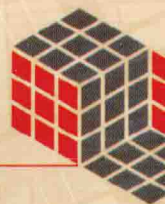


● 高等学校“十二五”规划教材

建筑电气



主 编 赵乃卓



哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十二五”规划教材

建筑电气

主编 赵乃卓

哈尔滨工业大学出版社

内容提要

本书共九章,主要包括:建筑电气基础知识;建筑供配电系统负荷分级原则及对供电的要求,变配电所布置及主接线;负荷的计算;供电导线的选择及室内线路的敷设方式,高低压电气设备的种类及作用;建筑照明光源的选择,灯具的选择与控制,照度的计算,建筑物内照明设计;建筑物的防雷、接地与等电位连接;智能建筑自动化系统的组成及工作原理;建筑电气工程施工与施工。本书注重理论与实践相结合,采用国家现行的最新技术规范及技术标准,配有实际工程施工图。

本书可作为高等院校建筑类相关专业的教材,也可供从事建筑电气设计、施工管理等人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑电气/赵乃卓主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2014.8

ISBN 978-7-5603-4783-7

I. ①建… II. ①赵… III. ①房屋建筑设备—电气设备—高等学校—教材 IV. ①TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 121657 号

策划编辑 王桂芝

责任编辑 李长波

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 18.75 总字数 455 千字

版 次 2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4783-7

定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

《建筑电气》编委会

主 编 赵乃卓

主 审 赵乃颖

编 委	崔 宁	陈 烜	陈 炜	高永新
	王 巍	李建东	程漠强	杨 伟
	夏 欣	刘艳君	张黎黎	何 影
	白雅君	李 丹	姜国强	

前 言

“建筑电气”属于建筑技术科学学科,是建筑电气类专业、建筑类专业、建筑环境专业、给水排水专业的特色课程。建筑电气技术是随着建筑技术、电气科技的发展而同步发展的,尤其是随着信息技术的发展,建筑技术实现了飞跃性的发展。

建筑电气是以建筑为平台,以现代电气技术、计算机技术、通信技术及智能化技术为手段,来创造、维持和改善室内空间的电、光、热、声以及通信和管理环境的一门科学,它能使建筑物更充分地发挥其特点,实现其功能。随着建筑技术的迅速发展和现代化建筑的出现,建筑电气所涉及的范围已由原来单一的供配电系统、照明系统、防雷和接地系统,发展成为以近代物理学、电工学、机械电子学、光学、声学等理论为基础,将供配电技术、安全防范技术、通信技术、自动化技术、计算机技术应用于建筑工程领域的一门新兴学科,向着综合应用的方向发展。现代建筑电气已成为现代化建筑的一个重要标志。

本书编写时,结合作者多年从事建筑电气方面的教学和科研工作实践经验,采用国家现行的最新技术规范及技术标准,强调理论联系实际的学习方式,配有实际工程施工图,使基础理论更好地为应用服务,注意加强工程设计应用能力的提高,注意最新知识的介绍。深入浅出地阐释基本概念,充分体现现代建筑电气技术的理论性、工程的实用性,让读者通过阅读和学习能全面了解建筑电气领域的主要内容、发展方向及在建筑中的应用,获得建筑电气知识与设计中的基本应用能力及创新能力。

本书主要包括:建筑电气基础知识,建筑供配电系统,负荷计算,导线的选择及高低压开关设备,建筑室内配电线路布线系统,建筑电气照明,建筑物防雷、接地及等电位连接,智能建筑电气技术,建筑电气工程施工。

本书由赵乃卓主编,崔宁等参编。其中,第2、3、6、7、9章及附表由赵乃卓编写,第1章由高永新、王巍、姜国强、程漠强、李丹编写,第4、5、8章由崔宁、李建东、陈烜、陈炜、杨伟编写。本书由辽宁省阜新市建筑设计研究院赵乃颖主审。

由于编者的经验和学识有限,加之当今我国建设工程飞速发展,建筑技术也在不断进步,书中难免出现疏漏及不妥之处,恳请广大读者给予批评指正。

编 者

2014 年 4 月

目 录

第 1 章 建筑电气基础知识	1
1.1 建筑电气的任务与组成	1
1.2 建筑电气设备的类型与系统的分类	1
1.3 电力系统的基本概念及组成	4
1.4 单相交流电路	8
1.5 三相交流电路	21
1.6 磁路与变压器	29
1.7 三相异步电动机	36
第 2 章 建筑供配电系统	43
2.1 负荷分级及供电要求	43
2.2 电压选择及电能质量	48
2.3 变配电所	52
2.4 柴油发电机组的选择	60
2.5 典型建筑的供配电系统	62
复习思考题	66
第 3 章 负荷计算	67
3.1 计算负荷的意义与计算目的	67
3.2 设备功率	73
3.3 需要系数法确定计算负荷	77
3.4 单相负荷的计算	80
3.5 季节负荷的计算	82
3.6 冲击负荷的计算	82
3.7 能量损耗计算	84
3.8 典型建筑工程的负荷计算	85
复习思考题	89
第 4 章 导线的选择及高低压开关设备	91
4.1 导线的选择	91
4.2 高压开关设备	98
4.3 低压电气设备	103
复习思考题	123
第 5 章 建筑室内配电线路布线系统	124
5.1 室内配电线路布线系统的一般规定	124

