

车用电容传感器的新契机

美国模拟器件公司

过去，在汽车里很少使用电容传感器，因为它们不好控制，难以读取数据，容易老化，并且依赖于温度。然而，其低廉的生产成本、简单的外形适应性及低功耗特性都是有利于其应用吸引人的属性。一种新的电容测量技术的兴起，使得车用电容传感器的数量急剧上升。

详细产品应用指南请查看：www.analog.com/TechArticle_NewOpsforCapacitiveSensors

问题的提出：

宏观上说，电容传感器通常通过将电容转换成其它物理量，例如电压、时间或频率进行分析。微观上说，电容传感器应用于汽车已经很长时间了；微电子机械（MEMS）加速度传感器就是基于电容传感器原理。这些传感器通常用于检测电荷的转移。美国模拟器件公司（ADI）现已开发出一种新的检测电容的方法，它采用了改进的 Σ - Δ 模数转换器（ADC）的输入级检测未知的电容并将其转换成数字量。ADI 公司称其为电容数字转换器或 CDC。本文首先解释一下 CDC 转换方法。接着介绍几种可在汽车中使用的电容传感器的工作原理。最后，简要介绍一下交替转换方法。

电容数字转换器（CDC）：

为了直观描述 CDC 转换方法，我们必须先着重介绍一下 Σ - Δ ADC 的工作原理。图 1 示出了一个简化原理图。

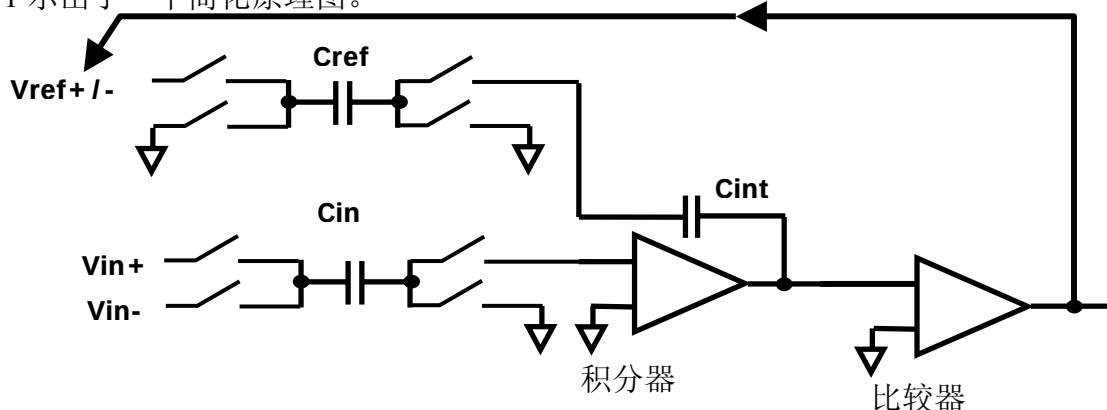


图 1： Σ - Δ ADC 原理图

为了清楚地了解 $\Sigma-\Delta$ ADC 的工作原理，我们首先考察积分器的输入端，它必须对长时间积分保持为零。它对短时间的跳变应将其转化成斜坡。当参考支路的输出幅度变化到与输入支路的幅度相同时其积分平均值为零，接着用比较器的输出对它起作用。当将参考支路切换到后续电容时，比较器输出为逻辑“1”。电容充电后对积分器反相积分，以便对积分器施加负参考电压。因此当输入端施加高电压时会产生大量的逻辑“1”，同样频繁地施加正（负）参考电压。由后面的数字滤波器转换的由“1”组成的数据流生成数字量。标准的 $\Sigma-\Delta$ ADC 将未知电压与已知电压进行比较，通常与两个已知的（通常是相等的）电容器进行比较。因此实际上比较的是电荷。如果两个电压都已知（在本例中使用的是相等的电压），那么可以用公式 $Q=C \times U$ 比较电容。另外，还必须对输入支路施加一个同步的电压信号，如图 2 所示的原理图。

