

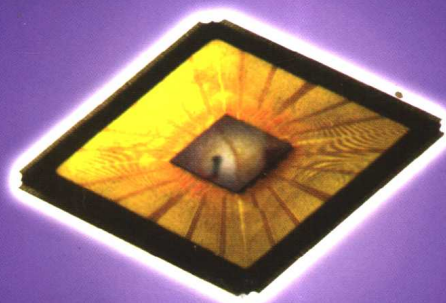


实用性 · 资料性 · 启发性 · 信息性

单片机外围器件实用手册

输出通道器件分册

窦振中 编著



北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

TP368.1.62
D592

单片机外围器件实用手册丛书

单片机外围器件实用手册

输出通道器件分册

窦振中 编著

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.com.cn>

内容简介

本书作为《单片机外围器件实用手册》的输出通道分册,分三章介绍与单片机输出有关的三类主要器件。第一章分类介绍各种典型的 D/A 转换器件:并行输入/电压输出 D/A 转换器、并行输入/电流输出 D/A 转换器、串行输入/电压输出 D/A 转换器、串行输入/电流输出 D/A 转换器。在每一类中,又从低位到高位分别介绍常用型号的 D/A 转换器。第二章分别介绍 LED 和 LCD 器件及其控制集成电路:包括静态 LED 显示器件、并行数据输入和串行数据输入动态显示器件,笔段型、点阵字符型和点阵图形型 LCD 显示模块及其驱动器件。第三章介绍各种主流的计算机语音输出器件。

本书可供从事单片机和嵌入式系统应用开发工作的工程技术人员参考使用,也可作为电子信息工程专业的技术人员和大、专院校师生工具参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机外围器件实用手册. 输出通道器件分册/窦振中编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2002.3

ISBN 7-81077-251-1

I. 单… II. 窦… III. ①单片微型计算机—外部设备—手册②单片微型计算机—转换器—手册

IV. TP368.14-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 010837 号

单片机外围器件实用手册

输出通道器件分册

窦振中 编著

责任编辑 胡 敏

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn>

E-mail: bhp@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:36.25 字数:928 千字

2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-251-1 定价:58.00 元

《单片机外围器件实用手册》 丛书编委会

主 任：何立民

执行主任：邹宽明

编 委：(按姓氏笔划排列)

王小青 纪宗南 邹宽明 吴德新

何立民 赵延永 窦振中

序 言

单片机(Microcontroller,微控制器)的出现无疑是近代计算机技术发展史上的重要事件,它使嵌入式计算机系统实现了单片集成,并促进通用微处理器(CPU)向嵌入式微处理器发展。如今,嵌入式微控制器与嵌入式微处理器形成了嵌入式系统中两个重要组成部分。它的形成与发展,使现代电子技术进入到一个崭新的智能化时代,并推动了计算机外围器件的发展。这些外围器件包括诸如传感器接口通道的大信号输出的传感器,数字化、智能化、集成化传感器,各种类型的模数转换器,集成化数据采集器,V/F转换器,跟踪/保持器,多路选择器,基准电源等;人机对话的各种键盘驱动器、LED/LCD显示驱动器及相应的显示模块,语音合成器件;伺服控制通道接口的数据转换器、F/I转换器、光耦驱动器,以及形形色色的电子电力集成器件;数据通信通道接口的各类电平转换与驱动等,以及保证单片机可靠运行的 μ P监控器件,电源监视器件和单片机系统内、外的存储器件等。这无疑已形成了一个庞大的嵌入式系统外围器件产业。

目前,外围器件技术的发展,已从初期满足单片机应用系统的功能要求转入全面保证系统的综合品质的发展阶段。例如,存储器件除了注意发展存储容量、存取速度外,还注意了发展存储器件的数据保护、存取管理、多样化接口技术等;在许多外围器件中实现单片机的实时管、控运行功能,如关断(Shutdown)、休闲(Idle)方式控制等。

随着微电子技术的发展,可编程器件得到迅速的发展。在数字逻辑器件领域中,可编程器件与开发工具已达到十分完美的境地。随着数字/模拟混合可编程逻辑器件的发展,单片机外围器件将会形成两大类型器件(可编程组合器件与非可编程器件)相互补充、相互竞争的局面。

随着半导体工艺、系统集成技术、电子设计技术的发展,单片机外围器件在迅猛地发展,并具有以下几个特点:

1. 普遍CMOS化。CMOS器件有极低的静态功耗,集成度高,数字逻辑噪声容限大。静、动态功耗的巨大差别易实现单个器件及整机系统的功耗管理。

2. 多功能、新品种层出不穷。微电子技术的发展,使得新器件的研制成本、研制周期大大缩短,使得过去常常需要电路设计解决的功能可通过微电子设计技术来解决,如函数发生器、数字电位器、温度计IC、光栅四倍频辨向集成电路等。对这些外围器件很难进行分类。

