

出國報告（出國類別：實習）

赴美國參加「汰換大屯山及馬公  
DVOR/DME 設備採購案」  
工廠訓練  
出國報告書

服務機關：民用航空局飛航服務總臺

姓名職稱：邱聖義 工務員

派赴國家：美國

出國期間：101/11/24~101/12/23

報告日期：102/01/17

# 目 次

一、 目的：	2
二、 過程：	3
三、 內容：	4-52
<u>第一章 Distance Measuring Equipment (DME)</u>	
1-1 DME 系統原理	
1-2 DME 地面電臺 (Ground Station/ DME)	
1-3 DME 系統架構與部件	
1-4 PMDT 軟體及操作介紹	
1-5 DME 系統干擾	
<u>第二章 Doppler VHF OMNIDIRECTIONAL RANGE (DVOR)</u>	
2-1 DVOR 系統簡介	
2-2 DVOR 信號的組成	
2-3 DVOR 設備組成	
2-4 DVOR 系統架構與部件	
2-5 PMDT 軟體及操作介紹	
四、 心得與建議：	55-58

## 一、目的

大屯山(鞍部)及馬公 VOR/DME 設備為臺北飛航情報區內建構國際及國內航路之重要助導航設備，VOR 規劃原址汰換精確度較高之都卜勒特高頻多向導航臺 (Doppler VOR, DVOR)，以減少信號的干擾，使航機有更準確的參考信號，而提升飛航安全。大屯山及馬公已達壽年之老舊 VOR/DME 設備自 88 年啓用迄今已逾 13 年以上(壽年 10 年)，在本總臺妥善維護下，目前雖尚能提供服務，惟相關模組老化嚴重，備份件取得日益困難，未來如發生無預警故障勢將嚴重衝擊國內外相關航路之導航服務，爰亟需辦理汰換以提供更穩定之導航服務。

馬公 VOR/DME 及大屯山(鞍部)設備為臺北飛航情報區內重要之航路導航電臺，預計設備汰新後，可減少相關維修費用，提高設備妥善率，並有效穩定航路導航訊號，提升飛航服務品質、避免設備發生無預警性停工。

## 二、過程

此次民用航空局飛航服務總臺選派人員，由臺北裝修區臺一人前往美國堪薩斯，與新購裝備原製造廠 SELEX Systems Integration 公司舉行為期 30 天(註：含行程及星期例假日共 31 天)之工廠訓練，訓練行程如後：

101 年 11 月 24 日搭乘長榮航空班機，由台北經美國洛杉磯，於 11 月 25 日飛抵堪薩斯。

101 年 11 月 26 日至 29 日：進行為期 4 天 DVOR 課程。

101 年 11 月 30 日至 12 月 9 日：進行為期 6 天 DME 課程。

101 年 12 月 10 日至 12 月 21 日：接續 DVOR 課程。

101 年 12 月 22 日搭乘美國航空班機，由美國堪薩斯起飛經達拉斯、洛杉磯轉機後，搭乘長榮航空班機於 12 月 24 日返抵臺北。

### 三、內容

這次工廠訓練內容包含 DME 測距儀、DVOR 都卜勒特高頻多向導航臺，以下為訓練內容就重點部分報告。

#### 第一章 Distance Measuring Equipment (DME)

DME 在二次世界大戰中已具備雛形，當時使用 200MHz 頻帶，到了 1964 年國際上協議使用 960~1215MHz 頻帶。直到 1969 年，其正確的使用頻帶與脈波技術才算完備，由美國快速的導入應用。

機場應用的 Terminal DME 通常與同地點的 LLZ 左右定位臺，或 Glide Slope 滑降臺並設，提供航機降落點零距離指示，作為精密輔助進場設施。另外 DME 常設計成與 VOR 特高頻多向導航臺共同位址成為 ICAO 極座標短距離航路的標準助航設施。與其他設備共同位址的 DME，可由 DME 本身內置 KEYER 與同地點設備同步，發送以摩斯碼編碼的識別音頻(Identity Information)。

#### 1-1 DME 系統原理

測距儀系統包含機載設備 (Airborne Transceiver / Interrogator) 與地面電臺 (Ground Station/ DME)。工作原理為經由航機之發射詢問脈波對 (Interrogation)，Interrogation 電波以光速傳播，而 DME 於收到 Interrogation 後，系統延遲 50  $\mu$ s 再回傳

