

成都工学院塑料加工专业教研室 编

SUOLIAOJICHUJIYUZHUSHEJIDE
DIANQIZHUANG ZHI

塑料挤出机与注射机的
电气装置

塑料挤出机与 注射机的电气装置

成都工学院塑料加工专业教研室 编

轻工业出版社

内 容 简 介

本书介绍塑料挤出机与注射机的电气装置,全书共分十章,内容包括单相电气设备、三相异步电动机、低压电器和异步电动机的起动控制电路、调速电机简介、晶体管整流和放大电路、晶体管温度控制仪、可控硅调速、分立元件和集成电路数字程序控制装置简介等。

本书从生产设备出发,由浅入深进行叙述,文字通俗易懂。可供塑料加工厂的工人、技术人员参考,也可作为有关院校塑料加工专业的教学参考书。

塑 料 挤 出 机 与 注 射 机 的 电 气 装 置

成都工学院塑料加工专业教研室 编

*

轻工业出版社出版
(北京阜成路3号)

重庆新华印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

787×1092毫米1/16 印张: $18\frac{8}{16}$ 插页: 3 字数: 400千字

1980年10月 第一版第一次印刷

印数: 1—5,000 定价: 2.00元

统一书号: 15042·1529

前 言

电气装置在塑料挤出机与注射机中具有重要的作用，因为机械动作和液压系统都是由它控制的，电路出了故障，整个机器就不能工作。如果没有掌握电气线路及其基本原理的知识，就不能很好地进行安装、运行、维护和检修。为此，我们编写了这本书，希望通过本书的介绍，使读者了解有关塑料挤出机与注射机电气装置的知识。

本书原系我院塑料加工专业电工学教材，曾在74、75级试教，后经有关单位提出意见，修改补充而成。本书除基础知识外，还收录了较多的实际电气线路图并加以补充说明。为了编写最后一章，编者曾亲自参加试制了一台集成电路125克注射机的数字程序控制装置。

本书由宋远智教授负责编写，最后完稿时曾请我院电工学教研室几位老师参与修改工作。

在编写过程中，得到北京化工学院和天津轻工业学院塑料加工教研室、北京市塑料工业公司、旅大塑料研究所、上海市皮革塑料工业公司、上海塑料制品三厂、上海电阻厂、成都塑料厂等单位的大力支持和热情帮助，在此谨表示深切感谢。

在初稿编写时，塑料加工专业实验室同志和73、74级四位学员参加过大量绘图和编写工作。

由于我们的政治和业务水平有限，未能更多地深入生产实践学习，在编写上一定有不少缺点和错误，诚恳地欢迎同志们批评指正。

成都工学院塑料加工专业教研室

1977, 10

目 录

概 述

- 一、塑料注射成型机电气装置..... 1
- 二、塑料挤出机的电气装置..... 1

第一章 单相电气设备..... 3

第一节 电阻加热圈..... 3

- 一、交流电的基本概念..... 3
- 二、纯电阻电路..... 7
- 三、额定值..... 8
- 四、电阻加热圈的结构..... 9
- 五、电热材料..... 9
- 六、电阻加热圈的计算..... 13

第二节 单相变压器..... 14

- 一、变压器的结构..... 15
- 二、纯电感电路..... 15
- 三、电阻电感串联电路..... 17
- 四、电容电路..... 19
- 五、变压器的基本原理..... 23
- 六、多绕组变压器和自耦变压器..... 25
- 七、电流互感器..... 25

