

Keysight

# LTE-Advanced 製造測試解決方案

認識 LTE-Advanced 載波聚合的製造測試需求

應用說明



## 簡介

### 概述

3GPP 標準第 10 版定義的載波聚合 (CA) 是 LTE-Advanced 非常重要的新特性，可將多個 LTE 載波合併為一個較大的單通道頻寬，以便提升新裝置的資料傳輸速率。有些電信業者僅分配到極為有限或分段的頻譜。利用載波聚合技術，他們便可因應終端用戶不斷升高的資料傳輸需求。

LTE-Advanced 標準的目標之一是維持與早先的 LTE 版本的相容性。因此 LTE-Advanced 的載波聚合方式基於早期 3 GPP 第 8 版標準所定義的載波，以便讓現有的 LTE 裝置仍然能夠繼續正常運作，同時讓新的裝置能夠透過載波聚合來支援更高的資料傳輸速率。3 GPP 第 8 版標準所定義的 LTE 載波稱為子載波 (CC)，載波聚合支援最多 5 個子載波合併，以實現 100 MHz 的理論最大頻寬。

大多數 LTE-FDD 網路業者獲准使用的頻譜無法支援最寬頻寬，因此通常選擇使用 5 或 10 MHz 的頻寬來執行載波聚合。在分頻雙工 (FDD) LTE-Advanced 系統中，上行鏈路聚合子載波數量一定要少於或等於下行鏈路聚合子載波數量。相聚合的兩個載波，其頻寬可以不同，例如 5 MHz 載波可以與 10 MHz 載波聚合，這是蠻常見的情形。

在分時雙工 (TDD) 系統中，上行鏈路和下行鏈路則共用同一頻段。根據第 10 版標準的要求，TDD 系統上行鏈路與下行鏈路的聚合子載波數量以及子載波頻寬必須一致。而 3GPP 第 11 版修訂了上述定義：支援 TDD 在不同頻段上，使用不同的上行鏈路和下行鏈路配置。

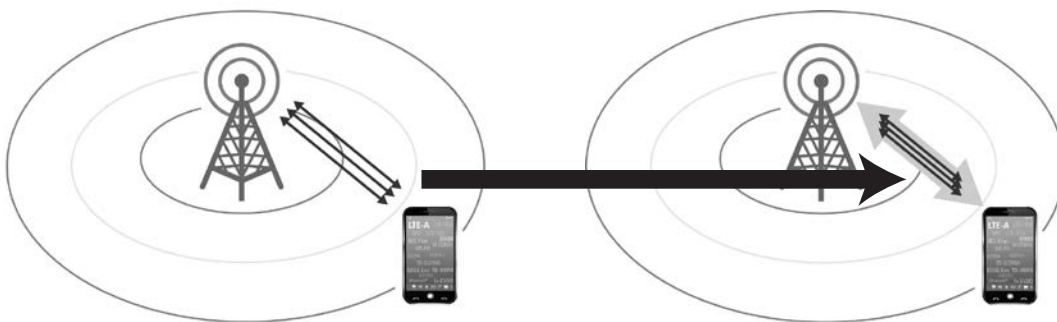


圖 1：簡化的載波聚合示意圖。您可合併多個 LTE 載波以提升單通道頻寬，進而提高資料速率和處理速度，以極致利用可用頻譜。

LTE-Advanced 第 10 版標準定義了兩類載波聚合：頻段內載波聚合和頻段間載波聚合。頻段內載波聚合的子載波，佔用同一 LTE 頻段中的不同通道。這些通道可以是連續（相鄰）通道，也可以是非連續通道，甚至是連續和非連續通道的組合（適用於 3 個或以上子載波聚合的情形），如圖 2 所示。

有些晶片組使用單一接收器來支援上述特性。而頻段間載波聚合的子載波處於不同頻段（參見圖 3），因此需要使用兩個或更多接收器來實現。這類載波聚合的成本較高，卻是電信業者最喜歡使用的方式，因為這類載波聚合可以利用不同頻段中的離散頻譜資源。