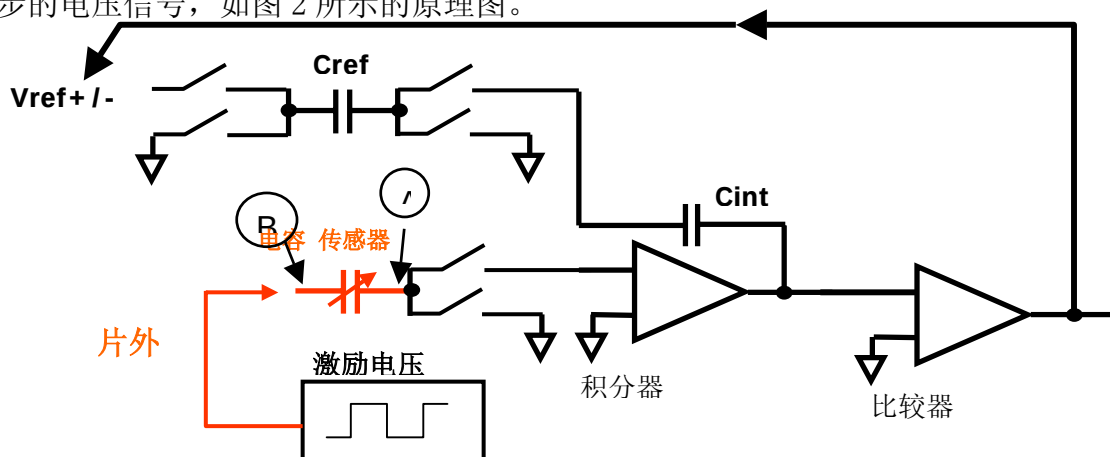


图 2：电容数字转换器

电容数字转换器有许多优点。由于它与 $\Sigma-\Delta$ ADC 有密切的联系，所以可以采用和修改 $\Sigma-\Delta$ ADC 具有的一些众所周知的特性。这些特性包括很高的噪声抑制能力、在极低频率下具有高分辨率、高精度低成本以及抗电磁干扰等外部影响的鲁棒性。 $\Sigma-\Delta$ ADC 几乎毫无例外地具有类似的输入结构，以便对具体的测量任务采用各种不同的结构，例如特别低的电流输入、最大精度或较高的截止频率。进一步考察图 2 我们会发现更多的优点。在初始的测量值中寄生电容不起作用。寄生电容在节点 A 处趋近于 0，具有零电位。在节点 B 处不为 0，但是向它提供一个确定的低阻电位，因此该节点的寄生电容会充电到平均值而不会影响测量结果。从节点 A 到节点 B 之间的寄生电容总是与测量元件并联，并且总是作为失调电压出现。

AD7745 是首款 CDC，它提供 24 bit 分辨率和 16 bit 精度。它具有大约 50 aF 分辨率和 2 fF（经过校准的）精度。参考电容具有严格规定的温度系数，因此可将其用作内置温度传感器既可用于提高测量精度，也可用作参考电容。

电容传感器：

以前的电容分析系统要求很高的测量电容，并且当触摸时具有大的电容量变化。这种对于具有足够大变化的要求对应传感器制造商常常产生问题，而对应小的电容传感器则不应存在问题。例如，典型的 150 pF 湿度传感器不仅昂贵许多（因为它们尺寸变大），而且更容易产生错误，而且长期稳定性也降低了。

电容器的容量根据其结构按照公式 $C = \epsilon_0 \epsilon_r A / d$ 计算，其中 ϵ_0 是真空中介电常数， ϵ_r 是介质中的介电常数， A 是极板的有效面积， d 是两个电极之间的距离。除了几个例外如压力传感器等，所有的电容传感器都使用平板表面或电介质的变化测量电容器的变化。大多数传感器可被归为两类：根据极板面积（几何尺寸）的变化（例如液位传感器或位移传感器）和根据 ϵ_r 的变化（例如接近传感器或湿度传感器）。

电介质传感器：

传统的电介质传感器的实例是采用对湿度敏感的聚合层作为介质的湿度传感器。随着湿度的增加，水分子堆积得越来越多，因此 ϵ_r 增大。测定液体（例如油或燃料）纯度的传感器实质上是由两个固定的平板构成的，液体本身构成电介质。所需液体的性质主要由经验决定（例如油或燃料中增加的水份含量）。温度在其中起着决定性作用，所以决定必须可靠。简单的接近传感器，它决定着介质的变换，通常要求最复杂的测量电子电路。

