

科學圖書大庫

電磁干擾與防護

譯者 葉中雄 曾衍彰 蔡文發

徐氏基金會出版

世界圖書出版公司

科學圖書大庫

電磁干擾與防護

譯者 葉中雄 曾衍彰 蔡文發

徐氏基金會出版
洛界圖書出版公司

电磁干扰与防护
凯泽著 叶中雄等译

徐氏基金会 出版
世界图书出版公司

北京朝内大街137号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1989年12月第一版 开本：850×1168 1/32
1989年12月第一次印刷 印张：11.5

ISBN 7-5062-0486-X

定价：6.30元

经徐氏基金会允许，世界图书出版公司重印，1990。

限国内发行

譯序

電磁干擾（EMI）與防護技術在工業上及軍事上都是很重要之課題，譬如外銷到美國之電子產品要符合美國之FCC規範才准銷售。另外核爆所產生之強電磁脈波（EMP）威力甚強對電子系統造成干擾或破壞，在軍事上甚受重視。坊間論述電磁干擾方面之中文書籍不多，筆者在美國進修時發現 Bernhard Keiser 先生所著之 *Principles of Electromagnetic Compatibility* 一書非常實用，故於公餘將全書翻譯，以供從事電磁干擾之專業人員參考。

該書在電磁干擾方面是本很好之訓練教材，目前已發行第三版，在美國電磁干擾訓練班已使用多年。本書內容深入淺出，儘量避免複雜之數學公式，提供許多實用之防護經驗，介紹各類規範、測試設備及方法，為不可多得之參考書。

本書由三位共同翻譯，因係利用公餘期間譯成，雖經再三核對，但疏漏之處在所難免，祈望各位先進不吝指正為荷。

譯者謹識

序　　言

本書是作者自 1975 年 10 月任教於華盛頓特區之喬治華盛頓大學時，在工程教育計畫中擔任「電磁相容性」課程之教材改編而成。此課程為期 5 天，包括電磁相容性之重要原理及實際之應用，對象從電機系大學部新生至電子及相關工程之有經驗之博士。

本書及本課程之目的是對實際從事電子方面之工程師提供電磁干擾及相容性方面之基礎知識，並以實例說明真正干擾之情況及其解決之方法，而不用高深之數學來解釋。

作者要感謝在擔任顧問期間許多顧客提供極具參考價值之資料及實例，均用之於本書中；同時要感謝在校內或校外訓練課程中參與此課程之學生之研討；另外要感謝小女為本書繪圖。

在電磁相容性方面雖然已有許多很好之參考書及軍方之參考書，但作者相信本書是第一本單冊卻包括電磁相容性各方面論點之好書，如接地、屏蔽、及濾波等基本電磁相容性技巧、電磁相容性之測試方法及測量裝備，和電磁相容性分析之計算機程式等。

目 錄

譯 序	I
序 言	II
第一章 前 言	1
1.1 EMI 發生之原因.....	1
1.2 傳輸路徑.....	3
1.3 EMI 效應.....	4
1.4 EMC 實務.....	5
1.5 EMC 之發展.....	6
1.6 本書之編排方式.....	6
第二章 傳導性干擾及其特性	7
2.1 傳導性干擾源之特性.....	7
2.2 干擾之特性.....	13
2.3 減少傳導性干擾之設計實務.....	18
第三章 輻射干擾源及其特性	21
3.1 輻射干擾源.....	21
3.2 電磁脈波 (EMP)	44

3.3 將來可能的干擾源.....	52
3.4 設計實務.....	53
第四章 經傳導和輻射的干擾耦合.....	55
4.1 傳導路徑耦合.....	58
4.2 輻射耦合.....	63
4.3 設計經驗.....	68
第五章 接地和搭接.....	70
5.1 設計過程.....	70
5.2 接地和搭接的定義.....	71
5.3 基本接地觀念.....	72
5.4 電路接地考慮.....	78
5.5 電源接地.....	81
5.6 繼電器的接地.....	84
5.7 電纜線屏蔽接地.....	85
5.8 設備接地.....	89
5.9 大地接地.....	91
5.10 接地電阻測量.....	95
5.11 接地設計指南.....	100
5.12 搭接的目的和型式.....	101
5.13 搭接的方法.....	102
5.14 表面處理.....	104
5.15 腐蝕及合金.....	104
5.16 搭接效率.....	108
5.17 搭接電阻.....	109

