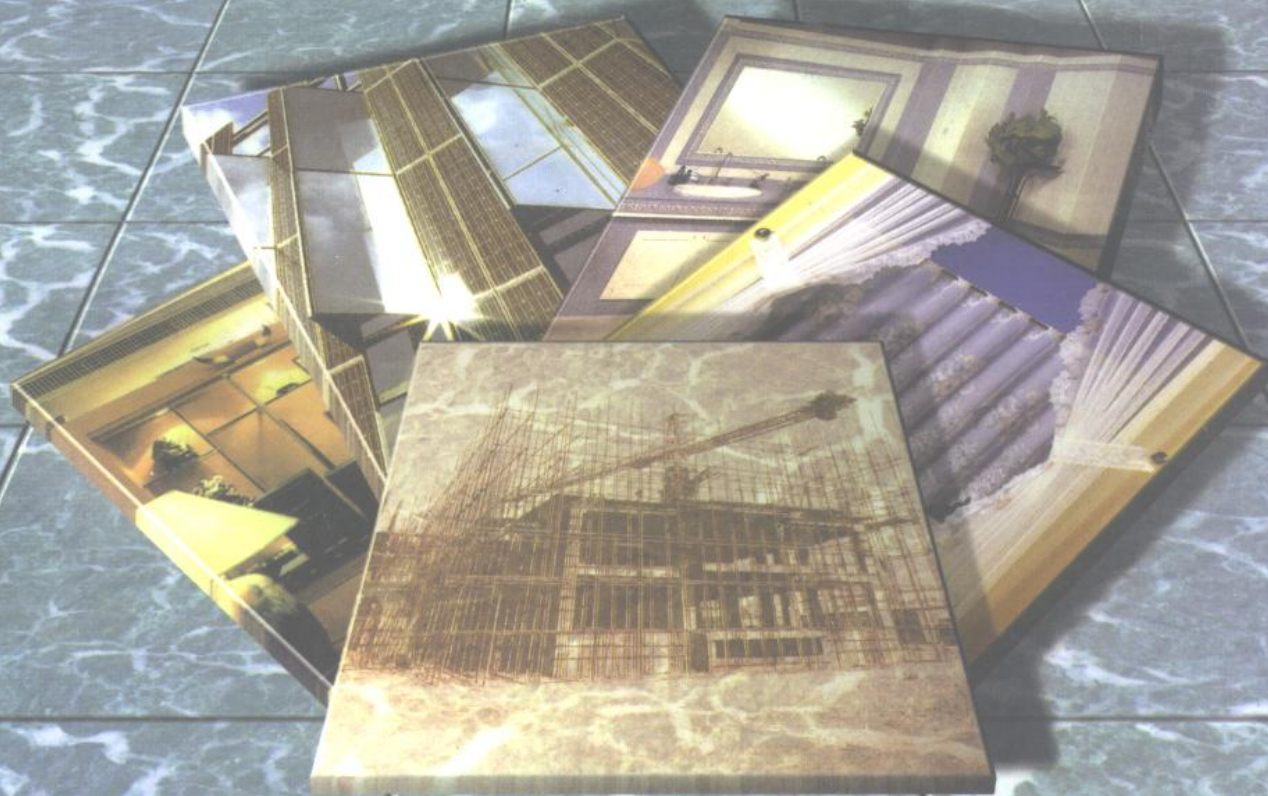


教育部
规划教材

中等职业学校建筑施工专业（含岗位培训、行业中级技术工人等级考核）

建筑电工与电气设备

全国中等职业学校建筑类专业教材编写组 编 于永君 主编



高等教育出版社

教育部规划教材
中等职业学校建筑施工专业
(含岗位培训、行业中级技术工人等级考核)

建筑电工与电气设备

全国中等职业学校建筑类专业教材编写组 编
于永君 主编

高等教育出版社

(京)112 号

内 容 简 介

本书是教育部职业技术教育司组织编写的中等职业学校建筑施工专业系列教材,是教育部规划教材,建设部教育司参加了本套教材的审定工作。全书主要内容有:单相交流电路、三相交流电路、变压器、常用电工仪表、异步电动机及其运行控制、常用建筑机械简介、供电与照明、建筑防雷与安全用电等。本书内容浅显、文字通俗易懂,对涉及到的理论及计算公式以定性叙述物理概念为主,不作过多的数学推导,并注重联系生产实践和应用。每章末附有小结和习题,便于读者自学。书后附有实验指导书,以利学生实践之需。