第三节 工频感应加热..... 26

- 一、工频感应加热器的结构简介..... 26
- 二、工频感应加热器的工作原理..... 27
- 三、工频感应加热器的计算..... 27

第二章 三相异步电动机..... 31

第一节 三相异步电动机的构造..... 31

- 一、定子..... 31
- 二、转子..... 32

第二节 三相交流电..... 33

- 一、三相交流电的定义和优点..... 33
- 二、三相交流电的表示法..... 33

第三节 三相异步电动机的连接法..... 33

一、电动机的星形连接	34
二、电动机的三角形连接	36
三、三相电路的功率	37
第四节 三相旋转磁场的产生	38
第五节 三相异步电动机的转动原理	40
第六节 三相异步电动机的运行情况	41
第七节 三相异步电动机的铭牌	43
第八节 三相异步电动机的起动	45
第九节 使用三相电动机的注意事项	47
第十节 三相异步电动机的容量选择	48
附表 2-1 JO ₂ 系列三相异步电动机的技术数据	50
附表 2-2 JO ₃ 系列异步电动机技术数据	51
附表 2-3 JO ₄ 系列异步电动机技术数据	52
第十一节 导线及保险丝的选择	52
一、导线的选择	52
二、保险丝的选择	52
附表 2-4 室内敷设用铜芯绝缘导线的容许连续负载	53
附表 2-5 铝芯绝缘导线的容许连续负载	55
附表 2-6 各型熔断器的主要技术数据	55
附表 2-7 380 伏三相交流电动机支路管内导线截面及熔件容量选择表	56
第三章 低压控制电器与异步电动机的起动控制线路	57
第一节 手动控制电器	57
一、闸刀开关	57
二、铁壳开关	57
三、转换开关	58
四、按钮	58
第二节 磁力起动器	59
一、交流接触器	59
二、热效继电器	60
三、过电流继电器	61
第三节 磁力起动器起动异步电动机的控制线路	61
第四节 延边三角形起动电动机的控制电器	62
一、中间继电器	62
二、行程开关(限位开关)	63
三、空气式时间继电器	63
四、电动机式时间继电器	63
第五节 延边三角形起动异步电动机的控制线路	64
第六节 电磁阀	64

一、电磁阀的结构和吸力·····	65
二、电磁阀的作用·····	65
附表 3-1 低压控制线路中常用电器的文字和图形符号·····	66
第四章 调速电机简介·····	68
第一节 直流电动机(附测速发电机)·····	68
一、直流电动机的构造·····	68
二、直流电动机的工作原理·····	68
第二节 三相交流整流子电动机·····	70
一、三相交流整流子电动机的构造·····	70
二、三相交流整流子电动机的工作原理·····	70
第五章 晶体管整流电路·····	72
第一节 半导体和PN结的特性·····	72
一、什么是半导体·····	72
二、半导体中的特殊载流子——空穴·····	72
三、P型和N型半导体·····	74
四、PN结的特性·····	75
第二节 晶体二极管的特性和参数·····	76
一、晶体二极管的伏安特性·····	76
二、晶体二极管的主要参数·····	76
三、晶体二极管的简易测试法·····	77
第三节 不控整流电路·····	77
一、单相半波整流电路·····	78
二、单相全波(双半波)整流电路·····	79
三、单相桥式整流电路·····	80
四、三相半波整流电路·····	81
五、三相桥式整流电路·····	82
第四节 滤波电路·····	83
一、电容(C型)滤波器·····	83
二、电感(L型)滤波器·····	86
三、 π 型滤波器·····	87
附表 5-1 常用不控整流电路主要数据·····	87
附表 5-2 常用不控整流电路特点比较·····	87
附表 5-3 国产晶体管命名的方法·····	88
附表 5-4 常用晶体二极管参数·····	88
附表 5-5 国产 ZP 型硅整流元件·····	90

