

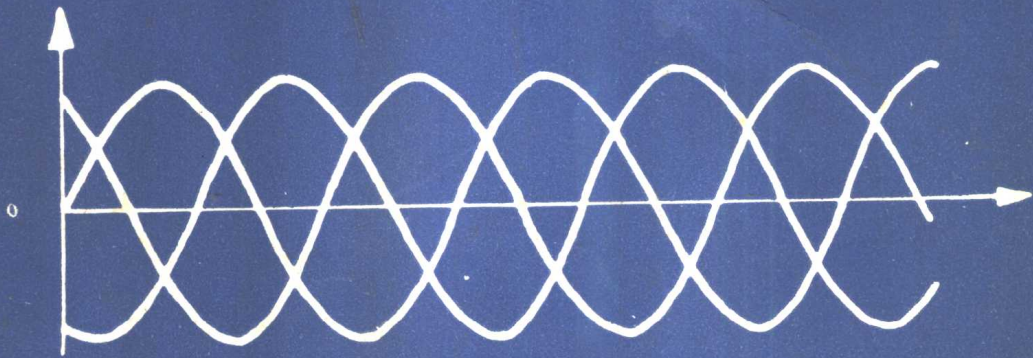
966401

TM1-33
7740

高等学校试用教材

电工学及实验

邱荣庆 主编



内蒙古大学出版社

高等学校试用教材

电 工 学 及 实 验

邱荣庆 主编

1992年

内蒙古大学出版社

封面设计：牛全胜
责任编辑：王文清

(内蒙)新登字6号

电工学及实验

邱荣庆 主编

内蒙古大学出版社出版发行

(呼和浩特市大学西路1号)

内蒙古新华书店经销

内蒙古二机综合生产公司印刷厂印刷

开本：787×1092/16 印张：16 字数：420千

1992年4月第1版

1993年3月 第二次印刷

印数1—2000

统一书号ISBN 7—81015—252—1/TM·1

定价：8.00元

前 言

我们受中国电子学会教育学会高师分会的委托,根据国家教委1989年颁发的高等师范院校《电工学及实验》教学大纲及当前高等院校电工学教学的迫切需要,编写了《电工学及实验》一书。

全书包括电工学理论和实验两大部分。编写本着加强概念、重视基础、突出实用、便于教学的原则,对基本内容阐述比较全面,对实用内容写得比较突出。每章还配有一定数量的思考题和习题,帮助读者巩固所学内容。

本书按专科60学时、本科90学时设计编写,标※者为专科选学内容。本科可根据各校的学时安排和教学需要予以取舍。

本书可作为高等师范院校、教育学院、职工大学及函授大学的《电工学》教材,又可作为中等专业学校、职业学校、技工学校的教师和工程技术人员参考用书。

本书由邱荣庆主编,于历、董海因任副主编,编委有:(按姓氏笔划为序)石庆祥、刘时庆、任健、安志章、吕景俊、员文武、李彦斌、金滨莹、姜戈非、贺有金、景彦君。他们分别来自内蒙古、山东、湖北、山西、湖南、河北六省区九所高等院校,他们都是长期从事教学的副教授和讲师、实验师。本书是在分头撰写的基础上,由邱荣庆副教授总纂、修改定稿。

本书初稿由山西师大徐克服副教授、河北师院黄敬钦副教授和武汉教育学院裴幼强副教授负责主审,陕西咸阳师专黄庆元教授、河北师大尹造根副教授也参加了审稿工作,另外,在出版过程中得到了中国电子学会教育学会高师分会和编委院校领导的大力支持,谨此致谢。

由于我们水平有限,书中疏漏和欠妥之处在所难免,恳请同行和读者不吝指正。

编 者

1992年3月

EAC8111

内 容 提 要

本书根据国家教委1989年4月颁发的高等师范院校《电工学及实验》教学大纲编写。

全书分电工学理论和实验两大环节。电工学理论包括电路理论、电工仪表、变压器和电机、配电用电四部分，共十章；电工实验包括必做和选做两部分，共九个实验。每章都附有适量的思考题和习题，每个实验亦附有一定的思考题。

