

德國 Rohde & Schwarz TH1 發射機

原廠廠驗及維修教育訓練

目錄：

- 一、 **TH1** 數位發射機系統簡介
- 二、 **TH1 FAT**
- 三、 **PHU100** 簡介
- 四、 **PHU 100** 維修訓練
- 五、 心得與結論

時間:115 年 6 月 6 日 ~ 14 日

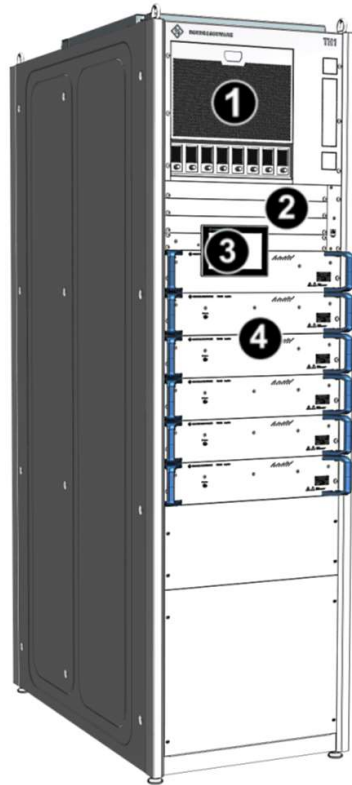
參加人員: 工程組 周素妙

工程組 蔡志忠

工程組 阮照貴

一、TH1 發射機簡介：

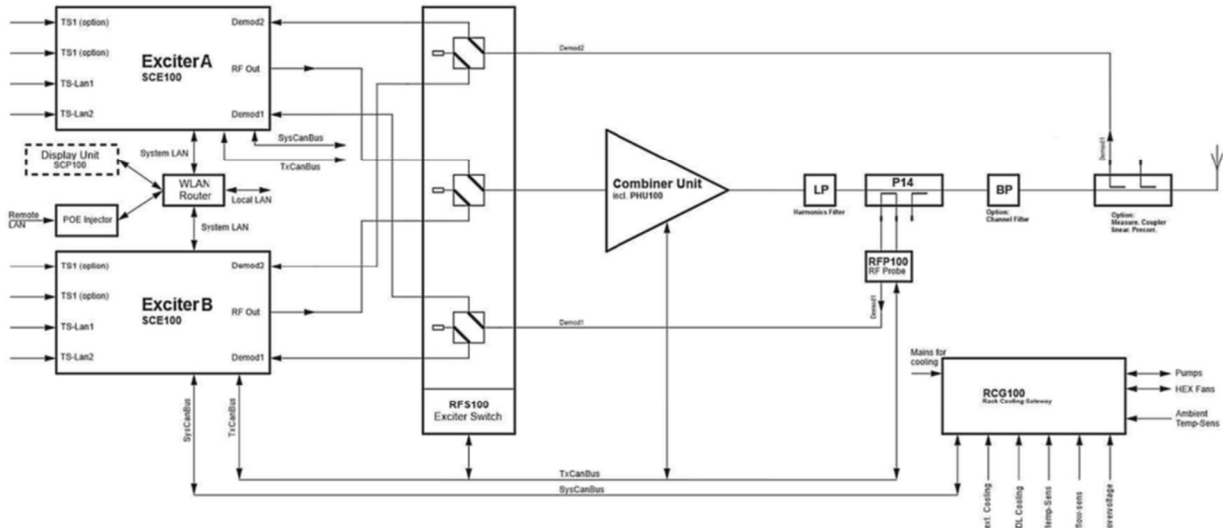
外觀：



1. sub rack 最多可安裝 8 片 SCE100 exciters
2. 提供使用者安裝其它裝置空間，本部發射機則加裝一部 1U UPS，最多提供使用者加裝 3 部其它設備空間及一部 SCP100 觸控顯示裝置
3. Option 元件，R&S SCP100 觸控顯示螢幕
4. PA 安裝槽：空間上最多可安裝 12 部 PHU100 PA，但實際上每單一發射機最多配置 8 部 PHU100 PA

系統架構：

OVERVIEW DUAL DRIVE

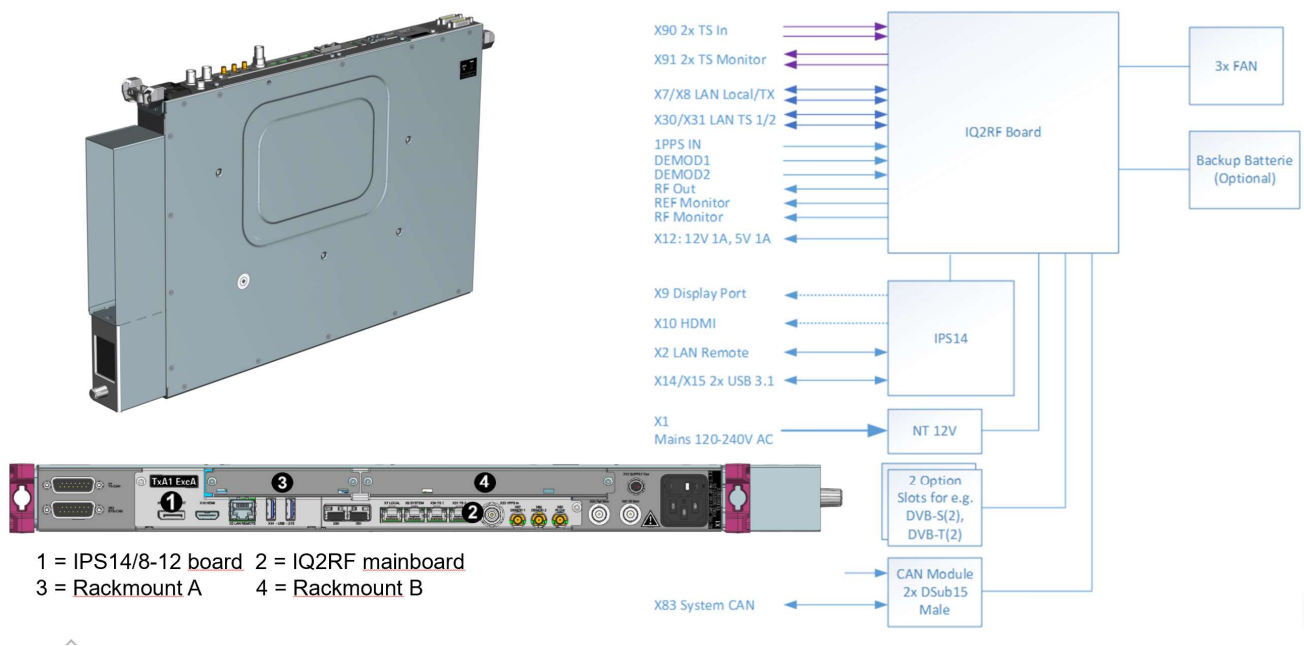


簡介本次工程部南投轉播站採購 **TH1 Dual Exciter 5KW** 以上發射機架構：

TH1 發射機提供 **Exciter Redundancy** 架構，每一 **Exciter** 亦提供 **ASI** 訊號源 **Redundancy** 架構，所以每一 **Exciter** 最多可提供 **4** 路 **ASI** 訊號源輸入。**ASI** 之間切換則為 **seamless** 模式，兩部 **Exciter** 間則藉由 **RFS100 Exciter switcher** 自動或手動切換。由以上元件組成的 **Redundancy** 系統架構，無非為確保播出品質的可靠度。

TH1 取消獨立 **system control module**，而將 **system control** 功能內建於 **SCE100 Exciter** 中。

Exciter (SCE100) :



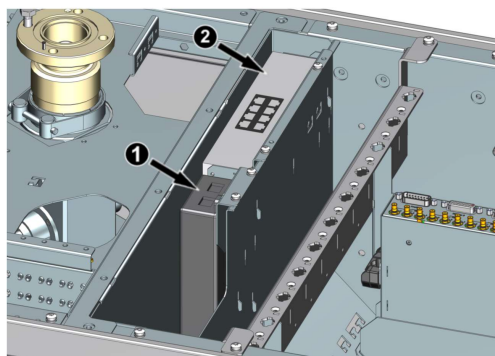
SCE100 內建小顯示幕及功能選擇鈕，提供系統資訊或控制。

ASI 訊號源經 Exciter 依 DVB-T 規則編碼調變後先輸出至一部 **splitter**，將 RF signal level 均分至每部 PHU100 PA 做訊號放大(南投站採購發射機為 5KW 以上，故有 5 部 PA)，每部 PHU100 PA 再將放大後的 RF 訊號透過 **Combiner** 合併後，先經 LP 低通濾波再經 BP 帶通濾波等訊號處理，再送往天線端發射播出。

