

### 特性

#### 12位SAR ADC

8个单端模拟输入通道

模拟输入范围：0 V至2.5 V

#### 12位温度-数字转换器

温度传感器精度：±1°C(典型值)

#### 通道序列器工作模式

额定电压(V<sub>DD</sub>)：2.8 V至3.6 V

逻辑电压：V<sub>DRIVE</sub> = 1.65 V至3.6 V

2.5 V内部基准电压源

I<sup>2</sup>C兼容串行接口，支持标准和快速模式

超量程指示/报警功能

自动循环模式

省电模式电流：12 μA(最大值)

温度范围：-40°C至+125°C

20引脚LFCSP封装

### 概述

AD7291是一款12位、低功耗、8通道、逐次逼近型ADC，内置温度传感器。

它采用3.3 V单电源供电，配有I<sup>2</sup>C兼容接口。该器件内置一个9通道多路复用器和一个采样保持放大器，可处理最高达30 MHz的输入频率。它具有2.5 V的片内基准电压源，可以将其禁用以便使用外部基准电压源。

AD7291提供与I<sup>2</sup>C接口兼容的双线式串行接口。该I<sup>2</sup>C接口支持标准和快速I<sup>2</sup>C接口模式。AD7291在不转换时通常保持部分省电状态，仅在执行转换操作时上电。转换过程可受命令模式或自动循环模式控制，在命令模式中，每次I<sup>2</sup>C写操作都会启动一次转换，自动循环模式则通过软件控制来选择。

AD7291内置一个高精度带隙温度传感器，12位ADC对其进行监控和数字化，以提供0.25°C的分辨率。

AD7291提供一个可编程序列器，可以选择用于转换的预编程通道序列。

### 功能框图

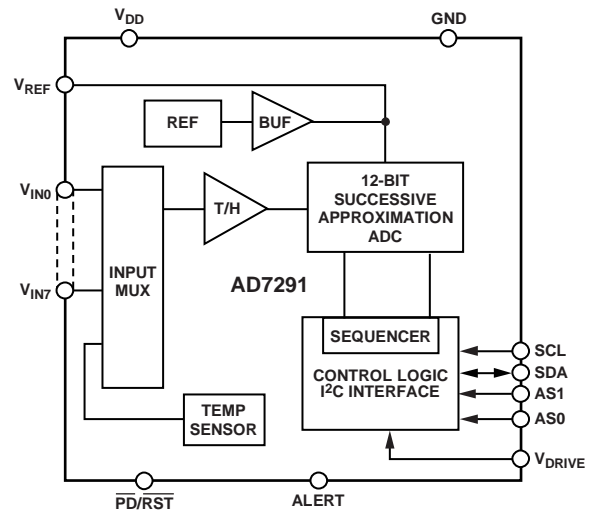


图1

片内限值寄存器可通过编程设置转换结果上下限；当转换结果超过设置的上下限时，超量程指示输出(ALERT)就会激活。此输出可用作中断。

### 产品聚焦

1. 非常适合监控电信、过程控制和工业控制等各种应用系统中的变量。
2. I<sup>2</sup>C兼容型串行接口，支持标准和快速模式。
3. 不转换时自动进入部分省电模式，实现最高功效。
4. 通道序列器工作模式。
5. 集成0.25°C分辨率的温度传感器。
6. 可通过软件使能或禁用超量程指示。

表1. AD7291和相关产品

器件	分辨率	接口	特性
AD7291	12-位	I <sup>2</sup> C	内置温度传感器的8通道、I <sup>2</sup> C、12位SAR型ADC
AD7298	12-位	SPI	内置温度传感器的8通道、1 MSPS、12位SAR型ADC

### Rev. B

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.329.4700 [www.analog.com](http://www.analog.com)  
Fax: 781.461.3113 ©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

## 目录

特性.....	1	地址指针寄存器.....	15
功能框图.....	1	命令寄存器(0x00).....	17
概述.....	1	电压转换结果寄存器(0x01).....	18
产品聚焦.....	1	T <sub>SENSE</sub> 转换结果寄存器(0x02).....	18
修订历史.....	2	T <sub>SENSE</sub> 均值结果寄存器(0x03).....	19
技术规格.....	3	限值寄存器(0x04至0x1E).....	19
I <sup>2</sup> C时序规格.....	5	迟滞寄存器.....	20
绝对最大额定值.....	6	报警状态寄存器A和报警状态寄存器B(0x1F和0x20).....	20
热阻.....	6	I <sup>2</sup> C接口.....	21
ESD警告.....	6	串行总线地址字节.....	21
引脚配置和功能描述.....	7	通用I <sup>2</sup> C时序.....	21
典型工作特性.....	8	写入AD7291.....	22
术语.....	11	将双字节数据写入16位寄存器.....	22
电路信息.....	12	写入多个寄存器.....	22
转换器操作.....	12	从AD7291读取数据.....	23
模拟输入.....	12	从16位寄存器读取双字节数据.....	23
ADC传递函数.....	13	工作模式.....	24
温度传感器工作原理.....	13	命令模式.....	24
温度传感器均值.....	13	自动循环模式.....	26
V <sub>DRIVE</sub> .....	14	外形尺寸.....	27
内部或外部基准电压.....	14	订购指南.....	27
复位.....	14		
内部寄存器结构.....	15		

## 修订历史

### 2011年10月—修订版A至修订版B

更改表9.....	16
-----------	----

### 2011年8月—修订版0至修订版A

更改表2的温度传感器—内部精度参数.....	3
------------------------	---

### 2011年1月—修订版0：初始版

## 技术规格

除非另有说明,  $V_{DD} = 2.8\text{ V}$ 至 $3.6\text{ V}$ ;  $V_{DRIVE} = 1.65\text{ V}$ 至 $3.6\text{ V}$ ;  $f_{SCL} = 400\text{ kHz}$ ; 快速SCLK模式;  $V_{REF} = 2.5\text{ V}$ 内部/外部;  $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$ 。

表2

参数	最小值	典型值	最大值	单位 <sup>1</sup>	测试条件/注释
动态性能					$f_{IN} = 1\text{ kHz}$ 正弦波
信噪比(SNR) <sup>2</sup>	70	71		dB	
信纳比(SINAD) <sup>2</sup>	70	71		dB	
总谐波失真(THD) <sup>2</sup>		-84	-78	dB	
无杂散动态范围(SFDR)		-85	-80	dB	
交调失真(IMD)					$f_A = 5.4\text{ kHz}$ , $f_B = 4.6\text{ kHz}$
二阶项		-88		dB	
三阶项		-88		dB	
通道间隔离		-100		dB	$f_{IN} = 10\text{ kHz}$
全功率带宽 <sup>3</sup>		30		MHz	3 dB时
		10		MHz	0.1 dB时
直流精度					
分辨率	12			Bits	
积分非线性(INL) <sup>2</sup>		$\pm 0.5$	$\pm 1$	LSB	保证12位无失码
微分非线性(DNL) <sup>2</sup>		$\pm 0.5$	$\pm 0.99$	LSB	
失调误差 <sup>2</sup>		$\pm 2$	$\pm 4.5$	LSB	
失调误差匹配 <sup>2</sup>		$\pm 2.5$	$\pm 4.5$	LSB	
失调温度漂移		4		ppm/ $^\circ\text{C}$	
增益误差 <sup>2</sup>		$\pm 1$	$\pm 4$	LSB	
增益误差匹配 <sup>2</sup>		$\pm 1$	$\pm 2.5$	LSB	
增益温度漂移		0.5		ppm/ $^\circ\text{C}$	
模拟输入					
输入电压范围	0		$V_{REF}$	V	
直流漏电流		$\pm 0.01$	$\pm 1$	$\mu\text{A}$	
输入电容 <sup>3</sup>		34		pF	采样时
		8		pF	保持时
基准电压输入/输出					
基准输出电压 <sup>4</sup>	2.4925	2.5	2.5075	V	$\pm 0.3\%$ (最大值, $25^\circ\text{C}$ 时)
长期稳定性		150		ppm	1000小时
输出电压迟滞		50		ppm	
基准输入电压范围 <sup>5</sup>	1		2.5	V	
直流漏电流		$\pm 0.01$	$\pm 1$	$\mu\text{A}$	施加于引脚 $V_{REF}$ 的外部基准电压
$V_{REF}$ 输出阻抗		1		$\Omega$	
基准源温度系数		12	35	ppm/ $^\circ\text{C}$	
$V_{REF}$ 噪声 <sup>3</sup>		60		$\mu\text{V rms}$	带宽 = 10 MHz
逻辑输入(SDA、SCL)					
输入高电压 $V_{INH}$	$0.7 \times V_{DRIVE}$			V	
输入低电压 $V_{INL}$			$0.3 \times V_{DRIVE}$	V	
输入电流 $I_{IN}$		$\pm 0.01$	$\pm 1$	$\mu\text{A}$	$V_{IN} = 0\text{ V}$ 或 $V_{DRIVE}$
输入电容 $C_{IN}^3$		6		pF	
输入迟滞 $V_{HYST}$	$0.1 \times V_{DRIVE}$			V	

# AD7291

参数	最小值	典型值	最大值	单位 <sup>1</sup>	测试条件/注释
逻辑输出					
输出高电压 $V_{OH}$	$V_{DRIVE} - 0.3$			V	$V_{DRIVE} < 1.8$
输出低电压 $V_{OL}$	$V_{DRIVE} - 0.2$		0.4	V	$V_{DRIVE} \geq 1.8$
悬空态漏电流		$\pm 0.01$	$\pm 1$	$\mu A$	$I_{SINK} = 3 \text{ mA}$
悬空态输出电容 <sup>3</sup>		8		pF	$I_{SINK} = 6 \text{ mA}$
温度传感器—内部					
工作范围	-40		+125	$^{\circ}C$	$T_A = -40^{\circ}C$ 至 $+85^{\circ}C$ $T_A = 85^{\circ}C$ 至 $125^{\circ}C$ LSB大小
精度		$\pm 1$	$\pm 2$	$^{\circ}C$	
分辨率		$\pm 1$	$\pm 3$	$^{\circ}C$	
分辨率		0.25		$^{\circ}C$	LSB大小
转换速率					
转换时间		3.2		$\mu s$	$f_{SCL} = 400 \text{ kHz}$
自动循环更新速率 <sup>6</sup>		50		$\mu s$	
吞吐速率			22.22	kSPS	
电源要求					数字输入 = 0 V或 $V_{DRIVE}$
$V_{DD}$	2.8	3	3.6	V	$T_A = -40^{\circ}C$ 至 $+25^{\circ}C$ $T_A = >25^{\circ}C$ 至 $85^{\circ}C$ $T_A = >85^{\circ}C$ 至 $125^{\circ}C$  $V_{DD} = 3 \text{ V}, V_{DRIVE} = 3 \text{ V}$
$V_{DRIVE}$	1.65	3	3.6	V	
$I_{TOTAL}^{7,8}$					
正常模式(工作状态)		2.9	3.5	mA	
正常模式(静态)		2.9	3.3	mA	
完全关断模式		0.3	1.6	$\mu A$	
功耗 <sup>8</sup>					
正常模式(工作状态)		8.7	10.5	mW	
正常模式(静态)		10.4	12.6	mW	
完全关断模式		1.1	5.8	$\mu W$	
		5.8	16.2	$\mu W$	
		17.6	43.2	$\mu W$	

