

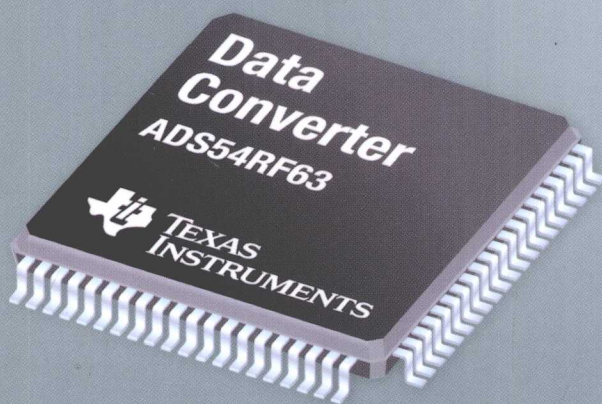
模拟及数模混合器件 的原理与应用 (上册)

主编 孙肖子

编著 孙肖子 楼顺天

任爱锋 李先锐 罗 铭

主审 石光明



科学出版社

www.sciencepress.com

模拟及数模混合器件的原理与应用

(上册)

主编 孙肖子
编著 孙肖子 楼顺天
任爱锋 李先锐 罗 铭
主审 石光明

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以美国德州仪器(简称“TI”)公司的集成芯片为例,全面介绍模拟及数模混合器件的原理与应用。全书分上、下两册。上册共5章,主要介绍各类集成运算放大器(包括精密、高速、全差分、仪表、功率、增益可控、对数、积分运放、电压比较器、模拟开关等)、模数变换器(A/D)及数模变换器(D/A)的原理及应用。下册共6章,主要介绍各类电源管理芯片、时钟、定时器芯片、低功耗射频(RF)及射频识别(RFID)芯片、接口芯片的原理与应用。

本书内容丰富、翔实,以应用为重点,可作为电子电气信息类、自动化类、计算机类、测控仪器类、机械工程类理工科专科生、本科生和研究生从事理论学习、工程设计、毕业设计,参加各种科技实践活动的重要参考书,也可供从事各种电子系统设计、科研、开发工作的广大科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟及数模混合器件的原理与应用. 上/孙肖子主编;孙肖子等编著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025634-8

I. 模… II. ①孙…②孙… III. 模拟电路-电子器件 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 169522 号

责任编辑:匡 敏 潘斯斯 潘继敏 / 责任校对:朱光光

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年9月第一次印刷 印张:29 3/4

印数:1—3 000

字数:765 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

Preface

Analog integrated circuits are essential elements of almost all electronics in today's digitally processed world. They convert real-world signals such as voice, sound, pressure, temperature and electricity into the 1s and 0s of the digital world. Those digital representations can then be swiftly processed by digital signal processors (DSPs) or microcontrollers, transmitted precisely, and then converted back into analog signals again. Moreover, all electronic systems use some form of power management circuitry to provide power to the system.

During past decades, it was assumed that the need for analog engineers would rapidly decline as digital took over with its superior speed and accuracy. The reality, however, is that analog will always be needed to gather the real-world data for digital systems to process. On average, for every DSP in an electronic system, there are ten analog components. Thus there is a critical need for more engineers trained to design in analog components as well as build systems using analog chips.

To help engineering students tackle the challenges of using analog ICs, this textbook provides training in the theory and use of specific ICs ranging from op amps, data converters, and power to clocks, low-power wireless/RFID, and interface — covering all aspects of the signal chain. You'll notice that all examples in the book are based on chips from Texas Instruments (TI). TI is a logical choice for the focus of a textbook on analog design because TI has the most comprehensive portfolio of analog products of any manufacturer. In terms of competitive market share, TI is the only integrated circuit supplier that is either first or second in amplifiers, analog-to-digital converters, digital-to-analog converters, DSP, digital interface, or power management products. TI offers virtually tens of thousands of analog integrated circuits helping to solve some of today's biggest challenges in applications including biomedical, industrial, wireless and wired communications, consumer video and audio, PC peripherals, digital TVs, and video security.

I hope that TI can assist in the signal processing needs in the electronic systems that you are developing or may one day develop.

Sincerely,



Timothy V. Kalthoff

TI Fellow

Chief Technologist, High Performance Analog

Texas Instruments

前 言

“数字化”是电子设计的趋势和主流。可编程逻辑器件(PLD)的发展,以及 VHDL 语言和 Verilog 语言的应用,使数字系统设计更为规范,更为灵活,也更为容易。模拟电路是电子系统的重要组成部分,特别在电子系统的前端和后端,模拟电路将成为主角。由于模拟电路对噪声、干扰、温度、匹配等因素十分敏感,加上信号往往又比较微弱,设计和制作中受到的制约比数字电路大得多;并且到目前为止,模拟电路的设计自动化工具极不完备,设计者的经验积累显得特别重要。因此,在许多电子系统设计中,模拟电路已经成为设计的“瓶颈”。设计者对当今模拟电路的发展情况不熟悉,对模拟集成电路芯片的特点、类型、水平、应用技术了解不足,也是造成模拟电路设计困难的重要原因之一。本书编写的初衷就是为了让广大读者更好地了解、掌握当前模拟集成电路的发展及应用技术。

模拟集成电路浩瀚如烟,世界各大公司产品类型相似,但特点和优势各有不同。本书以美国德州仪器(Texas Instruments, TI)公司的模拟电路芯片作为例子和窗口,向读者介绍当今模拟和数模混合器件的发展水平和特点,重点介绍其在电子系统中的应用。编写本书的宗旨如下:

(1) 开拓学生视野,为专科生、本科生和研究生学习课程、进行毕业设计和开展各种科技实践活动,以及参与国内外学科竞赛提供更多的参考资料,增强学生的创新意识和工程实践能力;丰富立体化、多元化教学资源库的内容。

