

面向汽车应用的电容式触摸开关

By (Dave Van Ess 著, 首席应用工程师, 赛普拉斯半导体公司)

在汽车行业里, 做一名电气工程师并非易事。在一般人的眼里, 那些专注于凸轮、压缩和马力的机械工程师是普通的设计师, 而电气工程师则时常被看作是“荣誉铠装线设计师”。更加重要的是, 相比于大多数其他行业, 人们对汽车设计寄予的期望值更高。上个周末, 我和一位邻居前往电脑商店购买一个新键盘。他的电脑已经用了两年了, 键盘不再好使。我们上了他的车, 他开始发脾气, 因为收音机的一个按钮坏了。提请您注意, 这辆车服役已达 12 年之久, 而电脑键盘才用了区区两年, 但他却对自己的汽车有着更高的期待。我们都是这样。

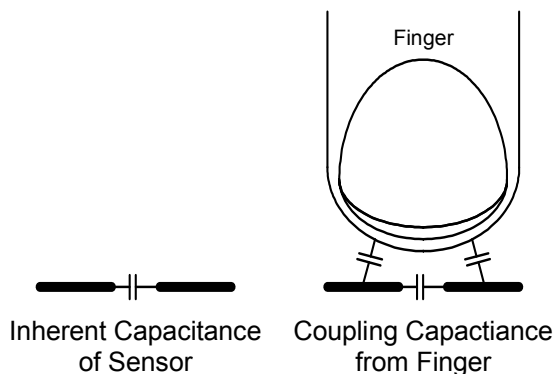
对于许多非汽车工程师来说, 面向汽车应用的开关和按钮所遭受的设计约束他们甚至连想都想不到。它们必须应对的不利条件是:

- 宽温度范围
- 宽湿度范围
- 驾乘人员连续不断的污损

与早期的车型相比, 如今汽车的开关和按钮要多得多。不仅数量众多, 而且还必需能够很容易地安装到外形日益多样化的操纵面之中。另外, 它们还必须具备成本效益性, 以取代密封型开关。一种逐渐走红的方法是转变为采用电容式触摸开关 (CapSense)。由于未采用机械式部件, 而且能够与成形操纵面相吻合, 因此 CapSense 开关提供了汽车行业所需要的可靠性和价位。

如图 1 所示, 电容式开关基本上就是一个由两根相邻走线形成的电容器; 物理定律决定了在它们之间存在电容。如果把一个导体 (比如: 手指) 放置在靠近这些极板的地方, 则一个并联电容将与该传感器相耦合。当把手指放置于电容式传感器之上时, 电容将增加。拿开手指后, 电容将减小。在增加了用于测量电容变化的电路之后, 就可以确定手指的存在与否了。

图 1: 基本的电容式传感器



一根走线、间隔、另一根走线，这就是组成一个电容式传感器的全部所需。直接在上述走线上覆盖一层绝缘透明塑料膜即可使其成为电路板的一部分。可以借助用于后窗玻璃除雾器的玻璃印刷电路技术来把它们做在车窗上。也可以采用丝网印刷工艺将其做在保温凸雕的背部，并使之与弯曲的表面相吻合，这样它们便可适合于汽车中几乎所有的应用。

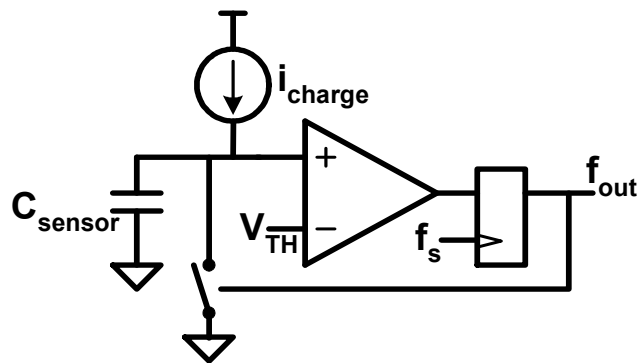
构造一个电容式开关需要：

- 一个电容器
- 电容测量电路
- 用于把电容值转换成某种开关状态的局部智能。

典型的电容式传感器具有 10~30pF 的电容值。手指通过 1mm 的绝缘透明塑料膜耦合至传感器的电容通常为 1pF~2pF。当采用较厚的透明塑料膜时，耦合电容减小。为了检测手指的存在与否，需要设计能够测量出由手指引起的 1% 电容变化幅度的电容式触摸感应电路。

