

解決 Nano IQ 系統的性能挑戰

**Vishnu Ravinuthula**

Design Director
Battery Management Solutions

Contributors:**Siddharth Sundar**

Business Lead
Battery Monitor Products

Vladislav Merenkov

Product Marketing Manager
Boost Converters and Controllers

Alan Lee

Product Marketing Manager
Battery Charger Products

Vinod Menezes

Senior Technologist
Voltage References and Supervisors

本文重點介紹了在不同電源應用中實現 Nano I_Q (靜態電流) 的各種設計機制及其挑戰。

摘要

- 1 Nano I_Q 在不同電源應用中的重要性**
每一代設備都需要延長電池壽命，這推動了對更低 I_Q 的需求。
- 2 在工業 BMS 監控器中實現 Nano I_Q**
透過切換到僅在需要時啟用設備基本功能的電源模式，並利用電路級創新來降低 I_Q。
- 3 在電壓監控器中實現 Nano I_Q**
需要 Nano I_Q 來延長電池壽命，以進行常開監控，同時也需低延遲以便快速報告故障。

當晶片處於待機模式時，其功耗由其低靜態電流 (I_Q) 定義，這是指電路不驅動任何負載時的安靜狀態。低 I_Q 延長了電池供電的汽車和工業元件的待機操作時間，例如電池管理系統 (BMS) 監控器、BMS 充電器、電壓監控器和 DC/DC 轉換器。但這些設備在待機模式下確實需要消耗一定量的 I_Q，以維持高優先功能和基本功能安全特性，以及快速將系統喚醒至活動模式。

Nano I_Q 在不同電源應用中的重要性

每一代設備都需要延長電池壽命，這推動了對更低 I_Q 的需求。這些設備可以配置為在正常模式、休眠/待機模式或關機模式下運作。正常模式僅佔電源應用任務配置檔 [1] 的很小一部分；這類產品大部分時間都處於待機模式。在正常模式下，電源消耗的電流可能會因為出現高速通訊突發而達到幾毫安，而在進入休眠或待機模式時，電源消耗的電流可能為幾納安。納安級工作模式可以節省電量，從而延長電池壽命。

本文討論了在工業和車用 BMS 電池電壓監控器、充電器、DC/DC 轉換器和電壓監控器等不同電源應用中實現 Nano I_Q 的設計機制以及面臨的挑戰。一方面，需要 Nano

I_Q 來實現更長的電池壽命；另一方面，積體電路 (IC) 需要消耗一定量的 I_Q 來維持系統喚醒等功能。

在工業 BMS 監控器中實現 Nano I_Q

許多電池供電產品，例如電動工具和電動自行車的特性，必須在不同功率狀態下平衡功能與 I_Q。例如，處於活動狀態 (扣動扳機) 的電動工具可能會消耗數安培的電流，使得電動工具中使用的電池監控器的 I_Q 相對於系統的其餘部分可以忽略不計。然而，在啟用基本保護功能的情況下，這款相同的電池供電電動工具可能會在休眠模式下放置在桌子上數小時或數天之久。電動工具也應該能夠快速回應扳機扣動。在這種低功耗狀態下，BMS 監控器消耗的 I_Q 便變得更加重要。

讓休眠模式仍具作用中保護功能；啓用的穩壓器 (以保留系統微控制器 [MCU] 中的記憶體內容)；此外，透過類比轉數位轉換器進行工作週期電壓、電流與溫度量測，系統仍受到完整保護並可快速反應，同時能夠將功耗相對於主動模式降低 10 倍或更多。TI 工業監控器擁有多種休眠模式選項，可讓您選擇是否讓保護功能保持作用 (可讓您保持放電路徑啟用)；是否啟用低壓降穩壓器 (可讓系統 MCU 保留記憶體，並在微秒而不是毫秒內恢復)；此外，還提供電壓、電流與溫度量測的工作週期選項，以實現安全、可操作的休眠模式，可進行客製化以將功耗和性能最佳化。

在車用 BMS 監控器中實現 Nano I_Q

電池控制單元 (BCU) 通常具有 BMS 的主 MCU，並由 12V 電池供電。MCU 無法在 12V 下運作，因此電路板上會有一個 DC/DC 轉換器或電源管理積體電路來為其供電。BCU 上也有可將 MCU 的序列週邊介面/通用非同步接收器發射器通訊協定轉換為電池芯監控器的隔離式菊輪鍊的 BMS 橋接裝置。

