}(mW) = 1000 \text{ 微瓦}(\mu W)$$

$$1 \text{ 马力}(HP) = 735 \text{ 瓦}(W)$$

电功率还可表示为：

$$P = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-20)$$

若已知用电设备的功率和用电时间，也可求电功，即：

$$A = Pt$$

电功的单位还有千瓦小时，称为度。亦即：

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦小时}(KWH)$$

六、电流的热效应

电流通过导体时会发热，这种现象称为电流的热效应。实验证明：电流通过导体时产生的热量，与电流强度的平方成正比，与导体的电阻和通电时间成正比，这个定律叫做焦耳—楞次定律，可表示为：

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (1-21)$$

根据欧姆定律，上式可表示为：

$$Q = 0.24 IU t = 0.24 \frac{U^2}{R} t \quad (1-22)$$

式中若 I 单位是安培， U 单位是伏特， R 单位是欧姆， t 单位是秒，那么热量 Q 单位是卡。

七、基尔霍夫定律

对于简单的电路，应用欧姆定律和电阻串并联规则就可以进行分析与计算，而对于图1-4所示的复杂的电路就必须用更普遍的电

路定律——基尔霍夫定律才能更好地进行分析和计算。

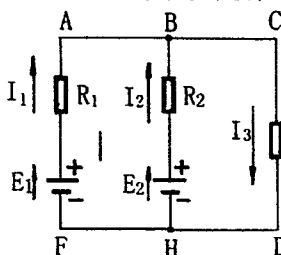


图 1-4 复杂电路

在复杂电路中，三条或三条以上支路的会聚点，称为节点，图 1-4 所示电路中的 H 、 B 都是节点。而电路中的任何一个闭合电路，都称为回路，如 $ABHF$ 、 $BCDH$ 和 $ACDF$ 都是回路。

基尔霍夫定律就是反映复杂电路中任一节点处电流之间的关系和任一回路中电源电动势和电阻上电压降之间关系的。

基尔霍夫定律的内容为：

1. 基尔霍夫第一定律(节点电流定律)：

在复杂电路中任一节点处流入的电流总和，等于流出的电流总和，称为基尔霍夫第一定律。在图 1-4 电路中，以节点 B ，电流之间关系按基尔霍夫第一定律可表示为：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

写成一般表示式为：

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-23)$$

若流入节点的电流规定取正值，而流出节点电流取负值，那么上式又可表示为：

$$\sum I = 0 \quad (1-24)$$

(1-24) 式说明：对复杂电路中任一节点处，电流的代数和为零。

2. 基尔霍夫第二定律(回路电压定律)：

在复杂电路的任一回路中，沿任一绕行方向，电动势的代数和等于各电阻上电压降的代数和。这就是基尔霍夫第二定律的内容。

任选绕行方向后，电动势与绕行方向相同取正值；反之取负值。电流与绕行方向同向的在电阻上电压降取正值；反之取负值。这样，基尔霍夫第二定律可以表示为：

$$\sum E = \sum IR \quad (1-25)$$

或 $\sum U = 0$