弛张振荡器是一种有效而简单的电容测量电路。典型的弛张振荡器电路拓扑结构示于图 2。

图 2：典型的弛张振荡器拓扑结构



该电路由 4 个元件组成，即：

- 1 个同步比较器
- 1 个电流源
- 1 个放电开关
- 1 个电容式传感器。

一开始，放电开关处于开路状态。当该开关开路时，全部电流均进入传感器，导致其电压线性转换。该充电操作持续进行，直至传感器电压达到比较器的门限电平为止。比较器随后从低电平变换至高电平，导致放电开关闭合。电容式传感器通过该低阻抗路径迅速放电至地。该过程将使比较器的输出从高电平变换至低电平，然后重复这一循环。如下面的公式所示，输出频率 (f_{out}) 与充电电流成正比，而与门限电压和传感器电容成反比。测量该频率，以确定传感器电容：

$$f_{out} = \frac{i_{charge}}{C_{sensor} \cdot V_{TH}}$$

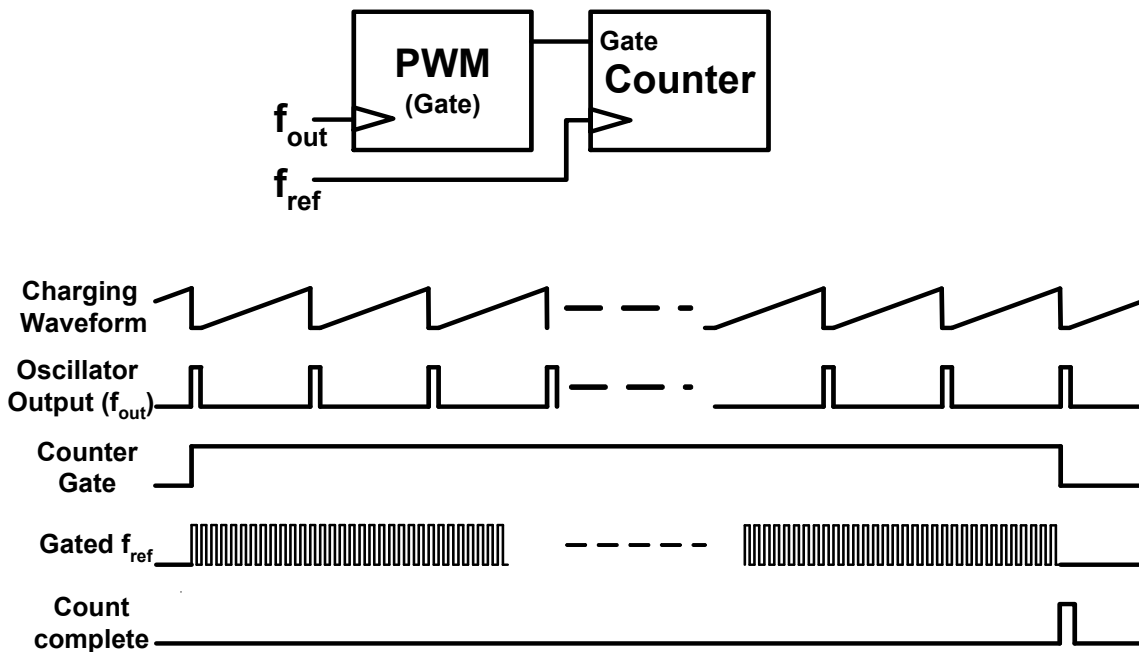
当充电电流为 $5\ \mu\text{A}$ 、比较器门限为 1.3V 且传感器电容为 30pf 时，输出频率为 128kHz 。测量输出频率花费的时间越长，获得的分辨率就越高。频率分辨率的提高将改善电容测量的灵敏度。增加测量时间将提升测量电容分辨率。在每种应用中，可根据不同的传感器尺寸和透明塑料膜厚度来相应地调整测量时间的变化。

