

切換式電源供應器之 EMC 測量

本文將說明切換式電源供應器的傳導性與輻射性電磁干擾，以及耐受度（conducted and radiated emission and susceptibility）的測試法規、方法，以提供給切換式電源供應器設計工程師及從事電磁相容（EMC）測試人員，使其具備相關 EMC 實驗設立及執行程序知識。文中並以康舒科技所設立之電磁相容測試實驗室為實例，並探討 733 semi-anechoic chamber 與 C&C Lab 之 open area test site（OATS）的電磁輻射干擾比較測試方法，進一步求得 733 semi-anechoic chamber 各頻帶的校正係數，據以輸入頻譜分析儀之控制電腦，使 733 semi-anechoic chamber 可模擬 OATS 的電磁輻射干擾測試，縮短切換式電源供應器的設計流程。最後，將以一些切換式電源供應器測試實例，說明各種電磁相容測試方法。

簡介

電磁相容問題一直是切換式電源供應器設計上的盲點，雖然有許多研究〔1,2〕探討如何配置元件及 PCB 佈局，以降低電磁干擾的產生，並採用雜訊分離技術，將雜訊分離為共模及差模雜訊，再分別設計電磁干擾濾波器，以抑止切換式電源供應器傳導性干擾〔3〕。上述方法對低頻較為有效，但是應用在一緊密包裝的切換式電源供應器中，效果卻不大，主要原因在於電場與磁場緊密耦合所產生的雜現象，會改變所設計電磁干擾濾波器之特性。尤其是在一定外觀尺寸下的切換式電源供應器，設計上必須同時考慮電磁干擾及散熱問題〔4〕。實際上，一個切換式電源供應器設計工程師所感興趣的是在上述方法失效後，所必須採用的除錯技術（debug），目前所採用的方法均為經驗法及嘗試法；但為驗證所採取的除錯技巧之有效性，必先對測試的場地及方法做進一步的認識。電磁相容測試分為電磁干擾及電磁耐受度測試，電磁干擾為由切換式電源供應器所產生的雜訊，經由傳導及輻射干擾其它電子設備。相對地，電磁耐受度為切換式電源供應器接受其它電子設備產生的雜訊，經由傳導及輻射干擾，使得切換式電源供應器受其干擾而不至於失去功能的耐受程度。一般切換式電源供應器所採用的電磁干擾、傳導性及輻射性耐受度測試的標準法規，分別為 EN55022、EN61000-4-6 及 EN61000-4-3[5-7]，其對測試的場地、方法及使用設備有詳細規範。但是在一般的切換式電源供應器設計工程師及其學校基礎養成教育上，均著重在切換式電源供應器電路原理及架構，而忽略電磁相容設計的重要性。因此，一個新設計的電子產品，可能因其設計初期未考慮電磁相容設計，使得產品原型無法通過電磁相容測試取得國際認證，而錯失商機。雖然在〔8〕中對切換式電源供應器的電磁干擾特性、測試方法有詳細說明，但未包含電磁耐受度測試相關資料，為了獲得完整的電磁相容測試知識，使切換式電源供應器設計工程師及一般從事電磁相容測試之人員，對切換式電源供應器的各種電磁相容測試與應用法規有所認識，以彌補學校教育之不足，本文將詳細說明各種電磁干擾及耐受度測試的方法及其法規。文中並以康舒科技所設立的電磁相容測試實驗室為例，詳細說明各種測試及校驗方法，並探討 semi-anechoic chamber 與 OATS 進行的輻射值比較測試，以進一步求得一組各頻帶的校正係數，用以修正 semi-anechoic chamber 所用頻譜分析儀之測量值，使得可以使用 semi-anechoic chamber 可模擬 OATS 的測試結果。

電磁干擾及耐受應的法規

切換式電源供應器常用傳導與輻射性干擾測量法規有 EN55022、CISPR22 及 FCC part 15〔8〕，又以其使用場合區分為 class A 與 B 兩種，class A 係指使用於一般工業應用（industrial area）場合，而 class B 係為一般家庭使用（residential area）場合。傳導性干擾所測量的頻率範圍由 150KHz 至 30MHz，相對地，輻射性干擾所測量的頻率範圍由 30MHz 至

