

电工进网作业考核培训教材

(建筑电工部分)

华东六省一市电机工程(电力)学会联合编委会 编
江苏省南通市电机工程学会

中国电力出版社

电工进网作业考核培训教材

(理论电工部分)

华东六省一市电机工程(电力)学会联合编委会 编
江苏省南通市电机工程学会



A1031360

中国电力出版社

《电工进网作业考核培训教材》是根据国家经贸委会第13号《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》、国家标准《特种作业人员安全技术培训考核管理规则》以及部颁《进网作业电工管理办法》和《进网作业电工培训考核大纲》的要求,结合《电力法》等法规和新颁国家、电力标准、规程、规定和《国家职业技能鉴定规范》的精神,从进网作业电工应掌握的电工理论及电力系统运行知识出发,重点介绍35kV及以下的电业安全、作业技能和电工作业规定,内容深入浅出,理论联系实际,文字通俗易懂,是专为工业企业电工、农村低压电工、建筑电工和电工安全技术编写的进网作业考核培训、岗前考证培训、特证电工年审培训、工作票与操作票等特种培训教材。

本书为《电工进网作业考核培训教材》之一,介绍建筑电工进网作业应具有的必要知识和操作技能。全书共九章,主要内容包括建筑电工基础知识、电工识图知识、建筑电工常用工器具、电力系统概述、施工负荷计算、无功补偿、变配电设施、建筑电气防火、建筑机械的电力拖动常用电动机、低压电器及其安装、建筑机械电气控制部分、室内配线规定、塑料护套线、槽板、瓷夹、瓷柱、绝缘子、线槽、线管、钢索、封闭插接式母线、室内电缆、竖井内等配线工艺及竣工检查与试验,建(构)筑物的防雷危害、防雷措施与防雷装置,建(构)筑物电气装置接地及应用,施工用电设备接地,电气照明、电光源、照明装置及其安装、照明电路与配电箱,施工安全用电、触电与急救、防触电措施、漏电保护装置、电气作业安全措施、施工现场防火与防爆等方面的实用知识和操作技能,每章后有复习思考题。

本书可作为建筑施工企业从事建筑电气安装、运行、检修、维护和施工用电与管理工作,具有初中及以上文化程度,35kV及以下建筑(施工)企业电工、企业变电值班员、企业供用电人员等进网作业考核培训、岗前考证培训、特证电工年审培训、工作票与操作票等特种培训教材和自学用书,也可作为建筑(施工)企业的电气管理、技术人员以及工业企业电工、农村电工从事电气安装工作和电力工业学校、职业学校的电工教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工进网作业考核培训教材. 建筑电工部分/华东六学会编. -北京: 中国电力出版社, 2002.6

ISBN 7-5083-1013-6

I. 电… II. ①华…②江… III. 建筑工程-电工-技术培训-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 021697 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2002年8月第一版 2002年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 33.75印张 847千字

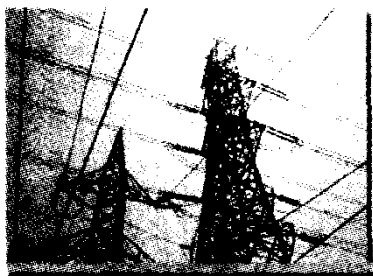
印数 0001—5000册 定价 50.00元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《电工进网作业考核培训教材 (建筑电工部分)》

组编单位	华东六省一市电机工程（电力）学会联合编委会
主任委员	刘时中 江苏省电机工程学会
副主任委员	林淦秋 上海市电机工程学会
	苏伯林 江苏省电机工程学会
委 员	林康民 山东省电机工程学会
	王海秋 安徽省电机工程学会
	熊彭年 江西省电机工程学会
	陆桂婉 浙江省电力学会
	郭忠尧 福建省电机工程学会
协编单位	如皋市供电公司
主 审	刘时中
主 编	刘 震
参 编	刘 震、沈百新



前

言

随着工农业生产的发展,我国城乡建设事业蓬勃发展,电力用户的配电装置和用电设备的容量不断增加,对建筑配电和用电设备的安装提出了更高的要求。为了进一步加强进网作业电工的统一管理、考核培训和发证工作,提高进网作业电工的技术业务水平,保证电网的安全、经济运行。我们总结了建筑电气施工及多年来考核培训进网作业电工的实践经验,针对建筑电工进网作业培训和考核的特点及其技术水平的现状和发展,根据部颁《进网作业电工培训考核大纲》的要求,编写《电工进网作业考核培训教材(建筑电工部分)》一书。内容重在电工作业技能,贯彻国家新的规程、规范和标准,以便进网作业电工在生产实际中掌握和应用。