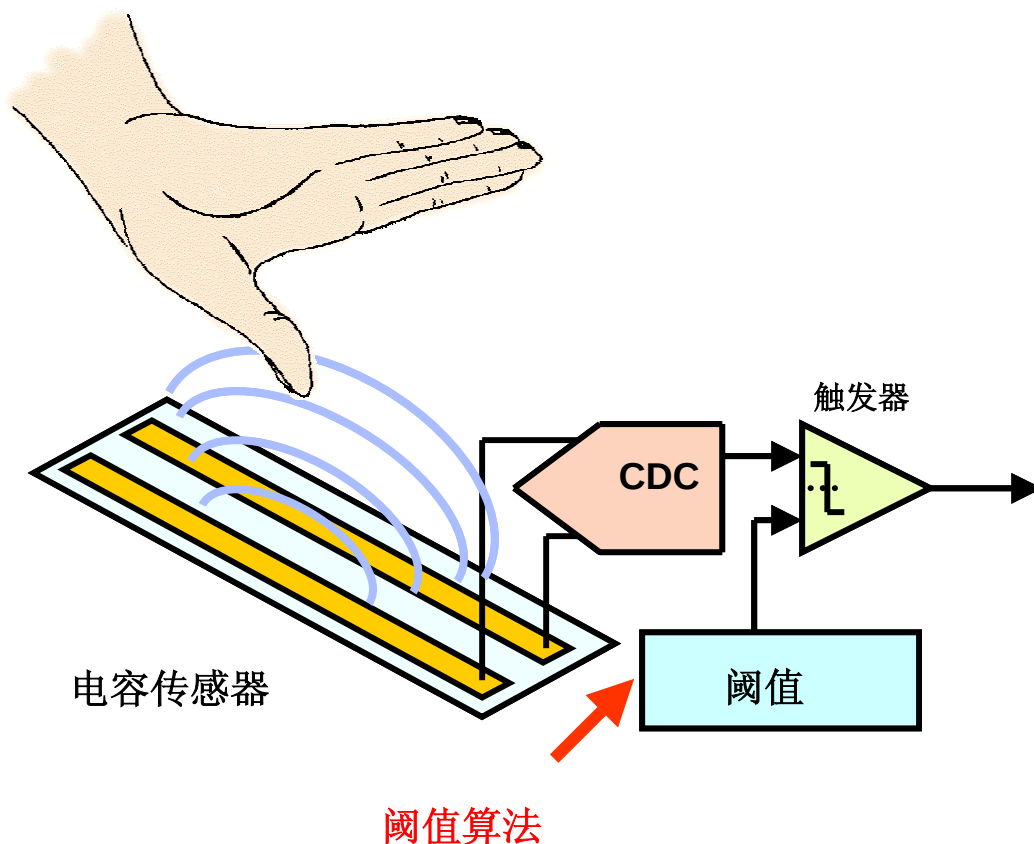


图 3：接近传感器

在大多数情况下，接近传感器由印刷电路板上两个导体组成，两导体之间的电介质值具有很低的介电常数（接近 1）。如果有一个物体，例如人手，接近电容器的电场移动，电容就会改变。人体的水分含量超过 90%，因此介电常数很高（约为 50）。无触点开关的制造十分简单，因此用于电子窗口的无钥匙进入和箱位保护等应用。无钥匙汽车的核心要求是电流输入尽可能最低——标准值低于 $100\ \mu\text{A}$ 。 $\Sigma-\Delta$ ADC 在业界已经优化很多年了，因此可提供合理的体系结构。用同样的方法可实现雨量传感器。这些传感器容易生产，成本很低而且具有尺寸小的缺点。传统的基于水滴的光折射的雨量传感器必须非常小，从而减小了占用挡风玻璃上的面积，同时导致了雨量小时可重复的问题。

几何尺寸传感器：

根据几何尺寸变化的传感器实例是压力传感器、液位传感器和位移传感器——只是简单地在两块固定的极板之间改变电介质。压力传感器使用两块固定大小的板作为膜片；由于膜片有弹性，压力作用在传感器上时两板之间的距离会改变。

