

第三节 高精度单片数据采集系统

AD μ C824 是 AD 公司推出的高性能单片机,是目前片内资源最丰富的单片机之一。它的内部集成了高分辨率的 A/D 转换器,它将 8051 内核、两路 24 位/16 位 Σ - Δ 式 A/D、12 位 D/A、FLASH、WDT、 μ P 监控电路、温度传感器、SPI 和 I²C 总线接口等丰富资源集成于一体,体积小、功耗低,非常适合用于各类智能仪表、智能传感器、变送器和便携式仪器等领域。

一、AD μ C824 的性能特点

① 基于 8051 的内核，指令集与 8051 兼容；可采用 32kHz 的晶振（晶体振荡器的简称）工作，利用片内 PLL（锁相环）产生内部所需的工作频率，MCU（微控制器或单片机）内核工作频率和数据输出率可编程，输出精度随程控增益和输出数据速率的变化而改变；3 个 16 位的定时器/计数器；26 根可编程 I/O 线；12 个中断源，两个优先级。

② 两个独立的 Σ - Δ ADC 通道，主、辅助通道的分辨率分别为 24 和 16 位，具有可编程自校正功能；12 位电压输出型的数/模转换器（DAC）；片内温度传感器；两个激励电流源；基准检测电路；定时间隔计数器（TIC）。

③ 8KB 片内闪速/电擦除程序存储器；640B 片内闪速/电擦除数据存储器；片内电荷泵（不需要外部 VPP）；256B 片内数据 RAM；可扩展 64KB 程序存储器空间和 16MB 数据存储器空间。

④ 一个通用 UART 串行 I/O；一个与 I²C 兼容的二线串口和 SPI 串口；一个看门狗定时器（WDT）；一个电源监视器（PSM）。

⑤ 采用 3V、5V 电压工作；具有正常、空闲和掉电三种工作模式。

二、AD μ C824 的结构及工作原理

AD μ C824 使用 52 引脚方形扁平塑料封装，AD μ C824 的内部功能结构如图 5-19 所示。主要由以下 12 部分组成。

① 模拟主通道，包括模拟信号多路转换器（MUX1），两路 100mA 电流源，缓冲器（BUF1），可编程增益放大器（PGA，允许直接测量低电平信号），主 ADC（24 位 Σ - Δ 式 ADC），ADC 控制与校准电路。

② 辅助通道，包括模拟信号多路转换器（MUX2），温度传感器（测温范围 $-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$ ，测温精度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，可用于监测芯片温度），辅 ADC（16 位 Σ - Δ 式 ADC），ADC 控制与校准电路。

