

靜電放電對手機電容式觸控面板影響之全波分析

林俊華、游家瑋

國立台灣海洋大學電機工程學系

摘要 一以往電子產品的靜電耐受度測試都是在產品完成生產後直接測試，而本論文即利用 CST MWS 這套電磁模擬軟體，針對手機電容式觸控面板受到靜電放電後所產生的影響及解決對策進行了模擬與分析。論文中提到了 3 種改善對策可以降低導線上的切向磁場值降。低訊號導線表面磁場值就間接可以降低訊號導線上的瞬間大電流，如此就可以降低觸控面板訊號線受瞬間靜電電流燒毀的機會。

一、 簡介

自從西元 2007 年 1 月 9 日美國蘋果公司發表了 iPhone 智慧型手機之後，帶動起全球進入一波手指觸控革命，人們無時無刻都用手指對著螢幕進行觸控操作，但伴隨而來的問題是由於人體常常會因為摩擦帶有電荷，在接觸到手機面板的同時，電荷瞬間游離到手機觸控面板上形成瞬態大電流流入手機造成破壞，所以手機面板對靜電放電(Electrostatic Discharge)的防護性就顯得更加的重要。

以往靜電防護可靠度都是在產品設計完後利用實際靜電槍對產品做測試，進而找到產品對靜電放電的可靠度問題而後才能做出靜電防護對策，本論文將利用 CST 這套專業的數值電磁模擬軟體，做靜電放電對手機觸控螢幕影響的模擬，並且以模擬結果找出正確的靜電防護對策，以解決產品量產後才發現靜電防護可靠度問題所引發一連串的商业損失。

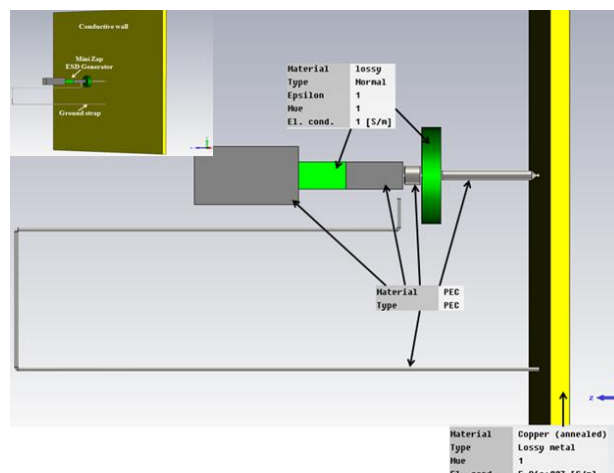
論文中提到了 3 種改善對策可以降低導線上的切向磁場值，如下:1.將接地導線向面板邊緣移動，使接地導線遠離訊號導線降低磁場耦合。2.在接地導線上加上多個接地點與金屬機框(系統接地)做接地，藉此迅速排掉靜電放電電流。3.改變金屬機框材質。

經由以上方式，可以在設計階段就先做好靜電放電對手機影響的測試，並及早發現問題，且提出解決對策來解決手機受靜電放電破壞的問題，以免產品進入量產後才發生靜電耐受度不足，導致產品損壞的問題，如此一來可大幅降低風險及生產成本。

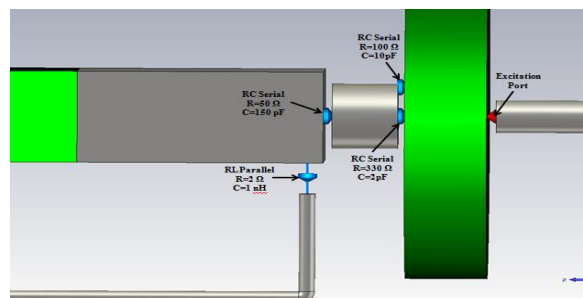
二、 靜電放電測試環境全波模型與模擬結果

2.1 靜電槍全波模擬

(圖一)為 CST 模擬環境下的設置[1]，至於材料參數設定方面金屬導電牆的材料我們將它設定為銅，ESD 產生器的材料銀色部分(如 Tip、機身、接地線)設為 PEC，綠色的部分我們設為一般的有損材料。(圖二)為 CST 模擬環境下 ESD 產生器各部位所需設定的集總元件值，而在 Tip 與機身之間的 Port 則為整個模擬的激發源。



