

使用 R&S®RT-ZVC 量測物連網設備功率消耗 (IOT POWER CONSUMPTION MEASUREMENT)

1 簡介

今日所稱的物聯網(IoT, Internet of Things)是由許許多多的智能設備所組成的一個大網路，而且設備數量與日俱增。這些設備都使用各式不同的無線傳輸技術橫貫整個市場。耳熟能詳的應用有無線感測網路(wireless sensor networks)，自動化家庭控制系統(home- automation, control systems)...等等。這些設備的特點就是可以隨心所欲的佈置在想要的位置，就是因為在這些設備設計的初衷，只使用電池，而不需要特別關心電源的配置。這個設計初衷，在於使用一般電池即可使設備運轉壽命長達數個月甚至數年。這時候工程師將面臨嚴峻的挑戰，如何測試功率的效率，以及維持電池壽命(換句話說就是使設備更節能)成為一個重要課題。為了達到省電節能要求，3GPP標準提出物聯網設備必要的兩大功能，節能模式(PSM, Power save mode)，以及加強型不連續接收模式(eDRX, Enhanced discontinuous reception)。

本文將介紹一個完整的量測方案，在一個模擬基地台網路信令測試的環境下，精準量測設備功率。在不同的設備操作模式下，工程師將得到一份有數據以及圖型的完整測試報告。

R&S®RT-ZVC為一個多通道電壓電流量測裝置，能提供多達四個測試通道同時量測，面對IoT設備的低電流需求提供精準量測。結合自動化編程軟體

R&S®CMWrun與無線通訊綜合測試儀R&S®CMW500，工程師可以編排自己所預想的各種情境。搭配選購項目R&S®CMW-KT051，R&S®CMWrun可以從

R&S®RT-ZVC精準的截取設備的電壓量測值與電流量測值。IoT的設備通常只有有限的電池電量，專注於設計設備長時間壽命的工程師，值得提供這套完整的測試方案，幫助工程師得到更精準的量測值。

- R&S®CMW500為無線通訊綜合測試儀，本文以下簡稱為CMW
- R&S®CMWrun為自動化編程軟體，本文以下簡稱為CMWrun
- R&S®RT-ZVC為多通道電壓電流量測裝置，本文以下簡稱為RT-ZVC

2 儀器以及相關工具

RT-ZVC為一個多通道電壓電流量測裝置，提供快速又精確的電壓電流取樣值。



圖 2-1: RT-ZVC04多通道電壓電流量測裝置

RT-ZVC04可以同時提供4組電壓與電流的量測。內部提供18位元的高解析類比轉數位轉換器(ADC, Analog to digital converters)，取樣率也高達每秒五百萬個取樣

(5MSa/s)。而量測值是透過平均100, 1000或10000個取樣，透過USB3.0回傳至電腦作進一步的處理與紀錄。RT-ZVC使用內部分流機制(Internal shunt)，即可承受 ± 15 伏特的電壓以及 ± 10 安培的電流。工程師可以透過設定正確的高解析類比轉數位轉換器工作值，即可量測IoT設備的低電壓與低電流。即使設備偶有高突波，RT-ZVC也會自動的轉換工作值，以確保整個量測的可觀察性。

RT-ZVC提供以下的量測範圍：

- 電壓範圍: 1.88 V, 3.75 V, 7.5 V, 15 V
- 電流範圍: 4.5 μ A, 45 μ A, 4.5 mA, 45 mA, 4.5 A, 10 A

當然也可以使用外部分流機制(external shunt)。這時候電流計通道的功能就如同高阻抗的電壓計。這樣的設計可以不用外加電阻與電線，即可允許量測高電流。

CMWrun可以控制CMW500，模擬出IoT設備與基地台之間的環境，只要加以編程，IoT設備即可擁有與實地測試相同的場景，讓工程師有更為有力的依據模擬真實的耗電狀況；CMWrun也同時控制RT-ZVC，將量測電壓電流值回傳至電腦之中，藉由CMWrun將整體結果運算分析，輕鬆提供給工程師做為監控。圖 2-2就展示了如何將CMWrun，CMW500以及RT-ZVC與IoT設備連結起來，形成一個完整的測試方案。

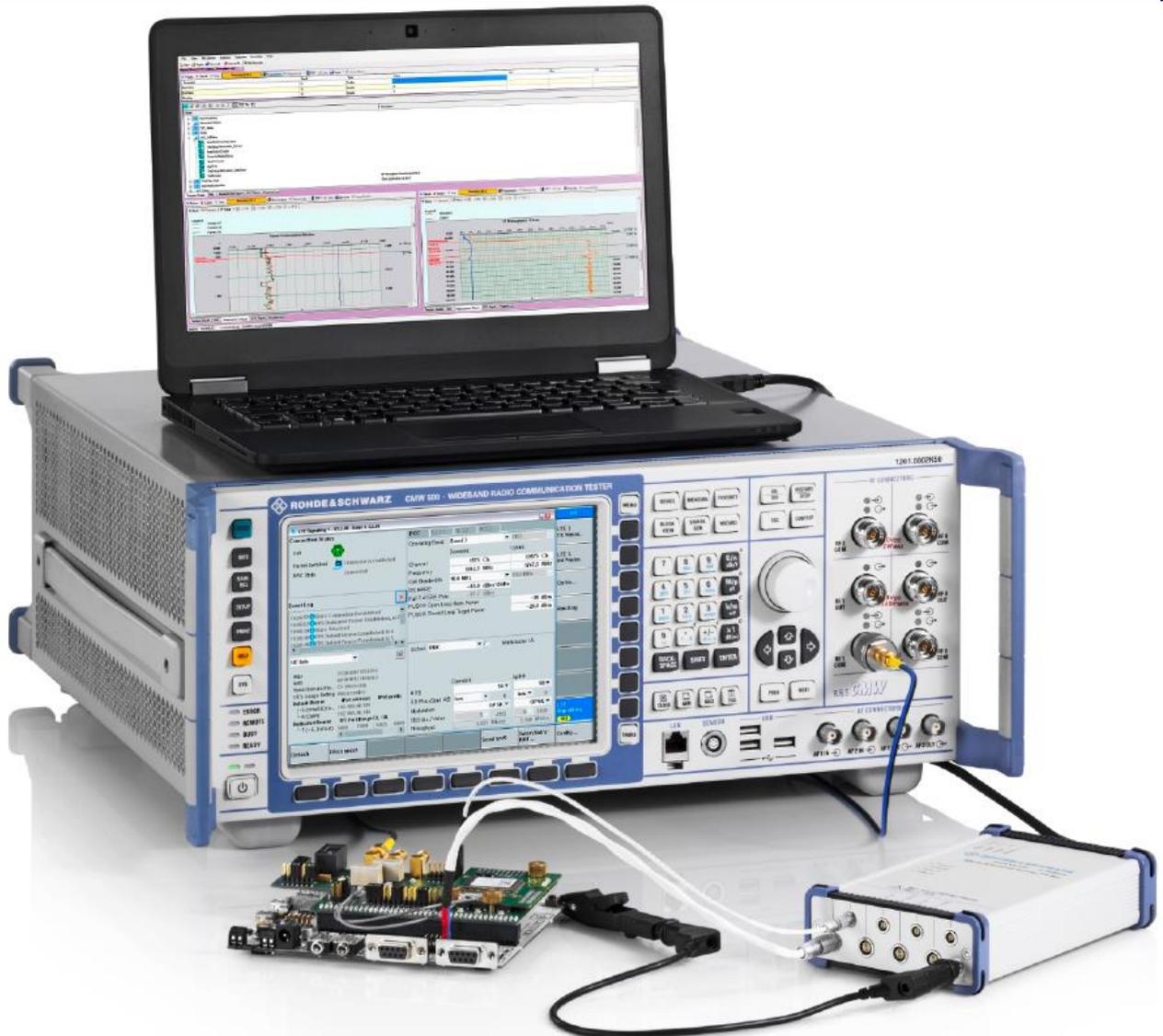


圖 2-2: 結合CMWrun、CMW500與RT-ZVC的完整IoT設備耗電測試方案

使用CMWrun可自行編寫想要的測試程序，然後遠端的控制CMW500執行編寫好的測試程序。CMWrun不僅在工程師設計時可以使用，品管、產線以及售後服務的應用也多有使用。CMWrun基本建立在眾多的DLL檔案上，而DLL檔案就是提供諸多測試環境與設備的驅動檔案，這樣使得CMWrun可以很容易的拓展與延伸至不同的應用。若是需要更多有關於CMWrun的資訊，可以藉由以下網址得到更多資訊，https://www.rohde-schwarz.com/product/cmwruntime/productstartpage_63493-199809.html。

CMWrun版本 1.8.8 或是更新的版本，已經支援RT-ZVC，在安裝軟體的同時，也可以將RT-ZVC的驅動程式"R&S RT-ZVC USB 3.0 driver"一起裝入電腦之中。如圖 2-3 所示。

