

供医药类专业用



新世纪全国高等中医药院校创新教材

XIN SHI JI QUAN GUO GAO DENG ZHONG YI YAO YUAN XIAO

CHUANG XIN JIAO CAI

医药电子技术

主 编 章新友

中国中医药出版社



新世纪全国高等中医药院校创新教材

医药电子技术

(供医药类专业用)

主 编 章新友 (江西中医学院)
副主编 王 铭 (北京大学医学部)
侯俊玲 (北京中医药大学)
邵建华 (上海中医药大学)
顾柏平 (南京中医药大学)
潘礼庆 (浙江中医药大学)
吉秀江 (中国科学技术馆)

中国中医药出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

医药电子技术/章新友主编. —北京: 中国中医药出版社, 2010.5
ISBN 978-7-80231-842-7

I. ①医… II. ①章… III. ①医用电子学-中医学院-教材②医疗器械-电子仪器-中医学院-教材
IV. ①R312②TH772

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 233519 号

中国中医药出版社出版
北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 16 层
邮政编码 100013
传真 010 64405750
北京市泰锐印刷有限公司印刷
各地新华书店经销

*

开本 850×1168 1/16 印张 19.75 字数 424 千字
2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷
书号 ISBN 978-7-80231-842-7

*

定价 26.00 元

网址 www.cptcm.com

如有印装质量问题请与本社出版部调换

版权专有 侵权必究

社长热线 010 64405720

读者服务部电话 010 64065415 010 84042153

书店网址 csln.net/qksd/

前 言

随着电子技术在中医药领域的广泛应用,电子学已成为中医药人才的必备知识,近年来,全国很多高等中医药院校在本科生、研究生中开设了电子技术课程。但是各种工程专业使用的电子学书籍很难为中医药工作者接受,迄今国内还没有一本较符合高等中医药院校特色、系统性较强的电工电子技术专门教材,因此,迫切需要编一本《医药电子技术》,以满足高等中医药院校教学急需。本书作为全国高等中医药院校创新教材,是参照高等中医药院校《医药电子技术》教学大纲,在1998年编写的《医药电子技术》一书的基础上,为适应现代医学仪器的发展,进行了重新修订和补充,增加了现代医学仪器设计原理等部分新内容,由全国16所高等医药院校从事医药电子技术教学及其应用研究的教师和专业技术人员参加编写。本书主要供医药类专业作为教材选用,也可作为广大医药工作者的参考书。

本书在叙述电工、电子技术原理的基础上,力求与中医药相结合,既保证教材的科学性、系统性,又贯彻实用性强和少而精的原则。全书在内容的介绍方法上着重分析电工电子的物理过程本质,尽量避免数学推导,使没有高等数学知识的读者在学习中也并不会感到困难,便于医药类专业的学生学习。书中的交流电路、安全用电与触电急救、交直流放大器、非电量电测技术、现代医学仪器设计原理和常用医药电子仪器等内容,都是医药工作者必备的实用知识,每章后面有本章小结,并有丰富的习题,附录中还有“直流电路的分析与计算”,以便没有学习过这些知识的读者自学。

本书在编写过程中得到了全国高等中医药教材建设研究会、中国中医药出版社和江西中医学院等单位领导的关心和支持,以及全国各兄弟院校领导和同行的支持与帮助,在此一并表示感谢。由于我们水平有限,经验不足,书中缺点和错误在所难免,希望广大读者和教师提出宝贵意见,以便再版时修订提高。