本书文字简洁洗练，阐述通俗易懂，有较宽的适用范围，不同院校可根据学时多少决定取舍。本书可作为高等师范院校、教育学院、职工大学及函授大学本、专科的试用教材，也可作为中专学校、技工学校师生和工程技术人员的参考用书。

主 编 邱荣庆

副主编 于 历 董海固

编 委 (以姓氏笔划为序)

石庆祥 刘时庆 任 健 安志章

吕景俊 员文武 李彦斌 金滨莹

姜戈非 贺有金 景彦君

绪 论

电能较其他形式的能具有独特的优点。

第一，电能易于获得与转换。电能很容易由水能、热能、风能、光能和原子能转换而得，同时又能容易地转换成诸如机械能、热能、化学能、光能等其他形式的能，从而满足人们各种不同的需要。

第二，电能易于输送和分配。电能既可以远距离输送，又可以方便地进行分配。而且设备简单、损耗小、效率高，从而极大地有利于工业建设的合理布局。

第三，电能易于控制。利用电磁原理控制和调节机器，既方便、准确、迅速，又能够做到自动控制、自动调整和自动保护，从而为生产自动提供有力的技术保证。

第四，利用电学量传送信息。用电压或电流代表信息，以有线或无线的方式高速精确地进行传送、控制和处理，从而为远程通讯奠定技术基础。

这些特点决定了电的广泛应用。在当今的时代，无论是生产、科研，还是日常生活，都离不开电。随着社会的进步、生产的发展和生活水平的进一步提高，电将越来越发挥其重要作用。

电工学是研究电能及其在工程技术方面应用的一门科学。它的领域很广，包括电路学，电机学，发电和输配电，电磁测量，电气自动检测和控制，电气照明以及工业电子学等。

《电工学及实验》课程是非电类专业开设的一门技术基础课。本课程包括电工学理论和电工实验两大环节。

电工理论由电路基础、电工仪表、变压器和电机、配电用电四部分组成。

电路基础重点介绍交流电的基本概念，定律和原理，分析方法和应用。

电工仪表主要介绍常用仪表的结构、工作原理和技术特性。

变压器和电机重点介绍变压器、异步电动机及其控制等部件的结构、基本工作原理、运行特性和实际应用。

配电用电主要介绍低压配电以及安全用电知识。

电工实验包括照明安装、电工仪表使用、变压器检验、异步电动机起动和控制，以及按电路图装接线路等。

《电工学及实验》的各章和各实验均配有一定数量的思考题和习题。做好这些题目是强化概念、掌握理论、提高分析问题、解决问题能力的重要手段，学员应予以重视。

通过对本课程的学习和实践，可使学员获得最基本的电工理论知识，获得实际应用的基本操作技能和进行科学实验的能力，为将来从事教学、工程技术和科学研究工作打下基础。

为了把祖国建设成为现代化工业、现代化农业、现代化国防和科学技术的社会主义强国，立志做“四化”建设的合格人才，我们有必要学好电工学。

目 录

理论部分

绪 论

第一章 简单交流电路

1·1 交流电的基本概念.....	(1)
1·1·1 周期电压、电流和交流电	(1)
1·1·2 正弦交流电及其三要素	(1)
1·1·3 交流电的相位差	(3)
1·1·4 交流电的有效值	(4)
1·1·5 交流电的参考方向与真实方向	(5)
1·2 基本定律的相量形式.....	(5)
1·2·1 相量	(8)
1·2·2 欧姆定律的相量形式、复阻抗、复导纳	(11)
1·2·3 基尔霍夫定律及其相量形式	(13)
思考题	(13)
1·3 简单交流电路的分析举例.....	(13)
1·3·1 R、L、C 串联电路.....	(15)
1·3·2 RL—RC并联电路.....	(18)
思考题	(18)
1·4 交流电路的功率.....	(18)
1·4·1 交流电路功率的计算.....	(21)
1·4·2 提高功率因数的意义和方法.....	(23)
思考题	(23)
*1·5 交流电路的谐振.....	(23)
1·5·1 串联谐振.....	(25)
1·5·2 并联谐振.....	(27)
思考题	(27)
习题一	(30)

