



車輛零組件之 電源暫態效應偵錯改良研究

財團法人車輛研究測試中心 謝宏周

一、前言

過去的汽車上只有收音機、卡座及少數的CD娛樂播放設備，但隨著時代的進步，近年來汽車上的零組件產品越來越多，包括非常普及的VCD / DVD影音設備、以及目前用車人接受度相當高的車用無線通訊網路、數位電視、藍芽通訊與GPS衛星導航系統等，使得車上產品呈現更多元化發展。

然而，大部分車輛零組件都是使用電瓶作為供電的來源，由於啟動瞬間或馬達發電機開關瞬間會產生極大的電源突波，此暫態現象會發生於車輛的線束(Harness)上，造成電感性負載變化、負載傾注(Load Dump)，及切換過程所產生的暫態波與供電電壓下降等問題。

為了確保車輛零組件的正常作動，汽車電子測試的嚴苛度(Severity Level)比資訊家電產業高很多，目的為確認待測件之電源線與訊號線對於內部傳導暫態波的免疫力，在設計產品初期，若能考量產品的電磁耐受力(Electromagnetic Susceptibility, EMS)，可免於測試過程中因過大的暫態波，導致電子產品損壞。

二、ISO 7637傳導暫態試驗

大家都知道，喝了不清潔的水，人一定會生病；但你知道嗎？車輛零組件流過不乾淨的電源，車子也會出毛病。什麼叫做不乾淨的電源？除了不正常的斷電之外，最大的罪魁禍首就是「暫態」。

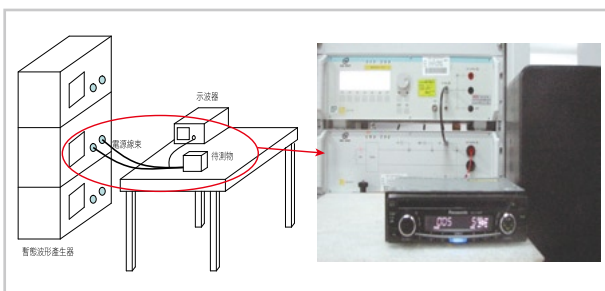
「暫態」是電壓短時間內突然不正常陡升或陡降現象，在複雜的車上環境經常發生。當有消耗較大電力的電器，如電動窗、啟動馬達等被開啓 / 關閉電源時，或車內開關切換、線路故障等，都會產生暫態現象。而車輛零組件如音響、行車電腦等精密電子產品，則相當害怕暫態波，因為這些產品內部使用大量微電子元件，而微電子元件極容易被暫態波破壞，因此如何保護這些精密電子產品免於破壞，就成了相當重要的課題。為保護車輛零組件的正常作動，各國分別推派其國內各大車廠、零組件廠、實驗室及實驗設備製造商等EMC領域專家代表，於ISO標準制定組織組成ISO車輛電磁相容工作小組(TC 22/WG3)，制定車輛傳導暫態耐受試驗(ISO 7637-2)，此項國際標準模擬汽車電路產生的5大類8種暫態波形[1]，各波形的特性描述如表1。

▼ 表1. ISO 7637-2波形特性描述

測試項目	實物舉例 (註1)
Pulse1	雨刷馬達電源移除時，由線圈所產生的暫態波。
Pulse2a	音響、車燈等，當負載電源關閉，流經線束上之電流變小，線束上的雜散電感產生放電的現象，並對待測物造成了一個瞬間的暫態波。
Pulse2b	當永久磁鐵馬達雨刷、鼓風機馬達等正在運轉時，將供應其運轉之電源移除，在電源移除後到馬達運轉完全停止的這段期間，馬達因慣性繼續轉動所產生的暫態波。
Pulse3a、3b	因切換過程所引起的暫態脈波。如點火開關斷開，供給馬達、線圈等的電源所產生的電弧放電現象。
Pulse4	引擎、冷氣機啟動時，由於電瓶需要供應大量的電流給起動馬達，此時電瓶供應給其它電器產品之電壓會產生暫時性的下降。
Pulse5a、5b	正在充電的電池瞬間脫離交流發電機，同時交流發電機仍然供應其它負載的瞬間所產生的暫態波。

