

## Capacitive Sensing in White Goods Applications

### 家電產品的電容式觸控感應技術

By (Ryan Seguine, PSoC CapSense 產品行銷工程師, 賽普拉斯半導體)

#### Executive Summary

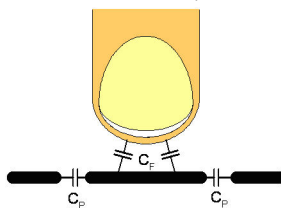
With all the excitement about capacitive sensing in the portable media player, laptop PC and mobile handset markets, it is easy to forget that such interface technologies have been actively designed into White Goods applications for years. Significant improvements in sensing algorithms and control circuitry have expanded the suite of applications in which the technology can be implemented. Designers are seeing the value of capacitive sensing as a mechanical button and membrane switch replacement as well as discovering new, exciting applications such as touchscreens and proximity sensors.

近來在可攜式媒體播放器、筆記型電腦、手機市場中陸續出現的各項令人感到興奮的電容式感測技術之應用，讓人幾乎忘了這類介面技術早已廣泛地應用於家電用品的設計中許多年了。感測演算法與控制電路兩方面的重大進展，讓這項技術適用於更多的應用領域。設計人員看到了電容式感測技術的價值所在—不僅可取代機械式按鍵與膜片開關；並可適用於各項新穎的應用，如：觸控式螢幕與近距感測器等。

#### 感測電容

電容式感測器是由導體片、接地面、與控制器所構成。在多數的應用中，導體片會用一片銅製電路板，而接地則用灌注填充。這兩者之間存在有原生（寄生）電容( $C_p$ )。當其他如手指頭等導電物體接近感測器時，隨著該物體的電容值( $C_f$ )增加，系統的電容值也隨之增加。(如圖 1)

圖 1. 當手指頭接近感測器時，電容值之隨之變化



要偵測由  $C_f$  造成電容值增加的方法有好幾個。場域效應(Field Effect)量測方法中，在感測電容器與系統參考電容器之間使用交流電分壓器。藉由監測電流在分壓器上的改變可以感測到手指觸碰時所產生的電容值變化。電荷轉移(Charge Transfer)則使用切換式電容器電路以及參考匯流排電容值，重覆進行從較小的

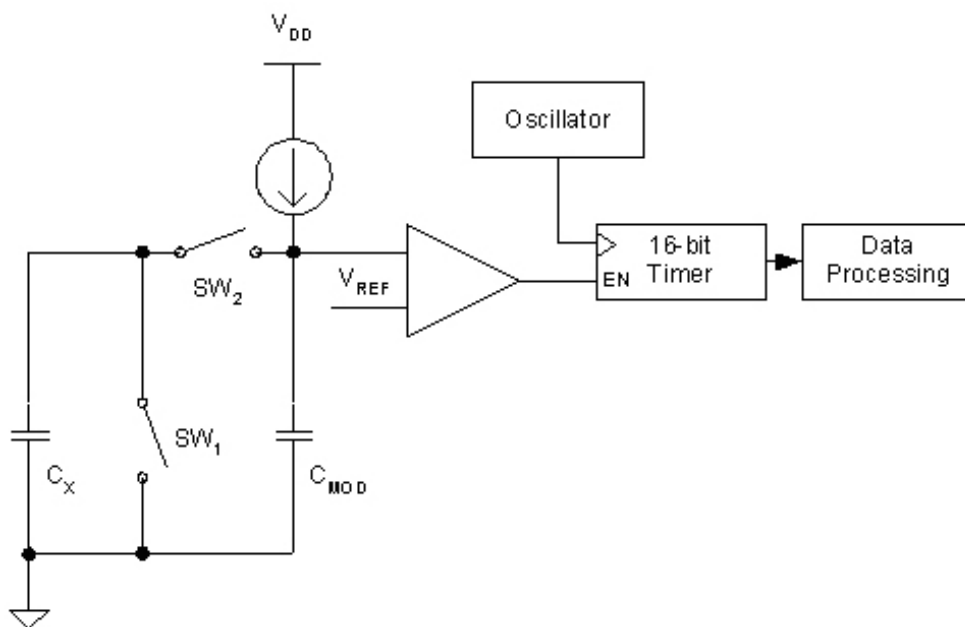
感測器電容器至較大匯流排電容器之間的電荷轉移步驟。匯流排電容器上的電壓值與感測器電容值兩者之間存在著比例關係，因此在固定次數的步驟後量測電壓值，或藉由計算達到某一電壓臨界值所需的步驟次數，來決定該電容值。另外，弛張振盪器(relaxation oscillator)則是用量測充電時間的方法，其中充電速率通常是由固定電流源的值和感測器電容值所決定的。較大的感測器電容器需要較長的充電時間，這部份通常能運用脈衝寬度調變器(PWM)與計時器來進行量測。至於連續近似法(Successive Approximation)也是量測電容充電時間的方法，不同的是當中的起始電壓是由連續近似法所決定的。