與詢問脈波對相同間隔(Spacing)之答詢脈波(Reply)至航機之機載設備。航機依據發射 Interrogation 及接收到 Reply 信號的時間差，計算航機與地面電臺間距離，此距離屬於斜線距離 (Slant Distance)。

當航機機載設備調到 DME 地面站頻率，由於航機尚未取得與地面電臺間的距離關係，因此 Interrogator 將進入搜索模式 (Search Mode)。搜索模式首先提高詢問率 PRF (Pulse Repetition Frequency) 至 150 PPPS(Pulse Pairs Per Second)以加速搜索。較高的詢問率雖然加速搜索，卻限制了最大距離。於是在 15000 Pulse Pairs 後，減少至 60 PPPS，以提高最大搜索距離。搜索模式循環直到收到特定數量的 DME 答詢脈波迴波後與地面站鎖定，機載設備由搜索模式進入追蹤模式 (Track Mode)。DME 地面站並不知道收到的詢問脈波是哪架航機發出的，只負責確認合法的詢問脈波特性和延遲，隨即延遲 50  $\mu$ s 後以 63MHz 接收頻率差異發射此答詢脈波對。空中的眾多航機中，各 Interrogator 為了形成分時效果，每架航機經由假亂數演算法 (pseudo-random timing algorithm) 產生的詢問脈波對，只有本航機 Interrogator 認得自己設定的詢問脈波訊號延時性，因而區分出答詢脈波對是本航機 Interrogator 所應接受的答詢脈波對。

## 1-2、DME 地面電臺 (Ground Station/ DME)

SELEX 公司所生產 1118A/1119A 測距儀(以下簡稱 DME)如圖 1-2-1 所示。其中 High Power 機型(1119A)機櫃外觀只與 Low Power 機型(1118A)差別在 High Power AMP 的有無，1119A 具有 A3、A7 兩塊高功率放大模塊。