编 者

2009年12月

目 录

第一章 交流电路	1
第一节 交流电	1
一、交流电概述	1
二、交流电的产生	2
三、交流电的相位、矢量表示与有效值	3
第二节 交流电路	6
一、电阻电路	6
二、电感电路	7
三、电阻、电感串联电路	10
四、电容电路	12
五、电阻、电感与电容串联电路	14
六、并联电容与提高功率因数的意义	16
第三节 三相交流电	18
一、三相交流发电机	18
二、负载的联接	20
本章小结	25
习题一	27
第二章 变压器和电动机	28
第一节 变压器	28
一、变压器的工作原理	28
二、变压器的作用	29
三、变压器的额定值	30
四、变压器绕组的极性	30
第二节 三相异步电动机	30
一、三相异步电动机的基本构造	30
二、三相异步电动机和旋转磁场	32
三、三相异步电动机的转动原理	34
四、三相异步电动机的机械特性	35
五、三相异步电动机的铭牌和技术数据	36
第三节 三相异步电动机的使用	38
一、三相异步电动机的起动	38
二、三相异步电动机的运行	40

2 · 医药电子技术 ·	
三、三相异步电动机的反转	41
四、三相异步电动机的调速	41
第四节 单相异步电动机	42
一、单相异步电动机概述	42
二、电容分相式单相异步电动机	43
三、电阻分相式单相异步电动机	44
四、罩极式单相异步电动机	44
五、调速机构	45
第五节 电动机的选择	46
一、电动机种类的选择	46
二、电动机容量的选择	46
三、电动机防护形式的选择	46
本章小结	47
习题二	47
第三章 电气照明与安全用电	49
第一节 电气照明	49
一、常用电光源	49
二、电气照明线路	53
三、电气照明故障与检修	55
第二节 安全用电	56
一、电气设备的额定值	56
二、三相四线制低压电网与接地	58
三、电流对人体的伤害及触电事故	59
四、预防触电的安全措施	62
五、静电的危害与预防	64
第三节 触电事故的紧急救护	65
一、触电事故的现场急救	65
二、人工呼吸与体外心脏按摩	66
三、触电患者的护理	67
本章小结	68
习题三	68
第四章 常用半导体器件	70
第一节 半导体的基础知识	70
一、半导体的导电特性	70
二、PN 结的形成及其特性	71
第二节 晶体二极管	73
一、晶体二极管的结构及特性曲线	73
二、二极管的主要参数	75
三、稳压管	75
第三节 晶体三极管	77

一、晶体三极管的结构和符号	77
二、晶体三极管的放大作用	78
三、晶体三极管的特性曲线	80
四、晶体三极管的主要参数	83
第四节 场效应管	86
一、结型场效应管的工作原理	86
二、结型场效应管的特性曲线	87
三、场效应管的主要参数	88
四、绝缘栅场效应管	88
第五节 晶闸管	89
一、晶闸管的结构	89
二、晶闸管的工作原理	90
三、晶闸管的特性曲线	90
本章小结	91
习题四	92
第五章 交流放大器	94
第一节 单管低频放大器	94
一、电路的组成	94
二、静态分析	95
三、动态分析	99
第二节 多级阻容耦合放大器	106
第三节 负反馈放大器	109
一、负反馈	109
二、负反馈放大器的组成	109
三、负反馈放大器的分类	110
四、负反馈对放大器工作性能的影响	110
五、射极输出器	113
第四节 场效应管放大器	117
第五节 功率放大器	118
一、变压器耦合的功率放大器	118
二、无变压器功率放大器	120
三、集成功率放大器	120
本章小结	121
习题五	121
第六章 直流放大器和集成运算放大器	124
第一节 直流放大器的两个特殊问题	124
一、级间耦合问题	124
二、零点漂移问题	126
第二节 集成运算放大器	128
一、集成运算放大器	128