LTE-Advanced 網路支援僅下行鏈路聚合，或是下行與上行鏈路的同時載波聚合，不過初期只會在下行鏈路中部署載波聚合，因為下行封包資料傳輸的需求較為迫切。

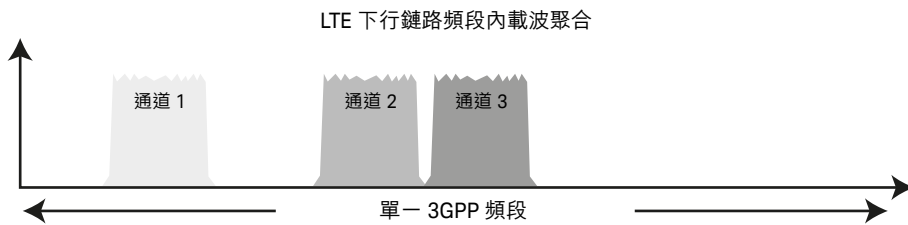


圖 2：連續和非連續通道之頻段內載波聚合。

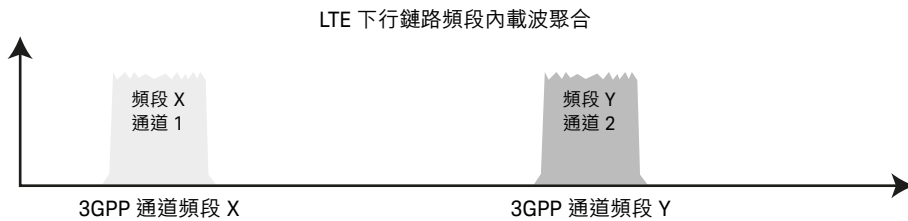


圖 3：不同頻段通道的頻段內載波聚合。

## 問題

載波聚合為 LTE 終端設備 (UE) 製造商帶來了新的挑戰：儘管載波聚合技術不會產生新的測試項目，但無疑會增加測試時間和複雜性。與其他蜂巢式行動裝置一樣，生產支援載波聚合的終端設備時，同樣也必須在製造過程中進行校驗和驗證測試。製造商可採取不同的測試策略，以下會說明。

校驗頻段內載波聚合裝置，跟校驗指定頻率的 LTE 裝置很類似。然而，您需要以更多步驟來校驗支援聚合頻寬的裝置，例如必須驗證裝置發送多個子載波時，功率放大器的功率回退問題。驗證頻段內載波聚合裝置時，某些製造商可能會使用多個載波進行測試，另一些製造商可能會選用單一載波來簡化測試，然後使用多個載波來對樣本執行抽樣檢測。

如果是驗證頻段間載波聚合裝置，則必須單獨校驗所有傳輸路徑和接收路徑。因此，雙頻段裝置需進行兩次完整的校驗，這意味著校驗時間將翻倍，導致製造成本壓力大幅增加。校驗後的所有傳輸路徑和接收路徑都需要接受驗證，以確定裝置能否正常運作。頻段間載波聚合驗證測試可採用序列或並聯測試，取決於晶片組的功能及製造商的測試策略。

近年來，蜂巢式元件製造商傾向於透過序列非信令測試來進行校驗和驗證（參見圖 4），因為這種方法可以顯著縮短校驗測試時間。序列驗證測試不僅可以縮短測試時間，同時還可減少空中信令測試的成本。

當然，這些優勢不會憑空而來，晶片組供應商必須在晶片組中添加非信令序列測試支援能力，並提供實現這些功能所需要的驅動程式和完整軟體。因此測試設備必須能夠執行先進的序列和單次擷取多次測量，並且必須支援必要的蜂巢式通訊格式和特性，例如 LTE-Advanced 載波聚合。

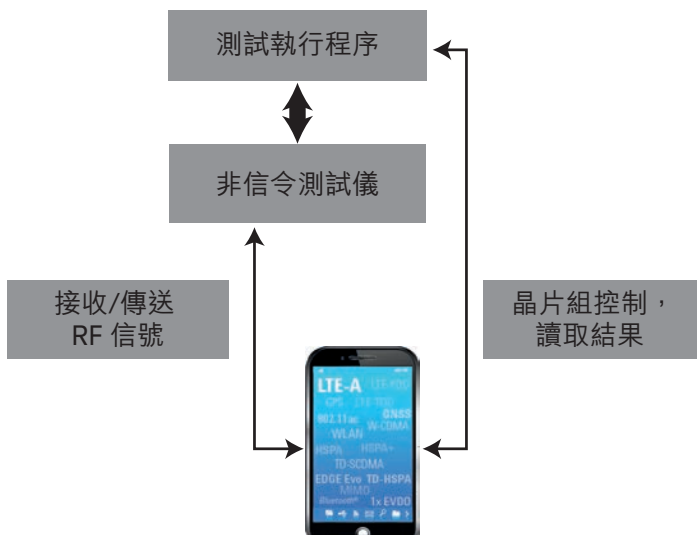


圖 4：非信令測試配置。

## 測試要求

LTE-Advanced 載波聚合裝置製造商必須依據目標晶片組和測試設備的功能，選擇合適的載波聚合測試策略，例如依序或並聯執行測試。

載波聚合序列測試不需要特殊的測試模式，但是裝置晶片組必須能夠在頻段內、頻段間、上行鏈路或下行鏈路之間，切換不同的子載波、接收器或收發器測試。序列測試採用與測試標準 LTE 裝置相同的測試方法，亦即每次測試一條路徑。進行並聯載波聚合測試時，工程師需配置待測裝置和測試儀器，並需測試多個子載波、接收器或收發器。顯然，並行測試可節省測試時間，但也同時大幅增加測試複雜性和成本。

針對頻段內載波聚合，您可選擇採用序列或並聯方法來執行子載波測試。如果待測晶片組僅支援下行鏈路頻段內的載波聚合，那麼只需一個向量信號產生器（VSG）就可以進行測試。執行序列測試頻段內載波聚合時，待測晶片組必須能夠依序處理每個子載波。您須使用一部 VSG，以及頻寬涵蓋待測晶片單一 LTE 載波的向量信號分析儀（VSA）。可依序切換 VSG 和 VSA，以便測試每個子載波。