WIFI Router :

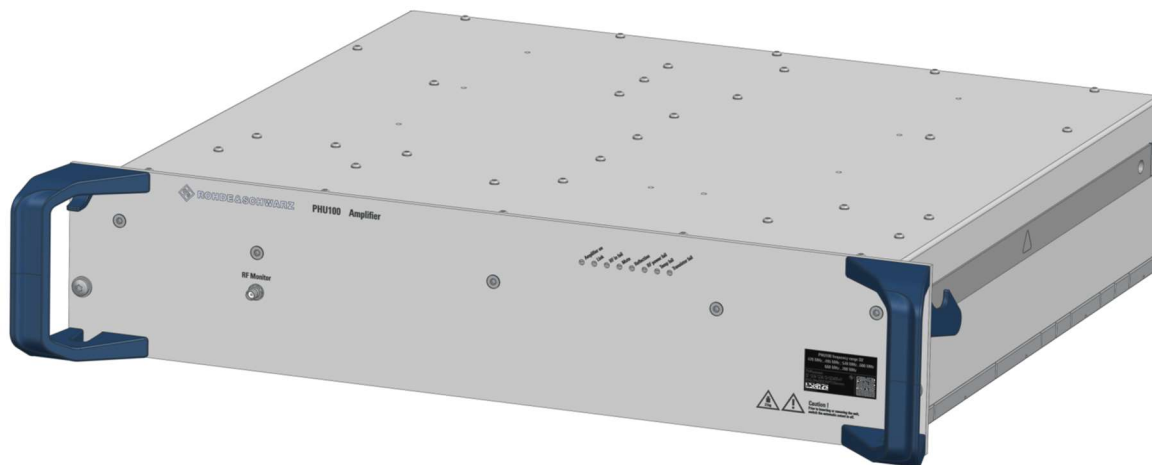
提供系統各元件間連接管道如下圖示②，亦可透過連接至下圖示① Ethernet IP network，之後以手機連線 WIFI 即可監控 TH1，但此功能恐有資安風險疑慮，因此本會將不會使用。

WIFI ROUTER



PHU100 PA :

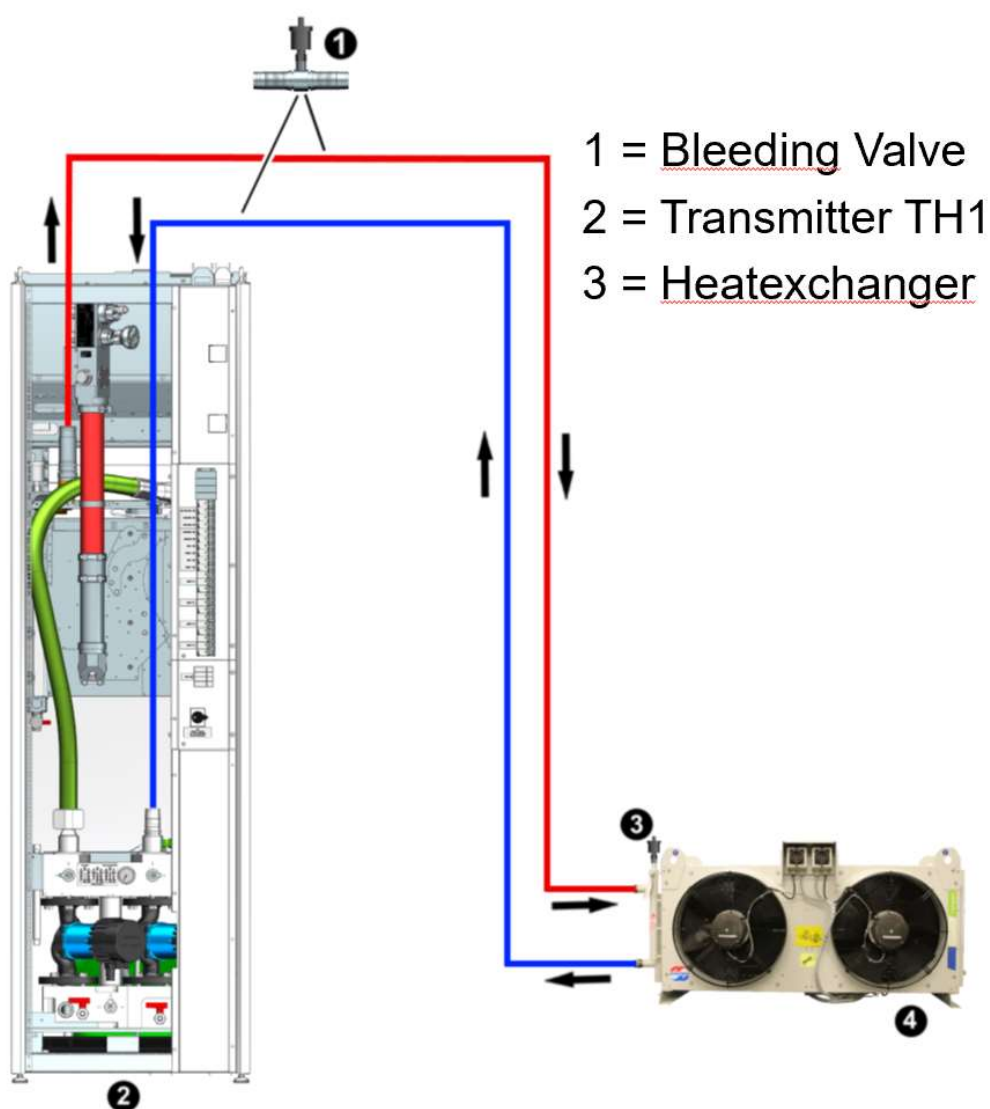
將專節詳細介紹更換此 PA 的拆卸與安裝，跟 R&S 9K PA 相同。



發射機冷卻系統：

南投轉播站此次採購的 TH1 發射機冷卻系統跟目前使用中前一代 R&S9K 發射機冷卻系統架構相同但效率提升，都屬於 ALL IN ONE 架構，加壓 PUMP 直接整合在同一 Rack 當中，大幅降低對於機房空間的要求，熱交換機屬於室外機，熱交換機與發射機間冷卻管路則藉由高壓橡膠管連接，再由 Pump 加壓使冷卻水保持一定流速促使 PA 降溫。

