

二、SEMI S9洩漏電流量測說明

(一)前言

近年來國內平面顯示器製造大廠正逐漸重視廠內生產設備安全要求，為降低作業人員發生工安職災事故，紛紛要求設備供應商在設備設計階段必須依據相關安全規範之要求，並在驗收階段必須提供符合SEMI S9電氣安全測試報告，而此測試報告的第一個測試項目即為洩漏電流測試，可見其重要性。SEMI S9為半導體設備與材料的國際性組織(Semiconductor Equipment and Materials International, SEMI)所制定公佈，是關於半導體製造設備的電氣測試方法，因半導體產品的製造環境與平面顯示器極為類似，故SEMI所制定的規範亦被平面顯示器製造商廣泛採用。當此規範被要求實施之初，設備供應商普遍認為洩漏電流不得超過3.5mA的要求極可能無法通過，其實乃是對於洩漏電流量測方式及允收標準內容不甚了解所產生的誤解，故本文將介紹洩漏電流正確的觀念及量測方法，以提供設備供應商參考。

(二)洩漏電流測試之重要性

二年前，國內平面顯示器製造大廠開始推動設備安全管理辦法，紛紛制定「設備安全採購作業指導書」，將SEMI S2、SEMI S9等國際規範對設備安全要求之重點納入「設備安全採購作業指導書」，要求設備供應商必須履行該指導書之條款，提出相關證明文件及第三者公正單位之測試報告書，此作業指導書於導入先期並對設備商舉辦說明會宣導，要求進行安全規格測試的項目包含耐壓測試、接地連續性測試、洩漏電流(接觸電流)測試等，但對於洩漏電流項目，因標準要求洩漏電流不得超過3.5mA，造成設備供應商提出疑慮，認為太過嚴格無法符合，因為一般觀念認為設備上如有安裝漏電斷路器，大多以30mA做為設定值，亦即當設備產生漏電流時，將明顯超過3.5mA許多，但此觀念並不正確，因為漏電斷路器主要是保護在異常狀況下產生大於設定值的漏電流時啟動斷

電，而SEMI S9所指的漏電流是指「在絕緣裝置未故障的情況下，從設備之帶電零件流入地面的電流」，至於為何要訂3.5mA為限制值，乃是考量洩漏電流流經人體的影響，不同的產品(標準)其限制值或有差異，工業機械目前的限制值為10mA (IEC 60204-1)。

1.何謂洩漏電流(接觸電流)測試

洩漏電流測試是一個總括的名詞，實際是包含三種不同的測試。其中兩種分別為對地洩漏電流測試和外殼洩漏電流測試，一般情況下是應用於具有接地金屬外殼的產品中。第三種是部件洩漏電流測試，大部分應用在醫療設備上。上面所提到的這些測試都以確保產品可以被安全的使用並且不會產生危害為前提。

2. 操作洩漏電流(接觸電流)測試

SEMI S9所指的洩漏電流是接觸電流(Touch current)，所謂接觸電流是存在於當人體或人體模型是電流路徑時，我們先介紹SEMI S9洩漏電流的測試方法：

(1)【測試設備】使用實均方根(RMS)電位計，具1.0%的靈敏度及一個裝有一0.5 μ F電容器分路的1500歐姆阻抗電路。

(2)【測試程序】針對以電線插頭(cord-and-plug)(插頭插座組合 Plug/socket combination)連接工廠分電路的設備，確定設備已被隔離(如：將設備安置在木頭或其他可絕緣的表面)。連接設備到額定電源，但不連接PE導體，以製造商指定之最大負載狀況操作。連接1500 Ω 阻抗的電路在每一個可觸及的金屬部份與設備的PE導體之間(圖13所示)，判定容易接近的帶電體，移除在正常操作中可被操作者移除的所有門及面板等。