5.18 搭接阻抗.....	112
5.19 搭接測試.....	113
第六章 屏 蔽	116
6.1 固態材料的屏蔽效率.....	116
6.2 多層固態屏蔽.....	121
6.3 薄膜屏蔽.....	122
6.4 屏蔽接合處.....	124
6.5 非固態屏蔽.....	126
6.6 電纜和連接頭的屏蔽.....	137
6.7 良好屏蔽實務的摘要.....	148
第七章 障壁屏蔽	151
7.1 波繞射.....	151
第八章 濾 波	158
8.1 濾波器特性.....	158
8.2 濾波器設計.....	160
8.3 暫態抑制.....	169
8.4 電源線濾波器.....	171
8.5 雜訊消除電路.....	173
8.6 特殊濾波器組件.....	175
8.7 特殊濾波器類型.....	177
第九章 材料與特殊元件	182
9.1 塑 材.....	182

9.2 指狀片	188
9.3 傳導性膜	190
9.4 具濾波器之接點聯結器	194
第十章 設備設計	199
10.1 發射機	199
10.2 接收機	201
10.3 天線系統	202
10.4 電源供應器	203
10.5 馬達	203
10.6 控制裝置	204
10.7 數位電路	205
10.8 數位電腦	206
10.9 積體線路之感受度	210
第十一章 數學模式	220
11.1 源模式	222
11.2 緝合模式	223
11.3 感受體模式	225
11.4 模式發展之舉例	226
11.5 總結	229
第十二章 系統內及系統間分析程式	230
12.1 系統內程式	233
12.2 系統間程式	259
12.3 程式選擇	264

第十三章 EMI 預估	267
13.1 電腦分析原理	268
13.2 利用模式之相容性分析	269
13.3 利用模式訂定規格	270
13.4 利用模式做撤銷規格評估	275
13.5 使用及加入測試資料	276
13.6 程式輸出例	276
第十四章 軍用標準及規格	277
14.1 標準及規格之哲理	277
14.2 軍用 EMC 標準	278
14.3 限制量之單位	283
14.4 定義與術語	284
第十五章 工業與政府規格	287
15.1 公佈 EMC 標準之組織	287
15.2 FCC 需求	288
15.3 歐洲 EMC 需求	289
15.4 NCMDRH 需求	290
15.5 SAE 標準	290
15.6 CISPR 建議	291
第十六章 EMC 測試計畫及步驟	294
16.1 建立測試環境	294
16.2 介面考慮	295

16.3	測試計畫內容	295
16.4	相容性準則	296
16.5	測試自動化	296
16.6	測試準備	297
16.7	測試步驟	299
第十七章 場強度及傳導性干擾之測量方法		300
17.1	頻寬及接收機靈敏度	300
17.2	掃描頻率測量	301
17.3	場強度測量	302
17.4	時域對頻域之測量	304
第十八章 測試裝備		306
18.1	傳導性測量	306
18.2	輻射測量	308
18.3	信號源	313
18.4	接收器	315
18.5	自動 EMI 測試系統	315
18.6	光 纖	317
第十九章 測試設備		319
19.1	屏蔽室	319
19.2	吸波器	320
19.3	開式測試場地	322
第二十章 計算機裝置之FCC 及VDE 需求測試		326