註1：實際物理說明請參閱ISO 7637-2 附錄F說明

執行ISO 7637傳導暫態試驗時，為使測試具有一致性和重複性，標準要求暫態脈波產生器和待測物兩端間的線束，必須拉直且平行在金屬接地平面上高度為50 mm及長度為0.5 m。暫態脈波產生器將脈波輸出到線束上，並經由線束進入到待測物，並觀察待測物在測試期間之功能狀態，脈波輸出可利用示波器進行脈波監控，測試配置如圖1所示。實際試驗結果將由試驗人員於測試前、中、後等3個階段進行現象記錄，並交由車廠驗收人員判斷產品是否符合其車廠設計要求。



▲ 圖1. ISO 7637傳導暫態測試配置

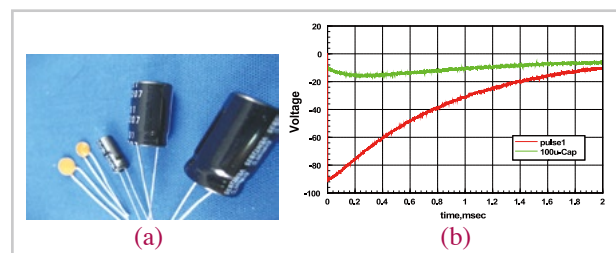
三、暫態效應對策元件

為了保護車輛零組件避免受到車上電源暫態波的破壞，採用適當的保護措施便顯得格外重要，而各電路的保護對於暫態抑制規格需求也有所不同，本文將對箝位元件及濾波器（電容）做廣泛之描述與說明。

箝位元件也稱為電壓或電流限制器，包含了稽納二極體、暫態電壓抑制器、金屬氧化鋅變阻器等，通常藉由快速的狀態變換，將電壓與電流值穩定在電路可承受的範圍值內。雖可由箝位器降低電壓或電流值，達到保護設備的目的，但是某些雜訊頻率大小卻足以干擾到系統，對於較靈敏的電路，其頻率影響遠大於電壓、電流的準位變動，因此濾波器（電容）的保護也是不可缺少的。

(一) 電容

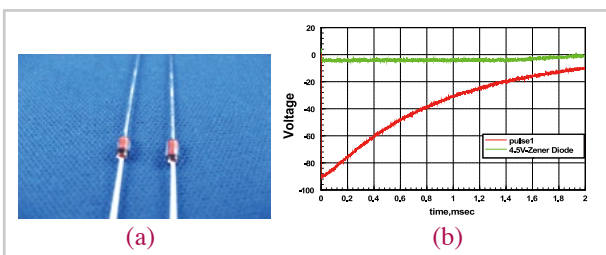
電容的等效電路為一RLC串聯之形式[2]，電容會因超過某一頻率點而轉換其特性，此頻率為電容的自共振頻率 (f_0)，當頻率低於 f_0 時電容呈現電容性，當頻率高於 f_0 後便會呈現電感性，使用電容時，要特別留意自共振頻率點。電容常用來作為旁路EMI之元件（圖2(a)），電容可提供一低阻抗路徑來旁路不必要的高頻雜訊，亦可做為暫態波的穩壓元件，圖2(b)為電容對ISO 7637 測試脈波1(Pulse 1)之抑制效果，電容延緩了暫態波的影響。



▲ 圖2. 電容 (a)實體圖 (b) ISO 7637 Pulse 1之抑制效果

(二) 稽納二極體 (Zener Diode)

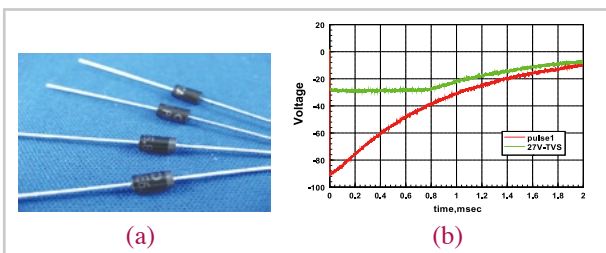
Zener Diode常用於穩壓電路及過電壓保護電路，如圖3(a)所示，具有方向性，順向偏壓操作時，和二極體特性相同，作為暫態保護器時，操作在逆向偏壓，當電壓超過稽納二極體的崩潰電壓後，Zener Diode會將偏壓固定在崩潰電壓的值，以避免過電壓對電路造成損害。圖3(b)為Zener Diode對ISO 7637測試脈波1之抑制效果，加入Zener Diode後，輸出穩壓在崩潰電壓的值。