<sup>1</sup> 除非另有说明, 所有用分贝(dB)表示的规格均参考满量程输入FSR, 并用低于满量程0.5 dB的输入信号进行测试。

<sup>2</sup> 参见术语部分。

<sup>3</sup> 样片在初次发布期间均经过测试, 以确保符合标准要求。

<sup>4</sup> 指额定温度为 $25^{\circ}C$ 的引脚 $V_{REF}$ 。

<sup>5</sup> 使用外部 $V_{REF}$ (参见温度传感器均值部分)时, 温度传感器结果可能需要校正系数。

<sup>6</sup> 样片在初次发布期间均经过测试, 以确保符合标准要求; 样片未经生产测试。

<sup>7</sup>  $I_{TOTAL}$ 是流入 $V_{DD}$ 和 $V_{DRIVE}$ 的总电流。

<sup>8</sup> 除非另有说明,  $I_{TOTAL}$ 和功耗是 $V_{DD} = V_{DRIVE} = 3.6 \text{ V}$ 时的额定值。

I<sup>2</sup>C时序规格

通过初始特性保证。所有数值均在使能输入滤波的情况下测量。 $C_B$ 表示总线的容性负载， $t_R$ 和 $t_F$ 在 $0.3 \times V_{DRIVE}$ 与 $0.7 \times V_{DRIVE}$ 范围内测量(参见图2)。除非另有说明， $V_{DD} = 2.8 \text{ V}$ 至 $3.6 \text{ V}$ ； $V_{DRIVE} = 1.65 \text{ V}$ 至 $3.6 \text{ V}$ ； $V_{REF} = 2.5 \text{ V}$ 内部/外部； $T_A = -40^\circ\text{C}$ 至 $+125^\circ\text{C}$ 。

表3

参数	条件	T <sub>MIN</sub> , T <sub>MAX</sub> 的限值			单位	描述
		最小值	典型值	最大值		
f <sub>SCL</sub>	标准模式			100	kHz	串行时钟频率
	快速模式			400	kHz	
t <sub>1</sub>	标准模式	4			μs	t <sub>HIGH</sub> , SCL高电平时间
	快速模式	0.6			μs	
t <sub>2</sub>	标准模式	4.7			μs	t <sub>LOW</sub> , SCL低电平时间
	快速模式	1.3			μs	
t <sub>3</sub>	标准模式	250			ns	t <sub>SU,DAT</sub> , 数据设置时间
	快速模式	100			ns	
t <sub>4</sub> <sup>1</sup>	标准模式	0		3.45	μs	t <sub>HD,DAT</sub> , 数据保持时间
	快速模式	0		0.9	μs	
t <sub>5</sub>	标准模式	4.7			μs	t <sub>SU,STA</sub> , 重复起始条件的建立时间
	快速模式	0.6			μs	
t <sub>6</sub>	标准模式	4			μs	t <sub>HD,STA</sub> , 重复起始条件的保持时间
	快速模式	0.6			μs	
t <sub>7</sub>	标准模式	4.7			μs	t <sub>BUF</sub> , 一个停止条件与一个起始条件之间的总线空闲时间
	快速模式	1.3			μs	
t <sub>8</sub>	标准模式	4			μs	t <sub>SU,STO</sub> , 停止条件的建立时间
	快速模式	0.6			μs	
t <sub>9</sub>	标准模式			1000	ns	t <sub>RDA</sub> , SDA信号的上升时间
	快速模式	20 + 0.1 C <sub>B</sub>		300	ns	
t <sub>10</sub>	标准模式			300	ns	t <sub>FDA</sub> , SDA信号的下降时间
	快速模式	20 + 0.1 C <sub>B</sub>		300	ns	
t <sub>11</sub>	标准模式			1000	ns	t <sub>RCL</sub> , SCL信号的上升时间
	快速模式	20 + 0.1 C <sub>B</sub>		300	ns	
t <sub>11A</sub>	标准模式			1000	ns	t <sub>RCL1</sub> , SCL信号在重复后的上升时间
	快速模式	20 + 0.1 C <sub>B</sub>		300	ns	起始条件和应答位后
t <sub>12</sub>	标准模式			300	ns	t <sub>FCL</sub> , SCL信号的下降时间
	快速模式	20 + 0.1 C <sub>B</sub>		300	ns	
t <sub>SP</sub>	快速模式	0		50	ns	抑制尖峰的脉冲宽度
t <sub>POWER-UP</sub>				6	ms	上电和采集时间

<sup>1</sup> 器件必须为SDA提供数据保持时间，以便桥接SCL下降沿的未定义区域。

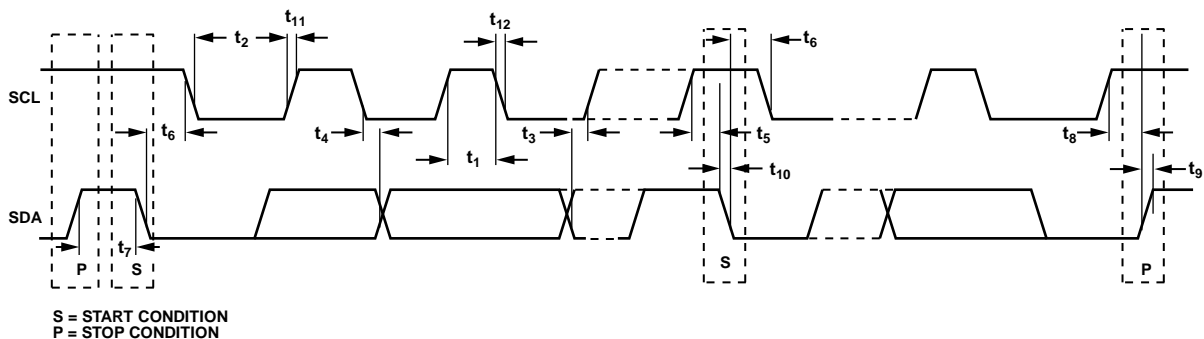


图2. 双线式串行接口时序图

08711-002

## 绝对最大额定值

表4

参数	额定值
$V_{DD}$ 至 GND <sup>1</sup> , GND	-0.3 V 至 +5 V
$V_{DRIVE}$ 至 GND <sup>1</sup> , GND	-0.3 V 至 +5 V
模拟输入电压至 GND <sup>1</sup>	-0.3 V 至 +3 V
数字输入电压至 GND <sup>1</sup>	-0.3 V 至 $V_{DRIVE} + 0.3 V$
数字输出电压至 GND <sup>1</sup>	-0.3 V 至 $V_{DRIVE} + 0.3 V$
$V_{REF}$ 至 GND1	-0.3 V 至 +3 V
GND 至 GND1	-0.3 V 至 +0.3 V
输入电流至除电源外的任何引脚 <sup>1</sup>	±10 mA
工作温度范围	-40°C 至 +125°C
存储温度范围	-65°C 至 +150°C
结温	150°C
无铅回流焊温度	260(+0)°C
ESD	2 kV

<sup>1</sup> 达100 mA的瞬态电流不会造成闩锁。

注意，超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。这只是额定最大值，不表示在这些条件下或者在任何其它超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下，器件能够正常工作。长期在绝对最大额定值条件下工作会影响器件的可靠性。

## 热阻

表5. 热阻

封装类型	$\theta_{JA}$	$\theta_{JC}$	单位
20引脚LFCSP	52	6.5	°C/W

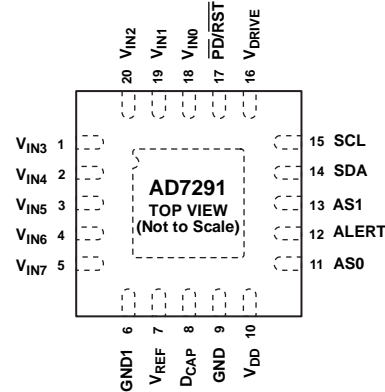
## ESD警告



## ESD(静电放电)敏感器件。

带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电。尽管本产品具有专利或专有保护电路，但在遇到高能量ESD时，器件可能会损坏。因此，应当采取适当的ESD防范措施，以避免器件性能下降或功能丧失。

## 引脚配置和功能描述



NOTES  
1. THE EXPOSED METAL PADDLE ON THE BOTTOM OF THE LFCSP PACKAGE SHOULD BE SOLDERED TO PCB GROUND FOR PROPER HEAT DISSIPATION AND PERFORMANCE.

0871-003

图3. 引脚配置

表6. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	描述
1 to 5, 18 to 20	$V_{IN3}$ , $V_{IN4}$ , $V_{IN5}$ , $V_{IN6}$ , $V_{IN7}$ , $V_{INO}$ , $V_{IN1}$ , $V_{IN2}$	模拟输入。AD7291具有8个单端模拟输入，这些输入以多路复用方式接入片内采样保持放大器。每个输入通道可接受0 V至2.5 V的模拟输入。任何未使用的输入通道应连接到GND1，以免噪声影响。
6	GND1	地。AD7291上内部基准电压电路的接地参考点。所有模拟输入信号和外部基准信号都应参考此GND1电压。GND1引脚应连接到系统的接地层。所有接地引脚在理想情况下应保持等电位，并且电位差(甚至存在瞬态电压时)不得超过0.3 V。 $V_{REF}$ 引脚应通过10 $\mu$ F去耦电容去耦至该接地引脚。
7	$V_{REF}$	内部基准电压/外部基准电压源。2.5 V标称内部基准电压出现在此引脚。如果对输出进行缓冲，则片内基准电压可以从此引脚获得，并外加于系统的其余部分。去耦电容应连接到此引脚，以便对基准电压源缓冲去耦。为获得最佳性能，推荐在此引脚上使用10 $\mu$ F去耦电容连接到GND1。需要时可禁用内部基准电压，将外部基准电压用于此引脚。外部基准电压的输入电压范围为2.0 V至2.5 V。
8	$D_{CAP}$	去耦电容引脚。去耦电容(建议1 nF)连接到此引脚，以便对内部LDO去耦。
9	GND	地。AD7291上所有模拟和数字电路的接地参考点。GND引脚应连接到系统的接地层。所有接地引脚在理想情况下应保持等电位，并且电位差(甚至存在瞬态电压时)不得超过0.3 V。 $D_{CAP}$ 和 $V_{DD}$ 引脚应去耦至此GND引脚。
10	$V_{DD}$	电源电压，2.8 V至3.6 V。此电源应使用10 $\mu$ F和100 nF去耦电容去耦至GND。
11, 13	AS0, AS1	逻辑输入。这两个输入的逻辑状态共同选择AD7291的唯一I <sup>2</sup> C地址。详情请参见表31。器件地址取决于施加于这些引脚的电压。
12	ALERT	数字输出。使能时，此引脚用作超量程指示，当转换结果超过 $DATA_{HIGH}$ 或 $DATA_{LOW}$ 寄存器值时，就会激活。参见限值寄存器(0x04至0x1E)部分。
14	SDA	数字输入/输出。串行总线双向数据。此开漏输出需要上拉电阻。电压通道的输出为标准二进制编码，温度传感器结果为二进制补码。
15	SCL	数字输入。串行I <sup>2</sup> C总线时钟。此输入需要上拉电阻。I <sup>2</sup> C模式下的数据传输速率与100 kHz和400 kHz工作模式兼容。
16	$V_{DRIVE}$	逻辑电源输入。此引脚的电源电压决定接口的工作电压。应将该引脚去耦至GND。此引脚的电压范围为1.65 V至3.6 V，可以小于 $V_{DD}$ 电压，但不得超过其0.3 V以上。
17	$\overline{PD}/\overline{RST}$	掉电引脚。此引脚使器件进入完全关断模式，不需要工作时可以降低功耗。它可用于将器件复位，只需将引脚切换至低电平至少1 ns，最长100 ns。如果超过最大时间，器件将进入关断模式。器件处于完全关断模式时，模拟输入必须返回0 V。
EPAD	EPAD	裸露焊盘。LFCSP封装底部的裸露金属焊盘应焊接到PCB地，以确保正常工作和散热。

