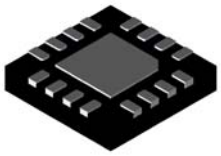
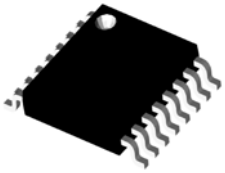
超低功耗 4 线电阻式触摸屏控制器

特征

- 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
- 3 线的串行接口
- 比值转换
- 压力检测
- 直接电池电压检测（0V 至 6V)
- 片上温度检测
- 增强的触摸屏接口 ESD 保护等级：8KV(HBM)
- 采用 TSSOP16、QFN16 封装，符合 RoHS 规范



QFN16 封装
4mm X 4mm
-40℃~85℃



TSSOP16 封装
-40℃~85℃

应用

- 蜂窝电话
- PDA 及其它手持设备
- 销售终端机（POS）
- 触摸屏监视器

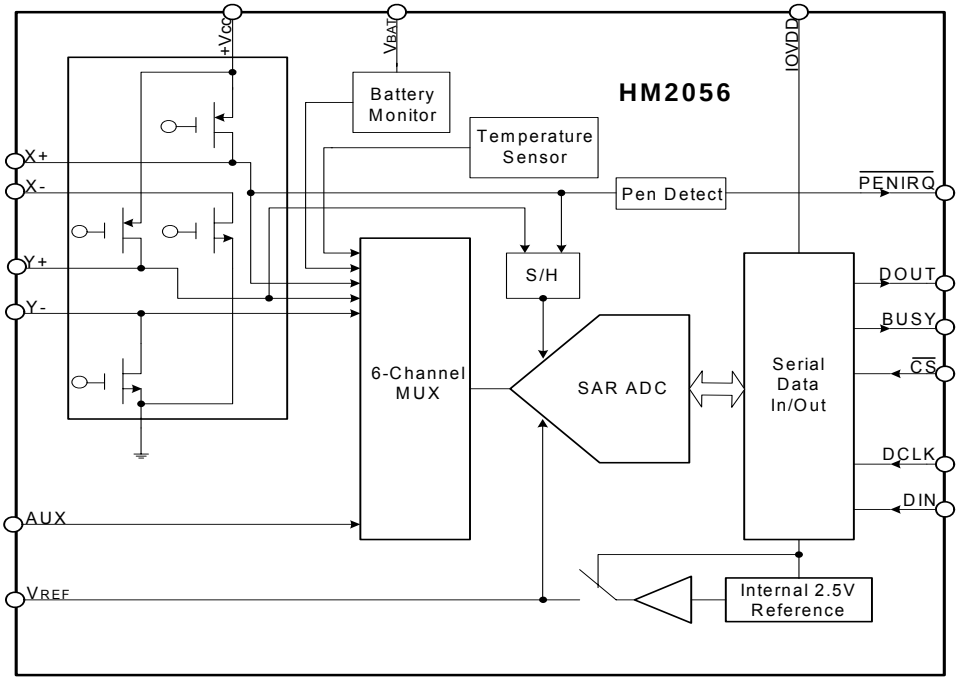


图 1　结构框图

概要

HM2056 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。HM2056 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，HM2056 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,HM2056 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 750μW。

HM2056 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%。HM2056 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。HM2056 采用 16 引脚的 QFN 和 TSSOP 封装，额定的工作范围为-40℃至 85℃。

