

PLC 技術解決方案：安森美半導體

電力線載波晶片的特點及其應用

■作者：劉耀輝 / 安森美半導體應用工程經理

配電線通訊

中低壓交流配電線用於電能的輸送同時，也可作為傳輸介質實現資料通訊。電力線載波通訊(PLC)技術就是通過載波方式將類比或數位訊號在配電線上進行高速傳輸的技術。用電力線作為資料傳輸介質，利用已有的電力配電網路進行通訊不需要重新佈線，訊號不會因為通過建築物牆壁而受到衰減甚至遮罩，相對較為低廉的成本，使這項技術在電錶自動抄表系統，燈光控制等許多領域受到青睞。

圖 1 就是 PLC 技術典型的應用案例 -- 遠端電表自動抄表系統的示意圖。

電表通過電力線與集中器進行資料交換。集中器通常位於變壓器附近，是網路的核心管理者。它負責網路管理、資料集中採集、命令傳送等工作；同時還通過上行線路(PSTN 或 RF 等)與主站進行資料交換和資訊傳遞。一台集中器可管理幾十至

幾百隻電表。

在這個系統中，集中器會按照設定的時間間隔讀取各個電表的運行資料，並把資料傳送給主站，實現自動遠端集中抄表。

1.1 EDF 項目

當今世界上許多國家都已採用或即將部署智慧電表系統並採用自動遠端集抄方式。目前備受關注的就是法國 ERDF 的 Linky 電錶項目。

歐盟最大的電力配電網運營商，法國電力集團(EDF)的子公司 -- 法國電網輸送公司(ERDF)已經啓動了一個涉及總數量 3,500 萬隻電錶的專案。該項目從 2012 年至 2017 年，將把法國國內的傳統電表統一更換成新型的 Linky 智慧電表。智慧電表通訊採用電力線載波(PLC)技術。

項目對 PLC 的主要技術要求如下：

實體層：IEC 61334-5-1 和 EN 50065-1

調製方式：S-FSK

通訊載波頻率：F_m (傳號頻

率)：63.3KHz；F_s (空號頻
率)：74KHz

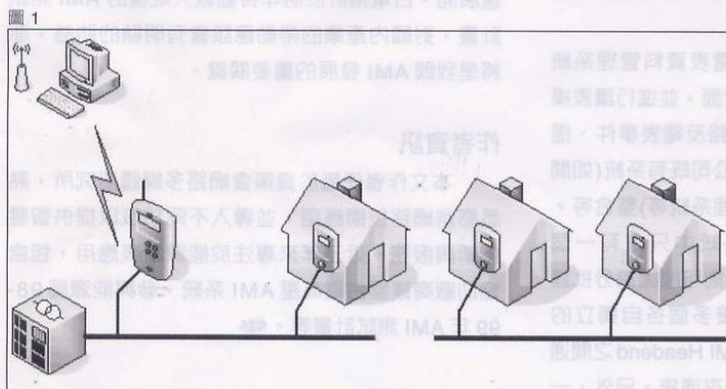
通訊速率：2400 Baud

實體層與電力線 50Hz 同步

應用層：IEC 62056-53 和 IEC
61334-5-511

1.2 安森美半導體與 PLC 通訊

安森美半導體針對低 / 中



產業特輯

Feature

壓電力線上資料通訊而研發了 S-FSK PLC Modem，在工業現場已有超過 8 年的成功應用。Modem 是採用 S-FSK 調變方式的窄帶 PLC 收發器，是目前唯一經過多年市場驗證的器件。

產品從早期的 AMIS-30585 發展到如今第二代產品 AMIS-49587。

AMIS-49587 完全滿足 ERDF 的技術要求，已被 Linky 智慧電錶供應商選中作為 PLC 通訊的核心器件。

下文中，結合 EDF Linky 電錶項目的需求，介紹 AMIS-49587 的特點。

涵蓋 PHY 和 MAC Layer 的收發器

2.1 Linky 電錶 OSI 層參考模型：

Linky 專案採用 3 層網路結構：

- 實體層 PHY 採用 IEC 61334-5-1 標準。
- 資料鏈路層 DLL(包括 MAC 和 LLC 子層)採用 IEC 61334-5-1/IEC 61334-4-32 標準
- 應用層 Application Layer 採用 IEC 62056-53/IEC

