

射頻自動化測試之流程架構

劉志豪

中華大學資訊工程學系研究生
e-mail: e10102004@chu.edu.tw

張欽智

中華大學資訊工程學系助理教授
e-mail: changc@chu.edu.tw

摘要

由於上網的需求，以至於在各地的便利商店與餐飲店皆會架設無線網路，以供客人使用；3C產品上也慢慢搭上了這股風潮，無論是在相機、印表機、記憶卡或手機等，皆會加入無線網路模組，以提供設備擁有無線上網的功能。隨著無線模組的大量需求，工廠端需要配合客戶需求在短時間內大量生產符合品質要求的產品。

為了解決工廠端生產無線模組上，遇到的射頻測試問題，如：測試時間過長、產能低、人力需求與問題的處理，我們利用相位正交(IQ, In-Phase Quadrature)儀器開發了一套射頻測試程式。可保證品質增加產能並且降低機器、時間與人力的成本，同時產生相對應的日誌方便工程師進行問題的偵錯。

關鍵詞：射頻、效能測試、相位正交應用、無線網路。

Abstract

Because the demand of Internet access, it becomes popular that convenience stores and restaurants provide the wireless network access. More and more 3C products such as cameras, printers, memory cards, and mobile phones are equipped with wireless networking ability. With great demand of wireless module, manufactures need to produce the products which meets the quality requirements.

In order to solve the problem of RF testing such as long testing time, low productivity, and manual involvement, we develop a RF test program using an IQ equipment to ensure the quality, increase productivity, and reduce time and labor costs, while generating the corresponding log that facilitates engineers to debug the problems.

Keywords: RF, performance testing, IQ (In-Phase Quadrature) Modulation, Wi-Fi

1. 緒論

無線網路廣泛地發展，除了方便性以外主要在於架設的設備成本相對於3G、4G行動上網或WiMAX來說成本較低，在設定上也相對簡易[1]；但由於無線網路的發展促進產品功能上的增加或進化，為配合產品的上市工對於射頻部份的測試中使用傳統儀器逐一進行測試，需要較長的測試時間與大量的時間、儀器和人力成本，但其產能有限無法應付短時間內大量的出貨[2]。

為了解決使用傳統儀器只能逐一的測試所造成的時間成本，透過LitePoint IQ Flex [3]雖可降低生產的時間成本，但卻增加購買測試程式的金錢成本與研發的測試時間成本。

傳統儀器的測試程式為配合產品重新開發比較單一化，無法重複使用且日誌所提供的資訊有限不易偵錯；在本論文提出一個新的產品測試程式，不需花費時間重新驗證且測試時間短，大量降低人力與金錢成本且與提供多個工作日誌，方便產線人員或研發進行問題的偵錯與處理。

2. 相關研究

2.1 射頻

射頻簡單說為一種交流變化的無線電波，但需在其頻率高於100kHz才具有遠距離傳輸的能力，也只有具有遠距離傳輸能力的電波稱為射頻(Radio Frequency, RF)。

在社會上使用到的地方很多元化，如廣播電台、無線射頻辨識(RF Identification, RFID)、全球定位系統(Global Positioning System, GPS)、無線網路、藍牙等皆屬於射頻[1]。

其中的差異不同主要有的是固定在一個區段內或者每個區段代表著一個頻道，如全球定位系統或無線網路、廣播等，且都有其相對應的標準如無線網路為IEEE802.11系列標準。而

有的用在辨識的用途則須燒碼進行辨識或配對的動作，如 RFID。

2.2 射頻的特性與影響

射頻的特性與影響，在這裡以 Wi-Fi 產品如：無線路由器、無線網卡等為例。針對此類產品工廠測試主要在檢查功率(Power)、頻譜遮罩(Spectrum Mask)、誤差向量幅度(EVM)、接收靈敏度(Sensitivity)和頻偏五個部份[4]。

