

## 概述

HA2046 是一款 4 线电阻式触摸屏控制器，支持 1.5V 至 3.6V 的 I/O 接口，其中包括一个带同步串口的 12 位 A/D 转换器，以及用来驱动阻性触摸屏的低导通电阻开关。

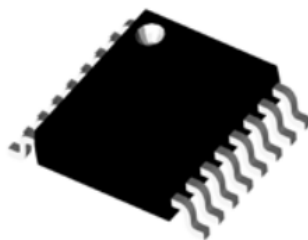
HA2046 使用内部+2.5V 参考电压或外部参考电压，可以进行绝对或比值测量。另外，HA2046 具有一个电池监测通道、一个附加 A/D 输入端和一个片上温度传感器，并且在无需外部元件的情况下可以进行触摸压力测量。当使用外部参考电压时，HA2046 可以确保电源电压降至+2.2V 仍能正常工作；使用内部参考电压时，可以确保降至+2.7V 仍能正常工作。在 2.7V 电源电压，125kHz 采样率下的 A/D 转换器功耗典型值小于 750  $\mu$ W。

HA2046 采用独有的节电技术驱动触摸屏，系统功耗比同类产品低 75%。HA2046 的低功耗性能使其成为电池供电系统的理想选择，如带电阻性触摸屏的个人数字助理和其它便携式设备。HA2046 采用 16 引脚的 QFN 和 TSSOP 封装，额定的工作范围为-40°C 至 85°C。

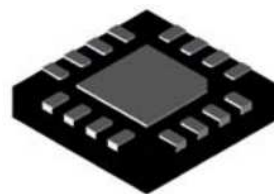
## 功能特点

- 四线触摸屏控制接口
- 独有的节电技术，系统功耗降低 75%
- 2.2V 至 3.6V 的工作电压
- 1.5V 至 3.6V 数字 I/O 接口
- 内置 2.5V 基准
- 可编程 8bit 或 12bit 精度
- 比值转换行接口
- 压力检测
  
- 片上温度检测检测 (0V 至 6V)
  
- 增强的触摸屏接口 ESD 保护等级：8KV (HBM)

## 实物图

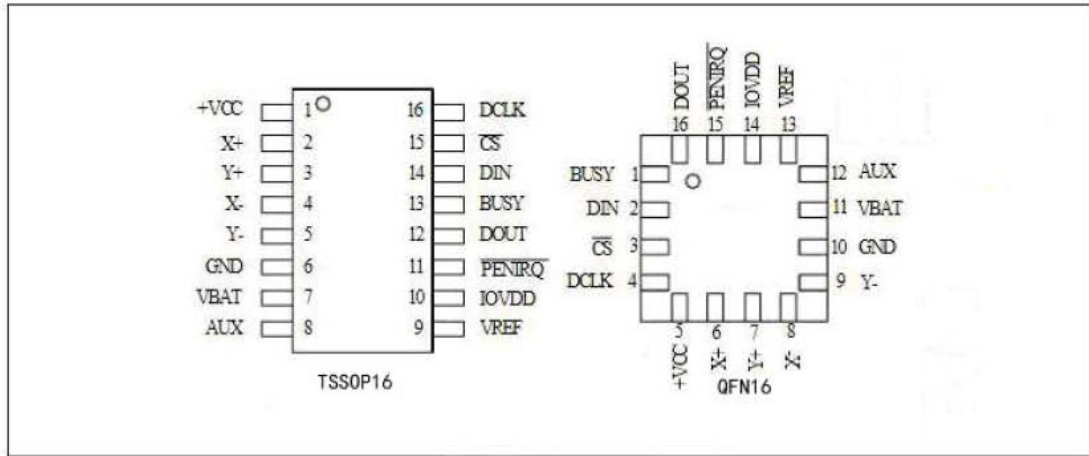


TSSOP16 封装  
-40°C~85°C



QFN16 封装  
4mm X 4mm  
-40°C~85°C

## 管脚排列图



## 管脚说明

TSSOP 管脚	QFN 管脚	名称	描述
1	5	+V <sub>CC</sub>	电源
2	6	X+	X+输入
3	7	Y+	Y+输入
4	8	X-	X-输入
5	9	Y-	Y-输入
6	10	GND	地
7	11	VBAT	电池检测输入
8	12	AUX	附加输入
9	13	V <sub>REF</sub>	参考电压的输入/输出
10	14	IOVDD	数字 I/O 电源
11	15	PENIRQ	中断响应
12	16	DOUT	串行数据输出端。当 CS 为高时，输出高阻
13	1	BUSY	Busy 输出端。当 CS 为高时，输出高阻
14	2	DIN	串行数据输入端。当 CS 为低，在 DCLK 的下降沿，数据锁存。
15	3	CS	片选信号，控制转换时间和使能串行输入/输出寄存器。
16	4	DCLK	外部时钟输入。控制 A/D 转换器转换过程和同步串行输入和输出数据。

## 功能框图

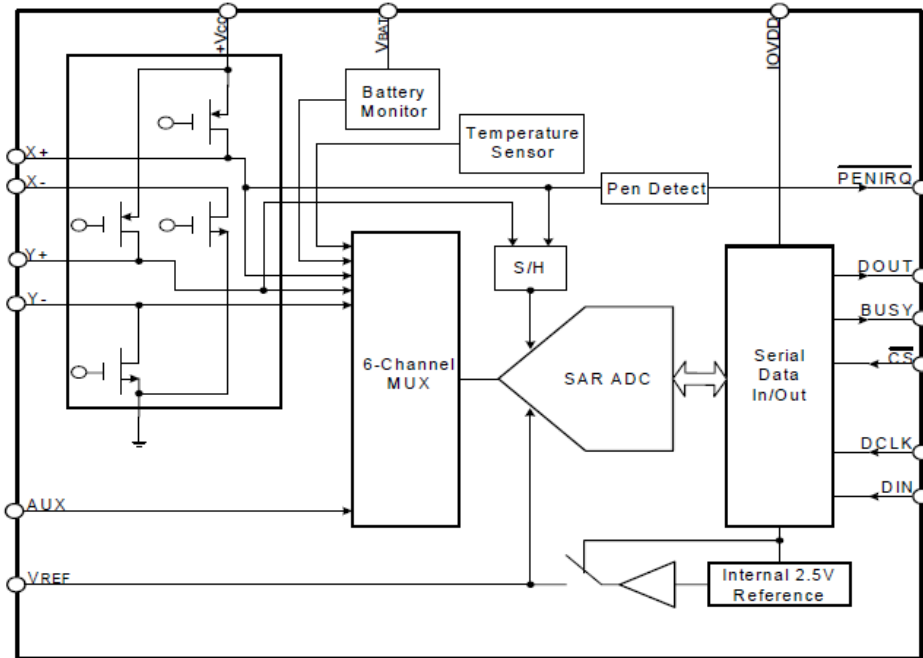


图 1 结构框图

## 极限的工作范围

参数	描述
+V <sub>CC</sub> 和 IOVDD 到地	-0.3V至3.6 V
模拟输入到地	-0.3V至V <sub>CC</sub> +0.3 V (除V <sub>BAT</sub> 外)
数字输入到地	-0.3V至IOVDD+ 0.3 V
功耗	250 mW
最大的结温	150°C
储存的温度范围	-65°C to 150°C
最高温度 (焊接, 10 秒)	+260°C
ESD (per MIL STD-883 HBM)	2000 V 8000 V (触摸屏接口X+, X-, Y+, Y-)
Latch up (per JEDEC STD-NO.78)	200 mA

## 功能说明

HA2046是一个经典的逐次逼近寄存器模数转换器（SAR ADC）。此架构基于电荷重分配原理，固有采样保持功能。

HA2046的基本工作原理如下图所示。此器件内置一个2.5V 的电压源，使用外部时，可用2.7V 到5.25V 的电源供电。内部源可被外部低阻抗1V 到+VCC 的电压源所驱动。源电压的值直接决定了转换器的输入范围。

转换器的模拟输入（X-，Y-和 Z 坐标，辅助输入，电池电压和芯片温度）通过一个多路选择器提供。一个独特的低导通电阻触摸屏驱动开关允许一个未被选择的 ADC 输入通道为外部器件提供电源，另一个相邻的通道提供地，例如触摸屏。通过维持转换器的差分输入和差分参考结构，可减低触摸屏驱动开关导通电阻所带来的误差（若这是特定测量条件下的一个误差来源）。

