

现代飞机电子设备知识丛书

微机原理及在飞机上的应用

翟建平 编

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

内 容 简 介

本书是《现代飞机电子设备知识丛书》之一,介绍微机的运算基础知识、工作原理及微机在航空电子设备中的应用。概论讨论微机的产生与发展,对飞行器用微机的具体要求;第一章为电子计算机运算基础;第二章为飞机用微机结构及工作原理;第三章举例说明了微机在飞机上应用的六个方面;第四、五、六章分别介绍了前苏联雅克42飞机导航系统微机、波音飞机的飞行数据记录系统及微机控制的电子时钟。

本书可供飞行人员、航空工程技术人员、机务维护人员、航空部门管理干部及航空类大、中专学校师生阅读参考。

现代飞机电子设备知识丛书
微机原理及在飞机上的应用

翟建平 编

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京市飞龙印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 印张 8³/₄ 225千字

1993年7月第一版 1993年7月第一次印刷 印数: 0001—5000册

ISBN 7-118-01094-4/V·91 定价: 9.00 元

《现代飞机电子设备知识丛书》

编辑委员会

主任委员

李 钊

副主任委员 陆家沂 莫 及 王维民

李振达 刘得一 钦庆生

委员 (以姓氏笔划为序)

马士忠 王长升 王章铸 李煊(常务)

陆芝平 祁元福 杨颂伟(常务) 张永生

张德馨 周其焕 周宝魁 周瑞璉 郑连兴

高 柱(常务) 翟建平 蔡成仁 黎廷璋

主编单位 中国民用航空局适航司

中国民用航空局科教司

中国民航学院

中国民用航空局第一研究所

责任编辑 马征宇

出版说明

随着近代电子技术的迅速发展，现代飞机采用了大量新型的先进电子设备。近几年，我国民航使用了许多新型现代飞机，为了帮助从事航空电子技术的广大工程技术人员系统地了解和学习现代飞机电子设备所涉及的新知识、新理论和新技术，为了适应广大航空电子技术爱好者对新技术的了解和自学的需要，我们组织编写了这套《现代飞机电子设备知识丛书》。

本丛书不同于一般现代航空电子技术专著，也不同于民航院校的教科书，而是一套较通俗易懂的丛书，着重于内容的科学性、知识性、趣味性、启发性和实用性，主要介绍现代飞机上所采用的具体设备和系统的功能、作用、原理和结构。考虑到实际工作的需要，本丛书保留了少量英制单位，全书的单位一律采用中文名称。

本丛书约24分册，各册内容独立，自成体系，陆续分册出版。

本丛书将是目前从事航空电子设备的科研、设计、制造、使用 and 维修工作的广大专业人员提供适合其工作特点的理论参考书，可作为大、中专院校有关专业的师生在开阔视野方面的一套参考读物。本丛书还可供在航空部门工作的其他同志阅读。

序 言

自本世纪初人类首次实现了具有动力并可由人控制的飞行以来，民用航空已获得了惊人的发展。

我国民航在实现社会主义现代化进程中，其发展速度为国际民航界所瞩目。1984~1987年航空运输总周转量和旅客运输量年递增率分别为30.0%和33.2%。近年我国民航事业为适应国民经

济建设的需要，推进技术装备现代化，加快民航生产力发展，先后淘汰了一批适航性差的老旧飞机，增添了一批现代化飞机。仅在1985~1988年4年间，就新增大、中型运输机126架。

这些现代飞机的电子设备有了飞跃的发展，普遍采用了计算机、数据传输和屏幕显示等新技术，实现了自动飞行控制。这就对民航广大技术人员提出了更高的要求。

科技的发展，经济的振兴乃至整个社会的进步，都取决于劳动者素质的提高和大量合格人才的培养。科学技术的进步和管理水平的提高，将从根本上推动我国民航事业的现代化建设进程。我希望这套《现代飞机电子设备知识丛书》的出版，对促进我国民用航空事业的发展起到有益的作用。

林志 1988

前 言

微型计算机（简称微机）诞生于70年代初。由于微机应用领域的扩大、可靠性进一步提高，80年代初在飞机电子设备中普遍采用微机，使飞机性能、效益有了极大的提高。本书针对目前我国民航飞机电子设备中所用的微机，综合叙述了微机的运算基础、基本逻辑电路、微机工作原理及飞机上通用的ARINC429接口原理。依据现代飞机应用的情况，按不同的用途可把微机归纳为六类，即数据处理微机、实时控制微机、资料文件库微机、飞行数据显示微机、信息存储与监控微机和人机联系管理用微机。对每一类应用都列举了当前飞机上实用的电子设备。顺便指出，这些美制或苏制飞机的电子设备，其面板或显示页面都使用了一些非标准的物理量符号。为了读者对照实物学习时的方便，我们沿用了这些符号而未加改动。