《电工进网作业考核培训教材(建筑电工部分)》一书,由刘震同志主编,其中第三章由沈百新同志编写,其余章节由刘震同志编写,编写大纲由刘震同志编制。

本书由华东六省一市电机工程(电力)学会联合编委会组织编写,全书由刘时中同志负责主审,并主持了组稿工作。

本教材在编写过程中曾得到如皋市电机工程学会及有关建设、施工、设计、制造单位的热情支持和帮助,对此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,错误和缺点在所难免,希望广大读者提出宝贵意见,以便再版时修改。

编 者

2002年1月



前言

第一章 建筑电工基本知识

第一节 电工基础知识	1
一、电流、直流与交流电流(1) 二、电场及电场强度(1) 三、电位、电动势和电压(2) 四、电流强度、电流密度和电流的热效应(2) 五、电阻、感抗、容抗和阻抗(3) 六、电路及其工作状态(5) 七、电路中电压、电流和电阻之关系(5) 八、电功、功率和功率因数(7) 九、纯电阻、电感、电容及其串、并、混联电路(9) 十、交流电的瞬时值、最大值和有效值(17) 十一、交流电的周期、频率和角频率(18) 十二、交流电的相位、初相角和相位差(18) 十三、三相三线制、三相四线制及其电压、电流(19) 十四、磁场、磁通、磁阻、磁感应强度、磁场强度(22) 十五、磁路中磁通、磁阻和磁压降之关系(23) 十六、电流的磁效应、磁场对通电导体的作用(25) 十七、电磁感应(26) 十八、自感、互感和涡流(28) 十九、静电感应、热电效应和趋肤效应(29)	
第二节 电工识图知识	29
一、概述(29) 二、电气图用图形符号(30) 三、电气图用文字符号(41) 四、动力及照明平面图(42)	
复习思考题	57

第二章 建筑电工常用工器具

第一节 常用通用工具	59
一、电工刀(59) 二、剥线钳(60) 三、电烙铁(60) 四、螺钉旋具(60)	
第二节 常用安装工具	61
一、电钻、冲击电钻和电锤(61) 二、喷灯(64) 三、弯管器(65) 四、管子台虎钳(65) 五、管螺纹铰板(66) 六、管子割刀(66) 七、压接钳(67) 八、紧线器(68) 九、射钉枪(69) 十、拉马(拉勾)(69)	
第三节 常用登高工具	70
一、梯子(70) 二、升降板(70) 三、脚扣(71) 四、登高作业用具(71) 五、登高工具试验标准(72)	
第四节 常用电气安全用具	72
一、验电笔(72) 二、绝缘棒(74) 三、绝缘夹钳(74) 四、绝缘手套和绝缘靴(74) 五、绝缘垫(75) 六、标示牌(75) 七、接地线(75) 八、电气安全用具试验标准(76)	
第五节 常用电工测量用具	77
一、万用表(77) 二、兆欧表(79) 三、钳形电流表(81) 四、接地电阻测量仪(82) 五、直流电桥(83)	
复习思考题	85

第三章 建筑供电

第一节 电力系统概述	87
一、电力系统及其组成 (87) 二、电力系统负荷及其分类 (88) 三、各级负荷的供电要求 (89) 四、供电质量 (90)	
第二节 施工电力负荷的计算	91
一、负荷计算方法 (92) 二、设备功率的确定 (93) 三、单相用电设备的负荷计算 (94) 四、三相用电设备组负荷计算 (95) 五、变压器容量的确定 (96)	
第三节 无功补偿	96
一、提高功率因数的意义 (96) 二、提高功率因数的方法 (97) 三、并联电容器铭牌 (98) 四、并联电容器提高功率因数原理 (99) 五、并联电容器的补偿方式 (99) 六、电容器容量选择 (101) 七、并联电容器安装 (101)	
第四节 变配电设施	102
一、概述 (102) 二、施工现场小型变电所 (103) 三、低压配电盘 (箱) (115) 四、低压配电线路 (126)	
第五节 建筑电气防火	135
一、消防电源及其配电 (135) 二、线路导线选择和敷设 (137) 三、火灾应急照明 (138) 四、火灾报警系统 (138)	
复习思考题	142

第四章 建筑机械的电力拖动

第一节 建筑施工机械常用电动机	143
一、概述 (143) 二、三相异步电动机 (143) 三、单相电动机 (163) 四、电动机安装 (170) 五、交流电动机交接试验 (176)	
第二节 建筑常用低压电器及其安装	182
一、概述 (182) 二、低压电器安装调试一般要求 (183) 三、低压熔断器 (184) 四、刀开关及其与熔断器组合电器 (191) 五、组合开关 (197) 六、低压断路器 (199) 七、交流接触器 (212) 八、控制继电器 (219) 九、主令电器 (227) 十、起动机 (235) 十一、电磁铁 (253) 十二、低压电器试验 (256) 十三、低压电器安装工程交接验收 (257)	
第三节 常用建筑施工机械 (电气部分)	258
一、灰浆搅拌机 (258) 二、蛙式打夯机 (260) 三、水磨石机 (261) 四、空气压缩机 (262) 五、混凝土振动器 (265) 六、卷扬机 (268) 七、锥形反转出料混凝土搅拌机 (271) 八、交流弧焊机 (273) 九、塔式起重机 (278) 十、附墙升降机 (287)	
复习思考题	290

