



德國 Rohde&Schwarz 羅德史瓦茲的發射機原廠廠驗及維護教育訓練

時間：2025 年 9 月 15~19 日

參加人員：工程部 蔣偉文 經理

工程部維技組 劉信宏

目錄

一. R&S TH1 與 TMU9evo 數位發射機統簡介

二. PHU100 發射機維護訓練

三. PMU905 發射機維護訓練

四. R&S TH1 與 TMU9evo 發射機廠驗說明

五. 綜合討論

一. R&S TH1 與 TMU9evo 發射機簡介

本會年度計畫採購三義轉播站 DVB-T 數位發射機共計兩套，發射功率分別為

R&S TH1 的 3.6KW 及 TMU9evo 的 400W 兩款(以下簡稱 TH1 與

TMU9evo)，工作頻率 569MHz，收視頻道 CH30。

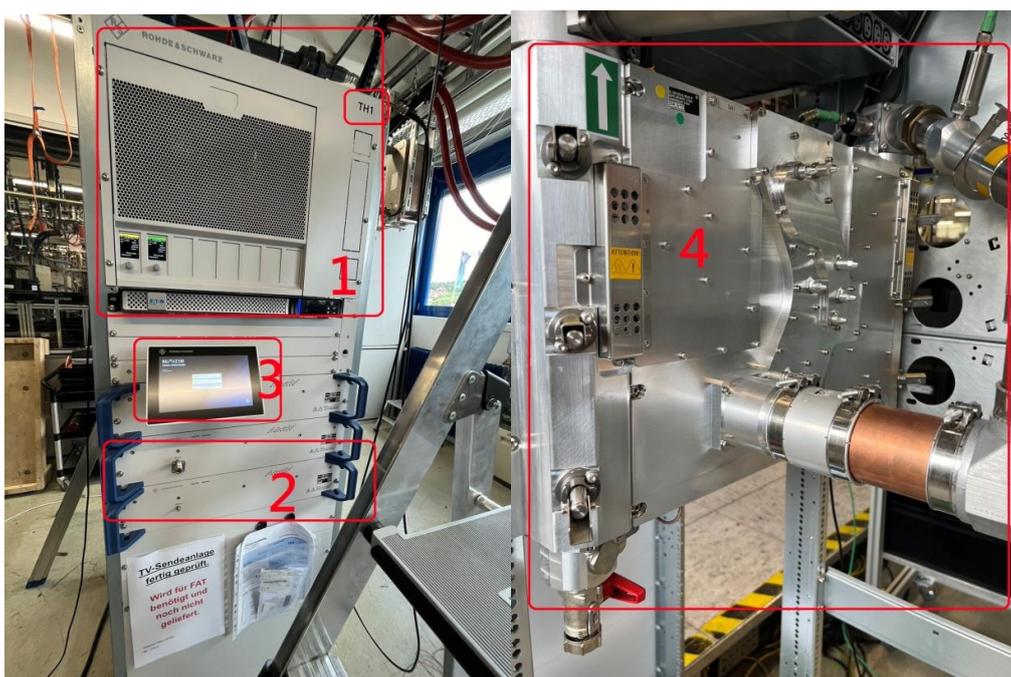
TH1 是 R&S 目前最新一代的水冷式數位發射機，發射效率約 47%(發射效率指的是發射機輸出功率占整體發射機電量的比例，數值越高代表發射機的效率越好)，本次採購的 3.6KW 發射機主要服務地區為中台灣地區。

TMU9evo 則是 TH1 前一代的產品，採氣冷式散熱，發射效率約 43%，本次採購的 400W 發射機，除了發射機本體之外，另外訂製一行動攜行箱並將所有的訊號源端子安裝於發射機後側機箱訂製面板，方便訊號源安裝。這樣子做的是平時 TMU9evo 可以做為三義站目前使用的 TMU9evo 3.6KW 的數位發射機備機，如遇緊急災難重大事故發生時，可利用攜行箱移動發射機，搭配會內

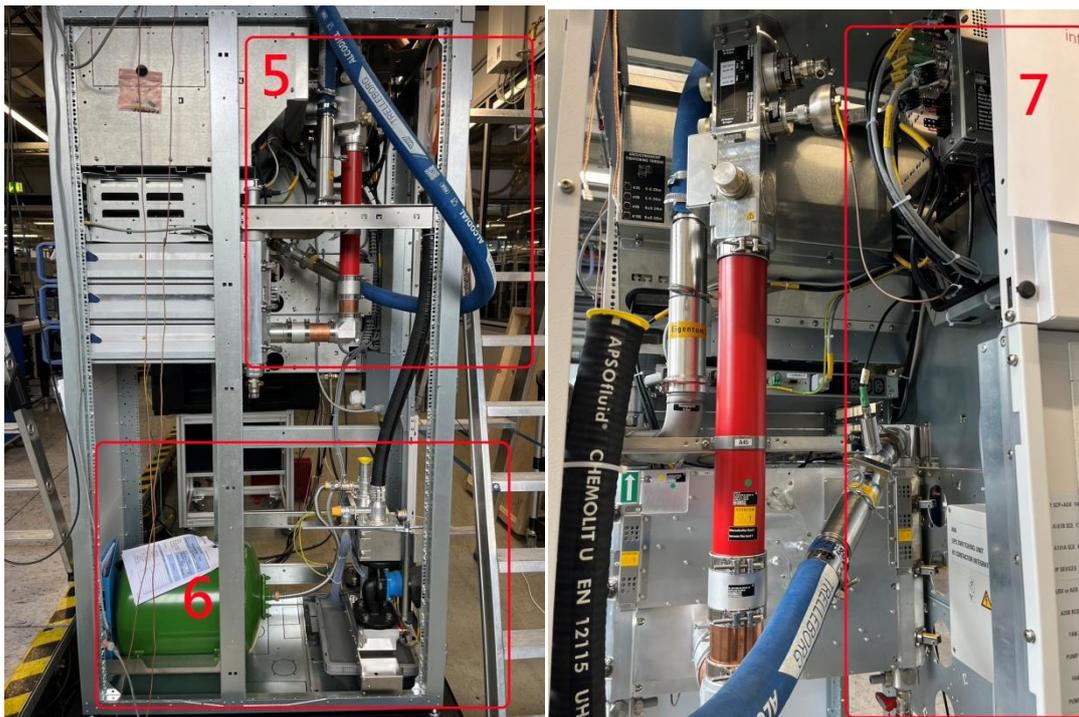
移動式數位頭端作為異地備援發射系統，提供國內緊急訊號廣播用(會內異地備援系統目前是分階段持續建構中)。

