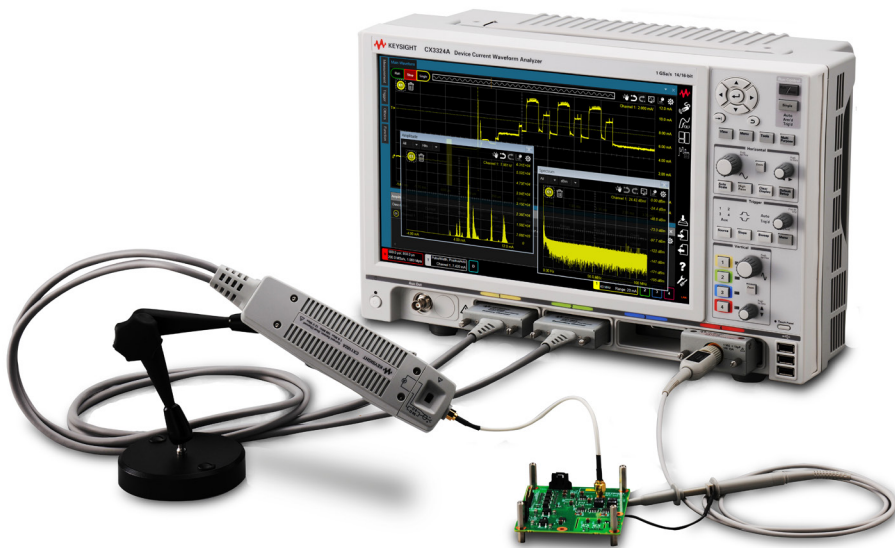


Keysight Technologies

透過電流特性分析加快物聯網 裝置的除錯和評估工作

應用說明



目錄

簡介	03
物聯網裝置在設計和開發上的挑戰	04
您能用傳統方法克服這些挑戰嗎？	04
新方法的優點：電流特性分析	05
電流特性圖包含了重要資訊	05
量測電流特性的儀器需求	06
傳統量測儀器的問題	06
新的解決方案：CX3300 元件電流波形分析儀	07
量測範例	09
連接	09
整體電流特性圖	09
運作模式下的詳細電流特性分析	09
精確分析休眠和運作模式之間的暫態特性	10
休眠模式中的雜訊分析	10
利用自動電源與電流特性分析軟體快速進行電流特性分析	10
搭配電流波形同步進行電壓量測	11
評估快速湧入電流和突波	11
驗證軟體的運作	11
量測提示	12
如何選擇合適的電流感測器	12
如何將電流感測器連接到待測物	12
如何選擇合適的電流範圍	13
低電流量測秘訣	13
訂購資訊	14
結語	14

簡介

物聯網 (IoT) 應用已經從消費性應用大量擴展到了工業應用，例如智慧家庭、穿戴式裝置、車聯網、智慧城市和工業自動化。

根據市場研究顯示，IoT 裝置的市場預計將會進一步成長，在不久的未來，將有數十億的裝置連接到網際網路。因此 IoT 裝置市場將為裝置製造商帶來極大的商機。

典型的 IoT 裝置架構如圖 1 所示。大多數的 IoT 裝置包含了 MCU、PMIC、RFIC、感測器和小型電池（例如鈕扣電池）以感測人或其他東西的動作，並與邊緣或雲端進行通訊。由於 IoT 裝置通常沒有電源線，電池也很少會重新充電或更換。因此為了將耗電流降到最低，IoT 裝置的運作模式通常只會持續很短的時間，大部分的時間都會運作在休眠模式中，如圖 2 所示。

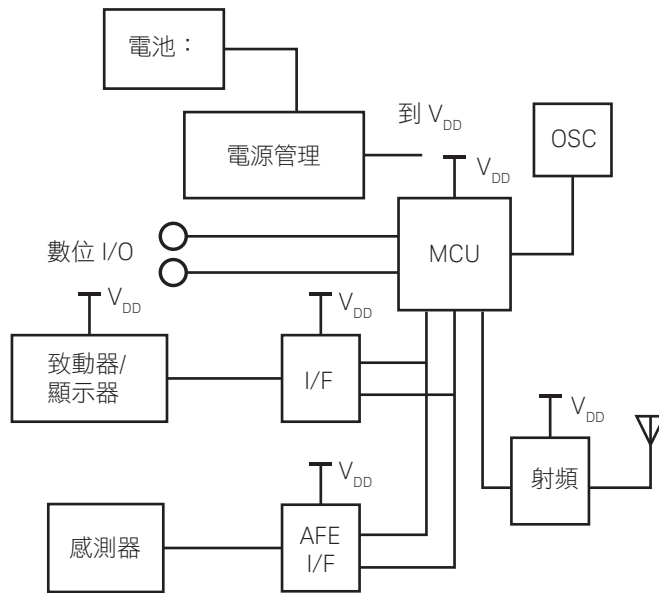


圖 1：典型的 IoT 裝置架構

物聯網裝置在設計和開發上的挑戰

研發工程師在設計和開發 IoT 裝置時會面臨下列挑戰：

- 在效能和功耗之間取得最佳平衡，以大幅延長電池壽命。
- 針對複雜而多功能的產品縮短電路設計週期，以符合上市時程目標，同時維持競爭優勢。
- 防止產品缺陷，以避免發生代價極高的產品召回事件。