本书也可以作为职业中专及中级岗位培训的教材,还可以供从事建筑施工、城镇建设工作的技术人员和管理干部学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑电工与电气设备/全国中等职业学校建筑类专业教材
编写组编;于永君主编. —北京:高等教育出版社,1994. 10
(1999 重印)

ISBN 7-04-004889-2

I. 建… II. 全… III. ①建筑工 工程施工-电工-职业高中-教材②建筑工程-工程施工-电气设备-安全技术-职业高中-教材 IV. ①TM08②TU731.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 14174 号

出版发行	高等教育出版社	邮政编码	100009
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	传 真	010--64014048
电 话	010--64054588		
网 址	http://www.hep.edu.cn		
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京朝阳北苑印刷厂		
开 本	787×1092 1/16	版 次	1994 年 10 月第 1 版
印 张	12.25	印 次	1999 年 5 月第 7 次印刷
字 数	300 000	定 价	10.30 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

关于国家教委规划教材的说明

为了贯彻《国务院关于大力发展职业技术教育的决定》，提高职业学校的教学质量，抓好教材建设工作，国家教委职教司对通用性强、经济发展急需、专业开设稳定的一部分专业，以及必须统一要求的一部分课程，组织编写了少量的示范性教材。

这些教材正式列入国家教委所制定的八·五教材选题规划。它是通过全国性专业教学研讨会，并在有关业务部门的指导下，与相应的教学计划、教学大纲相配套，由国家教委组织的教材编写组编写而成。这些教材在理论体系和技能训练体系方面均作了新的尝试。

我们希望各地根据实际情况，认真组织试用，及时提出修改意见，使之不断完善和提高。

国家教委职教司

1992年11月

前 言

本教材是根据国家教育委员会 1993 年颁布的《职业高级中学(三年制)建筑施工专业教学计划》和《建筑电工与电气设备》教学大纲编写的。

本书内容包括:单相交流电路、三相交流电路、变压器、常用电工仪表、异步电动机及其运行的控制、常用建筑机械简介、供电与照明、建筑防雷与安全用电等八章。全书力求做到以实验事实为基础,着重于基本规律和基本概念的阐述,并注重理论联系实际,结合职业高中教学特点,便于自学。

为了减少与物理课程的内容交叉与重复,本教材从交流电路讲起。考虑到专业教学计划中未设有关建筑机械方面的课程,本教材简明地介绍了建筑施工中最常用到的几种小型建筑机械的构造原理和使用维护方法,以扩大学生的知识面,适应施工工作的需要。为了便于教学,书中各章附有小结和习题,书后附有实验指导书。全书教学时数约 77 学时,其中实践教学 16 学时。

本书所使用的图形符号一律采用国家标准。为了便于学习和施工,书中附有常用电气元件的图形符号和文字注解的新旧对照表。

本书第一、二章由杜德昌编写,第三、四、八章由丛伟丽编写,第五、六、七章、绪论及实验指导书由于永君编写。全书由于永君主编,由刘志平主审,宋树清、赵易生参加了审稿工作,并对书中内容提出宝贵意见,编者谨表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中缺点和不足之处在所难免,敬请读者提出宝贵意见。

编 者

1993 年 12 月

目 录

绪论	1	第四节 三相异步电动机的起动	74
第一章 单相交流电路	2	第五节 三相异步电动机的反转和制动	76
第一节 概述	2	第六节 三相异步电动机的铭牌、使用和维护	78
第二节 正弦交流电的产生	4	第七节 单相异步电动机	84
第三节 正弦交流电的特征	6	第八节 异步电动机运行的控制和保护	86
第四节 正弦交流电的表示法	10	小结	98
第五节 纯电阻电路	11	习题	99
第六节 纯电感电路	13	第六章 常用建筑机械简介	101
第七节 纯电容电路	17	第一节 卷扬机	101
第八节 电阻与电感串联电路	21	第二节 混凝土搅拌机	104
第九节 电阻、电感串联和电容并联电路	25	第三节 混凝土振动机械	110
小结	26	第四节 钢筋加工机械	114
习题	28	小结	117
第二章 三相交流电路	30	习题	117
第一节 三相交流电源	30	第七章 建筑施工现场供电与电气照明	118
第二节 三相负载的连接	33	第一节 供电系统概述	118
第三节 三相交流电的功率	38	第二节 施工现场电力负荷计算	119
小结	40	第三节 低压配电线路	125
习题	41	第四节 配电导线与熔断器的选择	128
第三章 变压器	43	第五节 施工现场的临时供电	135
第一节 单相变压器的构造及工作原理	44	第六节 电光源	136
第二节 三相变压器	46	第七节 照明供电线路	141
第三节 其他变压器	49	第八节 照明电路施工图的识读	142
第四节 电焊机	51	第九节 照明线路的施工	149
小结	52	小结	152
习题	52	习题	154
第四章 常用电工仪表	53	第八章 建筑防雷与安全用电	155
第一节 电流表与电压表	53	第一节 雷电的危害及防雷措施	155
第二节 万用表与兆欧表	56	第二节 防雷装置	157
第三节 电度表	61	第三节 保护接地与接零	159
小结	64	第四节 安全用电常识	161
习题	65	小结	164
第五章 异步电动机及其运行控制	66	习题	165
第一节 三相异步电动机的构造	66	实验指导书	166
第二节 三相异步电动机的工作原理	68	实验一 认识实验	166
第三节 三相异步电动机的机械特性	73		