(3) 【計算公式】

$$\text{漏電流} = \frac{\text{測量得到的電壓}}{1500\Omega}$$

(4) 【接受標準】 不超過3.5mA

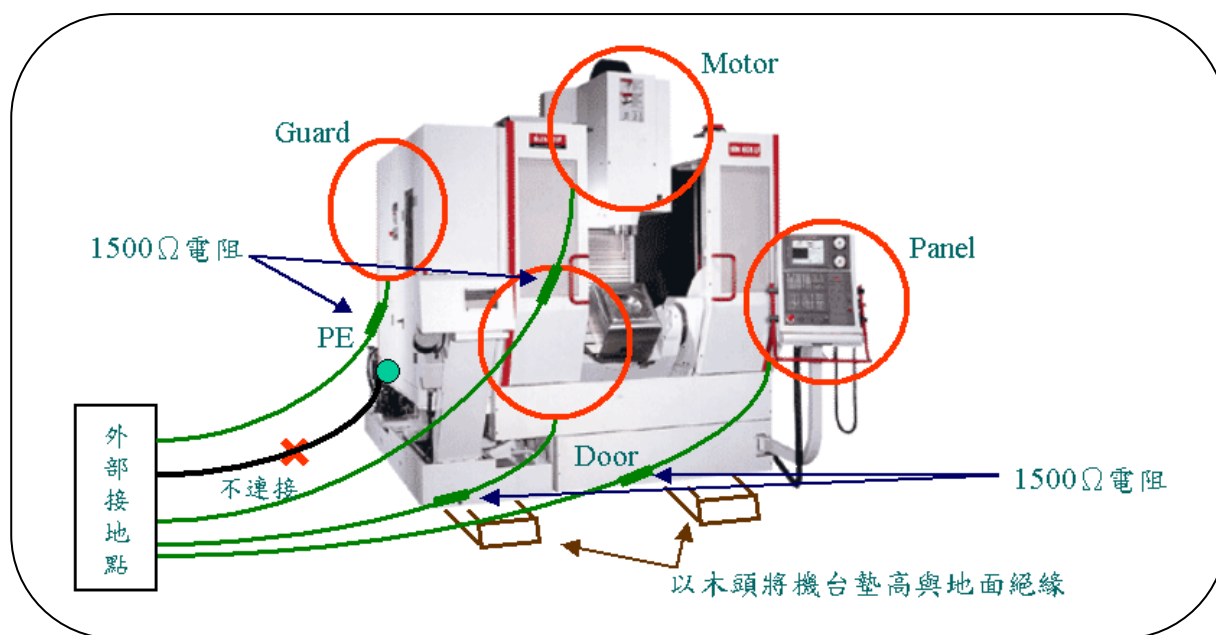


圖13、SEMI S9洩漏電流量測之主要對象(以機械產品為例)

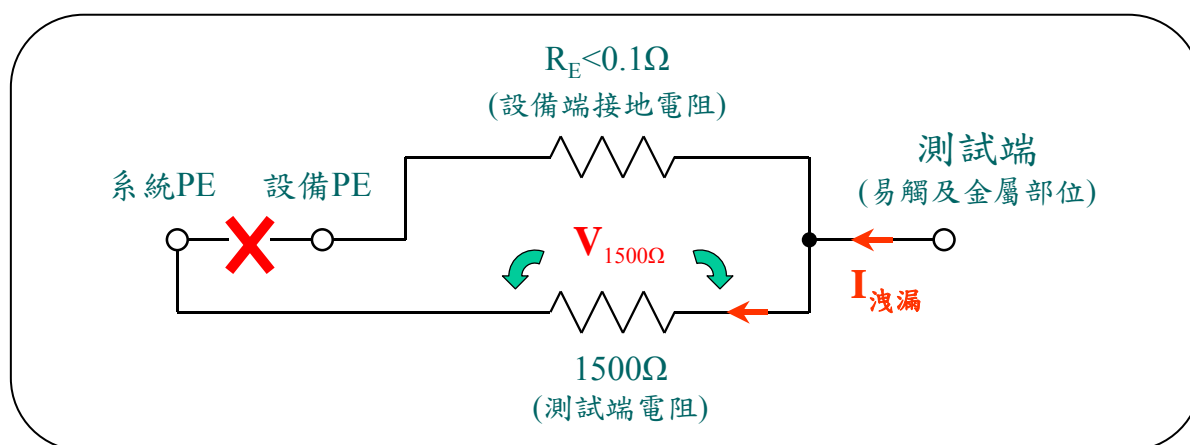


圖14、洩漏電流測試電路示意圖

3.洩漏電流對人體的影響參考值：

表2、電流對人體的影響

感電影響		直流(DC) mA		60Hz交流(AC) mA	
分類	人體感覺	男性	女性	男性	女性
有感電流	有輕微刺痛感	5.2	3.5	1.1	0.7
可脫逃電流	會痛但肌肉尚可自由活動	62	41	9	6
無法脫逃電流	肌肉無法自由活動	74	50	16	10.5
休克電流	肌肉收縮、呼吸困難	90	60	23	15
心臟麻痺電流	心室痙攣、呼吸停止	500	500	100	100