由於大部分的 IoT 裝置透過小型電池來供電，因此必須在效能和功耗之間取得絕佳平衡。

面對市面上不斷推出的各種先進 IoT 裝置，維持或縮短上市時程也非常重要，如此才能保持競爭優勢。

IoT 裝置通常都會大量生產。因此必須事先防止任何缺陷的發生，因為任何品質問題可能導致產品召回之類的事件，其代價將會非常高昂。

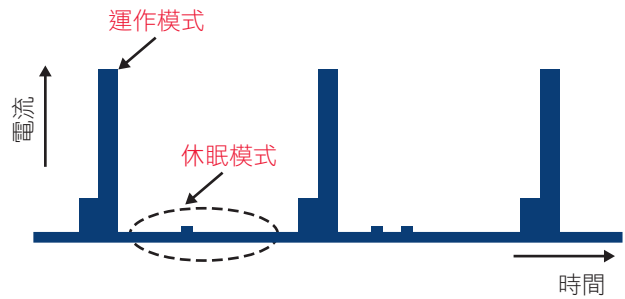


圖 2：IoT 裝置基本的運作方式

您能用傳統方法克服這些挑戰嗎？

IoT 裝置通常會用示波器、信號分析儀和數位萬用電錶（DMM）進行評估分析，如圖 3 所示。然而隨著 IoT 裝置的功能和控制變得更複雜，典型的測試方式（主要是以電壓量測為基礎）已經不足以克服 IoT 裝置的開發挑戰，這些挑戰包括最佳化效能和功耗、縮短上市時程、以及防止產品缺陷。

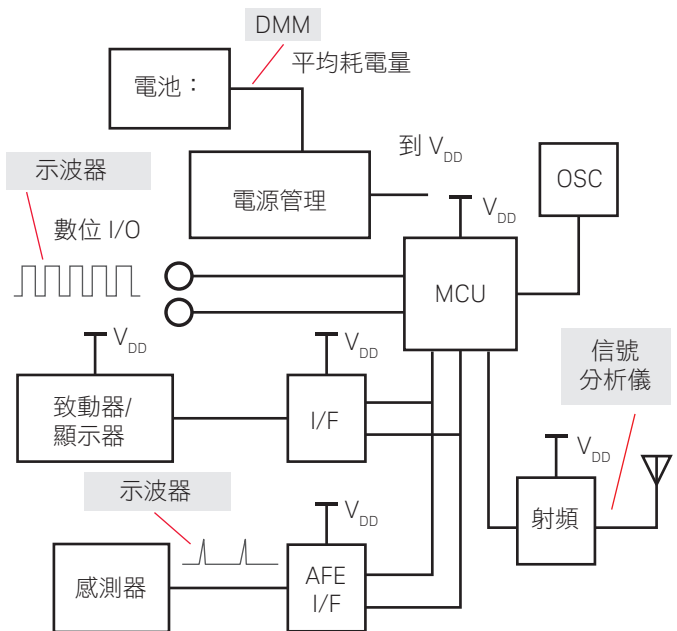


圖 3：典型的評估配置

新方法的優點：電流特性分析

如圖 4 所示，針對電流特性進行準確的量測和分析（量測電路中每個元件的動態電流波形），可提供下列優點，是傳統方法所無法達到的：

- 可清楚看到電流運作的細節，幫助您對效能和耗電流進行最佳化。
- 可讓您驗證硬體的設計，並且幫助您在早期階段找出潛在的缺陷。
- 可讓您驗證軟體的運作，管理休眠和運作模式之間的轉換。
- 可讓您擷取突波、雜訊和其他意料之外的信號，這些信號可能會造成產品的問題。

您可以透過電流特性量測和分析功能，克服 IoT 裝置的開發挑戰，並大幅提升開發效率和品質。

電流特性圖包含了重要資訊

圖 5 顯示了一些重要資訊的類型，您可以從詳細的電流特性圖獲得這些資訊。

湧入電流和突波

湧入電流和突波會發生在裝置變換模式時，例如從休眠模式進入運作模式時。它會造成 V_{DD} 的壓降或是電池容量下降。對 V_{DD} 和子系統上的電流和電壓波形進行並行分析可提供問題原因或故障排除的指示。它還能協助您對時序控制和元件的選擇進行最佳化，同時驗證您修改設計之後的效能是否符合預期。

運作電流

電流特性分析可詳細提供您每個轉換或時間區間的電流值和時序，並幫助您驗證整個系統的運作和管理是否如預期一般。此外，運作狀態下的總電流就是運作耗電流，會大幅影響整體功耗。準確的電流特性圖可讓您詳細分析每個時間區間，並透過量化方式決定效能和耗電流之間的最佳平衡點，這是量測平均電流難以辦到的事情。