以 PSoC 元件執行的連續近似法(Cypress 申請之專利)採用一組電容對電壓的轉換器以及單斜率類比數位轉換器(ADC)。其電容值量測方式是先藉由將電容值轉換至電壓值，接著將該電壓值儲存於電容器內，然後再利用可調式電流源來量測所儲存之電壓值。

其中電容值對電壓值轉換器乃是利用切換式電容器技術，此電路系統讓感測器電容器可依其電容值反映出對應的電壓值。切換式電容器所用的時脈則是由 PSoC 本身內部的振盪器所產生。

感測器電容器連接到類比多工匯流排上，並利用同樣連接匯流排的可編程電流輸出數位類比轉換器(iDAC)進行充電。每個匯流排上充電電量為  $q=CV$ 。當  $SW_2$  為開路且  $SW_1$  為閉路時，跨  $C_x$  兩端的電位勢為零，且會減低匯流排上的電量，所減低的值與感測器的電容值成比例。這種充放電的動作會一直重覆，此時感測器電容器也會成為匯流排上的電流負載。(如圖 2)

圖 2. 以 PSoC 元件執行的連續近似法



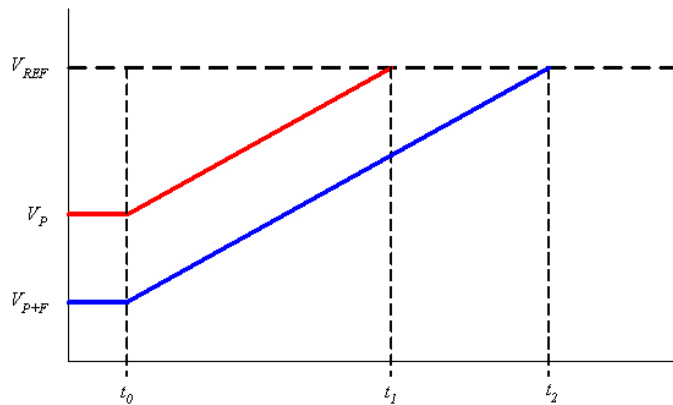
藉由切換式電容器的電路運作，iDAC 就會以二元搜尋法的方式決定出匯流排上恆定的電壓值有多少。該電壓值會影響切換式電容器的切換頻率、感測器電容值、以及 iDAC 的電流值。匯流排其實也等同於一個旁路電容器 (bypass capacitor)，可以穩定最終電壓。在匯流排上也可以增加額外的電容器，以調整電路的行為與時序。

$$V_X = \frac{1}{f_{OSC} C_X} I_{DAC}$$

$$V_{BUS} = V_{REF} - V_X$$

計算所得的 iDAC 值接著再度用來對匯流排充電，並且測量匯流排從初始電壓到比較器的臨界電壓所需的充電時間。初始電壓是在沒有手指觸碰的情形下，因此充電時間可事先測定。當手指觸碰感測器時會增加  $C_X$  的值，並且降低初始電壓，因此會延長充電時間量測。(如上公式及圖 3)

圖 3.

