

對數位預失真進行故障排除和微調的完整指南 (II)

文章介紹在 DPD 軟體工具的協助下可應用於 DPD 演算法以分析性能的調優策略。

■ 作者：Wangning Ge / ADI 產品應用工程師

圖 13: 未對齊的 DPD 擷取

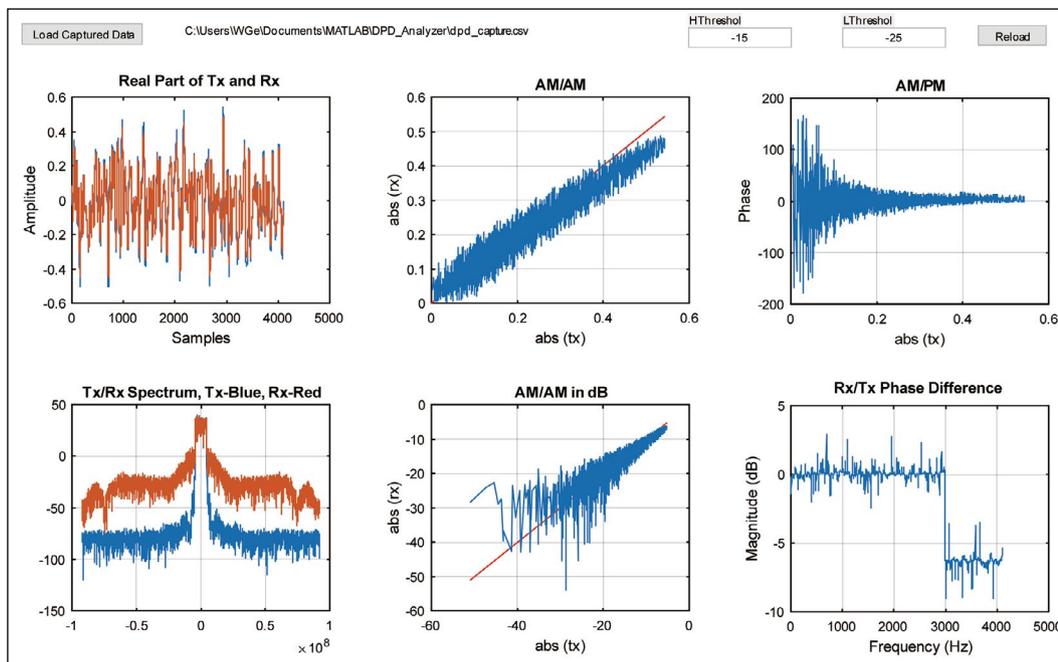
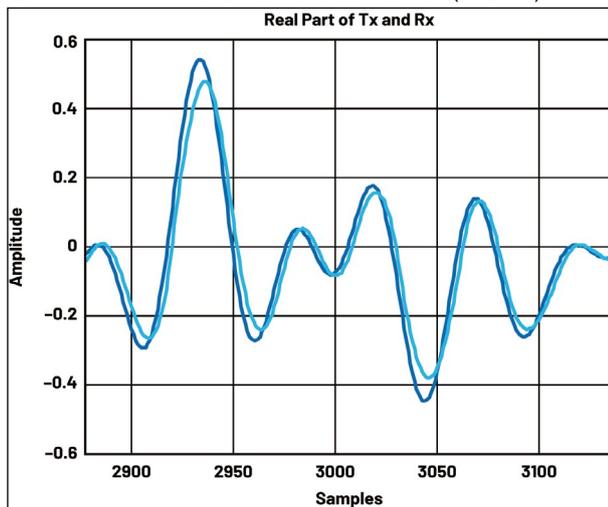