第二章 复杂交流电路分析方法

2·1	电压源和电流源	(30)
2·1·1	电压源	(30)
2·1·2	电流源	(31)
2·1·3	电压源和电流源的等效变换	(32)
	思考题	(33)
*2·2	受控源	(34)
2·2·1	受控源及其类型	(34)
2·2·2	受控源参数	(34)
	思考题	(35)
*2·3	支路分析法	(35)
2·3·1	支路分析法解题步骤	(35)
2·3·2	支路分析法举例	(36)
	思考题	(37)
2·4	节点分析法	(37)
2·4·1	节点分析法解题步骤	(37)
2·4·2	节点分析法举例	(39)
2·4·3	弥尔曼定理	(40)
	思考题	(40)
2·5	回路分析法	(40)
2·5·1	回路分析法解题步骤	(40)
2·5·2	回路分析法举例	(42)
	思考题	(43)
*2·6	叠加定理	(44)
2·6·1	叠加定理	(44)
2·6·2	叠加定理应用举例	(45)
	思考题	(45)
2·7	有源二端网络的等效电源定理	(45)
2·7·1	戴维南定理	(45)
2·7·2	诺顿定理	(48)
	思考题	(49)
*2·8	三端阻抗网络的等效变换	(49)
2·8·1	Y— Δ 等效变换公式	(49)
2·8·2	Δ —Y等效变换公式	(50)
*2·9	双口网络	(51)
2·9·1	双口网络的基本方程及其参数	(51)
2·9·2	双口网络各种参数间的互换及应用	(53)
习题二		(54)

第三章 三相交流电路

3·1 对称三相电源	(59)
3·1·1 对称三相电动势的产生及特点	(59)
3·1·2 三相电势的相序	(60)
3·1·3 三相电源的联接	(60)
思考题	(63)
3·2 三相交流电路的计算	(63)
3·2·1 星形负载电路的计算	(63)
3·2·2 三角形负载电路的计算	(69)
思考题	(73)
3·3 三相交流电路的功率及其测量	(73)
3·3·1 三相电路功率的计算	(73)
3·3·2 三相电路有功功率的测量	(76)
思考题	(77)
习题三	(77)

*第四章 非正弦周期交流电路

4·1 非正弦周期波的分解与合成	(79)
4·1·1 非正弦周期波的分解	(79)
4·1·2 非正弦周期信号的频谱图	(81)
4·1·3 非正弦周期波的合成	(82)
思考题	(83)
4·2 非正弦周期交流电路计算	(83)
4·2·1 非正弦周期交流电路的计算步骤	(83)
4·2·2 非正弦周期交流电路计算举例	(84)
思考题	(86)
4·3 非正弦周期交流电的有效值	(86)
4·3·1 非正弦周期交流电的有效值公式	(86)
4·3·2 非正弦周期交流电有效值计算举例	(86)
思考题	(87)
习题四	(87)

第五章 电工仪表

5·1 概述	(89)
5·1·1 仪表的分类	(89)
5·1·2 仪表的误差与准确度	(89)
5·1·3 仪表表面符号及其意义	(90)
5·2 磁电系仪表	(90)
5·2·1 测量机构	(91)
5·2·2 工作原理	(91)

思考题	(92)
5·3 电磁系仪表.....	(92)
5·3·1 测量机构及工作原理	(92)
5·3·2 电磁系电压表和电流表	(92)
5·4 电动系仪表.....	(93)
5·4·1 测量机构	(93)
5·4·2 工作原理	(93)
5·4·3 电动系功率表	(93)
思考题	(95)
5·5 感应系仪表.....	(95)
5·5·1 测量机构	(95)
5·5·2 工作原理	(96)
5·5·3 电度表的使用	(98)
思考题	(98)
5·6 兆欧表.....	(98)
5·6·1 流比计的工作原理	(98)
5·6·2 兆欧表	(99)
思考题	(100)
习题五	(100)