- 功率 — 即是指無線產品訊號的發射功率強度，當其功率越高可接收的範圍或距離即越大越遠，功率越小則相反 [5]；此特性並無標準的規範，但功率過大也會對其它特性造成不好的影響，一般北美最大功率不超過 30dBm，中國及歐洲國家最大功率不超過 20dBm，日本最大功率則是不超過 22dBm。誤差部份則是由客戶提供，一般都是設為 $\pm 1.5\text{dBm}$ 。
- 頻譜遮罩 — 其主要在分析訊號有無失真或干擾的現象並且有一個標準的規範，根據頻段不同有不同的規範但都是不能有任何的一絲干擾，標準規範如圖 1 的頻譜圖。

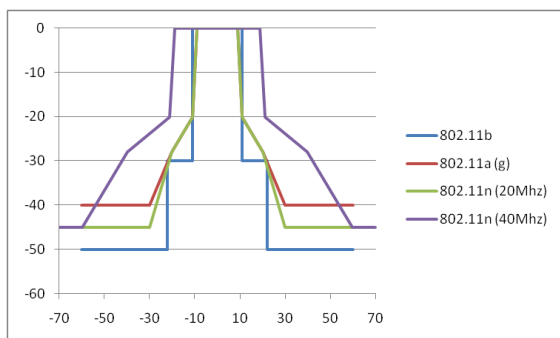


圖 1 頻譜圖

- 誤差向量幅度 — 其表示的是一個理想的訊號與實際量測到的訊號之間的向量差，如圖 2 的誤差向量訊號定義示意圖，透過此向量差可以檢測出其訊號的品質並找出訊號失真的原因或造成失真的電路零件，會造成此類失真的包含功率放大器的增益壓縮 (Gain Compression)、本地振盪貫穿或 IQ 增益不平衡、相位訊號干擾等。
- 接收靈敏度 — 主要透過儀器發射封包而產品進行接收，藉此計算封包的丟包率在比對標準規範是否在可接受的範圍內，透過此

測試來判斷其接收是否正常。

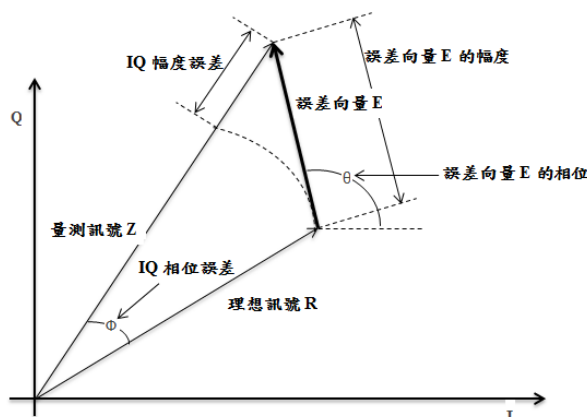


圖 2 誤差向量訊號定義示意圖

- 頻偏 — 指的是中心頻率的偏移，此部份也有一定的標準規範，在實際電路上晶震性能會影響其產品頻率誤差，而頻偏太大會造成接收不到資料。

2.3 無線區域網路 (Wireless LAN)

無線區域網路經過長時間的發展後，至目前為止可分為 2.4G 和 5G 二種。目前台灣使用的無線區域網路還是以 2.4G 的較多，其中包含 b、g、n 三種頻段也是市面上產品佔大多數的，而 5G 的部份則為 a 頻段，目前已知的有 ac 與 a 二種頻段，由於 a 頻段並不向下支援 b、g、n 所以使用較少，目前也只有少數新上市的产品有支援，而 ac 頻段則支援 b、g、n 會根據訊號強度自行降低傳輸速度[6, 7]。

雖然有線網路的流量仍然佔著很大的比例，但隨著技術的進步，無線網路的傳輸量也越來越大。在架設與使用上雖然無線網路皆優於有線網路，但二者亦是相輔相成的，畢竟無線網路路由器還是需要線網路線才能進行上網，而傳輸速率上則是網路線與路由器互相配合，無線網路才能完整的發揮有線網路的速率，不然僅是方便但速度卻比不上有線網路。