第五章 室内配线

第一节 室内配线一般规定	293
一、常用配线方式及其选择 (293) 二、室内配线一般要求 (294) 三、配线的导线连接 (297)	
第二节 塑料护套线配线	298
一、护套线的用途及选择 (298) 二、明配塑料护套线 (298) 三、暗配塑料护套线 (300)	

第三节 槽板配线	301
一、概述 (301) 二、槽板敷设(302)	
第四节 瓷夹、瓷柱和瓷瓶配线	303
一、概述 (303) 二、瓷夹、瓷柱和瓷瓶配线要求 (304)	
第五节 线管配线	308
一、配管一般规定 (308) 二、暗配硬塑料管 (309) 三、暗配钢管 (315) 四、明配管 (321) 五、暗配半硬塑料管 (326) 六、管内配线 (328) 七、火灾、爆炸危险环境内的线管配线 (329) 八、起重机上线管配线 (332)	
第六节 线槽配线	333
一、线槽的选择 (333) 二、线槽敷设 (333) 三、线槽内导线敷设(336)	
第七节 钢索配线	337
一、钢索的选用 (337) 二、钢索配线要求 (337)	
第八节 封闭插接式母线配线	339
一、母线选择 (340) 二、母线系统部位配件作用 (340) 三、封闭式母线施工(340)	
第九节 室内电缆配线	342
一、概述 (342) 二、室内电缆敷设 (344) 三、低压电缆头的制作安装(357) 四、爆炸危险环境内的电缆敷设 (359)	
第十节 竖井内配线	361
一、竖井的选用 (361) 二、竖井配线要求(361)	
第十一节 室内配线竣工后的检查和试验	361
一、室内配线竣工后的检查(361) 二、室内配线竣工后的试验(362)	
复习思考题	363

第六章 建（构）筑物的防雷

第一节 雷电的危害及防雷措施	365
一、雷电的形成与危害 (365) 二、建筑物防雷的分类 (365) 三、易遭雷击的建（构）筑物 (366) 四、建（构）筑物的防雷措施 (367)	
第二节 特殊建（构）筑物的防雷	379
一、建筑工地的防雷 (379) 二、水塔的防雷 (380) 三、户外架空管道的防雷 (380) 四、建筑物屋顶彩灯的防雷 (380) 五、电视天线的防雷 (381) 六、烟囱和放汽管的防雷 (383) 七、露天钢质封闭气罐的防雷 (384) 八、露天油罐的防雷 (384) 九、高层建筑物电气设备的防雷 (384)	
第三节 建（构）筑物防雷装置	386
一、防雷接闪器 (386) 二、防雷引下线 (398) 三、防雷接地装置 (403) 四、防雷装置的检查验收(407)	
复习思考题	409

第七章 电气装置的接地

第一节 接地的基本概念	411
一、接地 (411) 二、电气上的“地”、对地电位和转移电位 (411) 三、接触电位差 (411) 四、跨步电位差 (411) 五、保护线、中性线和保护中性线 (412) 六、接地网 (412) 七、接地装置 (412) 八、接地电阻 (412) 九、等电位连接(412)	

第二节 接地的类型及其应用	413
一、工作接地(413) 二、保护接地(414) 三、雷电保护接地(421) 四、防静电接地(421)	
第三节 建筑物电气装置的接地电阻和接地装置	422
一、建筑物电气装置的接地电阻(422) 二、建筑物电气装置的保护线、保护中性线和等电位连接线(424) 三、建筑物电气装置的接地装置(426)	
第四节 施工现场用电设备接地	433
一、施工现场用电设备接地保护(433) 二、手持式和移动式电气设备接地(434)	
复习思考题	435