本书适合于没有系统学习过微机原理和正在掌握新机载电子设备的工程技术人员自学参考。

本书由钦庆生、周其焕等同志审校，并提出了重要的修改补充意见。在编写过程中得到了贺国强、马士忠、蔡成仁、高柱、李焯等同志的帮助，在此谨向他们表示衷心的感谢。

以微机为核心部件的先进机载电子设备，是近10年来才逐步装配在民用飞机上的，由于国内尚无详细资料、书籍，从国外引进飞机所提供的资料又多属使用维护方面和概述性的，加之编者水平有限，因此书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正。

编者 1992年5月

目 录

概论	1
第一章 电子计算机的运算基础	4
1.1 数制和二进制的特点	4
1.1.1 进位计数制	4
1.1.2 二进制的特点	6
1.2 不同数制之间的转换	8
1.2.1 十进制数与二进制数之间的转换	9
1.2.2 二进制数与八进制数之间的转换	13
1.2.3 二进制数与十六进制数之间的转换	14
1.3 在计算机内数值的表示法	15
1.3.1 二进制数的定点及浮点表示法	15
1.3.2 二进制数的原码、反码、补码表示法	19
1.3.3 二进制编码的十进制数	33
1.3.4 字母和符号的编码	38
1.4 计算机用基本逻辑电路	40
1.4.1 基本逻辑门电路	40
1.4.2 复合逻辑门电路	46
1.4.3 触发器	51
1.5 集成电路概述	59
1.5.1 双极型集成电路	60
1.5.2 MOS型集成电路	60
第二章 飞机用微机结构及工作原理	62
2.1 微机基本组成结构	62
2.1.1 中央处理器 (CPU)	63
2.1.2 存储器	64
2.1.3 输入设备	66
2.1.4 输出设备	66
2.1.5 微机结构特点	67
2.2 微机系统及主要技术指标	74
2.2.1 微型计算机系统	74

2.2.2 微机主要技术指标	75
2.3 微机工作原理	77
2.3.1 CPU基本结构及工作原理	77
2.3.2 指令系统	89
2.3.3 微机的运行过程——工作原理	92
2.3.4 微处理器的引脚	103
2.4 航空电子设备中微机的存储器	108
2.4.1 存储器的分类及其性能指标	109
2.4.2 飞机用随机存储器 (RAM)	111
2.4.3 飞机用只读存储器 (ROM)	119
2.5 微机的输入/输出接口技术	124
2.5.1 I/O的基本概念	125
2.5.2 飞机上微机通用标准I/O接口——ARINC429接口	141
2.6 中断技术	155
2.6.1 中断的概念	155
2.6.2 完成中断处理的基本要求	156
2.6.3 中断具有的功能	156
2.6.4 中断源及中断处理	157
第三章 微机在飞机上的应用	163
3.1 实用微机名称简介	163
3.1.1 微处理器	163
3.1.2 微型计算机	163
3.1.3 微型计算机系统	164
3.1.4 多机系统	164
3.2 实用微机的分类	164
3.3 微机在飞机上的应用概况	165
3.3.1 数据处理微机	165
3.3.2 实时控制微机	167
3.3.3 图书资料库检索微机	170
3.3.4 飞行信息显示微机	170
3.3.5 信息存储/监控式微机	177
3.3.6 人机联系管理用微机	184
3.4 微机系统用A/D与D/A转换器	185
3.4.1 D/A转换器	185
3.4.2 A/D转换器	189
第四章 导航系统数字式计算机	192
4.1 概述	192