▲ 圖3. Zener Diode (a)實體圖 (b) ISO 7637 Pulse 1之抑制效果

(三) 暫態電壓抑制器 (Transient Voltage Suppressor, TVS)

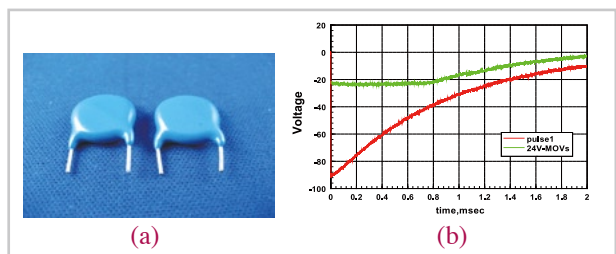
TVS為崩潰二極體結構，如圖4(a)所示，主要功能為暫態波抑制，也就是將高於正常電壓的暫態波抑制而不會破壞電路元件之耐受電壓，可吸收400w到5000w的突波能量。做法類似將兩個稽納二極體背對背串聯，雙向性對於正向或是逆向之突波電壓均能夠提供抑制的效果，圖4(b)為TVS對ISO 7637測試脈波1之抑制效果 [3,4]。



▲ 圖4. TVS (a)實體圖 (b) ISO 7637 Pulse 1抑制的效果

(四) 金屬氧化物變阻器 (Metal Oxide Varistors, MOVs)

MOVs通稱為變阻器(Varistors)[5]，整體性能表現類似TVS，且價格較TVS便宜，但是MOVs易受突波吸受次數而逐漸劣化其性能表現。MOVs外觀常為圓形雙接腳狀，如圖5(a)所示，材料由氧化鋅和鉍(Bi)、鈷(Co)、錳(Mn)及其它的氧化金屬混合燒結而成，當電壓未達其崩潰電壓時，兩端之阻抗非常大且呈現開路的狀態，當電壓超過其崩潰電壓之後，電流便會開始導通，隨著兩端的電壓升高，電流會呈現非線性的倍數成長，為一雙向性之元件，用來作為暫態高電壓的保護元件，MOVs具有高度非線性阻抗特性，能承受很高峰值電流，圖5(b)為MOVs對ISO 7637測試脈波1抑制的效果。



▲ 圖5. MOVs (a)實體圖 (b) ISO 7637 Pulse 1抑制的效果

(五) 最佳的暫態效應對策元件

暫態效應抑制元件各有其優缺點，目的為將暫態阻隔或疏導以達到保護電路效果，以下我們將提出的抑制元件做比較，使用者可依成本、應用與功能等，考慮選擇最佳的暫態波對策元件。

TVS與電容：許多設計人員願意採用SMD型電容作突波保護，其好處是價格便宜且設計簡便，但這類元件對高壓的承受力卻比較弱。當突波電壓大於電



容電壓承受力，將使電容失效或損壞，然而TVS可承受上千伏特的電壓，對電路有較佳的保護效果。故如不考慮使用TVS做為暫態抑制元件而選擇電容時，電路設計人員須確保使用於電路之電容規格是否可符合驗證標準之需求。

TVS與稽納二極體：由於稽納二極體對於高壓承受力較差（耐功率低），稽納二極體多用在保護電路的最後一級，以確保電路端可順利地在直流電系統的架構使用，然而TVS有較大的P/N接面積，此結構可改進稽納二極體之缺點，使TVS具有更強的高壓承受能力。

TVS與MOVs：如上文所示，通常MOVs具有高度非線性阻抗特性，能承受很高峰值電流等特性，但一般電路設計工程師使用此元件時，覺得其反應時間較為緩慢，只適合用於對電壓變動不太敏感的電路。然而TVS除了有MOVs耐瞬時高壓的特性，且還具有較低的電容值，此低電容特性，對於保護高頻電路非常重要，因為過高的電容值會影響反應時間，造成失真或效果不佳。MOVs為圓片狀雙腳，穿孔式元件，在封裝上會受到限制，TVS提供多種不同的封裝