第八章 电气照明

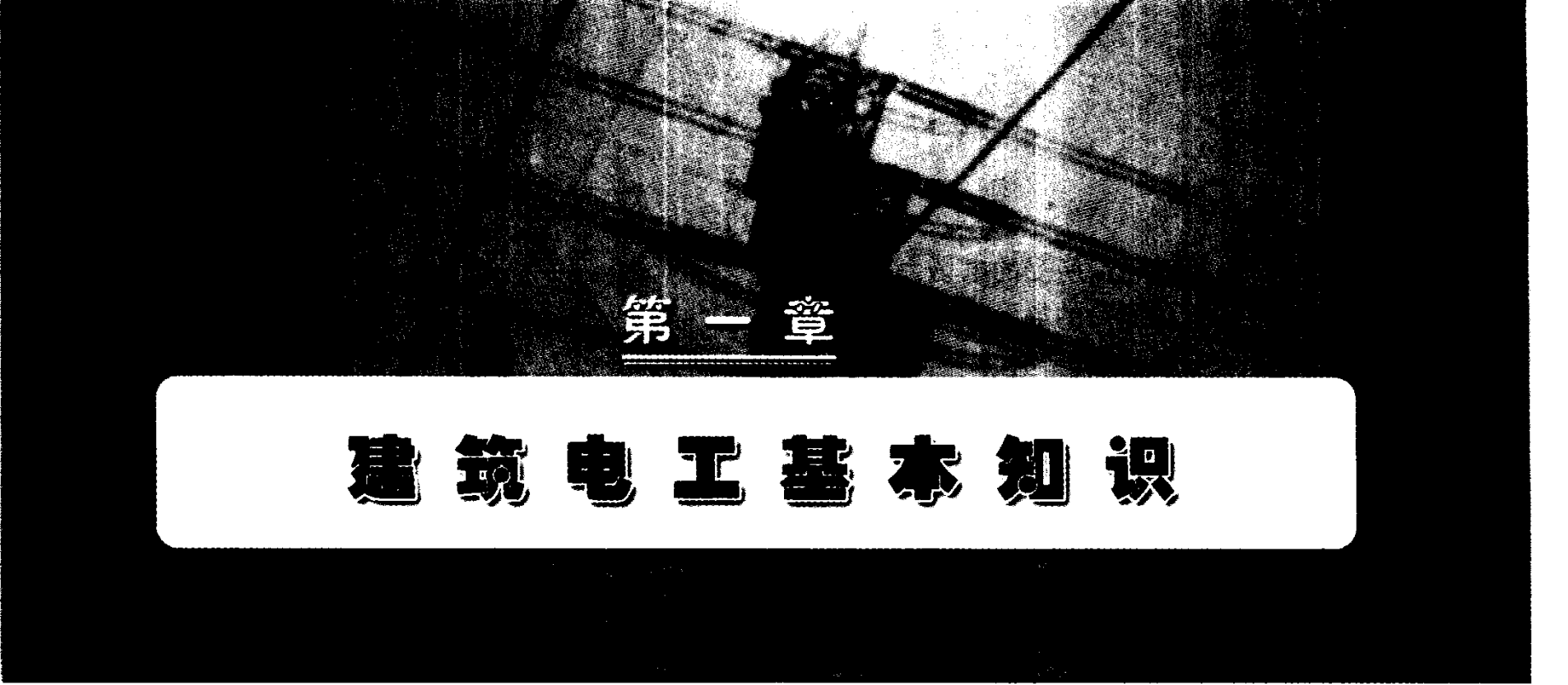
第一节 照明的基本概念	436
一、照明光源的主要性能指标(436) 二、照明的质量要求(437) 三、绿色照明工程(441)	
第二节 照明电光源	442
一、概述(442) 二、照明电光源的结构及原理(443) 三、提高气体放电灯功率因数的方法(449)	
第三节 照明装置及其安装	450
一、灯具的作用及分类(450) 二、灯具的选择和布置(452) 三、照明装置的安装(455) 四、照明装置的交接验收(475)	
第四节 照明电路	476
一、照明电路的一般要求(476) 二、照明线路配电方式(477) 三、照明线路的接户和进户(479)	
第五节 照明配电箱	482
一、照明配电箱的概况(482) 二、楼层低压配电箱的典型接线(483) 三、照明配电箱的选择(483) 四、配电箱位置的确定(485) 五、照明配电箱的安装(486)	
复习思考题	489

第九章 建筑施工安全用电

第一节 触电与触电急救	490
一、触电的种类(490) 二、触电伤害及其影响因素(490) 三、触电急救(492)	
第二节 防触电的技术措施	495
一、间接接触触电防护措施(495) 二、直接接触触电的防护措施(496) 三、间接接触与直接接触触电兼顾的防护措施(497)	
第三节 漏电保护装置	498
一、漏电保护装置的分类及工作原理(498) 二、漏电断路器(499) 三、漏电继电器(502) 四、漏电保护插座(504) 五、漏电保护装置的选用、安装及运行(505)	
第四节 电气作业的安全措施	509
一、电气作业安全的组织措施和技术措施(509) 二、低压电气作业的安全措施(510) 三、供电电源设施的安全措施(512) 四、防止误操作的措施(513) 五、施工现场用电设备巡查的安全措施(514) 六、在建工程与外电线路的安全距离及防护(515)	
第五节 施工现场的防火、防爆	(516)
一、电气火灾与爆炸的原因及预防措施(516) 二、线路火灾及其预防措施(517) 三、常用电气设备的火灾及其预防措施(517) 四、特殊建筑施工现场的防火(519) 五、施工现场灭火器材的配备和使用	

(520) 六、电气火灾的扑救方法 (521)

