

車用影像硬體平台電磁相容設計與防治

邱賢昌*、張右龍、許志豪
財團法人車輛研究測試中心

摘要 — 近年來，車輛電子產業積極發展主動偵測駕駛環境之安全系統，國內外車廠紛紛投入影像式駕駛輔助系統，並朝向系統整合的趨勢發展；相較於一般資訊產品，車輛電子系統對穩定度的要求較為嚴苛，且配置空間有限，各系統之間的訊號傳輸須透過較長的線束連結，環境雜訊容易藉此耦合到線束上，且為了達到即時(Real-Time)判斷與控制，PCB 板上多以高速訊號進行資料傳輸或轉換，容易產生電磁干擾問題；因此，電子系統除了外部干擾外，亦包含 PCB 板本身走線所產生的雜訊，故電磁相容(Electromagnetic Compatibility, EMC)設計便顯得格外重要。本文透過一個雙影像處理晶片之硬體平台開發，從零件擺置、訊號性質區隔以及接地迴路等考量，進行電路設計、分析與 EMC 驗證進行說明。最終，透過實驗結果，佐證本車用影像硬體平台之電磁干擾與相容能力符合 ECE R10 規範要求。

一、前言

由電生磁，由磁生電，「電」跟「磁」是相互相依的存在，因此市售的各類電子產品或電機設備於通電使用的過程中，必定會產生電磁輻射，為避免電磁輻射透過空氣耦合到其他設備而導致異常，過去二、三十年來，國際間主要的經濟體國家先後建立標準法規，明確的訂定各類電子產品所產生的電磁輻射必須符合電磁相容(Electromagnetic Compatibility, EMC)的標準，否則該電子產品無法在國內上市銷售，而電磁相容包含電磁干擾(Electromagnetic Interference, EMI)與電磁耐受(Electromagnetic Susceptibility, EMS)兩個部分。

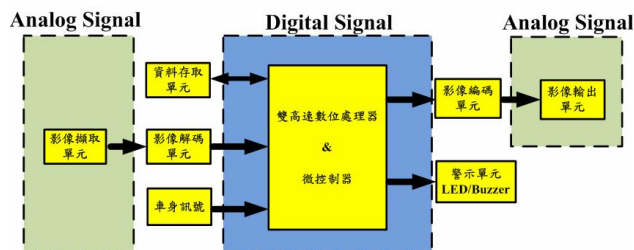
電子零件若發生干擾現象，容易造成系統不穩定，甚至造成邏輯電路有誤動作的情形發生，輕者因訊號錯誤導致功能異常，重者對生命安全構成危害。欲抑制電子產品 EMC 問題從系統設計之初去解決是最容易且成本最低的；因此，在進行電路板設計的階段即能考量 EMC 問題，分析 PCB 走線可能產生的干擾現象，針對這些雜訊源的成因，進行各項預防措施與佈局，將能有效抑制雜訊干擾以及提升電磁耐受能力。

一般 PCB 板的設計流程，設計初期的電路分析(Schematic Design)常為了方便計算，元件皆假設為理想值，因此硬體參數上設計誤差，是非常容易發現與修正；到了零件擺置(Components Placement)階段，若沒有全面考量 PCB 板上主要零件的資料處理流向以及規劃訊號屬性區別分隔，進入走線設計(PCB Layout Design)時，就會發現大量佈線交錯且走線沒有系統性，訊號干擾的肇因往往源自於此，此時發生的電磁干擾問題，通常需要耗費更多的時間與人力來解決，產品的量產時程

將延遲且成本將提高數倍；因此，若工程人員在設計初期，即導入 PCB Design-in 的觀念，確實的規劃與佈局，分析 PCB 走線上干擾源可能發生的原因，將能有效縮短產品開發時程與節省成本。

