

建筑电气工程

胡子刚 耿化民 编著

四川科学技术出版社

1990年·成都

前 言

随着科学技术的不断发展和人们生活水平的日益提高，建筑中的建筑电气工程已经越来越受到人们的重视。

现代建筑给人的深刻印象不仅仅是具有美观适用的艺术造型，建筑电气是否完善，也是人们特别关心的问题。宏伟的南京长江大桥装上万盏彩灯，每当夜幕来临，万灯奇艳，犹如七彩长虹坠落人间；灯火通明的天安门城楼，宫灯高挂，使天安门显得更加雄伟壮丽，给建筑物增添了意想不到的效果。

目前，建筑业正向着现代化的方向发展，品种繁多的现代化办公设备和家用电器进入建筑物，使得对建筑电气工程技术的要求越来越高，建筑电气工程已成为建筑工程中不可缺少的重要组成部分。建筑电气工程作为一门特殊的学科也应受到足够的重视，本书就是为此目的而编写的。

建筑电气工程是一门研究建筑电气设备的原理、结构及在建筑施工过程中在建筑物内安装电气设备的方法和安装后如何正确使用的学科。它包括照明技术、供电设计、配电线路、共用天线电视系统的安装、安全用电及防雷等内容。这些内容在一定程度上相互独立，但彼此又相互联系，其共同点之一就是它们都和建筑工程有密切联系。本书特别注意阐述建筑电气本身的特点及它们与建筑工程的密切联系。

本书内容简明扼要，通俗易懂，特别注重阐述基本原理和施工应用技术，尽量避免繁琐的或高深的数学推导，做到循序渐进、深入浅出，适合从事建筑电气工程施工的技术人员及工人阅读，亦可作为建筑院校师生的参考书。

笔者才疏学浅，编写时间又很仓促，难免有不足和错漏之处，敬请广大读者提出意见，以供改进。

编著者

1989年12月。

目 录

第一章 建筑电工基础	1
第一节 电路的基本概念.....	1
第二节 电路的基本定律.....	3
第三节 交流电的概念.....	5
第四节 三相电路.....	8
第二章 电力系统及供电设计的基本概念	12
第一节 电能生产的特点及其基本要求.....	12
第二节 电力网与电力系统的概念.....	14
第三节 供电设计知识.....	19
第三章 电力负荷的分级与计算	22
第一节 电力负荷的分级及供电要求.....	22
第二节 用电设备的特征及设备容量的确定.....	24
第三节 计算负荷的确定.....	27
第四节 供电系统总计算负荷的确定.....	31
第五节 尖峰电流.....	34
第四章 输配电线路	36
第一节 输配电线路基本知识.....	36

第二节	电缆线路的结构与敷设	40
第三节	架空线路的结构与敷设	45
第四节	导线和电缆的选择	52
第五节	室内配线工程	56
第六节	常见内线工程施工	58
第七节	内线工程的验收及试验	65
第五章	变配电所	68
第一节	变压器的概念	68
第二节	变配电所的类型及位置的确定	69
第三节	变压器的选择	70
第四节	变配电所的主接线及二次接线	72
第五节	变配电所的结构与布置	76
第六章	建筑电气照明知识	78
第一节	照明技术的基本概念	78
第二节	照明设计的基本概念	83
第三节	照度计算	92
第四节	照明的电气设计	100
第七章	短路电流计算与电气设备的选择	105
第一节	短路电流的概念	105
第二节	短路电流的计算	109
第三节	短路电流的效应	118
第四节	电弧的基本知识及电气设备的选择	124
第五节	继电保护的基本知识	127

第八章 共用天线电视系统简介	134
第一节 概述	134
第二节 共用天线电视系统的组成	135
第三节 共用天线电视系统组成中的设备	140
第四节 共用天线电视系统的安装	143
第九章 建筑电气安全常识	146
第一节 安全用电	146
第二节 接地技术	150
第三节 雷电知识	158
第四节 防雷原理及防雷装置	161
第五节 建筑物的防雷措施	163
附录	167

第一章 建筑电工基础

电力在工农业生产中起着重要的作用，它具有取用方便，安全可靠，传输距离远、价格低廉、不污染环境，便于进行自动化控制、调节和测量等许多优点。本章介绍建筑电气工程中必须具备的电工基础知识。