3. 实现低电压、低功耗及功耗管理功能。CMOS电路为实现低电压、低功耗及功耗管理提供了良好的条件。目前,这已是CMOS外围器件发展的一个普遍趋向。CMOS器件本身以及在低电压下运行保证了本质低功耗的运行特点。而使

CMOS 器件进入静态工作状态或使工作频率降低,则是 CMOS 器件日益发展的 Shutdown 和 Idle 功耗管理方式。CMOS 器件以及 CMOS 电路系统中,功耗管理除了降低能耗外,最重要的意义在于使系统获得更高的可靠性。

4. 可靠性技术是所有单片机外围器件的重要追求目标。“使用新器件要比老器件可靠性好”已逐渐形成一种新观念。除了在新器件研制时把可靠性技术作为一个重要技术因素融入外,减少外围元件、加大集成度也是重要原因。

单片机外围器件的多样化、全方位的发展,使单片机应用系统设计走上了依靠微电子技术的“系统解决”和“器件解决”道路。

1. 在单片机应用系统设计中,寻求最大限度的系统集成,以减少外围器件数量。其一是选择通用逻辑阵列器件,通过通用编程工具构成所需要的功能单元电路;其二是寻求新的系统集成器件。

2. 在解决电路系统设计中,遇到难题应首选“器件解决”途径。在微电子技术高速发展的时代,电路难题寻求微电子技术解决已成为新观念、新方法;加之商品市场的高度发展,为解决电路难题而推出了价廉物美的商品器件已成时尚。通过“器件解决”能最终地、完善地解决电路难题。因此系统在电路设计中,设计人员最重要的任务是寻找新器件,最重要的能力是通晓新器件的信息、发展动态及供货渠道。

《单片机外围器件实用手册》丛书编辑出版的目的是力图将目前常用的一些单片机外围器件进行归纳、整理,使读者有个概貌的了解,对常用外围器件的选用提供参考,在具体电路设计时提供帮助。

本丛书共有五个分册,即存储器分册、数据传输接口器件分册、电源器件分册、输入通道器件分册以及输出通道器件分册。每个分册的编者除通晓单片机技术外,都是相应领域的专家、学者,他们在本学科领域中的理论基础和实践知识保证了手册丛书有较高的质量。手册丛书编辑出版的复杂性,使北航出版社的同仁们付出了艰辛的劳动,在此都一并感谢。最终希望本丛书能使读者有较好的收益。

上面的序写于 1998 年 3 月《单片机外围器件手册》编辑出版之际。由于输出通道分册的作者几经更迭,推迟 4 年多才得以出版,在此对广大读者表示歉意。好在作者已将近几年的新器件作了一些补充,也好有所交待。1998 年 3 月序言中提到的外围器件发展的特点,以及依靠微电子技术“系统解决”和“器件解决”的道路更加明显。系统的 SOC 化会对外围器件产生新的要求,外围器件也会受到 PLD 发展的影响,然而外围器件也在不断的发展变化之中。希望引起读者注意。

《单片机外围器件实用手册》主编

 教授

1998 年 3 月

2003 年 3 月补充

前 言

计算机作为人类的工具,如果不能与计算机外部世界进行交互作用是没有什
么用处的。这种交互作用是通过输入通道输入程序和原始数据,而计算机经过计
算获得的结果要通过输出通道输出。

本书作为《单片机外围器件手册》的输出通道分册,分三章介绍与单片机输出
有关的三类主要器件。

计算机输出有多种形式,对我们存在的世界而言,所涉及到的各种物理量大
多数是以连续变化的模拟量形式出现。我们知道,目前主流计算机都是以离散
的数字量形式进行工作,模拟量要与计算机发生联系,就必须要实现模拟量与数
字量之间的转换。实现这种转换的 A/D 转换器件已安排在输入通道分册中介绍,
本书将在第一章分类介绍各种典型的 D/A 转换器件。D/A 转换器可分成四类:
并行输入/电压输出 D/A 转换器、并行输入/电流输出 D/A 转换器、串行输入/电
压输出 D/A 转换器、串行输入/电流输出 D/A 转换器。在每一类中,又从低位到
高位分别介绍常用的 D/A 转换器。

计算机人机交互作用中的输出形式不外乎与刺激人的视觉、听觉、触觉、嗅觉
和味觉相关的输出。目前是以视觉显示输出为主,因为人所获得信息的最主要渠
道是视觉(大约要占 80%),所以目前用得最有效的方式是利用显示器件显示各种
需要输出的视觉信息。其中面广量大的是用发光二极管(LED)、液晶(LCD)和阴
极射线管(CRT)构成的显示器。因为在微控制器应用或嵌入式系统中前两种显
示器更普遍,所以本书将在第二章分别介绍 LED 和 LCD 器件及其控制集成电
路。在 LED 显示器件中,分成静态显示器件和动态显示器件两类加以介绍。在
动态显示器件中,根据数据输入接口形式又细分成并行数据输入和串行数据输入
两类分别介绍。在 LCD 显示器件中,分成笔段型、点阵字符型和点阵图形型三类
不同的显示模块及其驱动器件进行介绍。