引脚结构

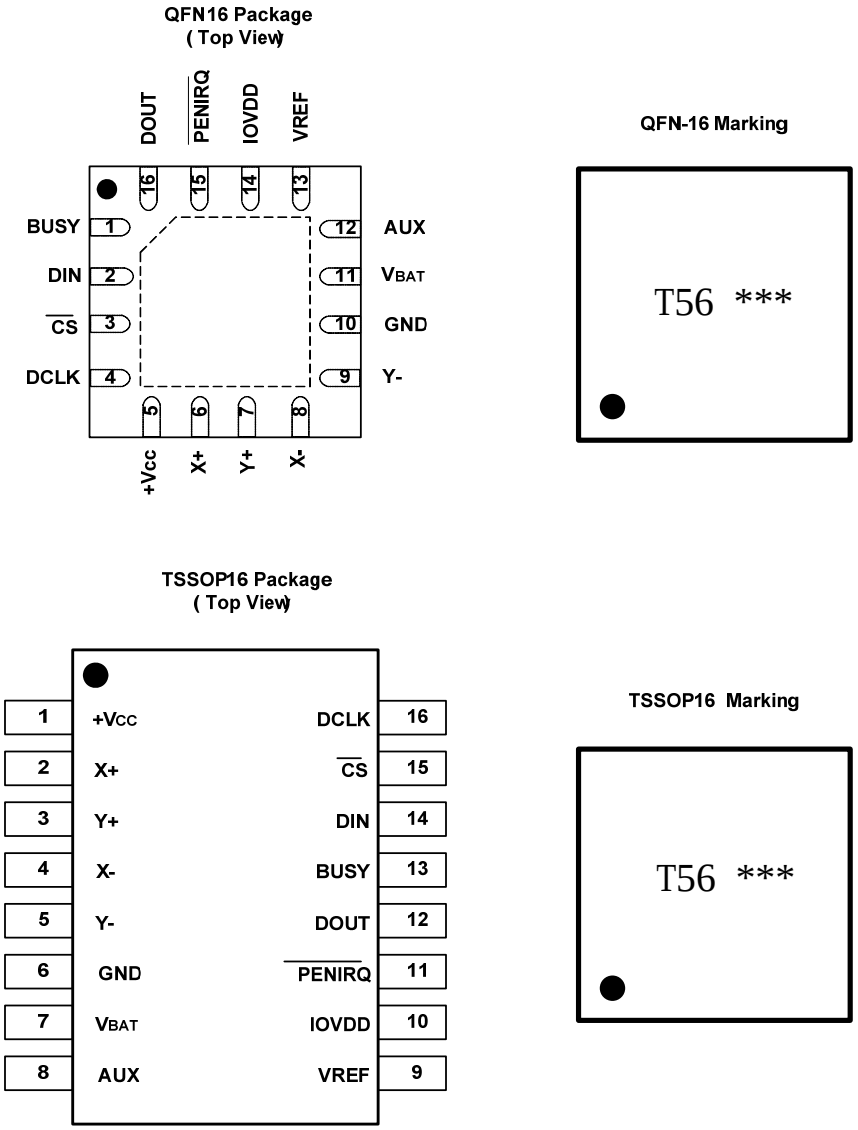


图 2　QFN16/TSSOP16 引脚分布

引脚定义

TSSOP 管脚	QFN 管脚	名称	描述
1	5	$+V_{CC}$	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	V_{BAT}	电池检测输入
8	12	AUX	附加输入
9	13	V_{REF}	参考电压的输入/输出
10	14	IOVDD	数字 I/O 电源
11	15	$\overline{PENIRQ}$	中断响应
12	16	DOUT	串行数据输出端。当 $\overline{CS}$ 为高时，输出高阻
13	1	BUSY	Busy 输出端。当 $\overline{CS}$ 为高时，输出高阻
14	2	DIN	串行数据输入端。当 $\overline{CS}$ 为低，在 DCLK 的下降沿，数据锁存。
15	3	$\overline{CS}$	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。

产品信息

产品型号	温度范围	封装	RoHS	印章	封装类型
HM2056QN	-40℃ to +85℃	QFN16 4X4	YES	T56 ***	3000/每卷带
HM2056TS	-40℃ to +85℃	TSSOP16	YES	T56 ***	3000/每卷带

极限的工作范围

参数	描述
$+V_{CC}$ 和 IOVDD 到地	-0.3V 至 3.6 V
模拟输入到地	-0.3V 至 V_{CC}+0.3 V(除 V_{BAT} 外)
数字输入到地	-0.3V 至 IOVDD+ 0.3 V
功耗	250 mW
最大的结温	150℃
储存的温度范围	-65℃ to 150℃
最高温度（焊接，10 秒）	+260℃
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

电气特性

测试条件: $+V_{CC}$ =IOVDD= +2.7V, f_{SAMPLE} = 125kHz, f_{CLK} = 16 x f_{SAMPLE} = 2MHz, T_A = −40℃至+85℃,V_{REF} = 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
模拟输入					
全面的输入范围	正端输入—负端输入	0		V_{REF}	V
输入范围	正端输入	-0.2		$+V_{CC}$+0.2	V
	负端输入	-0.2		0.2	V
电容			25		pF
关机电流			0.1		μA
系统性能					
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_{REF}			±4	LSB
电源抑制比			70		dB
动态采样					
转换时间				12	CLK
采样时间		3			CLK
转换率				125	kHz
开关驱动管					
等效电阻	Y+, X+		6		Ω
	Y−, X−		6		Ω
驱动电流(1)	持续 100ms			50	mA
基准输出					
内部基准电压		2.45	2.50	2.55	V
内部基准漂移			30		ppm/°C
静态电流			470		μA
关机电流			1		μA
基准输入					
范围		1.0		V_{CC}	V
输入阻抗			1		GΩ
电池检测					
输入电压范围		0.5		6.0	V
输入阻抗	采样电池		10		kΩ
	电池检测关闭		1		GΩ
精度	V_{BAT} = 0.5V to 5.5V，外部 V_{REF} = 2.5V,	-2		+2	%

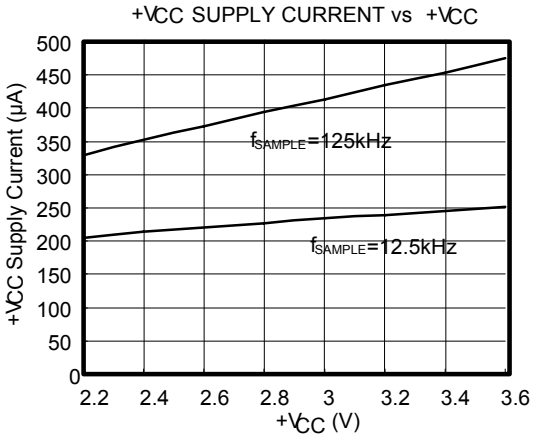
	V_{BAT} = 0.5V to 5.5V，内部基准	-3		+3	%
温度检测					
温度范围		-40		85	°C
分辨率	TEMP1(2)		1.6		°C
	TEMP0		0.3		°C
精度	TEMP1(2)		±2		°C
	TEMP0		±3		°C
电源需求					
$+V_{CC}$	典型应用	2.7		3.6	V
	工作范围	2.2		3.6	V
IOVDD		1.5		$+V_{CC}$	V
静态电流	内部基准关闭		380		μA
	内部基准打开		850		μA
	f_{SAMPLE} = 12.5kHz		220		μA
	关闭模式			3	μA
功耗				1.8	mW