3. 研究方法

3.1 硬體架構

在本節將分別針對使用傳統儀器與 IQ 儀器進行測試的測試架構進行介紹與說明。

傳統儀器 — 傳統的儀器一般都是單一的功能測試，因此工廠進行測試時其測試程式只能逐一的控制單一儀器進行資料的獲取與計算比較確定沒有問題再進行一下個儀器的測

試。如圖 3 的傳統儀器架構圖中，透過纜線與 Power meter 連接進行訊號強度的測試是否符合客戶要求，一樣透過纜線與 Spectrum 連接進行頻譜遮罩(Spectrum Mask)與頻偏的測試，接著用纜線連接 Golden 端路由器到待測產品的天線端口利用另一台電腦控制發送封包給產品進行接收靈敏度(Sensitivity)測試其丟包率看是否符合標準的規範。

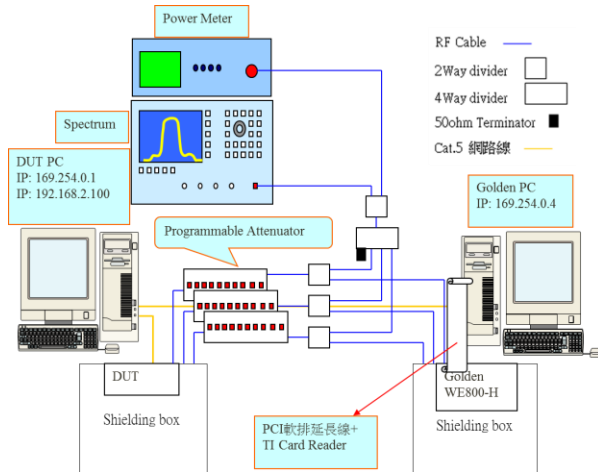
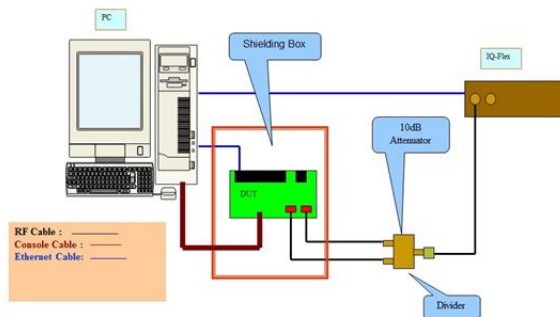


圖 3 傳統儀器測試架構圖

相位正交 (IQ, In-Phase Quadrature) 儀器 何謂 IQ 儀器, I 是 In-Phase Q 只是指其主要就是將 Power meter、Spectrum、訊號產生器和訊號分析器整合成一台儀器, RD 開發硬體時可以透過此儀器在短時間內進行一系列的檢查, 而圖四則利用 IQ 儀器寫一套射頻的測試程式, 如圖 4 IQ 儀器測試架構圖中, 只透過一台電腦與產品與 IQ 儀器進行控制, 即可量測所有數據, 相對於傳統儀器的測試架構, 不但測試的項目更完整, 測試的線路與架設也簡單許多沒有複雜的走線只有利用網路線來控制儀器與產品並透過纜線連接產品到儀器進行測試[2]。



圖四、IQ 儀器測試架構圖

3.2 傳統儀器的自動測試軟體

傳統儀器的自動測試軟體，由於與傳統儀器之間的溝通回復相對較慢且必須逐一儀器的測試，如圖 5 傳統儀器自動測試軟體架構圖，因此在測試時所需要時間比較長，也因此工廠在測試為了降低成本減少時間所以在測試內容中只會測試 Power、Mask 和頻偏，而接收靈敏度則依生產情況決定是否測試。

