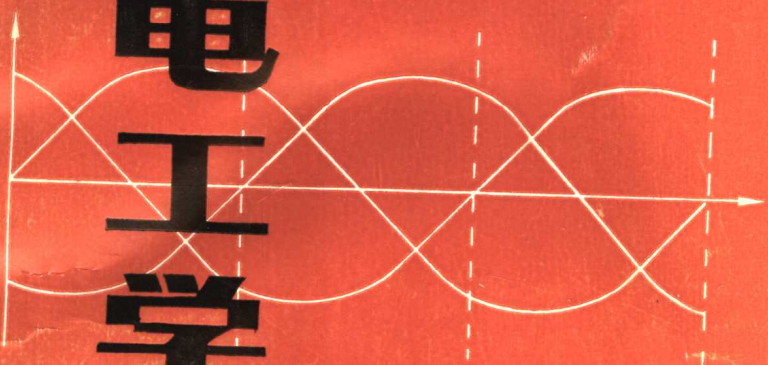




电 工 学

A white sine wave is drawn across the cover, intersecting the title. It starts at the origin, goes up, then down, then up again. There are vertical dashed lines at the peaks and troughs. The wave ends with an arrowhead pointing to the right.

山东科学技术出版社

电 工 学

《 电工学 》编写组

山东科学技术出版社

一九八七年·济南

电 工 学

《电工学》编写组

山东科学技术出版社出版

(济南市玉涵路)

山东省新华书店发行

山东人民印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 12.25印张 238千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数: 1—11,800

· ISBN7—5331—0148—0

O · 14

书号 13195·175 定价 2.75元

前 言

电工学是一门技术基础课。随着近代科学技术的发展,电工技术在国民经济各个部门中的应用越来越广泛。为了适应我国四个现代化建设的需要,高等师范院校的学生很有必要掌握一定的电工技术方面的基础理论与实际知识。有鉴于此,我们编写了这本书。

本书是在原山东省师专合编的《电工学》的基础上,经省内外60余所院校试用,提出修改意见后,按照原教育部颁发的师专《电工及实验》和教育学院《电工学》教学大纲的要求修改而成的。全书分七章:正弦交流电路;线性网络的计算;三相交流电路;电工仪表;变压器;电机;实验(9个,可选作6个)。书中打“*”号的部分可作为选学和参考的内容。

编写本书时,既注意了本课程的特征,又注意了师范教育的特点,力求做到深入浅出,联系实际,文字简练,便于自学;物理概念清楚,定义、定理、定律叙述确切恰当;重点内容突出,所选例题、习题具有代表性。章后附有小结,书后附有习题答案,以便解题、复习时参考。

原书编写的分工:樊西汉〔第一、四、六(异步电机部分)章,附录〕、李延陆(第二章,实验)、赵汝俭、(第三章,实验)、王恒太(第五、六(同步电机部分)章)。

参加此次修改工作的有：张佩玲、樊西汉、居思学、刘鑫、王恒太、仇春凯、赵汝俭，由樊西汉主编。

本书在编写和修改的过程中，始终得到了山东师范大学物理系张锡钧副教授的热情支持和指导，他对原书稿和修改稿作了细致认真的审阅。本书的编写出版工作还得到了省教育厅、校际物理组以及编者所在系、系领导、省外兄弟院校任课老师的大力支持和帮助，在此一并致谢！

由于我们水平所限，加之脱稿仓促，书中可能存有缺点和错误，恳请读者批评指正。

山东省师专、教育学院
物 理 教 材 编 写 组

1987年2月

目 录

前 言	1
第一章 正弦交流电路	1
§ 1·1 正弦交流电的产生及其特征	3
§ 1·2 正弦量的相量表示法	15
§ 1·3 纯电阻、纯电感和纯电容交流电路	20
§ 1·4 RLC串联交流电路	34
§ 1·5 RLC并联交流电路	45
§ 1·6 谐振电路	52
§ 1·7 提高功率因数的意义和方法	62
* § 1·8 非正弦周期性电流电路分析	66
小 结	73
习题一	78
第二章 线性交流网络的计算	83
§ 2·1 交流电路基尔霍夫定律 支路电流法	83
§ 2·2 回路电流法	86
§ 2·3 节点电位法	92
§ 2·4 电压源、电流源的等效化简及其变换	96
§ 2·5 迭加原理	103
§ 2·6 星形与三角形网络的等效变换	108
§ 2·7 戴维宁定理*诺顿定理	114
小 结	121

习题二	123
第三章 三相正弦交流电路	128
§ 3·1 三相电动势的产生	128
§ 3·2 三相电源的连接	131
§ 3·3 三相负载的连接	135
§ 3·4 三相交流电路的功率	145
小 结	150
习题三	151
第四章 电工仪表	155
§ 4·1 概述	155
§ 4·2 磁电系仪表和电磁系仪表	161
§ 4·3 电动系仪表	167
§ 4·4 感应系仪表	174
• § 4·5 兆欧表	178
小 结	182
习题四	183
第五章 变压器	185
§ 5·1 变压器的功用	185
§ 5·2 变压器的类别和构造	186
§ 5·3 变压器的空载运行	189
§ 5·4 变压器的负载运行	195
§ 5·5 变压器的等效电路及运行性能	200
§ 5·6 三相变压器	210
§ 5·7 其他变压器	219
小 结	226
习题五	228

第六章 电机	230
§ 6·1 三相异步电动机的构造	230
§ 6·2 三相异步电动机的转动原理	234
§ 6·3 三相异步电动机的电路分析	243
* § 6·4 三相异步电动机的功率传递及效率	251
§ 6·5 三相异步电动机的转矩和机械特性	252
§ 6·6 三相异步电动机的起动及调速	259
* § 6·7 三相异步电动机的选用	266
§ 6·8 三相异步电动机的继电—接触控制	273
§ 6·9 单相异步电动机	282
§ 6·10 直流电机	290
§ 6·11 同步电机	303
小 结	312
习题六	317
第七章 电工实验	321
实验一 RLC串联电路的研究	322
实验二 功率因数的提高	324
实验三 交流电桥	328
实验四 迭加原理和等效电源定理	332
实验五 三相负载的连接及功率的测量	336
实验六 单相变压器	341
实验七 三相异步电动机的使用	344
实验八 磁力起动器控制三相异步电动机	348
实验九 直流并励电动机	350
附录	355
I. 小型变压器的计算	355

I. 低压配电	362
II. 安全用电	372
习题答案	375

第一章 正弦交流电路

大小和方向都随时间作周期性变化的电动势、电压、电流，分别叫做交变电动势、交变电压，交变电流，统称为**交流电**。

根据实际需要，不同场合应用的交流电信号的波形是多种多样的，其中常用的如图 1—1 所示。图中，(a)是按正弦规律变化的简谐波；(b)是梯形波；(c)是三角波；(d)是矩形波；(e)是尖顶波。交流电的种类虽然繁多，但在实践和理论上最重要的是按正弦规律变化的交流电。这种按正弦规律变化的交流电称为**正弦交流电**。具有正弦电动势作用的电路称为**正弦交流电路**。

研究正弦交流电路具有十分重要的意义，这是因为：正弦交流电在产生、输送和应用上比直流电或其他形式的交流电都优越，因而广泛地应用于电力工程、无线电电子技术和电磁测量中；正弦交流电路的分析、计算较易掌握，同一频率的正弦交流电的“和”或“差”以及对时间的求导或积分仍为同一频率的正弦交流电，这在理论上、技术上具有重大意义；非正弦交流电会产生高次谐波，从而增大电器设备运行中额外的功率损耗以及可能引起的其他不良影响，而采用正弦交流电可以减少或避免上述弊端；非正弦交流电压或电

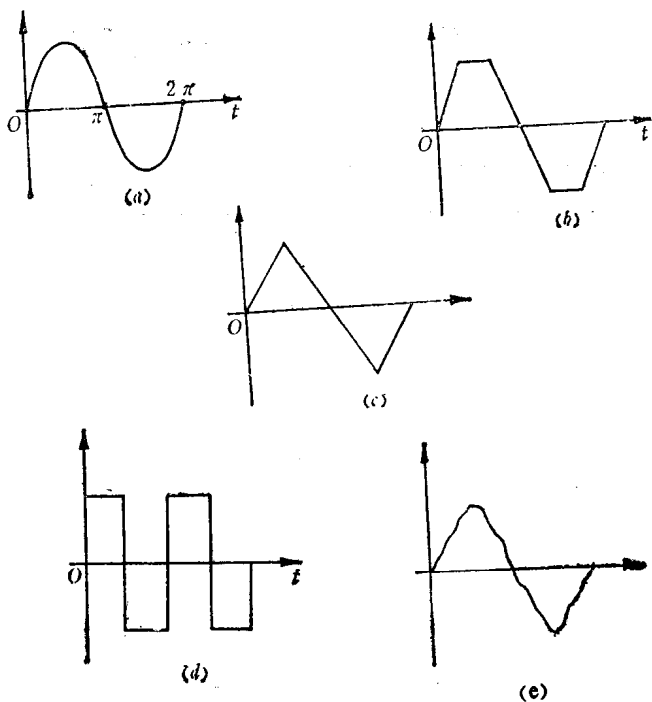


图1—1

流均能利用傅氏级数的形式把它们表示为正弦交流电压、电流来加以分析。本书所讨论的交流电，除特别说明外，都是指正弦交流电。

§ 1.1 正弦交流电的产生及其特征

一、正弦电动势的产生

正弦电动势是由交流发电机产生的。发电机多采用旋转式。根据转动部分的性能、结构不同，可分为旋转电枢式和旋转磁场式两种。它们虽然结构不同，但其基本工作原理却都相同。下面，以旋转电枢式为例来分析正弦电动势的产生。

图 1—2 为两极旋转电枢式交流发电机示意图。在固定不动的N、S磁极中间放置一圆柱形铁心，其上紧绕线圈AX（图中只画出一匝）。铁心与线圈合称为**电枢**，它可由原动机拖动，在磁极间旋转。线圈的两端分别接到两只相互绝缘的铜滑环上。环上压接着与外电路相连接的电刷K、L。

采用适当的磁极形状，可使其产生的磁感应强度沿电枢表面按正弦规律分布，但其方向始终与电枢表面相垂直，如图 1—3 所示。通过电枢表面磁感应强度为 0 的那些点的平面称为发电机的中性面，如图中OO'所示。显然，处于磁极中线下方向沿转轴方向的电枢表面上的那些点的磁感应强度具有最大值 B_m 。设线圈平面与中性面间的夹角为 α ，磁感应强度为

$$B = B_m \sin \alpha \quad (1.1.1)$$

当电枢在磁场中作匀速旋转时，线圈导体因垂直切割磁感应线而产生感应电动势。如果线圈每一有效边（切割磁感应线的部分）中产生的感应电动势为 e_1 ，由于线圈回路中产

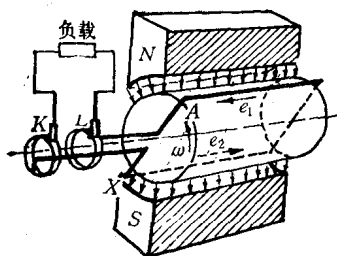


图1—2

两极交流发电机示意图

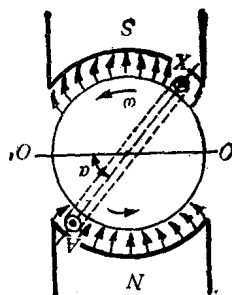


图1—3

交流发电机的磁极

生的两感应电动势的方向相同，则整个回路中的感应电动势为

$$e = 2e_1 = 2BLv = 2B_mLv \sin \alpha \quad (1 \cdot 1 \cdot 2)$$

式中， L 为有效边的长度。

设线圈 AX 在磁场中以角速度 ω 沿逆时针方向旋转，若选择线圈平面与中性面恰好重合位置处作为计时起点($t = 0$)，则经过 t 秒后，线圈平面与中性面间的夹角 $\alpha = \omega t$ ，将其代入(1·1·2)式，可得

$$e = 2B_mLv \sin \omega t \quad (1 \cdot 1 \cdot 3)$$

倘若 $t = 0$ 时，线圈平面与中性面间的夹角为 φ_0 ，则 t 秒后，线圈平面与中性面间的夹角为 $\alpha = \omega t + \varphi_0$ ，代入(1·1·2)式则有

$$e = 2B_mLv \sin (\omega t + \varphi_0)$$

令 $E_m = 2B_mLv$ ，则有

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1.1.4)$$

式中, E_m 称为电动势的**最大值**(亦称**幅值**)。公式表明电动势是随时间按正弦规律交变的, 其波形图如图1—4所示。

凡是随时间按正弦规律交变的物理量, 如电动势、电压、电流等统称为**正弦量**。正弦量在任一时刻的实际值称为**瞬时值**, 习惯上用小写字母来表示, 如 e 、 u 、 i 等。而正弦量

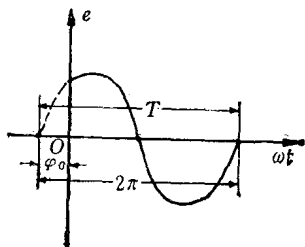


图1—4

的最大值(幅值)则用带注脚 m 的大写字母来表示, 如 E_m 、 U_m 、 I_m 等。

由(1.1.4)式可见, 电动势是角度 α 或时间 t 的函数。 α 角表示正弦量在交变过程中所经历的角度, 称为**电角度**。而线圈在转动过程中所经历的角度称为**空间角**(或称**机械角**), 用 θ 表示。在具有一对磁极的发电机中, 线圈转动一周, 感应电动势也变化一周, 空间角与电角度均变化了 2π 弧度(360°), 它们显然相等, 即