圖 14: 放大 LTE10 的發射器和接收器實部資料 (未對齊)。



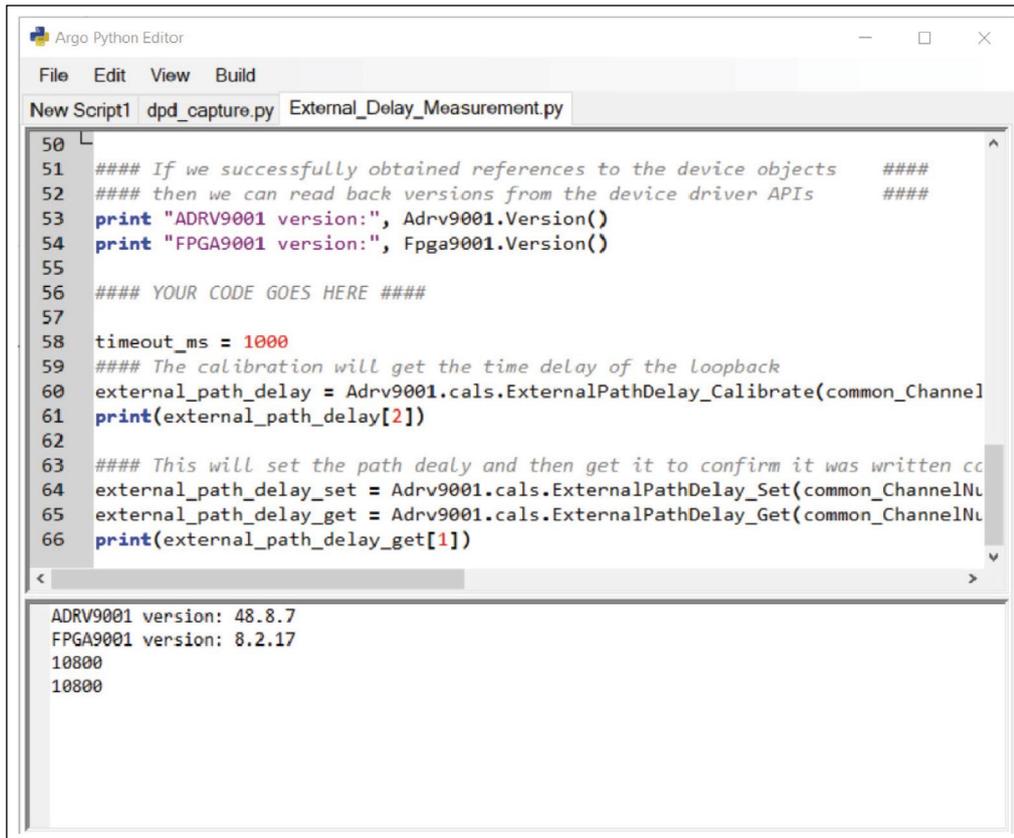
DPD 是自我調整演算法，需要計算兩個實體 (即發射器和接收器) 的誤差。在計算發射器和接收器的誤差之前，需要正確對齊這兩個訊號——尤其是在使用高採樣速率曲線 (例如，LTE10) 的情況下。對齊十分重要，因為樣本之

間的時間非常小。因此，使用者需要運行腳本 `External_Delay_Measurement.py` 來提取外部路徑延遲。可在「板配置」→「路徑延遲」下方輸入該數位。

如果未對齊發射器和接收器資料，所造成的影響，是用戶將觀察到雜訊更大的 AM/AM 曲線。

設定了路徑延遲數位後，我們可以觀察到，AM/AM 和 AM/PM 曲線更乾淨，雜訊更小。相位差也明顯減小。

圖 15: IronPython 外部延遲測量



```

50
51 ##### If we successfully obtained references to the device objects #####
52 ##### then we can read back versions from the device driver APIs #####
53 print "ADRV9001 version:", Adrv9001.Version()
54 print "FPGA9001 version:", Fpga9001.Version()
55
56 ##### YOUR CODE GOES HERE #####
57
58 timeout_ms = 1000
59 ##### The calibration will get the time delay of the loopback
60 external_path_delay = Adrv9001.cals.ExternalPathDelay_Calibrate(common_ChannelNu
61 print(external_path_delay[2])
62
63 ##### This will set the path delay and then get it to confirm it was written co
64 external_path_delay_set = Adrv9001.cals.ExternalPathDelay_Set(common_ChannelNu
65 external_path_delay_get = Adrv9001.cals.ExternalPathDelay_Get(common_ChannelNu
66 print(external_path_delay_get[1])

```

ADRV9001 version: 48.8.7
 FPGA9001 version: 8.2.17
 10800
 10800

PA 超載

每個 PA 對於能夠處理的壓縮程度都有自己的規範。雖然產品手冊中通常提供 P-1dB 資料，但仍建議對 DPD 進行準確測量，以確保壓縮點位於 P-1dB。透過 DPD 軟體，使用者能夠查看基於擷取資料的 AM/AM 曲線，進而觀察壓縮點與 P-1dB 的接近程度。