形式，除了DIP與SMD封裝外，像SOT23和SC-70，與晶片同等大小的Flip Chip微型封裝，可符合最近新無線通訊產品要求的高整合度、小型化要求。

上述為對策元件的特性比較，使用上需特別考量其限制之因素，如確認可行仍可自由使用。然而TVS因具有以下之優點，故在車輛電子電路上常採用TVS作為電源端保護電路之暫態效應抑制元件。

1. 低電容性，有較短的反應時間，可應用於高頻電路。
2. 低工作電壓，可保護後級的電路，如應用在IC設計上就必須達到所要求的3.3V以下。
3. 較佳的能量吸收能力，可大幅吸收暫態波所產生的高功率能量。
4. 價格適中與性能不易劣化，可大量使用於I/O和電源輸入端。
5. 多種不同的封裝結構，可適用於各類產品電路設計之需求。

四、暫態波形等效電路

本文將模擬暫態波形等效電路，並運用等效電路模型來改良EMC特性，使得汽車電子工程師能在電路設計初期，即可預先知道車輛內電子零組件的EMC特性。

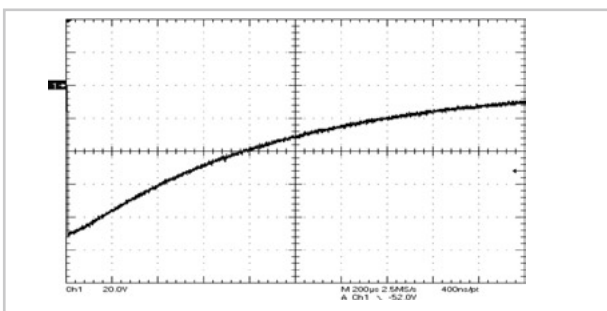
為了快速得到等效電路的準確性，本次研究使用ADS(Advanced Design System)之時域電路模擬功能，有助於從訊號波形去了解暫態波；同時ADS的

功能較容易和其它軟體做整合，透過此套軟體，來幫助建立等效電路，並提供有用的驗證，以確定等效電路的準確性。

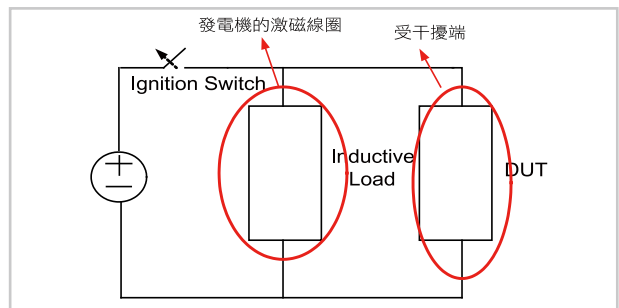
本文將以建立測試脈波1(圖6)的等效電路進行說明，其波形參數如表2所示。首先需瞭解暫態波的電路特性(圖7)，測試脈波1為模擬電感性負載(發電機的激磁線圈)由於電源切斷，激磁線圈因而於電源網路上產生一負電脈波。依據上述條件進行ADS軟體設定，使用初始電壓條件(InitCond)代替直流電源，搭配暫態模擬(Transient)來模擬時域波形，調整運算時間步階(Time Step)，來代替繼電器及開關的功能，藉由ADS內最佳化的功能做曲線上趨近，圖8為模擬的測試脈波1等效電路模型，圖9為模擬時域波形的表現，從比較結果得知等效電路模型的曲線與實際量測之曲線非常相近，因此所建立的暫態波形等效電路模型將能充份表達暫態波形的電氣特性[6]。

▼ 表2. ISO 7637 測試脈波1波形參數值

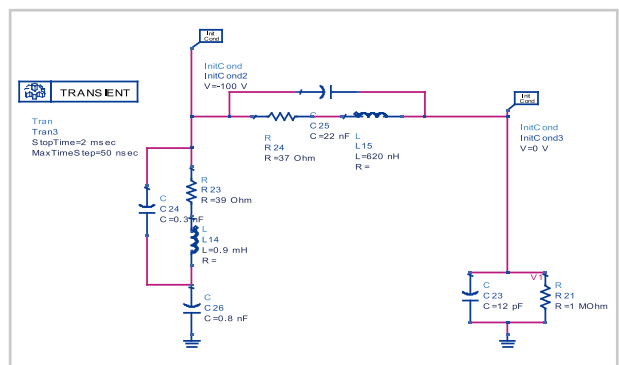
Parameter	12 V system	24 V system
U_0	-75 V to -100 V	-450 V to -600 V
R_1	10 Ω	50 Ω
t_d	2 ms	1 ms
t_f	1 ₋₀₅ μ s	3 _{-1,5} μ s
t_1^a	0,5 s to 5 s	
t_2	200 ms	
t_3^b	< 100 μ s	