计算机交互作用中输出的其次渠道为听觉,因为语言是人类自然交往的媒
介,是人类生活中使用最广泛、最直接、最有效和最方便的交流形式;而且当语音
与刺激听觉相关的诸如声响、音效、音乐和语音等声音同时输出时,还有比视觉
显示形式更优越的一些特点。例如,在接受语音信息时不需要像接受视觉信息那样
必须注意显示(信息源)设备;另外人对声音的处理速度要比处理图像文字的速度
要快,而且语音信息不受照明条件和物体障碍的限制。声音输出已越来越多地作
为计算机输出的一种常用形式被广泛应用,并经常把视觉和听觉输出相结合,以

提供更丰富的视听一体化声像并茂的信息。所以本书将在第三章介绍计算机语音输出器件。因为不同厂家实现语音输出器件的技术都不相同,有各自的特点,所以在这一章中,以目前占市场份额较大的主要几个厂商如日本的 OKI 公司、兼并了美国著名语音芯片制造商 ISD 公司的台湾的 Winbond 公司和数字信号处理 (DSP) 专业厂家美国的 TI 公司分别归类介绍语音处理和合成器件。

作为丛书中的一本,本书姗姗来迟,是因为编写几经易人。因为工作方面的原因,有两任约定的作者都未能完成该书稿的交付出版,误了四年多时间,本作者临“危”受命,抽档插空赶写了该书。书中部分资料由于光辉副教授帮助整理,文稿计算机输入由我妻子周巧桂协助,书中的图多亏研究生羌锋、周全、宋鹏、孙传群、李永以及徐心峰同学的努力协助,在此一并致以衷心的感谢。

由于笔者水平和功力有限,加上可能的某些偏见,尽管已尽力避免,可能还会有一些错误疏漏和不妥之处,敬请读者给予指正。

编 者

2002. 8

目 录

第一章 集成数模转换器	1
1.1 D/A 转换器概述	1
1.2 数模转换器常用基本术语和参数	1
1.3 数字输入和模拟输出特性	6
1.3.1 数字输入特性	6
1.3.2 模拟输出特性和基准电压源	7
1.4 典型集成 D/A 转换器	8
1.4.1 通用并行输入/电压输出 D/A 转换器	8
1.4.1.1 8 位 D/A 转换器 AD557/558	8
1.4.1.2 8 位 D/A 转换器 AD7224/7225/7226/7228	16
1.4.1.3 10 位 D/A 转换器 MAX503	25
1.4.1.4 12 位 D/A 转换器 AD394/395	28
1.4.1.5 12 位 D/A 转换器 AD667/MX667/AD767/MX767	37
1.4.1.6 12 位 D/A 转换器 AD7245/7248/MX7245/48	47
1.4.1.7 12 位 D/A 转换器 MAX530	56
1.4.1.8 12 位 D/A 转换器 MAX555	65
1.4.2 通用并行输入/电流输出 D/A 转换器	72
1.4.2.1 8 位 D/A 转换器 DAC08(DAC0800/0801/0802)和 DAC0808/0807/0806	72
1.4.2.2 8 位 D/A 转换器 DAC0830/0831/0832	78
1.4.2.3 8 位带有缓冲器的乘法型 D/A 转换器 AD7524/AD7624	83
1.4.2.4 8 位带有缓冲器的乘法型 D/A 转换器 AD7528/7628	90
1.4.2.5 10 位 D/A 转换器 AD7520/MX7520	96
1.4.2.6 10 位双缓冲输入乘法型 D/A 转换器 AD7522	101
1.4.2.7 12 位高精度 D/A 转换器 AD7521	105
1.4.2.8 12 位与微处理机兼容的 D/A 转换器 AD7542	108
1.4.3 通用串行输入/电压输出 D/A 转换器	113
1.4.3.1 三通道低价格 8 位 D/A 转换器 MAX512/513	113
1.4.3.2 带有满摆幅输出放大器的 2 线串行 8 位 D/A 转换器 MAX517/518/519	121
1.4.3.3 10 位低功耗 D/A 转换器 MAX504/515	131
1.4.3.4 12 位 8 引脚 D/A 转换器 MAX531/538/539	140
1.4.3.5 12 位三线串行口输入 4 通道 D/A 转换器 MAX536/537	149