二、硬體平台設計與開發

本文之硬體電路開發係建構在一車用影像安全系統上，圖一所示為本系統硬體平台之架構圖，採用雙高速數位訊號處理器(Dual Digital Signal Processor)為處理核心進行複雜的數學運算；影像擷取單元為 CCD 或 CMOS Sensor 攝影機，取得駕駛道路環境的影像送到解碼單元，將類比影像訊號轉換為 DSP 可接受之數位訊號，進行資料分析與判斷；資料存取單元包含非揮發性記憶體 Flash 與 DDR2 (Double-Data-Rate)，用以儲存解碼單元處理後的影像資訊及 DSP 運算分析後的結果，再結合車身網路控制(Control Area Network, CAN)訊號，分析駕駛環境可能潛在的危險性並透過警示單元提醒駕駛人；若須配合即時影像，則可透過編碼單元，將處理後的數位影像訊號轉換回類比訊號並顯示於螢幕(Monitor)上，方便駕駛人判讀。



圖一：硬體平台系統架構

系統架構規劃有助於進行電子零件配置與線路佈局，由圖一可知，系統具有數位訊號(Digital Signal)以及類比訊號(Analog Signal)，屬於混合訊號控制系統。高速數位訊號多以百萬分之一秒甚至更高的速度進行高/低準位變換，訊號於高準位時，由電源平面提供所需的工作電流，低準位時則不消耗電流，因此數位訊號在狀態改變時，會造成電源平面的電流瞬間變化，產生切換雜訊或接地彈跳，一旦電壓變動的程度超過積體晶片所容許的範圍，系統功能就會受到影響甚至重置(Reset)，同時固定週期的時脈訊號(Clock)，帶有強烈的高頻成分，與其他訊號線太靠近時，高頻能量會耦合到鄰近訊號線上，造成串音干擾(Cross Talk)。類比訊號則較為敏感，容易受到高速訊號干擾而造成原始訊號失真，導致資料處理分析判斷錯誤，因此在類比/數位轉

換的設計佈局上，須避免兩種不同屬性的元件交錯擺置，並且將兩種屬性的地平面(GND Plane)予以區隔，預防雜訊透過地平面及耦合現象相互影響。

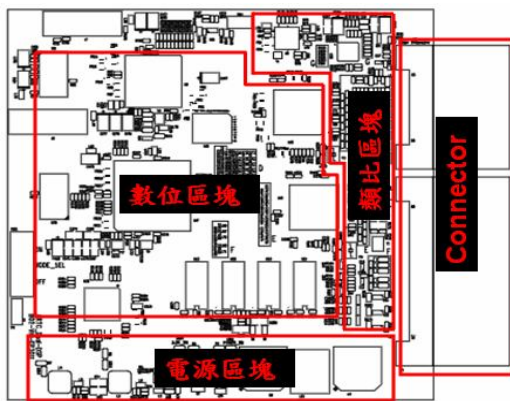
印刷電路板製作前應先考量各元件的擺置方式 (Placement)，妥善的規劃系統資料的處理流向，同屬性的邏輯電路應放置在一起，適當的區隔不同性質的電路，因此當系統同時存在高速的數位訊號與敏感的類比訊號時，必須採取高速混合訊號電路設計技術來維持系統的抗干擾能力[1]；圖二為本系統之零件配置與屬性區域規劃圖，各區塊功能描述如下。

電源區塊：包含電源轉換電路與 Switching PWM 控制 IC，轉換架構採用 Buck-Converter，將車用 12V 電壓分別轉換成 3.3V 提供 DPS、微控制器及 I/O Port 使用；1.8V 供給儲存單元 DDR2；1.2V 則提供 DSP Core 使用。電源區塊規劃於 PCB 板下方區域，與其他系統區塊區隔開來，避免高速的 PWM 切換訊號干擾其他系統區塊。

類比區塊：包含影像輸入/輸出濾波電路、實體車身訊號轉換電路、運算放大器、影像解碼/編碼以及週邊電路等元件，將其規劃靠近於 Connector 位置，避免敏感的類比訊號因走線過長受到干擾。

數位區塊：包含記憶儲存元件、數位訊號處理器與微控制器等主要積體晶片及其週邊電路；其中記憶體儲存元件是以高速訊號進行位元資料傳輸，進行走線設計時，須保持資料傳輸走線距離等長，避免因走線長度不均引起訊號延遲(Delay)而導致位元資料存取錯誤或遺失。

