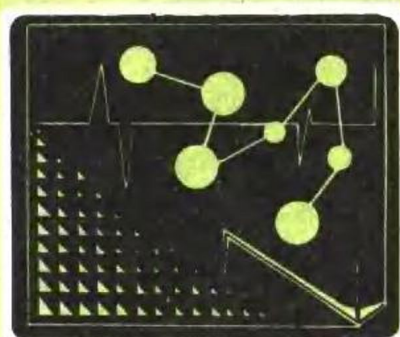


高等师范专科教育学院试用教材

家用电器教程

十三省师专联合编著



山东大学出版社

内 容 提 要

本书是根据目前师范院校技术物理专业教学的需要,在国内尚缺此类教材的情况下,由全国十三省的师专联合编写的具有一定理论深度和实践水平的教学用书。

该书内容全面,编排适当,讲解清楚,适合师专、教院层次的教学要求,并体现了师范性及专科教学的特点。

全书内容包括基础理论、电器器具及电子器具三大部分,共十七章内容。它可作为师专、教育学院、职大、中技师资培训班教材使用。对于中级家电专业技术维修人员也是一本较好的参考用书。

家用电器教程

十三省师专联合编著

*

山东大学出版社出版发行

济南市北园印刷二厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 插页 6 印张 20 字数 677 千

1989 年 7 月第 1 版

1989 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—7000 册

ISBN7—5607—0275—9/7N·1

定价: 6.40 元

家用电器教程

主 审：梁绍荣教授

杨圭南教授

(以姓氏笔划)

主 编：樊西汉

副主编：王炳根 齐鲁祥 张恩宜

编 委：王安福 李寿如 金正文

高 鹏 郭文达 管玉国

前 言

目前家用电器工业作为一个新兴的行业,已在我国广阔的大地上崛起,并方兴未艾地发展着。近年来,遍布全国二十几个省市的数千家工厂上马或转产家用电器,洗衣机、电风扇、电冰箱、录音机、电视机、录像机等几十种家电产品相继投放市场。产品的门类之多,更新之快,影响之大,着实引人注目。

十一届三中全会以来,随着我国国民经济的迅速发展,人民生活水平的日益提高,各类家电产品已进入城乡千家万户,促进了我国家庭生活的现代化。随之而生,人们对有关家电的基本原理、构造、使用、维护、查修诸方面知识的了解,已相当迫切。在此形势之下,我们认为:高等师范院校物理专业将“电子、电工”的教学内容拓宽到家电技术领域势在必行,这样才能使我们所培养出的学生在将来能更好地适应和胜任各类中学、中专和中技的相关课程的教学工作、满足社会对教师的求教。鉴于此,在目前国内尚缺这类教材的情况下,我们组织了福建、浙江、江苏、湖南、湖北、安徽、山东、河北、陕西、辽宁、四川、江西、黑龙江等省的部分师专中具有长期丰富教学经验的教师共同编写了《家用电器教程》一书,以满足当前的教学亟需。

全书包括基础理论(共五章);电器器具(共六章);电子器具(共六章)等三部分内容。

本书的编写充分注意了我国当前和近期家电生产和供需的实际情况。遵循精选内容、便于教学、体现师范专科学校的教学特点等原则,力求做到:文字通顺、简炼,重点突出,物理概念,基本理论,实践技巧的阐述较为准确、清楚,便于自学。

本书可作为师专、教育学院物理系技术物理班、普通物理班《电工、电子》基础课的后续课或选修课教材(可根据不同层次的教学要求适当取舍)及职大、职业中(专)师资培训班的教材使用。它对于中级家电技术、维修人员来讲亦是一本较好的自学参考书。

参加本书编写工作的(以姓氏笔划为序)有:

王安福、王炳根、丘双安、冯玉良、齐鲁祥、刘一林、李寿如、陈昌栋、苏世栋、邸海珠、杜洪慈、金正文、高鹏、张恩宜、郭文达、管玉国、樊西汉等同志。

本教材从讲义至成书的过程中始终得到北京师范大学物理系梁绍荣教授的热情支持和关怀。同时也得到了编者所在校、系领导的大力支持。书稿完成后梁先生两次同电子学系杨圭南教授共同细致审查了全部书稿内容,并提出了指导性、建议性地意见。再经作者认真讨论,反复修改后正式出版。目前省内外已有近百余所兄弟院校选作教材试用,编者在此一致并致以衷心的感谢!

限于编者水平,时间仓促,书中缺点和错误在所难免,冀望使用本书的同志随时补正,并不吝赐教。

编 者 于济南

1989·3月 于济南

目 录

第一章 电器基础 (1)	§ 8·1 家用电冰箱的分类与规格 (110)
§ 1·1 基本电工量 (1)	§ 8·2 压缩式电冰箱的基本构造 和工作原理 (112)
§ 1·2 直流电流和直流电路 (2)	§ 8·3 家用电冰箱的控制 (118)
§ 1·3 正弦交流电与正弦交流电流 (4)	§ 8·4 家用电冰箱的选择与维修 (128)
第二章 变压器与电动机 (16)	第九章 窗式空调器 (132)
§ 2·1 变压器 (16)	§ 9·1 空气调节原理 (132)
§ 2·2 交流电动机 (21)	§ 9·2 窗式空调器的基本结构 和工作原理 (133)
§ 2·3 直流电动机 (27)	§ 9·3 窗式空调器的电控原理 (135)
§ 2·4 通用电动机 (30)	§ 9·4 窗式空调器的选择与安装 (136)
§ 2·5 电动机的调速 (32)	§ 9·5 窗式空调器的使用、 保养与故障处理 (137)
第三章 家用电器的电热原理 (36)	第十章 家用吸尘器 (141)
§ 3·1 电阻式电热原理及元件 (36)	§ 10·1 吸尘器的类型与规格 (141)
§ 3·2 红外式电热原理及元件 (39)	§ 10·2 吸尘器的工作原理 与基本构造 (142)
§ 3·3 感应式电热原理及元件 (42)	§ 10·3 吸尘器的技术标准 (143)
§ 3·4 微波式电热原理及元件 (43)	§ 10·4 吸尘器的选购、使用 与故障排除 (144)
第四章 家用电器的制冷基础 (45)	第十一章 家用电炊器具 (147)
§ 4·1 平衡态与状态参量 (45)	§ 11·1 电饭锅、电烤炉 (147)
§ 4·2 比热、显热、潜热 (45)	§ 11·2 电磁灶、微波炉 (150)
§ 4·3 热传递及热力学定律 (47)	第十二章 晶体管收音机 (153)
§ 4·4 气—液相变 (49)	§ 12·1 无线电通信的基本原理 (153)
§ 4·5 制冷原理与方法 (52)	§ 12·2 调制原理 (153)
第五章 家用电器的电子基础 (57)	§ 12·3 晶体管超外差式调幅 收音机分析 (156)
§ 5·1 电子元件 (57)	§ 12·4 晶体管调频收音机分析 (167)
§ 5·2 基本单元电路 (62)	§ 12·5 集成电路(IC)收音机 (171)
§ 5·3 集成运算放大器 及常用单元电路 (74)	§ 12·6 超外差调幅收音机的 安装技术 (172)
第六章 电风扇 (82)	§ 12·7 收音机故障的检修技术 (175)
§ 6·1 电风扇的种类和规格 (82)	§ 12·8 调频立体声收音机简介 (179)
§ 6·2 台扇的基本结构和工作原理 (86)	第十三章 盒式录音机 (183)
§ 6·3 电风扇的调速与控制 (90)	§ 13·1 录音机简介 (183)
§ 6·4 电风扇的故障与维修 (94)	§ 13·2 盒式录音机的基本原理 (184)
第七章 洗衣机 (96)	§ 13·3 盒式录音机电路分析 (188)
§ 7·1 洗衣机的洗涤原理 (96)	§ 13·4 盒式录音机的驱动机构 (198)
§ 7·2 洗衣机的类型与规格 (97)	
§ 7·3 波轮式洗衣机 (98)	
§ 7·4 滚筒式洗衣机 (101)	
§ 7·5 洗衣机的控制 (102)	
§ 7·6 洗衣机的保养与检修 (107)	
第八章 家用电冰箱 (110)	