12V 電池會在車輛行駛時充電，因此 12V 電源軌的電流消耗較不重要。當車輛停駐且未充電時，高壓接觸器開路，因此 >400V 電池與系統斷開，無法為 12V 電池充電。儘管如此，12V 電池仍必須在未知時間內為 BCU 和其他常

開功能 (例如遙控鑰匙鎖定或解鎖) 供電。低功耗對這類常開設備而言十分重要。

通常，原始設備製造商 (OEM) 不希望從 12V 電池中消耗超過 100 μ A 的平均電流來實現所有常開功能。完全關閉 BCU 可以最大限度地減少 BMS 功耗，但如果電池損壞或

出現危險，系統將無法做出反應。OEM 改而將 MCU 置於極低功耗狀態，並依賴橋接裝置的反向喚醒功能。如 **圖 1** 中所示，此功能可讓電池芯監控器在發生嚴重故障時向橋接設備發出警報，而橋接裝置又會喚醒 MCU，以便它能夠對故障做出回應。

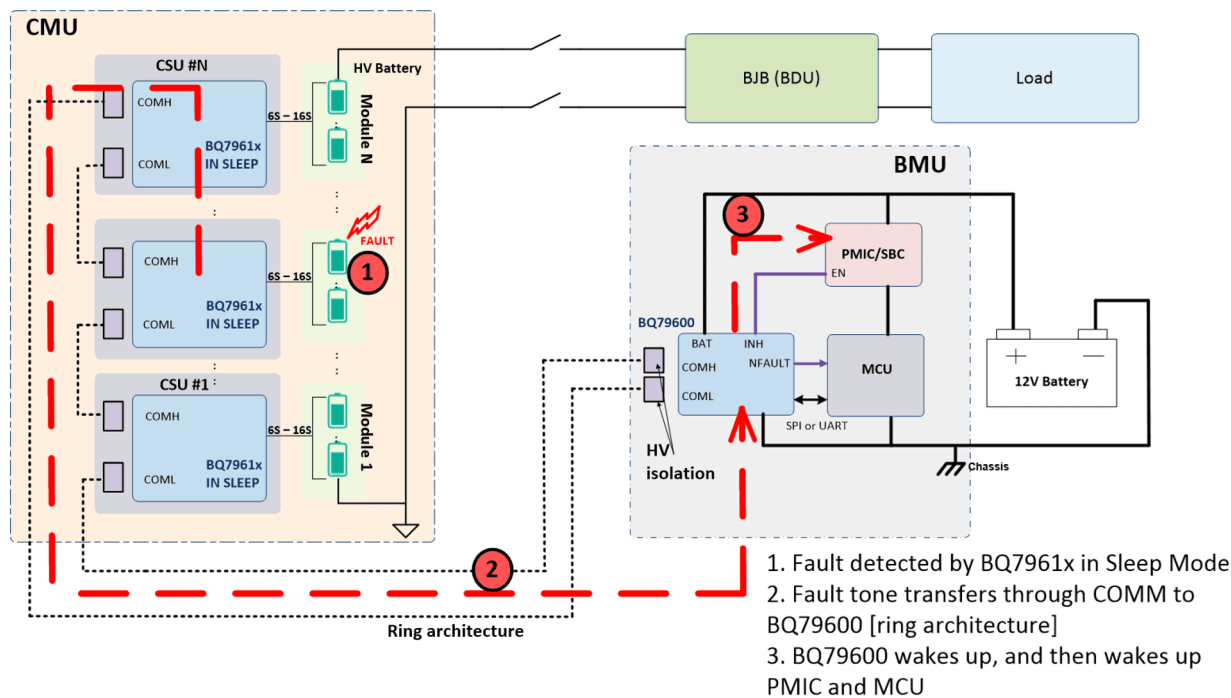


圖 1. 反向喚醒。

橋接裝置的耗電量越低，車輛可以停駐的時間就越長，而安全監控電池的時間也越長，且不會完全耗盡 12V 電池。在休眠模式下，TI BQ79600 的電流消耗為 <7 μ A，這降低了 12V 電池完全放電的風險。

