

車輛EMC接地設計介紹

財團法人車輛研究測試中心 溫仕緯

一、前言

良好的接地設計應可提供以下作用：

1. 提供DC、AC及暫態設備（負載）之電流迴路（current return path）；
2. 提供電路系統如類比感知器、數位/通訊產品等系統之電壓參考位準（voltage reference）；
3. 做為天線之地網（counterpoise）；
4. 靜電與雷擊電流之引流（by pass）；
5. 電磁相容性對策（如shielding, filtering）之引流。

就車輛EMC設計而言，良好的接地設計是解決EMC問題最有效和最廉價的方法。但是車輛的接地設計非常複雜，必須考慮車體結構與車輛電裝零組件之配置，接地系統若設計不妥善，將可能直接/間接影響已符合試驗標準規範之車輛電裝零組件。因為接地阻抗的變化可能造成其EMI特性的改變，以致於影響車輛電裝系統間之電磁相容性，造成鄰近、較敏感裝備的誤動作，或是通訊配備之雜訊干擾，更甚者將影響行車安全。

二、接地概論

（一）安全接地與EMC接地

一般人提到接地，都只聯想到電力系統、大型電機設備的接地，其意義就是把導體以導線接到大地。目的著重於電力系統之安全，確保人員在各種情況或環境下的安全，以及電力系統異常發生故障電流時可減少或限制設備材料之損失，所以又可稱之為『安全接地』，考慮的僅是接地電阻應該在多少歐姆(Ω)以下。

不過針對EMC接地而言，並非以電力系統之安全為其主要目的，而是確保車輛電裝零組件與車體間的AC及暫態設備電流迴路之阻抗值必須很低，避免共地阻抗(common impedance)的耦合效應。另外接地的設計亦必須考量車內線束的佈局，必須以盡量降低地迴路(ground loop)面積為設計原則，避免地迴路之輻射效應。

（二）接地的量測參數

1. 接地電阻 (DC resistance)



接地 (DC) 電阻為直流電通過金屬車體、導線 (conductive jumpers) 或螺栓接面處時所產生的直流電阻值，直流電阻越大，功率消耗也越大，將縮短電池壽命，嚴重時更可能導致人員觸電或火災的情況，因此就車輛電力系統安全而言，接地電阻應越低越好。

就車輛EMC接地設計而言，當頻率低於10kHz，接地電阻為主要的影響成分時，僅須考慮接地電阻即可。另外在"ARP 1870：飛機系統電性搭接與接地之EMC與安全要求"中提及『針對EMC接地設計而言，若無法精確量測RF頻段之接地阻抗時，接地(DC)電阻的量測與評估可概略及快速地檢驗搭接與接地的好壞。』

2. 接地阻抗 (ground impedance)

接地阻抗值過高雖不至於發生人員觸電或火災的情況，但是卻可能造成車輛電裝零組件裝載於車輛後，改變其原來之EMI特性。阻抗(Z)是一向量，包含實數部份(電阻R)和虛數部份(電抗X)，其定義為『在特定頻率下，某個元件或電路對於通過的交流電流(AC)所形成的總阻力，可由複雜的向量平面圖形來表示』。

就車輛EMC接地設計而言，當頻率高於10kHz，車體、線束的高頻電抗成為主要阻抗成分時，就不可將DC電阻視為唯一考慮之參數，而必須進一步量測與評估接地阻抗的影響。

3. 電感 (inductance)

阻抗中的電抗 X (reactance) 可分為電感性 (X_L) 和電容性 (X_C)。根據定義， $X_L = 2\pi fC$ ；而 $X_C = 1/2\pi fC$ ，其中 f 代表所要的頻率、 L 為電感及 C 為電容。在不考慮共振效應的情況下，隨著頻率提高，電感成分的影響將遠高於電阻與電容成分。

針對車輛之金屬結構而言，常用的搭接方式可分為直接搭接(direct bonding)與間接搭接(indirect bonding)。其中直接搭接為金屬面直接接觸，面與面間除了接觸電阻(resistance)外，尚有影響極微之電容成分。就其接地特性而言，在最差的情況下，必須考量 $Z_g = R_{metal} + R_{contact} + L_{metal}$ ，當頻率提高後，電感成分的影響遠大於電阻時，僅需考慮電感值即可。另外間接搭接則是藉由導電接地線(conductive jumpers)或金屬帶(straps)達成電性搭接，就其接地特性而言，則需考慮 $Z_g = R_{jumper} + R_{contact} + L_{jumper}$ 。同樣地，隨著頻率提高後，僅需考慮電感值即可。