但是，如果訊號超出 P-1dB，這

圖 16: 對齊的 DPD 擷取

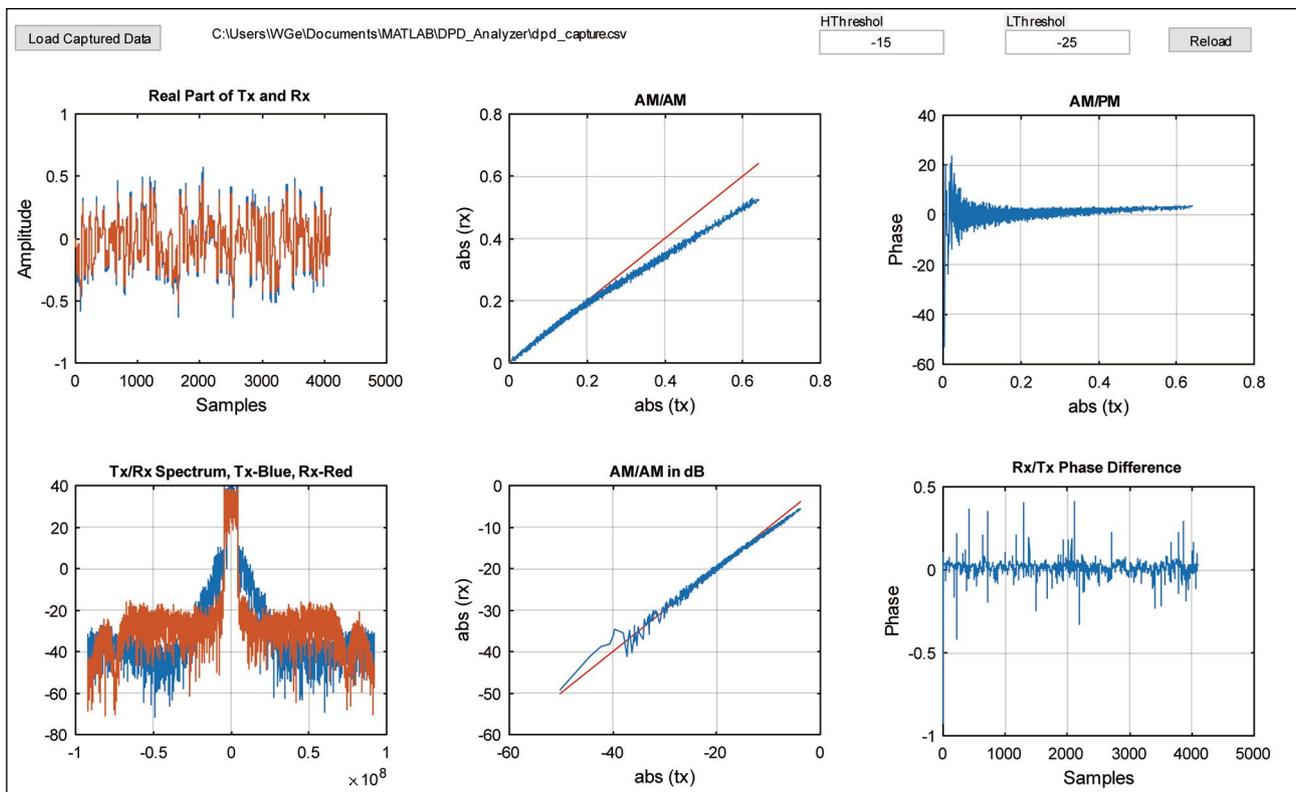


圖 17: 放大的 LTE10 發射器和接收器實部資料 (對齊)

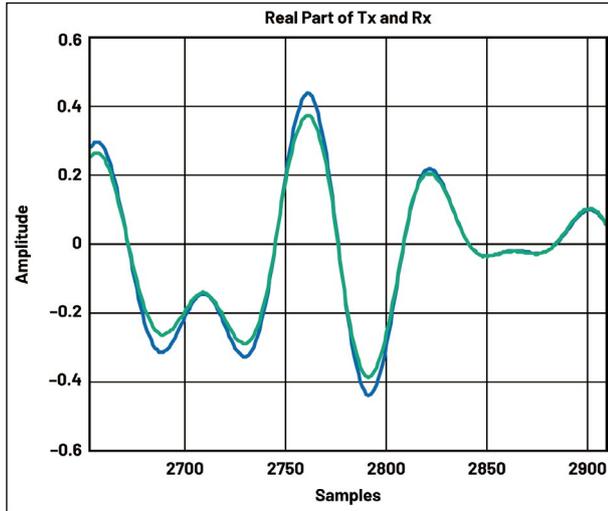
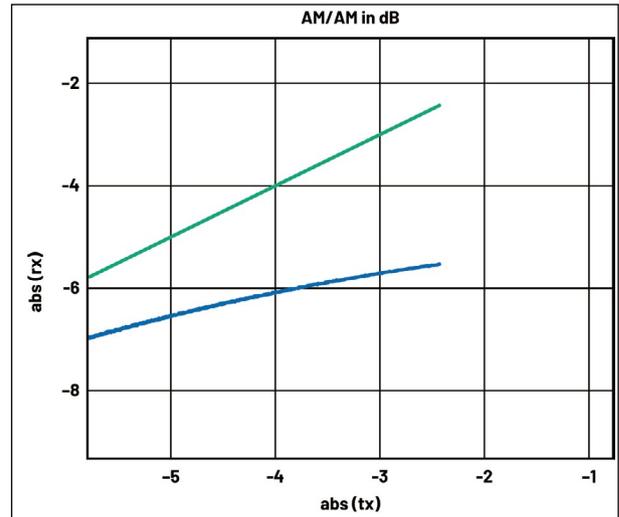


圖 19: 以 dB 為單位呈現的 AM/AM 曲線 (已放大)