61334-4-511 標準

AMIS-49587 最突出的特點在於其作為 PLC 收發器除了完成實體層 S-FSK 訊號的收發、調變解調外，還向上包含了 MAC 子層的處理。這個特點使用戶得以把更多的精力放在應用層的開發。通過 AMIS-49587 進行邏輯鏈路層(LLC Layer)資料包的交換，底層的幀頭、幀校驗等都會被自動添加。這在很大程度上減少了客戶軟體發展方面的工作量。

2.2 實體層採用優化的 S-FSK

電力配電線並不是為訊號傳送而專門設計的，它的阻抗處於隨時變化中，也極易引入外界的各種電磁干擾。調變方式的選擇力求在成本較低的情況下使其針對電力線特殊情況具有良好的通訊效果。

FSK(頻移鍵控)是經典的實現成本較低的頻率調變方式：利用兩個獨立的載頻傳送二進位 0 和 1。S-FSK(Spread FSK)是讓這兩個頻率盡可能遠離，(>10KHz)使兩個頻率傳輸品質相對獨立，以更好的應對電網中常見的窄帶干擾的影響。

圖 2

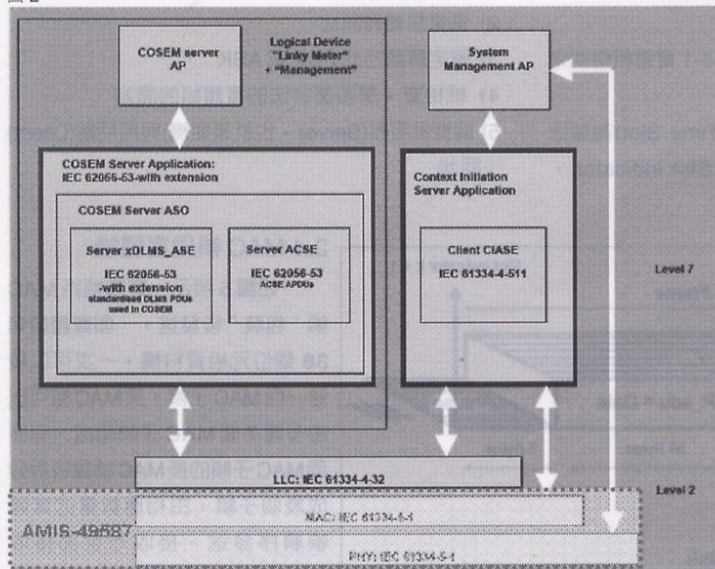
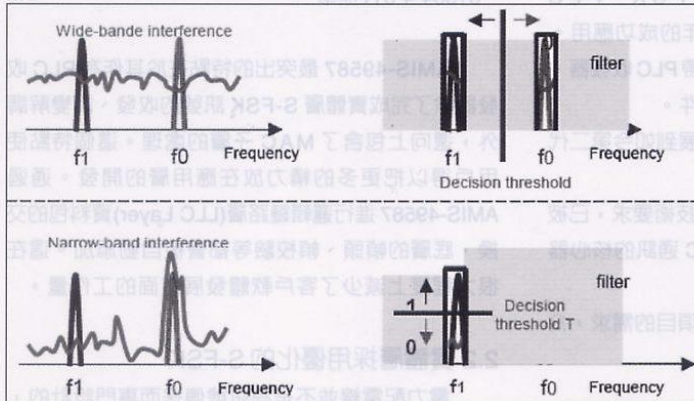