二. PHU100 發射機維護訓練

PHU100 發射機是 TH1 數位發射機組負責輸出射頻(RF)訊號設備，功能就有點像是音響系統裡面的擴大機，而發射機的前級輸入訊號叫激勵器(Exciter)，激勵器的功能負責將輸入的 ASI、IP 或是 SDI 的訊號調變成符合數位電視(DVB-T)標準的 RF 訊號，輸出到 PHU100 發射機後，經由導波管將訊號透過天線傳播到天空。此外激勵器有支援 GPS 同步信號的功能，可使發射機具備有單頻網(SFN，Single Frequency Network)的功能，讓國內各站台的發射機的訊號都能够在單一的頻率、同一時間與同樣的節目內容到達接收端，避免干擾的情況發生。以下簡單介紹 TH1 數位發射機組的構成組件：



1. TH1 數位發射機組的控制核心，激勵器(Exciter)共 A、B 兩組互為備援，另外還有控制電路等。
2. PHU100 發射機，輸出功率 1250W，此次採購為 3.6KW 的功率，所以總共配置 3 部 PHU100 發射機。
3. 觸控面板，其實是一台小電腦，用來控制及設定發射機組裡的相關參數。亦可以透過網路使用電腦連線設定。
4. 要如何將 3 部 PHU100 的發射機的輸出合併成一個輸出，就需要透過合成器(Combiner)，透過 combiner 可以將發射機的功率合併輸出至天線。

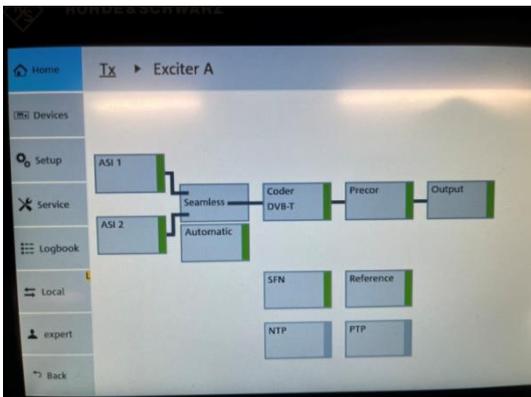


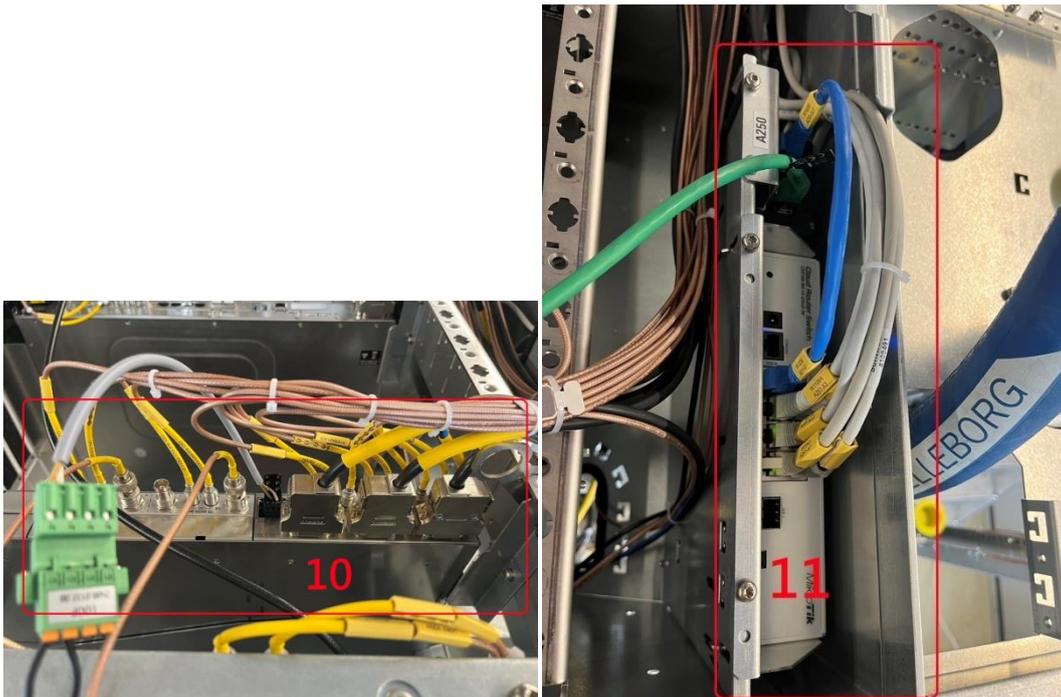
5. TH1 發射機組的 RF 射頻輸出導波管與發射機散熱管路。
6. TH1 發射機組的水冷冷卻系統。
7. TH1 發射機組控制接線與各設備電源開關，發射機本體無電源開關設計，需透過後方無熔絲開關進行開/關電源。



8. TH1 發射機組的水冷系統(liquid-cooling) , 負責將冷卻液送進 PHU100 發射機內水冷散熱板後 , 將發射過程產生的熱排出。照片中為運送冷卻液的幫浦 , 須定時檢查幫浦狀態及冷卻液數量 , 讓發射機在穩定的溫度中作業。

9. 激勵器(Exciter)共 A、B 兩組 , 上面有訊號源及相關控制接線組。激勵器如遇故障或是訊號源異常會自動切換 , 備援切換的方式及訊號源的選擇 , 則可以在面板或是透過電腦做設定 , 激勵器可以熱插拔 , 再重新安裝後 , 等待卡板復原完成 , 依原先設定作業(設定如下圖所示)。





10. 訊號監控的模組

11. 網路 HUB，發射機內各組件的狀態及控制均透過 HUB 進行作業，如需利用電腦連線，則須將網路線安裝至此 HUB 中，方可作業。

接下來簡單介紹 PHU100 發射機

- 工作頻率範圍：470MHz~700MHz
- 輸出功率：1250W
- 發射機的放大器採用 Doherty 架構設計
- 放大器與電源經過優化調整，僅需要一組三相交流電源
- 採用液冷設計，每分鐘有 7.5 公升的流量
- 僅使用 8 個功率電晶體，功率輸出增加 20%
- 僅一片 PCB 電路板，前級與後級在同一片機板上
- 發射機重量僅 20.6 公斤