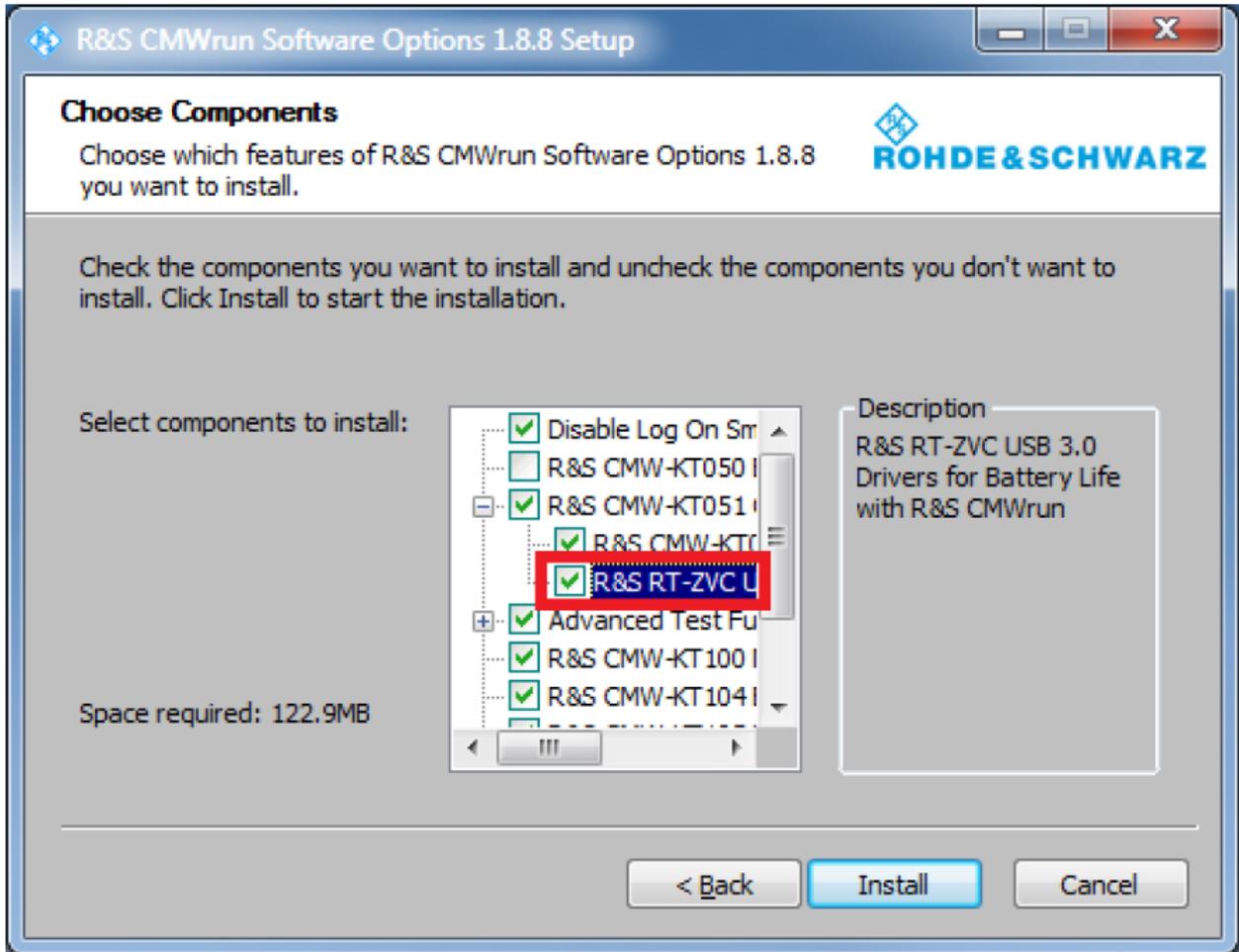


圖 2-3: 安裝CMWrun同時可安裝RT-ZVC的驅動程式

3 量測 IoT 設備的先前準備

要即時的得到功率的量測，就要使用 RT-ZVC 同時量測電壓與電流。

3.1 與 IoT 設備的連接

不管IoT設備是連接到何種供電裝置，比如說一個交流轉直流電源、USB給電或是電池給電，RT-ZVC都可以直接的連結在供電裝置進行功率的量測。當然工程

師也可以將RT-ZVC的其他通道連接至任何感興趣的目標，比如說某幾個元件的耗電量。

當然越接近出貨階段，IoT設備都會連接至電池供電。這時候工程師就會關心整體耗電量與電池壽命。對於電池供電的設備，RT-ZVC可以直接連結到電池接點。圖3-1就展示了如何將RT-ZVC的接點連結至一個設備的AAA電池兩端供電接點。若設備是不可移除的永久性電池或充電電池，那就需要另外的拉出接點連接到RT-ZVC的量測接點上。

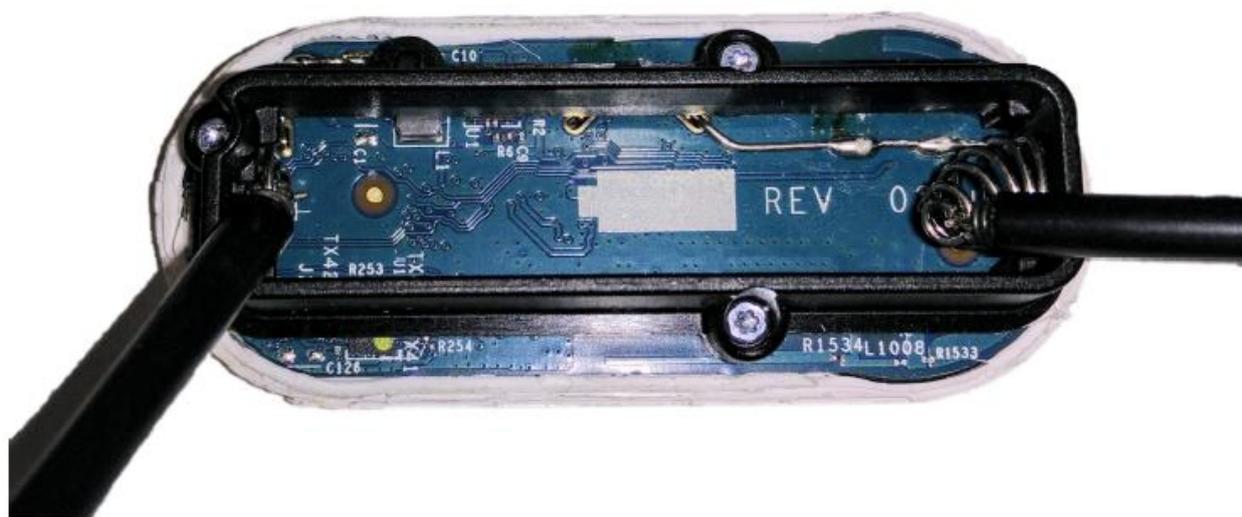


圖 3-1: 連接至AAA電池供電的設備

而在開發初期的工程版端，也多常使用USB供電。在這個情況下，USB的V_{Bus} (Pin 1)，通常會有5伏特的直流供電，而地線通常為(Pin 4)，連接這兩點即可量測。圖3-2展示了一個USB3.0的客製化製具，這個制具提供了USB供電，並且在製具上面有著電壓與電流的量測接點，工程師可以很直覺的算出設備從USB耗了多少電，進而算出電池壽命。

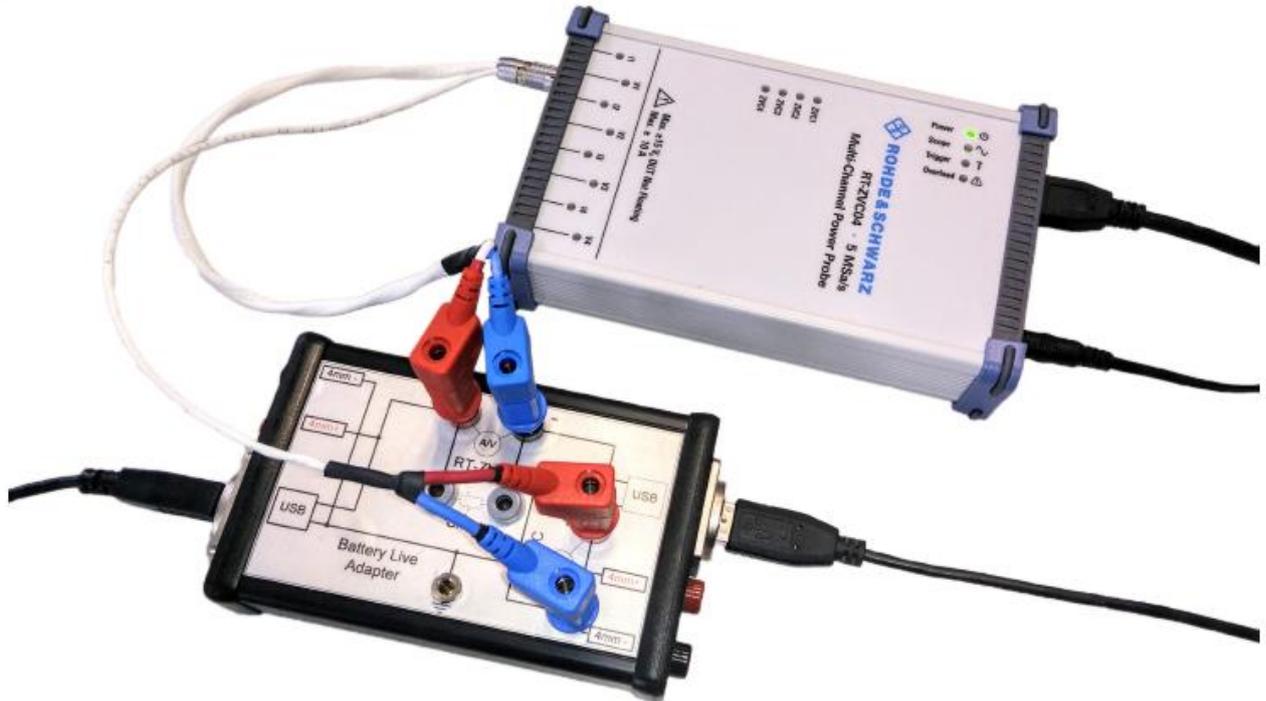


圖 3-2: 使用USB製具量測電池壽命

3.2 內部與外部分流

分流是用於量測電流的手段。在一般的狀況下，內建於RT-ZVC裡面的電流計會設定相對應的阻抗，正確的量測出電流。工程師只要將電流計與設備的電流路徑串連在一起，就可以量測到電流，如圖3-3展示。