(三) 車輛接地概說

1. 車輛接地系統介紹

車輛中用來當做接地的組成包括：①車體金屬(BSM; body sheet metal)、②引擎結構及汽缸蓋(engine block and cylinder heads)、③線束(harness)及④電瓶負端等，以下將逐一介紹。

(1) 車體金屬

良好的車體搭接與設計，可提供一良好的接地，做為電流回路、等電位參考面、屏蔽、靜電及雷擊防制等作用。車體金屬之龐大面積，與其它金屬設備、配件或線路間會形成一大電容，對高頻雜訊有不錯的去耦合效果。

(2) 引擎與汽缸蓋

許多類比/數位訊號會以引擎與汽缸蓋作為回流路徑，為避免引擎與車體金屬產生雜訊電壓，低頻時須注意搭接之電阻是否過高(須注意搭接螺栓bolts 與gaskets 之材質與搭接表面處理)；高頻時須注意搭接線的高頻阻抗(感抗)，因為雜訊電壓可能會產生輻射干擾(可能係由搭接線所產生的輻射效應)與傳導干擾造成車內電子設備發生誤動作。

(3) 線束(harness)

一般在車輛上的電子設備大多數都使用長度很長的線束，由於接地線在高頻時會存在很高的電感，所以車輛上的電子設備在高頻段時均無法避免接地阻抗值過高的情況。一般而言，若是產生頻率高於100kHz的雜訊電流時，該電流流過線束就可能產生造成電子設備誤動作的電壓瞬降(voltage drop)。因此使用接地線時須考量其材質、直徑、長度及配置，盡量降低高頻阻抗的暫態效應以及可能產生的輻射效應。

(4) 電瓶負端

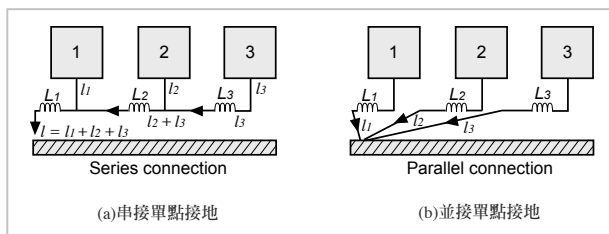
電瓶除了能提供儲存電能的功能也是極佳的雜訊抑制設備。因為電瓶之電容特性(1~2F/100Ah)，所以當電瓶與發電機並聯時，電瓶之電容可有效地減少車輛充電電路所產生之低頻雜訊，也就是可提供充電電路之雜訊電流旁路作用(bypass)。然而在較高頻段時(>10kHz)，電瓶的頻率特性就較為複雜。以100Ah容量的鉛酸電瓶為例，在頻率範圍25kHz至250kHz其電容值約幾十nF，且幾乎為一常數。而在頻率範圍200kHz至4MHz，此時因為電瓶內的鉛板(陰陽極版)在高頻時會出現電感效應，而產生串聯共振效應。因為共振效應所以造成電瓶無法有效抑制高於共振頻率以上的雜訊。不過因為電瓶具有可抑制雜訊的能力，雖然其頻率特性十分複雜，不過大致上與電瓶的頻率響應與其尺寸、儲電狀態有關，可利用LCR meter量測其各項參數，仍可作為整車EMC設計/對策的方向。

2. 車輛電裝零組件之接地系統

車輛常用之接地系統可分為①單點接地系統(Single-point Grounding System)、②多點接地系統(Multi-point Grounding System)、③混合接地系統(Hybrid Grounding System)及④選擇性接地系統(Selective Grounding System)。