1GHz，將上述法規各頻帶之限制值整理如表 1 所示。切換式電源供應器內部所產生的電磁干擾雜訊，必須小於其法規之限制值以降低對其它設備之干擾。相對地，切換式電源供應器亦要對外來的電磁干擾雜訊有所免疫力，即電磁耐受度，所用的法規為傳導性 EN61000-4-6 及輻射性 EN61000-4-3 耐受度測試，依待測物操作環境，所選用的測試電壓及電場準位如表 2 所示，傳導及輻射性耐受度測試的頻率範圍分別由 150KHz~80Mhz 及 80MHz~1GHz。通常切換式電源供應器所採用的測試準位為 2，為模擬待測物實際操作環境，在測試時將測試信號加入具有頻率為 1KHz 及 80% 振幅調變之正弦波，切換式電源供應器於耐受度測試時，所要觀察的性能指標為其輸出電壓或 power good 信號，以據以評斷測試等級。對於耐受度

測試結果可以評定成四種測試性能指標，如下所示：

- 在額定工作條件下測試，待測物一切正常。
- 測試時，待測物有暫時性能變差或喪失，但可自行恢復正常工作。
- 測試時，待測物有暫時性能變差或喪失，需要操作員介入處理或重置系統。
- 測試時，因待測物設備損害或軟體資料遺失而導致不可恢復的性能變差及喪失。 值得注意的是，當測試完成時，待測物不可產生危險及不安全的現象，因為切換式電源供應器為附屬於系統設備中的提供電源單元，其耐受度測試通過性能指標一般為A級。

電磁相容測試場地

在前節已詳述應用於切換式電源供應器的電磁干擾及耐受度測試法規，接著將依法規定所定義的測試場地規範，說明適用於切換式電源供應器的傳導性、輻射性干擾及耐受度測試之實驗場地及測試方法。

傳導性干擾測試 因為切換式電源供應器的體積不大，可採用桌上型擺設測試，依據〔5〕中所規定的桌上傳導性干擾測試的實驗場地如圖 1 所示，在測試場地的水平地面及垂直牆面上，須鋪上面積大於 2mx2m的接地金屬板，提供屏蔽效果以降低電磁干擾。桌上型測試需要在水平金屬板放置一高 80cm的非導電材質桌子，再將切換式電源供應器，又稱待測物（EUT）及其負載（dummy load）置於桌上，兩者相距 10cm且距離垂直金屬板 40cm，電源經由LISN供給待測物。藉由LISN將待測物操作所產生的傳導雜訊傳至頻譜分析儀測量，實際傳導性干擾測試的實驗場地如圖 2 所示。

輻射性干擾測試 輻射性干擾測試場地通常是指OATS，測試的頻率由 30MHz至 1GHz，而且整個測試場地的垂直與水平方向衰減量，必須在其標準場地衰減量（NSA）的±4dB以內。圖 3 為一座OATS配置圖，場地面積應大於中橢圓區域面積，且在此區域中不可有反射物，整個地勢要平坦。天線與待測物兩者相距D，在其間須鋪設金屬接地板，其面積必須延伸至天線與待測物的周圍外 1m以上，據此所需金屬接地板最小面積如圖 3 中灰色區域所示。OATS大都興建於大煙稀少的山谷中，以降低外部電磁雜訊干擾，使之獲得較佳的背景雜訊，圖 4 為C&C Lab位於林口地區OATS測試場地。進行測試時，旋轉臺上放置 80cm高的非導電材質桌子，將待測物置於其上，然後旋轉待測物並使天線同時在 1m~4m間變化其高度，測量待測物的水平及垂直方向的輻射性干擾值。若OATS標準環境特性的場合不易獲得，則可以於anechoic chamber中測試，亦可得到正確的結果。Anechoic chamber為貼滿鐵磁性瓷磚的遮蔽鐵屋，對外面電磁雜訊可衰減 100dB以上，並在內部貼上吸波器（absorber），以防四周牆壁反射電磁波。若chamber地面無放置吸波器則稱為semi-anechoic chamber。anechoic chamber內部設備擺設與OATS相同，anechoic chamber依其內部幾何長度又區分為 966 及 733 chamber，其中 966 及 733 內部之長寬高，單位為公尺。將待測物置於旋轉臺上 80cm高的非導電材質桌子，此時由待測物放射至天線的電磁波特性與OATS相似，只要使用發射源發射電波進行chamber與OATS的各類帶之比較測試，以獲得各類率的修正係數，亦稱為偏移量，即可使用chamber模擬OATS的測試環境，圖 5 為anechoic chamber的輻射性干擾測試情形。