1.4.4 通用串行输入/电流输出 D/A 转换器	160
1.4.4.1 12 位快速乘法型 D/A 转换器 AD7943	160
第二章 显示器件及其驱动集成电路	166
2.1 LED 显示器件及其驱动集成电路	166
2.1.1 LED 显示器件概述	166
2.1.2 LED 数码管显示器静态显示控制驱动器件	170
2.1.2.1 并行数据输入接口电路	170
2.1.2.2 串行数据输入接口电路——8 位串行移位寄存器 '164	200
2.1.3 LED 数码管显示器动态显示控制驱动电路	203
2.1.3.1 并行数据输入接口电路	204
2.1.3.2 串行数据输入接口电路	227
2.2 LCD 显示器件及其驱动集成电路	251
2.2.1 液晶(LCD)显示器概述	251
2.2.2 液晶显示模块及其驱动集成电路	254
2.2.2.1 笔段型液晶显示器件及其驱动电路	255
2.2.2.2 点阵字符型显示模块及其驱动电路	310
2.2.2.3 点阵图形型液晶显示驱动电路和显示模块	321
第三章 计算机语音输出器件	395
3.1 计算机语音输出技术和器件概述	395
3.1.1 计算机语音输出技术	395
3.1.1.1 计算机语音合成技术	395
3.1.1.2 计算机语音存储技术	398
3.1.1.3 计算机语音还原技术	398
3.1.2 计算机语音合成器件	398
3.1.2.1 概 述	398
3.1.2.2 语音合成器件的选用	399
3.2 语音输出器件	400
3.2.1 Oki 语音器件	400
3.2.1.1 ADPCM 固态录音/放音集成电路 MSM6688/6688L	400
3.2.1.2 带有 FIFO 的声音合成器 MSM9842	449
3.2.2 ISD—Winbond 语音芯片	466
3.2.2.1 ISD4000 系列单片声音录放器件	467
3.2.2.2 ISD5000 系列单片声音录放器件	480
3.2.3 TI 语音合成器件	509
3.2.3.1 MSP50C6XX 系列语音处理器简介	510
3.2.3.2 TSP50C0X/TSP50X1X 系列语音处理器简介	512
3.2.3.3 MSP53CXXX 系列/CSM30003 目录式语音处理器简介	514

3.2.3.4	MSP50X3X 系列语音处理器	516
3.2.4	UMC 语音合成器件	545
3.2.4.1	语音合成芯片 UM5101	545
3.2.4.2	语音合成芯片 UM5100	550
3.2.5	东芝公司的语音合成器件(T6668 语音合成器件)	553
3.2.5.1	概 述	553
3.2.5.2	主要性能及其特点	553
3.2.5.3	外部引脚及其说明	554
3.2.5.4	内部功能结构框图及其特性说明	555
3.2.5.5	操作说明	557
参考文献		568

第一章 集成数模转换器

1.1 D/A 转换器概述

单片机应用系统要实现输出连续控制,就要通过 D/A 转换器把单片机输出的数字量转换成电量(电流或电压)。这里 D/A 转换器输出的电量并不能连续可调,而是以所用 D/A 转换器的绝对分辨率为量化单位增减,所以这实际上是准模拟量输出。选择不同分辨率的 D/A 转换器要根据要求的系统控制精度而定。D/A 转换器的位数越多,分辨率越高。但 D/A 转换器的分辨率仅是关系到系统精度的最基本的参数,与 A/D 转换器一样,系统精度不仅与 D/A 转换器本身的实际转换精度和其他诸如失调误差、增益误差、线性误差等有关,还与系统的结构、配置,特别是还与提供的基准电压有关。

目前有各种 D/A 转换集成芯片可供选择。从数字输入的位数而言,应用最多的有 8 位、10 位、12 位 D/A 转换器,尚有高位 14 位、16 位、18 位或更高位的 D/A 转换器。D/A 转换器有多种类型。从数据输入方式分,有并行输入和串行输入两种方式:并行输入方式的转换速率一般比串行输入方式快;但串行方式与微处理器或单片机接口时,所需要占用的接口引脚资源要少。从输出形式分,有电流输出型和电压输出型两种形式。通常电流输出型的建立时间较快,仅几十纳秒,而电压输出型的相应要长些,大约几百纳秒。按输出极性分,有单极性输出和双极性输出两种。从结构上看,D/A 转换器可分成两类:一类 DAC 芯片内设置有数据寄存器、片选信号和写信号,引脚可以直接与微处理器或单片机的总线连接;另一类没有锁存器,不能直接与单片机的总线连接,中间必须加锁存器,或者通过并行接口或串行接口与单片机相连。有的集成 D/A 转换器片内带有基准电压源,使用就比较方便,如果片内不带基准电压源,在使用时就需要外接精密基准电压源。

此外,为了满足各种不同系统的要求,有的厂家还生产出许多特殊的 D/A 转换器,例如 DAC1420/1422 就是为了与电动单元组合仪表配套而生产的一种输出为 4~20 mA 电流、能直接驱动执行器的 D/A 转换器。

1.2 数模转换器常用基本术语和参数

因为数模转换器既涉及到数字量,又涉及到模拟量,所以有关表征集成数模转换器质量和性能的一些新术语和新参数,就既有别于数字集成电路,又有别于模拟集成电路。为了在以后的分类介绍中避免重复表述,先集中介绍一些常用的基本术语和参数。需要指出的是,对于同一个术语或参数,不同厂家对它们的定义可能不尽相同。