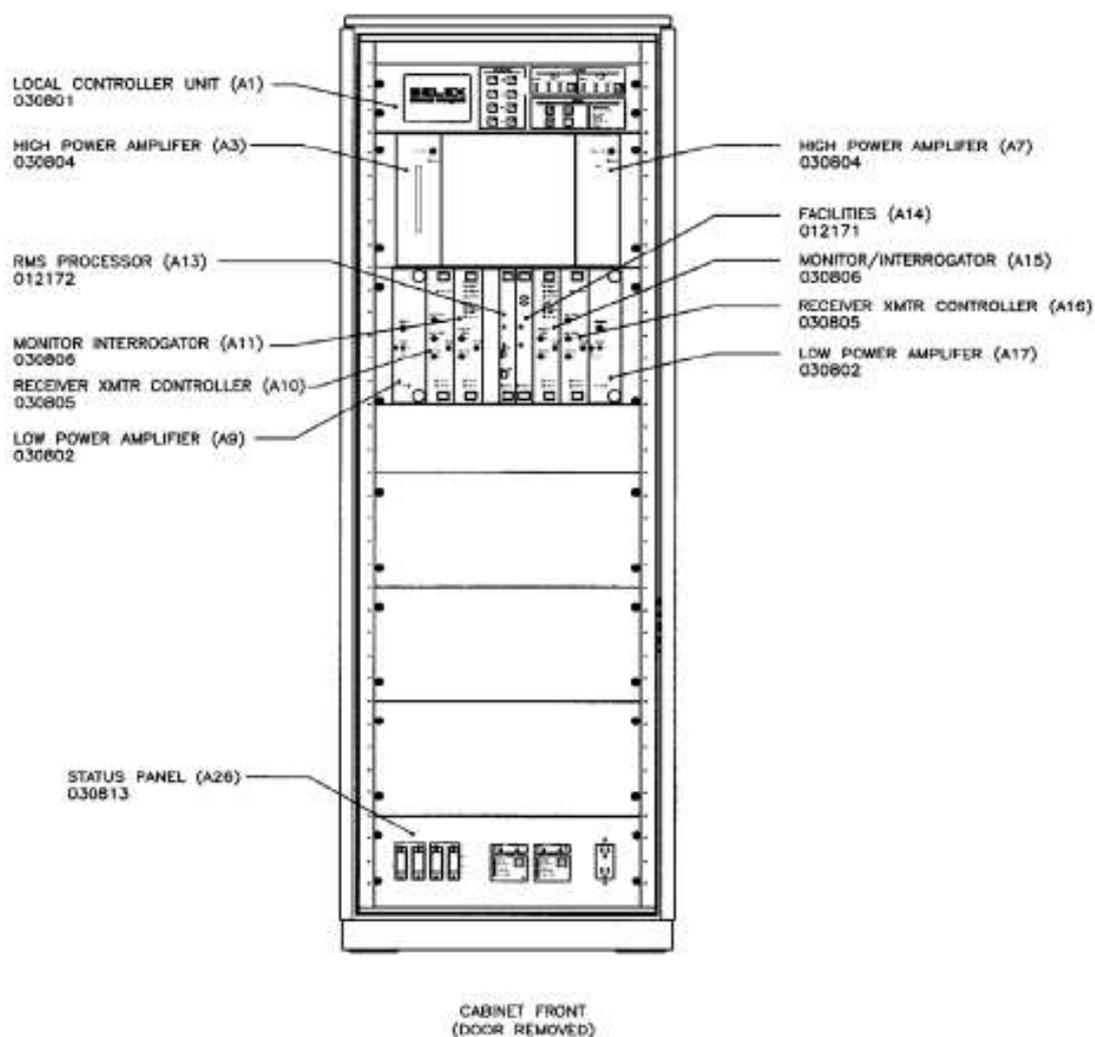


圖 1-2-1 DME1119A 機櫃前視圖。

圖 1-2-2 是位於機櫃最上方的 LCU 模組。包含觸控顯示器與薄膜按鍵，DME 常用的主副機設定、切換、重置開關等，都透過 LCU 控制。

DME 主要狀態也由 LCU 面板上 LED 提供。圖 1-2-3 發射機切換與狀態顯示圖中，當 Antenna 燈號在一號機亮，表示目前由一號機提供服務。如果 DME 設定成熟備援(HOT-STANDBY)系統，將自動的把二號機接到假負載，圖 1-2-3 的二號機 LOAD 燈號亮起。當系統偵測到應切換到副機而自動切換時，對應的 Maintenance Alert 亮起，技術員可以由燈號得知系統並非運作於主機(Main Select)下。Main Select 設定主機是一號或二號，一般狀態由主機連接至 Antenna(ANTENNA LED ON)，當系統偵測有需要切換副機時才會自動切換，但副機提供服務時則否。