傳導性耐受度測試 對所有電源供應器電源線的聯接方式，大都推薦使用CDN來進行傳導性耐受度測試，除了對一些輸入電流大於 16A或其它複雜系統才會採用注入法〔6〕。如圖 6 所示，使用CDN來進行切換電源供應器傳導性耐受度測試場地，其中將CDN、待測物及其負載置於金屬接地平面上，此金屬接地平面的面積必須含蓋CND、待測物及其負載，且延伸至其周圍為 0.2m以上。在金屬板上放置 10cm高之絕緣平台，再將待測物及其負載放置於平台，值得注意的是，CDN與待測物之距離需 0.1m~0.3m之間，接線應在接地平面上 3cm~5cm之間。電源經由CDN供給待測物，且由RF測試信號產生器輸出上述規定調變信號至CDN，以供給待測物干擾電壓，模擬實際傳導性電磁干擾現象。RF測試信號產生器輸出信號頻率的掃描率須小於 1.5x10⁻³decade/s或採用人工操作，在傳導性耐受度測試期間，使用電壓錶觀測其輸出電壓或power good信號之變化，再依據其測試結果並參考前述性能指標評估準則，給待測物評定適當等級。

輻射性耐受度測試 切換電源供應器的輻射性耐受度測試須在 733 anechoic chamber中進行，如圖 5 所示，其中天線與待測物距離 3m。將待測物負載放置於 80cm高的非導電材質桌子，且平貼均勻場強平面。利用chamber外部的RF信號產生器，經由電纜接至天線，再依據法規規定的頻率及調變場強，發射電磁波至待測物。掃描頻率的變化率及測試結果評估方法，同傳導性耐受度測試。

比較測試及校驗

傳導性及輻射性比較測試 基本上在測試場地不做任何變動，以及測試儀器均規定進行校驗之前題下，每次進行傳導性及輻射

性測試時，所得的場地背景之電磁干擾雜訊特性差異不大。為避免因測試場地外在因素變動而影響測量值，並確保測試結果的正確性，在進行傳導性及輻射性測試前，可用一黃金樣品（golden sample）及參考發射源，分別對傳導性及輻射性場地進行比較測試，藉著比較每次測試的結果，以初步瞭解測試儀器及場地的正確性再進行測試。若比較測試發現測試結果有所不同，則應先對儀器及場地進行除錯，待故障排除及比較測試結果正確時再進行試驗。比較測試與標準校驗兩種做法基本上是相相的，不同的是校驗必須經過合法認證的機構執行，其結果具有公信力。相對地，比較測試僅為一般機構為了降低研發流程與成本，依據規範建立測試的場地與設備。在同一工作條件下，比較內部與合法認證測試結果的差異性，並據以修正內部測試條件，以使測試結果近似於合法認證測試結果，以期在初產樣品送往合法認證機構測試，能順利通過測試取得證書。基於此觀點，本文僅說明一般比較測試的校驗方法，但可依此建立各種測試的標準作業流程及相關文件，用以申請CNLA合格認證實驗室。

傳導性耐受度測試校驗 在進行傳導性耐受度測試之前，應先校驗RF產生器射入CDN的干擾電壓值是否合乎標準，其校驗方法為將CDN的電源輸入端（AE）接上 150Ω終端器為負載；待測物（EUT）端接 150Ω轉 50Ω之轉接器，連接內阻為 50Ω的電表。由RF產生器產依法規所定的頻率間隔，於各頻率下產生如表 2 所規定的電壓準位V0，但不加入調變弦波信號，使得電壓表的讀值須滿足下式：才合乎標準，其中Vmeas為測量值，此時亦必須記錄下滿足式（1）的RF產生器之控制參數，並據以做為傳導性耐受度測試時控制參數定值。為了能準確及自動調整所需電壓位準，可將觀測的電壓信號Vmeas經由A/D轉換為數位信號輸入控制電腦，由控制電腦自動調整RF產生器之控制參數以滿足要求。