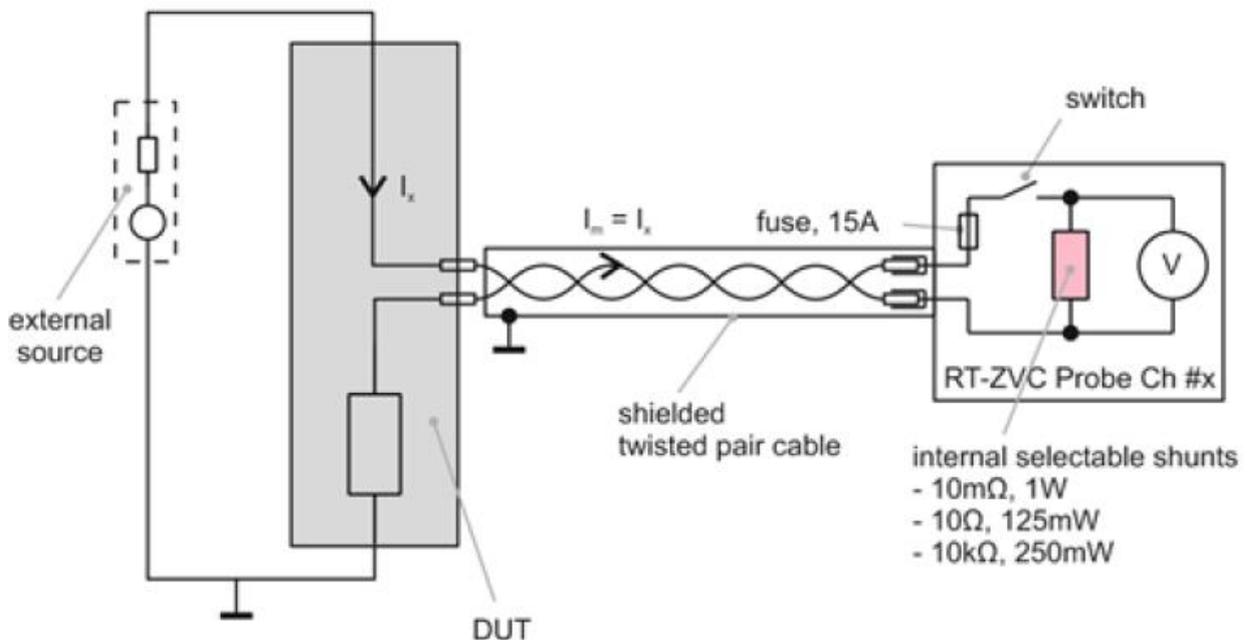


圖 3-3: 使用內部分流機制

通常一個理想的電流計都會假設為零組抗，但實際的情況並非如此。一個電流計裡面一定會有個內阻抗，這個內阻抗多少會影響整個電路。主要的缺點在於電流計中的內阻抗對於整個電路來說無疑就是多加上了電阻的效應，內部分流進而產生了多出了負載電壓在接入點上。這樣的負載電壓就會造成整體電路的壓降，這樣的壓降可能會對於設備的表現有所影響，所以這裡要慎選我們電壓計量測時的內阻抗。選擇量測時的內部分流值，有一個準則，就是選擇能承受最大設備抽電電流值的上限。

下面我們就列出幾個工作電流與內阻抗的對應表，可以參考下列的工作項目，選擇適合整個電路中對應的電流值，進而選擇出內阻抗：

- 10 k Ω shunt (4.5 μ A, 45 μ A): 10 mV/ μ A, max. 500 mV
- 10 Ω shunt (4.5 mA, 45 mA): 10.7 mV/mA, max. 535 mV
- 10 m Ω shunt (4.5 A, 10 A): 128 mV/A, max. 1.28 V

圖3-4展示了使用標準線材的負載電壓與可量測的電流值關係。當設備是一個小電流設備的時候，或是負載電壓在整體電路是小到可以忽略不計的情況下，內部分流是可以考慮量測電壓的手段。

圖3-3展示了使用電流計內部分流的實際電路圖。三種內阻抗可供選擇：10 k Ω 、10 Ω 以及10 m Ω ，端看設備的整體最大抽電電流來決定要選擇哪一組內阻抗。

使用CMWrun就可以自行選擇要使用內部分流還是外部分流，只要在使用者介面勾選，並且指定內阻抗或是填好外部阻抗即可。有個原則可以參考，若是備的抽電電流會超過3安培，為了不使內阻抗負載電壓影響整體電流量測，會建議使用外部分流走外阻抗這一條路。我們可以看到在內阻抗部分我們只有10 m Ω 可供選擇，這時若是有大電流產生，勢必會產生大的負載電壓。所以我們使用

外部分流，外部分流所搭載的阻抗一定比10 mΩ大很多，對於負載電壓所產生的整體壓降效應也會非常的小。

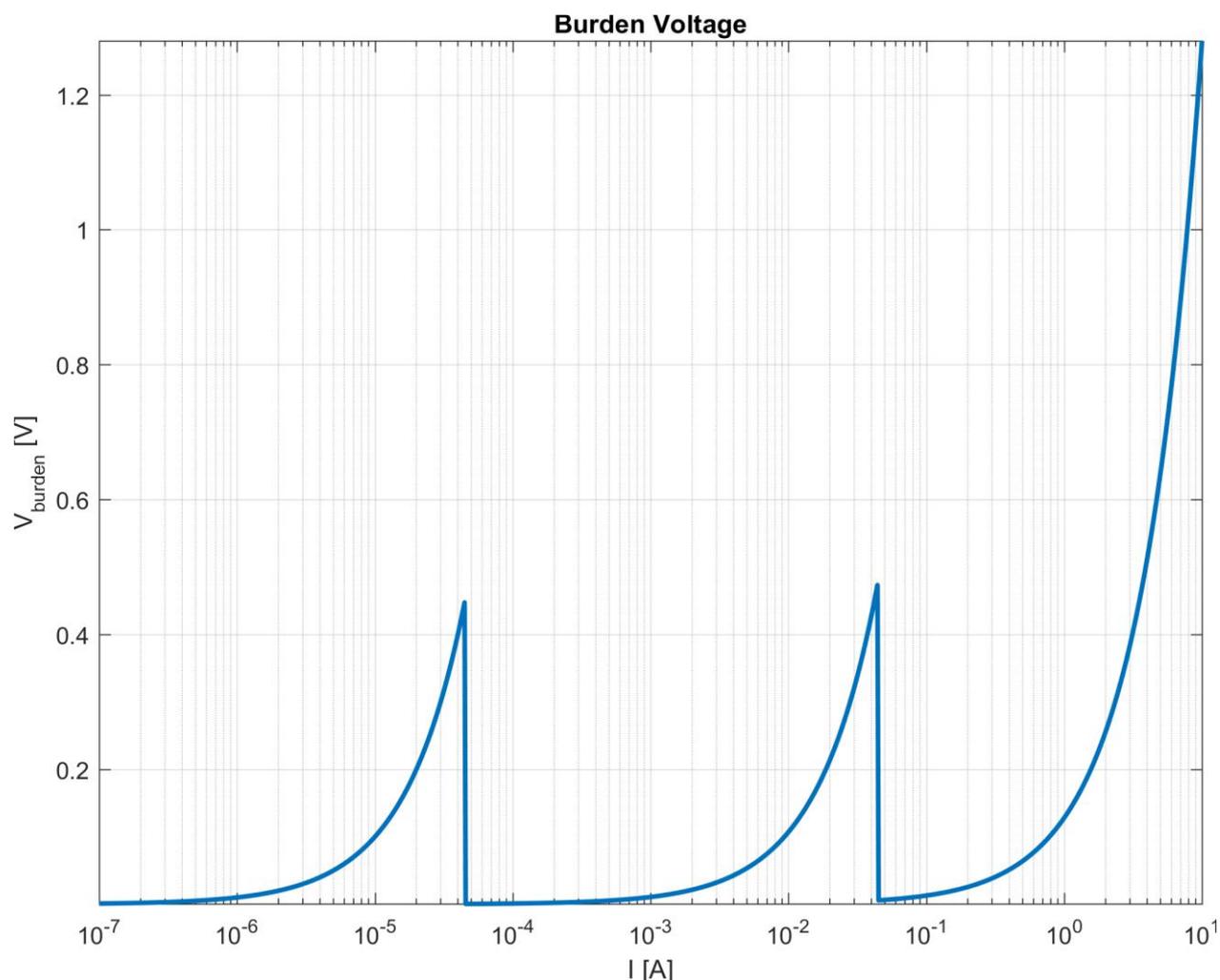


圖3-4: 使用內部分流所產生的負載電壓與輸入點的電流值

當使用外部分流的時候，RT-ZVC電流計就扮演著一個有高阻抗的電壓計。使用CMWrun的使用者介面就可以在兩種不同的負載電壓區間做選擇: 45 mV或是450 mV，如圖3-5所示。CMWrun會自動計算所量到的電壓值與相對應的外部阻抗，進而算出正確的電流值。

選擇外部阻抗的方式，就是藉由期望的設備整體電流與整體的電壓區間相除所得出來的結果。比如說我們期望的設備整體電流為0.5 A，而負載電壓小於45mV，那要裝設的外部阻抗將是小於 $45 \text{ mV} / 0.5 \text{ A} = 90 \text{ m}\Omega$ ，而我們裝設的外部阻抗就可以是 $50 \text{ m}\Omega$ ，在CMWrun上面的使用者介面也要選擇 45 mV。