实验二	日光灯电路的连接	167	实验七	三相异步电动机的正反转控制	177
实验三	三相负载的连接	169	实验八	导线连接及绑扎实验	178
实验四	单相变压器的测试	171	实验九	室内配电线路的安装	181
实验五	常用电工仪表的使用	173	实验十	“一控一”白炽灯电路的安装	184
实验六	三相异步电动机的接线和直接起 动	175	实验十一	民用住宅照明电路图的识读	185

绪 论

人类自从发现了电的现象以来,就和电结下了“不解之缘”。随着社会的进步,人类对电的利用也越来越深化、广泛,电已经深入到人们生产、生活的各个领域。可以说没有电的利用,就没有人类的现代文明。

电能的优越性就在于,它在能的转换方面非常方便,即不论是由其他能转换成电能,还是由电能转换成其他能(如机械能、热能、光能、声能等都很方便。而且电能既可以用导线进行传输,又可以用电磁波的形式进行传播,还能通过各种方式对其进行有效的控制和使用。

现代建筑施工已完全离不开电能了。首先,在施工中为了节省人力,提高效率,需要使用各种施工机械,如塔吊、混凝土搅拌机、钢筋加工机械等,这些机械都是以电能为动力来拖动的。其次,建筑物需要用电来照明、灯光装饰;现代建筑如办公大楼、高级宾馆都要有良好的通讯、广播设施;高层建筑需要自动化的电梯及火灾自动报警装置等等,这一切无一能够离开电而能正常工作。电气技术已渗透到建筑的各个部门,建筑业已越来越需要和依赖电气技术了。

由于现代施工过程中,土建施工和电气设备施工的密切联系,要求施工人员不仅应掌握先进的施工技术,还应懂得并掌握电工学的基本知识和基本计算方法,了解常用电气设备和施工机械的工作原理及使用方法,了解电气设备安装的基本规程和施工方法,这样才能合理而有效地安排施工作业程序。

《建筑电工与电气设备》就是研究电和磁的现象在建筑施工中应用的一门课程,它是职业高中建筑施工专业的一门重要专业基础课。课程内容分为三部分,第一部分包括单相交流电路,三相交流电路两章。这部分内容是电工学的基础理论和基本计算方法,它既是后续内容的理论基础,又是实际计算技术。学习时,应抓住基本概念,懂得基本理论和应用。第二部分包括变压器、常用电工仪表,异步电动机及其运行控制,常用建筑机械简介等四章。这部分内容介绍电工基础理论在实际生产中的应用,书中结合生产实践介绍有关电气设备和机械设备的基本构造、工作原理及使用维护方法。其中异步电动机及其运行控制一章是重点。第三部分包括供电与照明,建筑防雷与安全用电两章。这部分内容主要介绍建筑施工组织设计和施工过程中所需了解的电力负荷计算、低压配电线路敷设、电气照明及安全用电等方面的知识,以及电气施工规程及施工方法。

