

具有可擴展功率和性能的收發器：

關鍵任務通訊解決方案(下)

■作者：Michelle Tan / ADI 產品應用工程師

摘要

本文探討了 ADRV9001，這是 ADI 最新一代軟體定義無線電 (SDR) 收發器單晶片積體電路 (IC)，目的在為衛星、軍事、陸地移動、公用事業基礎設施和行動通訊網路的眾多關鍵任務型通訊應用提供可擴展的功率和性能。首先從元件級別、通道級別和 IC 系統級別介紹 ADRV9001 中的三個使用者定義節能選項。然後，進一步討論被稱為監測模式的一項獨特的系統功能，該功能不僅為 ADRV9001 節省功率，並能夠讓用戶降低基頻積體電路 (BBIC) 的運行功率，以實現整個系統的最優化節能目標。本文並展示了每個節能選項的節能效果，並詳細說明與之相關的性能權衡因素。

系統級節能

如前一節所述，通道級節能模式會關斷與通道相關的元件，例如資料路徑、RF PLL 和 LDO 穩壓器。在發射和接收通道都處於閒置狀態時，例如處於圖 6 所示的場景下時，系統級元件可以進一步關斷以實現更高節能效益。這些系統級元件包括時脈 PLL、轉換器 LDO 穩壓器、時脈 PLL LDO 穩壓器，以及 Arm 處理器及其記憶體。與通道級節能模式類似，提供三種系統級節能模式，更多的模式會關斷額外的系統元件，具體參見表 4。

如表 4 所示，在模式 1 的基礎上，模式 3 關斷 CLK PLL；在模式 2 的基礎上，模式 4 關斷 CLK PLL、轉換器 LDO 穩壓器和 CLK PLL LDO 穩壓器。在模式 4 的基礎上，模式 5 進一步關斷 Arm 設備及其記憶體。同樣，關斷更多組件會導致喚醒時間延

表 4: 系統級節能模式和所需的喚醒時間

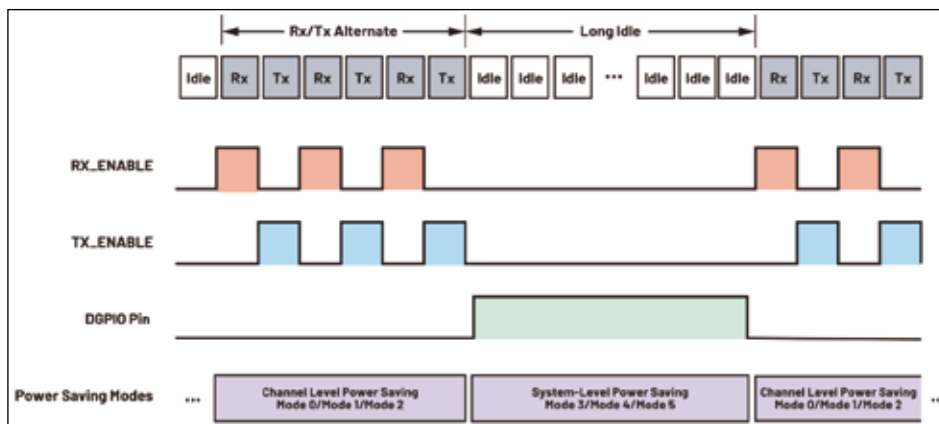
通道級節能模式通道和系統元件關斷		Mode 3	Mode 4	Mode 5
Tx	Analog and Digital Data Path	X	X	X
	Tx Internal PLLs	X	X	X
	PLL LDOs and Tx LDOs		X	X
Rx	Analog and Digital Data Path	X	X	X
	Rx Internal PLLs	X	X	X
	PLL LDOs and Rx LDOs		X	X
System	CLK PLL	X	X	X
	Converter LDOs and CLK PLL LDOs		X	X
	Arm + Memories			X
不同配置下的喚醒時間		Mode 3	Mode 4	Mode 5
Approximate Power-Up Time (µs)		250	650	3200

長。在模式 5 中，喚醒所有元件需要約 3.2 ms。

與通道級節能不同，系統級節能必須透過 DGPIIO 接腳觸發。圖 8 顯示一個示例，展示在 TDD 操作的不同時段，如何聯合使用通道級節能和系統級節能來實現更高程度的節能。

