

ADI 产品应用技术丛书

00012567



TP335

07

数模转换器应用技术

高光天 主编

徐振英 编著

(14684/21)



科学出版社

2000



C0489140

内 容 简 介

本书结合美国模拟器件公司(ADI)的产品系列,从现代电子技术应用角度出发,系统介绍了数模转换器的基础知识,包括工作原理、分类、工艺技术、型号命名、主要参数定义和测试方法等。重点介绍了各类转换器的特性和工作原理,以及数模转换器的各种典型应用。在参考ADI公司最近几年器件手册和最新技术资料的基础上,挑选出几十种器件,详细介绍了它们的工作原理、特性、主要参数、应用注意点,并举例说明它们的应用。器件中包括了高速、高分辨率、低功耗、对数、数字电位器、 $\Sigma\Delta$ 转换器、直接数字合成器等各类转换器。

本书内容具体安排如下:

第一章介绍数模转换器的基础知识,如基本原理、型号命名、分类方法和工艺技术等;第二章介绍常用参数的意义和测试方法;第三章介绍各种转换器的电路构成和工作原理;第四章介绍数模转换器的典型应用;第五章介绍ADI公司的典型数模转换器器件。附录按转换器性能分类,列出了ADI公司数模转换器的型号和主要参数。

本书内容丰富、阐述清晰、深入浅出、实用性强,是和国际先进技术接轨的一种尝试。本书是电子工程技术人员极有用的工具书,也是高校有关专业师生及科研人员很有价值的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数模转换器应用技术/徐振英编著.--北京:科学出版社
2000

(ADI产品应用技术丛书/高光天主编)

ISBN 7-03-007326-6

I. 数… II. 徐… III. 数-模转换器 IV. TP335

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第75527号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100071

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

2000年4月第 一 版 开本:880×1230 1/16

2000年4月第一次印刷 印张:15 1/4

印数:1—3 800 字数:480 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

序

众所周知,由于微电子技术的迅速发展,电子产品已经深入到国民经济的各个领域。展望 21 世纪信息高速公路的开通,以计算机为核心的多媒体信息网将进入千家万户,对人类社会的生活方式将再一次进行重大变革,其发展前途不可限量。

然而,目前的计算机所能接受的信息必须是数字量,即以高低两种电平的组合来表示不同的信息;而日常生活中所遇到的信息,如温度的高低、速度的快慢、光线的强弱,无论在时间上还是空间上都是连续变化的,属于模拟量。如何将这种模拟量正确地转换为数字量,经过计算机处理后给以正确的显示,或再转换为正确的相应模拟量,始终是电子技术领域中的重要课题。如果这个问题没有解决好,比如选用的电子器件其性能达不到要求,那么,即使计算机的运行速度再快,运算的精确度再高,也是无济于事的。

美国模拟器件公司(Analog Devices Inc., 简称为 ADI)是专门生产模拟信号处理器件的世界著名公司。自从 1965 年创建以来,在高性能线性器件、数据转换器件、超大规模混合信号专用集成电路、直至数字信号处理器件等方面的产品,在世界上一直处于领先地位,有些还属世界首创。它们在工业自动化、国防、航天、通信、计算机外围设备等许多领域,都得到极其广泛的应用。在我国,自从实行改革开放政策以来,它们也受到越来越多的工程技术人员、高校师生和广大用户的关注。令人遗憾的是,现在还缺少系统的、成套的、有关 ADI 产品的技术资料 and 书刊。

鉴于上述情况,我认为由高光天同志主编的《ADI 产品应用技术丛书》是一项非常有意义的工作。高光天同志在物理测量及电子技术领域内辛勤耕耘了二十多年,是一位造诣很深的高级技术人才。这套丛书,在书目安排上,取材新颖,全面地反映了现代模拟电子技术领域中的重要课题;在内容上,表达准确,条理清楚,实用性很强。它既是电子设备设计者在确定方案、选用器件时不可缺少的参考资料,也是高等院校有关专业师生在学习“模拟电子技术”和“模拟集成电路”等课程时的主要参考书。本人深信,这套丛书的出版,必将有助于扩大 ADI 产品的应用并推动我国模拟电子技术的发展和课程教学的现代化。

童诗白

1994 年 8 月

《ADI 产品应用技术丛书》出版说明

进入 90 年代, 电子科学技术的飞速发展和广泛应用使它不仅在传统的雷达、通信、导航、广播电视、电子对抗等领域的应用中得到发展和提高, 而且随着微电子、光电子和计算机技术的突飞猛进, 它又促进了自动控制、光纤通信、人工智能、多媒体等新技术的成长和发展。电子技术应用日趋广泛, 从国防尖端的导弹、卫星, 一直扩展到工农业生产、文化教育、体育卫生、行政管理乃至家庭生活。也就是说, 它已渗透到国民经济和科学技术的各个领域。

鉴于电子科学技术如此迅速发展和广泛应用, 其决定因素之一是电子器件的发展。从某种意义上讲, 现代电子科学技术是一门“组合”科学。根据“黑箱”方法, 着眼于电子器件的外部特性, 为完成性能优良、功能独特的实验、产品或系统工程, 如何跟踪现代电子器件的发展, 如何选择既满足设计技术指标要求而又权衡性能价格比的理想电子器件进行组合, 这显然是每位设计者在实际工作中最为关心的一个问题。