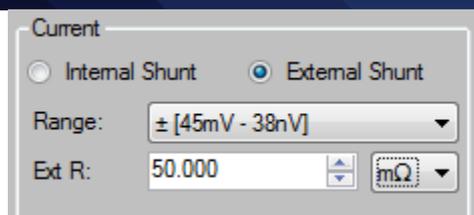


圖3-5: 在CMWrun裡面設定外部分流

4 使用 CMWrun 量測電池壽命

使用CMWrun的好處是，CMWrun可以同時結合RT-ZVC與CMW來模擬整個網路環境並且執行電流電壓的量測。使用多重工作的編程腳本(multi-threaded testplans)，同時可以執行CMW的無線環境模擬與執行RT-ZVC的電流電壓量測。與CMW結合的時候，CMWrun會監測CMW的運行狀況，並且把連線的狀況截取回來，在電流電壓的量測報告上形成一個事件標記(event markers)。這些事件標記可以使工程師很容易了解，在連線時設備的電流電壓有何種變化，或是設備已經進入節能狀態時電流電壓會有何種反應。

4.1 架設 CMWrun、CMW500 與 RT-ZVC

以下的程序解釋了如何將CMWrun與CMW結合起來：

1. 先將CMW與PC(裡面執行CMWrun)用網路線連接起來，並且確認他們是在同一個網域內。
2. 按下CMW上面的“SETUP”按鍵(位於CMW螢幕左側的實體按鍵)。
3. 選擇“System”→“Lan Services”，接著選擇“Lan Remote”。
4. 根據網路的配置，啟動DHCP或是鍵入固定的IP位置。通常會啟動DHCP，這樣CMW就會被自動配置到IP位置。

5. 接著到CMWrun，選擇“Resources”→“SCPI Connections”，接著按下“Add...”來新增一個新的CMW連線。
6. 按下“Assistant”來設定“Remote interface Assistant”，然後填入以下欄位：
 - “Alias”是CMW的代稱
 - “Resource Name”可以經由Assistant幫助填寫完成，首先“Interface Type”就選擇“VXI11(Network)”，使用網路位置連線，接著將CMW所顯示的位置，填寫至“Host Name”或“IP Address”。所以最終的“Resource Name”可以表示成TCPIP::CMW500::inst0::INSTR。
7. 按下“OK”之後退出新增連線的頁面。
8. 可以在“SCPI Connections”中按下“Test Connection”來測試連線是否成功。

D	Alias	Resource Name	Timeout
<input type="checkbox"/>	LocalHost	TCPIP0::127.0.0.1::INSTR	20000
<input checked="" type="checkbox"/>	CMW500	TCPIP::CMW50050-101440::inst0::l...	20000

圖4-1: 在CMWrun中選擇主要的SCPI連線

只要執行上述的程序，全域的SCPI連線就會被設定完成。之後所有新的測試題目都會依著主要的全域設定連線來執行。當然個別的測試題目，也可以經由選擇不同的“Resource”，來設定新的連線，如圖4-2所示。

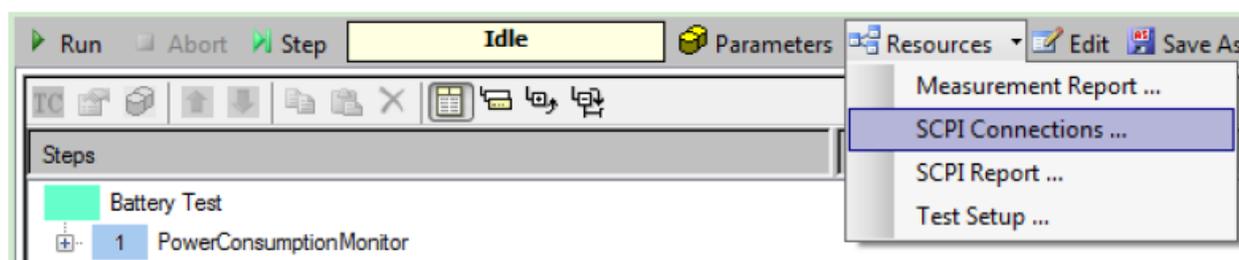


圖4-2: 在個別的測試題目中選擇SCPI連線

只要在灌CMWrun的時候將RT-ZVC的USB驅動程式，並且提供直流6伏特，2安培的電力，使用USB3.0的USB線材連接至電腦上，不需要個別去設定RT-ZVC，只需要執行CMWrun中的“Power Consumption Monitor”題目，即可量測電壓電流。

4.2 設定耗電量測題目

只要執行 CMWrun 之中的 CMW-KT051 基本量測功能中的耗電量測題目，即可使用 RT-ZVC 執行電壓電流的量測。

在 CMWrun 中的“File Browser”中，在“Test”的檔案夾之下，尋找並雙擊打開“PowerConsumptionMonitor”題目，一個新的測試題目就可以產生，如圖 4-3 所示。

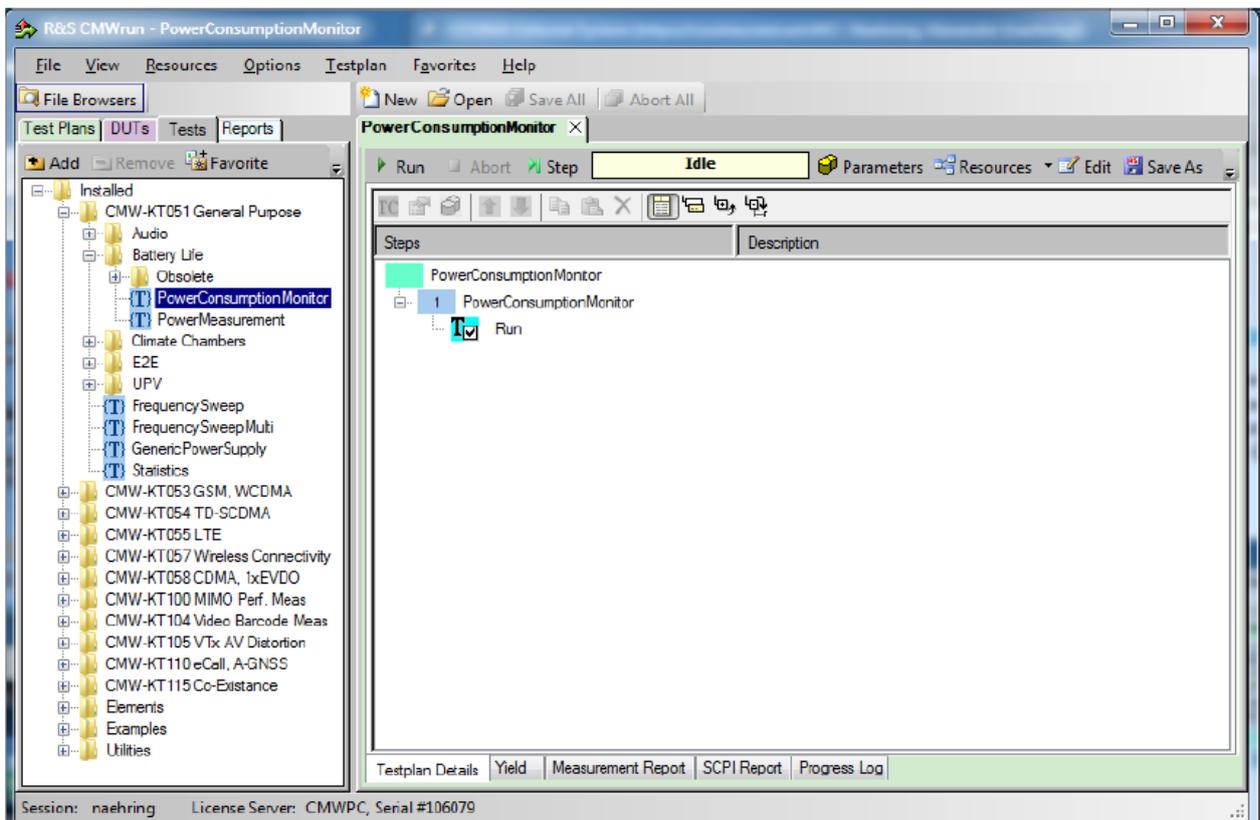


圖 4-3: 開啟並新增一個新的耗電測試題目

在開始量測電壓電流之前，要先設定好量測的參數。要設定參數只要雙擊在“Testplan Details”裡面的“PowerConsumptionMonitor”步驟。點擊這個步驟，我們就可以把設定頁面“Power Consumption Meas”開啟，如圖 4-4 所示。