## 电气特性

**测试条件:** +VCC =IOVDD= +2.7V, fSAMPLE = 125kHz, fCLK = 16 x fSAMPLE = 2MHz, TA = -40°C至+85°C, VREF = 2.5V, 12-bit 模式, 数字输入为 GND 或 IOVDD, 除非特殊说明。

参数	条件	最小	典型	最大	单位
<b>模拟输入</b>					
全面的输入范围	正端输入—负端输入	0		V <sub>REF</sub>	V
输入范围	正端输入	-0.2		+V <sub>CC</sub> +0.2	V
	负端输入	-0.2		0.2	V
电容			25		pF
关机电流			0.1		μA
<b>系统性能</b>					
分辨率			12		Bits
漏码			11		Bits
积分线性误差			±2		LSB
漂移误差				±6	LSB
增益误差	外部 V <sub>REF</sub>			±4	LSB
电源抑制比			70		dB
<b>动态采样</b>					
转换时间				12	CLK
采样时间		3			CLK
转换率				125	kHz
<b>开关驱动管</b>					
等效电阻	Y+, X+		6		Ω

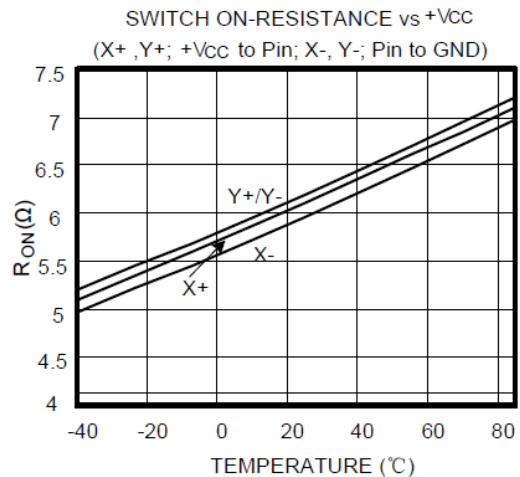
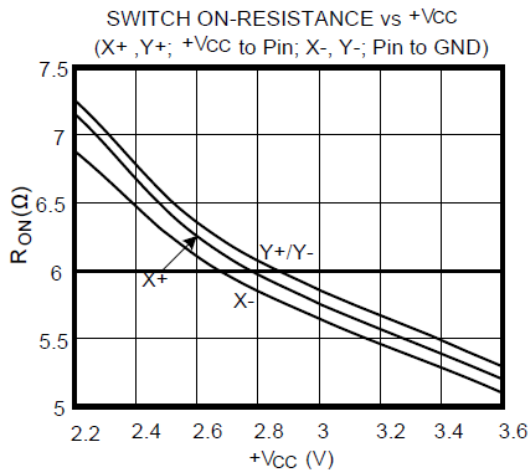
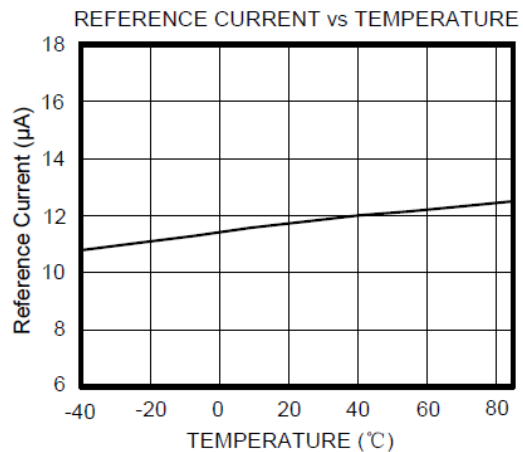
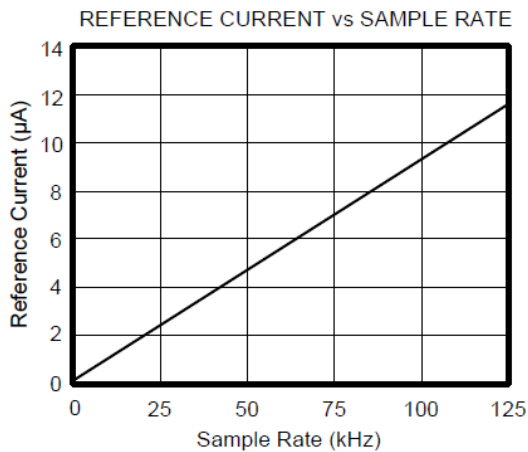
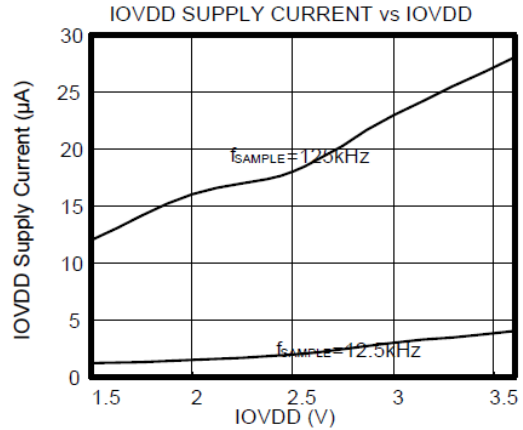
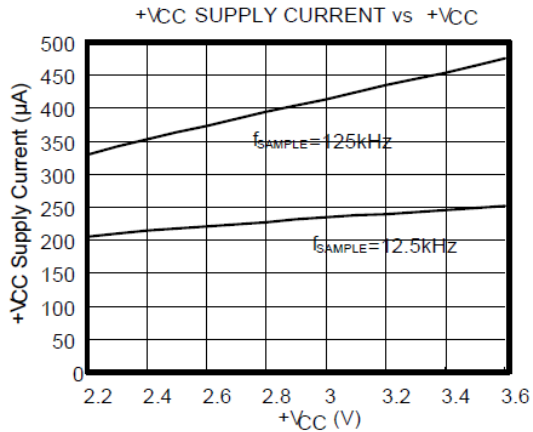
	Y-, X-		6		$\Omega$
驱动电流 (1)	持续 100ms			50	mA
<b>基准输出</b>					
内部基准电压		2.45	2.50	2.55	V
内部基准漂移			30		ppm/ $^{\circ}$ C
静态电流			470		$\mu$ A
关机电流			1		$\mu$ A
<b>基准输入</b>					
范围		1.0		V <sub>CC</sub>	V
输入阻抗			1		G $\Omega$
<b>电池检测</b>					
输入电压范围		0.5		6.0	V
输入阻抗	采样电池		10		k $\Omega$
	电池检测关闭		1		G $\Omega$
精度	V <sub>BAT</sub> = 0.5V to 5.5V, 外部 V <sub>REF</sub> = 2.5V,	-2		+2	%
	V <sub>BAT</sub> = 0.5V to 5.5V, 内部 基准	-3		+3	%
<b>温度检测</b>					
温度范围		-40		85	$^{\circ}$ C
分辨率	TEMP1 (2)		1.6		$^{\circ}$ C
	TEMPO		0.3		$^{\circ}$ C
精度	TEMP1 (2)		$\pm$ 2		$^{\circ}$ C
	TEMPO		$\pm$ 3		$^{\circ}$ C
<b>电源需求</b>					
+V <sub>CC</sub>	典型应用	2.7		3.6	V
	工作范围	2.2		3.6	V
IOVDD		1.5		+V <sub>CC</sub>	V
静态电流	内部基准关闭		380		$\mu$ A
	内部基准打开		850		$\mu$ A
	f <sub>SAMPLE</sub> = 12.5kHz		220		$\mu$ A
静态电流	关闭模式			3	$\mu$ A
功耗				1.8	mW