在群星璀璨的电子器件世界中, 我们选择了世界著名的美国模拟器件公司 (Analog Devices Inc. 简称 ADI) 产品, 试图作为观察现代电子器件的一个窗口。ADI 是以数据采集和信号处理产品久负盛名的全球性公司, 近年来利用现代高新技术, 扩大了生产线并且开拓出许多新领域, 尤其是数字信号处理 (DSP) 和高性能混合信号专用集成电路 (ASIC) 独具特色。ADI 的产品主要包括: A/D 与 D/A 转换器、运算放大器、模拟信号处理器件、传感器、音频/视频器件、磁盘驱动器件、汽车应用器件、通信器件、自动测试设备器件、电压基准、模拟开关与多路转换器、数据采集系统、数字信号处理器件、微机监控器件等。这些产品在电子测量、信号处理、通信、自动控制和计算机接口技术等领域已得到广泛应用。展望 21 世纪信息高速公路的开通, 随着以计算机为核心的多媒体技术的日益普及, ADI 产品将愈来愈成为现代电子技术应用中基本的不可缺少的电子器件。

正是由于 ADI 产品技术的先进性、专业的基础性和应用的广泛性, 又考虑到广大工程技术人员和高校师生对 ADI 产品的关注并对其进行系统、成套技术资料 and 书刊的需求, 我们组织编写这套丛书, 以饷读者。

本丛书包括 ADI 产品的综合手册, 例如《ADI 产品捷选手册》和《ADI 产品技术指南》, 也包括 ADI 产品的专题介绍, 例如《运算放大器应用技术》、《仪表放大器应用技术》、《数据转换外围器件应用技术》、《模数转换器应用技术》、《数模转换器应用技术》、《传感器接口应用技术》等。

本丛书侧重先进性和实用性。从应用角度出发把 ADI 产品分专题, 系统、深入浅出地介绍给读者, 使读者分门别类地对 ADI 产品的基本原理、特性、典型应用和选择方法有全面、深入的了解。

本丛书既可供科研和工程技术人员使用, 又可作为高等院校“模拟电子技术”和“模拟集成电路”等课程的参考书, 以便与现代电子技术接轨。

本丛书是在北京市英斯泰克电气工程公司董贵强总经理倡导和支持下, 组织电子科学技术界多年从事 ADI 产品研究和应用的专家和工程技术人员编写的。清华大学童诗白教授、吉林工业大学戴逸松教授、李桂成教授、吉林大学邹广田教授和第一汽车制造厂任湛谋研究员级高级工程师对本丛书的编写给予了鼓励、支持和指导。谨向他们致以深切的谢意。在编写过程中也得到同事们的关心和帮助, 值此一并表示衷心的感谢。

由于现代电子技术的飞速发展以及编者水平有限, 丛书定会存在许多不足, 丛书的书目和内容也应当不断发展和更新。我们恳切地希望得到社会各界和广大读者的批评指正。

前 言

数模转换器在数控电源、函数发生器、立体声系统、多媒体、广播电视、人工智能、雷达、通信以及测量控制系统等许多领域都有极其广泛的应用。例如在微机测控系统中,通过微机对被测量进行处理,并做出控制决策。该决策需要用数模转换器变为模拟量,以控制由模拟信号驱动的执行机构。由于大规模集成电路的飞速发展,数模转换器的新品种不断涌现,性能指标不断提高,很多过去很难实现的功能,现在迎刃而解。例如随着高速数模转换器的产生,由数字方式控制的直接数字频率合成器件(DDS)应运而生。它是一种宽带、频率调节灵活的合成器,有调谐和调制功能,可连续频率相位转换,高的动态范围,好的相位噪声和稳定性,这是其他频率合成器结构难以实现的,DDS可用于先进的军用雷达、数字通信及移动通信中。

从应用的角度介绍数模转换器,尤其是介绍数模转换器的新技术、新器件、新应用,促进在这方面和国际先进技术接轨,这是编写本书的初衷。基于上述考虑,本书在材料选择和安排上,注意了以下几点。

第一是系统性。系统介绍了数模转换器的有关基础知识。包括各种数模转换器的工作原理、分类方法、工艺特点、主要参数和测试方法、应用举例以及典型器件的详细资料。

第二是先进性。ADI公司是久负盛名的全球性公司,生产的数模转换器器件在世界上一直处于领先地位。本书在参考ADI公司最近几年的器件手册和最新技术资料的基础上写成,其器件资料包括了ADI公司的最新产品和典型产品。

第三是实用性。本书的取材和安排是从应用数模转换器的角度出发的。对于需要了解当前数模转换器的读者,书中提供了详细的基础知识,如当前各类数模转换器的工作原理,转换器的主要性能参数和有关的应用知识,应用举例。对于正在使用数模转换器的工程技术人员,书中提供了ADI公司各类型的数模转换器资料,包括近期推出的先进产品,共达几十种。每种器件都详细介绍了它的特点、参数、内部结构原理、外引脚、应用注意点和典型应用电路。同时把ADI公司数模转换器的型号和主要参数按功能分类,列于附录中,这将对选择和使用数模转换器带来极大的方便。

本书的编写工作是由徐振英完成的。高光天负责全书的审校定稿,并对许多章节作了适当的编排和补充。由于编者水平有限,加之内容广泛,缺点错误难免,恳请读者批评指正。

编 者

1998年1月

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 数模转换器的功能	(1)
1.2 数模转换器的发展概况	(1)
1.3 集成数模转换器的分类	(2)
1.4 集成数模转换器的工艺技术	(3)
1.5 数模转换器的型号命名方法	(5)
第二章 数模转换器的常用参数和测试	(8)
2.1 静态特性参数	(8)
2.1.1 分辨率	(8)
2.1.2 精度	(9)
2.1.3 四种基本误差参数	(9)
2.1.4 单调性	(10)
2.1.5 电源电压灵敏度	(10)
2.1.6 顺从电压和顺从电流	(11)
2.2 动态特性参数	(11)
2.2.1 建立时间	(11)
2.2.2 毛刺	(11)
2.2.3 转换速率	(12)
2.2.4 信噪比 (SNR)	(12)
2.2.5 无杂散动态范围 SFDR	(12)
2.2.6 总谐波失真加噪声 (THD+N)	(12)
2.3 温度特性参数	(13)
2.4 数模转换器参数的简易测试	(13)
2.4.1 静态特性参数和温度特性参数的测量	(14)
2.4.2 动态特性参数的测量	(16)
第三章 集成数模转换器的工作原理	(18)
3.1 数模转换器的基本结构	(18)
3.1.1 基准电压源	(19)
3.1.2 模拟开关	(20)
3.1.3 转换网络	(20)
3.2 几种不同转换网络的数模转换器	(20)
3.2.1 权电阻网络数模转换器	(20)
3.2.2 梯形电阻网络数模转换器	(21)
3.2.3 倒梯形电阻网络数模转换器	(22)
3.2.4 电压分段式数模转换器	(23)
3.3 几种不同特性的数模转换器	(24)
3.3.1 BCD 码输入的数模转换器	(24)
3.3.2 双极性码输入的数模转换器	(25)
3.3.3 数据串行输入的数模转换器	(26)
3.3.4 和微机兼容的数模转换器	(27)