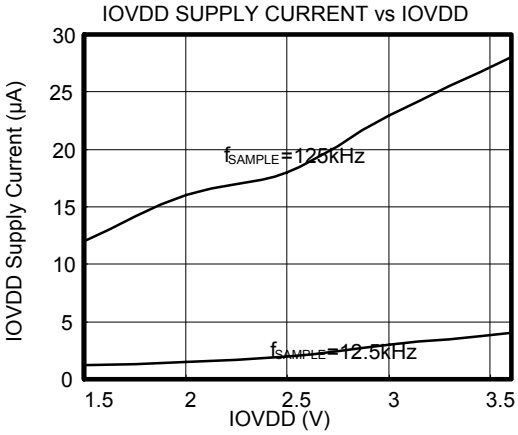
(1) 设计值，电流超过 50mA 可能会导致芯片退化。

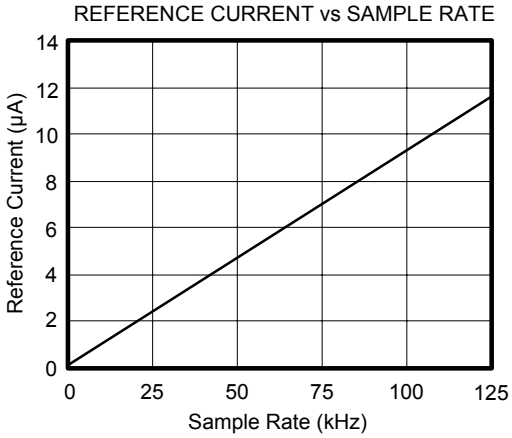
(2) 计算 TEMP0 与 TEMP1 的之间的差值，无须校准。

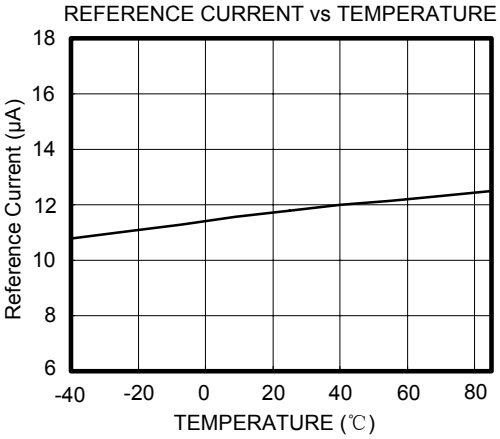
典型的特征曲线

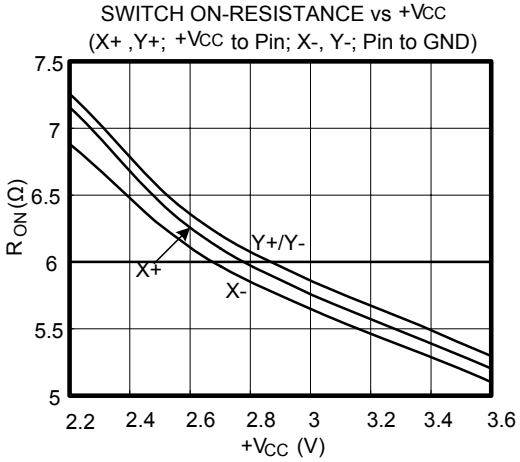
在 T_A=+25℃，$+V_{CC}$=+2.7V，IOVDD=+1.8V，V_{REF}=2.5V．12-bit 模式下,PD0=0，f_{SAMPLE}=125kHz，f_{CLK}=16 x f_{SAMPLE} = 2MHz，除非有特殊说明.

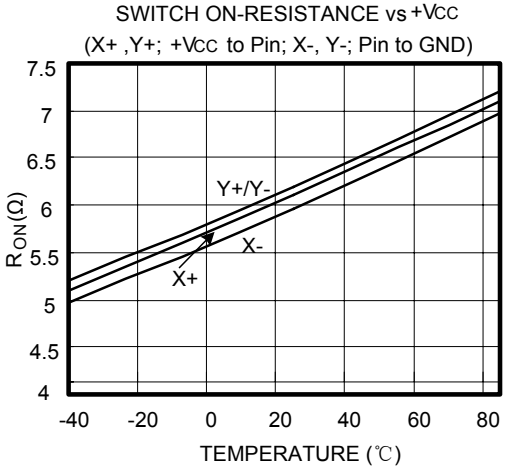






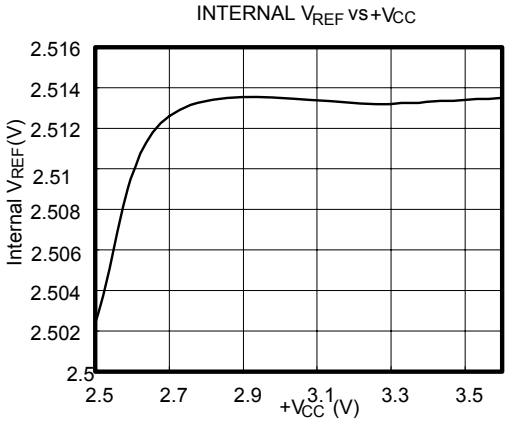


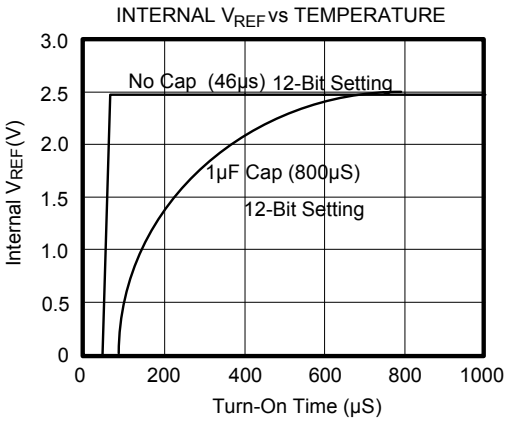


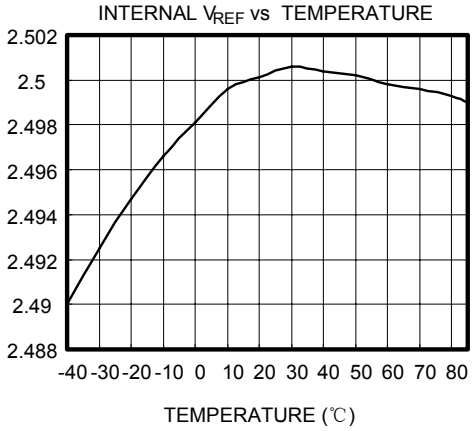


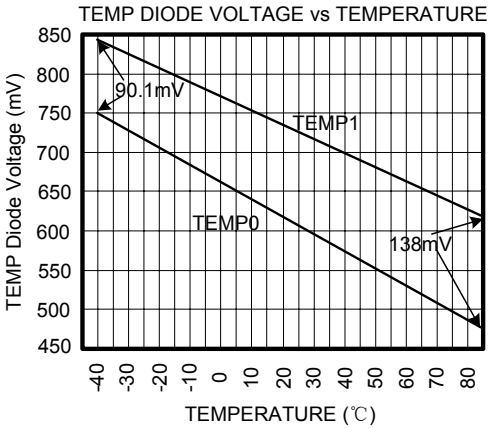
典型的特征曲线

在 T_A=+25℃, +V_{CC}=+2.7V, IOVDD=+1.8V, VREF=2.5V. 12-bit 模式下,PD0=0, f_{SAMPLE}=125kHz, f_{CLK}=16 x f_{SAMPLE} = 2MHz, 除非有特殊说明.