在工業家庭自動化充電器中實現 Nano I_Q

透過連接網際網路的設備來遠端監控和管理家電和系統，我們的住家變得越來越聰明。視訊門鈴是重要的智慧家庭配件，可提供高解析度影像及雙向音訊通訊，讓屋主可透過智慧型手機迎接訪客。儘管大多數視訊門鈴都直接接線到 12V 至 16V 電源，但當現有佈線或變壓器過時或不兼容時，許多消費者會轉而尋求太陽能或電池供電的視訊門鈴。電池通常非常小，無法支援無線連線和門鈴按鈕按下。TI 的 **BQ25622** 和 **BQ25638** 降壓充電器在純電池模式下具有 1.5 μ A 的 I_Q，在關斷模式下為 100nA，其電源路徑可最大限度地延長產品整個生命週期的電池運作時間。

僅在需要時啟用設備的基本功能可降低這些充電器中的 I_Q，基於安全原因，這些充電器具有透過 TS 針腳監控電池溫度的功能。如 **圖 2** 中所示，晶片內部的開關將連接到 TS_BIAS 針腳的外部熱敏電阻網路與 5V REGN 針腳隔離。此架構透過啟用工作週期為 1% 的內部開關，有助於消除 99% 影響充電器 I_Q 的熱敏電阻偏壓電流。

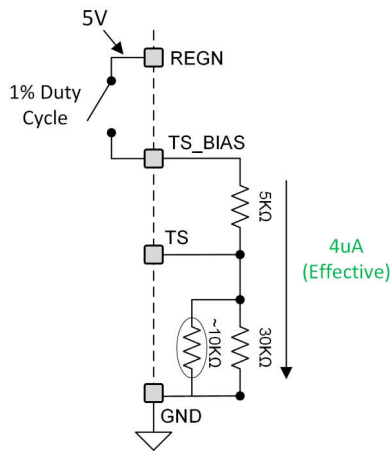


圖 2. BQ25622 和 BQ25638 中的 TS_BIAS 針腳。

關閉系統電壓，同時在運送模式下保持電池電量，可以進一步降低 I_Q 。如圖 3，中所示，BQ25622 和 BQ25638 具有整合的雙向阻斷內部場效電晶體 (FET) (Q4)，可在關閉狀態下將電池與系統隔離。運送模式不僅在產品即將出廠包裝時有用，而且在設備電池電量不足或使用者想要關閉產品電源時也很有用。

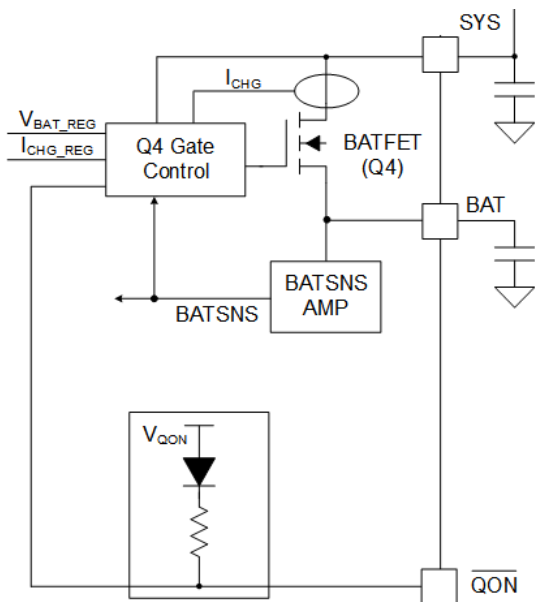


圖 3. BQ25620 方塊圖。

在車用 BMS 充電器中實現 Nano I_Q

2018 年，歐盟規定在歐洲市場發佈的所有汽車都必須配備緊急呼叫 (eCall) 系統，一旦發生嚴重的交通事故，該系統將自動聯繫緊急救援人員，將 GPS 座標傳送給當地緊急救援部門，並無線傳輸安全氣囊展開和碰撞感測器資訊。

eCall 系統有自己的電池，獨立於車輛電池之外，它必須有足夠的能量撥打 10 至 15 分鐘的電話，在首次撥通後維持與行動網路連線 60 分鐘，並隨時保持運作。BQ25171-Q1 充電器 IC 在車輛啟動時為 eCall 電池充電，並發揮重要作用。車輛關閉時，此充電器 IC 會進入休眠模式，電池的消耗僅 350nA。低 I_Q 有助於延長 eCall 待機時間，以便做好應急準備。