第六章 晶体管放大器及直流稳压器	91
第一节 晶体三极管的结构	91
第二节 晶体三极管的工作原理	92
一、工作电压.....	92
二、电流分配.....	92
三、放大作用.....	93
四、晶体管的三种工作状态：放大、截止与饱和.....	93
第三节 晶体三极管的特性和参数	95
一、输入特性曲线.....	96
二、输出特性曲线.....	96
三、晶体管的常用参数.....	97
第四节 晶体管的简单测试	99
一、基极和管子类型的判别.....	99
二、发射极和集电极的判别.....	99
三、测定穿透电流 I_{CEO} 的大小.....	100
四、测定热稳定性.....	100
五、 β 值的近似测量.....	100
第五节 单管低频小信号放大器	101
一、三种基本放大电路.....	101
二、共发射极的基本放大电路.....	101
第六节 晶体管放大器的偏置电路	104
一、固定偏置电路.....	104
二、电压负反馈偏置电路.....	105
三、分压式电流负反馈偏置电路.....	106
第七节 多级放大器与功率放大器	106
一、阻容耦合放大器.....	106
二、变压器耦合放大器.....	107
三、直接耦合放大器.....	107
四、功率放大器.....	107
第八节 晶体管直流稳压电源	107
一、硅稳压管的特性和参数.....	108
二、硅稳压管稳压电路的工作原理.....	109
三、稳压电路的温度补偿.....	109
四、串联型负反馈稳压电路.....	110
第九节 晶体管时间继电器和光电继电器	113
一、晶体管时间继电器.....	113
附表6-1 常用小功率半导体三极管参数.....	114

附表6-2 常用CW型稳压二极管参数	115
二、晶体管光电继电器	117
附表6-3 2DW1~6稳压二极管参数	118
第七章 晶体管温度控制仪	119
第一节 热电偶温度计	119
第二节 加热温度的控制	119
一、手动控制	119
二、自动控制	120
第三节 晶体管正弦波振荡器	120
一、LC振荡器的工作原理	120
二、自激振荡的条件	122
三、振荡的建立与稳定	123
四、电感三点式振荡电路	123
五、电容三点式振荡电路	124
第四节 晶体管温度控制仪的实际电路举例	124
一、XCT-101型温度控制仪	124
二、XCT-131型温度控制仪	126
附表7-1 XCT-131型温度控制仪元件数据表	127
附表7-2 温度与绝对毫伏值数据对照表	128
第八章 可控整流的主电路和触发电路	129
第一节 可控硅的工作原理	129
第二节 可控硅的特性和参数	131
一、可控硅的阳极伏安特性	131
二、可控硅的主要参数	132
三、可控硅元件的简易测试法	133
第三节 可控整流电路	134
一、单相半波可控整流电路	134
二、单相全波(双半波)可控整流电路	135
三、单相桥式半控整流电路	136
四、三相半波可控整流电路	137
五、三相桥式半控整流电路	139
六、电感性负载对整流电路工作的影响	140
七、可控硅元件的选择	141
第四节 可控硅的保护	143
一、过电流保护	143
二、过电压保护	144

三、可控硅的散热	146
第五节 可控硅的触发电路	147
一、对可控硅触发电路的基本要求	147
二、单晶体管触发电路	147
三、晶体管脉冲触发电路	151
第六节 略谈调速系统的一些问题	152
一、如何实现转速的自动调节	152
二、调速过程中振荡现象的消除	154
三、元件过电流的电子保护装置	155
第七节 可控整流装置的调试	155
附表8-1 国产KP型可控硅和KK型快速可控硅的特性	156
附表8-2 国产单晶体管参数表	160
第九章 数字电路	162
第一节 晶体管开关特性	162
第二节 反相器和射极跟随器	163
一、反相器	163
二、射极跟随器	163
第三节 双稳态电路	165
一、集-基耦合双稳态电路	165
二、射极耦合双稳态电路	169
第四节 无稳态电路——多谐振荡器	170
一、无稳态电路的工作原理	171
二、无稳态电路的简单调整	172
第五节 单稳态电路	173
一、集-基耦合单稳态电路	173
二、射极耦合单稳态电路	174
第六节 门电路	175
一、门电路的概念	175
二、二极管门电路	176
三、三极管门电路	178
四、电阻-三极管“或非”门电路	179
第七节 计数器	179
一、计数器的单元电路	179
二、二进制计数器	180
三、二-十进制计数器电路	182
四、十进制计数电路状态的显示	184
五、计数电路置零的方法	187