## 典型工作特性

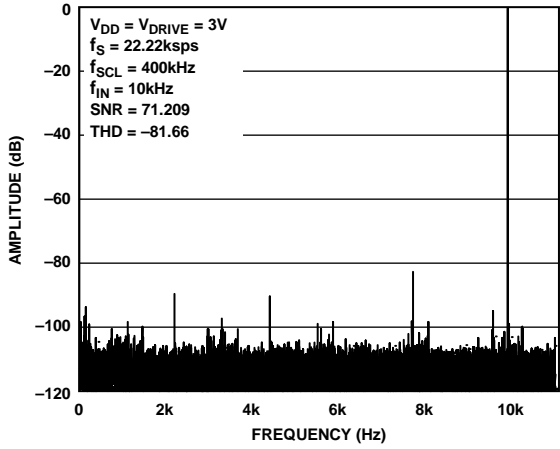


图4. 典型FFT

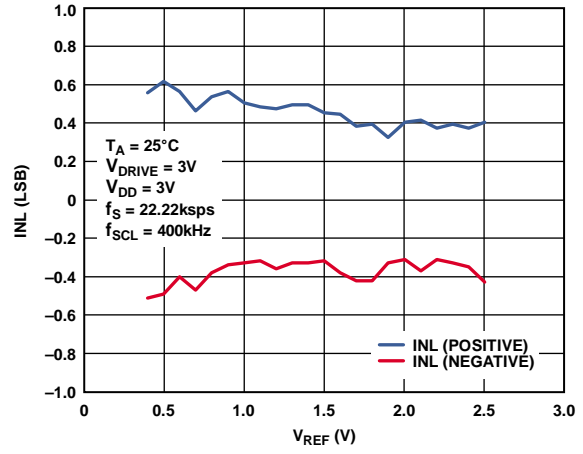


图7. INL与外部 $V_{REF}$ 的关系

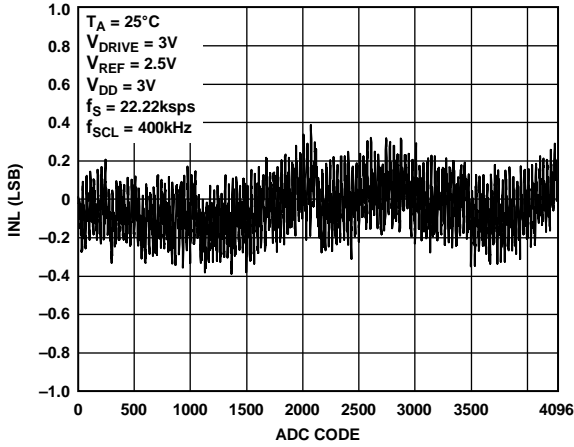


图5. 典型ADC INL

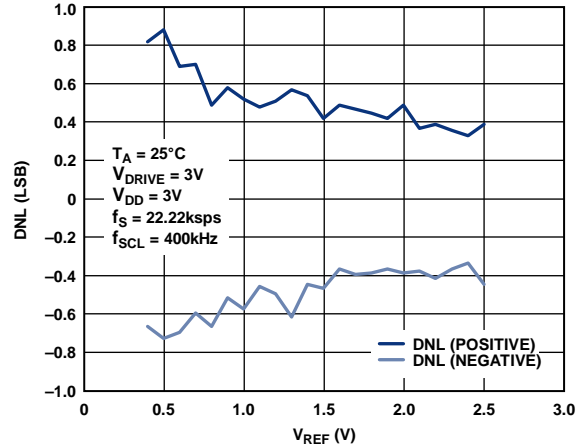


图8. DNL与外部 $V_{REF}$ 的关系

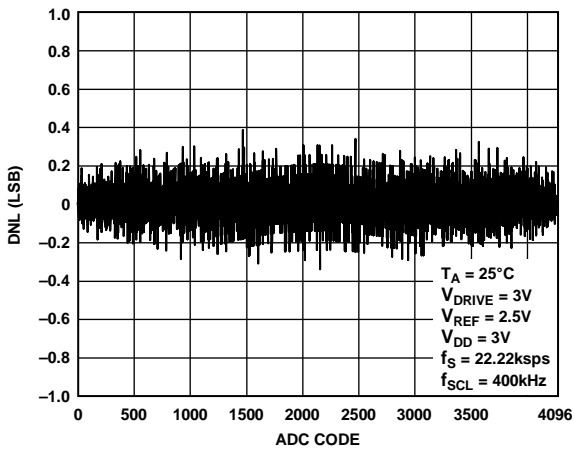


图6. 典型ADC DNL

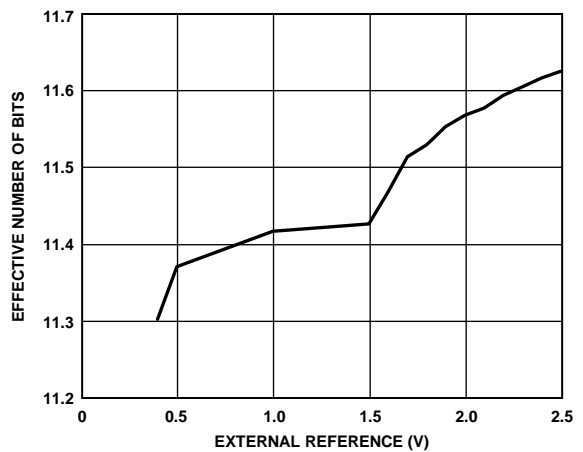


图9. 有效位数与 $V_{REF}$   $f_{SCL} = 400\text{kHz}$ 的关系



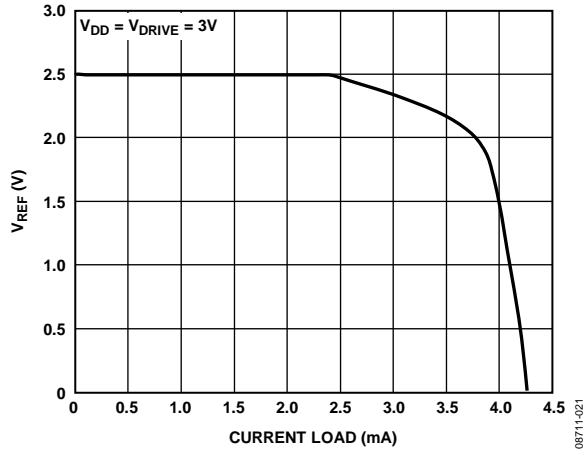


图10.  $V_{REF}$  与基准输出驱动的关系

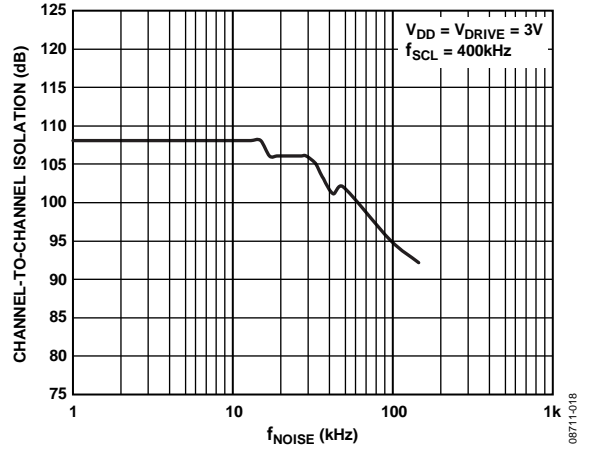


图13. 通道间隔离,  $f_{IN} = 10 \text{ kHz}$

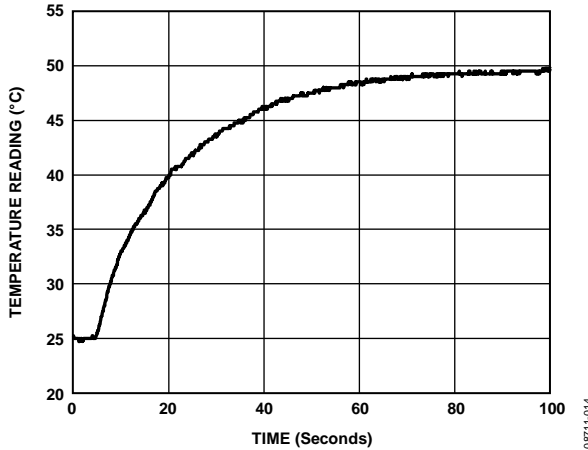


图11. 对热冲击的响应(从室温到50°C搅拌油温)