工作原理

HM2056 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的原理，内部集成了采样保持电路。图 3 为HM2056 在触摸屏应用中的连接示意图。HM2056 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HM2056 中的多通道选择器连接到 A/D 转换器的输入端。

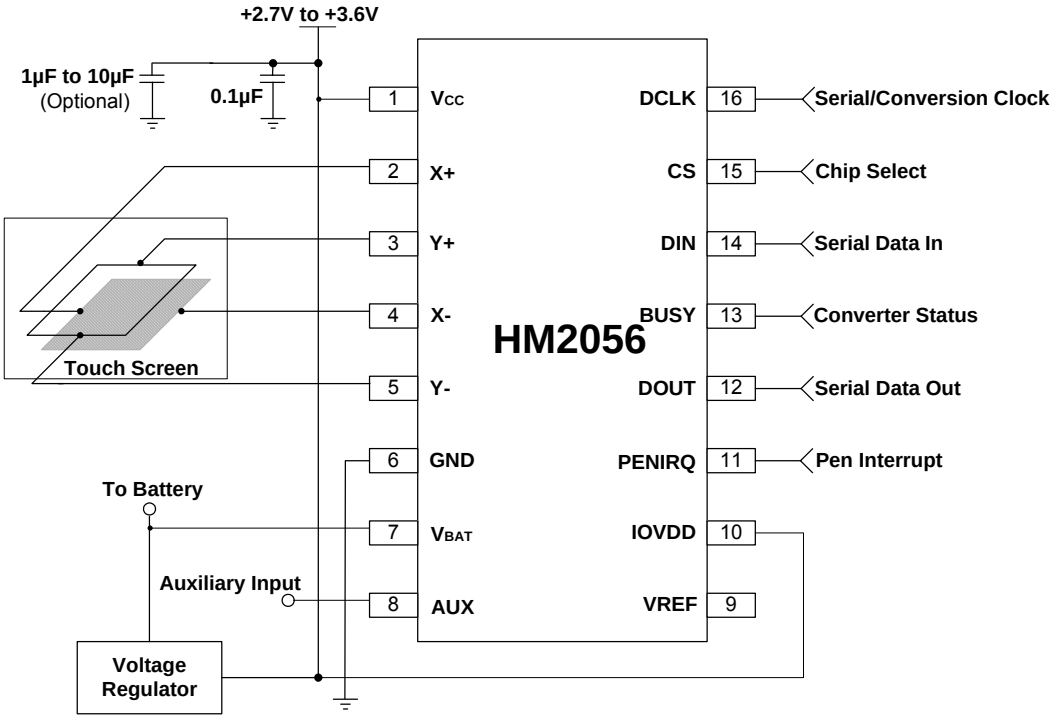


图 3 HM2056 的典型应用

模拟输入

图 4 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 / $\overline{DFR}$ 与HM2056 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，HM2056 默认采用 3 个时钟周期作为输入信号的采样时间。