第八节 秒脉冲发生器和数字式时间程序分配器	188
一、秒脉冲发生器	188
二、数字式时间程序分配器	189
第十章 半导体集成电路简介	192
第一节 晶体管-晶体管逻辑TTL“与非”门电路	192
一、电路结构	192
二、电路工作情况	194
第二节 TTL扩展器和驱动器	196
一、“与”门扩展器	197
二、“与或”门扩展器	197
三、驱动器	198
第三节 集成电路触发器	198
一、基本触发器	198
二、维持-阻塞触发器	200
三、J-K触发器	202
第四节 集成电路计数器	203
一、用不对称维持-阻塞触发器组成二进制计数器	203
二、用J-K触发器组成十进制计数单元	205
第五节 用TTL“与非”门构成的脉冲电路	206
一、积分型单稳态触发器	206
二、多谐振荡器	206
附录I 部分塑料注射机的电气控制线路说明(附图)	208
一、XS-Z-60柱塞塑料注射成型机	208
二、XS-ZY-125塑料注射机	212
三、XS-ZY-250塑料注射机	217
四、XS-ZY-500塑料注射预塑成型机	223
五、XS-ZY-1000塑料注射机	229
六、XS-ZY-350塑料注射机	234
附录II 塑料注射机和挤出机电气部分的常见故障和处理	244
附录III 部分塑料挤出机的电气部分说明(附图)	245
一、SJ-45A塑料挤出机	245
二、SJ-M-65A塑料薄膜挤出机	247
三、SJ-45B塑料挤出机	249
四、SJ-65B塑料挤出机	254
附录IV 分立元件数字程序控制装置举例	274
一、125克注塑机数字程序控制装置	274
二、S-108型时间程序控制器	277
附录V DCK-16型集成电路数字程序控制装置	280

概 述

一、塑料注射成型机电气装置

塑料注射成型机(简称注塑机)是塑料加工厂最主要而常用的机械之一。它能加工各种热塑性或热固性塑料,它将颗粒状塑料经过柱塞或螺杆压入料筒,加热塑化后,在一定的注射速度和压力下,注射入冷的或热的模具内,再经保压很快被凝固成所需的塑料制品。并在此过程中重复上述塑化过程,作好下一次注射的准备工作。

注塑机主要有闭模、注射、保压、柱塞或螺杆退回、启模等动作。这些动作主要由液压系统来执行。而油压则是由电动机带动大小油泵产生,油压控制则由各种电器如转换开关、行程开关、接触器、中间继电器、时间继电器、电磁阀等来控制。还有不同功率的加热圈,用电子温度控制仪对温度进行控制。

目前注塑机的注射量(一次注射的聚苯乙烯的最大容量),从零点几立方厘米直至数万立方厘米。加工的塑料产品种类繁多,要求的工艺各也不相同。由于注射量的大小不同,加工工艺的要求不同,注塑机的动作环节也不同。因而油压系统和控制油压的电气设备也有繁有简。现以XS-ZY-125注塑机为例,其电气部分就有以下几部分:

- ① 单相交流电阻加热圈或工频感应加热圈,变压器;
- ② 三相交流电动机;
- ③ 低压控制电器(接触器、电磁阀、各式继电器和各种开关设备)及其控制保护电路;
- ④ 晶体管时间继电器,热电偶及电子温度控制仪等。

容量更大和自动化程度较高的注塑机,电气装置更为繁杂,目前很多厂已开始采用数字程序控制甚至采用群控装置的。

二、塑料挤出机的电气装置

塑料挤出机也是塑料加工工厂最常用的一种机械。如挤塑料管,加上辅机可以吹制中空制品和塑料薄膜等。它的电气部分有些和注塑机是相同的,如加热圈、热电偶温度计、晶体管或电子管温度控制仪、电磁阀、继电器等等。

挤出机的螺杆是通过电动机带动其转动的。根据不同的生产情况,如产量变化、原料或品种改变等,要求螺杆转速可以随时改变。另外,在挤出机开动时,由于塑料温度低、粘度高,为了防止机头压力过大,要求螺杆在较低的转速下起动,然后逐步向工作速度平滑上升。在停车时,为了将机筒内剩余的塑料逐步挤出,并保护螺杆不致损坏,要求逐渐减速再停车。在生产过程中也要根据工艺要求对速度进行小范围调节。在出现故障时,则要立即减速,以便迅速排除故障,而又不致产生大量废品。故对驱动螺杆的电动机要要求能调速的,即要采用调速电动机。目前生产的挤出机所配的调速电动机有