在電壓監控器中實現 Nano I_Q

在待機模式下，汽車 OEM 廠商為電源電壓軌上的所有電子設備提供 100 μ A 的預算，其中可能包括電源監控器、負載開關、保護瞬態電壓抑制二極體和 DC/DC 轉換器。電壓監控器中的 Nano I_Q 電平可以幫助汽車 OEM 滿足這種系統級待機模式 I_Q 預算。當待機 I_Q 降低時，電壓監控器裝置無法放寬其待機故障回應時間。功能安全要求規定了設備的故障回應，其特點是從偵測到報告故障的容錯時間間隔，範圍從 100 μ s 範圍到低於 10 μ s 範圍。

具有 1.5% 閾值偵測精度的傳統電源電壓監控器解決方案在印刷電路板 (PCB) 上使用帶有離散電阻器的可配置分壓器。為了降低系統 I_Q ，這些離散電阻器的值需要放大到數十兆歐姆。由於考慮到面積限制，PCB 設計人員通常不會在電路板上添加高阻抗感測電阻梯，因此梯電阻被整合到 TPS37-Q1 窗型監控器的晶片上。透過對電壓參考進行工作週期並將參考儲存在電容器上，並將內部感測電阻梯構建為非線性電阻梯，在恆定電阻區域和恆定電流區域之間重新配置，在較高電壓下形成非常高阻抗的感測梯，從而在參考基準路徑上實現低 I_Q 。

如 TPS37-Q1 等廣泛 V_{IN} 窗型監控器必須處理外部高電壓輸入和內部子調節電壓之間的電壓波動。動態電路會偵測上升和下降轉換，將外部高電壓及內部穩壓域之間的電平轉換器的性能提升到臨時加速模式，以改善系統回應時間，同時仍支援低 I_Q 。

在工業及個人電子產品 DC/DC 轉換器中實現 Nano I_Q

在計量系統、煙霧偵測器、智慧型手錶、醫療感測器和助聽器等電池供電系統中，總是需要一兩個電壓軌來為系統 MCU、重要感測器或通訊匯流排供電。這些常開的電源軌

需要具有非常高的效率才能延長電池續航時間，因此降低 I_Q 非常重要。

TPS62843 降壓轉換器針對 50 μ A 至 300mA 的負載電流進行了最佳化，具有省電模式、275nA 的工作 I_Q 和 4nA 的關斷電流。**TPS63901** 降壓升壓轉換器和 **TPS61299** 升壓轉換器具有輸入電流限制功能，可保護不支援高峯值電流的電池，例如鈕扣電池。TPS63901 轉換器具有動態電壓調節功能，可在工作期間在兩個輸出電壓之間切換，從而在待機模式下使用較低的系統電源電壓來節省功耗。如 **圖 4** 中所示，這些 DC/DC 轉換器中的電阻數位 (R2D) 電路設定輸出電壓，有助於消除反饋電阻器中的漏電流，實現更小的解決方案尺寸，並降低設計成本 (因為選擇輸出電壓所需的電阻器更少)。

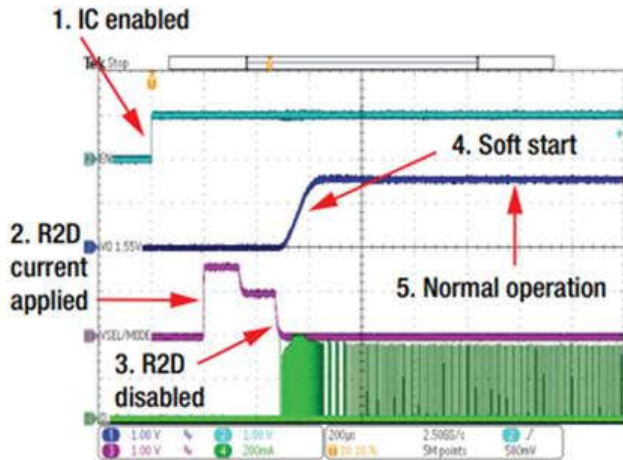


圖 4. 電源 IC 啟用，然後 R2D 電路以兩個電流來源電平運作，即緩啟動和正常運作。

圖 5 顯示了 **LMR36502** 降壓轉換器和 **TPSM365R15** 降壓模組的超低工作 I_Q 圖表。4 μ A 的工作 I_Q 在 20V 至 60V 的整個工作電壓範圍內保持相對穩定，其中常開的電源軌需要工作，有助於延長電池壽命。

