

華創車電技術中心 車輛電子系統整合驗證流程與方法

華創車電技術中心 林凡蛟、蔡旭倫、王柏堯、饒憲秋

摘要：

整車設計開發為台灣的新興產業。為了讓新設計之電子系統能於實車之複雜環境中運作正常，工程單位通常會依循固定嚴謹的流程、方法進行驗證。

依傳統的V-cycle分析，驗證流程必須依照部品層、系統層、整車層之順序逐一實施。由複雜性較低的環節切入，各單位分層確保。

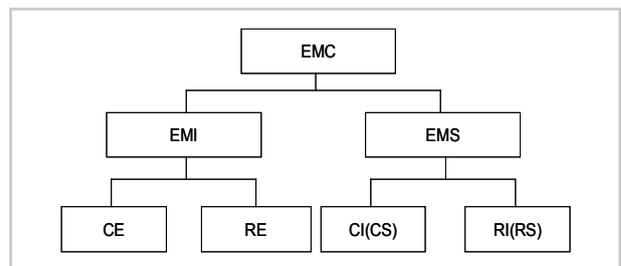
若未能嚴謹善盡各層級之驗證責任，或許可能發生諸如必須於實車上尋找單一部品特定問題的棘手狀況，相當耗時耗力。為達成有效之分層確保目標，各層級之驗證重點與方法敘述如下。

一、車輛電子裝備部品層測試驗證流程與方法

車輛電子部品及整車EMC (Electromagnetic Compatibility)測試，共同與車輛中心(ARTC)合作，研究驗證手法、法規測試、廠規修訂等以提升整車EMC表現，測試分為EMI (Electromagnetic Interference)、EMS(Electromagnetic Susceptibility)、電源變動與靜電放電等項目、如圖1所示，依安全等級分類其測試標準，執行單件EMC測試之原因為降低整車EMC之問題，依測試項目分為Conduction Emission(CE)、Radiation Emission(RE)、Conduction Immunity(CI)、Radiation Immunity(RI)、Electro Static Discharge(ESD)。一台車輛中可能會有20~30

件以上的車輛電子部品或系統需要分別執行測試。

通常單品會造成EMI問題的原因為電子電路中電流與時間的瞬時變化，進而演變成電磁輻射或傳導性的擾動汙染。



▲ 圖1. EMC架構

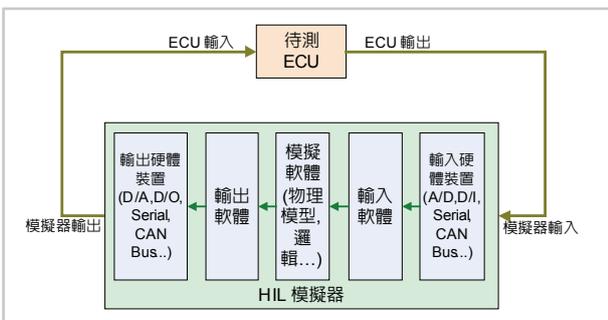
測試電子控制單元(Electronic Control Unit，ECU)最簡單的方式莫過於將該ECU所需之輸出入元件接上迴路中，考慮到設計初期並非所有ECU所須的元件及連接線束皆能於測試前順利產出（特別是當待測ECU的對手件是另一個ECU時），故使用HIL方法進行部品驗證就成了較可行之方案。對於簡單的感應器訊號，可以使用一般儀器設備如電源供應器、訊號產生器等提供，但如果訊號中含有複雜的特性方程式或邏輯控制時，一般的儀器設備就可能不敷使用，此時需要專業的HIL模擬器以進行測試。

所謂的HIL模擬器必須能同時產生及擷取與真實元件相同頻率與振幅之訊號，此外為了測試ECU在不同負載下之反應，模擬器還需要能模擬不同類別之元件阻抗。

除了測試ECU基本邏輯外，HIL還能測試當失效發生時，ECU的反應是否可能失控，因此模擬器的FIU元件便是為了產生元件硬體或軟體邏輯上的失效情況而存在。

車輛系統中包含許多不同的通訊介面，如CAN BUS、LIN BUS、FlexRay 等，模擬器也必須支援匯流排相關測試。

部份訊號的產生取決於ECU本身輸出，因此模擬器需能即時擷取ECU訊號並加以處理運用。全球有許多不同廠商皆提供了類似的HIL模擬器，其中以dSPACE與Nation Instruments較為普及。雖然各HIL模擬器軟體設計上皆不相同，但基本架構還是近似的。下圖2為典型HIL模擬器與待測ECU系統架構。