§ 13·5 盒式录音机的保养与检修 ... (203)	故障检修 (261)
第十四章 黑白电视机 (209)	第十六章 家用录象机和摄象机 (264)
§ 14·1 黑白电视原理 (209)	§ 16·1 录象机基本知识 (264)
§ 14·2 黑白电视接收机原理 (215)	§ 16·2 视频信号记录原理 (266)
§ 14·3 集成电路电视机整机 电路分析 (234)	§ 16·3 VHS 型录象机视频 信号处理系统 (269)
§ 14·4 集成电路电视机的 调试与检修 (237)	§ 16·4 VHS 型录象机机械 及控制系统 (282)
第十五章 彩色电视接收机 (239)	§ 16·5 伺服系统 (290)
§ 15·1 彩色电视原理 (239)	§ 16·6 录象机的射频电路 (295)
§ 15·2 彩色电视机的组成与 电路分析 (241)	§ 16·7 家用录象机维护与检修 (297)
§ 15·3 集成电路彩色电视机 (154)	第十七章 其他小型电子器具 (302)
§ 15·4 彩色电视机的选购、 使用与保养 (260)	§ 17·1 数字电子钟 (302)
§ 15·5 彩色电视机调试与	§ 17·2 电子琴 (305)
	§ 17·3 电子闪光灯 (307)

第一章 电路基础

目前家用电器设备种类繁多,用途各异,但就基本功能来讲,它们都是将电能转换为其他形式的能(如机械能、光能、热能和声能等),使之成为服务于人类的用具。因此,学习使用和维修家用电器必须具备一定的电路基础知识。

§ 1·1 基本电工量

一、电路的基本概念

电路就是电流通过的路径。无论是简单的电路,还是复杂的电路,均须由**电源、负载和中间环节**三部分组成,如图 1-1 所示。

1. 电源 电源是一种将非电能转换为电能的装置。如蓄电池、发电机、热电偶、太阳能电池等。它们分别将化学能、机械能、热能、光能转换为电能。

负载 指将电能转换为其他形式能量的装置。如电灯是将电能转换为热能和光能,电动机是将电能转换为机械能。

中间环节 包括联接导线、开关、熔断器等,是用来输送、分配和控制电能的。

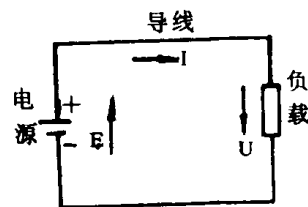


图 1-1 电路的组成

二、基本电工量

电流 电荷的定向运动形成电流。由于电流的存在才能有非电场和电场能的转换。这些转换产生电热效应、电磁效应等等。家用电器主要是利用了非电场能和电场能的这些转换而进行工作的。

历史上把正电荷运动的方向规定为电流的正方向,沿用至今。实验表明,正电荷沿某一方向运动与等量负电荷沿相反方向运动所产生的电磁效应是相同的(霍尔效应例外)。

电流的强弱用电流强度 I 来描述。**单位时间内通过导体任一横截面的电量,叫做电流强度。**如果在一段时间 Δt 内,通过导体任一横截面的电量是 Δq 。那么电流强度就是 $I = \Delta q / \Delta t$

$$\text{或取 } \Delta t \rightarrow 0 \text{ 的极限} \quad I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

在国际单位制中,电流强度的单位为安培,简称安(A)。有些实际场合,如在电磁测量和电子学中,往往嫌这一单位太大,常用毫安(mA)及微安(μA)作为电流强度的单位,其换算关系为: $1 \text{ (mA)} = 10^{-3} \text{ (A)}$ $1 \text{ (}\mu A\text{)} = 10^{-6} \text{ (A)}$

电压、电位 如上所述,电荷在电场力作用下运动形成电流,在这个过程中,电场力推动电荷运动做功。为描述电场力对电荷做功的本领,在此引入电压的概念。在如图 1-2 所示的一段电路中,设正电荷 dq 从 a 运动到 b 时,电场力做的功为 dW ,则 a 、 b 两点之间的电压

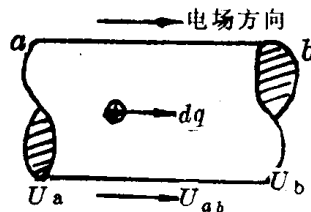


图 1-2 电压的概念

$$U_{ab} = dW / dq \quad (1.1.2)$$

a 、 b 两点之间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点时所做的功。在国际单位制中,电压的单位为伏特,简称伏(V)。另外常用的单位还有千伏(KV)及毫伏(mV)、微伏(μV)。

$$1 \text{ (KV)} = 10^3 \text{ (V)}; \quad 1 \text{ (mV)} = 10^{-3} \text{ (V)}; \quad 1 \text{ (}\mu V\text{)} = 10^{-6} \text{ (V)}$$

不随时间变化的电压是直流电压,规定用大写字母 U 表示。

电位在物理学中被称为电势,是描述电场中某一点性质的物理量,而且是相对于确定的参考点而言的。电场中某点 a 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。也等于单位正电荷在该点的电势能。即

$$U_a = \frac{1}{q} \int_a^0 \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_a^0 \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (1.1.3)$$

在国际单位制中,电位的单位是伏特(V)。电位是一个相对量,必须在选定参考点(零电位点)以后,才能确定电位的值。参考点可以任意选定。在物理学中,是选择无限远处或大地作为参考点。在电工学中,

如果所研究的电路里有接地点，通常就选择接地点作为参考点，用符号“⌑”表示。在电子线路中常取若干导线的交汇点或者机壳作为电位的参考点，并标以符号“⊥”。在一般原理性电路中，可选取多条导线汇集的公共点作为参考点。必须注意，在研究同一问题时，参考点一经选定，其余各点的电位也就确定下来了，参考点也就不能再更改了。

电压与电位是两个不同的物理概念，二者虽有区别，但又有本质上的联系。电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。**电路中两点之间的电压就是这两点的电位之差。**例如，在图 1-3 中选取电源负极 O 点作为参考点，a、b 两点的电位分别是 U_a 和 U_b ，则 a、b 两点之间的电压 $U_{ab} = U_a - U_b$ 。因此，**电压又叫电位差。**电压（或电位差）与参考点的选取是无关的。