並聯測試頻段內載波聚合是較為省時的方法，但晶片組需支援不同的測試模式，並且需要功能更齊全的測試儀器。待測晶片組必須能夠同時啟動所有接收器或收發器。測試設備必須包括具有充足調變頻寬的向量信號產生器，以便處理所有子載波；另外還需具有足夠頻寬和多元功能的向量信號分析儀，以擷取所有子載波並進行解調變和分析。

對於頻段間載波聚合，序列測試方法具有更大的優勢。首先，序列測試方法相當簡單，待測晶片組測試模式只需支援一個收發器路徑測試（參見圖 5），並且可以使用晶片組指令來選擇主要的收發器路徑。只需添加這個新指令，即可使用現有的 LTE 裝置測試方案來執行測試。接下來只要重複執行測試序列，便可完成所有收發器路徑的測試。如上所述，序列測試不需要使用複雜或昂貴的測試設備。然而，收發器路徑每增加一條，測試時間就會隨之增加一倍。僅支援下行鏈路載波聚合的裝置，可能會有第二個接收器，以提供接收分集或 MIMO 功能。第二接收器路徑可能已經過驗證，因此可大幅縮減載波聚合測試時間。

## 測試要求 (續)

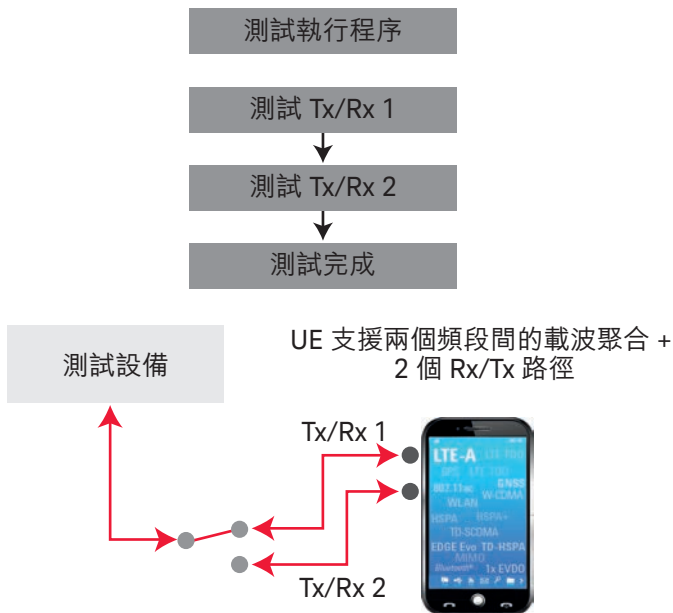
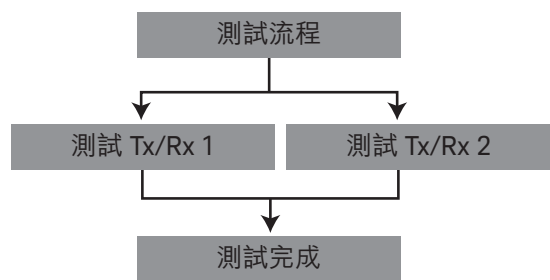


圖 5：依序執行頻段內載波聚合測試的方法相對簡單，因為待測晶片組的測試模式只需支援一個收發器路徑測試。

測試時間長短，很大程度取決於您採用何種量測技術來進行接收器路徑驗證。目前，大多數晶片組透過單端誤碼率（BER）測試來執行驗證。亦即測試設備透過下行鏈路發送已知資料碼型，然後確定目標元件的接收路徑誤碼率。這些測試需擷取較為大量的資料封包，以確保量測結果的可靠性。

單端 BER 量測可能會佔用大部分的元件驗證測試時間。如果使用上述方法來測試頻段內載波聚合元件，每增加一條接收器路徑，都將導致測試時間加倍。然而，為了因應市場趨勢，您須採用更快的量測技術來評估接收器效能。通常，待測元件（晶片組）會採用下行鏈路連續波（CW）信號來量測信噪比。這類量測的速度非常快，可避免冗長的接收器測試，進而提升序列測試效率。

對頻段間載波聚合進行並聯測試，則較為複雜。目標晶片組測試模式必須能夠同時啟用元件所有的收發器路徑（參見圖 6）。進行並聯測試的每條收發器路徑，都需使用相同的測試設備，因此測試複雜性和成本便水漲船高。但並聯測試的優勢在於，測試頻段間載波聚合元件內多個收發器的所花費的時間，與測試單個收發器的時間相同。隨著晶片組內部新的無線系統的數量不斷增加，網路業者面臨著縮短測試時間的壓力，因此並聯測試方案愈來愈受到青睞。