20.1	測試用裝置	326
20.2	需 求	327
20.3	測量方法	327
附 錄		335
參考文獻		338
英漢名詞對照		348

第一章 前 言

當電機和電子裝置彼此所產生之雜音不干擾其他裝置之正常性能時則稱這些裝置具電磁相容性。故電磁相容性 (Electromagnetic compatibility 簡稱 EMC) 是諸系統本身及在工作環境下與預期功能相同時之滿意情況。當不需要之電壓或電流存在且嚴重影響裝置之性能時則稱發生了電磁干擾 (Electromagnetic interference 簡稱 EMI)。這些電壓或電流經由傳導或電磁輻射到達會受損之裝置。設計改變調整信號或雜音大小之過程稱為電磁干擾控制 (簡稱 EMIC)。通常影響此控制之管理程序也稱為 EMIC。

1.1 EMI 發生之原因

EMI 問題發生之原因可能來自系統之內部稱為系統內之問題，或來自系統外部稱為系統間之問題。為了EMI 分析之目的，所謂系統包含了許多裝置，在其間可執行設計和管理控制。

不論系統內和系統間最常發生之EMI原因是某電路設計產生之信號傳送至其他電路。其他EMI產生之原因大多在系統內發生如表1.1所列，包括開關暫態波，信號之諧波，及雜訊發射或某些傳送信號所伴隨之雜訊。表1.2中列出許多系統間EMI產生之原因。兩表中發射源代表電磁能量源，感受體代表對電磁能量感應之裝置。發射源中任何一項會干擾感受體中任何一項。讀者會發現許多項目在兩表中均出現。EMI主要來

2 電磁干擾與防護

自下列三項：電源、傳輸線及感受體。若發生 E M I 表示至少其中一項設計不當。

表 1.1 系統內之 E M I 發生來源

發 射 體	感 受 體
自動點火系統	顯示裝置
電源供給器	繼電器
發電機	航空儀器
計算機	計算機
雷達發射機	雷達接收機
無線電發射機	無線電接收機
日光灯	軍需品

表 1.2 系統間 E M I 之來源

發 射 體	感 受 體
無線電發射機	無線電收音機
微波繼電器	微波繼電器
廣播台	廣播台
飛 機	飛 機
船	船
汽 車	汽 車
無線電接收機	無線電發射機
本地振盪器	低電壓電路
雷達發射機	雷達接收機
電力線	心律調整器
雷 電	計算機
馬 達	航空儀器
日光灯	工業控制器

1.2 傳輸路徑

各裝備之 EMC 特性之主要分類方法是由傳輸路徑來決定。傳輸路徑分為傳導性及輻射性。傳導路徑經由金屬導體傳送，包括集總常數零件如電容器及變壓器。傳導性發射及感受度測量以電壓及電流表之，其單位為伏(V)，分貝伏(dBV)，分貝微伏(dB μ V)或安培(A)，分貝安培(dBA)，分貝微安(dB μ A)等。輻射性發射及感受度測量以場強度表之，如伏/米(V/m)，分貝微伏/米(dB μ V/m)或特斯拉(Tesla, T)，分貝微微特斯拉(dBpT)等。

在傳導性測量範圍內，耦和方式可為傳導性，電容性(電場方式)，或電感式(磁場方式)。傳導性耦和由兩零件或線間歐姆接觸而來；電容性耦和是由兩零件或線間之雜散電容而來；電感性耦和是由導體間互感而來。三種耦和方式可由轉移阻抗之特性表之，即感受體之電壓與通過發射

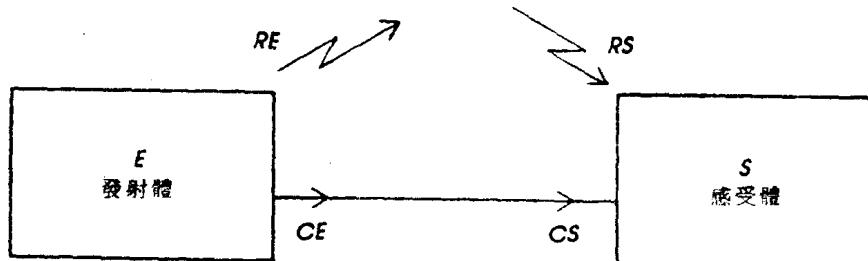


圖 1.1 傳輸路徑

體之電流比。轉移阻抗通常是四個端點之型式，由上述三種耦和方式之一或組合而成。傳輸路徑之重要特性為頻譜特性。由不需要之信號及雜訊中分離所要之信號之方法就是利用它們頻譜之差異。各週期信號經分析後分成一或多個頻率成分。非周期信號波形稱為暫態波也能被分解成頻率成分，以能量密度之方式表之；重複性暫態波及隨機雜波能被分解成頻率成分，以功率頻譜密度表之。