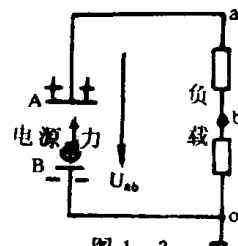


图 1-3

电源电动势 如图 1-3 所示，在外电路上，正电荷在电场力作用下是从高电位 A 板经过负载向低电位 B 板移动形成电流。于是两极板上的正负电荷因中和而逐渐减少，从而两极板的电势差也逐渐减小直至趋于零，导线中的电流亦将逐渐减弱直到停止。可见，仅有静电力作用是不能形成稳恒电流的。因此，要形成稳恒电流，在电源内部必须有一种本质上不同于静电力的力（称为**电源力**），能够不断地分离正负电荷以补充两极板上减少的电荷，即保持两极板上有一个稳定的正、负电荷堆集，从而使之维持一恒定的电势差。在化学电池中，这种力是化学力；在发电机中，这种力是电磁感应作用提供的力。为了表征这种电源力分离正、负电荷做功的能力，我们引入一个称为电动势的物理量。其定义：**电源中非静电力移送单位正电荷由负极经电源内部到正极时所做的功，称为电源电动势，记作 ε ，即**

$$\varepsilon = \int_{-}^{+} \vec{E}_{非} \cdot d\vec{l} \quad (1.1.4)$$

电动势是标量，为了研究问题方便通常规定在电源内部由负极指向正极的方向为电动势的方向，即为电位升高的方向。在电路图中用图 1-4 所示的符号表示。图中(a)表示直流电源；(b)表示交流电源，箭头表示电动势的方向。

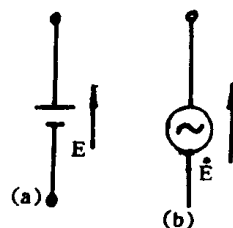


图 1-4 电源符号

在国际单位制中，电动势的单位为伏特(V)。

需要指出的是电动势与电位差虽然单位相同，但却有着本质的区别。前者是描述电源本身非静电力做功的本领或者说是表征电源将其他形式的能量转换成为电能的本领的物理量。而电位差却是描述静电场本身性质的物理量。

功率 组成电路的目的就是为了进行电能与其他形式能量之间的转换。例如，洗衣机中是将电能转换为机械能，电视机则是电能转换为光、声能等。为了表征电器做功的本领，在电路的分析与计算中，常用电功率这个物理量来表示。即在单位时间内电场力所做的功就是电功率，用字母 P 表示。若电器设备中，电场力在时间 dt 内所做的功为 dW，则

$$P = dW/dt \quad (1.1.5)$$

在国际单位制中，功率的单位是瓦特，简称瓦(W)。另外常用的单位还有千瓦(KW)和毫瓦(mW)。

$$1KW = 10^3W; \quad 1mW = 10^{-3}W$$

电功 它是指一段时间内电路所消耗(或产生)的电能。用字 W 表示。则

$$W = P \cdot t \quad (1.1.6)$$

在工程技术上，电功的单位经常不用焦耳，而是用千瓦·小时来表示。

§ 1.2 直流电流与直流电路

一、直流电流

大小和方向不随时间变化的电流称为直流电流。如图 1-5 所示。通过直流电流的电路称为直流电路。

二、直流电路中的基本定律

1. 欧姆定律 在分析和计算各电路时，往往需要定量地确定电路中的电压和电流。著名物理学家欧姆首先由实验概括出一条规律：**线性电路两端的电压与其中通过的电流成正比，与这段电路的电阻成反比，即**

$$I=U/R \quad \text{或} \quad U=IR \quad (1.2.1)$$

式中 R 为电阻,单位为欧姆。根据电路的结构形式的不同,为计算方便起见,有时常用欧姆定律的另一种表达式:

$$I=gU \quad (1.2.2)$$

式中比例系数 g 称为电导,是衡量物体导电性能的物理量,单位为西门子。

2. 基尔霍夫定律 它包括节点①电流定律(KCL)和回路②电压定律(KVL),

节点电流定律 对电路中的任意节点[如图1-7(a)]流入(或流出)此节点的电流的代数和恒等于零。

$$\text{即} \quad \sum I=0 \quad (1.2.3)$$

或者说,流入该节点的电流等于流出该节点的电流。

回路电压定律 在任意的闭合回路里[如图1-7(b)],电源的电动势 E 表示电位升,各段电阻的电压 IR 则表示的是电位降。在同一瞬时,沿任一闭合回路绕行一圈,电动势的代数和等于电压降的代数和,即

$$\sum IR = \sum E \quad (1.2.4)$$

使用以上两式时,应根据各量的正方向确定它们的正、负号。在(1.2.3)式中,凡电流的正方向指向节点的取正号,背向节点的取负号;在(1.2.4)式中,应先选定一个回路的绕行方向(顺时针方向或逆时针方向),电流或电动势的正方向与回路绕行方向一致者取正号,相反者取负号。

三、直流电路的分析与计算方法

1. 支路③电流法 它是以电路中各支路电流为直接求解对象,应用基尔霍夫一、二定律列出电路方程,进而解出各支路电流的方法。下面我们举例说明支路电流法的具体解题步骤。

例1 电路如图1-7所示。电动势 $E_1 = 140$ 伏、 $E_2 = 90$ 伏,电阻 $R_1 = 20$ 欧、 $R_2 = 5$ 欧、 $R_3 = 6$ 欧。求 R_3 所在支路上的电流 I_3 。

解 ① 首先假定出所求各量的正方向,如图[1-6所示]。

② 列写 KCL、KVL 独立方程。当电路节点数是 n 、支路数是 m 时,利用两定律可分别列出 $(n-1)$ 个节点电流方程和 $m-(n-1)$ 个回路电压方程。

在图1-6所示的电路中,具有两个节点 a 和 b ,因此,可列出一个独立的 KCL 方程,即 $I_1 + I_2 = I_3$ 。为使电压方程独立,应用第二定律列方程时可按照网孔④列 KVL 方程,均取顺时针方向为绕行方向。

对网孔 abE_1a $I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2$; 对网孔 aR_3b $I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$

③ 将已知数代入方程,并联立求解。利用行列式解由上述三独立方程组成的方程组

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 20I_1 - 5I_2 = 50 \\ 5I_2 + 6I_3 = 90 \end{cases}$$

即可求出三个支路上的电流分别是 $I_1 = 4(A)$ 、 $I_2 = 6(A)$ 、 $I_3 = 10(A)$ 。三个电流均为正值,表明电流的实际方向与图中所选绕行方向相同。

2. 叠加原理 其内容是 由线性元件和多个电源组成的线性电路中,任何一个支路中的电流(或电

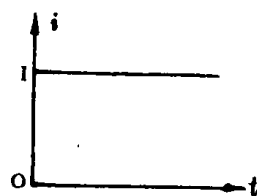


图1-5 直流电流

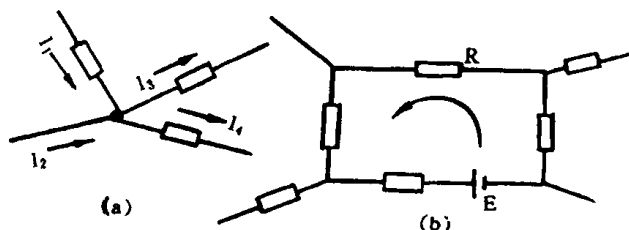


图1-6 基尔霍夫定律

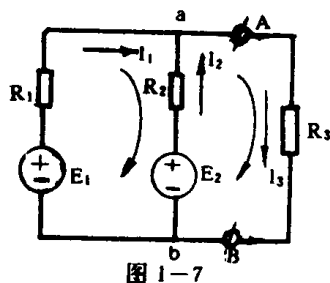


图1-7

① 节点 电路中三条或三条以上连接有电气元件的导线的交点称为节点。如图1-7(a)中的A点。

② 回路 电路中任意一个闭合的路径叫回路。

③ 支路:连接任意两个节点之间的一段电路叫支路。

④ 网孔:指不框入任何支路的回路。

压)等于各个电源单独作用时,在该支路中所产生的电流(或电压)的代数和。

应用叠加原理可以把一个多电源作用的线性电路分别简化成许多个单电源作用的线性电路。

叠加原理在线性电路分析中起着十分重要的作用,它是分析线性电路的基础。线性电路的许多定理是由叠加原理导出的。叠加原理的重要性不在于应用它来计算复杂电路,而在于它是分析线性电路的普遍原理,很多线性电路的分析计算就是依据叠加原理来进行的。