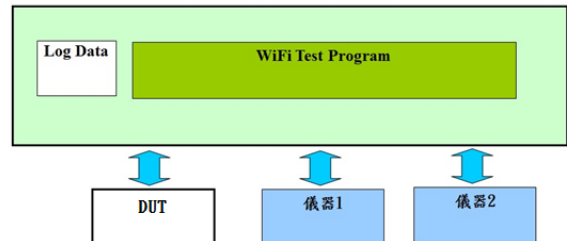


圖 5 傳統儀器自動測試軟體架構圖

在傳統儀器的自動測試軟體也較為固定，只限用於單一產品並無法共用，所以每個產品皆需重新編寫程式，且測試順序也固定不變無法修改。

Power 部份在下指令後產品開始發射訊號後，獲取數筆資料由於數值會跳動因為會去除最高和最低數值後，其它數值做平均後再進行比較，如圖 6 測試 Power 程式流程圖。

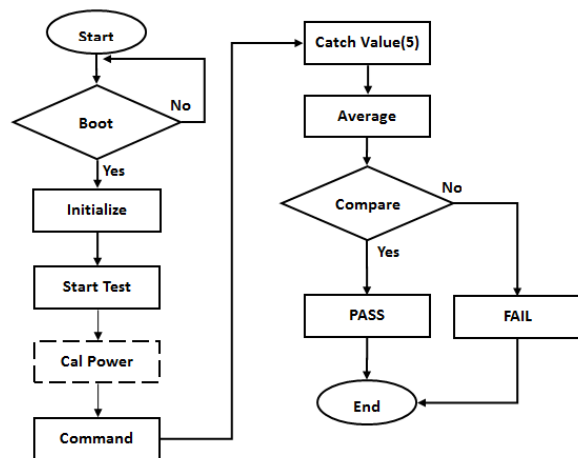


圖 6 測試 Power 程式流程圖

Mask 和頻偏部份則是在發射訊號後會顯示波形，透過機器內部的 Mask 標準直接進行比較是否正常，頻偏則是會獲取數值後做進行計算比較其誤差是否在標準內，如圖 7 為測試 Mask 和頻偏的程式流程圖。

接收靈敏度則分別確定待測產品與 Golden 端路由器皆已開機正常後，透過網線控制 Golden 電腦下指令給 Golden 開始發送封包，而待測產品進行接受來計算其丟包率是否符合標準規範，如圖 8 接收靈敏度測試程式流

程圖。

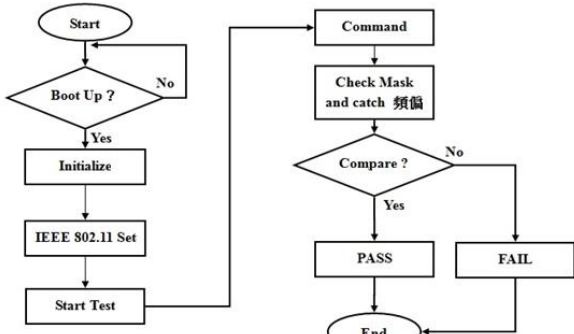


圖 7、測試 Mask and 頻偏程式流程圖

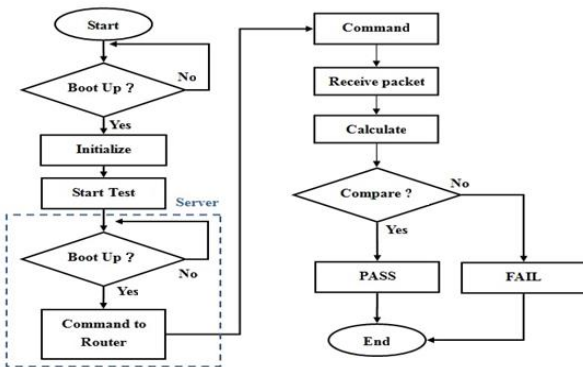


圖 8 Sensitivity 測試程式流程圖

3.3 IQ 軟體架構

在 IQ 軟體架構中，主要在於整合與優化。可分為三大部份，分別為 Application、主程式與儀器，如圖九的 IQ 軟體架構圖，IQ 儀器根據型號不同所提供的測試範圍也會有所差異，以及供 RD 開發使用會原廠會提供 tool 而工廠生產使用則無，因此在設定時也會有所差異；App 部份是由廠商提供並不公開 source code 一部份則依需求自行開發，簡單說就是做成一個模組只有輸入與輸出，此部份依每個開發人員會有所不同有保密性問題就不細說。