(1) 设计值，电流超过50mA 可能会导致芯片退化。

(2) 计算 TEMPO 与 TEMP1 的之间的差值，无须校准。

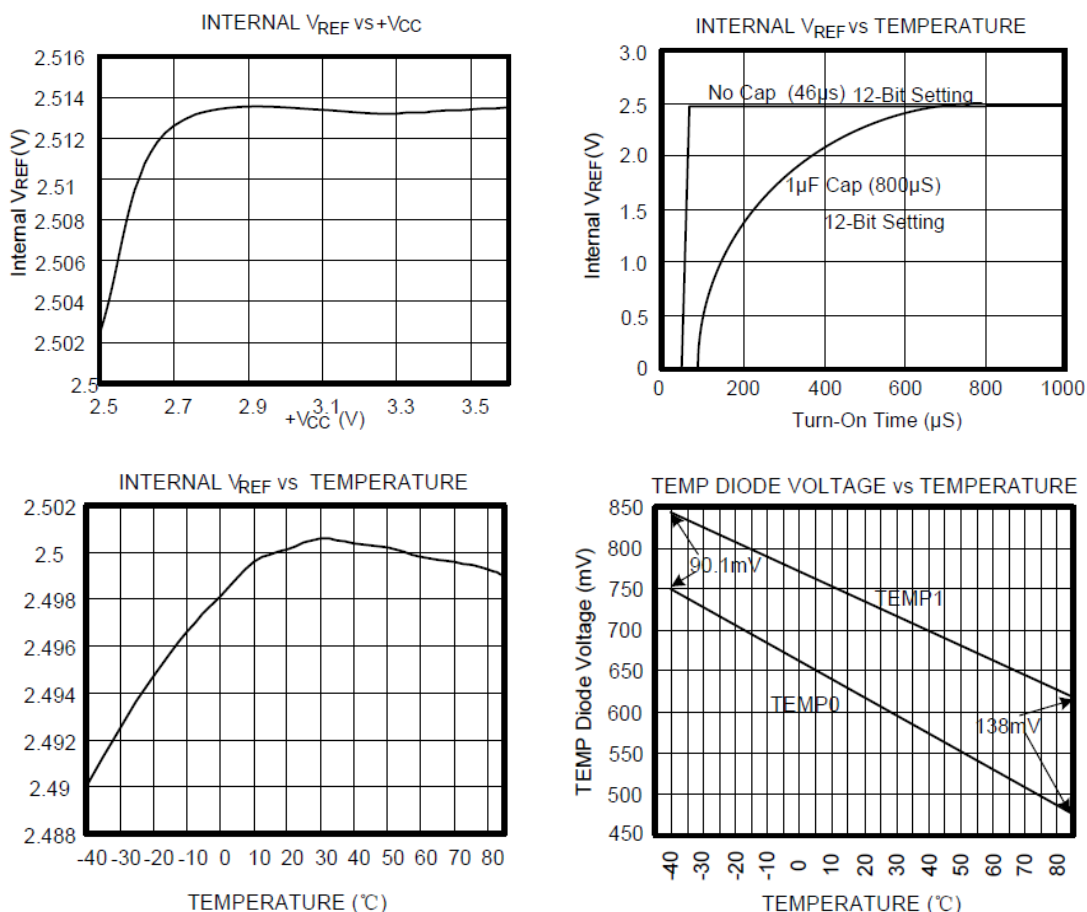
## 典型的特征曲线

在  $T_A=+25^{\circ}\text{C}$ ,  $+V_{CC}=+2.7\text{V}$ ,  $\text{IOVDD}=+1.8\text{V}$ ,  $V_{REF}=2.5\text{V}$ . 12-bit 模式下,  $\text{PD0}=0$ ,  $f_{\text{SAMPLE}}=125\text{kHz}$ ,  $f_{\text{CLK}}=16 \times f_{\text{SAMPLE}} = 2\text{MHz}$ , 除非有特殊说明。



## 典型的特征曲线

在  $T_A=+25\text{ }^\circ\text{C}$ ， $+V_{CC}=+2.7\text{V}$ ， $IOVDD=+1.8\text{V}$ ， $V_{REF}=2.5\text{V}$ ，12-bit 模式下， $PDO=0$ ， $f_{SAMPLE}=125\text{kHz}$ ， $f_{CLK}=16 \times f_{SAMPLE} = 2\text{MHz}$ ，除非有特殊说明。



## 工作原理

HA2046 是一款经典的逐次逼近 A/D 转换器，该结构采用电容按比例缩放原理，内部集成了采样保持电路。图 3 为 HA2046 在触摸屏应用中的连接示意图。HA2046 内部集成了 2.5V 的基准输出，也可以使用低阻抗的外部电源，电压范围在 1V 至  $+V_{CC}$  之间，基准电压的大小决定了转换器的输入范围。模拟输入

(X, Y, Z-Position, 附加输入, 电池电压以及片上温度) 是 HA2046 中的多通道选择器连接到 A/D 转换器的输入端。

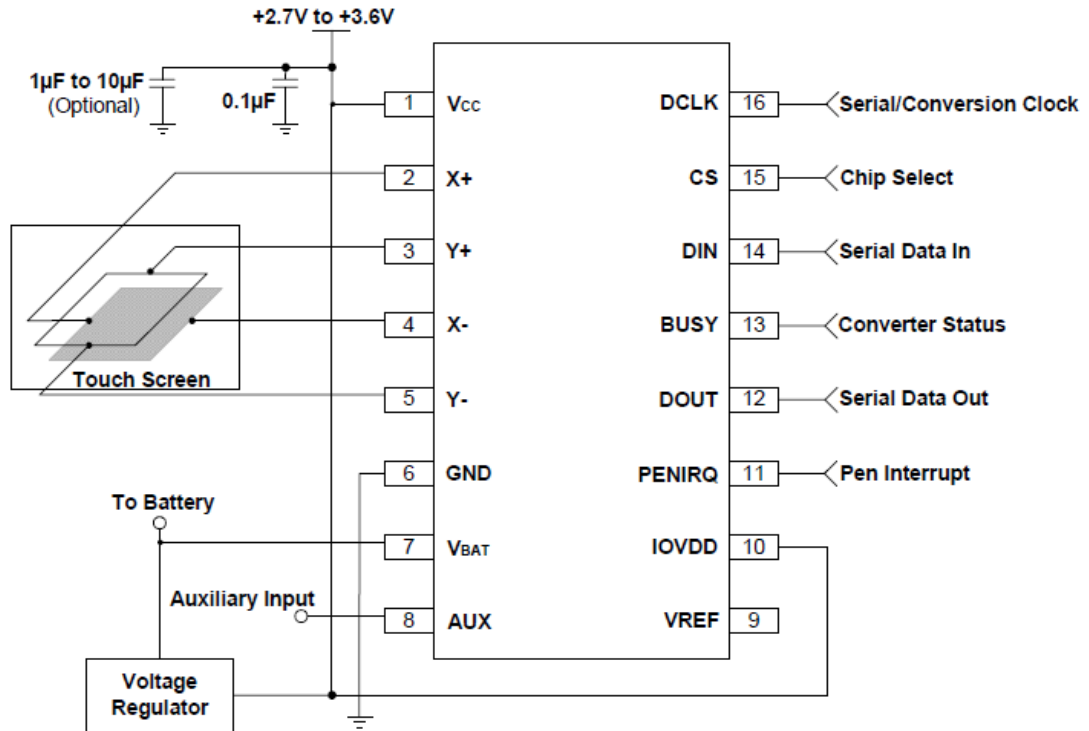


图 3 典型应用

## 模拟输入

下图描述了多通道选择器在 A/D 输入端和参考电压端的结构。表 1 描述了控制字 A2, A1, A0, 和 SER /DFR 与 HA2046 多通道选择器之间的关系, 控制字通过 DIN 引脚连续传输。当 A/D 转换器进入采样阶段, 输入端+IN 和-IN 之间的电压差被采集并存储到内部的电容阵列上。采集输入信号的时间取决于 25pF 内部电容的充电速度, 输入信号源的阻抗越大, 采样时间就越长。采样时间 ( $t_{ACQ}$ ) 的计算公式如下:

$$t_{ACQ} = 8.4 \times (R_{IN} + R_S) \times 25pF$$

这里的  $R_{IN}$  是输入信号源的阻抗,  $R_S$  和 25pF 是输入端的等效 RC。由于模拟输入信号源的阻抗不同, 需要不同的采样时间, HA2046 默认采用 3 个时钟周期作为输入信号的采样时间。