在本示例中，在發射和接收操作交替進行的時段內，用戶可以使用 RX_ENABLE 和 TX_ENABLE 訊號選擇可能最高的通道節能模式。在沒有通道運行的較長閒置時段內，用戶可以使用 DGPIIO 接腳觸發最高的系統級節能模式，從而關斷更多的系統元件。這

圖 8：一個聯合使用通道級和系統級節能功能的示例。



有助於實現更多節能（僅與通道級節能比較）。與通道級節能模式 1 和模式 2 中的 DGPI0 接腳方法類似，系統級節能模式中的 DPGIO 接腳方法只能在 TX_ENABLE 和 RX_ENABLE 訊號均為低電平時使用。

表 5 顯示圖 7 中 DMR 用例的功耗：當一個通道處於啟動狀態時使用節能模式 2，當兩個通道都處於閒置狀態時使用三種不同的系統級節能模式。

表 5：使用通道級節能模式 2，以及系統級節能模式 3、4 和 5 時，TDD DMR 設定檔在不同時間段下的功耗

系統級節能模式 (僅閒置)	Power Consumption (mW)		
	P_{Tx} (Transmit Only, Mode 2)	P_{Rx} (Receive Only, Mode 2)	P_{Idle} (Idle)
Mode 3	580	502	100
Mode 4	580	502	65
Mode 5	580	502	35

與表 3 相比，很明顯可以看出，在閒置時段內，使用系統級節能模式可以節省更多能源。以同一個 5-5-90 DMR 應用為例，在使用模式 5 時，平均功耗進一步降低，可以計算得出 $580 \times 5\% + 502 \times 5\% + 35 \times 90\% = 86 \text{ mW}$ 。

監測模式

在之前的章節中，我們探討了三種不同級別的節能選項。要在系統中實現卓越節能，只降低 ADRV9001 的功耗可能是不夠的。理想狀態下，在很長的閒置時段內，只有在所有主要元件都可以關

斷時，整個系統才可以實現最佳節能。為了實現此目標，ADRV9001 提供了一種監測模式，允許 ADRV9001 和 BBIC 在整個閒置時段內進入深度睡眠，除了一個接收通道，該通道可以選擇性被喚醒，以定期執行訊號檢測。當發現有效訊號時，ADRV9001 立即喚醒 BBIC。如此的設計可以

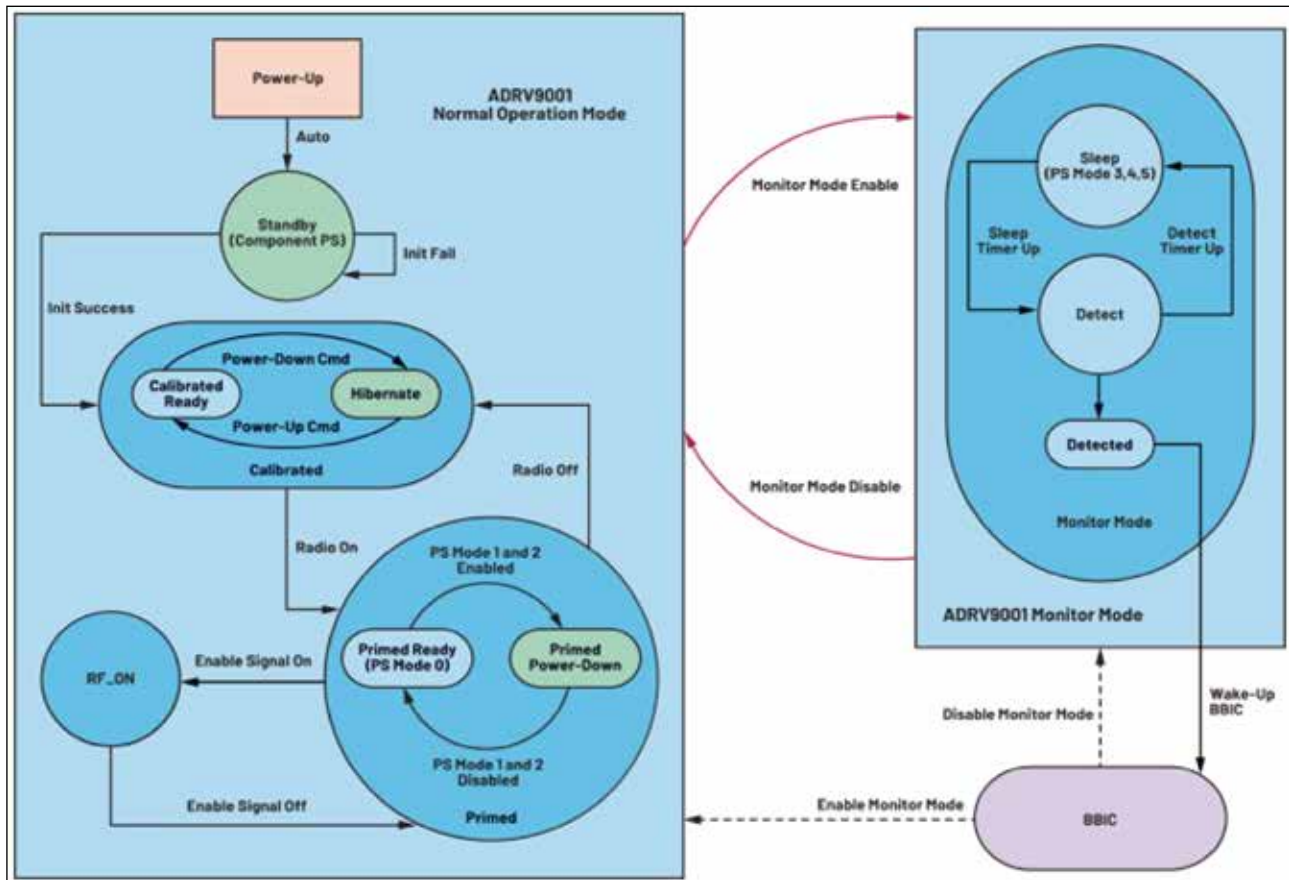
讓 BBIC 解除訊號檢測責任，使其（以及系統中由 BBIC 控制的其他電路）能在整個閒置時段內進入睡眠狀態，以實現最高整體系統節能。