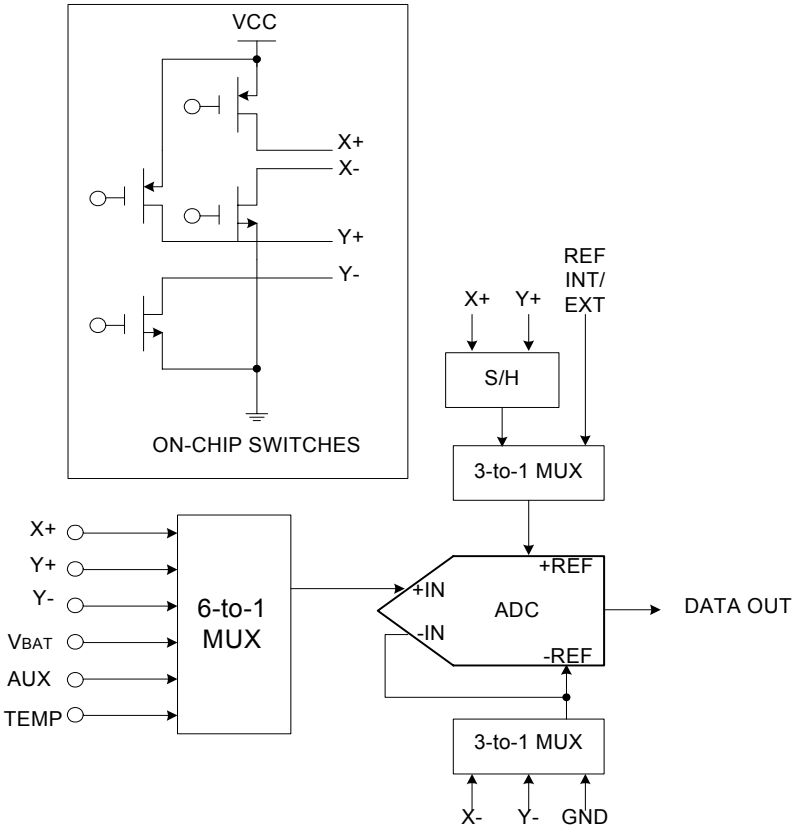


图 4　模拟输入的等效电路

SER / $\overline{DFR}$	A2	A1	A0	测量	模拟输入	X 开关	Y 开关	+REF	-REF
1	0	0	0	TEMP0	TEMP0	OFF	OFF	V_{REF}	GND
1	0	0	1	Y-POSITION	X+	OFF	ON	V_{REF}	GND
1	0	1	0	VBAT	VBAT	OFF	OFF	V_{REF}	GND
1	0	1	1	Z1-POSITION	X+	X+ OFF X- ON	Y+ ON Y- OFF	V_{REF}	GND
1	1	0	0	Z2-POSITION	Y-	X+ OFF X- ON	Y+ ON Y- OFF	V_{REF}	GND
1	1	0	1	X-POSITION	Y+	ON	OFF	V_{REF}	GND
1	1	1	0	AUX	AUX	OFF	OFF	V_{REF}	GND
1	1	1	1	TEMP1	TEMP1	OFF	OFF	V_{REF}	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

HM2056 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（参考表 5 和图 5）。在内部基准电路工作时（PD1=1），电源电压 V_{CC} 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 0.1μF 和 10μF 的滤波电容。

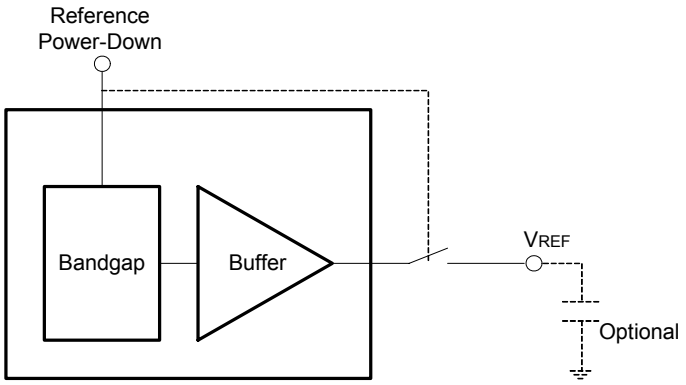


图 5　内部基准电路

模式设置

HM2056 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/$\overline{DFR}$=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+V_{CC} 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+V_{CC}，即 –REF 端接地，+REF 端接+V_{CC}。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，HM2056 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HM2056 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HM2056 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+V_{CC}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。

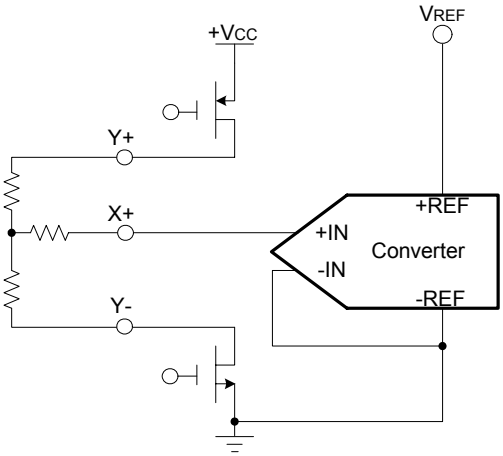


图 6　单端模式（SER / $\overline{DFR}$ 为高)

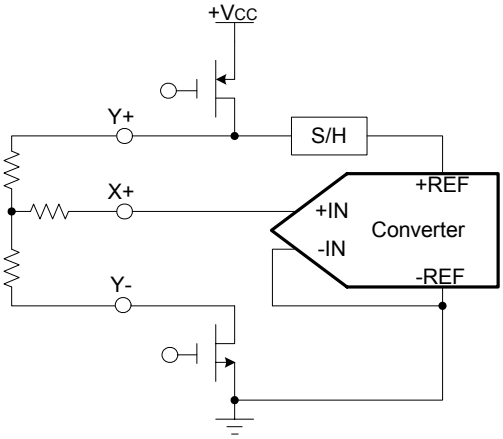


图 7　差分模式（SER / $\overline{DFR}$ 为低)

触摸屏充电时间

在触摸屏的两种模式中，HM2056 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HM2056 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。HM2056 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。HM2056 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℃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-2.1mv/℃，通过测试工作时的 V_{BE}，并与 25℃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℃/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-反射极 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℃/LSB。温度的计算公式为：

$$^{0}k = q \times \frac{\Delta V_{BE}}{k \times \ln(N)}$$

$$^{0}C = 2.586 \times 10^{3} \times \Delta V_{BE} - 273^{0}k$$

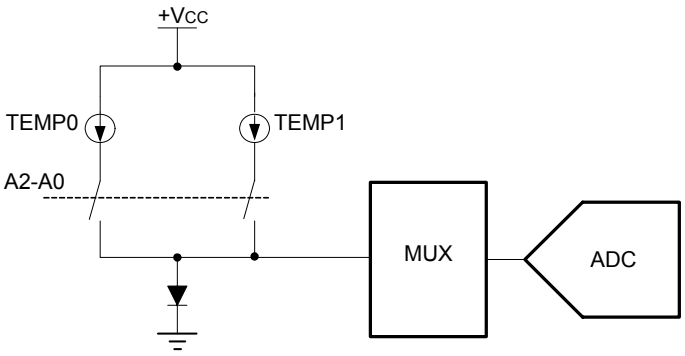


图 8　温度检测的等效电路图

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，HM2056 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。