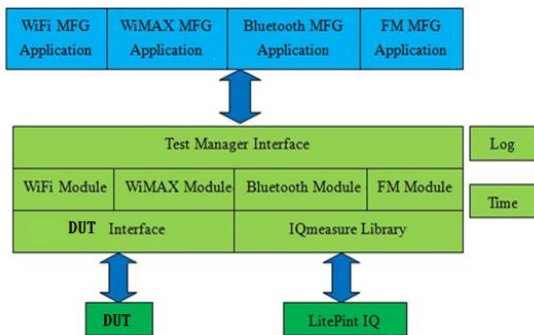


圖 9 IQ 軟體架構圖

主程式的部份分別使用 VB、VC 和 MFC

三種語言所開發的，VB 負責人機介面此部份依開發者可用不同的軟體進行開發並非需 VB 不可；VC 和 MFC 主要是在負責程式運作與對儀器產品下指令或動作，以及訊息的顯示與紀錄也是我所負責的部份。

其中指令的部份，根據使用的 IC 廠商不同因此使用的也會有所差異，所以在此部份會設計為針對 IC 不同而將其指令盡量模組化，也可以透過接受新產品的同時開發新的模組。也大大降低了開發的時間。

3.4 運作流程

程式在運作後，會根據設定透過網路線或 RS232 對產品進行初始化並確定其是否已開機初始化完成，其後根據設定對儀器進行連線並載入 library 檔後準備進行一系列的測試，如圖 10、圖 11。

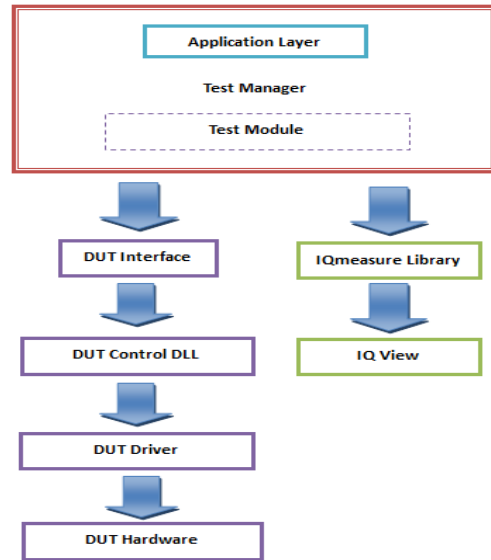


圖 10、程式方塊圖

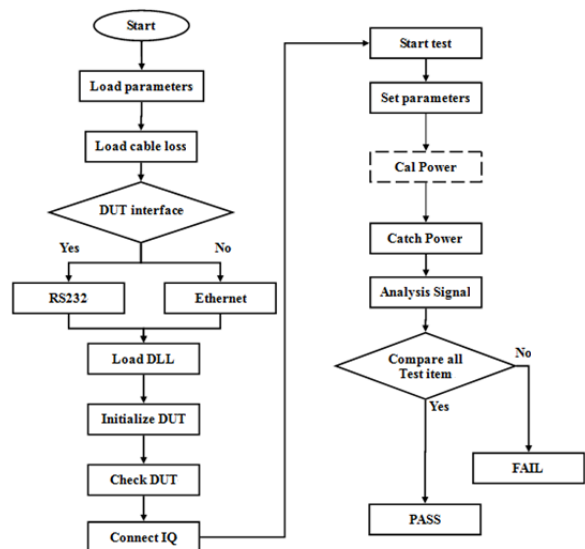


圖 11 程式流程圖

以一無線產品為例，說明其中功率和接收靈敏度的測試流程圖，TX Power的部份會載入使用GUI設定好的頻道、頻寬、天線和纜線的衰減值後，對產品下指令使其開始發射訊號，透過儀器獲取封包解析數值後再進行Power、Mask、EVM和頻偏的比較，比較是否符合客戶需求或標準規範，如圖12 [8,9]。