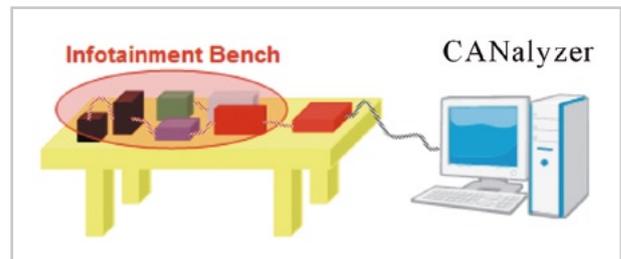
▲ 圖2. HIL 模擬器與待測ECU系統架構

二、車輛電子裝備系統層測試驗證流程與方法

汽車設計中心之車輛電子裝備系統層驗證方法，主要透過下列三種工具完成：Subsystem Test Bench、Static EE Buck、Dynamic Vehicle Buck。

其中Subsystem Test Bench，可以針對各特殊系統進行平台架設驗證。主要根據以下原則來架設平台：

1. 組成單元較複雜之次系統：以HAITEC開發之Infotainment System專案為例，其中牽扯到之單元有：CARPC、Radio DVD、Front Display、Rear Display、DVB-TV、IPOD、TPMS、HMI、NightView ECU、BirdView ECU 等。針對此類包含較多單元之次系統，通常會獨立架設一驗證平台，以確保其與它系統能保持隔離之狀態：如此方可達成它系統肇生之問題不會感染至本系統、本系統內部的問題也不會連動至它系統。HAITEC所架設之Infotainment System如下圖所示：



▲ 圖3. 車載資訊系統專用測試台之一

2. 內含不易測試單元之系統，如對應特殊機構與負載的電機系統。以Power Sliding Door系統來說，欲完整測試其機能，必須準備一包含如下項目之獨立平台：與實際重量吻合的滑門、能承載滑門運動的溝槽。如此之測試平台將為一獨特、客製化測試工具。

其中Static EE Buck，主要將全車所有電機、電子部品，以符合實際狀況的harness串接，同時使用電壓可調整之大電流電源供應器來取代電瓶。

在Static EE Buck之架設上，有諸多值得探討的學問：

1. Static EE Buck尺寸問題：Static EE Buck長寬高尺寸以盡量貼近實車為佳，如此能較準確的模擬車用環境，諸如無線通訊設備之有效距離、Bird View系統之顯影完整性等等。（圖4：大型EE Buck台架）



▲ 圖4. 系統整合驗證平台EE BUCK

2. Static EE Buck接地問題：實際汽車系統中，會將全車線束區分為十數個接地點，每個接地點再與相對應之板金接合，因全車板金全數互通，故十數個接地點也會彼此導通。為了模擬上述之實車狀況，我們常用以下兩種手法來模擬接地：

- (1) 將大電流電源供應器之負極，透過多條harness與十數個接地點相接。
- (2) 將電源供應器之負極與各線束主要接地點共接在大型導通板上。

3. Static EE Buck測試程序問題：一個全新設計之車型，包含線束、各電子部品等，大多是處於未經過驗證的狀態，如此前提下若冒然組立一個Static EE Buck並直接展開測試，可能會有短路、部品毀損之疑慮。因此Static EE Buck主要以如下流程測試：

- (1) 線束分段Pin To Pin測試；
- (2) 線束連結End To End測試；
- (3) 線束連結絕緣測試（如圖5）；
- (4) Static EE Buck組立並安裝所有線束與電子部品；
- (5) 送電（保險絲確認）暨主要通訊架構確認；
- (6) 分系統測試；
- (7) 線束潛行迴路暨短路測試。