3.3.5	乘法型数模转换器	(27)
3.3.6	对数数模转换器	(28)
3.3.7	压缩-扩展数模转换器	(31)
3.3.8	调整数模转换器	(33)
3.3.9	$\Sigma-\Delta$ 数模转换器	(38)
3.3.10	直接数字频率合成器	(39)
3.3.11	高速数模转换器	(44)
第四章	数模转换器的应用	(47)
4.1	应用数模转换器应注意的几个问题	(47)
4.2	充分利用高分辨率的数模转换器	(50)
4.3	数模转换器在 CD 机中的应用	(52)
4.4	数字控制的电压源	(54)
4.5	可编程电流源	(55)
4.6	可编程增益放大器	(57)
4.7	数字变量和模拟变量的运算	(59)
4.8	频率的数字控制	(60)
4.9	非线性函数发生器	(63)
4.10	数控信号发生器	(64)
4.11	CD 机中电机的速度控制	(67)
4.12	输出功率恒定的功率分配电路	(69)
4.13	数控移相器	(70)
4.14	数控延迟线	(71)
第五章	常用集成数模转换器	(73)
5.1	总线兼容的通用型数模转换器	(73)
5.1.1	电压输出的 12 位数模转换器 AD667 原理概述	(73)
5.1.2	AD667 的主要参数和特性	(75)
5.1.3	AD667 应用指南	(77)
5.1.4	电压输出的 4 路 12 位数模转换器 AD390	(79)
5.1.5	电压输出的 4 路 CMOS 乘法型数模转换器 AD394	(81)
5.1.6	电压输出的 LC ² MOS 数模转换器 AD7245	(83)
5.1.7	电流输出的 CMOS12 位数模转换器 AD7542	(84)
5.1.8	16 位单调的电压输出数模转换器 AD569	(86)
5.2	高分辨率数模转换器	(93)
5.2.1	高精度 18 位数模转换器 AD1139 概述	(94)
5.2.2	AD1139 的组成和特性	(94)
5.2.3	AD1139 的技术指标	(95)
5.2.4	AD1139 应用指南	(96)
5.2.5	AD1139 应用举例	(98)
5.2.6	高分辨率 16 位数模转换器 AD DAC71/72	(98)
5.2.7	超低噪声 20 位音频数模转换器 AD1862	(103)
5.2.8	CMOS 16 位电压输出数模转换器 AD7546	(109)
5.3	超高速数模转换器	(113)
5.3.1	AD9768 单片集成超高速数模转换器概述	(113)
5.3.2	AD9768 的工作原理	(114)
5.3.3	AD9768 应用指南	(114)

5.3.4	AD9768 的技术指标	(115)
5.3.5	CMOS 80 MHz 单片 256 字, 色彩调色板 RAM 数模转换器 ADV477/ADV475	(116)
5.3.6	CMOS 170 MHz 真色图像 10 位视频 RAM 数模转换器 ADV7150/ADV7152	(122)
5.4	低功耗的数模转换器	(129)
5.4.1	AD8303 低功耗数模转换器原理概述	(129)
5.4.2	AD8303 的技术指标	(131)
5.4.3	AD8303 的应用	(133)
5.4.4	具有休眠工作模式(电源关断)的 12 通道 8 位数模转换器 AD8802 和 AD8804	(135)
5.4.5	3.3V 至 5V 电源电压的 4 路 10 位数模转换器 AD7804 和 AD7805	(141)
5.5	CMOS 对数数模转换器	(152)
5.5.1	衰减步长为 0.375dB 的对数数模转换器 AD7111 概述	(152)
5.5.2	AD7111 的主要技术指标	(154)
5.5.3	AD7111 应用指南	(155)
5.5.4	AD7111 应用举例	(156)
5.5.5	BCD 码输入的对数数模转换器 AD7115	(156)
5.5.6	对数数模转换器 AD7118	(159)
5.6	双通道和四通道数字电位器 AD8402 和 AD8403	(162)
5.6.1	工作原理简要说明	(163)
5.6.2	主要技术指标	(165)
5.6.3	应用指南	(167)
5.6.4	应用举例	(167)
5.7	多路集成数模转换器	(168)
5.7.1	2 通道 CMOS 乘法数模转换器 AD7528 概述	(168)
5.7.2	AD7528 的引脚配置及原理说明	(168)
5.7.3	AD7528 的技术指标	(169)
5.7.4	AD7528 的应用指南	(171)
5.7.5	AD7528 应用举例	(172)
5.7.6	4 路 8 位 L ^C MOS 数模转换器 AD7226	(173)
5.7.7	双 12 位 L ^C MOS 数模转换器 AD7547	(180)
5.8	串行输入的数模转换器	(184)
5.8.1	串行输入 CMOS 12 位数模转换器 AD7543 概述	(184)
5.8.2	AD7543 工作原理说明	(185)
5.8.3	AD7543 的技术指标	(187)
5.8.4	AD7543 应用指南	(188)
5.8.5	串行输入低功耗 12 位/10 位数模转换器 AD7390/AD7391	(189)
5.9	其他特性的数模转换器	(193)
5.9.1	4—20mA 电流环路输出数模转换器 AD421	(193)
5.9.2	立体声, 单电源 18 位 $\Sigma-\Delta$ 数模转换器 AD1859	(200)
5.9.3	直接数字频率合成器 AD9850 和 AD9831	(206)
附录一	ADI 数模转换器选择树	(215)
附录二	ADI 数模转换器选择指南	(221)
参考文献		(228)
北京市英赛尔器件集团简介		(229)
美国模拟器件公司简介		(231)