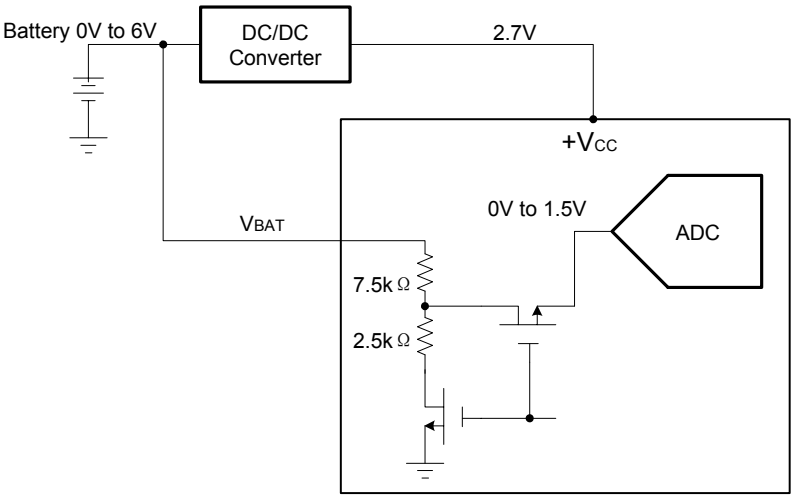


图 9　电池检测的等效电路图

压力检测

HM2056 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）。HM2056 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：

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

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：

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

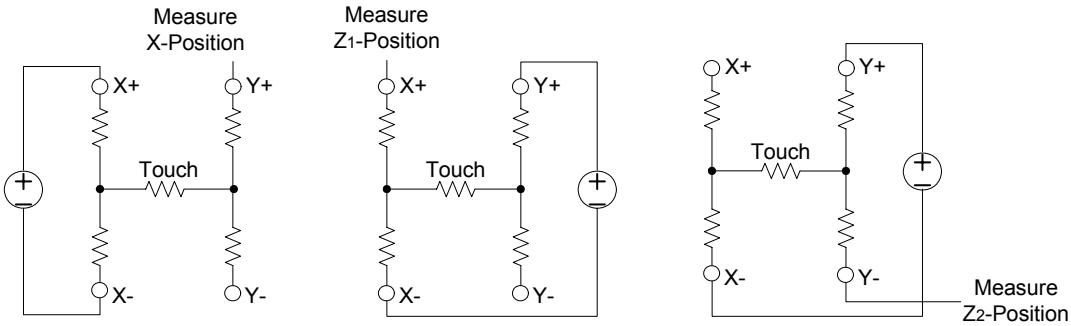


图 10　压力检测的等效电路图

$\overline{\text{PENIRQ}}$ 中断响应

$\overline{\text{PENIRQ}}$ 中断引脚的主要作用是让设计者可以完全控制 HM2056 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		$\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 为高，反之 $\overline{\text{PENIRQ}}$ 为低。
	PD0=1	$\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 为高，反之 $\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 输出为低，当 A/D 转换器处理温度、电池或辅助功能时，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 为高，反之 $\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 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，$\overline{\text{PENIRQ}}$ 输出为高。

表 2　$\overline{\text{PENIRQ}}$ 描述

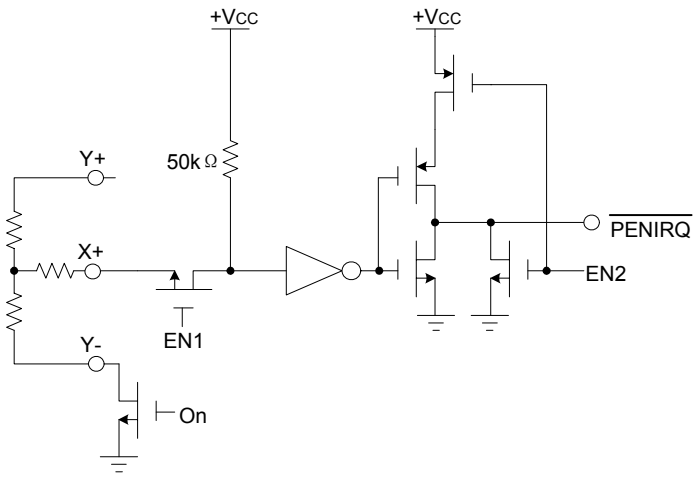


图 11　$\overline{\text{PENIRQ}}$ 等效电路图

控制字及数据传输格式

HM2056 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 / $\overline{\text{DFR}}$** 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 HM2056 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 / $\overline{\text{DFR}}$	PD1	PD0

表 3 HM2056 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 / $\overline{\text{DFR}}$ 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 / $\overline{\text{DFR}}$	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-PD0	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，芯片不进人低功耗的工作模式。