4.1.1 HBC—42导航系统的组成及功用	192
4.1.2 ЦБМ20—1M的主要技术性能	194
4.1.3 主要技术用语缩写词	195
4.2 ЦБМ20—1M的原理组成	196
4.2.1 ИВУ处理机的组成	196
4.2.2 БП20—1电源部分特性	197
4.2.3 导航计算数学模型	198
4.2.4 导航计算机原理	201
4.3 准备和检查控制盒 (ППК)	203
4.3.1 ППК的功用	203
4.3.2 ППК面板	203
4.4 控制与显示终端 (ПВИ)	206
4.4.1 ПВИ的功用	206
4.4.2 ПВИ的面板	206
4.5 输入原始数据用的硬纸卡片	208
4.5.1 穿孔卡片	208
4.5.2 卡片上的编码原理	210
4.5.3 卡片穿孔的格式	213
4.6 ПА-4-42自动航图板	216
4.7 飞行前的准备工作	218
4.7.1 输入的原始数据	218
4.7.2 用穿孔卡片自动输入原始数据	219
4.7.3 对输入数据的检查	220
4.7.4 手控输入原始数据	220
4.8 ЦБМ20—1M的检测系统	222
第五章 飞行数据记录系统	225
5.1 组成及部件功能	225
5.1.1 DFDAU	225
5.1.2 DFDR	226
5.1.3 飞行数据输入面板 (FDEP)	227
5.1.4 三轴加速度计	229
5.2 主要性能指标及数据格式	230
5.2.1 主要性能指标	230
5.2.2 数据字格式	231
5.3 飞行数据记录系统组成关系	233
5.4 DFDAU组件功能原理	234
5.4.1 ARINC429数字信息输入通道	234

5.4.2	同步器及模拟信号输入通道	234
5.4.3	离散信号输入通道	234
5.4.4	DFDAU的自检测及显示	236
5.5	DFDR组件功能原理	236
5.5.1	数据流程	236
5.5.2	磁带的预先消抹	238
5.5.3	磁带的传动	238
5.5.4	数据的输出与检索	238
5.5.5	故障监控	239
5.6	飞行数据记录系统的信息在EICAS上显示	240
5.6.1	故障显示	240
5.6.2	状态信息	240
5.6.3	维护信息	240
5.7	飞行数据记录系统输入的信息	240
5.7.1	DFDAU采集的模拟式信号	240
5.7.2	必录的数字式及离散信号	241
5.8	DFDR磁带传动机盒特点	242
第六章	微机控制的电子时钟	243
6.1	航空电子时钟的功能	243
6.1.1	显示功能	243
6.1.2	数字式输出功能	244
6.2	航空电子时钟系统原理电路	244
6.2.1	航空电子时钟电源	244
6.2.2	微处理机的计时和输出显示	244
6.2.3	液晶显示器原理	246
6.2.4	GMT数据及时钟状态在FMCS的CDU上显示	248
6.3	航空电子时钟的控制操作	250
6.3.1	GMT 4 位电门的功能	250
6.3.2	ET 3 位控制电门的功能	250
6.3.3	CHR秒表按键	250
6.3.4	遥控时钟按键	251
附录一	ARINC电子设备规范简介	252
附录二	缩略词英汉对照表	262
主要参考资料		268

概 论

数字式电子计算机是一种先进的计算工具，它能以极高的速度进行大量的、复杂的精确计算。在一定的条件下它可以代替人们从事部分的脑力劳动，在经济建设、国防和科学研究的现代化方面起着重要的作用。数字式电子计算机的出现和发展是20世纪科学技术上的一个重大成就。

世界上第一台数字式电子计算机ENIAC是在1946年由美国宾夕法尼亚大学为弹道设计服务而研制的，至今才不过46年的历史，但它的发展却是非常迅速的。从电子计算机所用的基本元器件来看，在这46年中经历了几代的变化。第一代是电子管计算机，ENIAC使用了18000只电子管、1500多个继电器、50个整流器，重量达30吨，耗电150千瓦，投资100万美元。第二代是用分立元件的晶体管计算机。第三代是采用了中、小规模集成电路元件的计算机。第四代计算机的重要标志就是采用了大规模集成电路，由此而诞生了微型计算机。微型计算机出现后发展异常迅猛，预计随着超大规模集成电路的进一步发展，电子计算机将进入有人工智能特点的第五代。

自从1971年美国英特尔（INTEL）公司的第一个微处理器I4004和第一台微型计算机MCS—4问世以来，电子计算机技术迈入了一个崭新的微机时代。

微机具有体积小、功能强、耗电少、可靠性高、价格低和使用方便等特点。所有这些特点都与大规模集成电路（LSI）技术发展的成功分不开。从理论上讲，微机无论是在系统结构或工作原理方面与大、中、小型计算机相比并无本质的区别，所不同的是微机广泛采用了集成度相当高的元器件。尤其是它的核心部件——中央处理器（CPU），采用了大规模或超大规模集成电路