③ 2.5V 带隙基准电压源和基准电压（ U_{REF} ）检测电路。

④ 电流源多路转换器（MUX3），两路 $200\mu\text{A}$ 电流源。

⑤ 8052 微控制器内核（MCU）。

⑥ 存储器，包括 8KB 程序存储器和 640B 数据存储器（FLASH/E²PROM）、256B 随机存取存储器（RAM）。

⑦ 数/模转换器，包含数/模转换控制电路，12 位电压输出式 DAC，缓冲器（BUF2）。

⑧ 电源监视器。

⑨ 看门狗定时器。

⑩ 晶振锁相倍频器（含振荡器、锁相环 PLL 及可编程分频器）。

⑪ 16 位定时/计数器，时间间隔计数器（可记录的最大时间间隔为 $1/128\text{s} \sim 255\text{h}$ ）。

⑫ 下载调试和异步通信接口（UART）、基于 SPI 总线并与 I²C 总线兼容的同步串行接口及单端在线仿真 I/O。

下面简单介绍引脚功能以及各单元电路的工作原理。

（一）各引脚的功能

按照功能来划分，一般将 52 个引脚分成以下 5 类。

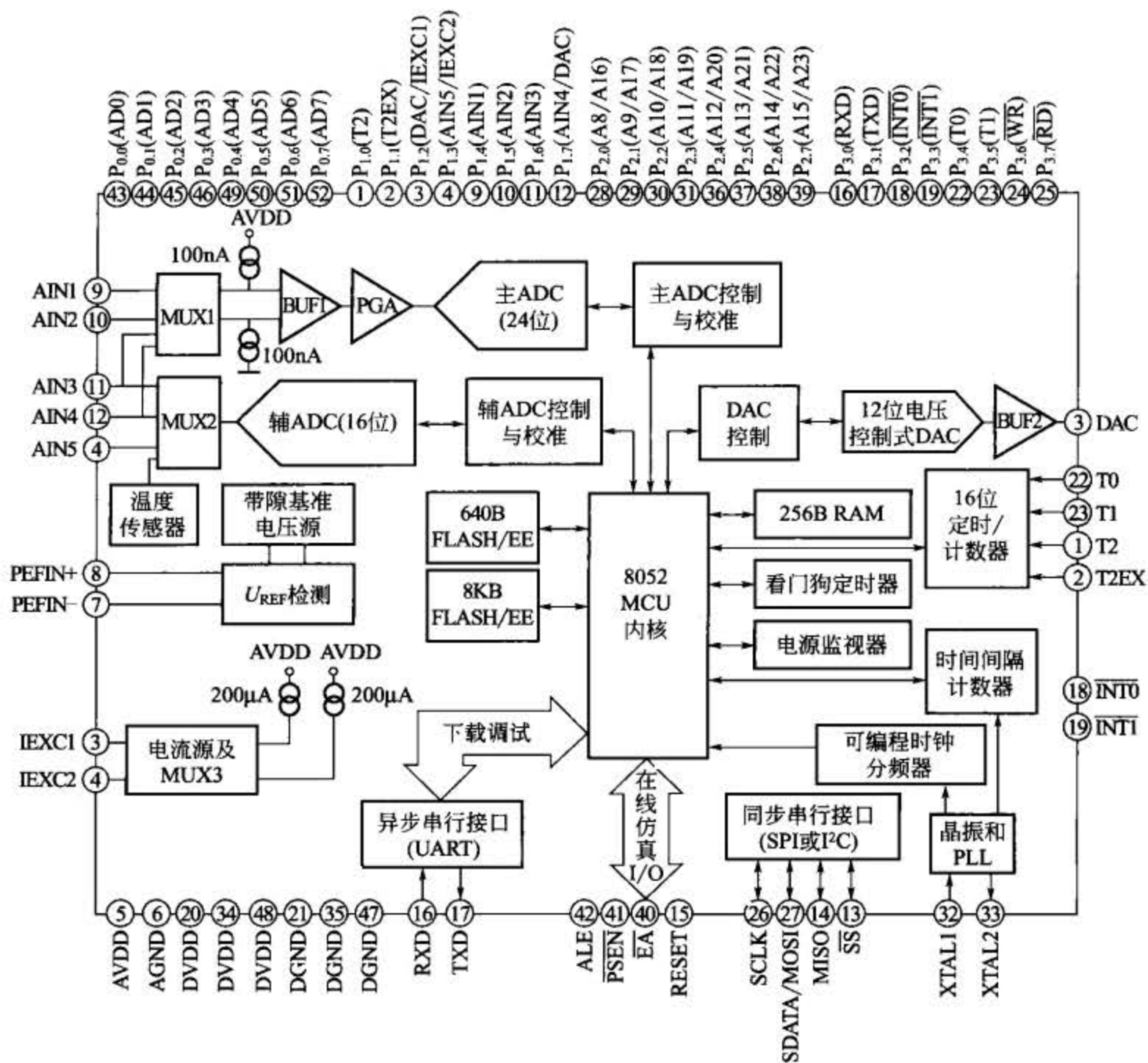


图 5-19 AD μ C824 的内部功能结构

1. 电源引脚

AVDD、AGND：第 5 脚和第 6 脚分别为模拟电路的电源端和模拟地，接 +3V 或 +5V 电源。

DVDD、DGND：分别为第 20、34、48 和第 21、35、47 脚，依次为数字电路的电源端和数字地，接 +3V 或 +5V 电源。

2. 分时复用引脚

第 43~52 脚：这些引脚是 P₀ 口 (P_{0.0}~P_{0.7})，复用功能是访问外部程序存储器或数据存储器时，分时输出低 8 位地址和 8 位数据 (AD0~AD7)。

第 1~4 脚、第 9~12 脚：P₁ 口 (P_{1.0}~P_{1.7})。复用功能如下：P_{1.0}/T2 (T2 定时器 2 的时钟输入端)；P_{1.1}/T2EX (定时器 2 的输入允许端)；P_{1.2}/DAC/IEXC1、P_{1.3}/AIN5/IEXC2 (DAC 电压输出端，亦可配置成 200 μ A 或 400 μ A 电流源输出端，给外置传感器提供测试电流)；P_{1.4}/AIN1、P_{1.5}/AIN2 (分别为主 ADC 通道的正向、负向模拟输入端)；P_{1.6}/AIN3 (主通道辅助通道的正向模拟输入端)；P_{1.7}/AIN4/DAC (主通道/辅助通道的负向模拟输入端，亦可作 DAC 输出电压端)。