表 5　内部基准以及低功耗工作模式

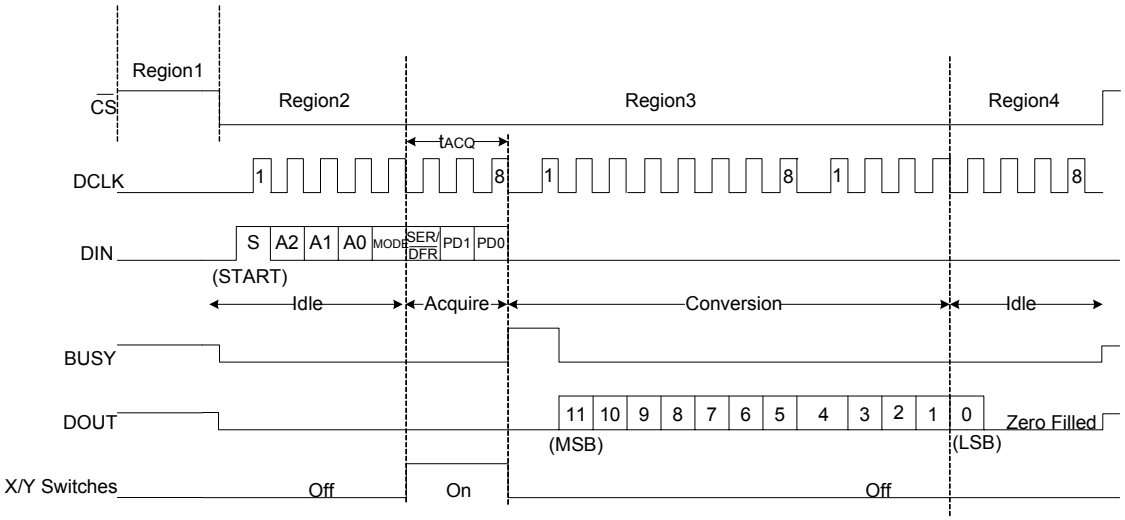


图 12　24 个时钟周期的 A/D 转换时序图

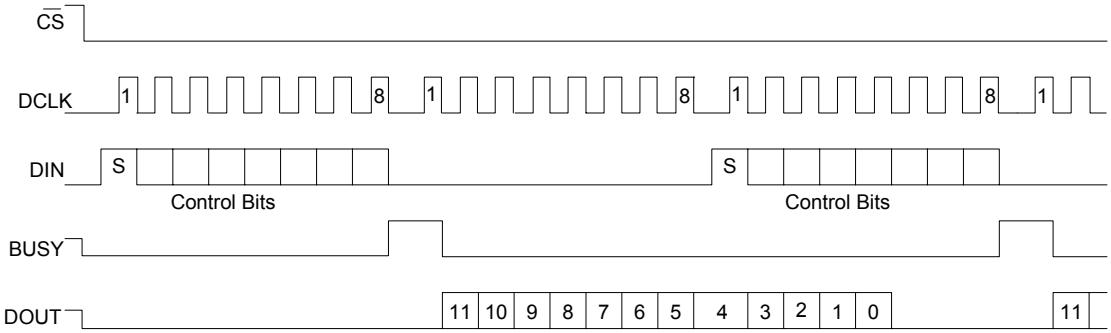


图 13　16 个时钟周期的 A/D 转换时序图

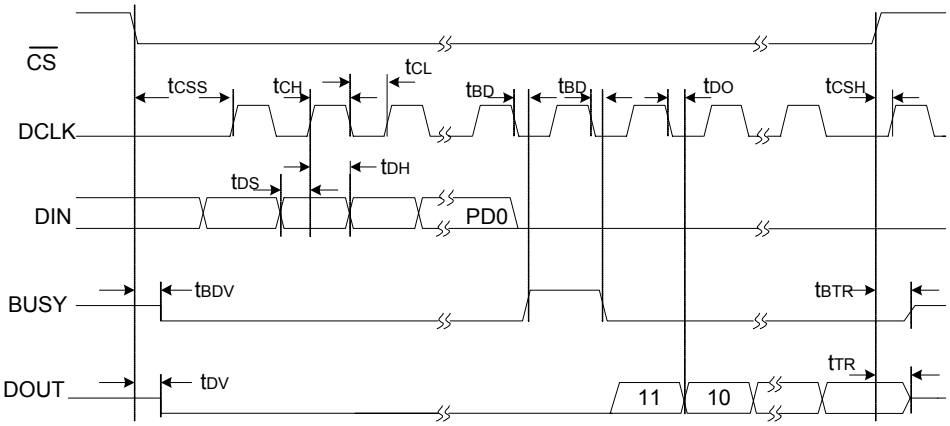


图 14　详细的时序图