应用叠加原理时应注意的几个具体问题:①所谓单独作用是指仅保留其中一个而将其它电动势拿掉并作短接(如遇电激流则开路),但该支路的所有电阻均应保留。

②“代数和”中电流正、负值的确定:当原电路中支路电流方向确定之后,分解电路中对应分支电流正方向如与原支路电流方向一致者,就取正值;反之取负值。

③叠加原理仅仅适用于线性电路,而不能用于非线性电路。这是因为在非线性电路中,电流和电压之间不是正比关系。

即使是在线性电路中叠加原理也只用于计算电流和电压,而不能用来计算功率,因为功率是和电流(或电压)平方成正比的。

3. 戴维南定理 任何不管是简单的还是复杂的网络①只要它有两个向外伸出的端钮,统称为二端网络。二端网络视其内部是否含有电源而分为有源二端网络和无源二端网络。如图 1-7 所示,图中 A、B 以左部分为有源二端网络,而右边部分为无源二端网络。

戴维南定理的内容是 任意一个线性有源二端网络,对于外接负载来说可以用一个简单的电压源来等效代替。该电压源的电动势 E 等于有源二端网络的开路电压 U_0 ,电压源的内阻 R_0 等于二端网络内部电源不作用时(恒压源短路、恒流源开路,此时之二端网络已变为无源二端网络)A、B 二端的等效电阻。

在一个复杂电路中,如果只要求计算某一个支路的电流和电压,这时应用戴维南定理求解则十分方便。下面举例说明。

例 2. 试用戴维南定理计算图 1-7 中,流过 R_3 的支路电流 I_3 。

解 ① 移开 R_3 ,求 A、B 两点间的开路电压 U_0 [见图 1-8(a)],此时电路中的电流

$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{140 - 90}{20 + 5} = 2 \text{ (A)}$$

$$U_0 = U_{AB} = E_2 + IR_2 = 90 + 2 \times 5 = 100 \text{ (V)}$$

U_0 为正值,表明图示正方向与实际极性相同,即 A 点电位高, B 点电位低。

② 求 R_0 ,此时 R_3 支路仍断开。且

E_1 、 E_2 二恒压源作 0 值处理[见图 1-8(b)]。相对于 A、B 端口处的等效电阻 R_{ab} 即为 R_0 。

$$R_0 = R_{AB} = R_1 // R_2 = (20 \times 5) / (20 + 5) = 4 \text{ (}\Omega\text{)}$$

③ 得到化简后的电路如图 1-8(c) 所示,注意等效电源的极性是使 A 点为 +、B 点为 -。

根据欧姆定律可得
$$I_3 = \frac{E_0}{R_0 + R_3} = \frac{100}{4 + 6} = 10 \text{ (A)}$$

必须注意,我们以上所进行的变换只是对 R_3 支路等效,而对被变换的部分电路本身不等效。因此,不能用来计算其它支路中的电流。

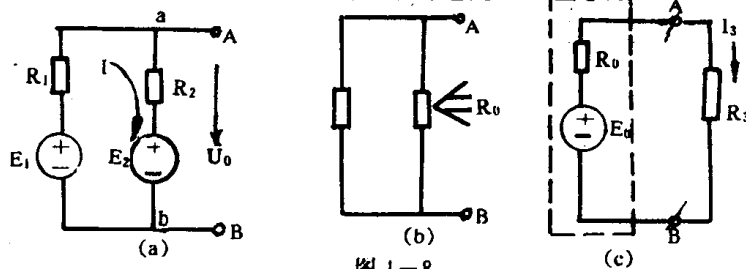


图 1-8

§ 1.3 正弦交流电与正弦交流电路

大小和方向都随时间作周期性变化的电动势、电压、电流分别称为交变电动势、交变电压、交变电流统称为交流电。

在生产实践和人们的日常生活中,最常见的是按正弦规律变化的交流电,称为正弦交流电。以正弦交流电为例,一个完整的波形如图 1-9(b) 所示,它的数学表达式为

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \text{ A}$$

(1.3.1)

① 网络:即复杂电路的意思。

由于交流电的方向是在不断变化的,在电路图上必须给它假定参考方向,并用箭头标出。当某一瞬时,交流电的真实方向和假定的参考方向一致时,该时刻交流电的值为正;反之为负。在图 1-9(a) 中,我们假定电流 i 的参考方向从 A 流向 B,在 0 到 t_1 的这段时间内,电流 i 的真实方向从 A 流向 B,与参考方向一致, i 为正值;而在 t_1 到 t_2 这段时间内电流 i 的真实方向从 B 流向 A,与参考方向相反, i 为负值。

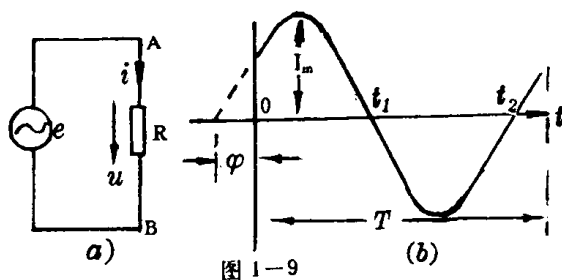


图 1-9

一、正弦交流电的特征

1. 瞬时值和极大值 (1.3.1) 式中 i 表示交流电流的瞬时大小,叫作**瞬时值**,一般用小写字母表示; I_m 表示正弦电流振幅的大小,叫作**极大值或幅值**,一般用带脚标 m 的大写字母表示。

2. 周期、频率、角频率 它们都是用来衡量交流电变化快慢的物理量。

周期 交流电交变一次所用的时间称为**周期**,用符号 T 表示。周期越短,表示交流电变化越快。周期的单位是秒(s)。我国电力网的交流电周期为 0.02(s)。

频率 单位时间内交流电变化的次数称为**频率**,用符号 f 表示。频率愈大,交流电变化愈快,反之愈慢。频率的单位是赫兹简称赫(Hz)。赫兹的 10^3 倍称为千赫(KHz),赫兹的 10^6 倍称兆赫(MHz)。根据定义,显然频率与周期互为倒数。即

$$T = 1/f$$

我国及世界上大多数国家工业电力网供给的交流电频率(简称**工频**)都是 50Hz。在不同的技术领域中,则使用不同频率的交流电如音频讯号的频率为 20Hz~20KHz;电热用电的频率为 50~10⁶Hz;无线电广播的中波波段,频率为 535KHz~1605KHz;电视广播的频率在几十兆赫到几百兆赫之间。

角频率 正弦交流电变化一个周期,相当于正弦函数变化 2π 弧度,为避免与机械角度相混淆,把它称作**电角度**。

单位时间内交流电变化的电角度为电角速度,用 ω 表示,单位是弧度/秒(rad/s)。因为正弦交流电一个周期 T 内经历了 2π 弧度的电角度[见图 1-9(b)],所以角频率为