圖 3 中我們可以看到：在雜訊能量比較平均的寬頻干擾下，兩個載頻的接收訊號訊號雜訊比(SNR)相似。接收器濾除掉其他頻率，在 f0(空號頻率)和 f1(傳號頻率)產生兩個解調訊號 -dS 和 dM，如果 dS>dM，認為收到資料 "0"；反之認為是資料 "1"，這種情況接收器工作在 FSK 模式；如果遇到窄帶干擾使其中一個載頻下的信噪比很差時，接收器將忽略這個通道，用另一個較好通道的解調訊號與一個內部閾值 T 作比較來決定收到 "1" 還是 "0"。此時接收器工作在幅移鍵控 ASK 模式。

Feature

圖 3



此外，Modem 內部處理器的解調演算法尤為重要。其對接收靈敏度影響很大。Linky 專案要求接收機在 S-FSK 訊號有效值 2mV 至 2V 內都可正常識別。

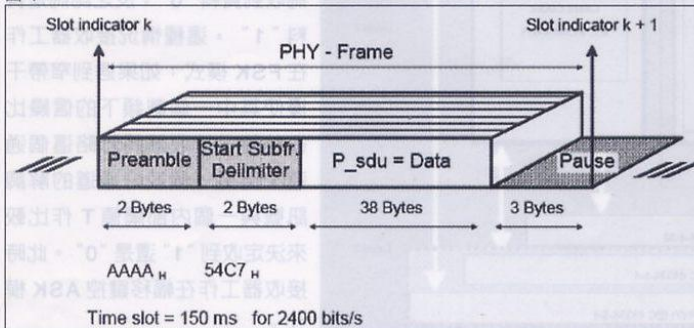
靈活的調製解調模式、先進可靠的解調演算法使 AMIS-49587 具有優異的抵抗電力線上干擾的性能。

2.3 實體層幀格式

AMIS-49587 按照 IEC61334-5-1 實體幀格式來傳送資料。

實體幀以時間片(或稱時隙，Time Slot)為發送間隔。幀起點被稱為時間片指示器 Slot indicator，

圖 4



這一點對應電力線電壓 50Hz 的過零點。用戶端(Client，也就是主機)必須在過零點開始發送實體幀。IEC61334-5-1 的整個系統都是以時間片為同步依據的，瞭解這一點十分重要。

以 2400bps 速率為例，傳送 1 個時間片或實體幀的時間需要 150mS。

實體幀由前導碼 Preamble、起始子幀定界符 Start Subframe Delimiter、MAC子幀(Data)和暫停域 Pause 組成。

實體幀總是起始於基本時間片的整數倍，這時刻稱作時間片指示器。在時間片同步後，每個裝置的實體層就可以通過它的內部時鐘獨立地跟蹤時間片指示器。

前導碼和起始子幀定界符(AAAAh 和 54C7h)具有重要意義。接收方可以在接收這 4 個位元組期間：

- 1) 調整確定接收增益
- 2) 測量訊號雜訊比
- 3) 確定解調方式 FSK 或 ASK
- 4) 幀檢查，是否是合法的實體幀的開始
- 5) 調整伺服器(Server，也就是從機)與用戶端(Client) 同步

2.4 MAC 幀與實體幀

如圖 5 所示：實體幀將 MAC 幀“包裝”後發送。一個實體幀有 38 個位元組資料欄，一次可以發送一個 MAC 子幀。長 MAC 幀可以由多達 7 個 MAC 子幀組成。有多個 MAC 子幀的長 MAC 幀會被拆分成幾個子幀，由相應數量的實體幀順序發送。接收方全部接收

後，再把它們整合起來。

MAC 幀頭 Header 由子幀數、初始可信值 IC、當前可信值 CC、差值可信值 DC、源位址、目的位址以及填充長度 Pad Length 組成。可信值的使用會在後面中繼的章節中詳細介紹。LLC 幀作為資料被包含在 MAC 幀中。

