

醫電設備電磁相容導論及干擾防制管理策略

陳金德、錢嘉宏、陳博光

台大醫院醫學工程室

前 言

台大醫院李源德院長與諸位副院長積極推動資訊與通訊技術之整合應用，以及供電系統之自動監控，將可提升醫院服務品質與形象，創造競爭優勢，建立完善經營典範。

醫學工程室陳博光教授兼主任有鑑於醫院作業環境屬於人力與設備密集之區域，且很多醫電設備用於維持病患生命及量測與監視重要生命現象；因此，為能發揮無線電通訊設備之最大效益與便利之外，亦能兼顧其使用安全性，有必要整理並評估電磁干擾(ElectroMagnetic Interference, EMI)對醫院作業環境所可能引起之影響與效應，作為院方決策參考，並採取適當規劃設計方案與管制措施，以減少不可預期性之事故發生。

醫療作業環境中有許多不同型式之電磁輻射產生源，諸如高壓配電站、馬達、廣播電台、無線電通訊設備、電腦設備、醫電設備等，其頻率範圍可從極低頻至超高頻(30 MHz~3 GHz)範圍。醫電設備不得被外來電磁雜訊所干擾，影響其正常運作功能，同時本身也不得成為一電磁雜訊輻射干擾源，因此，醫電設備如何消除或免於電磁輻射干擾，近年來已經成為醫療作業環境中確保醫電設備之安全性所關切的問題。

本「醫電設備電磁相容導論及干擾防制管理策略」共整理問答集 60 題，區分為 9 個章節，著重於無線電通訊設備(尤其是行動電話)對醫電設備之電磁干擾評估與醫院應採取之適當管制策略，以及電磁場人體暴露量限制值規定與基準之整理，並列舉 230 餘篇論文報告，提供有興趣者參考。

非游離電磁輻射波會對人體組織產生電刺激、熱生(Thermal)與非熱生效應，長期暴露於中低功率電磁波之職業工作人員或一般人員，是否與心律異常、幼兒白血病、幼兒淋巴瘤、腦瘤、乳癌、異常懷孕結果(自發性流產與畸胎)、精蟲數量減少、異常行為(如自殺或沮喪)之引起(Cause)或促進(Promote)有相關，尚未有足夠具有驗證性之科學與實驗資料來判斷確實有或多少暴露強度(劑量)才算危險因子或沒有。目前國外正從流行病學、數學模型與工程模擬、數據量測、組織細胞之離子流與基因觀點，及動物實驗進行大規模研究，謹整理約 70 篇有關論文供參考。

目 錄

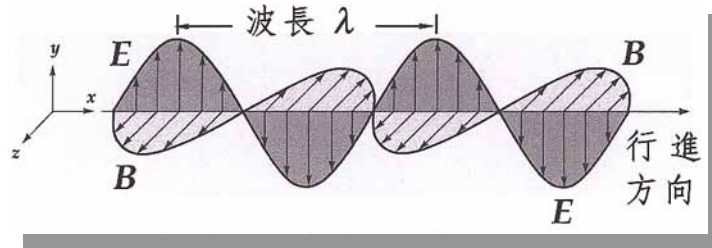
	頁 次
第一章 電磁波緒論	4
一、電磁波特性	
二、電磁波頻譜	
三、電場與磁場	
四、輻射近場與遠場	
五、輻射天線之空間輻射電磁場強度估算公式	
六、空間射頻輻射電磁場功率密度估算公式	
七、導線電流產生周圍磁通密度之估算公式	
八、電磁場屏蔽策略	
第二章 電磁相容	9
九、電磁相容工作環境	
十、形成電磁干擾問題之三個要素	
十一、電磁波傳遞途徑或介質(Medium)	
十二、電磁干擾型式	
十三、容易受到電磁干擾之醫電設備	
十四、容易產生電磁輻射干擾源之醫電設備	
第三章 無線電通訊設備電磁干擾評估與醫院適當管制策略	13
十五、醫院可能使用之攜帶式無線電通訊手機	
十六、醫電設備受到無線電通訊手機電磁干擾影響程度之因素	
十七、輻射電磁波干擾電子線路致使處理錯誤之作用機轉方式	
十八、行動電話手機或區域無線電系統手機通訊對醫電設備所可能造成之影響與效應	
十九、電磁干擾醫電設備功能效應之臨床風險等級分類	
二十、醫院地板與牆壁之電磁場衰減估計分貝值	
二十一、醫電設備電磁相容國際標準與規定	
二十二、醫院無線電通訊設備使用管制策略	
二十三、行動電話使用應注意之相關資訊	
第四章 靜電干擾與管制策略	20
二十四、靜電干擾之定義	
二十五、靜電電荷之形成原因	
二十六、物質磨擦生電系列(Triboelectric Series)之極性等級	
二十七、靜電電荷之累積量決定因素	
二十八、靜電電荷之影響結果	
二十九、高靜電放電(ESD)敏感性電子元件之最小 ESD 耐受電壓值	
三十、動作行為在相對濕度 10%、40%、55%狀況下產生靜電電壓估計值	
三十一、檢測靜電電荷存在之方法	

三十二、	解決或消除靜電問題之方法	
三十三、	靜電放電耐受度標準規定	
第五章	電磁相容國際與國內標準	22
三十四、	歐體(EN)電磁相容規範與 IEC 電磁相容規範	
三十五、	美國聯邦通訊委員會(FCC)規範	
三十六、	國際無線電波干擾委員會(CISPR)規範	
三十七、	美國軍用規格(MIL-STD)	
三十八、	美國食品藥物管理局(FDA)作業準則	
三十九、	中華民國國家標準(CNS)	
第六章	國內外相關電磁標準之電磁輻射限制值規定	32
四十、	CISPR 11 或 CNS 13803 標準	
四十一、	CISPR 22 或 CNS 13438(資訊設備)標準規定	
四十二、	CISPR 13 或 CNS 13439(廣播接收機與相關設備)標準規定	
四十三、	CISPR14 或 CNS 13783(家用電器產品)標準規定	
第七章	電磁輻射量測方法與技術	40
四十四、	分貝(dB)的定義	
四十五、	分貝毫伏(dBmV)的定義	
四十六、	電磁干擾測試環境之設置與要求	
四十七、	醫電設備在醫院現場(On-Site)位置測試無線電通訊設備電磁 干擾之作業基準程序	
四十八、	職業工作人員暴露於電磁環境之量測作業程序	
第八章	作業環境電磁暴露量測值	43
四十九、	自然界直流或極低頻的電場及磁場值	
五十、	居家用電器產品之磁通密度量測值	
五十一、	高壓輸電線附近之電場強度與磁通密度量測值	
五十二、	電器設備輻射性電磁波雜訊頻譜	
五十三、	電器設備導電性電磁波雜訊頻譜	
五十四、	醫院醫療作業區域之電場強度量測值	
第九章	電磁場人體暴露量限制值規定與基準	48
五十五、	可提供人體生物效應因果關係之電磁場參數指標	
五十六、	人體組織在 900 MHz 之電性參數值	
五十七、	電源頻率(50/60 Hz)電場與磁場之人體暴露量限制值基準	
五十八、	視訊顯示終端機(VDT)射頻電場與磁場之人體暴露量限制值基準	
五十九、	射頻電磁場(100 MHz~3000 MHz)功率密度之人體暴露量限制值基準	
六十、	射頻與微波電磁場特定吸收比(Specific Absorption Rate, SAR) 之 人體暴露量限制值基準	
第十章	相關期刊論文與研討會報告整理	52

第一章 電磁波緒論

一、電磁波特性

電子在磁場中的高速運動或高能粒子撞擊物質或帶能粒子自發性運動皆會輻射出電磁波，其振動方向與波的行進方向相互垂直，是為橫波(Transverse Wave)。電磁波的特性參數有傳播速度(c)、波長(λ)、週期(T)、頻率(f)、振幅(或強度)、相位(Φ)、調變比(Modulation ratio)

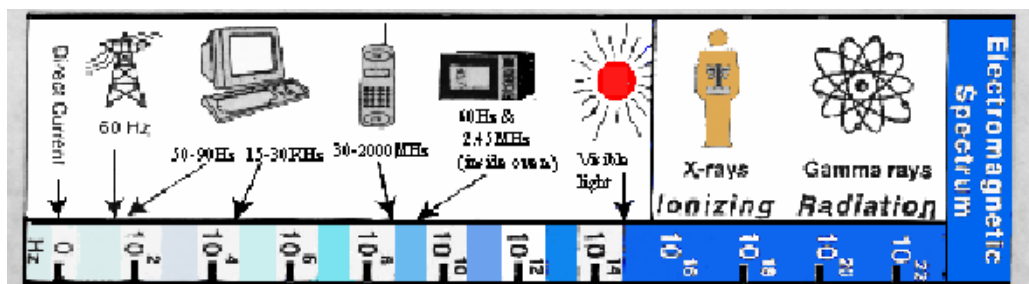


電磁波傳播速度(c)= 頻率(f) $\times$ 波長(λ)

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

二、電磁波頻譜

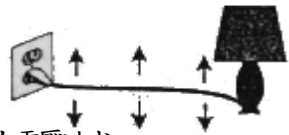
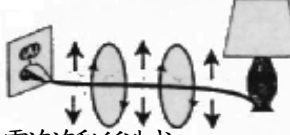
1. 電磁波依頻率分類，由低頻率至高頻率可分為直流、低頻、射頻(RF)、微波(MW)、紅外線(IR)、可見光、紫外線(UV)、X-射線(X-ray)、 γ -射線(γ -ray)等
2. 電磁波依游離能力可分為游離輻射波(Ionizing radiation)與非游離電磁輻射波(Nonionizing ElectroMagnetic Radiation, NEMR)兩種



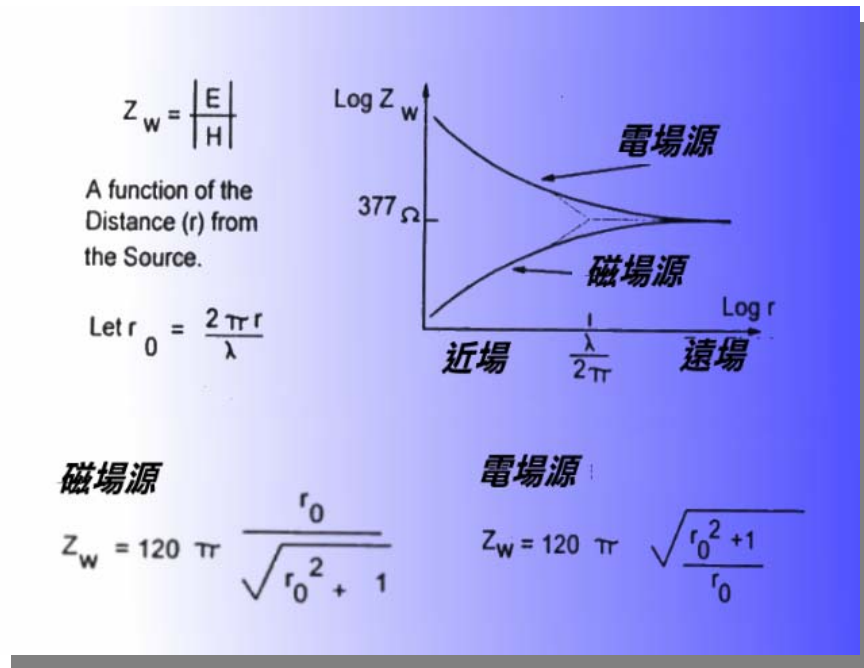
- a. 游離輻射波指頻率大於 3×10^{15} Hz，或波長小於 100 nm (10^{-7} m)，或每一光子能量大於 $1.987 \times 10^{-18} \text{ J}$ (相當於 12.4 keV , 仟電子伏特)之電磁波
- b. 非游離電磁輻射波指頻率小於 $3 \times 10^{15} \text{ Hz}$ 之頻段，含有直流、低頻、射頻(RF)、微波(MW)、遠紅外線(FIR)、近紅外線(NIR)、可見光、紫外線(UV-A、UV-B、UV-C)等

頻 段 名 稱	亞頻段名稱	頻率範圍(Hz)	波 長(m)
	亞極低頻(Sub-ELF)	$< 3 \times 10^1$	$> 10^7$
	極低頻(ELF)	$3 \times 10^1 \sim 3 \times 10^2$	$10^7 \sim 10^6$
	聲頻(VF)	$3 \times 10^2 \sim 3 \times 10^3$	$10^6 \sim 10^5$
射 頻 (RF)	甚低頻(VLF)	$3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4$	$10^6 \sim 10^4$
	低頻(LF)	$3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5$	$10^4 \sim 10^3$
	中頻(MF)	$3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6$	$10^3 \sim 10^2$
	高頻(HF)	$3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7$	$10^2 \sim 10^1$
	甚高頻(VHF)	$3 \times 10^7 \sim 3 \times 10^8$	$10^1 \sim 10^0$
微 波 (MW)	特高頻(UHF)	$3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^9$	$10^7 \sim 10^{-1}$
	超高頻(SHF)	$3 \times 10^9 \sim 3 \times 10^{10}$	$10^{-1} \sim 10^{-2}$
	極高頻(EHF)	$3 \times 10^{10} \sim 3 \times 10^{11}$	$10^{-2} \sim 10^{-3}$
紅 外 線 (IR)	遠紅外線(FIR)	$3 \times 10^{11} \sim 6 \times 10^{13}$	$10^{-3} \sim 5.0 \times 10^{-6}$
	中紅外線(MIR)	$6 \times 10^{13} \sim 2 \times 10^{14}$	$5.0 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-6}$
	近紅外線(NIR)	$2 \times 10^{14} \sim 4.3 \times 10^{14}$	$1.5 \times 10^{-6} \sim 7.0 \times 10^{-7}$
可 見 光	可 見 光	$4.3 \times 10^{14} \sim 7.5 \times 10^{14}$	$7.0 \times 10^{-7} \sim 4.0 \times 10^{-7}$
紫 外 線 (UV)	A 頻段紫外線(UV-A)	$7.5 \times 10^{14} \sim 9.4 \times 10^{14}$	$4.0 \times 10^{-7} \sim 3.2 \times 10^{-7}$
	B 頻段紫外線(UV-B)	$9.4 \times 10^{14} \sim 1.03 \times 10^{15}$	$3.2 \times 10^{-7} \sim 2.9 \times 10^{-7}$
	C 頻段紫外線(UV-C)	$1.03 \times 10^{15} \sim 3.0 \times 10^{15}$	$2.9 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-7}$

三、電場與磁場

電場 E	磁場 H
 1. 由電壓造成 檯燈插上電源但開關是off, 此時由電壓產生電場。 2. 量測單位: 伏特/米(V/m) 或 仟伏/米(kV/m) 1 kV=1000 V 3. 很容易防護只要外接物體即可消除(如樹木或建築物) 4. 電場強度隨著離電源距離的增加而降低	 1. 由電流流動所造成 檯燈插上電源開關是on, 此時流動的電流產生磁場。 2. 量測單位: 高斯(G, gauss) 或 特斯拉(T, tesla) 1 milligauss(mG) =0.1 microtesla(μT) milli(m): 千分之一 micro(μ): 百萬分之一 3. 不易借由其它物體防護消除 4. 磁場強度隨著離電源距離的增加而降低

四、輻射近場與遠場



1. 波阻抗(Z_w)= $|E/H|$ ，是為距離輻射源 r 之函數
2. 距離輻射源 $\lambda/2\pi$ (約為 $\lambda/6$) 以上的波阻抗為固定值，其值為 120π 或 $377\ \Omega$ ，是為遠場(Far Field)平面電磁波
3. 距離輻射源 $\lambda/2\pi$ (約為 $\lambda/6$) 以下的波阻抗為可變值，是為近場(Near Field)，電場與磁場須分別量測並計算其各別效應
 - a. 若以高輻射電阻之電場為主要者，則 E 約正比於 $1/r^3$ ， H 約正比於 $1/r^2$ ， Z_w 約正比於 $1/r$ ，即 Z_w 值從極大值隨 r 增加而減少，於 $\lambda/2\pi$ 處趨近於 $377\ \Omega$
 - b. 若以低輻射電阻之磁場為主要者，則 H 約正比於 $1/r^3$ ， E 約正比於 $1/r^2$ ， Z_w 約正比於 r ，即 Z_w 值從極小值隨 r 增加而增加，於 $\lambda/2\pi$ 處趨近於 $377\ \Omega$

五、輻射天線之空間輻射電磁場強度估算公式

輻射天線之空間(遠場)輻射電場強度(E)、磁場強度(H)與磁通密度(B)最大值之估算公式為

$$E = \sqrt{30GP/r} \quad H = E/377 \quad B = \mu_0 H$$

P 為天線輸出功率，單位為 W

r 為量測點與輻射天線間之距離，單位為 m

G 為輻射天線增益(Gain)；偶極性天線，其值約為 $1.5 \sim 1.6$

B 為磁通密度，單位為 特斯拉(Tesla), $1\ Tesla = 10,000$ 高斯(Guass, G)

μ_0 為空氣磁化係數，其值為 $4\pi * 10^{-7}\ H/m$

六、空間射頻輻射電磁場功率密度估算公式

1. 已知空間射頻輻射電場強度 E (V/m)者

功率密度 $P_d = E^2/377 \text{ W/m}^2$ ，與電場強度平方成正比

若電場強度為 43.4 V/m(相當於磁場強度為 0.115 A/m)，

則 $P_d = 0.5 \text{ mW/cm}^2$

2. 已知空間射頻輻射磁場強度 H (A/m)或磁通密度 B (Tesla)者

功率密度 $P_d = 377 \cdot H^2 = 377 \cdot (B/\mu_0)^2 \text{ W/m}^2$ ，與磁場強度或磁通密度平方成正比

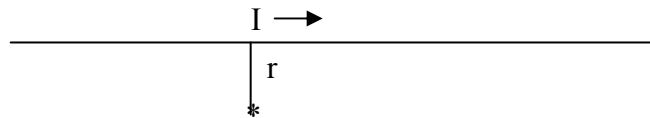
若磁場強度(H)為 0.1 A/m(相當於電場強度為 37.7 V/m)，

則 $P_d = 0.377 \text{ mW/cm}^2$

若磁通密度(B)為 1.45 mG(相當於磁場強度為 0.115 A/m 或電場強度為 43.4 V/m)，則 $P_d = 0.5 \text{ mW/cm}^2$