复习思考题	521
附录 电线及电缆穿管管径的选择	523
参考文献	528



第一章

建筑电工基本知识

第一节 电工基础知识

一、电流、直流与交流电流

1. 电流

电荷有规则的运动称为电流。在金属导体中，电流是自由电子在电场力的作用下有规则地向一个方向移动形成的。在某些气体或液体中，电流则是正离子或负离子在电场力作用下有规则运动形成的。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。

2. 直流电流

方向和大小都不随时间而变化的电流，称为直流电流。这种方向及大小都保持不变的电流称为恒定电流，也简称为直流。

3. 交流电流

大小和方向都随时间作周期性变化的电流，称为交流电流。通常所指的交流电流是正弦电流，即瞬时值随时间按正弦规律变化的交变电流。交流电的主要优点是可以利用变压器来变换电压、电流，实现经济地输送电能，方便地分配电能，安全地应用电能，以满足不同的要求。

二、电场及电场强度

1. 电场

凡是有电荷的地方，周围就存在一种特殊物质，带电体相互间的作用力就是通过这种特殊物质来传递的。这种存在于电荷周围空间对电荷有作用力的特殊物质就叫做电场。电荷与它周围的电场是一个统一体，有电荷存在就在它的周围必然存在电场。位于电场中的任何带电体都会受到电场的作用力（称为电场力），而带电体在电场力的作用下而移动时，电场要作功，说明电场具有能量。

2. 电场强度

表示电场作用于带电体上作用力的大小与方向的一个物理量，称为电场强度。电荷在电场中某点受到的电场力 F 的大小，与该电荷的电量 Q 以及该点的电场强度 E 成正比，即 $F = EQ$ 时，则

$$E = \frac{F}{Q}$$

式中 F ——检验电荷所受的电场力, N;

Q ——检验电荷的电量, C;

E ——电场强度, N/C。

电场强度是个矢量, 它的大小等于单位电荷在该点所受电场力的大小, 它的方向就是正电荷在该点的受力方向。

3. 电力线

电力线是形象地表示电场分布的场强线, 电力线从正电荷出发终止于负电荷, 因为电场中每一点电场强度方向只有一个, 所以电力线既不闭合, 也不中断, 更不会相交。电力线越密的地方, 表示电场强度越大, 反之则越弱。

三、电位、电动势和电压

1. 电位

电场中某点的电位, 在数值上等于单位正电荷沿任意路径从该点移至无限远处的过程中电场力所做的功, 其单位为伏特 (V)。在电场中电位为零的点叫做参考点, 凡电位高于零电位的点, 电位为正; 凡电位低于零电位的点, 其电位为负。通常以大地作为电位参考点。

2. 电动势

要使电流持续不断地沿电路流动, 就需要一个电源, 把正电荷从低电位移至高电位, 使电源两极维持一定的电位差。这种能使电路两端产生并维持一定电位差的能力, 叫电源的电动势, 用符号 E 表示, 单位为 V。电动势的正方向规定为由低电位指向高电位, 即电位升高的方向。

3. 电压

电路两端有电位差, 电路中就有电流通过, 这个电位差也叫电压, 用符号 U 表示, 单位为 V。实用单位还有 kV、mV、 μ V, 它们之间的关系为 $1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$ 。

四、电流强度、电流密度和电流的热效应

1. 电流强度

用来表示电流强弱的物理量, 即电流的大小用电流强度 I 来表示, 简称电流, 其数值等于单位时间内通过导体截面的电荷量, 即

$$I = \frac{Q}{t}$$

式中 I ——电流强度, A;

Q ——通过导体截面的电荷量, C;

t ——通过电荷量 Q 所用的时间, s。

电流强度的单位一般用安培表示, 符号用 A 表示。1A 电流则表示在导体横截面上, 每秒有 1C 电量流过。电流的实用单位还有 kA、A、mA、 μ A, 它们之间的关系是 $1\text{kA} = 10^3\text{A} = 10^6\text{mA} = 10^9\mu\text{A}$ 。

2. 电流密度

通过导体单位截面积的电流大小叫做电流密度 J , 即

$$J = \frac{I}{S}$$

式中 I ——导体中通过的电流, A;

S ——通电导体截面, mm^2 ;

J ——电流密度, A/mm^2 。

3. 电流的热效应

电流通过导体时, 由于导体内有电阻存在, 致使自由电子发生碰撞, 因此, 导体就会消耗电能而发热, 这种现象称为电流的热效应。日常生活中所用的电炉、电热器、电熨斗等就是利用电流的热效应制成的电器。而另一方面, 电流的热效应也会对电气设备产生不良影响, 例如变压器、电机等电气设备, 因为电流产生的热量会使设备温度升高, 引起绝缘劣化, 这就不利于电气设备的安全运行。