5.2 室内低压导线布线	124
5.3 室内电缆、封闭式母线布线	135
复习思考题	144
第 6 章 建筑电气照明	145
6.1 建筑照明基础知识	145
6.2 照明光源与灯具	152
6.3 照度计算	167
6.4 建筑物内照明设计	171
复习思考题	183
第 7 章 建筑物防雷、接地及等电位连接	184
7.1 建筑物年预计雷击次数	184
7.2 建筑物的防雷分类及防雷措施	186
7.3 低压配电系统的接地方式	207
7.4 建筑物等电位连接	212
7.5 特殊场所的安全防护	219
复习思考题	226
第 8 章 智能建筑电气技术	227
8.1 建筑智能化系统工程	227
8.2 综合布线系统	227
8.3 火灾自动报警系统	236
8.4 安全防范系统	239
8.5 通信自动化系统	251
8.6 智能建筑系统集成	252
复习思考题	258
第 9 章 建筑电气工程设计及施工	259
9.1 建筑电气设计的任务与组成	259
9.2 建筑电气设计的原则与程序	260
9.3 建筑电气设计的具体步骤	261
9.4 建筑电气设计施工图绘制	264
9.5 建筑电气设计说明	269
9.6 建筑电气工程施工图实例	271
复习思考题	289
附 表	290
参考文献	292

第1章 建筑电气基础知识

本章主要讲述建筑电气的任务与组成;建筑电气设备的类型与系统的分类;电力系统的基本概念及组成;单相交流电路;三相交流电路;磁路与变压器;三相异步电动机。

1.1 建筑电气的任务与组成

1. 建筑电气的任务

随着社会的进步和改革开放的不断深入,我国建筑业突飞猛进。绿色建筑和智能建筑的兴起,标志着现代建筑正朝着多元化方向发展。与国际标准接轨,将计算机和信息处理技术与建筑艺术相结合,为人们提供一个舒适、安全、高效、节能的生活和工作环境,是当代建筑的主要特征。随着现代化建筑崛起与发展,建筑电气技术与建筑电气设计也进入了一个迅速发展的新时期。

建筑电气是以建筑为平台,以现代电气技术、计算机技术、通信技术及智能化技术为手段,创造、维持和改善室内空间的电、光、热、声以及通信和管理环境的一门科学,它创造人性化生活环境,能使建筑物更充分地发挥其特点,实现其功能。

2. 学习建筑电气的意义

随着建筑技术的迅速发展和现代化建筑的出现,建筑电气所涉及的范围已由原来单一的供配电、照明、防雷和接地,发展成为以近代物理学、电磁学、无线电电子学、机械电子学、光学、声学等理论为基础的应用于建筑工程领域内的一门新兴学科,并向综合应用的方向发展。这不仅使建筑物的供配电系统、火灾自动报警系统、安全防范系统实现了自动化,而且对建筑物内的给水排水系统、空调制冷系统、电梯系统及经营管理系统实行了最佳控制和最佳管理。因此,现代建筑电气已成为现代化建筑的一个重要标志。

3. 建筑电气系统的组成

建筑电气系统包括建筑强电系统和建筑弱电系统。

(1)建筑强电系统。包括供配电系统、照明系统、动力系统、建筑物防雷与接地系统。

(2)建筑弱电系统。包括火灾自动报警系统、安全防范系统、有线电视系统、电话系统、有线广播及扩声系统、综合布线系统、智能建筑自动化系统等。

1.2 建筑电气设备的类型与系统的分类

1. 建筑电气设备的类型

建筑电气设备的类型繁多,其性质和功能也各不相同。下面仅从建筑电气设备在建筑中的作用和专业属性进行划分。

1) 按建筑电气在建筑中起到的作用划分

(1) 创造环境的设备。创造环境的设备是指为人们创造良好的光、温湿度、空气和声音环境的设备,如照明设备、空调设备、通风换气设备、广播设备等。

(2) 追求方便的设备。追求方便的设备是指在生活和工作中为人们提供方便以及缩短信息传递时间的设备,如电梯、通信设备等。

(3) 增强安全性的设备。增强安全性的设备主要是指保护人身与财产安全以及提高设备与系统本身可靠性的设备,如报警、防火、防盗和保安设备等。

(4) 提高控制性及经济性的设备。提高控制性及经济性的设备主要是指延长建筑物使用寿命、增强控制性能的设备,以及降低建筑物维修、管理等费用的管理性能的设备,如自动控制设备和电脑管理等。