1. D/A 转换器

这是指能把数字量转换成模拟电量的器件。可以将 D/A 转换器看成是一种译码器,其输入量是数字信号 D 和模拟基准电压 R,其输出量是模拟电信号 A(可以是电压或电流)。理想

D/A 转换器的输出量 A 与输入量 D 和 R 的关系应为

$$A = R \cdot D$$

对一个确定的 D/A 转换器,模拟基准电压 R 往往是一个固定值,相当于是一个比例系数。显然这里 D/A 转换器输出的电量不能连续可调,而只能以所用 D/A 转换器的绝对分辨率为量化单位增减,所以 D/A 转换器实际上是准模拟量输出。

2. 线性 D/A 转换器

理想 D/A 转换器的输出模拟量与输入数字量呈线性比例关系,这样的 D/A 转换器就称作线性 D/A 转换器。一般把非线性度较小的 D/A 转换器看成是线性 D/A 转换器。

3. 非线性 D/A 转换器

如果 D/A 转换器的输出模拟量与输入数字量之间的关系不是线性关系,这样的 D/A 转换器就称作非线性 D/A 转换器。这里非线性 D/A 转换器一般并不是指那些线性不理想的 D/A 转换器,而是指具有某种非线性关系的 D/A 转换器。例如指数型 D/A 转换器就是一种常见的非线性 D/A 转换器。这种指数型 D/A 转换器的实现可以用不同方法,如用分段线性近似法、变换衰减法,或者利用双极型晶体管的基极—发射极电压与集电极电流之间的指数关系进行变换等方法。最后一种 D/A 转换器通常由线性 D/A 转换器加上电压—电流非线性转换器两部分组成。

4. 乘法 D/A 转换器

乘法 D/A 转换器与一般 D/A 转换器的不同之处是它有两个数字量输入端,而其输出的模拟量正比于这两个输入数字量的乘积。实际乘法 D/A 转换器的内部含有两个 D/A 转换器,其中一个 D/A 转换器的输出模拟量作为另一个 D/A 转换器的模拟基准电压。即因为

$$R_2 = A_1 = R_1 \cdot D_1$$

所以

$$A_2 = R_2 \cdot D_2 = R_1 \cdot D_1 \cdot D_2$$

其中, R 为模拟基准电压, D 为输入的数字量。

5. 分辨率 (Resolution)

这是指 D/A 转换器能够产生模拟量输出的最小标准增量的变化,即当最低有效位 LSB 变化一个最小数码量时所对应的输出模拟量的变化量。对于 n 位的线性 D/A 转换器而言,分辨率就为满量程模拟输出值的 2^{-n} 。因为能够分辨的模拟量输出的状态数取决于输入数字的二进制位数,所以通常可以用(而且更常用)D/A 转换器二进制位数 n 来表示其分辨率。所谓 n 位分辨率,就是指它能够区分 2^n 个量化模拟输出量的能力。显然,位数越多,分辨率就越高。需要注意的是,分辨率是一个设计参数,而不是性能参数,它与精度、线性度不是一个概念。表 1.2-1 列出几种不同位数 D/A 转换器的量化单位和分辨率的关系。

表 1.2-1 不同位数 D/A 转换器量化单位和分辨率

位数	量化单位/(%R)	分辨率
8	0.390 6	1/256
10	0.097 7	1/1 024
12	0.024 4	1/4 096
16	0.001 5	1/65 536

注: R 为基准电压。

6. 精度(Accuracy)

该特性用于 D/A 转换器时被认为是一个非明确术语,而线性度特性更能说明问题。

D/A 转换器的精度是指实际模拟输出值与预定的理想输出值(从 0 到满量程的一根直线)之间在最坏情况下的偏差,它包含所有的误差。精度可以表示为绝对精度和相对精度,一般用以下三种常用的方法表示:

- ① 用满输出量程 FS(Full Scale)的百分比表示,例如 0.4% FS;
- ② 用二进制位数表示,例如 8 位、10 位、12 位等;
- ③ 用最低位(LSB)的分数值表示相对精度,例如 $(1/2)$ LSB。

当用二进制位数表示时, n 位 D/A 转换器的精度是指 D/A 转换器的最大可能输出量的误差 ΔA ,它应满足以下关系:

$$\Delta A = FS/2^n$$

当用最低位 LSB 的分数值表示时, n 位 D/A 转换器的 $(1/2)$ LSB 精度是指最大可能输出量的误差 ΔA ,它应满足以下关系:

$$\Delta A = (1/2)(FS/2^n) = FS/2^{n+1}$$

12 位 DAC 的转换精度一般不会优于 $\pm(1/2)$ LSB 或 $\pm 2^{-(12-1)}$ 。这是由于其分辨率为 $\pm 0.0122\%$ FS 的限制。图 1.2-1 表示无误差的情况。实际上 $\pm 0.0122\%$ FS 是表示离 100%精度的偏差,所以精度应该为 99.9878%。然而一般习惯上,却常把 $\pm 0.0122\%$ FS 作为精度特性而不是作为不精确性(容差或误差)特性。