第一章 概 述

1.1 数模转换器的功能

数模转换器是一种将输入的数字信号转换成模拟信号输出的电路或器件,它被广泛地应用在信号采集和处理、数字通信、自动检测、自动控制和多媒体技术等領域。

无论在工业生产还是在科学研究中,常常要对某些系统参数进行采集、加工和控制。它们往往是非电的模拟量,例如声、光、磁、热和机械参数等。为了用电子技术处理这些信息,先要通过传感器把这些非电信号变换为相应的电信号。例如,我们可以用热电偶获取随温度变化的电压,用半导体应变片接入桥路获取随压力变化的电压。经传感器变换产生的电信号往往仍是模拟信号,对它们的处理通常有模拟和数字两种方法。

模拟的方法是用模拟电路(包括模拟计算机)加工模拟信号,其结果用模拟仪表显示或驱动执行机构。由于模拟电路对电磁干扰、器件参数的变化比较敏感,因此要实现高精度是比较困难的,即使能达到高精度,其代价往往是很高的。

随着数字技术的迅速发展和成熟,尤其是微处理器的迅速发展和广泛应用,使数字信号的大量存储、快速正确地处理和控制在成为很容易的事,因而用数字

技术处理模拟信号已越来越受到重视。方法是先把模拟电信号变换为数字信号(模数转换),再利用数字技术对数字信号加工处理,处理结果根据需要再变换为模拟电信号(数模转换),以适应后面显示或执行机构的要求,实现对模拟信号的显示或控制。

例如工业生产中常常需要对系统的温度参数进行控制,当采用数字系统实现其功能时,先用热电偶或其他温度传感器把系统温度转换成电压,经放大和滤波等预处理,用模数转换器把它变换成对应的数字量,再送入数字系统处理,根据系统情况和控制要求产生的处理结果用数模转换器变换为模拟电压,用来改变晶闸管的导通角,从而控制加热系统的功率,实现对系统温度参数的控制。

综上所述,数模转换器具有和模数转换器相对应的基本功能。模数转换器使数字系统能从模拟电子系统获取与模拟信号有单值函数关系的数字信息,而数模转换器则可把数字系统处理的结果变为对应的模拟信号,回送给模拟系统,以实现对模拟系统工作状态的检测和控制。因此,数模转换器是数字电子系统和模拟电子系统之间的常用接口电路。

1.2 数模转换器的发展概况

数模转换器的发展经历了电子管、晶体管到集成电路的过程。它是因人类生产和生活的迫切需求而产生的,其发展的每一阶段都和当时最新科技成就相关联。

40年代后期,人们开始了数字通信的研究和实践,例如研究脉冲编码调制式通信。它要求发送部分能将所要传送的声音、图像等连续变化的模拟量转换成数字形式发送出去,而信号接收部分要求能把接收到的数字信号还原成声音、图像。于是研制了由电子管组装而成的模数转换器和数模转换器,使这种可靠和经济的数字通信得以实现。

随着晶体管工艺的发展和成熟,到50年代后期,转换器中的电子管逐步由晶体管替代,使转换器的体

积和重量大大减小。

数字计算机的兴起、发展和应用领域的不断扩大,促进了集成电路和转换技术的迅速发展。到60年代中期,构成数模转换器的一些主要功能单元电路,如基准电压源、模拟开关、运算放大器等已制成半导体集成电路。同时薄膜集成电路和厚膜集成电路也有很大发展。薄膜集成电路是利用真空蒸发、溅射、光刻等薄膜技术,将构成电路的电子元件及连线,以薄膜形式制作在绝缘基板(例如微晶玻璃片或陶瓷基片)上所构成的整体电路。薄膜集成电路的膜厚通常在 $1\mu\text{m}$ 以下。厚膜集成电路是采用丝网印刷、喷涂、聚合或烧结等厚膜技术,将组成电路的电子元件及连线,以厚膜形式制作在绝缘基板上所构成的整体电路。厚膜集

成电路的膜厚一般为几 μm 到几十 μm 。半导体集成电路的优点是集成度高、体积小、重量轻、功耗小、工作可靠、寿命长、生产效率高。但用半导体集成电路工艺难以制造出高精度、高阻值的电阻,大容量的电容和电感,大功率、大电流、耐高压以及高频性能好的电路。薄膜集成电路的优点是无源元件的精度高、参数范围宽、稳定性好、可靠性高、高频特性好、元件间绝缘性能好、电路设计灵活性好,但用薄膜工艺制造有源器件比较困难,性能也不好。薄膜工艺也难以制成大功率元件和进行高密度组装。厚膜工艺的优点是无源元件参数范围宽、精度较高、性能稳定、高频性能好。用厚膜工艺制造高压、大电流和大功率电路比较容易。综上所述,半导体集成电路、薄膜集成电路和厚膜集成电路的性能各有所长,也各有所短。采用半导体技术、薄膜技术和厚膜技术相结合而制成的集成电路,称为混合集成电路,它吸取了上面三种工艺的长处。有源器件(如晶体管、二极管及一些半导体集成单元)用半导体集成电路工艺制造,而有特定要求的无源器件(如电容、电感、精密电阻)及连线用薄膜或厚膜工艺制造,再把有源器件外接到薄膜或厚膜集成电路的基片上,构成薄膜混合集成电路或厚膜混合集成电路。混合集成电路工艺应用到数模转换器制造领域,制成的混合集成电路型数模转换器,性能上有很大提高,结构上也大为简化。