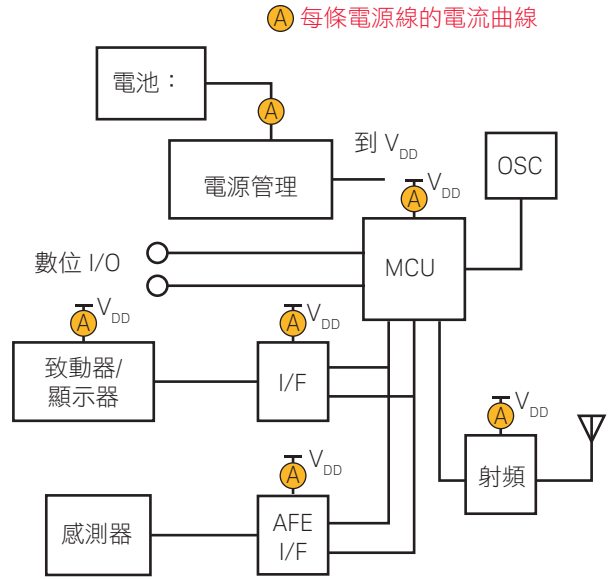


圖 4：電流特性分析

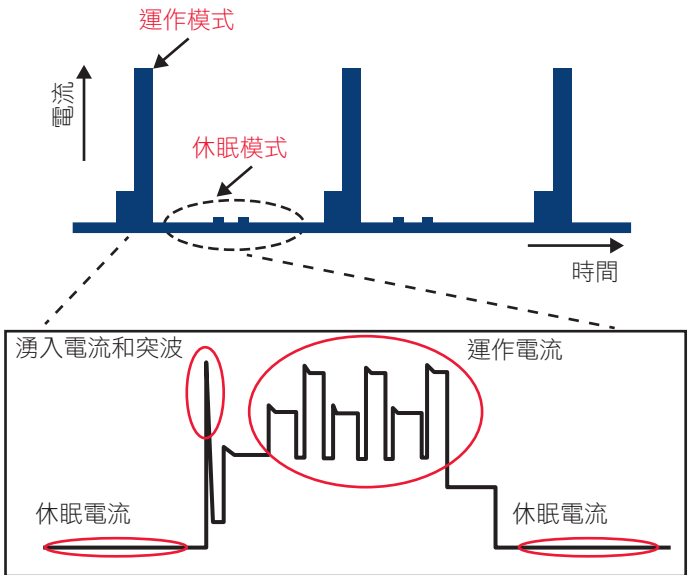


圖 5：電流特性圖可顯示裝置內部的運作狀態

休眠電流

休眠電流會大幅影響裝置的待機功率。此電流是不可忽略的，而且會影響整體的功耗，特別是對 IoT 裝置來說，其大部分的時間都處於休眠模式中。休眠模式的電流特性圖可讓您驗證裝置是否因為軟體或硬體中的錯誤而處於預期之外的狀態，進而耗用了更多功率。

量測電流特性的儀器需求

如圖 6 所示，典型 IoT 裝置的休眠電流小於 μA ，運作電流大於 100 mA，而休眠和運作模式之間的暫態時間會小於 μs 。因此量測儀器必須滿足下列要求，以便準確分析電流特性。

- 寬廣的動態範圍，需可量測低於 μA 的休眠電流和高於 100 mA 的運作電流。
- 超過 10 MHz 的寬廣頻寬以擷取快速變化的突波和暫態波形。
- 可快速分析電流特性的各種功能。
- 具備電壓波形和數位 I/O 信號的同時量測和分析功能，以便更有效率地進行除錯和故障排除。

傳統量測儀器的問題

量測電流時，最常見的方式就是使用 DMM 或示波器，再搭配分流電阻/電流探棒。然而快速變化的電流波形（在休眠和運作模式之間進行轉換）無法用單一儀器或單一量測擷取到，這是因為儀器的頻寬、動態範圍或靈敏度不足，如圖 7 所示。

DMM 的速度無法擷取動態電流波形（例如突波和暫態波形），因為其取樣率太低，還有其量測平均值的運作方式。

另外，示波器搭配分流電阻/電流探棒的靈敏度不足以量測 IoT 裝置低位準的動態電流，其電流範圍遠低於 mA。

再者，即便這些儀器可以擷取電流波形，但卻沒有包含足夠的細節，因此並沒有太大的助益。除此之外，傳統儀器也沒有快速而有效率的方式可以用擷取到的波形建立電流特性圖。

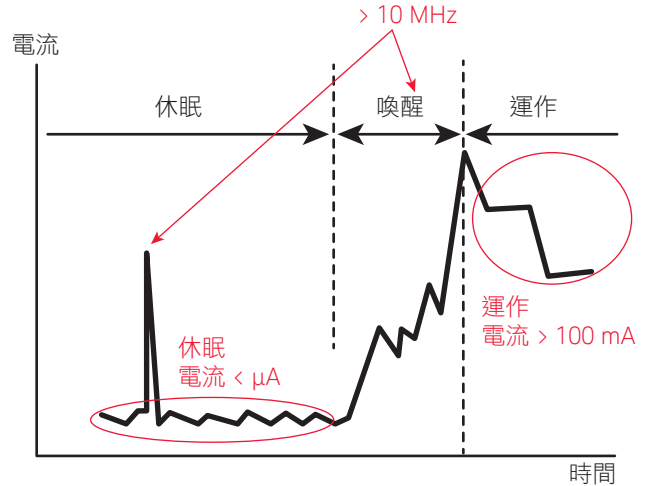


圖 6：典型 IoT 裝置的特性

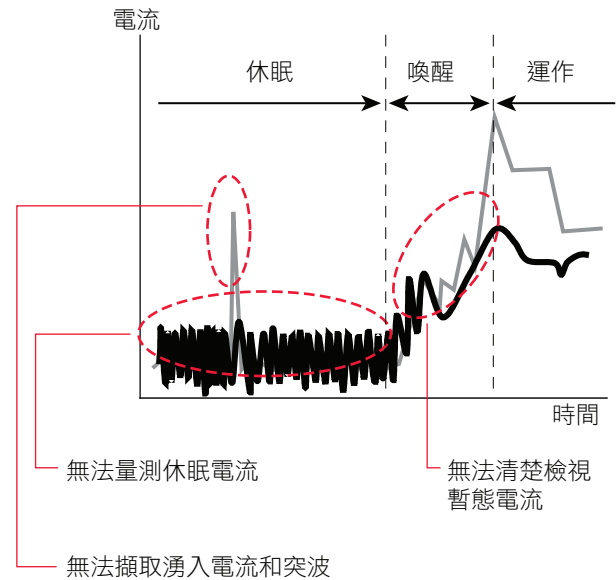


圖 7：傳統量測儀器的問題

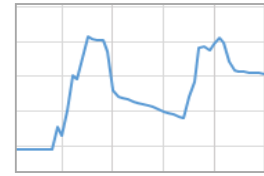
新的解決方案：CX3300 元件電流波形分析儀

Keysight CX3300 元件電流波形分析儀是新型儀器，可協助您克服 IoT 裝置的量測挑戰，並且查看過去無法檢測的寬頻低位準電流波形。

主要優點：

- 可藉由寬廣的動態範圍量測完整的電流特性，讓您透過單次量測就能擷取休眠電流、運作電流，以及兩種模式之間的所有波形。
- 可擷取過去無法檢測的突波和低位準信號。
- 可針對擷取到的波形立即分析其中的細節。