1. 冷卻管路上的洩壓閥，調節冷卻水壓用
2. TH1 發射機本體
3. 室外熱交換機
4. 散熱風扇

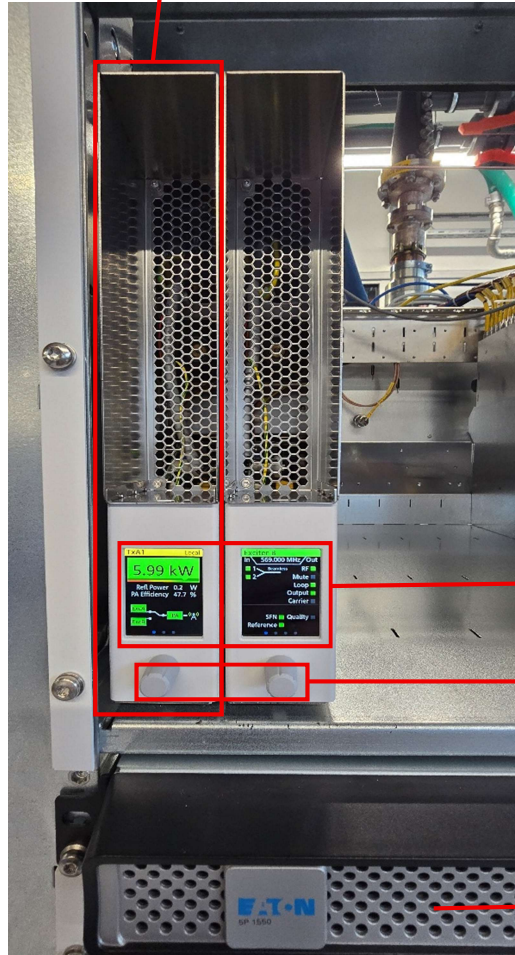


選購的 SCP100 觸控顯示屏



TH1 實體外觀

EXCITER SCP100



標配小螢幕

功能選擇鈕

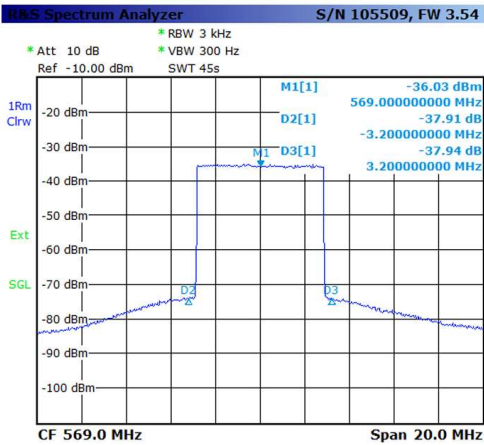
選購的 UPS

Exciter SCE100 實體外觀

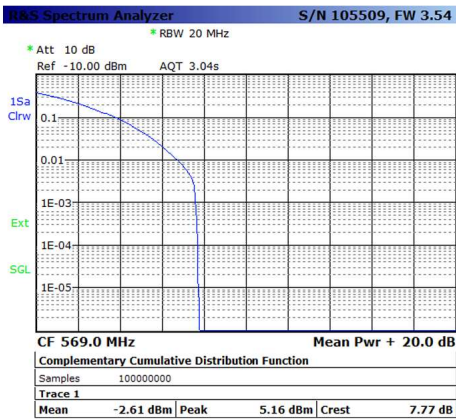
二、 TH1 FAT

僅列舉數項重要特性量測，其餘詳細請參閱 **FAT report**

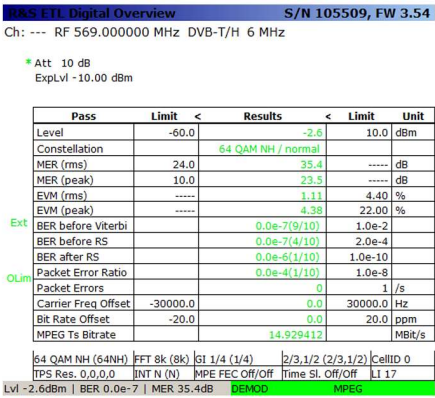
Shoulder Distance



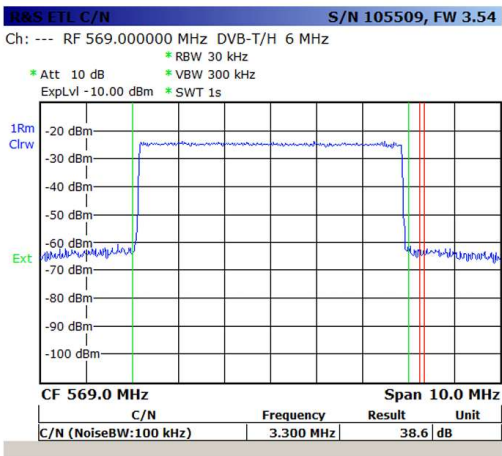
Crest Factor



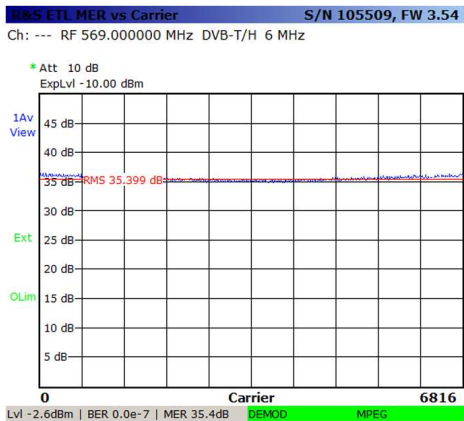
BER



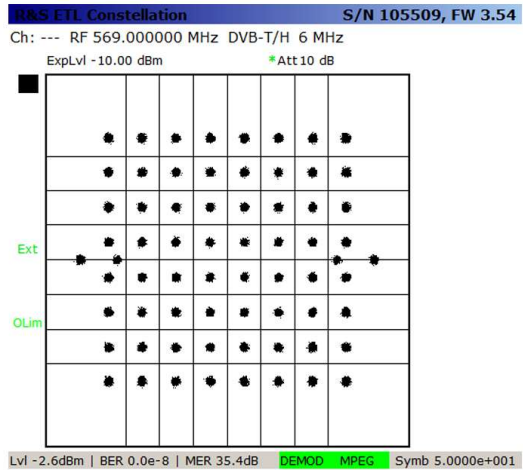
Carrier Noise Ratio



MER



Constellation



IQ Amplitude Imbalance

Pass/Fail Modulation Errors **S/N 105509, FW 3.54**
Ch: --- RF 569.000000 MHz DVB-T/H 6 MHz

* Att 10 dB
ExpLvl -10.00 dBm

	Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Ext	Level	-60.0		-2.6		10.0	dBm
	Amplitude Imbalance	-2.00		-0.02		2.00	%
	Quadrature Error	-2.00		0.01		2.00	deg
OLim	Carrier Suppression	10.0		41.1			dB
	Carrier Phase			-----			deg
	MER (rms)	24.0		35.4		-----	dB
	MER (peak)	10.0		23.1		-----	dB
	EVM (rms)	-----		1.11		4.40	%
	EVM (peak)	-----		4.59		22.00	%
	Lvl -2.6dBm BER 0.0e-8 MER 35.4dB DEMOD MPEG						

IQ Quadrature Error

Pass/Fail Modulation Errors **S/N 105509, FW 3.54**
Ch: --- RF 569.000000 MHz DVB-T/H 6 MHz

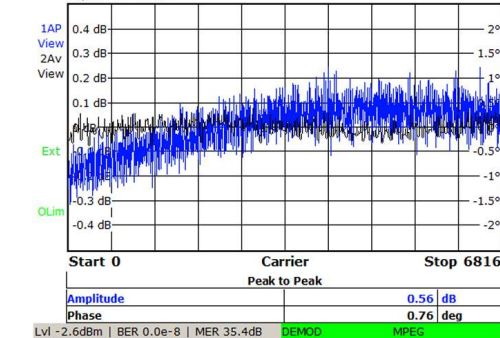
* Att 10 dB
ExpLvl -10.00 dBm

	Pass	Limit	<	Results	<	Limit	Unit
Ext	Level	-60.0		-2.6		10.0	dBm
	Amplitude Imbalance	-2.00		-0.02		2.00	%
	Quadrature Error	-2.00		0.02		2.00	deg
OLim	Carrier Suppression	10.0		40.5			dB
	Carrier Phase			-----			deg
	MER (rms)	24.0		35.4		-----	dB
	MER (peak)	10.0		23.4		-----	dB
	EVM (rms)	-----		1.11		4.40	%
	EVM (peak)	-----		4.42		22.00	%
	Lvl -2.6dBm BER 0.0e-8 MER 35.4dB DEMOD MPEG						

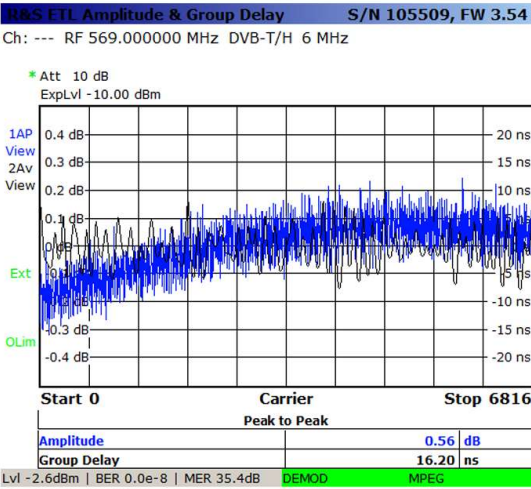
Amplitude & Phase

Pass/Fail Amplitude & Phase **S/N 105509, FW 3.54**
Ch: --- RF 569.000000 MHz DVB-T/H 6 MHz

* Att 10 dB
ExpLvl -10.00 dBm



Amplitude & Group



三、 PHU100 PA 簡介

特點：

工作頻率範圍：**470MHz~700MHz**

輸出功率：**1250W**

放大器針對 **Doherty** 模式進行優化

放大器針對功率輸出及電源供應方面進行優化

冷卻循環系統優化

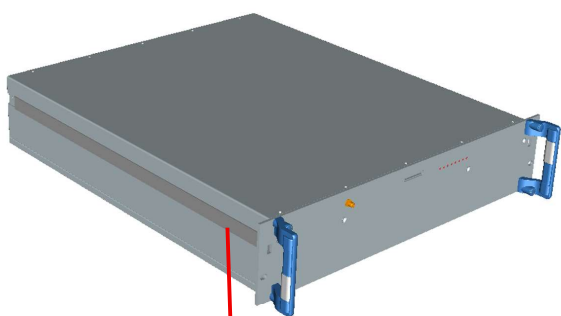
功率晶體數量由 **12 顆**減少至 **8 顆**，輸出功率增加 **20%**