各區塊均規劃大面積的接地層(GND Plane)以維持低阻抗，因接地阻抗過大時，電流流過地層，就會在地線上產生電壓降，這些電壓降會造成電壓跳動或耦合到相關的電路而形成雜訊[3]。



圖二：系統區塊分隔圖

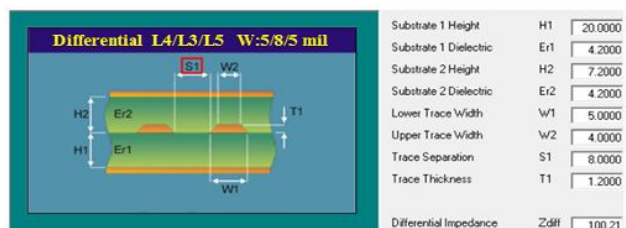
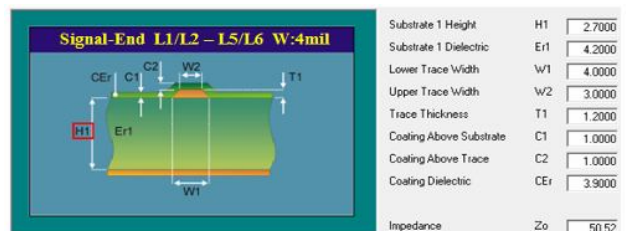
完成零件配置規劃後，須考量多層 PCB 板堆疊 (Stack) 設計，印刷電路板依電路設計的複雜程度有不同層數可供運用，而 PCB 板上各層間走線均屬於一個訊號發散的 3D 電磁場空間，包含傳導、輻射以及感應耦合現象，因此在 PCB 板層的堆疊設計上便顯得相當重要，適當的利用大面積鋪銅作為屏蔽(Shielding)，來阻擋干擾雜訊是常見的方法；另外，因特性阻抗 Z_0 具有頻率特性，會造成走線上的訊號強度隨頻率而衰減，且走線上的電流會循著阻抗最低的路徑自行迴流，因此須

避免走線的迴流路徑過大而產生不必要的雜訊與干擾；根據特性阻抗公式 $Z_0 = \sqrt{L/C}$ 得知，增加電容值 C 能降低走線上的特性阻抗；再根據電容公式 $C = Er \cdot A/d$ ，其中 Er 為介質係數， A 為兩極板的面積， d 是兩極板之間的距離；上述兩式可知，電容效應越好，特性阻抗就越小；PCB 堆疊設計如圖三所示，Layer 2 與 Layer 5 為一整片完整的接地平面，提供電路板上相鄰的走線層，有最佳的電容效應與最短的迴流路徑[4]。

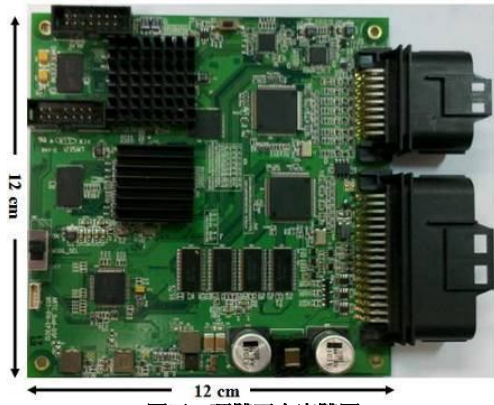
Layer 1 : Signal	1.2 mils
P.P	2.7 mils
Layer 2 : GND Plane	1.2 mils
CORE	20 mils
Layer 3 : Signal	1.2 mils
P.P	2.7 mils
Layer 4 : Power	1.2 mils
CORE	20 mils
Layer 5 : GND Plane	1.2 mils
P.P	2.7 mils
Layer 6 : Signal	1.2 mils