圖 8 的範例顯示的是從休眠進入到運作模式的暫態電流量測。CX3300 元件電流波形分析儀可透過單次量測，清楚擷取快速變化的湧入電流、暫態電流和休眠模式中的微小雜訊，這是傳統儀器無法擷取到的波形。



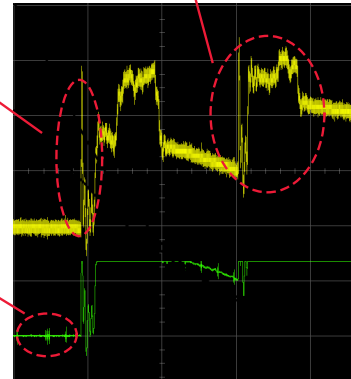
使用數位萬用電錶



可清楚檢視暫態電流

可清楚擷取湧入電流

在休眠模式中擷取微小雜訊



使用 Keysight CX3300 元件電流波形分析儀

I_{dd} (主要通道用來量測整體電流特性)

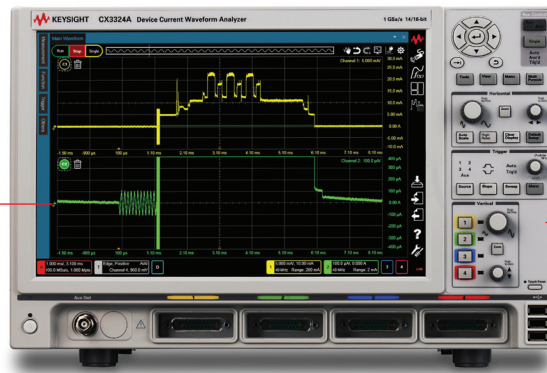
I_{dd} (次要通道用來量測休眠電流)

圖 8：暫態電流量測範例

CX3300 主機

最大 200 MHz 頻寬
最大 1 GSa/s 取樣率
最大 256 Mpts 的記憶體深度

大尺寸多點觸控螢幕上的直覺式 GUI，讓您在互動方式分析波形並進行除錯。



類似示波器的外觀和操作，讓您在上手。

感測器連接器輸入 (2 或 4 個通道)

Keysight CX1101A

單通道電流感測器
40 nA 至 10 A
最大 100 MHz 頻寬
最大 40 V 的共模電壓



Keysight CX1102A

雙通道電流感測器
40 nA 至 1 A
最大 100 MHz 頻寬
最大 12 V 的共模電壓



Keysight CX1103A

低側電流感測器
150 pA 至 20 mA
最大 200 MHz 頻寬
最大 1.0 V 共模電壓
(開啟 50Ω 輸入)



CX1151A 被動式探棒介接轉接器 (用於電壓監控器)
最大 80 V (配備 1/10 探棒)



Keysight CX1152A 10 MΩ 輸入數位通道 (CX3324A 選項)
最大 8 個通道

圖 9：CX3300 系列元件電流波形分析儀產品概觀

主要特性

- 14/16 位元解析度和寬廣的動態範圍 (從 nA 到 A)
- 最高 1 GSa/s 的取樣率和 200 MHz 的頻寬
- 最大 256 Mpts/ch 的記憶體深度
- 各種分析電流特性的功能：自動電流特性分析、累積電流分布函數 (CCDF) 和快速傅立葉轉換 (FFT)

量測範例

這是 IoT 裝置的電流特性量測範例，使用 CX3300 元件電流波形分析儀。

連接方式

圖 10 顯示 IoT 裝置和 CX3300 元件電流波形分析儀的連接範例。

將電流感測器接入電源線 (Vdd) 以量測電源線的電流 (Idd)。被動式探棒連接到 Vdd 以同時量測電壓波形，數位通道連接到數位 I/O。

如圖 9 所示，有三種電流感測器可滿足各種應用需求。此量測使用 CX1102A 雙通道電流感測器，因為它非常適合 IoT 裝置寬廣動態範圍的量測。

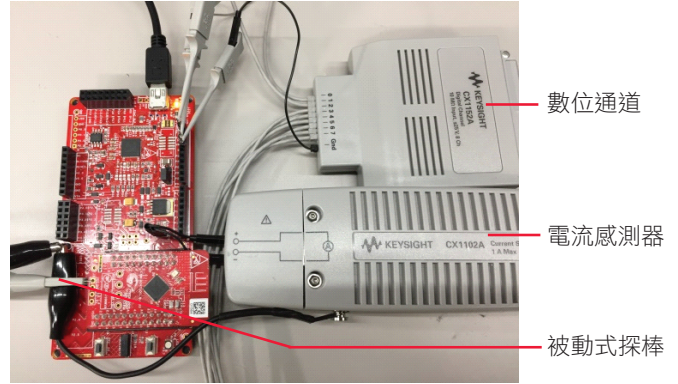


圖 10：連接範例

整體電流特性圖

圖 11 顯示電源開啟約 10 秒後的電流特性圖。可長時間清楚擷取詳細的運作情形，因為具備高達 256 M pts/ch 的深度記憶體，以及最大 1 G Sa/s 的高速取樣率。（此範例使用 20 MSa/s 取樣率以及 200 Mpts 的記憶體。）