2) 按建筑电气设备的专业属性划分

(1) 供配电设备。如变电系统的变压器、高压配电系统的开关柜、低压配电系统的配电屏与配电箱、二次回路设备、发电设备等。

(2) 照明设备。如各种电、光源及灯具。

(3) 动力设备。各种需要依靠电动机拖动的机械设备,如水泵、风机、电梯等。

(4) 弱电设备。如电话、通信设备、电视及 CATV、音响、计算机与网络、报警设备等。

(5) 空调与通风设备。如制冷机泵、防排烟设备、温湿度自动控制装置等。

(6) 洗衣设备。如湿洗及脱水机、干洗机等。

(7) 厨房设备。如冷冻冷藏柜、加热器、自动洗刷机、消毒机、排油烟机等。

(8) 运输设备。如电梯、运输机、文件及票单自动传输设备等。

2. 建筑电气系统的分类

建筑电气系统一般由用电设备、供配电电路、控制和保护装置三大基本部分组成,根据这三大基本部分的性质不同,可以构成多种类型的建筑电气系统。因此,详尽地对建筑电气系统进行分类是非常困难的。但从电能的供入、分配、输送和消耗使用的角度来看,全部建筑电气系统可分为供配电系统和用电系统两大类。而根据用电设备的特点和系统中所传递能量的类型,又可将用电系统分为建筑电气照明系统、建筑动力系统和建筑弱电系统三种。

1) 建筑的供配电系统

供配电系统是接受发电厂电源输入的电能,并进行检测、计算、变压等,然后向用户和用电设备分配电能的系统。供配电系统一般包括:

(1) 一次接线。直接参与电能的输送与分配,由母线、开关、配电电路、变压器等组成的电路即为供配电系统的一次接线,也称主接线,它表示电能的输送路径。一次接线上的设备称为一次设备。

(2) 二次接线。为了保证供配电系统的安全、经济运行以及操作管理上的方便,常在配电系统中装设各种辅助电气设备(二次设备),如控制、信号、测量仪表、继电保护装置、自动装置等,从而对一次设备进行监视、测量、保护和控制。通常把完成上述功能的二次设备之间互相连接的线路称为二次接线,也称二次回路。

供配电系统作为用电设备提供电能的路径,其质量的好坏将会直接影响到整个建筑电气系统的性能和安全,因此对供配电系统的设计应给予高度的重视。

2) 建筑的用电系统

(1) 建筑电气照明系统。建筑电气照明系统是用电能转换为光能的光光源进行采光,以保证人们在建筑物内外正常从事生产和生活活动,以及满足其他特殊需要的照明设施,一般由电气系统和照明系统组成。

① 电气系统。电气系统是指电能的生产、输送、分配、控制和消耗使用的系统,主要由电源(市供交流电源、自备发电机或蓄电池组)、导线、控制和保护设备及用电设备(各种照明灯具等)组成。

② 照明系统。照明系统是指光能的产生、传播、分配(反射、折射和透射)和消耗吸收的系统,主要由光源、控照器、室内空间、建筑内表面、建筑形状和工作面等组成。

③ 电气与照明系统之间的关系。电气与照明两套系统,既相互独立,又紧密联系。因此,在实际的电气照明设计中,一般程序是根据建筑设计的要求进行照明设计,再根据照明设计的成果进行电气设计,最后完成统一的电气照明设计。

(2) 建筑动力系统。将电能转换为机械能的电动机,拖动机械设备运转,为整个建筑提供舒适、方便的生产与生活条件而设置的各种动力系统,统称为建筑动力系统,如供暖、通风、供水、排水、热水供应、运输系统等。维持这些系统工作的机械设备,如鼓风机、引风机、除渣机、上煤机、给水泵、排水泵、电梯等,全都是靠电动机拖动的。因此,建筑动力系统实际上就是向电动机配电,以及对电动机进行控制的系统。

① 电动机的分类。电动机的分类如图 1.1 所示。

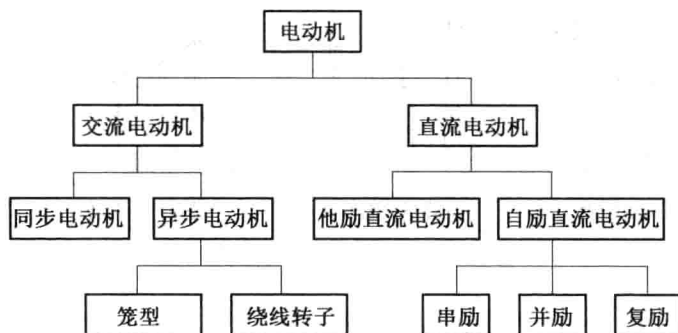


图 1.1 电动机的分类

② 电动机在建筑中的应用。

a. 同步电动机构造复杂、价格昂贵,一般在建筑动力系统中很少采用。

b. 直流电动机构造比较复杂,价格也比较贵,而且需要直流电源,因此除了在对调速性能要求较高的客运电梯上应用以外,其他场所则很少应用。

c. 异步电动机构造简单,价格便宜,启动方便,在建筑动力系统中应用广泛,其中用得最多的是笼型。当启动转矩较大,或负载功率较大,或需要适当调速的场合时,则宜采用绕线转子异步电动机。