第 16~19 脚、第 22~25 脚：P₃ 口 (P_{3.0}~P_{3.7})。复用功能如下：P_{3.0}/RXD (UART

口的接收端)；P_{3.1}/TXD (UART 口的发送端)；P_{3.2}/ $\overline{\text{INT0}}$ (中断 0 的输入端)；P_{3.3}/ $\overline{\text{INT1}}$ (中断 1 的输入端)；P_{3.4}/T0 (定时器 0 的外部输入端)；P_{3.5}/T1 (定时器 1 的外部输入端)；P_{3.6}/ $\overline{\text{WR}}$ (写信号)；P_{3.7}/ $\overline{\text{RD}}$ (读信号)。

第 28~31 脚、第 36~39 脚：(P_{2.0}~P_{2.7})。当访问外部程序存储器时，P₂ 口作为 16 位地址中的高 8 位地址使用；在访问外部数据存储器时，P₂ 口分时输出 24 位地址中的中 8 位地址和高 8 位地址 (A₈~A₁₅、A₁₆~A₂₃)。

3. SPI 总线串行接口

第 13、14、26、27 脚：分别为 $\overline{\text{SS}}$ (从选择输入端)；MISO (主输入/从输出数据端)；SCLK (串行时钟端)；SDATA/MOSI (主输出/从输入数据端)。

4. 单端在线仿真

第 40 脚： $\overline{\text{EA}}$ (接低电平时允许系统读取外部存储器，经过上拉电阻接 DVDD 时可进行在线仿真)。

5. 其他引脚

$\overline{\text{PSEN}}$ (外部程序存储器允许端，为低电平时允许外部程序存储器占用总线。若进行串行下载操作，该引脚需通过 1kΩ 电阻拉成低电平)；ALE (地址锁存允许端)；RESET (复位端)；XTAL1、XTAL2 (接 32.768kHz 石英晶体)；REFIN+、REFIN- (基准电压的正、负端)。

(二) 单元电路功能简介

1. 双通道 Σ - Δ 型 A/D

AD μ C824 包括两个带有数字滤波器的 Σ - Δ 式 ADC 通道 (主通道和辅助通道)。主通道的简化电路如图 5-20 所示，主要用于测量主传感器的输入，这个通道具有缓冲器，可以接收来自输入管脚 AIN1/2 和 AIN3/4 的差分信号。缓冲器可处理较高内阻的信号源，而且可在输入通道前加入模拟 RC 滤波器。主通道可通过调节编程放大器的增益而接收 $\pm 20\text{mV}$ ， $\pm 40\text{mV}$ ， $\pm 2.56\text{V}$ 等 8 种量程的输入。两个 100 μA 电流源向外部传感器流出电流，供用户来检测外部传感器是否发生开路或短路故障。若检测到的 U_{IN} 为满度值，说明传感器开路 (该电流未流过传感器)；若 $U_{\text{IN}}=0\text{V}$ ，证明传感器短路。CHOP 为作信号预处理用的交替转换器，它能抑制直流偏置、漂移及电磁干扰，使 ADC 达到高精度指标。缓冲放大器 (BUF) 具有很高的输入阻抗，能适应输入各种信号源的要求。PGA 为可编程增益放大器，用于设定模拟输入通道的电压量程。 U_{REF} 为差分基准电压源，给主 ADC 提供基准电压，既可使用内部 2.5V 基准电压源，也允许接外部基准电压源，再通过主 ADC 控制寄存器 (ADC0CON) 中的 XREF0 位来选择不同的 U_{REF} 值。主 ADC 采用 24 位 Σ - Δ 式 A/D 转换器，内含 Σ - Δ 式调制器和数字滤波器，可确保达到无遗漏码的 24 位精度。平均值电路通过内部处理器对数字量进行求和，再取平均，以调整信号零点。定标电路用于校准系数。