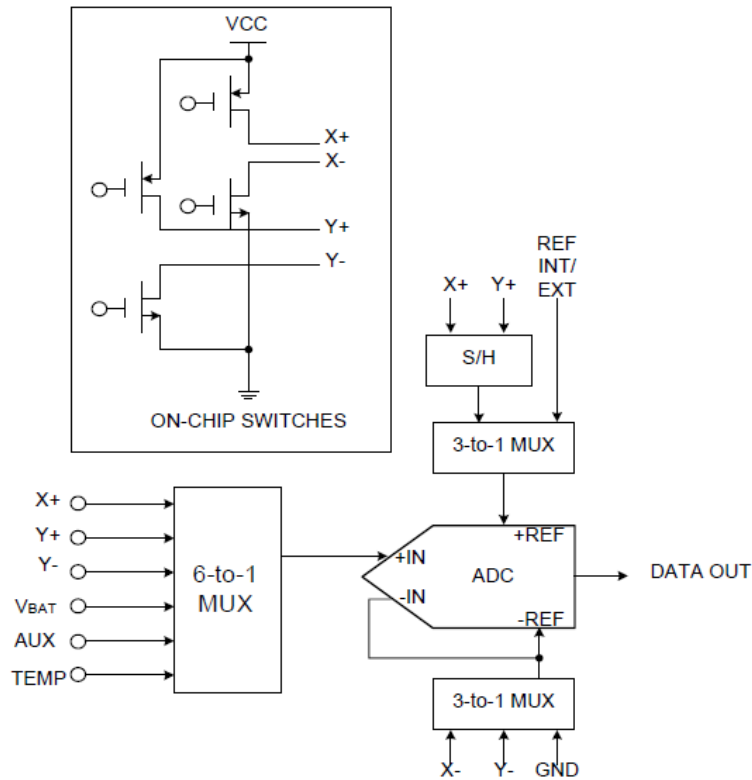


图 4 模拟输入的等效电路

SER / DFR	A2	A1	A0	测量	模拟输入	X 开关	Y 开关	+REF	-REF
1	0	0	0	TEMPO	TEMPO	OFF	OFF	VREF	GND
1	0	0	1	Y-POSITION	X+	OFF	ON	VREF	GND
1	0	1	0	VBAT	VBAT	OFF	OFF	VREF	GND
1	0	1	1	Z1-POSITION	X+	X+ OFF X- ON	Y+ON Y-OFF	VREF	GND
1	1	0	0	Z2-POSITION	Y-	X+ OFF X- ON	Y+ON Y-OFF	VREF	GND
1	1	0	1	X-POSITION	Y+	ON	OFF	VREF	GND
1	1	1	0	AUX	AUX	OFF	OFF	VREF	GND
1	1	1	1	TEMP1	TEMP1	OFF	OFF	VREF	GND
0	0	0	1	Y-POSITION	X+	OFF	ON	Y+	Y-
0	0	1	1	Z1-POSITION	X+	X+ OFF X- ON	Y+ ON Y- OFF	Y+	X-
0	1	0	0	Z2-POSITION	Y-	X+ OFF X- ON	Y+ ON Y- OFF	Y+	X-
0	1	0	1	X-POSITION	Y+	ON	OFF	X+	X-

表 1 通道选择器与控制字的关系

## 内部基准

HA2046 内部集成了 2.5V 输出的基准，控制指令 PD1 控制内部基准电压的工作状态（参考下面表格和下图）。在内部基准电路工作时（PD1=1），电源电压 VCC 不能小于 2.7V。在典型应用中，内部基准电压仅仅应用在单端模式下，作为电池检测、温度检测和附加输入时 A/D 转换器的参考电压。当作为触摸屏应用时，理想的工作模式为差分模式。所以在芯片上电后，PD1 置为 0 以确保内部基准不工作。

## 外部基准

当使用外部基准时，必须置 PD1=0，使内部基准电路不工作。如果外部基准源具有高输出阻抗或带有噪声，需在 REF 管脚加 0.1 $\mu$ F 和 10 $\mu$ F 的滤波电容。

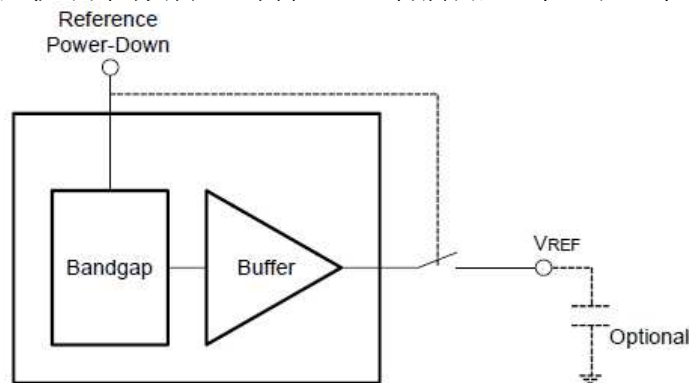


图 5 内部基准电路

## 模式设置

HA2046 有差分 (differential) 和单端 (single-ended) 两种工作模式。这两种模式对 A/D 转换后的精度有一些影响。如果将 A/D 转换器配置为读绝对电压 (单端模式) 方式，那么驱动管 (driver) 电压的下降将导致转换输入数据的错误。而如果配置为差分模式，则可以避免上述错误。

当 SER/DFR=1 时，A/D 转换器工作在单端模式下，图 6 为单端模式下测试 Y 轴坐标的等效电路图。如图所示，X+端连接到 A/D 转换器的输入端，Y+以及 Y-端的驱动管导通。电源+VCC 经过 Y 轴到地形成通路，A/D 转换器输入端通过采集 Y 轴的电阻分压值（对应 Y 轴的坐标），经过 A/D 转换成数字信号由 DOUT 端输出。在单端的工作模式下，A/D 转换器的参考电压为+VCC，即-REF 端接地，+REF 端接+VCC。在进行电池检测、温度检测以及附加功能时，+REF 端可以连接

内部基准的输出端，或外部基准的输入端（详细的信息参考表 5）。单端工作模式的优点在于，当检测触摸屏坐标的时候，X+、X-、Y+、Y- 端的驱动管在 A/D 转换器采样完成后自动断开，可以降低功耗。但是驱动管不是理想的开关管，具有导通电阻，而且屏的电阻会随着触摸屏的材料以及尺寸的变化而变化。一般的屏电阻在 200Ω 到 900Ω 之间，HA2046 驱动管的导通电阻近似 5Ω。由于导通电阻的存在，使得 A/D 转换器的输出带入额外的飘移误差和增益误差。更严重的一点是，这些误差不仅会随着触摸屏屏材料以及尺寸变化，还会随着工作温度以及电源电压的变化而变化。这就要求在触摸屏应用时，需加入校准程序对数据进行处理。

在差分模式中，加入了采样保持电路，使得 HA2046 可以同时满足低功耗和高精度的要求。差分模式的操作类似于单端模式。加在触摸屏上的电压将成为 A/D 转换器的参考电压，提供一个度量比操作。这意味着如果加在触摸屏上的电压发生变化（由于电源、驱动电阻、温度或触摸屏电子等原因），A/D 转换器的度量比操作将对这种变化进行补偿。在 HA2046 中，X+/Y+ 和 X-/Y- 端驱动管的导通电阻近似相等。如图 7 所示，在 A/D 转换器采样阶段，采样保持电路开始工作，通过采样电源电压 +VCC 减去 Y+ 端 PMOS 管的两倍压差的电压，作为 A/D 转换器的参考电压。并在采样结束后，驱动管自动断开以降低功耗，参考电压由采样保持电路维持其稳定输出。

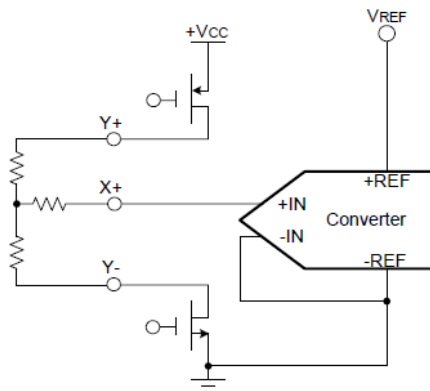


图 6 单端模式 (SER/DFR 为高)