▲ 圖5. 線束絕緣測試

4. Static EE Buck測試用途：Static EE Buck最根本的使用方式乃測試者依照測試文件執行特定操作程序，並由此觀察系統之外現性。然而，因本測試平台之所有線束皆外露，可方便測試者對系統做深入之故障排除、甚至進一步對電氣特性（電流、電壓、訊號、timing chart等參數）作量測。

比Static EE Buck更進一步的測試平台，即為Dynamic Vehicle Buck（如圖6）。此種測試平台，更專注於重現貼近實車原貌的機電整合、及部品的空間配置影響。在Dynamic EE Buck上，能完整進行汽車電動座椅（體積較大之部件）、電動窗、電動尾門、電動滑門、電動天窗、甚至是啟動馬達之cranking測試。而這些都是Static EE Buck所缺乏者。



▲ 圖6. 整合車載資訊系統之Vehicle Buck

電裝系統部品驗證階段主要目的為測試ECU單品，除測試ECU所有基本功能外，對於ECU的失效模式處理與惡意操作更是測試重點。在此階段必須確保ECU設計上與需求吻合，並能通過各種不同條件的測試，務必在此階段找出ECU任何可能的問題，包含軟體、硬體或設計缺失。

系統驗證階段最直接簡單的方式為架設EE Buck，但相對的EE Buck也存在著許多限制：

1. 線束往往是最後一個完成設計，因此既使其餘ECU原型機已完成設計，EE Buck的架設時程依然會受到線束影響，無法提前展開測試。
2. EE Buck必須依靠人力實際操作執行測試，且受限系統設計，一次僅能容許單人執行單一功能測試，因此測試過程曠日費時。
3. 某些操作手法，特別是惡意操作測試，不容易重複再現。
4. 部分簡單動態測試可以透過模擬訊號達成，但系統階層甚至全車性動態測試則無法執行相關測試。凡此以上種種皆限制了EE Buck所能執行之測試範圍，因此在系統階段HIL(Hardware In Loop)測試更顯出其優勢。

系統驗證階段與部品驗證階段HIL最大的差異在於整車動態測試。除了基本的各系統測試外，此階段可以利用HIL整合全車ECU配合實車動態模型組成虛擬車(Virtual Vehicle)。虛擬車的組成不需要等待實車線束完成設計，即可執行驗證作業；因為虛擬車以HIL模擬器內部迴路替代實際迴路，此外如有任何ECU單品未及時完成設計，也可使用HIL模擬器模擬該ECU的方式組成虛擬車，並於測試車實際組裝前進行各項動靜態測試。測試目的除確認整車各系統整合功能是否如設計外，尚能針對各種不同駕駛環境、條件進行模擬測試，及連續自動化測試，不僅將進行測試時間提前，同時大幅縮短了測試時間，也減少測試所需人力及可能危險性。

車輛ECU通常透過線束以及通訊介面相互溝通，故於EMC測試中通常會加入負載或以整合式系統一同測試，舉例來說，於繼電器負載端未加入負載時，所產生的電源擾動即會減小許多，圖7為模擬chattering relay的波形狀態來驗證電子系統是否會被瞬間的電壓變化所影響而造成破壞，或者以電壓瞬斷、模擬啓動波形等狀況來對於整合式系統來進行測試。



▲ 圖7. Chattering relay波形狀態



三、車輛電子系統整車層測試驗證流程與方法

整車層電子系統測試可說為實車開發階段最重要的工程活動，主要包含以下項目：試裝下線車電子系統基本測試、實車層電子分系統測試、實車動態測試、實車耐久測試、實車極端條件測試，分段討論如後：

1. 試裝下線車電子系統基本測試：每一台試裝車都會有其獨特之專業用途（諸如：冷氣調校、變速箱調校、引擎調校、大燈調校等等），故針對所有下線車，都必須執行過最底限之電子系統基礎確保：確保該車之專業功能可以被正常執行。同時在此階段之工程測試，有助於釐清：

