



小型數位濕度感測器 IC 延長電池壽命 並降低設計複雜度

傳統的濕度測量採用大尺寸離散式電路，或者耗電量達 4-20mA 的笨重濕度感測模組，然而伴隨著「物聯網」的興起，傳統技術已無法滿足更小、更輕以及更低功耗的設計需求。

小型數位濕度感測器單晶片為滿足眾多應用需求而提供更合適的解決方案，這些應用包括可攜式氣象站、霧化器、用於貨物和資產運輸的資料記錄儀、智慧型電話/功能型電話配件以及遠端環境感應節點等。

為了更好的瞭解使用數位濕度感測器帶來的好處，我們將討論以下主題：

- 傳統相對濕度 (RH) 離散式感測器與數位相對濕度單晶片感測器對比。
- Silicon Labs Si7005 數位相對濕度感測器在 RH 和溫度測量時平均功耗的計算。
- 為可攜式濕度感測器系統選擇最佳電池。

背景

濕度是對空氣或其他氣體中水分含量的測量。有幾種方法用來表示濕度量度：

- 純絕對濕度 (用 gm^{-3} 表示)。
- 純絕對水汽壓 (衡量空氣中實際水分含量的測量，用 kPa 表示)。
- 飽和水汽壓 (在特定溫度下，空氣中含有的水蒸氣所產生的最大壓力)。

如果水分含量超過飽和水汽壓，會產生冷凝，並且水分含量被降低到飽和水汽壓。露點 (當氣體冷卻時，冷凝液或霧氣開始形成時的溫度) 也用來衡量空氣中絕對水分含量。

相對濕度可以透過很多技術來測量，從彈簧支撐結構的簡單機械指示器到複雜且昂貴的分析儀器，例如冷鏡面光學濕度計。一般來說，無論是相對濕度、露點、絕對濕度或等效的濕球溫度，測量濕度都不是一件容易的事情。

來自英國國家物理實驗室（National Physical Laboratory）的研究顯示，實際測量濕度是十分困難的，因為不確定的環境因素，最小的測量誤差為 $\pm 3\%$ 。由於 RH 極依賴於溫度，因此我們要知道空氣的精確溫度，以便確定相對濕度。僅 0.2°C 的溫度變化就會導致 1%的 RH 誤差。

離散式電阻和電容相對濕度感測器已使用數年，其填補了機械和光學 RH 感應之間的測量空白。他們與離散式溫度感測器組合使用，例如熱敏電阻和電阻溫度檢測器（RTD），共同測量 RH 和露點。

電阻式感測器使用高分子聚合物薄膜，其依據吸收水分量而改變導電特性。

電容式相對濕度感測器利用電容器基板之間的高分子聚合物電介質，並透過檢測由滲透到高分子聚合物電介質層的水氣所引起的電介質常數（ Er ）和電容的變化來測量 RH。當 RH 從 0 變化到 100% 時，電介質常數 Er 通常從 3.0 變化到 4.0。圖 1 顯示了典型的離散式元件感測器原理圖。