輻射性耐受度測試校驗 輻射性耐受度測試時，必須於待測物面產生均勻場強，以獲得正確測試結果，所以在耐受度測試時，需先校驗均勻面之場強。所謂均勻面係指在待測物放置處，距參考地平面 0.8m高之 1.5mx1.5m的平面，如圖 7 所示，並進一步細分為 0.5mx0.5m的最小均勻場強面積，如圖 7 所示。用全向性接收器（isotropic field probe）置於圖 7 中所示的 16 點上量測場強，測試結果至少 12 點場強測量值需在規定場強的 0dB~+6dB以內才視為合格。校驗時，RF產生器依表 2 所規定的電場準位發射場強，但不需要正弦波調變，再將產生上述均勻場強的控制參數記錄做為輻射性耐受度測試使用。

Semi-anechoic chamber校正係數 當Semi-anechoic chamber興建完成後，接著就是要求得chamber之chamber factor。Chamber factor是由chamber與OATS進行 30MHz~200MHz附近的比較測試而求得〔10,11〕，其方法利用一參考發射器做為電場轉換標準（field strength transfer standard），應用體積法（volume method）〔5〕分別在OATS及chamber的轉台位置取五點，在兩個不同規定的高度位置放置發射器，由天線分別測量其垂直及水平極性方向的電場。參考發射器的天線型式有雙極及環狀天線，兩種天線均要做測試，參考發射器天線擺設的極性方向應與接收天線平行。每做一次固定天線極性方向比較的測試，就會產一組對應於各頻率校正係數，將這幾組校正係數繪製於同一圖表，可由圖表中發現各組校正係數隨著頻率變化而散佈在一特定範圍，這個範圍最上面的包絡線稱為最差情況的chamber factor，而包絡線的平均值則稱平均chamber factor。將chamber factor加入所測得到等效OATS之測量值，若並不是所有體積法中所規定位置的天線極性方向均被測量，則依上法所求得數據稱為校正係數。基於實務上的考量，此 733 semi-anechoic chamber若要採用體積法求得chamber factor有下列困難：

- 切換式電源供應器在OATS進行輻射性測量，是將其放置於 80cm高轉台桌上測試，其體積遠小於體積法所含蓋的體積。
- 設備供應商無法提供天線因數（antenna factor）、cable loss及參考發射源天線因數，雖然可自行校驗求得，但是花費成本太高。
- 此semi-anechoic chamber不是以成為認證chamber為目的，僅是提供切換式電源供應器設計過程必要的預先測試場地。
- 依據CISPR16〔9〕對anechoic chamber的要求，其輻射值的均勻性比使用volume method求標準場地衰減值更來的重要。因此，將採用另一個比較簡易測量方法，用以求出此chamber與OATS之校正係數。這個簡易方法如下：

- * 對 733 semi-anechoic chamber之均勻性評估，則選定參考發射源的放置位置為旋轉台桌中心、前方及左方中間桌緣，各別進行頻譜測量，此一位置為EN55022 及FCC part 15 所規定待測物放置位置。當旋轉台桌旋轉時，所含蓋的範圍為待測物輻射干擾放射的最大區域，比較這三個位置的頻譜是否在±2dB μV/m內〔9〕，以評估chamber之均勻性。
- * 因為切換式電源供應器於電路佈局設計時，以考慮避免形成環形電流迴路，因而所產生環形極性方向輻射干擾較少，因此在進行比較測試時，僅採用半波雙極（half-wave dipole）天線之參考發射源來執行場強轉移標準，可縮短比較測試時間及降低費用。
- * 將天線因數、cable losses及場地的transmit losses均包含於校正係數中，僅比較chamber與OATS之頻譜分析儀之測量值，即： $CF(f) = M_{OATS}(f) - M_{chamber}(f)$ 其中CF、MOATS及Mchamber分別表是校正係數、OATS與chamber之頻譜分析儀之測量值，f為頻率。Chamber與OATS比較測試的參考發射源，是使用EMCO 4630 Refrad，為確保測試品質，先將Refrad充飽電再進行發射電場實驗，一直到Refrad自動斷電停