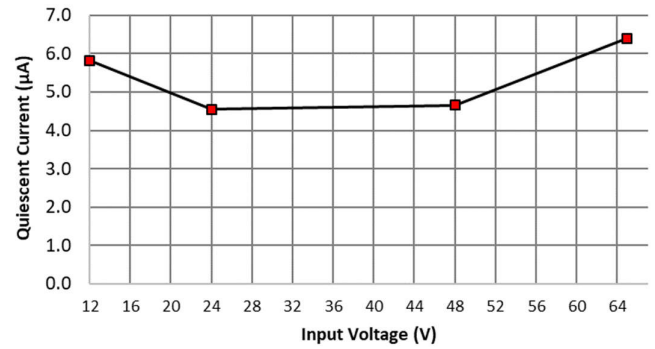


圖 5. 在 $FSW = 1\text{MHz}$ 和 $V_{OUT} = 3.3\text{V}$ 時的 **LMR365R0X** 和 **TPSM365R15** I_Q

在車用 DC/DC 轉換器中實現 Nano I_Q

汽車上有許多常開的應用，例如感測器、緊急呼叫系統和區域控制單元，其中長待機時間和輕負載下的高效率非常重要。**LMQ66430-Q1** 降壓轉換器旨在克服這些挑戰，在 1mA 負載下可達到 >85% 效率，且在 13.5V_{IN} 時實現 1.5 μ A 的空載典型電流消耗。IC 在啟動時對 VOUT/FB 針腳進行阻抗檢查。若未偵測到外部回授電阻器，裝置將自動使用內部回授網路來設定固定的 3.3V 或 5V 輸出電壓，這有助於最大限度地減少回授網路的洩漏並降低 I_Q 。**LMQ66430-Q1** 使用內部低壓差穩壓器 (LDO) 為 IC 的內部電路供電。**LMQ66430-Q1** 不是使用輸入電壓為 LDO 供電並降低效率，而是利用 VOUT/FB 針腳的相同電壓為內部 LDO 供電，然後內部 LDO 偏置所有內部電路，從而最大限度地降低總 I_Q 。

另一個降壓轉換器 **TPS62903-Q1** 使用 R2D 介面來設定輸出電壓，從而減少漏電流。隨著負載的降低，TP62903-Q1 可無縫過渡到省電模式。在這種狀態下，IC 透過降低開關頻率以脈衝頻率調變 (PFM) 模式運作來維持高效率，如 **圖 6** 中所示的輕負載狀況。如此可將典型 I_Q 降低至 4 μ A。

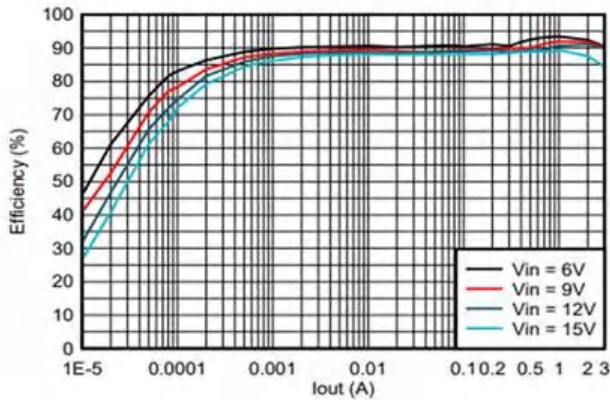


图 6. 效率與輸出電流關係 (2.5MHz、1 μ H 時為 3.3VOUT，自動 PFM 或脈衝寬度調變)。

結論

Nano I_Q 與 TI 製程技術實現的高壓電源晶片的性能相結合，有助於延長多種類型電源應用中的待機操作時間。了解最終產品的任務概況，對於為系統或 IC 設計設定 I_Q 目標而言非常重要。

參考資料

- 德州儀器：[克服低功耗應用中的低 \$I_Q\$ 挑戰](#)。
- Zhou, D. 等。“Mission Profile Based System-Level Reliability Analysis of DC/DC Converters for a Backup Power Application.” IEEE Transactions on Power Electronics 33, No. 9 (September 2018).

其他資源

- 如需更多有關低靜態電流的資訊，請參考[低靜態電流 \(\$I_Q\$ \)](#)。
- 閱讀技術文章「[低 \$I_Q\$ 技術在不影響系統效能的情況下延長電池壽命的 3 種方法](#)」。

重要聲明：本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated