



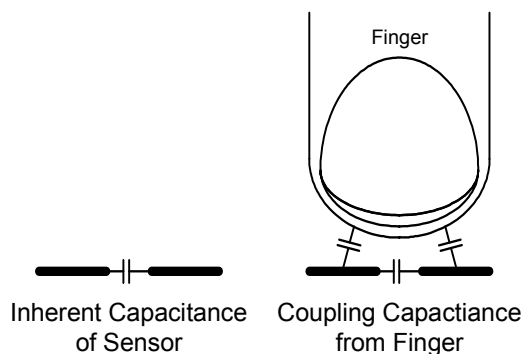
蜂窝电话中的电容性感测

By (Andrew Page, 赛普拉斯微系统公司)

对于当今大多数消费类电子产品的开发和改进而言，工业设计是核心推动力。在中端市场蜂窝电话行业中，用户界面的改善是新款蜂窝电话获得成功的关键所在。如果一款手机根本没有人愿意用，那么它就是再好又有什么意义呢！考虑到这一点，制造商们正专注于开发创新技术，以求能够在替换占用空间的按钮和开关的同时兼顾蜂窝电话用户界面（CPUI）性能。在 CPUI 中采用电容性感测是缩减占用空间一种行之有效的技术。电容性感测实现了较低的成本、坚固性、灵活性和一个直观的 CPUI，而且并未破坏与现有便携式设备在外形尺寸和功能上的兼容性。电容性感测功能可与诸如白光 LED 驱动和电池充电等其他标准蜂窝电话功能相组合，以进一步降低蜂窝电话的成本。赛普拉斯采用 CapSense 技术的 PSoC 混合信号阵列可使制造商轻松地在其蜂窝电话中融入电容性感测功能。

典型的中端市场 CPUI 由几个按钮、开关和显示屏组成。如果只是想拥有基本功能，CPUI 仅需一个袖珍型字母数字键盘、显示屏或许再加上一个电源开关就足够了。然而，有多少消费者会对一款只具备基本功能的手机感到满意呢？如果您还在想会有 10 万、20 万、甚至 30 万，那么赶紧别想了；这不过是一句反问而已！目前，制造商设计的手机能够浏览网页、发送文本消息、拍摄照片、甚至存储和播放音乐。在消费产品市场上，这些功能是吸引大多数消费者的关键因素。为了支持这些功能，制造商需要增加 CPUI 的功能。对于 CPUI 而言，功能的增加将产生两种后果：要么尺寸变大，要么日益复杂。不幸的是：消费者同时也对更加简单、小巧的蜂窝电话情有独钟。消费者再也不会提着砖块大小的手机四处转悠了！蜂窝电话制造商如何才能解决消费者提出的这一难题呢？一种可能的方案就是用电容性传感器来取代传统的按钮和开关。电容性传感器能够很容易地替换数字开关和线性滑块，此二者正好是现行 CPUI 最为常用的部件。

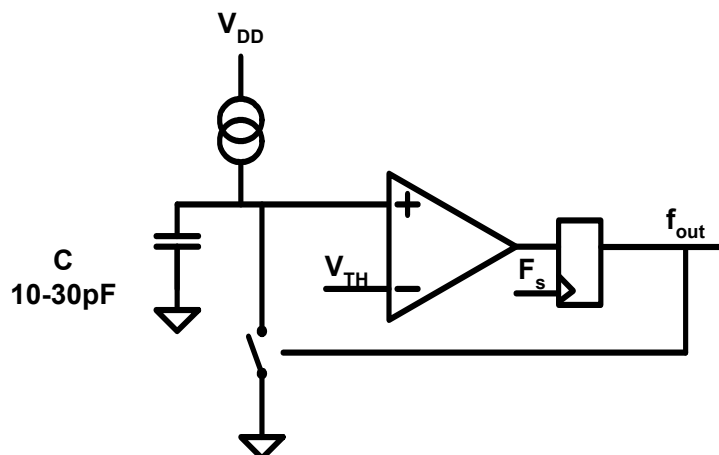
图 1：基本的电容性传感器



电容性传感器的基本形式就是一对相邻的极板。如图 1 所示，在这些相邻的极板之间存在着固有电容。该电容与极板的厚度成正比，而与极板之间的距离成反比。在理想的情况下，这将是传感器的唯一可测量电容。当把一个导体（比如：手指）放置在靠近两块极板的地方时，就会给固有电容增加一个并联电容。此时，可测量电容便是固有电容与手指至传感器耦合电容之和。当把手指放在电容性传感器之上的时候，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智能之后，就可以确定手指的存在与否了。

