

## 电容数字转换器AD7142和AD7143 的传感器PCB设计指南

作者: Susan Pratt

### 简介

AD7142和AD7143是具有片内环境校准功能的集成式电容数字转换器(CDC), 可用于需要采用新型用户输入法的系统。AD7142和AD7143可与外部电容式传感器接口, 从而实现电容按钮、滚动条或滚轮等功能。

传感器以单个元件形式在PCB上实现且所有传感器都针对特定设计, AD7142或AD7143也位于同一PCB上。客户可根据各自的需求来定制传感器设计。客户可以指定传感器类型、布局和尺寸。AD7142和AD7143可以适应非标准形状(如弧形传感器), 让客户能够在其产品设计中享有充分的灵活性。

采用一个AD7142或一个AD7143实现传感器的最大数量取决于设计中的传感器组合。一个滚动条需要连接至AD7142或AD7143的八个输入, 一个按钮需要一个输入, 而一个8路开关则需要四个输入。传感器组合可以利用一个AD7142或一个AD7143来实现。

### 传感器类型和尺寸

表1显示了推荐的最小、典型和最大传感器尺寸, 以及一些传感器类型的大电容典型值。最重要的是传感器的总面积而非确切的长宽尺寸。大面积的传感器在用户的作用下, 可以产生较大的电场, 因此激活时可提供最大响应。最小传感器尺寸取决于获得足够传感器响应的需求。只要传感器的总面积足以获取良好响应, 也可以使用某个维度低于最小传感器尺寸要求的不同形状。

最大传感器尺寸取决于AD7142和AD7143上的 $\Sigma$ - $\Delta$ 型转换器和失调数模转换器(DAC)。图1显示与传感器关联的电容 $C_{BULK}$ 。传感器激活时, 用户干预边缘电场 $C_{IN}$  ( $C_{IN} \ll C_{BULK}$ )。如果传感器太大, 其大电容值会覆盖转换器, 并且失调DAC没有足够的范围来偏移此电容。失调DAC可以补偿的最大电容值为 $\pm 20$  pF。

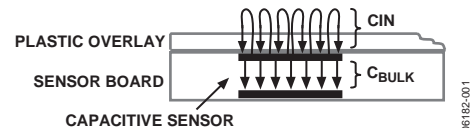


图1. 传感器大电容和边缘电容

表1. 传感器尺寸和大电容

传感器类型	最小尺寸	典型尺寸	最大尺寸	大电容典型值
按钮	直径5 mm	直径8 mm	15 mm	4 pF
2路开关	4 mm × 8 mm	5 mm × 10 mm		8 pF
8路开关	8 mm × 8 mm	15 mm × 15 mm		每个元件4 pF
8路开关	25 mm × 4 mm	40 mm × 10 mm	60 mm × 20 mm	每个元件4 pF
滚轮	直径20 mm	直径30 mm	直径50 mm	每个元件4 pF
滚轮	1行 × 1列	12键, 3行 × 4列	36键, 6行 × 6列	每个键5.4 pF至9.6 pF

## 目录

简介.....	1	矩阵键盘.....	7
传感器类型和尺寸.....	1	PCB指南.....	8
修订历史.....	2	传感器布局.....	8
传感器设计指南.....	3	将传感器连接到AD7142/AD7143.....	8
按钮.....	3	利用AD7142或AD7143序列器配置传感器.....	8
典型按钮传感器响应.....	3	传感器集成.....	9
机械按钮.....	4	参考设计和其他传感器形状.....	9
8路开关.....	5	传感器设计示例.....	9
滚动条.....	6		
滚轮.....	7		

## 修订历史

### 2007年2月—修订版0至修订版A

增加AD7143.....	通篇
更改表1.....	1
更改“传感器设计指南”.....	3
更改图11.....	6
更改“PCB指南”.....	8
更改表4、表5和表6.....	8
更改表7.....	9
更改图18.....	9

### 2006年7月—修订版0：初始版

## 传感器设计指南

### 按钮

图2所示为一种按钮传感器的两种可能设计。按钮的宽度介于5 mm至15 mm之间。每个按钮传感器均需一路输入连接至AD7142/AD7143。按钮可以是圆形、椭圆形、方形或不规则形状。所有按钮都应具有两个焊盘，其中一个连接到SRC引脚，另一个则连接到CIN输入引脚。两个焊盘都应位于PCB的顶层。