從 Idd 波形來看，此裝置在電源開啟之後每 200 ms 會喚醒一次，而幾秒後運作模式會改變。

您可以利用整個電流特性圖來驗證電源開啟之後的序列、運作和休眠電流約略的大小、以及運作模式週期。

此範例的觸發源是 Idd (主要通道)，不過您可以將其改為另一個電流或電壓通道，或是數位通道，完全取決於您的應用。

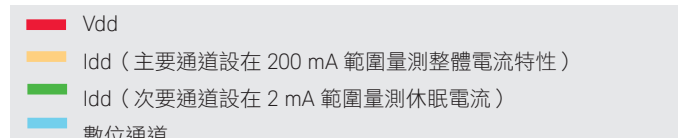
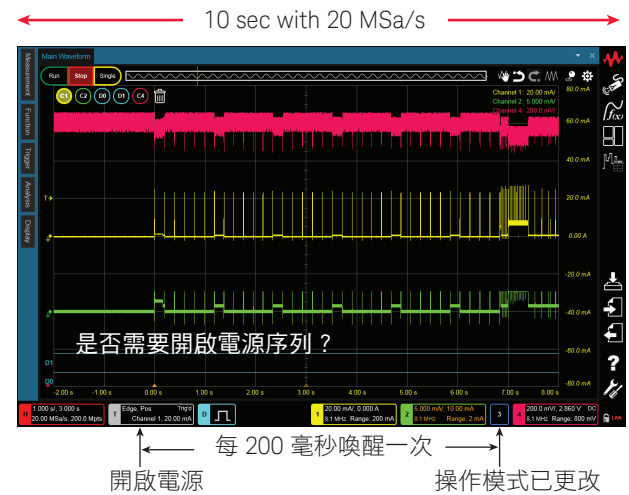
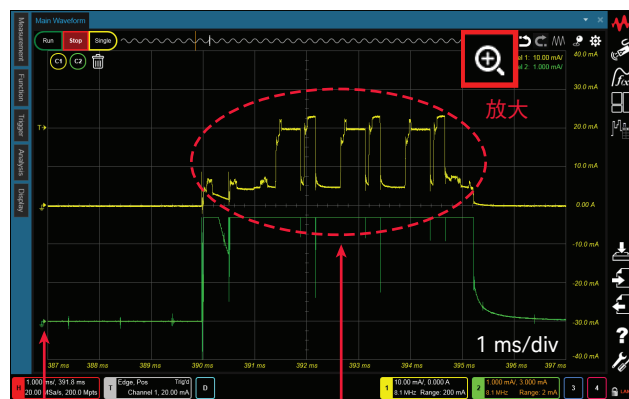


圖 11：開啟電源之後的整體電流特性圖

運作模式下的詳細電流特性分析

圖 12 顯示的是，將圖 11 中的運作模式放大之後的 Idd 波形（主要和次要通道）。

從主要通道的波形，您可以看到休眠和運作模式之間轉換的詳細波形，以及運作模式中的運作情形。從次要通道的波形，您可以看到休眠模式中的微小雜訊。



休眠模式下出現雜訊的原因是什麼？ 是否需要在轉換和運作模式操作？



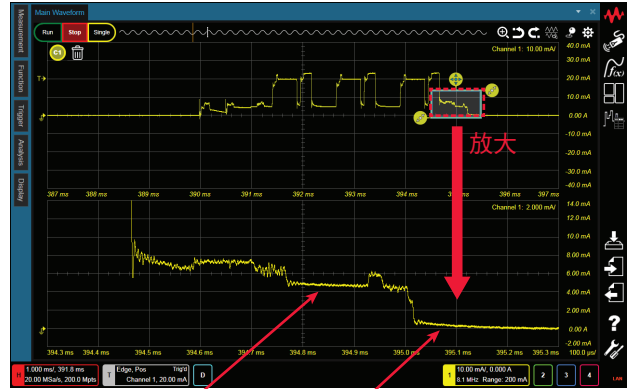
圖 12：運作模式中的 Idd 放大圖

量測範例 (續)

精確分析休眠和運作模式之間的暫態特性

圖 13 顯示的是，圖 12 中從運作模式轉換到休眠模式的放大波形，也顯示此裝置經過好幾個步驟才進入休眠模式。透過暫態電流波形，您可以驗證轉換期間的控制序列，並進行除錯。

此範例使用了“Anywhere”縮放功能，可讓您針對波形中任意的指定區域進行縮放。藉由檢視整體電流特性，同時放大其中的波形，您就可以快速而有效地對波形進行驗證和除錯。



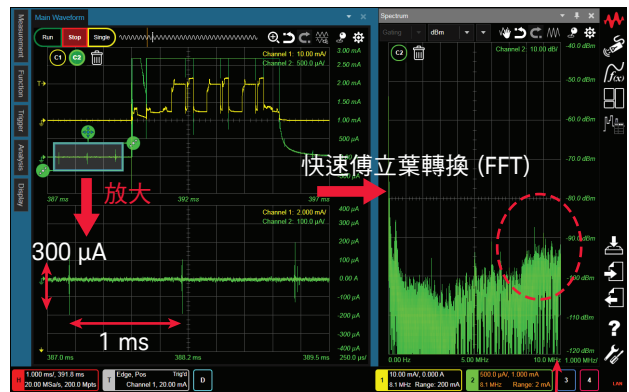
是否需要開啟電源序列？ 是否需要休眠模式？

圖 13：運作到休眠模式的 I_{dd} 放大波形

休眠模式中的雜訊分析

圖 14 顯示，針對圖 12 中的休眠模式進行詳細的雜訊分析。

電流波形顯示雜訊為 300 μ A 的振幅、1 ms 的間隔，而利用 FFT 進行的頻域分析顯示雜訊峰值出現在 8-10 MHz。透過前所未見的寬頻低位準波形，並運用各種分析功能進行分析，您就能可靠地擷取和分析快速變化的低位準雜訊。



10 MHz

圖 14：利用 FFT 在休眠模式中進行雜訊分析

利用自動電源與電流特性分析軟體快速進行電流特性分析

圖 15 顯示，針對圖 12 中的運作模式詳細分析其 I_{dd} 電流特性。自動電源與電流特性分析軟體可自動將擷取到的電流波形分成不同的區段，並顯示每個分段的資訊讓您進行分析。（例如特定區段中耗用的總電荷、該區段的平均耗電流等）。

以往使用傳統儀器很難擷取準確的電流波形並快速建立電流特性圖。但透過 CX3300 元件電流波形分析儀，您就可以依據精確的動態電流波形，大大加快電流特性圖的建立速度，同時大幅提升除錯效率。