由表2可知，超過10mA的電流即可能對人體產生電擊傷害的危險，一般會根據被測設備的類型和測試進行的情況，將洩漏電流的限制從0.01毫安培到10毫安培範圍變化。洩漏電流測試中對可以接受的最大允許洩漏電流有明確的限制，這些限制隨著待測物的不同而改變，以限制最嚴格的醫療設備產品來說，因為這些醫療設備未來將使用在病人身上，因生病或被麻醉的無意識病人並無法即時做出反應或者其抵抗的能力有限制，所以必須假設當病人皮膚被刺穿或其較小的皮膚阻抗可能因為這些設備所帶來更大的危險。

(三)IEC洩漏電流量測方法

目前國際上量測洩漏電流主要有IEC, UL, JIS三種標準，量測的模擬電路各有差異，差異的部份在於考慮的角度不同，而SEMI S9的標準與UL相同(因為同為美規標準)，以下是基於IEC的標準所做的說明：

量測洩漏電流主要有兩種方式，一種量測接地線的實際電流，另一種則是使用簡易阻抗電路(模擬人體阻抗)，此洩漏電流稱為“流經阻抗之電流”或稱為“接觸電流”，使用此方式是考慮電流流經人體對生理產生的影響，IEC定義四種不同程度的影響：

- 1.有感知的(perception)
- 2.有反應的(reaction)
- 3.可逃脫的(let-go)
- 4.電氣燃燒(electric burn)

模擬人體阻抗是參考對電擊的一般認知所採取最通用的條件，即電流流經路徑與接觸的條件。在正常情況下，有“手對手”或“手對腳”的接觸，如果是小面積的接觸(如一隻手指的接觸)，其阻抗電路都會有差異。另外，在測試時可選擇性使用隔離用測試變壓器，但是若考量最大安全性，則必須使用隔離用測試變壓器，及待測物(EUT)的主電源接地端子必須接地。連接TT或TN系統的設備必須在中性線對地最小電壓下測試，待測物的保護導體與接地的中性線導體之間的電壓差應小於1%的線對線電壓(參考圖15、圖16的範例)。