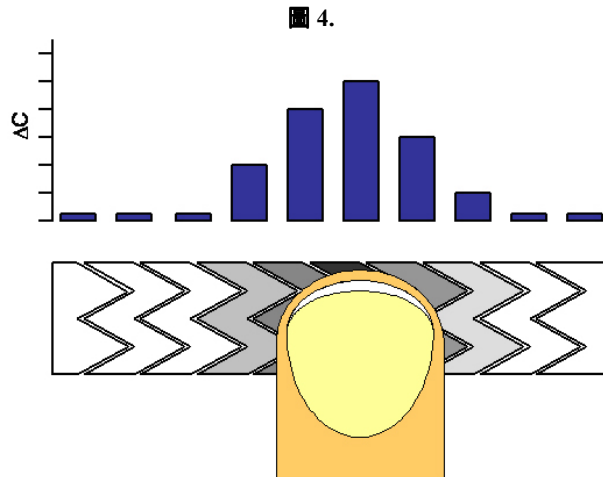


### 建構感測器

電容感測器有多種型態與功能，可以採用各式各樣的媒介，實作樣式從簡單到複雜都有。而決定感測器建構與建置細節的還是應用本身的需求。

最常見的感測器樣式要屬按鍵與滑桿。按鍵其實就是連接至控制器的大型導體片，其中所測得的電容值會與一連串的臨界值作比較，而測定結果也能藉由數位輸出獲得，或用其他類比特性，以進一步感測觸動的壓力或手指面積。至於滑桿則是許多導體片以直線或放射狀排列所構成的。利用計算質心的演算法就可以測定出接觸的位置，而且解析度遠大於感測所用的針腳數。像按鍵或滑桿這類簡單的電容感測

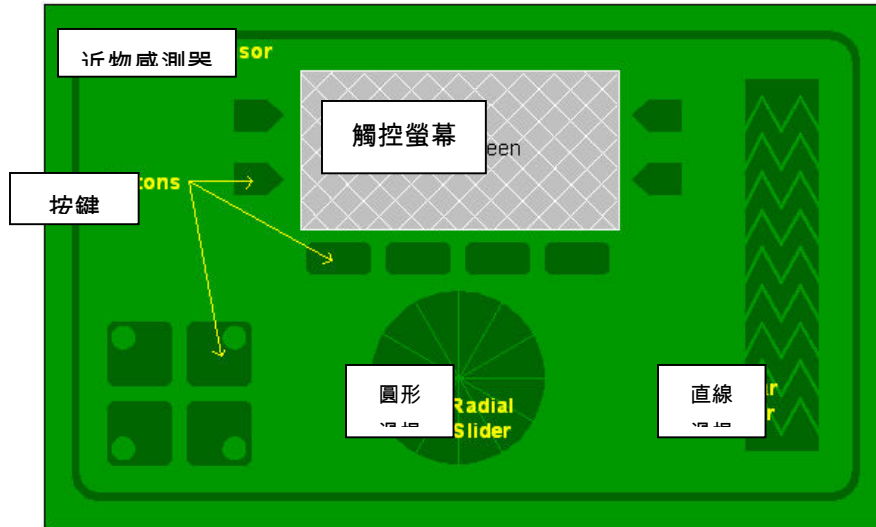
器，絕大多數都會採用銅片沉積至印刷電路板。然而也能使用其他基板材質與沈積媒介物製作電路，例如高導電性的銀墨 ( silver ink ) 。(如圖 4)