第六章 变压器

6·1 概述.....	(101)
6·1·1 变压器的用途和分类	(101)
6·1·2 变压器的基本结构	(101)
思考题	(103)
6·2 变压器的工作原理.....	(103)
6·2·1 变压器的空载运行	(103)
6·2·2 变压器的负载运行	(106)
思考题	(109)
*6·3 变压器的等效电路.....	(109)
6·3·1 变压器的等效电路	(109)
6·3·2 变压器参数的测量	(111)
思考题	(111)
6·4 变压器的特性.....	(112)
6·4·1 变压器的外特性和电压变动率	(112)
6·4·2 变压器的损耗和效率	(113)
思考题	(114)
6·5 变压器绕组的极性和判别.....	(115)
6·5·1 变压器绕组的极性	(115)
6·5·2 变压器绕组极性的判别	(115)

思考题	(116)
6·6 三相变压器	(116)
6·6·1 三相变压器的主体结构及工作原理	(116)
6·6·2 三相变压器的的联接组	(117)
6·6·3 变压器的铭牌	(118)
思考题	(119)
6·7 其它变压器	(119)
6·7·1 自耦变压器	(119)
6·7·2 仪用互感器	(121)
思考题	(122)
*6·8 单相小功率电源变压器的设计	(122)
6·8·1 设计的有关知识	(122)
6·8·2 小型变压器的设计步骤	(124)
6·8·3 设计举例	(125)
思考题	(127)
习题六	(127)

第七章 异步电动机及其控制

7·1 概述	(129)
7·1·1 异步电动机分类	(129)
7·1·2 异步电动机的构造	(129)
7·2 三相异步电动机工作原理	(130)
7·2·1 旋转磁场	(130)
7·2·2 转动原理	(132)
7·2·3 转速与转差率	(133)
思考题	(133)
7·3 三相异步电动机电路分析	(133)
7·3·1 定子电路的电压平衡方程	(133)
7·3·2 转子电路的电压平衡方程	(134)
7·3·3 异步电动机的功率与效率	(136)
思考题	(137)
7·4 三相异步电动机的转矩特性和机械特性	(137)
7·4·1 电磁转矩与转矩特性曲线	(137)
7·4·2 机械特性	(139)
7·4·3 电磁转矩与电源电压的关系	(140)
思考题	(140)
7·5 三相异步电动机的起动与调速	(140)
7·5·1 三相异步电动机的起动	(140)
*7·5·2 异步电动机的调速	(142)
思考题	(143)

7·6	三相异步电动机的继电接触控制	(143)
7·6·1	常用低压控制电器	(143)
7·6·2	异步电动机的基本控制电路	(148)
	思考题	(151)
7·7	三相异步电动机的选用和维护	(151)
7·7·1	铭牌、额定值	(151)
7·7·2	电动机的选用	(153)
7·7·3	电动机的维护	(154)
	思考题	(155)
7·8	单相异步电动机简介	(155)
7·8·1	电容分相式异步电动机	(155)
7·8·2	电阻分相式异步电动机	(156)
7·8·3	罩极式异步电动机	(157)
	思考题	(157)
	习题七	(157)

第八章 直流电机

8·1	直流电机的构造及原理	(159)
8·1·1	直流电机的构造	(159)
8·1·2	直流电机的工作原理及可逆性	(160)
	思考题	(162)
8·2	直流发电机	(162)
8·2·1	直流电机的励磁方式	(162)
8·2·2	并励发电机的空载特性和自励过程	(162)
8·2·3	并励发电机的负载运行特性	(164)
	思考题	(165)
8·3	直流电动机	(165)
8·3·1	并励电动机	(165)
8·3·2	串励电动机	(169)
8·3·3	复励电动机	(170)
	思考题	(170)
	习题八	(170)