自動電源和電流特性分析

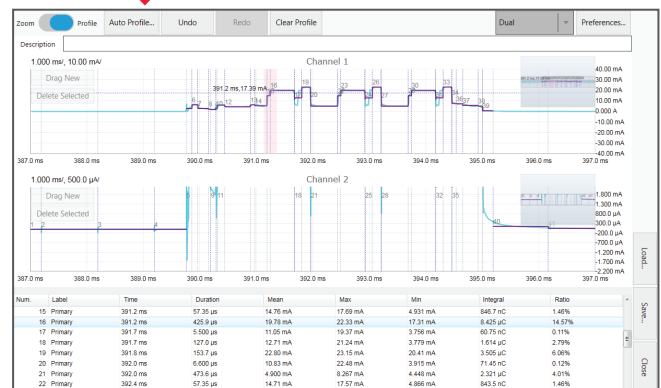


圖 15：利用自動電源與電流特性分析軟體輕鬆進行電流特性分析

量測範例 (續)

搭配電流波形同步進行電壓量測

圖 16 顯示運作模式中的電壓 (Vdd) 和電流 (Idd) 波形。這張圖顯示湧入電流的峰值為 11.7 mA，造成 Vdd 出現 7 mV 的壓降。

藉由同時監測電壓與電流，您可以了解電壓是如何隨著電流的變化而改變，並透過量化而有效率的方式，對電路的修改進行驗證、除錯和故障排除。



它的湧入電流和壓降是否在允許範圍內？

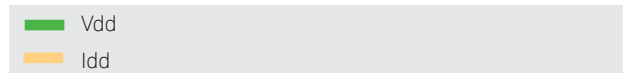


圖 16：搭配電流波形同步進行電壓量測以進行有效的設計驗證

評估快速湧入電流和突波

圖 17 是針對圖 16 中的湧入電流進行詳細分析。

您可以檢視湧入電流的波形和隨後的暫態電流波形，運用各式各樣的分析功能快速取得重要參數（例如波形寬度或峰值），提升除錯效率並最佳化電路的設計。



寬度：1.4 µs
峰值：11.4 mA

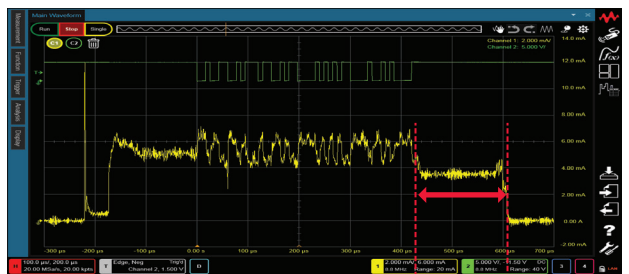
圖 17：利用量測功能進行湧入電流分析

驗證軟體的運作

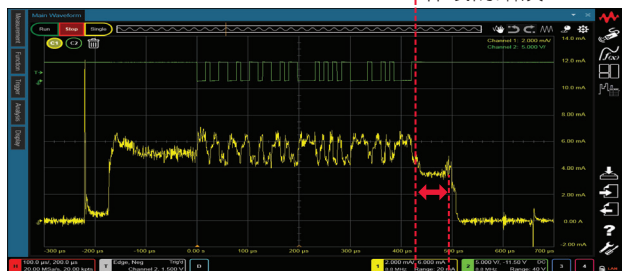
圖 18 顯示有和沒有軟體錯誤的電流波形。

上圖的波形在關閉電源時花了比預期更長的時間，代表控制軟體可能有錯誤。

您可以利用詳細的電流波形軌跡來驗證軟體的運作。此外您還可以立即檢查錯誤是否已經修正好了。



從運作轉換到
休眠的錯誤



預期的轉換

圖 18：模式轉換時 MCU 軟體有和沒有錯誤的比較

量測提示

為了充分利用 CX3300 元件電流波形分析儀的功能，有一些必須注意的重點，例如如何選擇合適的電流感測器，以及如何將電流感測器連接到待測物。以下的量測提示可告訴您如何執行正確的量測，以便對 IoT 裝置進行準確的電流特性分析。

如何選擇合適的電流感測器

如圖 9 所示，CX3300 元件電流波形分析儀配置了一台專用主機和三種感測器：CX1101A、CX1102A 和 CX1103A。這些感測器各有不同的頻寬、電流覆蓋範圍和靈敏度，以滿足各種量測需求。下面的表 1 列出了每一種電流感測器各個電流範圍的頻寬。電流量測只能在量測範圍上限與雜訊底線之間進行。雜訊底線可約略估計為量測範圍全刻度的 1/1000，而單一範圍大約可達到 3 位數的靈敏度，但實際雜訊底線會受到環境雜訊和量測條件的影響。

若要進行 IoT 裝置的電流特性量測時，建議使用 CX1102 雙通道電流感測器。它可涵蓋 40 nA 到 1 A 的寬廣量測範圍，頻寬最高 100 MHz¹，共模電壓最高 ±12V。此感測器可提供雙範圍：主要範圍和次要範圍（主要範圍的 1/100）²。主要範圍適合量測整體電流特性，而次要範圍適合準確量測休眠電流。

1. 最大獨立頻寬
2. 除了主要 1A 範圍之外，該範圍會搭配 20 mA 次要範圍一起運作。

如何將電流感測器連接到待測物

如圖 19 所示，CX1101A 和 CX1102A 有三種連接方式：同軸（SMA）、雙絞線和測試導線。SMA 轉接器可用於寬頻量測，而雙絞線和測試導線轉接器則適用於 10 MHz 以下的快速電流波形量測。