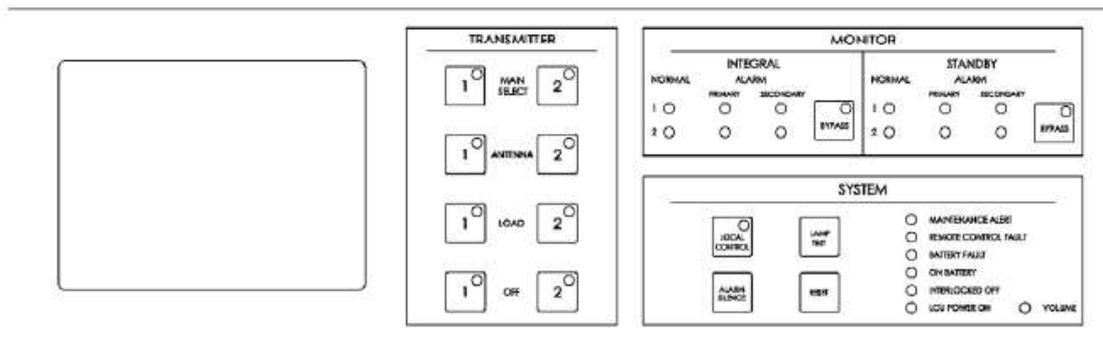


圖 1-2-2 LCU 本地端控制面板

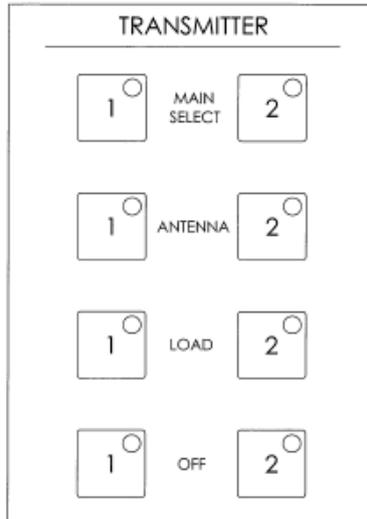


圖 1-2-3 發射機切換與狀態顯示面板

如圖 1-2-4 監視器狀態與控制圖，監視器(MONITOR)上旁路開關 (BYPASS)，如果 BYPASS ON，會使 MONITOR 停止 PRIMARY ALARM 切換機。當進入本地模式下，如果監視器主機 (INTEGRAL) 的 BYPASS ON 則停止 PRIMARY ALARM 切換機。若備援機 (STANDBY) 的 BYPASS ON 則會使 STANDBY 停止 PRIMARY ALARM 切換機。