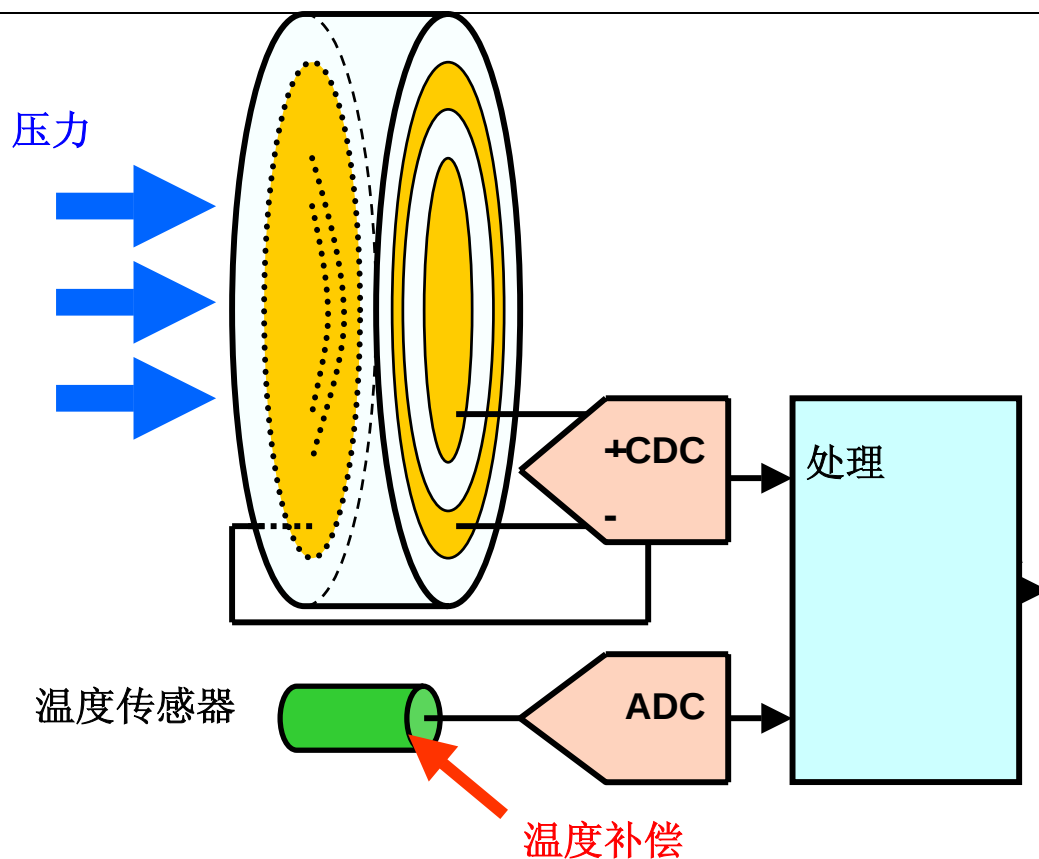


图 4：压力传感器

需要一个温度传感器是由于热膨胀引起的几何尺寸改变。设想两个电电极中的一个电极连接到芯片上，另一个连在金属或陶瓷结构的 外壳上。因此外壳自身起到传感器的作用。例如，陶瓷外壳，陶瓷能承受很大的压力和侵蚀性媒体。与传统的惠斯通电桥相比，电容压力传感器的主要优势在于其低输入电流，从而使其特别适合于轮胎气压控制等应用。

在液位传感器中，测量浸入在液体中一对固定的平板。制造商可以用极低价格的印刷导线实现。另一对平板放置在底部，从而允许检测介质因温度或其它因素产生的改变，如图 5 所示。