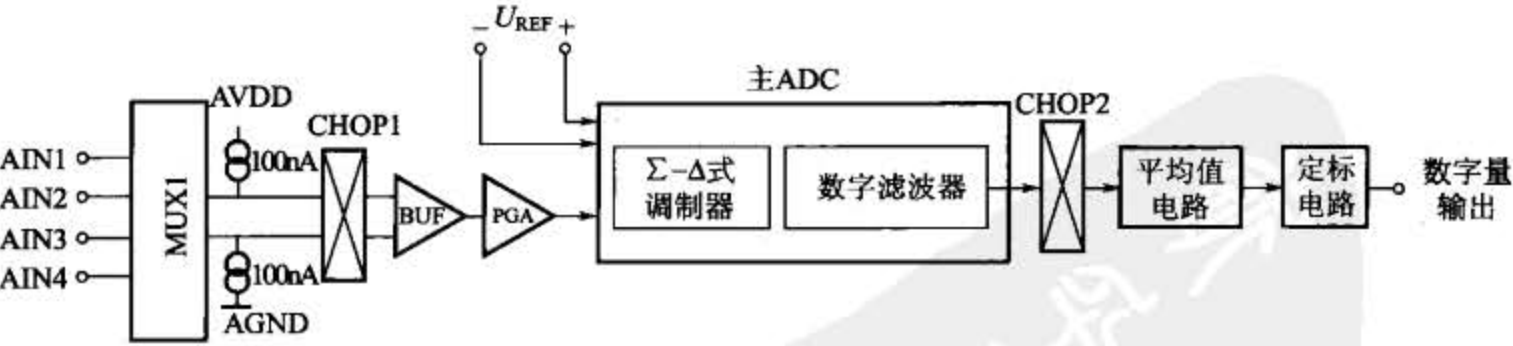


图 5-20 主通道的简化电路

辅助通道用于接收辅助信号的输入，例如冷端二极管或热敏电阻的输入。它只有 3 个模拟输入端（AIN3~AIN5），辅助通道中没有 BUF 和 PGA 电路，当外部基准电压为 2.5V 时，辅 ADC 的输入电压范围是 0~2.5V。

模拟输入通道中绝大多数硬件电路的特性，是由 MCU 通过相应的寄存器来设定的。这是 AD μ C824 的一大特点，极大地减轻了用户设计电路的工作量。

2. AD μ C824 的存储器结构

AD μ C824 的片内存储器包括 8KB 片内 FLASH/EE 程序存储器、640B（字节）片内 FLASH/EE 数据存储器 and 256B 片内 RAM。

AD μ C824 的程序和数据存储器有分开的寻址空间。如用户在 EA 置 0 时上电或复位，则芯片执行外部程序空间的指令而不能执行内部 8KB FLASH/EE 程序存储器空间的指令。若 EA 被置 0，则从内部 8KB FLASH/EE 开始执行程序。附加的 640B FLASH/EE 数据存储器是通过专用寄存器块（SFR）中的一组控制寄存器来间接访问的。

ADCSTAT (D8H)：状态寄存器，包括数据准备就绪、校准状态和一些出错信息。

ADCMODE (D1H)：模式寄存器，控制主通道和辅助通道的操作模式。ADC0CON (D2H)：主通道控制寄存器。ADC1CON(D3H)：辅助通道控制寄存器。

SF (D4H)：数字滤波器寄存器，通过调节滤波器参数来控制主、辅通道数据的更新速率。

ICON (D5H)：恒流源控制寄存器，用于控制片内恒流源（片内有两个 200 μ A 恒流源，可带外接变送器提供激励电流）。

ADC0L/M/H(D9/DA/DBH)：3B，用于存放主通道 24 位转换结果。

ADC1L/H(DC/DDH)：2B，用于存入辅助通道 16 位转换结果。

OF0L/M/H(E1/E2/E3H)：3B，用于存放主通道偏移校准系数。OF1L/H(E4/E5H)：2B，用于存入辅助通道偏移校准系数。

GN0L/M/H(E9/EA/EBH)：3B，用于存放主通道增益校准系数。GN1LH (EC/EDH)：2B，用于存放辅助通道增益校准系数。

其中，ADC 模式寄存器（ADCMODE）中的第 0 位，可用来设定 ADC 的转换模式及校准功能，见表 5-4。主 ADC 控制寄存器则用来配置主 ADC 的输入电压范围、输入通道选择、外部基准允许、确定有无符号位及符号编码，详见表 5-5。使用外基准时，可选 AD780、REF43、REF192 等型号的基准电压源，以获得低噪声的基准电压。

表 5-4 ADCMODE SFR 的部分功能

位	名称	功 能			
2	MD2	主 ADC 和辅 ADC 的模式位 这些位选择允许 ADC 操作的模式如下			
1	MD1				
0	MD0	MD2	MD1	MD0	
		0	0	0	掉电模式(上电默认模式)
		0	0	1	空闲模式
		0	1	0	单词转换模式
		0	1	1	连续转换模式
		1	0	0	内部零刻度校准(芯片自动将正在工作的 ADC 输入引脚短路)
		1	0	1	内部满刻度校准(芯片自动将内部或外部的基准电压 U_{REF} 接到 ADC 的输入引角)
		1	1	0	系统零刻度校准(用户把系统零刻度电压接到 ADC 的输入引角)
		1	1	1	系统全刻度校准(用户把系统满刻度电压接到 ADC 的输入引角)