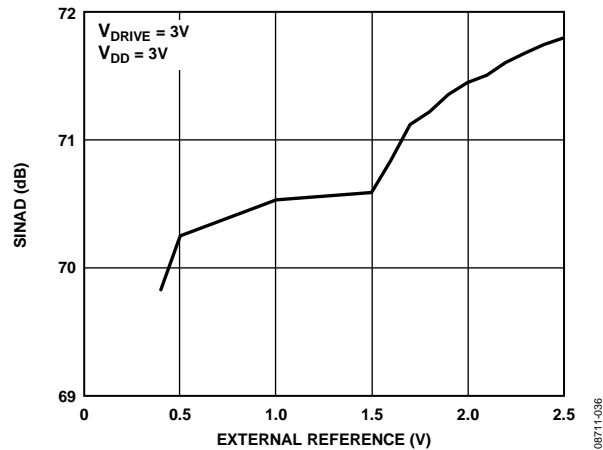


图14. SINAD与基准电压的关系,  $f_{SCL} = 400 \text{ kHz}$ ,  $f_s = 22.22 \text{ kSPS}$

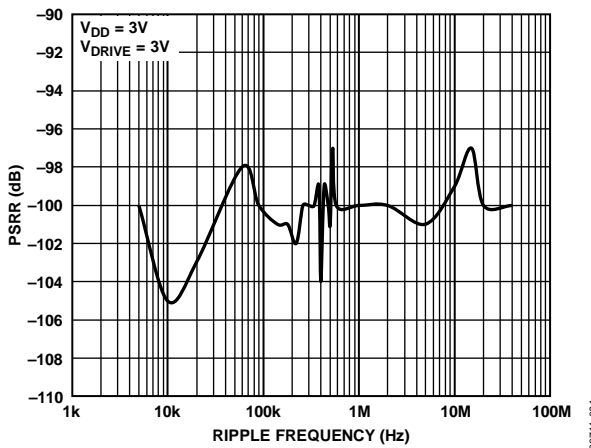


图12. 电源抑制比(PSRR)与电源纹波频率的关系, 无电源去耦

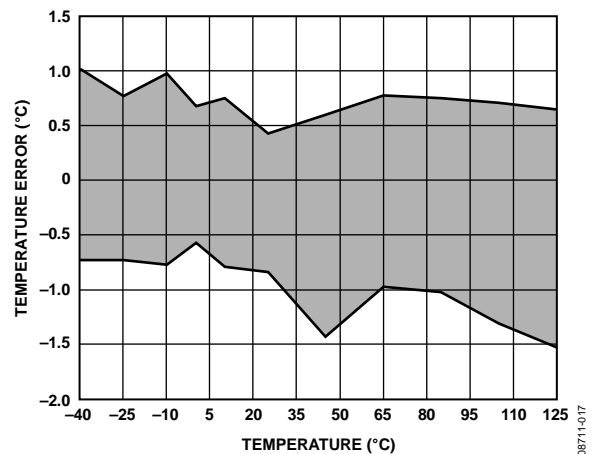


图15. 3 V时的温度精度

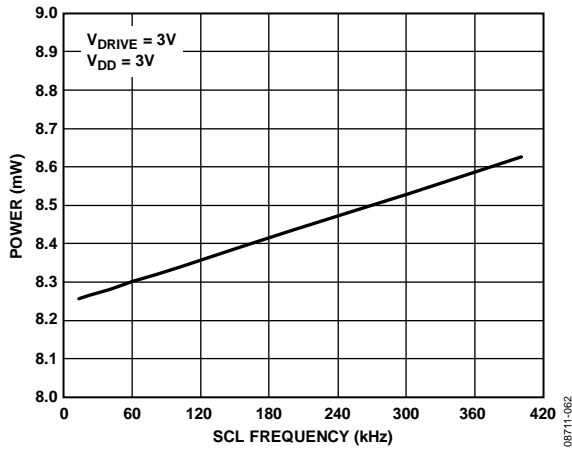


图16. 正常模式中功耗与吞吐速率的关系

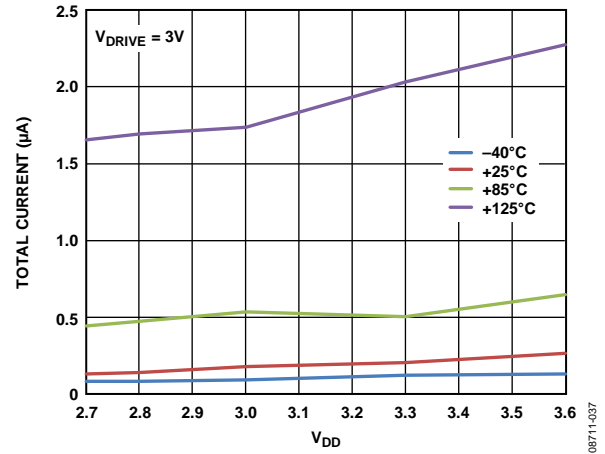


图17. 各种温度时完全关断电流与电源电压的关系

## 术语

### 信纳比(SINAD)

在ADC输出端测得的信号对噪声及失真比。这里的信号指的是基波幅值的均方根幅值。噪声为所有达到采样频率一半( $f_s/2$ , 直流信号除外)的非基波信号之和。在数字化过程中, 这个比值的大小取决于量化级数, 量化级数越多, 量化噪声就越小。对于一个正弦波输入的理想N位转换器, 信纳比理论值计算公式为:

$$\text{信纳比} = (6.02N + 1.76) \text{ dB}$$

因此, 12位转换器的SINAD理论值为74 dB。

### 总谐波失真(THD)

所有谐波均方根和与基波的比值。对于AD7291, 其定义为

$$\text{THD (dB)} = 20 \log \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + V_6^2}}{V_1}$$

其中:

$V_1$ 是基波幅度的均方根值。

$V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$ 及 $V_6$ 是二次到六次谐波幅度的均方根值。

### 峰值谐波或杂散噪声

在ADC输出频谱(最高达 $f_s/2$ , 直流信号除外)中, 下一个最大分量的均方根值与基波均方根值的比。通常情况下, 此参数值由频谱内的最大谐波决定, 但对于谐波淹没于本底噪声内的ADC, 它为噪声峰值。

### 交调失真(IMD)

当输入由两个频率分别为 $f_a$ 和 $f_b$ 的正弦波组成时, 任何非线性有源器件都会以和与差频 $m f_a \pm n f_b$ (其中 $m, n = 0, 1, 2, 3 \dots$ )的形式产生失真产物。交调失真项的 $m$ 和 $n$ 都不等于0。例如, 二阶项包括 $(f_a + f_b)$ 和 $(f_a - f_b)$ , 而三阶项包括 $(2f_a + f_b)$ 、 $(2f_a - f_b)$ 、 $(f_a + 2f_b)$ 和 $(f_a - 2f_b)$ 。

AD7291经过CCIF标准测试, 此标准使用最大输入带宽附近两个输入频率。在此情况下, 二阶项频率通常远离初始正弦波, 而三阶项频率通常靠近输入频率。因此, 二阶和三阶项需分别指定。计算交调失真同THD参数一样, 是个别失真积的均方根和与基波和的幅度均方根的比值, 用分贝表示。

### 孔径延迟

采样时钟前沿与ADC采样点之间的测量间隔。

### 孔径抖动

孔径抖动指样本与样本之间在采样的有效时间点上的差异。

### 全功率带宽

针对满量程输入, 重构基波幅度减小0.1 dB或3 dB的输入频率。

### 电源抑制比(PSRR)

电源抑制比定义为满量程频率 $f$ 下ADC输出功率与频率 $f_s$ 下施加于ADC  $V_{DD}$ 的100 mV p-p正弦波功率的比值。输入信号的频率变化范围为5 kHz至25 MHz。

$$\text{PSRR (dB)} = 10 \log(P_f/P_{f_s})$$

其中:

$P_f$ 为频率 $f$ 下ADC的输出功率。

$P_{f_s}$ 是频率 $f_s$ 下ADC的输出功率。

### 积分非线性

ADC传递函数与一条通过ADC传递函数端点的直线的最大偏差。传递函数有两个端点, 起点在低于第一个码转换的1 LSB处的零电平, 终点在高于最后一个码转换的1 LSB处的满量程。

### 微分非线性

ADC中任意两个相邻码之间所测得变化值与理想的1 LSB变化值之间的差异。

### 失调误差

第一个码转换(00...000到00...001)与理想值(即 $GND1 + 1 \text{ LSB}$ )的偏差。

### 失调误差匹配

任何两个通道之间失调误差的差异。

### 增益误差

校正失调误差之后, 最后一个码转换(111...110到111...111)与理想值(即 $V_{REF} - 1 \text{ LSB}$ )的偏差。

### 增益误差匹配

任何两个通道之间增益误差的差异。

### 采样保持器采集时间

采样保持放大器在转换结束时恢复跟踪模式。采样保持采集时间是转换结束后, 采样保持放大器输出达到最终值(在 $\pm 1 \text{ LSB}$ 内)所需的时间。

## 电路信息

AD7291内置一个8通道多路复用器、一个片内采样保持放大器、一个模数转换器(ADC)、一个片内振荡器、内部数据寄存器、一个内部温度传感器和一个I<sup>2</sup>C兼容串行接口,采用20引脚LFCSP封装。该封装与其它解决方案相比,非常节省空间。AD7291采用2.8 V至3.6 V单电源供电,提供12位分辨率。它具有8个单端输入通道和一个片内±12 ppm基准电压源。模拟输入范围是0 V至VREF。AD7291内置一个高精度带隙温度传感器,12位ADC对其进行监控和数字化,以提供0.25°C的分辨率。

AD7291在不转换时通常保持部分省电状态。首次施加电源时,器件以部分省电状态上电。转换前先启动上电,转换完成后,器件返回部分省电模式。转换可利用自动循环模式或命令模式启动,并在写入地址的同时唤醒和转换。转换完成后,AD7291再次进入部分省电模式。

在命令模式中,开始读取时,AD7291完全唤醒,也就是能够执行全部功能,并在读出地址的同时完成转换。在自动循环模式中,转换以50 μs间隔进行;也就是AD7291以50 μs间隔退出部分省电模式并完全上电。这个自动部分省电功能可在两次转换间降低功耗。I<sup>2</sup>C接口上的读或写操作可在器件处于部分省电模式时进行。

### 转换器操作

AD7291是一款基于电容DAC的12位逐次逼近型ADC。图18和图19分别为ADC采样阶段和转换阶段的简化原理示意图。这款ADC内置控制逻辑SAR和容性DAC,可以利用二者加上和减去采样电容中的固定电荷数量,使比较器恢复到平衡状态。图18显示了采样阶段。SW2闭合,SW1置于A,比较器保持在平衡状态,采样电容采集选定V<sub>IN</sub>通道的信号。

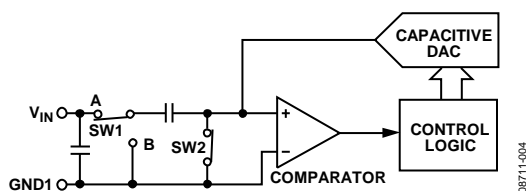


图18. ADC采样阶段

当ADC启动转换(见图19)时,SW2断开,而SW1移至位置B,使得比较器变得不平衡。利用控制逻辑和容性DAC可以加上和减去固定的电荷数量,使比较器恢复到平衡状态。当比较器重新平衡后,转换就已经完成。控制逻辑产生ADC的输出代码。图21显示了该ADC的传递函数。

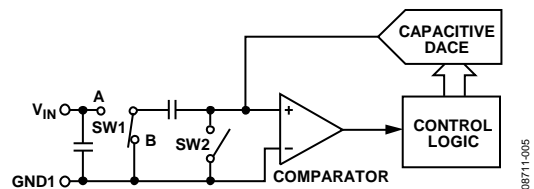


图19. ADC转换阶段

### 模拟输入

图20显示了AD7291模拟输入结构的等效电路。二极管D1和D2提供模拟输入的ESD保护。切记,模拟输入信号决不能超过内部生成的2.5 V LDO电压(DCAP) 300mV以上,否则会造成二极管正偏,并开始向芯片内部导入电流。这些二极管可以传导但不会对器件造成彻底损坏的最大电流为10 mA。图20中的电容C1通常约为8 pF,并且主要在引脚电容上。电阻R1是一个集总元件,由开关(即采样保持开关)的导通电阻和输入多路复用器的导通电阻组成,总电阻通常约为155 Ω。电容C2是ADC采样电容,一般为34 pF。

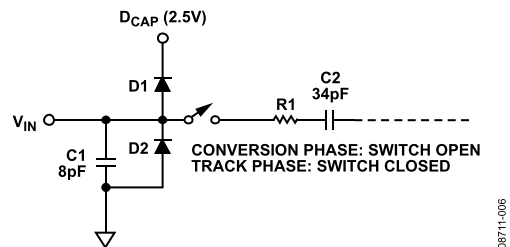


图20. 等效模拟输入电路

在交流应用中,建议在相应的模拟输入引脚用一个RC低通滤波器来滤除模拟输入信号的高频成份。在对谐波失真和信噪比要求严格的应用中,模拟输入应采用一个低阻抗源进行驱动。高源阻抗会显著影响ADC的交流特性。这种情况下有必要使用一个输入缓冲放大器。通常根据具体应用性能标准来选择运算放大器。

## ADC传递函数

对于模拟输入通道转换结果，AD7291的输出为标准二进制编码，温度转换结果则为二进制补码。所设计的码跃迁在连续LSB值上(即1 LSB、2 LSB等等)上进行。AD7291的LSB大小为 $V_{REF}/4096$ 。输出标准二进制编码时，AD7291的理想传递特性如图21所示。