③ 电动机的控制。电动机的控制通常可分为人工控制和自动控制两种。

a. 人工控制。当电机功率较小,且允许现场直接控制时,靠人直接操纵执行设备(如刀开关等)为电动机配电的方式称为刀开关控制,也称人工控制。

b. 自动控制。当电动机功率较大,靠人直接控制不太安全时,或当电动机距控制地点

太远而无法就地直接控制以及需要远距离集中控制时,则要采用自动控制方式。自动控制方式中最常采用的是继电器接触器控制方式和可编程逻辑控制器(PLC)控制方式。有时为了节能,也会采取变频控制方式。

(3)建筑弱电系统。电能作为弱电信号的电子设备,具有信号准确接收、传输和显示,并以此满足人们获取各种信息的需要和保持相互联系的各种系统,它们统称为建筑弱电系统,如通信系统、广播系统、共用电视天线系统、火灾报警系统、智能保安系统、综合布线系统、办公自动化等。

随着现代建筑与建筑弱电系统的进一步融合,智能建筑也随之出现。因此,建筑物智能化的高低取决于其是否具有完备的建筑弱电系统。

1.3 电力系统的基本概念及组成

电力是由完成电能的生产、输送、分配以及消费任务的电气设备所组成的统一整体。现代工农业生产及整个社会生活中所应用的电力,绝大部分均是由发电厂发送出来的。电力从生产到供给用户应用,通常需要经过发电、输电、变电、配电、用电五个环节。电力从生产到应用的全过程,客观上就形成了电力系统。因此,电力系统是由发电厂、电力网及电力用户所组成的统一整体,通常简称为系统,其示意如图 1.2 所示。

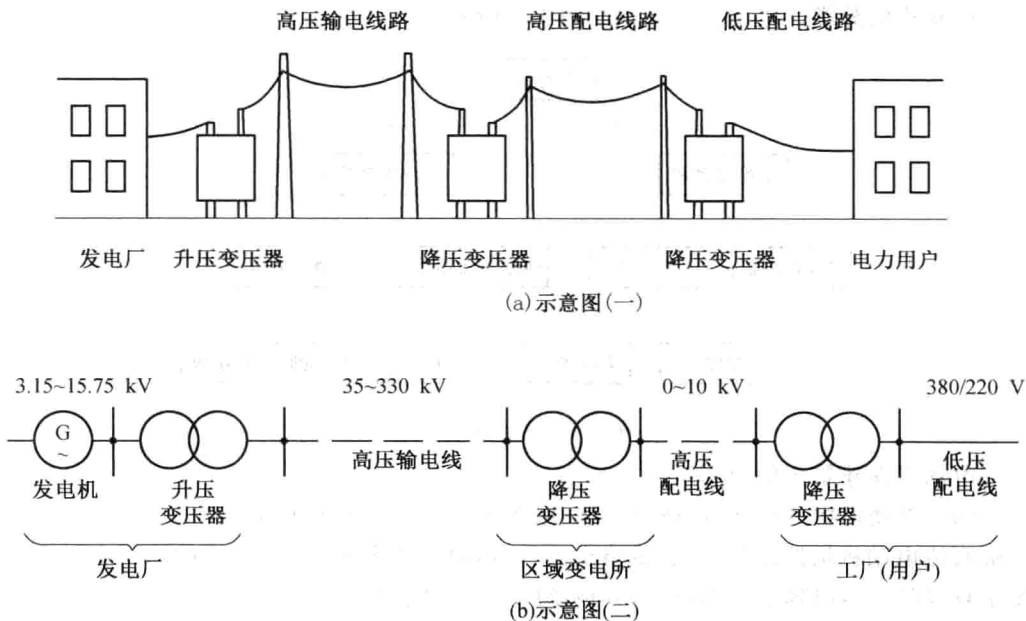


图 1.2 电力系统示意图

电力系统的功能是将自然界的一次能源通过发电动力装置(主要包括锅炉、汽轮机、发电机及电厂辅助生产系统等)转化为电能,再经输、变电系统及配电系统将电能供应到各负荷中心,通过各种设备再转换成动力、热、光等不同形式的能量,为地区经济和人民生活提供服务。