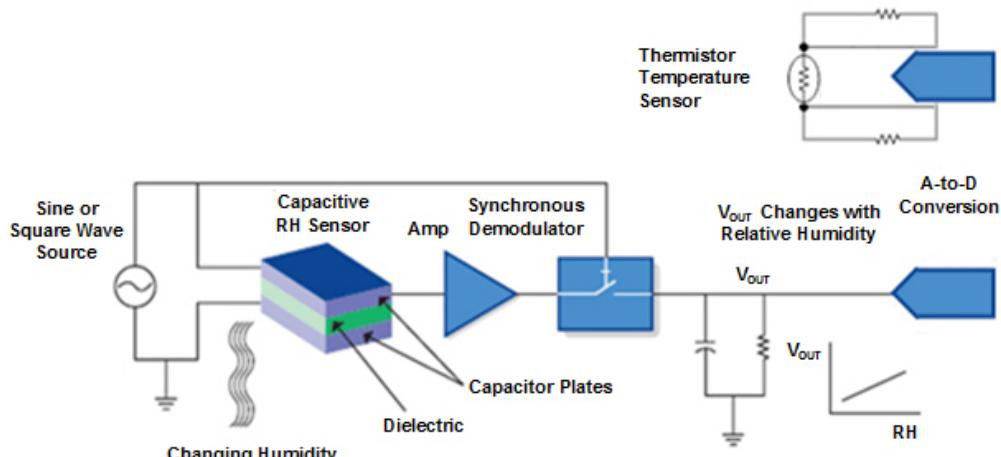


圖 1. 典型的離散式元件組成的相對濕度和溫度感測器

離散式方案比機械式系統方案體積更小、更容易校準，但是他們需要很多輔助元件來實現線性化、校準和轉換 RH 值。這種方法需要額外的電路板空間、更高的功率，並且在給客戶發貨之前每個元件單元都需要經過生產線校準，耗費人力；而且，離散式感測器不適合大批量的回焊；此外，離散式感測器在溫度範圍和使用週期中還存在精度差、變化率高、顯著的滯後作用和嚴重的感應漂移等問題。以上因素都增加了生產測試和校準的複雜度，而且意味著在最終應用的產品生命週期中需要週期性的校準。

數位相對濕度單晶片感測器

新興的感測解決方案把相對濕度和溫度感測器直接整合到單晶片 CMOS IC 中，並具有數位 I²C 介面。因為兩個感測器在同一晶粒上位置靠近，所以在相同溫度下 RH 讀數總是比離散式方案的讀數更精確。

單晶片感測器解決方案的一個典型例子是 Silicon Labs Si7005 數位相對濕度和溫度感測器。Si7005 感測器由晶粒表面上的高分子聚合物薄膜測量濕度，透過晶片整合的二極體的帶隙電路測量溫度。唯一所需的外部元件是一對旁路電容。每一個 Si7005 相對濕度感測器都經過工廠校準，因此無需客戶校準。該感測器採用工業標準的 4mm x 4mm QFN 封裝，並具有小型開口用於裸露水氣感應高分子聚合物薄膜。另外還可以選購具有薄型保護蓋的版本。保護感測器在安裝週期以及整個終端產品壽命週期中，避免由助焊劑、粉塵、化學物質及其他污染物所帶來的侵害，同時也增加了回焊過程中的保護。表 1 汇總單晶片解決方案（例如 Si7005 濕度感測器）與離散式解決方案的特性對比，展示出單晶片解決方案的優勢。

透過以下方式獲得電容到 RH 的轉換和對 RF 精度的微調：

- 所有元件均在兩個 RH 測試點進行電容校準。
- 計算 RH 時實施晶片整合增益和補償校準。

做進一步的非線性化和溫度補償可以達到通常±3%的 RH 精度。非線性化和溫度係數由 Silicon Labs 提供，獨立於元件和生產批號。

表 1. 單晶片感測器相對於傳統離散式設計的好處

單晶片感測器 IC 核心特性	好處
比離散式、混合式或多晶片模組 (MCM) 整合度更高	<ul style="list-style-type: none"> 外部元件數量極少，大大降低設計複雜度 更小的封裝面積、高度和重量 加快上市時間
標準 CMOS 製程和 QFN 封裝	<ul style="list-style-type: none"> 工業標準的 CMOS 製程提供更高產量和穩定性 低高度的 QFN 封裝支持自動貼裝，可進行批量焊接和製造
IC 工廠校準，各個係數儲存於晶片內部記憶體	<ul style="list-style-type: none"> 更短的客戶生產/測試時間，更低的解決方案成本 生產線和現場可直接更換/替代
可選的疏水性保護蓋	<ul style="list-style-type: none"> 在安裝前、中、後保護裸露的感測器 回焊後無需任何材料或人工成本安裝保護蓋或安裝/取下保護帶

與傳統的離散式、混合式和 MCM 解決方案相比，Si7005 硬體、軟體和韌體的優化提供了以下好處：

高整合度 - 測量出的濕度和溫度值由晶片整合訊號調節電路和類比數位轉換器 (ADC) 轉換成數位格式。為了輸出電壓或頻率，無需外部訊號調節或數位轉換器。物料清單 (BOM) 僅包括兩個旁路電容器，而傳統離散式感測器可能需要幾十個元件，以實現相同功能。與離散式感測器、模組或混合式/MCM 相比，Si7005 濕度感測器具有更小的封裝面積和更輕的重量，所以可獲得更低的整體解決方案成本、更少的設計負擔、更小的體積和重量、更高的可靠性和更快的上市時間。