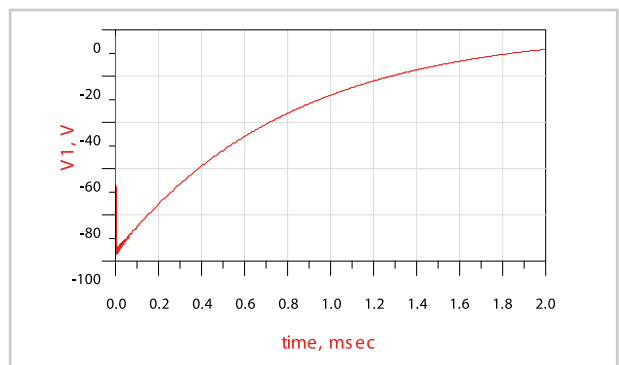
▲ 圖6. ISO 7637 測試脈波的時域波形



▲ 圖7. ISO 7637 測試脈波電路特性



▲ 圖8. 測試脈波1等效電路模型



▲ 圖9. ADS模擬測試脈波1的時域波形

五、暫態效應之偵錯改良實例

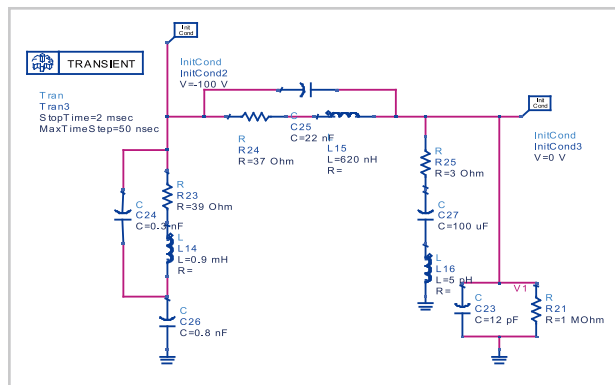
本案例的待測物為車用音響，試驗標準為ISO 7637-2 Pulse 1 Level 3，表3為測試結果的功能狀態等級分類(Function Performance Status Classification, FPSC)[7]。測試過程中暫態波造成車用音響關機

(Power OFF)，測試結束後需關閉 / 開啓待測裝置才能恢復正常，依ISO 7637功能狀態等級分類判定為III級，由於此狀態表現已易引起車輛使用者之困擾，且此現象如發生於車輛行進中，將造成車輛駕駛者分心去回復此功能可能造成行車安全之問題，所以一般車廠無法接受此狀態表現。分析Pulse 1為模擬電感性負載因電源切斷時所引起的暫態現象，推論失效的可能原因為暫態對電路造成暫時性的斷電而關機，而其中關鍵的兩項參數為暫態波的電壓值與負電持續時間。

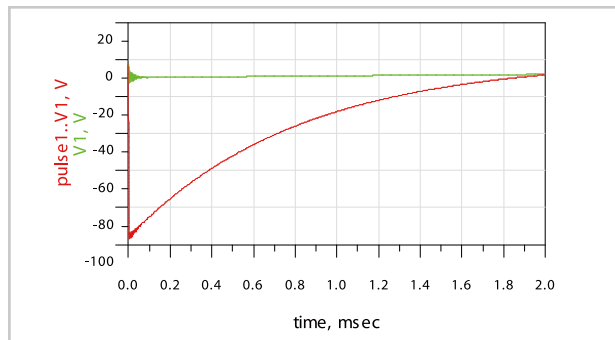
在實際改良案例中，依上述原因分析，改採用電容作為降低暫態波（電壓值與持續時間）影響之對策元件，並同時利用電容具儲能之特性提供電路穩壓之效果。同時利用ADS功能模擬以驗證在等效電路的電源輸入端並聯一旁路電容(100 uF)之效果，整體等效電路如圖10所示。加入電容後之模擬波形如圖11所示，時域波形變得較為平坦，可大幅降低暫態波的影響。從等效電路得到的預測結果，應用在實際的車用音響產品偵錯改良上，在車用音響的電源輸入端並聯一電容(100 uF)，如圖12所示，加入電容後實際量測得到的時域波形變得較為平坦（圖13），功能狀態分類也從III級變成II級，從比較結果可看出，等效電路模型加上並聯電容，和實際車用音響並聯電容的量測結果是很接近的，因此建立的暫態波形等效電路，將使EMC工程師能預測暫態現象，幫助EMC工程師進一步了解暫態對車用電子產品的影響。