(1) 單點接地系統

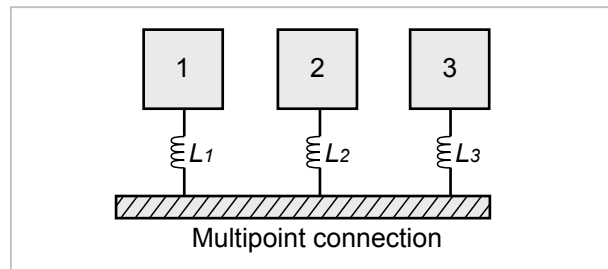
如圖一所示，圖一(a)串接單點接地是最差的接地方式，因為任何導線都會呈現DC電阻，流經這些導線的電流會因電阻值過大而產生壓降，不過因為此種接地方式可省工省料反而經常使用。圖一(b)為並接單點接地系統，這是低頻電路之最佳接地方式，非常適合於低頻(低速)之電路、設備(頻率低於1MHz)，例如音訊電路(audio circuits)、類比裝置(analog instrumentation)以及60Hz/DC電力系統。



圖一 單點接地系統

(2) 多點接地系統

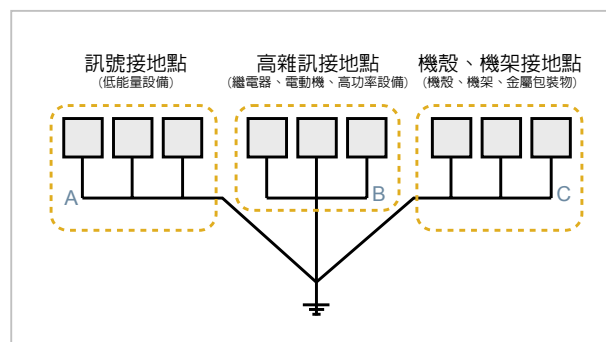
如圖二所示，多點接地可以克服單點接地的問題，因為多點接地使用的接地線較短，長度約 $\lambda/10$ ，可降低高頻阻抗及天線效應 (radiate RF energy、crosstalk)，適用於高頻(高速)數位電路/設備，其缺點是會有共地阻抗與地迴路的問題，會造成雜訊電壓耦合及電場、磁場干擾/耐受的問題。所以為減少地迴路面積及阻抗，採用多點接地時，各接地點之間的距離應限制在最高工作頻率的 $\lambda/20$ 。



圖二 多點接地系統

(3) 混合式接地系統

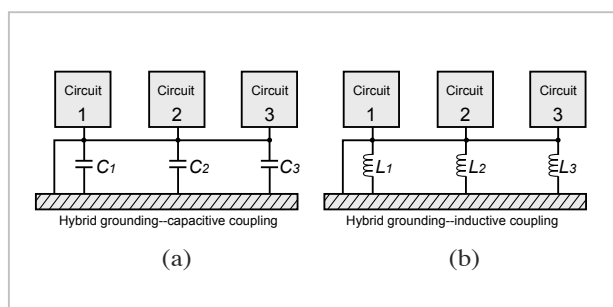
混合式接地是十分實用也是最常使用的低頻接地系統，綜合串接單點接地與並接單點接地的優點，不僅可合乎低雜訊的要求亦可避免複雜的接線需求。使用時必須以設備的能量/功率大小及雜訊大小為分類原則，因此混合式接地系統至少要求三個分開的接地點，如圖三所示，訊號用接地點用於低能量/功率的設備，絕對不可與高能量/功率或高雜訊的設備如繼電器、發電機等共用接地點，另外亦需要機殼接地點專供金屬機殼、機架及底盤使用，最後三個接地點接於同一個接地點之上。



圖三 混合式接地系統

(4) 選擇性接地系統

選擇性接地系統是使用電容、電感等被動元件的頻率特性達到低頻及高頻均可適用的目的，常應用於電路設計和對策改良。如圖四(a)就是在並接單點接地系統中使用電容接地，依據電容低頻開路的特性，低頻(kHz)時單點接地以及高頻(MHz)時多點近處接地；另外圖四(b)則是在並接單點接地系統中使用電感接地，依據電感高頻開路的特性，對於RF訊號(kHz)是單點接地，而對於60Hz電力系統(safety GND)則達到近處多點接地的目的。但是使用選擇性接地系統必須特別注意電容、電感可能產生的寄生共振(spurious resonance)問題。