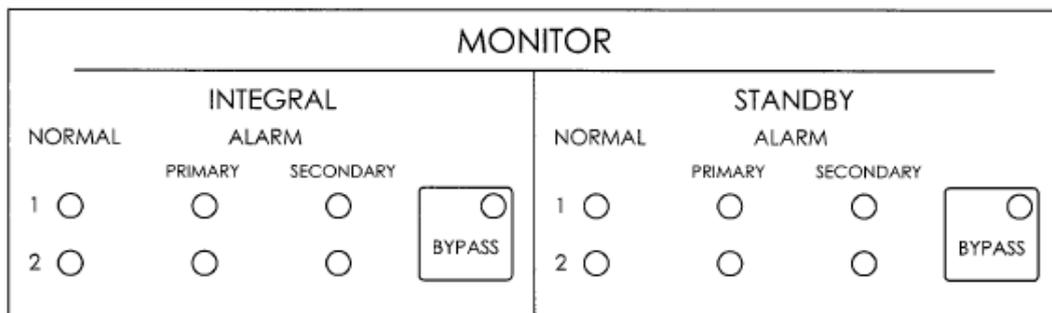


圖 1-2-4 監視器狀態與控制圖

如圖 1-2-5 系統狀態與控制圖，各開關功能如下：

1. LOCAL CONTROL: 致能本地端所有開關。
2. LAMP TEST: 燈號測試。

3. RESET:系統重置。

4. ALARM SILENCE:強制關閉告警音(TURN OFF ALARM TONE)，直到下一次告警邏輯致能。

各 LED 燈號意義：

MAINTENANCE ALERT:維護模式告警。

REMOTE CONTROL FAULT:遠端控制告警(RCSU COMMUNICATION LINK FAILURE)。

BATTERY ALERT:電池異常狀態警告(BATTERY SHORT、OPEN、SWITCH OPEN)。

ON BATTERY: 指示 DME 使用電池電力。

INTERLOCKED OFF: 指示 DME 與共址設備互鎖狀態已致能。

LCU POWER ON:指示 LCU 電源已開啟。

VOLUME:告警音量。

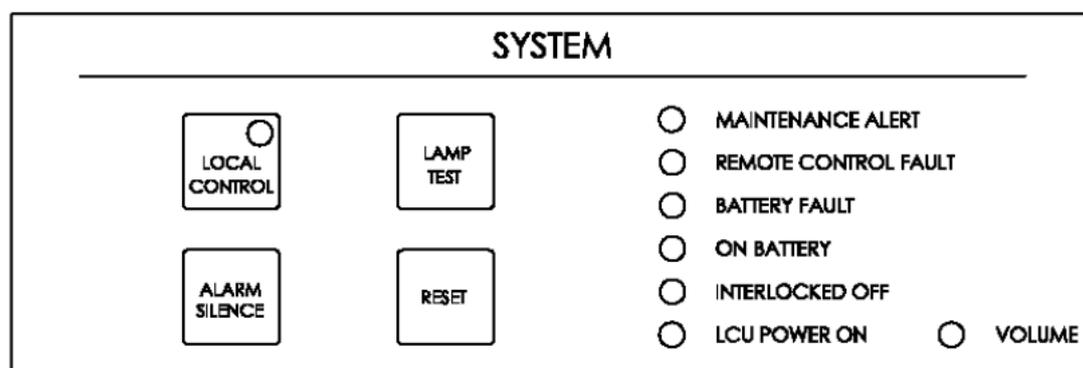


圖 1-2-5 系統狀態與控制圖

### 1-3 DME 系統架構與部件

#### 1-3-1、DME 系統架構方塊圖

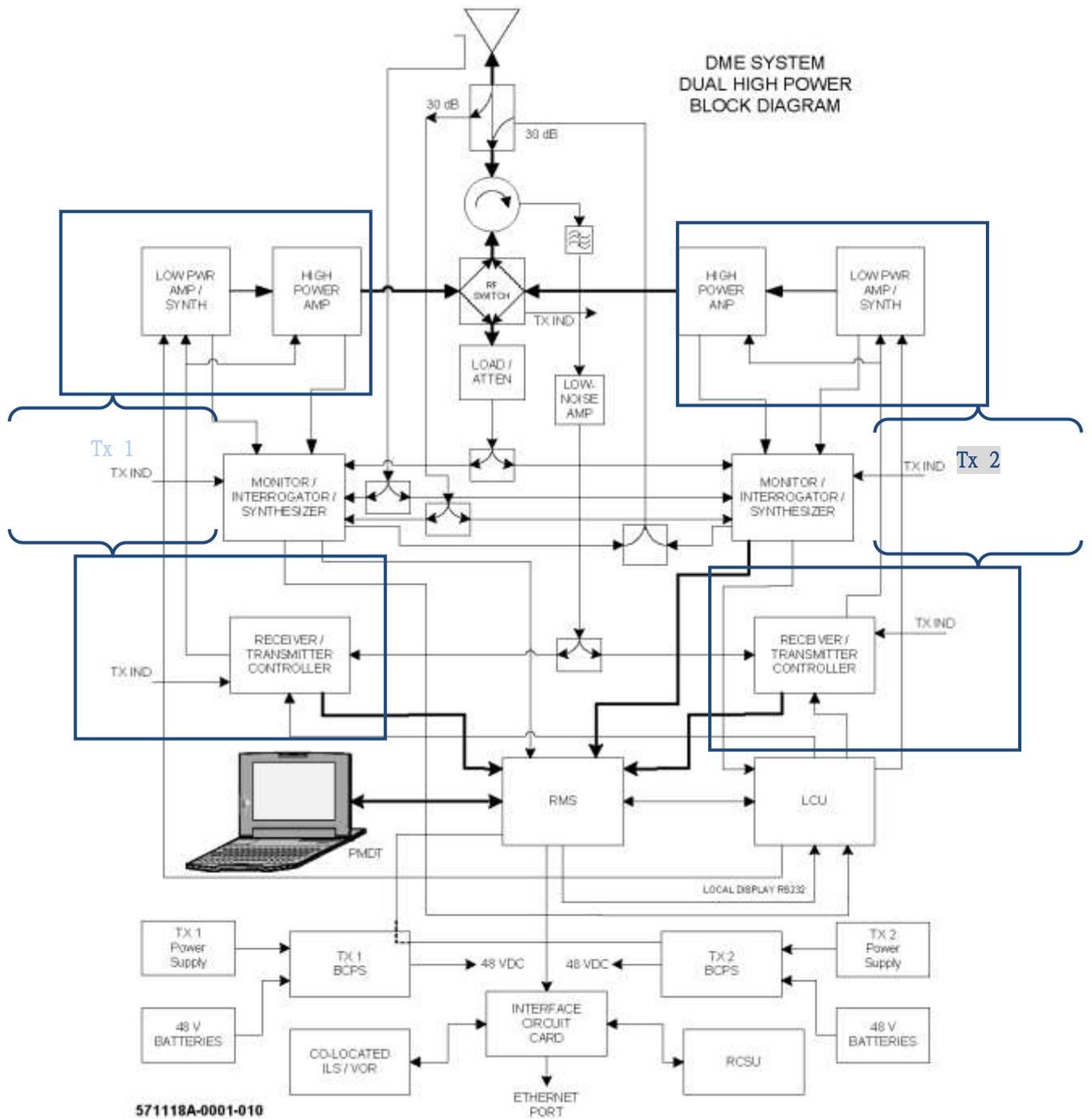
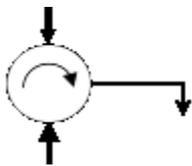