AD μ C824 的片内 FLASH/EE 程序存储器可用两种模式进行编程,即在线串行下载和并行编程。另外,AD μ C824 还可通过标准的 UART 串行端口下载源代码。若管脚 PSEN 通过一个下拉电阻被下拉,芯片则自动进入串行下载模式。当设备连接正确时,源代码将自动载入程序存储器,并可通过这种方式进行在线编程。

3. 串行通信接口电路

(1) 基于 SPI 总线的同步串行接口 AD μ 824 芯片上集成了一个 SPI 总线同步串行接口,该接口有 4 个引脚:串行时钟端 (SCLK),主输出/从输入串行数据端 (SDATA /MOSI),主输入/从输出端 (MISO),从机选择输入端 ($\overline{SS}$)。SPI 接口可用以下 4 种时序来发送或接收数据:主机模式 (CPHA=1);主机模式 (CPHA=0);从机模式 (CPHA=1);从机模式 (CPHA=0)。

(2) 异步串行接口 AD μ C824 的异步串行接口 (UART) 有两个引脚:RXD 为串行数据接收端 (异步),亦可作为数据发送接收端 (同步);TXD 为串行数据发送端 (异步)或串行时钟发送端。

(3) 与 I²C 兼容的串行接口 AD μ 824 还支持 I²C 二线串行接口,并能与 SPI 总线接口兼容,此时第 26 脚仍作串行时钟端,第 27 脚改为数据 I/O 端,第 13、14 脚不用。

表 5-5 ADC0CON SFR 的部分功能

位	名称	功 能																																				
7		保留位																																				
6	XREF0	主 ADC 的外部基准电压选择位 用户置位,允许主 ADC 通过 REFIN+,REFIN- 端使用外部基准电压 用户清除,允许主 ADC 使用内部基准电压($U_{REF}=1.25V$)																																				
5 4	CH1 CH0	主 ADC 的通道选择位 用户写入,指定主 ADC 使用的差分输入时,具体如下: <table><tr><td>CH1</td><td>CH0</td><td>正向输入</td><td>负向输入</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>AIN1</td><td>AIN2</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>AIN3</td><td>AIN4</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>AIN2</td><td>AIN2(内部使用)</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>AIN3</td><td>AIN2</td></tr></table>	CH1	CH0	正向输入	负向输入	0	0	AIN1	AIN2	0	1	AIN3	AIN4	1	0	AIN2	AIN2(内部使用)	1	1	AIN3	AIN2																
CH1	CH0	正向输入	负向输入																																			
0	0	AIN1	AIN2																																			
0	1	AIN3	AIN4																																			
1	0	AIN2	AIN2(内部使用)																																			
1	1	AIN3	AIN2																																			
3	UNI0	主 ADC 有无符号使能位 当 UNI0=1 时,无符号编码 当 UNI0=0 时,有符号编码																																				
2 1 0	RN2 RN1 RN0	主 ADC 的输入电压范围位 可写入位,用来设定主 ADC 的输入电压范围,具体如下: <table><tr><td>RN2</td><td>RN1</td><td>RN0</td><td>主 ADC 的输入电压范围($U_{REF}=2.5V$)</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>$\pm 20mV$</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>$\pm 40mV$</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>$\pm 80mV$</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>$\pm 160mV$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>$\pm 320mV$</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>$\pm 640mV$</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>$\pm 1.28mV$</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>$\pm 2.56mV$</td></tr></table>	RN2	RN1	RN0	主 ADC 的输入电压范围($U_{REF}=2.5V$)	0	0	0	$\pm 20mV$	0	0	1	$\pm 40mV$	0	1	0	$\pm 80mV$	0	1	1	$\pm 160mV$	1	0	0	$\pm 320mV$	1	0	1	$\pm 640mV$	1	1	0	$\pm 1.28mV$	1	1	1	$\pm 2.56mV$
RN2	RN1	RN0	主 ADC 的输入电压范围($U_{REF}=2.5V$)																																			
0	0	0	$\pm 20mV$																																			
0	0	1	$\pm 40mV$																																			
0	1	0	$\pm 80mV$																																			
0	1	1	$\pm 160mV$																																			
1	0	0	$\pm 320mV$																																			
1	0	1	$\pm 640mV$																																			
1	1	0	$\pm 1.28mV$																																			
1	1	1	$\pm 2.56mV$																																			

4. 其他外设

(1) DAC AD μ C824 上集成了一个 12 位电压输出的数据转换器。它有一个轨对轨的

电压输出缓冲，可驱动 10kΩ/100pF 的负载。它有两个输出范围：0~U_{REF}和 0~AVDD，能以 8 位或 12 位模式工作。DAC 有一个控制存储器 DACCON 和两个数据寄存器 DACL/H。