圖四選擇性接地系統

三、接地對EMI特性之影響

接地設計對EMI特性的影響，如表一所示。

表一 接地設計對EMI特性的影響

傳導干擾	共地阻抗造成的壓降。
	接地阻抗對電源濾波器的影響。
輻射干擾	接地線的天線效應。
	地迴路的輻射效應。
	接地阻抗對同軸纜線隔離效果之影響。

(一) 接地設計與傳導干擾之關係

由表一可知，不良的接地設計可能會衍生出

① 共地阻抗造成的壓降及②接地阻抗造成電源濾波器的失效，因而導致傳導EMI特性的改變。

1. 共地雜訊之耦合

共地是車輛上常見的接地方式，也就是以車體為電流迴路，亦可稱之為車體接地(chassis ground)，此時車體本身的阻抗將可能形成共地雜訊的耦合。車輛上另外常見之電源配置方式則是以線束作為電流迴路，可稱之為線束接地(wired ground)，此配置之迴路雜訊耦合是由線路阻抗產生。由於高頻時感抗為隨頻率而增加，此時接地線的阻抗均為感抗之成分。當頻率越高，阻抗越高，導致接地端的電壓變大；以及電感值越高的接地線或車體，其接地端的電壓起伏更大。

2. 接地阻抗對電源濾波器的影響

濾波效果越佳的濾波器，其插入損失越高，不過因為接地阻抗對電源濾波器最主要的影響就是降低濾波器的插入損失。所以濾波器的接地設計應考慮接地阻抗對於差模插入損失(Insertion Loss)與共模插入損失的影響。

(二) 接地設計與輻射干擾之關係

由表一可知，不良的接地設計可能會衍生出

① 接地線的天線效應、②地迴路的輻射效應及③同軸纜線的隔離失效，因而導致輻射EMI特性的改變。

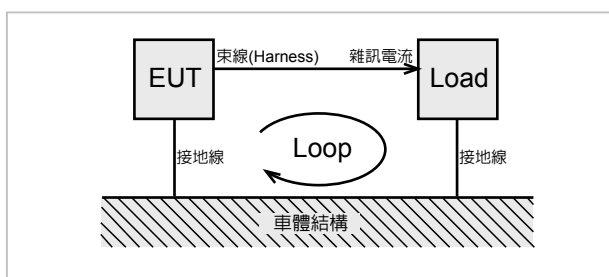


1. 接地線的天線效應

接地線的天線效應一般發生在頻率30MHz之後，當接地線的長度與工作/雜訊電流頻率的或相當時，此電流就可能透過此長度的接地線產生輻射效應。另外接地線的輻射干擾與接地線長度、工作/雜訊電流值(共/差模)有關，線長越長及雜訊電流值越高，則輻射強度越大。

2. 地迴路的輻射效應

車輛上常出現的線束配置為如圖五所示，線束與車體結構平行故稱之為平行線束(含電源/訊號線)配置，其輻射干擾主要由地迴路產生。由於地迴路的輻射效應與接地阻抗並無直接之關係，僅與電裝設備之線束配置面積有關。地迴路面積越大，其輻射強度越高。因此降低地迴路的輻射效應的方法為①減少連接線的長度 l 及②減少迴路平均高度 h 。不過由於連接線的長度 l ，一般已取至最適合長度，因此就實際應用而言，減少迴路平均高度 h 方為上策。



圖五車輛上之平行線束配置

3. 同軸纜線的隔離效果

轉移阻抗(Transfer Impedance)是分析同軸纜線隔離效果的重要參數，越小，耦合電壓越小，表示隔離效果越佳。表二為各種連接方式之轉移阻抗，由此可知接地效果越佳的接方式，其轉移阻抗較低，可達較佳的隔離效果。

表二 各種連接方式之轉移阻抗

Connectors	Z_{tc}
BNC	$1 \sim 3m\Omega + j0.03m\Omega \times F_{MHz}$
N.TNC	$0.1m\Omega + j0.01m\Omega \times F_{MHz}$
Multipin with simple slide-on mating (e.g.. Sub-D)	$5 \sim 30m\Omega + j1m\Omega \times F_{MHz}$
5cm (2 in) pigtail	$2.6m\Omega + j0.3\Omega \times F_{MHz}$