七、導線電流產生周圍磁通密度之估算公式

1. 帶有電流之單一長導線

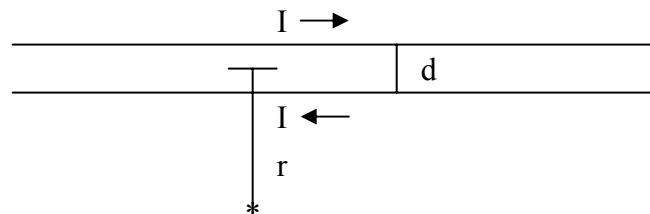


距離導線 r 公尺之磁通密度(B)= $\mu_0 I / (2 \pi r)$ Tesla，與距離成反比

若導線電流為 1 安培，則距離導線 10 公分之磁通密度為 20 毫高斯(mG)

1 公尺之磁通密度為 2 毫高斯(mG)

2. 帶有電流之雙長導線，且各導線電流大小相同但方向相反，如一般設備之電源線



兩導線距離 d 公尺，若 $r \gg d$ ，每一導線所產生之磁場方向相反而抵消，

則距離導線 r 公尺之磁通密度(B)= $\mu_0 I d / (2 \pi r^2)$ Tesla，與距離平方成反比

若導線電流為 1 安培，兩導線相距 2 公分，

則距離導線 10 公分之磁通密度為 4.0 毫高斯(mG)

距離導線 1 公尺之磁通密度為 0.04 毫高斯(mG)

八、電磁場屏蔽策略

1. 靜磁場屏蔽

a. 使用磁性材料(如鐵、鈷、鎳等)屏蔽，將磁場分流或集中在磁性材料中，降低空間磁場強度，達到屏蔽效果

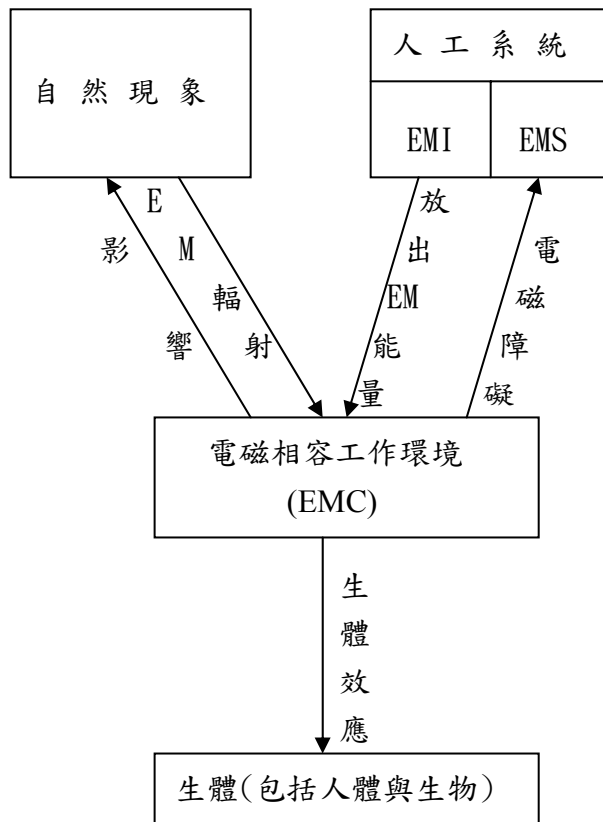
b. 磁性材料厚度或相對磁化係數(μ_r)愈大，屏蔽效果愈大

c. 磁性材料厚度相同，半徑愈大，則屏蔽效果愈小

- d. 避免發生磁飽和(Saturation)效應，使 μ_r 變小，降低屏蔽效果
 - e. 將許多小厚度磁性材料伏窩式(Nesting)組成較大厚度磁性材料，其屏蔽具有相乘效果而非僅相加效果
 - f. 非磁性導體(如銅、鋁等，即 $\mu_r \approx 1$)，並無屏蔽效果
2. 靜電場屏蔽
- 使用良好導體材料(即導電係數 σ 很大)，如銅、鋁等，即可達到幾乎完全屏蔽效果
3. 低頻磁場(或準靜磁場)屏蔽
- 1. 仍以磁性材料為主要屏蔽材料
 - 2. 使用非磁性導體作為屏蔽材料，會在導體表面感應電流而形成反向磁場，抵消原先磁場一部份；此反向磁場大小會隨頻率增加而增加，增強屏蔽效果。同時若此屏蔽材料距離低頻磁場源愈遠，屏蔽效果愈大
 - 3. 基本上，低頻率之低波阻抗(Low Wave Impedance)磁場很難使用屏蔽材料來達到屏蔽效果
4. 低頻電場(或準靜電場)屏蔽
- 1. 使用良好導體材料可得到良好屏蔽效果，但此屏蔽效果會隨頻率增加而降低。同時若此屏蔽材料距離低頻電場源愈遠，屏蔽效果愈小
 - 2. 基本上，低頻率之高波阻抗(High Wave Impedance)電場很容易使用薄層金屬導電材料來達到良好屏蔽效果
5. 高頻遠場平面輻射電磁場(Plane EM Field)屏蔽
- 1. 在玻璃上被覆 10^{-8} m 厚度之導電金屬薄膜(可使光線透過，但對微波具有屏蔽效果)，或在塑膠上被覆 10^{-6} m 厚度之導電金屬薄膜，或使用厚度 10^{-3} m 之導電金屬薄板，或金屬網，應可相當容易地達到特定需求之屏蔽效果
 - 2. 基本上，在一大的頻率(10 KHz~10 MHz，頻率集膚效應較小)範圍，其屏蔽效果與頻率無關，約為固定值；同時也與屏蔽材料距離平面輻射電磁場源的大小無關

第二章 電磁相容

九、電磁相容工作環境

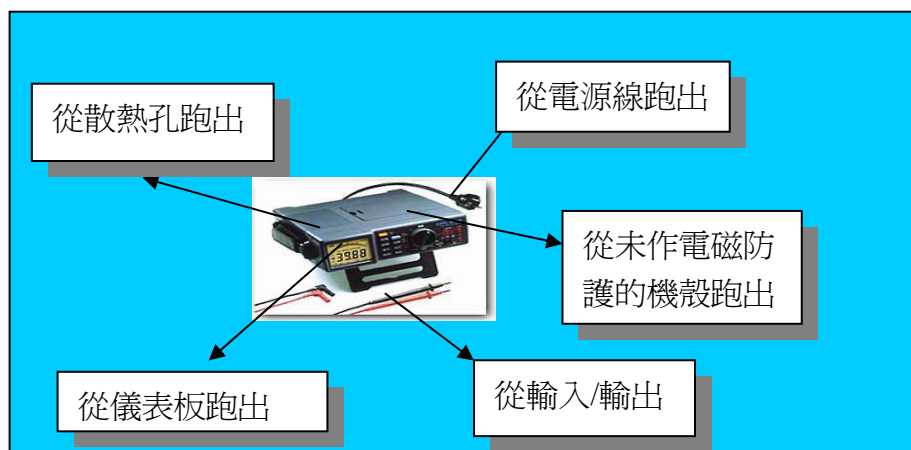


1. 電磁相容(ElectroMagnetic Compatibility, EMC)的定義

某一設備或系統，或很多設備同時運作時，在電磁環境中滿足其操作性能而不致產生難以承受環境中電磁干擾的能力。

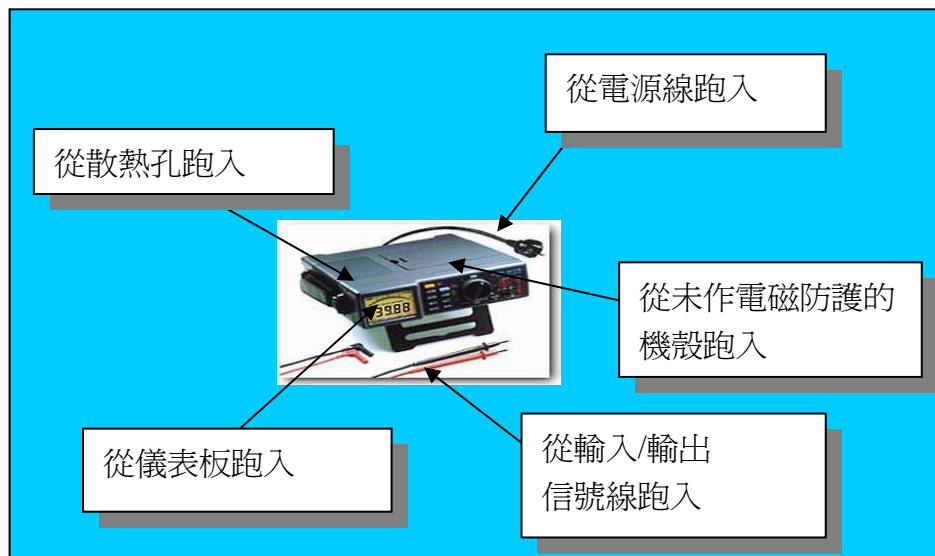
2. 電磁干擾((ElectroMagnetic Interference, EMI)的定義

某一設備或系統在操作過程中，出現不利於其他電子設備或系統運作功能的訊號，而此訊號是不想要的且是無意義的。



3. 電磁感受性(ElectroMagnetic Susceptibility, EMS)的定義

電磁耐受性(ElectroMagnetic Immunity)指裝置、設備或系統不會因周圍電磁干擾而產生性能劣化的能力。



4. 劣化的定義

設備或系統之操作性能因電磁干擾而產生不期望的改變。劣化不表示故障或完全之毀壞。

5. 非游離性電磁輻射之標幟符號

使用射頻能量(RF energy)作診斷或治療的設備系統，應標示非游離性電磁輻射之標幟符號(IEC 878 03-04 符號)



6. 產品符合電磁相容之標示

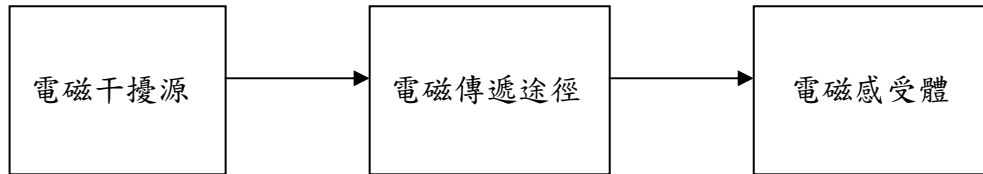
(1) 歐盟標示



(2) 中華民國商標局標示

檢磁 3853A001

十、形成電磁干擾問題之三個要素



1. 電磁干擾源(EMI Source)
 - a. 閃電雷擊(30~300 Hz)
 - b. 太陽黑子爆炸
 - c. 靜電放電
 - d. 核爆電磁脈衝
 - e. 高功率微波武力
 - f. 高功率雷達、廣播及電視發射器(Transmitter)
 - g. 通信設備、行動電話及遙傳設備發射器
 - h. 電力系統、電機設備、電子設備、控制設備、運輸設備及醫電設備所產生不想要的干擾雜訊。
2. 電磁波傳遞途徑或介質(Transmission or Coupling Medium)
3. 電磁感受體(Susceptible Device)
 - a. 通信設備、行動電話及遙傳設備接收器(Receiver)
 - b. 電力系統、控制設備
 - c. 高感性之電子設備、電腦設備及醫電設備
 - d. 人體(生物電磁 效應)

十一、電磁波傳遞途徑或介質(Medium)

電磁波傳遞的途徑有三種：

1. 空間輻射(Radiation)

電磁波經由空間(Space)傳遞。

輻射波極易從儀器外框之極小不完整細縫(Seam)、接續(Joint)、通風孔、屏蔽不良的控制或顯示面板、輸入/輸出接頭、以及電纜接線等，洩漏至儀器外面或進入至儀器內部。
2. 導體直接傳導(Conduction)

電磁波經由電源線、輸入/輸出訊號線、接地線等電路導體傳遞。
3. 耦合感應(Induction)

電磁波經由近場(Near Field)之電容性(電場效應)耦合或電感性(磁場效應)耦合而傳遞。

十二、電磁干擾型式

1. 靜電放電
2. 輻射電磁場
3. 快速暫態波/叢訊
4. 雷擊突波

5. 傳導電磁場
6. 電源頻率(50 Hz 或 60 Hz)電流所產生之磁場
7. 雷突波流經金屬結構物所產生之脈衝磁場
8. 高電壓系統或設備切換時之暫態電突波所產生之衰減振盪磁場
9. 電源電壓瞬降、瞬斷及緩慢連續變動
10. 電源電壓低頻傳導性干擾

十三、容易受到電磁干擾之醫電設備

1. 心臟節律器
2. 醫用遙傳或遙測(Telemetry)設備
3. 生理信號感測或監視裝置，如 ECG、EMG、EEG、ERG、ENG、MEG、Holter、窒息監視器等
4. 核磁共振診斷攝影裝置
5. 電子顯微鏡
6. 裝有微處理器控制或數位線路的維持生命用裝置，如輸液幫浦、血液透析機、呼吸輔助器、麻醉機、嬰兒保溫箱等

十四、容易產生電磁輻射干擾源之醫電設備

1. 電刀裝置(500 KHz~2.5 MHz)
2. 電燒灼器
3. 心臟電擊器
4. 短波治療機 (13.56MHz、27.12MHz、40.7MHz)
5. 微波治療機 (433MHz、915MHz、2,450MHz)
6. 醫用遙傳或遙測(Telemetry)設備
7. X 光透視診斷攝影裝置
8. 電腦斷層攝影裝置
9. 核磁共振診斷攝影裝置
10. 直線加速器
11. 馬達驅動之幫浦或壓縮機
12. 牙科或骨科用高速鑽
13. 電毯或電動床

第三章 無線電通訊設備電磁干擾評估與醫院適當管制策略

十五、醫院可能使用之攜帶式無線電通訊手機

1. 呼叫器(BB-Call 或 Pager)：

發射頻率 200~300 MHz，最大功率約 0.2~0.5 W，平均功率約 0.05~0.1 W，單向/雙向傳輸

2. 區域無線電通訊系統(Wireless Local Loop, WLL)

a. CT2/CT2⁺

b. DECT(Digital European Cordless Telecommunications)

c. PACS(Personal Access Communication System)

d. PHS(Personal Handy-phone System)

e. RLANS(Radio Local Area Networks)

用來作為個人電腦或筆記型電腦與電腦網路之間的無線傳輸資訊

各種 Low-Tier 區域無線電通訊系統之功能比較表

標準/系統	CT2	CT2 ⁺	DECT	PACS	PHS
使用地區	歐洲	加拿大	歐洲	美國	日本
多工連接方式 (Duplexing)	FDMA/ TDD	FDMA/ TDD	TDMA/ TDD	TDMA/ FDD	TDMA/ TDD
操作頻帶(MHz)	864~868	944~948	1880~1900	1850~1910 1930~1990	1895~1918
載波頻寬(KHz)	100	100	1728	300	300
載波總數	40	40	10	199	77
每一載波之通道數	1	1	12	4	4
通道位元速率(kb/s)	72	72	1152	384	384
通道(Channel)指配方式	動態指配 (DCA)	動態指配 (DCA)	動態指配 (DCA)	半固定 (QSAFA)	動態指配 (DCA)
調變模式(Modulation)	GFSK	GFSK	GMSK	$\pi/4$ QPSK	$\pi/4$ DQPSK
聲音編碼速率(kb/s)	32	32	32	32	32
手機平均發射功率	5 mW	5 mW	10 mW	25 mW	10 mW
手機最大發射功率	10 mW	10 mW	250 mW	200 mW	80 mW
訊框期間(Duration)	2 ms	2 ms	10 ms	2.5 ms	5 ms
交遞功能	無	無	低速	低速	低—中速
通信功能	有限度的 雙向	有限度的 雙向	雙向	雙向	雙向

3. 行動電話

a. 類比式行動電話(Advanced Mobile Phone System, AMPS)：

發射頻率 800 MHz，平均功率約 0.6~1.0 W，最大叢訊脈衝(Burst)功率約 2 W，雙向傳輸

b. 數位式行動電話(Global System for Mobile Communication, GSM)：

發射頻率 900 MHz，脈衝調變速率為 217 Hz，平均功率約 0.8~1.0 W，最大叢訊脈衝(Burst)功率約 2 W，雙向傳輸

- c. 數位式行動電話(Digital Communication System, DCS)：
發射頻率 1800 MHz，脈衝調變速率為 217 Hz，平均功率約 0.8~1.0 W，最大叢訊脈衝(Burst)功率約 2 W，雙向傳輸
 - d. 數位式行動電話(Time Division Multiple Access, TDMA IS-54/IS136)
 - (a) 發射頻率 835 MHz，脈衝調變速率為 50 Hz，最大功率約 0.6 W
 - (b) 發射頻率 814 MHz，脈衝調變速率為 11 Hz，最大功率約 1.3 W
 - e. 數位式行動電話(寬頻 Code Division Multiple Access, CDMA)
發射頻率 847 MHz
 - f. 多媒體行動電話(IMT-2000, International Mobil Telecommunications 2000)
ITU-R 將在 1999 年中初步決定 IMT-2000 空中介面標準，預計在 2002 年有先導性(Pilot)系統產生，在 2005 年大量商業產品上市。操作頻帶為 1850~2025 MHz 及 2110~2200 MHz，最高傳輸速率(室內傳訊)為 2 Mbps，步行通訊傳輸速率為 384 kbps，車上行駛通訊傳輸速率為 144 kbps，衛星行動通訊傳輸速率為 9.6 kbps
 - g. 多媒體行動電話(UMTS, Universal Mobile Communication System)
歐洲 ETSI 即將決定 UMTS 空中介面標準，預計在 2002 年有先導性(Pilot)系統產生，在 2005 年大量商業產品上市，最高傳輸速率為 2 Mbps
- 4. 警衛巡邏安全通信設備：
類比調頻式手機，發射頻率 100~400 MHz，平均功率約 1.0~5.0 W，可調至輸出功率 10 W 以上，雙向傳輸
 - 5. 救護車緊急通信設備：
發射頻率 28~470 MHz，平均功率約 1.0~5.0 W，可調至輸出功率 20 W，雙向傳輸