▼ 表3. 車用音響功能狀態等級分類

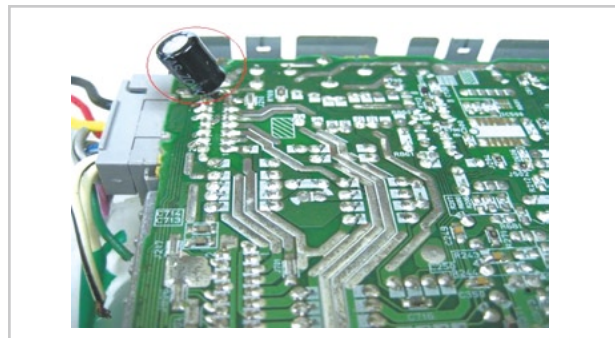
功能狀態	
車用音響在測試期間功能表現與設計相同	I
車用音響在測試期間功能表現與設計不同，在測試結束後功能可自動恢復正常	II
車用音響在測試期間功能表現與設計不同，在測試結束後需關閉/開啓待測裝置，或是旋轉點火開關才能恢復正常	III
車用音響在測試期間功能表現與設計不同，在測試結束後需切斷及重新連接電瓶或電源饋入才能恢復正常	IV



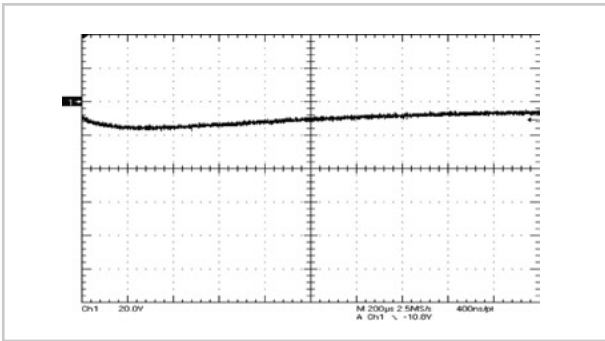
▲ 圖10. 加入並聯電容的等效電路模型



▲ 圖11. 等效電路加入並聯電容的時域波形



▲ 圖12. 加入並聯電容的車用音響



▲ 圖13. 車用音響加上並聯電容的時域波形

六、結論

近年來汽車電子產品發展相當熱門，國內業者憑著過去累積之消費性電子、資訊及車燈照明開發技術，相繼跨足汽車電子產品開發；然而汽車電子屬於高技術門檻產業，必須符合汽車極為嚴苛之品質、使用環境與可靠度要求，其中產品之電磁相容性議題，也是設計開發之初須要掌握的關鍵之一。

有鑑於此，車輛中心除提供電磁相容之測試服務外，更積極與國內零組件廠商合作，從上述產品EMC偵錯、分析問題及改良對策進行，亦如同在案例中可有效解決產品異常現象，並在偵錯改良上提供廠商完整的建議與對策。

七、參考文獻

- [1] ISO 7637-2:2004-06, Road vehicles -Electrical disturbances from conduction and coupling -Part 2:Electrical transient conduction along supply lines only.
- [2] Clayton R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- [3] 葉中雄、曾衍彰、蔡文發, "電磁干擾與防護," 1992.
- [4] SFI, Transient Voltage Suppressors, Multilayer Surface Mount TVS.
- [5] EMP Engineering and Design Principle, Bell Lab. pp.99-108, 1975.
- [6] T.S. Horng, S.M. Wu, A. Tseng, and H.H. Huang, "Electrical modeling of enhanced ball grid array packages using coupled transmission lines," Electronics Letters, Vol. 35, No. 18, pp. 1567-1568, Sep. 1999.
- [7] ISO 7637-2 AMENDMENT 1, 2008: Road vehicles - Electrical disturbances from conduction and coupling - Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only AMENDMENT 1