



Microchip Ethernet 提供可靠且安全的連網能力

乙太網早已不只是那條藍色網路線。本文將以實務角度介紹如何為設計選擇合適的乙太網實體層 (PHY)，並解析銅纜與光纖乙太網 PHY 的運作方式、主要差異與適用情境。

作者：Erin Hasulak，Microchip Technology 網路與連接解決方案事業部資深產品行銷專員

乙太網路與連線技術 (Ethernet Networking and Connectivity)

我們正處於一個高度互聯的世界，而乙太網則是其中最普及且最可靠的連線技術之一。這項有線電腦網路技術已發展超過 40 年，至今仍持續快速演進。如今，乙太網早已不只是連接網際網路的藍色網路線，而是廣泛應用於各種領域——從工廠產線上的機械手臂，到距離地球數百萬英里的衛星，都能看到乙太網的身影。乙太網是一項極具彈性的技術，全球各地的工程師、設計人員、系統架構師與創作者，都正在重新思考如何運用這項技術。

許多人可能會好奇，乙太網究竟是什麼？又為何能成為最受信賴的網路連線標準之一？其實乙太網涵蓋的範圍相當廣，包括交換器、控制器、橋接器等。不過本文將聚焦於乙太網實體層元件，探討其運作方式以及重要性。

乙太網 PHY (Ethernet PHYs)

在乙太網技術中，特定實體層 (Physical Layer) 的實作通常稱為 PHY。乙太網收發器 (Ethernet Transceiver) 則是由電機電子工程師學會 (IEEE®) 所制定的乙太網電腦網路標準中的實體層規格。目前有線網路最常見的兩種傳輸媒介為：銅纜乙太網 PHY 以及光纖乙太網 PHY。兩者各有優缺點，選擇哪一種取決於應用需求。以下將分別介紹這兩類實體媒介，並特別聚焦於光纖乙太網 PHY 與 Microchip 最新推出的光纖 PHY 產品。



銅纜乙太網 PHY (Copper Ethernet PHYs)

銅纜 PHY 是一種 IC 或模組，用於實現透過銅纜進行乙太網通訊的實體層功能，通常使用 Cat5e、Cat6 或 Cat7 等雙絞線。PHY 的主要功能包括：將數位資料轉換為可在銅線上傳輸的電訊號，以及接收與解碼訊號。

銅纜 PHY 的主要功能包括：

- 訊號編碼 / 解碼：將媒體存取控制器 (MAC) 的數位資料轉換為適合在銅纜上傳輸的電訊號，並進行反向解碼。
- 自動協商：自動判斷雙方支援的最佳速度與雙工模式，例如 10 / 100 / 1000 Mbps 與全雙工 / 半雙工。
- 連線完整性監測：持續檢查實體連線狀態，並將結果回報給 MAC。
- 實體媒介連接：通常透過隔離變壓器與銅纜介接，負責處理可靠資料傳輸所需的電氣特性。

銅纜 PHY 常見於乙太網交換器與路由器等網路設備，也廣泛應用於嵌入式系統，例如微控制器與處理器透過內建或外接銅纜 PHY 實現網路連線功能。此外，工業與車用網路等需要穩定有線通訊的應用，也經常採用銅纜 PHY。

傳統銅纜 PHY 通常具備較低的線材與埠口成本、安裝容易，並支援乙太網供電 (Power over Ethernet, PoE) 等優勢。此外，由於乙太網本身是相當成熟的標準，並具備良好的向下相容性，因此也擁有高度互通性。不過，銅纜的傳輸距離有限，也較容易受到電磁干擾 (EMI) 影響，同時其頻寬表現也低於光纖 PHY。因此，銅纜 PHY 特別適合企業與中小企業交換器、工業交換器、行動通訊基礎設施、路由器、閘道器、FPGA 系統等應用。

光纖乙太網 PHY (Optical Ethernet PHYs)

了解銅纜 PHY 後，接著來看看光纖乙太網 PHY。光纖乙太網 PHY 是一種 IC 或模組，用於實現透過光纖進行乙太網通訊的實體層功能。與透過隔離變壓器連接銅纜的銅纜 PHY 不同，光纖 PHY 是透



過小型可插拔模組 (Small Form-Factor Pluggable, SFP) 與光纖媒介介接，負責將數位資料轉換為光訊號，並進行接收與解碼。

光纖 PHY 的主要功能包括：

- 電訊號與光訊號轉換：將來自 MAC 的數位電訊號轉換為適合透過 SFP 模組進行光傳輸的訊號。
- 訊號編碼 / 解碼：負責資料的光纖傳輸編碼與接收解碼。
- 自動協商：判斷雙方支援的最佳速度與雙工模式。
- 連線完整性監測：監控光纖連線狀態並回報 MAC。
- 實體媒介連接：透過 SFP、SFP+、QSFP 等模組與光纖連接。