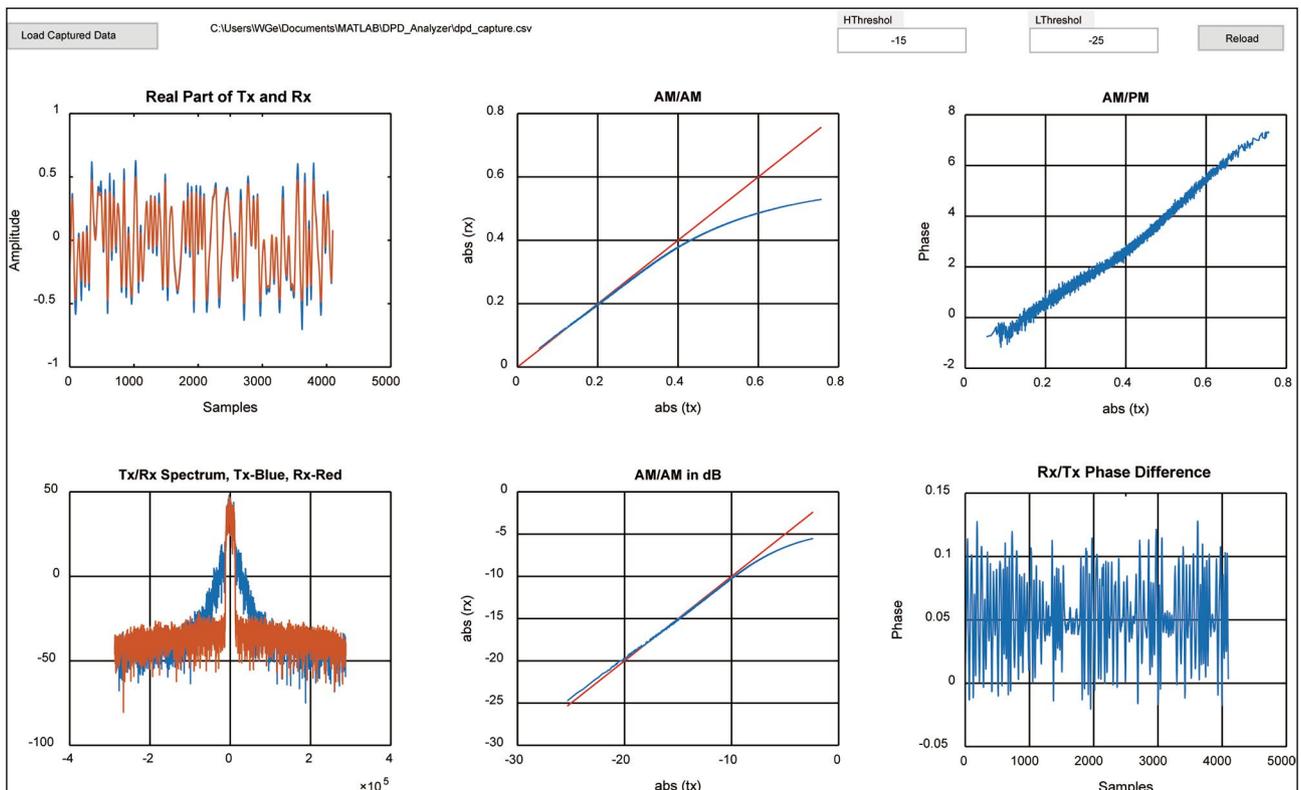
可能會導致 DPD 不穩定，或者甚至中斷，頻譜跳轉到非常高的位準，再也不會降下來。在圖 19 中，峰值時的壓縮遠超出 1 dB 區域，曲線的形狀也開始變得更平坦。這表示 PA 被過驅，為了增加輸出功率，將提供更多輸入，以支援輸出功率位準。此時，如果用戶決定繼續增加

輸入功率，DPD 性能將下降。

一般策略模式選擇與調整

間接 DPD 就是在 PA 前後擷取資料，而 DPD 引擎將嘗試類比 PA 的相反效應。LUT 用

圖 18: PA 超載數據



於使用係數應用該效應，該模式基於多項式。這表示 DPD 更像是曲線擬合問題，使用者將嘗試使用各項來「曲線擬合」非線性效應。區別在於，曲線擬合問題擬合的是單一曲線，而 DPD 還必須考慮記憶效應。ADRV9002 有 3 個記憶分支，和 1 個用於對 DPD LUT 進行建模的交叉分支。

圖 20 顯示 ADRV9002 提供的 3 個記憶分支和 1 個交叉分支。一般策略與曲線擬合問題

類似。用戶可從基線著手，然後增加和移除項。一般而言，中心分支必須存在 (分支 1)。用戶可以逐一增加和移除項，以測試 DPD 的效應。然後，使用者可以繼續增加兩個記憶分支 (分支 0 和 2)，以增加記憶效應校正的效果。注意，由於 ADRV9002 有兩個側分支，因此這些分支應該相同——也就是應該對稱。此外，增加和移除項時，必須逐一操作。最後，用戶可以試驗交叉項。交叉項從數學的角度完成曲線擬合問題，