如果利用上面的公式来求解电容，则将得出下面的方程：

$$C_{\text{sensor}} = \frac{i_{\text{charge}}}{V_{\text{TH}}} \cdot \left(\frac{1}{f_{\text{out}}} \right)$$

显然，人们实际上希望测量的是输出频率的周期。图 3 示出了用于进行周期测量的方框图和波形。

图 3：周期测量方框图



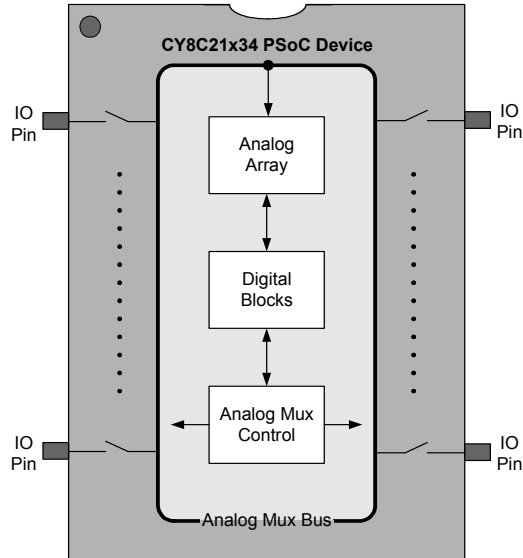
输出频率被用于对一个脉宽调制器 PWM 进行定时。PWM 输出是一种由一些低电平周期再加上一些高电平周期的波形。实际数值由各个应用来决定。该信号起计数器逻辑门的作用。高电平逻辑门允许计数器以 f_{ref} 的速率递增计数。在该逻辑门信号的下降沿上，生成了一个中断信号，从而使得能够对计数器进行读取和复位操作。如前文所述，当充电电流为 $5\ \mu\text{A}$ 、比较器门限为 1.3V 且传感器电容为 30pf 时，将产生一个 128kHz 的输出频率。当采用一个 6MHz 基准时钟时，一个周期所累积的计数值为 46 。一个双周期逻辑门将产生一个 93 的计数值。对于 10 个周期而言，计数值将为 468 。显然，累积计数值越大，分辨率或灵敏度就越高。较大的计数值可通过以下方法来实现：

- 提高基准频率
- 降低振荡器频率

- 增加用于逻辑门信号的周期数量。

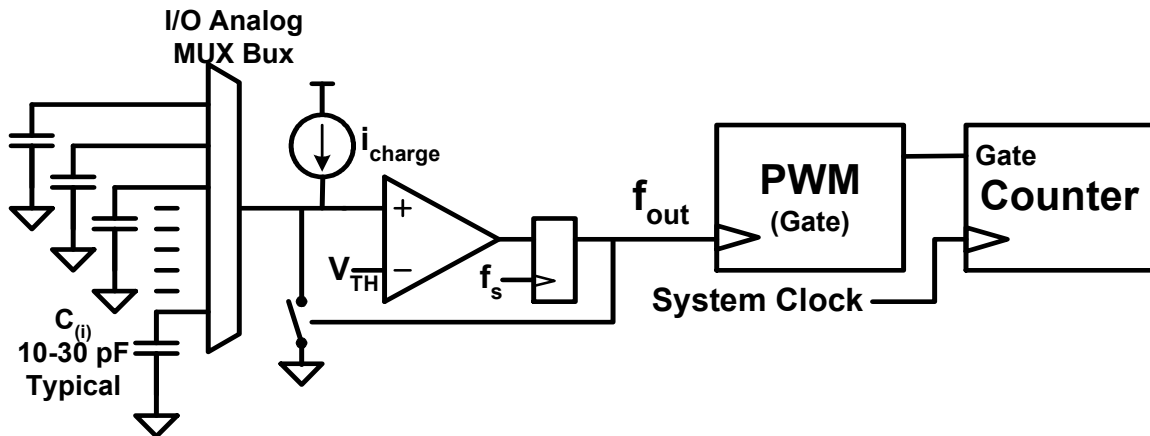
可配置混合信号阵列提供了一种用于实现电容开关传感器的成本-效益型方法。下面的图 4 示出了方框图。