即插即用的易用性 - 數位輸出和工廠校準免除 Si7005 相對濕度感測器的校準過程，所以每個感測器都可以相互替換。在從一個元件單元切換到另一個元件單元時，無需任何軟體/韌體改變或校準；主機處理最後的線性和溫度補償，該演算法使用固定值，不因晶片的變換而改變；在生產線上無需花費時間或人力來調整每個元件單元，因此返工和現場維護更加方便。

保護蓋 - 可選的工廠安裝的保護蓋，如圖 2 所示，使 Si7005 非常牢固和易用。這種薄型疏水性/疏油性薄膜可保護感測器在電路板安裝前、安裝中和安裝後，避免液體/冷凝液和粉塵帶來的侵害，而測量的靈敏度也不會受到保護蓋的影響。

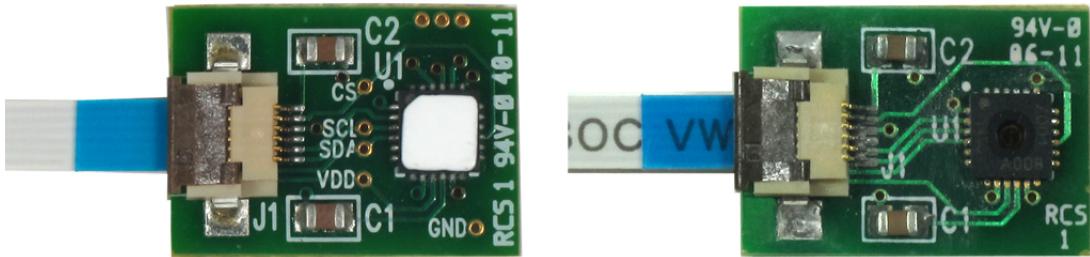


圖 2. 含保護蓋和不含保護蓋的 Si7005

從 MCU 埠接腳為 Si7005 濕度感測器供電以達到低功耗

Si7005 相對濕度感測器可以動態的從微控制器（MCU）埠接腳獲得每次轉換所需的電能。由於Si7005 感測器僅僅需要 $240\text{-}320\mu\text{A}$ ，因此大多數MCU埠接腳都可以提供此電流。由於Si7005 濕度感測器在等候下一次轉換時會進入省電模式，因此無需CS接腳，可以直接將CS接腳接至GND，如圖 3 所示。

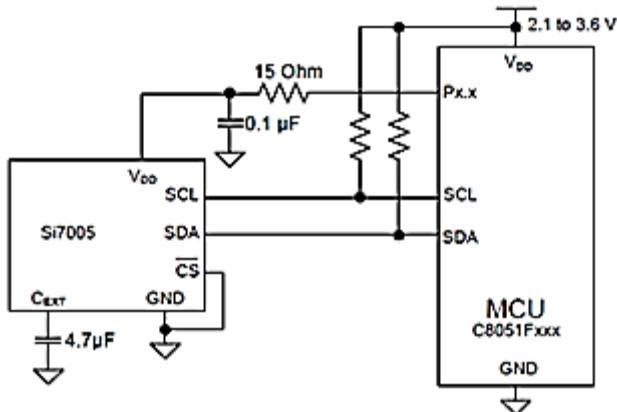


圖 3. Si7005 低功耗操作配置，電源來自 MCU 埠接腳

如何從微控制器埠接腳為感測器供電：

- 連接 Si7005 感測器的 Vdd/Vs 接腳到主微控制器上用於開關電源的 GPIO。
- 使用 MCU/主機的 Vdd 為 I²C 上拉電阻供電。
- 元件上電後，允許有 28ms 為 Cext 充電（假設 MCU IOH 0.3mA）。
- 讀取 RH 和溫度（通常每次需要 35ms 轉換時間）。
- Vs 降到 0V。
- 採用線性化和溫度校正係數，以獲得校準的 RH 和溫度值。