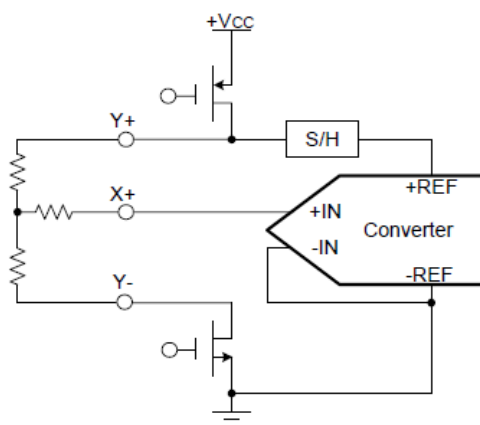


图 7 差分模式 (SER/DFR 为低)

## 触摸屏充电时间

在触摸屏的两种模式中，HA2046 只有 3 个时钟周期可以从触摸屏上获取（采样）输入模拟电压。因此，为了使 HA2046 可以获取正确的电压，输入电压必须在 3 个时钟周期的时间范围内设置好。但是由于触摸屏顶层和底层之间寄生电容的存在（触摸屏的尺寸越大则寄生电容值也越大），使得在打开驱动管后，触摸屏的电压不能够快速升高到最终值，即触摸屏的充电时间太长。在时钟频率较快，触摸屏寄生电容较大的情况下，3 个时钟周期的采样时间可能不能使输入的模拟电压完全设置好，从而得不到正确的转换数据。解决的办法为，当采样时间不能满足触摸屏的充电时间时，可以用相对较慢的时钟扩展获取时间（3 个周期的采样时间），使得触摸屏电压可以有足够的时间稳定下来。

## 温度检测

在一些具体的应用中，例如电池充电，用户希望能够知道芯片的工作温度。HA2046 利用二极管 pn 结的正向电压在电流为定值时与温度成反比例的原理，加入了检测温度的功能。如图 8 所示为温度检测的等效电路。HA2046 有两种方法测试芯片的工作温度。第一种方法，用户必须首先知道在温度  $T=25^{\circ}\text{C}$  下，二极管 pn 结  $V_{BE}$  的电压值，设计人员需要在芯片使用前，通过测试得到具体的电压值。在二极管工作电流一定的情况向， $V_{BE}$  的温度特性为  $-2.1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ，通过测试工作时的  $V_{BE}$ ，并与  $25^{\circ}\text{C}$  下的  $V_{BE}$  对比即可求出芯片的工作温度。该方法在 12bit 模式下的分辨率为  $0.3^{\circ}\text{C}/\text{LSB}$ ，但缺点就是必须先测量出室温下的  $V_{BE}$  值，作为参考值。

第二种方法则不需要知道室温下的  $V_{BE}$ 。该方法利用二极管在不同的电流密度下，其基极-发射极  $V_{BE}$  的差值与绝对温度成正比例，其电流与电压之间的关系为

$$\Delta V_{BE} = \frac{kT}{q} \times \ln(N)$$

其中  $k$  是玻尔兹曼常数， $q$  是电子电量， $T$  是绝对温度，电流密度的比值  $N=89$ 。这种方法相对于第一种方法能够提高精度，但也相应的降低了分辨率，该方法的分辨率为  $1.6^{\circ}\text{C}/\text{LSB}$ 。温度的计算公式为：

$$^{\circ}\text{k} = q \times \frac{\Delta V_{BE}}{k \times \ln(N)}$$

$$^{\circ}\text{C} = 2.586 \times 10^3 \times \Delta V_{BE} - 273^{\circ}\text{k}$$

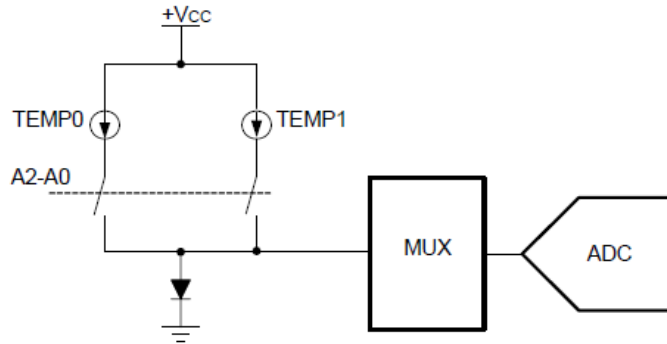


图 8 温度检测的等效电路图

备注：二极管的偏置电流只在 3 个采样时钟周期内打开，加上温度检测的功能并不是经常使用，所以不会对芯片的系统功耗产生太大的影响。

## 电池检测

如图 9 所示，HA2046 还增加了一个辅助的工作，即可以对电池电压进行检测，检测电池电压的范围为 0V 到 6V。电池电压经过芯片内部的电阻分压，传到 A/D 转换器输入端的电压为实际电池电压的四分之一。为了降低芯片功耗，电阻分压只在采样阶段工作。

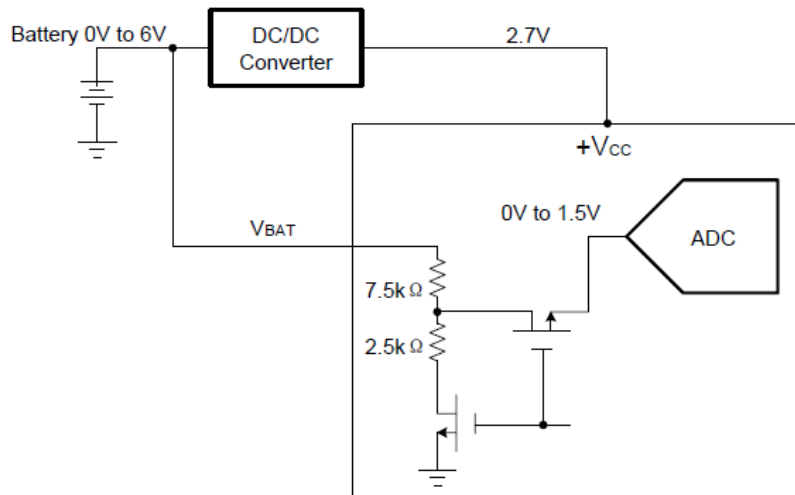


图 9 电池检测的等效电路图

## 压力检测

HA2046 还提供了检测压力大小的功能，通过检测接触屏的压力大小，来判断笔或者手指是否真正接触了触摸屏。一般来说，测试压力的大小不需要太高的精度，8bit 分辨率的工作模式就满足要求（在这里，我们还是以 12bit 的工作模式来推导计算公式）。HA2046 支持两种测量压力大小的方法。第一种方法需要知道 X 轴方向的屏电阻值，如图 10 所示，通过测试 X 轴坐标，以及 Z1、Z2 坐标来计算压力值，压力的大小由电阻值来量化表示，计算公式如下：

$$R_{\text{TOUCH}} = R_{X\text{-Plate}} \frac{X\text{-Position}}{4096} \left( \frac{Z_2}{Z_1} - 1 \right)$$

第二种方法需要知道触摸屏 X、Y 轴的电阻值，通过测量 X、Y、Z1 的坐标求出压力的大小，计算公式如下：

$$R_{\text{TOUCH}} = R_{X\text{-Plate}} \frac{X\text{-Position}}{4096} \left( \frac{4096}{Z_1} - 1 \right) - R_{Y\text{-Plate}} \left( 1 - \frac{Y\text{-Position}}{4096} \right)$$

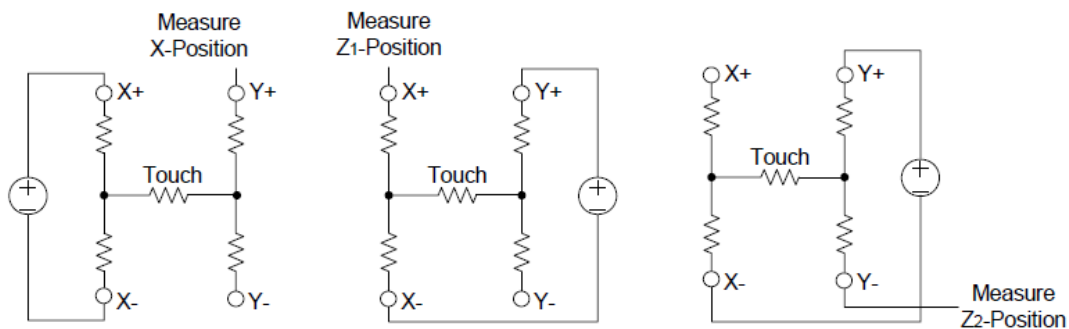


图 10 压力检测的等效电路图

## PENIRQ 中断响应

PENIRQ 中断引脚的主要作用是让设计者可以完全控制 HA2046 的低功耗工作模式。图 11 所示是其等效电路图。当电源加入系统且转换器被设置 (PD0=0) 之后，器件进入低功耗模式。详细的信息参照图 12 以及表 2、表 5。