十六、醫電設備受到無線電通訊手機電磁干擾影響程度之因素

- 1. 手機輸出功率(Power)
量測點的輻射電場強度(E)與手機輸出功率平方根成正比，是二個主要電磁干擾影響因素之一
- 2. 手機輸出頻率(Frequency)
在同一功率暴露狀況下，一般而言，醫電設備在 100 MHz~400MHz 之間頻帶的電磁耐受性(Immunity)較低，高於或低於此頻帶的頻率應為較佳使用頻率。基本上，頻率愈高，相對電磁干擾影響程度會降低。但由於助聽器體積很小，較高頻率(如 1800 MHz)的影響會較大
- 3. 手機調變模式(Modulation)
基本上，手機調變頻率若與生理信號基頻相近，將容易干擾此生理信號
- 4. 手機使用時間(Exposure Time)
- 5. 手機輻射天線型式(Antenna Type)
輻射電場強度會依天線型式之不同而在某一特定方向有最大值
- 6. 傳輸距離(Distance)
量測點的輻射電場強度(E)與傳輸距離成反比，是二個主要電磁干擾影響

因素之一

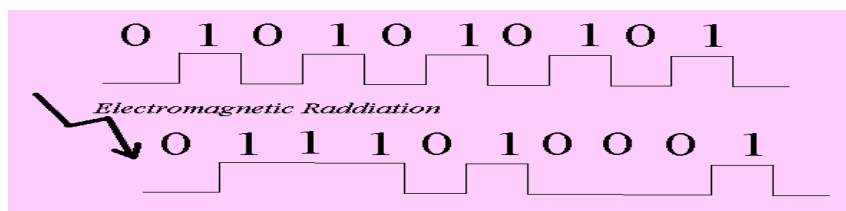
7. 置放空間位置

輻射電場會在房間內散射與反射，而與入射波相加或相減，致使在空間某些位置點會有最大值，某些位置點會接近零值

8. 醫電設備本身電磁屏蔽能力

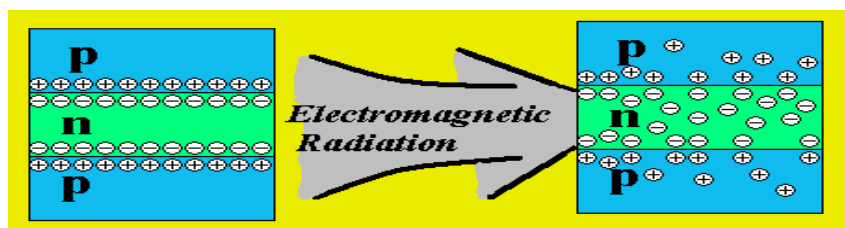
十七、輻射電磁波干擾電子線路致使處理錯誤之作用機轉方式

1. 位元信號錯亂(Bit Corruption)



電子信號線暴露於電磁環境中，產生足夠振幅(Amplitude)與期間(Duration)之不需要雜訊(Noise)或假象(Artifact)而改變數位信號應有的”0”或 “1”數值，若沒有被偵錯出而加以處理，會產生不正確的運算結果或誤動作或鎖住暫停運作。另會改變瞬間的脈衝而影響類比(Analog)系統的正常功能

2. 半導體接面整流(Junction Rectification)



暴露於高電場強度的電磁波能量，半導體接面會整流此不需要高頻交流信號而產生被設備解釋為假象或無效資料的直流抵補電壓(DC Offset Voltage)或低頻調變脈衝，此可能會使元件暫時或永久失效。另在數位系統可能會因所產生的正直流抵補電壓而表現不正確的”1”(Highs)而影響系統功能

十八、行動電話手機或區域無線電系統手機通訊對醫電設備所可能造成之影響與效應

手 機 型 式 與手機 天線之 距 離	警衛巡邏通訊手機 (調頻式 2-way radio) 最大輸出功率 4 W 載波頻率 403~407 MHz	類比式行動電話 最大輸出功率 0.6 W 載波頻率 835 MHz	數位行動電話(PCS 1900)) 最大輸出功率 1 W 平均輸出功率 0.125 W 載波頻率 1850~1990 MHz
	電 場 強 度 實 際 量 測 值 (V/m)		
0.1 公尺	40.0	27.0	22.0
0.5 公尺	15.5	9.5	3.5
1.0 公尺	9.0	5.5	2.5
1.5 公尺	8.0	3.5	1.5
2.0 公尺	7.0	1.5	0.5

表一 無線電通訊手機發射功率，實際量測之電場強度值

依國外測試報告[1-7]得知，行動電話手機距離醫電設備 2 公尺範圍以內或區域無線電通訊系統手機的距離醫電設備 0.5 公尺範圍以內的區域通話甚或待機(Stand-by)狀況，有可能對醫療儀器產生如下電磁干擾效應：

1. 降低性能(Degradation of performance)
產生波形雜訊或失真(Distortion)、基線漂移(Drift)，影像假象(Artifact)
2. 讀值不準確(Inaccurate reading)
導致數值變動或閃爍而影響診斷準確性
3. 不適當控制(Inappropriate control)
導致控制量變動而影響治療劑量或誤動作或改變操作模式
4. 影響照護效能(Ineffective care)
導致感應器(Sensors)失效、促動警示聲響，甚至儀器會停止運作而需醫護人員重新 Reset 以恢復其正常動作之不可逆性干擾效應
5. 很多電磁干擾狀況，只要將手機遠離或關機，即會可逆性地自動消失。
尚未發現會導致儀器故障而需專業技術人員修復之情況發生

十九、電磁干擾醫電設備功能效應之臨床風險等級分類

1. 沒有任何干擾問題發生
2. 醫電設備發生可逆性之干擾問題，會引起錯誤診斷
如：電擊器 ECG 顯示一大的基線偏移(Baseline Drift)雜訊，ECG 監視器顯示雜訊信號，表示電極不穩定的狀況
3. 醫電設備發生可逆性之干擾問題，導致錯誤診斷或治療；或發生不可逆性之問題，會引起錯誤診斷
如：行動電話極靠近麻醉機使用時，控制板上顯示一變動之錯誤值，但行動電話遠離時，顯示值恢復正常
4. 醫電設備發生不可逆性之干擾問題，導致錯誤診斷或治療，需要緊急處理(Action)
如：當行動電話移近潮濕器時(Heating and humidifier system)，呼吸輔助器發出警示信號，需要醫護人員檢查並重新 Reset，只要不超過一段時間才動作，病患不會發生危險
5. 醫電設備發生可逆性之干擾問題，若持續不改善，其會導致病人嚴重後果或死亡
如：當行動電話移近體外心臟節律器時，節律器不能產生刺激脈波，但行動電話遠離時，功能恢復正常
6. 醫電設備發生不可逆性之干擾問題，除非緊急處理，其會導致病人嚴重後果或死亡
如：行動電話極靠近注射幫浦(Syringe pumps)使用時，幫浦停止注射並發出警示信號，需要醫護人員檢查並重新 Reset；若所注射為治療藥物者，不緊急處理，會導致病人嚴重後果或死亡

二十、醫院地板與牆壁之電磁場衰減估計分貝值

1. 玻璃：2 dB
2. 牆壁：3~17 dB
3. 地板：14~55 dB

備註：6 dB 衰減相當於只剩下原來 1/2 的電場強度，12 dB 衰減相當於只剩下原來 1/4 的電場強度，20 dB 衰減相當於只剩下原來 1/10 的電場強度，以此類推

二十一、醫電設備電磁相容國際標準與規定

歐盟與美國等先進國家於 1996 年 1 月 1 日起，規定凡上市之醫療儀器必須符合 IEC 601-1-2 國際標準 3 V/m 電場強度以上之耐受度(Immunity)，以減少被電磁干擾而影響儀器正常運作，未來將實施維持生命設備須能耐受 10 V/m 以上之電場強度。另對電動輪椅有標準規定須能耐受 20 V/m 以上之電場強度，心臟節律器與植入式心臟電擊器(ICD)則須能耐受 100 V/m 以上之電場強度

二十二、醫院無線電通訊設備使用管制策略

1. 任何型式之無線電通訊設備要在醫院內部或屋頂安裝功率增強器或微細胞基地台或發射天線，皆須先經醫院主管單位簽文依規定程序會簽核准。安裝於院內走廊天花板上之較小輸出功率天線者(應小於 0.5 瓦)須距離固定式或移動式醫電設備至少 2 公尺以上。
2. 無線電通訊手機距離醫電設備發射之最小容忍安全值
 - a. 呼叫器若為單向接受資訊，院內任何區域皆可使用，不須管制。若為雙向傳訊，須距離醫電設備至少 0.5 公尺以上。
 - b. 區域無線電通訊系統之使用，必須距離醫電設備至少 0.5 公尺以上。
 - c. 行動電話之使用，必須距離醫電設備至少 2 公尺以上。
 - d. 警衛巡邏通訊設備之使用，必須距離醫電設備至少 5 公尺以上。
 - e. 救護車緊急通訊設備之使用，在醫院僅能作為緊急通訊而決不允許例行通訊用，必須距離檢查室或治療室或急診病房等區域至少 5 公尺以上。
3. 行動電話決不允許在手術房、恢復室、ICU、急診病房、具有電磁高敏感性或維持生命用醫療儀器之檢查室(如心臟電生理檢查室、超音波影像檢查室、腦波檢查室、生化室、緊急檢查室等)或治療室(如洗腎室、放射治療室、急診暫留室等)或病房房間等之內部及其周圍 2 公尺區域範圍內使用，行動電話必須關機，即使待機(Stand-by)狀態亦不允許。
4. 禁止將無線電通訊設備置放在醫療儀器上面或旁邊。
5. 醫院各單位禁止使用無線電通訊設備之管制區域，必須明確標示，以告知病患及其家屬、訪客、院內員工確實遵守。
6. 醫院應將使用無線電通訊設備之管制策略敘述於入院文件資料中，於住院室或護理站分發
7. 醫院醫護人員、技術人員與職員應熟知無線電通訊設備靠近醫療儀器使用時，會對醫療儀器產生電磁干擾而影響正常運作之可能危險性與不可預期

性。發現有在管制區域使用無線電通訊設備者，應主動勸告。

8. 醫院醫護人員、技術人員與職員應熟知電磁干擾現象、警示與標幟之意義；發現醫療儀器有持續電磁干擾問題則通報醫學工程室或儀器代理商檢測。

二十三、行動電話使用應注意之相關資訊

1. 目前行動電話最廣為配裝之套管偶極天線(Sleeve dipole antenna)的輻射磁場強度最大值，在於天線中點處之垂直方向；而可伸縮環形天線(Whip antenna)則在於天線底部之垂直方向
2. 根據 Kang(1997) 的數學模擬結果，在開放空間(Free space)使用行動電話(900 MHz)，手機天線距離頭部 2 公分發射，頭部會吸收 40—50 % 之實際天線輻射功率；距離 4 公分則吸收功率約 20—25 %；距離 10 公分則吸收功率約 10 %，同時能量局部特定吸收比(SAR, W/Kg)之最大值位於腦部脊髓液(CSF)處
3. 根據 Bernardi(1996) 的數學模擬結果，使用行動電話(900 MHz)手機之套管偶極天線
 - a. 在開放空間使用，距離頭部 5 公分發射，頭部會吸收約 15 % 之天線輻射功率；距離 7 公分則吸收功率約 10 %
 - b. 若距離頭頂 6 公分處有一與天線軸向垂直之水平導體面，實際天線輻射功率會降低約 7.6 %，頭部吸收功率降低約 4.7 %，同時因輻射能量波反射而使 SAR 分布較均勻，局部 SAR 最大值降低約 32.4 %
 - c. 若距離手機背面 3.5 公分處有一與天線軸向平行之垂直導體面，實際天線輻射功率會降低約 41.4 %，同時因輻射能量波反射而使頭部吸收功率增加約 86.5 %，局部 SAR 最大值增加約 70.6 %
4. 根據 Bernardi(1996) 的數學模擬結果，使用行動電話(900 MHz)手機之可伸縮環形天線，基本上，局部 SAR 最大值會比套管偶極天線高，在一些情況下，會超過 ANSI/IEEE C95.1 所規定的 1.6 W/Kg 限制值
 - a. 在開放空間使用，若當天線伸展時，距離頭部 1.5 公分發射，頭部會吸收約 36 %之天線輻射功率；距離 2.5 公分則吸收功率約 26 %；距離 5 公分則吸收功率約 13 %。若當天線縮回時，則實際天線輻射功率會降低約 10 ~18 %，距離頭部 1.5 公分發射，頭部會吸收約 35 %之實際天線輻射功率；距離 2.5 公分則吸收功率約 22 %；距離 5 公分則吸收功率約 12 %，但因 SAR 分布更不均勻而導致局部 SAR 最大值會更高
 - b. 若距離頭頂 4.5 公分處有一與天線軸向垂直之水平導體面，當天線伸展時，實際天線輻射功率會降低約 1.6 %，頭部吸收功率降低約 8.3 %，同時因輻射能量波反射而使 SAR 分布較均勻，局部 SAR 最大值降低約 28.7 %。當天線縮回時則無影響
 - c. 若距離手機背面 3.5 公分處有一與天線軸向平行之垂直導體面，當天線伸展時，實際天線輻射功率會降低約 6.2 %，頭部吸收功率增加約 68.0 %，同時因輻射能量波反射而使 SAR 分布更不均勻，局部 SAR 最大值增加約 112.7 %。當天線縮回時，則實際天線輻射功率會降低約 35.0 %，頭部

吸收功率增加約 68.0 %，同時因輻射能量波反射而使 SAR 分布更不均勻，局部 SAR 最大值增加約 112.7 %

5. 建議使用行動電話手機時，應不要將天線緊靠頭部而至少距離 5 公分以上，儘量長話短說，尤其在信號接受情況不良之區域
6. 建議使用行動電話手機時，應儘量遠離有大平面導電性牆壁或隔板
7. 建議行動電話不要置放於靠近心臟部位的衣服口袋上
8. 建議行動電話不要置放於家裡窒息監視器(Apnea monitor)、電子血壓計或維持生命用醫電設備之上面或旁邊
9. 行動電話可能會對已植入於病患體內之心臟節律器(Pacemaker)或電擊器(ICD)有暫時性且可逆性之電磁干擾，但遠離時，干擾現象即消失且不會影響儀器功能。因此，建議攜帶或使用行動電話時，應至少遠離心臟節律器或電擊器 15 公分(6 英吋)以上的距離
- 10.助聽器或人工電子耳的功能會受行動電話所干擾，應遠離之

第四章 靜電干擾與管制策略

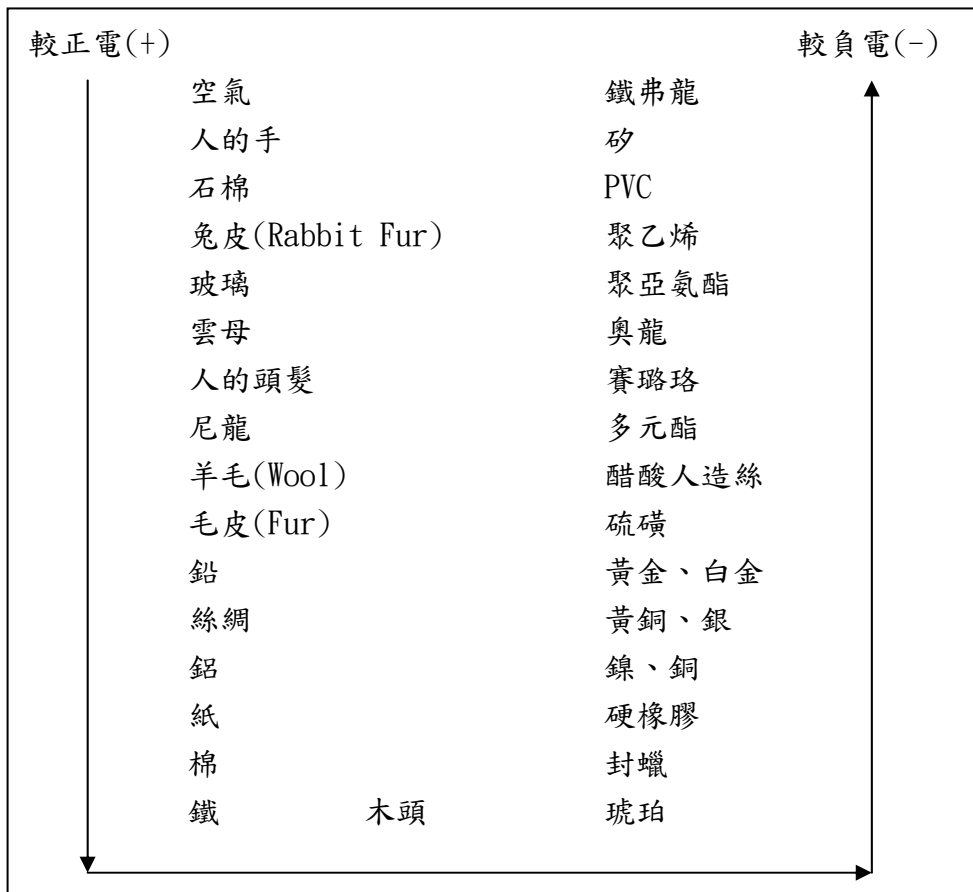
二十四、靜電干擾之定義

指靜電電荷累積在非導體(或絕緣體)或隔離導體表面上、當達到一特定電壓值，會形成空間火花放電，或當人體或其他導體以接近、接觸、脫離方式形成單次或連續脈波之大放電電流或高感應磁場之障礙；或在非導體與絕緣體之內部形成強靜電場而導致性能劣化或完全毀壞之障礙。

二十五、靜電電荷之形成原因

1. 二種物體(絕緣體或隔離導體)之磨擦
2. 二種物體(絕緣體或隔離導體)之分離
3. 物體(絕緣體或隔離導體)之受壓
4. 隔離導體之受高電場、高磁場、高電磁場之感應

二十六、物質磨擦生電系列(Triboelectric Series)之極性等級



二十七、靜電電荷之累積量決定因素

1. 二種物質在磨擦生電系列(Triboelectric Series)之相對位置
2. 二種物質間之密著性、磨擦系數
3. 物質之受力大小
4. 兩種物質之分離速率
5. 物質之導電率及其表面之水汽量

6. 兩種物質之複合或接近速率
7. 相對濕度(影響靜電電荷之電壓位準之主要因素)