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成

电路是由电源、负载和联接导线组成。如图 1—1 所示，用导线将一个电珠与一节电池的正、负极分别联接起来，这时就构成了一个最简单的电路。其中电池是电能的供出者，称为电源；小电珠是消耗电能的，称为负载；电能通过联接导线，从电源送往负载。

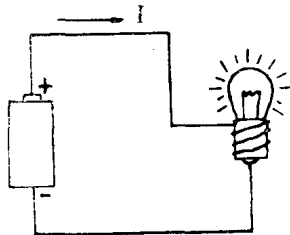


图 1—1 最简单的电路

二、电路中的基本物理量

电路的作用是进行能量的转换、传输、分配和控制，为便于分析计算，必须引入一些物理量，以表示电路的状态及各部分之间的关系。下面就分别介绍一些最基本的物理量。

1. 电流强度（简称电流） 当电荷在导体中作有规则的运动时，就形成了电流，电流强度是衡量电流大小的物理量。电流强度是指单位时间内通过导体截面的电荷量。电荷量用库仑表示，时间用秒表示，则电流强度的单位为安培。电流用字母 I 表示。

2. 电位和电压 电位亦称电势，是表示电场中某一点性质的物理量，是相对于某一确定的参考点而言的。电位在数值上等于电场力将单位正电荷自该点沿任意路径移至参考点所做的功。实际上就是该点与参考点之间的电压。电路中形成电流的条件之一是电路中存在着不同的电位。

电压就是两个不同电位的差，单位是伏特，简称伏，用字母 V 表示。

3. 电动势 为维持导体中的电流，必须有一种外力不断地把正电荷从低电位移到高电位处，在电源内部就存在着这种外力。在电源的内部同样存在电场，但是当外力超过电场力时，正电荷就源源不断地从低电位流向高电位，在此过程中，外力对正电荷做了功。电源的这种将电荷推动的能力，就称作电动势，其数值等于外力将正电荷从低电位移至高电位所做的功。电动势用字母 E 表示，单位亦为伏特，其方向由电源的负极指向正极。

4. 电功率 电功率就是电能转变为其他形式能量的变

化速率。电功率的大小等于电压与电流的乘积。用公式表示如下：

$$P=VI$$

如电压用伏表示，电流用安表示，则电功率的单位为瓦特，简称瓦。

第二节 电路的基本定律

电路的基本定律阐明了电路中电压、电流及其他物理量之间的关系，是研究电路的理论基础，这些电路定律有欧姆定律及克希霍夫定律。

一、欧姆定律

如图 1—2 所示的是一段不含电源在内的电路，实践证明，一段无源电路两端所加的电压，与其通过的电流成正比，即

$$V=IR$$

式中的 R 是一个表征该段电路性质的物理量，它与电压、电流没有关系。比例系数 R 称作电阻，其单位是欧姆。对于长金属导线，其电阻值为

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

其中 l 是导线长度， S 是导线截面积， ρ 是导线导体材料的电阻率。

当一段电路中含有电源（即含有电动势的电路）时，确



图 1—2 不含电源的一段电路

定这段电路的电压、电流及电动势间关系的定律，称作有源电路的欧姆定律。

如图 1—3 所示的一段有源电路，其电流 I 和电压 V 的方向如图所示，电动势 E 的方向亦如图所示，根据推导式有关系

$$I = \frac{E - V}{R}$$

综合不同情况的电路，有源电路的欧姆定律的一般公式为：

$$I = \frac{(\pm E) + (\pm V)}{R}$$

若欧姆定律应用于回路时，则称为回路欧姆定律，回路欧姆定律的一般形式为

$$I = \frac{\sum E}{\sum R}$$

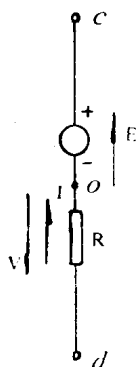


图 1—3 含电源的一段电路

二、克希霍夫定律

1. 克希霍夫第一定律 克希霍夫第一定律亦称节点电流定律，它是阐述各支路电流关系的。几条支路的汇集点称作节点，节点电流定律指出，流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和。

2. 克希霍夫第二定律 克希霍夫第二定律亦称回路电压定律，它是阐述各回路电压关系的。在电路中，任何一条闭合的路径称作回路。回路电压定律指出：沿一回路升高的电位等于沿此回路降低的电位。