由于电源点与负荷中心多处于不同地区,且无法大量储存,所以其生产、输送、分配和消费均需在同一时间内完成,并在同一地域内有机地组合成一个整体,电能生产必须时刻与消

费保持平衡。

电力系统的出现,使高效、无污染、使用方便、易于调控的电能不能得到了广泛的应用,并且推动了社会生产各个领域的发展,开创了电力时代。电力系统的规模和技术水准已成为一个国家经济发展水平的标志之一。

1. 发电厂

发电厂是生产电能的场所,在这里可以把自然界中的一次能源转换为用户能够直接使用的二次能源,即电能。

根据发电厂所取用一次能源种类的不同,主要有火力发电、水力发电、核能发电等发电形式,此外还有潮汐发电、地热发电、太阳能发电、风力发电等。

2. 电力网

电力系统是由电源、电力网以及电力用户所组成的整体。其中,电力网由升压和降压变电所及与之相对应的电力线路组成,其主要作用是变换电压、传送电能(负责将发电厂生产的电能经过输电线路,输送到用户或用电设备)。

由输电、变电、配电设备及相应的辅助系统所组成的联系发电与用电的统一整体称为电力网,如图 1.3 所示。

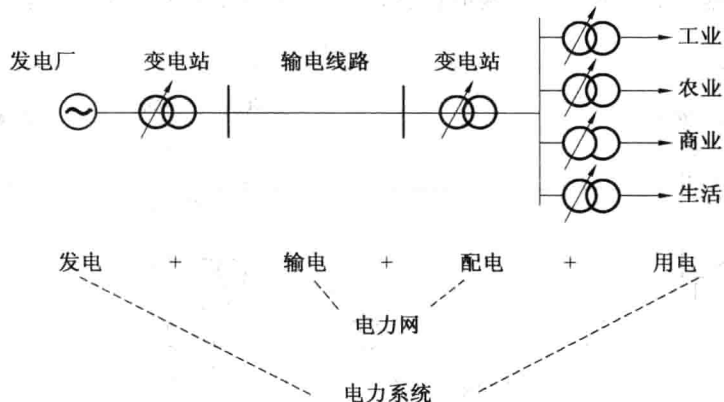


图 1.3 电力系统与电力网的构成

(1) 变电站(所)。

电力系统中,发电厂将天然的一次能源转换为电能,并向远方的电力用户送电,为了减小输电线路上的电能损耗及线路阻抗压降,需要将电压升高;为了保证电力用户的安全,又要将电压降低,并分配给各个用户。因此,电力系统中需要有能升高和降低电压并能分配电能的变电站(所)。

变电站(所)是电力系统中变换电压、接受和分配电能的场所,主要包括电力变压器、母线、开关及控制保护设备等,其作用是通过控制电力的流向和调整电压,将各级电压的电网联系起来。

变电站(所)由电力变压器、配电装置、二次系统及必要的附属设备组成。其中,变压器是变电所的中心设备,主要利用电磁感应原理;配电装置是变电所中所有开关电器、载流导体、辅助设备连接在一起的装置,主要由母线、高压断路器开关、电抗器线圈、互感器、电力电容器、避雷器、高压熔断器、二次设备及必要的其他辅助设备所组成,其作用是接受和分配电

能;二次设备是指一次系统状态测量、控制、监察和保护的设备装置,由这些设备构成的回路称为二次回路,总称二次系统。

根据变压器的功能,可将变电所划分为升压变电所和降压变电所两种,如图 1.4 所示。前者一般位于发电厂内部或电力网的枢纽部分,用于将电压升高到可以远距离输送的高电压;后者一般位于电网的末端,用于将电能降低到用户所需要的配电电压。