电容性传感器的常用电子线路印刷电路板（PCB）实现法采用的两个彼此靠近、间隔有限的铜垫或印制线。这就是一个基本的电容性数字开关。同样地，线性滑块是由 PCB 上的一个电容性传感器阵列组成的。通常，传感器的一块铜极板是接地的，只留有一块有源极板。实际上，互连线侧面电容会使传感器的固有电容增加，并产生 $10\text{pF}\sim 30\text{pF}$ 的总典型值。典型的手指耦合电容值为 $1\text{pF}\sim 2\text{pF}$ 。实现电容性传感器的难题在于设计一个能够测量出由手指引起的 3% 电容变化的电路。

图 2: 典型弛张振荡器拓扑结构



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。该电路包括 4 个元件，即：一个同步比较器、电流源、放电开关和电容性传感器。

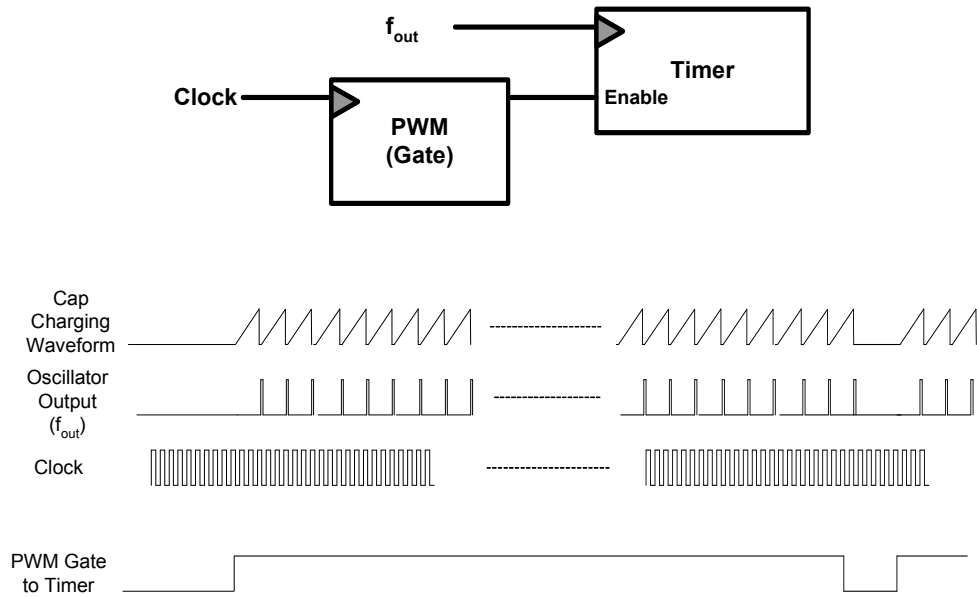
一开始，放电开关处于开路状态，电流源对电容性传感器进行线性充电。电容性传感器上的电压正向斜坡上升，直到超过比较器的门限为止。比较器的输出从低电平变换至高电平。这将导致放电开关闭合。电容性传感器通过该低阻抗路径迅速放电至地。该过程将使比较器的输出从高电平变换至低电平，然后重复这一循环。输出频率 (f_{out}) 取决于充电电流和电容性传感器数值，关系式如下：

$$f_{out} = \frac{i_{Charge}}{C_p V_{BG}}$$

典型设计将振荡器频率设定在 20kHz 至 200kHz 的范围内。然后，把该频率馈入一个智能测量电路。通过测量频率的变化，即可判定手指是否存在。

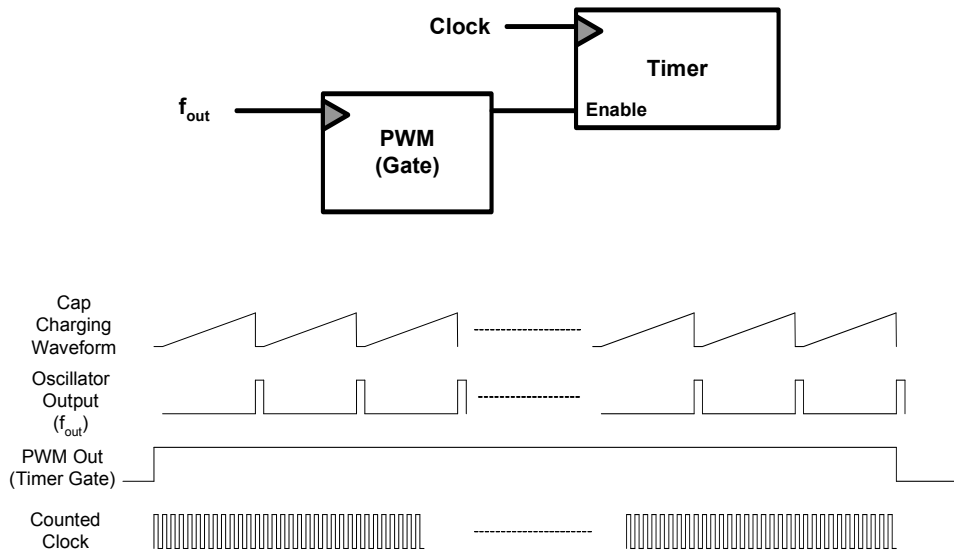
人们广泛采用的弛张振荡器频率测量方法有两种，一种方法测量的是频率；另一种方法测量的是周期。