70年代初,所有元件都被集成在一个芯片上的单片集成数模转换器研制成功。它标志数模转换器真正达到了工业化大批量生产的阶段,摆脱了精心挑选转换器中元器件的麻烦,从而大大降低了成本,提高了可靠性。此后,转换器得到迅速发展。新的设计思想、新的制作工艺和新的种类及规格不断增加,性能

不断提高。工艺上,不但双极型器件的工艺进一步得到改进,使全双极型转换器内部的逻辑电路可采用高速ECL电路或高集成度的集成注入逻辑电路,而且增加了MOS工艺,特别是CMOS工艺,使数模转换器的集成度和功耗有很大的改进。

工艺上的进一步发展,产生了标准双极型工艺和CMOS工艺结合起来的组合技术,例如ADI公司的BIMOS[®]和LC²MOS工艺技术,使速度和精度方面占优势的线性双极性器件与高集成度低功耗的CMOS双向模拟开关及逻辑电路集成在同一芯片上,构成双极-MOS相容型数模转换器。

数模转换器的品种和功能随着制造工艺的发展而迅速增加。例如CMOS工艺的集成电路,功耗小、集成度高,制成的模拟开关有双向特性。利用这种模拟开关可制成有乘法特性的数模转换器,即转换器的输出和基准电压及输入数码的乘积成正比。CMOS工艺也很适用于制作与微机兼容的数模转换器,因为这种转换器的内部逻辑电路相对比较复杂,CMOS工艺的高集成度特性,正好适应这方面的要求。在数模转换器的功能方面,不但有一般功能的,还有为一些特定应用领域研制的特殊功能数模转换器。例如用于视频调色显示的視頻数模转换器,替代手工调整电位器而设计的数字电位器,专用于把数字化音频信号转换成模拟音频信号的音频数模转换器,脉码调制编码译码系统中用的压扩数模转换器,可以把模拟输入信号以对数方式进行衰减的对数数模转换器,称为抗混叠滤波器的 $\Sigma\text{-}\Delta$ 数模转换器以及带先进先出堆栈的数模转换器等。同时,一些以数模转换器为基础的专用器件也得到了发展,典型的例子如语音合成器件。

1.3 集成数模转换器的分类

数模转换器作为数字系统和模拟系统之间的接口器件,输入数字量,输出模拟量。其内部电路具有数字电路和模拟电路的各种特点,因此数模转换器品种繁多,分类方法也是多种多样的。例如可根据数模转换器组成单元的特点分类,也可根据数模转换器的性能指标分类,还可根据数模转换器制造工艺分类以及根据输入输出特点分类等。下面简单介绍一下数模转换器的常用分类情况。

1. 按数模转换器主要功能单元特点分类

集成数模转换器的主要功能单元有模拟开关,权电流产生电路、基准电源和输出电路。

模拟开关的基本类型有电压型和电流型两种,数模转换器按模拟开关的类型不同可分为电压加法型和电流加法型两种。电压型模拟开关工艺上易于实现,但工作时对寄生电容的充放电会影响开关速度。电流型开关在切换时,由于开关两端电压没有明显的变化,因此开关速度比电压型的快,但是由于电流型开关中晶体管工作于非饱和状态,其基射极电压和电流放大系数对温度变化很敏感,需要附加温度补偿电路才能发挥它的优点。目前的集成数模转换器,主要采用电流型开关。

按数模转换器中权电流发生电路的形式分,常见的类型有权电阻网络,权电容网络,梯形电阻网络,

权电阻网络和梯形电阻网络并用型,电流分割权电阻网络,电压分段型,电流源阵列型等。有关这些电流发生电路的特点,将在第三章中作进一步说明。

至于基准电源和输出电路,不是所有的集成数模转换器中都有这两个单元。有的数模转换器的基准电源是要外接的,用户可根据需要灵活配置不同精度的基准电源。输出电路主要是运算放大器,它把数模转换器转换成的电流模拟量变为电压输出。很多电流输出数模转换器不带运算放大器,而由用户根据自己的需要配置。

2. 按数模转换器的性能特点分类

数模转换器常常按它的主要性能指标进行分类,如转换速度、转换精度、分辨率和功耗等。

按转换速度不同,数模转换器可分为低速(建立时间大于 $100\mu\text{s}$)、中速(建立时间在 $1\sim 100\mu\text{s}$)、高速(建立时间在 $50\text{ns}\sim 1\mu\text{s}$)和超高速(建立时间小于 50ns)四种,这里的建立时间是指输入数字后到输出稳定到满量程的 $\pm 0.1\%$ 所需时间。

按转换精度,可分为一般精度、高精度和超高精度型。

按分辨率分类,数模转换器可分为 6 位, 8 位, 10 位, 12 位, 14 位, 16 位, 18 位, 20 位, 22 位等各种类型。

按功耗分,数模转换器可分为一般型、低功耗型和微功耗型。

1.4 集成数模转换器的工艺技术

集成数模转换器的性能主要取决于构成它的单元。主要包括权电流发生电路、基准电源、模拟电子开关和运算放大器。而各单元电路的性能和所采用的工艺技术有很大的关系。

权电流发生电路的性能主要取决于电路中的电阻(包括有源电阻)或电容。主要要求是匹配精度高,温度系数低,与其他有源器件的工艺相容。一般电容采用 MOS 电容,电阻主要有扩散电阻、薄膜电阻和离子注入电阻等类型。

数模转换器中的运算放大器主要用于基准电源和输出电路中。要得到高速和高精度的数模转换器,对运算放大器的要求是低噪声、低漂移、高速和高输入阻抗。

对基准电源的要求主要是稳定性,它对数模转换器的精度有决定性影响。

数模转换器中的模拟开关主要采用电流型开关。

3. 按组成数模转换器的器件和工艺分类

按工艺结构来分类,集成数模转换器可分为组件式、混合集成电路式和单片集成电路式。从单片式数模转换器内部有源器件类型来分,单片式转换器又分为全双极型、全 MOS 型和双极-MOS 相容型。