本课程内容实践性较强,学习过程中除了要做好实验外,还要密切结合生产实际,以利于更好地理解课程内容。

第一章 单相交流电路

第一节 概 述

一、电路的组成

电路就是电流所经过的闭合路径。一个完整的电路由电源、负载、控制和保护装置以及连接导线等 4 部分组成,如图 1-1 所示。

电源是一种将其他形式的能量(如化学能、机械能、光能等)转化成电能的装置,是电路中电能的来源。如干电池、蓄电池、发电机等都是电源。

负载是消耗电能——将电能转换成其他形式的能的装置。通常又把负载叫做用电器。如电灯是将电能转换成光能的负载,电炉是将电能转换成热能的负载等。

控制和保护装置用来控制电路的接通与断开,使电路保持正常的工作状态。如开关、熔断器(保险丝)、继电器等均属此类装置。

导线的作用是把电源、控制和保护装置、负载连接起来以形成电路,并承担起输送和分配电能的任务。常用的导线有铝线和铜线。

相对于电源来说,电路又可分为内电路和外电路。电源以外的电路叫做外电路,电源内部的通路叫做内电路,内、外电路合称为全电路,或称为闭合电路。

在实际应用中,通常用电路图来表示电路。在电路图中,各种电气元件都不需要画出原有的形状,而是采用国家统一规定的图形符号来表示。如图 1-2 所表示的就是图 1-1 所示简单电路的电路图。

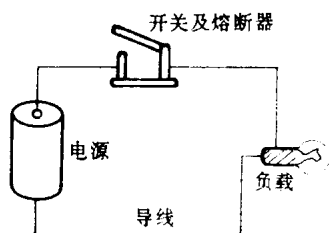


图 1-1 简单的电路

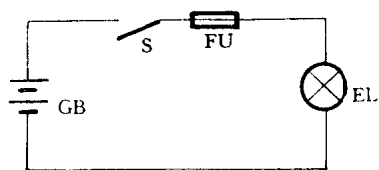
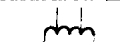
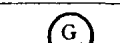
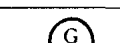


图 1-2 简单的电路图

用符号来表示的电路图具有简单、清楚、使用方便等优点,被广泛地应用于各种电气设计和电气施工工程图中。表 1-1 列出了部分常用的电气制图图形符号。

表 1-1 部分常用的电气制图图形符号

	直流电		交流电		交直流电
	开关		电阻		接机壳
	电池		电位器		接地
	线圈		电容		连接导线
	铁芯线圈		电流表		不连接导线
	抽头线圈		电压表		熔断器
	直流发电机		二极管		电灯
	交流发电机		直流电动机		交流电动机

二、电路的工作状态

如图 1-3 所示的电路,通常有 3 种工作状态。

1. 通路状态

当电路中的开关 S 闭合时,电路构成闭合回路,从而电路中就有电流通过,电路处于正常的运行通路状态。

2. 开路状态

开路又叫做断路。当开关 S 断开时,电路中没有电流通过,这时的开路是控制性的开路,属于正常状态。有时由于事故原因也会使电路中某处断开,而电路中无电流通过,这种断路叫做事故开路。处于开路状态的电路,电源电动势等于电源端电压。

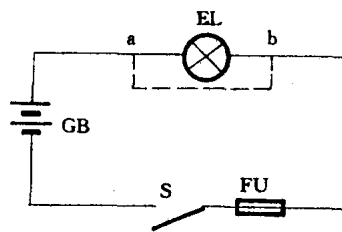


图 1-3 电路的工作状态

3. 短路状态

当开关 S 闭合时,若由于某种原因使 a、b 两处由导体连接起来,则电源两极未经负载而由导体直接接通,这时电路中的电流就不会流过负载而只流经导体,这种状态叫做短路状态。短路状态电路中的电流叫做短路电流。短路电流要比正常通路状态的电流大许多倍,它将使电源永久性损坏或线路被烧毁。短路是一种严重的事故,应避免发生。

当电气设备绝缘损坏或线路接错时,都可能引起电路的短路。为了防止电路短路,通常要在电路中安装保护装置熔断器,其中的熔丝或熔片是由低熔点的铅锡合金制成,当电路中的电流增大到一定的数值时,它们将因发热而首先熔断,从而切断了电源。