安森美半導體 PLC 解決方案

方案主要由 PLC Modem AMIS-49587、驅動放大器 NCS5650 及耦合變壓器組成。

PLC 訊號的發送路徑(紅色箭頭)：AMIS-49587 調變出的 S-FSK 訊號經過 NCS5650 進行放大後經變壓器耦合到電力線上。變壓器實現電壓變換和阻抗匹配，也用於強弱電的隔離。NCS5650 除了對訊號進行功率放大外，其兩級運放的結構還組成了衰減

特性很陡的 4 階低通濾波器。在對電力線接入設備有嚴格限制的歐洲，只有增加類似的濾波器，才能夠保證系統對電力線的高頻干擾注入滿足 EN 50065 規範的要求。

藍色箭頭標注出了接收路徑：變壓器從電力線耦合過來的訊號經過 AMIS-49587 內置放大器構成的低通濾波器在內部 ARM 微控制器進行 FSK 解調分析。

圖 6 中黑色箭頭是 50Hz 的過零檢測訊號引腳。系統依靠這個訊號進行同步定時。

圖中藍色虛線框內是電錶內的應用處理器，負責通訊應用層處理及計量。其與 PLC Modem 的介面是簡單的 SCI 串行口。

方案的供電十分簡單：一路 12V 供給線路放大器，用於驅動 PLC 訊號耦合變壓器；一路 3.3V 給 AMIS-49587 供電。

圖 5

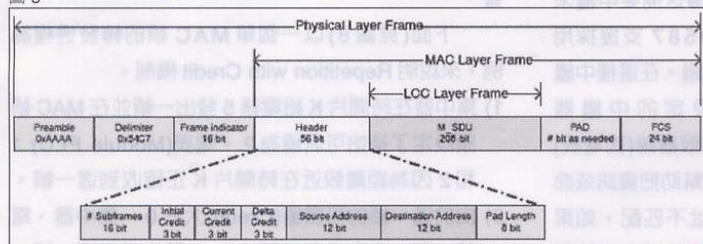
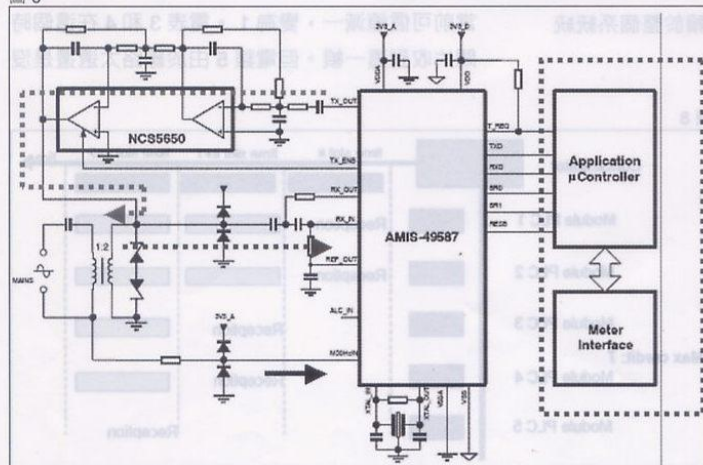