4 · 医药电子技术 ·	
二、集成运算放大器的组成.....	129
三、理想集成运算放大器的特点.....	130
第三节 集成运算放大器的应用.....	131
一、信号的运算.....	131
二、信号的比较.....	137
三、信号的变换.....	139
本章小结.....	141
习题六.....	141
第七章 简谐振荡器.....	145
第一节 LC 振荡器	145
一、基本原理.....	145
二、LC 并联谐振回路	146
三、LC 振荡器的基本电路	148
四、LC 振荡器振幅和频率的稳定性	152
第二节 晶体振荡器.....	153
一、石英晶体的电特性及其等效电路.....	154
二、晶体振荡电路.....	155
第三节 RC 振荡器	156
一、移相式振荡电路.....	156
二、串并联网络振荡电路.....	158
本章小结.....	161
习题七.....	162
第八章 直流电源.....	164
第一节 整流与滤波电路.....	164
一、单相半波整流电路.....	164
二、单相全波整流电路.....	166
三、单相桥式整流电路.....	166
四、滤波电路.....	168
第二节 稳压电路.....	169
一、并联型稳压电路.....	170
二、串联型稳压电路.....	171
三、集成稳压器.....	172
第三节 可控整流电路.....	173
一、单相半波可控整流电路.....	173
二、单相半控桥式整流电路.....	175
三、输出电压、电流的计算.....	175
四、触发电路简介.....	175
五、晶闸管交流调压.....	176
第四节 自激式开关电源.....	177
本章小结.....	180

习题八.....	180
第九章 数字逻辑电路	182
第一节 数字电路概述.....	182
一、数字电路和模拟电路.....	182
二、数字电路的特点.....	182
三、脉冲信号.....	183
第二节 基本逻辑门电路.....	184
一、“与”运算和“与”门电路.....	184
二、“或”运算和“或”门电路.....	185
三、“非”逻辑关系和“非”门电路.....	186
四、复合门电路.....	186
五、门电路的组成.....	187
六、门电路的应用举例.....	189
第三节 触发器.....	190
一、基本 R-S 触发器.....	190
二、主从型 JK 触发器.....	191
三、维持阻塞型 D 触发器.....	193
第四节 计数器.....	193
一、概述.....	193
二、二进制加法计数器.....	194
三、十进制加法计数器.....	197
第五节 译码器和数码显示器.....	199
一、数码显示器.....	199
二、译码器.....	200
第六节 模数和数模转换.....	203
一、数模转换 (D/A).....	204
二、模数转换 (A/D).....	206
三、取样保持电路.....	207
本章小结.....	209
习题九.....	210
第十章 非电量电测技术	214
第一节 非电量电测系统的组成.....	214
第二节 传感器简介.....	215
一、传感器的作用.....	215
二、传感器的主要种类和特点.....	216
三、传感器的分类.....	216
四、传感器的灵敏度、稳定性和线性度.....	217
第三节 无源传感器.....	217
一、压电式传感器.....	217
二、热电式传感器.....	218

6 · 医药电子技术 ·	
三、电磁感应式传感器.....	218
四、光电式传感器.....	220
第四节 有源传感器.....	220
一、电阻式传感器.....	220
二、电感式传感器.....	223
三、电容式传感器.....	225
第五节 非电量电测技术应用举例.....	226
一、分析混合气体中各气体的百分率含量.....	226
二、绘制高聚物的温度-形变曲线	227
三、电导仪.....	229
四、煤气报警器.....	230
本章小结.....	230
习题十.....	230
第十一章 现代医学仪器设计原理.....	232
第一节 现代医学仪器的发展.....	232
一、医学仪器的定义.....	232
二、医学仪器发展简史.....	232
三、医学仪器发展趋势.....	234
第二节 人体生理信息及其特点.....	237
一、人体生理信息的来源.....	237
二、医学信息的分类.....	237
三、典型生理参数及其特点.....	238
第三节 医学仪器系统组成与诊治疾病流程.....	239
一、医学仪器系统的组成.....	239
二、人类诊治疾病的简化流程图.....	240
三、医学仪器诊治疾病的流程.....	240
第四节 现代医学仪器结构与设计.....	241
一、信号编码基础.....	241
二、采样定理.....	242
三、医学信号采集系统.....	244
四、医学仪器设计的基本步骤.....	246
本章小结.....	247
习题十一.....	247
第十二章 常用医药电子仪器.....	249
第一节 电子医学诊断仪器.....	249
一、心电图机.....	249
二、脉搏测试仪.....	250
三、X射线计算机体层扫描成像.....	252
四、超声成像.....	254
五、磁共振成像.....	258