三、电路的类型

电路通常有两种类型,即直流电路和交流电路。

在直流电路中,电流和电压的方向不随时间的变化而变化。在工业生产和日常生活中,直流

电的应用非常广泛,如电车、汽车上的电器、电话等都是使用直流电源。

在交流电路中,电流和电压的大小和方向随时间的变化而做周期性的变化,通常把这种周期性变化的电流叫做交变电流,简称交流电。

工业上所用的交流电,其电压、电流、电动势等大小和方向随时间按正弦规律变化,因此,又称之为正弦交流电,本书所讲交流电都是指正弦交流电。

人们通常用图形来表示交流电随时间变化的规律,这种图形叫做波形图。如图 1-4 所示,就是正弦交流电压的波形图。

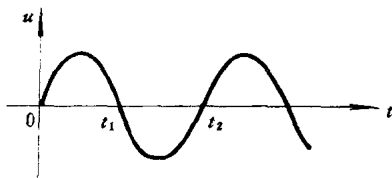


图 1-4 正弦交流电压波形图

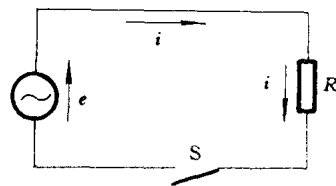


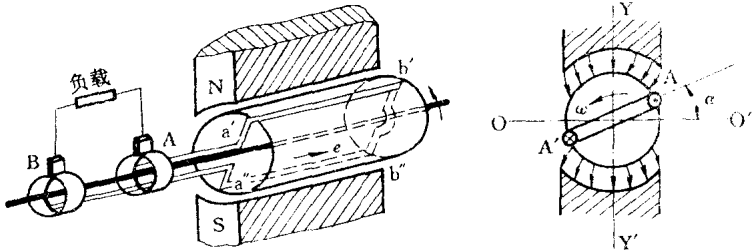
图 1-5 交流电路

在交流电路(图 1-5)中,由于电流的方向随时间不断地变化,因此,在分析电路时,必须先规定电流或电压的正方向。当交流电在某一时刻的实际方向与规定的正方向一致时,此刻的数值为正值,相反时为负值。规定的正方向可以任意选定,通常用箭头标在电路中。

交流电在工农业生产、科学实验和日常生活中的应用比直流电更为广泛。这是因为它和直流电相比具有两个重要的优点,一是可以用变压器很方便地把交流电压升高或降低,解决了高压输电和低压配电之间的矛盾,并降低了高压输电线路的损耗,提高了经济效益,使低压配电更安全可靠;二是交流电气设备比直流电气设备构造简单、造价低廉、坚固耐用、维修方便、工作可靠。因此,现代发电厂发出的电能大都是交流电,即使是有些工业(如电镀、电解等)需用直流电源时,也都是把交流电转换成直流电来使用的。

第二节 正弦交流电的产生

工业上所用的交流电是由交流发电机产生的,最简单的交流发电机如图 1-6 所示。



(a) 发电机结构示意图

(b) 磁感应强度分布

图 1-6 简单的交流发电机

发电机主要由两部分构成,一部分是固定在机壳上的一对磁极(N极和S极),叫做定子;另一部分是可以绕轴自由转动的圆柱形电枢,在它上面绕着许多线圈(图中只画出一匝线圈),叫做转子。转子线圈的两端分别接在两个彼此绝缘的铜环上,每一对铜环上装有一对连接外电路的电刷A和B,当转子在磁极之间旋转时,根据电磁感应原理,线圈内就会产生出感应电动势。

为了使线圈产生出的感应电动势按正弦规律变化,通常把N极和S极做成特殊的形状,使磁极和电枢之间的空气隙中的磁感应强度按以下的规律分布,一是磁力线垂直于电枢表面;二是磁感应强度 B 在电枢表面按正弦规律分布。如图1-6(b)所示。

从图中可以看出,在YY'轴处,磁极与转子之间的气隙最小,磁力线分布最密集,磁感应强度最大($B = B_m$);在YY'轴的两侧,气隙逐渐加大,磁通密度逐渐减小,而到达磁极的分界面(又称中性面)OO'时,磁感应强度正好减小到零($B = 0$)。因此,在电枢表面上任一点的磁感应强度为

$$B = B_m \sin \alpha \quad (1-1)$$

式中: B_m ——磁感应强度的最大值(T);

α ——线圈平面与中性面之间的夹角($^\circ$)。

当原动机带动转子按逆时针方向作等速旋转时,线圈的 $a'b'$ 边和 $a''b''$ 边分别切割磁力线,产生感应电动势 e' 和 e'' 。因线圈两边的长度相等,转速一致,所处位置的磁感应强度 B 也相等,所以, e' 和 e'' 在数值上总是相等的,线圈每条边产生的感应电动势的大小为

$$e' = e'' = BLv = B_m Lv \sin \alpha \quad (1-2)$$

式中: e' 、 e'' ——线圈每边产生的感应电动势(V);

L ——线圈每边的长度(m);

v ——线圈切割磁力线的线速度(m/s);

B_m ——磁感应强度的最大值(T);