图 3：频率测量



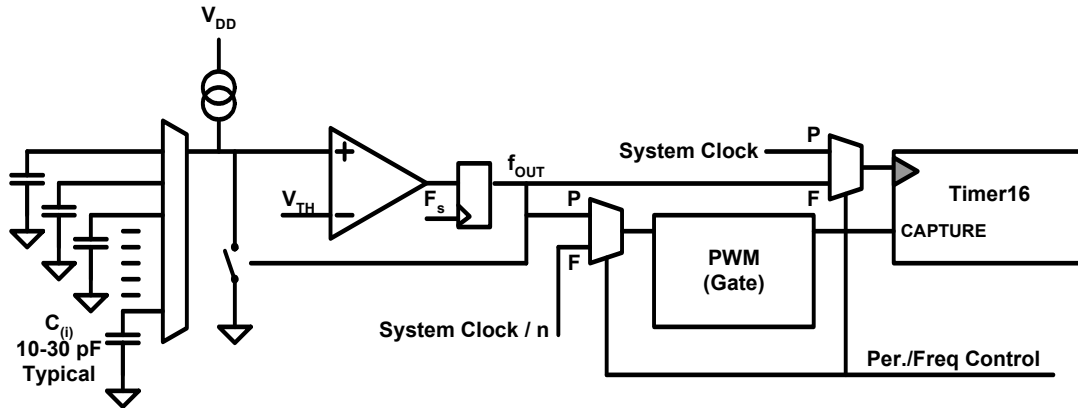
频率测量需要采用一个门控定时器来测量针对给定时间周期的弛张振荡器频率。具体如图 3 所示。对定时器进行读操作，以确定在固定周期中累积的计数值。这种方法很适用于低频场合，此时，与振荡器周期相比，电容性传感器的放电时间可以忽略不计。

图 4：周期测量



周期测量采用振荡器频率作为脉宽调制器（PWM）的门控信号，如图 4 所示。采用一个比弛张振荡器频率更高的频率来对定时器进行计时。定时器时钟越快，测量电容的分辨率越高。以上两种方法都可采用传统的 555 定时器或更加复杂的微控制器来轻松实现。由于手指存在与否的确定需要借助智能软件算法，因此，微控制器型解决方案似乎更加精巧。

图 5：用于电容性感测的 PSoC 弛张振荡器拓扑结构



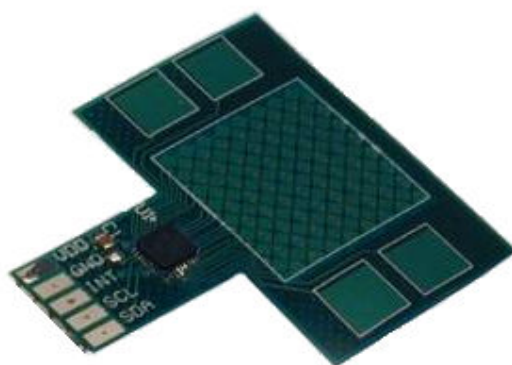
赛普拉斯的 PSoC 混合信号阵列 CY8C21x34 和 CY8C24794 系列采用了 CapSense 技术；并具有一个独特的硬件部件组，用于通过弛张振荡器拓扑结构来实现经济、简单的电容性感测设计。图 5 示出了这种拓扑结构。该部件组包括：多个精密型定时器和计数器、一个可自动连接至放电开关的比较器、一个可编程电流源以及一个可使每个引脚都成为一个潜在的电容性传感器通用模拟多路复用器。和所有的 PSoC 一样，实现一个特定应用所需的外设均通过内部寄存器来配置。可在 PSoC 应用的设计中提供帮助的 PSoC Designer 是一款软件工具，包括一个专用用户模块和向导，用于针对电容性感测设计来配置内部寄存器。这一对功能强大的组合为工程师们提供了实现简单的电容性数字开关（甚至更加复杂的电容性线性滑块）所需的工具。除了内部寄存器配置之外，PSoC Designer 还包括必要的软件例程，用于确定数字开关上是否有手指触摸或者手指在线性滑块上的精确位置。要想实现一个完整的电容性感测应用，最后还必需增加这种智能。