图 4：赛普拉斯的 CY8C21x34 可配置混合信号阵列



它包含用于构建弛张振荡器的可配置模拟功能块和用于实现周期测量硬件的数字功能块。更为重要的是增设了一个 I/O 模拟多路复用器。每个引脚都具有一个可将其连接至一根模拟总线的开关。I/O 模拟多路复用器是一种大型十字开关，使得能够把任何引脚连接至一个控制系统的模拟阵列。与该总线相连的还有一个可编程电流源和一个放电开关。这种功能组合使得所有的 28 个 I/O 引脚都可被用作一个电容式传感器输入。下面的图 5 示出了一种完整的电容器触摸感应系统。

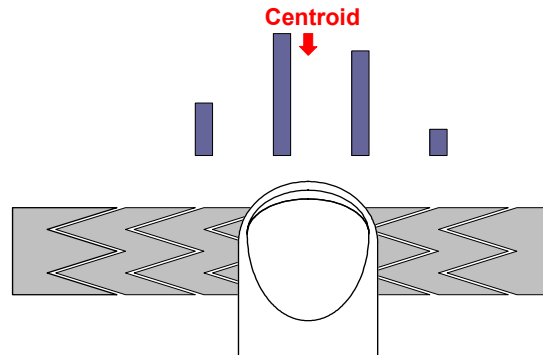
图 5：CY8C21x34 可配置混合信号阵列



当两个电容传感器彼此靠近放置时，如果有一根手指在它们之间掀按，则这两个传感器都能够检测到。可以利用该效应来实现模拟型手指位置触摸感应。

滚动条是一组相邻的传感器，其构造使得一根手指将会影响到多个传感器。所有受影响的传感器的电容式变化都可被用来计算质量的中心（即：质心）。该数值精准地确定了手指的位置。图 6 示出了这种滚动条的构建方式。

图 6：利用相邻传感器所构成的滚动条



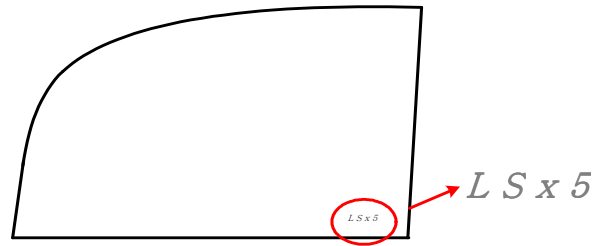
当采用滚动条时，需要选择一种合适的传感器形状，以便容易地使手指对多个传感器施加影响，这一点很重要。

滚动条可能的应用之一是巡航控制。不妨想象一下放置于速度计的速度值上方的一连串透明的传感器。把显示器上的指示值大致选择于 55mph 和 60mph 两者的中间，即可轻松地将巡航速度设定为 57mph。调光和/或音量控制也都是 CapSense 滚动条潜在的应用对象。电容式开关传感器可被附加在任何测量仪器的前面。