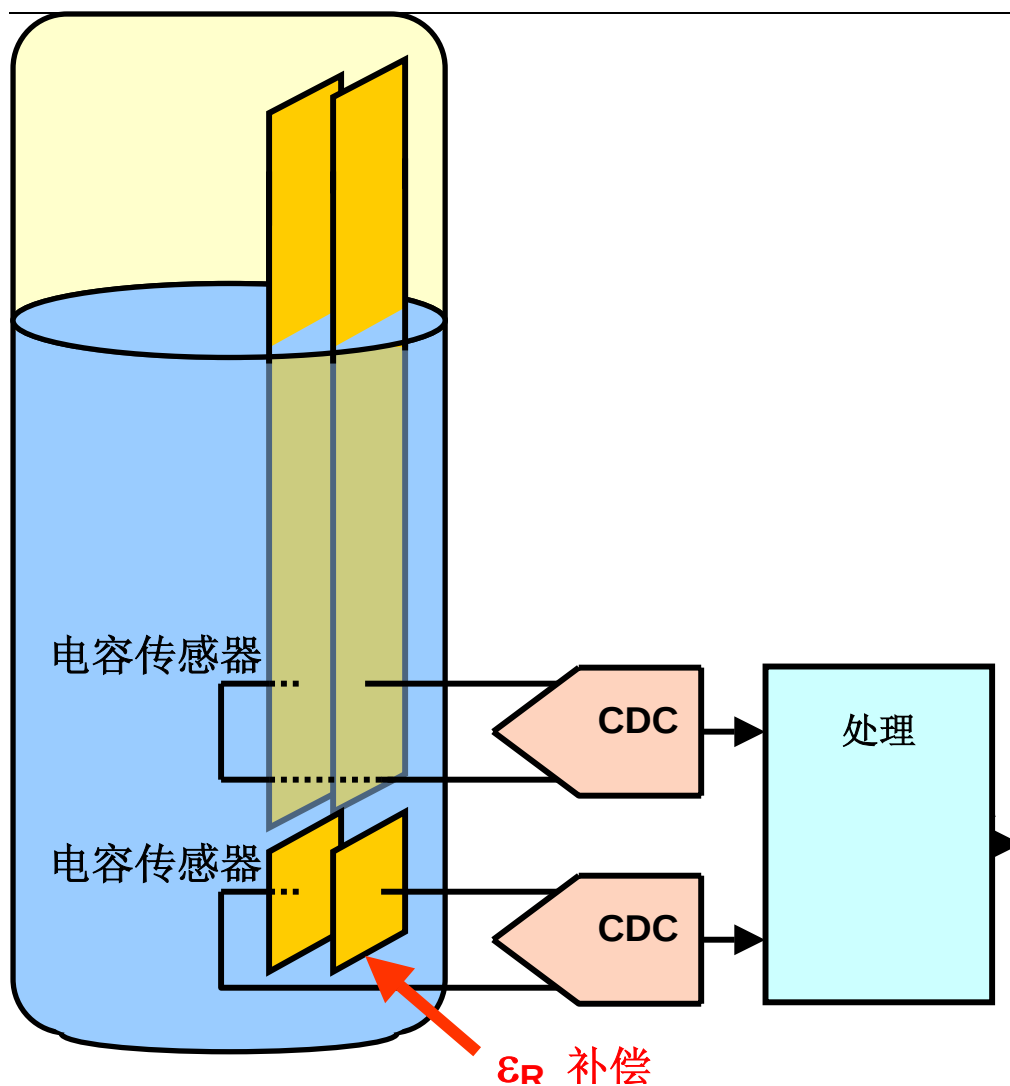
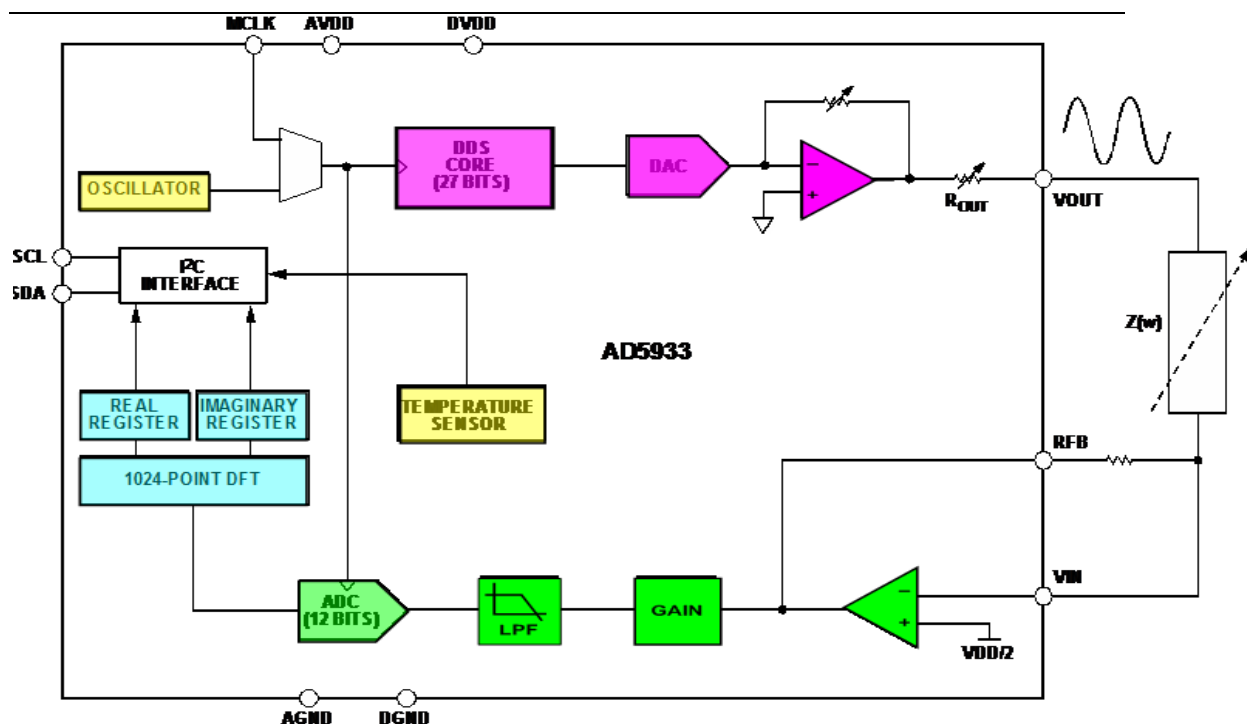