(2) 使相关教师更广泛地了解当今模拟及数模混合器件的发展现状、特点和应用,提高教学水平和科研水平。

(3) 为广大科技工作者提供模拟电路科研开发资料,激发设计灵感,优化电子系统设计。

希望本书的内容对广大读者能有所启发与帮助。

本书分上、下两册。上册包括第 1~5 章,主要介绍集成运算放大器、模数变换器(A/D)、数模变换器(D/A)的原理和应用。下册包括第 6~11 章,主要介绍各类电源管理芯片、时钟、定时器芯片、低功耗射频(RF)及射频识别(RFID)芯片、接口芯片的原理及应用。

本书由西安电子科技大学国家电工电子实验教学示范中心和国家电工电子教学基地教学团队组织编写,孙肖子和任爱锋负责总策划。孙肖子编写上册第 1~3 章,楼顺天编写上册第 4、5 章,李先锐编写下册第 6~8 章,任爱锋编写下册第 9、10 章,罗铭编写下册第 11 章。孙肖子负责上册统稿,任爱锋负责下册统稿。石光明教授在百忙中审阅了本书全部书稿,提出了宝贵的修改意见和建议。

西安电子科技大学与国际著名电子公司建立了 30 多个联合实验室,其中包括德州仪器公司与西安电子科技大学的两个联合实验室,即“西电-TI DSP 联合实验室”和“西电-TI 模拟创

新设计联合实验室”。这些实验室在教学与科研中发挥了良好的作用。在本书的编写和出版过程中,得到 TI 公司的大力支持,特别是 TI 公司大学计划部沈洁女士、潘亚涛先生和黄争先生的支持。黄争先生为本书撰写了“TINA-TI”的应用例子——放大器稳定性讨论一节,并为本书提供了许多很好的、有价值的资料和建议。十分感谢 TI 公司的科学家、高性能模拟产品首席技术官 Timothy V. Kalthoff 先生为本书作序。

在此,对所有帮助过我们的老师、同学和友人表示衷心的感谢!

由于时间和水平所限,书中定有许多不足和遗憾之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2009 年 8 月于西安电子科技大学

目 录

Preface

前言

第 1 章 概述	1
1.1 模拟信号和数字信号	1
1.2 电子系统及信号处理	2
1.3 从一个电子系统看模拟信号处理和接口技术的重要性	3
1.4 TI 公司模拟及数模混合器件家族简介	8
1.5 TI 公司高性能模拟器件封装简介	10
1.6 TI 公司的技术支持	11
1.7 TINA-TI 的应用例子——放大器稳定性讨论	14
第 2 章 集成运算放大器	26
2.1 有关集成运算放大器原理与应用的若干问题	26
2.2 高精度、低噪声、低漂移集成运算放大器	42
2.3 高速宽带运算放大器	87
2.4 全差分运算放大器	120
2.5 “差分放大器”和电流分流监视器	135
2.6 仪表放大器	169
2.7 功率运算放大器、缓冲器和音频功率放大器	195
第 3 章 特殊功能放大器、电压比较器、模拟开关及多路复用器	225
3.1 单片增益可变放大器	225
3.2 对数放大器	237
3.3 隔离放大器	246
3.4 积分放大器	255
3.5 4~20mA 电流变送器	264
3.6 数字式温度传感器	273
3.7 电压比较器	285
3.8 模拟开关及多路复用器	293
第 4 章 A/D 变换器及应用	300
4.1 A/D 变换原理	300
4.2 A/D 变换器的性能指标	300
4.3 A/D 变换器分类	301
4.4 逐次逼近型 A/D 变换器	304

4.5 流水线型 A/D 变换器	346
4.6 Δ - Σ 型 A/D 变换器	390
第 5 章 D/A 变换器及应用	408
5.1 D/A 变换原理	408
5.2 D/A 变换器的性能指标	411
5.3 D/A 变换器分类	411
5.4 通用型 D/A 变换器	412
5.5 多通道 D/A 变换器	431
5.6 高速 D/A 变换器	450
参考文献	467

第 1 章 概 述

集成电路器件是构成电子系统的基础,一个优秀的电子系统设计者,必须对集成电路器件的类型、功能、性能、参数有广泛而深入的了解和掌握。

在系统设计过程中,有时巧妙地应用一片集成电路器件,不仅使系统设计简单化,而且使系统性能指标有很大的提高,特别是集成电路发展到当今的 SOC 阶段(system on chip)更是如此。

美国德州仪器(简称 TI)公司的数字信号处理技术(DSP)闻名于世,而且在模拟器件领域也有十分成功的发展。许多功能强大、性能优异的模拟集成芯片是电子系统解决方案中的重要组成部分。

本章主要介绍电子系统的基本组成,模拟信号处理的重要性,模拟信号处理的基本范围及举例,以及 TI 公司模拟和数模混合器件家族的总体简介。

1.1 模拟信号和数字信号

“信号”是“信息”的载体,也可以说“信号”是“信息”的表现形式,“信息”则是“信号”的具体内容。例如,音频信号可以传达语言、音乐等信息,图像信号可以传达人类视觉系统所反应的图像信息。“信号”有非电物理量信号和电信号之分,如光、温度、压力、流量、位移、速度、加速度等属非电物理量信号,而电信号一般指的是随时间变化的电流或电压,也包括电容器的电荷、线圈的磁通以及空间的电磁波等。非电物理量信号可借助“传感器”转换为电信号,以便于进一步加工、处理和传输。