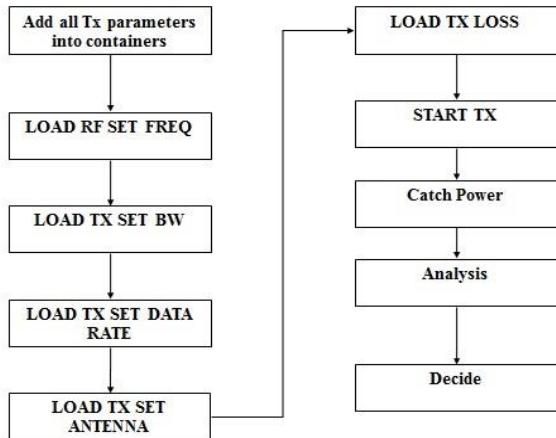


圖 12 TX測試程式流程圖

在RX Sensitivity的部份，與TX測試相同載入使用GUI設定好的頻道、頻寬...等參數後，對儀器下指令做發射封包的動作，而產品進行接收封包，根據發射與接收的數量計算其丟包率再進行判斷其好壞，如圖13。

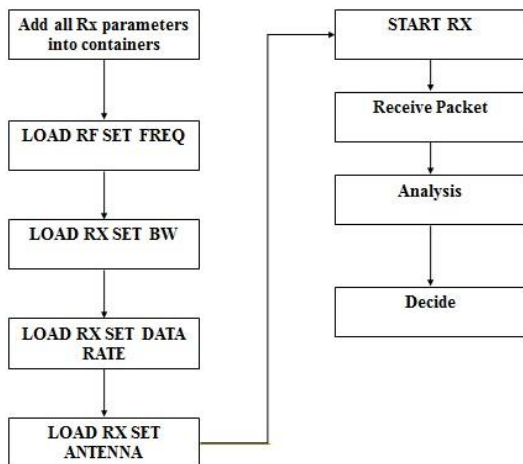


圖 13 RX測試程式流程圖

4. 系統實作

根據上一章節所介紹的硬體架構與自動化測試軟體 [2]，在工廠進行實際測試得到下述的差異與優缺點。

4.1 傳統儀器之測試軟體的優缺點

對工廠而言，自動化意味著降低時間、人

力與儀器成本，提高品質增加產能，但在傳統的自動測試軟體中，由於可能使用傳統儀器僅能逐一測試故而時間成本居高不下，產能也相對受到影響，由於成本問題並非所有參數皆測試所以品質上有也一定的差異，其優點在於相對於人工操作所需要的訓練，對於人員的技術要求降低，而優缺點如下。

- 測試項目與流程 — 項目與流程在編寫程式時皆需決定下來並做好設定，因其項目在工廠端並無法改變流程或者測試單一儀器項目，在偵錯時也會有一定的困難。
- 測試範圍 — 在傳統儀器的自動化測試程式僅測試到 Power、Mask、Sensitivity 和頻偏，而 Sensitivity 到後期較穩定後可能會為降低成本而取消測試。
- 測試日誌 — 只有簡單的數據與錯誤碼紀錄，無法判斷與儀器或產品之間的指令溝通是否有錯誤發生。
- 時間 — 與手動測試相比會較快。
- 測試的設定 — 需在文檔中修改，但其文檔較複雜，易在修改時誤刪或改變其它設定。
- 複雜度 — 對工廠的作業人員而言，自動化降低了對作業人員技術上的要求，不需手動操作與設定儀器。
- 人員的培訓 — 自動化避免了作業人員的培訓的必要性，但仍需針對不同產品選擇人員進行生產時的設定檢查與修改。
- 測試站數 — 在有無測試接收靈敏度會增加一個站數，產能不足時也必須增加其站數，以增加產能。