前後級功率放大電路整合至一塊基板

僅需一路三相電源

放大器重量由一部 **27.5Kg(PHU903)**減重至 **20.6Kg(PHU100)**

PHU903 1500W DVB-T:

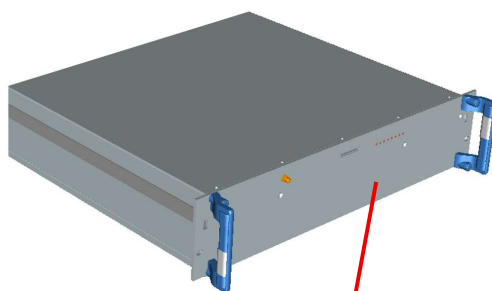


Dimensions (L,W,H): 582 mm, 485 mm, 110 mm
27.5 kg

目前南投轉播站使用的前一代

R&S 9K PHU903 PA

1250W DVB-T (22% shorter):



Dimensions (L,W,H): 452 mm, 485 mm, 110 mm
20.6 kg

新一代 **TH1 DTX PHU100 PA**

PHU100 主要組成元件：

前級放大器功率晶體：V10

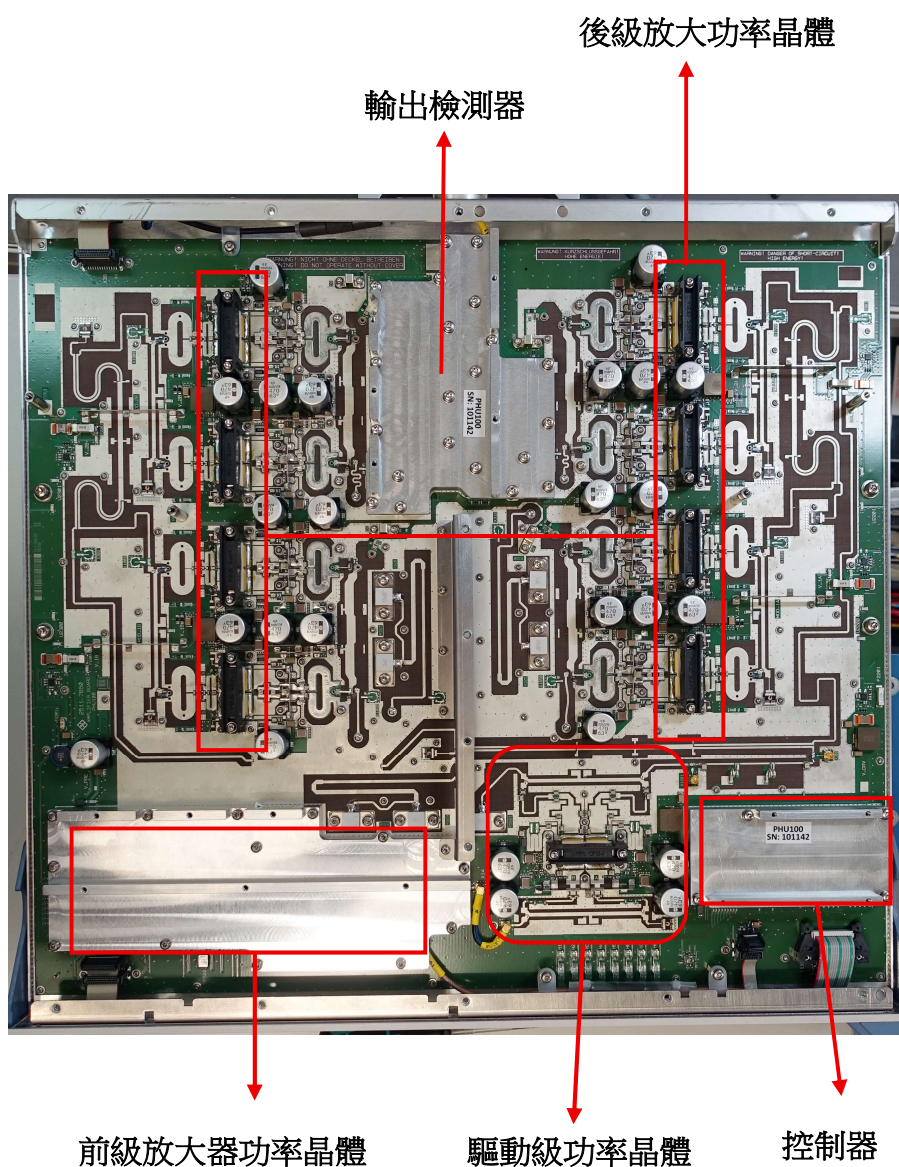
驅動級功率晶體：V12

後級放大功率晶體：V16-V19 , V26-V29

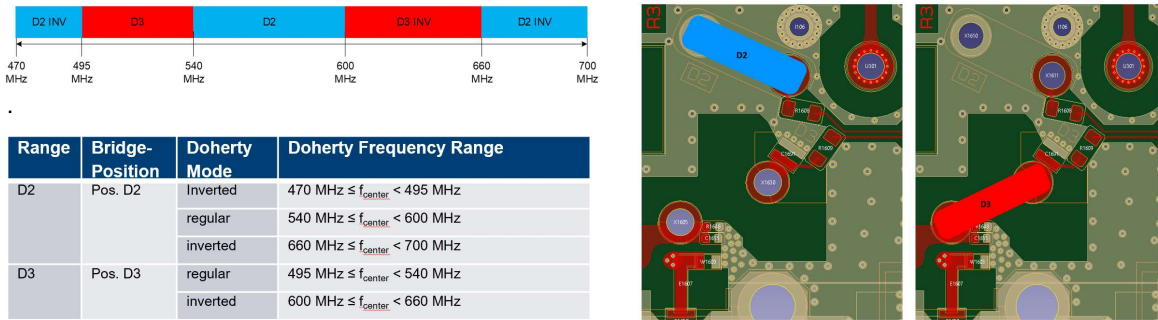
電源供應器 (在背面)