二十八、靜電電荷之影響結果

1. 導致產品低生產力及品質缺陷
2. 產生雜訊、波形假象(Artifact)或失真(Distortion) 、數據變動、誤動作
3. 靜電放電引起火災或爆炸
4. 因Electrostatic OverStress(EOS)所感應之強靜電場,或因ElectroStatic Discharge(ESD)所感應之大放電電流或電磁場,導致電子元件損壞或減少使用壽命
5. 導演人體大電擊(Macroshock)而有刺激感

二十九、高靜電放電(ESD)敏感性電子元件之最小 ESD 耐受電壓值

電 子 元 件 型 式	最小 ESD 電壓耐受值(伏特, V)
VMOS	30
MOSFET	100
GaAsFET	100
EPROM	100
JET	140
SAW	150
Op-amp	190
CMOS	250
Schottky Diodes	300
Film Resistors(Thick, Thin)	300
Bipolar Transistors	380
ECL(PC Board Level)	500
SCR	680
Schotky TTL	1,000

三十、動作行為在相對濕度 10%、40%、55%狀況下產生靜電電壓估計值

動 作 行 為	相 對 濕 度		
	10 %	40 %	50 %
在地毯上走動	35,000 V	15,000 V	7,500 V
在塑膠地磚上走動	12,000 V	5,000 V	3,000 V
工作台操作員	6,000 V	800 V	400 V
由塑膠管移開雙排裝 IC	2,000 V	700 V	400 V
由塑膠袋移開雙排裝 IC	11,500 V	4,000 V	2,000 V
由海綿體移開雙排裝 IC	14,500 V	5,000 V	3,500 V
移開印刷電路板(PWB) 上的海綿包封	26,000 V	20,000 V	7,000 V
將 PWB 包裝內襯海綿箱	21,000 V	11,000 V	5,500 V

三十一、檢測靜電電荷存在之方法

1. 走近或接觸操作中設備，是否有頭痛豎起或電擊現象

2. 快速跑步，機器是否會霹靂啪啪地響
3. 電子控制系統是否會常發生重置(Reset)動作
4. 使用 Electrostatic Meters 或 Probes 或 Ionizer Testers 檢測物體上靜電電荷所產生之電場，以準確指示靜電電荷之電量、極性與所在位置。

三十二、解決或消除靜電問題之方法

1. 使用腕環(Wrist Straps)或 Static Control Mat
2. 將設備接地，但僅對導體有效，且會殘留數百伏特(Volt)之靜電電荷，可再使用 Static Eliminator 中和此殘留靜電電荷
3. 對消除非導體或絕緣導體上之靜電電荷，最常用的方法是使用 Static Eliminator 以游離空氣產生正/負離子雲，以中和之
 - a. Electron Corona(使用主動式高電壓或被動式感應方式產生)
可配合氣流驅動系統，以擴大有效消除區域或有助於清潔用
 - b. Nuclear Decay(使用放射性衰變)
適用於可引燃或會爆炸之環境
4. 使用 Anti-static Agent(Conductive Film)，以暫時緊急處理
5. 使用屏蔽材質(Shielding Materials)
6. 使用接地導電地板
7. 將相對濕度(55%~60%)、溫度(22°C~28°C)控制在最適當之工作環境
8. 儘量穿著毛料衣物，不要穿著人造纖維衣料

三十三、靜電放電耐受度標準規定

IEC 1000-4-2、EN 61000-4-2、CNS 13022-1 標準中規定設備靜電放電試驗之耐受度位準為

耐受度位準	接觸放電試驗電壓	空間放電試驗電壓
1	2 kV	2 kV
2	4 kV	4 kV
3	6 kV	8 kV
4	8 kV	15 kV
X	特定值	特定值

三十四、歐體(EN)電磁相容規範與 IEC 電磁相容規範

國際電工委員會(IEC)目前所制訂之電磁耐受試驗規範，已為歐洲共同體(CE)所採用，其如下表所示。

歐體(EN)規範	IEC 規範	試驗內容
EN61000-3-2	IEC1000-3-2	電源諧波(Harmonic)試驗
EN61000-3-3	IEC1000-3-3	電源電壓浮動及閃爍(Power Flicker)試驗
EN61000-4-2	IEC1000-4-2	靜電放電試驗(Electrostatic Discharge, ESD)
EN61000-4-3	IEC1000-4-3	射頻輻射耐受試驗(Radiated RF)
EN61000-4-4	IEC1000-4-4	電性快速脈衝試驗(Fast transient/burst , EFT)
EN61000-4-5	IEC1000-4-5	雷擊突波耐受試驗(Lighting surge)
EN61000-4-6	IEC1000-4-6	射頻傳導耐受試驗(Conducted RF)
EN61000-4-8	IEC1000-4-8	電源頻率(50/60Hz)磁場耐受試驗
EN61000-4-9	IEC1000-4-9	突波(Surge) 磁場耐受試驗
EN61000-4-10	IEC1000-4-10	衰減振盪(Damped oscillatory) 磁場耐受試驗
EN61000-4-11	IEC1000-4-11	電源電壓瞬降及瞬斷耐受試驗
EN61000-4-12	IEC1000-4-12	衰減振盪波耐受試驗
EN61000-4-13	IEC1000-4-13	交流電源輸入的低頻傳導性干擾耐受試驗
EN61000-4-14	IEC1000-4-14	電源電壓變動試驗
EN61000-4-16	IEC1000-4-16	DC~150KHz 連續傳導性干擾耐受試驗
EN61000-4-17	IEC1000-4-17	直流電源漣波(Ripple)試驗
EN61000-4-27	IEC1000-4-27	三相電源不平衡性耐受試驗
EN61000-4-28	IEC1000-4-28	電源頻率變動試驗

1. IEC 1000-3-2 電源諧波試驗

本試驗適用於接上共用低電壓系統，50/60 HZ、220/380 V、230/400 V

及 240/415 V，輸入電流每相 16 A(含)以下的電器及電子產品，其輸入電流所含之諧波值不得超過限制值。為限制諧波電流為目的，電器可分類為：

A 類：三相平衡電器，以及不屬於下列任何一類的電器。

B 類：攜帶型電器。

C 類：附有調光設備之照明用電器。

D 類：輸入電流為特殊波形且非電動機起動之電器。

2. IEC 1000-3-3 電源電壓浮動及閃爍試驗

本試驗適用於每相輸入電流 16 A (含)以下，50/60 HZ 對中性電壓為 220~250 V 之電器設備，其分為型式試驗(Type test)與特殊試驗(Particular test)。電壓浮動指電壓均方根(RMS)值之連續變動量。電壓閃爍指由於燈光的變動所引起的不穩定性視覺對時間的頻譜分佈。

3. IEC 1000-4-2 靜電放電(ESD)耐受試驗

本試驗的目的是模擬人體所帶靜電對電子產品的影響程度。對將設備的所有接觸面，經空氣放電試驗之電壓高至 15 KV，直接接觸試驗(含垂直及水平藕合)之電壓則達 8 KV。正(+)負(-)極性皆試驗，至少放電 10 次，放電間隔維持約 1sec。

4. IEC 1000-4-3 射頻輻射(RF)耐受試驗

本試驗的目的是經由天線輻射射頻電力環境下，待測設備(Equipment Under Test, EUT)耐受電磁輻射干擾的能力。輻射干擾頻率的範圍為 80 MHz~1000 MHz，試驗電場強度位準(Level)為 1 V/m、3 V/m、10 V/m。使用半電波無響室(Semi-Anechoic Chamber, SAC)來試驗。待測設備至天線的距離為 3 m。

5. IEC 1000-4-4 電性快速脈衝(EFT)耐受試驗

本試驗的目的是模擬電感性元件，如繼電器，開閉(on-off)切換時所

產生之脈衝狀雜訊對電子產品的影響程度。干擾頻率為 5KHz，試驗電壓位準為 0.25~4 kV，脈衝雜訊波形為 5/50 nsec。採用直接注入或電容性耦合線夾。正負極性皆須試驗。

6. IEC 1000-4-5 雷擊突波(Surge)耐受試驗

本試驗的目的是模擬電擊對電子產品的影響程度。試驗電壓位準為 0.5~4 kV，電壓波形為 1.2/50 μ sec，電波波形是 8/20 μ sec，通信線試驗的電壓波形是 18/700 μ sec。正負極性皆須試驗。

7. IEC 1000-4-6 射頻傳導耐受試驗

本試驗的目的是當有傳導性的射頻電力直接由電源線、信號線或接地線注入時，對電子產品的影響程度。試驗電壓位準為 1 V、3 V、10 V。頻率範圍為 150 KHz~80 MHz。採用耦合/去耦合電路。

8. IEC 1000-4-8 電源頻率磁場耐受試驗

本試驗的目的是模擬電流流經電線時，所產生電源頻率(50/60 Hz)磁場對電子產品影響程度。模擬試驗器必須可提供連續性電流 120 A 與暫態性電流 1,200 A，並經線圈產生所需磁場干擾源位準。試驗磁場強度位準為 1 A/m、3 A/m、10 A/m、30 A/m、及 40 A/m。試驗方向為前後，左右及上方。試驗環場磁場至少須低於試驗條件的 20 dB 以上。待測設備至感應線圈的距離約為待測設備直徑的三分之一。

9. IEC 1000-4-8 突波磁場耐受試驗

本試驗的目的是模擬雷突波電流流經建築物，金屬結構物時，所產生脈衝磁場對電子產品的影響程度。模擬試驗器感應線圈必須注入雷突波電流。對雷突波電流的需求是按照 IEC1000-4-5 的要求事項。試驗磁場強度位準是 100 A/m、300 A/m、1000 A/m。試驗方向為前後，左右及上方。試驗環場至少須低於試驗條件的 20 dB 以上。待測設備至感應線圈的距離至少為 0.2 m。

10. IEC 1000-4-10 衰減振盪磁場耐受試驗

本試驗的目的是模擬中高電壓電力系統或電壓產生器切換時，導致暫

態高突波電流而產生衰減振盪磁場對電子產品的影響程度。模擬試驗器感應線圈須注入突波電流。試驗磁場強度位準為 10 A/m、30 A/m、100 A/m。試驗方向為前後，左右及上方。試驗環境磁場至少須低於試驗條件的 20 dB 以上。待測設備至感應線圈的距離至少為 0.2 m。

11. IEC 1000-4-11 電源電壓瞬降及瞬斷耐受試驗

本試驗的目的是模擬電源電壓發生快速過低，瞬斷及緩慢連續變動時，對電子產品的影響程度。試驗電壓位準為額定電壓的 10 %、40 % 及 70 %。電壓變化的持續時間為 0.5 週、1 週、5 週、10 週、25 週及 50 週。

12. IEC 1000-4-12 衰減振盪波耐受試驗

本試驗的目的是模擬電源電壓衰減性 100 KHz，電壓由 250 V 至 4 KV 振盪時，對電子產品的影響程度。

13. IEC 1000-4-13 交流電源輸入的低頻傳導性干擾耐受試驗

本試驗的目的是模擬電源電壓發生低頻(100 Hz~2,400 KHz)，額定電壓之 1 %~10 %的傳導性干擾雜訊時，對電子產品的影響程度。

三十五、美國聯邦通訊委員會(FCC)規範

美國聯邦通訊委員會成立於 1934 年，負責規劃各類無線及有線之通訊業務，管制通訊器材的安全使用，其規定各類等級之儀器容許輻射能量位準值。FCC 有關雜訊干擾管控制的規定有：第 15 章規定有關無線通信元件部與第 18 章規定工業、科學及醫療用輻射性電器設備。

1. FCC 第 18 章規範

本規範是對直接使用射頻能(指無線電頻譜中 9 KHz~300 GHz 間之頻率所產生之電磁能)或轉換射頻能供工業，科學及醫療用之非通信用輻射性電器設備，包含工業或家庭用電熱設備，超音波設備及電器透熱醫療設備等三類產品進行檢驗管理。但輸出功能在 50 W 以下及頻率在 9 KHz 以下者，不在此限。工業、科學及醫療用電器設備許可使用之

作業頻率及作業頻帶範圍規定如下表所示：

操作頻率	作業頻帶範圍
6.78 MHz	± 15.0 KHz
13.56 MHz	± 7.0 KHz
27.12 MHz	± 143.0 KHz
40.68 MHz	± 20.0 KHz
915 MHz	± 13.0 MHz
5,0 MHz	± 50.0 MHz
5,800 MHz	± 75.0 MHz
24,125 MHz	± 125.0 MHz
61.25 GHz	± 250.0 MHz
122.50 GHz	± 500.0 MHz
245.00 GHz	± 1.0 GHz

2. 對於工業、科學及醫療用電器設備容許輻射位準範圍

- a. 使用上表之工業、科學及醫療用頻率之工業電熱設備者，其主波輻射量不加限制。但其頻帶外輻射電場強度，在距離設備 1.6 公里處測量時，不得超過每公尺十微伏($10 \mu\text{V/m}$)；若經申請核准使用如上表之工業、科學及醫療用頻率範圍以外之頻率者，其主波及混附輻射電場強度，距離設備 1.6 公里處測量時，均不得超過每公尺十微伏($10 \mu\text{V/m}$)。
- b. 使用工業、科學及醫療用頻率之電氣透熱醫療設備，其主波輻射量不加限制。但其頻帶外之輻射電場強度，在距離設備 300 公尺處測量時，不得超過每公尺二十五微伏($25 \mu\text{V/m}$)
- c. 工業、科學及醫療用電機使用市電者，其電源電路應裝置射頻濾波器以抑制電力線輻射。在距離設備 1.6 公里處以及距離電力線 15 公尺處，所測得之主波或混附輻射電場強度，均不得超過每公尺十

微伏($10\ \mu\text{V/m}$)。

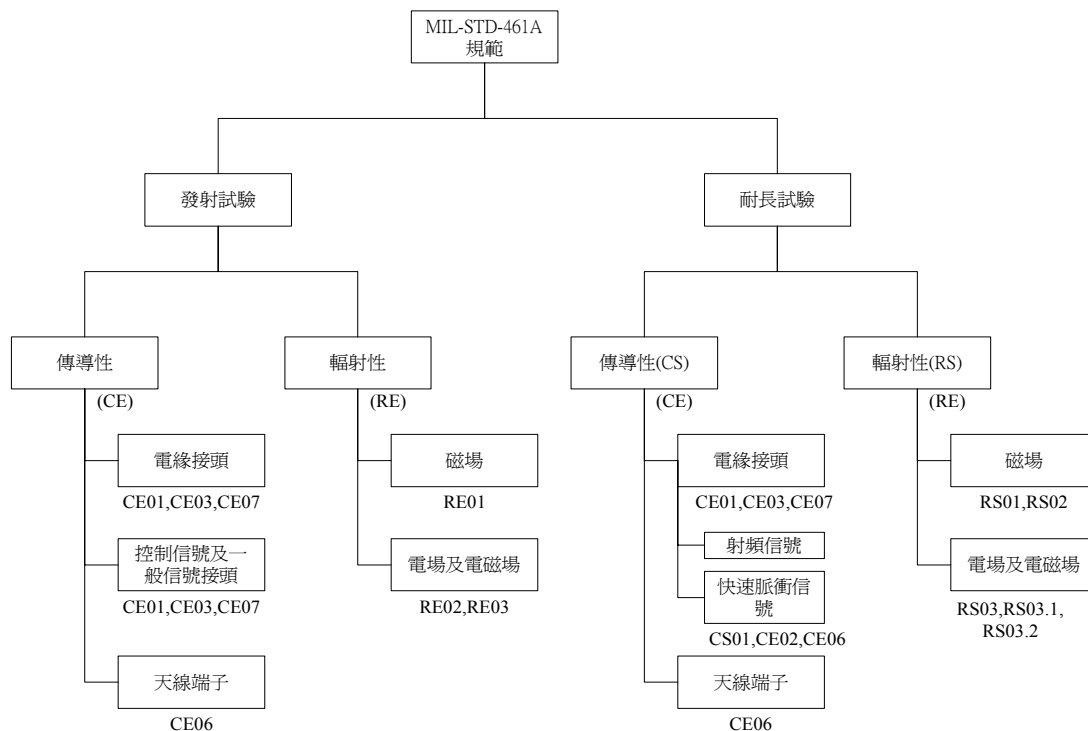
三十六、國際無線電波干擾委員會(CISPR)規範

CISPR 為國際電工協會(IEC)的基層組織，針對電子產品無線電干擾有關之干擾限制值與量測方法規定，其規範被調和作為歐洲共同體(EC)標準。

1. CISPR 11 規範工業、科學及醫療用射頻設備之電磁干擾特性的限制值與量測方法。
2. CISPR 13 規範廣播設備及電視機之電磁干擾特性的限制值與量測方法。
3. CISPR 14 規範家電用品之電磁干擾特性的限制值與量測方法。
4. CISPR 15 規範電子螢光燈及照明用具之電磁干擾特性的限制值與量測方法。
5. CISPR 16 規範電磁干擾測量方法。
6. CISPR 22 規範資訊技術設備而不用(ITE：電腦設備、資料處理設備)之電磁干擾特性的限制值與量測方法。

三十七、美國軍用規格(MIL-STD)

1. MIL-STD-461A 規定有關 30 Hz~10 GHz 頻率間之電磁輻射干擾限制，測試項目包含發射試驗及耐受性試驗，如下表所示
2. MIL-STD-462 規定有關測試電磁干擾之程序與方法



資料來源：”電磁干擾及控制”，林國榮著，全華科技圖書公司，1993

三十八、美國食品藥物管理局(FDA)作業準則

美國食品藥物管理局對醫療儀器上市前通知之評審準則，包含有一系列的電磁相容性能準則及試驗方法，其內容如下：

1. 輻射及傳導性發射試驗：依照 CISPR 11 規範
2. 磁場發射試驗：依照 MIL-STD-462D， RE101 規範
3. 靜電放電耐受試驗：依照 ICE 1000-4-2 規範
4. 輻射電場耐受試驗：干擾頻率範圍為 26 MHz~1 GHz，100 %方波調度，
試驗電場強度位準為 3 V/m
5. 穩態電壓變動：132 Vrms~95 Vrms
6. 電源電壓瞬斷時間：10 msec
7. 電源電壓慢速下凹及突起：150 Vrms 突起電壓時間為 500 ms，90 Vrms
下凹電壓時間為 500 ms
8. 電性快速暫態/叢訊：依照 ICE 1000-4-4 規範
9. 雷擊波耐受試驗：依照 ICE 1000-4-5 規範