光纖 PHY 常見於資料中心、企業網路骨幹、電信系統與工業網路等應用。

光纖乙太網 PHY 支援更高速率與更長距離，同時具備不受 EMI 影響、在高速運作下單通道功耗較低以及體積較小等優勢。不過，相較於銅纜，光纖 PHY 的初期線材成本通常較高，且由於採用玻璃纖芯，因此也較為脆弱。

以下簡單整理光纖與銅纜乙太網 PHY 的主要差異：

特性	光纖乙太網 PHY	銅纜乙太網 PHY
傳輸媒介	光纖纜線	雙絞銅纜
常見速度	1 Gbps 至 400 Gbps 以上	10 Mbps 至 10 Gbps
傳輸距離	可達數公里以上	最長約 100 公尺
EMI 抗干擾能力	高	中等
典型應用	資料中心、電信與骨幹網路	辦公室、工業與車用

現在我們已從整體角度了解兩種乙太網 PHY 的差異，接著進一步看看 Microchip 最新推出的光纖乙太網 PHY 系列。

我們近期推出新一代光纖 PHY 收發器 (Optical PHY Transceivers)，專為需要長距離連線與嚴苛環境運作的先進網路系統而設計。這些元件支援精準時間協定 (Precision Timing Protocol, PTP)，可在



分散式節點間實現低於 1 奈秒 ($<1\text{ ns}$) 的同步精度。這種高精度同步能力對工業自動化、電信與機器人等時間敏感應用至關重要。

此外，這些光纖 PHY 內建高度整合的晶片級安全機制，支援 MACsec 加密技術，可透過硬體方式保護乙太網設備之間的資料傳輸安全。MACsec 可有效防範中間人攻擊 (Man-in-the-Middle)、阻斷服務攻擊 (DoS)、竊聽與偽裝 (Spoofing) 等常見網路攻擊，進一步確保網路資料完整性。

這些光纖 PHY 支援 10G 與 25G 傳輸速度，並符合校園級網路、伺服器 / 交換器互連以及小型基地台 5G 回傳網路 (Backhaul) 等應用的嚴苛需求。相較於銅纜 PHY (10GBASE-T 與 25GBASE-T) 受限於 Cat7 約 100 公尺、Cat8 約 30 公尺的傳輸距離，這些光纖收發器透過單模光纖 (Single-Mode Fiber) 可支援最長達 10 公里的傳輸距離，適合部署於地理位置分散的基礎設施。至於較短距離的應用，例如同伺服器對伺服器或機架對機架連線，這些裝置亦支援最高 25 Gbps 的直連銅纜 (Direct-Attach Copper, DAC) 連接，最長可達 5 公尺。

新產品系列包括：

LAN826x 系列 (最高支援 10 Gbps)

雙埠 (Dual-port)：

- LAN8262-V/3HW：10 Gbps、雙埠、MACsec
- LAN8263-V/3HW：10 Gbps、雙埠、PTP
- LAN8264-V/3HW：10 Gbps、雙埠、PTP + MACsec

四埠 (Quad-port)：

- LAN8267-V/3HW：10 Gbps、四埠、PTP
- LAN8268-V/3HW：10 Gbps、四埠、PTP + MACsec



LAN802x 與 LAN804x 系列 (最高支援 25 Gbps)

雙埠 (Dual-port) :

- LAN8022-V/3HW : 25 Gbps 、 雙埠 、 MACsec
- LAN8023-V/3HW : 25 Gbps 、 雙埠 、 PTP
- LAN8024-V/3HW : 25 Gbps 、 雙埠 、 PTP + MACsec

四埠 (Quad-port) :

- LAN8042-V/3HW : 25 Gbps 、 四埠 、 MACsec
- LAN8043-V/3HW : 25 Gbps 、 四埠 、 PTP
- LAN8044-V/3HW : 25 Gbps 、 四埠 、 PTP + MACsec

總結

銅纜與光纖乙太網 PHY 都是極具價值的網路解決方案，選擇哪一種主要取決於應用需求與所需功能。Microchip 提供完整的乙太網產品組合，涵蓋傳統銅纜與光纖乙太網 PHY，而最新推出的光纖 PHY 收發器系列，則能為工程師打造更智慧、更安全且更具擴充性的網路架構，提供可靠且安全的連線能力。

如欲了解更多資訊，可參閱 Microchip 的 [乙太網產品頁面](#)。