该软件算法提供了两项智能化功能。第一项功能是把从测量电路获得的计数值转换为手指检测结果。数字开关和线性滑块均需要这一功能。第二项功能是通过一个多传感器阵列电容的加权平均来计算手指在线性滑块上的位置。一个双码元滑块具有一个固有的单码元 LSB。如果手指在滑块之上，则它可以位于码元 1 和/或码元 0 上。但是，手指位置的检测分辨率常常需要超过各个电容性传感器的实际间距，因此，第二项功能还运用了一种内插算法。内插处理将 LSB 从一码元减小至 1/2 码元、1/4 码元

或 1/16 码元。内插是实现平稳电容性线性滑块的关键所在。CapSense 技术和智能软件算法的组合使得 PSoC 成为了电容性感测应用领域的翘楚。

电容性数字开关能够轻而易举地取代当今 CPUI 中的基本字母数字小键盘和电源开关。这种替代方案的优点是双重的：CPUI 的物理深度和总成本均得以缩减。利用电容性感测，多项复杂和基本 CPUI 功能都可以被整合在一个电容性线性滑块之中。滑块可提供用于网页浏览或地址簿遍历的翻页功能、音量控制、甚至亮度控制功能。实现所有这些功能所占用的空间小于传统的 CPUI。

图 6：蜂窝电话触摸板实例



二维线性滑块可将一个传统的 CPUI 转变成一块触摸板（与普通便携式电脑所使用的触摸板相似）。图 6 示出了一款触摸板。具有一块触摸板 CPUI 的中端市场蜂窝电话能够提供诸如光标控制等亲和性更好的功能。电容性触摸板的另一个特点是其具备与众多几何形状相适合的能力。当被归并到许多当今中端市场蜂窝电话的外形和功能组之中时，触摸板提供了无缝灵活性。

一个需要解决的问题是与周围环境的隔离。如果允许手指直接接触电容性传感器，或者将电容性传感器暴露于其他的外界伤害之下，蜂窝电话的使用寿命就会缩短。因此，必需采用某种隔离材料来把电容性传感器与周围环境分隔开来。便携式电脑和媒体制造商常常采用聚脂胶带或塑料膜来提供必要的隔离。不幸的是，隔离材料的使用导致手指与传感器之间的耦合电容变小。耦合电容的减小意味着手指检测灵敏度的下降。常见的隔离材料厚度值为 20 密耳（mil）。最大厚度值接近 2mm。如果超过该厚度，则电容性传感器的灵敏度将低至根本无法检测手指存在与否的地步。虽然采用隔离层会造成总体灵敏度的下降，但它却为蜂窝电话制造商提供了获得创造力的途径。制造商可以把二维传感器隐匿



于各种色彩绚烂的塑料膜的后面。设想一下这样一种塑料膜，在它的表面采用丝网印刷法印刷了可提供基本蜂窝电话功能的字母数字图案。再采用丝印法沿着塑料膜的周边印刷一个滚动条，这样就能够实现高级功能。相同的电容性触摸板、再加上各种塑料膜便相当于多项 **CPUI** 功能。让我们再回想一下本文开头提到的蜂窝电话消费者提出的难题。消费者要求 **CPUI** 能够处理越来越多的功能，同时缩小自身的尺寸。借助触摸板，蜂窝电话制造商为这道难题找到了一种解决方案。触摸板解决方案为工程师提供了灵活性、为制造商提供了更高的产品坚固性，并令消费者为之着迷。

电容性感测功能也可与其他的标准蜂窝电话功能相组合，以降低手机的成本。采用 **CapSense** 技术的 **PSoC** 混合信号阵列就是为提供这种灵活性而设计的。**PSoC** 能够驱动嵌入在手机显示屏内部的白光 **LED**，甚至还可为内部的蜂窝电话电池充电。以往一直由单独的微控制器来处理的功能如今已可被集成到单个 **PSoC** 中。

对于当今的中端市场蜂窝电话制造商而言，电容性感测是一个强档优势。电容性感测 **CPUI** 不仅改进了手机的工业设计，而且还提供了面向不断扩张的消费市场需求的创新解决方案。赛普拉斯采用 **CapSense** 技术的 **PSoC** 混合信号阵列是实现高性能及成本效益型电容性感测解决方案的关键。



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.