圖 6



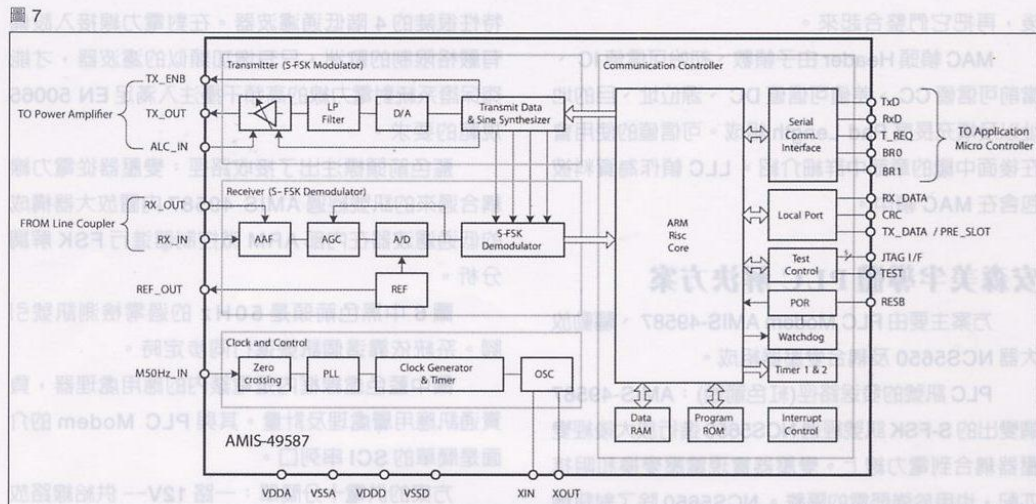
3.1 AMIS-49587 功能框圖

我們再瞭解一下 AMIS-49587 的內部結構。

AMIS-49587 的核心是一個 32 位 ARM 處理器，完成實體層和 MAC 層的處理，運行 S-FSK 調製解調的演算法，同時也管理著與外部 MCU 的通訊。嵌入軟體儲存在片內 ROM 中。

晶片左邊是類比部分：FSK 訊號合成輸出、接收解調以及系統時鐘和 50Hz 的鎖相環。

晶片包含了所有 S-FSK 訊號處理、MCU 介面管理等類比、數位部分。變壓器驅動由於是功率放大部分成為收發器板上的發熱源。為了防止高熱可能給系統精度帶來影響，AMIS-49587 並沒有把訊號的功率驅動納入這類 IC 中，而是採用外置方案。



3.2 獨特的系統中繼方案

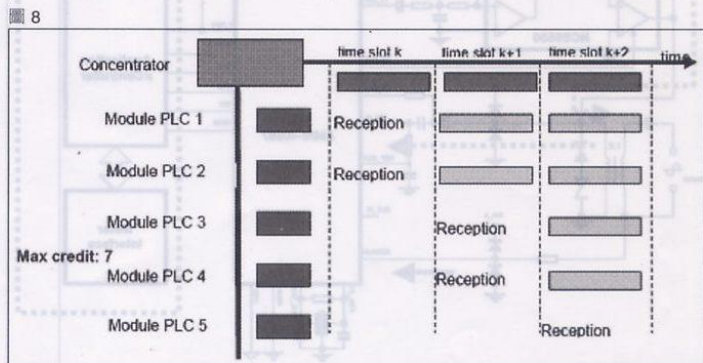
在網路通訊中，長距離的資訊傳送需要中繼來實現。安森美半導體的 AMIS-49587 支援採用 Repetition with Credit 演算法進行中繼。在這種中繼方案中，系統沒有需要預先設定的中繼器 Repeater。其核心理念是每一個伺服器端(即電表)都可以是其他伺服器的 Repeater，幫助把資訊或命令接續傳遞。即使收到的幀目的地址不匹配，如果需要轉發，伺服器也會將其轉發。轉發採用以時間片和聲(Chorus)方式，這種方式依賴於整個系統統一與時間片同步。

Repetition with Credit 中繼演算法採用了叫做可信值管理的辦法。可信值分為 7 級，由用戶端(集中器)進行管理。系統規定：如果伺服器被配置成了 Repeater，如果收到的 MAC 幀的當前可信值大於 0，這個伺服器就要在下一個時間片到來時把這一幀重複轉發，當前可信值減一。直到當前可信值為 0 時幀重複的過程終止。在這種機制下，在同一時間

片，可能存在許多伺服器同時重複轉發，這就是和聲。

下面(見圖 8)以一個單 MAC 幀的轉發過程為例，來說明 Repetition with Credit 機制。

- 1) 集中器在時間片 K 給電錶 5 發出一幀並在 MAC 幀頭設定了初始可信值為 2。電表(Module PLC) 1 和 2 因為距離較近在時間片 K 正確收到這一幀。
- 2) 由於這一幀的可信值(Credit)大於 0，集中器、電錶 1 和 2 收到後在時間片 K+1 開始重複這一幀，當前可信值減一，變為 1。電表 3 和 4 在這個時間片收到這一幀。但電錶 5 由於線路太遠還是沒