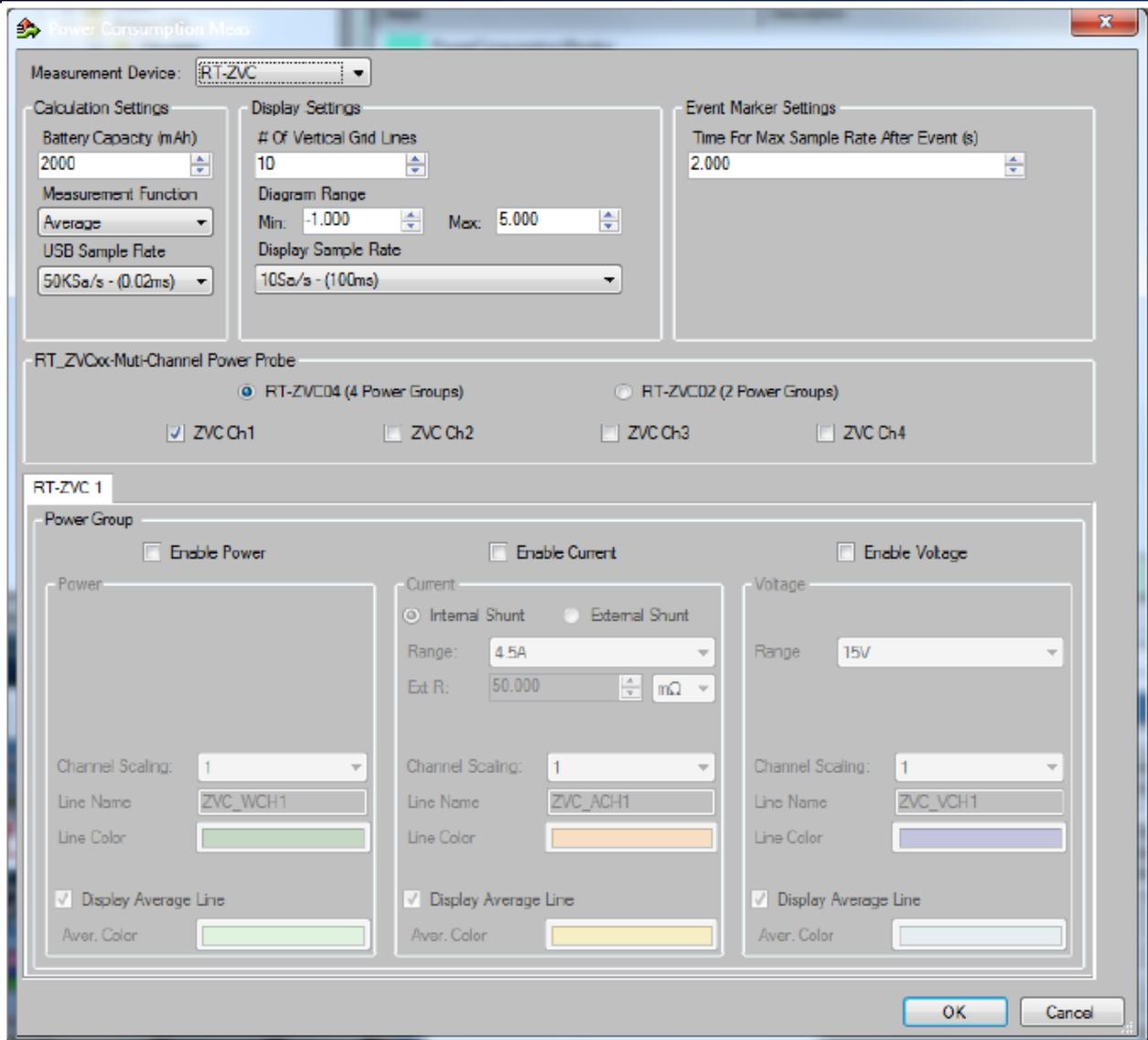


圖 4-4: Power Consumption Measurement 設定頁面

設定頁面的上面三組的設定為 RT-ZVC 一般功能設定，而下面其他部分則是個別量測通道的設定。從左上方的欄位開始看，在這邊可以定義一顆電池的電量，根據量測的功率損耗，就可以反推一顆電池壽命是多少。RT-ZVC 的量測速率為每秒五百萬個取樣點(5 MSa/s)，由於受限於 USB 的傳輸速率，RT-ZVC 可以將抓取區間的最大值(Peak)或是平均值(Average)回傳。而目前最高的 USB 傳輸速率，為每秒五萬個取樣點(50 KSa/s)。上方中間部分“Display Setting”是定義報告網格所呈現的方式。經由選取恰當的觀察區間，所量測的電壓電流值，以及算出的功率消耗都會依照時間排列清

楚。比如說量測的電壓值為 USB 給電，電壓為 5 伏特直流電壓，所以要選取的觀察區間就會是 -1 至 6。

“Display sample rate”是定義顯示在報告上的時間精細度，當然越高的精細度可以看到量測值越精細的表現在時間軸上，但是所花的記憶體就會比較多，而且使用比較低的時間精細度，可以得到比較宏觀並且好觀察的報告。當然預設的取樣速度會因為事件標記(event marker)的產生而動態增加。這個設定值在右上方的“Event Marker Settings”，當事件標記產生時，會驅動顯示取樣速度會加速與 USB 取樣速度一樣快。

在“RT_ZVCxx-Multi-Channel Power Probe”底下可以選擇不同的 RT-ZVC 模組，並且開啟想要量測的通道。選擇一個通道，最底下的欄位“Power group”，就可以個別的開啟電壓、電流與電壓的量測；每一個項目的區間要正確的設定，若是有項目超過設定的區間，RT-ZVC 就會亮起紅色的超流過保的燈號，並且切斷量測電路。

圖 4-5 展示一個通道的電流電壓量測完整的設定值。這一個設備因為是從 USB 供電，所以大概會有 5 伏特直流的電壓，所以電壓的區間我們就設定在 7.5 伏特；而我們將顯示的最低區間設定在 -1，這樣會讓比較接近 0 的數值容易被觀察到；因為 IoT 的電流都很小，所以設定在內部分流(internal shunt)並且設定為 4.5 安培，以防止設備抽不到電流；而我們刻意的將量測到的電流值在報告上放大 10 倍，這樣才不會因為電流太小而不易觀察。

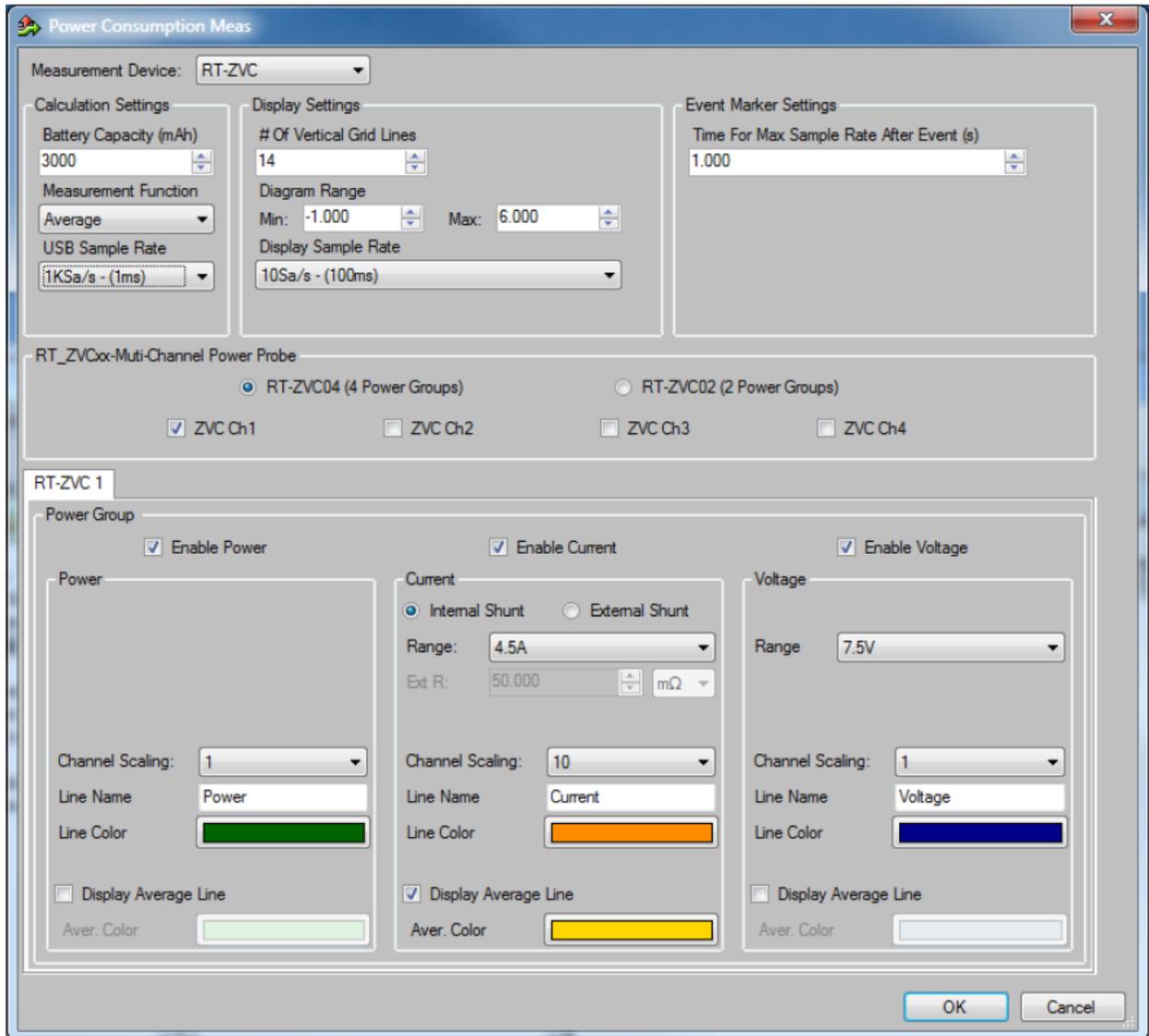


圖 4-5: Power Consumption Measurement 設定參考

使用“File Browser”先把既有存在的題目打開，然後編輯既有的題目是最快速創造一個新題目的方式。當然一個題目也可以在每一個步驟中呼叫不同的題目，這樣使得 CMWrun 可以多工並行不同的題目。要編輯一個既有的題目，只要如圖 4-6 一樣，按下“edit”進入到編輯模式，就可以很方便的編輯想要的題目。