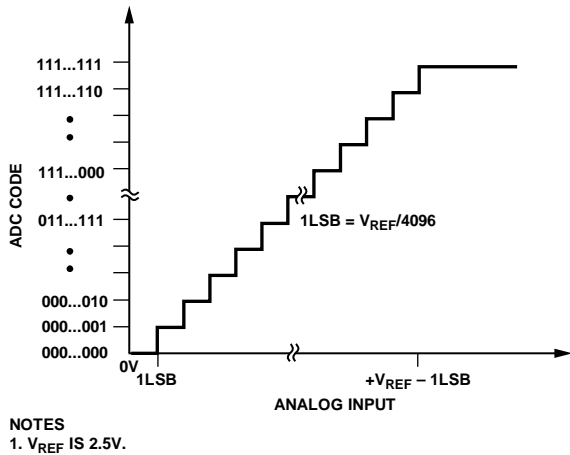


图21. 标准二进制传递特性

## 温度传感器工作原理

AD7291内置一个本地温度传感器。片内带隙温度传感器测量AD7291芯片的温度。

AD7291上的温度传感器模块基于三电流原则(参见图22)，三个电流分别通过一个二极管，并测量正向压降，这样就能排除串联电阻所引起的误差，准确计算出温度。

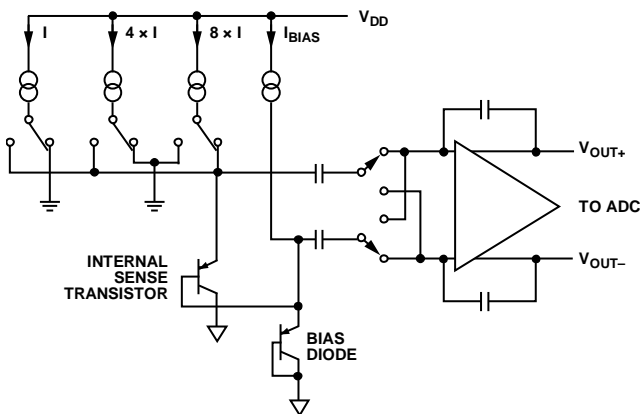


图22. 内部温度传感器的顶层结构

各输入依次积分，期间为数百微秒。该操作在后台连续发生，用户可以放心地在其它通道上执行转换。积分完成时，信号传递给控制逻辑，自动启动转换。

如果ADC处于命令模式并执行电压转换，AD7291会等待电压转换完成，然后启动温度传感器转换。如果ADC未执行电压转换，则以5 ms间隔进行温度转换。

在自动循环模式中，将在当前序列的适当位置插入转换。如果ADC空闲，转换将立即发生。 $T_{SENSE}$ 转换结果寄存器存储温度通道上的最后一次转换结果，这些结果可以随时读取。

理论上，温度测量电路能够以 $0.25^{\circ}\text{C}$ 的分辨率测量 $-512^{\circ}\text{C}$ 至 $+511^{\circ}\text{C}$ 的温度。不过， $T_A$ (AD7291的额定温度范围)以外的温度并不在该器件的保证工作温度范围内。通过设置命令寄存器的TSENSE位，可以使能温度传感器。

## 温度传感器均值

AD7291内置温度传感器均值功能，以提高温度测量的精度。只要使能命令寄存器内的TSENSE位，就会在后台连续执行温度均值功能。每次执行 $T_{SENSE}$ 转换都会测量温度，可利用移动均值法来决定 $T_{SENSE}$ 均值结果寄存器内的结果。均值结果可通过以下公式计算：

$$T_{SENSE\ AVG} = \frac{7}{8}(\text{Previous Average Result}) + \frac{1}{8}(\text{Current Result})$$

然后可在 $T_{SENSE}$ 均值结果寄存器内获得均值结果，每次 $T_{SENSE}$ 转换后都会更新该寄存器内容。

在命令寄存器(位D7)中选择温度传感器后，AD7291提供的首个 $T_{SENSE}$ 转换结果实际上是首个 $T_{SENSE}$ 转换结果，此结果在下一个 $T_{SENSE}$ 转换完成且结果寄存器更新前一直有效。

# AD7291

## 温度值格式

ADC的一个LSB对应0.25°C。ADC产生的温度读数以12位二进制补码形式存储，正负温度测量结果均适用。样本温度值如表7所示。温度转换公式如下：

$$\text{正温度} = \text{ADC码}/4$$

$$\text{负温度} = (4096 - \text{ADC码})/4$$

上述公式仅适用于 $V_{REF}$ 为2.5 V的条件下。如果使用外部基准电压源，温度传感器需要2 V至2.5 V间的外部基准电压才能正常工作。温度结果(摄氏度)使用以下公式计算，其中 $V_{EXT\_REF}$ 是外部基准电压值。

$$\text{Temperature} = V_{EXT\_REF} \left( \frac{ADCCode}{10} + 109.3 \right) - 273.15$$

表7. 温度数据格式

温度(°C)	数字输出
-40	1111 0110 0000
-25	1111 1001 1100
-10	1111 1101 1000
-0.25	1111 1111 1111
0	0000 0000 0000
+0.25	0000 0000 0001
+10	0000 0010 1000
+25	0000 0110 0100
+50	0000 1100 1000
+75	0001 0010 1100
+100	0001 1001 0000
+105	0001 1010 0100
+125	0001 1111 0100

## $V_{DRIVE}$

$V_{DRIVE}$ 控制串行接口的工作电压。 $V_{DRIVE}$ 特性使ADC能够轻松与1.8V和3 V处理器接口。例如，如果AD7291采用3.3 V的 $V_{DD}$ 供电，则 $V_{DRIVE}$ 引脚可以采用1.8 V电源供电。这样，AD7291以3.3 V的 $V_{DD}$ 工作时具有较大的动态范围特性，同时仍能与1.8 V处理器接口。注意，应确保 $V_{DRIVE}$ 不超过 $V_{DD}$  0.3 V以上(参见绝对最大额定值部分)。

## 内部或外部基准电压

AD7291既可在内部2.5 V片内基准电压下工作，也可在外部施加的基准电压下工作。命令寄存器内的EXT\_REF位用于确定是否使用内部基准电压。如果在命令寄存器中选择EXT\_REF位，可通过 $V_{REF}$ 引脚提供外部基准电压。上电时，使能内部基准电压。适合AD7291的外部基准电压源包括AD780、AD1582、ADR431、REF193和ADR391。

内部基准电压电路由一个2.5 V带隙基准电压源和一个基准电压缓冲器组成。当AD7291以内部基准电压模式工作时， $V_{REF}$ 引脚提供2.5 V内部基准电压，此引脚应使用10  $\mu$ F电容去耦至GND1。建议将内部基准电压施加于系统的其他部分前先进行缓冲。

转换器为静态时，内部基准电压源最多能够提供2 mA电流。基准电压缓冲器需要5.5 ms上电，并在上电期间对10  $\mu$ F去耦电容充电。

## 复位

AD7291内置复位功能，可用于使器件和所有内部寄存器(包括命令寄存器)的内容复位至默认状态。要激活复位操作， $\overline{PD}/\overline{RST}$ 引脚应拉低至至少1 ns，最长100 ns，并且与时钟异步；因此可以随时触发。如果 $\overline{PD}/\overline{RST}$ 引脚保持低电平超过100 ns，器件将进入完全关断模式。 $\overline{PD}/\overline{RST}$ 引脚必须一直保持稳定的逻辑电平才能确保正常工作。

## 内部寄存器结构

AD7291内置34个内部寄存器(参见图23)，可用于存储转换结果、转换上限和下限以及用来配置和控制器件的信息。共有33个数据寄存器和1个地址指针寄存器。

每个数据寄存器都有一个地址，当与之通信时，地址指针寄存器就会指向该地址。表9详细列出了哪些寄存器用于读取、写入或读/写。

### 地址指针寄存器

地址指针寄存器是每个写入操作的首个数据字节自动写入的寄存器；因此该寄存器既没有也不需要地址。地址指针寄存器是一个8位寄存器，其中6个LSB用作指针位，用来存储指向其中一个AD7291数据寄存器的地址。每个写入地址后的首个字节用于地址指针寄存器，包含某个数据寄存器的地址。6个LSB选择随后数据字节要写入的数据寄存器。只有此寄存器内的6个LSB才能用于选择数据寄存器。上电期间，地址指针寄存器包含指向命令寄存器的所有0。

表8. 地址指针寄存器

D1	D0	P5	P4	P3	P2	P1	P0
0	0	寄存器选择					

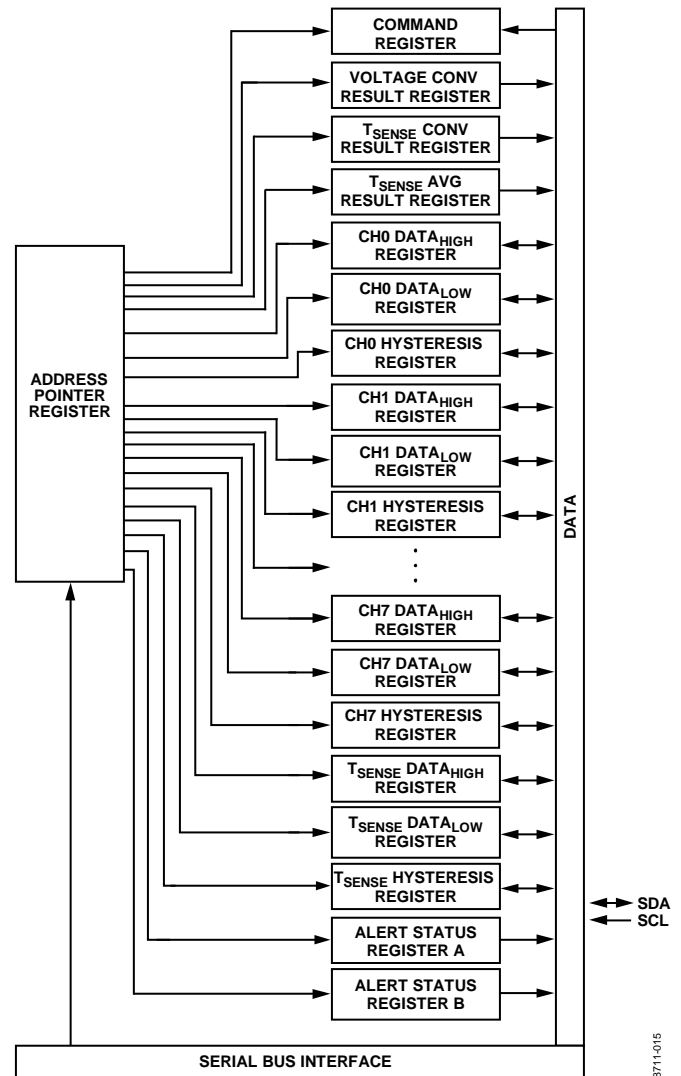


图23. AD7291寄存器结构

# AD7291

表9. AD7291寄存器地址

Hex Code	P5	P4	P3	P2	P1	P0	寄存器	读/写
0x00	0	0	0	0	0	0	命令寄存器	写入
0x01	0	0	0	0	0	1	电压转换结果寄存器	读取
0x02	0	0	0	0	1	0	T <sub>SENSE</sub> 转换结果寄存器	读取
0x03	0	0	0	0	1	1	T <sub>SENSE</sub> 均值结果寄存器	读取
0x04	0	0	0	1	0	0	CH0 DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x05	0	0	0	1	0	1	CH0 DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x06	0	0	0	1	1	0	CH0迟滞寄存器	读/写
0x07	0	0	0	1	1	1	CH1 DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x08	0	0	1	0	0	0	CH1 DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x09	0	0	1	0	0	1	CH1迟滞寄存器	读/写
0x0A	0	0	1	0	1	0	CH2 DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x0B	0	0	1	0	1	1	CH2 DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x0C	0	0	1	1	0	0	CH2迟滞寄存器	读/写
0x0D	0	0	1	1	0	1	CH3 DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x0E	0	0	1	1	1	0	CH3 DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x0F	0	0	1	1	1	1	CH3迟滞寄存器	读/写
0x10	0	1	0	0	0	0	CH4 DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x11	0	1	0	0	0	1	CH4 DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x12	0	1	0	0	1	0	CH4迟滞寄存器	读/写
0x13	0	1	0	0	1	1	CH5 DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x14	0	1	0	1	0	0	CH5 DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x15	0	1	0	1	0	1	CH5迟滞寄存器	读/写
0x16	0	1	0	1	1	0	CH6 DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x17	0	1	0	1	1	1	CH6 DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x18	0	1	1	0	0	0	CH6迟滞寄存器	读/写
0x19	0	1	1	0	0	1	CH7 DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x1A	0	1	1	0	1	0	CH7 DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x1B	0	1	1	0	1	1	CH7迟滞寄存器	读/写
0x1C	0	1	1	1	0	0	T <sub>SENSE</sub> DATA <sub>HIGH</sub> 寄存器	读/写
0x1D	0	1	1	1	0	1	T <sub>SENSE</sub> DATA <sub>LOW</sub> 寄存器	读/写
0x1E	0	1	1	1	1	0	T <sub>SENSE</sub> 迟滞寄存器	读/写
0x1F	0	1	1	1	1	1	报警状态寄存器A	读取
0x20	1	0	0	0	0	0	报警状态寄存器B	读取
0x3F	1	1	1	1	1	1	工厂测试模式	用户不得访问此寄存器。