电信号可分为模拟信号、采样数据信号和数字信号。所谓模拟信号,是指时间和数值(幅度)上都是连续变化的信号。自然界大部分信号都属模拟信号,如图 1.1.1 所示。采样数据信号是时间离散、幅度仍为连续变化(不量化)的信号,如图 1.1.2(a)、(b)所示。图 1.1.2 中 T_c 为采样周期, $x(nT_c)$ 为对应时间 $t = nT_c$ 时的函数 $x(t)$ 的样品值。数字信号不仅时间离散,而且幅度也为离散量,即幅度“量化”的信号,通常将

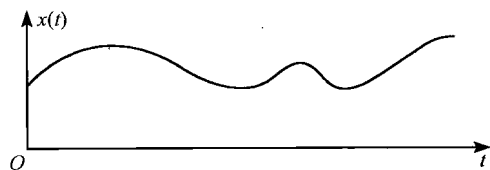


图 1.1.1 模拟信号(时间、幅度均为连续变化的信号)

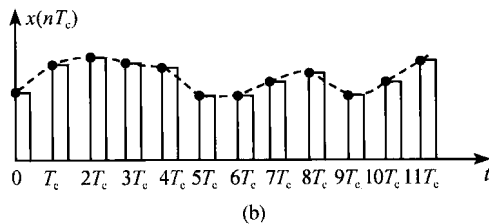
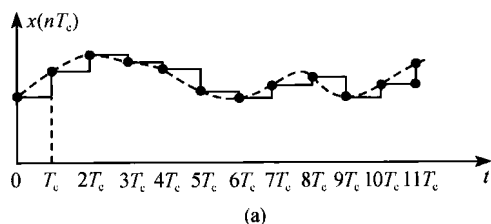


图 1.1.2 采样数据信号(时间离散、幅度连续变化信号)

$x(0)$	01101100	<u>0</u> <u>11</u> <u>0</u> <u>11</u> <u>00</u>
$x(T_c)$	10110011	<u>1</u> <u>0</u> <u>11</u> <u>00</u> <u>11</u>
$x(2T_c)$	11011001	<u>11</u> <u>0</u> <u>11</u> <u>00</u> <u>1</u>
$x(3T_c)$	10101011	<u>1</u> <u>0</u> <u>1</u> <u>0</u> <u>1</u> <u>0</u> <u>11</u>

图 1.1.3 数字信号(时间离散、幅度也离散(量化)的信号)

某一时刻的时间离散信号 $x(nT_c)$ 量化为用“0”、“1”(二值逻辑)表示的序列码信号,如图 1.1.3 所示。采样数据信号由于幅度连续变化(不量化),因此人们往往也将其归于模拟信号范畴,开关电容和开关电流网络中的信号就属于此类信号。

1.2 电子系统及信号处理

电子系统有多种描述方法。一般来说,将若干个单元电路或功能模块组合成的规模较大、能够完成特定功能的完整的装置称为电子系统。

电子系统的主要组成部分是信号处理部分,一个典型的信号处理系统如图 1.2.1(a)所示。图 1.2.1(a)中的第一模块是“预处理”模块,该模块对整个电子系统是至关重要的,此模块更详细的框图如图 1.2.1(b)所示。

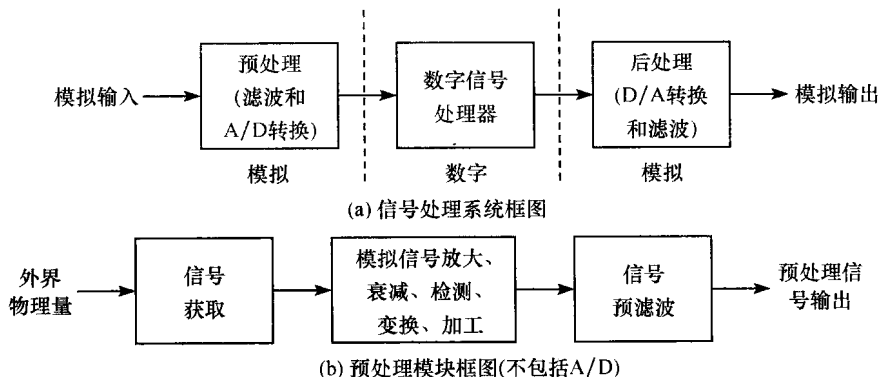


图 1.2.1 典型信号处理系统框图

首先是“信号获取”,主要是通过传感器或输入电路,将外界待观察的信号变为电信号,或实现系统与信源间的耦合、匹配等。在多数情况下,系统输入信号为模拟信号,如语音信号、无线接收信号、地震波信号、雷达回波信号、超声波信号、生物电信号或温度、压力、速度、加速度、弱光、弱磁等经传感器转换而来的电信号。这些信号的特点是:①一般都比较微弱,其强度弱至“ μV ”量级,而且往往受噪声和干扰的污染;②这些信号的频率范围很宽,低端低至“直流”或赫兹(Hz)级(如温度信号、生物电信号、地震波信号等),高端高至“微波”段,信号处理系统中工作频率的大致分布情况如图 1.2.2 所示。处理受噪声污染的微弱信号和高频信号是很难的事情,但又是极富挑战性的课题。

针对系统输入信号大部分为受噪声污染的微弱模拟信号,“预处理”模块首先应包含弱信号放大,因为信号数字化(ADC)一般需要几百毫伏以上的信号幅度。在许多系统中要求低漂移、低噪声、高精度和高增益的放大器,为了达到优异的性能,还要求放大器输入端和传感器或信源之间有良好的匹配耦合。当输入信号动态范围很宽时,要设置自动增益控制(AGC)电路。为了初步抑制噪声和干扰,该模块还应包含滤波器,低通、高通、带通、带阻,甚至全通滤波器都有着广泛的应用。