圖一：ESD 產生器全波模擬環境設置



圖二：ESD 產生器集總元件設定值

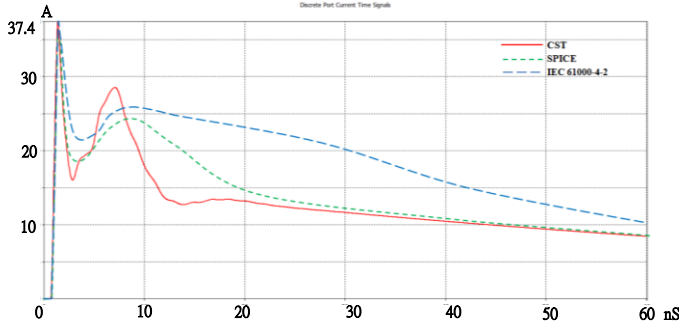
激發源的訊號圖則如(圖三)所示，為一個 1000 V 的瞬間電壓，其上升時間在 0.5 nS 到 1.2 nS 之間到達最大值(1000V)時，呈現穩定值流狀態。



圖三：ESD 產生器激發源的訊號圖

從比較圖可以看出使用 CST 所做的全波模擬與使用 SPICE 電路模擬以及 IEC61000-4-2 所建議的參考電流在第一次電流波峰上升時間快速(<1 nS)，幾乎完全相符合，至於差異較大的地方是第二次電流波峰，第二次電流波峰的時間點決定於接地線(Ground strap)的長短及方向與形狀，且第二次電流波峰比第一次電流波峰上升時間緩慢的原因，是受到 ESD 產生器與金屬導電牆之間的

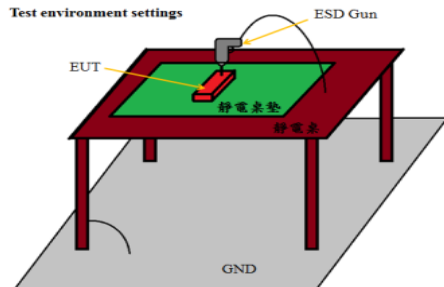
耦合電容影響而減緩上升。由於 ESD 對電子儀器的破壞往往是在第一次電流波鋒的時間就造成，所以利用 CST 做全波模擬結果是非常精確的，並可加以利用在產品設計階段就先做模擬，預防靜電影響。