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi f \quad (1.3.2)$$

3. 相位、初相位、相位差

交流电量在随时间变化的过程中,不同的时刻,对应不同的电角度,从而得到不同的瞬时值,所以正弦交流电表达式中的 $(\omega t + \varphi)$,反映了该量在交变过程中瞬时值的变化进程。我们把 $(\omega t + \varphi)$ 称为**交流电的相位**。相位是随时间变化的角度,所以又叫**相位角**。

$t=0$ 时的交流电的相位称为**初相位**,如(1.2.1)式中的 φ 角。初相角 φ 的大小和正负,与所选择的时间起点有关。通常规定正弦交流电由负值变化到正值经过的零点为该交流电的**零点**,由交流电零点到计时起点之间对应的电角度即为相位角。从交流电的零点所在位置来看,如果正弦零点在纵坐标轴的左侧时, φ 角为正;在纵坐标轴右侧时, φ 角为负。

综上所述一个正弦交流电与时间的函数关系可用它的变化频率、初相位和振幅三个量表示它的基本特征,因此这三个量称为**正弦交流电的三要素**。

相位差 当研究两个同频率的交流电关系时,常需要比较它们的相位。两个同频率的正弦交流电在任何瞬时的相位角之差称为**相位差**。

$$\begin{aligned} \text{设同一交流电路中的电压和电流的瞬时值表达式分别为} \begin{cases} u = U_m \sin(\omega t + \varphi_1) \\ i = I_m \sin(\omega t + \varphi_2) \end{cases} \text{则它们之间的相位差 } \varphi \text{ 为} \\ \varphi = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2 \end{aligned} \quad (1.3.3)$$

可见相位差的大小与时间 t 、角频率 ω 无关,它仅决定于两个同频交流量的初相位。

如果交流电中的一个比另一个先到达正的最大值或零值,那么在相位上就说前者“**超前**”于后者一个 φ 角,或者说后者“**滞后**”于前者一个 φ 角。如果两个交流电具有相同的初相位,即 $\varphi = 0$,则它们将同时到达零或最大值,那么我们就称二者“**同相**”。如果两交流电的相位差 $\varphi \neq \pi$,则它们之中一个量到达正的最大值的同时,另一个量刚好到达负的最大值,那么我们就称二者“**反相**”。

频率不同的交流电,相位差不是固定的,在此不予讨论。

4. 交流电的有效值 正弦交流电的大小和方向是随时间而变化的, 不论用瞬时值或最大值都不能反映它在电路中作功的实际效果, 而且计算和测量也不方便。为此在电工技术中需引入有效值这一概念。

交流电的有效值是根据电流的热效应来确定的。既给某一阻值为 R 的电阻分别通以直流电流 I 和交流电流 i 如果在相同的时间内电阻所消耗的电能相等, 则这两个电流是等效的, 这时的直流电流的数值就称为该交流电的**有效值**。它们之间的关系可用焦耳——楞次定律来确定。其数学表达式为

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (1.3.4)$$

上式表明交流电流的有效值等于交流电流的平方在一个周期内的平均值的平方根, 简称**方均根值**。

交流电的有效值分别用大写字母 U 、 I 、 E 表示。平时我们所讲的交流电压 220 伏、380 伏以及仪表刻度值, 变压器、电机铭牌上的标定值等都是指的有效值。今后如不作特别说明所遇电压、电流等量值均指有效值而言。

对按正弦规律变化的交流电, 设其表示式为 $i = I_m \sin \omega t$ 代入 (1.3.4) 式后可得:

$$I = I_m / \sqrt{2} \quad \text{同理} \quad U = U_m / \sqrt{2} \quad E = E_m / \sqrt{2} \quad (1.3.5)$$

二、正弦交流电的表示法

前述一正弦交流电既可用三角函数式表示, 亦可用波形图来表示, 即都能较完整地表示出该交流电的三要素。但在分析计算交流电路时, 如若采用三角函数表示法计算几个正弦交流电的和或差则要进行繁琐的三角运算, 很不方便。如若采用波形图法求解, 就要在同一时刻下进行逐点相加或减, 这样既费时间, 其结果也不准确。为此, 在电工技术中, 常采用矢量表示法和相量(或复数)表示法来简化计算。现介绍如下。

1. 旋转矢量表示法 设有一正弦交流电流为 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$, 用旋转矢量表示的方法如下: 以直角坐标系的 O 点为原点, 取矢量的长度为振幅 I_m , 矢量的起始位置与横轴之间的夹角为初相角 φ , 并以角频率 ω 绕原点按逆时针方向旋转, 这样, 该矢量在旋转过程中, 每一瞬时纵轴上的投影即代表正弦交流电电流在该瞬时的数值, 如图 1-10 所示。根据上述方法, 只要给定一个正弦交流电的表达式, 就可作出对应于它的旋转矢量。反之如果给定一个旋转矢量, 也可写出它所表示的正弦交流电的瞬时值表达式。

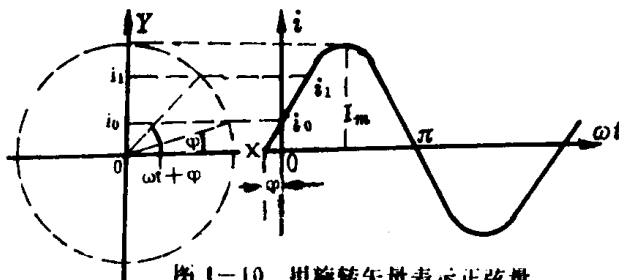


图 1-10 用旋转矢量表示正弦量

在电工学里, 矢量用幅值上方加一短横线

表示, 如 $\bar{I}_m$ 、 $\bar{U}_m$ 、 $\bar{E}_m$, 以便与其他量值区别。为分析计算方便, 通常只用初始位置 ($t = 0$) 时的矢量来表示某一交流电。

应用上述方法可以将同一电路中的几个交流电量在同一个坐标平面内表示出来, 这种表示交流电的几何图形称为**矢量图**。利用矢量图可以方便地进行两正弦交流电的计算。

例 3 已知两正弦交流电流分别为 $i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$ 用旋转矢量法求 $i = i_1 + i_2$
 $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$

解 ① 首先用矢量分别表示出正弦交流电流 i_1 和 i_2 , 如图 1-11 中的 $\bar{I}_{1m}$ 和 $\bar{I}_{2m}$ 。

② 利用平行四边形法则求出矢量 $\bar{I}_{1m}$ 和 $\bar{I}_{2m}$ 的合矢量 $\bar{I}_m$ 。从几何关系中我们可分别求出该矢量的长度及其与横轴的夹角如下:

$$I_m = \sqrt{(\alpha x)^2 + (\alpha y)^2} \\ = \sqrt{(I_{1m} \cos \varphi_1 + I_{2m} \cos \varphi_2)^2 + (I_{1m} \sin \varphi_1 + I_{2m} \sin \varphi_2)^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\alpha y}{\alpha x} = \frac{I_{1m} \sin \varphi_1 + I_{2m} \sin \varphi_2}{I_{1m} \cos \varphi_1 + I_{2m} \sin \varphi_2}$$