圖 9 顯示 ADRV9001 的簡化狀態圖，以及它如何在正常操作模式和監測模式之間轉換。

如圖 9 所示，在正常操作模式下，ADRV9001 在上電之後，會自動進入待機狀態，在該狀態下，使用者可以配置元件級節能選項。初始化成功後，待機狀態將切換到校準狀態。如前所述，在此狀態下，可以使用 API 命令將未使用的通道（儘管已初始化）從校準就緒子狀態移動到休眠子狀態。從校準狀態，無線電開啓指令進一步啟動通道，為發射和接收操作做好準備，所有通道都切換到啟動就緒子狀態。注意：此子狀態相當於預設的通道級節能模式 0。當通道使能訊號開啓時，通道進一步進入 RF_ON 狀態，以開始操作。如前所述，在 TDD 操作期間，可以使用通道級節能模式關斷閒置通道。如果使用節能模式 0，將會使閒置通道從 RF_ON 狀態切換進入啟動就緒子狀態。如果使用節能模式 1 或模式 2，將會使閒置通道從 RF_ON 狀態切換進入關斷子狀態。

當 BBIC 檢測到較長閒置時段開始時，將會啟動從正常操作模式向監測模式的轉換。在監測模式下，BBIC 根據 BBIC 設置的配置，採用系統級節能模式 3、模式 4 或模式 5。ADRV9001 和 BBIC 都進入睡眠狀態，一個 ADRV9001 接收通道除外，會