止工作為止，其中頻率選用的間格為 5MHz。在這段期間，每 15 分鐘使用頻譜分析儀測量所選定頻率的電場值，頻率為由 30MHz~300MHz，每 30MHz為一個間隔，其結果如圖 8 所示，每個頻率的測量值誤差均在 $4\text{dB } \mu\text{V/m}$ 範圍內，由實驗結果顯示 Refrad 於正常工作期間，其發射的電場品質穩定。接著使用 Refrad 做為電場轉移標準，進行 C&C Lab 的 OATS 與 chamber 比較測試，比較 30MHz~1GHz 的幅射衰減特性，經過多次測試後，依據式（2）將所得的測試數據平均即獲得校係數 CF，並據設定頻譜分析儀的偏差量。經過比較測試後，chamber 與 10m OATS 對同一 Refrad 所測得場強幅射衰減值，其中有將 chamber 的校正係數 CF 調高 $1.5\text{dB } \mu\text{V/m}$ ，以確保切換式電源供應器在 chamber 內通過測試，必能通過 OATS 之測試。

結論

切換電源供應器要取得國際認證，除了要通過上述電磁相容測試，還要通過 EN61000-4-2 ESD、EN61000-4-4 electrical fast transient immunity test 及 EN61000-4-5 electrical slow transient (surge) immunity test 等測試，這些測試的方法及知識，為一般切換式電源供應器設計工程師所欠缺的。雖然本文僅著重於電磁相容相關測試方法的介紹並以實例說明，但可延伸獲得相關知識，正確的電磁相容測試可縮短產品研發流程，若切換電源供應器測試失敗時，工程師亦可由測試結果並結合電磁相容知識，而採取的除錯技術將更為有效。參考資料 【1】M. Joshi and V. Agarwal, "Component placement for improved EMI performance in power electronics circuits, IEEE EMC Symposium, pp. 911-917, 1998. 【2】L. B. Gravelle and P. F. Wilson, "EMI/EMC in printed circuit boards-a literature review," IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility. Vol. 34, no. 2, pp. 109-116, 1992. 【3】T. Guo, Y. Chen and F. C. Lee, "Separation of the common mode and differential mode conducted EMI noise," IEEE Trans. Power Electronics, vol. 11, no. 3, pp. 480-488. 【4】J. B. Wang, "Thermal design evaluation for an adapter via equivalent circuit method," R. O. C. Symposium on Electrical Power Engineering, pp. 770-774, 2000. 【5】BS EN55022, Information technology equipment-radio disturbance characteristic-limit and methods of measurement, 1998. 【6】BS EN61000-4-6, Electromagnetic compatibility, part 4, Testing and measurement techniques, section 6. Immunity to conducted disturbance, induced by radio-frequency, 1996. 【7】BS EN61000-4-3, Electromagnetic compatibility, part 4, Testing and measurement techniques, section 3. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test, 1997. 【8】David a Williams, "A tutorial on EMI #At utorial on BMI switching regulator," IEEE 11th APEC, pp. 333-339, 1996. 【9】IEC, CISPR 16-1, 1993. 【10】EMCO Model 4630 Refrad Operation manual, 1992. 【11】EMCO Calstan/W PN399215, 1996.