③ 根据求得的 I_m 和 φ 的值便可写出矢量 $\bar{I}_m$ 的瞬时值表达式。

由此可见, 正弦交流电用旋转矢量表示后可借用矢量法把三角函数的运算转化为几何作图的运算, 这样在计算过程中就避开了复杂的三角运算, 从而大大简化了计算过程。

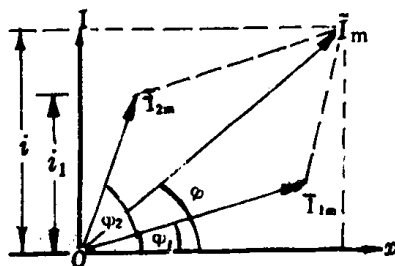


图 1-11 正弦矢量运算图

2. 相量表示法 旋转矢量法在处理正弦交流电的加、减运算方面较三角函数法或波形图法要方便得

多,但对于乘、除运算却并不适宜。如果采用复数表示正弦交流电,则其运算方法要简便得多。

前述,一个正弦交流量有三个要素:振幅(或有效值)、初位相、频率,而对于同频率正弦交流电的合成,频率总是不变的,即频率是不参与计算的,可以暂时把它舍弃,仅用有效值与初位相两个量即可完整地把一个正弦交流电表示出来。复数也具有两个量,正好可用来表示上述的两个量,例如用指数形式的复数的模表示正弦交流电的有效值,用幅角表示正弦交流电的初位相。因此用复数可以表示正弦交流电。这种表示正弦交流电的复数称为相量。用大写字母上面加一点表示,以区别于其他不代表正弦交流电的复数。如 I 、 i 、 E 等。

下面我们先来规定正弦交流电与相量之间的对应关系:例如正弦电流 $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ 可以用相量

$$\dot{i} = I e^{j\varphi} = I \angle \varphi \quad (1.3.6)$$

来表示。注意,在上述规定的相量表示式中舍弃了正弦交流电的瞬时值,则只需把(1.3.6)式乘以 2 变为幅值和时间因子 $e^{j\omega t}$ 即得

$$\sqrt{2} I e^{j\omega t} = I_m e^{j(\omega t + \varphi)} = I_m \cos(\omega t + \varphi) + j I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1.3.7)$$

然后取上式的虚数部分即为正弦交流电的瞬时值。

同理正弦交流电压 $u = U_m \sin(\omega t - \varphi_u)$ 也可用相量表示

$$\dot{U} = U e^{-j\varphi_u} = U \angle -\varphi_u \quad (1.3.8)$$

研究多个同频正弦交流电的关系时,可以按照各正弦交流电的大小和初相位将它们相量表示在同一个复平面内,这种相量在复平面内的几何表示称为相量图,如图 1-12 所示。相量图能清楚地展示出各正弦交流电的大小、相位关系。因此在分析、计算复杂交流电路时常借助于它来进行求解。

例 4 已知两正弦电流 $i_1 = 5\sqrt{2} \sin(\omega t + 70^\circ)$ A 和 $i_2 = 10\sqrt{2} \sin(\omega t - 60^\circ)$ A, 求合成电流 $i = i_1 + i_2$

解 根据上述规定,先将两正弦电流分别用相量表示。并展成代数型

$$\dot{I}_1 = 5e^{j70^\circ} = 5(\cos 70^\circ + j\sin 70^\circ) = 1.71 + j4.70 \text{ (A)}$$

$$\dot{I}_2 = 10e^{-j60^\circ} = 10[\cos(-60^\circ) + j\sin(-60^\circ)] = 5 - j8.66 \text{ (A)}$$

用复数表示合成电流,并将其代数型转换成指数型

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (1.71 + j4.70) + (5 - j8.66) = 6.71 - j3.96 \approx 8e^{-j30.5^\circ}$$

将上式乘以 $\sqrt{2}$ 和时间因子 $e^{j\omega t}$ 即得

$$\sqrt{2} I e^{j\omega t} = \sqrt{2} 8 e^{j(\omega t - 30.5^\circ)} = \sqrt{2} 8 \cos(\omega t - 30.5^\circ) + j \sqrt{2} 8 \sin(\omega t - 30.5^\circ)$$

取上式的虚数部分即为正弦交流电的瞬时值 $i = \sqrt{2} 8 \sin(\omega t - 30.5^\circ)$ (A)

可见,正弦交流电用它的复数形式代换后,使正弦交流电路的三角函数运算转换成复数的运算,从而大大简化了运算过程,因此在电工学里得到了广泛的应用。

三、单一参数的交流电路

在直流电路中,电感相当于短路,电容相当于开路,所以在稳态下直流电路的参数只涉及电阻。在交流电路中,由于电流、电压交变,电感、电容在电路中都起作用。所以交流电路的参数除电阻外还有电感和电容。

1. 纯电阻交流电路 图 1-13(a) 为纯电阻交流电路。图中标为各量的正方向。设电流的初相位为

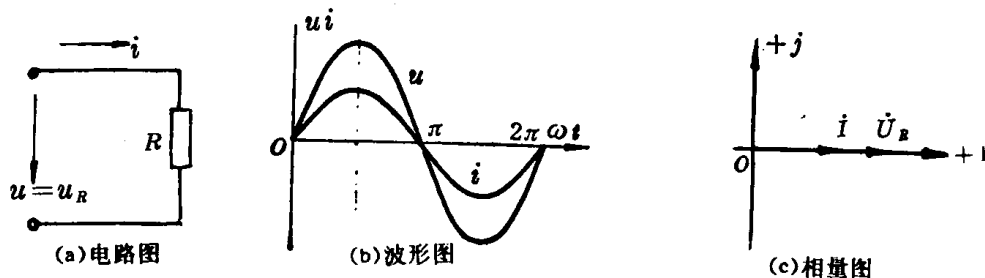


图 1-13 纯电阻交流电路

零,则

$$i = I_m \sin \omega t \quad (1.3.9)$$

根据欧姆定律,电阻两端的电压为

$$u_R = iR = I_m R \sin \omega t = U_m \sin \omega t \quad (1.3.10)$$

电压和电流的波形如图 1-13(b) 所示。由图可见,电阻两端的电压和电流同时达到零,或同时达到最大值,所以它们是同频、同相的正弦交流电。

用有效值表示电压与电流间的关系即得:

$$U = IR \quad \text{或} \quad I = U/R \quad (1.3.11)$$

上式为纯电阻交流电路的欧姆定律。

如果用复数表示电压与电流的关系,则

$$\dot{U} = IR \quad \text{或} \quad \dot{I} = \dot{U}/R \quad (1.3.12)$$

上式是用复数表示的欧姆定律,称为欧姆定律的相量式。它不仅表述了电压与电流的数值关系,同时也表明了二者间的相位关系。其相量图如图 1-13(c) 所示。

电路中的瞬时功率等于任一瞬时电压与电流的乘积。用 p 表示,其数学表达式为

$$p = ui = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t = 2UI \sin^2 \omega t = UI (1 - \cos 2\omega t)$$

由此可见,电阻的瞬时功率是随时间变化的,其角频率为 2ω 。

瞬时功率在一个周期里的平均值称为平均功率或有功功率,简称功率,单位是瓦(W)。

电阻电路的平均功率为

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T (1 - \cos 2\omega t) dt = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.3.13)$$