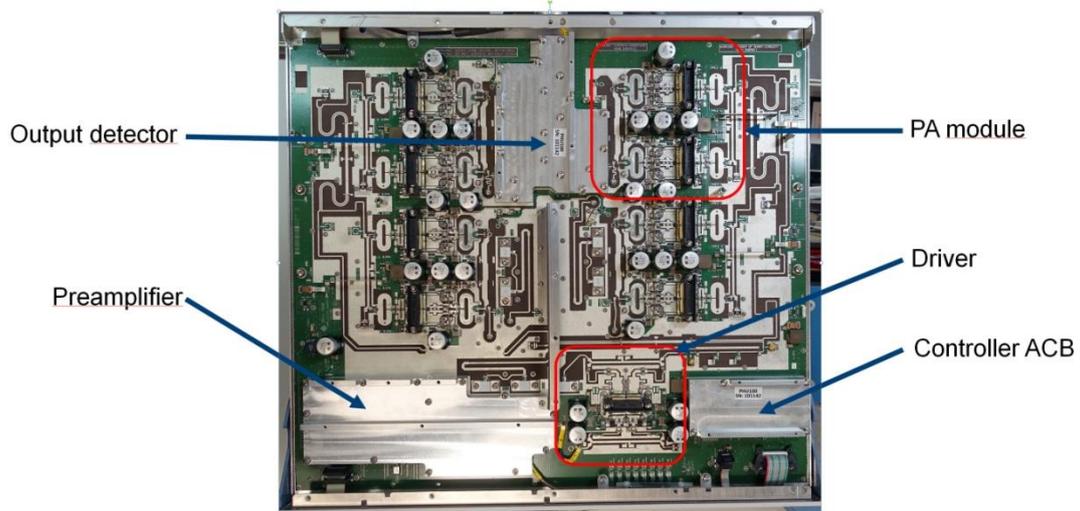
PHU100 發射機維護方式：

發射機的放大電路大部分是由功率電晶體所組成，所以，電晶體在長時間大功率的環境中作業，難免會遇到電晶體故障，導致發射功率降低或是無輸出的狀況發生。因此，以下的功率電晶體在經過維修訓練後，可自行更換與調整，縮短與降低維護時間及成本。

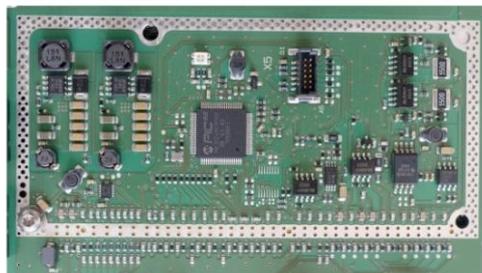
- 前級放大器電晶體 V10
- 驅動電晶體 V12
- 後級電晶體 V16~V19 · V26~V29
- 電源供應電路



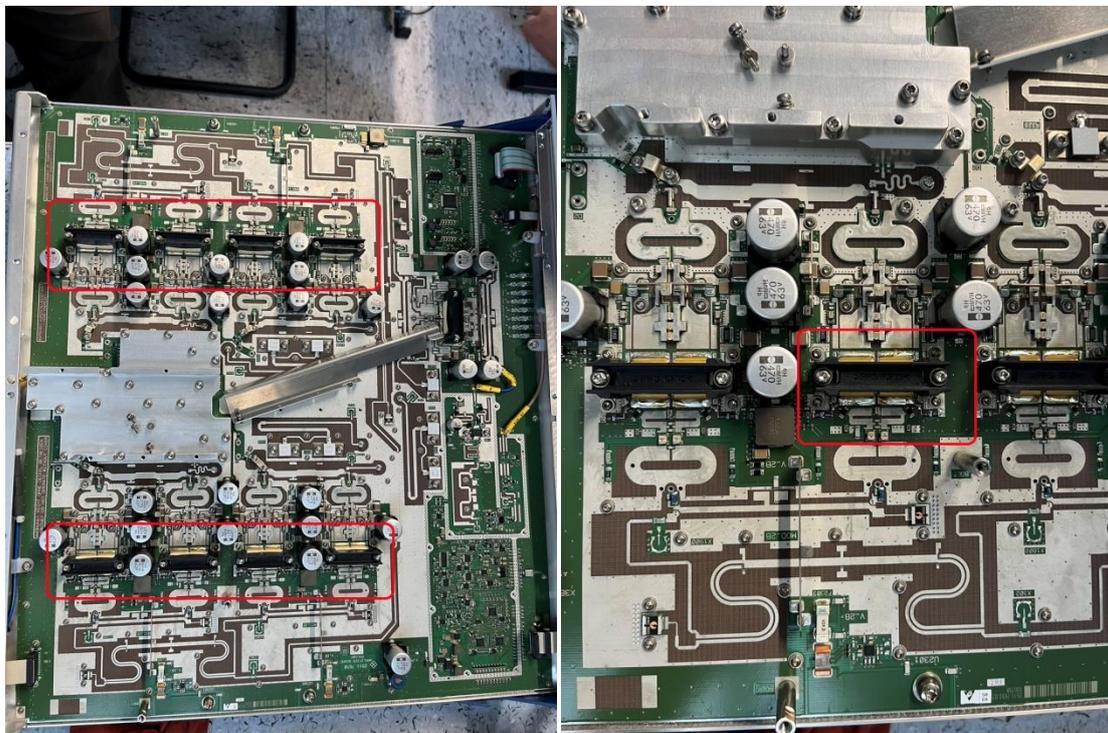
PHU100 發射機外觀(圖片來源 · 原廠維護手冊)



PHU100 發射機內部機板圖(圖片來源·原廠維護手冊)



ACB(Amplifier Control Board)放大器控制板(圖片來源·原廠維護手冊)

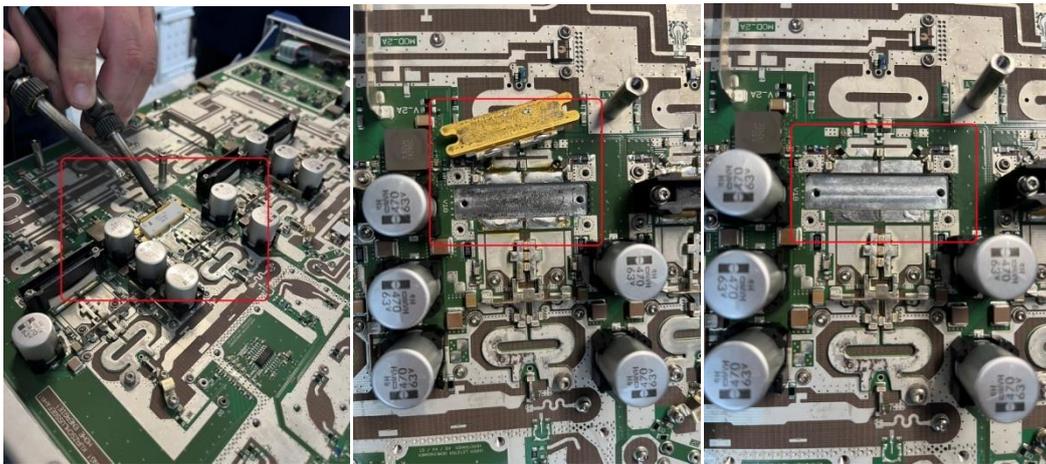


PHU100 發射機功率電晶體共 8 顆

M	1.4	2	2.5	3	4	5	6	8	10
MAS	-	0.29	0.66	1.03	2.35	4.6	8	18	36
MAG	0.07	0.17	0.45	0.75	2.3	4.1	-	-	-
MAC	-	0.14	0.33	0.6	1.3	2.7	4.5	11	-