10. 電磁傳導性干擾耐受試驗：依照 MIL-STD-462D，CS114 規範
11. 交流磁場耐受試驗：依照 MIL-STD-462D，RS101 規範
11. 準穩態電場耐受試驗：0.5 Hz 正弦波高電壓產生電場強度峰值 2000 V/m

三十九、中華民國國家標準(CNS)

中央標準局有關電磁相容標準制定項目如下：

1. CNS 13438 資訊技術設備(含影印機、傳真機，數據機、電腦資訊產品等)電磁干擾，其參考 CISPR 22 標準制定。
2. CNS 13439 廣播接收機與相關設備(含電視、錄放影機、收音機、音響等)之射頻干擾，其參考 CISPR 13 標準制定。
3. CNS 13783 家庭用電器產品(含冰箱、果汁機、電動工具等)電磁干擾，其參考 CISPR 14 標準制定。
4. CNS 13803 工業、科學及醫療射頻設備(含電子儀器、醫療儀器，工業控制器等)之電磁干擾特性的限制值與量測方法，其參考 CISPR 11 標準制定。
5. 基於國內電信法規定，分配給工業、科學及醫療用電器設備的作業頻率及作業頻帶範圍如下表所示：

作業頻率	作業頻帶範圍
13.56 MHz	±6.78 KHz
27.12 MHz	±160 KHz
40.68 MHz	±20 KHz
2450 MHz	±50 MHz
5800 MHz	±75 MHz
24.125 MHz	±125 MHz

6. NS 13804 微波爐之電磁干擾特性的限制值與量測方法，其參考 CISPR 19 標準制定。

7. CNS 草案 螢光燈及照明器具電磁干擾，其參考 CISPR 15 標準制定。
8. CNS 13305 射頻干擾量測方法
9. CNS 13306 射頻干擾量測儀器
10. CNS 13322 工業程序量測及控制設備之電磁相容性：第一部：總則，其參考 IEC 1000-4-1 標準制定。
11. CNS 13022-1 第二部：靜電放電需求，其參考 IEC 1000-4-2 標準制定。
12. CNS 13022-2 第四部：電的快速暫態/叢訊需求，其參考 IEC 1000-4-4 標準制定。
13. CNS 13022-3 第五部：突波耐受性需求，其參考 IEC 1000-4-5 標準制定。

第六章 國內外相關電磁標準之電磁輻射限制值規定

四十、CICPR 11 或 CNS 13803 標準

本標準之射頻干擾測量程序和限制值適用於 9 KHz~400 GHz 的頻率範圍。

第一組(Group 1)：工業科學醫療用設備指包含意圖產生和或使用傳導耦合射頻能量的設備，這些射頻能量是設備本身功能所必需的。

第二組(Group 2)：工業科學醫療用設備指包含意圖產生和或使用輻射射頻能量來處理材料和放電蝕刻的設備。

甲類(class A)：設備指是不適合居家使用及不直接連接到供應住家使用低電源網路之工業科學醫療用設備。

乙類(class B)：設備指是適用於居家使用及直接連接到供應住家使用低電源網路之工業科學醫療用設備。

甲類工業科學醫療用設備可在測試場地或實際使用場所(in situ)測量，但體積或操作複雜者必須於實際使用場所測量。

乙類工業科學醫療用設備必須在使用場所測試。

1. 端點傳導干擾電壓(Terminal disturbance voltage)之限制值

分別使用平均值(AVG)檢波器及準峰值(QP)檢波器之接收機測量，且分別符合平均值及準峰值之限制值。

進行傳導干擾測試時，必須在電源與量測接收機間接上 50 Ω /50 μ H 電源阻抗模擬網路器(LISN)。

端點傳導干擾電壓應在測試場地測量。表 1 與 2 分別為甲類與乙類設備在測試場地測量之電源端點干擾電壓限制值。

甲類設備限制值 dB(μ V)

頻帶 MHz	第一組		第二組	
	準峰值	平均值	準峰值	平均值
0.009~0.15	不規定	不規定	不規定	不規定
0.15~0.50	79	66	100	90
0.50~5.0	73	60	86	76
5~30	73	60	90~70 依頻率對數座 標線性遞減	80~60 依頻率對數座 標線性遞減
30 以上	無限制值	無限制值	無限制值	無限制值

表 1 甲類設備在測試場地測量之電源端點干擾電壓限制值

乙類設備限制值 dB(μ V)		
頻帶 MHz	第一組及第二組	
	準峰值	平均值
0.009~0.15	不規定	不規定
0.15~0.50	66~56 依頻率對數座標線性遞減	56~46 依頻率對數座標線性遞減
0.50~5.0	56	46
5~30	60	50
30 以上	無限制值	無限制值

表 2 乙類設備在測試場地測量之電源端點干擾電壓限制值

2. 電磁輻射干擾限制值

使用具有準峰值(QP)檢收器之接收機測量，30 MHz 以下之限制值參照電磁輻射之磁場成份，30 MHz~1 GHz 之限制值參照電磁輻干擾之電場強度成份，1G Hz 以上之限制值參照電磁輻射干擾之功率。

第一組設備、第二組甲類、第二組乙類設備之電磁輻射干擾限制值規定

分別如表 3、4、5 所示。

頻帶 MHz	在測試場地測量		在實際使用場所測量
	第一組甲類 30 m 測量距離 dB(μ V/m)	第一組乙類 10 m 測量距離 dB(μ V/m)	第一組甲類 30 m 測量距離(距離為設備所在建築物外牆 30m 的測量距離) dB(μ V/m)
0.009~0.15	未規定	未規定	未規定
0.15~30	—	—	—
30~230	30	30	30
230~1000	37	37	37

表 3 第一組設備電磁輻射干擾限制值

頻帶 MHz	30 m 測量距離限制值	
	在實際使用場所(距離為設備所在建築物外牆 30 m 的測量距離) dB(μ V/m)	在測試場地測量 dB(μ V/m)
0.009~0.15	未規定	未規定
0.15~0.49	75	85
0.49~1.705	65	75
1.705~2.194	70	80
2.194~3.95	65	75
3.95~20	50	60
20~30	40	50
30~47	48	58
47~68	30	40

68~80.872	43	53
80.872~81.848	58	68
81.848~87	43	53
87~134.786	40	50
134.786~136.414	50	60
136.414~156	40	50
156~174	54	64
174~188.7	30	40
188.7~190.979	40	50
190.979~230	30	40
230~400	40	50
400~470	43	53
470~1000	40	50

表 4 第二組甲類設備之電磁輻射干擾限制值

頻帶 MHz	乙類限制值 10 m 測量距離 dB(μ V/m)
0.0009~0.15	未規定
1.5~30	—
30~80.872	30
80.872~81.848	50
81.848~134.786	30
134.786~136.414	50
136.414~230	30
230~1000	37

表 5 第二組乙類設備在測試場地測量之電磁輻射干擾限制值

四十一、CISPR 22 或 CNS 13438(資訊設備)標準規定

1. 電源傳導干擾電壓限制值

使用具有平均值與準峰值檢波器之接收機測量，表 6 與表 7 分別為甲類設備與乙類設備在頻率範圍之電源傳導干擾電壓限制值。

頻率範圍 MHz	限制值 dB(μ V/m)	
	準峰值	平均值
0.15~0.50	79	66
0.50~30	73	60

表 6 甲類設備在頻率範圍 0.15 MHz~30 MHz 之電源傳導干擾電壓限制值

頻率範圍 MHz	限制值 dB(μ V/m)	
	準峰值	平均值
0.15~0.50	66~56 依頻率對數座標線性遞減	56~46 依頻率對數座標線性遞減
0.50~5.00	56	46
5.00~30.00	60	50

表 7 乙類設備在頻率範圍 0.15 MHz~30 MHz 之電源傳導干擾電壓限制值

2. 電磁輻射干擾之限制值

使用具有準峰值檢波器之接收機測量，表 8 與表 9 分別為甲類設備與乙類設備距離輻射源 10 公尺測量之干擾電場強度的限制值。

頻率範圍(MHz)	準峰限制值 dB(μ V/m)
30~230	40
230~1000	47

表 8 甲類設備在頻率範圍 30 MHz~1000 MHz，測試

距離在 10 公尺時之電磁輻射干擾電場強度的限制值。

頻率範圍(MHz)	準峰限制值 dB(μ V/m)
-----------	----------------------

30~230	30
230~1000	37

表 9 乙類設備在頻率範圍 30 MHz~1000 MHz，測試

距離在 10 公尺時之電磁輻射干擾電場強度的限制值。

四十二、CISPR 13 或 CNS 13439(廣播接收機與相關設備)標準規定

1. 電源傳導干擾電壓的限制值

使用具有準峰值與平均值檢波器之接收機測量，表 10 為電視機、收音機及相關設備之電源傳導干擾電壓的限制值。

頻率範圍 MHz	限制值 dB(μ V/m)	
	準峰值	平均值
0.009~0.15	未規定	未規定
0.15~0.50	66~56 依頻率對數座標線性遞減	56~46 依頻率對數座標線性遞減
0.50~5	56	46
5~30	60	50

表 10 廣播接收機與相關設備之電源傳導干擾電壓的限制值。

四十三、CISPR14 或 CNS 13783(家用電器產品)標準規定

1. 頻率範圍 150 KHz~30 MHz 的端點干擾電壓限制值

使用具有平均值與準峰值檢波器之接收機測量，表 11 為家庭用電器產品和產生類似干擾設備及應用半導體調節控制之端點干擾電壓的限制值。

頻率範圍	電源端點	負載端點和外加端點
------	------	-----------

(MHz)	準峰值 dB(μ V)	平均值 dB(μ V)	準峰值 dB(μ V)	平均值 dB(μ V)
0.15~0.5	66~56	59~46	80	70
	依頻率對數座標線性遞減			
0.5~5	56	46	74	64
5~30	60	50	74	64

表 11 家庭用電器產品端點干擾電壓的限制值。

2. 電動工具電源端點干擾電壓的限制值

使用具有平均值與準峰值檢波器之接收機測量，表 12 電動工具電源端點干擾電壓的限制值

頻率範圍 (MHz)	電動機額定功率不超過 700 W		電動機額定功率在 700 W 到 1000 W		電動機額定功率在 1000W 以上	
	準峰值 dB(μV)	平均值 dB(μV)	準峰值 dB(μV)	平均值 dB(μV)	準峰值 dB(μV)	平均值 dB(μV)
0.15~0.35	依頻率對數座標線性遞減					
	66~59	59~49	70~63	63~53	76~69	69~59
0.35~5	59	49	63	53	69	59
5~30	64	54	68	58	74	64

表 12 電動工具電源端點干擾電壓的限制值

3. 電磁輻射干擾之限制值

30 MHz~300 MHz 頻率範圍的電磁輻射干擾功率限制值，如表 13 所示。

	家用電器產品	電動工具
--	--------	------

頻率範圍 (MHz)			電動機額定功率 不超過 700 W		電動機額定功率 在 700 W~1000 W		電動機額定功率 在 1000 W 以上	
30~300	準峰值 dB(pW)	平均值 dB(pW)	準峰值 dB(pW)	平均值 dB(pW)	準峰值 dB(pW)	平均值 dB(pW)	準峰值 dB(pW)	平均值 dB(pW)
	隨頻率做線性遞增		隨頻率做線性遞增		隨頻率做線性遞增		隨頻率做線性遞增	
	45~55	35~45	45~55	35~45	49~59	39~49	55~65	45~55

表 13 30 MHz~300 MHz 頻率範圍的電磁輻射干擾功率限制值

四十四、分貝(dB)的定義

分貝用來表示訊號的衰減或增益程度，其是用對數描述，基本公式為

$$\text{dB}=10 \log_{10} \frac{\text{輸出功率}}{\text{輸入功率}}$$

或

$$\text{dB}=20 \log_{10} \frac{\text{輸出電壓}}{\text{輸入電壓}}$$

四十五、分貝毫伏(dBmV)的定義

為表示高頻或射頻訊號的位準強度，工程人員以跨在 50 Ω 阻抗之負載上，1mV 均方根(RMS)電壓所產生的功率為參考標準，亦即任何訊號強度皆可用 dBmV 來表示高出 1 mV/50 Ω 標準強度有多少，換言之

$$\text{電壓(dBmV)}=20 \log_{10} \left(\frac{\text{該點以毫伏計在50 } \Omega \text{ 阻抗上測得之電壓}}{\text{標準強度(1mV)}} \right)$$

$$=20 \log_{10} (\text{在 } 50 \Omega \text{ 阻抗上的電壓，單位為 mV})$$

我們亦可用 dB μ V(高出 1 微伏之 dB 數)，dBV(高出 1 伏特之 dB 數)，dB μ A(高出 1 微安之 dB 數)，dBA(高出 1 安培之 dB 數)，dBm(高出 1 毫瓦之 dB 數)，dBpW(高出 1 微微瓦之 dB 數)等單位表示信號位準強度，其間的關係互換如下：

$$\begin{aligned} \text{dBmV} &= 20 \log_{10} \text{mV} \\ &= -60 + \text{dB } \mu \text{V} \\ &= -60 + \text{dB } \mu \text{A} + 20 \log_{10} R_g \\ &= +60 + \text{dBA} + 20 \log_{10} R_g \\ &= +47 - 10 \log_{10} R_g \left(\frac{50}{R_g} \right) + \text{dBm} \\ &= -13 - 10 \log_{10} R_g \left(\frac{50}{R_g} \right) + \text{dBpW} \end{aligned}$$

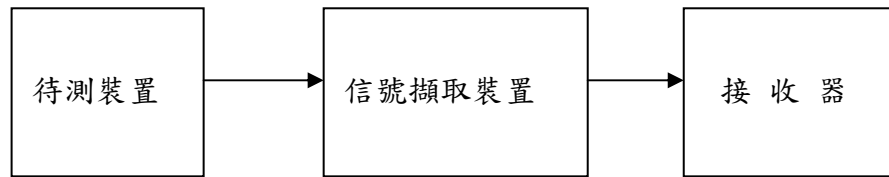
其中 R_g 為訊號源內阻，單位為 Ω

一般儀器之標準阻抗為 50 Ω ，則上式可簡化為

$$\text{dBmV} = 47 + \text{dBm}$$

$$=-13+ \text{ dB pW}$$

四十六、電磁干擾測試環境之設置與要求



1. 量測天線之型式(僅供參考，頻率範圍會變動)

天 線 型 式	可 量 測 頻 率 範 圍
Parabolic	1 GHz ~ 10 GHz
Manual vertical	9 kHz ~ 30 MHz
Magnetic field probes	9 kHz ~ 230 MHz
Electro-static probes	9 kHz ~ 1 GHz
Collapsible bi-cone	30 MHz ~ 200 MHz
Loop	100 kHz ~ 30 MHz
Double ridged guide	1 GHz ~ 18 GHz
Log periodic	200 MHz ~ 1 GHz
Broadband dipole	20 MHz ~ 220 MHz
Conical log spiral	200 MHz ~ 1 GHz

- 測試環境之特性應明確規範與瞭解，確保量測值為有意義、準確性與可重複性
- 測試場地有開放測試環境(Open Area Test Site, OATS)、隔離室(Sielded Room)、半電波無響室(Semi-Anechoic Chamber, SAC)、稀赫橫向電磁室(Giga-Hertz TEM Cell, GTEM)
- 選取適當型式之天線或或電流式探頭(Current Probe)或電源阻抗模擬網路器(Line Impedance Stabilization Network, LISN)之信號擷取裝置，以適應干擾信號之頻率範圍
- 接收器(Receiver)須有足夠的頻寬(Bandwidths)與靈敏度(Sensitivity)來讀取弱小信號，且不會引起信號失真(Distortion)
- 適當的偵測模式(Detection Mode)與特性，以及操作條件
- EMI 接受器的特性須符合 CISPR Pub. 16-1
- 影響量測結果之可能原因
 - 量測場地之電磁環境
 - 儀器之操作方式(人員的量測經驗)
 - 量測設備之校正與維護
 - 氣候變化
 - 待測設備之穩定性(Stability)
 - 測試架構的異動，如天線距離...
 - 存在的量測不確定度(Uncertainty)

四十七、醫電設備在醫院現場(On-Site)位置測試無線電通訊設備電磁干擾之作業基準程序

1. 依據美國國家標準標準協會 ANSI/IEEE C63 EMC 委員會所制定之測試方法在較空曠區域放置無線電通訊手機、醫電儀器與電場強度量測設備予以量測
2. 將無線電通訊手機的發射天線距離醫電設備 2 公尺、1 公尺、0.5 公尺、0.1 公尺以最大發射功率輸出，利用電場強度量測設備量測醫電設備所遭受之電場強度值
3. 將受測醫電設備放置於非導電木桌上，予以開機。先將無線電通訊手機距離受測醫電設備 1 公尺以最大功率輸出，觀察有電磁干擾現象發生(例如警示聲音或信號波形 artifact 或數據變動等)，記錄干擾現象，再把手機往受測設備移遠直至設備干擾現象停止，記錄此距離值；若在 1 公尺處無電磁干擾現象發生，則將手機往受測設備移近至 0.5 公尺並如上述程序觀察記錄；若再無無電磁干擾現象發生，則將手機往受測儀器移近至 0.25 公尺並如上述程序觀察記錄；若再無無電磁干擾現象發生，則將手機更往受測設備移近直至有電磁干擾現象發生，記錄此干擾現象與距離值
4. 依所選定之各種無線電通訊手機與醫電設備，重複如步驟三之測試程序並整理之

四十八、職業工作人員暴露於電磁環境之量測作業程序

1. 對於操作頻率小於 300 MHz 之醫電設備，分別量測及記錄電場強度與磁場場度數據，而對於超過 300 MHz 以上者，僅需量測及記錄電場強度
2. 對每一種醫電設備之測量點選擇，應考量受暴露者操作醫電設備時所處之位置，以產生受暴露者局部最大特定吸收比(Specific Absorption Rate, SAR)之空間點為原則
3. 在測得受暴露者所能接受的最大功率密度後，將量測點以水平方向遠離，共選擇五個位置點，使用檢測儀器量測及記錄電場強度與磁場場度數據
4. 量測該房間位置之環境背景值，以供對照
5. 基本上，射頻(RF)的生物效應取決於生物體吸收能量的速率，其以 SAR(W/Kg)表示，但 SAR 通常無法由檢測儀器直接量測而得，而由 RF 的功率密度轉換得之