两种，一为三相整流子电动机，二为直流电动机。

直流电动机的调速性能很好，但需要一套可控的直流电源，在目前广泛使用的可控硅整流器完全能满足它的要求。

本书的目的就是要将塑料注射机和挤出机常用的电气设备的结构原理及其有关的基础理论作一些由浅入深的介绍，以供塑料加工厂的工人、技术人员和有关院校塑料加工专业的师生参考。

第一章 单相电气设备

第一节 电阻加热圈

在塑料成型生产工艺过程中，一个很重要的工序就是对塑料进行加热。由于电加热具有加热快、温度高、加热均匀，温度调节便利、紧凑、洁净，使用方便、可靠等优点，所以在塑料加工工业中广泛采用电加热。按其作用原理来分，有三种：电阻加热、工频感应加热和高频介质加热。注塑机和挤出机一般使用前两者，本节先介绍电阻加热。

一、交流电的基本概念

电阻加热圈既是用的交流电，那它和我们在物理上所主要讲过的直流电有什么区别？它本身又有些什么特点呢？这是我们要首先知道的。

(一) 直流电和交流电的区别

直流电的电流方向和大小是不随时间而改变的，如图1-1所示。

交流电的大小和方向是随时间而变化的，工业上广泛应用的交流电是按正弦规律变化的。平常所称的“交流电”都是指正弦交流电。工业上使用的正弦交流电的变化规律如图1-2所示。

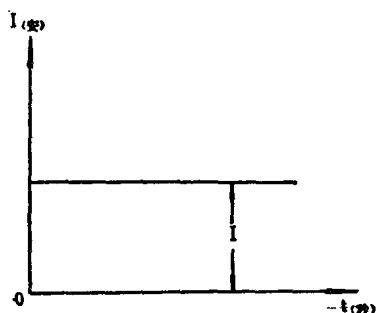


图1-1 直流电

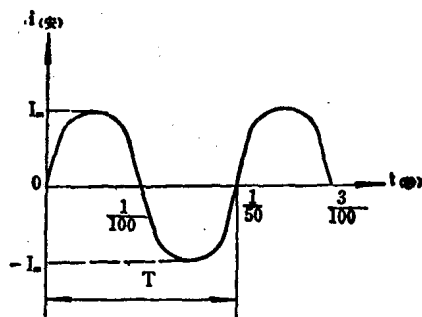


图1-2 正弦交流电

在图1-2中可以看出，在 $0 \sim \frac{1}{100}$ 秒范围内，电流*i*是正的，表示电流在导线上向某一方向流动。它的大小却是变化的，从0值变到最大值 I_m ，再变到0值。在 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{50}$ 秒的范围内，电流*i*是负的，表示电流在导线上向相反的方向流动，它的大小也是变化的，从0值变到负的最大值 $(-I_m)$ ，再变到0值。在 $\frac{1}{50} \sim \frac{3}{100}$ 秒的范围内，变化的情况是和 $0 \sim \frac{1}{100}$ 秒时完全相同，随即又开始了重复的变化，也就是说交流电的变化是按正弦规律作周

期性的变化。

(二) 周期、频率和角频率

在 $0 \sim \frac{1}{50}$ 秒的范围内，交流电变化了一周(即完成一次循环)所需的时间称为“周期”，用 T 表示，单位是秒。

每秒内变化的周期数(或周数)叫频率，用 f 表示，单位是赫(周/秒)。周期和频率互为倒数，即

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

我国工业用电的频率规定为50周/秒，称为工业频率(简称工频)。

交流电的变化快慢除了用周期或频率表示外，还可以用角频率 ω 表示。因为我们为了方便，把交流电变化一周经过的 T 秒时间，用 2π 弧度或 360° 表示，称为电角度或时间角度。角频率或电角速度 ω 是每秒钟变化的电角度。从上可知，在一周期 T 秒内变化的电角度为 2π 弧度，故角频率