有收到。

- 3) 電表 3 和 4 在 K+2 重複同一幀。當前可信值減一，集中器、電表 1 和 2 也在同時重複，與 3 和 4 和“和聲”。電表 5 正確收到這一幀。由於當前可信值已變為 0，下一時間片所有電表不再重複發送這一幀。

系統最大可設定初始可信值為 7，假定一台集中器和一台電表的通訊距離 300m。如果有了帶有 7 級可信值管理的中繼，通訊距離將可達到 2400m。

在這個中繼機制中，有三個變數 IC、CC、DC 分別代表初始可信值、當前可信值以及差值可信值。集中器根據演算法設置初始可信值。當前可信值 CC 會在幀轉發過程中隨每一次轉發逐一遞減。差值可信值 DC 對中間的轉發器沒有意義，只在目的地址電表處，IC 減去 CC，得到差值可信值 DC。該電表會在回復幀中把 DC 值發送回給集中器，集中器可以根據這個值修訂下次訪問該電表的初始可信值。

由於電力線阻抗、干擾狀況等處於時時變化中，PLC 通訊的品質也在不斷變化。可信值演算法使用戶端可以即時根據網路通訊狀況進行動態管理，以實現可靠的資料傳送。

由 AMIS-49587 組成 PLC 網路廢棄了傳統的具有諸多弊端的路由方案，沒有複雜的路由表，不需要人工設定和調整中繼轉發器，網路會自動的找到最佳路由線路，並且持續進行動態的調節。

此外，在 Linky 專案中，還引入了 Repeater Call 機制。定期運行的這個機制通過先進的演算法調整傳輸路徑中轉發器的設置，減少不必要的電表參與“和聲”，以減少可能的串擾或回聲，這是對網路路由的進一步優化。

3.3 網路建立

由 AMIS-49587 組成的網路採用主從結構，一個用戶端(也稱主機或集中器)與多個伺服器(從機或電表)組成網路。一般通訊的發起者是用戶端。按照

IEC 61334-5-511，用戶端運行“發現 Discovery”和“註冊 Register”服務。“發現”查找新加入或因故重新加入網路的伺服器。如果伺服器進行了正確的應答，進入註冊過程，將被分配獨立的 MAC 地址。

用戶端會定期運行發現、註冊服務，以實現系統 Plug & Play。也會定期進行點對點的 Ping 服務以確定伺服器是否在網和消除可能的位址衝突。

3.3.1 智能同步 Smart synchronization

主從網路中，伺服器必須先與用戶端綁定(綁定後只回復該用戶端)才能完成註冊進而正常與用戶端通訊。這個過程叫與用戶端同步。伺服器與一個用戶端同步後，將不再應答其他用戶端。用戶端訪問超時或伺服器主動解除同步時，重新進入用戶端搜索狀態。

剛上電的伺服器與 50Hz 鎖定後會不斷分析通道，查找前導碼(A A A A h)和起始子幀定界符(54C7h)，如果偵聽到，而且接下來正確收到用戶端發出的實體幀後，即可與該用戶端同步，並接受註冊。

在同步過程中，AMIS-49587 採用了更加智慧的 Smart Synchronization：在一定時間內(可設定)，新入網伺服器可以先後與多個用戶端同步再主動解除同步，期間記錄每個用戶端訊號的強度(SNR)。在設定時間到來時，該伺服器最後會選擇與訊號最強的用戶端同步。

該機制非常有效的解決了抄表系統中常見的多台區/多相訊號串擾問題。由於電錶都會自動找到最近的集中器與之同步，不需要人工干預，使網路路徑自動得到了優化，也極大的減少了施工中的工作量。

3.3.2 報警 Alarm 機制

AMIS-49587 構成的 PLC 網路中還具有報警機制。當電表有故障發生時，要求其通過網路報警，以便管理人員及時得知並處理。主動上報相當於在



網路中實現雙向通訊。Linky 電錶會在實體幀的 Pause 時間段的 3 個位元組發出 Alarm 警報。主機收到後會發起 Discovery 服務，以便調查具體故障原因。

Alarm 另一個非常有用的功用是新電表剛接入時，會通過 Alarm 提示集中器發起 Discovery。這會加快新表的接入過程。不必非得等待主機例行的 Discovery 服務到來。

四、結語

安森美半導體的 AMIS-49587 是完全遵從 IEC-61334 標準開發的電力線載波收發器。在完成實體層調變解調外，嵌入 MAC 層的處理是這款晶片獨到的特點，使其成為具有協定解析功能的 PLC 收發器。客戶在使用這款收發器傳送或接收的資料時，不需要太多關注協定的細節。

可信值”和聲”中繼模式取消了繁雜的路由表，在集中器控制下系統自動找到並持續調整最佳路由線路，使長距離通訊變得簡單可靠的同時極大地減少了施工維護工作量。智慧同步、Repeater Call 模式的加入更是進一步即時動態的對網路進行了最佳化。

安森美半導體還為 PLC 應用專門開發了線路驅動器—NCS5650。集成了高帶寬運算放大器和高達 2 A 輸出電流的功率放大器。兩級運放的結構使其非常容易配製成 4 階低通濾波器，以便滿足各種規章(如 EN 50065)對電力線高頻注入的嚴格限制。

安森美半導體的 PLC 解決方案非常適用於自動化抄表、燈光控制、家用電器以及其他區域集中控制等場合。方案簡單易用，實施效果和可靠性已在歐洲工業現場有超過 8 年的驗證。

SEMITECH 推出 OFDMA 電力線通訊晶片

專注於推動傳統電網向智慧電網(smart grid)發展的電力線通訊解決方案供應商 SEMITECH 半導體公司(Semitech Semiconductor)日前宣佈，推出業界首款基於 OFDMA(正交頻分多址)技術的電力線通訊收發器——SM2200。這款新一代 OFDMA 電力線通訊收發器專門針對雜訊嚴重的電力網環境而設計，並且針對特定的網路通訊應用。SM2200 能提供最高可靠性級別的供電線路通訊，同時重點引入了高級電錶架構(AMI)和自動抄表系統(AMR)等應用，充分滿足了用戶對低成本和高性能的要求。

由於各種通訊設備和不同通訊標準中的嚴重雜訊及信號變異等因素，傳統的電力線通訊技術往往存在很多困難。SM2200 通過先進的調變技術和信號處理技術，不僅解決了速率的自適應調整問題，還能夠實現“頻率捷變”(frequency agile)，從而實現高度穩定可靠的通訊。SM2200 能夠根據不同的雜訊環境，自動選擇最高效率的傳輸頻率。它還採用了多址址(Multi Access)架構設計，提供更高的穩定性，實現多節點併發通訊，從而為客戶帶來更多方面的提升，包括最高的通訊吞吐能力和最可靠的通訊可用性等。

針對 SM2200 的應用包括高級電錶架構與自動抄表系統、路燈控制系統、智慧化家庭電力管理、家庭自動化、樓宇自動化以及其他各類需要利用供電線路進行通訊的應用部署。目前，SM2200 所採用的技術已經在中國地區 1000 多個節點上成功地完成了測試和部署。

SM2200 中內置了一個具備簡單物理層通訊協定的完整資料包數據機。通過與微控制器(MCU)的整合，提供了一個面向資料連結和點到點、星型或 ad hoc 網路的經濟高效的通訊解決方案。

SM2200 的特有功能包括：

可編程調變技術，frequency agile 靈活選擇面向高載波電壓和高雜訊抗擾的BPSK調變或面向高速率資料傳送的QPSK調變。

- 窄帶仿真和低頻模式(將通道放入 CENELEC 頻率範圍)
- 對每個載波可選擇頻率範圍
- 傳輸功率自動調校
- 錯誤自動糾正