4. 根据输入和输出的特点分类

根据输入数字编码的不同,数模转换器可分为二进制码输入型、BCD 码输入型和格雷码输入型等。

按数字码输入方式,可分为串行输入数模转换器和并行输入数模转换器。串行输入方式又可分为 2 线式和 3 线式,参考第 35 页 DAC-8800 说明。

根据转换器的输出是电压还是电流,数模转换器可分为电压输出型和电流输出型。

数模转换器还可有其他分类方法,例如根据转换所需电源的情况,分为单电源数模转换器和非单电源数模转换器。根据数模转换器结构和功能特性,把转换器归类为通用型转换器、乘法型数模转换器、 $\Sigma\Delta$ 数模转换器、对数数模转换器、数字电位器型转换器、音频转换器、视频转换器、直接数字合成数模转换器等不同类别。

以上数模转换器的分类,是从不同侧面考察数模转换器得出的,因此,同一个数模转换器,按不同的分类方法,可列入不同的类别中。

对它的要求是开关速度高,数字开关信号和模拟信号隔离好,关断后反向漏电流要小。

为了实现上述性能要求,除了考虑电路设计外,还取决于工艺技术的不断完善。

集成数模转换器所采用的工艺主要有双极型工艺、CMOS 工艺和双极型 CMOS 组合工艺。下面分别作简单介绍。

双极型数模转换器基本制作工艺和制作晶体管类似,主要是硅晶片的平面外延、氧化、扩散掺杂。为得到温度系数低和匹配良好的电阻元件,要在扩散后真空淀积薄膜电阻材料,它可通过激光微调的方法达到精确的阻值。最后通过金属化工艺,把制成的元件连接起来,再在晶片上覆盖硅氧化物,以保护敏感元件不受环境污染和机械损伤。

在双极型工艺中,采用新的扩散工艺可制成隐埋齐纳管。它工作时,击穿发生在硅晶片表面下,从而

消除了各种表面效应的影响。使它的长期稳定性优于 50ppm/年。并利用它开发出可调整绝对值和温度系数的基准电源,可使数模转换器内基准电源绝对精度优于 0.1%,温度系数优于 $\pm 10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。

双极型工艺中的逻辑电路,一般采用高速的 ECL 电路或高集成度的集成注入逻辑电路 I²L。

双极型工艺的突出优点是能得到高精度和长期稳定,同时速度快,能制成多种模拟元件,从而易制造出高质量的基准电源和运算放大器。

CMOS 型数模转换器的基本工艺和制作 CMOS 管工艺类似,比双极型的简单。片内高质量的电阻元件也是通过真空淀积薄膜电阻的方法获得的。

CMOS 工艺的特点是功耗低,有多方面的适应性。例如制造乘法型数模转换器,易制成高集成度高

质量的数字元件来实现数模转换器中逻辑、控制和存储的功能。

双极和 MOS 组合工艺综合了双极型和 MOS 型器件的性能。典型的如模拟器件公司的线性兼容互补 MOS 工艺 LC²MOS 和双极型金属氧化物半导体场效应管工艺 BIMOS I。前者是一种全离子注入工艺,能形成 NMOS, PMOS 和 NPN 晶体管,如图 1.1 所示。其中 NPN 晶体管是工艺中固有的寄生双极型晶体管。LC²MOS 的特点是集成度高,工作速度快,并且制造铬硅薄膜电阻的工艺与它是兼容的。第一块用这种工艺制成的电路是 AD7240,它是 12 位电压输出的数模转换器,具有高速和低电源的特点。

BIMOS I 工艺可产生更高质量的双极型器件和 CMOS 器件。图 1.2 是该工艺提供的典型器件的剖面

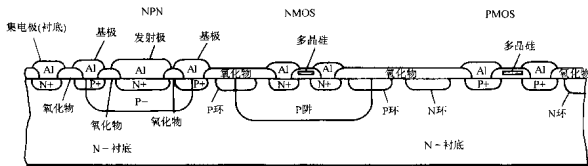


图 1.1 LC²MOS 芯片的剖面

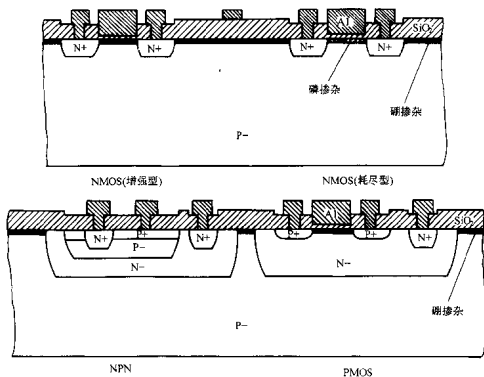


图 1.2 BIMOS I 工艺的剖面图

图, 衬底材料是 P 型硅。工艺的第一步是轻掺杂 PN 结隔离阱的扩散, NPN, PNP 和 PMOS 器件将位于此阱中。第二步是中掺杂的 NPN 基区扩散, 接着是较重掺杂的 P 型扩散, 它形成 PMOS 场效应管的源区和漏极区, 并减少 NPN 晶体管的基区电阻, 同时这一步也形成所有横向 PNP 晶体管的集电区和发射区。最后一步是扩散重掺杂的 N 型, 它形成 NPN 的发射区、PNP 的基区和 NMOS 器件的源区及漏区。通过注入硼或磷来产生沟道区, 以形成增强型及耗尽型的 NMOS 器件和耗尽型的 PMOS 器件。上述工艺可和真空淀积薄膜电阻材料兼容, 因而集成电路的设计者不但有多种双极型和 MOS 型有源器件可选用, 也能选用可精密微调阻值的薄膜电阻, 这些元件的优良性能和集成电路固有的巨大互连能力大大提高了数模转换器的性能。例如用这个工艺制造的 AD569 数模转换器, 在同一芯片上就包含有低功耗的 CMOS 逻辑电路和高速精密的双极性线性电路(两个梯形电阻网络、选择开关、译码逻辑、缓冲放大器和双缓冲输入锁存器)。AD569 的分辨率为 16 位, 总线性误差 $\pm 0.01\%$, 微分线性误差为 $\pm 0.00076\%$, 片内的高速缓冲放大器使满量程跳变时稳定到终值 $\pm 0.001\%$ 内的电压输出建立时间为 $6\mu\text{s}$ 。