可见,交流电路中电阻上消耗的功率与电流、电压有效值间的关系与直流电路完全一样。

2. 纯电感交流电路 图 1-14(a) 所示为纯电感交流电路。图中标为电流、电压、自感电动势的正方向。

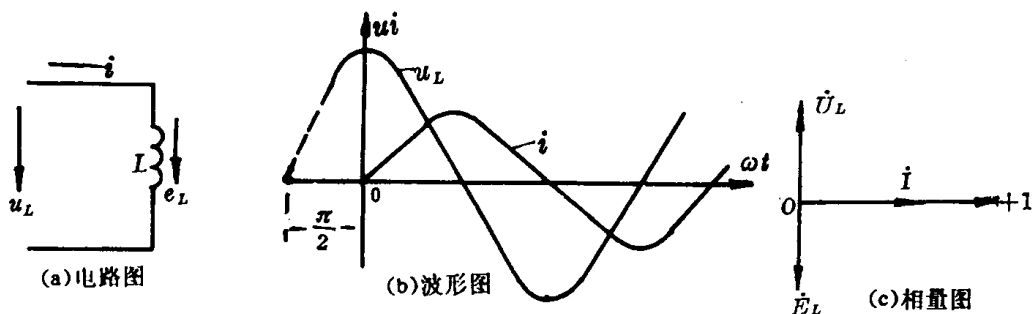


图 1-14 纯电感交流电路

由电磁学可知,磁通链是由通过线圈的电流 i 产生的,在无铁心的线圈中通过电流回路所包围的总磁通链数与电流成正比,即:

$$N\Phi = Li \quad (1.3.14)$$

式中: L 为线圈的自感系数,单位为亨利(H)。

根据法拉第电磁感应定律,磁链变化使回路产生感应电动势,即

$$e_L = -N \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1.3.15)$$

设电流为参考正弦交流量

$$i = I_m \sin \omega t \quad (1.3.16)$$

由基尔霍夫第二定律可得 $u_L = -e_L$, 将(1.3.15)式代入此式则有

$$\begin{aligned} u_L = -e_L &= L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt} (I_m \sin \omega t) \\ &= I_m \omega L \cos \omega t = U_m \sin (\omega t + 90^\circ) \end{aligned} \quad (1.3.17)$$

电流、电压的波形如图 1-14(b) 所示。由图可见, u_L 和 i 都是按同一频率作正弦变化的交流电。在相位上电流滞后于电压 90° , 即电感有移相 90° 的作用。

用有效值表示电压与电流间的大小关系,则有

$$U = \omega LI \quad \text{或} \quad I = U/\omega L = U/X_L \quad (1.3.18)$$

式中 $X_L = \omega L = 2\pi fL$, 称为**感抗**, 单位为欧姆。(1. 3. 18) 式称为纯电感交流电路的欧姆定律。

上述电压与电流的关系, 如用有效值相量表示则有

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{jX_L} = -j \frac{\dot{U}}{X_L} \quad (1. 3. 19)$$

上式称为纯电感交流电路的欧姆定律的相量表达式。(1. 3. 19) 式把电压与电流的有效值关系和相位关系同时表达在一个式子里, 其有效值相量图如图 1-14(c) 所示。

在电感电路中其瞬时功率

$$p = ui = U_m \sin(\omega t + 90^\circ) I_m \sin \omega t = UI \sin 2\omega t \quad (1. 3. 20)$$

功率随时间变化的曲线如图 1-14(b) 所示。由图可知, 瞬时功率是以幅值为 UI 并以二倍频率正负交替变化的正弦交流电。其平均功率

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T I^2 X_L \sin 2\omega t dt = 0$$

上式表明电感元件在交流电路中是储能元件, 没有能量消耗, 只有电感线圈与电源间的能量交换。这种能量交换的规模用**瞬时功率的最大值来衡量**, 称为**无功功率**, 用 Q 表示, 即

$$Q_L = UI = I^2 X_L = U^2 / X_L \quad (1. 3. 21)$$

无功功率的单位为乏耳(Var) 或千乏耳(KVar)。

3. 纯电容交流电路 图 1-15(a) 为一纯电容组成的交流电路。图中箭头所示为电压、电流的正方向。

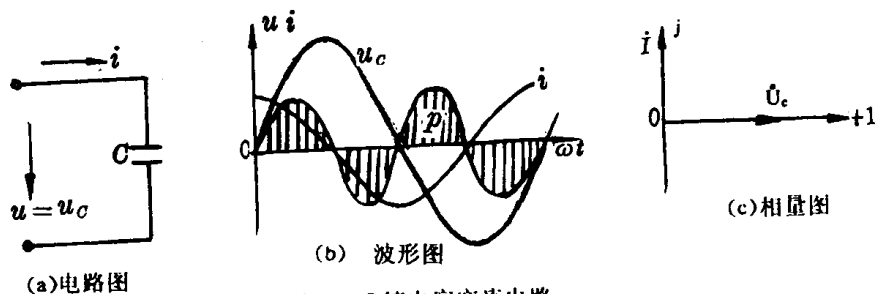


图 1-15 纯电容交流电路

由电磁学知, 当电容器两端加上电压时, 极板上积累电荷 q 的多少与电压成正比, 即

$$q = CU_C \quad (1. 3. 22)$$

又知, 通过电容器引线上的电流其大小由极板上的电荷量的变化率来决定, 即

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_C}{dt} \quad (1. 3. 23)$$

设电压为参考正弦交流量 $U_C = U_m \sin \omega t$, 将其代入(1. 3. 23) 式后, 则有

$$i = C \frac{du_C}{dt} = C \omega U_m \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (1. 3. 24)$$

可见, 电容电路中, 电压 u 与电流 i 是同频率的正弦交流电, 且电流超前于电压 90° 。它们的波形图如图 1-15(b) 所示。

在电容电路中, 电流超前电压 90° , 是因为电流 i 决定于电压的变化率。当电压过零值时, 其变化率最大, 所以这时电流达到最大值; 当电压过最大值时, 其变化率为零, 所以此时的电流也等于零。

上述电容电压、电流间的大小关系用有效值表示则有

$$I = \omega C U = U / \frac{1}{\omega C} = U / X_C \quad (1. 3. 25)$$

上式中 $X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC$ 。 X_C 称为电容的**容抗**, 单位为欧姆。(1. 3. 25) 或称为纯电容交流电路的欧姆定律。

将电容电压、电流的数值和相位关系, 用有效值相量式表示时, 则有

$$\dot{I} = j\omega C \dot{U} = j \frac{\dot{U}}{X_C} \quad (1. 3. 26)$$

上式称为纯电容交流电路欧姆定律的相量表达式。(1. 3. 26) 式把电压与电流的有效值关系和相位关系同时表达在一个式子里, 其有效值相量图如图 1-14(c) 所示。

在纯电容交流电路中, 其瞬时功率

$$p = ui = U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t + 90^\circ) = UI \sin 2\omega t \quad (1.3.27)$$

与电感电路中的情况极相似，这一功率也以两倍于电压的频率交变着。其平均功率

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T UI \sin 2\omega t \cdot dt = 0$$

上式表示电容元件不消耗能量，只是与电源之间作周期性能量互换，其能量互换的规模和电感电路一样，也用瞬时功率的最大值来衡量，称为无功功率，用符号 Q 表示，即

$$Q_c = U_c I = I^2 X_c = U^2 / X_c \quad (1.3.28)$$

无功功率的单位为乏尔，简称乏。

四、R、L、C 串联交流电路

1. R、L、C 相串联的交流电路 图 1-16 (a) 为 R、L、C 三元件组成的串联电路。图中标为各量的正方向，下面采用相量分析法讨论。

在串联电路中，各元件上通过的电流相同，故选电流

i 为参考正弦量，并设

$$i = I_m \sin \omega t \quad (1.3.29)$$

在图中标定的正方向下，根据 KVL 定律可知，总电压相量应等于各分电压相量的和，即

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C \quad (1.3.30)$$

根据 $I = I e^{j\omega t}$ ； $\dot{U}_R = IR$ ； $\dot{U}_L = jI X_L$ 及 $\dot{U}_C = -jI X_C$

