

縮短測試時間，降低成本： 資料中心元件和收發器測試

■作者：是德科技 供文

資料中心流量大幅成長，帶動了其對頻寬升級的迫切需求。資料中心業者需要經濟有效的新一代光收發器，以便順利從 100 Gigabit Ethernet (GE) 轉移到 400GE。

超大規模資料中心擁有超過 5 萬條光纖，光纖兩端各有一個收發器，因此資料中心可容納多達 10 萬個收發器。盡可能降低光收發器成本，是資料中心業者的首要之務。為了維持競爭力，收發器製造商必須尋找能降低生產成本的方法。

如同大部分的新技術，新型光收發器問市後，價格通常會急劇下降，因為開發成本已隨著量產進行攤提。新一代收發器技術（例如 400GE）的定價會在產品推出後一年內趨於成熟。到達成熟期後，收發器成本便開始與設計複雜性與光學元件數量直接成正比。測試時間對收發器整體成本有很大的影響。若能更有效率地進行各種收發器資料速率測試，便可加速創新並降低成本。此過程始於收發器元件設計研發階段，接下來進入收發器設計與驗證，最後來到生產測試。

圖說：超大規模資料中心擁有超過 5 萬條光纖



預計新一代光收發器每 Gigabit 使用的功率和成本都將降低，速度則是 100GE 收發器的四倍。藉由使用 4 階脈衝幅度調變 (PAM4) 等進階調變與編碼技術，速度可達每秒 400 Gigabits (Gb/s)。除了高頻寬運作外，低功耗也是 400GE 收發器設計非常重要的核心。透過 PAM4 調變，便能以 8 個 56 Gb/s 光通道，達到 400 Gb/s 速度。但因四個信號位準被壓縮成兩個振幅擺盪，使得 PAM4 調變信號極易受到雜訊失真影響。

因此需要更複雜的收發器電路來克服這些挑戰，測試時間和複雜性也將等比提高。

設計和模擬

在研究與開發 (R&D) 階段，以強大的設計模擬軟體開始著手，是確保測試效率和降低測試成本的第一步。現今的設計與模擬軟體讓收發器設計人員能夠將設計最佳化、確保效能和穩定性，並避免昂貴的額外電路板設計週期。它們可及早辨識最敏感的設計元



件，並決定如何設定規格以提高製造良率。完成最佳化後，設計工程師可使用後處理資料分析功能來測試設計效能，無需重新進行模擬。

特性分析及相符性測試

400GE 收發器新設計自模擬階段進入第一個硬體原型時，工程師便面臨一項富有挑戰性的任務：開發全方位又有效率的測試計畫。成本是資料中心業者選擇新一代 400GE 收發器時的主要考量，但資料中心使用的收發器數量眾多，品質必然也成為關鍵因素。若收發器在資料中心完成部署後無法高效率地運作，將導致網路鏈路中斷，並會因切換器和路由器必須重新路由故障鏈路，進而降低資料中心整體效率。在資料中心部署故障收發

器所產生的相關成本非常高昂。由於超大規模資料中心可容納超過 10 萬個收發器，因此即使故障率只有 1/10，也等同存在 100 個故障鏈路。

美國電機電子工程師學會 (IEEE)、美國國家資訊標準委員會 (INCITS) 和光互連論壇 (OIF) 等業界標準組織負責制定並維護光收發器規格，並定義測試程序，以確保各供應商模組間的互通性。400GE 光學鏈路的操作邊限是有史以來最小的。只要很小的量測誤差就會超過整個操作邊限，因而帶來更多測試挑戰。幸好 400GE 設計的分析說明方法已越趨穩定，工程師在發展收發器分析的測試計畫時，可檢視並遵循標準中規定的原則。此外，採用依業界規格開發的測試自

動化軟體可減少錯誤、提高可重複性，並將測試時間從數小時縮短至數分鐘。

測試自動化

發射器和接收器有各種光學和電氣測試必須執行，兩者間的通道效應也需納入考量。

400GE 收發器的標準配置為每個收發器採用以 56 Gb/s 運作的 8 個 PAM4 流量通道。對大多數標準而言，每個通道都必須執行六種不同相符性測試套件。每組測試都有幾個必須遵循的步驟。

手動測試單一收發器可能需耗費數小時，如果在測試期間發現與測試設定或校驗相關的問題，甚至會延長到數天。由於採用 PAM4 的 400GE 收發器所需電路設計複雜，且先前未於不歸零 (NRZ) 型 100GE 設計中使用，因此測試工程師很難判斷導致故障的元件。

測試自動化軟體可將測試時間從數小時縮短至數分鐘。選擇經過驗證、可對各項技術標準進行嚴格測試的自動化相符性測試軟體非常重要。測試自動化軟體讓測試工程師可深入了解偵測到的問題，並可迅速找出故障，節省數小時除錯時間。測試自動化軟體會引導工程師進行設定、校驗和相符性測試，工程師即使不熟悉測試程序也可快速執行測試案例。藉由使用相符性測試應用程式，收發器製造商可確保實驗室中通過的測試同樣能在客戶實驗室得到通過測試的結果。更重要的是，若能確保收發器符合標

準，便能在世界各地資料中心安裝數百萬個網路交換器和路由器後，將兩者的互通性問題風險降到最低。

資料分析

自動測試的結果會以即時報告方式提供給測試工程師。這些報告通常包含測試設定和配置、所執行的量測、通過 / 不通過狀態、邊限分析和輸出波形等相關資訊。有了這些資訊，測試工程師之後便可輕鬆地複製測試情境。然而，有時收集到的資料量過於龐大，使測試工程師難以進行分析和理解。因此，具有整合資料分析功能的測試自動化軟體便成為最理想的選擇。

資料分析工具可為測試結果提供深入分析。折線圖和直方圖等視覺化方法可顯示通過 / 不通過限制與統計資訊，測試工程師一眼就能看出待測裝置效能。結果通常會儲存在雲端儲存庫，因此可與遍布全球的團隊即時共享。測試工程師能夠自信快速地做出設計決策，不再需要耗費數天或數週時間來進行

分析與決定。資料分析軟體適用 400GE 收發器測試的所有階段：設計與模擬、特性分析與相符性，一直到製造階段。因此可減少測試時間和成本，並讓新一代收發器更快進入市場。

製造測試

400GE 收發器的研究與開發正如火如荼進行中。工程師仍在努力研究 PAM4 模組的測試方式，400GE 標準也在持續進化。為了滿足 5G、物聯網等新興技術及公眾雲端大規模成長之需求，400GE 收發器上市時程非常緊迫，並且需以最低成本和極高品質進行生產。

若於 400GE 收發器到達製造階段後才發現問題，就代表需付出昂貴代價重新進行設計。最理想的方式是為製造進行設計。收發器製造商可運用幾種工具來打造適合製造的設計。舉例來說，若從初始設計概念到製造及部署都使用具內建資料分析的通用軟體平台，即可加快整個產品開發工作流程，並將製造過程中發現的錯誤降到最低。於

開發過程若後期才發現問題，將導致成本大幅增加。因此在理想情況下，應在設計階段早期找出所有問題。

結論

資料中心收發器市場的成本敏感性和競爭性極高。測試時間是影響收發器整體成本的重要因素。如果能夠減少測試時間，收發器製造商便能降低整體成本，並讓新一代收發器搶先進入市場。在產品開發生命週期的每個階段，都有能將測試效率最大化的測試解決方案。這些工具可縮短設計週期、大幅提升生產率，確保品質並顯著降低成本。CTA