第九章 同步电机

9·1	同步发电机的构造和原理	(172)
9·1·1	构造	(172)
9·1·2	同步原理	(173)
	思考题	(173)
9·2	同步发电机的运行特性	(173)
9·2·1	空载特性	(173)

9.2.2	电枢反应	(174)
9.2.3	外特性	(175)
	思考题	(176)
9.3	同步发电机的励磁方式	(176)
9.3.1	直流发电机励磁	(177)
9.3.2	半导体整流励磁	(177)
	思考题	(178)
*9.4	同步发电机的并网运行	(178)
9.4.1	并网运行的条件、步骤和方法	(178)
9.4.2	功率调节	(180)
9.4.3	脱离电网(解列)	(183)
	思考题	(183)
*9.5	同步电动机简介	(183)
9.5.1	工作原理	(183)
9.5.2	运行特性简介	(184)
9.5.3	同步电动机的起动	(185)
	思考题	(185)
	习题九	(185)

第十章 低压配电、安全用电、节约用电

10.1	供电系统及配电器材简介	(186)
10.1.1	供电系统简介	(186)
10.1.2	常用导线的种类	(186)
10.1.3	其他低压配电器材简介	(187)
*10.2	低压线路的敷设	(188)
10.2.1	架空线路	(188)
10.2.2	室内布线	(189)
10.3	低压配电材料的选择	(190)
10.3.1	负荷的计算	(190)
10.3.2	导线的选择	(190)
10.3.3	熔断器的选择	(194)
10.4	安全用电	(195)
10.4.1	电气事故灾害	(195)
10.4.2	安全用电措施	(196)
10.4.3	电气灾害急救	(197)
10.5	节约用电	(198)
10.5.1	节约用电的意义	(198)
10.5.2	节约用电的措施	(198)
	习题十	(199)

实 验 部 分

前 言

实验一	照明电路的安装、功率因数的提高.....	(201)
	思考题.....	(203)
实验二	三相负载的联接及其功率的测量.....	(203)
	思考题.....	(206)
实验三	变压器实验.....	(206)
	思考题.....	(208)
实验四	三相异步电动机的使用.....	(211)
	思考题.....	(215)
实验五	三相异步电动机的继电—接触控制.....	(215)
	思考题.....	(218)
*实验六	直流电动机.....	(218)
	思考题.....	(220)
*实验七	同步发电机.....	(220)
	思考题.....	(223)
实验八	单相交流电动机的使用方法.....	(223)
	思考题.....	(226)
*实验九	小功率变压器的绕制.....	(226)
	思考题.....	(229)

第一章 简单交流电路

生产、科学实验和生活用电的主要形式是正弦交流电。由正弦交流电源供电的电路称为交流电路。正弦交流电路是电工技术的理论基础。交流电路按其复杂程度划分,可分为简单交流电路和复杂交流电路。能用串联和并联的方法简化成无分支电路的交流电路称为简单交流电路。本章从阐明交流电的基本概念入手,以相量形式的欧姆定律和基尔霍夫定律为工具,着重研究简单交流电路的分析、计算。

1.1 交流电的基本概念

1.1.1 周期电压、电流和交流电

凡是每隔相同的时间重复出现的电压或电流称为周期性电压或电流。图1—1所示为常见的四种周期电压、电流的波形。其中(a)图为正弦波电压、电流,(b)图为矩形波电压、电流,(c)图为脉动电压、电流,(d)图为尖形波电压、电流。其中(b)图和(c)图,两图波形大小随时间作周期性变化,但方向不变,(a)图和(d)图波形不仅大小随时间变化,而且方向也随时间变化。