有了电路的基本定律，就可计算结构任意复杂的电路。

第三节 交流电的概念

前面所说的直流电的大小及方向是不随时间变化的。与直流电不同，当电压或电流的大小及方向均随时间作有规律的变化时称为交流电。交流电的变化规律种类很多，当交流电按正弦规律变化时，称为正弦交流电。在工业与民用供电系统中，所用的交流电是正弦交流电，简称为交流电。

交流电的数学表达式为

$$V = V_m \sin(\omega t + \varphi)$$

或

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

以电压为例说明式中各值的意义。式中的 V 表示某时刻电压的瞬时值， V_m 表示电压所达到的最大值， ω 是角频率，它与发电机转子的转速有关， φ 是初相位，它与转子转动的初始位置有关。其图形见图1—4。该图形为一正弦曲线，其横座标是按角度标出的，纵座标是电压的瞬时值。

交流电从零开始增加到最大值后又减小到零，接着又从零达到负的最大值又回到零。

这样交流电整整变化了一周，以后则按相同的变化规律循环地变化下去。交流电变化一周所用的时间称为周期，用字母 T 表示，单位为秒。而交流电在单位时间内重复变化的次数称作频率，用字母 f 表示，单

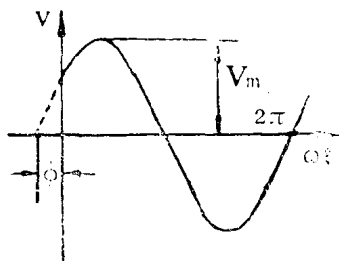


图1—4 正弦交流电波形

位为周/秒，或叫赫，频率越高，交流电变化越快。工业与民用供电的交流电的频率为50赫，这一频率亦称作工频。

周期、频率和角频率之间的关系为：

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2\pi f$$

当电流流过电阻时，电阻要消耗电能，其消耗电能的速度由电功率的求法可知为：

$$P = I^2 R$$

在交流电中，其最大值并不能代表一个周期内电流的大小，所以通常用上述电阻的热效应来衡量交流电的大小。

在相同的时间内，在电阻为R的两个电阻中，分别通以直流电和交流电，如果它们产生的热量相同，就认为交流电和直流电的数值相等，就称此直流电的大小为交流电的有效值，交流电的有效值与最大值的关系为

$$V_m = \sqrt{2} V$$

式中 V_m 为最大值， V 是有效值。

所有交流电设备铭牌上标注的额定电压、额定电流均指有效值。

为了比较具有同频率的交流电的相位关系，必须用到相位差的概念。相位差就是两个同频率正弦交流电的相位之差，实际上就是交流电的初相位之差。相位差反映了两个交流电之间在时间上超前或滞后的关系。在交流电路中，如果接上电感元件或电容元件时，则电路中的电压与电流的相位就会出现超前或滞后的情况。

电感对电流有阻碍作用，这种作用用感抗来表示，即

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

式中：L为电感，单位为亨利；感抗 X_L 的单位为欧姆。

电感元件对交流电的阻碍作用是随着频率变化的，它具有“隔高频、通低频”的特性。电感元件的电压与电流之间的关系为：

$$V/I = \omega L = 2\pi fL$$

电容对电流也有阻碍作用，此作用可用容抗来表示，即

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

式中，C为电容，单位为法拉， X_c 是感抗，其单位为欧姆。

电容元件对电流的作用亦随频率变化，频率越高，容抗越小，阻碍作用亦小。故它有“隔直流，通交流”的性质，电容元件的电压与电容元件的电流有如下关系：

$$V/I = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

感抗与容抗通常称为电抗。当电路中的电压与电流不具有相同的初相位时，即存在相位差时，电路中的一部分电能用来克制电抗，另一部分用来克制电阻。克制电抗的这部分电能仍然被送回到电源中去，没有被消耗掉，这部分电能称作无功功率，用字母Q表示；而克制电阻的这部分电能被消耗掉变成了热能，这部分被实际消耗的电能称作有功功率，用字母P表示；而电路的总电能应为这两部分电能的和，称作视在功率，用字母S表示。三者之间有关系：

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

交流电路中电压与电流相位差的余弦，表示有功功率和视在功率的比值，即 $\cos\varphi = P/S$ ，称为功率因素。功率因素的大小，表示电路中电能利用率的高低。功率因素越大，有