在导体中如果电能完全变成热能, 那么在某一时间内导体所产生的热量就应等于在该段时间内导体所消耗的电能。电流通过导体所产生热量的大小, 与流过导体电流的平方成正比, 与导体的电阻以及通电时间成正比, 用公式表示为

$$Q = I^2 R t$$

式中 I ——导体中通过的电流, A ;

R ——导体的电阻, Ω ;

t ——电流通过导体的时间, s ;

Q ——导体产生的热量, J 。

如果热量的单位用 cal 表示, 因 $1\text{J} = 0.24\text{cal}$, 则上式表示为 $Q = 0.24 I^2 R t$ (cal)。

五、电阻、感抗、容抗和阻抗

1. 电阻

(1) 电阻定义。在电场力的作用下, 电流在导体中流动时所受的阻力, 称为电阻。电阻是反映导体对电流阻碍作用大小的物理量, 它与导体材料的性质、长度、截面积有关。实验证明, 在一定的温度下, 截面积均匀、材料相同的一段金属导体电阻的大小, 与其长度成正比; 与截面积成反比, 这种关系可用公式表示为

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中 ρ ——电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

l ——导体长度, m ;

S ——导体截面积, m^2 ;

R ——导体电阻, Ω 。

电阻的基本单位是欧 (Ω), 实用单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$) 和微欧 ($\mu\Omega$), 它们之间的关系为 $1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega = 10^{12}\mu\Omega$ 。

(2) 电阻率。铜、铝、铁、钨等金属材料都具有导电性能, 而各种不同材料的导体对电流的阻碍作用大小也不相同。把横截面为 1mm^2 、长为 1m 的导体, 在温度为 20°C 时所具有的电阻值, 称为这种材料的电阻率, 以符号 ρ 表示, 单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ 。表 1-1 列出了常用材料的电阻率及温度系数。

表 1-1

常用材料的电阻率及温度系数

材料名称	银	铜	铝	钨	铁	铅
电阻率 ρ (20°C , $\Omega \cdot \text{m}$)	1.65×10^{-8}	1.75×10^{-8}	2.83×10^{-8}	5.48×10^{-8}	9.78×10^{-8}	22.2×10^{-8}
电阻温度系数 α ($1/^\circ\text{C}$)	0.0036	0.0043	0.0042	0.0051	0.0050	0.0041

在导体的长度 (l)、截面积 (S) 以及通过导体的电流 (I) 均相同的情况下, 不同材

料导体所消耗的电能与材料的电阻率成正比。从表 1-1 可看出，铜和铝的电阻率比较低，因此在电气设备和输电线路中得到广泛的应用。

(3) 电阻温度系数。实践证明，导体的电阻值还随温度的变化而变化。当温度在 $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内时，导体电阻值的变动与温度变化值成正比。若用 R_1 、 R_2 分别表示温度为 t_1 、 t_2 时的电阻，则它们之间的关系用公式表示为

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha (t_2 - t_1)$$

或

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

式中， α 称为电阻温度系数，它等于温度变动 1°C 所发生的电阻变动值与原电阻的比值。表 1-1 列出了几种材料的电阻温度系数。值得注意的是，有些材料（如碳）的电阻温度系数为负数，表明温度升高时，碳的电阻反而减小。

2. 感抗

感抗是用来表示电感线圈对交流电流阻碍作用的物理量。它和交流电的频率 f 、线圈自身的电感 L 成正比。这是由于频率越高，电流变化越快，感应电动势高；电感 L 越大，感应电动势也越高。感应电动势具有削弱电路所加电压的作用，故对电流也起阻碍作用。将感应电动势对电流的阻碍作用，称为线圈的感抗。

线圈感抗与交流电的频率 f 及线圈的电感 L 成正比。频率越低或电感越小，感抗也就越小。如果通以直流电流，因其频率为 0，所以感抗也为 0。在一些实用设备（如阻波器）中，就是利用频率越高、感抗越大的原理，采用串联的电感来阻止高频交流电通行的。

感抗与频率 f 、电感 L 的关系式表示为

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

式中 X_L ——感抗， Ω ；

ω ——角频率， rad/s ；

f ——交流电的频率， Hz ；

L ——电感， H ， $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$ 。

3. 容抗

在具有电容元件的交流电路中，在交流电压作用下产生周期性变化对电容充放电的过程，形成了电路中交流电流。当电压一定时，电流的大小与电容 C 和频率 f 成正比，把电容元件对电路电流大小的阻碍作用称为容抗 X_C ，则 X_C 与电容 C 、频率 f 的关系是

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$$

式中 X_C ——容抗， Ω ；

f ——交流电的频率， Hz ；

C ——电容， F ， $1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^{12}\text{pF}$ 。

当频率 f 为零时，容抗 X_C 为无穷大。直流电流的频率为零，所以直流电路中电容器的容抗为无穷大，即表示电容器在直流电路中是开路的。当 f 趋向于无穷大时，容抗 X_C 趋近于零，表明电容器串联在极高频率的电路中是短路的。电容器在电路中能隔断直流电流而又能通过交流电流的作用就是基于这一原理。