- Si7005 相對濕度感測器具有內部加熱器，可增加 I_{dd} 到大約 30mA。除非微控制器埠接腳可提供 30mA 電流，否則不要在此配置中啟動加熱器。如果啟動加熱器，功耗增大到 $3.3V \times 30mA = 0.1W$ ，晶粒和感測器溫度將在外部環境溫度之上增加 5°C-8°C（假設分別為 4 層和 1 層 PCB 使用熱阻（Theta-J-A）50°C/W 和 80°C/W）。

Si7005 供電需要 $V_{dd} = 3.3$ V，此為 Si7005 資料手冊中 I_{dd} 的典型值：

- 上電過程中，功耗典型值為 $300\mu A$ ， $4.7\mu F$ C_{ext} 充電到 1.8V 需要 28ms（或 14ms，如果 $I_{OH}=0.6mA$ ）。
- RH 測量（35ms） I_{dd} 典型值為 $240\mu A$ 。
- 濕度測量（35ms） I_{dd} 典型值為 $320\mu A$ 。
- 掉電過程 - 電容放電需要約 15ms。元件將處於掉電狀態一直到下一次轉換。
- 元件自熱 $<0.1^\circ C$ 。

上述溫度和濕度轉換中消耗的總能量，在下列典型條件中為：

- $0.3mA \times 28mS \times 3.3V = 27.7\mu J$.. 上電過程。
- $0.24mA \times 35mS \times 3.3V = 27.7\mu J$.. RH 測量。
- $0.32mA \times 35mS \times 3.3V = 37\mu J$.. 濕度測量。
- $0.15mA \times 10mS \times 3.3V = 5 \mu J$.. 讀取結果之前，花更多時間確保測量完成，總計 $96\mu J$ 。

如果溫度和濕度轉換每分鐘執行 1 次、2 次或 4 次， $96\mu J$ 能耗等於下列平均電流：

- $96\mu J / (3.3V \times 15) = 2\mu A$ 平均電流，每分鐘 4 次轉換。
- $96\mu J / (3.3V \times 30) = 1\mu A$ 平均電流，每分鐘 2 次轉換。
- $96\mu J / (3.3V \times 60) = 0.5\mu A$ 平均電流，每分鐘 1 次轉換。

功耗敏感型可攜式系統的電池選擇

選擇合適的電池是可攜式濕度檢測系統設計的重要考慮因素。電池的特性因電池內部的化學物質、漏電流和溫度而變化。電池主要分為兩大類：

- 不可充電的原電池 - 通常比可充電電池成本更低、能量密度更高。
- 可充電的蓄電池 - 由於活性材料的耗散、電解質的損失以及內部腐蝕，此類電池不能無限次數的重複充電，並且在使用前必須進行充電。

附錄 1 列出主要的電池特性，附錄 2 詳細說明一般的電池類型。

當每分鐘操作 2 次轉換時，Si7005 相對濕度感測器在每年操作中將消耗 8.76 毫安培時 (mAh)，這僅僅是通常電池電量的一小部分。根據選擇的電池類型不同，需要應用下列額外的設計原則。

Si7005 Vdd 的範圍是 2.1V-3.6V。為獲得更好的轉換精度，Vdd 應不低於 2.3V。當使用 AA 電池時，推薦使用兩節電池串聯。如果放電限制到 1.15V，3000mAh 的 AA 鹼性電池的電量將減少到 2000mAh，這仍然相當充足。

雖然容量有限，鈕扣電池依舊是 Si7005 濕度和溫度感測器電源的很好選擇，因為電池電壓符合感測器操作範圍。對於 230mAh 容量的鈕扣電池來說，當 GPIO 在轉換之間關閉感測器供電時，Si7005 電量消耗僅為電池容量的一小部分。

就原生鋰電池和蓄電池來說，新電池電壓對於 Si7005 感測器來說太高了，需要串聯電壓調節器。

總結

低功耗可攜式濕度感測器的市場需求不斷增加，新興用於「物聯網」的可攜式和移動系統也發揮了極大的推動作用。數位濕度單晶片感測器 IC，例如 Silicon Labs Si7005 元件，是這種系統的理想選擇。Si7005 是小型高效能的相對濕度和溫度感測器，最大限度的減少外部元件數量和 BOM 成本。晶片整合校準、數位 I²C 主機介面、可選的保護蓋，以及具有成本效益的評估板和開發套件使開發人員可以快速方便的實現特性豐富的可攜式濕度感測器系統，並且系統的產品運行時間和電池壽命至少達 5-10 年。對於沒有空間限制的應用來說，AA 電池是很好的選擇，而在電池尺寸受限的應用中，鈕扣電池更佳，並且可提供多年服務。