UE 支援兩個頻段間的載波聚合 + 2 個 Rx/Tx 路徑

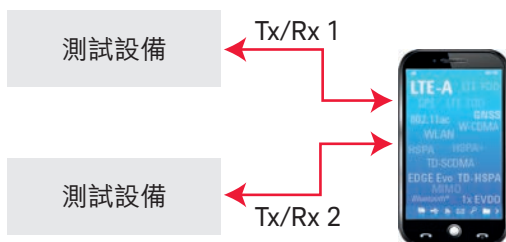


圖 6：並聯測試頻段內載波聚合的方法更複雜，但可顯著縮短測試時間，因為這個方法測試多個裝置，和測試單個裝置的時間相同。

## 解決方案

Keysight E6640A EXM 無線測試儀以支援快速校驗和非指令產線測試為設計宗旨，適用於 LTE-Advanced 和 802.11ac 等各式各樣的蜂巢式和無線區域網路裝置的生產測試。EXM 在輕巧的機箱中整合了多達四個完整的測試儀（即收發模組），可滿足複雜的載波聚合測試要求（參見圖 7）。每個收發模組（TRX）都具有完整的 VSG、VSA，以及射頻輸入 / 輸出（RFIO）埠，頻率覆蓋範圍高達 6 GHz，頻寬高達 160 MHz。

Keysight EXM 測試儀與 Keysight EXT 製造測試儀相容，兩者使用相同的指令結構，並支援 EXT 廣泛的量測功能。此外，EXM 提供更高的量測速度、全面的任意波形產生功能、更大的分析儀擷取記憶體、增強的序列測試能力。高效能 4 核控制器可保證 EXM 在配置最多 4 個 TRX 模組時，同樣可發揮最佳的效能。

在 EXM 中，每個 TRX 都配有 4 個 RFIO 埠，可輕鬆測試支持載波聚合的 LTE-Advanced 元件（參見圖 8）。兩個全雙工 RFIO 埠可直接連接全雙工元件，並可同時測試下行鏈路和上行鏈路。兩個使用者可自行配置的半雙工埠，可設定為輸入模式或輸出模式。內建的 VSG 和 VSA 可任意切換到 4 個 TRX 埠，無需額外的外部切換裝置，便可連接多個具有多天線的待測裝置。堅固耐用的 N 型連接器可用於所有射頻連接，BNC 連接器可用於觸發器連接，確保 EXM 測試儀可滿足嚴苛的生產測試要求。



圖 7：EXM 使用輕巧的機箱，可整合多達四個完整的 TRX 模組，以滿足載波聚合測試要求。



圖 8：EXM 的每個 TRX 都配有 4 埠 RFIO，包括兩個全雙工埠和兩個使用者可配置的半雙工埠。



## 如何測試頻段內載波聚合

EXM 支援具有 160 MHz 任意波形頻寬的 VSG，可用於下行鏈路頻段內的載波聚合測試。Keysight N7625B Signal Studio 軟體可用來產生包含多達 5 個子載波的 LTE-Advanced 波形。只有 3400 MHz 以上的頻段被要求需支援超過 160 MHz 的頻寬，因此 EXM 可透過一個任意波形涵蓋幾乎所有的 LTE 載波聚合頻段。憑藉 160 MHz 的頻寬，EXM 支援最多 5 個 20 MHz 載波的連續或非連續頻段內載波聚合。

EXM 還支援高達 160 MHz 的射頻分析頻寬（參見圖 9），可用於上行鏈路頻段內載波聚合測試。配有一個 TRX 的 EXM 測試儀，可連接兩個 LTE-Advanced 裝置，它們可能僅支援下行鏈路載波聚合，或同時支援下行鏈路與上行鏈路頻段內載波聚合（參見圖 10）。RFIO 1 與其中一個裝置的主 LTE 天線埠相連，而 RF3 I/O 則與該裝置的 GPS 輸入天線埠相連。RFIO 2 可連接另一個裝置的主 LTE 天線埠，RF4 I/O 則連接其 GPS 輸入天線埠。