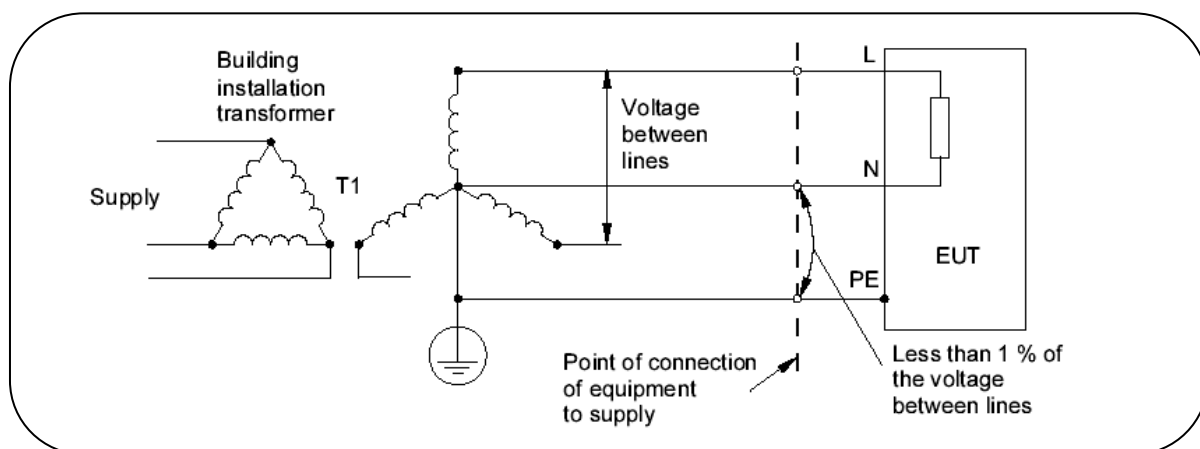


圖15、中性線接地，直接供電範例

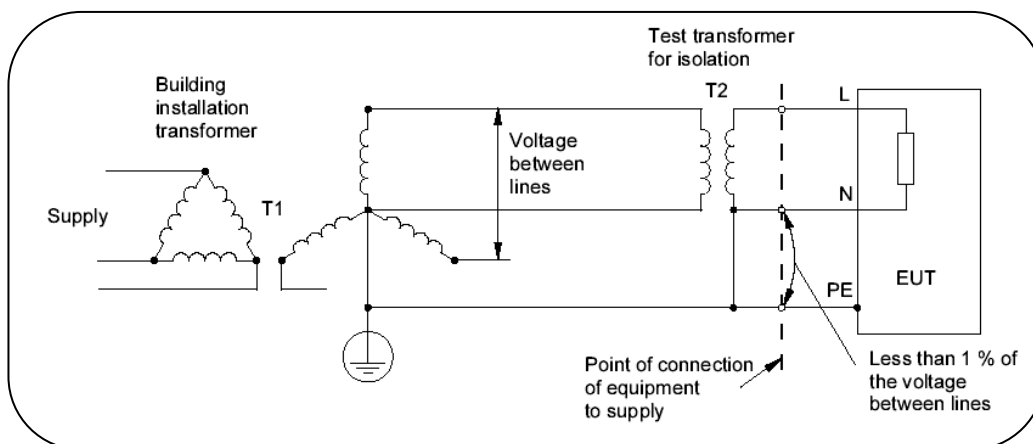


圖16、中性線接地，使用隔離變壓器範例

IEC提供三種量測阻抗電路：

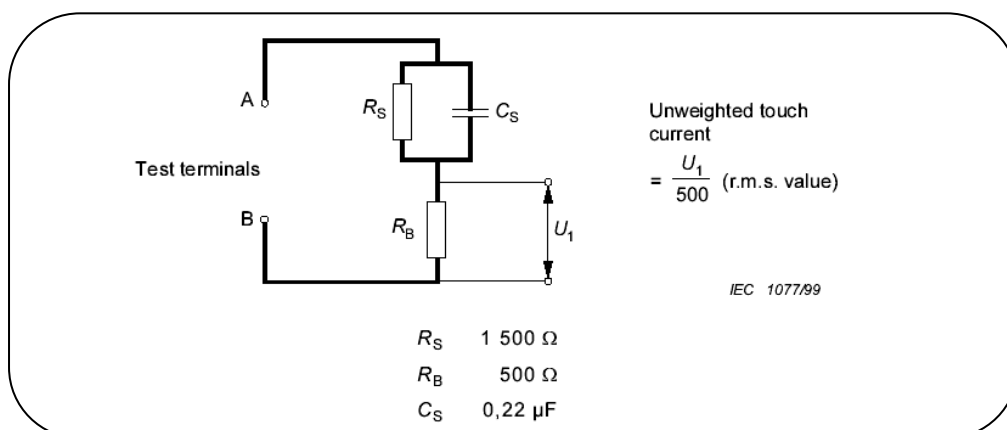


圖17、基本量測阻抗電路，接觸電流未加權

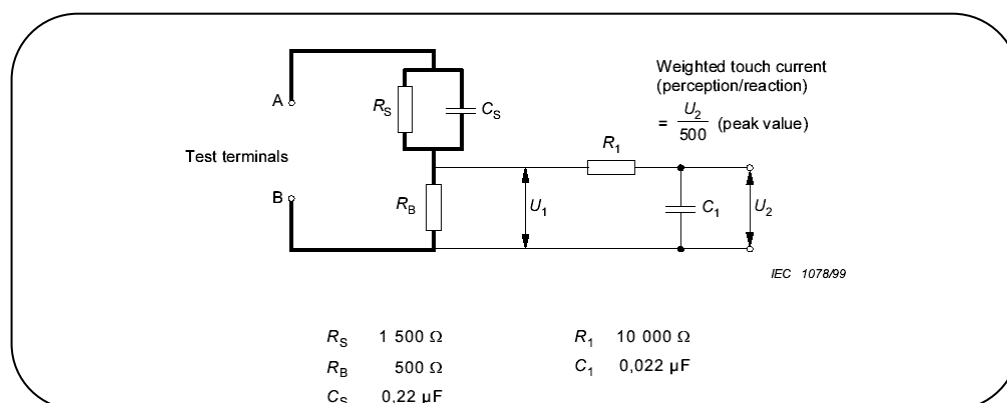


圖18、接觸電流以有感知或有反應做為加權