六、放射性核素成像.....	261
第二节 电子医学治疗仪器.....	262
一、光谱治疗仪.....	262
二、微波治疗仪.....	263
三、超声治疗仪.....	266
四、电针仪.....	267
第三节 电子药用仪器.....	269
一、电泳仪.....	269
二、酸度计.....	271
三、可见分光光度计.....	272
四、磁共振波谱仪.....	274
本章小结.....	278
习题十二.....	278
附录：直流电路的分析与计算.....	279
一、直流电路基础.....	279
二、直流电路计算.....	287
参考文献.....	299

第一章

交流电路

第一节 交流电

一、交流电概述

电流的大小和方向都随时间按照一定规律变化的电源,称为**交流电**。交流电在工农业生产、照明和生活中被广泛使用。以图 1-1 所示的白炽灯照明电路为例,流过白炽灯的电流,一会儿由 a 流向 b,一会儿又由 b 流向 a。电流的大小也时刻按规律在变化,由小到大,再由大到小。由于这种变化较快,加之灯泡钨丝的热惯性,以及人的视觉暂留作用,使人眼看上去,灯泡的亮度是不变的。

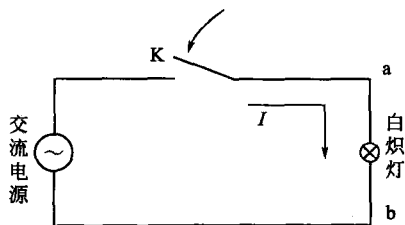


图 1-1 白炽灯照明电路

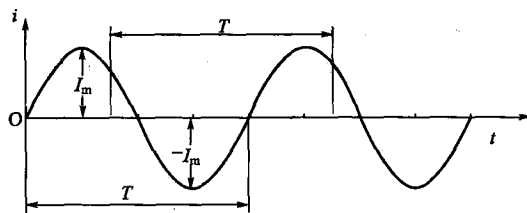


图 1-2 交流电的变化情况

流过白炽灯电流的大小和方向不断地随时间发生变化,这是由于加在灯泡 a、b 两端的电压时刻在变化所造成的。通常对大小和方向随时间有规律变化的电流、电压、电动势,分别称为**交变电流**、**交变电压**、**交变电动势**,统称为**交流电**。在交流电源作用下的电路称为**交流电路**。

交流电路中的电流、电压、电动势交变的规律,可以用仪器显示。例如用示波器可清晰地观察交流电的变化情况,如图 1-2 所示,横轴表示时间 t ,纵轴表示电流 i 。从图 1-2 可以看出:

(1) 交流电是按正弦规律变化的,故称为**正弦交流电**。

(2) 交流电是周期性变化的。变化一周所需要的时间称为**周期**。用 T 表示,单位是秒。交流电在一秒钟内变化的周数称为**频率**,用 f 表示,单位是赫兹,简称赫,用符号 Hz 表示。频率与周期的关系是互为倒数,即 $f = \frac{1}{T}$ 。

我国电厂发出的交流电,其频率均为 50 赫,因此 50 赫称为工频。工频交流电的周期为:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02\text{s}$$

(3) 交流电的大小时刻改变。交流电在某一瞬间的数值称为瞬时值,规定用小写字母 i 、 u 、 e 表示。最大的瞬时值称为交流电的**最大值**或**振幅值**,分别用 I_m 、 U_m 、 E_m 表示。

(4) 交流电的瞬时值有正、有负。以图 1-1 为例,正值表示电流 i 从 a 流向 b,负值表示电流从 b 流向 a。所以瞬时值的正、负是表示交流电方向的变化。瞬时值从正变到负,或从负变到正,即交流电改变方向时,必须经过零值。在这一瞬间,电路中没有电流通过。