(VLSI) 芯片, 其体积仅有大、中、小型计算机核心部件的千分之一或万分之一。

微型计算机技术所以能获得迅速的发展, 是与它有着广泛的应用领域分不开的。当前微机可以直接替代小型机, 不仅在科学计算、信息处理、过程控制、监测、事务管理、生产过程完全实现实时控制的自动化等方面占有重要地位, 而且在各行各业, 乃至对人们的生活和家用电器也发挥了不可缺少的作用。随着社会的进步和科学技术的发展, 人们对微机的需求和它在各个领域中的应用将得到进一步的扩大。

微型计算机已成为现代航空航天工程中最重要技术装备之一。用于航空工程的计算机可分为地面用和飞行器用两大类。地面用计算机多为通用型电子计算机, 而飞行器用计算机则多为分系统使用的专用微机。在80年代初期投入使用的民航飞机各机载设备, 大多采用了通用的微处理器作为它的中央处理器(CPU)。对飞行器上所装配的微机要求比较高, 具体讲有以下四点:

(1) 能在恶劣的环境下正常工作: 如能在较大的温度变化范围($-60\sim+60^{\circ}\text{C}$), 冲击过载高达 40 g , 以及振动、潮湿、盐雾、电磁干扰、空间粒子辐射和核辐射等条件下工作。为此要采用经过严格筛选的元器件。用蓝宝石做芯片基底的CMOS器件有较高的抗辐射能力, 在航空器的微机中应用较多。

(2) 体积小、重量轻、功耗低: 现代飞机所用微机多以大规模或超大规模集成芯片的CPU为核心, 并已开始采用单片微机和二次集成微机。CMOS集成芯片功耗低, 可靠性高, 是现代机载电子计算机较理想的元器件。

(3) 工作可靠、性能稳定: 现代大型客机价格昂贵, 在飞行中无法维修, 计算机一旦失效, 后果严重。为保证其工作可靠, 除采用高可靠性器件之外, 还须采用冗余技术、自检测和监控技术, 采用多微机构成容忍出错的计算机系统, 且能自动检测、诊断故障, 自行改组计算机结构, 保持总系统正常工作。

(4) 实时性强: 飞机速度快, 飞行环境和飞机姿态也瞬息

多变，因此飞机上的微机应当能够实时地采集数据进行运算，实施控制。它的数据采样间隔时间一般仅为几毫秒至几十毫秒，计算周期等于采样间隔时间或是它的几倍。随着飞行器性能的提高，需要运算和处理的数据信息不断增多，也要求计算机有更高的运算处理速度。

现代飞机机载电子设备、电气设备对微机的应用是相当普遍的，诸如大气数据计算机、电子飞行仪表、推力管理计算机、飞行控制计算机、导航计算机、发动机显示与机组警告系统、中央维护监控计算机、飞行数据采集系统及飞行管理计算机系统等等。在飞行器上应用的微机系统有三种结构形式：一是独立的单功能计算机，如导航计算机、飞行控制计算机、大气数据计算机等；二是集中式计算机系统，如空间探测器、卫星等多采用这种结构形式，采用单机或双机冗余系统，集中地完成多种任务；三是分布式计算机系统，如飞行管理系统就属这种结构。

现代飞机电子设备中所用微处理机的型别很多，特点不一。在本书中我们把微机的共同部分的核心内容概括出来，组成一个微处理机模型，然后较系统地介绍这个模型机的工作原理。这对于掌握各种型别的微机甚为有益，能收到触类旁通的效果。

第一章 电子计算机的运算基础

数字式电子计算机主要用来进行科学计算和数据处理。在计算机内究竟是如何对数据进行运算的？按什么规律进行运算的？这是掌握电子计算机原理首先要弄清的问题。本章主要讨论解决这一基本问题所要用到的基础知识和基本逻辑电路。

1.1 数制和二进制的特点

1.1.1 进位计数制

按进位的方法进行计数，称为进位计数制。进位计数制种类很多，比如计时，60秒为1分钟，60分钟为1小时，是“逢六十进一”的六十进位制。我们天天接触的大量的数值计算则是“逢十进一”的十进位计数制。一个十进制数，它的数值是由10个不同的数码0、1、2、3、4、5、6、7、8、9来表示的。数码所处的位置不同，代表数的大小也不同。如1989中左起数码1表示一千，数码9表示九百，数码8表示八十，右边的数码9表示九个，该数读做一千九百八十九。或者说数1989从右起第一位是个位，第二位是十位，第三位是百位，第四位是千位。这里“个、十、百、千……”在数学上叫做“权”。每一位上的数码与该位“权”的乘积表示该位数值的大小。十进位计数制的特点是“逢十进一”。例如 $6 + 7 = 13$ ，这个13就是根据“逢十进一”的原则而得到的。