第八章 作業環境電磁暴露量測值

四十九、自然界直流或極低頻的電場及磁場值

自然界由於宇宙塵、太陽黑子、大氣電離層、雷電及地球本身磁極而在地球表面產生直流或極低頻的電場及磁場。

1. 地球表面的直流電場強度約為 100 V/m
2. 地球表面的直流磁通密度約為 400 mG~600 mG，平均值為 500 mG。
3. 暴風雨產生雷電時，在其正底下的地球表面之電場強度可達 50 kV/m 值。

五十、居家用電器產品之磁通密度量測值

一般家庭之磁通密度背景值(遠離家電產品)為 0.5 mG~4.0 mG，平均值約為 1.0 mG。大部份使用中家電產品會產生較高之局部性磁通密度值，如下表所示

單位：毫高斯(mG)

產品 \ 距離	3 公分	15 公分	30 公分	50 公分	120 公分
吹風機	60~20000	1~700	1~70	1~10	<1
電鬚刀	150~15000	4~600	1~100	1~10	<1
攪拌器		30~100	5~20	1~3	<1
開罐機		500~1500	40~300	3~30	1~4
電動咖啡壺		4~10	<1	<1	<1
洗碗機		10~100	6~30	2~7	<1
食物料理機		20~130	5~20	1~3	<1
剩菜處理器		60~100	8~20	1~3	<1
微波爐		100~300	1~200	1~30	1~20
果汁機		30~600	5~100	1~10	<1
電烤箱		4~20	1~5	<1	<1
電氣爐		20~200	1~30	1~9	1~6
電冰箱	5~17	1~40	1~20	1~10	1~10
烤麵包機		5~20	1~7	<1	<1
吊扇			1~50	1~6	<1
窗型冷氣機			1~20	1~6	1~4

收錄音機		1~3	<1	<1	<1
彩色電視機	25~500		1~20	1~8	1~4
黑白電視機			1~10	1~2	<1
乾衣機		2~10	1~30	<1	<1
洗衣機	8~500	4~100	1~30	1~6	<1
熨斗		6~20	1~3	<1	<1
手提式電熱器		5~150	1~40	1~8	<1
吸塵器	2000~8000	100~700	20~200	4~50	1~10
電池充電器		3~50	2~4	<1	<1
電鑽		100~200	20~40	3~6	<1
電鋸		50~1000	9~300	1~40	1~4
空氣清淨機		110~250	20~50	3~8	1~2
影印機		4~200	2~40	1~13	1~4
傳真機		4~9	1~2	<1	<1
螢光燈		20~100	1~30	1~8	1~4
電動削鉛筆機		20~300	8~90	5~30	1~30
電腦顯示螢幕		7~20	2~6	1~3	<1
檯燈	400~4000				

資料來源：EMF In Your Environment, EPA, 1992

五十一、高壓輸電線附近之電場強度與磁通密度量測值

- 距離高壓輸電線正下方 0 公尺、15 公尺(50 英尺)、30 公尺(100 英尺)、61 公尺(200 英尺)、91 公尺(300 英尺)，並離地面 1 公尺處量測電場強度(kV/m)與平均磁通密度(mG)。最大磁通密度約為平均磁通密度之 2 倍，期間約僅占全天之 1 %
 - 115 kV 高壓輸電線

	電場強度(V/m)	平均磁通密度(mG)
正下方 0 公尺	1000	29.7
距離 15 公尺	500	6.5

距離 30 公尺	70	1.7
距離 61 公尺	10	0.4
距離 91 公尺	3	0.2

b. 230 kV 高壓輸電線

	電場強度(V/m)	平均磁通密度(mG)
正下方 0 公尺	2000	57.5
距離 15 公尺	1500	19.5
距離 30 公尺	300	7.1
距離 61 公尺	50	1.8
距離 91 公尺	10	0.8

c. 500 kV 高壓輸電線

	電場強度(V/m)	平均磁通密度(mG)
正下方 0 公尺	7000	86.7
距離 15 公尺	3000	29.4
距離 30 公尺	1000	12.6
距離 61 公尺	300	3.2
距離 91 公尺	100	1.4

資料來源：Bonneville Power Administration, 1994

2. 高壓輸電線為三線水平配置，距離地面 15 公尺，每條線間隔 3 公尺，量測距離輸電線中心正下方之水平地面的電場強度(kV/m)與平均磁通密度(mG)，資料來源：Romold W. P., Table 1, 1998

a. 220 kV 及通電電流 600 安培(A)

	電場強度(V/m)	平均磁通密度(mG)
距離 10 公尺	1070	35.6
距離 20 公尺	574	19.2
距離 30 公尺	280	9.4
距離 40 公尺	140	4.6
距離 50 公尺	30.8	1.02
距離 100 公尺	10.8	0.36
距離 200 公尺	1.4	0.046
距離 300 公尺	0.412	0.014

b. 440 kV 及通電電流 1200 安培(A)

	電場強度(V/m)	平均磁通密度(mG)
距離 10 公尺	2140	71.2
距離 20 公尺	1148	38.4
距離 30 公尺	560	18.8
距離 40 公尺	280	9.2
距離 50 公尺	61.6	2.04
距離 100 公尺	21.6	0.72
距離 200 公尺	2.8	0.092
距離 300 公尺	0.824	0.028

五十二、電器設備輻射性電磁波雜訊頻譜

干擾源	頻 譜	電場強度數
-----	-----	-------

雙穩態(Bistable)電路	15 kHz~400 MHz	
諧波產生器	30 MHz~1000 MHz	
電熱器熱感開關 接觸電弧	30 kHz~300 kHz 20 MHz~200 MHz	
致動器(Actuator) 電動機 開關電弧 凸輪(Cam)	10 kHz~400 kHz 30 MHz~200 MHz 10 MHz~ 20 MHz	200 μ V/m/kHz
電動打字機(Teleprinter) 磁鐵心(Magnet Armature) 印字磁鐵(Print Magnet)	1.8 MHz~3.6 MHz 1.0 MHz~3.0 MHz	200 μ V/m/kHz
轉換開關(Transfer Switch) 線圈變位(Coil Decay) 接觸電弧	15 kHz~150 kHz 20 MHz~400 MHz	
直流電源 交換(Switching)電路	100 kHz~ 30 MHz	
設備外框 未經處理的附蓋	10 kHz~ 10 MHz	1000 μ V/m/kHz
螢光燈 電弧	100 kHz~ 3 MHz	
半導體多工器(Multiplexer) 固態開關	300 kHz~500 MHz	
電力操作機構 斷路器凸輪接點 電力開關設備	10 MHz~ 20 MHz 100 kHz~300 MHz	
電力控制機構 電力配線 截波器、電驛、雙穩態電路	50 kHz~ 4 MHz 10 kHz~200 MHz	
高頻外科用電刀裝置	400 kHz~ 5 MHz	
溫控接點	30 MHz~1000MHz	
馬達	10 MHz~400 MHz	
切換裝置的電弧	30 MHz~200 MHz	

資料來源：儀測技術雜誌 1997 年 第 2 期

五十三、電器設備導電性電磁波雜訊頻譜

干 擾 源	頻 譜	電場強度數
電熱器電路(週期性接觸)	50 kHz~ 25 MHz	
螢光燈	100 kHz~ 3 MHz 1 MHz 最高	20~300 μ V/kHz
水銀燈	100 kHz~ 1 MHz	8,000 μ V/kHz
電腦邏輯箱(Logic Box)	50 kHz~ 20 MHz	
指令程序器 (Command Programmer) 訊號線	100 kHz~ 25 MHz	

電源線	1 kHz～ 25 MHz	
多工器	1 MHz～ 10 MHz	
拉扣接續器 (latching Contactor)		
線圈脈波	1 MHz～ 25 MHz	
轉換開關(Transfer Switch)		
線圈變位(Coil Decay)	15 kHz～150 kHz	
週期性接觸	50 kHz～ 25 MHz	
變換開關(Transfer Switch)	100 kHz～ 25 MHz	
電源交換(Switching)電路	500 kHz～ 25 MHz	
電力控制器(Power Controller)	2 kHz～ 15 kHz	
電力轉換控制器 (Power Transfer Controller)		
經常雜訊	10 MHz～ 25 MHz	
暫態	50 kHz～ 25 MHz	
電磁鐵心	2 MHz～ 4 MHz	20,000 μ V/kHz
固態開關	300 kHz～500 kHz	暫態尖波 250 V
斷路器凸輪接續	10 MHz～ 20 MHz	
電暈放電	100 kHz～ 10 MHz	10 μ V/kHz
真空吸塵器材	100 kHz～ 1 MHz	3,000 μ V/kHz

資料來源：儀測技術雜誌 1997 年 第 2 期

五十四、醫院醫療作業區域之電場強度量測值

使用至少能量測 500 kHz～1.5 MHz 頻率範圍之電場強度感應探頭
(Probe)，距離地面 1～ 2 公尺處量測之電場強度峰值

醫療作業區域	電場強度峰值(Peak)	量 測 點
護理單位	< 0.5～ 2.0 V/m	護理站
ICU/CCU	0.5～ 2.0 V/m	離監視器約 0.91 公尺(3 英呎)
放射治療室	0.5～ 3.0 V/m	離監視器約 0.91 公尺(3 英呎)
心導管室	1.0～ 5.0 V/m	離顯示螢幕約 0.91 公尺(3 英呎)
急診室	5.0～10.0 V/m	離救護車緊急通信設備 0.91～3.0 公尺(3～10 英呎)
麻醉室	高達 15.0 V/m	電刀裝置使用時在電動床頭處
手術室	超過 30.0 V/m	離電刀裝置約 0.91 公尺(3 英呎)

資料來源：American Society of Hospital Engineering of the
American Hospital Association, 1995

第九章 電磁場人體暴露量限制值規定與基準

五十五、可提供人體生物效應因果關係之電磁場參數指標

1. 電磁場頻率
2. 功率密度(mW/cm^2)
3. 組織特定吸收比(W/Kg)
4. 電場強度最大值(E_{max} , V/m)
5. 電場強度時間微分之最大值($\text{der}E_{\text{max}}$, $\text{V}/\text{m}/\text{sec}$)
6. 一天暴露電場強度之總劑量平均值或最大值(DexpED , Vh/m)
7. 一生暴露電場強度之總劑量平均值或最大值(LexpED , Vh/m)
8. 磁場強度最大值(H_{max} , A/m)
9. 磁場強度時間微分之最大值($\text{der}H_{\text{max}}$, $\text{A}/\text{m}/\text{sec}$)
10. 一天暴露磁場強度之總劑量平均值或最大值(DexpHD , Ah/m)
11. 一生暴露磁場強度之總劑量平均值或最大值(LexpHD , Ah/m)

五十六、人體組織在 900 MHz 之電性參數值

1. Bernardi(1996) 論文

頭部組織	導電係數(σ , S/m)	相對介電係數(ϵ_r)	密度(ρ , g/cm^3)
皮膚	0.82	43.7	1.00
脂肪	0.11	6.2	1.00
肌肉	1.38	53.5	1.05
骨骼	0.10	7.3	1.20
肌腱	0.10	7.3	1.03
軟骨	0.10	7.3	1.00
血液	1.32	63.3	1.00
脊髓液	1.67	62.5	1.02
灰質	0.67	47.4	1.05
白質	0.48	39.4	1.00
體液	1.90	70.0	1.00
水晶體	0.75	45.0	1.05

2. Kang(1997) 論文

頭部組織	導電係數(σ , S/m)	相對介電係數(ϵ_r)
皮膚	0.65	40.7
脂肪	0.17	10.0
骨骼	0.33	20.9
硬腦膜	0.65	40.7
脊髓液	2.14	79.1
灰質	0.67	47.4
腦	0.86	41.1

物質相對介電係數(ϵ_r)= ϵ / ϵ_0

ϵ_0 為空氣介電係數，其值為 $(1/36\pi) \times 10^{-9} \text{ Falad}/\text{m}$

五十七、電源頻率(50/60 Hz) 電場與磁場之人體暴露量限制值基準

以下限制值基準並非以生物效應考量而以工程技術配合而制定

1. 磁場限制值

協會或國家	磁通密度限制值(高斯, G), 均方根值		
國際輻射保護協會 (IRPA/INIRC/WHO)	職業人員		一般人員
	全天	5	1
	2小時以內	50	10
	四肢	250	---
日本	連續暴露	50	2
	短時間暴露	100	10
蘇聯	8小時	18	---
	1小時	75	---
英國國家輻射保護局 (NRPB)	20		20
美國政府工衛學者協會 (ACGIH)	10		---
德國	50		50
澳洲	同 IRPA		同 IRPA

資料來源：電機技師 第 63 期

2. 電場限制值

協會或國家	電場強度限制值(kV/m), 均方根值		
國際輻射保護協會 (IRPA/INIRC/WHO)	職業人員		一般人員
	全天	10	5
	數小時	30 ⁽¹⁾	10 ⁽²⁾

⁽¹⁾ 暴露期間(t) ≤ 80/E, E 是以 kV/m 為單位

⁽²⁾ 若僅數分鐘暴露, 則可超過 10 kV/m, 但須留心避免間接耦合效應

五十八、視訊顯示終端機(VDT)射頻電場與磁場之人體暴露量限制值基準

以下限制值基準並非以生物效應考量而以工程技術配合而制定

標準/規定	頻率範圍(kHz)	電場(V/m)均方根值	磁場(高斯, G) 均方根值
美國政府工衛學者協會 (ACGIH)	0 ~ 0.1	25,000	---
	0.1 ~ 4.0	2,500/f ⁽¹⁾	0.6/f ⁽¹⁾
	4.0 ~ 30.0	625	---
IEEE C95.1	3.0 ~ 100.0	614	2.05
瑞典 MPR 標準, 1990	0.005 ~ 2.0	25 ⁽²⁾	0.0025
	2.0 ~ 400.0	2.5 ⁽³⁾	0.00025
瑞典 TCO 規定	0.005 ~ 2.0	10 ⁽⁴⁾	
	2.0 ~ 400.0	1.0 ⁽⁵⁾	
英國(1986)職業人員	0.75 ~ 50.0	2,000	1.25
英國(1986)一般人員	0.75 ~ 50.0	800	0.05
蘇聯(1985)一般人員	0.03 ~ 0.3	25	---

註⁽¹⁾: f 以 kHz 表示

註⁽²⁾: 距離顯示螢幕正前方 50 公分量測

註⁽³⁾: 環繞視訊顯示終端機距離 50 公分量測

註⁽⁴⁾: 距離顯示螢幕正前方 30 公分量測

註⁽⁵⁾：環繞視訊顯示終端機距離 50 公分量測
與距離顯示螢幕正前方 30 公分量測

五十九、射頻電磁場(100 MHz~3000 MHz)功率密度之人體暴露量限制值基準
以下限制值基準僅考量射頻電磁場對人體之熱生效應(Thermal Effect)，
至於有關非熱生效應(Non-thermal Effect)之影響尚未考量

1. IEEE C95.1, 1991

頻 率 範 圍(MHz)	功 率 密 度 限 制 值(mW/cm ²)
100 ~ 300	0.2
300 ~ 3,000	f ⁽¹⁾ /1500

註⁽¹⁾：f 以 MHz 表示

2. International Commission on Non-Ionizing radiation Protection (ICNIRP), 1998，對一般人員之暴露量限制值基準

頻 率 範 圍(MHz)	功 率 密 度 限 制 值(mW/cm ²)
10 ~ 400	0.2
400 ~ 2,000	f ⁽¹⁾ /2000
2,000 ~ 300,000	1.0

註⁽¹⁾：f 以 MHz 表示

六十、射頻與微波電磁場特定能量吸收比(Specific Absorption Rate, SAR) 之人體暴露量限制值基準

特定能量吸收比(Specific Absorption Rate, SAR)之定義為單位生體組織質量所吸收之電磁場能量(W/Kg)，考量人體的熱生效應

1. ANSI/IEEE C95.1, 1991

在非控制環境下，對一立體形狀之 1 公克生體組織，SAR 峰值(Peak) 不得超過 1.6 W/Kg

2. ANSI/IEEE C95.1, 1991

對一低功率發射裝置，使用於非封閉(Free space)環境下，若其發射功率小於 0.7 W(900 MHz)，並距離人體 2.5 公分以上，則 SAR 峰值(Peak) 不會超過 1.6 W/Kg 以上

3. International No-ionizing Radiation Committee, 1988

對一 100 公克生體組織，SAR 峰值(Peak) 不得超過 1.0 W/Kg

4. International Commission on Non-Ionizing radiation Protection (ICNIRP), 1998

(1) 對職業工作人員全身暴露之 SAR⁽¹⁾ 值不得超過 0.4 W/Kg

(2) 對一般人員全身暴露之 SAR 值不得超過 0.08 W/Kg

(3) 對職業工作人員局部暴露(如頭部)之 SAR⁽²⁾ 值不得超過 10.0 W/Kg

(4) 對一般人員局部暴露(如頭部)之 SAR 值不得超過 2.0 W/Kg

註⁽¹⁾：對一高熱感性組織暴露於正常環境條件下之 SAR 超過 4W/Kg，則會導致不可逆性效應，故以其值之 1/10 作為暴露量限制值基準

註⁽²⁾：對一 10 公克生體組織暴露 6 分鐘期間之平均值

1. Isao Baba, Hiroshi Furuhashi et. al., "Experimental study of electromagnetic interference from cellular phones with electronic medical equipment", J. Clinical Eng., 122-134, 1998
2. Hohn Turcotte, and, Don Witters, "A practical technique for assessing electromagnetic interference in the clinical setting: Ad Hoc testing", Biomed. Instru. & Tech., 241-251, 1998
3. Kang W. K. and Yahya R. S., "Antennas and humans in personal communications: An Engineering approach to the interaction evaluation", Pro. 19th inter. Conf. IEEE/EMBS, 2488-2491, 1997
4. ECRI, "Electromagnetic interference and medical devices-An update on the use of cellular telephones and radio transmitters in healthcare facilities", Health Devices, vol. 25, 101-106, 1996
5. Paperman W. D. et. al., "Electromagnetic interference: Causes and concerns in the health care environment", Healthcare Fac. Manag. Series, Amer. Soci. for Healthcare Eng., Chicago, 1994
6. Robinson M. P. et. al., "Interference to medical equipment from mobile phones", J. Med. Eng. & Tech., vol. 21, 141-146, 1997
7. Paperman W. D., et. al., "Testing for EMC in the clinical environment", J. Cli. Eng., vol. 21, 207-210, 1996
8. Rice M. L., et. al., "Study of electromagnetic interference between portable cellular phones and medical equipment", in Proc. Canadian Med. & Biol. Eng. Conf., 330-331, 1993
9. VIFEKA, "Recommendations regarding the use of pocket telephone within health care institutions by VIFEKA", VIFEKA, Netherlands, Sept., 1995
10. International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, "health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters", Health Phys., vol. 70, 587-593, 1996
11. Rothman K. J., et. al., "Assessment of cellular telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research", Epidemiology, vol. 7, 291-298, 1996
12. International Commission on Non-ionizing Radiation Protection, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Phys. vol. 74, 494-522, 1998
13. Dan Modi, "IEC 601-1-2 and its impact on medical device manufactures", Pro. 20th inter. Conf. IEEE/EMBS, 2531-2534, 1998
14. Stephan P., et. al., "Reviewing the RF safety issue in cellular telephones", IEEE Eng. Med. & Biol. , vol. 15, 109-115, 1996
15. American National standards Institute(ANSI), "Recommended practice for the

measurement of potentially hazardous electromagnetic fields—RF and microwave”, ANSI C95.3, 1992