4. 阻抗

交流电流通过具有电阻、电感、电容元件的电路时，电流在电路中受到的阻碍作用，称

为阻抗，以字母 Z 表示，单位为 Ω 。

在串联电路中，由于感抗和容抗对电流的阻碍作用相互抵消，且两者可以合并称为电抗 X 。若感抗 X_L 大于容抗 X_C ，则阻抗 Z 在数值上等于电阻 R 的平方与感抗减容抗之差的平方之和的平方根，即

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

六、电路及其工作状态

1. 电路

电路就是电流通过的路径。它由电源、负载、连接导线和开关等组成。图 1-1 所示为简单的电路，其中负载、连接导线和开关部分称为外电路；电源内部的一段电路称为内电路。电路的作用是通过电流实现电能的传输、分配或将电能转换成其他形式的能量，还可以传递电气信号。

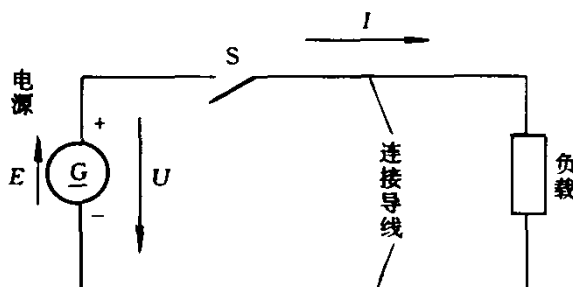


图 1-1 简单电路

2. 电路的工作状态

(1) 短路状态。如果外电路被阻值为零的导体接通，这时电源就处于短路状态。电源被短路时，其闭合电路中（含电源）的电流将增大，可能远远超过导线和电源所允许的电流限度。短路会造成电气设备过热，甚至烧毁，严重时会引起火灾。同时，短路电流还会产生很大的电动力，可能损坏电气设备。

(2) 开路状态。把电路断开或因电路的某一部分发生故障造成断线，使电路中的电流为零，称为开路状态。开路状态下负载停止工作，电源也不向负载供电，故又称为电源的空载状态。

(3) 通路状态。电路中的开关闭合，负载中有电流流过，使其处于工作状态，称为通路状态。

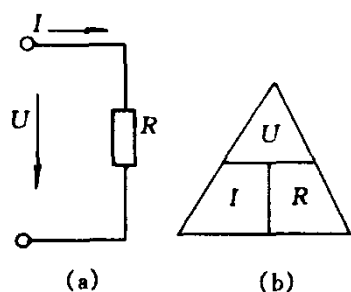


图 1-2 闭合电路的一段电阻电路图

(a) 电路图；(b) 物理量关系示意图

七、电路中电压、电流和电阻之关系

(一) 电流与电阻和电压的关系

反映电路中电压、电流和电阻之间关系的定律，就是欧姆定律，其应用极为广泛。

1. 一段电路的欧姆定律

图 1-2 是闭合电路中一段电阻电路。在这段电路中不含电动势，而仅有电阻。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，而与其电阻值成反比，这一结论叫做一段电路的欧姆定律，用公式表示为

$$I = \frac{U}{R}$$

式中 I ——流过导体的电流，A；

U ——加在导体两端的电压，V；

R ——导体的电阻值， Ω 。

应该指出，在一段直流电路中，电流的方向和电压的方向总是一致的，即顺着电流的方向电位降低，其电位降低的数值等于 IR 。

交流电路中以有效值（或最大值）计量的电压、电流和阻抗之间的关系也符合欧姆定

律, 即

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{Z}$$

式中 Z ——电路的阻抗, Ω ;

$\dot{U}$ ——电压, V;

$\dot{I}$ ——电流, A。

2. 全电路的欧姆定律

图 1-3 示出内电路 (即电源内部的电路) 和外电路 (包括导线和负载) 所组成的全电路。

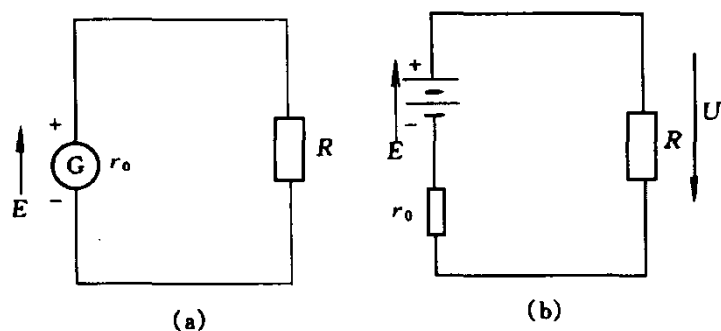


图 1-3 含有电源的全电路图

(a) 实际电路; (b) 等效电路

在只有一个电源的无分支闭合电路中, 电流 I 的大小与电源的电动势 E 成正比, 而与内、外电路电阻之和 ($r_0 + R$) 成反比, 这一结论叫做全电路的欧姆定律。用公式表示为:

$$I = \frac{E}{R + r_0}$$

$$\text{或 } E = IR + Ir_0 = U + U_r$$

也可表示为

$$U = E - Ir_0 = E - U_r$$

式中 r_0 ——电源的内电阻, Ω ;