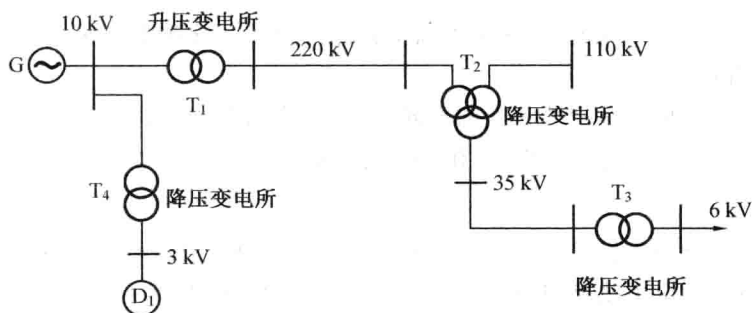


图 1.4 升压变电所和降压变电所

根据变电站(所)在系统中所处的地位可分为枢纽变电所、中间变电所和终端变电所,如图 1.5 所示;根据变电所所在电力网的位置,可分为区域变电所和地方变电所。

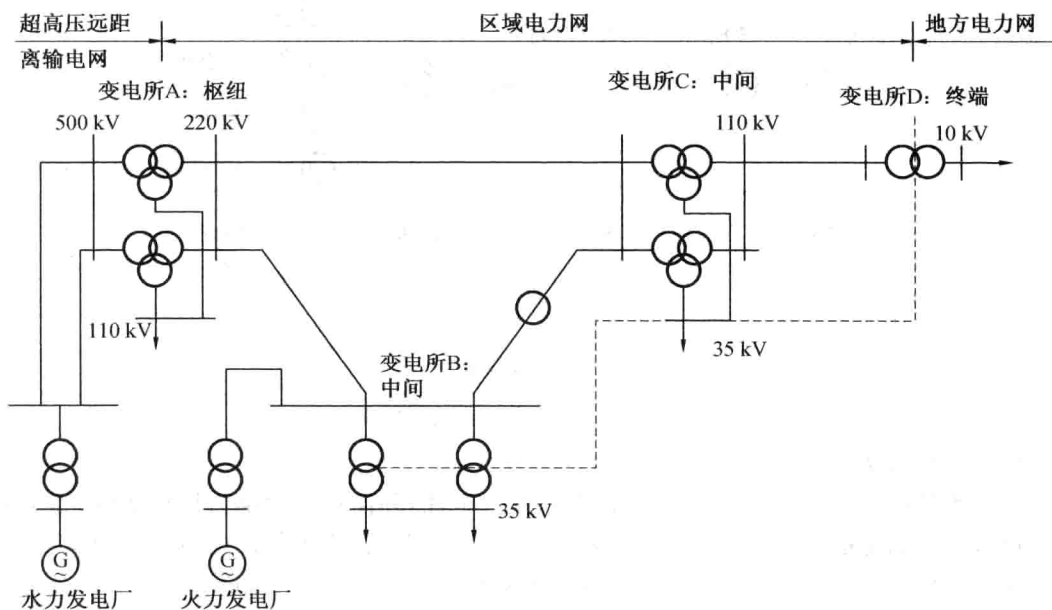


图 1.5 枢纽变电所、中间变电所和终端变电所

配电所是接受电能、再分配电能的场所,主要由母线、开关及控制保护设备组成,不包括电力变压器。

(2) 输电网。

输电网可以把相距遥远的(可达数千千米)发电厂与负荷中心联系起来,使电能的开发和利用超越地域的限制。与其他能源的传输(如输煤、输油等)相比,电力输送具有损耗小、效益高、灵活方便、易于调控、环境污染少等特点;此外,输电还可以将不同地点的发电厂连

接起来,实行峰谷调节。输电是电能利用优越性的重要体现,在现代化社会中,它是重要的能源动脉。

输电线路按结构形式的不同,可分为架空输电线路和地下输电线路两种。前者架设在地面上,由线路杆塔、导线、绝缘子等构成;后者主要用电缆敷设在地下(或水下)。输电方式按所送电流性质的不同,可分为直流输电和交流输电两种。19世纪80年代首先成功地实现了直流输电,后因受电压不易提高的限制(输电容量大致与输电电压的平方成比例)在19世纪末被交流输电所取代。交流输电的成功,迎来了20世纪的电气化时代。20世纪60年代以来,由于电力电子技术的不断发展,直流输电又有了新的发展,它能够与交流输电相互配合,形成交直流混合的电力系统。

输电电压的高低是输电技术发展水平的主要标志。至20世纪90年代,世界各国常用的输电电压包括220 kV及以下的高压输电、330~765 kV的超高压输电、1 000 kV及以上的特高压输电。

输电线路的功能是将发电厂发出的电力输送到消费电能的地区,或进行相邻电网间的电力互送,使之形成互联电网或统一电网,保持发电与用电或两电网间的供需平衡。

输电网由输电设备和变电设备构成。前者主要包括输电线、杆塔、绝缘子串、架空线路等;后者主要集中在变电站内,包括变压器、电抗器(用于330 kV以上)、电容器、断路器、接地开关、隔离开关、避雷器、电压互感器、电流互感器、母线等一次设备,以及确保安全、可靠输电的继电保护、监视、控制和电力通信系统等二次设备。

(3)配电网。

配电网的作用是将电力分配到配电变电站后,再进一步分配和供给工业、农业、商业、居民及特殊需要的用电部门。这其中也有一部分电力不经配电变电站,而是直接分配到大用户,再由大用户的配电装置进行配电。

配电网应按地区进行划分,一个配电网担任分配一个地区的电力及向该地区供电的任务。配电网之间通过输电网发生联系。

配电网一般分为高压、中压、低压配电网三种。35~110 kV为高压配电网;10 kV为中压配电网;220/380 V为低压配电网。

3. 电力用户(用电设备)