控制器 ACB

輸出檢測器

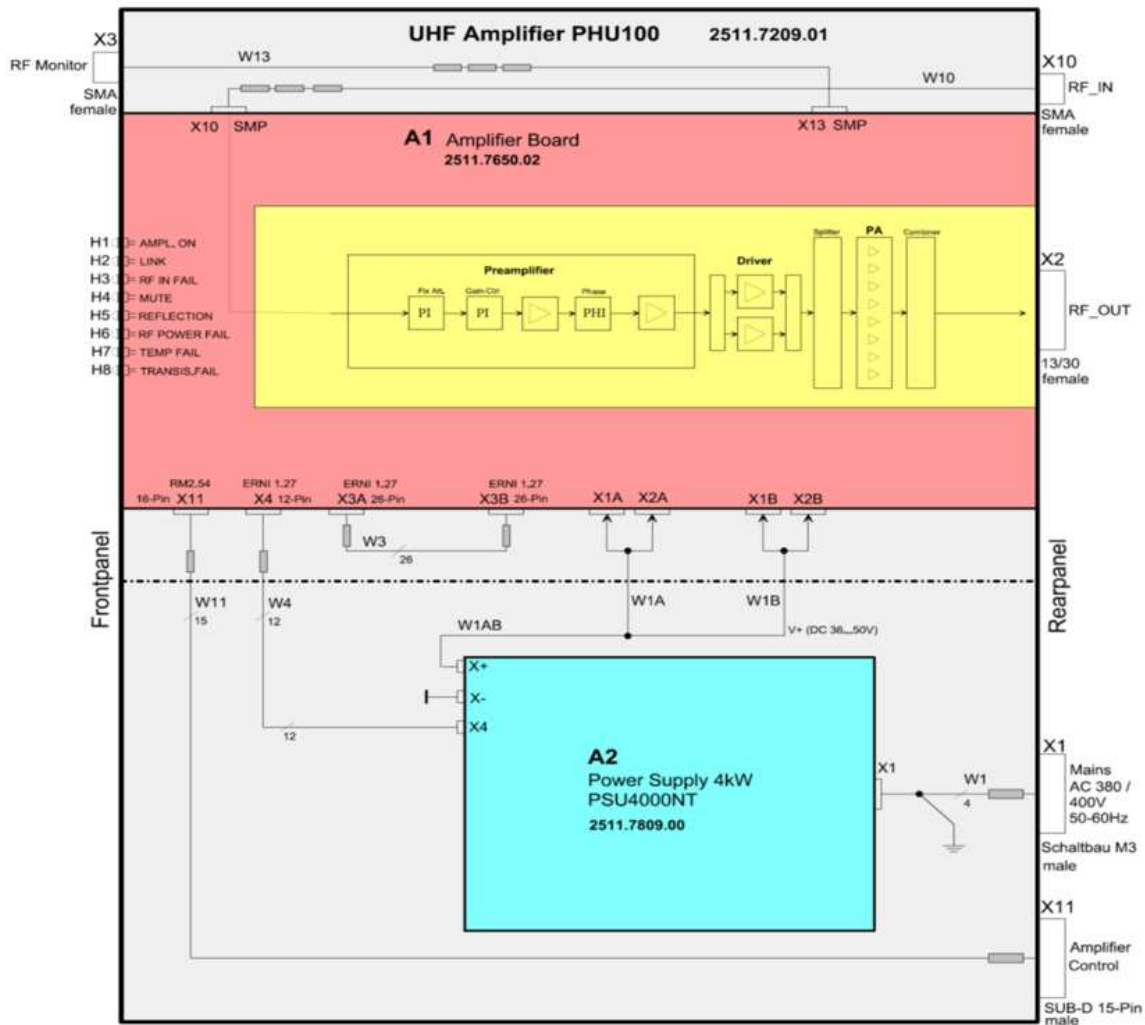


PHU100 工作頻率轉換



雖然 PHU100 工作頻率由 470MHz~700MHz，但其實分屬 D2、D3 不同頻段(如上圖左)，需利用內部基板上橋接器做為轉換，如上右圖所示。

PHU100 方塊圖



Doherty PA 簡介：

R&S PHU100 功率放大器其運作於 470 MHz 至 700 MHz 的工作頻率範圍，可分為 Broadband 模式或 Narrowband 模式，Narrowband 模式則又區分為兩個 Doherty 頻率範圍 D2、D3，支援以下數位（DTV）標準：DVB-T/H、DVB-T2、ATSC、ATSC Mobil、ISDB-TB、DTMB 等。它是基於 Ampleon 的 BLF989 電晶體設計。整個射頻電路及放大器控制板均位於模組 A1 放大器基板上。可全程以窄頻 Doherty 模式（對應 Doherty 頻率範圍 D2、D3）運作，或在 470 MHz 至 700 MHz 全頻範圍內有限輸出功率的寬頻模式運作。由於窄頻 Doherty 模式，470 MHz 至 700 MHz 的頻率範圍被分為兩個 Doherty 頻率範圍 D2 及 D3。當放大器的 Doherty 頻率範圍與發射機的發射頻率不符時，或需要寬頻模式時（例如 N+1 系統的備用發射機），放大器控制板會自動切換。為此，發射機控制單元會通知放大器當前的 Doherty 頻率範圍。Doherty 模式只有在發射機與放大器的 Doherty 頻率範圍相符時才可發揮其最大功效。可自動避免因頻率範圍選擇錯誤而對放大器造成的損害，同時將運作可靠性大幅提升。因此，發射機中以 Doherty 模式運作的放大器，隨時可被不同頻率範圍 D2 至 D3 的 R&S PHU100 取代（例如故障）。寬頻模式下效率較低的運作狀況，僅發生在 Doherty 頻率範圍 D2-D3 與發射頻率不匹配的單獨放大器上。寬頻模式下的功率限制約為 1000 瓦，以避免電源單元過載。備用發射機可配備不同 Doherty 頻率範圍 D2-D3 的放大器混合，維修時可為每個主發射機提供與 D2-D3 頻率範圍相符的擴大機（可替換為任意 Doherty 頻率範圍 D2-D3）。若發生放大器故障，只需更換頻率範圍為相同 D2-D3 的替換放大器，即可確保傳輸持續。此舉最大化提供運作可靠性，並在需要更換放大器時簡化維修。

Doherty 技術簡介：

在數位無線廣播（DVB-T/DVB-T2）與發射機的領域中，**Doherty 功率放大器技術**是目前用來提升系統效率的絕對核心。

DVB-T COFDM 產生的問題：

1. 高 PAPR（峰值對平均功率比）：

DVB-T 採用 **OFDM（正交分頻多工）** 調變技術。這種訊號的特性是「峰值功率」遠高於「平均功率」（高 PAPR）。

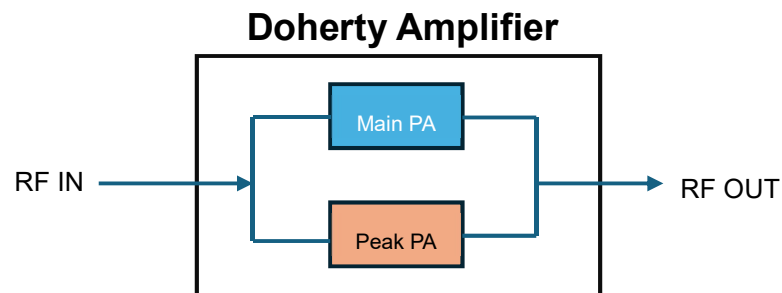
2. 傳統放大器的缺點：

為了確保訊號在高功率輸出時不失真（維持良好的 MER / 肩部衰減 Linearity），傳統的 Class-AB 放大器必須進行大幅度的功率退後（Power Back-off, PBO），

通常需要退後 6 dB 到 8 dB。這會導致發射機的運作效率極低（通常只有 15% ~ 20%），其餘能量都變成熱能浪費掉。

Doherty 的技術解決方案：

Doherty 架構透過主放大器（Main/Carrier）與輔助放大器（Auxiliary/Peak）的動態負載調變，專門在功率退後（**Power Back-off**）的區間創造出第二個效率峰值。這讓 DVB-T 發射機在維持高線性度的同時，整體效率能大幅提升到 **35% ~ 45%**以上，直接讓電費與散熱成本砍半。



四、 PHU100 維修訓練

4.1 PHU100 PA 拆卸與安裝方法與 R&S9K 一樣，在此不贅述。

4.2 維修所需工具：

項目	尺寸或規格
電動螺絲起子附扭力調整	
起子頭	T6
起子頭	T8
起子頭	T10
起子頭	T20
起子頭	T25
內 6 角套筒板手	2.5mm
異丙醇(酒精)	99%
導熱膏	
鋸齒狀抹刀	
鑷子	
一字型電烙鐵 2 支	溫度需達 350℃ 以上且附溫度顯示
無鉛鉛錫	
吸錫帶	
電晶體安裝工具	
電動起子扭力測試器	

原廠規定根據螺絲紋路尺寸設定電動起子扭力

Table 4-1: Tightening torque

M	1.4	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10
MAS	-	0.15	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 grub screws in Nm

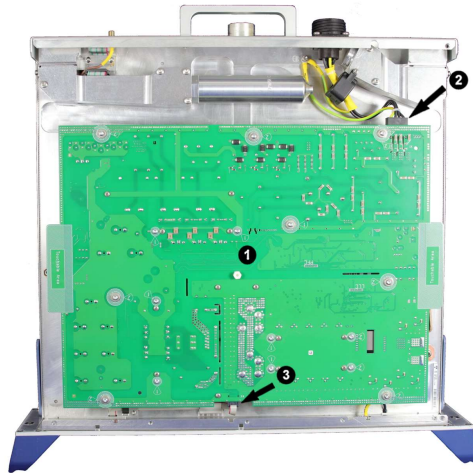
MAC = Recommended tightening torque for CuZn37 screws in Nm

(See PAD-M "Locking screw joints")