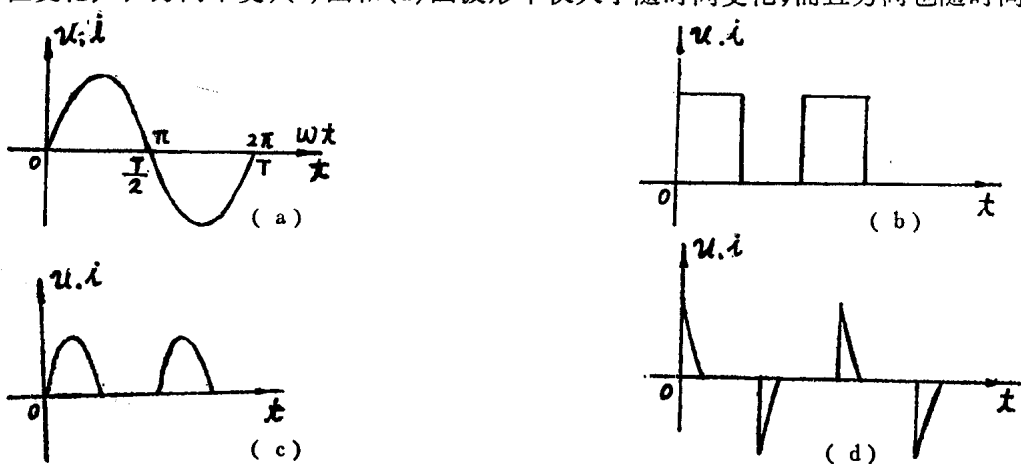


图 1—1 周期电压、电流的波形

周期性变化的电动势、电压和电流,其大小和方向都随时间而变化,而且它们在一个周期(T)内的平均值为零,称为交流电动势、电压和电流,统称为交流电。图1—1(a)和(d)即为交流电压和电流。

在稳定状态下,交流电随时间作周期性往复变化,它是时间的函数。直流电不随时间变化,它不是时间的函数。这是两者的重要区别所在。

1.1.2 正弦交流电及其三要素

按正弦规律变化的电动势、电压和电流,统称为正弦交流电。正弦交流电的应用范围非常广泛。发电厂发出的是正弦交流电压;常用的音频信号和高频信号发生器输出的是正弦信号;通讯、电台广播及电视广播技术中所用的“高频载波”或“超高频载波”是正弦波。人们常将正弦交流电简称为交流电。本书除特别指明者外,后面所提到的交流电都是正弦交流电。

交流电在任一时刻的数值称为瞬时值。瞬时值是时间的函数,用小写字母表示。

正弦交流电动势、电压和电流的瞬时值用正弦函数表示为

$$\left. \begin{aligned} e(t) &= E_m \sin(\omega t + \varphi_e) \\ u(t) &= U_m \sin(\omega t + \varphi_u) \\ i(t) &= I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

由上述表达式可以看出,描述任何一个正弦交流电量,都需要三个特征量,即幅值、频率和

初相角，通常将这三个特征量称为正弦交流电的三要素。现分别讨论如下：

(1) 幅值：交流电在变化过程中所出现的最大瞬时值称为幅值，亦称为最大值。通常用大写字母加注脚max的缩写m表示，(1—1)式中的 E_m 、 U_m 、 I_m 分别表示正弦交流电动势、电压和电流的幅值。幅值反映振幅的大小。

(2) 频率：每秒时间内正弦量交变的次数称为频率。用符号 f 表示。频率的单位是赫兹（简称赫），用Hz表示。较高的频率用千赫(KHz)或兆赫(MHz)表示。 $1\text{KHz} = 10^3\text{Hz}$ ， $1\text{MHz} = 10^6\text{Hz}$ 。

正弦交流量完成往复变化一周后需的时间叫周期。用符号 T 表示。周期的单位是秒，用s表示。频率和周期的关系互为倒数，即

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{或} \quad T = \frac{1}{f} \quad (1-2)$$

每秒时间内交流电变化的电角度〔注〕①称为角频率。用符号 ω 表示。单位是弧度/秒，用rad/s表示。正弦交流电变化一个周期，相当于正弦函数变化 2π 个弧度，由此得