## 命令寄存器(0x00)

命令寄存器是一个16位只写寄存器，用来设置AD7291的工作模式。位功能如表10所示。写入命令寄存器时，需要双字节写入。MSB表示数据流的第一位。上电期间，命令寄存器的默认内容全部为0。

表10. 上电时的命令寄存器位和默认设置

	MSB					LSB			
通道位	D15至D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
Function	CH0至CH7	TSENSE	无关	噪声延迟位 检验和采样	EXT_REF	ALERT引脚极性 (高电平有效/低 电平有效)	清除报警	复位	自动循环模式
Setting	使能 = 1, 禁用 = 0	使能 = 1, 禁用 = 0	0	使能 = 1, 禁用 = 0	使能 = 1, 禁用 = 0	低电平有效 = 1, 高电平有效 = 0	使能 = 1, 禁用 = 0	使能 = 1, 禁用 = 0	使能 = 1, 禁用 = 0

表11. 命令寄存器位功能描述

位	引脚名称	备注
D15至D8	CH0至CH7	这些8通道地址位用于选择待转换的模拟输入通道。位D15至位D8中的任一位设为1可选择转换通道。如果多个通道位设为1，AD7291将从最低通道开始依序转换选定通道。所有未使用通道应设为0。启动转换前，必须在命令寄存器中选择转换通道或通道序列。
D7	TSENSE	此位使能温度转换，转换以5 ms间隔在后台进行。其结果可从 $T_{SENSE}$ 转换结果寄存器(0x02)和 $T_{SENSE}$ 均值结果寄存器(0x03)读取。详情参见温度传感器工作原理部分。
D6	无关	
D5	噪声延迟位	使能此功能时，若I <sup>2</sup> C总线上有活动，它会延迟关键采样间隔和位检验，从而确保改进AD7291的直流性能。检验和采样 使能该功能时，转换时间可能会发生变化。上电时此位禁用，建议写入1，使该功能正常工作。
D4	EXT_REF	对此位写入逻辑1则支持使用外部基准电压源。外部基准电压源的输入电压范围为2 V至2.5 V。外部基准电压不应超过2.5 V，否则对器件性能有不利影响。上电期间，默认配置是使能内部基准电压。
D3	ALERT引脚极性	此位决定ALERT引脚的有效极性。如果此位设为1，ALERT引脚配置为低电平有效，设为0则为高电平有效。上电时的默认配置为高电平有效(0)。
D2	清除报警	此位可清除报警状态寄存器的内容。一旦两个报警状态寄存器的内容被清除，此位应重新编程为逻辑0，以确保能够检测未来的报警信号。
D1	复位	设置此位可将AD7291中所有内部寄存器的内容复位至其默认状态，包括命令寄存器本身。一旦复位完成，此位将自动恢复为0，以便对内部寄存器重新编程。
D0	自动循环模式	对此位写入1可使能自动循环工作模式。在该模式下，AD7291会连续转换位D15至位D8中选择的通道。此功能配合限值寄存器使用，可设置成所选的任何转换通道的转换结果超过预设限值时就发出报警信号。

# AD7291

表12. 命令寄存器的通道选择位

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	选择模拟输入通道	注释
0	0	0	0	0	0	0	0	未选择通道	如果选择多个通道，AD7291将从序列中的最低通道开始转换选定通道。
0	0	0	0	0	0	0	1	转换通道7 ( $V_{IN7}$ )上	
0	0	0	0	0	0	1	0	转换通道6 ( $V_{IN6}$ )	
0	0	0	0	0	1	0	0	转换通道5 ( $V_{IN5}$ )	
0	0	0	0	1	0	0	0	转换通道4 ( $V_{IN4}$ )	
0	0	0	1	0	0	0	0	转换通道3 ( $V_{IN3}$ )	
0	0	1	0	0	0	0	0	转换通道2 ( $V_{IN2}$ )	
0	1	0	0	0	0	0	0	转换通道1 ( $V_{IN1}$ )	
1	0	0	0	0	0	0	0	转换通道0 ( $V_{IN0}$ )	

表13.  $T_{SENSE}$  数据格式

输入	D11 (MSB)	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0 (LSB)
值(°C)	-512	+256	+128	+64	+32	+16	+8	+4	+2	+1	+0.5	+0.25

## 采样延迟和位检验延迟

理想情况下，ADC转换过程中不应有I<sup>2</sup>C总线活动。但有时这是无法避免的，例如在自动循环模式下工作时。建议向命令寄存器中的位D5写入1，以启用噪声延迟位检验和采样功能。当I<sup>2</sup>C总线上有活动时，这种机制可延迟关键采样间隔和位检验。这样，每位判断均在相对安静的环境中进行，转换结果不易受外部噪声干扰。

上电时，位检验和采样间隔延迟机制未启用。建议启用这一功能，以便实现正常工作。启用时，AD7291将延迟位检验，从而抑制I<sup>2</sup>C总线上的活动影响。如果接口线路上的活动过多，启用这些位可导致总转换时间增加。

AD7291还内置一项功能，可以抑制50 ns以下的毛刺。该功能可改善器件的抗噪性。

## 电压转换结果寄存器(0x01)

电压转换结果寄存器是一个16位只读寄存器，以标准二进制格式存储ADC输出的转换结果。从该寄存器读取数据需要使用双字节读取。表14和15显示要从AD7291读取数据的第一和第二字节内容。每个AD7291转换结果由4个通道地址位(参见表14和表15)和12位数据结果组成。位D15至位D12是识别对应后续结果的ADC通道的通道地址位。位D11至位D0包含最近的ADC结果。

表14. 转换值寄存器 (第一次读取)

MSB							
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
ADD3	ADD2	ADD1	ADD0	B11	B10	B9	B8

表15. 转换值寄存器 (第二次读取)

LSB							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

表16. 结果寄存器的通道地址位

ADD2	ADD1	ADD0	模拟输入通道
0	0	0	$V_{IN0}$
0	0	1	$V_{IN1}$
0	1	0	$V_{IN2}$
0	1	1	$V_{IN3}$
1	0	0	$V_{IN4}$
1	0	1	$V_{IN5}$
1	1	0	$V_{IN6}$
1	1	1	$V_{IN7}$
1	0	0	$T_{SENSE}$
1	0	1	$T_{SENSE}$ 平均值结果

## 温度值格式

ADC产生的温度读数以11位二进制补码形式存储在D11至D0中，正负温度测量结果均适用。温度数据格式如表13所示。

## $T_{SENSE}$ 转换结果寄存器(0x02)

$T_{SENSE}$  结果寄存器是一个16位只读寄存器，用来存储内部温度传感器所产生的ADC数据。此寄存器以12位二进制补码格式D11至D0存储ADC输出的温度读数，并使用位D15至位D12存储通道地址位。转换大约每隔5 ms发生一次。表13详细列出了应用于内部温度传感器的温度数据格式。

表17.  $T_{SENSE}$  转换结果寄存器(第一次读取)

MSB							
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
ADD3	ADD2	ADD1	ADD0	B11	B10	B9	B8

表18.  $T_{SENSE}$  结果寄存器(第二次读取)

							LSB
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

### $T_{SENSE}$ 平均值结果寄存器(0x03)

$T_{SENSE}$  均值结果寄存器是一个16位只读寄存器，用来存储内部温度传感器输出的均值结果。此寄存器以11位二进制补码格式D11至D0存储ADC输出的均值温度读数，并使用位D15至位D12存储通道地址位。 $T_{SENSE}$  均值结果寄存器在每次 $T_{SENSE}$  转换完成后更新。使能均值后AD7291给出的首个 $T_{SENSE}$  均值转换结果实际上是首个 $T_{SENSE}$  转换结果。表13详细列出了应用于内部温度传感器的温度数据格式。详情参见温度传感器均值部分。

表19.  $T_{SENSE}$  均值结果寄存器(第一次读取)

MSB							
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
ADD3	ADD2	ADD1	ADD0	B11	B10	B9	B8

表20.  $T_{SENSE}$  均值结果寄存器(第二次读取)

							LSB
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

### 限值寄存器(0x04至0x1E)

AD7291具有9对限值寄存器。每一对寄存器存储每个模拟输入通道和内部温度传感器的转换上限和下限。每对限值寄存器都有一个相关迟滞寄存器。所有27个寄存器都是16位宽；寄存器只有12 LSB用于AD7291。这些寄存器中，四个MSB，D15和D12，应包含0。上电期间，每个模拟电压通道的 $DATA_{HIGH}$  寄存器的内容为满量程(0x0FFF)，而 $DATA_{LOW}$  电压通道寄存器的默认内容为零电平(0x0000)。对于温度转换结果，AD7291的输出是二进制补码。 $T_{SENSE}$   $DATA_{HIGH}$  寄存器的默认内容是0x07FF，而 $T_{SENSE}$   $DATA_{LOW}$  寄存器的默认内容是0x0800。如果转换结果超过限值寄存器设置的上限或下限，AD7291将在硬件内发出报警信号。

### $DATA_{HIGH}$ 寄存器

CH0至CH7和内部温度传感器的 $DATA_{HIGH}$  寄存器是16位读/写寄存器；仅使用每个寄存器的12个LSB。寄存器中的位D15至位D12不用，设置为0。此寄存器存储激活ALERT输出的上限。如果转换结果寄存器内的值大于 $DATA_{HIGH}$  寄存器内的值，该通道出现ALERT。转换结果返回比 $DATA_{HIGH}$  寄存器值至少低N个LSB的值时，ALERT输出引脚复位。N的值来自与该通道相关的迟滞寄存器。ALERT引脚也可通过写入命令寄存器的位D2来复位。

表21.  $DATA_{HIGH}$  寄存器(第一次读取/写入)

MSB							
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
0	0	0	0	B11	B10	B9	B8

表22.  $DATA_{HIGH}$  寄存器(第二次读取/写入)

							LSB
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

### $DATA_{LOW}$ 寄存器

每个通道的 $DATA_{LOW}$  寄存器是一个16位读/写寄存器；仅使用每个寄存器的12个LSB。寄存器中的位D15至位D12不用，设置为0。此寄存器存储激活ALERT输出的下限。如果 $T_{SENSE}$  转换结果寄存器内的值小于 $DATA_{LOW}$  寄存器内的值，该通道出现ALERT。转换结果返回比 $DATA_{LOW}$  寄存器值至少高N个LSB的值时，ALERT输出引脚复位。N的值来自与该通道相关的迟滞寄存器。ALERT输出引脚也可通过写入命令寄存器的位D2来复位。