区间		PENIRQ 描述
Region1	PD0=0	不管前一次的模拟输入为什么信号，当触摸屏没有被接触时，PENIRQ 为高，反之 PENIRQ 为低。
	PD0=1	PENIRQ 一直为高。
Region2	PD0=0	不管前一次的模拟输入为什么信号，当触摸屏没有被接触时，PENIRQ 为高，反之 PENIRQ 为低。
	PD0=1	不管触摸屏是否被接触，当A/D转换器前一次处理的是X、Y、Z坐标时，PENIRQ输出为低，当A/D转换器前一次处理的信号为温度、电池或附加功能时，PENIRQ输出为高。
Region3	PD0=0	不管触摸屏是否被接触，当A/D转换器处理X、Y、Z坐标时，PENIRQ输出为低，当A/D转换器处理温度、电池或辅助功能时，PENIRQ输出为高。
	PD0=1	不管触摸屏是否被接触，当A/D转换器前一次处理的是X、Y、Z坐标时，PENIRQ输出为低，当A/D转换器前一次处理的信号为温度、电池或附加功能时，PENIRQ输出为高。
Region4	PD0=0	不管前一次的模拟输入为什么信号，当触摸屏没有被接触时，PENIRQ 为高，反之 PENIRQ 为低。
	PD0=1	不管触摸屏是否被接触，当A/D转换器前一次处理的是X、Y、Z坐标时，PENIRQ输出为低，当A/D转换器前一次处理的信号为温度、电池或附加功能时，PENIRQ输出为高。

表 2 PENIRQ 描述

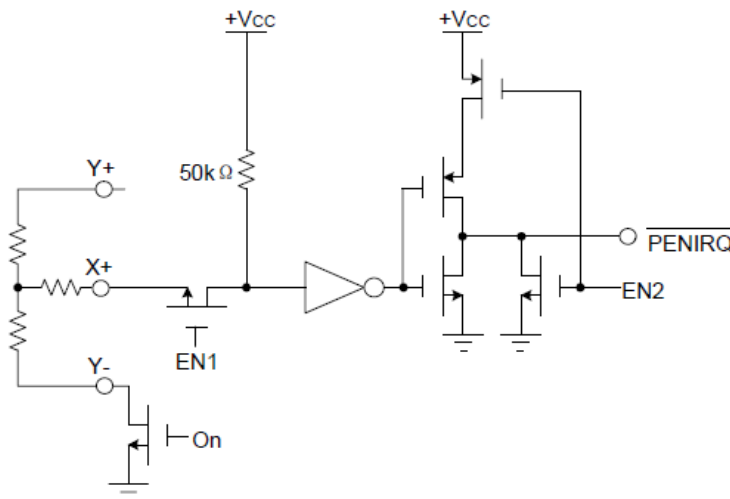


图 11 PENIRQ 等效电路图

## 控制字及数据传输格式

HA2046 的控制字如表 3 所示，其中 S 为数据传输起始标志位，该位必为“1”。A2~A0 进行通道选择（见表 1）。MODE 用来选择 A/D 转换的精度，“1”选择 8 位，“0”选择 12 位。**SER/DFR** 选择参考电压的输入模式（见表 1）。PD1 为控制内部基准的工作：PD1=1，内部基准正常工作；PD1=0，内部基准停止工作。PD0 选择省电模式：PD0=1，芯片不进入低功耗工作模式；PD0=0，芯片进入低功耗工作模式（详细描述见表 5）。



完成一次电极电压切换和 A/D 转换, 需要先通过串口往 HA2046 发送控制字, 转换完成后再通过串口读出电压转换值。标准的一次转换需要 24 个时钟周期, 如图 12 所示。由于串口支持双向同时进行传送, 并且在一次读数与下一次发送控制字之间可以重叠, 所以转换速率可以提高到每次 16 个时钟周期, 如图 13 所示。采用 16 个时钟周期可以加快采样率, 但会提高软件设计的难度。如果想要得到更高的采样率且条件允许, 即 CPU 可以产生 15 个 CLK 的话(比如 FPGAs 和 ASICs), 转换速率还可以提高到每次 15 个时钟周期, 如图 15 所示。

Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
S	A2	A1	A0	MODE	SER/DFR	PD1	PDO

表 3 CP2056 控制字

位	名称	描述
7	S	启动控制字, 为控制字 DIN 的第一个 bit, 高有效。
6-4	A2-A0	通道选择控制字, 与 SER /DFR 控制字一起控制多通道选择器的工作模式。(参考表 1)
3	MODE	控制 A/D 转换器转换精度, 低为 12bit, 高为 8bit。
2	SER /DFR	控制单端、差分的工作模式。高为单端模式, 低为差分模式。
1-0	PD1-PDO	低功耗控制字, 详细地描述参考表 5。

表 4 控制字的描述

PD1	PD0	描述
0	0	内部基准不工作。当一次转换周期完成后, A/D 转换器没有接收到下一次的转换指令时, A/D 转换器停止工作, 芯片进入低功耗的工作模式。直到接收下一次的控制字, 才开始进入另一个转换周期。
0	1	内部基准不工作。芯片不进入低功耗的工作模式, 不管有没有接收下一次的控制指令, A/D 转换器一直工作。
1	0	内部基准工作, 芯片进入低功耗的工作模式。
1	1	内部基准工作, 芯片不进入低功耗的工作模式。