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \text{rad/s} \quad (1-3)$$

由上式看出， ω 是 f 的 2π 倍。

对于频率 $f = 50\text{Hz}$ 的交流电，其角频率为 $\omega = 2\pi f \approx 314\text{rad/s}$

频率 f 、周期 T 和角频率 ω ，三者之间可以用(1—3)式互相换算，这三个量各从不同角度描述正弦交流电变化的快慢。频率 f 、角频率 ω 愈大，交流电变化愈快，反之愈慢。周期 T 愈小，交流电变化愈快，反之愈慢。

(3) 初相角：正弦量中的 $(\omega t + \varphi)$ 反映了正弦量在交变过程中的瞬时值的变化时程。我们将 $(\omega t + \varphi)$ 称作正弦量的相位角。相位角是随时间变化的角度。当相位角随时间连续变化时，正弦量的瞬时值随之作相应的连续变化。

当 $t = 0$ 时，正弦量的相位角称为初相角。

(1—1)式中的 φ_e 、 φ_u 、 φ_i 分别称为正弦交流电动势、电压和电流的初相角。初相角 φ 不仅有大小，而且有正负，它与所选择的时间起点有关。通常规定，正弦量由负值变化到正值经过的零点为该正弦量的零点，由正弦量零点到计时起点（即 $t = 0$ ，时间坐标的原点）之间对应的电角度即为初相角的大小。

在正弦交流电的相位角中加上 360° 或减去 360° ，其函数值不变，所以对于同一个时间起点而言，初相角的绝对值可小于 180° ，也可大于 180° ，习惯上常用初相角的绝对值小于 180° 的角度来表示。（在三相电路内一般限制在 360° 范围之内。）

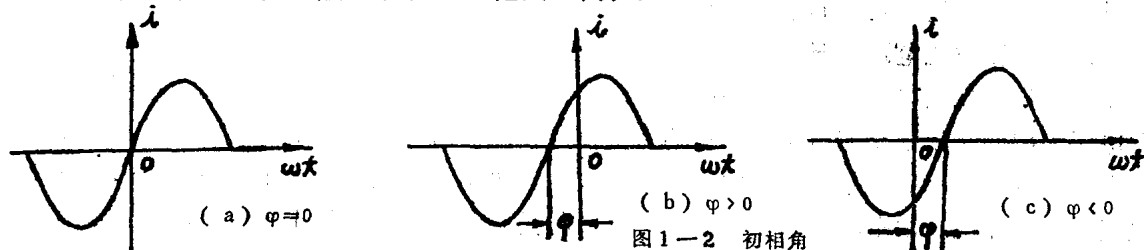


图 1—2 初相角

图1—2表示不同初相角的正弦交流电流波形，其中

(a) 图表示初相角为零，即 $\varphi = 0$ ，这时正弦交流电流的表达式为 $i = I_m \sin \omega t$ ；

(b) 图表示初相角为正，即 $\varphi > 0$ ，这时正弦交流电流的表达式为 $i = I_m \sin(\omega t + |\varphi|)$ ；

(c) 图表示初相角为负，即 $\varphi < 0$ ，这时正弦交流电流的表达式为 $i = I_m \sin(\omega t - |\varphi|)$ 。

①〔注〕电角度表示正弦交流电（电动势、电压、电流等）在交变过程中所经历的角度。它和空间角度不同，如以 α 、 θ 分别表示电角度和空间角度， p 表示产生正弦电动势的磁极对数，则 $\alpha = p\theta$ 。

初相角的正、负可以这样确定：当正弦量 $t=0$ 的瞬时值为正时， φ 角为正； $t=0$ 的瞬时值为负时， φ 值为负。从正弦波形零点所在位置也可以确定初相角 φ 的正、负：若正弦波零点在纵轴的左侧时， φ 角为正；在纵轴的右侧时， φ 角为负。

例（1—1） 已知一正弦交流电压的幅值为 $U_m = 20\text{V}$ ，频率 $f = 50\text{Hz}$ ，初相角 $\varphi = 30^\circ$ 。（1）写出该电压瞬时值 u 的数学表达式。（2）画出波形图。（3）当 $t=0$ 时，试求电压的瞬时值。