在电力系统中,所有的用电设备和用电单位统称为电力用户。电力用户是消耗电能的场所,主要将电能通过用电设备转换为能够满足用户需求的其它形式的能量,如电动机将电能转换为机械能、电热设备将电能转换为热能、照明设备将电能转换为光能等。

(1)动力负荷。

建筑内常用的动力设备主要是可以将电能转换为机械能的电动机、拖动水泵、风机等,一般包括给排水动力负荷、冷冻机组动力负荷、电梯负荷、通风机负荷、弱电负荷、电炊负荷、插座设备负荷等。建筑动力负荷实际上就是向电动机配电,以及对电动机进行控制的系统。

(2)照明负荷。

照明负荷主要用于各种电光源,通常包括一般照明和应急照明两种。

①白炽灯。白炽灯是利用电流的热效应制成的,多用于建筑物室内的照明、施工工地的临时照明。聚光灯的电光电压,其额定电压为220 V和36 V安全电压,可用作地下室施工照明或手持临时照明光源。

②卤钨灯。卤钨灯是白炽光源的一种,因灯内充入卤化物而得名。一般包括碘钨灯和溴钨灯两种,被广泛应用于宾馆、商场、柜台、舞厅及家庭作为装饰照明,在交通运输、电视及仪器方面也可大量使用。

③荧光灯。荧光灯比白炽灯节电 70%,适用于办公室、宿舍、图书馆、教室、隧道、地铁、商场等对显色性要求较高的场所及顶棚高度在 5 m 以下的车间。紧凑型荧光灯的发光效率比普通荧光灯高 5%,细管型荧光灯比普通荧光灯节电 10%。因此,紧凑型和细管型荧光灯是当今“绿色照明工程”实施方案中推出的两种高效节能电光源。

④高强度气体放电灯(HID 灯)。高强度气体放电灯(HID 灯)主要包括汞灯、金属卤素灯、钠灯等。在这些灯的弧形管里输入气体,因此每一种灯都具有不同的颜色及特点,从而提高了灯的整体发光效率。

电力用户根据供电电压的不同,可分为高压用户和低压用户两种,高压用户的额定电压在 1 kV 以上,低压用户的额定电压一般为 220/380 V。

建筑供配电系统由高压配电线路、变电站(配电站)、低压配电线路和用电设备组成;或由它们其中的几部分组成。

1.4 单相交流电路

正弦电压与正弦电流在电工技术中应用十分广泛,在电力工程中几乎所有的电压电流均随时间按正弦规律变化。通信工程上使用的非正弦周期函数,均可分解为一个频率成整数倍的正弦函数的无穷级数。因此,了解正弦交流电路的分析方法具有非常重要的意义。

1. 正弦交流电的概念

(1) 正弦电流。

随时间按正弦规律变化的电流称为正弦电流,同样也有正弦电压、正弦电动势、正弦磁通等。这些按正弦规律变化的物理量统称为正弦量。

设图 1.6 中通过元件的电流 i 为正弦电流,其参考方向如图所示。正弦电流的一般表达式为

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.1)$$

$i(t)$ 表示电流 i 是时间 t 的正弦函数,不同的时间 t 有不同的量值,称为 i 的瞬时值,以小写字母表示。电流 i 的时间函数曲线如图 1.7 所示,称为波形图。电流值有正有负,当电流

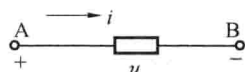


图 1.6 电路元件

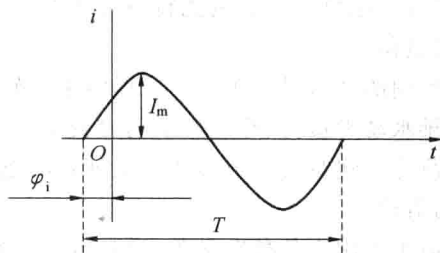


图 1.7 正弦电流的波形图

值为正时,表示电流的实际方向与参考方向一致;当电流值为负时,表示电流的实际方向与参考方向相反。但应注意,符号的正负只有在规定了参考方向时才具有意义,这与直流电路是相同的。

(2) 相位差。

在正弦交流电路分析中,经常要比较两个同频率正弦量之间的相位。设任意两个同频率的正弦电流为

$$i_1(t) = I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$i_2(t) = I_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

其相位差为

$$\varphi_{12} = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (1.2)$$

相位差等于它们初相位之差,是与时间无关的常量,习惯取 $|\varphi_{12}| \leq 180^\circ$ 。若两个同频率正弦电流的相位差为零,即 $\varphi_{12} = 0$,则称这两个正弦量为同相位,如图 1.8 中的 i_1 和 i_3 ;否则就称为不同相位,如 i_1 和 i_2 。若 $\varphi_1 - \varphi_2 > 0$,则称 i_1 超前 i_2 ,即 i_1 比 i_2 先到达正峰值,相反也可以说成 i_2 滞后 i_1 。超前或滞后有时也需指明超前或滞后多少角度或时间,以角度表示时为 $\varphi_1 - \varphi_2$,若以时间表示,则为 $(\varphi_1 - \varphi_2)/\omega$ 。若两个正弦电流的相位差为 $\varphi_{12} = \pi$,则称这两个正弦量为反相;若 $\varphi_{12} = \frac{\pi}{2}$,则称这两个正弦量为正交。