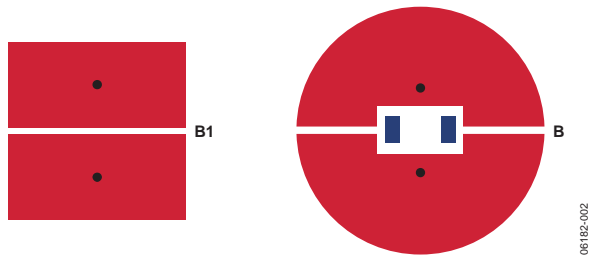


图2. 按钮布局

图2右侧的按钮传感器中间有一块挖空区域，并配有元件焊盘。这种布局适合PCB上带LED的应用。LED发出的光可直接通过按钮挖空区域，可编程为在按钮被激活时点亮。按钮中挖空区域的最大尺寸取决于按钮尺寸，具体定义见表2。

表2. 按钮挖空区尺寸

按钮直径	最大挖剪尺寸
5 mm	2 mm × 1.6 mm
6 mm	2.8 mm × 1.2 mm
8 mm	4 mm × 2 mm
10 mm	4 mm × 2 mm

在AD7142和AD7143上，按钮以下列两种方式之一通过输入多路复用器连接到CDC。第一种方法是单端法，其中按钮可以独立激活，而不受连接到AD7142或AD7143的任何其他传感器影响。将按钮连接到AD7142和AD7143的第二种方法涉及到以差分方式将两个按钮连接到CDC。这种情况下，两个按钮均可以单独激活。

不过，如果用户尝试同时激活这两个按钮，两个按钮都不会激活。这在某些应用中很有用，例如防止用户同时激活播放按钮和停止按钮。这两种连接方法如图3所示。

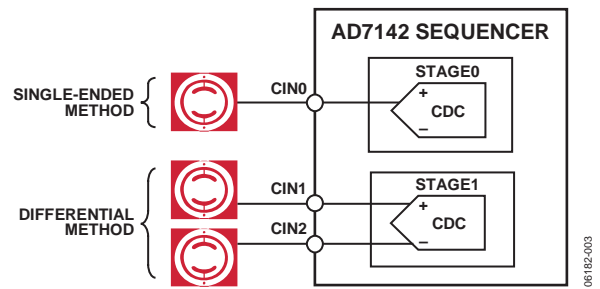


图3. 将按钮连接到AD7142/AD7143和CDC的方法(显示的是AD7142)

当用户激活一个按钮时，AD7142或AD7143状态寄存器的一个状态位置位。无论是以单端法还是以差分法连接到CDC，每个按钮都与状态寄存器中的一个状态位存在一一对应关系。可以设置AD7142/AD7143在任意传感器激活时中断主处理器。接着，主机可以从状态寄存器回读数据来确定哪个按钮已激活。

### 典型按钮传感器响应

传感器响应为传感器被触碰时与未被触碰时的CDC输出值之差。传感器响应取决于多种因素：传感器面积、使用者手指大小以及传感器覆盖塑料的厚度和介电常数。应用笔记AN-830更为详细地介绍了影响传感器响应的各种因素。

图4至图6所示为不同直径的按钮传感器的典型响应。对于直径为5 mm的按钮，传感器激活时，CDC输出代码大约变化236个码字。对于10 mm按钮，CDC输出变化737个码字；对于12 mm按钮，CDC输出代码变化1260个码字。所有三个按钮都在2 mm塑料覆盖物下测试。