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad \text{弧度/秒}$$

角频率表示交流电变化的速度。周期、频率或角频率是交流电的特征之一。

ωt 是交流电在时间 t 秒内变化的电角度，这样，在画正弦交流曲线时，可以取 ωt 为横轴坐标，如图1-3所示。

当 $t = \frac{T}{4}$ 时， $\omega t = \frac{\pi}{2}$ ； $t = \frac{T}{2}$ 时， $\omega t = \pi$
 $t = \frac{3T}{4}$ 时， $\omega t = \frac{3\pi}{2}$ ； $t = T$ 时， $\omega t = 2\pi$

(三) 最大值和有效值

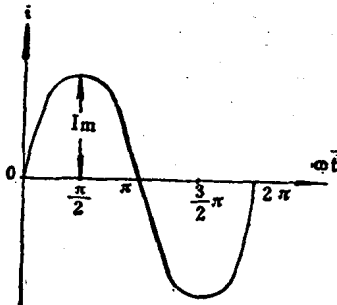


图1-3 正弦交流电

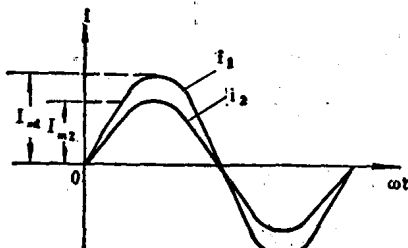


图1-4 交流电的大小

正弦交流电除了用正弦曲线表示外，也可以用三角函数式来表示，如

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

式中 i 表示任一瞬时的电流大小，叫做瞬时值，它是随着电角度 ωt 按正弦规律作周

期性变化的。 I_m 表示一个周期内的最大值(如图1-3),最大值又叫做幅值、峰值或振幅。

交流电的大小和方向都是随时间不断变化的,那么我们应该如何去衡量交流电量的大小呢?从图1-4中我们不难看出交流电流 i_1 要比 i_2 大,因为其振幅 $I_{m1} > I_{m2}$ 。可见交流电的大小可以用最大值来衡量。

最大值能表示交流电的大小,但是在实际应用上用最大值来表示交流电的大小仍然是很不方便的。因为最大值毕竟只是交流电在一周期内某一瞬时的数值,而不是在整个周期内的实际效果。在电工中交流电的大小是以有效值来表示的。交流电的有效值是根据交流电的平均热效应与直流电的情况相比较而得出的。因为直流电流的大小是恒定的,所以发热是稳定的。交流电大小是波动的,所以发热也是波动的。我们如果要比较直流和交流的热效应,必须在同一适当长的一段时间内(一般即一个交流电的周期)取平均热效应来比较。

设有一交变电流和一恒定电流分别通过数值相等的电阻 R ,若在交流电一周期内它们所产生的热量相等。则这一直流电流的数值 I 称为交流电的有效值,用大写字母 I 表示。

根据计算,正弦交流电的有效值

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m = 0.707 I_m$$

故正弦交流电流的函数式可写成

$$i = \sqrt{2} I \sin \omega t$$

同样,正弦交流电压和电势的有效值分别为

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} U_m = 0.707 U_m$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} E_m = 0.707 E_m$$

式中 I_m 、 U_m 和 E_m 分别是电流、电压和电势的最大值。通常讲交流电的数值,不特别加以说明就是指有效值。测量交流电用的电流表和电压表的读数一般也都是有效值。照明用的交流电压为220伏,就是指它的有效值。