除了上述三項之外，金屬機殼的隔離效果與其材料之趨膚深度(skin depth)有關，與接地阻抗並無直接之關係。趨膚深度越小，隔離效果越佳，而導電率越佳之金屬，其趨膚深度越小。另外孔洞的設計也會影響金屬機殼的隔離效果，例如孔洞形狀、孔洞深度(厚度)及開孔率等。換言之，屏蔽材料的選定與孔洞的設計才是決定隔離效果優劣的關鍵。

四、車輛整車接地阻抗的量測方法介紹

(一) 向量網路分析儀(VNA)量測

此量測方法雖然可直接量得與頻率相關之阻抗值，但是受限於量測探針之量測距離僅2cm(因為VNA通常使用在局部金屬間阻抗之量測)，必須再另外透過一條量測線，才能量測到車體各接地點間之阻抗值。如此一來，VNA量到是量測線的阻抗，

而非車體之阻抗。一般而言，向量網路分析儀適用於車體之接地/搭接電阻及局部金屬間的阻抗量測，量測頻率10MHz以下。

(二) 時域反射儀(TDR)加高頻電壓探棒量測

由於目前沒有可以直接量取高頻車體接地阻抗的量測方法，因此採取高頻電壓探棒量測方法與TDR量測方法搭配使用。先以TDR量測車體各接地點間的電感，此電感量測值之頻寬為9GHz；再以高頻電壓探棒確認各頻率點之電壓值，可看出車體接地點間的阻抗變化，藉此方法間接取得與頻率相關之阻抗值。

由量測結果可明顯比較出，當TDR量測之電感值越大，使用高頻電壓探棒量測到之電壓越大。由此可知使用高頻電壓量測結果及TDR量測結果用來判定接地阻抗值的大小是具有可信度。但是目前受到量測線長度之影響及探棒本身特性之限制，僅在頻率範圍150kHz至30MHz內之量測數據才具有參考價值。

五、結論

1. 接地對於車輛EMC而言是十分重要的產品設計與對策方向，接地的良莠、接地的形式都會影響車輛的EMC特性。設計階段做好良好的接地設計將可事半功倍，因此如何判定接地的好壞及選擇合適的接地型式是車輛EMC工程師必須深入研究的重要課題。
2. 目前全球受限於量測儀器之功能，尚未發展出車輛整車接地阻抗的量測方法，現有的量測技術僅能提供頻率10MHz以下之接地/搭接電阻及局部金屬間的阻抗量測。為此，車輛中心於93年經過多次的嘗試與檢討，已發展出『TDR(時域反射儀)加上車體接地點之電壓量測』之車輛整車接地阻抗的評估方法。量測頻率範圍可達150kHz至30MHz，將可作為國內車廠進行相關研究的參考方法。





六、參考文獻

- [1] M. Mardiguian, EMI Troubleshooting Techniques, McGRAW-HILL, 1999.
- [2] EMC for product designers 3rd, Newnes, 2001.
- [3] W. J. Liao, B. A. Baertlein, and W. Gilmore, "The role of grounding in automotive EMC," IEEE International Symp. on EMC, pp.745-750, Aug.,1999.
- [4] J. Park and J. Han, "Reduction of automotive audio noise due to ignition system," IEEE International EMC Symp., pp.543-548, 1997.
- [5] CISPR 25, 2004 : Radio disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles, boats, and on devices - Limits and methods of measurement.
- [6] Martin O'Hara, and James Colebrooke, "Automotive EMC Test Harnesses: Standard Lengths and their Effect on Conducted Emissions", IEEE International Symposium on EMC, 2003.
- [7] Martin O'Hara, and James Colebrooke, "Automotive Test Harness: Standard Lengths and Their Effect on Radiated Emissions", York EMC 2003.
- [8] 林國榮,"電磁干擾與控制",全華科技,2002.
- [9] 董光天,"電磁干擾防制與量測",全華科技,2002.
- [10] DB-92-0001,"接地阻抗對車輛電磁相容性影響之研究",財團法人車輛研究測試中心,2003.
- [11] DB-92-0019,"車輛常用接地型式之特性研究報告",財團法人車輛研究測試中心,2003.
- [12] CP-93-0049,"車輛接地阻抗對EMI特性影響評估研究報告",財團法人車輛研究測試中心,2004.
- [13] CP-93-0050,"車輛整車接地阻抗量測報告",財團法人車輛研究測試中心,2004.