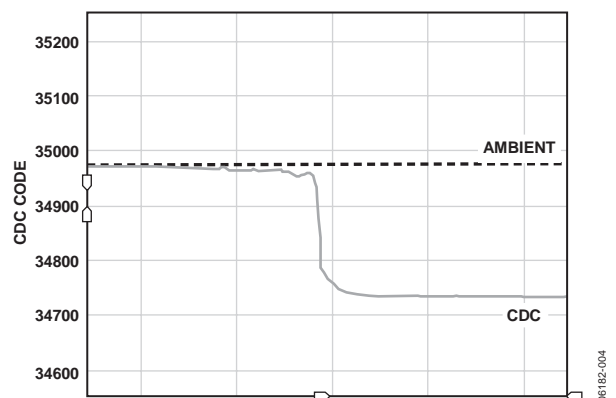


图4. 直径5 mm的按钮响应

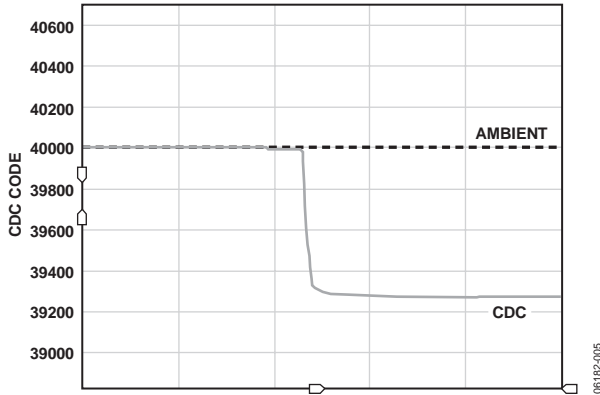


图5. 直径10 mm的按钮响应

06182-005

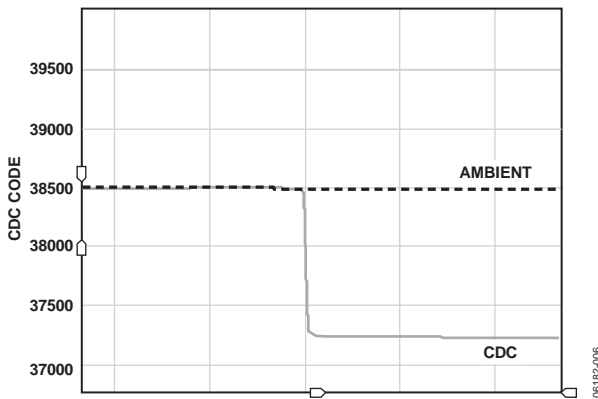


图6. 直径12 mm的按钮响应

06182-006

## 机械按钮

可以利用AD7142或AD7143检测机械按钮。机械按钮触点如图7所示。传感器PCB下方连接有一个灵活的金属弹片。该弹片与传感器PCB上 $C_{SHIELD}$ 的一个环接触。中央触点连接至AD7142/AD7143上的一个CIN输入引脚。未按下按钮时，金属弹片为凹形，并不会接触板上的内部CIN触点。按下按钮时，金属按钮变为凸形并接触内部CIN触点，进而将 $C_{SHIELD}$ 连接到AD7142/AD7143上之前悬空的CIN输入引脚。AD7142或AD7143会测量CIN输入引脚上的这种变化，后者对应于CDC输出上出现20,000个码字的变化。

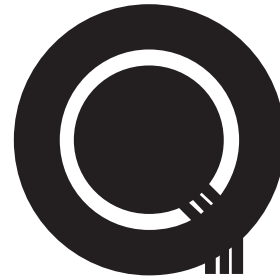


图6. 直径12 mm的按钮响应

100-281-007

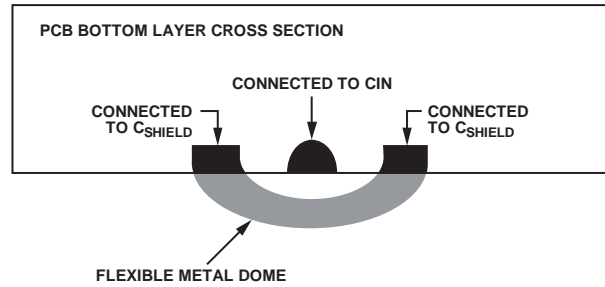


图6. 直径12 mm的按钮响应

06182-008

## 8路开关

图9所示为一种8路开关传感器布局。这类传感器的尺寸为8mm方形到15mm方形，并需要四路输入连接至AD7142/AD7143。8路开关提供八个位置输出：东、南、西、北以及东北、东南、西南和西北的对角线位置。用户在8路开关周围滑动手指，即可更改输出位置。

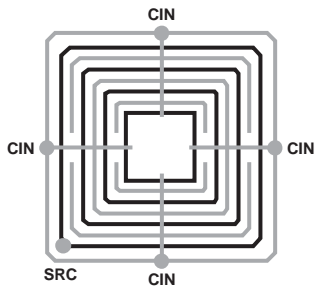


图9. 8路开关传感器  
(黑色表示顶层源走线；  
灰色表示底层CIN走线)

8路开关由四个交织布线的按钮组成。顶层的焊盘连接到SRC引脚，第二层的焊盘则连接到CIN输入引脚。顶部按钮和底部按钮在AD7142和AD7143中内部相连并用作CDC的差分对，左侧按钮和右侧按钮也是如此。8路开关的连接方式如图10所示。8路开关还要求进行激活测量；该测量先确定8路开关是否激活，再确定移动方向。

该测量要求连接到AD7142/AD7143的序列器，如图10所示(3级)。8路开关传感器中所有四个元件的输入在正CDC输入处汇合，确定传感器是否激活。

当用户在任意方向上激活8路开关时，状态寄存器中的状态位置1。主机可以从AD7142或AD7143回读数据来确定哪个状态位已置1。AD7142/AD7143上的四个状态位用于确定8路开关的所有八个方向。