(2) 片内 PLL 一般Σ-Δ 式 A/D 都需外接一个晶振，CPU 工作也需要外部晶振。ADμC824 使用一个 32.768kHz 的外部晶振同时为 A/D 和 CPU 提供时钟信号。片内 PLL 以倍速锁存 (32×16 倍) 方式为系统提供稳定的 12.582912MHz 的时钟信号。CPU 核心可以用这个频率工作，也可以以该频率分频后的频率工作，以降低功耗，减少干扰。A/D 时钟也来源于 PLL 时钟，其调制速度和晶振频率相同。以上的频率选择保证了 A/D 调制器和 CPU 核心的时钟同步。PLL 的控制寄存器是 PLLCON。

(3) 时间间隔计数器 (TIC) 可用于计量较长的时间间隔，而标准 8051 的定时/计数器却不能。有六个 SFR 寄存器与 TIC 有关，TIMECON 是它的控制寄存器，INTVAL 是用户定时设置寄存器，当 TIC 的计时器达到 INTVAL 的设置值时，TIC 将有一个主动的输出，此输出可引发一个中断或使 TIMEON 中的 TH 位置位。HOUR、MIN、SEC、HTH-SEC 分别是时、分、秒、1/128s (秒) 的寄存器。

5. 辅助电路

(1) 看门狗定时器 (WDT) 当受到电磁干扰 (EMI) 或射频干扰 (RFI) 而导致程序运行错误时，看门狗定时器 (watch dog timer) 会发出一个信号，令系统复位或者产生中断。

(2) 电源监视器 (PSM) 其作用是对两路电源端 (AVDD 和 DVDD) 进行监控。一旦 AVDD 端或 DVDD 端低于设定值，即发出报警信号。电源监视寄存器中的 SFR 位专用于设定 AVDD、DVDD 的欠压阈值，用户可从 2.63V、2.93V、3.08V、4.63V 中进行选择。通常选 AVDD 的欠压阈值为 2.63V，DVDD 的欠压阈值为 4.63V。

三、ADμC824 在智能传感器中的应用

智能传感器主要由传感器、微处理器及其相关电路组成，其典型的结构如图 5-21 所示。

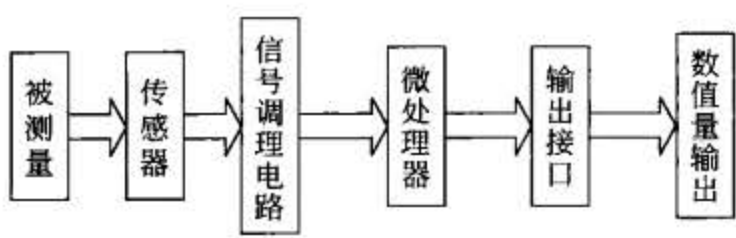


图 5-21 智能传感器典型结构

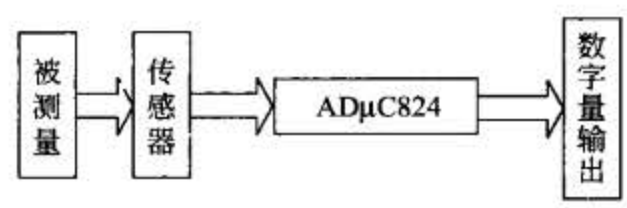


图 5-22 ADμC824 构成智能传感器结构框图

其工作原理是：传感器将被测的物理量转换成相应的电信号，送到信号调理电路中，进行滤波、放大、模/数转换后，送到微处理器中。微处理器是智能传感器的核心，它不但可以对传感器测量数据进行计算、存储、数据处理，还可以通过反馈回路对传感器进行调节。可见，微处理器的自身性能和集成极大地决定了智能传感器的多功能化和集成化程度。图 5-22 中的信号调理电路和输出接口独立于微处理器之外，不但影响智能传感器的精度，而且不易于实现智能传感器的进一步集成。

采用单片机 ADμC824 来构成智能传感器，由于它可直接接收来自传感器的微弱信号且集成度高、体积小，可以大大简化结构，实现智能传感器的高度集成。同时，充分利用各种软件的功能，完成硬件难以完成的任务，从而大大降低传感器制造的难度，提高传感器的性能，降低成本。

下面以 DTP (digital temperature pressure, 数字温度压力) 型智能压力传感器为例进

行介绍，图 5-23 是其结构框图。它的硬件电路分为 4 大部分：电源模块、CPU 模块、传感器模块和数据输出模块。AD μ C824 构成智能传感器的 CPU 模块，是整个传感器的核心。