图 1.2.1(a)中的第三模块是“后处理”模块,通常包含数-模转换器(DAC)和滤波器等。

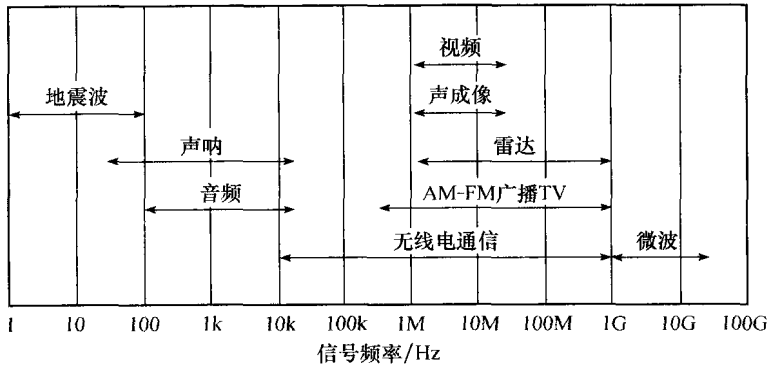


图 1.2.2 信号处理系统中的信号频率

集成电路发展到 SOC 阶段,模拟电路和数字电路密不可分,往往集成在同一芯片上。故数模混合信号处理集成系统越来越被人们所关注。

下面通过几个数模混合的信号处理系统实例进一步熟识集成电路芯片在系统设计中的重要性。

1.3 从一个电子系统看模拟信号处理和接口技术的重要性

1.3.1 飞机液压系统的多路信号调理器及设计

这里通过一个作者亲身经历研制的自动测试系统,说明模拟信号处理和接口技术的重要性。这个系统就是“飞机液压计算机自动测试系统”。

在飞机制造或大修过程中,需对其液压系统的运行情况进行实时的自动监测,先由传感器转换多种非电物理量,经多路信号调理器送入 A/D 转换器数字化,而后经计算机处理后自动给出各种数据及测试曲线,供工程设计人员分析,并据此改进设计。该自动测试系统的基本组成框图如图 1.3.1 所示。

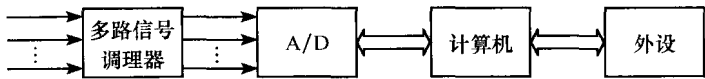


图 1.3.1 飞机液压自动测试系统的基本组成框图

本飞机液压系统的多路信号调理器共 128 路,其中交流调理器 84 路,直流调理器 20 路,流量计 24 路,另加 5 路公共监视器(数字电压表)。84 路交流调理器主要获取和预处理来自压力传感器和位移传感器的信号,20 路直流调理器主要获取和预处理来自热电偶的温度信息,24 路流量计则获取和预处理来自流量传感器的液压流量信息。作为“自检”设备,5 路公共监视器来监视 128 路调理器的工作情况。当某一路调理器需要自检时,可按下本路一个申请监视器的按钮,就可以调动某一路监视器,来显示本路调理器的输出电压或激励电压等。这也是一种比较巧妙的设计思路。

飞机液压计算机自动测试系统的压力、位移、温度、流量等 128 个传感器布控在飞机液压系统的不同部位,监测着飞机液压系统的各种运行参数,传感器送来的信号有交流、直流、脉冲等不同形式的信号,本系统都将其变换为直流信号,然后经 A/D 变换数字化后送到计算机分析。例如,在飞机的起落架升起和降落过程中,液压系统的各种参数变化立即由计算机显示和打印出来,供设计者或维修者分析和判断。飞机液压系统多路信号调理器的基本框图如图 1.3.2 所示。

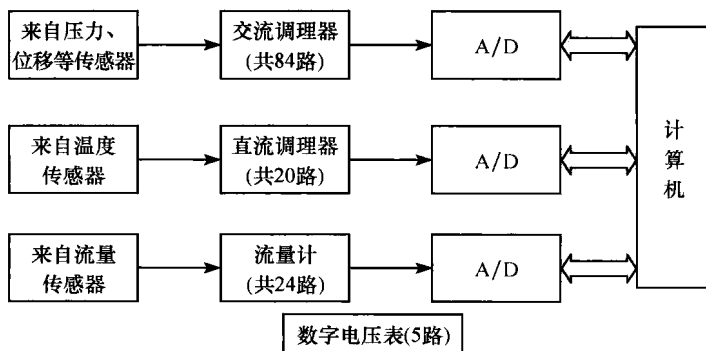


图 1.3.2 128 路信号调理器的基本框图

1. 交流调理器

交流调理器为传感器提供三种频率(分别为 3kHz、5kHz 和 8kHz),峰峰值为 $10V_{PP}$ 的交流激励电压,为电阻桥式、电感差分变压器式的压力、应力、位移、角度等机械变量型传感器提供激励信号。同时受理传感器输出的电信号,经放大变换后送到 A/D 数字化,完成传感器和计算机之间的信号预处理和接口任务。要求激励源的频率稳定度 $\leq 10^{-4}$,振幅稳定度 $\leq 10^{-4}$,输出电流 $\leq 50\text{mA}$ 。调理器输入方式可为单端或双端,输入阻抗大于 $2\text{M}\Omega$,放大器增益为 0.4~2000 倍连续可调,输出电流 $\leq 25\text{mA}$ 。交流调理器的总体框图如图 1.3.3 所示。