因而提供更好的 DPD 性能。

注意，用戶不得透過將項留空來跳過項，因為這將導致 DPD 出現不良行為。另請注意，使用者不得在交叉項分支上設定第 0 項，因為從數學的角度來看，這也是無效的。

圖 20: 記憶項和交叉項映射

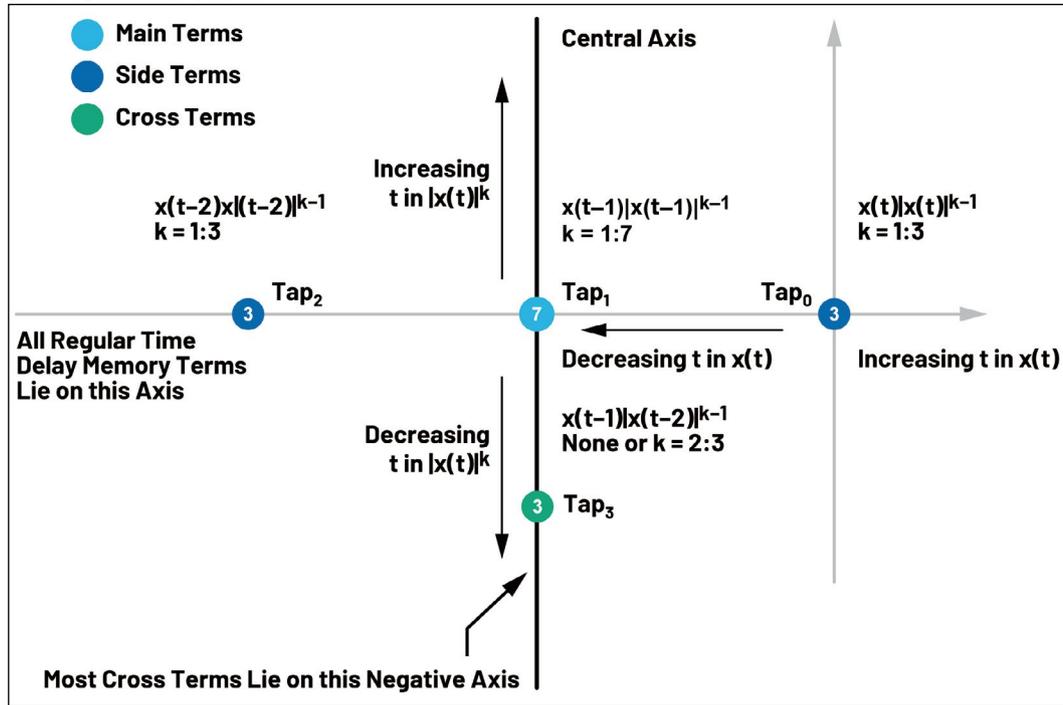


圖 21: 無效的模式項設定

| | | | | | | | | | |
|-------|--|--|---|---|---|---|---|--|------------|
| Tap 0 | <input checked="" type="checkbox"/> a ₀ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₁ x + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₂ x ² + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₃ x ³ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₄ x ⁴ + | <input type="checkbox"/> a ₅ x ⁵ + | <input type="checkbox"/> a ₆ x ⁶ + | <input type="checkbox"/> a ₇ x ⁷ | Mask: 0x1F |
| Tap 1 | <input checked="" type="checkbox"/> a ₀ + | <input type="checkbox"/> a ₁ x + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₂ x ² + | <input type="checkbox"/> a ₃ x ³ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₄ x ⁴ + | <input type="checkbox"/> a ₅ x ⁵ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₆ x ⁶ + | <input type="checkbox"/> a ₇ x ⁷ | Mask: 0x55 |
| Tap 2 | <input checked="" type="checkbox"/> a ₀ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₁ x + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₂ x ² + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₃ x ³ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₄ x ⁴ + | <input type="checkbox"/> a ₅ x ⁵ + | <input type="checkbox"/> a ₆ x ⁶ + | <input type="checkbox"/> a ₇ x ⁷ | Mask: 0x1F |
| Tap 3 | <input type="checkbox"/> a ₀ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₁ x + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₂ x ² + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₃ x ³ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₄ x ⁴ + | <input type="checkbox"/> a ₅ x ⁵ + | <input type="checkbox"/> a ₆ x ⁶ + | <input type="checkbox"/> a ₇ x ⁷ | Mask: 0x1E |
| Tap 0 | <input checked="" type="checkbox"/> a ₀ + | <input type="checkbox"/> a ₁ x + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₂ x ² + | <input type="checkbox"/> a ₃ x ³ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₄ x ⁴ + | <input type="checkbox"/> a ₅ x ⁵ + | <input type="checkbox"/> a ₆ x ⁶ + | <input type="checkbox"/> a ₇ x ⁷ | Mask: 0x15 |
| Tap 1 | <input checked="" type="checkbox"/> a ₀ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₁ x + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₂ x ² + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₃ x ³ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₄ x ⁴ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₅ x ⁵ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₆ x ⁶ + | <input type="checkbox"/> a ₇ x ⁷ | Mask: 0x7F |
| Tap 2 | <input checked="" type="checkbox"/> a ₀ + | <input type="checkbox"/> a ₁ x + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₂ x ² + | <input type="checkbox"/> a ₃ x ³ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₄ x ⁴ + | <input type="checkbox"/> a ₅ x ⁵ + | <input type="checkbox"/> a ₆ x ⁶ + | <input type="checkbox"/> a ₇ x ⁷ | Mask: 0x15 |
| Tap 3 | <input checked="" type="checkbox"/> a ₀ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₁ x + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₂ x ² + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₃ x ³ + | <input checked="" type="checkbox"/> a ₄ x ⁴ + | <input type="checkbox"/> a ₅ x ⁵ + | <input type="checkbox"/> a ₆ x ⁶ + | <input type="checkbox"/> a ₇ x ⁷ | Mask: 0x1F |