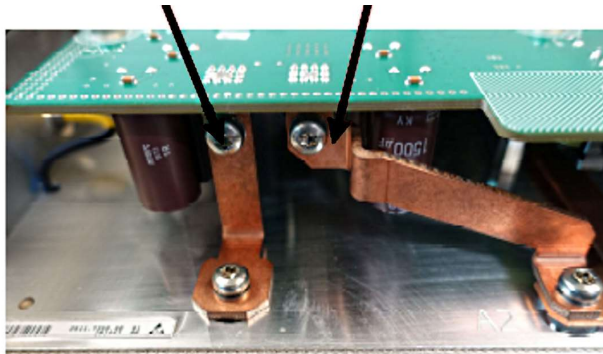
4.3 更換 PHU100 power supply module

4.3.1 先將 PHU100 底部蓋板打開

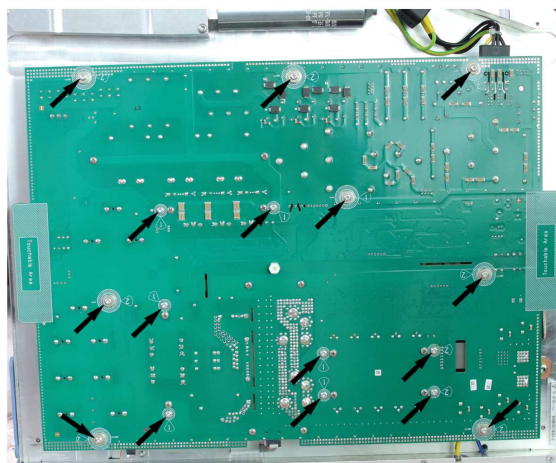
4.3.2 標示❶為 power supply 基板 將標示❷主電源輸入連接器拔除 將標示❸控制連接器拔除



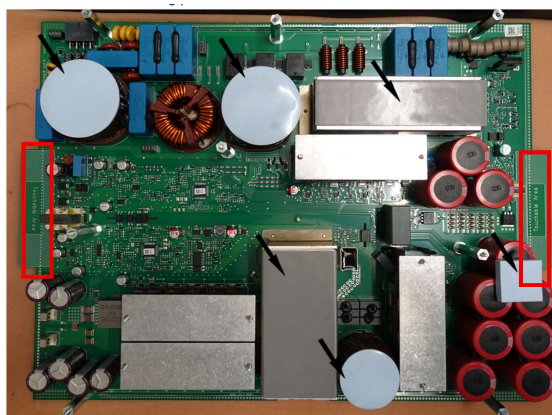
4.3.3 使用 T25 梅花起子鬆開 power supply “+” “-” 輸出銅板



4.3.4 使用 T10 梅花起子卸除所有標示位置螺絲

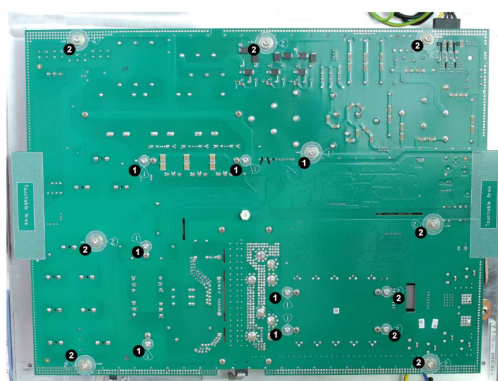


4.3.4 卸下所有螺絲後，雙手握住基板兩側標示有“**Touchable Area**”區域，順時鐘旋轉約 30° 後，則可向外取出基板。



4.3.4 用抹布沾異丙醇擦拭清潔拆卸後的 PHU100 機體

4.3.4 安裝新 power supply 基板，先鎖標示為“**❶**”的螺絲後再鎖上標示為“**❷**”的螺絲，如下圖所示：



4.3.4 最後鎖上 power supply “+” “-” 輸出與銅板螺絲及主電源與控制器連接器 cable 後將外蓋鎖回。

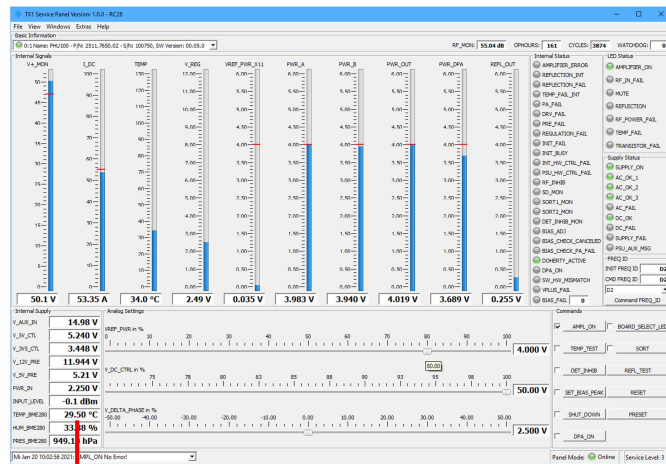
4.3.5 實際操作演練



4.4. 更換 PHU100 後級功率電晶體

4.4.1 可利用 service kit 中所附 service panel 軟體檢視 PA 狀況，可了解其 PA 內部晶體靜態電流或偏壓。

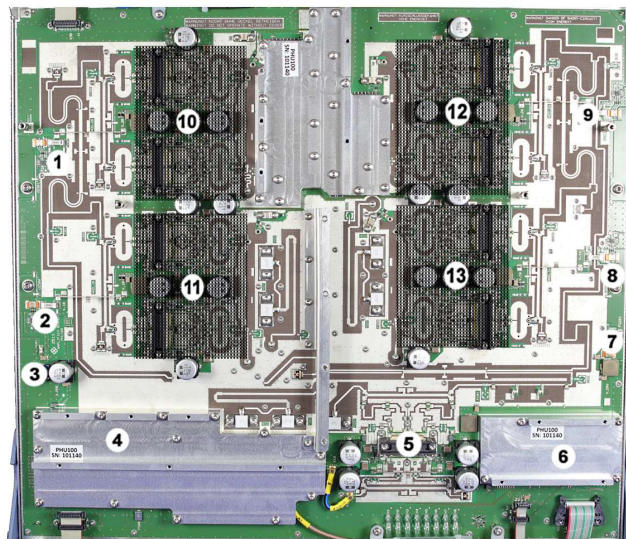
另原廠建議：更換功率電晶體前最好將 PHU100 預熱至 55℃，Service panel 這套軟體可偵測並顯示目前機體溫度



PHU100 目前機體溫度

4.4.2 拆除外蓋後，即可看見整塊 PA 基板，根據原廠技術手冊先了解各級 TR 的相關位置

Overview of modules

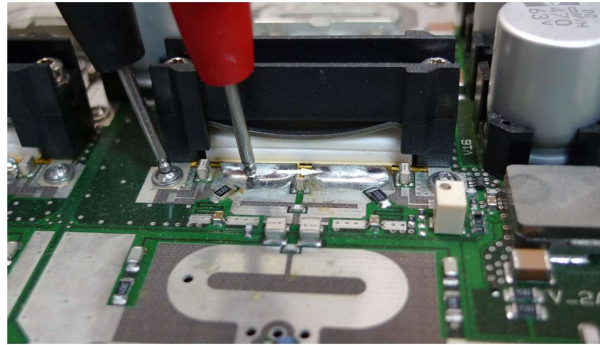


- 1 = Fuse, module 2B, 40 A (F2303)
- 2 = Fuse, module 1B, 40 A (F2302)
- 3 = Fuse, preamplifier, 5 A T (F2301)
- 4 = Preamplifier shielding cover (14x T10 screws)
- 5 = Driver transistor (V12)
- 6 = Controller shielding cover (4x T10 screws)
- 7 = Fuse, driver 20 A (F2201)
- 8 = Fuse, module 1A, 40 A (F2202)
- 9 = Fuse, module 2A, 40 A (F2203)
- 10 = Module 2B (V28, V29)
- 11 = Module 1B (V26, V27)
- 12 = Module 2A (V18, V19)
- 13 = Module 1A (V16, V17)

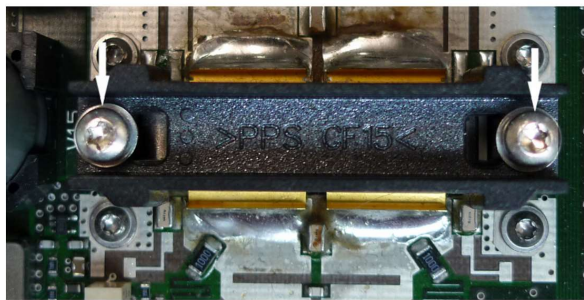
4.4.3 先用三用電表“Ω”檔測量 **Preamplifier**、**Driver**、**Final Amplifier** 晶體 **Gate** 極對地阻抗值，正常值應為“11K Ω”，若小於 11K Ω 即可判定損壞，若某顆 TR 確認故障，其周圍相關 **Fuse** 則很大機率也會毀壞，應一併檢測。

4.4.4 假設某 **final Amplifier TR** 故障欲更換，其步驟如下：

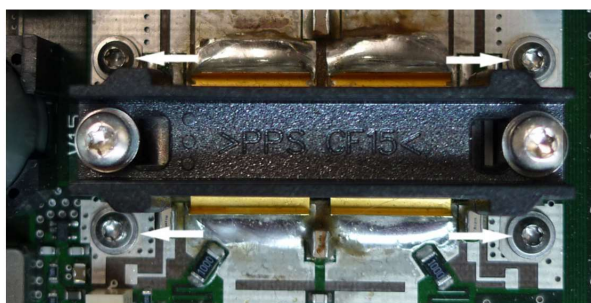
4.4.4.1 由三用電表測量 **TR Gate** 對地 **0Ω**



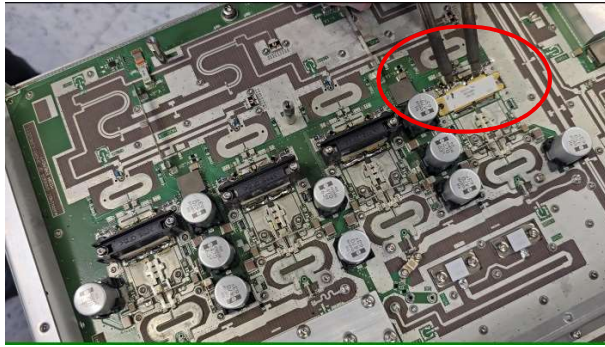
4.4.4.2 使用 **T8** 梅花起子拆卸 **TR** 固定架螺絲



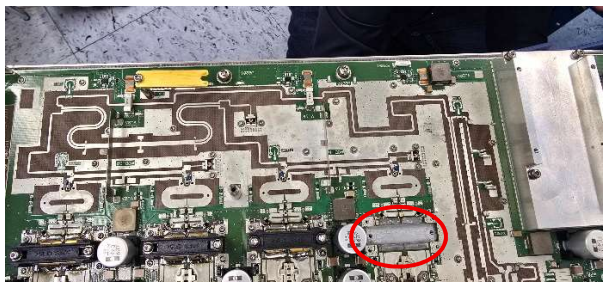
4.4.4.3 使用 **T6** 梅花起子拆卸 **TR** 兩側連接基板接地螺絲



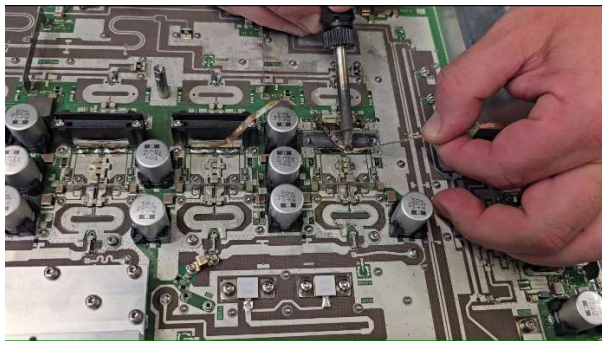
4.4.4.4 同時使用 2 支一字型電烙鐵附溫度顯示至少加熱溫度達 **350°C** 時接觸 **Gate** 位置使鉛錫融化，同時利用一字型烙鐵頭將 **Gate** 扳離印刷電路板



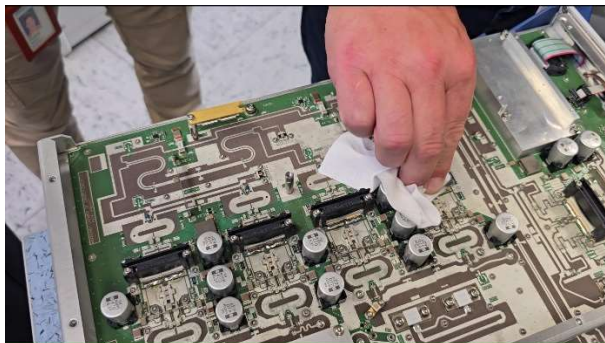
4.4.4.5 接著將兩支烙鐵同時接觸 **Drain** 極使焊錫融化，取下故障的晶體。

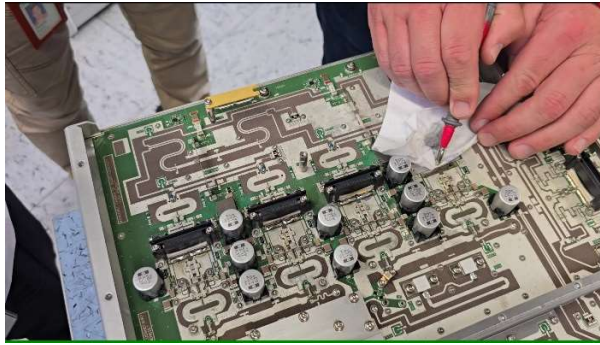


4.4.4.6 使用焊錫清潔帶將殘餘焊錫吸附乾淨

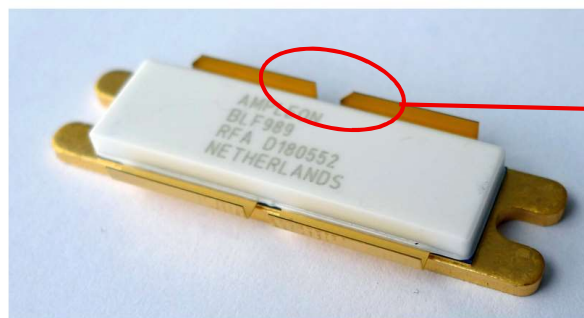


4.4.4.7 再用抹布沾異丙醇徹底清潔印刷電路板上殘留汙垢





4.4.4.8 準備安裝新的功率電晶體，它的 **Gate**、**Drain** 方向要小心確認，方向弄錯會直接燒毀

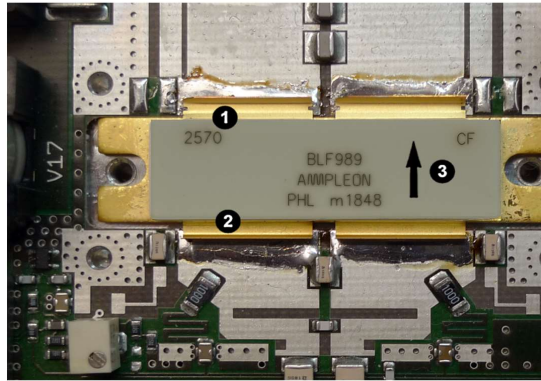


Drain 極接腳有斜邊

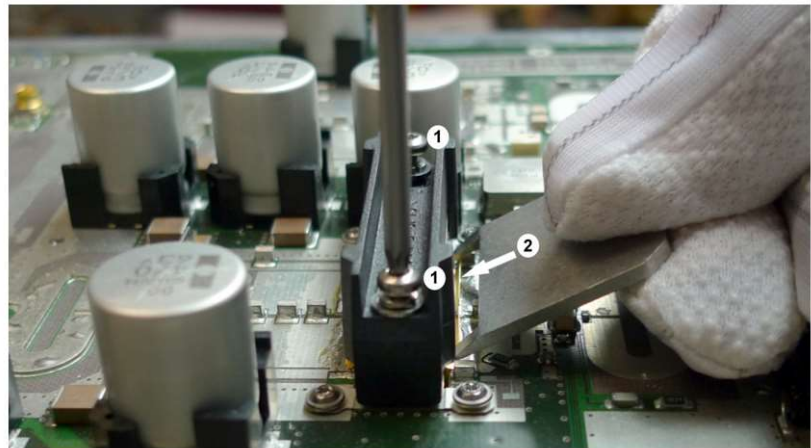
4.4.4.9 先於功率晶體背面塗上薄薄一層**散熱膏**，配合使用鋸齒狀抹刀塗抹，要注意的一點是晶體上、下邊緣不可塗滿，需留空間，可用抹布沾異丙醇清除多餘的散熱膏



4.4.4.10 安裝於 PHU100 PA 基板上，如下圖所示，標示❶為 **Drain** 極，標示❷為 **Gate** 極，標示❸為**推進方向**，安裝時先用 **T6** 鎖上左右兩側 4 顆接地螺絲，再用 **T8** 安裝晶體固定架，但固定架螺絲先勿鎖緊，需使用原廠提供晶體安裝工具將 **Drain** 極往前頂住後再鎖緊螺絲，鎖螺絲時一定要依原廠規定調整至適當電動起子扭力值



圖一

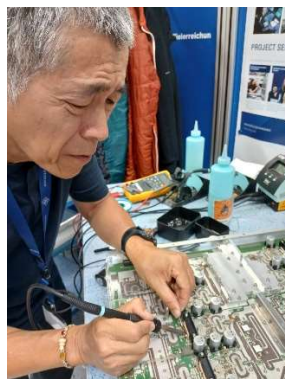


圖二

如上圖二所示，標示②為原廠提供晶體更換工具，往前頂住後再用 **T8** 電動起子鎖緊固定螺絲，如圖二標示①

4.4.4.11 將 PHU100 上蓋螺絲依原廠規範使用 **T10** 電動起子依序鎖緊，要特別注意 PHU100 上蓋若未確實密封鎖緊恐會產生 RF Cavity Resonance 造成 PA 損壞。

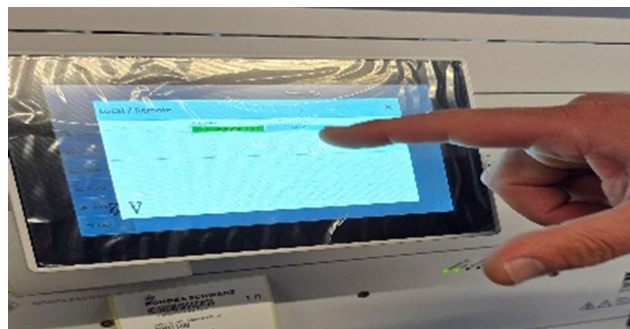
4.4.4.12 實際演練操作：



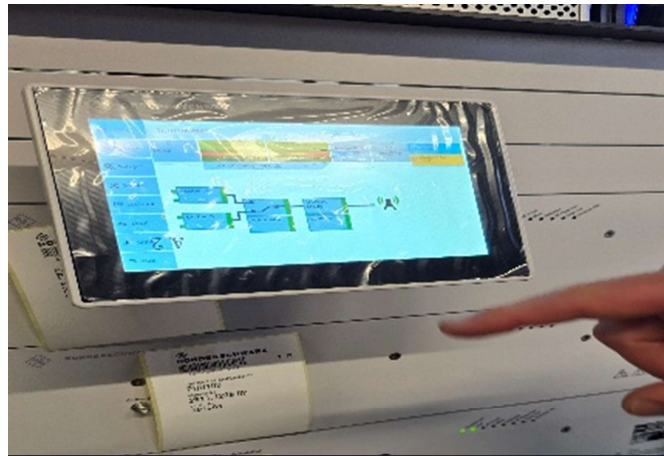


4.4.4.13 PHU100 上架 TH1 動態 Bias 調整：

4.4.4.13.1 先將發射機控制權設定為“Local”



4.4.4.13.2 點選 “Output Stage”



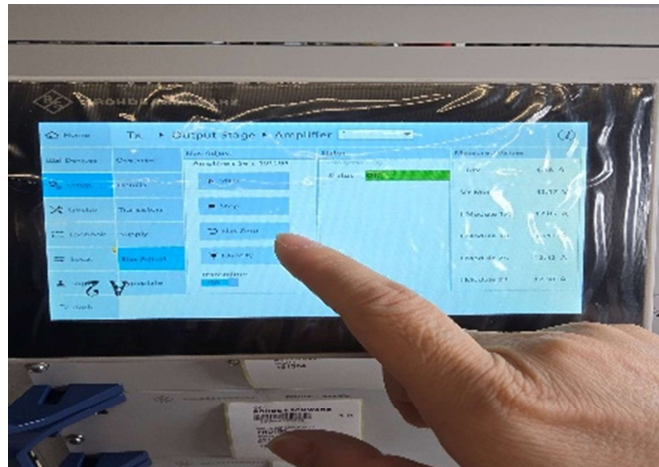
4.4.4.13.3 點選欲調整之 PA，如 PA1



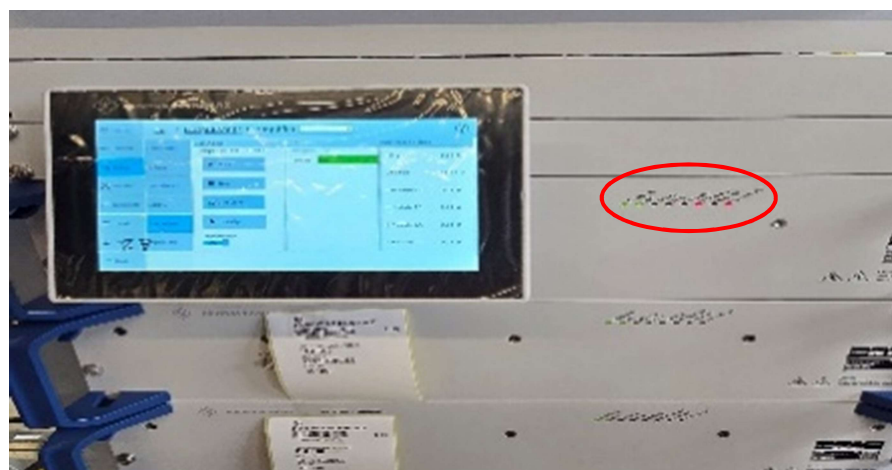
4.4.4.13.4 點選 “Bias Adjust”



4.4.4.13.5 點選 “Bias Zero”



4.4.4.13.6 此時欲調整之 PHU100 會出現 Alarm lamp “RF power fail” 及 “Transistor fail”



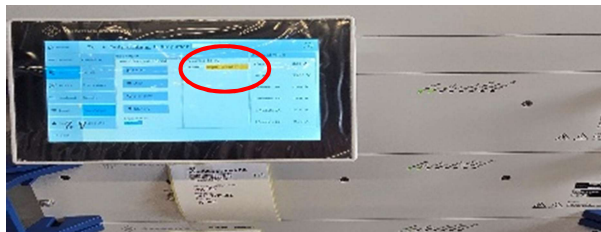
4.4.4.13.7 點選 “Start”



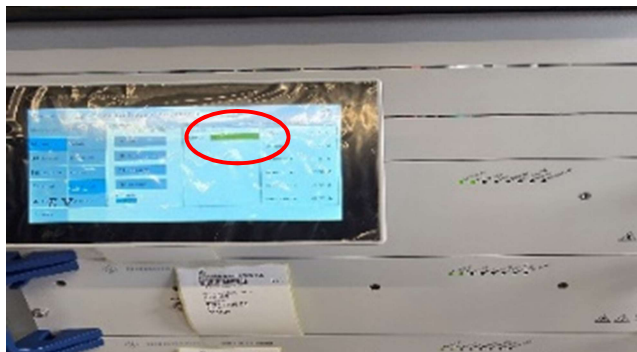
4.4.4.13.8 此時 SCP100 Display 會出現警告訊息：告知當開始 PA Bias Adjust 時，該 PA RF 將 Mute 約 4 分鐘。按 “OK” 執行



4.4.4.13.9 由 SCP100 Display Status 訊息可知道 Bias Adjust 進度，調整中訊息為黃 Bar



4.4.4.13.10 調整完成後 Status 顯示綠色 Bar “OK”



五、心得與結論：

很榮幸有這次機會到 **Rohde & Schwarz** 位於 **Teisnach** 工廠接受該公司最新一代 **DVB-T TH1** 發射機教育訓練，雖然長途跋涉過程辛苦，但能親身進入參觀世界一流公司內部生產作業情況，一切都值得了。

本會從台灣無線電視廣播由類比邁入數位化後就向 **R&S** 公司採購了第一代 **DVB-T** 發射機 **R&S 7K** 系列，同期間也向其購入數台所需的特性量測儀錶，迄今播出使用已逾 **20** 年，工程部轉播發射組轉播站目前仍有部分站台正常運轉播出中，雖就財產管理制度上該設備早已屆使用年限，但因設備本身品質可靠穩定外，使用單位平時維護保養得宜，也成就原廠早已停產的機型，工程部轉播站仍可維持正常運轉播出中。但畢竟設備零件隨時間增長總有劣化故障需維修的時候，**R&S** 原廠早已通告停產該機型，及至無法提供技術支援外，最後連零件也無法取得了。

藉由這次向 **R&S** 採購新機 **TH1** 至原廠受訓參觀的機會，本工程部轉播站設備維修支援負責人及 **R&S** 台灣分公司業務人員當面向原廠相關人員反應本會所遭遇問題。在商言商，**R&S** 原廠莫不希望藉此加速本會汰舊換新，但現實面本會資源預算有限下無法一次到位，只能逐年視預算多寡分批更換。希望 **R&S** 原廠能提出雙贏對策，不影響本會逐年汰舊換新，亦能維持仍運轉中舊機在過渡期中正常維運。