此配置可對兩個裝置依序執行乒乓測試，或者交替測試純接收（receive-only）路徑，如本例的 GPS 接收器路徑。

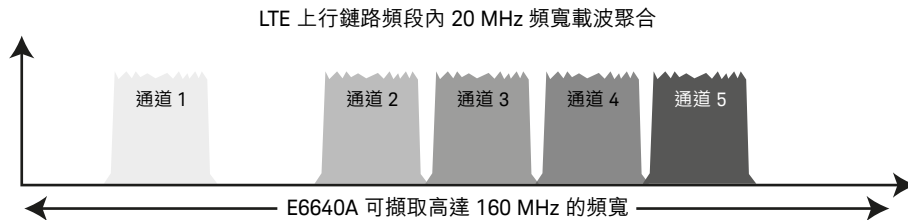


圖 9：EXM 支援多達 5 個連續和非連續 LTE 載波，以進行載波聚合測試。

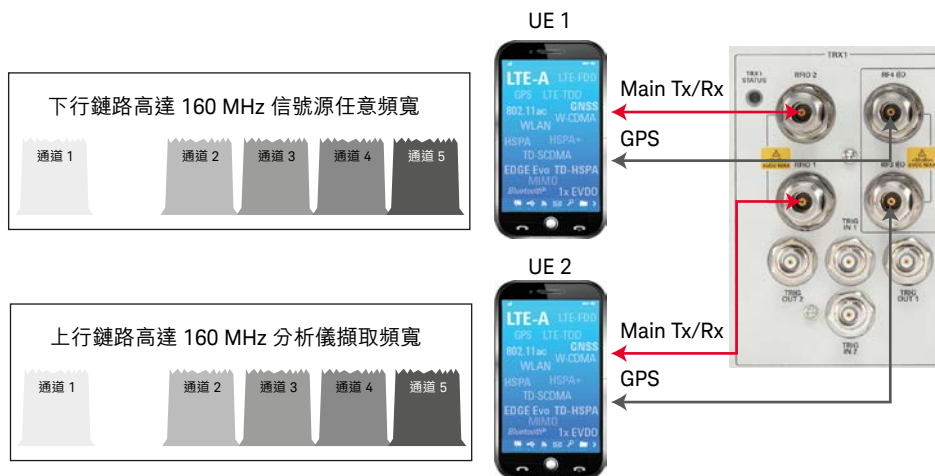


圖 10：所有 EXM TRX 都配有獨立的 4 埠 RFIO，包括兩個全雙工埠和兩個使用者可配置的半雙工埠。

## 如何測試頻段內載波聚合

在此測試配置中，VSG 的信號產生功能可產生頻段內下行鏈路信號，並應用於每個裝置的主 LTE 輸入埠，而 VSA 則可擷取待測裝置發送的上行鏈路頻段內載波聚合信號（假設待測裝置支援上行鏈路頻段內載波聚合）。VSG 還可產生 GPS 波形，以測試待測裝置的 GPS 路徑。當 TRX 測試其中一個待測物時，仍可與另一個待測物保持連接。在 TRX 不同 RFIO 埠之間進行切換，有助於控制第一個待測物的主 LTE 天線路徑和 GPS 接收器路徑的序列測試，並在完成後，切換到第二個待測裝置。一旦進入製造流程後，工程師可在測試第一個裝置的同時，連接第二個待測裝置，以縮短測試時間。

藉由複製圖 10 所顯示的測試配置，配備所有 4 個 TRX 的 EXM 可連接 8 個 LTE-Advanced 待測裝置。這些裝置可同時支援下行鏈路和上行鏈路頻段內載波聚合，並可透過序列測試來並聯測試其中的 4 個裝置（參見圖 11）。

在此測試配置中，每個 TRX 的 RFIO 功能將用來測試待測裝置的純接收路徑（即 GPS 接收器路徑）和主 LTE 天線埠。當 TRX 測試此待測裝置時，仍可與另一個待測物保持連接。所有 4 個 TRX 可並聯執行該測試流程。

同樣的，在 TRX 的 RFIO 埠之間進行切換，可以讓工程師依序測試第一個待測裝置的主 LTE 天線路徑和 GPS 接收器路徑，然後再切換到第二個待測裝置。一旦進入製造流程後，工程師可在測試前一個裝置的同時，連接第二個待測裝置，以縮短測試時間。此配置可實現高密度測試，以便在最小的空間內獲得最高的測試速率。

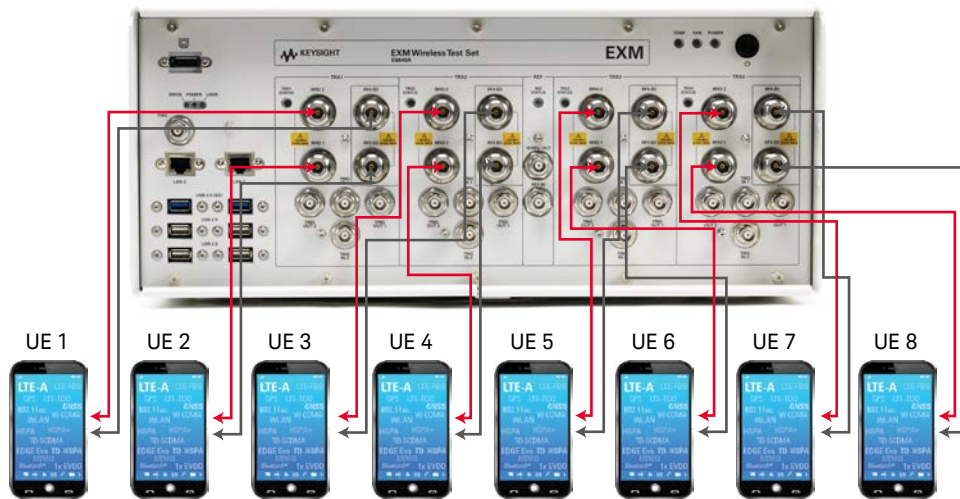


圖 11：配備 4 個 TRX 的 EXM 可連接 8 個 LTE-Advanced 待測物，以並聯測試其中 4 個待測物，並交替完成另外 4 個待測物的下行鏈路 / 上行鏈路載波聚合效能。

## 如何測試頻段內載波聚合

工程師只需使用單一 TRX 便可依序測試兩個僅支援下行鏈路頻段間載波聚合的裝置（參見圖 12）。EXM 提供內部 RFIO 切換功能，無需使用外部測試夾具，可降低測試設定的複雜度。此配置支援乒乓測試，可在測試第一個待測裝置的同時，與第二個待測裝置保持連接，可減少測試時的連接時間。