表 5 内部基准以及低功耗工作模式



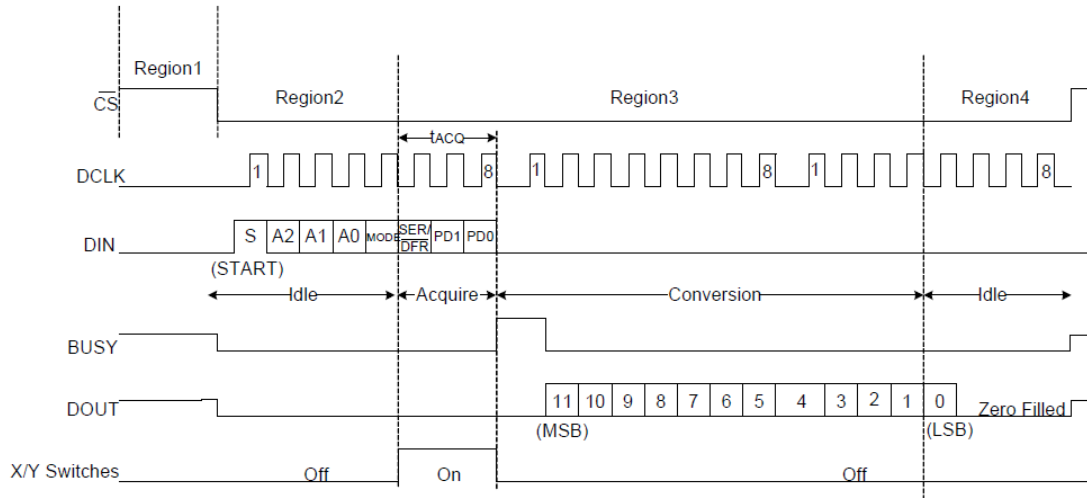


图 12 24 个时钟周期的 A/D 转换时序图

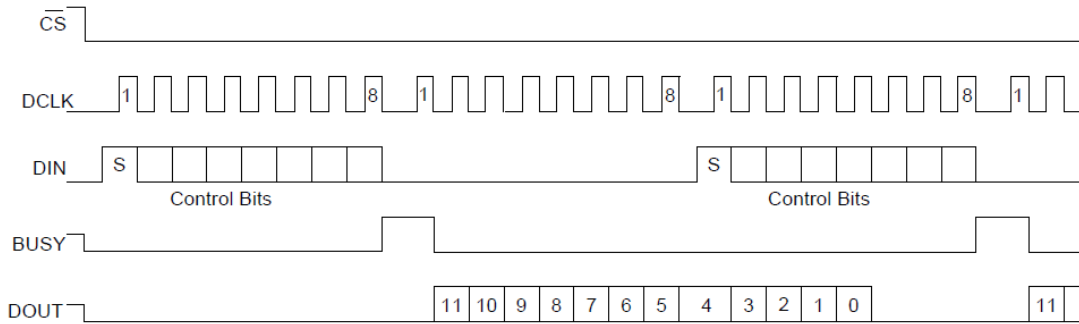


图 13 16 个时钟周期的 A/D 转换时序图

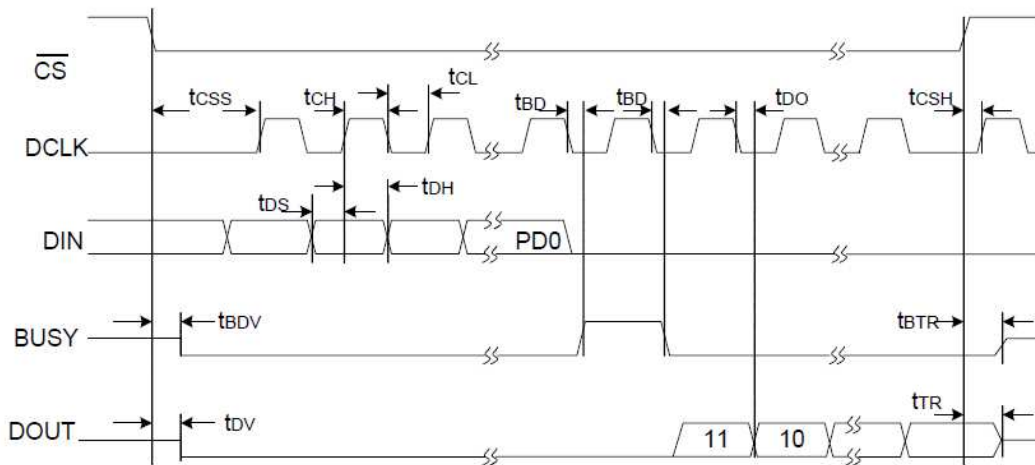


图 14 详细的时序图

符号	描述	+V <sub>CC</sub> =2.7V, IOVDD=1.5V, LOAD=50pF			单位
		最小	典型	最大	
t <sub>ACQ</sub>	采样时间	2			μs
t <sub>DS</sub>	DIN 在 DCLK 的上升延到来前有效时间	100			ns
t <sub>DH</sub>	DIN 在 DCLK 上升延到来后的保持时间	50			ns
t <sub>DO</sub>	DOUT 在 DCLK 下降延到来后的有效时间			200	ns
t <sub>DV</sub>	DOUT 相对于 CS 下降延的开启时间			200	ns
t <sub>TR</sub>	DOUT 相对于 CS 上升延的关断时间			200	ns
t <sub>CSS</sub>	CS 下降延到第一个 DCLK 上升延的延时	100			ns
t <sub>CSH</sub>	DCLK 无效时间相对于 CS 上升延的时间	10			ns
t <sub>CH</sub>	DCLK 高电平时间	200			ns
t <sub>CL</sub>	DCLK 低电平时间	200			ns
t <sub>BD</sub>	BUSY 相对于 DCLK 下降延的时间			200	ns
t <sub>BDV</sub>	BUSY 相对于 CS 下降延的开启时间			200	ns
t <sub>BTR</sub>	BUSY 相对于 CS 上升延的关断时间			200	ns