R ——外电路的电阻 (包括导线电阻和负载电阻), Ω ;

U_r (Ir_0) ——电源内电阻上的电压降, V;

U (IR) ——电源两端的电压 (通常叫作端电压), 当不计导线电阻时即为负载两端的电压, V。

由以上公式可见:

(1) 当电源两端开路 ($R = \infty$) 时, 电流为零, 电源端电压在数值上等于电源的电动势。

(2) 当 $R = 0$ 时, 电路处于短路状态, 电源端电压等于零, 电流达到最大值 ($I = \frac{E}{r_0}$), 称为短路电流, 通常短路电流比正常电流大许多倍。

(二) 电路中节点电流的关系

基尔霍夫第一定律也叫节点电流定律, 即流进一个节点的电流之和恒等于流出这个节点的电流之和。在图 1-4 所示的电路中, 节点 a 处, I_1 、 I_2 为流进, I_3 为流出, 则 $I_1 + I_2 = I_3$ 。若视流入节点的电流为正值, 则流出节点的电流为负值, 故可以写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

或

$$\sum I = 0$$

这就是说, 在电路中的任一节点处, 电流的代数和为零。

节点电流定律也适用于交流电路, 在交流电路中各电流应为有效值的复数形式 ($\dot{I}$),

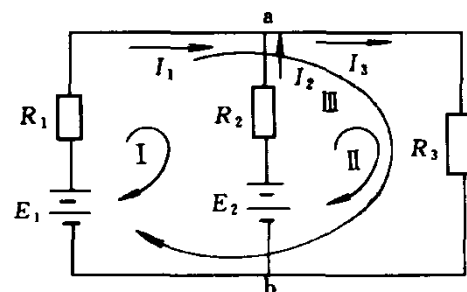


图 1-4 基尔霍夫定律电路图

各支路电流之间的关系不是单纯的数量关系，而是含有相位、数量两个要素的相量关系。

(三) 电路中电压降与电动势关系

基尔霍夫第二定律也叫回路电压定律。电路中任一回路内电压降的代数和等于电动势的代数和，即 $\sum U = \sum E$ 。

若视电动势 E 为负的电压降（即 $E = -U$ ），回路电压定律也可以写成 $\sum U = 0$ 。

在应用回路电压定律时，通常要先标出电动势、电流的正方向，再假定一个回路的绕行方向。电压正方向与回路绕行方向一致为正，与回路绕行方向相反为负。电动势的正方向与绕行方向一致为正，与绕行方向相反为负。在图 1-4 所示电路中，由回路 I 可得： $R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 - E_2$ ；由回路 II 可得： $R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$ ；由回路 III 可得： $R_3 I_3 + R_1 I_1 = E_1$ 。

回路电压定律也适用于交流电路。在用于交流电路时，各电动势、电压、电流均为以复数形式表示的相量。

八、电功、功率和功率因数

1. 电功

在电路中，电源力通过电流所做的功叫做电功（电能），用符号 A 表示，单位为 J。电功的大小与电路中的电压、电流及通电时间有关，用公式表示为

$$A = UI t = I^2 R t$$

式中 U ——电路两端的电压，V；

I ——电路中的电流，A；

R ——电路中的电阻， Ω ；

t ——通电时间，s；

A ——电功，J。

实用中，电功及电能量的单位为 kWh，它与 J 之间的关系是： $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$ 。电能表所计电量的单位是 kWh，俗称“度”。

(1) 电功率。电流在单位时间内所作的电功，称为电功率，用公式表示为

$$P = \frac{A}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

式中 A ——电功，J；

t ——作功的时间，s；

U ——电压，V；

I ——电流，A；

R ——电阻， Ω ；

P ——功率，W。

电功率的单位为瓦（W），实用单位还有千瓦（kW）、兆瓦（MW），它们之间的关系为 $1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW} = 10^6 \text{ W}$ 。

(2) 有功功率。正弦交流电路中，电流、电压都是交变的，功率也是随时而变化的。把在一个周期内瞬时功率（交流电路中任一瞬间的功率）的平均值，称为有功功率，即为电路负载从电源吸取的净功率，用 P 表示，单位是瓦（W）、千瓦（kW）、兆瓦（MW），它们之间的关系为 $1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW} = 10^6 \text{ W}$ 。

单相正弦交流电路中有功功率可用下式计算

$$P = UI \cos \varphi$$