圖三：六層板 PCB 堆疊設計規劃圖

高速數位訊號有著較短的訊號傳輸時間與較高的時脈頻率，因此 PCB 板上的走線不單只是一般的連線，而是承載訊號往返的傳輸線路，各板層間的走線，就如同軸電纜線內部導體，原理類似接收天線，所以 PCB 板走線的設計亦是考量的要點之一；特性阻抗除了會影響訊號強度外，也會造成訊號在走線上產生反射波，導致訊號波形紊亂而影響訊號完整性 (Signal Integrity)；特性阻抗與走線方式、寬度、參考平面距離以及 PCB 材質等有相對關係，PCB 板之特性阻抗值的範圍約在 25Ω 至 120Ω 之間，可透過調整走線寬度或板層間絕緣材質的厚度，來得到訊號所需的阻抗值。圖四所示為本系統之阻抗設計，一般訊號線 (Signal-End) 阻抗設計為 $50\Omega \pm 10\%$ ，差動訊號線 (Differential) 阻抗為 $100\Omega \pm 10\%$ 。圖五為系統實體圖。



圖四：PCB 走線阻抗值設計



圖五：硬體平台實體圖

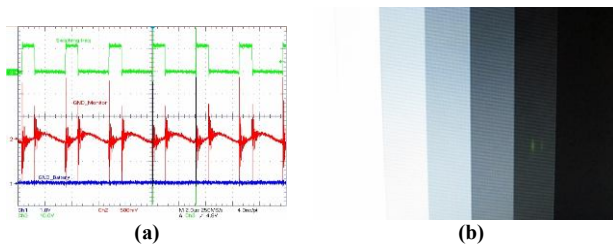
三、 車用影像平台問題改善與抑制

影像安全系統大多需搭配螢幕即時顯示駕駛環境，影像品質的優劣更容易被察覺，如畫面出現水波紋、扭曲、閃爍等現象；為避免線束上的耦合干擾，可選用外層有地線包覆之線材來達到雜訊屏蔽效果，透過大電流注入(Bulk Current Injection, BCI)試驗可知，具有屏蔽效果之線材，有較佳的抗干擾能力，如圖六 (b) 所示；BCI 試驗是傳導干擾測試中最常採用方法，透過測試夾具對電子系統之單一線材或纜線，注入功率以控制感應耦合電流量，藉以測試車輛電子系統對耦合雜訊的免疫能力(Immunity)。

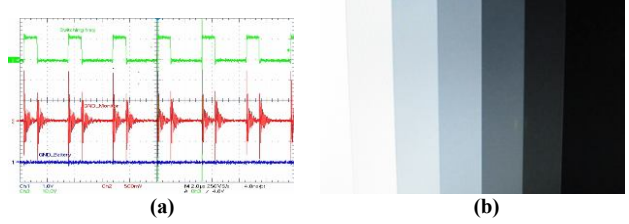


圖六 BCI 試驗結果：(a)一般線材 (b)具屏蔽效果線材

畫面水波紋亦是影像系統常遇到的干擾現象之一，水波紋問題多來自於電路地電位跳動所引起，地電位的震盪會連帶影響影像訊號載波的準位，若發生於影像擷取端，可能會造成影像資訊在分析處理時，有誤判的情形發生；如圖七(b)所示，可看出輸出螢幕有明顯的水波紋現象，由於螢幕地電位(GND_Monitor)與電路板地電位(GND_Battery)存在約 200mV 壓差，且隨著電源切換頻率跳動，若能使參考電壓一致，將能改善輸出影像訊號的載波準位；改善後之波形與螢幕輸出畫面如圖八(b)所示。

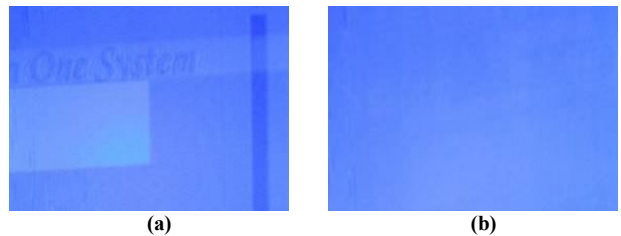


圖七：影像畫面水波紋 (a)示波器波形 (b)影像輸出



圖八：改善後影像畫面：(a)示波器波形 (b)影像輸出

此外，因類比影像訊號經過解碼單元形成數位訊號，經高速處理核心處理完再將其轉換回類比訊號，兩種訊號若參考同一個地平面，彼此間的訊號容易因同一個迴流路徑而交互影響，發生輸出影像重疊之問題，如圖九(a)所示；適當的作法為區隔類比訊號與數位訊號的地平面，同時可降低兩個地平面的訊號交互干擾；改善後之影像輸出畫面如圖九(b)所示。