附錄 為使一般人對進行電磁干擾及耐受度試驗時，所用的測量單位及術語有充分瞭解，並有助於對各種測試設立及其測試結果說明，下面將對此做一些簡單說明。 **Line impedance stabilization network (LISN)** LISN 為進行傳導性干擾試驗時，電源經由 LISN 供給待測物電源，將待測物所產生的高頻傳導性雜訊分離，傳至頻譜分析儀測量，以評估待測物所產生的傳導性電磁干擾是否滿足規範。 **耦合及解耦合網路 (CDN)** CDN 為進行傳導性耐受度試驗時，將干擾信號耦合施加給待測物電源的設備，以模擬待測物實際操作環境，觀察待測物是否具備傳導性干擾的免疫力。 **場強 (Field strength)** 場強 E 亦是電場強度，常做為幅射性干擾的量測單位 (V/m)，在遠場 (far field) 測量時，場強的定義如下：其中 P_t 為一全向性發射器所發射的總功率， r 為測量點距全向性發射器的距離；遠場係指此距離大於 $\lambda / 2\pi$ ， λ 為發射器發射頻率的波長。場強亦可經由下式單位換算成為 $\text{dB } \mu\text{V/m}$ ：**Peak Quasi-Peak (QP)** 及 **Average (AVG) Peak** QP 及 AVG 係指進行 EMI 量測所採用的偵測器 (detector) 型式，頻譜分析儀所據以測得之量測值。通常信號是以 Peak 模式呈現於 EMC 頻譜分析儀，使用 Peak 偵測器可迅速偵測得輸入信號包絡線的變化，而且其測量值均大於或等於 QP 及 AVG 偵測器的測量值，處理的速度亦較快。其次，QP 偵測器模式是依據輸入信號波形重覆率 (repetition rate) 為測量的權重，即測量輸入信號的干擾率為指標，若輸入信號為連續波形，其測量的 QP 值與 Peak 值相同。最後是 AVG 偵測器模式，其原理與 Peak 模式相同，只是其輸入信號經由一頻寬低於輸入信號頻寬的濾波器，而將輸入信號的高頻成分平均所得之測量值。通常在進行 EMI 測量時，會先以 Peak 模式讀取測量值，以判定所測得的電磁雜訊是否於限制值以下，若是滿足規定則無需進一步測量 QP 及 AVG；若有在某些頻帶測量值超過限制值時，須再進一步測量 QP 及 AVG，以判斷是否

滿足法規，測試程序必須依據〔5〕中所述步驟測量 QP 及 AVG。雖然於法規中有明確規範待測物通過限制值的判斷流程，但是由於切換式電源供應器是其設備系統接受電磁干擾與耐受度測試的窗口，因此切換式電源供應器本身進行測量時，要求會更嚴刻。通常為克服大量生產時所用材料的差異性，以及有較大的電磁干擾餘裕給系統，切換式電源供應器進行電磁干擾測試時，大都使用 Peak 偵測器，其測量值必須低於法規限制值 $6 \text{ dB } \mu\text{V}$ ($\text{dB } \mu\text{V/m}$) 以下才可製造生產，此時相對測量 QP 及 AVG 值均非常低於法規的限制值。※本文轉載自「2001 電磁相容研討會論文集」，作者王金標任職於清雲技術；陳政傳任職於新埔技術學院；潘中志、周加昇任職於康舒科技。

		Conduction limit $\text{dB}\mu\text{V}$						Radiation limit $\text{dB}\mu\text{V/m}$			
頻率 (Mhz)		0.15-0.5		0.5-5		5-30		30-230		230-1000	
法規	detector	QP	AVG	QP	AVG	QP	AVG	QP		QP	
EN55022 A(10m)		79	66	73	60	73	60	40		47	
EN55022 B(10m)		66-56	56-46	56	46	60	50	30		37	
頻率 (Mhz)		0.45-1.075		1.075-30		30-88		88-216		216-960	
法規	detector	QP		QP		QP		QP		QP	
FCC part 15 A(10m)		60		69.5		39		43.5		46.4	
FCC part 15 B(3m)		48		48		40		43.5		46	