解：（1）该正弦交流电压的角频率 $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 100\pi (\text{rad/s})$
 则 u 的数学表达式为 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi) = 20 \sin(100\pi + 30^\circ) \text{V}$

（2） u 的波形图如图1—3所示

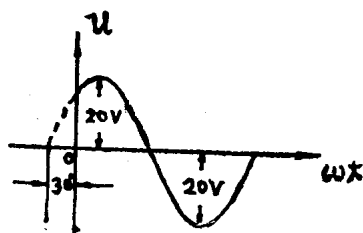


图1—3 例（1—1）图

$$\begin{aligned} \text{（3）当 } t=0.001\text{s} \text{ 时 } u &= 20 \sin(100\pi + 0.001 + 30^\circ) \\ &= 20 \sin(18^\circ + 30^\circ) = 14.86 (\text{V}) \end{aligned}$$

1.1.3 交流电的相位差

在一个正弦交流电路中，电压 u 和电流 i 的频率是相同的，但初相角不一定相同，如图1—4所示。显然， u 和 i 的初相角不同，它们到达最大值和零值的时间也不同，所以它们的变化步调是不一致的。

两个同频率的正弦交流电在任何瞬时相位角之差称为相位差，用符号 φ 表示。图1—4所示 u 和 i 的相位差为

$$\varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (1-4)$$

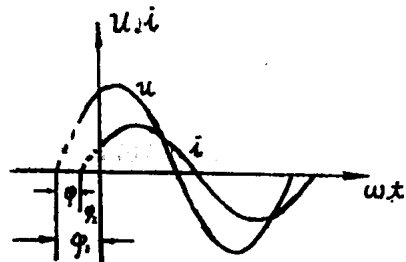
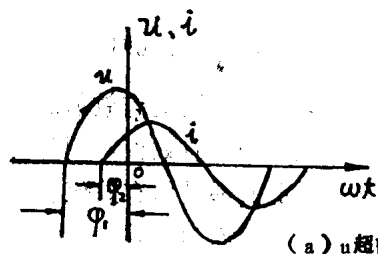


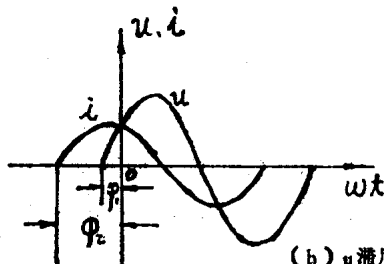
图1—4 u 和 i 的初相位不相等

由（1—4）式可见，同频率的两个正弦交流电的相位差始终是个固定值，恒等于两个交流电的初相角之差。换言之，两个同频率交流电的相位差的大小仅决定于两个交流电的初相角，而与时间 t 和角频率 ω 无关。

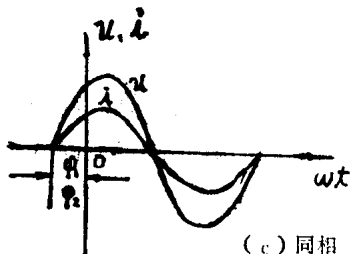
相位差是用来表示同频率正弦量的相位之间相互关系的物理量。它表明正弦量之间变化的“步调”的先后关系（达到正最大值的先后关系）。



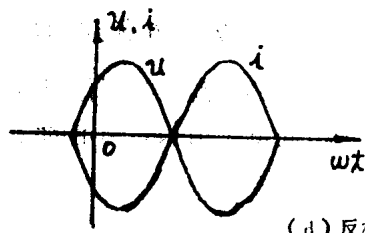
（a） u 超前于 i



（b） u 滞后于 i



（c）同相



（d）反相

图1—5 相位差

如果一个正弦量比另一个正弦量先达到正的最大值，那末在相位上就说前者“超前”于后者，或者说后者“滞后”于前者。如图1—5(a)所示， $\varphi_1 > \varphi_2$ ， $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 > 0$ ，即 u 超前 i 于 φ 角；如