在电子计算机中，常用的是二进位、八进位、十六进位计数制，其中二进位计数制用得最为广泛。

在十进位计数制中，386.72可表示为

$$\begin{aligned} 386.72 = & 3 \times (10)^2 + 8 \times (10)^1 + 6 \times (10)^0 + 7 \times (10)^{-1} \\ & + 2 \times (10)^{-2} \end{aligned}$$

一般说来, 任何一个十进制数 N 可以表示为

$$N = \pm [K_n \times (10)^n + K_{n-1} \times (10)^{n-1} + \cdots + K_1 \times (10)^1 + K_0 \times (10)^0 + K_{-1} \times (10)^{-1} + K_{-2} \times (10)^{-2} + \cdots + K_{-m} \times (10)^{-m}] = \pm \sum_{i=-m}^n [K_i \times (10)^i] \quad (1-1)$$

式(1-1)中, m 、 n 为正整数; K_i 可以是0、1、2...9十个数码中的任何一个, 它要由具体的数来决定; 圆括号中的10是十进制的基数, 基数就是在该计数制中数码符号的个数, 基数为“10”, 就是十进制数。

对于任意进位制, 基数可用正整数 R 来表示, 这时数 N 则可表示为

$$N = \pm \sum_{i=-m}^n K_i R^i \quad (1-2)$$

式(1-2)中, m 、 n 的意义与式(1-1)相同; K_i 则是0、1、...、 $(R-1)$ 中的任何一个; R 是基数。

对于八进制, $R=8$, 此时有0、1、2、3、4、5、6、7八个数码符号, 采取“逢八进一”的进位原则, 基数“8”在这里表示八。一个八进制数 $(402)_8$ 可用式(1-2)表示为

$$(402)_8 = 4 \times (8)^2 + 0 \times (8)^1 + 2 \times (8)^0$$

最简单的计数制是二进制, 这时基数 $R=2$, 用(2)表示, 它只有0、1两个数码符号, 进位原则是“逢二进一”。例如十进制数 $(197)_{10}$ 在二进制中可用下式表示:

$$\begin{aligned} (197)_{10} &= (11000101)_2 \\ &= 1 \times (2)^7 + 1 \times (2)^6 + 1 \times (2)^2 + 1 \times (2)^0 \end{aligned}$$

下面把常用的几种进位计数制表示方法列于表1-1中。

表1-1 常用计数制的表示方法

十进制制	二进制制	八进制制	十六进制制
0	0	0	0
1	1	1	1
2	1 0	2	2
3	1 1	3	3
4	1 0 0	4	4
5	1 0 1	5	5
6	1 1 0	6	6
7	1 1 1	7	7
8	1 0 0 0	10	8
9	1 0 0 1	11	9
10	1 0 1 0	12	A
11	1 0 1 1	13	B
12	1 1 0 0	14	C
13	1 1 0 1	15	D
14	1 1 1 0	16	E
15	1 1 1 1	17	F
16	1 0 0 0 0	20	10

1.1.2 二进制的特点

人们已经习惯采用十进制计数制，而在计算机内采用十进制数进行运算却很不方便。实践证明，从经济上、繁简程度和速度等方面看，在计算机内采用二进制均比十进制优越。所以现代大多数电子计算机都采用二进制来表示数字和进行运算。这是因为二进制有以下四个特点：

1. 数的状态简单，容易表示

二进制数只有 0、1 两个数符，用两种电路状态表示这两个数符是很容易实现的。在电子计算机中通常采用脉冲的“有”、“无”或者用电位的“高”、“低”来表示 1 和 0。又如可用晶体管的导通或截止，磁芯沿不同方向磁化等来表示出 1 和 0 两种状态。这种简单的状态，工作可靠，抗干扰能力强。

2. 算术运算简单

二进制的两个整数的“和”与“积”的规律极为简单，各有三条。

加法：

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10$$

乘法：

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

显然，这样的运算规则比十进制简单得多，因此，在电子计算机中实现二进制运算的电路也就大大简化了。

通过下面几个二进制数的四则运算例题，可进一步领会它的运算规则。

〔例 1〕

$$\begin{array}{r} 1101 \\ +) 1011 \\ \hline 11000 \end{array}$$

〔例 2〕

$$\begin{array}{r} 11011 \\ -) 10001 \\ \hline 1010 \end{array}$$

〔例 3〕

$$\begin{array}{r} 1101 \\ \times) 101 \\ \hline 1101 \\ 0000 \\ 1101 \\ \hline 1000001 \end{array}$$