圖四：數值模擬(CST) & 電路模擬(SPICE) & IEC參考電流比較圖

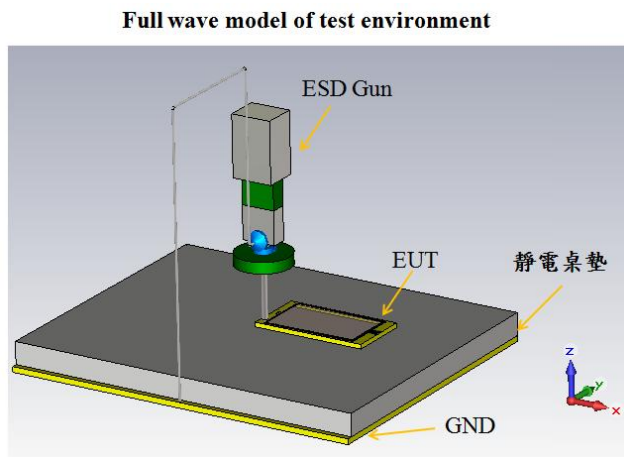
2.2 靜電測試環境模擬

根據 IEC61000-4-2 規範之測試環境設置[2]如(圖五)所示。



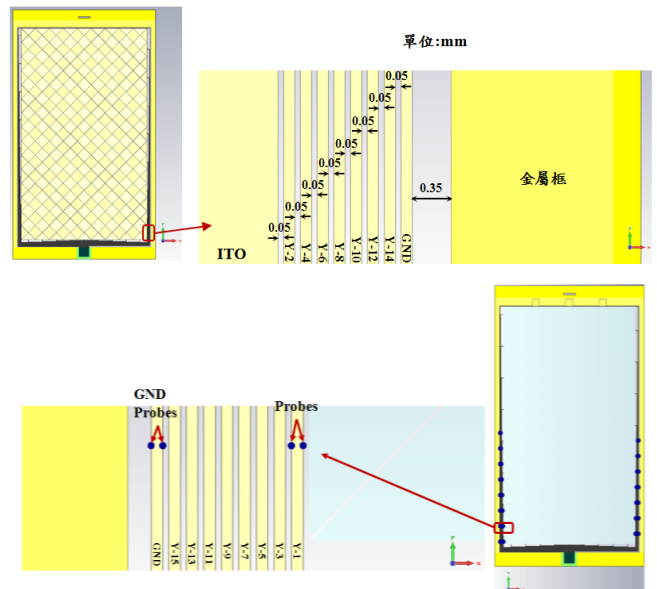
圖五：IEC61000-4-2 靜電放電測試環境設置圖

測試環境設置的全波模型如(圖六)所示，在模型中，靜電桌墊(白色)設定材料為保麗龍材質⁴長×寬×高尺寸為 320mm×255mm×20mm，而 GND 設為一個銅板長×寬×高尺寸為 320mm×260mm×5mm，銅板的寬度會比保麗龍多 5mm 目的是要讓 ESD 產生器的接地線能夠做接地使用，所以預留 5mm 的空間。



圖六：靜電放電測試環境設定圖

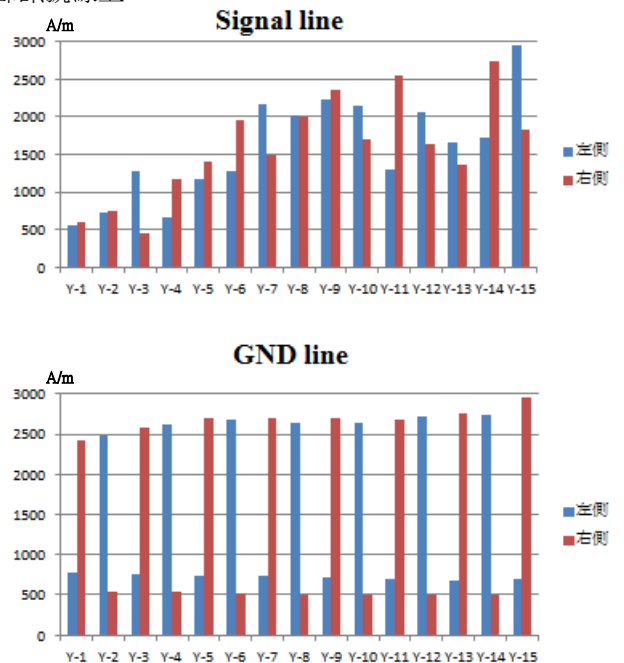
我們所探討的主要問題是 ESD 所產生的瞬態電流擊穿手機觸控面板的訊號線，造成觸控面板失效的問題，所以我們在模擬時所設定的觀察點主要設置在各條訊號線上，如(圖七)所示。



圖七：觸控面板全波模型之觸控訊號線各走線間距

本論文的全波模擬主要將 ESD 產生器對手機觸控面板做接觸放電，所以我們設了 3 個接觸放電點，分別是手機面板上側邊中點的上層玻璃邊緣處、手機面板左側邊中點的上層玻璃邊緣處、手機面板左下側的上層玻璃邊緣處，由於篇幅有限，本文將只介紹對手機面板上側邊中點的上層玻璃邊緣處放電的模擬。

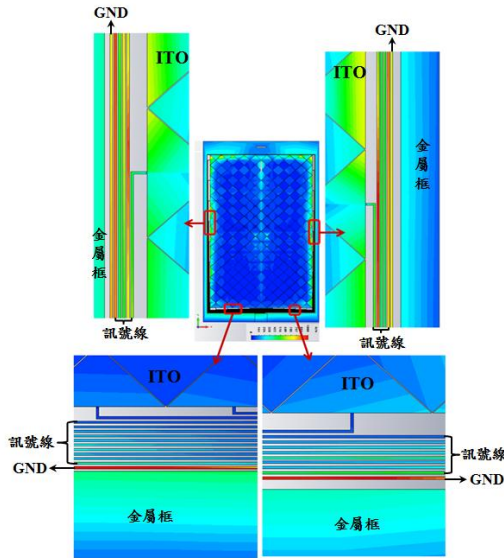
從(圖八)可以觀察到當 ESD GUN 接觸放電後觸控面板的各條訊號線左右兩側的切向磁場從 442.45 ~ 2952.17 A/m 之間，接著再觀察 GND 接地線左右兩側的切向磁場從 500~ 2952.18 A/m 之間，且靠近內側的訊號線那側的數值明顯較大，從此現象可以推斷磁場有明顯耦合到內部訊號線上。