- (1) 由組裝過程所產生的問題，如此可以回饋到整車packaging、harness layout、甚至組立程序之檢討；
- (2) 檢驗電子電機系統與車用環境之相適性，諸如電動滑門是否可以扣合、電動窗防夾機能是否有效作動、倒車雷達感測器的安裝角度是否正確 等等。

2. 實車層電子分系統測試：針對電子系統測試專用車，必須執行各個分系統測試。其主要內容包含如下：已於系統層測試過之機能仍然必須在實車層逐一確認，甚至必須更關注於機電整合之末端表現效果（如雨刷作動是否順暢），並在測試時添加各種實際可能之操作環境於系統上（如在實車之parking sonar後方放置障礙物，並觀測障礙物位置與系統反應之關係）。

除此之外，還可執行諸如「保險絲拔除之潛行迴路測試」與「無線電干擾測試」。「無線電干擾測試」主要模擬駕駛人將手持無線通訊系統貼近各個可能ECU、sensor時，系統受干擾程度之觀測。

3. 實車動態測試：將實車安置於可道路駕駛之環境（如ARTC試車場），進行諸如：比利時路面振動測試（於顛簸中行進，觀測各電子系統是否作動正常）；高速周回道測試（在高速環境下，與汽車操控之ECU是否作動正常）；涉水試驗等等，此處之測試偏重於所有於實驗室內無法完整執行的項目。
4. 實車耐久測試：雖然在整車開發流程中，實車組裝前交付的各部品皆已做過部品層之EMC測試、環境測試、耐久測試 但系統介面（包含機械與機械之串聯、機械與電子介面、電子與電子介面之串聯）耐久測試卻通常於實車上執行。耐久測試會搭配動態測試執行（如連續行使10,000公里並觀測電子系統之反應）或者反覆執行單純動作數千次（如以遙控器反覆開關電動滑門）。
5. 實車極端條件測試：讓實車安置於各種模擬糟糕環境的測試場地：如高溫chamber（溫度能超過50度）、低溫chamber（溫度能低於零下30度）、斜坡測試等等。除此之外，尚有高電壓測試（16 V）、低電壓測試（9 V）、Jump Voltage測試（24 V）等等。汽車為一懸浮系統，接地只是車體相對於電裝

系統工作的參考電位，而由於車電裝置的訊號都採用線束傳輸，在設計車電產品時則須先考慮到EMC問題，整車EMC問題通常分為兩部分：整車元件配置與電子部品單件EMC問題，兩者皆須於設計初期即作良好的EMC規劃，以求有良好的整車EMC特性，以整車配置舉例來說車載接收天線週遭盡量避免放置寬頻類元件，例如馬達、點火器、電子離合器等，以確保寬頻擾動不會藉由輻射的方式直接影響天線接收端，整車EMC測試分為EMI、EMS、ESD三種測試方式，驗證的重點在於確認整車電子部品透過線束及鈹金的連接與屏蔽後，面臨諸如輻射、電場及靜電後是否會造成不容忽視的影響。



▲ 圖8. 靜電槍測試

在車輛耐受方面尤以重保件類電子部品，如引擎控制電腦、煞車防鎖死系統、變速箱電腦等攸關駕駛及乘客人身安全的電子元件，皆需暴露於高場強的環境下且不允許失效情形之發生，以確保駕駛車輛的安全性。

四、合作成效

各層級驗證在實施時，或多或少會有部份相異之手法。以整車設計中心而言，部品層的驗證會特別重視電磁、環境等測試之結果。若必須更進一步掌控ECU單件的細節反應，則可引入HIL工具。系統層的驗證重點則轉移至整車線束、通訊架構與系統介面，此時必須引入更多元化的平台架設手法。整車層的驗證，各電子系統對實車環境的耐受、機電整合評量、與系統於操控動態下的反應，實為本階段的主要任務。在以上各層面的測試考量下，首先尋求可靠的測試環境成為掌握測試有效成敗最重要的關鍵；而華創正是藉由與車輛中心合作測試驗證的過程中，運用車輛中心專業完善的環境設備及技術人員，方能順利達成對新產品技術的開發成效，共同攜手為打造台灣車輛產業新象向前邁進。