α ——线圈平面与中性面之间的夹角($^\circ$)。

根据右手定则判断可知,线圈两边产生的感应电动势的方向始终相反,在电刷A和B两端的总电动势 e 是线圈两边电动势之和,即

$$e = e' + e'' = 2B_m Lv \sin \alpha$$

若有 N 匝线圈,则总电动势为

$$e = 2NB_m Lv \sin \alpha \quad (1-3)$$

设电动势的最大值为

$$E_m = 2NB_m Lv$$

则式(1-3)可表示为

$$e = E_m \sin \alpha \quad (1-4)$$

式(1-4)就是线圈转到任意位置时的感应电动势的表达式。

下面我们分析线圈在几个特殊位置时所产生的感应电动势的大小。

(1)当线圈在OO'位置时,因 $\alpha = 0$,所以, $e = 0$,即感应电动势为零。

(2)当线圈转到YY'位置时, $\alpha = 90^\circ$,所以, $e = E_m$,即感应电动势由零增大到最大值。

(3)当线圈又转到OO'位置时, $\alpha = 180^\circ$,所以, $e = 0$,即感应电动势由最大值减小到零。

(4)当线圈又转到YY'位置时, $\alpha = 270^\circ$,所以, $e = -E_m$,即感应电动势由零增大到负最大

值。

(5)当线圈再转回到 OO' 位置时, $\alpha = 360^\circ$, 所以, $e = 0$, 即感应电动势由负最大值减小到零。

依此类推, 线圈每转一圈, 所产生的感应电动势就按正弦规律变化一周。图 1-7 就是感应电动势 e 随 α 角的变化而获得的正弦曲线, 这条曲线就叫做正弦交流电的波形图。

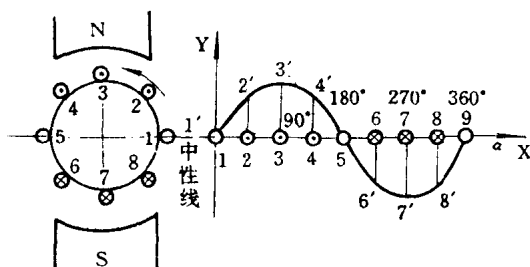


图 1-7 正弦交流电的形成过程

第三节 正弦交流电的特征

一、频率、周期、角频率

1. 周期

交流电按正弦规律变化一周所需要的时间叫做周期, 它是衡量正弦交流电变化快慢的物理量, 用符号 T 表示, 如图 1-8 所示。周期的单位是秒(s), 较小的单位还有毫秒(ms)、微秒(μs)等。它们之间的关系是

$$1s = 10^3ms = 10^6\mu s$$

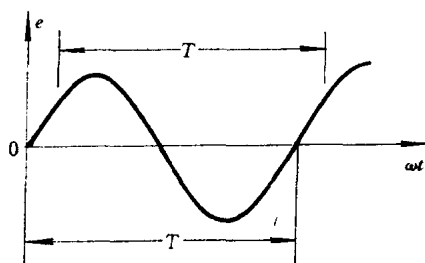


图 1-8 周期示意图

2. 频率

交流电在 1 秒钟内按正弦规律变化的周数叫做频率, 它也是衡量正弦交流电变化快慢的物理量, 用符号 f 表示。频率的单位是赫兹(Hz), 常用的较大单位还有千赫(kHz)、兆赫(MHz)。它们之间的关系是

$$1MHz = 10^3kHz = 10^6Hz$$

根据周期和频率的定义可知,它们之间的关系互为倒数,即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-5)$$

在我国的电力系统中,国家规定动力和照明用电的频率为 50Hz,习惯上称之为工频,其周期是 0.02s。在其他电气技术领域,使用着各种不同的频率,如无线电工程上使用的频率范围是 $10^5 \sim 3 \times 10^{10}$ Hz 等。

3. 电角度、角频率

在图 1-6 中,当线圈旋转一周,正弦交流电也变化一周,变化的角度为 $\alpha = 2\pi$ 弧度,我们把 α 叫做电角度。交流电在单位时间内变化的电角度叫做电角频率,即

$$\omega = \frac{\alpha}{t}$$

由于在一个周期 T 内,正弦交流电变化的电角度为 2π 弧度,所以,角频率为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-6)$$

式中 ω 的单位是弧度/秒(rad/s)。式(1-6)表示了电角频率 ω 、周期 T 和频率 f 之间的关系。

因为 $\alpha = \omega t$, 所以,式(1-4)还可以写为

$$e = E_m \sin \omega t \quad (1-7)$$

二、相位、初相位、相位差

1. 相位

如果在 $t = 0$ 时,电枢线圈的两个有效边恰好在中性面 OO' 位置时,则电动势 $e = E_m \sin \omega t$, 当 $t = 0$ 时, $e = 0$ 。如果在 $t = 0$ 时,电枢线圈的两个有效边与中性面之间的夹角为 φ , 如图 1-9 所示,这时线圈所产生的感应电动势的三角函数式为