圖八：訊號線與接地線左右兩側切向磁場模擬結果整理圖

從電流分佈俯視圖(圖九)也可看出觸控螢幕中間明顯有電流竄入，而觸控螢幕左右兩側的訊號線也呈現橘紅

色，表示有電流從 GND 接地線耦合進內部各訊號線，但觸控螢幕下方靠近柔性印刷電路板(Flexible Printed Circuit Board, FPCB)的所有導線中只有 GND 接地線呈現紅色，這可以推斷出因為整個 GND 接地線只有在 FPCB 這邊匯入控制器在與系統做接地，所以電流可以迅速的排放掉，不會耦合進內部訊號導線。

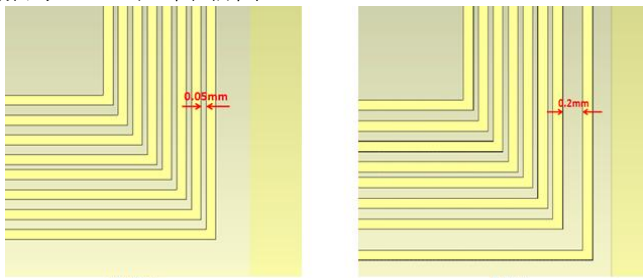


圖九：電流分佈俯視圖

三、 ESD 改善對策

3.1 將接地導線向面板邊緣外移

從 2.2 節我們觀察出不管在何位置接觸放電，在觸控面板左右兩側的訊號線上都明顯有從外側 GND 接地線耦合進來的切向磁場。所以我們在這一章節題提出第一種 ESD 防治對策，就是將 GND 接地導線向面板邊緣外移，讓 GND 接地導線與內部訊號線的距離從 0.05mm 增加到 0.2mm 如下圖所示。



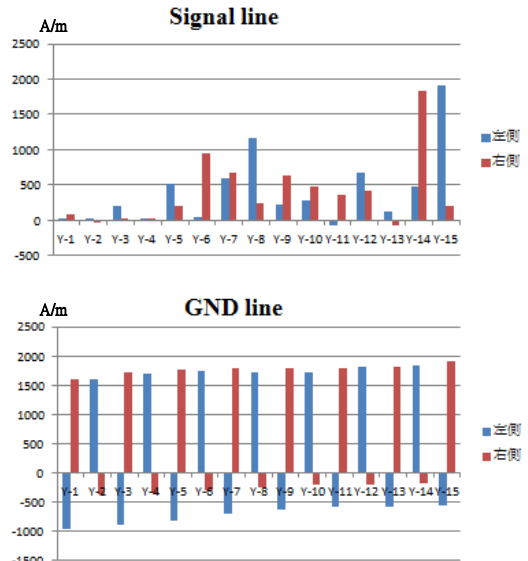
圖十：GND 接地導線向面板邊緣外移示意圖

為了方便觀察我們將上列模擬結果取最大值(絕對值)後再利下列公式運算後製成長條圖以便觀察。

GND無外移結果 – GND外移結果 (1)

從(圖十一)可以觀察到當 GND 接地線向外移動後各條訊號線左右兩側的切向磁場強度都有較 GND 接地線尚未移動前減少 19.2 ~ 1915.9 A/m，其中距離 GND 接地線較遠的 Y-1~Y-4 比其它條訊號線減少的強度較小；再觀察到 GND 接地線左右兩側的切向磁場有增有減，這是因為 Y-1、Y-3、Y-5、...等奇數觀察點的右側為靠近內部的訊號線，因為距離訊號線比較遠所以無法將磁場