需要注意的是,在实际工作中,大部分人直接用的 D/A 转换器标称的二进制位数和满量程的百分比表示的“精度”实际上指的是分辨率。虽然精度是以分辨率为基础的,但是毕竟是两个概念。精度除了分辨率的影响外,还要受其他多种因素(例如失调误差、增益误差、线性误差、差分/差分线性误差等)的影响。一般 D/A 转换器的精度估计要比其分辨率少一位。即 12 位分辨率的 D/A 转换器,其精度大约为 11 位。

精度的高低可以用综合误差来概括,但为了表示不同误差的分布,一般用分项误差来表示,应用手册上经常会给出以下几种误差(精度)指标:

(1) 量程误差(Scall Error)

有时又称满量程误差(Full Scall Error),这是指对给定的代码(通常是满量程代码)离所设计的 DAC 输出模拟量的偏差(如图 1.2-2 所示)。该误差可能由基准电压、梯形电阻值或放大器增益等引起。通过调节输出放大器增益或基准电压可以对其进行修正。如果转换曲线类似于图 1.2-3,在 $3/4$ 处进行量程调节就比在满量程处调节可以更好地改善整个正负($\pm$)精度。图 1.2-3 是一个典型的非线性传输特性曲线,其非线性为 1.25 LSB,但它是平滑而单调变化的。

(2) 失调误差(Offset Error)

这是指当 D/A 转换器输入数字量为全零时,实际模拟输出量与理论输出量之间的差值。这种误差使整个传递特性曲线产生垂直偏移,所以又称偏移误差或零点误差。这种偏移可能是正偏移或负偏移,但在整个量程范围内是恒定不变的。在全零输入的情况下,单极性 D/A 转换器理想模拟输出量应为零,双极性 D/A 转换器理想模拟输出量应为负域的满量程值。该误差的大小可以用 LSB 作为单位表示(例如 $(1/2)$ LSB),也可以用误差值相对满量程值的百分比(%FS)表示。图 1.2-4 是一个表示有线性 $(1/2)$ LSB 失调误差的传递特性曲线。

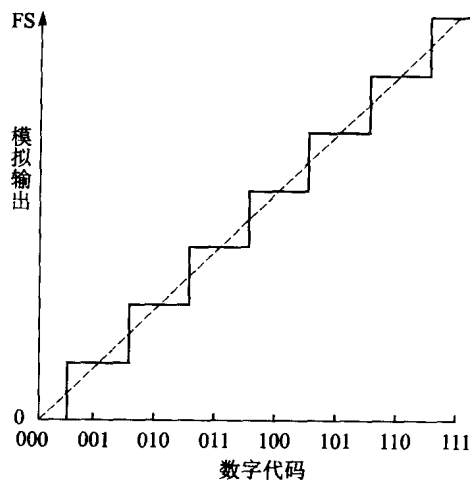


图 1.2-1 表示最小分辨误差和最好可能精度的线性 DAC 转换曲线

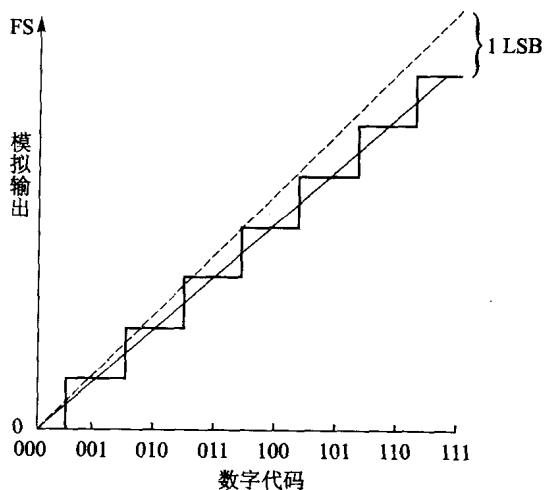


图 1.2-2 线性 1 LSB 量程误差

在确定的温度下,失调误差可以通过外部调整对其进行补偿来消除影响。有些 D/A 转换器芯片本身就设有调零端,用外接可变电阻调零;对未设调零端的芯片,就需要在运算放大器输入端外接调零偏置电路解决。因为失调误差是温度的函数,所以温度变化就需要重新调整。