BIMOS II 工艺可提供的有源器件类型如图 1.3 所示。

集成数模转换器采用上述几种工艺时, 其单元电路的性能比较如表 1.1 所示。

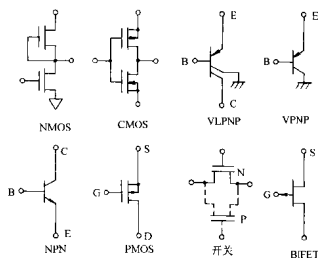


图 1.3 BIMOS I 工艺可提供的有源器件

表 1.1 集成数模转换器中不同工艺的性能比较

	双极型	CMOS	BIMOS	LCMOS
模拟开关				
速度	优	良	良	良
稳定性	优	一般	良	良
精度	优	良	良	良
功耗	高	极低	极低	极低
基准电源	优	差	良	一般
放大器				
速度	优	差	优	良
精度	良	差	优	良
逻辑电路				
速度	良	良	良	良
功耗	高	低	低	低
相乘能力	差	优	优	优

1.5 数模转换器的型号命名方法

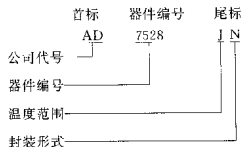
数模转换器的型号命名方法基本上是首标字母加后续数字。有的产品在数字后再加几个尾标字母, 以标明产品的分级情况, 如封装形式和温度范围等。至于用什么字母和数字, 各生产厂家有各自的规定。

我国对数模转换器的命名已有国家标准。它由字母 CDA 和后随的数字组成, 大多数为 4 位或 5 位数, 例 CDA7520 为 10 位数模转换器, 其中第一个字母 C 表示中国(China), 后面的 DA 表示数模转换器, 数字表示转换器的编号或品种。为了容易和国外相同性能的数模转换器互换, 国家标准规定凡是完全仿制国外的数模转换器并已达到国际规定技术标准的, 组成型号的数字应和国外相应同类产品的数字一样。例如上述 CDA7520 和模拟器件公司的 AD7520 的数字是完全相同的, CDA7520 具有 AD7520 相同的性能。

国外不同的集成电路制造厂家, 对数模转换器有各自的命名规则。但总体来说也是由首标字母, 器件数字编号组成, 有的产品还常带有尾标字母。所使用的符号和数字都有一定的含义。从型号上有时能大致知道该产品在制造、性能、封装和温度等级等方面的基本特征。首标通常表示公司代号或功能分类。数字部分还常是器件的分类号, 尾标部分通常指明器件的封装形式、器件工作环境温度范围和性能等级。

下面以举例方式, 列出世界三个著名转换器生产厂家有关数模转换器的型号命名方法。

1. Analog Devices Inc(模拟器件公司, 简称 ADI 公司)的命名方法



型号组成部分的字母和数字的含义如下：
 首标 AD 是公司代号，表示模拟器件公司。
 数字是器件的分类编号。
 温度范围用不同的字母来表示：

A, B, C 表示工业范围温度，为 -25°C 或 -40°C 到 $+85^{\circ}\text{C}$ ；

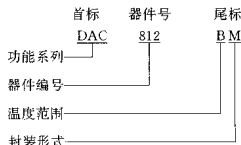
1, J, K, L 表示民用范围温度，为 $0-70^{\circ}\text{C}$ ；
 S, T, V 表示军用范围温度，为 $-55-125^{\circ}\text{C}$ 。

上述每类温度范围内的器件，所标字母越靠后，其总体性能越佳。例如标有 C 字母的器件比标有 A 字母的器件性能要好。

封装形式对应的字母含义是：

D 表示密封陶瓷或金属双列直插 (DIP)；
 E 表示无引线芯片载体 (CLCC)；
 F 表示陶瓷扁平封装；
 G 表示陶瓷针栅阵列 (CPGA)；
 H 表示密封金属圆壳；
 J 表示 J 型引线陶瓷 (JLC)；
 M 表示密封金属壳双列直插；
 N 表示塑料或环氧树脂密封双列直插 (DIP)；
 P 表示塑料引线芯片载体 (PLCC)；
 Q 表示陶瓷浸渍；
 R 表示小引线封装 (SO)；
 RS 表示压缩小引线封装 (SSOP)；
 S 表示塑料扁平封装 (PQFP)；
 ST 表示薄方形扁平封装 (TQFP)；
 T 表示 TO-92 型封装；
 V 表示薄小引线封装 (TSOP)；
 Z 表示陶瓷引线芯片载体 (CLCC)。

2. Burr-Brown Research corp (巴耳-布劳恩研究公司，简称 B-B 公司) 的命名方法

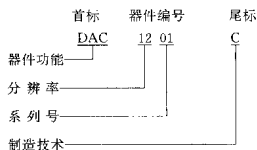


温度范围由不同的字母表示：

H, J, K, L 表示 $0-70^{\circ}\text{C}$ 民用环境温度范围；
 R, S, T 表示 $-55-125^{\circ}\text{C}$ 军用环境温度范围；
 A, B, C 表示 $-25-85^{\circ}\text{C}$ 工业用环境温度范围。