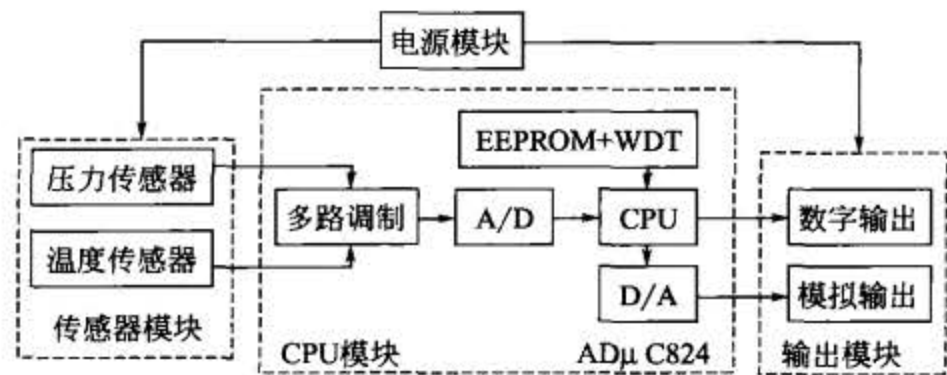


图 5-23 智能压力传感器结构框图

在智能压力传感器中，CPU、A/D、D/A、EEPROM、WDT 等芯片及其片外设备是必不可少的。由于 AD μ C824 不仅将这些功能高度集成到一块芯片上，还集成了片内外设 SPI 和 I²C 串行接口，可以用 RS-232 指令格式传输数据，且其 ADC 可以直接接收来自传感器的微弱信号，因此，用单独一片 AD μ C824 即可同时实现原 CPU 模块和数据输出模块的全部功能，完成对传感器输出的微弱信号进行放大、处理、存储和计算机通信。

传感器模块用来将被测物理量转换为相应的电压信号。其中，主传感器为压力传感器，它的作用是测量被测压力参数；辅助传感器为温度传感器和环境压力传感器。温度传感器的作用是检测主传感器工作时，由于环境温度变化或被测介质温度变化而使其压力敏感元件发生的温度变化，以便根据其温度变化修正与补偿温度变化对测量带来的误差。而环境压力传感器的作用是测量工作环境大气压变化，以便修正大气压变化对测量的影响。可见，这种智能式传感器需要具有较强的自适应能力，并可以判断工作环境因素的变化，进行必要的修正，保证测量的准确性。

电源模块的功能是为集成芯片提供 5V 的工作电压。数据输出模块的功能是实现数据通信。

图 5-24 所示为 AD μ C824 与传感器模块及上位机的接口电路，AD μ C824 中的两个独立的主、辅 ADC 可以同时直接接收来自主、辅传感器的信号。若有多个辅助传感器（如温度传感器、环境压力传感器等），则可通过多路器与辅助 ADC 连接，利用定时中断进行数据采集。该系统以 UART 方式，通过 RS-232 标准接口与上位机通信。系统软件采用模块化结构。主程序和串行口中断通信服务程序的框图如图 5-25 所示。