功率越大，电能利用率越高。因为供电设备的额定功率是以视在功率衡量的，因此，为了充分发挥供电设备的功能，应该利用各种各样的方法来提高整个线路的功率因素。国家有关部门对各种用电单位都下了相应的功率因素指标，在进行工业及民用建筑设施及其它电力设备的设计时，都必须达到规定的功率因素指标。

第四节 三相电路

目前，交流电在动力方面的应用，几乎都是属于三相制的，这是由于三相制在发电、输电和用电方面有许多优点。同样尺寸的三相发电机比单相交流发电机输出的功率要大；在同样的条件下输送同样大的功率，三相输电线要比单相输电线节省材料；三相电动机结构简单、坚固耐用，维护和使用比较方便，运转时比单相交流电动机震动小，所以三相交流电引起了人们的重视，获得了广泛应用。

三相电压和三相电流统称为三相交流电。能提供三相交流电的设备称为三相电源。例如三相发电机、三相变压器的副边绕组，都是三相电源。

一、三相电源的星形连接

不论是三相发电机或三相变压器的副边，都具有三个线圈绕组，我们可以用星形或三角形的方式将它们连接起来组成三相电源。将每相绕组的一端连接在一起，而剩下的三个

绕组的另一端接到负载，这种接法称为星形接法，用符号“Y”表示，如图1—5所示。三相绕组作星形连接时，三个绕组连在一起的点叫三相电源的中点，即图中O点。从中点接出的导线称作中线，接地的中线称作零线。三个绕组的另一端接出的三根导线分别称作A线、B线和C线，总称为端线，又称为火线。因总共接出了四根导线，所以这个电源又被称作三相四线制电源。

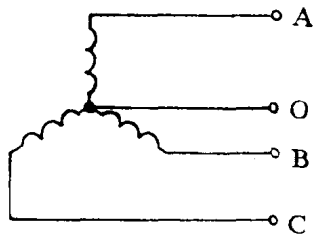


图1—5 电源的星形接法

三相电源中流过每一相线圈的电流称为相电流，端线中的电流称为线电流，星形接法的三相电源，线电流即等于相电流。三相电源每个线圈两端的电压称作相电压。如图中的 V_{AO} 、 V_{BO} 、 V_{CO} 。三相电源中任意两根端线间的电压称为线电压，如图中的 V_{AB} 、 V_{BC} 、 V_{CA} 。线电压和相电压经过数学计算知，它们的关系如下

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{\text{线}} = \sqrt{3} V_{\text{相}}$$

一般在对称三相四线制的电源中，低压标准相电压采用220伏，则线电压为380伏（ $220\sqrt{3} = 380$ ）。

如果星形连接的三相电源其中点不引出导线，即三相电源只有三根端线，这时称为三相三线制。

二、三相电源的三角形连接

如果三相电源作如图1—6所示的三角形连接，这时只能接出三根端线，因此构成的是三相三线制。

与星形连接不同，当三相电源连接成三角形时，由于每

相线圈直接接在两端线之间，故线电压与相电压相等。而在对称情况下用节点电流定律可知，线电流为相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，即

$$I_{\text{线}} = \sqrt{3} I_{\text{相}}$$

三角形连接的三相电源自成一个闭合回路，如果连接正确，即某相的首端与前相的末端相连，那么该回路中的对称三相电压之和等于零。在不接负载或负载对称的情况下，该回路无电流通过。

三、三相负载

三相电路的负载由三部分组成，其中的每一部分叫做一相负载。阻抗值相等的三相负载叫对称三相负载。例如三相变压器的整个原端或三相电动机都是对称三相负载。三相负载也分为星形和三角形两种接法。

星形接法如图 1—7 所示，其中 O 点称为负载的中点。

星形接法的三相负载分别是和端线串联的，所以线电流等于相电流。而线电压为相电压的

$\sqrt{3}$ 倍，即

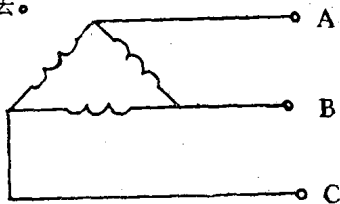


图 1—6 电源的三角形接法

$$V_{\text{线}} = \sqrt{3} V_{\text{相}}$$

三角形接法如图 1—8 所示，三相负载中的每相负载直接接在相应的两端线之间，这时负载的相电压等于线电压。而线电流为相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，即

$$I_{\text{线}} = \sqrt{3} I_{\text{相}}$$