16. ANSI/IEEE, “IEEE standard for safety level with impact to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz”, IEEE C95.1, pp.15, Table 2, 「Maximum permissible exposure for uncontrolled environment」, 1991
17. International Non-ionizing Radiation Committee of the International Protection Association, “Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz”, Health Physics, vol. 54, 115-123, 1988
18. Bortkiewicz A., et. al., “Ambulatory ECG monitoring in workers exposed to electromagnetic fields”, J. Med. Eng. & Tech., vol. 21, 41-46, 1997
19. Ronold W. P., et. al., “Fields and currents in the organs of the human body when exposed to power lines and VLF transmitters”, IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 45, 520-530, 1998
20. Xi W. et. al., “Induced electric currents in models of man and rodents from 60 Hz magnetic fields”, IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 41, 1018-1022, 1994
21. Gandhi et. al., al., “Currents induced in the human body for exposure to ultrawideband electromagnetic pulses”, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol. 39, 174-180, 1997
22. Paolo B., at. al., “Evaluation of the SAR distribution in the human head for cellular phones used in a partially closed environment”, IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol. 38, 357-366, 1996
23. Cleveland R. F., et. al., “Specific absorption rate(SAR) in models of human head exposed to UHF portable radios”, Bioelectromag., vol. 10, 173-186, 1989
24. Balzano Q., et. al., “Electromagnetic energy exposure of the users of portable cellular telephones”, IEEE Trans. Veh. Techno., vol. 44, 390-402, 1995
25. Chen H. Y., et. al., “Current and SAR induced in a human head model by the electromagnetic field irradiated from cellular phone”, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 42, 2249-2254, 1994
26. Chuang H. R., “Human operator coupling effects on radiation characteristics of a portable communication dipole antenna”, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 42, 556-560, 1994
27. Balzano Q., et. al., “Electromagnetic energy exposure of simulated users of portable cellular telephone”, IEEE Trans. Veh. Tech., vol., 390-403, 1995
28. Jensen M. A., et. al., “Performance analysis of antennas for handheld transceiver using FDTD”, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 42, 11106-11113, 1994
29. Gandhi O. P., “Some numerical methods for dosimetry: Extremely low frequencies to microwave frequencies”, Radio Sci., vol. 30, 161-177, 1995
30. Gabriel C., “The dielectric properties of biological materials”, in B. J. Klauenberg,

M. Grandolfo and D. N. Erwin, Radiofrequency Radiation Standards, NATO ASI Series, 187-196, 1995

31. Gandhi O. P., et. al., "Specific absorption rate and induced current distributions in an anatomically based human model for plane-wave exposures", *Health Physics*, vol. 63, 281-290, 1992
32. Elwood J. M., "A critical review of epidemiologic studies of radiofrequency exposure and human cancers", *Environmental Health Perspectives*, vol. 107, Suppl. 1, 155-168, 1999
33. McCann J., et. al., "Cancer risk assessment of extremely low frequency electric and magnetic fields: A critical review of methodology", *Environmental Health Perspectives*, vol. 106, 701-717, 1998
34. Kheifets L. I., et. al., "Industrialization, electromagnetic fields, and breast cancer risk", *Environmental Health Perspectives*, vol. 107, Suppl. 1, 145-154, 1999
35. Snawder J. E., et. al., "Effect of magnetic field exposure on anchorage-independent growth of a promoter-sensitive mouse epidermal cell line(JB6)" , *Environmental Health Perspectives*, vol. 107, 195-198, 1999
36. Savitz D. A., "Overview of epidemiologic research on electric and magnetic fields and cancer", *J. Am. Ind. Hyg. Assoc.*, vol. 54, 197-204, 1993
37. Holmberg B., "Magnetic fields and cancer: animal and cellular evidence-an overview", *Environmental Health Perspectives*, vol. 103, Suppl. 2, 197-204, 1995
38. Cridland N. A., et. al., "Effects of 50 Hz magnetic field exposure on the rate of DNA synthesis by normal human fibroblasts", *Int. J. Radiat. Biol.*, vol. 69, 81-103, 1996
39. McCann J., et. al., "The effect of 60-Hz magnetic fields on co-promotion of chemically induced skin tumors on SENCAR mice: a discussion of three studies", , *Environmental Health Perspectives*, vol. 105, 94-96, 1997
40. West R. E., et. al., "Enhancement of anchorage-independent growth in JB6 cells exposed to 60 Hz magnetic fields", *Bioelectrochem. Bioenerg.*, vol. 34, 39-43, 1994
41. West R. W., et. al., "Anchorage-independent growth with JB6 cells exposed to magnetic fields at several flux densities", *Bioelectrochem. Bioenerg.*, vol. 39, 175-179, 1996
42. Saffer J. D., et. al., "Power frequency magnetic fields do not contribute to transformation of JB6 cells", *Carcinogenesis*, vol. 18, 1365-1370, 1997
43. Verkasalo P. K., et. al., "Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults:nationwide cohort study", *J. Br. Med.*, 11-15, 1996
44. Fenchting M., et. al., "Magnetic fields and breast cancer in Swedish adults resting near high-voltage power lines", *Epidemiol.*, vol. 9, 392-397, 1998

45. Erren T. C., et. al., "Epidemiologic studies of EMF and breast cancer risk: A biologically based overview. In: The Melatonin Hypothesis: Breast cancer and use of electric power)", Columbus, OH: Battelle Press, 701-735, 1997
46. Gammon M. D., et. al., "Electric blanket use and breast cancer risk among younger women", *Am. J. Epidemiol.*, vol. 147, 273-280, 1998
47. Coogan P. F., et. al., "Occupational exposure to 50-Hz magnetic fields and risk of breast cancer in women", *Epidemiology*, vol. 7, 459-454, 1996
48. Preston-Martin S., "Breast cancer and magnetic fields[Editorial]", *Epidemiology* vol. 7, 457-458, 1996
49. Loscher W., et. al., "Linear relationship between flux density and tumor co-promoting effect of prolonged magnetic field exposure in a breast cancer model", *Cancer Letter*, vol. 96, 1995
50. Kavet R., "EM and current cancer concepts", *Bioelectromagnetics*, vol. 17, 339-357, 1996
51. Foster K. R., et. al., "Weak electromagnetic fields and cancer in the context of risk assessment", *Proc. IEEE*, vol. 85, 733-746, 1997
52. Sasser L. B., et. al., "The toxic and carcinogenic potential of 50/60 Hz magnetic fields in rats: study design[abstract]. In: the annual review of research on biological effects of electric and magnetic fields from the generation, delivery and use of electricity", San Antonio, Tx, Frederick, MD:W/L Associates, 47-, 1996
53. NRC, "Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields", Washington, DC: National Research Council, National Academy of Sciences, 1996
54. Repacholi M. H., "Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs", *Bioelectromagnetics*, vol. 19, 1-19, 1998
55. Santini R., et. al., "B16 Melanoma development in black mice exposed to low-level microwave radiation", *Bioelectromagnetics*, vol. 9, 105-107, 1988
56. Dolk H., et. al., "Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain. 2: All high power transmitters", *am. J. Epidemiol.*, vol. 145, 10-17, 1997
57. McKenzie D. R., et. al., "Childhood incidence of acute lymphoblastic leukaemia and exposure to broadcast radiation in Sydney- a second look", *Aust NZ J. Public Health*, vol. 22, 360-367, 1998
58. Savita D., et. al., "Leukemia and occupational exposure to electromagnetic fields: review of epidemiologic surveys", *J. Occup. Med.*, vol. 29, 47-51, 1987
59. Savitz D. A., et. al., "Methodological issues in epidemiology of electromagnetic fields and cancer", *Epidemiol. Rev.*, vol. 11, 59-78, 1989
60. Lin R. S., "Risk of childhood leukemia in areas passed by high power lines", *Rev. Environ. Health*, vol. 10, 97-103, 1994
61. Li C. Y., et. al., "Residential exposure to 60 Hz magnetic fields and adult cancer in Taiwan", *Epidemiology*, vol. 8, 25-30, 1997

62. Frei M. R. et. al., "Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation", *Bioelectromagnetics*, 20-31, 1998
63. Theriault G, et. al., "Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric workers in Ontario and Quebec, Canada and France:1970-1989", *Am. J. Epidemiology*, vol. 139, 550-572, 1994
64. Theriault G, "Cancer risks due to exposure to electromagnetic fields", *Recent Results in Cancer Res.*, vol. 120, 166-180, 1990
65. Theriault et. al., "Risks of leukemia among residents close to high voltage transmission electric lines", *Occup. Environ. Med.*, vol. 4, 625-628, 1997
66. Sagan L. A., "Epidemiological and laboratory studies of power frequency electric and magnetic fields", *J. Am. Med. Assoc.*, vol. 268, 625-629, 1992
67. Silverman C., "Epidemiological studies of cancer and electromagnetic fields", in *Biological Effects and medical applications of Electromagnetic Energy*, Gandhi O. P., Ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-hall, ch. 17, 415-436, 1990
68. Fencyting M. and Ahlbom A., "Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high-voltage power lines", *Amer. J. epidemiol.*, vol. 138, 467-481, 1993
69. Tynes T., et. al., "Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines", *Am. J. Epidemiol.*, vol. 145, 219-226, 1997
70. Washburn E. P., et. al., "Residential proximity to electricity transmission and distribution equipment and risk of childhood leukemia, childhood lymphoma, and childhood nervous system tumor, and meta-analysis", *Cancer Causes Control*, vol. 5, 299-309, 1994
71. Levallois P., et. al., "Power frequency magnetic fields cause leukemia in children?", *Am. J. Prev. Med.*, vol. 11, 263-269, 1995
72. London S. J., et. al., "Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia", *Am. J. Epidemiol.*, vol. 134, 923-937, 1991
73. Li C. Y., et. al., "A validity analysis of residential magnetic fields estimated from high voltage transmission lines", *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.*, vol. 7, 493-504, 1997
74. Bennette Jr. W. R., "Cancer and power line", *Phys. Today*, vol. 47, 23-29, 1994
75. Toler J. C., et. al., "Long-term, low-level exposure of mice prone to mammary tumors to 435 MHz radiofrequency radiation", *Rad. Res.*, vol. 148, 227-234, 1997
76. Frei M. R., et. al., "Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation", *Bioelectromagnetics*, vol. 19, 20-31, 1998
77. Pool R., "Is there an EMF-cancer connection?", *Science*, vol. 249, 1096-1098, 1990
78. Lacy-Hulbert A., et. al., "Cancer risk and electromagnetic fields", *Nature*, vol. 375, 23-27, 1995
79. Taubes G., "EMF-cancer links: yes, no, and maybe", *Science*, vol. 262, 649, 1993
80. Chernoff N., et. al., "A review of the literature on potential reproductive and

- development toxicity of electric and magnetic fields”, toxicology, vol. 74, 91-126, 1992
81. Miller, A. B., et. al., “Leukemia following occupational exposure to 60 Hz electric and magnetic fields among Ontario utility workers”, Am. J. Epidemiology, vol. 144, 150-160, 1996
 82. Guenel P., et. al., “Exposure to 50 Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors and other cancers among French electric utility workers”, Am. J. Epidemiology, vol. 144, 1107-1121, 1996
 83. Toler J. c. et. al., “Long-term, low-level exposure of mice prone to mammary tumors to 435 MHz radiofrequency radiation”, Rad. Res. 227-234, 1997
 84. EPA, “Evaluation of the potential carcinogenicity of electromagnetic fields”, (review Draft), Environmental Protection Agency(EPA), 600/6-90/005B, 1990
 85. Goodman R., et. al., “Exposure of human cells to electromagnetic fields: Effect of time and field strength on transcript levels”, Electro-and-Magnetobiology, vol. 11, 19-28, 1992
 86. Phillips J. L., et. al., “Magnetic field-induced changes in specific gene transcription”, Biochemic. et Biophysica Acta, vol. 1132, 140-144, 1992
 87. Loeschinger M., et. al., “Alternations of intracellular calcium-oscillations and protooncogene expression in human fibroblasts exposed to ELF electromagnetic fields”, Abstract Book of the 17th Annual Meeting of BEMS, 204-207, 1995
 88. Liburdy R. P., “Experimental evidence for 60 Hz magnetic fields operating through the signal transduction cascade: effects on calcium influx and C-MYC mRNA induction”, FEBS Letter, vol. 334, 301-308, 1993
 89. Desjobert H., “Effects of 50 Hz magnetic fields on C-myc transcript levels in nonsynchronized and synchronized human cells”, Bioelectromagnetics, vol. 16, 277-283, 1995
 90. Saffer J. D., et. al., “Short exposure to 60 Hz magnetic fields do not alter MYC expression in HL-60 or daudi cells”, Radio Res., vol. 144, 18-25, 1995
 91. Li C. M., et. al., “Effects of ELF magnetic field at different intensities on gap junctional intercellular communication”, Abstract Book of the 18th annual Meeting, 151-154, 1996
 92. Rao S., et. al., “Regulation of c-fos is affected by electromagnetic fields”, J. Cell Biochem., vol. 63, 358-365, 1996
 93. Rao S., et. al., “Common cellular pathways used by electromagnetic fields” Abstract Book of the 18th annual Meeting, 208-209, 1996
 94. Wu R. W., et. al., “The effects of 50 Hz Magnetic fields and/or phorbol ester TPA on proto-oncogene expression”, 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3285-3287, 1998
 95. Zhang X. Y., et. al., “Influence of magnetic field on endorphin: Study of analgesia

- mechanism”, 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3324-3326, 1998
96. Lu S. T., et. al., “Retinal effects of high peak power L-band microwaves in monkeys”, 20th Annu. Meeting of the Bioelectromagnetics Soc., 1998
 97. National Research Council, “Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields”, Washington, Dc: National Academy, 1996
 98. Klauenberg B. J., et. al., “Radiofrequency radiation standard: Biological effects, dosimetry, epidemiology, and public health policy”, Plenum press, NY, 1995
 99. Tenforde T. S., in Handbook of Biological effects of Electromagnetic Fields, 2nd ed., C. Polk and E. Postow, Eds. Boca Raton, FL: CRC, ch. IV, 1995
 100. Gandhi, O. P., “Biological effects and medical applications of electromagnetic energy”, Prentice Hall Inc., 1990
 101. National Council on Radiation Protection and Measurement, “Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields”, NCRP report, no. 86, 1986
 102. Anderson L. E., et. al., “Biological effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: In vivo studies”, in Proc. Sci. Workshop on Health Effects of Electromagnetic Radiation on Workers, U. S. Dept. of Health and Human Services, Cincinnati, OH, publ. 91-111, 19-43, 1991
 103. Cleart S. F., “In vitro studies: low frequency electromagnetic fields”, in Proc. Sci. Workshop on Health and Human Services, Cincinnati, OH, publ. 91-111, 19-43, 1991
 104. Tenforde . S., “Biological interactions of extremely low-frequency magnetic fields”, Bioelectrochem. Bioenergetics, vol. 25, 1-15, 1991
 105. Blick D. W. et. al., “Thresholds of microwave evoked warmth sensations in human skin”, Bioelectromagnetics, 403-409, 1997
 106. Hong F. T., “Magnetic field effects on biomolecules, cells, and living organisms”, Biosystems, vol. 36, 187-229, 1995
 107. Blank M., “Biological effects of electromagnetic fields”, Bioelectrochem. Bioenerg., vol. 32, 203-210, 1993
 108. Blank M., “Electricity and magnetism in biology and medicine”, Book, an Francisco Press, 1993
 109. Sagan L., “Epidemiological and laboratory studies of power frequency electric and magnetic fields, J. Amer. Med. Assoc. 268, 625-629, 1992
 110. New York State Power Lines Project, “Biological effects of power line fields”, Albany, NY, 1987
 111. White D. J., et. al., “The EMF controversy & reducing exposure from magnetic fields: ELF magnetic field reduction from power lines utilities to home wiring”, Gainesville, VA: Interference Control techno., Inc., 1993
 112. Blank M., et. al., “Changes in polypeptide distribution stimulated by different