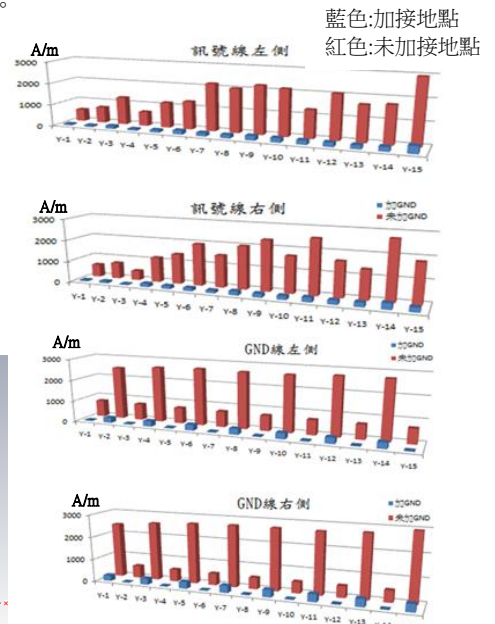
耦合進去，所以會在左側堆積而增加，右側呈現大幅減少的情形；而 Y-2、Y-4、Y-6、...等偶數觀察點的左側為靠近內部的訊號線，也是相同的情形，所以也是有切向磁場在右側堆積而增加，左側呈現大幅減少的情形。



圖十一：訊號線與接地線左右兩側切向磁場模擬結果整理圖

3.2 在 GND 接地導線與金屬機框間加上多個接地點

我們在下圖紅圈增加了 4 個接地點，讓 GND 接地導線與金屬機框間可以連接在一起，試圖讓靜電電流快速導到系統接地。



圖十二：接地位置及模擬結果圖

由模擬結果所整理出來的立體長條比較圖(圖十二)我們可以觀察到，當觸控面板的 GND 接地線以四個銅片作為接地點與下方金屬機框(系統接地)相連接時，所有的訊號線以及 GND 接地線都有大幅度的下降，訊號線上的切向磁場強度從 442.45~2952.2 A/m 大幅降到 62.82~341.54 A/m，降幅達 84.83%~92.63%；而 GND 接地線也從 494.04~2952.2 A/m 大幅降到 17.79~341.54

A/m，降幅達 87.62%~97.08%。

3.3 改變金屬框材質

從 EMC 的角度切入 ESD 問題，可以利用改變屏蔽材料來減少 ESD 發生時屏蔽材料對內側電路的耦合放電現象。其中屏蔽的效率(Shielding effectiveness, S)與兩項參數及一個修正項(correction factor, B)有關，第一項參數為吸收損失(Absorption Loss, A)為第二項參數為反射損失(Reflection Loss, R)，其中反射損失(R)占主導地位，通式如下[3]:

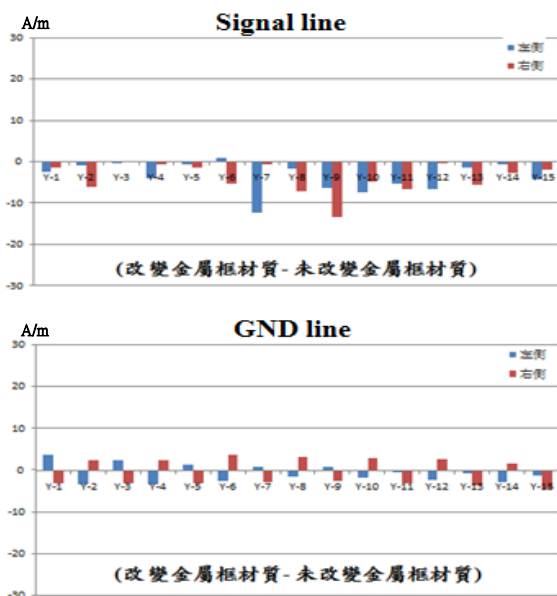
屏蔽的效率(Shielding effectiveness, S)之通式

$$S = A + R + B \quad (2)$$

反射損失(Reflection Loss, R) 之通式。

$$R = C + 10 \log \left(\frac{\sigma_r}{\mu_r} \right) \left(\frac{1}{f^n r^m} \right) \quad (3)$$