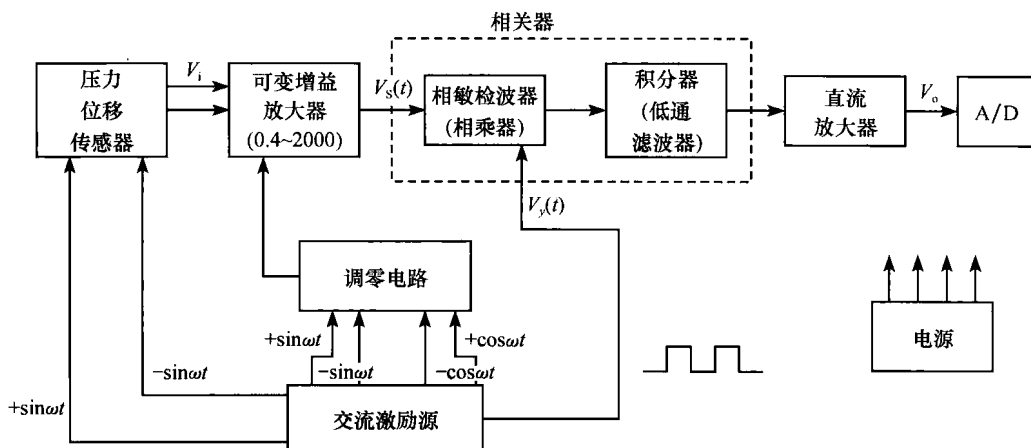


图 1.3.3 交流调理器的总体框图

激励源有“内”、“外”两种工作模式,当交流调理器各路单独工作时,置“内”激励方式;而当多路同时工作时,置“外”激励方式,由一个外来信号通过光耦合器进入本激励源而产生传感器所需的激励电压。二者由开关来转换。由于采用光耦合器,使外来信号与本激励源不共地,也不共电源,做到电气上完全隔离,以减小外来干扰。

一个流控正交信号发生器产生 $\sin \omega t$ 和 $\cos \omega t$ 正交信号。通过功率放大器和反相器产生 $\pm \sin \omega t$ 信号,为传感器提供激励信号。同时为调理器电调零网络提供 $\pm \sin \omega t$ 和 $\pm \cos \omega t$ 信号,该网络产生调零补偿电压送可变增益放大器,实现零点调节。激励源又将正弦波整形成方波,送相敏检波器作为开关信号。

放大器(特别是前级)由低噪声、低漂移、高精度运放组成,低通滤波器采用压控电压源型二阶有源滤波器。

激励源产生的 $\pm \sin \omega t$ 信号去激励传感器,以桥式压力传感器为例,当压力为零时,“桥”处于平衡状态,传感器输出电压为零。而当传感器加压力时,桥失去平衡,传感器送出幅度与压力成一定比例关系的信号。该信号往往比较微弱,且混杂在噪声和干扰之中。为了检测被噪声干扰污染的弱信号,调理器采用相关检测技术。因为传感器的激励信号与传感器的输出信号二者既同频,又相位相干,而噪声和干扰与激励信号之间并不相干。利用这一特性,对来自传感器的信号适当放大后,与激励信号做相关处理,则信号得到增强,而噪声干扰得到抑制,相关函数如式(1.3.1)所示:

$$\begin{aligned} R_{xy} &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T V_x V_y dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [V_s(t) + N(t)] V_y(t) dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T V_s(t) V_y(t) dt + \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T N(t) V_y(t) dt \\ &= R_{Sy} + R_{Ny} = R_{Sy} \end{aligned} \quad (1.3.1)$$

式中, $V_s(t)$ 为信号; $N(t)$ 为噪声或干扰; $V_y(t)$ 为与 $V_s(t)$ 相干的参考信号; R_{Sy} 为信号 $V_s(t)$ 与参考 $V_y(t)$ 的相关函数,因为二者相关,所以 R_{Sy} 不为零,而且其大小很好地反映 $V_s(t)$ 的大小;而 R_{Ny} 为噪声 $N(t)$ 与 $V_y(t)$ 的相关函数,因为二者不相关,所以 R_{Ny} 等于零。

根据式(1.3.1)构成的相关器框图(如图1.3.4所示),相关器由一个相乘器和一个积分平均器(低通滤波器)组成。

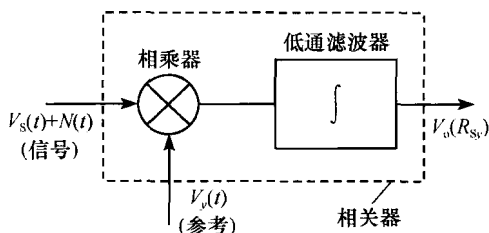


图 1.3.4 相关器框图

模拟乘法器的一种最简单的解决方案是利用一个“符号电路”来实现,如图1.3.5(a)所示。因为该电路当 $V_y(t)$ 为高电平时,场效应管导通,传输函数为“-1”;当 $V_y(t)$ 为低电平时,场效应管截止,传输函数为“+1”,也就是其增益为“ ± 1 ”,故称为“符号电路”。该电路实现 $V_s(t)$ 和 $V_y(t)$ 相乘功能,其波形如图1.3.5(b)所示,由于输出信号波形与 $V_s(t)$ 和 $V_y(t)$ 的相位差