表23.  $DATA_{LOW}$  寄存器(第一次读取/写入)

MSB							
D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
0	0	0	0	B11	B10	B9	B8

表24.  $DATA_{LOW}$  寄存器(第二次读取/写入)

							LSB
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

## 迟滞寄存器

每个模拟输入通道和内部温度传感器都拥有自己的迟滞寄存器，即一个16位读/写寄存器。仅使用12个LSB。寄存器中的位D15至位D12不用，设置为0。使用限值寄存器时，迟滞寄存器存储迟滞值N。每对限值寄存器都有一个专用迟滞寄存器。如果发生超过限值事件，迟滞值将决定ALERT引脚的复位点。例如，如果通道0的上下限要求8 LSB的迟滞值，则应将16位字0000 0000 0000 1000写入CH0的迟滞寄存器，地址为0x06(见表25和表26)。上电期间，迟滞寄存器内容默认全部为零(0x0000)。如果要求迟滞值，则必须将该值写入相关通道的迟滞寄存器。

**表27. 报警状态寄存器A(第一次读取字节)**  
MSB

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
0	0	0	0	B11	B10	B9	B8

**表26. 迟滞寄存器(第二次读取/写入字节)**

LSB							
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0

## 报警状态寄存器A和报警状态寄存器B(0x1F和0x20)

报警状态寄存器是16位只读寄存器，用来提供关于报警事件的信息。如果一次转换导致ALERT引脚激活，如限值寄存器(0x04至0x1E)部分所述，则可以读取报警状态寄存器以获得更多信息。AD7291包括两个报警状态寄存器：报警状态寄存器A存储模拟电压转换通道的报警(参见表27和表28)，报警状态寄存器B仅存储内部温度传感器的报警(参见表29和表30)。

两个报警状态寄存器针对每一通道包含两个状态位，一个对应DATA<sub>HIGH</sub>限值，另一个对应DATA<sub>LOW</sub>限值。状态为1的位显示超出限值发生的位置，即哪一通道，以及超过的是上限还是下限。如果在接受第一报警和查询报警状态寄存器之间，另一通道上发生第二个报警事件，该报警事件的对应位也会置位。报警状态寄存器的整个内容可通过对命令寄存器的位D2写入1来清除。

例如，如果将报警状态寄存器A的位D14设为1，则超出通道7的下限(寄存器0x1A)，如果将位D11设为1，则超出通道5的上限(寄存器0x13)。

TSENSE<sub>HIGH</sub>和TSENSE\_AVG<sub>HIGH</sub>报警通过与T<sub>SENSE</sub> DATA<sub>HIGH</sub>寄存器(寄存器0x1C)进行比较来确定。同样，TSENSE<sub>LOW</sub>和TSENSE\_AVG<sub>LOW</sub>报警通过与TSENSE DATA<sub>LOW</sub>寄存器(寄存器0x1D)进行比较来确定。

**表27. 报警状态寄存器A(第一次读取字节)**

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
CH7 <sub>HIGH</sub>	CH7 <sub>LOW</sub>	CH6 <sub>HIGH</sub>	CH6 <sub>LOW</sub>	CH5 <sub>HIGH</sub>	CH5 <sub>LOW</sub>	CH4 <sub>HIGH</sub>	CH4 <sub>LOW</sub>

**表28. 报警状态寄存器A(第二次读取字节)**

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CH3 <sub>HIGH</sub>	CH3 <sub>LOW</sub>	CH2 <sub>HIGH</sub>	CH2 <sub>LOW</sub>	CH1 <sub>HIGH</sub>	CH1 <sub>LOW</sub>	CH0 <sub>HIGH</sub>	CH0 <sub>LOW</sub>

**表29. 报警状态寄存器B(第一次读取字节)**

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
0	0	0	0	0	0	0	0

**表30. 报警状态寄存器B(第二次读取字节)**

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0	TSENSE_AVG <sub>HIGH</sub>	TSENSE_AVG <sub>LOW</sub>	TSENSE <sub>HIGH</sub>	TSENSE <sub>LOW</sub>

## I<sup>2</sup>C接口

对AD7291的控制经由I<sup>2</sup>C兼容串行总线实现。它作为从器件连接到该总线，受处理器等主器件的控制。

### 串行总线地址字节

用户写入器件的第一个字节是从机地址字节。与其它I<sup>2</sup>C兼容器件一样，AD7291也具有7位串行地址。此地址的三个MSB设为010。用户可通过三态输入引脚AS0和AS1对4个LSB进行编程，如表31所示。

表31中，H表示引脚连到V<sub>DRIVE</sub>，L表示引脚连到GND，NC表示引脚浮空。请注意，最后一种情况中，引脚上的杂散电容必须小于30 pF，才能正确检测悬空态。因此，PCB走线必须尽可能短。

表31. 使用三态输入引脚控制从机地址

AS1	AS0	从机地址(A6至A0)	
		二进制	十六进制
H	H	010 0000	0x20
H	NC	010 0010	0x22
H	L	010 0011	0x23
NC	H	010 1000	0x28
NC	NC	010 1010	0x2A
NC	L	010 1011	0x2B
L	H	010 1100	0x2C
L	NC	010 1110	0x2E
L	L	010 1111	0x2F

### 通用I<sup>2</sup>C时序

图24是使用I<sup>2</sup>C兼容接口的一般读写操作的时序图。

当无器件驱动总线时，SCL和SDA均为高电平。这称为空闲状态。当总线空闲时，主机通过建立起始条件而启动数据传输；起始条件要求串行数据线(SDA)发生高低转换，

同时串行时钟线(SCL)保持高电平。这样，随后就会发生数据流。主机负责产生时钟。

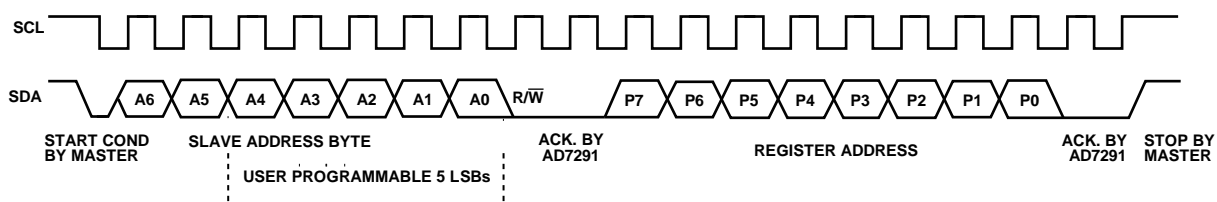
数据以9位一组的形式通过串行总线发送：8位数据来自发射机，后面跟随一个来自接收机的应答位(ACK)。SDA线上的数据转换必须发生在时钟信号的低电平期间，并且在高电平期间保持稳定。接收机应在应答位期间将SDA线拉低，表示已正确接收之前的字节。如果并非如此，则会取消处理。

主机发送的第一个字节必须由7位从机地址和一个数据方向位组成。总线上的每台设备都具有一个唯一的从机地址；因此，第一个字节用来建立处理期间与单一从机的通信。

处理可以是将数据写入从机(数据方向位=0)，也可以是从从机读取数据(数据方向位=1)。如果是读取处理，首先常常需要写入从机(在另外的写入处理中完成)，告诉它读取哪一个寄存器。读取和写入不能合并在一次处理中完成。

处理完成时，主机可以保持对总线的控制，通过产生另一个起始位(SDA高低转换，而SCL为高电平)而启动新的处理。这称为重复起始(SR)。或者，主机也可以通过先释放SCL线，再释放SDA线，而释放总线。SDA发生低高转换，同时SCL为高电平，这称为停止位(P)，将使I<sup>2</sup>C总线进入空闲状态(总线不消耗电流)。

图24中的例子显示了一个简单的写入处理，其中AD7291用作从机。本例中，AD7291寄存器指针已设置好执行后续的读取处理。



## 写入AD7291

### 将双字节数据写入16位寄存器

AD7291上的所有寄存器均为16位寄存器；因此，对这些寄存器写入值都需要双字节数据。将双字节数据写入寄存器时，命令序列如下(参见图25)：

1. 主机在SDA上置位起始条件。
2. 主机发送7位从机地址以及写入位(低)。
3. 具有相应地址的从机在SDA上置位应答。
4. 主机发送一个寄存器地址。从机在SDA上置位应答。
5. 主机发送第一个数据字节(高字节)。
6. 从机在SDA上置位应答。
7. 主机发送第二个数据字节(低字节)。
8. 从机在SDA上置位应答。
9. 主机在SDA上置位停止条件以结束处理。

### 写入多个寄存器

写入多个地址寄存器时，命令序列如下(参见图26)：

1. 主机在SDA上置位起始条件。
2. 主机发送7位从机地址以及写入位(低)。
3. 具有相应地址的从机(AD7291)在SDA上置位应答。
4. 主机发送一个寄存器地址，例如CH1 DATAHIGH寄存器地址。
5. 从机(AD7291)在SDA上置位应答。
6. 主机发送第一个数据字节。
7. 从机(AD7291)在SDA上置位应答。
8. 主机发送第二个数据字节。
9. 从机(AD7291)在SDA上置位应答。
10. 主机发送第二个寄存器地址，例如命令寄存器地址。
11. 从机(AD7291)在SDA上置位应答。
12. 主机发送第一个数据字节。
13. 从机(AD7291)在SDA上置位应答。
14. 主机发送第二个数据字节。
15. 从机(AD7291)在SDA上置位应答。
16. 主机在SDA上置位停止条件以结束处理。

上例仅详细说明了如何写入两个寄存器(CH1 DATA<sub>HIGH</sub>寄存器地址和命令寄存器)。然而，AD7291能够在在一个写操作中读取多个寄存器，如图26所示。

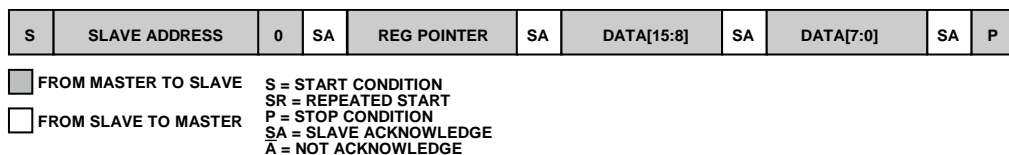


图25. 将双字节数据写入16位寄存器

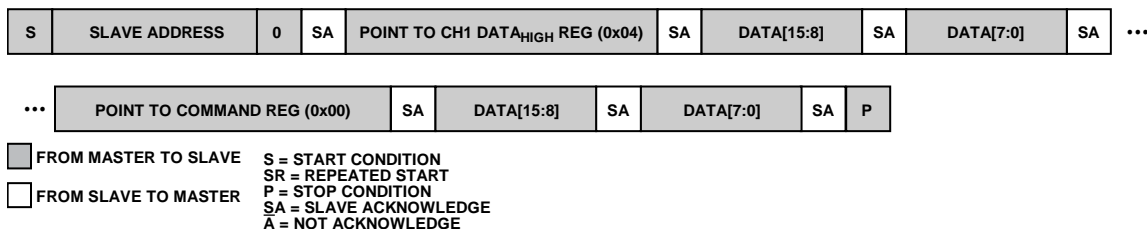


图26. 写入多个寄存器

# 从AD7291读取数据

## 从16位寄存器读取双字节数据

从任一16位寄存器读取内容都是双字节读取操作。本协议中，处理的第一部分写入寄存器指针。设置好寄存器地址后，可以对该特定寄存器执行任意次数的读操作，而不必再次写入地址指针。完成所需次数的读操作后，主机不应应答最后一个字节。这相当于通知从机停止传输，以便主机能够置位停止条件。在后续的处理中可以再次读取该寄存器，而不必重新写入寄存器指针。