附錄 1. 電池關鍵特性詳解

電壓 - 電池電壓的典型值、最小值和最大值很重要。例如 1.5V 鹼性電池放電範圍是 1.5-0.9V。

放電電流 - 在產品生命週期中，平均放電電流決定操作元件需要提供多大容量的電池。重要的是知道放電電流的最大值，以確保電池能為間歇性負載提供電流。

電池壽命 - 電池的壽命取決於放電電流。一般電池壽命是在指定放電電流下的最大電池壽命，其低於最大放電電流。

尺寸和重量 - 電池的化學物質和應用所需的功耗極大影響所選的電池大小和重量。通常，在相同能量下更小更輕的電池比更大更重的電池成本更高。

保質期 - 在客戶收到產品之前，應考慮電池保質期。某些電池比其他電池的保質期更長。有時保質期被指定為自放電電流，應該從電池壽命中去除。

溫度 - 電池化學成分決定工作溫度範圍。然而，即使指明電池可以在極端的溫度下操作，電池效能和壽命也可能會受到影響。低溫可能影響效能，同時高溫會顯著降低電池壽命。

原電池或蓄電池 - 可充電電池或蓄電池可以多次使用，但通常比較昂貴，而且通常需要充電器。

充電 - 不適當的充電是充電電池早期失效的主要原因。更好的充電器所花費的成本往往超過增加的效能和減少替換次數而節省的成本。

循環壽命 - 充電電池只能使用一定次數。

成本 - 技術上理想的電池可能成本高昂。例如，一次性鋰電池的成本可能是鹼性電池的 30 倍以上。此外，還要加上電池連接器、加工，以及為保護和/或充電電路的額外電路所需的成本。

附錄 2. 常用電池類型

電池類型	鹼性電池 (例如 2 x AA 電池)	鈕扣電池 (例如 CR2032)	原生鋰電池 (例如 $\frac{1}{2}$ AA 3.6V 鋰亞硫酸氯化物)	蓄電池 (例如松下 CGA103450)
電壓	額定值 1.5V 95%的放電量在 1.5V-0.9V 之間	額定值 3V 95%的放電量在 3.3V-2.5V 之間	額定值 3.6V 95%的放電量在 3.7V-3.5V 之間	額定值 3.6V 95%的放電量在 4.2V-3.2V 之間
最大放電電流	典型值為 1000mA	典型值為 3mA	典型值為 50mA	典型值為 200mA
電池壽命	典型值為 3000mAh	典型值為 230mAh	典型值為 1200mAh	典型值為 1800mAh
尺寸和重量	大體積和重量的方案	最小體積和重量的方案	較小體積和重量的方案	較大體積和重量的方案
保質期	大約 5 年	大約 10 年	大約 10 年	大約 1 年
溫度	典型值為-20°C-55°C	典型值為-20°C-55°C	典型值為-55°C-85°C	典型值為-20°C-60°C
成本	極低成本的方案	較低成本的方案	高成本的方案	極高成本的方案

#

Silicon Labs致力於投資研究與開發，以幫助我們的客戶採用創新的低功耗、小尺寸、類比密集型混合訊號解決方案開發差異化的市場產品。Silicon Labs廣泛的專利組合證明我們具有獨特的發展方式和世界一流工程團隊。專利查詢：www.silabs.com/patent-notice。

© 2012 Silicon Laboratories Inc.、ClockBuilder、DSPLL、Ember、EZMac、EZRadio、EZRadioPRO、EZLink、ISOmodem、Precision32、ProSLIC、QuickSense、Silicon Laboratories和Silicon Labs 標示是Silicon Laboratories Inc.的商標或註冊商標。ARM和Cortex-M3是ARM 控股公司的商標或註冊商標。ZigBee是ZigBee Alliance, Inc.的註冊商標。所有其他產品名稱可能各自屬於對應公司的商標。