因系統間 EMC 之頻譜特性非常重要，一個系統之輻射性發射有足夠

4 電磁干擾與防護

強度去干擾其他系統之操作，故要國際條約來約束之。各國之頻率分配及指定由國際條約制定。國際通信聯盟（I T U）根據國際條約發佈「無線電規則」資料。世界行政無線電會議（W A R C）經常舉行以評審國際頻率分配事項。為了頻率分配之目的，將世界分成三區：

區域 1—歐洲、非洲、蘇聯在亞洲之部份、小亞細亞、及阿拉伯半島。

區域 2—南北美洲（包括夏威夷）。

區域 3—歐洲及除了蘇聯以外之亞洲。

在同一區域內頻率劃分通常都相同，但不同區域可能會不同。

1.3 E M I 效應

下列幾個因素同時發生造成 E M I 之問題：

- 電磁能量源。
- 對此電磁能很敏感之裝置。
- 由雜訊源至靈敏裝置之耦和路徑，使系統之性能變差。日常生活中常見到 E M I 效應。如夜晚標準廣播頻道之干擾，飛機導航誤信號，及電視影像接收之鬼影等。

E M I 效應可由系統間及系統內之問題所產生。系統間之間題由表 1 、2 所列之雜訊源而來。系統間之間題包括下列：

- 飛機航行系統與雷達干擾；
- 電力線與通信系統干擾；
- 可移動無線電機與電視接收機干擾；
- 電力線暫態與電腦系統干擾；
- 飛機無線電與船上系統干擾；
- 計程車無線電與警察無線電干擾；
- 遠距離調頻及電視發射機與 B 級近距離調頻及電視發射機干擾。

系統間之間題包括如下列者：

- 汽車內由自動點火系統至接收機之干擾；
- 雷達發射機至雷達接收機之干擾；
- 經由接地回路之電流造成之級間耦和；
- 電腦內磁帶驅動器之磁場對低位準數位電路造成之干擾；
- 與低位準類比電路共用電源供給器之數位電路所產生之干擾；
- 無線電接收機或發射機電路之振盪。

專精 EMC 方面之專家在雜訊情況之下能指出簡單解決之方法。能不需經過詳細之計算即能找出此方法。減少干擾都有其理由，但要解釋及證明其細節則不易。例如，要解決 10 dB 之需求最簡單之方法是用 40 dB 之屏蔽室，但最重要的是瞭解其屏蔽原理。因此不僅祇選擇嘗試解決之方法，還需懂得如何計算以應需求。

1.4 EMC 實務

EMC 實務之目的是確保系統或分系統之相容性。利用已證實之設計技巧具理論與實務基礎以有效控制 EMI 之問題，正確使用這些方法可使系統避免發生 EMI 之問題。經由理論分析，實驗室測量，及系統性能檢驗可找出有效的標準實務。本書與設計有關之各章均列出相關之設計實務。

EMI 問題之分析由雜訊源（發射體）至靈敏裝置（感受體）之路徑分類開始，包含傳導或輻射路徑，或兩者之綜合。進一步之分類可觀察發射體與感受體之間之頻譜特性及其間之時域特性。其他之因素尚有兩者之間之位置（距離和方向）。

若為系統間之問題，發射體與感受體分別在不同之系統中，故需先問：“發射體之操作是否符合無線電規則？”（若輻射性發射有問題的話）或“是否發射操作符合規定？”（若輻射性或傳導性發射有問題的話）。後者的問題可應用到系統內之問題。

在系統間之問題時，若操作符合無線電規則及規定，要找出決定發射