進階調整

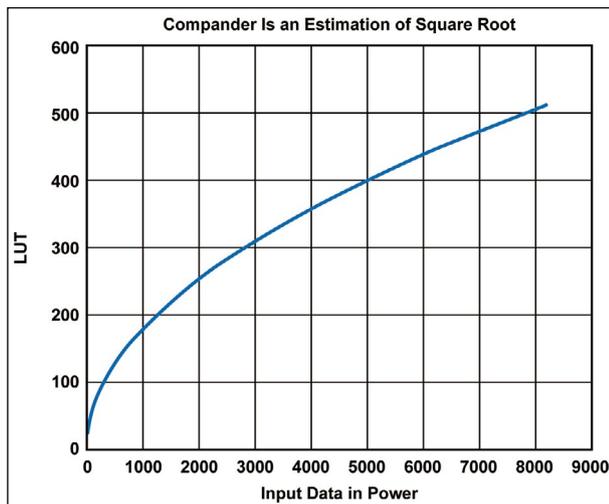
壓縮擴展器和預 LUT 縮放模組

在上一部分中，我們提到了壓縮擴展器。首次閱讀使用者指南時，此一概念可能會令人困惑，不知道它是

什麼意思或者該選擇什麼 (256 還是 512)。壓縮擴展器的目的是壓縮輸入資料，並將其放入 LUT。

壓縮擴展器的一般形狀是平方根，在這裡，I/Q 數據傳入。在我們將這些資料放入 LUT 之前，等式 $\sqrt{(i(n)2+q(n)2)}$ 將用於從之前的等式中獲得訊號幅度。然而，由於平方根運算對速度的要求很高，並且還需要將其映射到 LUT (8 位或 9 位)，因此需使用壓縮擴展器。圖 22 是理想的平方根曲線。此處將不顯示實際實現方案，但簡言之，這將是對平方根曲線的估算。

圖 22: 壓縮擴展器——估算平方根的形狀



瞭解資料如何放入 LUT 後，我們可以更明智地開始調整資料。ADRV9002 可選擇 8 位元 (256) 或 9 位元 (512) 作為 LUT 大小。更大的 LUT 表示資料的位址位置加倍。這表示資料的解析度更高，並且一般而言，量化雜訊位準更好。對於窄頻應用，由於雜訊非常重要，因此我們建議始終選擇 512。對於寬頻應用，由於雜訊位準沒那麼重要，因此可使用任一選項。但是，如果選擇 512，消耗的功率會略高，計算速度會比較慢。

長條圖和 CFR

在 DPD 配置部分，我們簡要提及了預縮

放。該參數用於為 LUT 提供大量輸入資料。需要大量輸入資料的原因是，在某些情況下，DPD 未正確使用資料。對於此類 PA 壓縮問題，真正被壓縮並導致問題的是高幅度樣本。因此，我們不能平等對待所有樣本；相反的，我們需要重點關注高幅度樣本。

現在請看一下 TETRA1 標準波形長條圖 (參見圖 23 和圖 24)。在此可以看到，大多數值出現在中高幅度區域。這是因為 TETRA1 標準使用 D-QPSK 調變方案，結果是訊號將獲得恆定包絡。峰值功率與平均功率之間沒有太大

圖 23: TETRA1 幅度長條圖

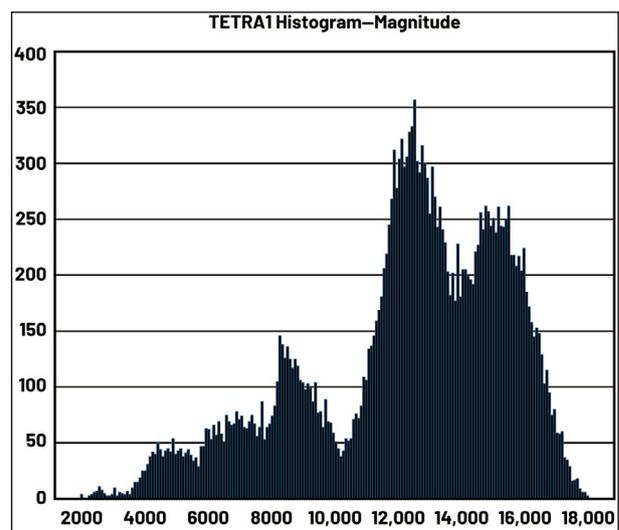


圖 24: TETRA1 功率長條圖

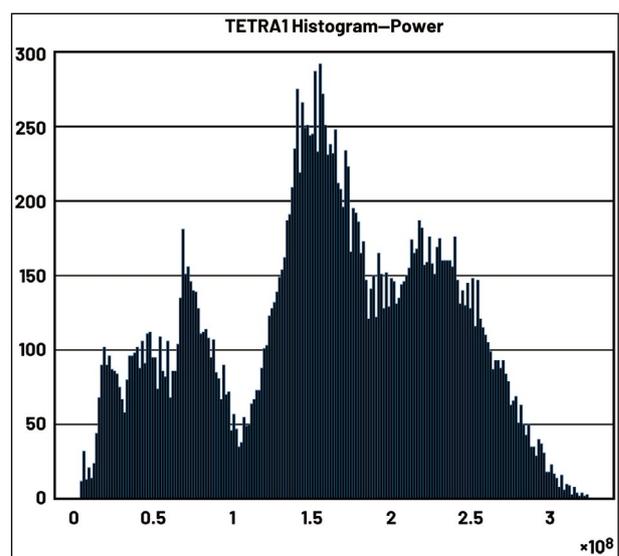
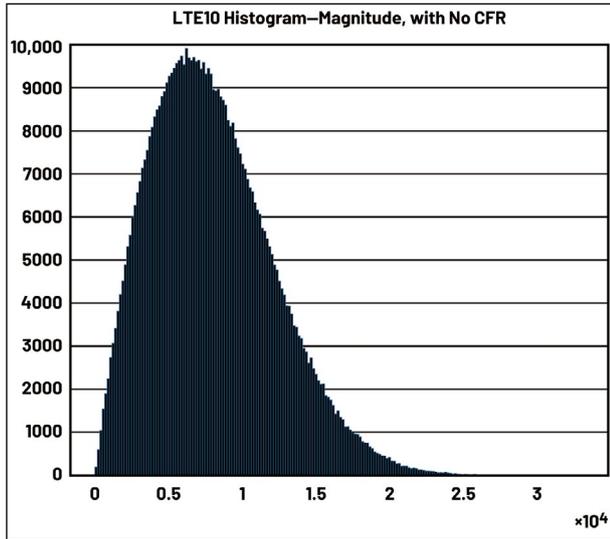