圖九：輸出影像畫面；(a) 影像重疊現象 (b)改善後畫面

由此可知，無論是車用影像平台或其他電子設備，預防電磁干擾、雜訊或是改善不良現象，首重「地」(Ground)的設計與佈局，一個良好的接地迴路設計，將能避免許多干擾現象。

四、 系統實驗結果

車用影像硬體平台設計後，進行電磁相容測試以確認平台可靠度，測試標準依照聯合國歐洲經濟委員會(Economic Commission Europe)公佈之 ECE R10 Rev.04 規範，測試項目包含輻射干擾(RE)、輻射耐受(RI)、傳導耐受(CI)以及暫態測試(Transient)，其測項如表 I 所示 [5,7,8]。

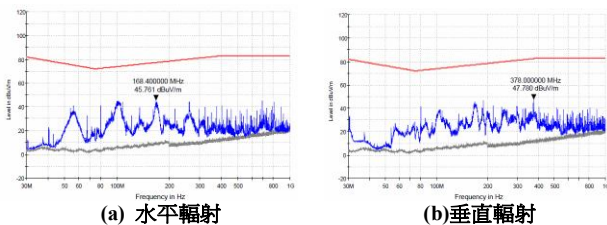
表 I ECE R10 測試項目

Item	Test method name
1	ECE R10 Annex 7: Method of measure of radiated Broadband electromagnetic emission from electrical/electronic sub-assemblies
2	ECE R10 Annex 8: Method of measure of radiated Narrowband electromagnetic emission from electrical/electronic sub-assemblies
3	ECE R10 Annex 9: Method of testing for immunity of electrical/electronic sub-assemblies to electromagnetic radiation – 4.1. Absorber chamber test
4	ECE R10 Annex 9: Method of testing for immunity of electrical/electronic sub-assemblies to electromagnetic radiation – 4.3. Bulk Current Injection testing
5	ECE R10 Annex 10: Method of testing for immunity to and emission of transients of electrical/electronic sub-assemblies – 2. IMMUNITY AGAINST DISTURBANCES CONDUCTED ALONG SUPPLY LINES
6	ECE R10 Annex 10: Method of testing for immunity to and emission of transients of electrical/electronic sub-assemblies – 3. EMISSION OF CONDUCTED DISTURBANCES ALONG SUPPLY LINES

Radiated Broadband Electromagnetic Emission：為了避免外在電磁環境與雜訊反射影響，輻射干擾測試必須在電波暗室(Chamber)進行，參照 CISPR 25 標準[5]，測試頻段為 30MHz ~ 1GHz，因輻射源可能由水平或垂直方向而來，因此接收天線必須進行水平量測及垂直量測兩種模式；待測件配置依照規範要求，實際配置如圖十所示，測試結果如圖十一所示，測試結果低於限制值。



圖十：輻射干擾試驗配置圖

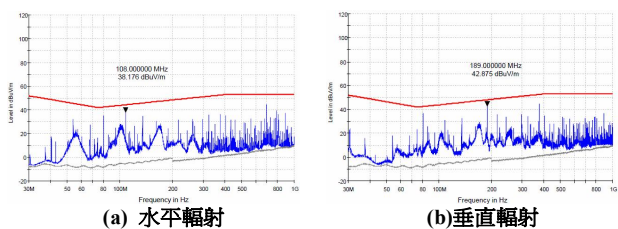


(a) 水平輻射

(b) 垂直輻射

圖十一：寬頻電磁擾動測試結果

Radiated Narrowband Electromagnetic Emission：窄頻電磁擾動測試配置要求與寬頻電磁擾動相同，寬頻擾動源可能來自於車輛點火系統及馬達類等零組件，窄頻擾動源則為電子系統中之數位邏輯電路或震盪器，因此車輛電子系統中若有 8MHz 以上之震盪器或微控制器，就必須進行窄頻電磁擾動測試[6]。圖十二為窄頻電磁擾動測試結果。測試結果低於限制值。