圖 12 顯示的測試流程中，EXM 藉由使用 RFIO 2 埠，同時測試第一個待測裝置的下行鏈路和上行鏈路，然後將 VSG 輸出埠切換到第二頻段和通道，並路由至該待測裝置與 RF4 I/O 埠連接的第二條接收路徑。在此過程中，第二個待測裝置將連接到 TRX 的 RFIO 1 和 RF3 I/O 埠，以減少連接第二個待測裝置所佔用的時間。完成第一個待測裝置的測試後，VSG 將切換回第一個頻段和通道，而 VSA 則切換回 RFIO 1 埠。之後 VSG 輸出埠將切換到第二個頻段和通道，並路由至該待測裝置與 RF3 I/O 埠連接的第二條接收路徑。測試第二個待測裝置的同時，可連接第三個待測裝置，並一直重複這個流程。

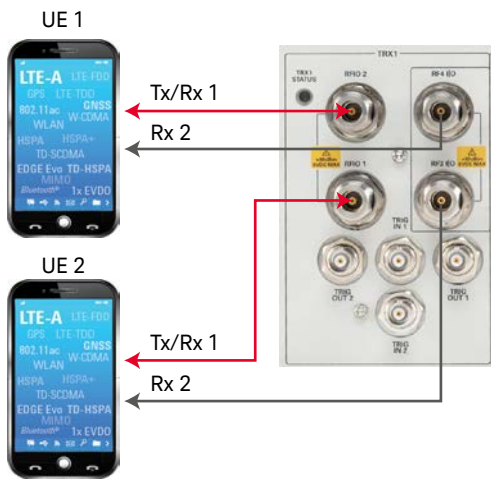


圖 12：針對頻段內載波聚合測試，單一 TRX 可連接並依序測試兩個待測物，無需使用外部測試夾具，可大幅簡化測試。

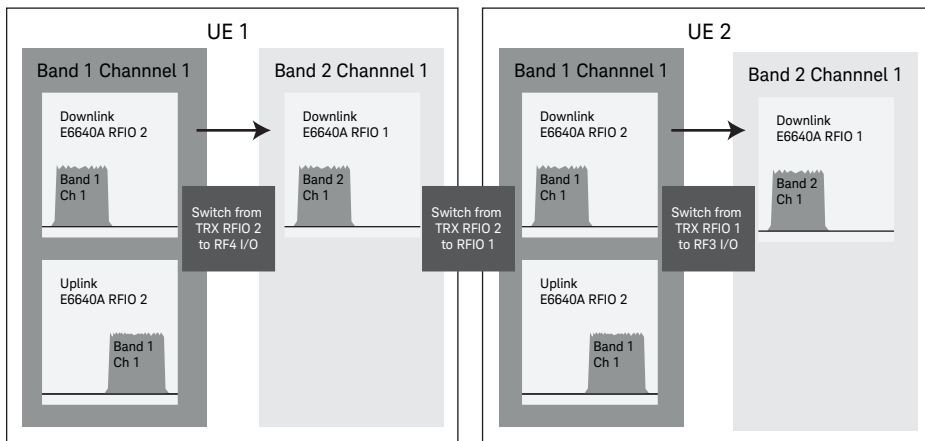


圖 13：此配置支援頻段內載波聚合乒乓測試。

## 如何測試頻段內載波聚合

如果待測裝置同時支援下行鏈路和上行鏈路頻段間載波聚合，您只需一個 TRX 的 RFIO 1 和 RFIO 2 埠，就可以依序測試該待測裝置（參見圖 14）。首先使用 RFIO 2 測試第一頻段和通道，然後切換 VSG 和 VSA 到 RFIO 1，以測試第二個頻段和通道。如果待測裝置支援任意的純接收路徑，則可使用測試儀的 RF3 I/O 和 RF4 I/O 埠，將 VSG 連接至待測裝置上的天線埠。本例中，RF3 I/O 埠與待測裝置的 GPS 天線埠相連接。

EXM 可並聯測試支援頻段間載波聚合的 LTE-Advanced 待測裝置。使用兩個 TRX 可並聯測試一個待測裝置中兩個頻段的下行鏈路和上行鏈路（參見圖 15）。每個 TRX 都配有 VSG 和 VSA，可產生兩個下行鏈路信號，並分析待測裝置中兩個上行鏈路發射器。在本例中，UE 1 與兩個 TRX 的 RFIO 2 埠連接，以同時測試相同頻段的下行鏈路和上行鏈路。

您可在兩個 TRX 中，從 RFIO 2 埠切換到 RFIO 1 埠，以便對第二個待測裝置（UE 2）執行同樣的測試。這類乒乓測試配置讓您能在測試第一個待測裝置的同時，連接第二個待測裝置，以縮短測試時間。純接收路徑（例如本例的 GPS 接收器）也可以透過半雙工埠連接。使用 VSG 序列切換方案，您可連接並測試兩條純接收路徑。