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1-8)$$

式(1-8)中的电角度 $(\omega t + \varphi)$ 可以反映出在不同瞬间交流电变化的状态(如增大、减小、通过零点或最大值等),我们把 $(\omega t + \varphi)$ 叫做交流电的相位。通常相位都用角度来表示,所以也叫做相位角。

2. 初相位

式(1-8)中的 φ 表示在开始计时($t = 0$)时,线圈的有效边与中性面之间的夹角,称之为初相位,如图 1-9 所示。例如式(1-7)所示的交流电,其初相位为零,在式(1-8)中,如果 $t = 0$, 则

$$e = E_m \sin \varphi \quad (1-9)$$

初相位是反映正弦量初始值的物理量,与计时开始时线圈的位置有关,可以为正,也可以为负或为零。

3. 相位差

两个同频率的正弦交流电的相位之差叫做相位差。设 e_1 的相位为 $\omega t + \varphi_1$, e_2 的相位为 $\omega t + \varphi_2$, 则其相位差为

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) \\ &= \varphi_1 - \varphi_2 \end{aligned} \quad (1-10)$$

式(1-10)表明,频率相同的正弦交流电的相位差等于它们的初相位之差,因此,相位差在任何瞬间都是一个常数,如图1-10所示。

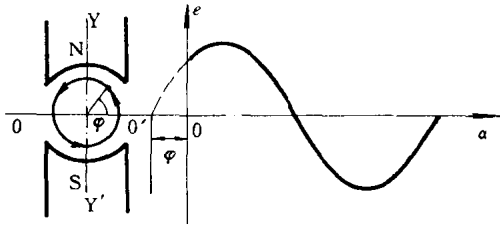


图1-9 初相位示意图

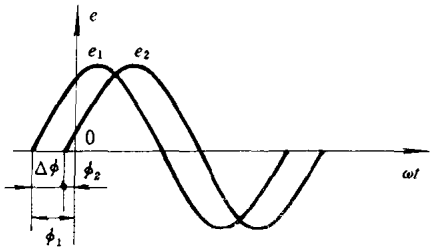


图1-10 相位差示意图

应当指出,频率相同的两个正弦量也可以求其相位差,如

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

其相位差为

$$\Delta \varphi = \omega t - (\omega t + \frac{\pi}{2}) = -\frac{\pi}{2}$$

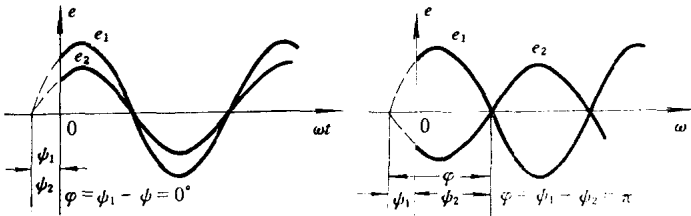
通过式(1-10)可以比较两个频率相同的正弦量之间的关系:

当 $\varphi_1 = \varphi_2$, $\Delta \varphi = 0$ 时,两个同频率的正弦量同时到达零值或最大值,此时称之为同相,如图1-11(a)所示。

当 $\Delta \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \pi$ 时,两个同频率的正弦量一个到达正的最大值,另一个到达负的最大值,此时称之为反相,如图1-11(b)所示。

若 $\varphi_1 > \varphi_2$, 则 $\Delta \varphi > 0$, 表示 e_1 在 e_2 之前先到达最大值,所以称 e_1 超前 e_2 , 也可以说 e_2 滞后 e_1 。

相位差是两个频率相同的交流电进行比较的重要特征参数。



(a)同相位

(b)反相位

图1-11 相位关系示意图

三、瞬时值、最大值、有效值

1. 瞬时值

正弦交流电在某一瞬间的大小叫做交流电的瞬时值。电动势、电压和电流的瞬时值分别用小写字母 e 、 u 和 i 表示。

2. 最大值

正弦交流电变化时出现的最大瞬时值(或称峰值、幅值)叫做交流电的最大值。电动势、电压和电流的最大值分别用大写字母加注脚标 m 表示,即为 E_m 、 U_m 和 I_m 。