表 1 傳導與輻射性干擾法規

測試準位	傳導 V	輻射 V/m	環境
1	1	1	低干擾環境
2	3	3	一般商業環境
3	10	10	一般工業環境
x	議定	議定	特殊環境

表 2 傳導及輻射性耐受度之電壓及電場測試準位

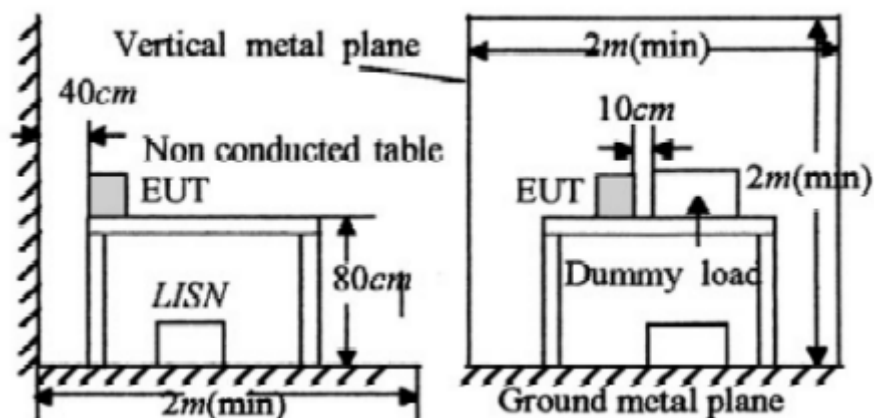


圖 1 桌上型傳導性干擾測試的實驗場地



圖 2 傳導性干擾測試的實驗場地

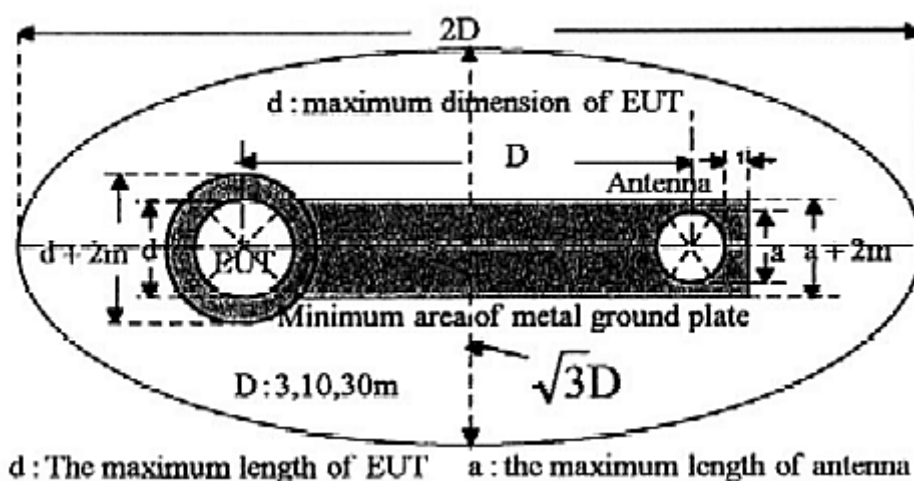


圖 3 OATS 配置圖



圖 4 OATS 測試