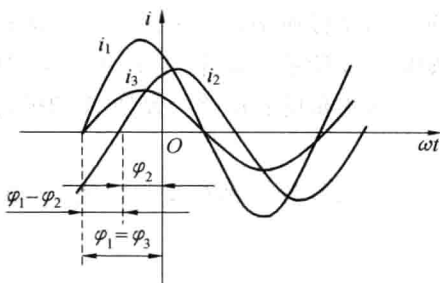


图 1.8 正弦量的相位关系

(3) 有效值。

正弦电流是随着时间而变化的,要完整地描述它们需要通过其表达式或波形图来进行。在电工技术中,往往并不要求知道每一瞬时的值,这时可采用有效值来表征大小。其定义如下:周期电流 i 流过电阻 R 在一个周期所产生的能量与直流电流 I 流过电阻 R 在时间 T 内所产生的能量相等,则此直流电流的量值为此周期性电流的有效值。其表达式为

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1.3)$$

从式(1.3)来看,周期电流的有效值是瞬时值的平方在一个周期内的平均值再开平方,所以有效值又称为方均根值。对于正弦电流则有

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2(\omega t + \varphi) dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 I_m \quad (1.4)$$

同理可得

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

在工程上凡谈到周期性电流或电压、电动势等量值时,若无特殊说明则总是指有效值,一般电气设备铭牌上所标明的额定电压和电流值也是指有效值,如灯泡上注明电压 220 V 字样是指额定电压的有效值为 220 V。但是电气设备的绝缘水平(耐压),则是按最大值来考虑的。大多数交流电压表和电流表均测量其有效值。

2. 正弦交流电路的计算方法

一个正弦量用三角函数式或正弦曲线来表示时其运算是十分烦琐的,有必要研究如何简化。由于在正弦交流电路中,所有的电压、电流均为同频率的正弦量,所以要确定这些正弦量,只需确定其有效值和初相即可。相量法就是用复数来表示正弦量,使正弦交流电路的稳态分析与计算转化为复数运算的一种方法。

(1) 复数及其表示形式。

设 A 是一个复数,并设 a 和 b 分别为其实部和虚部,则有

$$A = a + jb \quad (j^2 = -1) \quad (1.5)$$

电工中一般选用 j 来表示虚单位以避免与电流 i 混淆。式(1.5)为复数的代数形式。

复数可用复平面上所对应的点来表示。作一直角坐标系,以横轴为实轴,纵轴为虚轴,此直角坐标所确定的平面即称为复平面。复数 A 可用复平面上坐标为 (a, b) 的点来表示,如图 1.9 所示。此外,复数 A 还可用原点指向点 (a, b) 的矢量来表示,如图 1.10 所示。

该矢量的长度称为复数 A 的模,记作 $|A|$,其表达式为

$$|A| = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1.6)$$

表示复数 A 的矢量与实轴正向间的夹角 φ 称为 A 的辐角,记作

$$\varphi = \arctan \frac{b}{a} \quad (1.7)$$

从图 1.10 中可得到如下关系:

$$\left. \begin{aligned} a &= |A| \cos \varphi \\ b &= |A| \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

复数

$$A = a + jb = |A| (\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad (1.9)$$

称为复数的三角形式。

再利用欧拉公式

$$e^{j\varphi} = \cos \varphi + j \sin \varphi$$

又得

$$A = |A| e^{j\varphi} \quad (1.10)$$

称为复数的指数形式。在工程上简写为 $A = |A| / \varphi$ 。

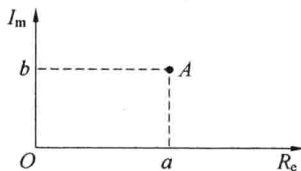


图 1.9 复数在复平面上的表示

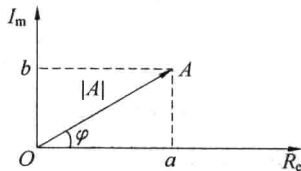


图 1.10 复数的矢量表示

(2) 正弦量的相量表示。

正弦量也可用复数来表示。对应于正弦电压

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

可以写作

$$\dot{U} = U e^{j\varphi} \quad (1.11)$$

简写为

$$\dot{U} = U / \varphi \quad (1.12)$$

$\dot{U}$ 称为正弦量的相量,它包含了正弦量的有效值 U 和初相角 φ ,复数上面的小圆点表示相量。