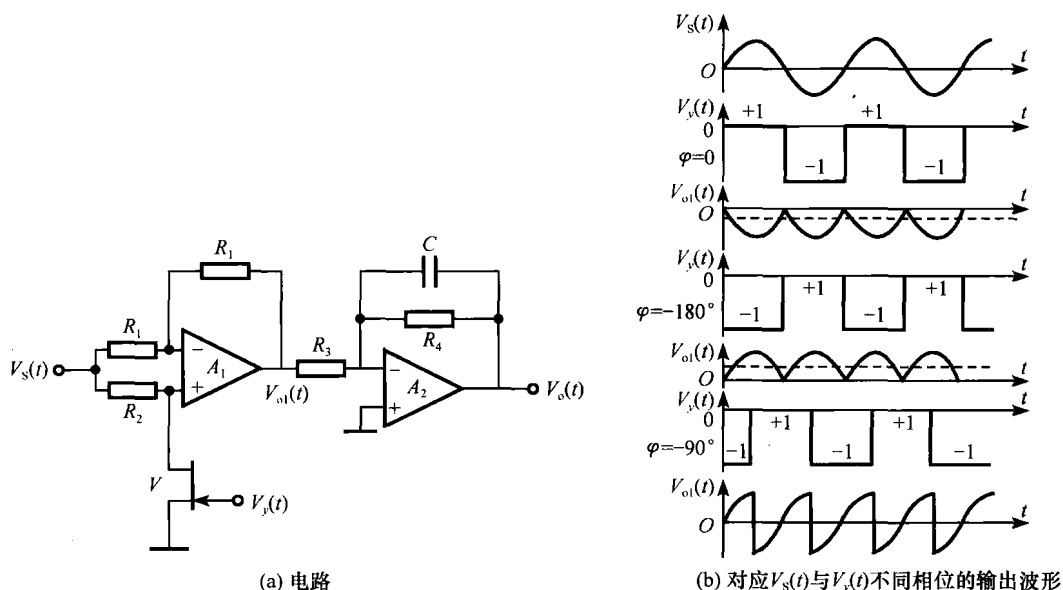


图 1.3.5 模拟相乘器的“符号电路”及其波形

有关,当二者“同相”时,输出为负的全波整流信号,其平均值为负的最大;而当二者“反相”时,输出为正的全波整流信号,其平均值为正的最大。当二者相差为 90° 时,相乘后的信号平均值为零。通过分析可知,该电路的输出平均值正比于输入信号振幅 V_{sm} 以及信号和参考之间相差 $\Delta\phi$ 的余弦值。故“符号电路”具有相敏检波的功能,即

$$V_{o(av)} \propto V_{sm} \cos \Delta\phi \quad (1.3.2)$$

取出 $V_o(t)$ 波形中的平均值,并滤除噪声和干扰依靠的是低通滤波器。

84 路交流调理器采用大量的集成运算放大器芯片,作为放大器前端,需要高输入阻抗、低噪声、低漂移、高精度、高共模抑制比的运放,如 TI 的 OPA227、OPA277 等。

2. 直流调理器

直流调理器共 20 路,主要受理来自温度传感器——热电偶的信号,以监视飞机液压系统运行时的温度变化情况,要求如下。

增益:40~5000,分 8 挡,按 2 或 2.5 倍步进;

输入电阻:大于 $10M\Omega$;

共模抑制比:大于 90dB;

输出动态范围: $\pm 10V$;

输出电阻:小于 100Ω ;

频率范围:直流~20Hz。

直流调理器组成框图如图 1.3.6 所示。

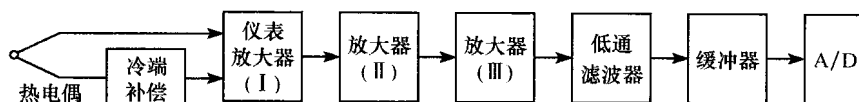


图 1.3.6 直流调理器组成框图

热电偶存在“冷端补偿”问题。因为用热电偶测量温度时是按冷端温度为 0°C 定标的,但实际上冷端并不处于 0°C 。例如,室温时,热电偶输出的电压低于实际温度所对应的电压,为此需要冷端补偿电路来补偿这一误差。

以前的冷端补偿电路是单纯的硬件电路,制作与调节都很麻烦。目前的解决方案是:用一个半导体二极管温度传感器来准确地测得热电偶的冷端温度,并与热电偶做在一起实现冷端补偿。也有直接用计算机软件实现冷端补偿的,这样不仅方便、准确,而且体积小,功耗也小。

3. 流量计

“流量”是飞机液压系统重点监测的参数之一。本自动测试装置中,在飞机不同部位布控了 24 个涡轮式流量传感器。涡轮流量传感器的原理是:在一永久磁钢和线圈组成的磁场中,放置一由导磁材料制成的带有螺旋叶片的叶轮,当流体流经传感器时,冲击叶轮旋转,导磁叶片周期性地改变磁路的磁阻值,使通过感应线圈的磁通量随之改变,从而在感应线圈的两端感应出电脉冲信号。在一定的流量范围内,电脉冲的频率与流经传感器的体积流量 $Q(\text{m}^3/\text{h})$ 成正比,即

$$f = KQ \text{ (Hz)} \quad (1.3.3)$$

式中, K 为仪表常数,一旦被标定就被固定下来, K 是衡量传感器灵敏度以及精度的重要系数。

流量计输出的脉冲信号幅度一般为 $200\sim 300\text{mV}$,而且边缘很差,特别当流量很小时,脉冲幅度就更小,波形更差,所以一般需要整形,以改善波形形状。

对流量计输出的脉冲波形,经整形后可以直接去“计数”,但本系统的方案是将传感器送出

的信号都变成直流,然后经 A/D 送到计算机进行处理与分析。将脉冲频率信号变换成直流电压,可以利用 F/V 变换集成芯片来实现。TI 公司的 VFC32 就是这样的芯片,它可以将电压信号变换为频率信号(V/F),也可以将频率信号变换为电压信号(F/V)。为了进一步提高精度,在 F/V 转换器前面加一级二倍频数字倍频器。流量计的组成框图如图 1.3.7 所示。

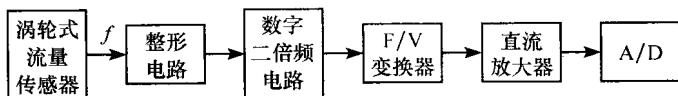


图 1.3.7 流量计的组成框图

从飞机液压多路信号调理器可见,模拟器件起了关键作用,特别是集成运算放大器、比较器等广泛的应用。类似的测试设备还有很多,如医学影像处理系统、激光、红外探测和成像系统,其传感器(换能器)都是阵列式的,有 128 阵列和 256 阵列,都需要相同的多路信号激励和接收,弱信号放大、滤波、移相、模拟开关等也是相应的多路结构。可见理解和熟练应用模拟器件的重要性。