圖 9: ADRV9001 在正常操作模式和監測模式下的狀態圖。

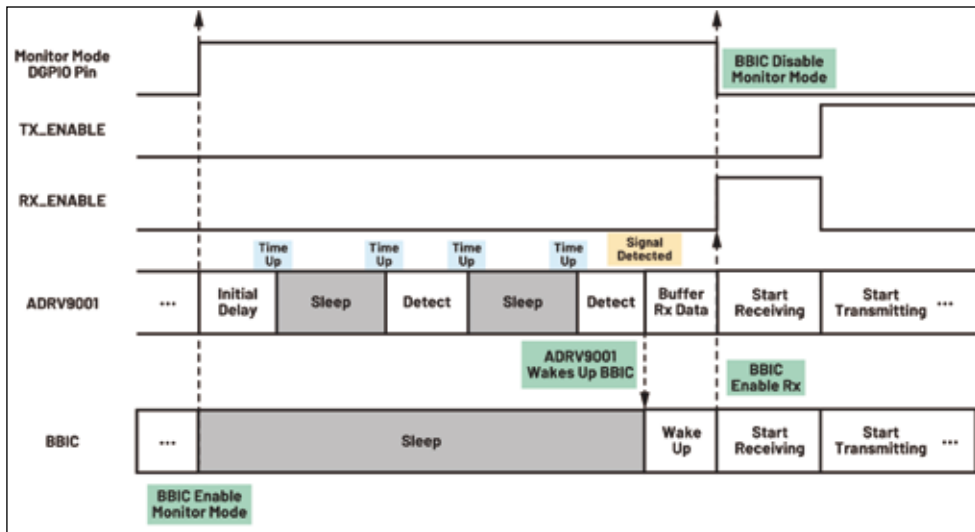


選擇性喚醒，以定期執行訊號檢測。當發現有效訊號時，ADRV9001 將喚醒 BBIC，BBIC 將進一步關閉監測模式，以恢復正常運行。

如圖 9 所示，監測模式由三種不同的狀態組成：睡眠、檢測和已檢測。睡眠和檢測週期透過計時器來控制。當時間結束時，如果未檢測出有效訊號，則將轉換到另一種狀態。BBIC 決定計時器的設定，以及應該從哪個狀態啟動監測模式。如果在檢測狀態下檢測到有效訊號，ADRV9001 將立即轉換到已檢測狀態，並喚醒 BBIC。然後，BBIC 關閉監測模式，ADRV9001 切換回正常操作模式。監測模式與在系統級節能模式下一樣，是由 DGPIO 接腳觸發啟動，因為從根本上來說，此兩種模式非常相似，只不過監測模式整合了訊號檢測功能。實際上，ADRV9001 可以透過 API 命令在系統級節能模式和監測模式之間動態切換。

圖 10 詳細描述 ADRV9001 和 BBIC 在監測模式下，發生的相關時序事件。當監測模式 DGPIO 接腳被 BBIC 置位時，BBIC 開始睡眠，ADRV9001 將等待一個可配置的初始延遲，然後透過配置的計時器進入睡眠檢測模式。ADRV9001 可以在初始延遲期間執行訊號檢測，確保在進入睡眠模式之前，不存在任何訊號。ADRV9001 的睡眠檢測模式繼續運行，直到檢測出有效訊號。然後，ADRV9001 喚醒 BBIC 並開始緩衝有效的接收資料，以確保 BBIC 在睡眠期間不會丟失任何有效資料。在 BBIC 完全喚醒後，其將使能接收通道，首先以預先配置的更高的介面資料速率檢索所有的緩衝資料。然後，進一步關閉監測模式，以恢復正常操作。注意：BBIC 可以將檢測計時器設定為 0，使得 ADRV9001 不再執行任何訊號檢測，而是由 BBIC 執行訊號檢測，並在檢測到有效訊號時通過隨時取消置位 DGPIO 接腳來結束監測模式。

圖 10: 監測模式期間，ADRV9001 和 BBIC 的時序事件。



所以其適用於任何類型的無線電標準。SYNC 方法檢測由 DMR 標準定義的特定同步訊號模式。FFT 方法僅適用於使用 FSK 調變方案的標準。因此，監測模式可以用於 DMR 之外的其他標準，沒有限制。

表 6 顯示圖 7 所示的 DMR 應用在閒置時段內，在監測模式下使用不同的系統級節能模式

表 6: 使用系統級節能模式 3、4 和 5 時，TDD DMR 設定檔在睡眠和檢測狀態下的功耗

System-Level Power Saving Mode	Power Consumption (mW)	
	Sleep	Detect
Mode 3	100	240
Mode 4	65	240
Mode 5	35	225

時，處於睡眠狀態和檢測狀態時的功耗。

根據睡眠和檢測狀態下的計時器配置，可以確定監測模式期間的平均功耗。雖然 ADRV9001 在檢測狀態下執行檢測會比在睡眠狀態下的功耗大，但其允許 BBIC 在整個閒置時段內保持睡眠狀態，從而會提升整體系統節能。

ADRV9001 提供多種訊號檢測方法，以適應不同的無線電標準，包括接收訊號強度指標 (RSSI)、同步 (SYNC) 和快速傅立葉變換 (FFT)。RSSI 方法將接收訊號位準與閾值進行比較，以確定有效訊號，