封装部分字母含义如下：M 表示金属管壳封装，P 表示塑料封装，G 表示陶瓷 (气密或非气密) 封装，L 表示无引线芯片载体陶瓷封装，H 表示陶瓷气密封装。

3. National Semiconductor Inc. (国家半导体公司) 的命名方法



首标表示该公司的功能，DAC 指数模转换器，还有很多其他功能器件，分别用不同的首标表示。例如 ADC——模数转换器，LF——BI-FET 组成的线性电路，LH——混合线性电路，LM——单片线性电路，LP——线性低功率电路，HC——高速 CMOS，DH——混合数字电路，DM——单片数字电路，DS——接口电路和 TDA——线性电路等。

器件编号前两个数字表示分辨率，举例中 12 表示该器件有 12 位分辨率 (二进制)，但到 25 以后不再表示二进制的分辨率，例如 25 表示 $2\frac{1}{2}$ 位十进制分辨率，35 表示 $3\frac{1}{2}$ 位分辨率，37 表示 $3\frac{3}{4}$ 位十进制分辨率等。数字部分后面的数表示这类产品的系列号。尾标第一个字母表示芯片制造技术。例如 P——PMOS，C——CMOS，H——混合电路，B——双极型电路，N——NMOS，I——注入逻辑 (I²L)。

除了上面三家公司外，很多其他公司也生产转换器，比较有名的公司和他们对转换器型号命名的首标字母列举如下：

Datel 公司，转换器首标字母为 DAC。

Fairchild 公司 (仙童公司)，首标字母为 μA 。

Hitachi 公司 (日立公司)，首标字母为 HA。

Motorola 公司 (莫托罗拉公司)，首标字母为 MC，LM。

NEC 公司 (日本电气)，首标字母为 μPC 。

Siemens 公司 (西门子公司)，首标字母为 TDA。

Toshiba 公司(东芝公司), 首标字母为 TA。

Signetics 公司(西格尼蒂克公司), 首标字母为

DAC。

Texas Instruments 公司(德州仪器公司), 首标字

母为 TLC。

第二章 数模转换器的常用参数和测试

同其他集成器件类似,数模转换器的制造厂家为了方便用户应用和推销产品,一般都提供器件使用手册或活页的产品说明(Data Sheet)。其内容通常包括器件性能、基本工作原理、使用方法和参数图表。其中参数图表定性地反映出该器件的性能特性,是用户选用器件的主要依据。

数模转换器的参数很多,但可以归入下面三类。一类是静态特性参数,第二类是动态特性参数,第三类是温度特性参数。实际应用中,对上述任何一类参数考虑不周,都可能影响数模转换目标的实现。当然,不同的应用场合,各个参数的相对重要性是不同的。例如数模转换器用作 CRT 向量发生器时,其微分线性误差和建立时间对 CRT 的显示质量有决定性影响。而增益误差和失调误差相对而言就不太重要,它们仅引起显示尺寸的变化和产生小的偏移。

要使用系统选择到合适的数模转换器,仅仅了解应用系统对数模转换器的要求,了解数模转换器的一般工作原理和性能特点是远远不够的,还应该知道转换器的常用参数,它们反映了转换器的什么特性,参数值的变化对转换器性能有什么影响,并通过查阅器件手册,了解具体器件的各种参数值。从手册查阅

转换器参数时,要注意厂家对参数的具体定义和测试条件。因为书中介绍的定义是按国家标准编写的,但生产厂家根据情况有时有不同的定义和测量条件,例如没有遵守统一的 ISO 标准或某一参数还没有国际统一标准,这在查阅时应引起注意。另外要弄清查到的参数值是最大值、典型值还是最小值,是全温度范围下的还是某一特定温度下的参数值。因为集成数模转换器是工业化批量生产的,厂家为降低成本,往往只在实验室温度下(例如 25℃)对产品作抽检,故手册中较多出现的是 25℃ 下的典型值。如果有这种参数的温度系数,当然据此可推出其他温度下的参数值,有时做不到这点,而实际应用中又有需要,则要根据实际应用条件,通过对转换器测试来获取这种参数。另外,数模转换器的参数很多,只有根据实际应用系统的情况,确定出转换器参数中对系统性能有较大影响的参数,并以此作为选用转换器的依据,才是合理的。盲目追求参数全面高指标,不但是浪费,有时也是很难实现的。

下面介绍的是数模转换器的常用参数和测试方法。

2.1 静态特性参数

2.1.1 分辨率

数模转换器的分辨率定义为转换器的输出量(电压或电流)可能被离散的数目。

由于输入数码每增加一个 LSB,输出就对应一个新的值,即形成一个新的输出“台阶”。因此分辨率和转换器输入数码的位数有关,输入数码位数越多,能构成的输入码越多,对应的模拟输出量级数就越多。到满量程时,就对应着最大的输出级数。若满量程的输出值已知,则不难算出输出模拟量每个“台阶”的大小,数值上即为一个 LSB 输入所对应的输出值的大小。

分辨率常用下面几种方法来表示。

1. 直接按定义表述

N 位二进制输入的数模转换器,由于最多可提供 2^N 个不同的模拟输出值,因此它的分辨率为 2^N 。这样,对于一个 10 位二进制输入、满量程输出为 10V 的转换器,其分辨率为 $2^{10}=1024$,即 10V 的输出电压最多可被“分辨出”1024 个台阶,每个台阶的电压为 $10\text{V}/1024$,即 9.75mV。

2. 利用和定义有关系的量表示

(1)用输入数字量的位数表示。 N 位二进制输入的转换器,分辨率为 N 位二进制。 N 位 BCD 码输入的数模转换器,分辨率为 N 位 BCD 码。这种表示方法简单明了,反映了数模转换器能处理的数字信号的位数。器件手册上的分辨率参数,常采用这种方法。

(2)用分辨率定义值的倒数或其百分数表示。此