1.3.2 从全国大学生电子竞赛看掌握模拟电路的重要性

全国大学生电子竞赛是国内最负盛名、最具有权威性和广泛性的赛事之一。10 多年来,全国大学生电子竞赛有力地推动了全国高校,特别是电子信息类学科和专业面向 21 世纪的教学改革,对理论教学或实践教学的改革起了一定的引导性作用。

根据当前教学的实际情况,学生有重“数字电路”,轻“模拟电路”,甚至惧怕“模拟电路”的倾向。为此,专家们在命题时,有意识地引导教师和学生要同样重视模拟电路。观察历届竞赛题目,可以发现每个题目中均含有模拟电路的部分,有的题目重点放在模拟电路上,下面举例说明。

第二届 A 题:“实用低频功率放大器”,设计制作有弱信号放大能力的低频功率放大器。

第三届 A 题:“直流稳压电源”。

第三届 D 题:“调幅广播收音机”。

第四届 A 题:“测量放大器”。

第四届 D 题:“短波调频接收机”。

第五届 B 题:“简易数字存储示波器”,设计一台用普通模拟示波器显示被测波形的简易数字存储示波器。

第六届 A 题:“电压控制 LC 振荡器”。

第六届 B 题:“宽带放大器”。

第七届 A 题:“正弦波发生器”。

第七届 B 题:“集成运放参数测试仪”。

第七届 C 题:“简易频谱分析仪”。

第八届 D 题:“程控放大器及程控滤波器”。

从飞机液压系统的多路信号调理器及自动测试系统设计和历届大学生电子设计大赛命题,可以看出模拟电路涉及面很广,主要有电压放大器、功率放大器、仪表放大器,各种滤波电路、波形发生器、无线收发、A/D、D/A,电路与系统各种电性能的测量和显示,包括增益、频率响应、信号频谱、功率、效率、失真度、频率、相位、噪声、阻抗等,通过 CPU 实现增益、频率、带宽的程控和实时显示、自动测试等。

在实现“模拟电路”的过程中,熟识芯片的选择和应用十分重要,只有选择优异的芯片,才能有效而快速地实现性能优异的电子系统。

由于模拟设计要在速度、功耗、精度、电源电压等多种因素间进行折中,模拟电路对串扰、噪声等远比数字电路敏感,电阻、电容数值和器件的二级效应对模拟电路的影响远比数字电路严重,因而在一个数模混合的硅片系统中,模拟电路占的比重并不大,但占的硅片面积却很大,特别是在那些包含射频收发器的集成芯片中,模拟电路的设计和制作往往会成为整机设计的瓶颈。高性能的模拟电路设计很少能依靠计算机自动完成,在一定程度上仍依赖于设计者的经验和直觉。正如毕查德·拉扎维(美)教授所说的那样:“好的模拟电路设计需要直觉、严密和创新。作为模拟电路设计者,必须以工程师的眼光快速而直觉地理解一个大的电路,以数学家的智慧量化那些在电路中难以捉摸的而又重要的效应,以艺术家的灵感发明新的电路结构。”

1.4 TI 公司模拟及数模混合器件家族简介

TI 公司有着历史悠久的模拟器件设计和生产历史。其产品的特点是标准化程度高、规格齐全、技术先进、质量可靠、性能优异且性价比高,而且不断推陈出新。新产品的不断“创新”是 TI 的永恒主题。在 1.3 节中举了一些模拟电子系统的例子, TI 公司的模拟和数模混合器件会帮助人们提出更好的解决方案,是设计者在设计电子系统时的最好选择之一。

图 1.4.1 所示为 TI 公司模拟和数模混合集成器件家族组成图,从图中可以一目了然地了解 TI 公司模拟产品家族的主要成员。

按照“信号获取”、“信号预处理”、“信号数字化”、“数字信号处理”、“信号后处理”以及“信号执行”的顺序简要介绍 TI 器件家族的情况。

“信号获取”表示 TI 器件所能接收的信号,主要来自传感器、无线和有线通信信号。传感器主要包括机械力-电转换类(压力、应力、位移、角度、速度、加速度、流量等),热-电转换类(如热敏电阻、热电偶等, TI 的数字温度传感器可将温度信号直接转换为数字信号),光-电转换类(如光敏电阻、光电二极管、红外器件和其他新型光伏元件等),声-电转换类(如拾音器、话筒等),压电晶体、无线通信的接收天线以及其他换能器等。自然界的信号大都是时间与幅度均为连续的信号,即模拟信号。

“信号预处理”是 TI 器件家族的重要分支,包括各频段的放大器,其频率范围从直流、音频、视频到射频均有覆盖。种类也十分齐全,包括精密运算放大器、高速运算放大器、音频及视频放大器、全差分放大器、仪表放大器、对数放大器、积分放大器、隔离放大器、电压控制增益放大器(VGC-Amp)、数字程控放大器等,读者可根据需要,在 TI 放大器系列产品中寻找满意的器件。

“信号数字化”主要是“模拟-数字转换器”,即 ADC。“TI”ADC 系列有 Δ - Σ ADC,这是一种基于增量调制和数字滤波的新型 ADC,性价比高,精度高(14~24 位),主要用于直流、音频等速度不高的信号转换,逐次比较型(SAR)ADC 是一种精度与速度折中的 ADC;流水线 ADC 是一种精度与速度都比较高的 ADC,是当前发展很快的新型 ADC。