3. 有效值

交流电的有效值是根据其热效应来确定的。若把一交流电流 i 和一直流电流 I 分别通过同一电阻 R ,如果在相同的时间内产生的热量相等,则此直流电的数值就叫做该交流电的有效值。也就是说,交流电的有效值等于与它热效应相当的直流电值。交流电动势、电压和电流的有效值分别用大写字母 E 、 U 和 I 表示。

根据实验和计算,可以证明正弦交流电的有效值与其最大值之间的关系为

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 E_m \\ U &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 U_m \\ I &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 I_m \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

在工程计算与应用中,所使用的电压、电流的数值都是指有效值。例如,照明电路的电源电压为 220V,动力电路的电源电压为 380V,以及用交流电工仪表测量出来的电流、电压都是指有效值。所有使用交流电源的电器产品铭牌上标注的额定电压、额定电流等也都是指有效值。

通过以上分析可以看出,频率、最大值和初相位是表示一个正弦交流电的三个重要因素,所以把它们叫做正弦交流电的三要素。

例 1-1 已知正弦交流电动势 $e = 311\sin 314t$ (V),试分别求出该交流电的最大值、有效值、频率、角频率及周期各为多少?

解 由正弦交流电动势的表达式

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$$

可得:

$$\text{最大值: } E_m = 311(\text{V})$$

$$\text{有效值: } E = E_m / \sqrt{2} = 0.707 \times 311 = 220(\text{V})$$

$$\text{角频率: } \omega = 314(\text{rad/s})$$

$$\text{频率: } f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \times 3.14} = 50(\text{Hz})$$

$$\text{周期: } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02(\text{s})$$

例 1-2 已知电流 $i_1 = 36\sin(\omega t + 30^\circ)\text{A}$, $i_2 = 24\sin(\omega t - 15^\circ)\text{A}$ 。试分析它们之间的关系。

解 由于 i_1 、 i_2 是相同频率的正弦交流电流,其相位差为

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 30^\circ - (-15^\circ) = 45^\circ$$

因此, i_1 超前 i_2 45° ,或者说 i_2 滞后 i_1 45° 。

第四节 正弦交流电的表示法

正弦交流电通常有四种表示方法,即三角函数表示法、波形图表示法、旋转矢量表示法和复数表示法。本节只介绍前三种表示法。

一、三角函数表示法

三角函数表示法是用三角函数式表示正弦交流电随时间变化的方法。例如,正弦交流电动势、电压和电流的函数表示式分别为

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$$

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

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

二、波形图表示法

根据三角函数式的计算得到的数据,将它们描绘在平面直角坐标系中获得曲线的方法,称为波形图表示法,如图 1-7 所示。横坐标表示电角度 ωt 或时间 t ,纵坐标表示正弦量的瞬时值。

三、旋转矢量法

旋转矢量法是用一个在直角坐标系中绕原点不断旋转的矢量,来表示正弦交流电的方法,如图 1-12 所示。

从坐标原点 O 作一矢量等于电动势的最大值 E_m ,矢量 $\vec{E}_m$ 与横轴之间的夹角表示正弦量的初相位 φ ,并且这个旋转矢量是以 ω 的角速度沿逆时针方向旋转的,我们把这个矢量叫做旋转矢量。

从图 1-12 中可以看出,当 $t=0$,旋转矢量的初相位为 φ 时,旋转矢量的瞬时值即为矢量 $\vec{E}_m$ 在纵轴上的投影,即 $e_0 = E_m \sin \varphi$ 。经过时间 t_1 后,矢量转过的夹角为 $(\omega t_1 + \varphi)$,此时,它的瞬时值为矢量 $\vec{E}_m$ 在纵轴上的投影,即 $e_1 = E_m \sin(\omega t_1 + \varphi)$ 。由此可见,正弦电动势的每一瞬时值都和一个确定的旋转矢量相对应,因此,旋转矢量可以表示正弦交变量。

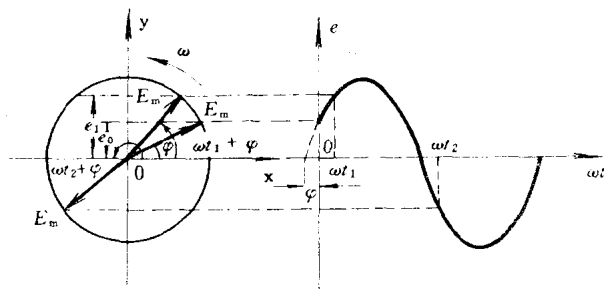


图 1-12 正弦交流电用旋转矢量表示