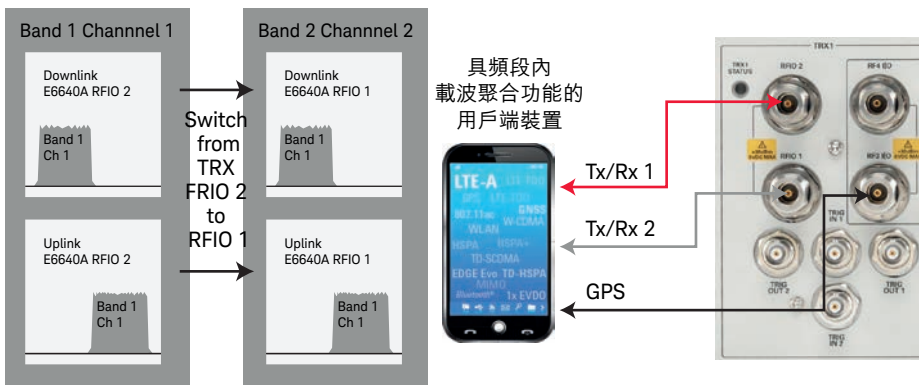


圖 14：單一 TRX 可依序測試同時支援下行鏈路和上行鏈路頻段內載波聚合的待測物。

## 如何測試頻段內載波聚合

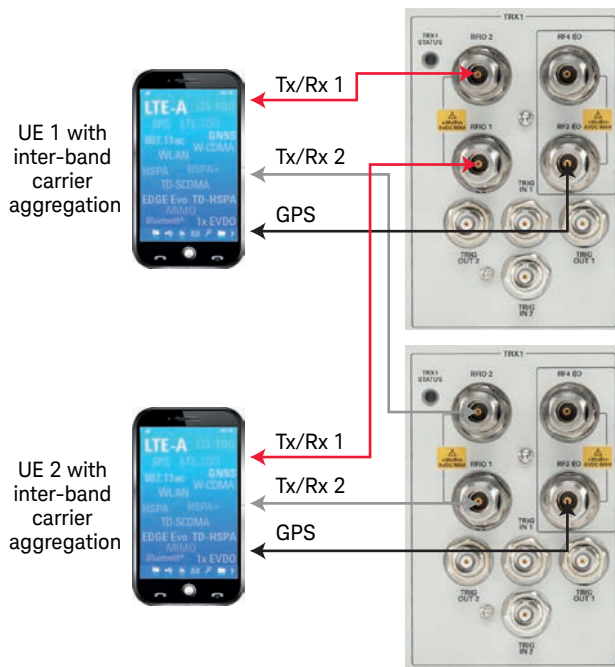


圖 15：EXM 可使用兩個 TRX 和並聯測試方法，快速測試單個待測物中兩個頻段的下行鏈路和上行鏈路。

對支援下行鏈路頻段間載波聚合的待測裝置進行並聯測試時，TRX 發送的下行鏈路信號需準確維持同步。嚴格同步是第 10 版標準的要求。該標準同時定義了所有子載波的單上行鏈路時序前進值。這意味著不同載波的基地台收發器應處於同一位置，以避免不同的傳播延遲。如果根據該要求來實際部署網路，則必須將產生所需下行鏈路信號的測試設備加以同步。

EXM 可確保兩台 TRX 精確同步。同步可在內部完成，無需透過外部連接。下行鏈路信號典型準確度約為 30 ns，足以因應該標準的同步要求。

EXM 最多可配置 4 個 TRX，以便對兩個支援雙頻段間載波聚合的待測裝置進行並聯測試，並可在測試期間連接另外的兩個待測裝置（參見圖 16）。使用圖 15 顯示的相同配置，兩個 TRX 透過兩個收發器，可測試同一待測裝置的兩個頻段中的兩個通道。進行測試的同時，工程師可以連接另一個待測裝置。

4 個 TRX 可並聯測試兩個待測裝置，並且並聯測試每個待測裝置支援載波聚合的兩個頻段。如上所述，TRX 可透過 RFIO 埠，為每個待測物提供最多 2 個額外的純接收路徑連接。本例使用一個 RF I/O 埠來測試每一個裝置的 GPS 接收路徑。

## 如何測試頻段內載波聚合

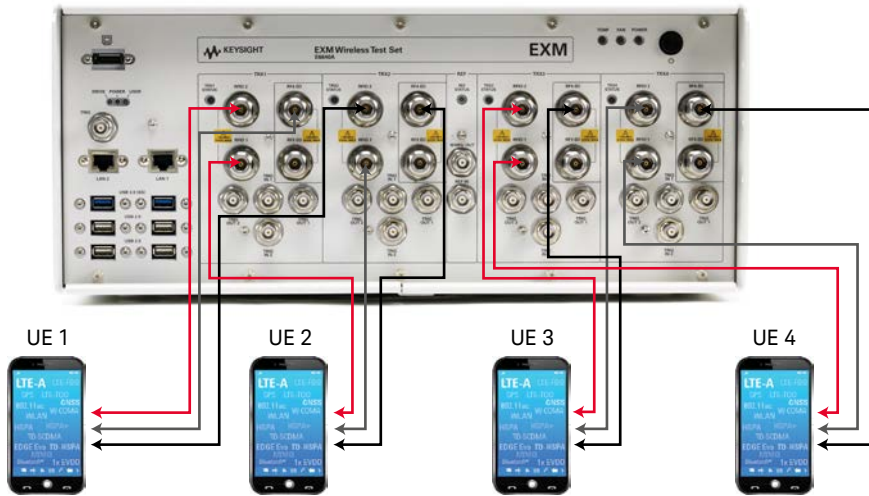


圖 16：EXM 最多可配置 4 個 TRX，可並聯測試兩個頻段內的載波聚合裝置，並同時連接另外兩個裝置。

## 結語

全球頻譜資源有限，因此大多數 LTE-Advanced 網路業者採用頻段間載波聚合技術來疏解困境。不過這項技術會增加裝置的成本並縮短電池壽命。許多 LTE-TDD 網路業者擁有較寬的頻譜資源，因此可能選擇使用寬頻段（高達 20 MHz）的頻段內載波聚合。近期，純下行鏈路載波聚合備受青睞，因為其複雜性相對較低，且符合客戶的封包資料使用習慣。

載波聚合允許網路業者合併使用可用的離散頻譜資源，以發掘 LTE-Advanced 技術的傳輸速率和效率優勢，但同時也產生了更嚴格的裝置製造校驗和驗證要求。製造商最初可能選用序列測試法來執行載波聚合測試，以降低待測裝置測試模式的複雜性，而且無需使用高效能測試設備。不僅如此，接收器測試速度的提升有助於縮短接收器測試時間，不會因支援下行鏈路載波聚合而大幅增加測試工作。隨著蜂巢式裝置功能和複雜程度增加，縮短測試時間的壓力也變得更大，迫使業者選擇速度更快但更複雜的並聯測試。

E6640A EXM 無線測試儀同時支援序列和並聯載波聚合測試流程，無需使用其他測試設備，可經濟有效地因應前述測試挑戰。EXM 可在小型機箱中配置多達 4 個完整的 TRX 測試儀，以實現高密度測試。每個測試儀都內建靈活的 4 埠 RFIO 面板，無需使用複雜且昂貴的外部切換元件。

EXM 可透過一台輕巧的主機提供 4 台測試儀，如此可減少儀器佔用的空間，並可共用單一內部控制器、時序參考和內部電源，讓製造商能降低資本投資。此外，EXM 採用是德科技為 X 系列分析儀和無線測試儀開發的量測技術。這些技術已經成為產業標準，可提供業界最高的測試速率。

## 加速無線設計與測試

身為無線測試產業領導者，是德科技致力於提供以應用為導向並針對現有和新興標準最佳化的測試平台，以協助您實現最高效能的無線裝置和行動基地台設計和測試。除了卓越的研發和現場支援之外，是德科技還可協助工程師洞悉不斷演進的無線產業，以加快產品開發速度。

有關是德科技全系列量測產品的詳細資訊，請瀏覽：  
[www.keysight.com/find/powerofwireless](http://www.keysight.com/find/powerofwireless)

## 相關應用

- Long Term Evolution - LTE
- LTE 設備的驗證、整合、協定和相符性測試
- LTE 生產測試設備
- TD-LTE 設計和測試設備
- LTE-Advanced (LTE-A)

## 是德科技相關產品

- Keysight EXM 無線測試儀 [www.keysight.com/find/exm](http://www.keysight.com/find/exm)
- 請上 Youtube 頻道：[www.youtube.com](http://www.youtube.com)，搜尋 Keysight wireless test set
- Keysight N7625B Signal Studio 軟體：[www.keysight.com/find/signalstudio](http://www.keysight.com/find/signalstudio)

## 更多資訊

如需更多關於 LTE-Advanced 應用與產品資訊，請上網至：  
[www.keysight.com/find/lteadvanced](http://www.keysight.com/find/lteadvanced)

myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊



[www.lxistandard.org](http://www.lxistandard.org)

LXI 是繼 GPIB 之後推出的區域網路 (LAN) 標準，可提供更快速、更有效率的網路連結方式。是德科技之前身安捷倫 EMG 是 LXI 聯盟的創始會員。



三年保固

是德科技的卓越產品與長達 3 年保固服務的完美結合，助您一臂之力達成業務目標：增強操作便利性，降低持有成本，增強量測信心。



五年保固延長計劃

[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

是德科技提供經濟實惠的五年保固保證，確保儀器的運作達到規格要求，您可持續信賴儀器的量測準確度。



[www.keysight.com/quality](http://www.keysight.com/quality)

是德科技

DEKRA Certified ISO 9001:2008

品質管理系統。

是德科技銷售夥伴

[www.keysight.com/find/channelpartners](http://www.keysight.com/find/channelpartners)

兩全其美：是德科技專業的量測技術與齊備的產品，搭配是德科技銷售夥伴的服務與彈性價格。

[www.keysight.com/find/powerofwireless](http://www.keysight.com/find/powerofwireless)

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢

聯絡窗口查詢：

[www.keysight.com.tw/find/contactus](http://www.keysight.com.tw/find/contactus)

台灣是德科技網站：

[www.keysight.com.tw](http://www.keysight.com.tw)

台灣是德科技股份有限公司

免費客服專線：0800-047-866

104 台北市復興南路一段 2 號 7 樓

電話：(02) 8772-5888

324 桃園縣平鎮市高雙路 20 號

電話：(03) 492-9666

802 高雄市四維三路 6 號 25 樓之 1

電話：(07) 535-5035