“数字信号处理”主要包括“数字信号处理器(DSP)”、“微控制器(MPC)”、“音频、视频编/解码器”等。TI 的 DSP 有 C6000 系列、C5000 系列和 C2000 系列,其性能、品质和应用在世界范围都是著名的。TI 的微控制器主要有 MSP430 串行微控制器和 MSC12xx 串行微控制器。TI 时钟与计时器为处理器提供时钟与定时。TI 的音频、视频编/解码器主要有音频数据转换器 PCM 和 TLV320 系列。

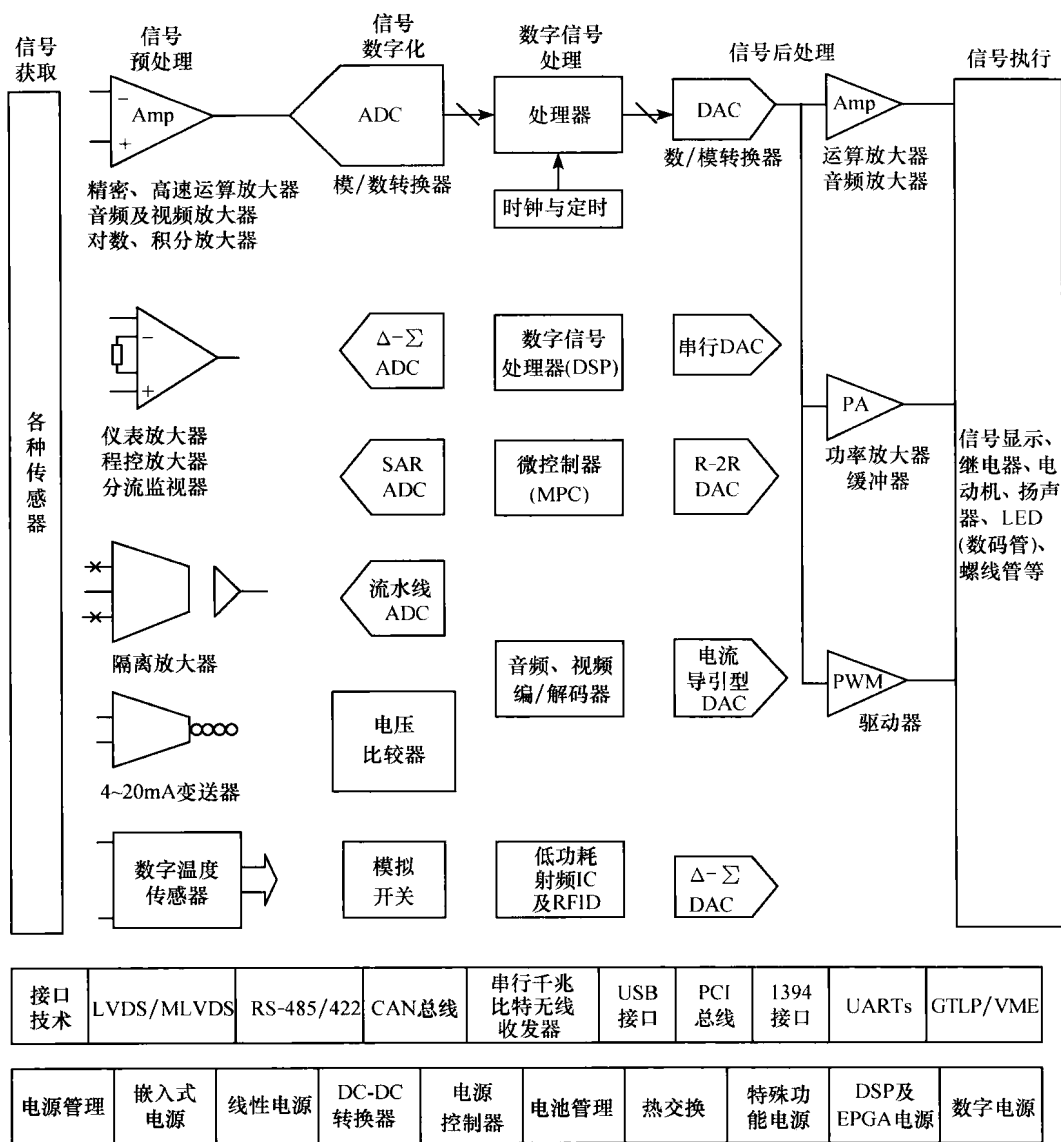


图 1.4.1 TI 公司模拟和数模混合集成电路器件家族简介

“信号后处理”一般包括数-模转换器、电压放大器、功率放大器及功率驱动器等，TI 的数-模转换器(DAC)有串行型 R-2R 网络型、电流引导型和 $\Delta-\Sigma$ 型。TI 的功率放大器有 AB 类、D 类功放、缓冲器、脉宽调制驱动器等，“信号后处理”输出直接连接“信号执行”机构，有信号显示、继电器、电动机、扬声器、LED(数码管)、螺线管等。

图 1.4.1 最下方介绍 TI 的“接口技术”和“电源管理”。

TI 的“接口技术”方面包括各种类型和标准的接口和总线、产品和解决方案，如 LVDS/MLVDS 逻辑接口、RS-485/422 接口总线、CAN 总线、串行千兆比特(bit)收发器、USB 接口、PCI 总线、1394 接口、UARTs(通用异步收发机接口)、GTLP/VME 等。

TI 的“电源管理”是模拟器件家族中的重要分支，包括嵌入式电源(Plug-in Power)、线性电源(LDO)、DC-DC 转换器、电源控制器、电池管理、热交换、特殊功能电源、DSP 及 FPGA 电源、数字电源等。

TI 的低功耗无线及射频识别(RFID)也有重要的发展和创新。