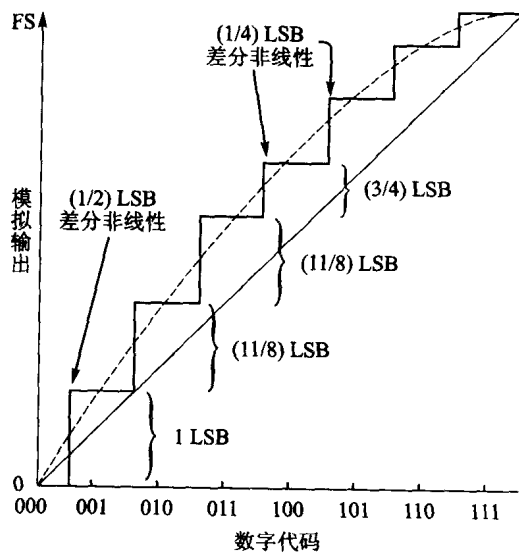


图 1.2-3 (5/4) LSB 非线性, (1/2) LSB 差分非线性的情况

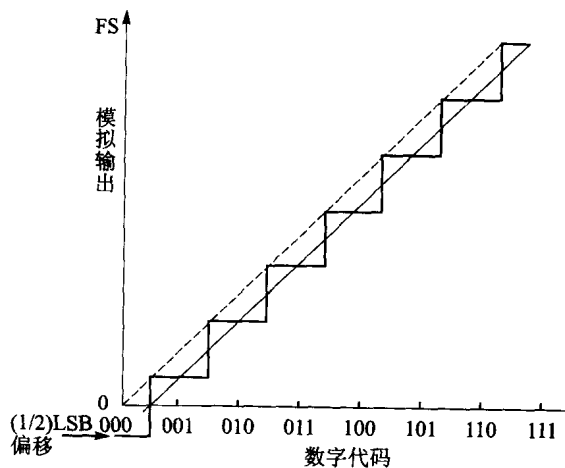


图 1.2-4 线性 (1/2) LSB 失调误差传递特性曲线

(3) 增益误差 (Gain Error)

这是指由于转换器增益发生变化而引起的误差。这种误差使传递特性曲线的斜率(增益)发生变化,即实际特性曲线与理论曲线之间会产生一个角度。所以增益误差不是常数,它与输入数字量成正比。增益误差一般是在消除失调误差后再进行测量的一项分项误差,一般用满码输入所产生的偏差(即最大误差)表示。该误差的大小可以用 LSB 作为单位表示,也可以用误差值

相对满量程值的百分比表示。在确定温度下,增益误差也是可以通过外部调整进行补偿的。

(4) 线性误差(Linearity Error)

这是由于传递特性曲线的非线性引起的误差(不能称作非线性误差),一般这是指消除失调误差和增益误差后所剩余的误差,定义为实际传递特性曲线与理想传递特性曲线(量程两端点连成的直线)之间的偏差值,常用其最大误差表示。显然,两端点是不存在线性误差的。图 1.2-5 是一个 3 位 DAC 有不大于 $\pm(1/2)$ LSB 非线性的转换曲线,所显示的一步幅值为零。这是在特性曲线范围内,离理想直线的最大偏差为 ± 1 LSB ($(1/2)$ LSB 分辨率误差 + $(1/2)$ LSB 非线性)。只要存在线性误差,就肯定存在差分非线性。 $\pm(1/2)$ LSB 线性特性可以保证单调性和差分非线性 $\leq \pm 1$ LSB。任何超过 $\pm(1/2)$ LSB 非线性都将可能(但不一定)产生非单调性传输特性曲线。

线性误差不包括量化、增益、失调或满量程误差,它是一个除了差分线性误差以外的最基本而重要的误差参数。在所有其他误差中,除了量化、温度和长期漂移误差外,都是有可能调到零的。线性误差是不能通过简单的外部调整进行消除的,但是可以通过一些实用办法,例如适当调整增益,来减小最大线性误差,使全量程线性偏差值分布在理想传递特性曲线(直线)的两侧。

(5) 差分非线性(Differential Non-Linearity)

这是指任意两个相邻数码的输出模拟量的变化值与理论量化值之间的偏差,通常也用 LSB 作为单位表示,要求其小于 $\pm(1/2)$ LSB。这样,D/A 转换器总是呈单调性传递特性。如果差分非线性超过 1 LSB,就可能不满足单调性指标,并且会出现失码现象。所以有的芯片给出单调性指标或保证不失码,就表示其差分线性误差小于 1 LSB,就不需要再给出差分非线性指标。

差分非线性与线性特性同样重要,因为即使线性特性是良好的,转换曲线的视在质量可能会受差分非线性的明显影响。对于图 1.2-3 和图 1.2-5,在许多应用中,用户可能更喜欢图 1.2-3 中的曲线而不是图 1.2-5 中的曲线,这是因为前者更平滑些。差分非线性表示了曲线的平滑度,对用户而言这是极其重要的。

(6) 单调性(Monotonicity)