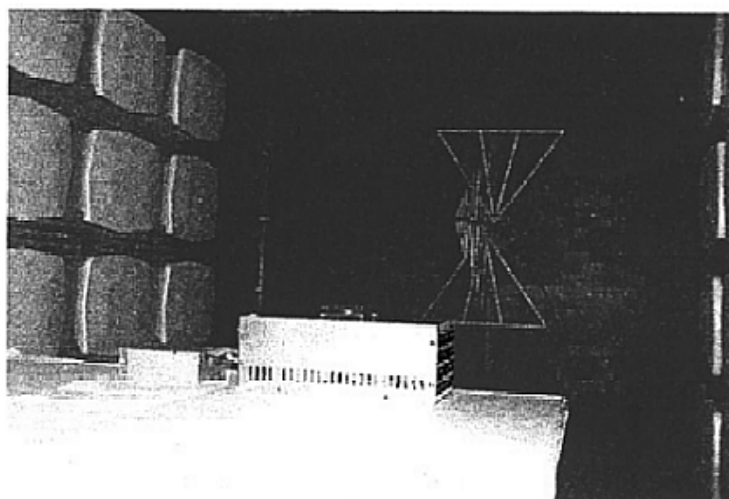


圖 5 在 anechoic chamber 進行的輻射性干擾測試

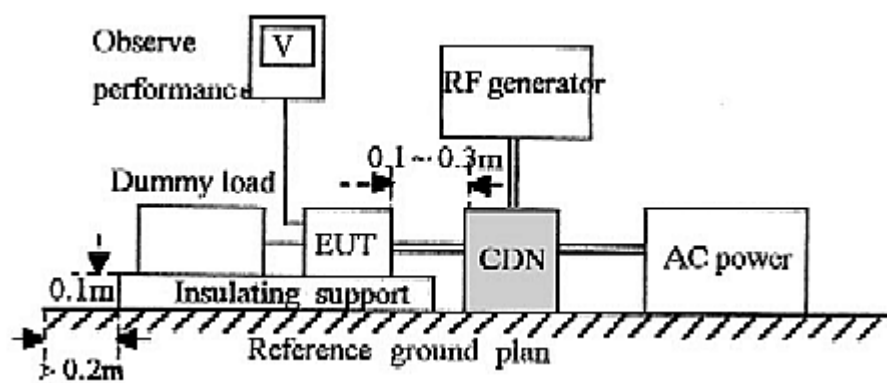


圖 6 傳導性耐受度測試場地

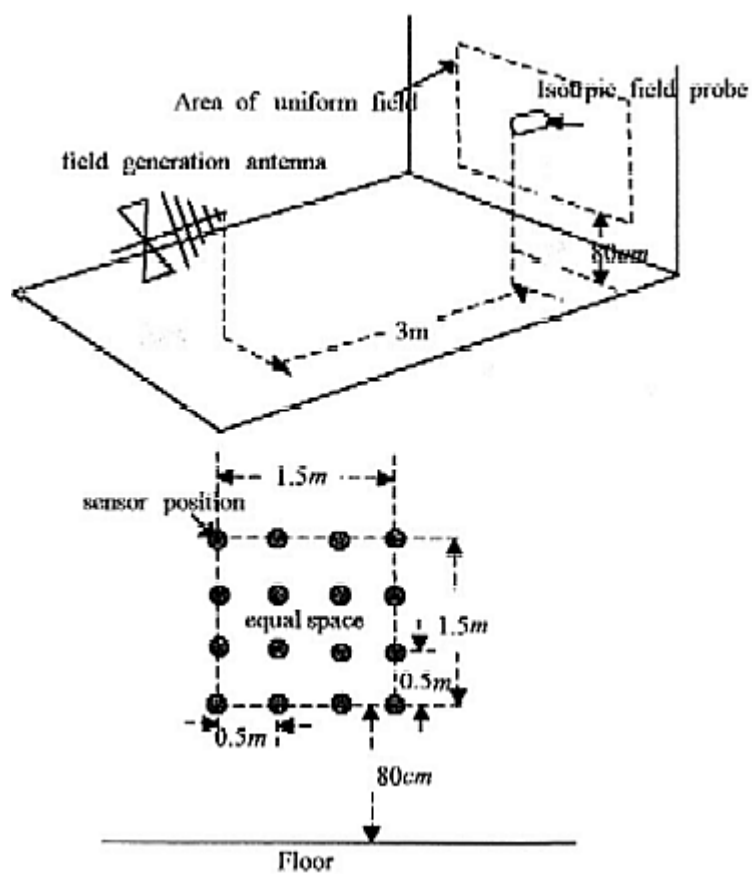


圖 7 幅射性耐受度測試校驗

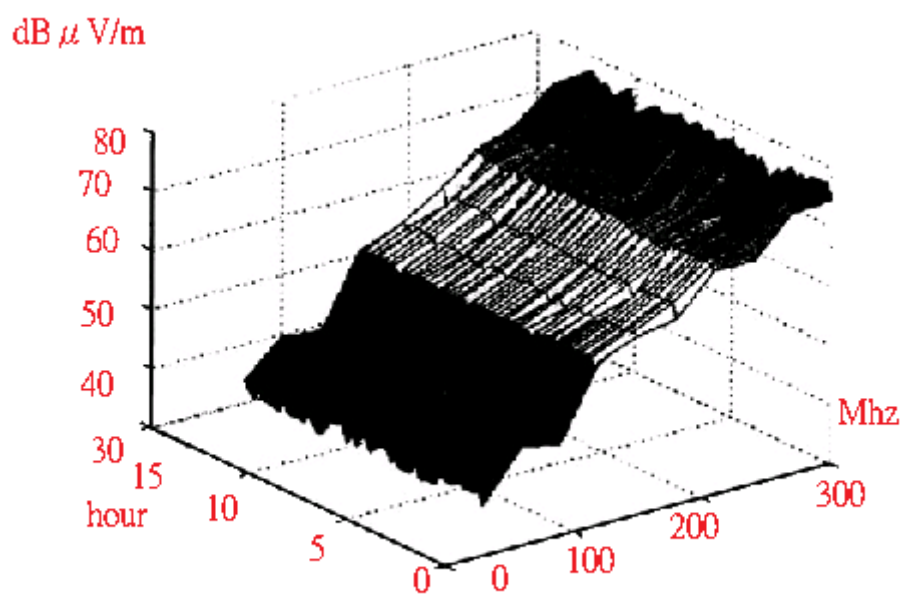


圖 8 Refrad 發射電波至自動斷電為止，所選定頻率之場強偏移量分佈圖