表3显示如何通过回读AD7142/AD7143的状态寄存器位来解码输出位置。由于顶部按钮和底部按钮以差分方式相连，因此无法同时激活。左侧按钮和右侧按钮也是如此。

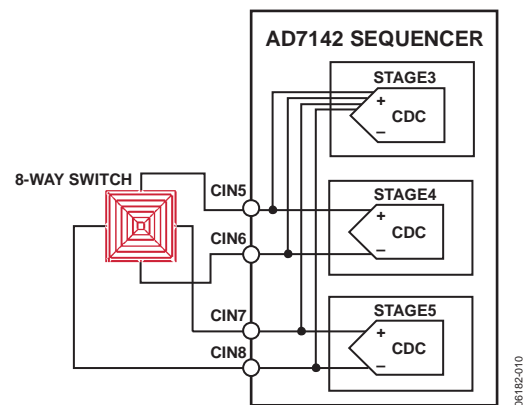


图10. 8路开关与AD7142/AD7143和CDC  
相连(显示的是AD7142)

表3. 8路开关输出解码

顶部按钮状态位	底部按钮状态位	左侧按钮状态位	右侧按钮状态位	输出位置
1	0	0	0	北
0	1	0	0	南
0	0	1	0	西
0	0	0	1	东
1	0	1	0	西北
1	0	0	1	东北
0	1	1	0	西南
0	1	0	1	东南

## 滚动条

图11所示为一种滚动条传感器设计。滚动条可设计为不同宽度(5 mm至12 mm)和不同长度(10 mm至60 mm)。滚动条可以是直线型(垂直位置或水平位置),也可以弯曲成马蹄形或圆形。滚动条由数个分立传感器段构成,通常为八段。每段均连接到AD7142/AD7143上的一个CIN输入引脚。

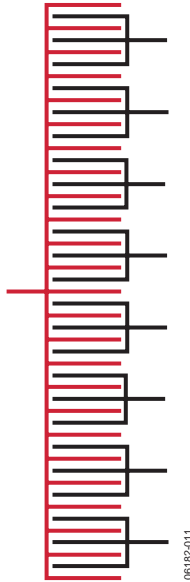


图11. 分立式滚动条传感器设计

滚动条由数个分立传感器以条状按顺序排列而成。所有八段的激励源连接相互交织。这些分立检测段的工作方式与按钮完全相同。各传感段与下一传感段紧密相邻;因此,当使用者沿滚动条移动手指时,同时有一个以上的传感器段被激活。这种滚动条最多可产生128个输出位置。

可以仅使用六个传感器段来构建滚动条。不过,这种配置会导致传感器输出分辨率相应地有所降低。

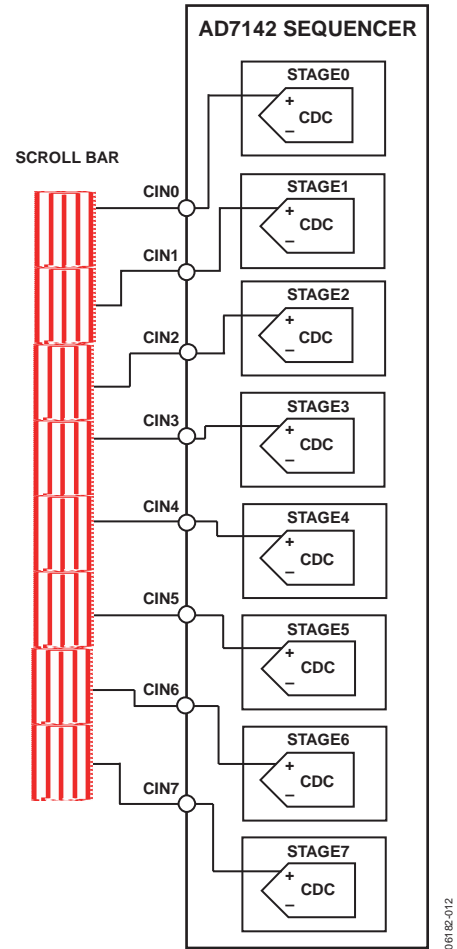


图12. 分立滚动条与AD7142/AD7143和CDC相连  
(显示的是AD7142)

图12显示滚动条如何通过CDC的时序控制器连接到AD7142或AD7143。构成滚动条的每个分立段均利用一个序列器级连接到CDC。每个传感器段均对应于状态寄存器中的一个状态位。当传感器段激活时,对应的状态位即会置1。当任意状态位置1时,主机会回读所有传感器段的CDC输出数据。

若要仅用8个传感器段实现128个输出位置,则需用各个传感器的CDC结果进行某种插值运算。将各个段的CDC结果加权并相加,结果生成一个正态分布曲线。该正态分布的平均值为滑块的输出位置。ADI提供实现这种线性化运算的软件算法。该算法以C语言代码提供。该代码需要不到8 kB的程序代码和500字节的RAM。有关更多信息,请参阅AD7142或AD7143网页上的设计支持和常见问题解答:  
[www.analog.com/AD7142](http://www.analog.com/AD7142)或[www.analog.com/AD7143](http://www.analog.com/AD7143)