表 6 时序的电特性

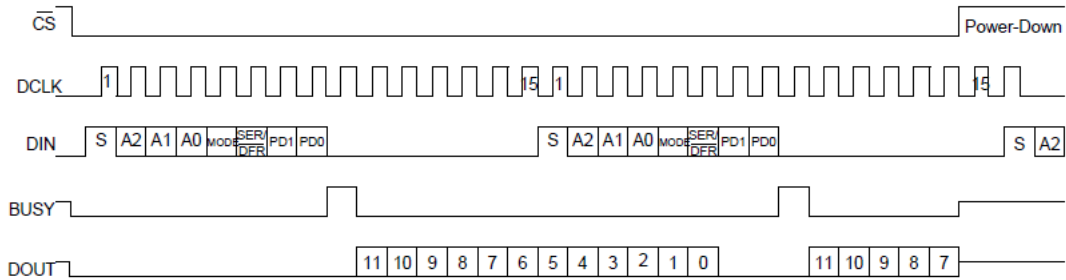


图 15 15 个时钟周期的 A/D 转换时序图

## 参考应用线路图

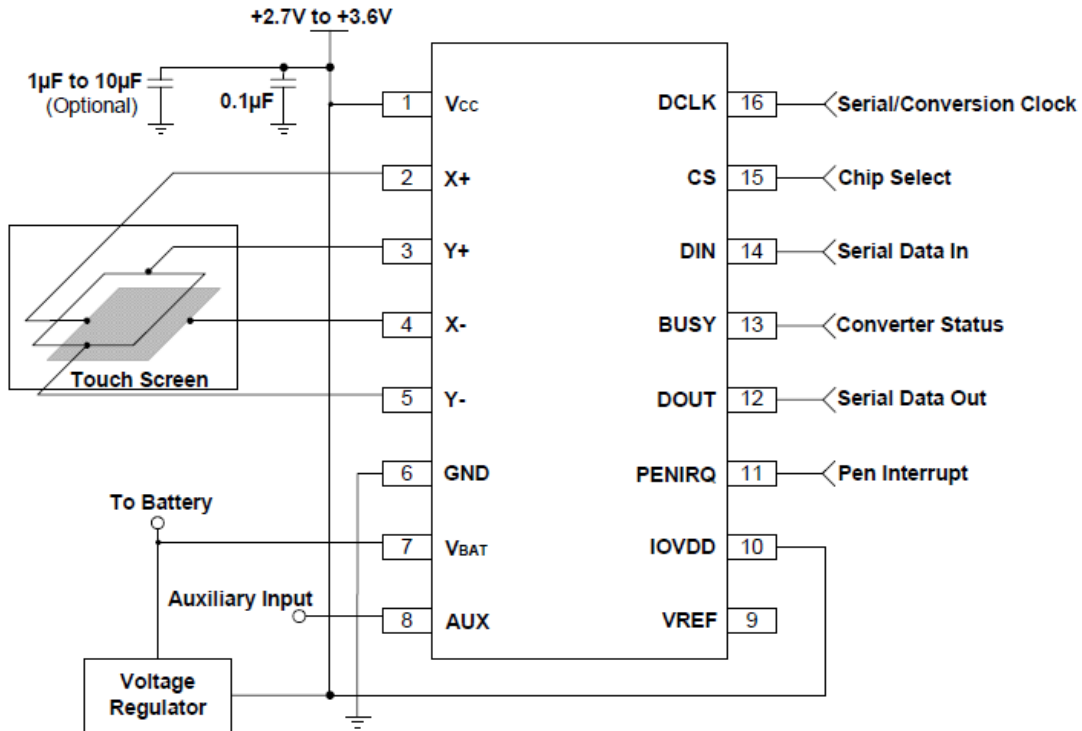
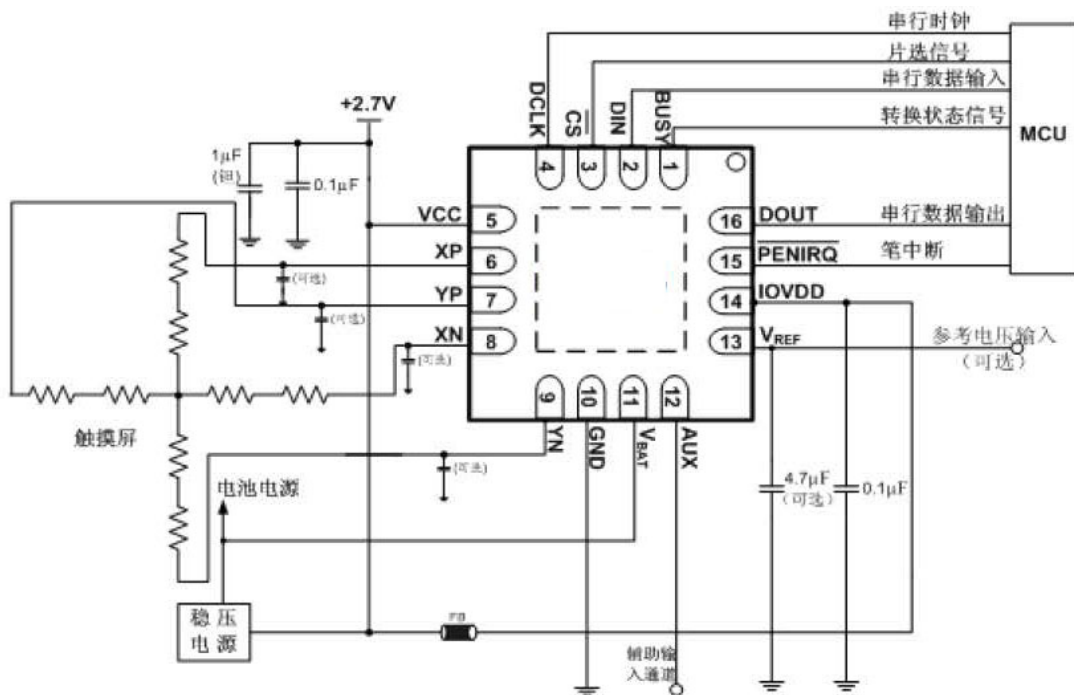
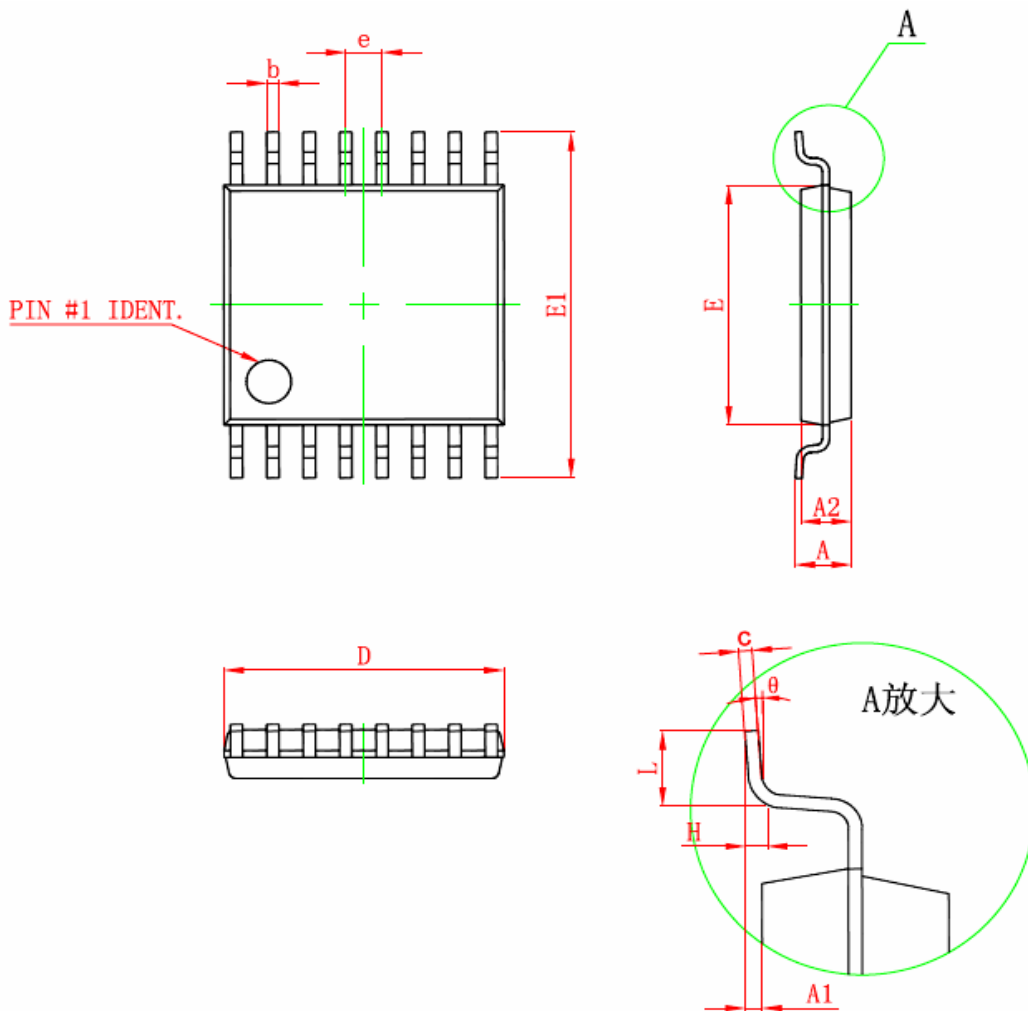


图 3 典型应用



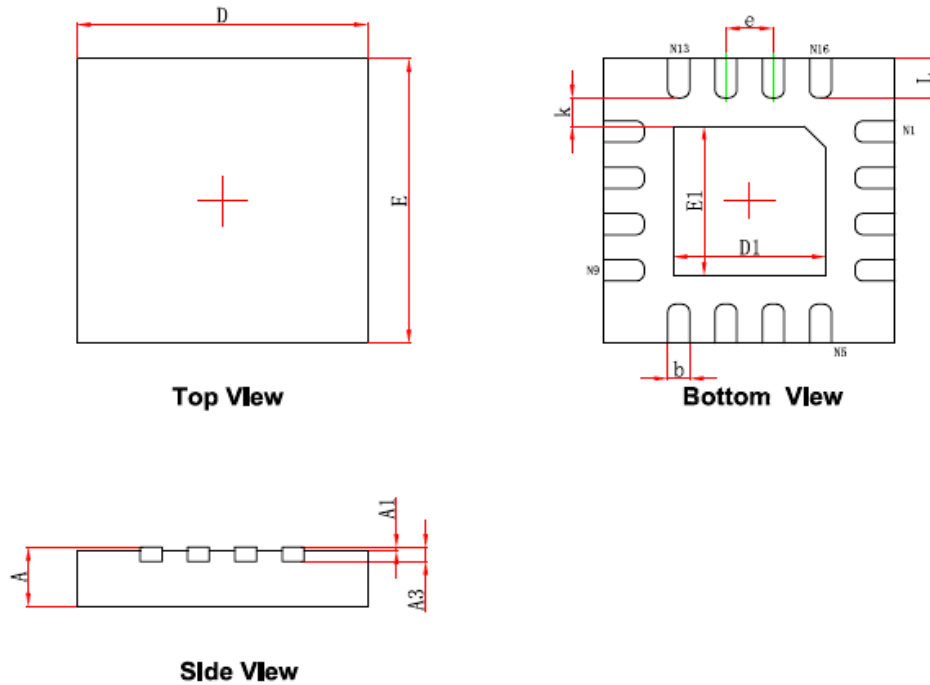
此电路仅供参考。

## 封装尺寸



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
D	4.900	5.100	0.193	0.201
E	4.300	4.500	0.169	0.177
b	0.190	0.300	0.007	0.012
c	0.090	0.200	0.004	0.008
E1	6.250	6.550	0.246	0.258
A		1.100		0.043
A2	0.800	1.000	0.031	0.039
A1	0.020	0.150	0.001	0.006
e	0.65 (BSC)		0.026 (BSC)	
L	0.500	0.700	0.020	0.028
H	0.25 (TYP)		0.01 (TYP)	
$\theta$	1°	7°	1°	7°

## QFN-16 封装



Symbol	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	0.700/0.800	0.800/0.900	0.028/0.031	0.031/0.035
A1	0.000	0.050	0.000	0.002
A3	0.203REF.		0.008REF.	
D	3.900	4.100	0.154	0.161
E	3.900	4.100	0.154	0.161
D1	2.000	2.200	0.079	0.087
E1	2.000	2.200	0.079	0.087
k	0.200MIN.		0.008MIN.	
b	0.250	0.350	0.010	0.014
e	0.650TYP.		0.026TYP.	
L	0.450	0.650	0.018	0.026

图1 QFN-16 封装尺寸