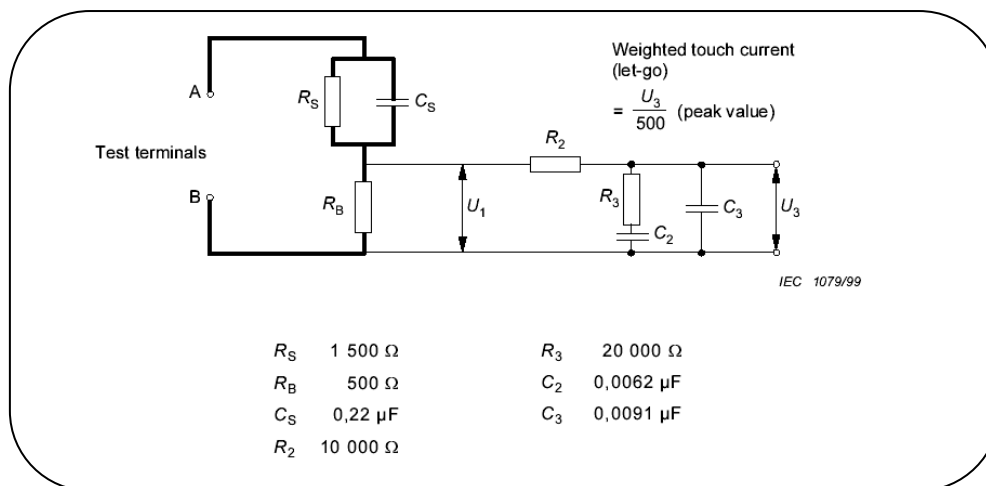


圖19、接觸電流以可逃脫做為加權

UL(SEMI)量測阻抗電路：

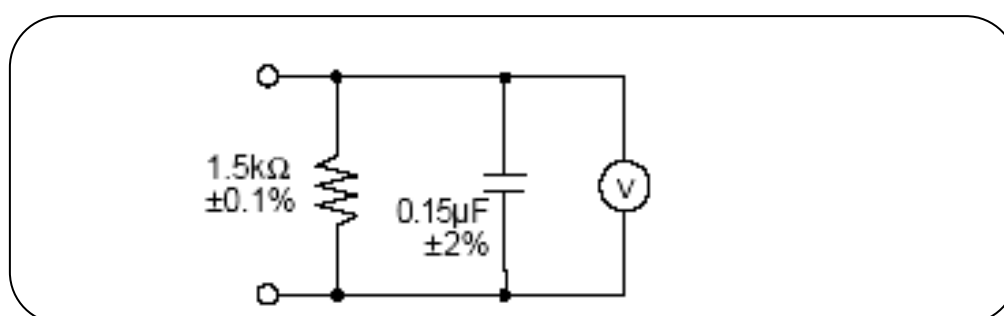


圖20、UL(SEMI)量測阻抗電路

執行洩漏電流量測時，可依需求選擇上述阻抗網路自行製作電路，此電路十分簡單，但應注意選用誤差較小的精密電阻，再搭配具有1.0%靈敏度的電位計，即可做量測。或可採購市面上儀器商所開發儀器套件，已將上述各種阻抗電路內建於儀器內，可選擇依據IEC、UL或JIS標準來進行量測，惟此類儀器設備相較下較為昂貴，其費用約數萬元至十多萬元不等。