图 5: 液位传感器

在所有方法中， $\Sigma-\Delta$ ADC 经过证明是最受欢迎的。在许多情况下，总是能用数字滤波器能实现要求的动态行为。例如，液位传感器要求极长时间的恒定，而接近传感器必须适应周围环境的变化（如雨雪中使用的湿度传感器）。

交替转换方法:

我们简要地讨论一下交替转换方法。这种工作方式按照一种完全不同，甚至比较复杂的方法。另一方面，这种方法可用于测量复数阻抗包，括感抗、阻抗和容抗，或者阻性性和感性传感器。这种情况下，用一非常精密的已知频率激励传感器。ADI 公司为此使用了直接数字频率合成技术（DDC）。用快速 ADC 和快速傅立叶分析方法记录传感器的响应。用 DDS 方法可精确地知道任何时间原始相位位置。按照同样的方法，可以测量出对其它频率的响应。由此可以计算出阻抗的实部和虚部，并在数据总线上输出。一次完整的扫描只需几百毫秒（ms）。图 6 示出了这种方法。



注: OSCILLATOR= 振荡器

DDS CORE= DDS 内核

PC INTERFACE= PC 接口

REAL REGISTER= 实数寄存器

IMAGINARY REGISTER= 虚数寄存器

TEMPERATURE SENSOR= 温度传感器

1024-POINT DFT= 1024点离散傅立叶变换

GAIN=增益

图 6: AD5933 工作框图

ADI 公司将这种电路称为网络分析器。除了电容传感器和电感传感器，适当的传感器还能记录待测液体中粘度的变化（例如机油或润滑油）。

总结:

电容传感器正在汽车行业中复苏。一种新的方法已展示了湿度传感器、雨量传感器和接近传感器的初步成功。采用的 Σ - Δ ADC 技术能够提供灵活的解决方案以满足不同的动态和精度的要求，并且能够使传感器系统满足极低的功耗需求。电容传感器已经用于多种应用，并且 ADI 公司正在开发适应轮胎压力传感器和无钥匙汽车解决方案。随后我们将开发交替解决方案。

详细产品应用指南请查看: www.analog.com/TechArticle_NewOpsforCapacitiveSensors