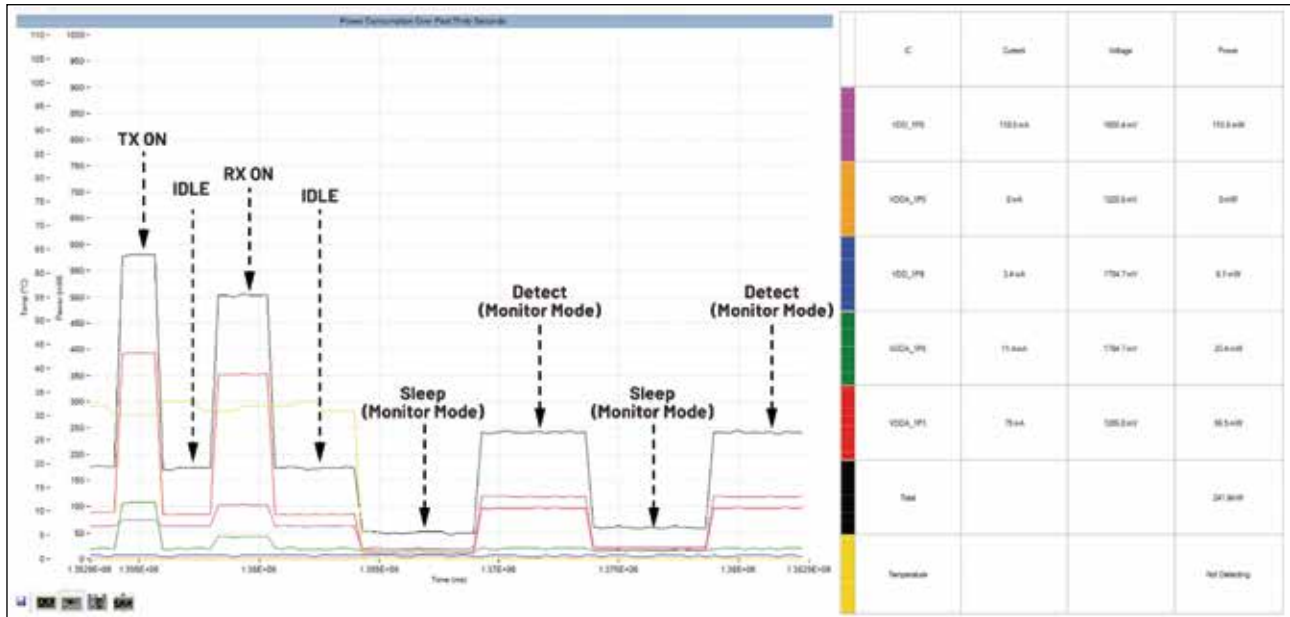
透過 TES 執行功耗評估

本文展示的所有功耗測量都是透過 ADRV9001 TES 和 ADRV9001 評估板 (EVB) 進行。有關 TES

圖 11: TES 中的節能選項和功率監測模式配置。



圖 12: 使用 TES 即時顯示功耗。



和 EVB 的更多資訊，請瀏覽 ADRV9002 產品頁面。TES 支援 Xilinx ZC706 和 ZCU102 FPGA 評估板。³ 包含監測模式在內的所有節能選項都可以在 TES 中配置，如圖 11 所示。

自帶說明的節能配置頁面非常易於使用。為了協助用戶進一步評估功耗，ADRV9001 EVB 配備了一個電源監測晶片，以即時監測和測量功耗。在 TES 中，可以 30 秒為間隔，詳細顯示不同電源域的功耗，如圖 12 所示。TES 是一款強大的視化工具，可以即時評估不同通道狀態下的功率性能。測量精度可達到 $\pm 2.5\%$ 誤差範圍內。

結論

如本文所述，ADRV9001 收發器系列在元件、通道和系統級，以及在監測模式下提供各種節能選

項，能夠為許多關鍵任務型應用實現可擴展的功率和性能。瞭解每個節能選項的相關性能權衡因素對於確定適用的系統節能策略非常重要。用戶可以透過 ADRV9001 TES 和 EVB 所提供的高度準確且即時顯示所有電源域功耗的功能來全面評估所有節能選項。

參考電路

- ¹ 雙向無線電和電池壽命。Hytera Europe，2016 年 12 月。
- ² ADRV9002 雙通道窄頻和寬頻 RF 收發器產品手冊。ADI，2021 年 4 月。
- ³ ADRV9001 系統開發使用者指南。ADI，2021 年 10 月。CTA

COMPOTECHAsia 臉書

每週一、三、五與您分享精彩內容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>