- levels of electromagnetic and thermal stress”, *Bioelectrochem. Bioenerg.*, vol. 33, 109-114, 1994
113. Cosic I., “Macromolecular bioactivity: Is it resonant interaction between macromolecules?-theory and applications”, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 41, 1101-1114, 1994
 114. Blank M., et. al., “The threshold for alternating current inhibition of the Na, K-ATPase”, *Bioelectromagnetics*, vol. 13, 329-333, 1992
 115. Blank M., et. al., “Effects of low frequency magnetic fields on Na, K-ATPase activity”, *Bioelectrochem. Bioenerg.*, 1995
 116. Lednev L. L., “Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems”, *Bioelectromagnetics*, vol. 12, 71-75, 1991
 117. Tenforde T. S., “Biological interactions of extremely low frequency electric and magnetic fields”, *Bioelectrochem. Bioenerg.*, vol. 30, 1-10, 1991
 118. Liburdy R. P., “Calcium signaling in lymphocytes and ELF fields”, *FEBS* vol. 301, 53-58, 1992
 119. Hart F. X., “Numerical and analytical methods to determine the current density distributions produced in human and rat models by electric and magnetic fields”, *Bioelectromagn.*, suppl. 1, 27-42, 1992
 120. Hart F., “Electric fields induced in a rat and human models by 60 Hz magnetic fields: comparison of calculated and measured values”, *Bioelectromagn.*, vol. 13, 313-316, 1992
 121. Liburdy R. F., “Cellular studies and interaction mechanisms of extremely low-frequency fields”, *Radio Sci.*, vol., 30, 179-203, 1995
 122. Adair R. K., “Constraints on biological effects of weak extremely-low-frequency electromagnetic fields”, *Phys. Rev. A*, vol. 43, 1039-1048, 1991
 123. King R. W. P. et. al., “The complete electromagnetic field of a three-phase transmission line over the earth and its interaction with the human body”, *J. appl. Phys.*, vol. 78, 668-683, 1995
 124. Tenforde T. S., et. al., “Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans”, *Health Phys.*, vol. 53, 585-606, 1987
 125. King R. W. P., “Currents and electric fields induced in the human body when the arms are raised”, *J. Appl. Phys.*, vol. 81, 7116-7128, 1997
 126. Bortkiewicz A., et. al., “Heart rate variability in workers exposed to medium frequency electromagnetic fields”, *J. Autonomic Nervous System*, vol. 59, 91-97, 1996
 127. Bortkiewicz ., et. al., “Dysregulation of autonomic control of cardiac function in workers at AM broadcasting stations(0.738—1.503 MHz)”, *Electro. & Magnetobiology*, vol. 14, 177-191, 1995
 128. U. S. congress, Office of Technology Assessment, “Biological effects of power frequency electric & magnetic fields-Background paper”, OTA-BP-E-53,

Washington DC, Government printing Office, May, 1989

129. WHO Environmental Health Criteria 137, "Electromagnetic fields(300 Hz to 300 GHz)", World Health Organization: Geneva, 168-178, 1993
130. Mauriello T., "EMI design requirements", Medical Electronics, vol. 26, 80-81, 1995
131. Food and Drug Administration(FDA), "Electromagnetic interference with powered wheelchairs: Warning notice", 1994
132. Follett, D. H., "Electromagnetic radiofrequency interference with Doppler equipment", Phy. Med. & Biol., vol. 36, 1443-1455, 1991
133. Railton R., et. al., "Malfunction of medical equipment as a result of mains borne interference", in 8th Intern. Conf. Electromag. Compatibility, London, 49-53, 1992
134. Nelson R., et. al., "Electric field strengths caused by electrosurgical units", in IEEE Intern. Symp. Electromag. Compatibility, Chicago, 366-370, 1994
135. Medical Devices Agency, "Portable, cordless and cellular telephones: Interference with medical devices", Safety Action Bulletin, Nov., 1994
136. Tan K., et. al., "Radiofrequency susceptibility tests on medical equipment", in IEEE Intern. Conf. IEEE Eng. in Med. & Biol. Soc., Baltimore, 998-999, 1994
137. Silberberg J. L., "What can/should we learn from reports of medical device electromagnetic interference?", in Electromag., Health Care and Health, Montreal, Canada, 1-10, 1995
138. Silberberg J. L., "Performance degradation of electronic medical device due to electromagnetic interference", Compliance Eng., vol. 10, 1-8, 1993
139. Vlach P, et. al., "The measured and predicted electromagnetic environment at urban hospitals", in IEEE Intern. Symp. Electromag. Compatibility, Atlanta, 4-7, 1995
140. Stuchly M. A., et. al., "Human organ and tissue induced currents by 60 Hz electric and magnetic fields", Pro. 19th inter. Conf. IEEE/EMBS, 2464-2467, 1997
141. Jensen M. A., et. al., "EM interaction of handset antennas and a human in personal communications", Proc. IEEE, vol. 83, 7-17, 1995
142. Skaropoulos N. C., et. al., "Induced Em field in a layered eccentric spheres model of the head: plane-wave and localized source exposure", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 44, 1963-1973, 1996
143. Grant F. ., et. al., "Interaction testing between wireless phones and implantable cardioverter defibrillators", 19th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Chicago, 2555-2557, 1997
144. CDRH proposed in-vitro implantable cardiac defibrillator(ICD) and pacemaker electromagnetic interference(EMI)—test protocol, Final draft, Rockville MD: FDA Center for Devices and Radiological Health, July 8, 1996
145. Stevenson R. A., "Design and application of broadband ceramic feedthrough capacitor EMI filters to cardiac pacemakers and implantable defibrillators", 19th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Chicago, 2558-2562, 1997

146. Arrillo R., et. al., "Preliminary observations on cellular phones and pacemakers, Mount Sinai Medical Center, PACE vol. 18, 863-868, 1995
147. Hayes D. L., "The clinical significance of electromagnetic interference in implanted pacemakers", Washington, DC., Wireless Tech. Res., L.C.C., August 28, 1995
148. Ruggera P. S., et. al.(FDA), "In vitro testing of pacemakers for RF interference from US type digital cellular phones", Paper presented at: NASPE Conf., May 15, 1996, Seattle, AAMI J. Biomed. Instru. & Tech.
149. Yunokuchi K., et. al., "Study on the distribution of induced electric field in an inhomogeneous medium exposed a pulsed magnetic field", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3294-3297, 1998
150. Hiwaki O., "Influence of 50 Hz magnetic fields on circadian rhythm of the suprachiasmatic nucleus activity", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3298-3299, 1998
151. Zhang Jie, et. al., "Bioeffect of time-varying magnetic field on sleep disorders, 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3300-3302, 1998
152. Evgeny B. L., et. al., "Effects of 45 Hz magnetic fields on the functional state of the human brain", Bioelectromagnetics, vol. 14, 87-95, 1993
153. Cook M. R., et. al., "Effects of 60 Hz fields on human cardiac activity: review and integration", in BEMS 12th Annual Meeting Abstracts, San Antonio, Bioelectromagnetics soc., June 10-14, 1990
154. Michael R. M., et. al., "Health and safety of radio frequency radiation: U.S. military research and exposure standards", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3242-3244, 1998
155. Durney C. H., et. al., "Radiofrequency radiation dosimetry handbook", 4th Ed., USAFSAM-TR-85-73, USAF School of aerospace Med., Aerospace Med. Div.(AFSC), Brooks AFS, TX 1986. Available as www.brooks.af.mil/AL/OE/OER/handbook/cover.htm
156. Adair E. R., et. al., "Thermophysiological responses of human volunteers during controlled whole-body radio frequency exposure at 450 MHz", Bioelectromagnetics, vol. 19, 232-245, 1998
157. Jauchem J. R., et. al., "Ultra-wideband electromagnetic pulses: Lack of effect on heart rate and blood pressure", Bioelectromagnetics, 1998
158. Sherry C. j., et. al., "Lack of behavioral effects in non-human primates following exposure to ultrawideband electromagnetic radiation in the microwave frequency range", rad. Res., vol. 143, 93-97, 1995
159. Hinrikus H., "The sensitivity of living tissue to microwave field", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3249-3252, 1998
160. Polk C., et. al., "Handbook of biological effects of electromagnetic fields", CRC Press, 1995

161. Michaelson S. M., "Biological effects of radiofrequency radiation", Health Physics, vol. 61, 3-14, 1991
162. Yost m G, "Occupational health effects of nonionizing radiation", Occup. Med. State of the art Rev., vol. 7, 543-566, 1992
163. Oak Ridge Associated University(ORAU), "Health effects of low-frequency electric and magnetic fields", prepared by an ORAU panel for the committee on Interagency Research and Policy Coordination
164. National Council on Radiation Protection and Measurement, "Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields", NCRP Report, no. 86, 1986
165. Weaver J. C., et. al., "The response of living cells to very weak electric fields: the thermal noise limit", Science, vol. 247, 459-462, 1990
166. Shimizu H. O., et. al., "Analysis of the human perception threshold of an ELF electric field", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3265-3268, 1998
167. Odagiri H., et. al., "Fundamental analysis on perception mechanism of ELF electric field", IEICE trans. Commun., vol. 77, 719-724, 1994
168. Shimizu K., et. al., "Fundamental study on measurement of ELF electric field at biological body surfaces", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 38, 779-784, 1989
169. Fluehr H., et. al., "Consideration of anatomical parameters at the perception of 50 Hz electric currents", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3269-3271, 1998
170. North M. O., et. al., "Effects of pulsed electromagnetic radiation emitted by video display terminals on human spermatogenesis", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3277-3280, 1998
171. Poljak D., et. al., "Currents induced in human body exposed to the power line electromagnetic field", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3281-3284, 1998
172. King R. W. P., et. al., "Electric fields and currents induced in organs of the human body when exposed to ELF and VLF electromagnetic fields", radio Sci., vol. 31, 1153-1167, 1996
173. Carole et. al., "In-vitro assessment of the effects of cellular phones on implantable cardioverter defibrillator(ICD) function", Pro. 20th inter. Conf. IEEE/EMBS, 3303-3308, 1998
174. Robert E. S. and Grant F. H., "Wireless phones and cardiac pacemakers: In vitro interaction study", Pro. 19th inter. Conf. IEEE/EMBS, 2251-2254, 1997
175. Bassen H., "Cellular phone interference testing of implantable cardiac defibrillators, in-vitro", Pace, August, 1997
176. Herkert R. M., et. al., "E3 testing of implantable medical devices—Past and present", 19th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Chicago, 2547-2550, 1997

177. Hayes D., et. al., "Interference with cardiac pacemakers by cellular telephones", The New England J. Med., vol. 336, 1473-1479, 1997
178. Ruggera P., et. al., "In vitro testing of pacemakers for digital cellular phone electromagnetic interference", Med. Instrum. & Tech., July/August, 1997
179. CENELEC:EN 50 061:1998/A1:1995, Subclause 6.3.3.2, "Safety of implantable cardiac pacemakers; protection against electrical magnetic interference", Central Secretariat; rue de Stassart 35, B-1650, Brussels, Belgium
180. Grant L. J., "Cardiac pacemakers and electromagnetic interference", in IE Colloquism on EMC and Medicine, London, 9/1-9/3, 1994
181. Zhong J., et. al., "SAR calculation of electromagnetic pulse to a spherical head", 20th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Hong Kong, 3315-3318, 1998
182. William S. B., et. al., "Measurement of electromagnetic field strengths in urban and suburban hospital operating rooms", 19th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Chicago, 2539-2540, 1997
183. Don D., et. al., "Hospital emergency room electromagnetic environment", 9th Intern. Conf. IEEE/EMBS, Chicago, 2543-2546, 1997
184. Witters D. J., "Medical devices and EMI: The FDA perspective", ITEM Update, 22-32, 1995
185. Kole W., "Preliminary broad-band survey of electric fields in hospitals", Proc. Health Canada Med. Device Mureau Round-Table Discussion on Electrom. Compatibility, 39-41, 1994
186. Valch P., "The electromagnetic environment due to portable sources in a typical hospital room", Proc. IEEE Eng. Med. & Biol. Soc., 1995
187. Valch P., et. al., "The measured & predicted electromagnetic environment at urban hospitals", Proc. IEEE Intern. Symp. On Electromag. Compatibility, Atlanta, 4-7, 1995
188. Takemoto R. M., et. al., "Electromagnetic fields induced in a person due to devices radiating in the 10 Hz to 100 kHz range", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 30, 529-537, 1988
189. Chatterjee Indira. et. al., "Human body impedance and threshold currents for perception and pain for contact hazard analysis in the VLF-MF band", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 33, 486-494, 1986
190. Lepelaars E. S. A. M., "Electromagnetic pulse distortion in living tissue", Med. & Biol. Eng. & Comput., 213-219, 1996
191. Foster K. R., et. al., "Dielectric properties of tissue and biological materials: a critical review", Crit. Rev. Biomed. Eng., vol. 17, 25-104, 1989
192. Kyber J., et. al., "Dielectric properties of biological tissue at low temperatures demonstrated on fatty tissue", Phys. Med. Biol., vol. 37, 1675-1688, 1992
193. Fisher P. D., "Microwave exposure levels encountered by police traffic radar

- operators", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 35, 36-45, 1993
194. Reilly J. P., "Magnetic field excitation of peripheral nerves and the heart: a comparison of thresholds", Med. & Biol. Eng. & Comput., 571-579, 1991
 195. Reilly J. P., "Peripheral nerve stimulation by induced electric currents: exposure to time-varying magnetic fields", Med. & Biol. Eng. & Comput., 101-110, 1989
 196. Andoh T. et. al., "Arrhythmias induced by pulsed magnetic fields", MBEC Electrocardiography, Myocardial contraction and Blood Flow supplement, S16-S18, 1994
 197. Kuster N., "Multiple multipole method for stimulating EM problems involving biological bodies", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 40, 611-619, 1993
 198. Lattarulo F, "An improved model of a cell in the study of ELF electric-field interaction with living beings", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 29, 36-45, 19987
 199. Balzano Q., et. al., "Measurement of equivalent power density and F energy deposition in the immediate vicinity of a 24-GHz traffic radar antenna", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 37, 183-191, 1995
 200. Reilly J. P., et. al., "Human sensitivity of electric shock induced by power-frequency electric fields", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 29, 221-232, 1987
 201. Louis R. D., et. al., "Electric and magnetic field coupling from high voltage AC power transmission lines-classification of short-term effects on people", IEEE Trans. Power Apparatus & systems, vol. PAS-97, 2243-2252, 1978
 202. Hasselgren L., et. al., "Geometrical aspects of magnetic shielding at extremely low frequencies, IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 37, 409-420, 1995
 203. Hasselgren L., et. al., "Calculations of magnetic shielding of a substation at power frequency using FEM", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 9, 1398-1405, 1994
 204. Gardner C. L., et. al., "The penetration of Em waves through loaded apertures", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 37, 358-366, 1995
 205. Baker G., et. al., "Potential for a unified topological approach to electromagnetic effects protection", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 34, 267-274, 1992
 206. Graf w., et. al., "Shielding effectiveness and electromagnetic protection", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 30, 289-295, 1988
 207. Vance E. F., et. al., "The role of shielding in interference control", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 30, 294-297, 1988
 208. Okada Y. C., et. al., "Ferromagnetic high-permeability alloy alone can provide sufficient low-frequency and eddy-current shieldings for biomagnetic measurements", IEEE trans. Biomed. Eng., vol. 41, 688-697, 1994
 209. Tayer C. D., et. al., "Effects from high power microwave illumination", J.

Microwave, 80-86, 1992

210. Sugiura A., et .al., "Correction factors for normalized site attenuation", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 34, 461-470, 1992
211. Dajani H. R., et. al., "Binaural hearing in the presence of a low frequency magnetic field", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 41, 12-16, 1994
212. Miller G., "Exposure guidelines for magnetic fields", am. Ind. Hyg., Assoc. J., vol. 48, 957-968, 1987
213. Randa j., et. al., "Catalogue of electromagnetic environment measurement, 30-300 Hz", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 37, 26-33, 1995
214. Smith A. F., et. al., "The natural background levels of 50/60 Hz radio noise", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 34, 330-337, 1992
215. Vinh T., et. al., "Magnetic fields near overhead distribution lines-measurements and estimating technique", IEEE Trans. Power Del., vol. 6, 912-921, 1991
216. Dlugosz L., et. al., "Ambient 60-Hz magnetic flux density in an urban neighborhood", Bioelectromagn., vol. 10, 187-196, 1989
217. Wilson . F., et .al., "Fields radiated by electrostatic discharges", IEEE Trans. Biomed. Eng., 10-18, 1991
218. EPRI, "Pilot study of residual power frequency magnetic fields", Rep. EL-6509, RP2942 Final Rep., Sept. 1989
219. EPRI, "Residual magnetic fields sources: interim report", EPRI Rep. TR100194, Oct., 1992
220. Gauger J., "Household appliance magnetic field survey", IEEE Trans. Power App.Syst., vol. PAS-104, 2436-2444, 1985
221. Tenforde T., et. al., "Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans", Health Physics, vol. 53, 585-606, 1987
222. Lin C. J., et. al., "Steady-state and shock currents induced by ELF fields in a human body and a nearby vehicle", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 32, 59-65, 1990
223. Olsen R. G., et. al., "Predicting VHF/UHF electromagnetic noise from corona on power-line conductors", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 30, 13-22, 1988
224. Uchimura K., "Electromagnetic interference from discharge phenomena of electric contacts", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 32, 81-86, 1990
225. EPA, "EMF in your environment: Magnetic field measurements of everyday electrical devices", Environmental Protection Agency, Report 402-R-92-008, Dec. 1992
226. EPA, "Questions and answers about electric and magnetic field(EMFs)", Environmental Protection Agency, Report 402-R-92-008, Dec. 1992
227. Florig H. K., "Mitigation oe electromagnetic field exposure in offices", Resources for the future, Washington, DC, Oct., 1991

- 228. Florig H. K., "Containing the costs of the EMF problem", Science 257, 468-492, July 24, 1992
- 229. Morgan M. G., "Electric and magnetic fields from 60 Hz Electric power: What do we know about possible health risks", Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA, 1989
- 230. Morgan M. G., "Measuring power frequency fields", Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA, 1992
- 231. Morgan M. G., "What can we conclude from measurements of power frequency fields", Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA, 1993
- 232. Moore T., "Exploring the options for magnetic field management", EPRI J, 5-19, 1990
- 233. Silva M, et. al., "Power frequency magnetic fields in the home", paper presented at the IEEE/PES Winter Meeting, New York, 1998

- 234. Gravelle L. B., et. al., "EMI/EMC in printed circuit boards- A literature review", IEEE Trans. Electromag. Compatibility, vol. 34, 109-116, 1992
- 235. 林國榮, "電磁干擾及控制", 全華圖書公司出版, 1993
- 236. Chatterton P. A. et. al., "EMC: Electromagnetic theory to practical design", Book, John Wiley & Sons, 1992
- 237. Jasper J. G., "Electromagnetic compatibility", Book, Prentice, 1990