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

表 6　时序的电特性

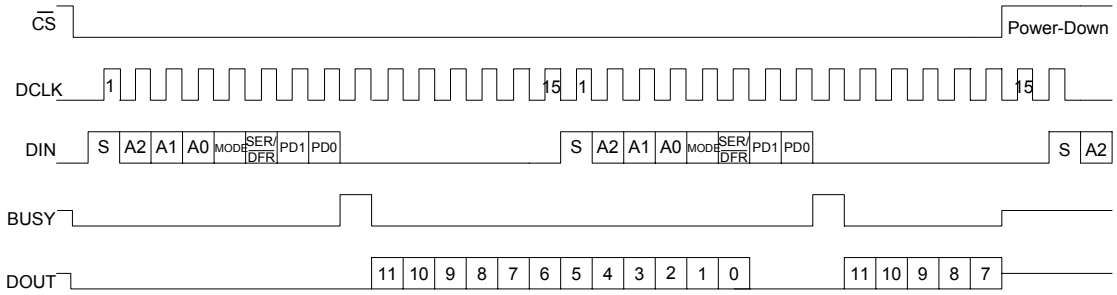
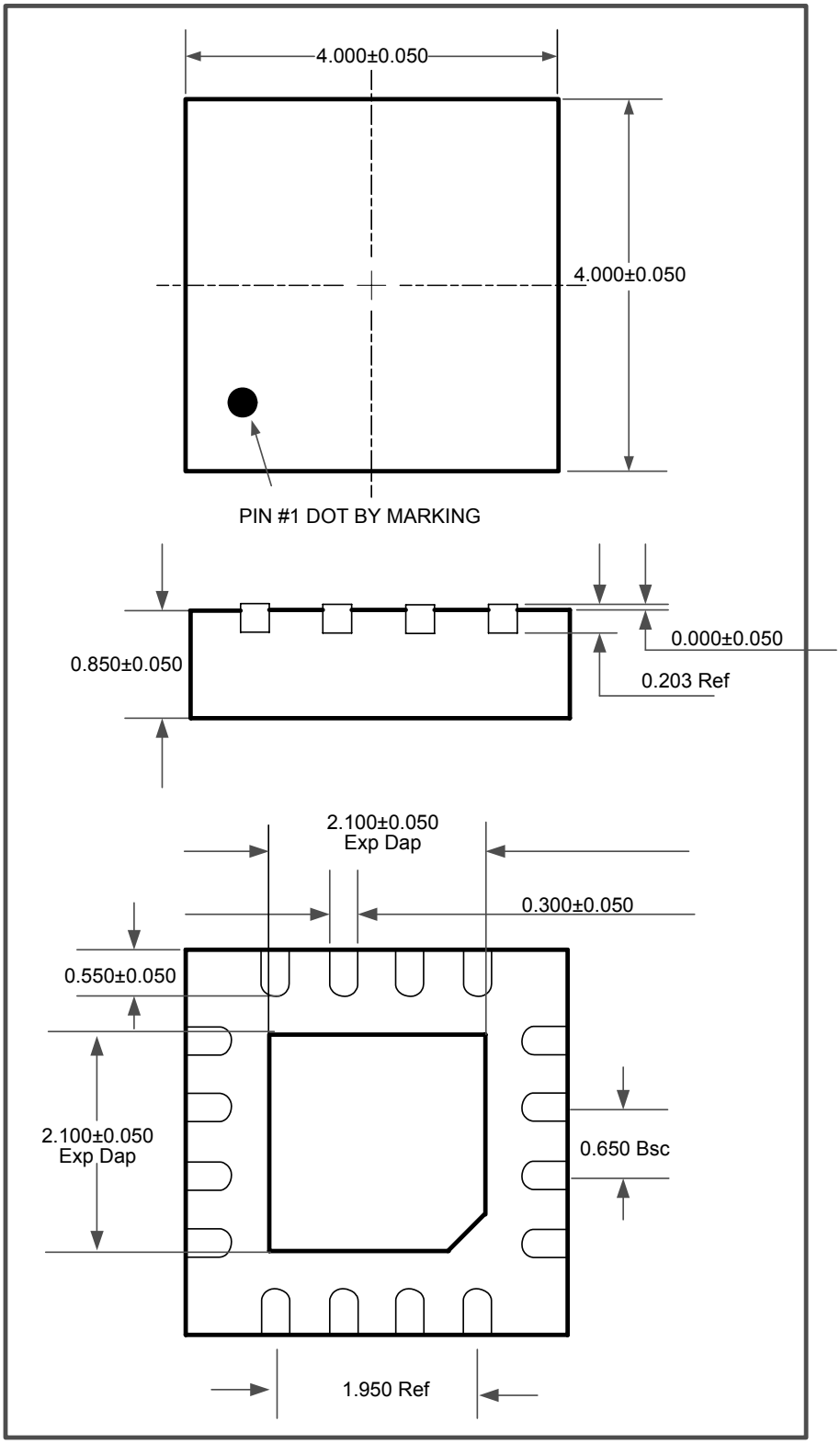
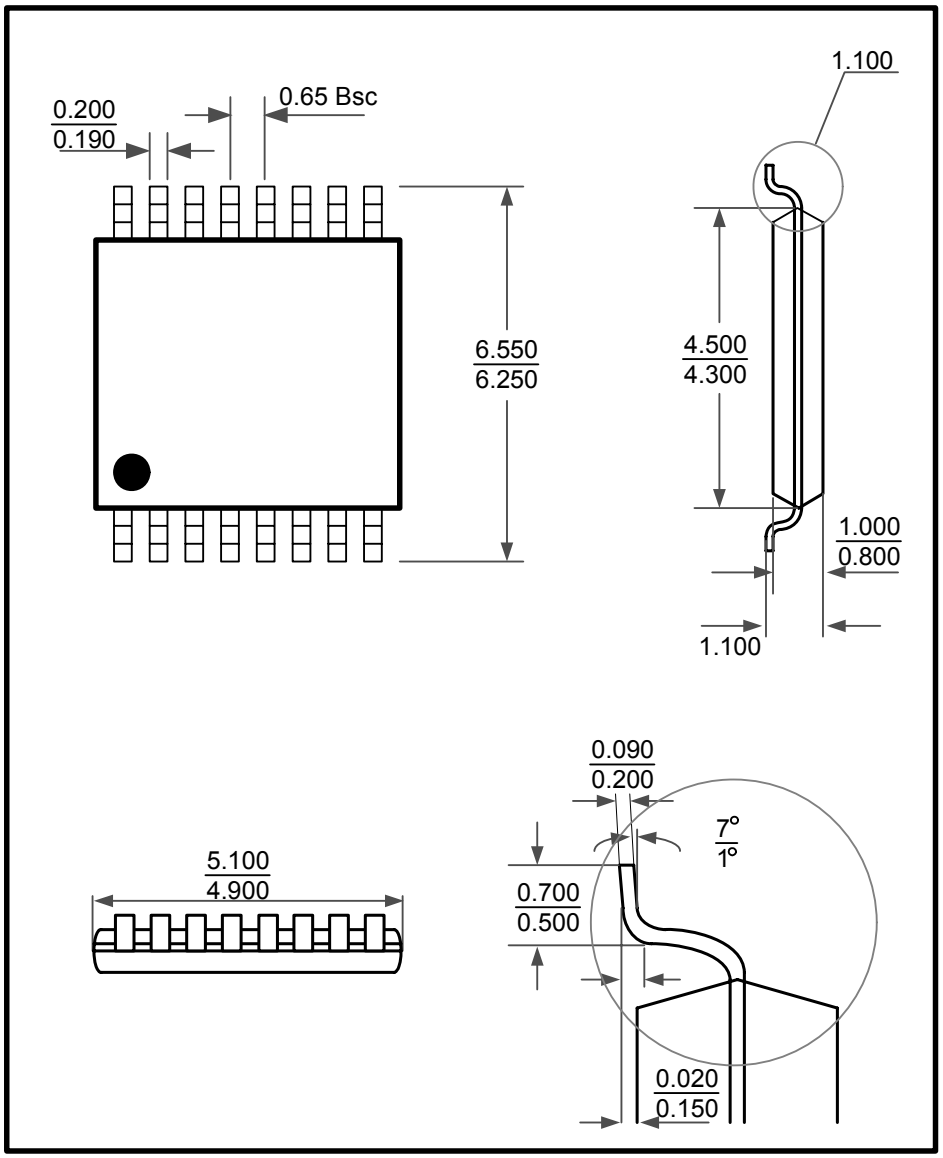


图 15　15 个时钟周期的 A/D 转换时序图

QFN16 PACKAGE



TSSOP16 PACKAGE



备注：单位为毫米。