圖 25: LTE10 幅度長條圖，沒有 CFR。



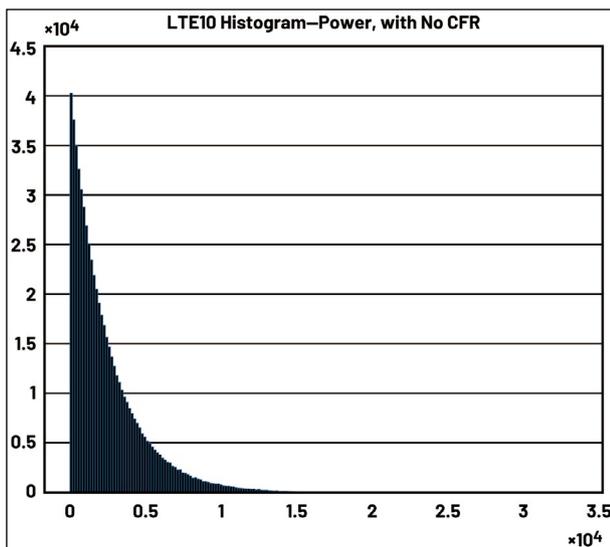
的區別。

這正是 DPD 所需要的。如前所述，DPD 將擷取更高幅度的樣本，因此將更能表徵 PA 的行為。

現在，我們以類似方式來看 LTE10 標準。LTE 使用 OFDM 調變方案，將成百上千的子載波組合在一起。這裡可再次看到 LTE10 的幅度和功率，讓我們可以輕鬆觀察到與 TETRA1 的區別，即峰值離主平均值非常遠。

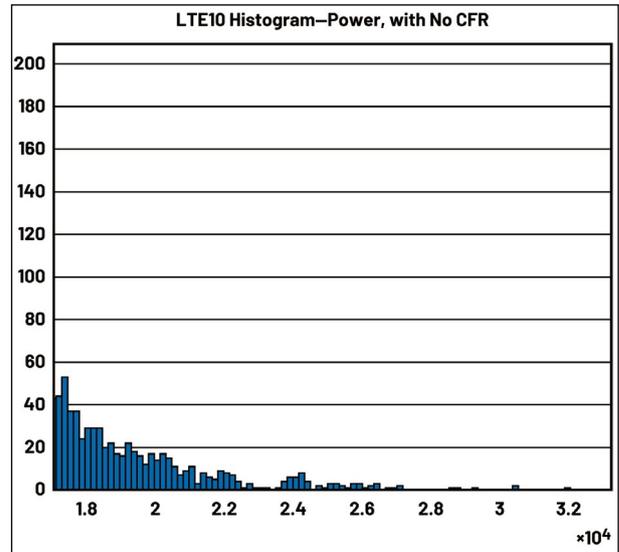
在功率長條圖中 (參見圖 26)，如果放大遠端，可以看到仍有非常高的峰值出現，但概率

圖 26: LTE 功率長條圖，沒有 CFR。



非常低。對於 DPD 而言這是非常不利的。原因有二：

圖 27: 放大大幅度樣本。



首先，高峰值 (高幅度訊號) 的低概率計數將使 PA 的效率極其低下。例如，LTE PAPR 約為 11 dB。這是很大的不同。為了避免損壞 PA，輸入位準將需要大幅回退。因此，PA 沒有用其大部分增益能力來提升功率。

第二，高峰值也是在浪費 LUT 的利用率。由於這些高峰值，LUT 將為它們分配大量資源，並為大部分數據僅分配一小部分 LUT。這會降低 DPD 性能。

削峰 (CFR) 技術將訊號峰值向下移動到更能接受的水準。這通常用於 OFDM 類型的訊號。ADRV9002 不包含片內 CFR，因此需要在外部實現該功能。為此，在 ADRV9002 TES 評估軟體中，還包含 CFR 版本的 LTE 波形。CFR_sample_rate_15p36M_bw_10M.csv 如圖 28 所示。可以看到，由於 CFR，在高功率時，訊號的峰值被限制在特定水準 (在末端傾斜)。這將 PAPR 有效地推動到 6.7 dB，差值約為 5 dB。CFR 的操作將對資料造成「損害」，因為 EVM 將降級。但是相較於整個波形，高位準幅