圖21、自製阻抗電路與電位計



圖22、洩漏電流量測專用儀器

執行單相及三相設備洩漏電流測試之實際電路如圖23、圖24所示。

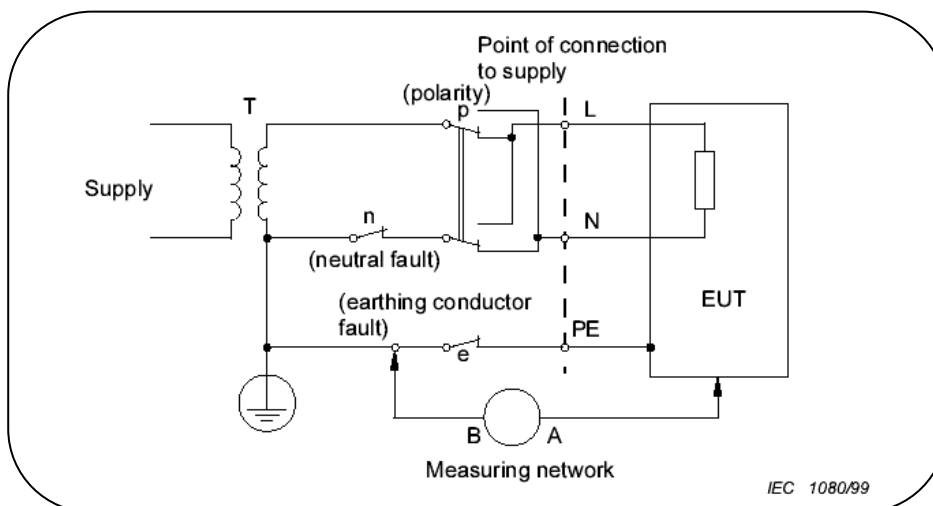


圖23、單相設備Y接TN或TT系統量測電路

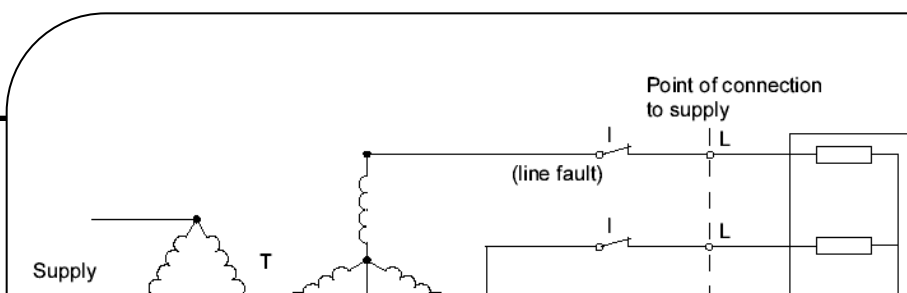


圖24、三相設備Y接TN或TT系統量測電路

(四)測試不合格之改善對策

SEMI S9並未提供洩漏電流測試不合格之改善方法，因此我們可以參考IEC 60204-1對洩漏電流的規定：對於對地漏電流超過10mA AC或DC的電氣設備（例如變速電動驅動系統及資訊科技設備），其相關保護性接地電路必須符合以下一種或多種條件：

- 1.保護導線的剖面積至少為 10mm^2 Cu或 16mm^2 Al。
- 2.如果保護導線的剖面積小於 10mm^2 Cu或 16mm^2 Al，應提供第二條保護導線（至少應具備相同的截面積），將保護導線的剖面積補強至不小於 10mm^2 Cu或 16mm^2 Al的水準(必須提供連接第二條保護導線的獨立端子)。
- 3.保護性導線斷線時會自動切斷電源。

上述所指保護導線為設備PE端連接至廠務端的外部接地保護導線。

(五)、結論

從上述說明我們知道洩漏電流測試的目的主要在測試待測物的絕緣強度，同樣用來測試待測物絕緣強度的還有耐壓測試，那麼耐壓測試之漏電流與電源洩漏電流(接觸電流)有何不同？洩漏電流測試意指當設備供應電壓時，流經設備金屬可接觸部份經人體至接地部份或可接觸部份的電流。量測時須使用人體模擬線路，並聯電壓表，其模擬線路依不同的產品安規標準有不同的人體模擬線路，而測試電壓為最不利的輸入電壓，一般訂額定電壓上限為測試電壓。而耐壓測試是偵測流過被測物絕緣系統之漏電流，以一高於工作電壓之電壓施加於絕緣系統；而電源洩漏電流(接觸電流)則是在被測物正常操作下，以一最不利的條件(電壓、頻率)對被測物量測漏電流。簡單地說，耐壓測試之漏電流為無工作電源下所量測之漏電流，電源洩漏電流(接觸電流)為正常操作下所量測之漏電流。

綜合上述對洩漏電流測試的介紹，雖然耐壓測試和洩漏電流測試都可用來測試被測物的絕緣強度，但在其測試過程和結果有一些關鍵的區別，耐壓測試是在被測物其所有載流元件的絕緣系統短路後通入高電壓下進行的，洩漏電流(接觸電流)測試使用測試設備模擬人體阻抗，在通電的條件下進行的。兩種測試雖然不盡相同，但在確保產品安全性方面是非常有用的。

(六)、參考資料

- 1.Semiconductor Equipment and Materials International SEMI S9-1101: 1995, 2001, "Safety Guideline for Electrical Design Verification Tests for Semiconductor Manufacturing Equipment".
- 2.International Electrotechnical Commission IEC 60204-1:2005, "Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements"
- 3.International Electrotechnical Commission IEC 60990:1999, "Methods of measurement of touch current and protective conductor current"

參、工安宣導