M = Thread size
MAS = Recommended tightening torque for A2/A4-70 screws in Nm
MAG = Recommended tightening torque for threaded pins in Nm
MAC = Recommended tightening torque for CuZn37 screws in Nm

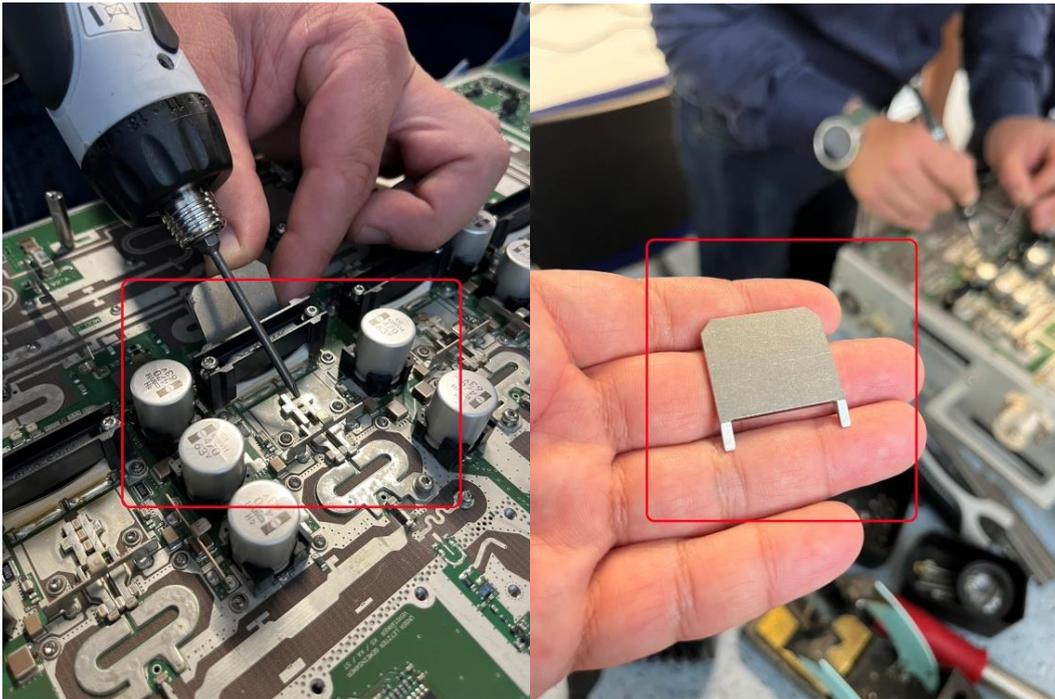
拆裝發射機板上的螺絲，皆須依照上圖(原廠維護手冊)所示螺絲號數之相對扭力值作業，否則有可能會影響發射機的工作溫度與發射功率。



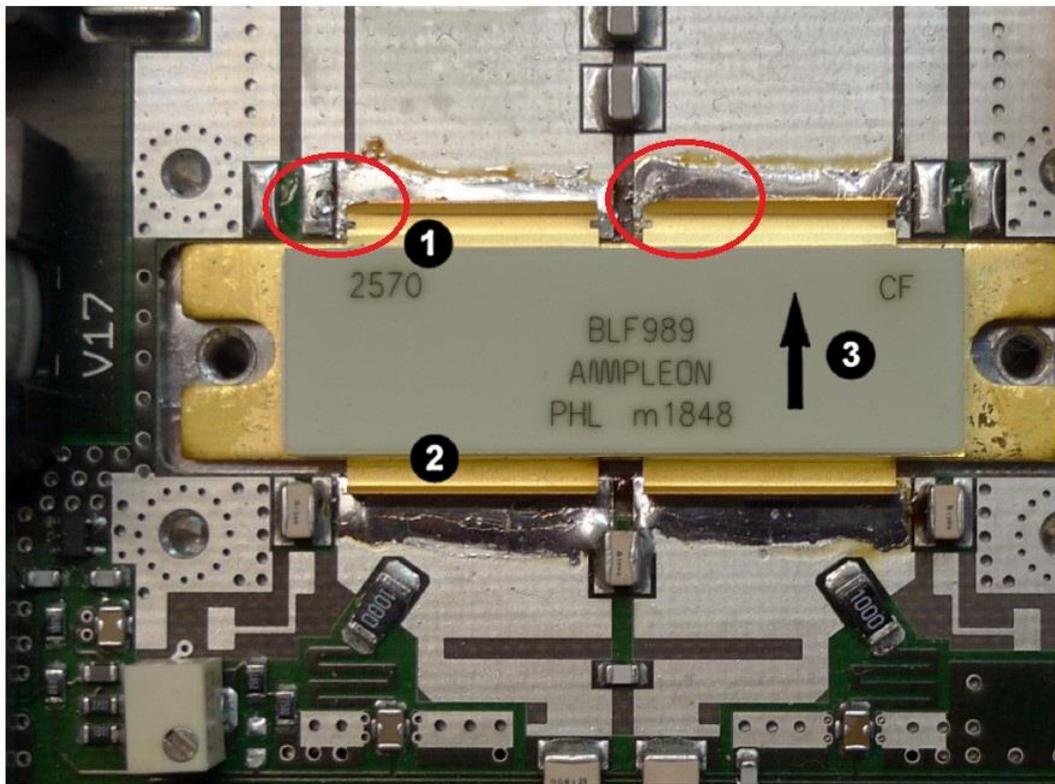
利用恆溫烙鐵平口頭兩隻(類似一字起樣式)，烙鐵溫度設定在 350~380 度 C 間，將功率電晶體小心移除，電晶體移除起後，利用酒精確實清潔電晶體周邊機板，防止短路或有異物影響電路運作。



將新的功率電晶體塗上適量原廠建議的散熱膏，如圖所示

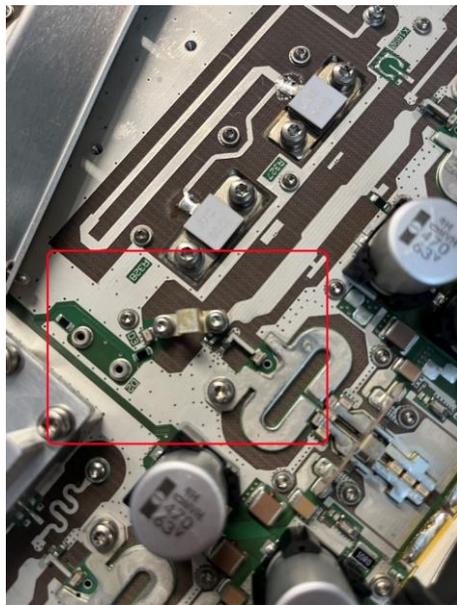


將功率電晶體(晶體接點有斜角為輸出端，朝向發射機內側安裝)依序裝回機板，在焊接時使用治具將電晶體壓緊，使晶體確實接觸機板&接觸面積最大。



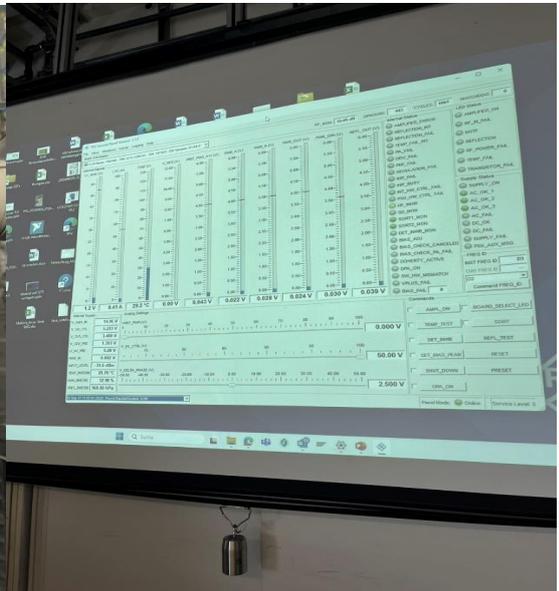
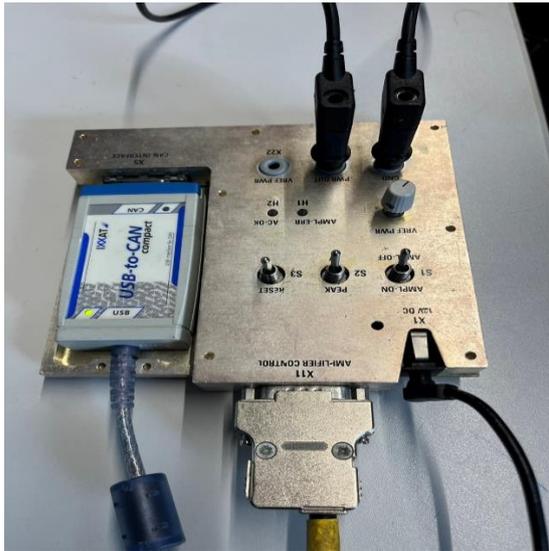
功率電晶體外觀(圖片來源，原廠維護手冊)

PHU100 發射機內功率電晶體如上圖所示。圖中標示“ 1” 為汲極(Drain)· 標示“ 2” 為閘極(Gate)· 標示“ 3” 推動的方向(Pushing direction)· 這裏指的是電流流動的方向亦指訊號輸出的方向· 另一個須塗抹散熱膏的平面為源極(Source)· 簡單來說· 功率電晶體工作的方式為控制閘極導通後· 電流從源極推向汲極輸出。也就是上圖中的“ 2” 閘極為電晶體的控制開關· “ 1” 汲極則為輸出端· “ 3” 則為電流推動的方向。所以· 在更換此類電晶體時· 才會要求必須使用治具將電晶體確實貼平固定後· 再進行確實的焊接· 確保電流輸出時不會因為接觸異常或是焊接不良導致輸出異常或是電晶體故障。電晶體汲極接腳有斜邊防呆· 安裝電晶體也可參考鄰近電晶體進行安裝。



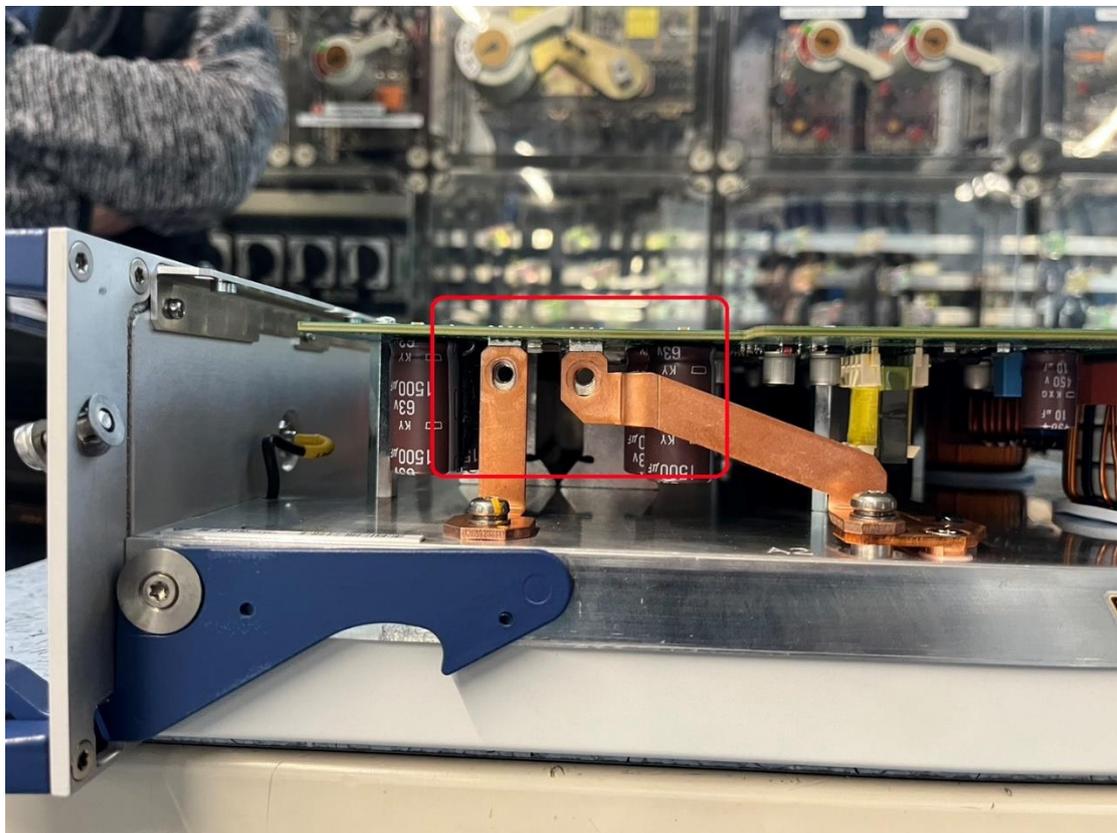
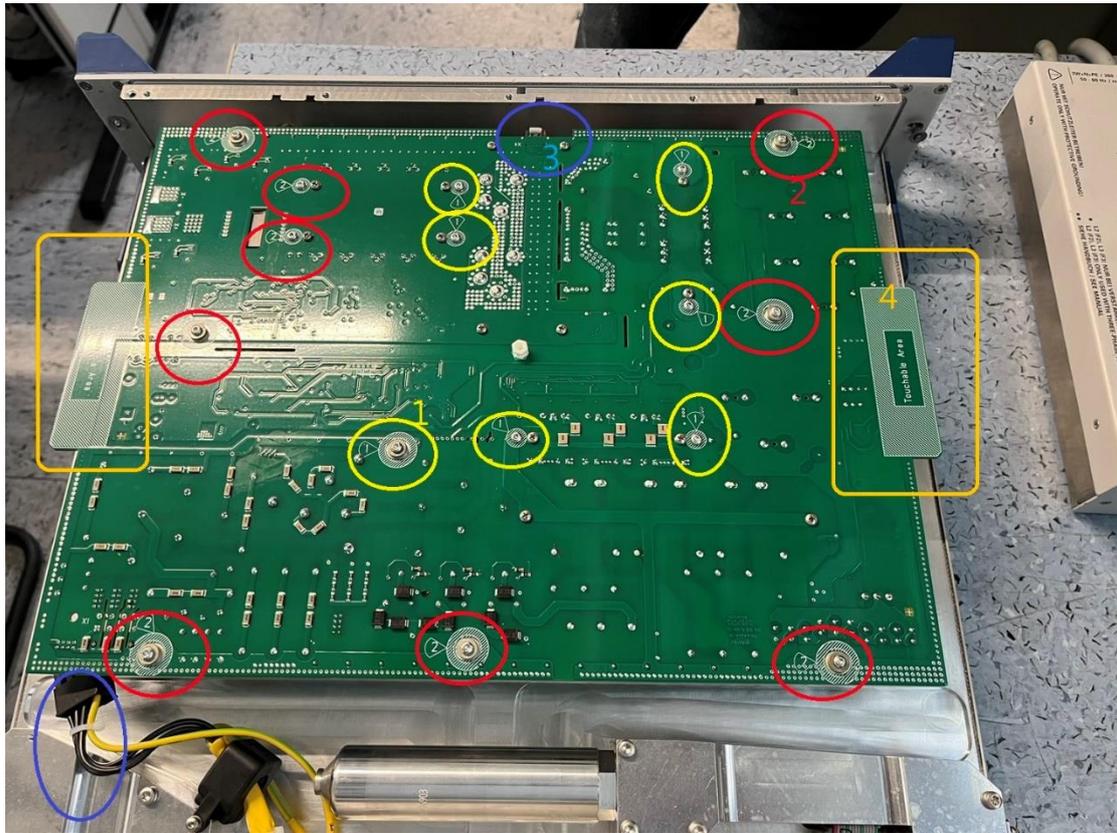
Range	Jumper position (configuration)	Frequency range
D2	Position D2	470 MHz \leq f_M \leq 495 MHz 540 MHz \leq f_M \leq 600 MHz 660 MHz \leq f_M \leq 700 MHz
D3	Position D3	495 MHz \leq f_M \leq 540 MHz 600 MHz \leq f_M \leq 660 MHz

發射機板頻率選擇用跳接端子

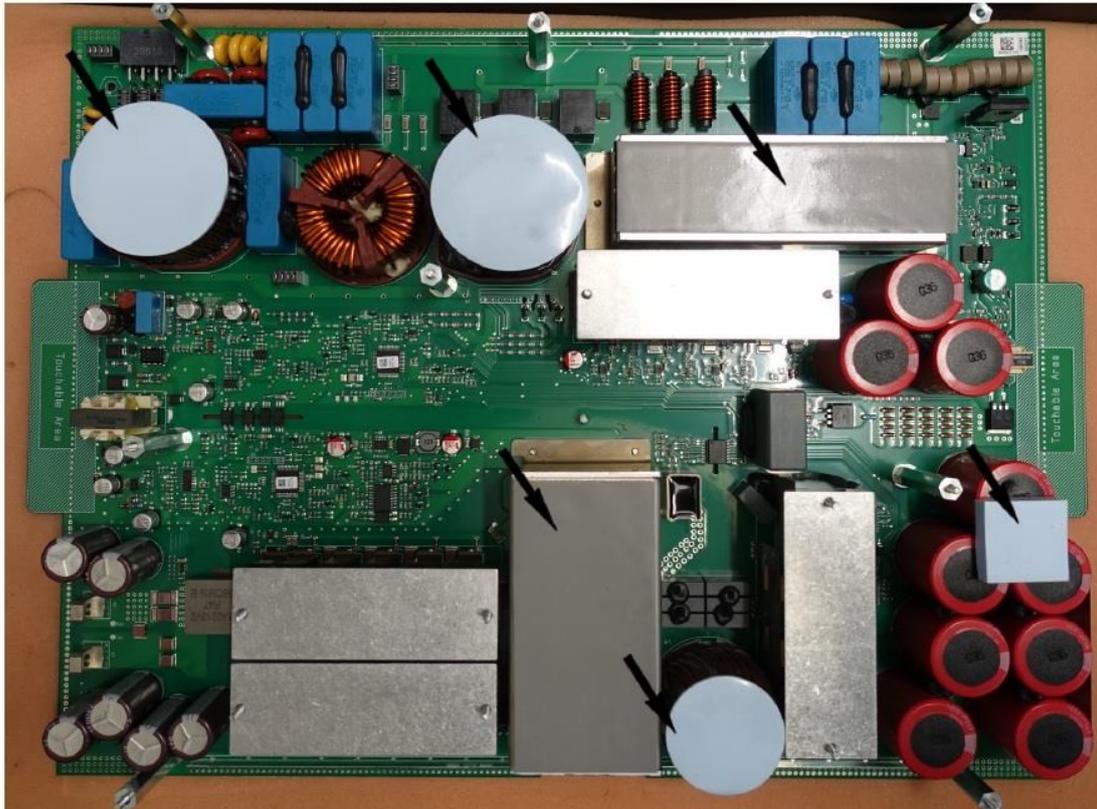


電晶體更換完成後，先使用三用電表量的歐姆檔，量測閘極(Gate)對地的電阻值。以此次更換的電晶體為例，量測電阻值約為 11KΩ，如果低於此電阻值或趨近於零，那電晶體可能故障或是電晶體電路附近仍有其他導電物質導致量測異常。所以，確認電晶體狀態正常後，再將發射機連接上檢測連接介面，由於 PHU100 單機無法自行啟動，所以必須透過相關的檢測介面及外接電源啟動進行檢測。檢測軟體為“ TX1 SERVICE PANEL” 安裝於電腦透過檢測介面讀取發射機相關參數是否正常。

PHU100 發射機電源供應機板更換



PHU100 發射機電源供應器機板更換，依照上圖數字順序分別將不同組的螺絲及控制線接頭卸下，再將電源機板與發射機機板連接的螺絲卸下，用兩隻手抓住上圖標示“4”號的位置將機板小心拔起，因為電源機板與發射機本體有散熱導貼片，所以不易拔起。拔起後的電源機板如下圖所示：



電源供應機板(圖片來源，原廠維護手冊)

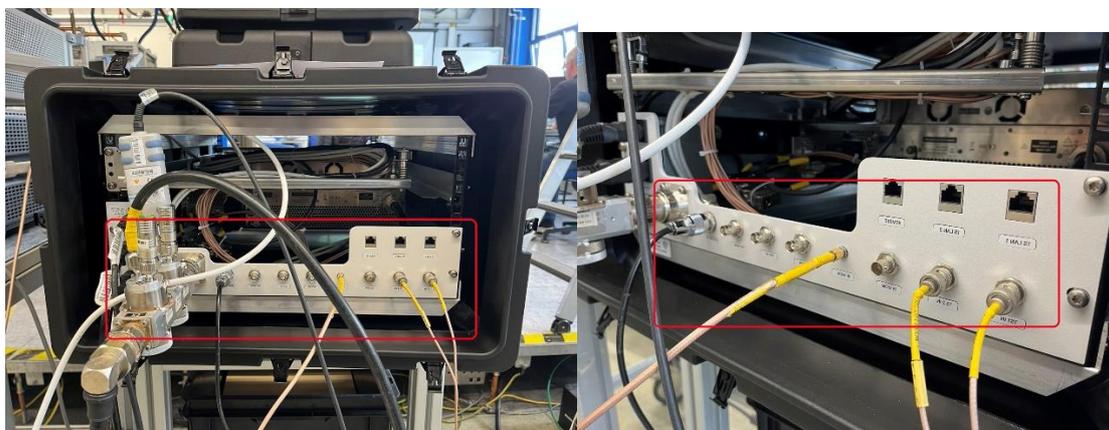
黑色箭頭處為散熱貼片，拆解電源供應機板時，請小心散熱貼片，勿使散熱貼片破損或是有異物黏住，會影響散熱!由於發射機的工作狀態較為特殊，一般來說電源供應機板以更換新品(或原廠良品)為主，安裝順序依拆解順序倒回去，需注意的地方如同安裝功率電晶體時，所有螺絲均需要依照對應的螺絲扭力磅數進行固定，避免異常狀況發生。

三. PMU905 發射機維護訓練

PMU905 發射機是 TMU9evo 數位發射機組負責輸出射頻(RF)訊號設備，發射機組的組成跟 TH1 類似，比較明顯的差別是 PMU905 發射機採氣冷式散熱，發射效率較 TH1 稍差，發射機電源採模組化設計，可直接抽換。另發射機功率電晶體為一對兩顆的設計，每次需更換一對(電晶體特性接近)，以得到較好的發射效率。

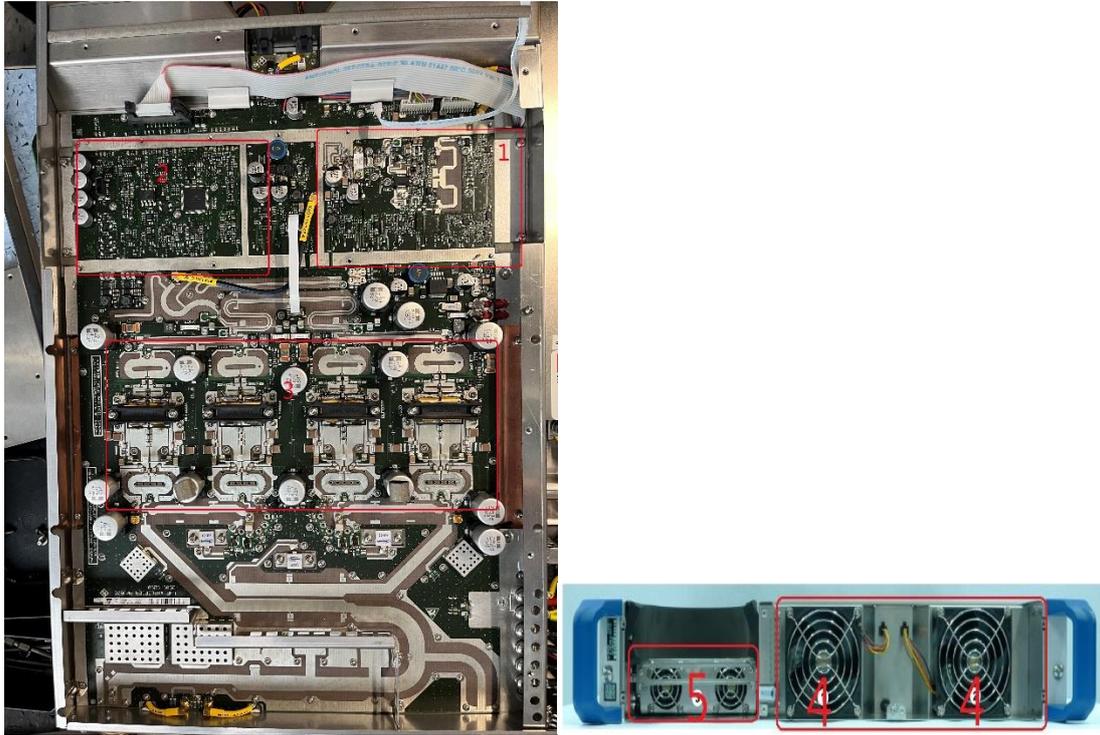


PMU905 可攜帶式發射機

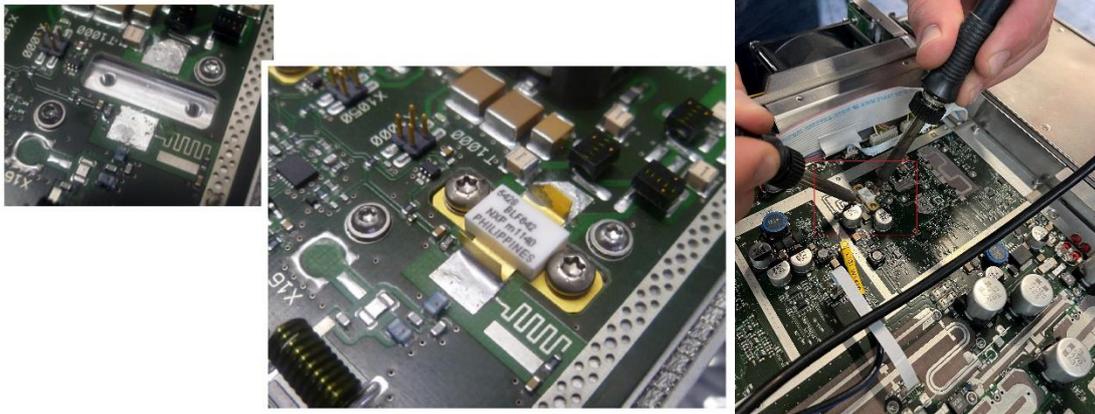


PMU905 發射機後方接線端子，便於信號源連接輸入

PMU905 發射機維護作業



1. 前級放大器+驅動板
2. 放大器控制板
3. 射頻(RF)訊號輸出機板，此機板共有 4 顆功率電晶體，可更換
4. 散熱風扇(氣冷式)，可更換
5. 抽換式電源供應器(共有主備兩顆)，可更換





PMU905 發射機功率電晶體更換方式同 PHU100 發射機，僅電源供應器以模組式抽換，其他不再詳述。

四. R&S TH1 與 TMU9evo 發射機廠驗說明

本次發射機的廠驗，主要是驗證發射機是否依照需求設定參數，利用標準的量測儀器及軟體進行發射機的特性驗證，也須符合主管機關 NCC 的數位無線電視電臺技術規範裡的相關數據，才能合法取得使用執照。此外，德國原廠在廠驗的過程中，也針對量測設備 R&S ETL 進行簡單的說明與介紹，除了原廠進行廠測驗證之外，參訪人員也實際操作整個驗證測試過程(包含發射機組的操作)。以下簡單介紹發射機組的相關參數及驗證項目：

中心頻率(Center Frequency)：569MHz

調變方式(Modulation)：DVB-T

通道頻寬(Channel bandwidth) : 6 MHz

衰減(Attenuation) : 59dB

額定輸出功率(Nominal Output Power) : 3600W

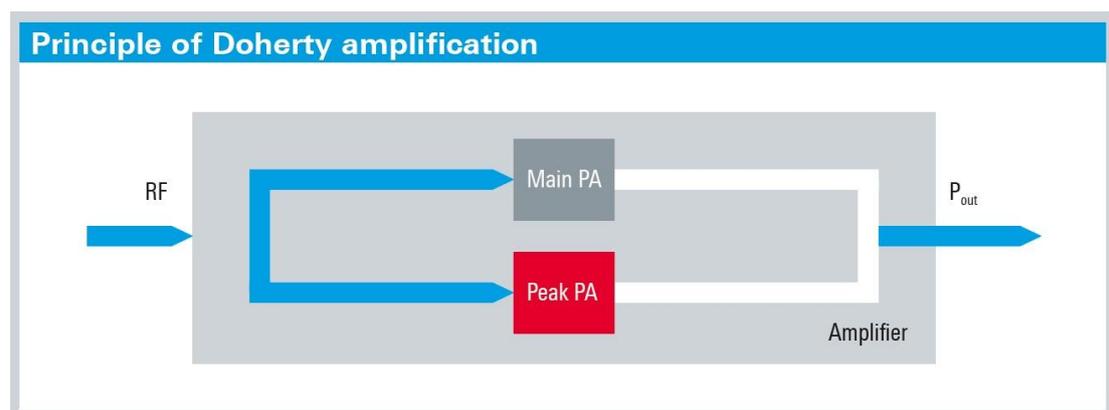
驗證項目有 :

針對發射機及兩組Exciter A及B做下列項目特性的驗證

- Output Power NRP Measurement 發射機輸出功率量測
- Read Forward Power 發射機實際發射功率量測
- Shoulder Test 量測肩部衰減量(NCC規範發射機輸出處應大於36dB)
- Spurious Emissions Test 雜散射頻發射的測試
- Harmonics Emissions 量測二次及三次諧波
- Crest Factor Test 峰值因素的檢測
- BER Test 檢測解碼錯誤率(Bit Error Rate)
- Carrier Noise Ratio Test 訊號與雜訊比
- MER Test 調變錯誤比
- Constellation Test 星狀圖 · 檢查調變的穩定性
- I/Q Amplitude Imbalance Test 測試I/Q振幅的不平衡
- I/Q Quadratur Error Test 量測I/Q相位誤差
- Amplitude & Phase Test 測試訊號的振幅跟相位的穩定性
- Amplitude & Group Delay Test 量測振幅與群組延遲的影響

Doherty technology 簡單說明

此次 TH1 發射機組特別強調利用了 Doherty 這一項技術，使得功率晶體數量減少，設備的耗電量也降低，但是發射效率卻有效提升，大幅達到環保節能的效果。



上圖示為 Doherty 訊號的工作方式，主要是藉由主要放大器(Main PA) 與峰值放大器(Peak PA)兩條路徑，將訊號的平均功率與峰值分開放大處理。一開始主要放大器(Main PA)會像一般傳統的廣播放大器運作，直到達到一個叫做回退點“back-off point”的地方，回退點指的是放大器接近飽和工作的時候，為了避免線性失真，工程師會設計一個飽和點，待放大器輸輸出到這個點的時候，便以持續飽和的狀態運作也不會線性失真。而這個時候峰值放大器(Peak PA)便會開始將放大的訊號峰值的部分，而這兩部份的訊號最終還是會合併在一起，產生最後的輸出。在實際的應用，Doherty 技術適用在 OFDM 的數位調變，可以使放大器保持在一個良好的線性範圍運作，減少對於鄰頻的干擾。此外，這項技術可以提升比一般發射機高出 10~15%百分點的發射效率。

五. 綜合討論

數位電視 DVB-T 自 2004 年 7 月 1 日正式發送訊號至今，已經超過 20 年。而隨著科技的進步與收視習慣的改變，電視不再是唯一可以獲得媒體訊息的地方，單純收看電視節目的族群年齡層逐漸往上升，年齡層較低的族群則轉為使用行動裝置收看媒體訊息或者使用智慧型連網電視進行內容的收看，台灣如此，而本次參訪的歐洲也有類似的情況，很多電視產業的同行都在思考一個很現實的問題，如何延續數位電視的發展，是該擁抱現在流行的數位媒體平台，還是努力讓數位電視存在著？其實，我們可以這樣子思考，網路確實很方便，各種的互動功能與媒體資訊令人眼花撩亂，而且現實的生活裡，確實你我都很難離開這一些有趣方便的事物。那我們應該將數位電視的定位放在哪邊？

公共電視是國家重要的關鍵基礎設施，對於社會運作的是很重要的一環。但礙於國內民情不同，使得我們沒辦法像其他國家的公共電視一樣成為一個主流的媒體(例如像日本 NHK...)，有足夠的能力影響整個社會。但我覺得我們還是不能因為這樣子，就讓很多美好的事物跟隨著時代的潮流而消失。數位電視是台灣電視數位化非常重要的里程碑，也提供了收視戶良好的收視品質與內容，雖然目前數位電視的功能似乎僅只有播放電視的功能，也許我們可以思考將數位電視再加上具有急難及災害廣播的功能，提供國內在急難與災害發生時一個重要緊急訊息傳播媒體。所以，此次的德國原廠教育訓練及廠驗，就是因為數位電視發射系統已經使用超過了 20 年，公共電視為了持續提供良好的收視品質與建

構急難災害的訊息廣播，仍然利用有限的預算進行設備的更新，同時也已經開始規劃建置“異地備援的訊號發射系統”，符合政府強調的單位韌性。我們希望數位電視的存在是有意義的，雖然它比不上網路快速，但是卻是可依靠可信賴的保障。