如圖 20 所示，電流感測器應插入電路之中欲量測電流的地方。用接地線將電池的負極接到感測器的機殼接地端。

表 1：每一種電流感測器各個電流範圍的頻寬。

電流範圍	最大頻寬			
	CX1101A	CX1102A		CX1103A
		主要範圍	次要範圍	
10 A	3 MHz	N/A	N/A	N/A
1 A	100 MHz	100 MHz	N/A	N/A
200 mA	100 MHz	100 MHz	N/A	N/A
20 mA	100 MHz	500 kHz	100 MHz	200 MHz
2 mA	100 MHz	500 kHz	100 MHz	75 MHz
200 μA	25 kHz	N/A	500 kHz	9 MHz
20 μA	25 kHz	N/A	500 kHz	2.5 MHz
2 μA	N/A	N/A	N/A	250 kHz
200 nA	N/A	N/A	N/A	100 kHz

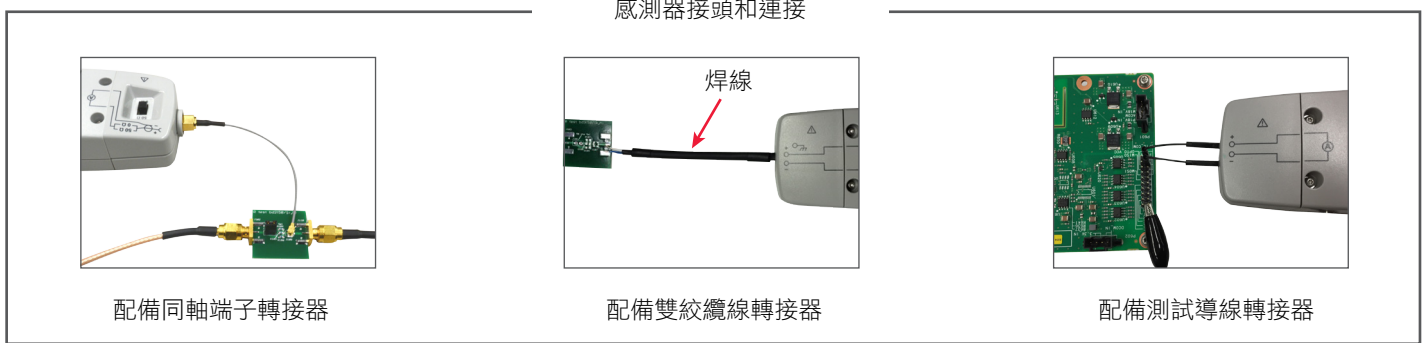


圖 19：感測器接頭的連接

如何將電流感測器連接到待測物 (續)

如圖 20 所示，電流感測器應插入電路之中欲量測電流的地方。用接地線將電池的負極接到感測器的機殼接地端。

如何選擇合適的電流範圍

所有的電流感測器都有多種電流範圍，而範圍可利用前面板輕鬆調整¹。

電流感測器的最大頻寬和輸入電阻會取決於電流範圍。當您切換範圍時，這兩種特性也會自動改變。

我們建議使用 CX1102 雙通道電流感測器的主要範圍 200 mA/次要範圍 2 mA。此範圍最大頻寬為 100 MHz² 而輸入電阻為 410 mΩ。

1. 除了 CX1101A 10 A 範圍之外。
2. 最大獨立頻寬

低電流量測秘訣

量測低位準電流波形時，必須按照下列方法將雜訊和偏移電流降到最低。

- 將外部雜訊的影響降到最低靜電屏可有效降低外部雜訊的影響。靜電屏應連接到電流感測器的機殼接地端。
- 將儀器的雜訊底線降到最低頻寬和雜訊底線之間必須有所取捨，較低的雜訊底線就會有較低的頻寬。有幾種方法可以改變量測頻寬，包括改變頻寬限制、取樣率或後置濾波器。您可以按照應用需求選擇這些選項。
- 將儀器和待測物的偏移電流降到最低 CX3300 元件電流波形分析儀支援使用者校驗和歸零功能。使用者校驗可校驗電流感測器本身的偏移電流，而歸零功能可將電流感測器和待測物之間的偏移電流降到最低。

更多資訊

使用 CX3300 系列元件電流波形分析儀進行精密電流量測的 7 個提示 (文件編號：5992-2118EN)

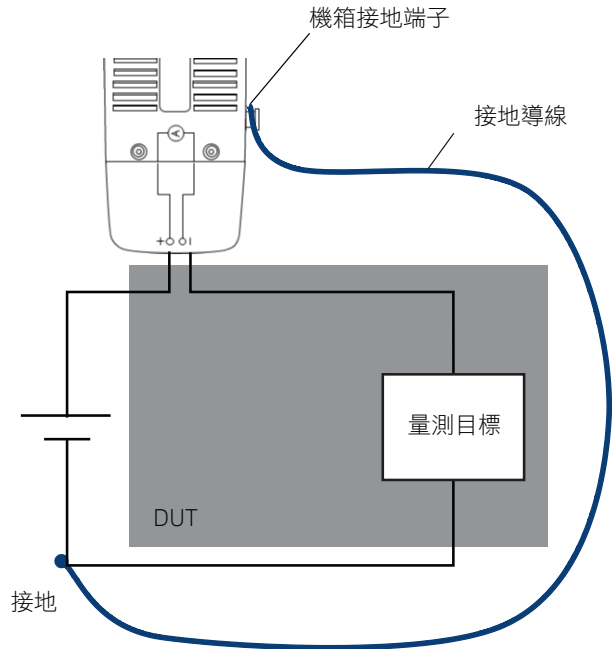
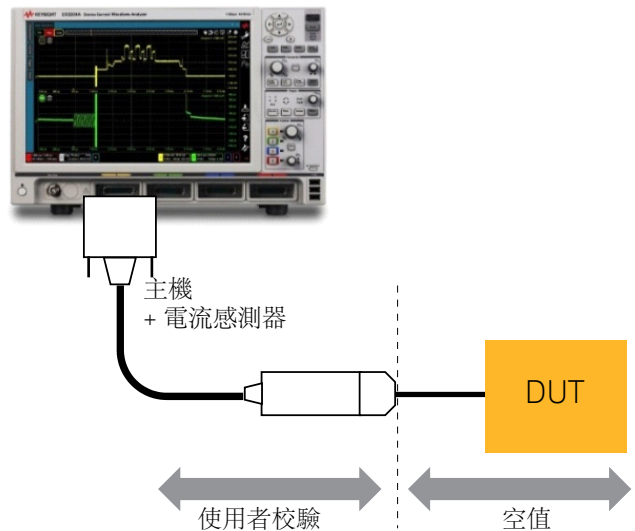
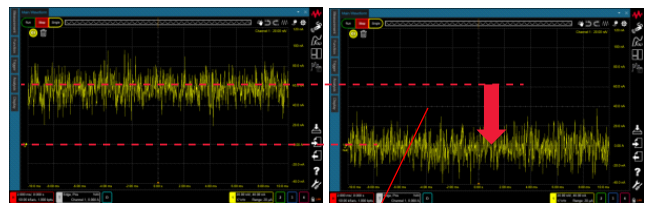