圖 28:LTE10 幅度長條圖，有 CFR。

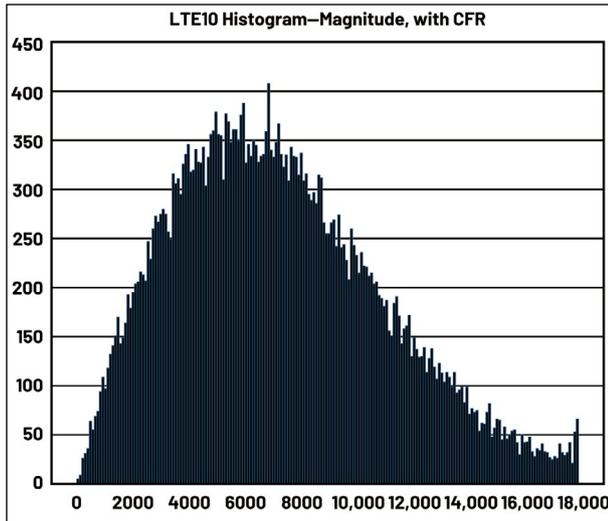
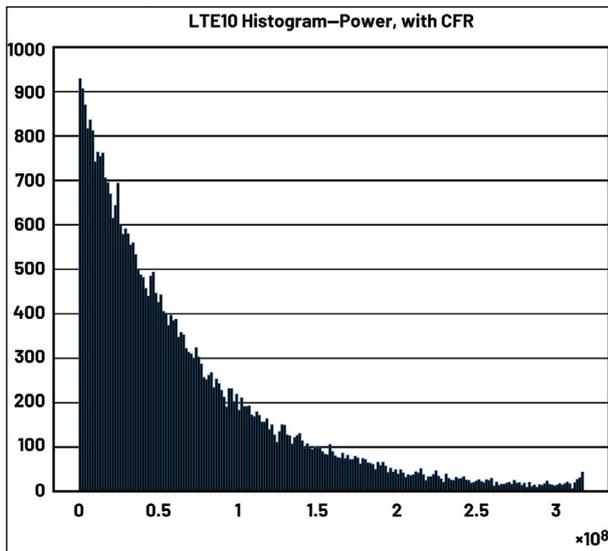


圖 29:LTE10 功率長條圖，有 CFR。

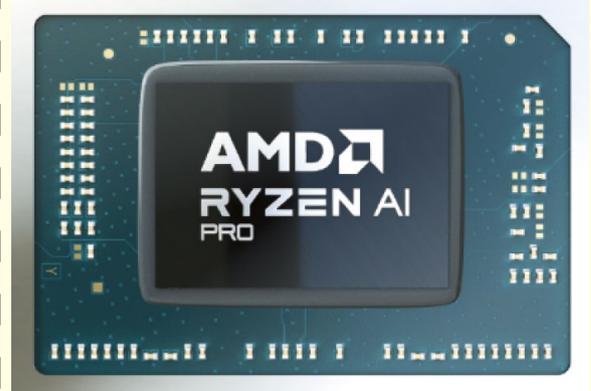


度峰值出現的概率非常小，將帶來高度的優勢。

結論

由於 DPD 是一種複雜的演算法，因此造成許多人使用上的困難。為了獲得最佳結果，往往需要花費大量精力來設定硬體和軟體，並且還需要非常謹慎。ADRV9002 提供整合式晶片內 DPD，這將進一步顯著降低複雜性，此外，ADRV9002 還配備 DPD 軟體工具，更可協助使用者分析其 DPD 性能。CTA

AMD 首批搭載 AMD Ryzen AI PRO 系列處理器的戴爾商用 PC



AMD 宣布 AMD Ryzen AI PRO 處理器將搭載於全新 Dell Pro 產品，將是首批搭載 AMD Ryzen AI PRO 處理器的戴爾商用裝置。

搭載第 3 代 AMD Ryzen AI PRO 處理器的 PC 帶來提升的效率、隱私性、個人化以及連接性。最新一代 Ryzen AI PRO 處理器專為使用 Copilot+ 功能實現商業生產力轉型而設計，包括電話會議中的即時字幕和語言翻譯，以及先進的 AI 影像生成。AMD Ryzen AI PRO 系列處理器在日常工作負載中提供頂尖的 AI 運算能力和卓越效能。憑藉 AMD PRO 技術，AMD Ryzen AI PRO 系列處理器提供世界級的安全和可管理性功能，以簡化 IT 營運，並確保企業獲得傑出的投資報酬率 (ROI)。

全新 Dell Pro 產品組合包括搭載 AMD Ryzen AI PRO 處理器的筆記型電腦和桌上型電腦。這些搭載 Ryzen AI PRO 的 PC 充分運用處理器內建 CPU、GPU 和 NPU 的綜合功能，無論在辦公室、家中或是其他地方，皆能提供卓越的電池續航力、強大的裝置上 AI 功能、Copilot+ 體驗以及可靠的生產力。

AMD Threadripper PRO 處理器為高效能工作站提供動能，助力設計人員、工程師和創作者加速工作流程，並高效完成要求嚴苛的任務。此外，多代 Dell PowerEdge 伺服器皆已搭載 AMD EPYC CPU，處理從傳統資料中心應用到先進 AI 任務的工作負載。