## 滚轮

滚轮是一种特殊的分立式滚动条。滚动条中的各分立段排列成圆形，如图13所示。内环连接到SRC引脚。滚轮可以提供多达128个输出位置。

若要仅用8个传感器段实现128个输出位置，则需用各个传感器的CDC结果进行某种插值运算。将各个段的CDC结果加权并相加，结果生成一个正态分布曲线。该正态分布的平均值为滚轮的输出位置。ADI公司提供实现这种线性化运算的软件算法。该算法以C语言代码提供，并需要9.6 kB的程序代码和571字节的RAM才能运行。有关更多信息，请参阅AD7142或AD7143网页上的设计支持和常见问题解答：[www.analog.com/AD7142](http://www.analog.com/AD7142)或[www.analog.com/AD7143](http://www.analog.com/AD7143)

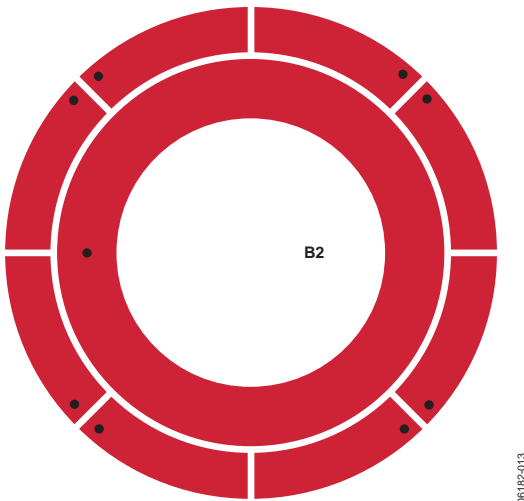


图13. 滚轮传感器设计

## 矩阵键盘

AD7142和AD7143可用于实现矩阵键盘。AD7142最多可支持36个键，AD7143则最多可支持16个键。键以行列排列，与标准矩阵键盘类似。键盘中的每行和每列都需连接至AD7142/AD7143的一个输入。键盘中的每行和每列都需要通过序列器连接至AD7142或AD7143的CDC。键的设计采用以下结构：一半键连接至列输入线路，另一半连接至行输入线路。图14所示即为一种矩阵键盘的键，其中存在两个CIN连接，一个为行连接，另一个为列连接。外环连接到SRC引脚。

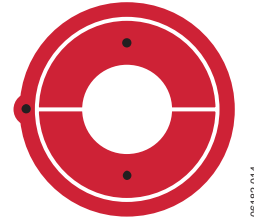


图14. 矩阵键盘按钮

当用户激活键盘上的任意键时，状态寄存器中的状态位置1。主机可以从AD7142/AD7143回读数据来确定已置1的状态位。各行和各列的状态位用于确定按下的具体键。解码原理与常规机械矩阵键盘相同。被激活的键位于行、列状态位均置1的位置。

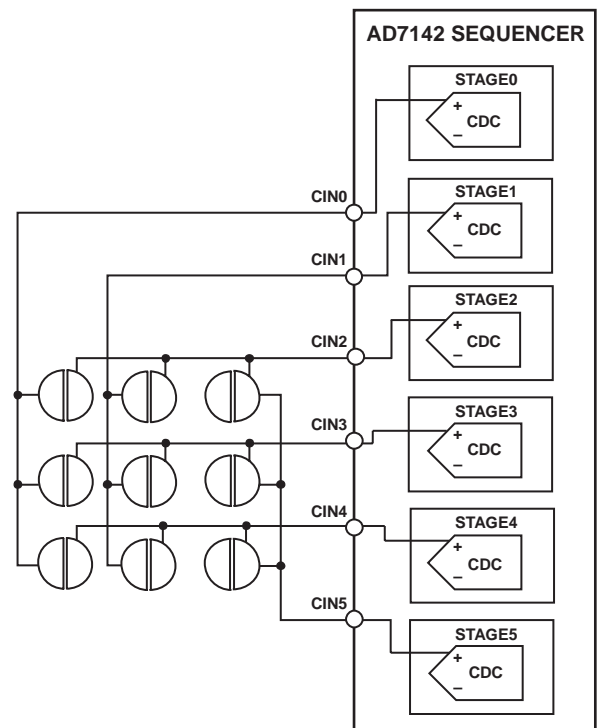


图15. 3 × 3矩阵键盘与AD7142/AD7143和CDC相连 (显示的是AD7142)

## PCB指南

任何标准PCB材料都适合电容传感器设计，其中包括FR4、聚酰胺(柔性)或PET。因此，传感器可以采用工业标准技术制造。各层厚度均应为0.1 mm。不过，如果可能，也可以使用厚度小于0.1 mm的层。走线材料可以是铜、碳、银或氧化铟锡(ITO)。

传感器应位于PCB的顶层，在8路开关中也位于前两层中，详见表4和表5。激励源是SRC引脚上的AD7142或AD7143输出，并连接到传感器PCB顶层上的发射器走线。接收器也位于传感器PCB的顶层。各传感器通过CIN输入引脚连接到AD7142/AD7143。在PCB所有层上的传感器走线和元件周围放置一个接地层。

**表4. 传感器PCB描述**

层	描述
1(顶层)	激励源和CIN连接，周围是接地层
2	布线、AD7142或AD7143和接地层

**表5. 8路开关传感器PCB描述**

层	描述
1(顶层)	1(顶层)
2	CIN连接、接地层、布线和AD7142或AD7143

### 传感器布局

ADI公司致力于通过提供下列资源来帮助客户定义其传感器要求并提供支持，从而实现完善的PCB设计：

- 以PADS布局格式供客户使用的传感器库。客户可以使用库中的传感器来构建自己的设计。注意，PADS软件包由Mentor Graphics提供。
- 多种参考设计和样片布局。

面向大批量客户的定制传感器设计服务。下列原则适用于所有传感器布局布线：

- 走线宽度应为0.2 mm。
- 走线之间的最小间隙为0.15 mm。
- AD7142/AD7143和传感器之间的最大间距为10 cm。

不要将任何信号直接布设在传感器活动区的下方。如果传感器PCB上没有空间可用在传感器周围布线，可以将接

地层直接放在传感器层下方。如果传感器下方有一个接地层，则后续层的布线可以在传感器区域下方。

勿将悬空走线布设在传感器走线旁边或紧靠传感器走线。LED熄灭时变为开路的LED控制信号就是悬空走线的一个例子。

### 将传感器连接到AD7142/AD7143

各传感器需物理连接至AD7142/AD7143 CIN输入引脚之一。所需输入数取决于传感器类型。建立连接后，需对AD7142/AD7143序列器进行配置，使传感器在AD7142或AD7143转换过程中连通至CDC。

**表6. 输入引脚连接**

传感器类型	所需的CIN输入引脚数
按钮	1
按钮	4
滚动条	每个分立段1个输入，总共8个
滚动条	每个分立段1个输入，总共8个
矩阵键盘	每列1个输入，每行1个输入

### 利用AD7142或AD7143序列器配置传感器

AD7142或AD7143上的序列器具有12个转换级。每个传感器或传感器段使用一个序列器级来实现其与CDC的连接。唯一例外是差分按钮；这类按钮是两个按钮使用一级。

对于所有12个序列器级，每个CIN输入引脚均必须连接到CDC(正端或负端)或内部偏置节点( $C_{SHIELD}$ )，或者保持悬空。未在序列器级中测量的所有CIN输入都应连接到内部偏置节点；只有在相应级中测量的CIN输入才应连接到CDC。用户激活传感器时，如果CIN输入引脚连接到转换器的正输入，传感器的输出会下降。用户激活传感器时，如果CIN输入引脚连接到转换器的负输入，传感器的输出会增加。

序列器中的各级都有一个相关的寄存器，用于设置该级与CDC的连接。这些寄存器位于存储库2；有关各级寄存器地址的详细信息，请参阅AD7142和AD7143数据手册。对于各级，两个寄存器位设置与CDC的连接，如图16所示。

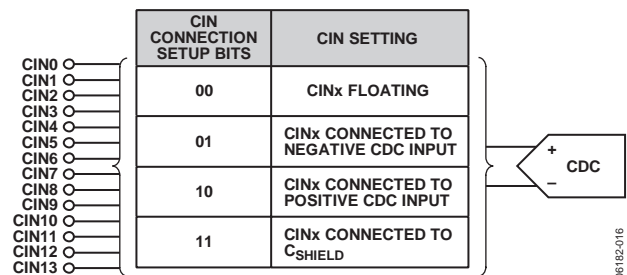


图16. CIN连接设置位



表7. 序列器级设置

表7. 序列器级设置	序列器级数量	与CDC输入的连接
按钮	1	负或正CDC输入。
两个差分按钮	1	第一个按钮连接到负CDC输入；第二个按钮连接到正CDC输入。
两个差分按钮	2(2对差分按钮)	顶部按钮和底部按钮连接到第一级的负正CDC输入；左侧按钮和右侧按钮连接到第二级的负正CDC输入。
分立式滚动条/滚轮	每个传感器段1级	各传感器段均连接到正CDC输入。
分立式滚动条/滚轮	每列1级，每行1级	各传感器段均连接到正CDC输入。

## 传感器集成

传感器PCB设计用于集成到MP3播放器、手机和数码相机等设备中。为此，传感器PCB应粘贴到器件塑料壳的下方。建议使用3M™ Adhesive Transfer Tape 467MP(双面胶带)。传感器可以在最多4 mm至6 mm厚的塑料层下正常工作。建议塑料厚度为2 mm。如果被金属覆盖，则传感器无法工作。

对于具有金属机壳的器件，传感器区域周围的0.1 mm范围不得出现金属。传感器PCB周围(5 cm范围内)的任何金属都必须接地。靠近传感器的悬空金属会影响传感器的操作。AD7142或AD7143所在PCB的背部也应存在一个禁区。该禁区应足够大，确保AD7142/AD7143 IC上没有压力，并且PCB上的走线不会短接。

传感器PCB与覆盖塑料之间不要留有气隙。气隙会显著影响传感器操作的可靠性和鲁棒性。

## 参考设计和其他传感器形状

ADI公司提供多种传感器参考设计，适合MP3和个人媒体播放器、数码相机和其他消费电子产品等。也可以使用其他传感器形状和设计，例如十字形滚轮传感器、半圆形传感器和非标准按钮形状。欲了解有关参考设计和传感器形状的更多信息，请联系[cdc@analog.com](mailto:cdc@analog.com)。

## 传感器设计示例

所需传感器设计如图17所示。

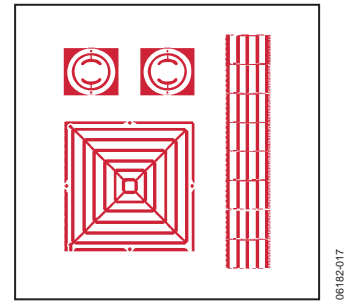


图17. 传感器设计

所需传感器设计为滚动条、8路开关和两个按钮。按钮需要能够同时工作，因此不能是差分按钮。传感器元件可以从ADI公司提供的PADS布局库中选择。安排好传感器元件后，下一步就是将传感器连接到AD7142或AD7143。激励源连接到传感器PCB顶层的所有传感器走线。

滚动条需要八个CIN输入连接至AD7142或AD7143。每个按钮需要一个CIN输入，8路开关则需要四个CIN输入。图18显示将传感器连接到AD7142的方法(使用AD7143时，方法相同)。滚动条利用CIN4至CIN11进行连接。左侧按钮连接到CIN1，右侧按钮则连接到CIN3。8路开关的左侧连接到CIN0，顶部连接到CIN2，右侧连接到CIN12，底部则连接到CIN13。

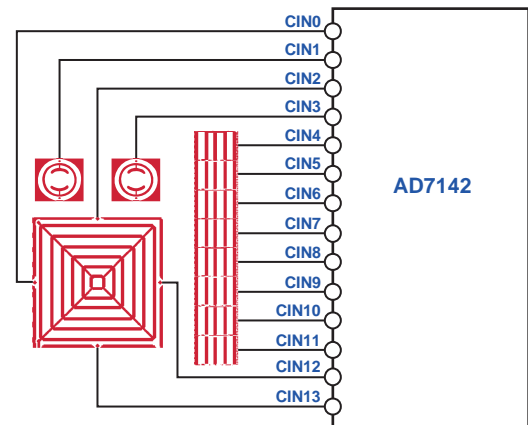


图18. 传感器与AD7142/AD7143相连(显示的是AD7142)

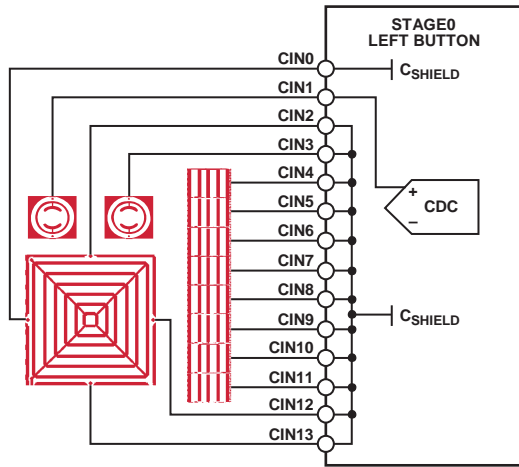
# AN-854

完成布局布线后，必须针对此特定传感器配置设置AD7142或AD7143的序列器。序列器中有12级。八个滚动条元件各需要一个序列器级。每个按钮需要一级；在8路开关中，

顶部和底部元件需要一级，左侧和右侧元件需要一级。表示8显示各个序列器级的每个CIN输入连接方式。

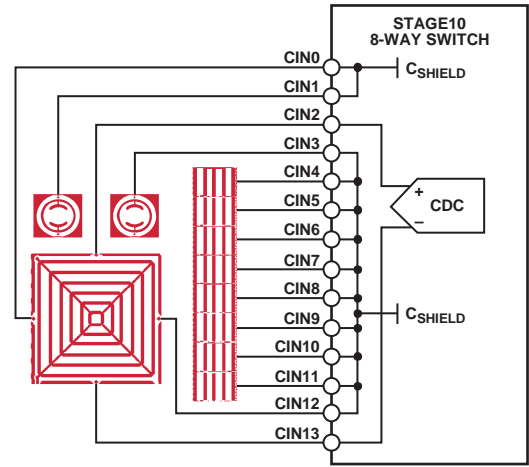
**表8. 针对传感器配置进行序列器配置**

序列器	传感器	CIN连接	AD7142/AD7143 寄存器地址和设置
0级	左侧按钮	CIN1连接到CDC正输入； CIN0以及CIN2至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x080[15:0] = 00 11 11 11 11 11 10 11 0x081[15:0] = XX 11 11 11 11 11 11 11
1级	左侧按钮	CIN3连接到CDC正输入； CIN0、CIN2以及CIN4至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x088[15:0] = 00 11 11 11 10 11 11 11 0x089[15:0] = XX 11 11 11 11 11 11 11
2级	滚动条段1	CIN4连接到CDC正输入； CIN0至CIN3以及CIN5至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x090[15:0] = 00 11 11 10 11 11 11 11 0x091[15:0] = XX 11 11 11 11 11 11 11
3级	滚动条段2	CIN5连接到CDC正输入； CIN0至CIN4以及CIN6至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x098[15:0] = 00 11 10 11 11 11 11 11 0x099[15:0] = XX 11 11 11 11 11 11 11
4级	滚动条段3	CIN6连接到CDC正输入； CIN0至CIN5以及CIN7至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x0A0[15:0] = 00 10 11 11 11 11 11 11 0x0A1[15:0] = XX 11 11 11 11 11 11 11
5级	滚动条段4	CIN7连接到CDC正输入； CIN0至CIN6以及CIN8至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x0A8[15:0] = 00 11 11 11 11 11 11 11 0x0A9[15:0] = XX 11 11 11 11 11 11 10
6级	滚动条段5	CIN7连接到CDC正输入； CIN0至CIN6以及CIN8至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x0B0[15:0] = 00 11 11 11 11 11 11 11 0x0B1[15:0] = XX 11 11 11 11 11 10 11
7级	滚动条段6	CIN9连接到CDC正输入； CIN0至CIN8以及CIN10至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x0B8[15:0] = 00 11 11 11 11 11 11 11 0x0B9[15:0] = XX 11 11 11 11 10 11 11
8级	滚动条段7	CIN10连接到CDC正输入； CIN0至CIN9以及CIN11至CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x0C0[15:0] = 00 11 11 11 11 11 11 11 0x0C1[15:0] = XX 11 11 11 10 11 11 11
9级	滚动条段8	CIN11连接到CDC正输入； CIN0至CIN10、CIN12和CIN13均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x0C8[15:0] = 00 11 11 11 11 11 11 11 0x0C9[15:0] = XX 11 11 10 11 11 11 11
10级	8路开关顶部 和底部	CIN2连接到CDC正输入； CIN13连接到CDC负输入；CIN0、CIN1以及CIN3至CIN12均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x0D0[15:0] = 00 11 11 11 11 10 11 11 0x0D1[15:0] = XX 01 11 11 11 11 11 11
11级	8路开关左侧 和右侧	CIN0连接到CDC正输入； CIN12连接到CDC负输入；CIN0、CIN1以及CIN3至CIN12均连接到C <sub>SHIELD</sub>	0x0D8[15:0] = 00 11 11 11 11 11 11 10 0x0D9[15:0] = XX 11 01 11 11 11 11 11



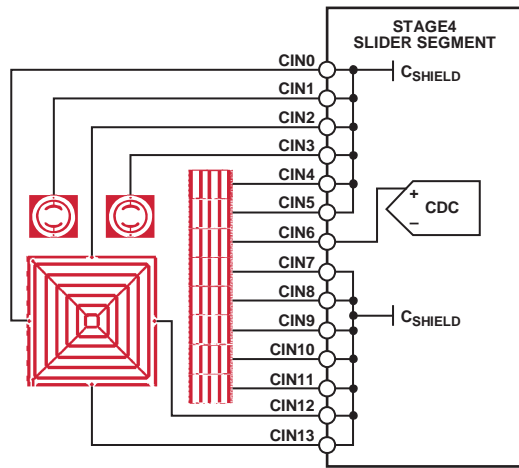
06182-019

图19. 0级连接, 左侧按钮连接到CDC



06182-021

图21. 10级连接, 顶部和底部8路开关段连接到CDC



06182-020

图20. 4级连接, 滚动条段3连接到CDC

**注释**