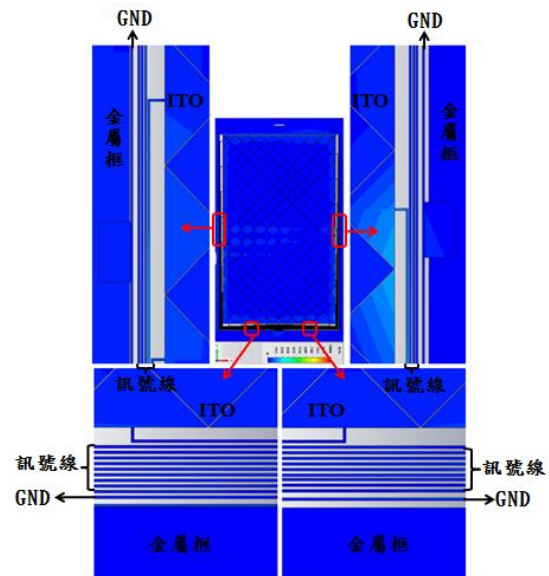
理想的屏蔽材料希望將反射損失(Reflection Loss, R)降低，讓干擾的電磁波能夠被屏蔽材料完全吸收，從反射損失(R)的通式可以看出我們可以藉由改變材料的導電係數 σ 以及導磁係數 μ 來降低屏蔽材料的反射損失(R)。因此我們把外圍金屬框的材質做改變，從銅(Cooper)改為鎳鉻合金(Nichrome)， σ 從 5.96×10^7 變成 1×10^6 ， μ 從 1 變成 100，理論上這樣的改變可以降低反射損失(R)。



圖十三：改變金屬機框材質後模擬結果比較圖

從(圖十三)可以明顯的看出訊號線上因為改變金屬框材質後，所模擬出來的切向磁場強度比未改變金屬框材質時所模擬出來的切向磁場強度大部分都有減少的現象；GND 接地線方面則是有加有減的改變，但幅度並不大。從電流分佈俯視圖(圖十四)可看出在未經過任何改善時，竄入觸控螢幕中間的電流明顯有減少很多，而觸控螢幕左右兩側的訊號線也呈現淡藍色，表示從 GND 接地線耦合進內部各訊號線的電流明顯減少了，這可以推斷出經過一連串的靜電防治策略的改善，整體觸控螢

幕已經有明顯的改善電流可以迅速的排放掉，且不會從 GND 接地線耦合進內部訊號導線。



圖十四：經過所有改善對策後之電流分佈俯視圖

結論

在參考了文獻[4]中的實際案例發現靜電放電對手機觸控面板放電後，會使得觸控訊號線遭到 ESD 電流擊穿或燒毀，所以在有了靜電槍與放電環境模型後，就對手機觸控面板作靜電放電的測試，在模擬後發現到三個問題:1.不管在何位置接觸放電，在觸控面板左右兩側的訊號線上都明顯有從外側 GND 接地線耦合進來的切向磁場。2.在觸控面板下側的 X 方向訊號線並不會有大量的切向磁場從外側 GND 接地線耦合進來，這是因為整個 GND 接地線只有在 FPCB 這邊匯入控制器在與系統做接地，所以電流可以迅速的排放掉，不會耦合進內部訊號導線。3.不管在何位置接觸放電，在觸控面板中間的 ITO 薄膜電極都會有電流竄入其中。

因此我們開始提出多種改善對策。分別如下:1.將接地導線向面板邊緣移動。2.接地導線與金屬機框間加上多個接地點。3.改變金屬框材質。

參考文獻

- [1] Spartaco caniggia, " Circuitual and numerical modeling of electrostatic discharge generator," Francescaromana Maradei Department of Electrical Engineering University of Rome La Sapienza, Oct 2005.
- [2] IEC 61000-4-2, Electromagnetic Compatibility (EMC)-part 4-2"Testing and measurement techniques- Electrostatic discharge immunity test,"edition 1.1,May 1999.
- [3] Henry W. Ott Electromagnetic Compatibility Engineering,John Wiley & Sons Inc. ,2009.
- [4] 蔡瑞明, "智慧型手機之電容式觸控螢幕的靜電防護分析與改善," 逢甲大學 資訊電機工程碩士在職專班論文, 民國99年。