这是指曲线的斜率符号不变,即一个单调增加曲线的所有增加的码元都为正值或零,不会出现负斜率;递减曲线则相反。单调性 DAC 传输曲线只含有正或零高度步阶,不会出现负高度步阶。由此所有模拟量输出点连接的平滑线不会出现尖峰或凹谷。图 1.2-6 是一个非单调性 DAC 传输曲线的例子,其线性误差显然超过 $\pm(1/2)$ LSB,负步阶越大,线性误差越大。在某些系统中,非单调性曲线可能不会引起严重后果,但是对任何类型的闭环伺服系统而言,这种情况可能就是灾难性的。如果 n 位的 DAC 的先行误差不超过 $\pm(1/2)$ LSB,就可以保证 n 位的单调性,一旦大于 $\pm(1/2)$ LSB,就不能保证单调性。

7. 建立时间(Setting Time)

这是说明 D/A 转换器转换速率快慢的一项主要性能指标,指从 D/A 转换器输入新的数码开始到输出模拟量达到规定误差范围内(一般为 $(1/2)$ LSB)的预定值所需要的时间,它包括转换时间(也有文献把建立时间与转换时间分开定义的),有的文献把建立时间称作稳定时间。实际上,输入不同数码后,所需要的建立时间并不完全相同,一般当输入数码从全零变到全 1 时所需要的建立时间最长,所以手册上往往用这个时间作为建立时间的指标。

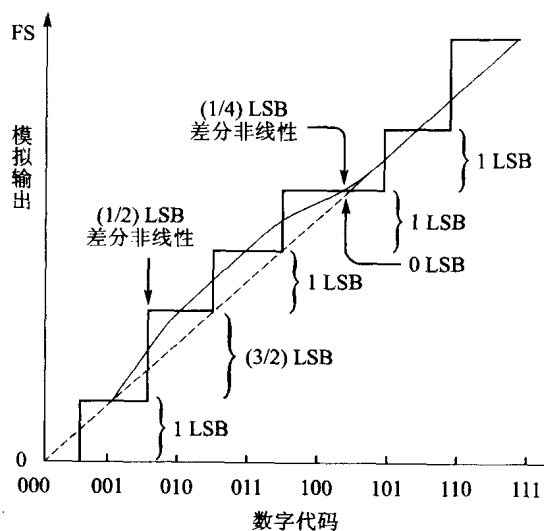


图 1.2-5 3 位 DAC 的转换曲线含 $\pm(1/2)$ LSB 非线性
(表示 1 LSB 可能误差)和 1 LSB 差分非线性
(表示单调性)

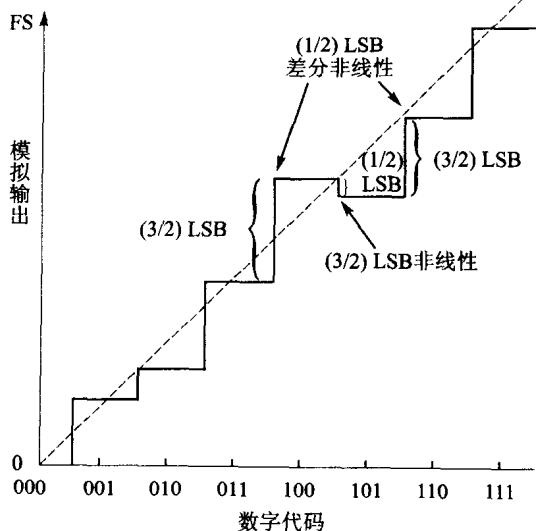


图 1.2-6 非单调性(大于 $\pm(1/2)$ LSB 非线性)

8. 温度系数(Temperature Coefficient)

这是表示环境温度对各项精度指标影响大小的性能指标,一般有失调温度系数、增益温度系数、差分非线性误差温度系数等。

(1) 失调温度系数

这是指当环境温度变化时,D/A 转换器的零点变化量与温度差值之比,常以 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 来表示,或者用相当于满量程的比值 $10^{-6}/^\circ\text{C}$ 表示。

(2) 增益温度系数

这是指 D/A 转换器的增益随温度每变化 1°C 而产生的误差相对满量程的比值,用 $10^{-6}/^\circ\text{C}$ 表示。

(3) 差分非线性误差温度系数

这是指 D/A 转换器的差分非线性误差随温度变化的比例,同样也用 $10^{-6}/^\circ\text{C}$ 表示。在极限温度下,当差分非线性误差温度系数较大时,可能会造成传递特性的非单调性,这是值得注意的问题。

1.3 数字输入和模拟输出特性

数字输入特性包括数字输入编码、数据格式以及逻辑电平等。

1.3.1 数字输入特性

1. 数字输入编码

D/A 转换器有几种不同的数字编码形式,根据与转换器不同的接口方法,每一种都有自己的特点。大多数编码的形式都是二进制,但又有不同,一般有自然二进制、补码二进制和偏移二进制。目前批量生产的 D/A 转换器一般都只能接收自然二进制数字代码。因此,当输入