(a) 水平輻射

(b) 垂直輻射

圖十二：窄頻電磁擾動測試結果

Electromagnetic Radiation Immunity：輻射電磁耐受是透過天線，外加干擾能量到待測件上，以判定待測件之耐受能力，採用自由場試驗法(Free Field)。測試配置參照 ISO 11425 標準[7]。

Bulk Current Injection：自由場試驗法是將整個待測件置於干擾能量中，而大電流注入法則是針對待測件線材部分，對測試夾具注入功率，控制耦合電流量，並使其耦合到待測件之線材上。配置參照 ISO 11452 標準，測試頻段為 0~400MHz，耐受標準為 60mA。

Conduction Immunity：傳導耐受試驗是模擬車輛啟動

與行進間所遭遇可能出現的電源變化現象，針對車輛電源系統會產生的各項電源脈波所制定的試驗法，如啟動點火開關及雨刷馬達啟動運轉時所引起的電源下降等現象。測試配置參照 ISO 7637 標準[8]。

Conduction Emission：傳導放射試驗是測試電源由一個穩態切換至另一個穩態時，因切換過程而產生暫態波，特性會隨電子系統與線材上電感及分布電容而有所影響，內部邏輯電路亦可能因暫態波而有誤動作情形發生。測試配置參照 ISO 7637 標準。

ECE R10 測項結果如表 II 所示；其中，傳導耐受試驗出現無畫面輸出主要是由於測試電源波形有負電壓輸出，如 Pulse 1、Pulse 2a 與 Pulse 4 等，已超出系統電源設計規格，故無法正常提供 3.3V 電壓予處理核心及周邊電路，因此測試期間有無畫面輸出屬正常現象，干擾電源移除後，畫面隨即恢復正常輸出。

表 II ECE R10 Test Result

Part	Test method name	Ref. Standard	Test Result
EMI	Radiated Broadband Electromagnetic Emission	CISPR 25	Under Limit
	Radiated Narrowband Electromagnetic Emission	CISPR 25	Under Limit
EMS	Electromagnetic Radiation Immunity	ISO 11452	Normal Operation
	Bulk Current Injection	ISO 11452	Normal Operation
	Conduction Immunity	ISO 7637	無畫面輸出 干擾移除後恢復正常
	Conduction Emission	ISO 7637	Under Limit

五、結論

本文透過車用影像硬體平台設計開發實例，說明電磁干擾防治觀念的重要性，利用 PCB 多層板來進行防治規劃與線路佈局，系統輸入電壓範圍為 +8Vdc ~ +40Vdc，可同時接受兩個以上的影像輸入源，影像格式為 PAL 或 NTSC，適合運用於先進安全車輛(Advanced Safety Vehicle, ASV)之影像安全輔助系統上；完成之硬體平台亦能符合聯合國歐洲經濟委員會所訂定之 ECE R10 要求。

六、參考文獻

- [1] V. Ricchiuti. Power-supply decoupling on fully populated high-speed digital PCBs. IEEE Trans. Electromagnetic Compat., vol. 43, pp.671-676, Nov. 2001.
- [2] 張右龍、蘇一峰，“前方防撞警示嵌入式系統之研製”，第14屆中華民國車輛工程學術研討會，雲林，2009。
- [3] 鍾明峰，“以傳輸線模型分析高速數位電路構裝之電源完整性”，國立中山大學電機工程學系碩士論文，2006。
- [4] 余曉錡，“實用電子產品電磁相容設計指南”，唐碩科技有限公司，pp.15-41，2010
- [5] CISPR 25, International Electrotechnical Commission, “Radio disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles, boats, and on devices-Limit and methods of measurement”, Second edition, 2002-08.
- [6] 鐘欣翰、張錦榮、林漢年，“車輛零組件產品設計之EMC驗證技術介紹”，第11屆中華民國車輛工程學術研討會，屏東，2007。
- [7] ISO 11452-2/2004, Road vehicle – Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy.
- [8] ISO 7637-2, Road vehicle – Electrical disturbances from conduction and coupling.