圖 20：電流感測器的連接示意圖



之前

使用者校驗和執行空值運算之後



自動從波形中減去使用者校驗和空值偏移

圖 21：將偏移電流降到最低

訂購資訊

表 2 列出了量測 IoT 裝置電流特性的典型配置。您可以按照應用需求選擇其他配置搭配更高頻寬的選項，並增添電流感測器和感測器接頭。

表 2：量測 IoT 裝置電流特性的典型配置

型號	說明
CX3324A	元件電流波形分析儀， 1 GSa/s，14/16 位元，4 個通道
	選項 B05 頻寬 - 50 MHz
	選項 256 記憶體 - 每通道 256 Mpts
CX1102A	電流感測器，雙通道，± 12 V， 100 MHz，40 nA - 1 A
CX1205A	感測器接頭，測試導線轉接器
CX1151A	被動式探棒轉接器
N2843A	被動式探棒，10:1，500 MHz
CX1152A	數位通道，10 MΩ 輸入， ± 25 V，8 個通道

更多資訊請參閱 CX3300 系列元件電流波形分析儀配置指南
(文件編號：5992-1434EN)

結論

正如本篇應用說明所介紹的內容，現在您可以藉由量測電流特性取得許多重要資訊，這些特性是以往所無法量測到的。然而使用傳統儀器（例如 DMM 和示波器搭配分流電阻/電流探棒）並無法準確而有效率地量測和分析電流特性。

最新的 CX3300 元件電流波形分析儀可大幅加快 IoT 裝置的除錯和評估工作：

- 它可讓您透過單一儀器量測和分析詳細的電流特性，其寬廣的動態範圍可涵蓋休眠到運作模式的各種電流。
- 它可讓您擷取快速變化的突波和低位準信號，這些都是以往無法檢測到的波形。
- 它可讓您用快速而有效率的方式詳細分析擷取到的波形。

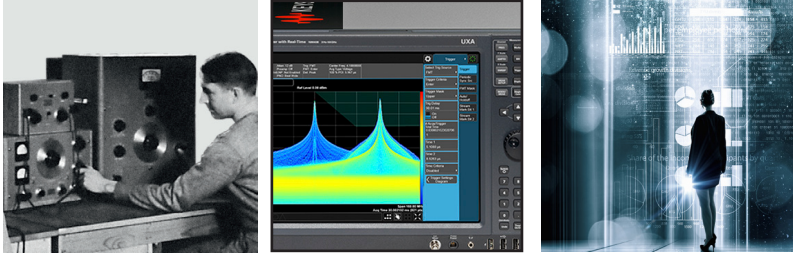
元件電流波形分析儀透過準確而詳細的電流特性量測和分析，幫助您在設計和開發 IoT 裝置時，順利克服下列挑戰：

- 在效能和功耗之間取得最佳平衡，以大幅延長電池壽命。
- 針對複雜而多功能的產品縮短電路設計週期，以符合上市時程目標，同時維持競爭優勢。
- 防止產品缺陷，以避免發生代價極高的產品召回事件。

演進

是德科技獨一無二的硬體、軟體，支援及專家組合，可協助您拓展全新的局面。

讓我們是帶動前瞻技術不斷演進的推手。



薪火相傳 - 惠普將火炬傳給安捷倫，再由安捷倫交棒給是德科技

myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊。

KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

是德科技服務

www.keysight.com/find/service

是德科技擁有領先業界且陣容堅強的專業人員、量測程序和測試工具，可提供一應俱全的設計、測試和量測服務。如此一來，我們協助您部署新技術，並改善量測程序，以便降低成本。



三年保固

是德科技的卓越產品與長達3年保固服務的完美結合，助您一臂之力達成業務目標：增強操作便利性，降低持有成本，增強量測信心。



是德科技保固保證方案

www.keysight.com/find/AssurancePlans

是德科技提供長達十年保固，以避免任何意外的維修費用，確保儀器能夠在規格範圍內運作，讓您在永遠信賴儀器提供的量測準確度。

是德科技銷售夥伴

www.keysight.com/find/channelpartners

兩全其美：是德科技專業的量測技術與齊備的產品，搭配是德科技銷售夥伴的服務與彈性價格。

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢

聯絡窗口查詢：

www.keysight.com.tw/find/contactus

台灣是德科技網站：

www.keysight.com.tw

台灣是德科技股份有限公司

免費客服專線：0800-047-866

104 台北市復興南路一段2號7樓

電話：(02) 8772-5888

324 桃園市平鎮區高雙路20號

電話：(03) 492-9666

802 高雄市四維三路6號25樓之1

電話：(07) 535-5035

DEKRA Certified
ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

是德科技 -

DEKRA Certified ISO 9001:2015

品質管理系統。

本文件中的產品規格及說明如有修改，恕不另行通知。

© Keysight Technologies, 2006-2014, 2018

Published in USA, August 7, 2018

中文版：5992-2660ZHA

www.keysight.com.tw