在今后分析电流、电压以及电路中各种现象时,一定要掌握好交流电随时间变化的这个主要特点,才能理解交流电路中许多不同于直流电路的现象和规律。

交流电与直流电相比有许多优点,例如,可以利用变压器很方便地把交变电压升高或降低,以适应高压输电和低压配电的不同需要。交流电机的构造比直流电机简单,成本较低,运行可靠。某些设备如电镀、电解等需用直流电,可通过整流设备把交流电转换成直流电。所以,各类发电厂发出的都是交流电,工农业及家庭中使用的大都是交流电。

二、交流电的产生

正弦交变电动势是由交流发电机产生的。图 1-3a 为最简单的交流发电机结构示意图。在静止不动的 N 和 S 极之间,装着一个能转动的圆柱形铁芯。在它的上面紧绕着一匝线圈,线圈的两端接在两个铜环上,铜环固定在转轴上,且与转轴绝缘。每个铜环上安装着一个静止的电刷,使线圈与外电路接通以输出电能。

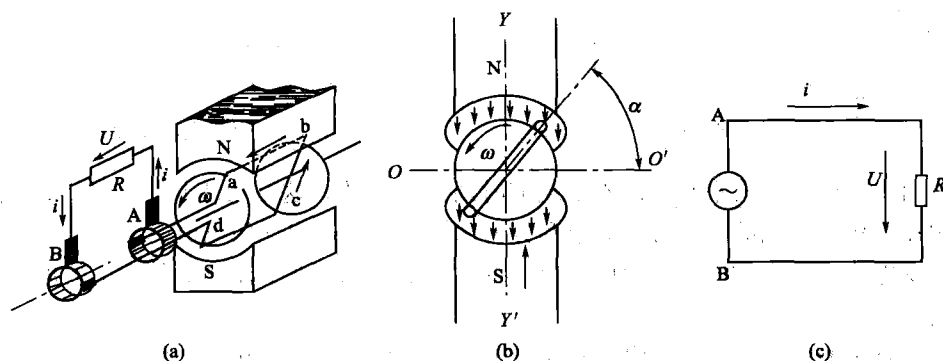


图 1-3 最简单的交流发电机结构示意图

如图 1-3a 所示,发电机中由铁芯、线圈及铜环组成的转动部分称为转子。为了使线圈产生的感应电动势按正弦规律变化,需把 N 极和 S 极做成特殊的形状,其气隙中的磁场分布情况如图 1-3b 所示。在 YY' 处,磁场与转子间的气隙最短,磁阻最小,磁通密度最大为 B_m 值。在 YY' 的两侧,气隙逐渐减小。到达磁极的分界面 OO' 时,磁通密度正好减小到零。这样,在转子圆柱面上的磁通密度就按正弦规律分布,用公式表示为:

$$B = B_m \sin \alpha$$

用汽轮机或柴油机等带动转子作等速旋转时, 线圈导线 ab 与 cd 分别切割磁力线。根据运动导线切割磁力线而产生感应电动势的公式:

$$e = Blv = B_m l v \sin \alpha = E_m \sin \alpha \quad 1-1$$

式 1-1 中 α 表示随时间变化的电角度, 当转子旋转一周, 转子感应电动势变化一周。当线圈放置到 OO' 位置时, 线圈两边不切割磁力线, 电动势 $e=0$; 当转到 YY' 位置时, 磁通密度最大, 电动势 e 达到最大值 E_m 。由此可见, 当转子不停地被带动旋转时, 铜环两端就可以得到按正弦规律变化的交流电动势。

在一对磁极的发电机中, 线圈旋转一周其感应电动势正好变化一周。但在一个两对磁极的发电机中, 线圈旋转一周其导线产生的感应电动势变化二周, 如图 1-4 所示。

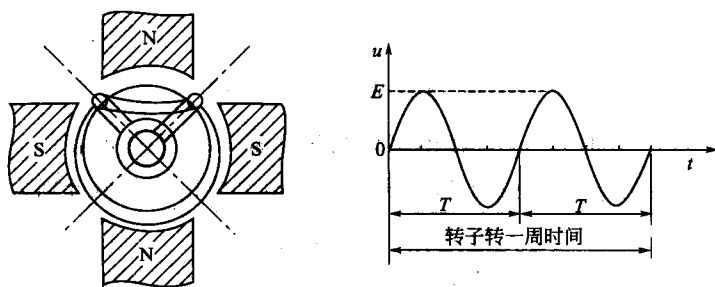


图 1-4 四极交流发电机及其电动势变化曲线

所以, 在 p 对磁极的发电机中, 电角度 α 为机械角度 $\alpha_{机}$ 的 p 倍, 即:

$$\alpha = p \alpha_{机}$$

交变电动势每变化一周, 电角度变化 360° , 用弧度表示为 2π 。因此, 每秒电角度变化即角速度为 $2\pi f$ 弧度, 用 ω 表示。对于 50 赫的交流电, 角速度 $\omega = 2\pi f \text{ rad/s}$, 所以交流感应电动势用数学式表示可以写成

$$e = E_m \sin(2\pi f t)$$

或

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

将 50 赫的正弦交流电动势作用到用电器电路, 电路中电压电流也都是正弦交流电且频率都是 50 赫。

三、交流电的相位、矢量表示与有效值

1. 相位

交流电的变化情况主要取决于以下三个方面: 一是变化的快慢, 用周期或频率表示, 频率越高则变化越快; 二是变化的幅值, 用最大值来表示; 三是变化的起点, 如两个电动势尽管其频率与幅值相同, 但由于变化的起点不同, 则它们在各个瞬间的数值和变化的步调就不一致。

如图 1-5a 所示, 为发电机两个匝数相同的线圈 $a_1 b_1$ 和 $a_2 b_2$, 由于两个线圈是处在同一个磁场中, 并以相同速度切割磁力线, 所以产生的感应电动势 e_1 和 e_2 的最大值与频率都相

等。但因线圈 a_1b_1 和 a_2b_2 是分别固定在转子的不同位置上, 所以当 e_1 达到正最大值时 (t_1 时刻), e_2 并非是最大值, 需经过一段时间才能达到正最大值。由此可见, 电动势 e_1 和 e_2 虽然交变的快慢和幅值都是相同, 但在各瞬间的瞬时值及其变化步调并不一致。

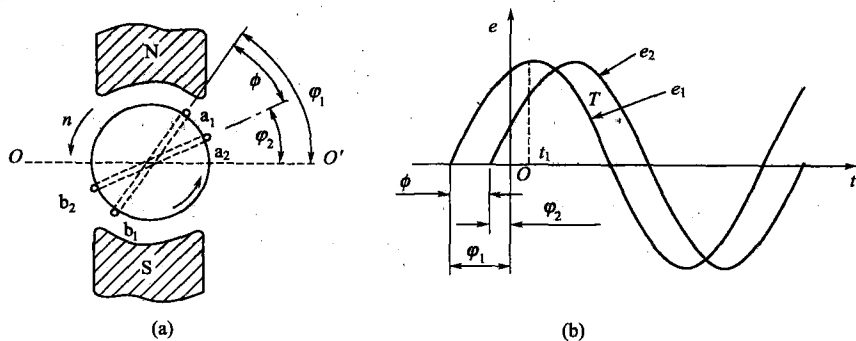


图 1-5 不同相位线圈的电动势

设开始计时 (即 $t=0$ 时), a_1b_1 线圈平面与轴平面 OO' 间的夹角为 φ_1 (电角度); a_2b_2 线圈与 OO' 之间的夹角为 φ_2 , 则在任意时刻 t , 此两电动势的瞬时值分别为:

$$e_1 = E_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$e_2 = E_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

上式中的电角 $(\omega t + \varphi)$ 称为交流电的相位, e 的相位是不相同的。将 $t=0$ 时的相位称为初相位, 简称为初相。两个同频率交流电的相位之差称为相位差, 用 ϕ 来表示, 对于 e_1 与 e_2 的相位差 ϕ 为:

$$\phi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2$$

所以相位差即初相之差, 图 1-5b 的情况是 e_1 相位超前 e_2 的相位 ϕ 角, 或者说 e_2 的相位滞后 e_1 的相位 ϕ 角。如果两个交流电动势的相位相同, 即相位差 $\phi=0$, 则说明它们是同时达到最大值或零值的, 称为同相位; 如果相位差 $\phi=180^\circ$ (π 弧度), 表示两个电动势相反, 一个达到正最大值时, 另一个恰好达到负最大值, 称为反相位。

综上所述, 最大值、频率和初相是确定正弦交流电变化的三个要素, 知道了这三要素后, 它的变化情况也就完全确定了。

【例 1-1】 已知: $e_1 = 311 \sin\left(314 + \frac{\pi}{4}\right)$ 、 $e_2 = 311 \sin(314t)$, 试求上述两个交流电的最大值、频率和初相, 以及两者的相位差。

解: 最大值 $E_{1m} = E_{2m} = 311 \text{ V}$

$$\omega_1 = \omega_2 = 2\pi f = 314 \text{ rad/s}$$

所以

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{初相 } \varphi_1 = \frac{\pi}{4} = 45^\circ; \varphi_2 = 0^\circ$$

e_1 与 e_2 的相位差 $\phi = \varphi_1 - \varphi_2 = 45^\circ$, 即 e_1 超前 e_2 为 45° 。

2. 交流电的旋转矢量表示法

同频率的交流电动势、电压或电流，由于相位的不同不能像直流电那样进行简单的代数相加或相减，如图 1-5 中两个电动势 e_1 与 e_2 的串联相加，不能简单地把两个电动势的最大值与初相位角直接代数相加；如利用两个波形叠加（即同一时刻两个瞬时值相加）又很繁琐。因而工程上常用旋转矢量来表示交流电，以便能简化运算。具体方法如下：在直角坐标中画一矢量，其长度为交流电的最大值，矢量与正向横轴之间的夹角为初相 φ ，矢量以 ω 的角速度逆时针旋转，在任一时刻矢量在纵轴上的投影就是该时刻交流电的瞬时值。

如图 1-6 所示，为两个同频率的交流电流 $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$ 和 $i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$ 的波形与矢量图，若要求 i_1 与 i_2 的串联之和，只要用平行四边形法则把两个矢量相加，合成矢量的长度即为合成电流 i 的最大值，合成矢量对横轴的夹角 φ 即为合成电流 i 的初相，其频率与 i_1 、 i_2 的频率一致，这样合成电流 i 的三要素都确定了。所以不同相位交流电的加减，可以用矢量加减法。

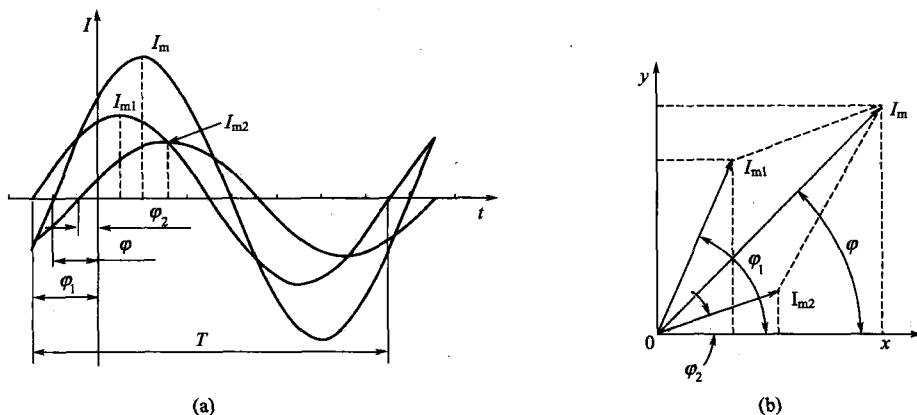


图 1-6 两个同频率交流电流矢量图

3. 有效值

正弦交流电的大小和方向时刻在变，这就给电路计算与测量带来困难。如果我们设法让交流电流 i 和直流电流 I 分别流过两个阻值相同的电阻 R ，若在相同时间内这两种电流在电阻 R 上产生的热量相等，即消耗的电能相等，则直流电流之值可被定为交流电流 i 的有效值，通常就是用有效值来表示交流电流的大小。因此，交流电流的有效值就是热效应与它相同的直流电流之值。

通过数学计算，正弦交流电流的有效值等于其最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍，近似为 0.707 倍。对于正弦电动势，电压的有效值与最大值之间的关系同样是：

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

通常所说的照明电路的电源电压 220 V，电动机的电源电压 380 V，都是指有效值，它们的最大值分别为 $\sqrt{2} \times 220 = 311 \text{ V}$ 与 $\sqrt{2} \times 380 = 537 \text{ V}$ 。一切交流电器、电机铭牌上的额定电压和额定电流都是用有效值表示的，交流电压表和电流表指示的值也都是有效值。

为了表示交流电的矢量性质，我们在电压、电流的有效值符号上面加一箭头或加一个圆点，表示这个量不但要考虑大小而且要考虑相位，如 $\vec{V}$ 、 $\vec{U}$ 、 $\vec{E}$ 或 $\dot{I}$ 、 $\dot{U}$ 、 $\dot{E}$ 等。

第二节 交流电路

一、电阻电路

白炽灯、电炉、电烙铁、变阻器等电路中，影响电流大小的主要是负载的电阻值 (R)，这类电路，属于电阻电路。电路如图 1-7a 所示，当电路所加正弦交流电压为：

$$u_R = U_{Rm} \sin(\omega t)$$

其随时间变化的曲线，如图 1-7b 所示。在任一瞬间流过负载的电流 (i) 可根据欧姆定律算出，即：

$$i = \frac{u_R}{R} = \frac{U_{Rm}}{R} \sin(\omega t) = I_{Rm} \sin(\omega t)$$

上式说明，在正弦电压作用下，电阻中通过的电流也是正弦交流电，且与加在电阻两端的电压同相位，波形如图 1-7b 所示。流过电阻的电流最大值为：

$$I_{Rm} = \frac{U_{Rm}}{R}$$

若把两边同除以 $\sqrt{2}$ ，则其有效值为：

$$I_R = \frac{U_R}{R} \quad 1-2$$

由此可见，在交流电路中，通过电阻的电流有效值等于加在电阻两端的电压有效值除以电阻值，矢量表示，如图 1-7c 所示。

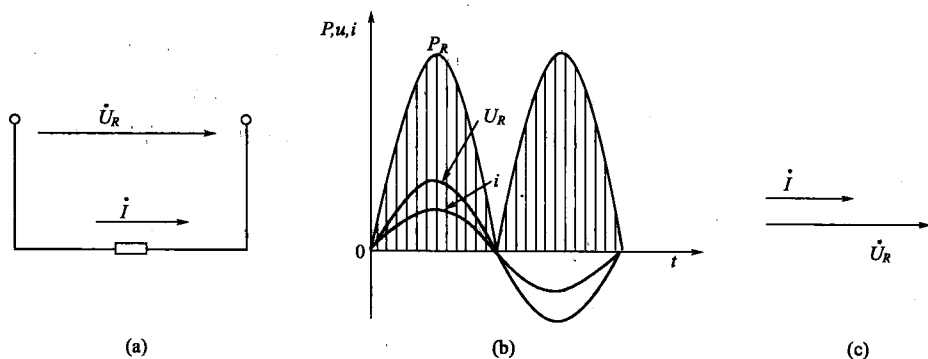


图 1-7 电阻电路矢量及其波形

在任一时刻，负载 R 消耗的瞬时电功率 P_R 等于该时刻的电压 u_R 和电流 i 的乘积，即：

$$P_R = u_R \cdot i$$