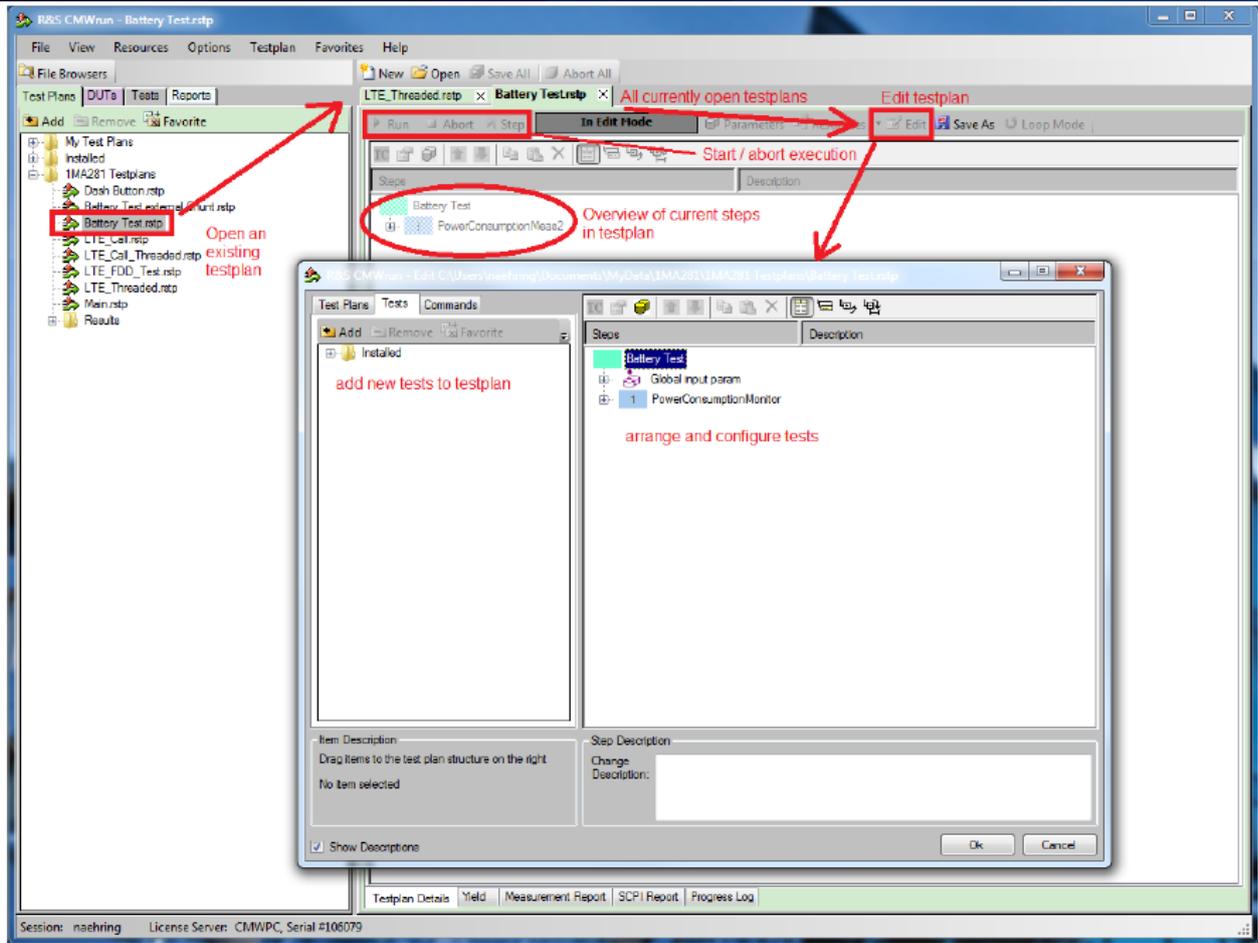


圖 4-6: 開啟、編輯與執行

4.3 創造多工題目

使用 CMWrun 與 RT-ZVC 的最大優點，就是可以一邊的控制 CMW 來模擬網路環境，一邊的控制 RT-ZVC 量測電壓電流，來達成多工的目的。只要在 CMWrun 裡面編輯好，這些題目都可以平行處理。

我們可以藉由在一個題目裡面放置”Start Test Plan”，如圖 4-7 所示，在這一個步驟之中，我們可以呼叫其他的題目平行執行。呼叫的路徑可以是一個絕對路徑，也可以是一個相對在根目錄底下的相對路徑。而被呼叫的題目所產生的報告也可以合併至主題目的報告之中。

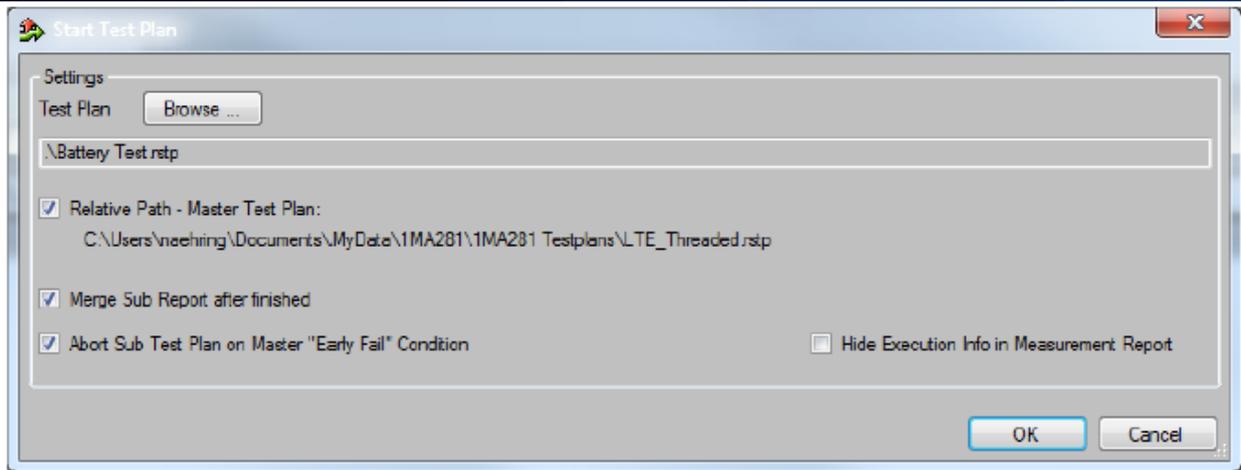


圖 4-7: 設定平行執行

通常量測電壓電流都是從設備開始抽電，然後整個觀察都結束之後，再將量測的題目關閉。所以耗電量測的題目通常都會是被呼叫的題目，如圖 4-8 所示，在主題目一開始的時候，被呼叫起來量測電壓電流，在主題目整個跑完之後，就再次被呼叫關閉，最終兩份報告也會被合起來。

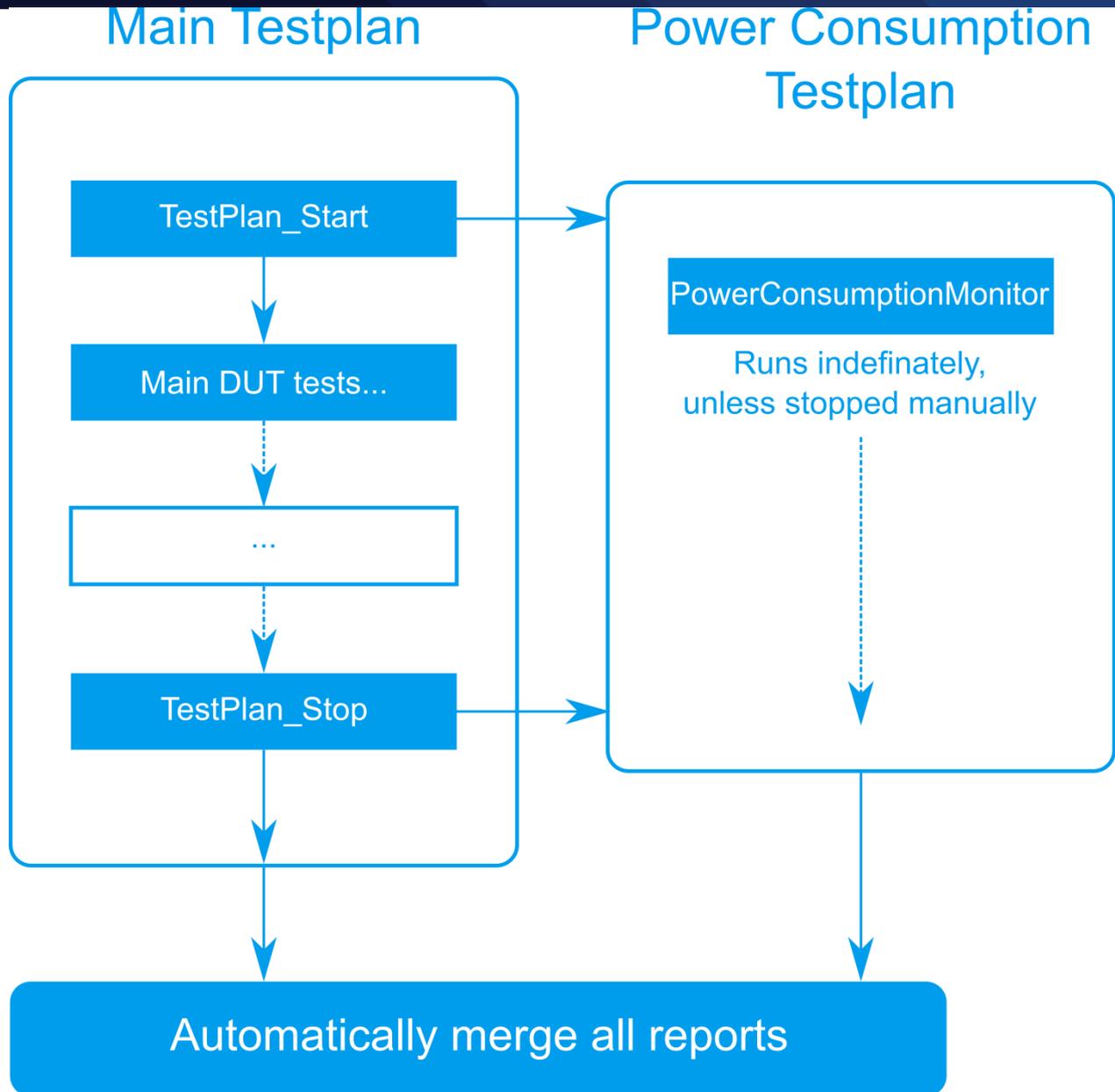


圖 4-8: 平行多工流程圖

4.4 事件標籤

事件標籤可以幫助工程師在觀看電壓電流的量測時，追蹤網路端所發生的事件。有兩個方式可以建立事件標籤。

第一種方式就是自定義事件標籤然後放置在題目中，從“Elements”→“Report”中使用“EventChartMarker”，就可以手動設定想要在某個步驟放至事件標籤。