可在同一复平面内分别作出相量 I 、 $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_L$ 及 $\dot{U}_C$ ，如图 1-

16 (b) 所示。再根据 (1.3.30) 式可得到总电压

的相量 $\dot{U}$ 。由相量图 (b) 可知 U_R 、 $(U_L - U_C)$ 及 U 构成一直角三角形，称为电压三角形。由此三角形可求得

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

所以

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{U}{z} \quad (1.3.31)$$

上式中 $z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$ 称为电路的阻抗。 $X = X_L - X_C$ 称为电抗，单位皆为欧姆。式 (1.3.31) 称为串联交流电路的欧姆定律。

电阻 R 、电抗 X 和阻抗 z 三者数值上符合直角三角形关系，称为阻抗三角形，它与电压三角形相似。

电路中总电压 $\dot{U}$ 与总电流 I 间的相位差 φ 可由电压三角形或阻抗三角形求出。即

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{U_L - U_C}{U_R} = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R} \quad (1.3.32)$$

如用复数表示电压与电流间的关系，则有

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = I[R + j(X_L - X_C)]$$

$$\text{或者写成} \quad I = \frac{\dot{U}}{R + j(X_L - X_C)} = \frac{\dot{U}}{Z} \quad (1.3.33)$$

上式助 $Z = R + j(X_L - X_C) = R + jX = ze^{j\varphi} = z \angle \varphi$ 称为复阻抗，单位为欧姆 $\cdot$ 。因它不是时间矢量，故用不加点的大写字母 Z 表示。(1.3.33) 式称为串联交流电路欧姆定律的相量式。

在串联交流电路中，电路的有功功率就等于电阻的平均功率，即

$$P = U_R I = I^2 R = UI \cos \varphi \quad (1.3.34)$$

无功功率等于电感元件和电容元件与电源间进行能量互换的规模。即

$$Q = (U_L - U_C) I = (X_L - X_C) I^2 = UI \sin \varphi \quad (1.3.35)$$

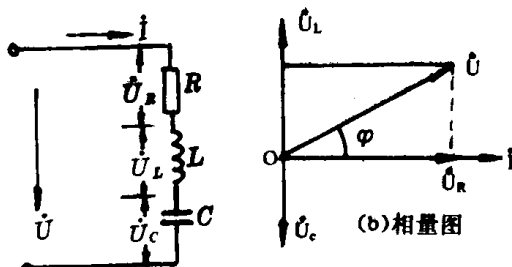
在交流电路中，电压和电流有效值的乘积 UI ，虽然具有功率的量纲，但一般并不表示实际消耗的功率，故称为视在功率（或表观功率），用 S 表示，即

$$S = UI = I^2 z \quad (1.3.36)$$

视在功率的单位是伏安或千伏安。

由 (1.3.34) 和 (1.3.35) 式便可得到

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad \text{或} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1.3.37)$$



(a) 电路图 (b) 相量图 图 1-16 串联电路

可见, 视在功率、有功功率和无功功率亦构成一直角三角形称为**功率三角形**。它与电压、电流三角形相似。
有功功率与视在功率之比称为**功率因数**。即

$$\cos\varphi = P/S = R/z \quad (1.3.38)$$

功率因数的大小决定于负载的性质和大小。

2. 串联谐振 在 R、L、C 串联电路中, 当电感元件的感抗与电容元件的容抗相等时, 即 $X_L = X_C$, 电路将发生谐振由于发生在串联电路中, 故称**串联谐振**。其谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.3.39)$$

式中 f_0 为电路的固有频率, 它由电路参数决定。

由 (1.3.39) 式可知: 只要调节 L 或 C, 或者改变电源频率, 使电源频率等于电路固有频率便可发生谐振。串联谐振时电路具有如下特点:

①电路的阻抗为最小 $z = z_{\min} = R$ 。电源提供的能量完全被电阻所消耗。②可以推证, 电感元件或电容元件两端的电压为电源电压的 Q 倍, 即 $U_L = U_C = QU$ 式中 Q 称为电路的**品质因数**, 是电子线路中一个十分重要的物理量。③电路的电流取得最大值即 $I = I_{\max} = U/R$ 。

由上述可知, 串联谐振时, 可能产生的局部高电压会破坏绝缘, 损坏设备。因此在电力工程上要避免发生这种情况。但在无线电通讯技术等方面, 串联谐振却得到了广泛的应用。例如无线电广播和电视接收机都调谐在某种频率或频带上, 以使该种频率或频带内的信号特别增强, 而把非谐振的其他频率或频带内的信号滤去, 从而实现选择电台信号的目的。

五、R、L、C 并联的交流电路

1. R、L 与 C 相并联的交流电路 图 1-17 (a) 为 R、L 串联后与 C 并联的交流电路。图中所标为各量的正方向。它是一种应用十分广泛的交流并联电路。

我们先分别求出各支路的电流有效值 I_L 和 I_C , 然后根据基尔霍夫电流定律用相量求和的方法来计算总电流的有效值 I。由于两支路所加的电压相同, 所以选电压为参考量, 令 $u = U_m \sin\omega t$ 。

在 R-L 支路中, 电流有效值为 $I_L = \frac{U}{z_1} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$ 该支路为电感性电路, 电压 U 超前于 I_L 的相位角为 $\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$

在电容 C 支路中, 电流有效值为 $I_C = U/X_C$
该支路两端电压 U 滞后于电流 I_C 90°。电路的总电流为各支路电流的相量和, 即

$$I = I_L + I_C \quad (1.3.40)$$

与上式对应的相量图如图 1-17 (b) 所示。运用相量求和的方法, 以 I_L 和 I_C 为邻边作平行四边形, 从原点引出对角线就得总电流 I。根据图中的几何关系求得总电流 I 的有效值为

$$I = \sqrt{(I_L \cos\varphi_1)^2 + (I_L \sin\varphi_1 - I_C)^2} \quad (1.3.41)$$

总电流 I 与总电压 U 的相位差角 φ 为

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{I_L \sin\varphi_1 - I_C}{I_L \cos\varphi_1} \quad (1.3.42)$$

根据上两式, 把总电流 I 及相位差角 φ 求出后, 就可按下列关系式求电路中的功率。

$$P = UI \cos\varphi \quad Q = UI \sin\varphi \quad S = UI$$

实际应用的许多电气设备都可以抽象地看作是电阻和电感串联的电路。这类设备由于电感的存在, 需要较多的无功功率。如果把这种电感性负载与电容并联, 可以减少电源提供的无功功率, 从而提高电源的利用率。

2. 并联谐振 在电感性负载与电容并联的交流电路中, 当并联电容的大小使电路中电压与电流同相时, 电路呈电阻性, 电路将发生谐振, 由于发生在并联电路中, 故称**并联谐振**。

并联谐振时 $I_L \sin\varphi_1 = I_C$

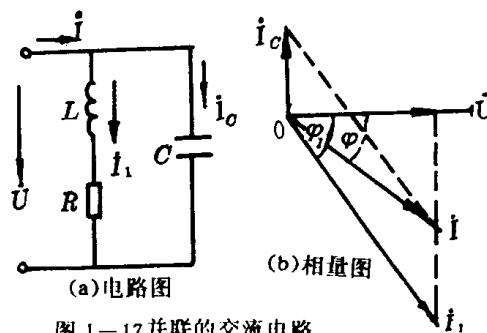


图 1-17 并联的交流电路