4.2 IQ 儀器之測試軟體的優缺點

在使用 IQ 儀器的自動測試軟體後，由於測試時間較短且可以完整測試各項特性，因此傳統的儀器測試逐漸被更換掉，但還不至於淘汰，而由於時間減少在相同的產能下站數的需求就降低。下面將逐一列出其優缺點。

- 測試站數 — 使用 IQ 儀器的自動測試軟體後，由於其儀器功能支援可透過程式自動化測試所有特性，不必同傳統的接收靈敏度需另外架站，且由於時間減短為傳統的四到五倍所以在相同產能下僅需要一個站數即可。
- 測試項目與流程 — 測試項目可透過 GUI 增加減少或設定，也可透過文檔中選擇是否測試。

- 測試範圍 — 可完整測試 Power、Mask、EVM、Sensitivity 和 頻偏五個特性。
- 測試日誌 — 除原本的簡單的數據外，另增加了與儀器、產品溝通的日誌，與測試的完整數據與流程。
- 時間 — 在相同的測試項目下，測試時間最快可較傳統快四到五倍，最慢可快二到三倍。

測試設定與規格 — 可透過 GUI 或文檔做好設定，其設定簡單大大降低失誤的可能性，規格除 Power 由客戶要求來設定外，其它具有標準的規範皆事先定義在軟體中。

4.3 介面的不同

- 傳統儀器之測試軟體介面

傳統儀器的自動化測試軟體其設定主要都在文檔中進行設定，如圖 14。執行程式的 GUI 則較簡單流程與項目皆固定在程式中，如圖 15。

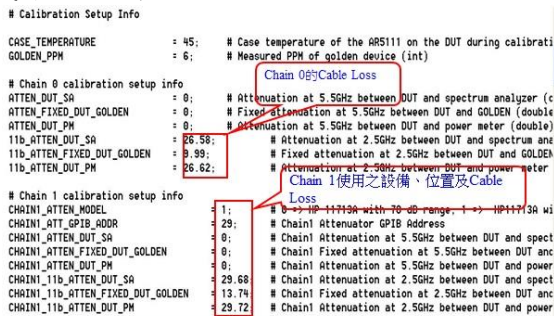


圖 14 設定文檔



圖 15 GUI 介面

- IQ 儀器之測試軟體介面

IQ 儀器的自動化測試與傳統測試軟體不同，其測試流程與項目皆是可調整的。纜線的衰減值可先設定在 Excel 檔後再進行載入，而圖 16 則為執行時的 GUI 介面。

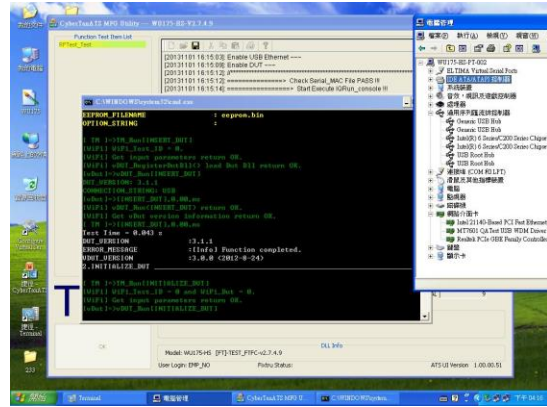


圖 16 執行時 GUI

4.4 執行結果

- 傳統儀器之測試軟體執行結果

在傳統儀器的自動測試軟體其執行完後會顯示 PASS 字樣，反之則 FAIL，如圖 17；而其執行完所產生的日誌只有簡單的數據資料，如圖 18。



圖 17 傳統儀器測試軟體執行結果

- IQ 儀器之測試軟體執行結果

IQ 儀器自動測試軟體中，執行結束後沒問題 GUI 會顯示 PASS，反之則顯示錯誤碼，如圖 18，可根據錯誤碼縮小偵錯範圍。



圖 18 IQ 儀器測試軟體執行結果 FAIL

當自動測試軟體測試完畢後，會產生幾種日誌，分別為各項數據的日誌，如圖 19；詳細