第二種方式就是 CMWrun 自動的觸發並且建立事件標籤。通常有幾種狀況會觸發自動建立事件標籤：

- 信令的狀態改變: 通常會在建立連線的步驟觸發
- 組態步驟的改變: 比如功率的設定改變或是頻寬，調變等資源的改變

5 創立題目範例

5.1 USB供電的LTE設備

在這一個範例中，如圖 5-1 的接線方式，LTE 設備從製具中的 USB 孔位抽電，然後從製具中可以拉出電壓電流的腳位，交給 RT-ZVC 來做量測；LTE 設備連接到 CMW 模擬網路信令行為。

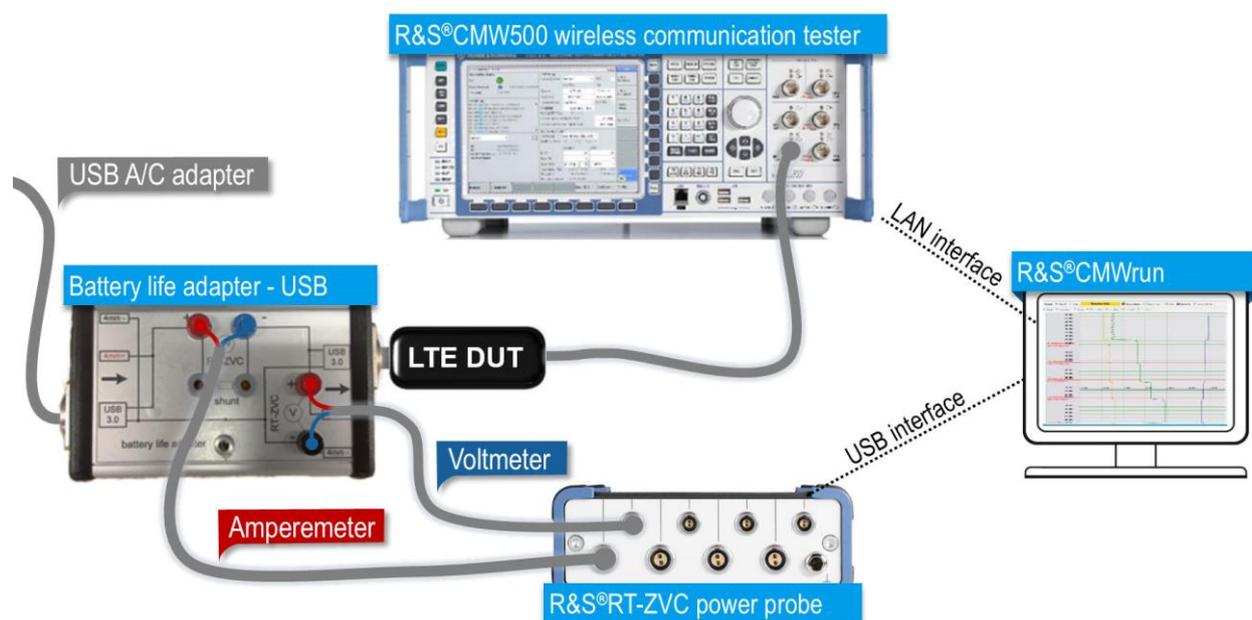


圖 5-1: LTE 設備量測設置

LTE 設備是由 USB 抽電，為了方便接上電壓電流的探針，使用了一個客製化的製具，這個製具兩端都是採用 USB 3.0 的接頭，方便 USB 的設備連接。當然另外一端可以直接使用 USB 給電，也可以使用電源供應器 R&S[®]HMC 8034 來供



電。可以看到這個製具的上端有著電流計與電壓計的接點，方便連接至 RT-ZVC 上，在電流計的部分，製具也提供了外部分流的接頭，所以工程師可以使用內部分流或是外部分流，端看設備的電流負載。

耗電量測的部分，在 CMWrun 可以使用平行多工的方式，一方面模擬 LTE 在信令模式下工作的行為，一方面也可以量測耗電。開

啟“PowerConsumptionMonitor”，選擇第一個通道量測，選擇開啟電壓、電流與功率量測，並且依照設備的最大電壓與最大電流選擇量測區間。這一個設備因為是從 USB 供電，所以大概會有 5 伏特直流的電壓，所以電壓的區間我們就設定在 7.5 伏特；而我們將顯示的最低區間設定在 -1，這樣會讓比較接近 0 的數值容易被觀察到；因為 IoT 的電流都很小，所以設定在內部分流(internal shunt) 並且設定為 4.5 安培，以防止設備抽不到電流；而我們刻意的將量測到的電流值在報告上放大 10 倍，這樣才不會因為電流太小而不易觀察，如圖 5-2 的設定。

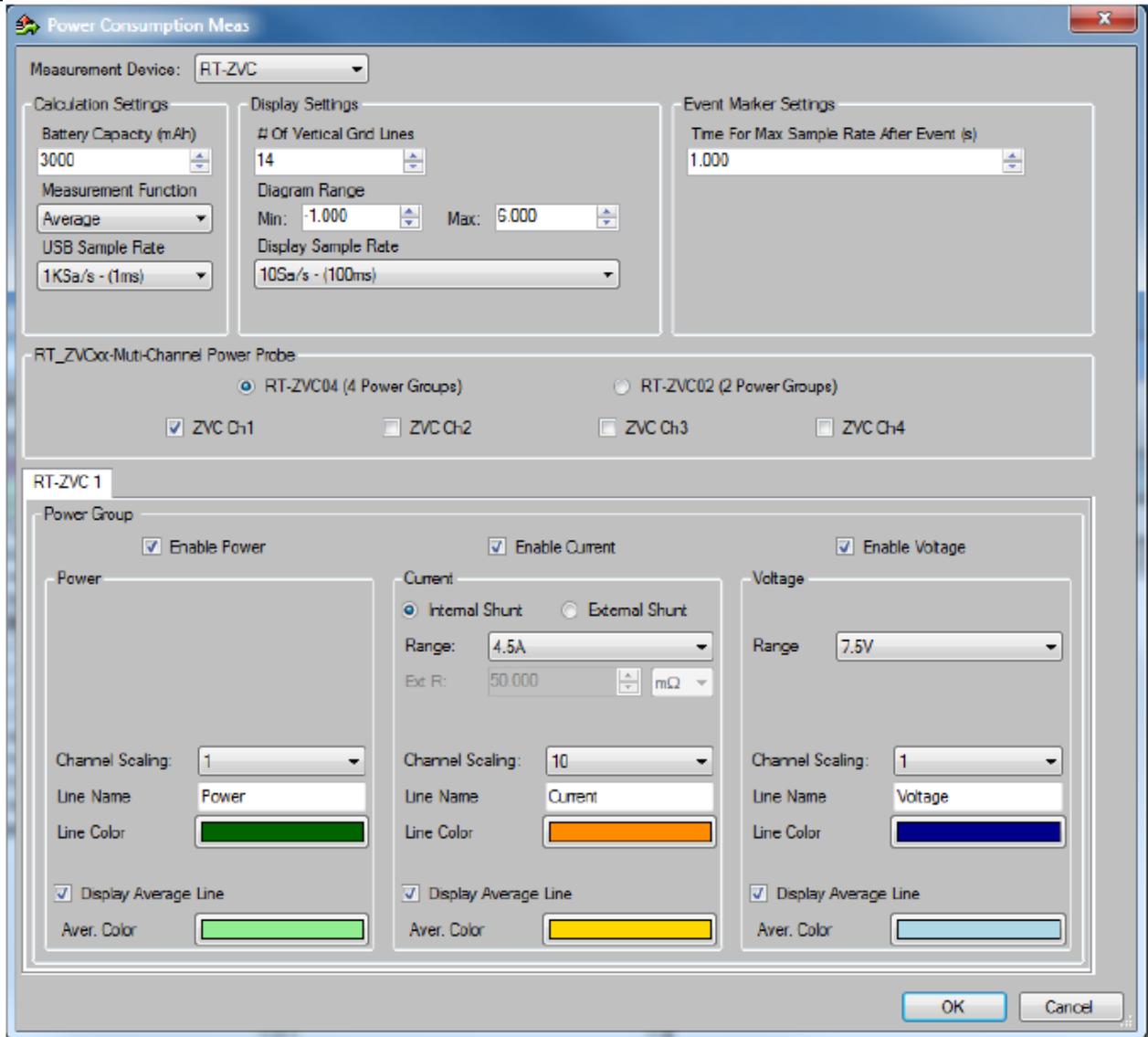


圖 5-2: LTE USB 設備耗電量測設定

主要的題目設置，我們先按下“New”新創一個空的題目，然後使用編輯把題目設定完成，圖 5-3 為設定好的主題目。剛開始我們先加入“TestPlan_start”，將耗電量測的題目在這邊加上，使得主題目在開始執行時就可以去呼叫耗電量測。在來我們加上“Delay”來做為一個緩衝，使耗電量測的題目準備好再開始下一個步驟，這裡我們通常會加上 2000 毫秒(milliseconds)。