最大值或者有效值能表示交流电的大小,是交流电的特征之二。

(四) 相位和相位差

对于交流电常常不仅要计算其量值而且还要考虑其相位或相位差。

前面图1-2~图1-4所示的正弦交流电流的曲线是把坐标取在 t 或 $\omega t = 0$ 时 $i = 0$ 的情况下

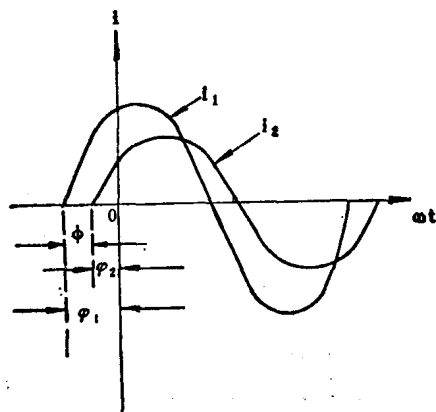


图1-5 正弦交流电的初相和相位差

画出的。如果 t 或 $\omega t = 0$ 时, $i \neq 0$ 的正弦交流电流曲线就应如图1-5所示。这时它们的三角函数表达式应为

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

这两个式子与式 $i = I_m \sin \omega t$ 相比, 只是在三角函数内多了一个 φ_1 和 φ_2 。

式中 $\omega t + \varphi_1$ 表示正弦函数的角度, 它决定着电流 i_1 每一个瞬间所处的状态(大小和方向), 称为交流电流 i_1 的相位角或相位。 φ_1 和 φ_2 就是在 $t = 0$ 时的相位, 称为初相。

初相表示交流电在 $t = 0$ 时所处的状态, 是交流电的特征之三。

两个同频率的正弦交流电的相位之差, 称为相位差。如图1-5中的 i_1 和 i_2 的相位差为

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

可见两个同频率正弦交流电的相位差等于它们初相之差。这时我们说 i_1 比 i_2 超前(超前) ϕ 角, 或者说 i_2 比 i_1 滞后(落后) ϕ 角。相位差表示两交流电达到正最大值或零值有先后, 所差的相位角就是相位差。

两交流电当其 $\phi = 0$ 时(如图1-6)称为同相, 即它们的变化步调是一致的, 同时达到最大值, 同时过零, 又同时达到负的最大值。

当其 $\phi = \pi$ 时(如图1-7中之 i_1 和 i_2)称为反相, 即它们的步调是相反的。 i_1 达到正的最大值时, i_2 则为负最大值。

最大值或有效值, 频率或角频率和初相位是正弦交流电的三要素, 这三个量决定了, 一个正弦交流电就完全决定了。

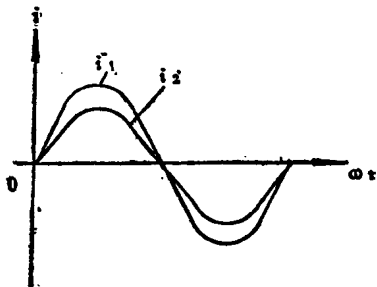


图1-6 同相

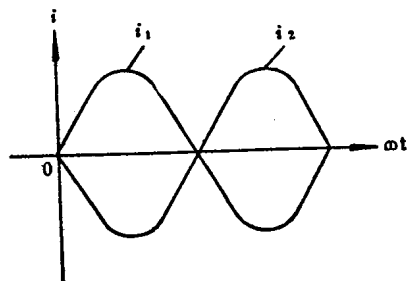


图1-7 反相(相差180°)

(五) 正弦交流电的矢量表示法

我们已经知道: 正弦交流电的变化规律可以用三角函数式和波形加以确切而形象的表达出来。但当在电路中进行加减运算时, 上述两种表达方式都是很不方便的。例如: 如图1-5所示的两个交流电 i_1 和 i_2 进行相加, 不论是用 i_1 和 i_2 的三角函数表达式进行加法运算, 或是在 i_1 和 i_2 的波形图上进行逐点相加, 都是十分繁复的。因为相加后的合成电流 i 不仅与 i_1 和 i_2 的量值有关, 而且与它们的相位有关, 因此对交流电的运算不能就其有效值用简单的代数运算来解决, 而必须借助于矢量计算。为此我们引进正弦交流电的第三种表示法即矢量表示法。

如何用矢量来表示正弦交流电呢? 让我们以正弦交流电动势为例来说明这个问题:

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