動態使用者介面的按鍵或觸控區則可以任意配置其顯示器樣式。這類的顯示器擁有更為平順且直覺化的互動操作，創造更佳的使用者經驗。要建構這類系統比一般簡單的按鍵或滑桿更為複雜。投射式電容觸控螢幕在顯示器上多加了透明導電物質。這層導電表面利用沈積方式附著於玻璃或 PET 薄膜這類基板上，並且連接至控制電路，接著再將此基板黏著於觸控表層與顯示器之間。觸發區域測定方式與滑桿相同。縱向與橫向的兩組滑桿相互交錯以覆蓋整個顯示區域，而且這兩個方向的滑桿會偵測觸動位置並且輸出 x 軸與 y 軸資料。由於投射式電容觸控螢幕上方還有一個覆蓋層，因此也保護螢幕不受直接衝擊、彎曲、環境因素影響等常見於傳統電阻式觸控螢幕的傷害。

近距感測器基本上就是很大的按鍵。近距感測器的目的並不在偵測導電物體的確切位置，而是物體是否在附近。由於不需知道物體確切位置，因此反應時間可以稍慢 ( 3-4ms vs. 250us ) 。近距感測器的靈敏度高很多；設計得當甚至可達 30cm 的距離。也由於近距感測器無須結合任何顯示圖形，因此在裝置中的擺放位置就有更多的彈性。無論是控制電路板外的銅線圈，或是覆蓋層後方的導線，都可以建置出非常基本且具成本效益的近距感測器。(如圖 5)

圖 5.

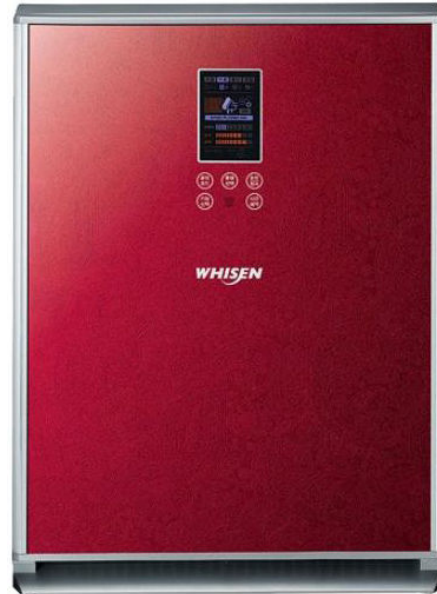


### 使用電容感測器

電容感測器的用途日益廣泛。上述感測器的彈性、耐用、簡潔的特性已為許多設計人員創造了新的機會。基本的選單瀏覽和點選功能依然使用按鍵方式，但使用價格實惠的電位計這種具備類比特性的按鍵，就能建置出更多簡單、具成本效益、可靠又安全的功能。

LG LA-N131DR 空氣清靜機在面板顯示器選單瀏覽的按鍵上中用了五個電容感測器。這些按鍵讓設計人員可以設計出平順的機身，同時也具備使用者介面。電容式按鍵透過四毫米的玻璃偵測有無手指觸碰。控制電路則建置在雙層印刷電路板上沒有感測器的一面。LG 採用 PSoC 混合訊號陣列來控制感測器，並且將狀態輸出至主要的裝置處理器上。(如圖 6)

圖 6. LG LA-N131DR 空氣清淨機採用 Cypress PSoC CapSense 技術



近距感測器具備反應式背光功能，這主要是為了夜間操作或是安全因素考量。這些情形多半需要更大的觸發元件，例如成人的手或是金屬罐子，才有辦法達到可控制的範圍。近距感測器、按鍵、滑桿、甚至是觸控螢幕，都可利用 PSoC 的單一處理器進行控制。韌體常式則可依照使用者輸入或主機命令進行狀態的更改。

### **為您創造電容感測應用**

PSoC 混合訊號陣列內含一個包含可組態的數位與類比資源、快閃記憶體、RAM、8 位元微控制器與其他多種功能的陣列。這些特色讓 PSoC 能在其 CapSense 系列產品中實現創新的電容感測技術。運用 PSoC 的直覺式開發環境即可為裝置進行組態與重新組態，以符合設計規格或任何規格變更。新感測技術的出現提升了感測靈敏度與抗雜訊能力，並且減少功耗、增加升級速率，讓設計人員創造出更好的應用產品。



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.