接下來我們會讓 LTE 設備與 CMW 建立連線，所以我們拉了一個步驟“LTE_CallSetup”。然後我們手動設置了事件標籤，這幾個事件標籤將在產出

的報告中分別設置標籤點，這幾個標籤點將有助於工程師直接看出功率消耗。

最後的步驟，設置“TestPlan_Stop”，將耗電量測的題目關閉。

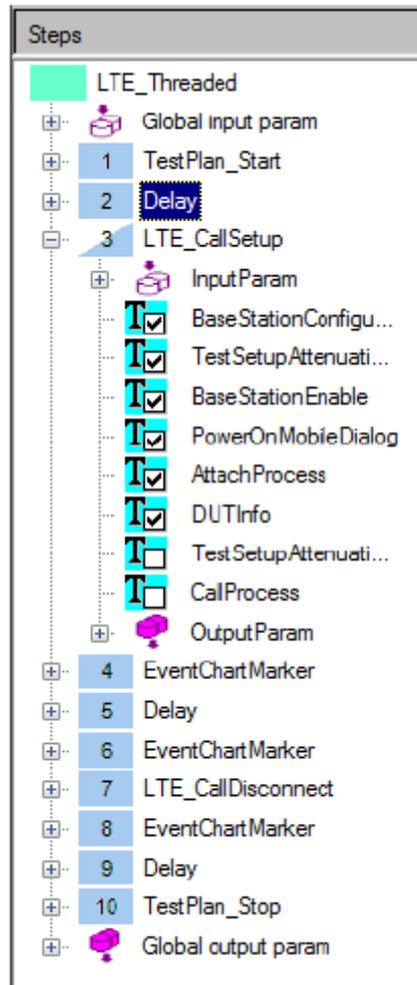


圖 5-3: 主題目的各個步驟

執行之後，CMWrun 會整合所有的報告，包括主題目與耗電量測題目的報告及合成一份。



Settings			Value	Unit
Global Settings				
Capacity of Battery			3000.000	mAh
Data			Value	Unit
Global Data				
Voltage Average (ZVC VCH1)			4970.502	mV
Voltage Max (ZVC VCH1)			5012.967	mV
Current Average (ZVC ACH1)			252.415	mA
Current Max (ZVC ACH1)			383.034	mA
Current Battery Life (dec) (ZVC ACH1)			11.885	h
Power Average (ZVC WCH1)			1253.361	mW
Power Max (ZVC WCH1)			1897.810	mW
Time			0:01:38.200	
Info			Value	Unit
Marker				
##### Test Start ==> LTE Call - Attached #####				
Voltage Average (ZVC VCH1)			4983.278	mV
Voltage Max (ZVC VCH1)			5012.967	mV
Current Average (ZVC ACH1)			141.395	mA
Current Max (ZVC ACH1)			372.124	mA
Current Battery Life (dec) (ZVC ACH1)			21.217	h
Power Average (ZVC WCH1)			703.283	mW
Power Max (ZVC WCH1)			1644.361	mW
Time			0:00:34.000	
##### LTE Call - Attached ==> Wait some time... #####				
Voltage Average (ZVC VCH1)			4958.783	mV
Voltage Max (ZVC VCH1)			4960.238	mV
Current Average (ZVC ACH1)			352.744	mA
Current Max (ZVC ACH1)			364.304	mA
Current Battery Life (dec) (ZVC ACH1)			8.505	h
Power Average (ZVC WCH1)			1749.180	mW
Power Max (ZVC WCH1)			1805.844	mW
Time			0:00:00.600	
##### Wait some time... ==> disable BS #####				
Voltage Average (ZVC VCH1)			4960.770	mV
Voltage Max (ZVC VCH1)			4963.017	mV
Current Average (ZVC ACH1)			336.986	mA
Current Max (ZVC ACH1)			383.034	mA
Current Battery Life (dec) (ZVC ACH1)			8.902	h
Power Average (ZVC WCH1)			1671.700	mW
Power Max (ZVC WCH1)			1897.810	mW
Time			0:00:30.700	
##### disable BS --> BS disabled #####				
Voltage Average (ZVC VCH1)			4962.665	mV
Voltage Max (ZVC VCH1)			4964.406	mV
Current Average (ZVC ACH1)			321.240	mA
Current Max (ZVC ACH1)			358.124	mA
Current Battery Life (dec) (ZVC ACH1)			9.339	h
Power Average (ZVC WCH1)			1594.192	mW
Power Max (ZVC WCH1)			1775.363	mW
Time			0:00:02.100	
##### BS disabled ==> Test End #####				
Voltage Average (ZVC VCH1)			4966.861	mV
Voltage Max (ZVC VCH1)			4986.874	mV
Current Average (ZVC ACH1)			284.027	mA
Current Max (ZVC ACH1)			336.533	mA
Current Battery Life (dec) (ZVC ACH1)			10.562	h
Power Average (ZVC WCH1)			1410.711	mW
Power Max (ZVC WCH1)			1669.018	mW
Time			0:00:30.800	

圖 5-4: 每個事件標籤之間的耗電量測

圖 5-4 展示了耗電量測的報告。第一個是“Global Data”，顯示了在這段量測期間的所有總耗能。之後的“Marker”，顯示了每一個事件標籤，以及每個事件標籤之間的個別耗能報告。

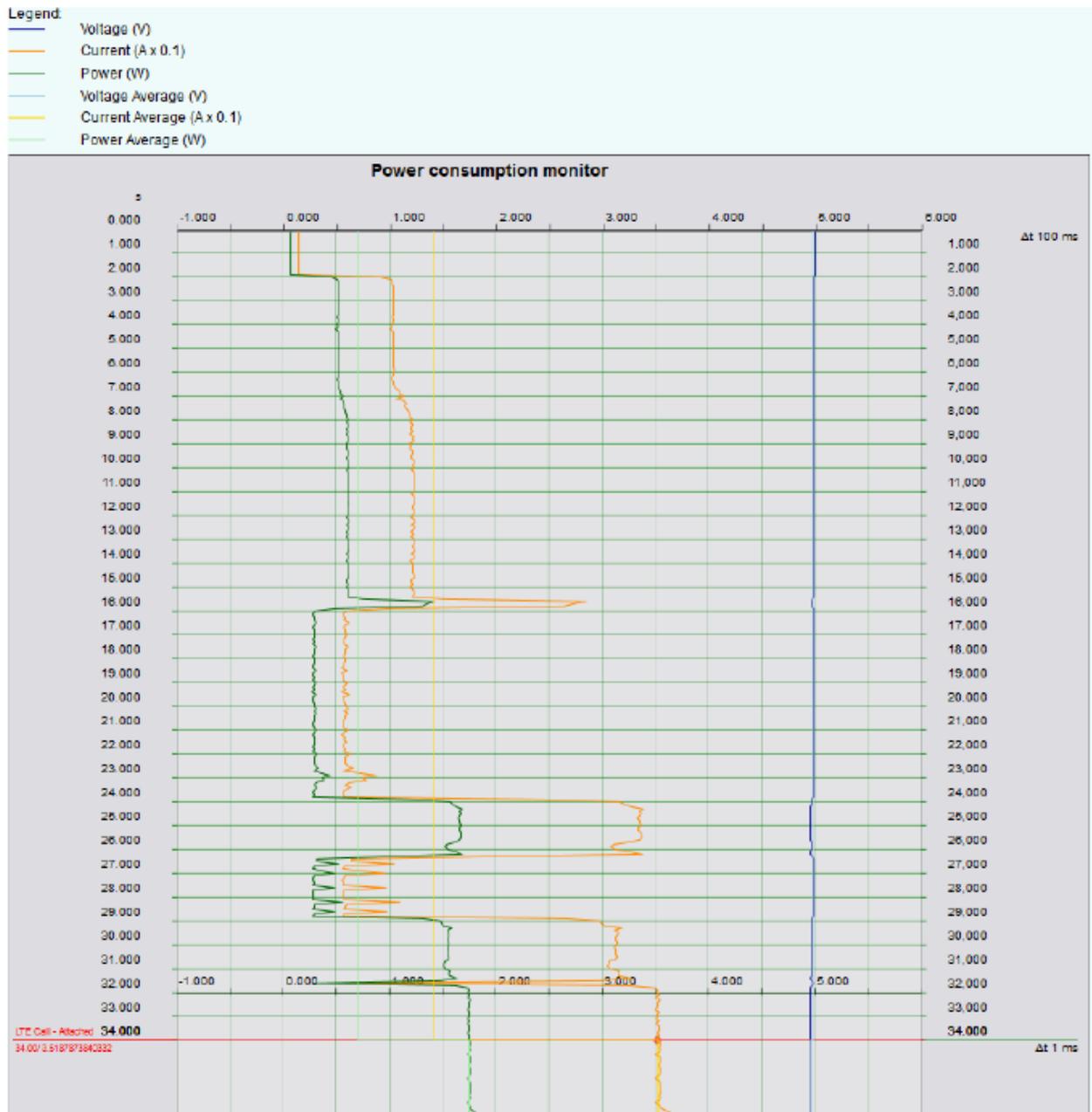


圖 5-5: 第一個部份的耗能量測圖

圖 5-5 則顯示了第一個建立連線時的耗能圖形，工程師可以清楚的看到，哪一個時間點已經建立了連線，會有一個事件標籤提示。