如果需要从不同的地址读取数据，则必须将相关寄存器地址写入地址指针寄存器。同样，对该寄存器可以执行任意次数的读操作。下例中，主机从一个从机读取三组双字节数据，但请注意，可以读取所需任意组数的双字节数据。本协议假设特定寄存器地址已由一个对地址指针寄存器的单字节写操作设置。

从16位寄存器读取双字节数据时，命令序列如下(参见图27)：

1. 主机在SDA上置位起始条件。
2. 主机发送7位从机地址以及读取位(高)。
3. 具有相应地址的从机在SDA上置位应答。
4. 主机接收一个数据字节。
5. 主机在SDA上置位应答。
6. 主机接收第二个数据字节。
7. 主机在SDA上置位应答。
8. 主机接收一个数据字节。
9. 主机在SDA上置位应答。
10. 主机接收第二个数据字节。
11. 主机在SDA上置位应答。
12. 主机接收一个数据字节。
13. 主机在SDA上置位应答。
14. 主机接收第二个数据字节。
15. 主机在SDA上置位不应答，通知从机数据传输已完成。
16. 主机在SDA上置位停止条件以结束处理。

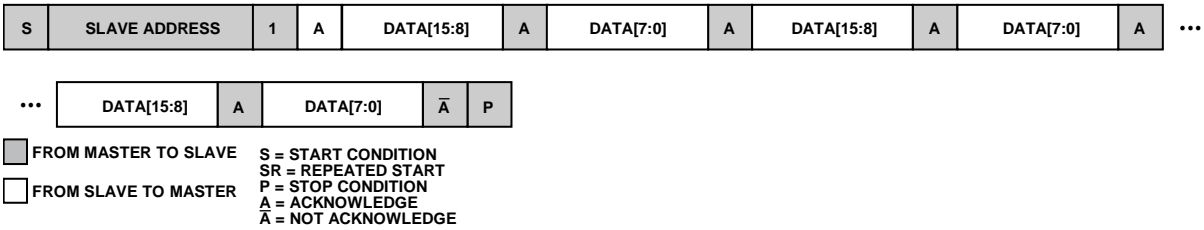


图27. 从转换结果寄存器读取三组双字节数据

0971-900

## 工作模式

AD7291首次接通电源时，ADC以部分省电模式上电，且不执行转换时通常保持此部分省电状态。主机寻址AD7291后，它便退出部分省电模式。启动AD7291执行转换的方法有两种：命令模式和自动循环模式。

### 命令模式

在命令模式下，AD7291根据需要在—个通道或—系列通道上执行转换。写入命令寄存器将使器件进入命令模式。这是默认工作模式，可以在命令寄存器发生写入操作时随时自动选择转换。若要进入此模式，请将所需的通道组合写入命令寄存器(寄存器0x00)。写入操作后，必须再次寻址AD7291，以指示需要读取操作。接着对电压或温度转换结果寄存器执行读取。首次转换发生时，写入AD7291的地址指针必须指向电压转换结果寄存器或 $T_{\text{SENS}}$ 转换结果寄存器。转换在读取前四个通道地址位的同时完成。对结果寄

存器启动下次读取时，就会进行序列内的下一个转换。器件以快速模式工作时，采集和转换时间总共需要约4.45  $\mu\text{s}$  (采集时间1.25  $\mu\text{s}$ 加转换时间3.2  $\mu\text{s}$ )。在命令模式下，器件从序列中的最低选定通道循环至下一最低选定通道，直至序列内的所有通道转换完成。

要退出命令模式，主机不应应答最后一个数据字节。这将使AD7291停止传输，以便主机能够在总线上置位停止条件。在收到停止条件后，AD7291停止转换并进入部分省电模式，但保留命令寄存器的内容。一旦器件重新寻址并从电压转换寄存器启动读取，AD7291便按先前选定的通道序列开始转换。转换序列从序列内的第一个选定通道开始转换；例如，如果选择通道1、通道2和通道3，并且在读取通道1的结果后发生停止条件，那么恢复转换后，将重新转换通道1，转换序列继续进行。



图28中的示例显示在 $V_{IN0}$ 、 $V_{IN1}$ 和 $V_{IN2}$ 组成的通道序列上执行转换的命令模式。

1. 主机在SDA上置位起始条件。
2. 主机发送7位从机地址以及写入位(低)。
3. 具有相应地址的从机(AD7291)在SDA上置位应答。
4. 主机发送命令寄存器地址(0x00)。
5. 从机在SDA上置位应答。
6. 主机向命令寄存器发送第一个数据字节(0xE0)，命令寄存器选择 $V_{IN0}$ 、 $V_{IN1}$ 和 $V_{IN2}$ 通道。
7. 从机在SDA上置位应答。
8. 主机向命令寄存器发送第二个数据字节(0x20)。
9. 从机在SDA上置位应答。
10. 主机发送结果寄存器地址0x01。
11. 从机在SDA上置位应答。
12. 主机发送7位从机地址以及写入位(高)。
13. 从机(AD7291)在SDA上置位应答。
14. 主机接收一个数据字节，它包含通道地址位、通道 $V_{IN0}$ 转换结果的四个MSB。

15. 然后，主机在SDA上置位应答。
16. 主机接收第二个数据字节，它包含通道 $V_{IN0}$ 转换结果的八个LSB。然后，主机在SDA上置位应答。
17. 对通道 $V_{IN1}$ 和通道 $V_{IN2}$ 重复第11步和第12步。
18. 主机接收到所有选定通道的转换结果之后，从机再次转换，并输出所选序列中第一个通道的转换结果。重复第12步至第14步。
19. 主机在SDA上置位不应答，并在SDA上置位停止条件，以结束转换并退出命令模式。

若要更改转换序列，请再次向命令模式写入新的序列。如果在现有转换序列正在进行时对命令寄存器执行新的写操作，则现有转换序列终止，下一个转换从新序列的第一个选定通道开始执行。命令模式下，采用400 kHz I<sup>2</sup>C时钟可实现的最大吞吐速率为(400 kHz/18) = 22.2 kSPS。

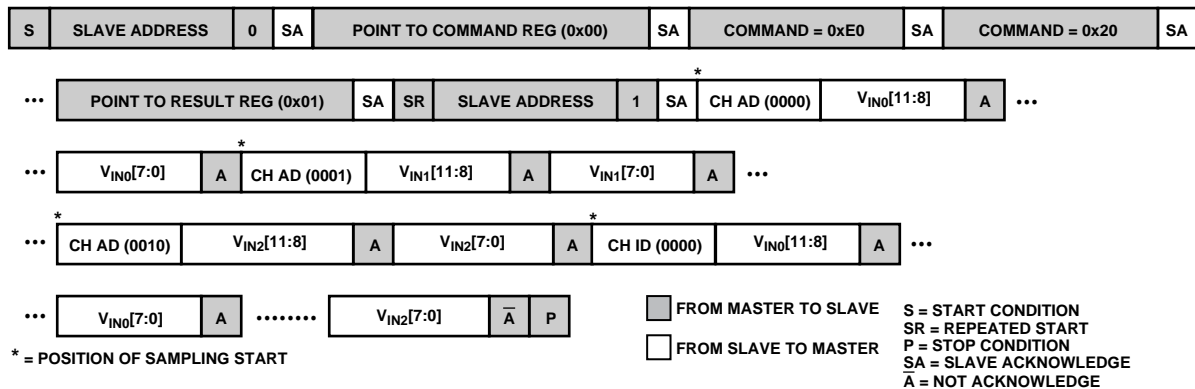


图28.命令模式操作

## 自动循环模式

AD7291可以配置成在可编程的通道序列上连续执行转换，这种工作模式特别适合系统监控。此模式可用于监控仅在超出限值时发出报警的信号，例如电池电压和温度。

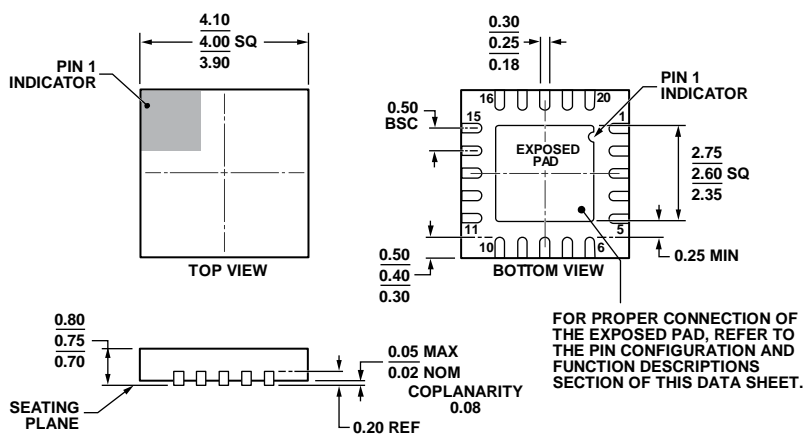
转换在后台发生，间隔时间约为50  $\mu\text{s}$ ，对主机是透明的。任何通道的采集和转换时间总共仅需要约3.6  $\mu\text{s}$ 。通常使用这种模式来自动监控选定的通道，其中限值寄存器设置为通过报警功能提示超量程情况，或者最小值/最大值记录器跟踪特定通道随时间的变化。读取和写入可以随时执行(ADC电压转换结果寄存器0x01包含最新转换结果)。

上电期间，此模式禁用。若要使能此模式，请写入命令寄存器(寄存器0x00)中的位D0，并通过写入对应的通道位(位D15至位D8)选择所需的转换通道。如果在配置寄存器内设置多个通道位，ADC将从最低通道开始按通道序列自动循

环。一旦序列完成，ADC将再次开始转换最低通道，继续按序列循环，直至退出自动循环模式。转换完成后，将转换结果与限值寄存器的内容比较，并自动更新报警状态寄存器。如果发现超出限值寄存器值，ALERT引脚便以命令寄存器中位D3决定的极性置位。

自动循环模式活动期间，如果需要命令模式，则必须先禁用自动循环模式，然后才能进入命令模式。这可以通过将命令寄存器的位D0设置为1来实现。当命令模式转换完成后，用户可通过将命令寄存器的位D0设为1重新使能自动循环模式。在自动循环模式下，AD7291收到停止条件也不会进入部分省电模式；因此转换和报警监控将继续正常进行。

## 外形尺寸



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MO-220-WGGD.

图29. 20引脚引脚架构芯片级封装[LFCSP\_WQ]

4 mm x 4 mm, 超薄体

(CP-20-8)

图示尺寸单位: mm

0210509-B

## 订购指南

型号 <sup>1</sup>	温度范围	封装描述	封装选项
AD7291BCPZ	-40°C 至 +125°C	20引脚引脚架构芯片级封装[LFCSP_WQ]	CP-20-8
AD7291BCPZ-RL7	-40°C 至 +125°C	20引脚引脚架构芯片级封装[LFCSP_WQ]	CP-20-8
EVAL-AD7291SDZ		评估板	

<sup>1</sup> Z = 符合RoHS标准的器件。

## 注释

I<sup>2</sup>C指最初由Philips Semiconductors(现为NXP Semiconductors)开发的一种通信协议。

©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.  
D08711sc-0-10/11(B)



[www.analog.com](http://www.analog.com)