$$\alpha = \theta$$

若发电机有两对磁极, 如图1—5所示, 线圈只要转过半圈($\theta = \pi$), 电动势就变化一周($\alpha = 2\pi$); 线圈转过一圈($\theta = 2\pi$), 电动势要变化两周($\alpha = 4\pi$), 这时 $\alpha = 2\theta$ (图1—6)。推广到一般情况, 如果发电机有 P 对磁极, 则

$$\alpha = P\theta \quad (1.1.5)$$

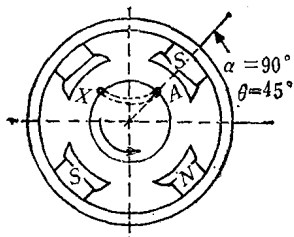


图1—5 $p=2$ 的交流发电机
结构示意图

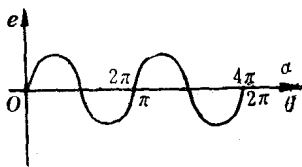


图1—6

必须注意，以后凡表示正弦量的式中的角度，都是指电角度 α 。

二、正弦量的特征

正弦量的特征表现在它的大小、交变快慢以及初始值三个方面，分别由正弦量的幅值（或有效值）、频率（或周期）及初相位来确定。习惯上把幅值、频率和初相位称为正弦量的三要素。

1. 周期、频率和角频率

正弦量随时间不断作周期性重复变化，其变化的快慢可以用三种方法表示。

正弦量在交变过程中，完成一次周期性变化所要的时间叫做周期（图1—4）。用 T 表示，单位是秒（s）。它是波形重复出现所需要的最短时间。 T 越大，表示交变一次所需的时间越长，波形变化越慢；反之亦然。

周期的倒数称为频率用 f 表示，即

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

(1.1.6)

它表示正弦量在每秒钟内完成周期性变化的次数。频率 f 越大，交流电变化越快，反之越慢，频率的单位是赫兹（即周/秒），简称赫，用符号 Hz 表示。较高的频率用千赫（KHz）、兆赫（MHz）。

电力网供电的频率称为工业频率，简称“工频”。我国的工频标准是 50Hz，美国、日本等国家采用 60Hz。在不同的技术领域中使用着各种不同的频率范围，例如音频讯号频率为 20~20000Hz，电热用电的频率为 50~10⁶Hz，无线电工程用的频率为 10⁶~3×10¹⁰Hz 等。

正弦量交变的快慢除了用周期和频率表示外，还可角频率 ω 来表示。它表示正弦量在单位时间内电角度的变化，亦称电角速度。其单位是弧度/秒（rad·s⁻¹）。

因为在 1 个周期内，正弦量变化的电角度为 2π 弧度，故根据角频率的定义，有

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1.1.7)$$

因此，在两极发电机的情况下，角速度也就是角频率。

周期 T 、频率 f 、角频率 ω 可通过 (1.1.7) 式互相换算。这三个量各从不同角度描述了正弦量的特征之一——交变快慢。

【例 1】我国工农业动力和照明用的交流电源的频率为 50Hz，中央人民广播电台第二套广播频率是 610kHz，试求

它们的周期和频率。

解 $\because$ 周期 $T = \frac{1}{f}$

$$\therefore T_1 = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ (s)}$$

$$T_2 = \frac{1}{610 \times 10^3} = 1.64 \times 10^{-6} \text{ (s)}$$

又 $\because$ 角频率 $\omega = 2\pi f$

$$\therefore \omega_1 = 2 \times 3.14 \times 50 = 314 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1} \text{)}$$

$$\omega_2 = 2 \times 3.14 \times 610 \times 10^3 = 3.83 \times 10^6 \text{ (rad} \cdot \text{s}^{-1} \text{)}$$

2. 相位、初相位、相位差

由 (1·1·4) 式可知, 正弦量在交变过程中, 对应于每一时刻 t , 都有不同的 $(\omega t + \varphi_0)$ 值, 从而亦得到正弦量在不同时刻的瞬时值。我们把 $(\omega t + \varphi_0)$ 称为正弦量的**相位** (或相位角)。相位是表示正弦量在交变过程中任一时刻 t 所处状态的物理量, 它不仅决定着正弦量瞬时值的大小和方向; 而且还能表示出该量随时间 t 的变化趋势。

$t = 0$ 时刻的相位称为正弦量的**初相位** (或初相位角), 如 (1·1·4) 式中的 φ_0 角。初相位决定着正弦量在 $t = 0$ 时刻初始值的大小、方向和变化的趋势。由于选择的计时起点不同, 初相位的大小和正负也随之不同。如图 1—7 表示 φ_0 角为正, 图 1—8 表示 φ_0 角为负。通常规定: 正弦量由负值向正值变化时所经过的 0 点为该正弦量的 0 点。如果正弦 0 点在纵坐标轴左侧, φ_0 角为正; 如果在纵坐标轴右侧, φ_0