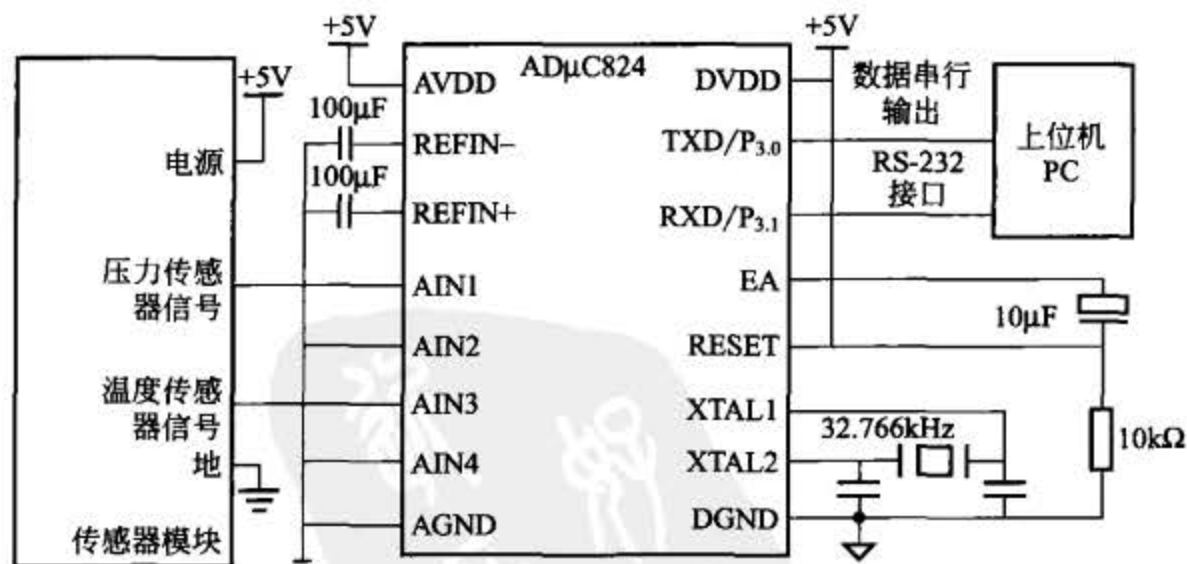


图 5-24 AD μ C824 接口电路

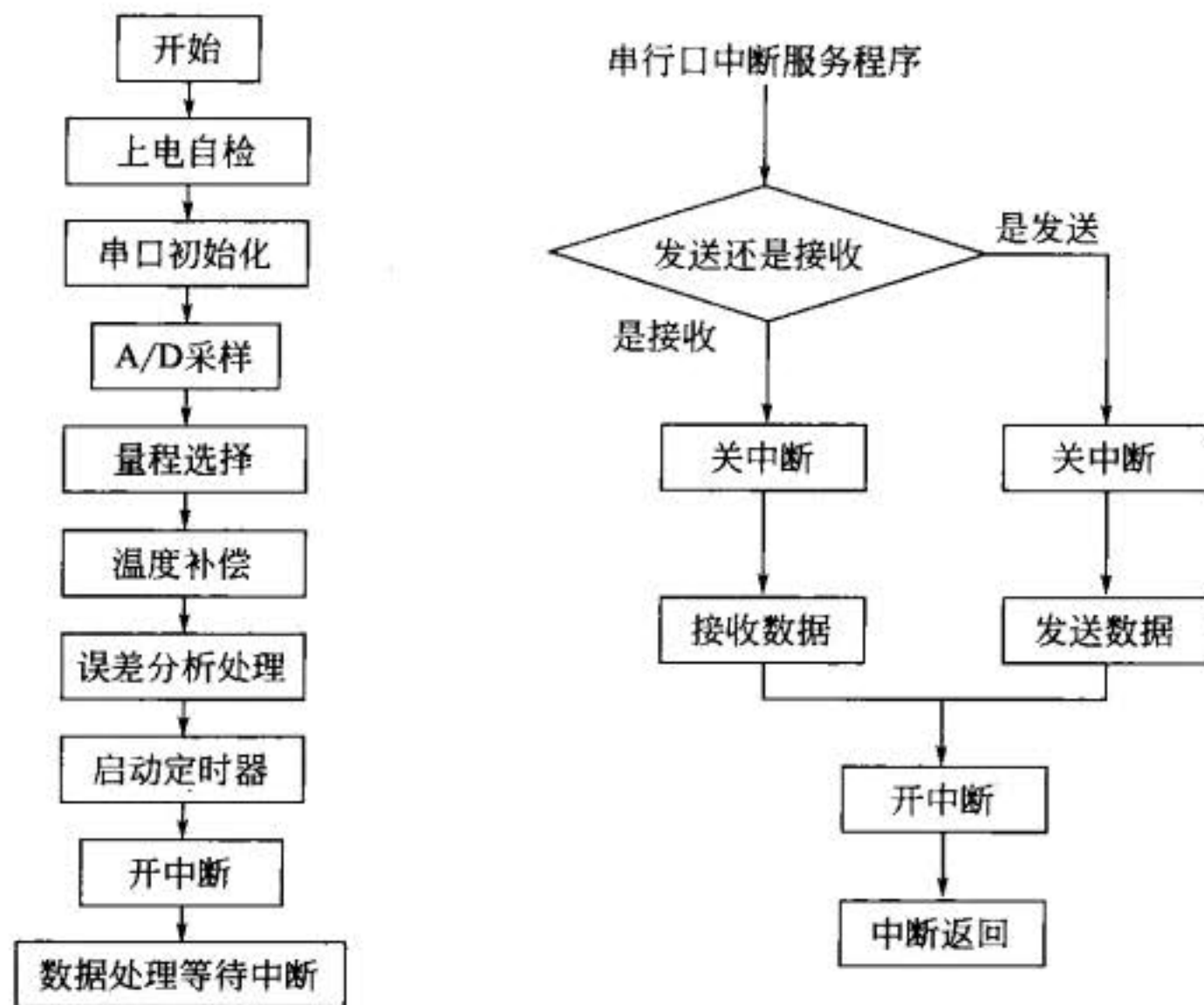


图 5-25 主程序和串行口中断通信服务程序的框图