由于汽车控制面板变得更加复杂，因此，想把所有的控制器都放置在有限的可用空间之内是比较困难的。方向盘的表面是一个长期以来一直被人们所忽视的地方。理由很充分，在许多汽车中，这是安装驾驶员安全气囊的地方，没有人希望在安全气囊展开时有一大群机械开关迅速地四下散开，弹到自己的脸部和胸口上。电容式传感器没有机械部件。它们不过是镀覆在方向盘的安全气囊盖背面的走线。如果不想采取电镀法，则可把一个薄型柔性电路刚好安装在安全气囊盖的后面。

另一个尚未加以开发利用的控制区域是车窗部分。如果把车窗除雾器控制器安放在车窗本身之上会怎么样？现在，风档刮水器控制器或许就装在挡风玻璃上。设想一下，把数字门锁刚好安装在车门把手上方的车窗上。车主触摸传感器，以输入正确的数据组合。传感器可采用玻璃印刷电路技术或透明凸雕来制作。可以把这些传感器做成一定的形状，以使其貌似一个传统的小键盘。可是，为什么要拘泥于传统的形状呢？可以把它们做成汽车标牌或型号名称的一部分，如下方的图 7 所示。

图 7: 采用车型专用按键的数字车窗锁



警告！当您向管理层推荐这种功能时，将会有人（最有可能来自市场部门）表示担心，就是当车窗被摇下时人们就无法打开车锁。

CapSense 开关的应用并不局限于汽车的内部。车门把手传感器就是一个理想的实例。对于该应用而言，金属把手被用作传感器。使该传感器具有极高的灵敏度，以便使用作一个靠近探测器。当检测到有一只手逐渐靠近车门时，电源将被加至需要高得多的功率的安全硬件上。作为汽车报警系统的一部分，可以把该结果记录下来，并通知车主有人反复尝试接近汽车的车门把手。（甚至有可能拨打车主的手机。）

由于没有机械部件，而且可以很容易地与各种曲面相吻合，触摸感应电容器开关因而堪称面向当今汽车应用的理想技术。它们是传统开关的成本-效益型替代方案，并使得设计师能够实现具有新颖性和创新性的客户面板功能。



Cypress Semiconductor
198 Champion Court
San Jose, CA 95134-1709
Phone: 408-943-2600
Fax: 408-943-4730
<http://www.cypress.com>

© Cypress Semiconductor Corporation, 2007. The information contained herein is subject to change without notice. Cypress Semiconductor Corporation assumes no responsibility for the use of any circuitry other than circuitry embodied in a Cypress product. Nor does it convey or imply any license under patent or other rights. Cypress products are not warranted nor intended to be used for medical, life support, life saving, critical control or safety applications, unless pursuant to an express written agreement with Cypress. Furthermore, Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress products in life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

PSoC Designer™, Programmable System-on-Chip™, and PSoC Express™ are trademarks and PSoC® is a registered trademark of Cypress Semiconductor Corp. All other trademarks or registered trademarks referenced herein are property of the respective corporations.

This Source Code (software and/or firmware) is owned by Cypress Semiconductor Corporation (Cypress) and is protected by and subject to worldwide patent protection (United States and foreign), United States copyright laws and international treaty provisions. Cypress hereby grants to licensee a personal, non-exclusive, non-transferable license to copy, use, modify, create derivative works of, and compile the Cypress Source Code and derivative works for the sole purpose of creating custom software and or firmware in support of licensee product to be used only in conjunction with a Cypress integrated circuit as specified in the applicable agreement. Any reproduction, modification, translation, compilation, or representation of this Source Code except as specified above is prohibited without the express written permission of Cypress.

Disclaimer: CYPRESS MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARD TO THIS MATERIAL, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. Cypress reserves the right to make changes without further notice to the materials described herein. Cypress does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit described herein. Cypress does not authorize its products for use as critical components in life-support systems where a malfunction or failure may reasonably be expected to result in significant injury to the user. The inclusion of Cypress' product in a life-support systems application implies that the manufacturer assumes all risk of such use and in doing so indemnifies Cypress against all charges.

Use may be limited by and subject to the applicable Cypress software license agreement.