圖 1-3-1 高功率 DME 系統架構方塊圖

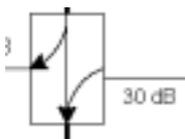
如圖 1-3-1 高功率 DME 系統方塊圖, Transmitter 1 及 Transmitter 2 的組成包含有 Receiver Transmitter Controller (RTC)、Low Power Amplifier (LPA)、High Power Amplifier (HPA) 三大元件, 天線收到信號首先由方向性耦合器 (Directional Coupler) 耦合, 再經由 Circulator、Preselector、Low Noise Amplifier 至每個 RTC。RTC 負責解 Interrogation, 加入延遲後傳送未放大的波封 (Video) 至 LPA, 經 LPA、HPA 放大的脈波再經由 RF SWITCH、Circulator、Directional Coupler、天線輻射出去。MONITOR 負責量測與比較所設定的告警位準, 並經由串列傳輸資料至 LCU 做指示。其中重要部件功能如下:



Preselector: 窄頻帶濾波器, 可消除 image frequencies, 亦提供功率衰減。



Circulator: 提供 Tx 與 Rx 隔離, 當共用同一天線。



方向性耦合器: Directional Coupler, 具有方向性的將 RF 檢波。

BCPS: Battery Charging Power Supply ，提供電池充電管理，AC/DC 電源切換。

RMS: Remote Monitoring System ，RMS 提供 13 組串列通信、一組並列通信。

### 1-3-2 RTC 板卡架構方塊圖

如圖 1-3-2-1 RTC 板卡，OVERLOAD ALARM 是系統偵測到過多 aircraft Interrogations 時，或是如果航機設備故障導致 Interrogator 持續洩漏而產生 CW (Continuous Wave) ，自動降低 RECEIVER SENSITIVITY。這樣可以快速的避免較靠近 DME 的終端航機重新進入搜索模式。RX LO(Receiver synthesizer.) 可用計頻器量測到低於接收頻率 125 MHz 的信號。J3/J5 分別可量測接收機所接收解調出來的脈衝對。

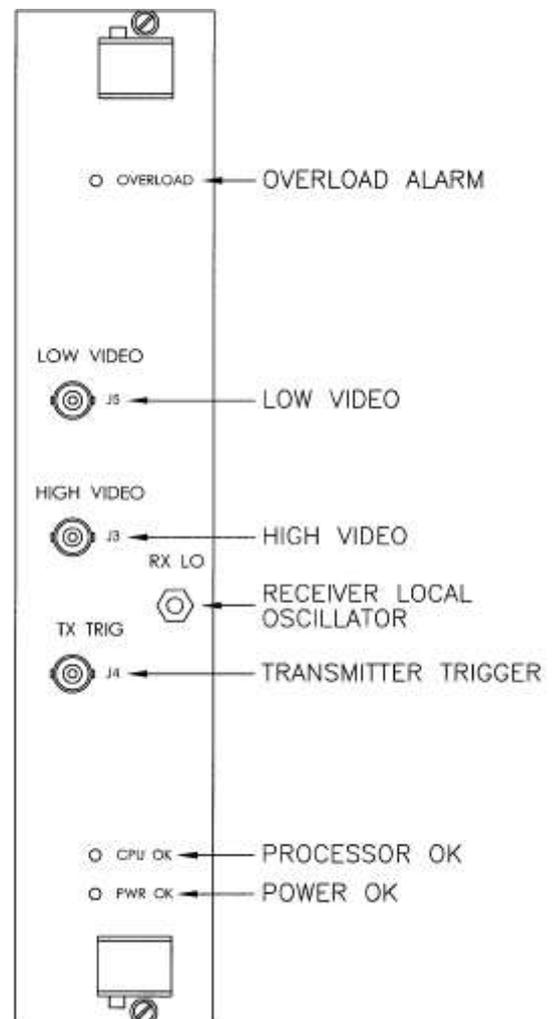


圖 1-3-2-1 RTC 板卡圖

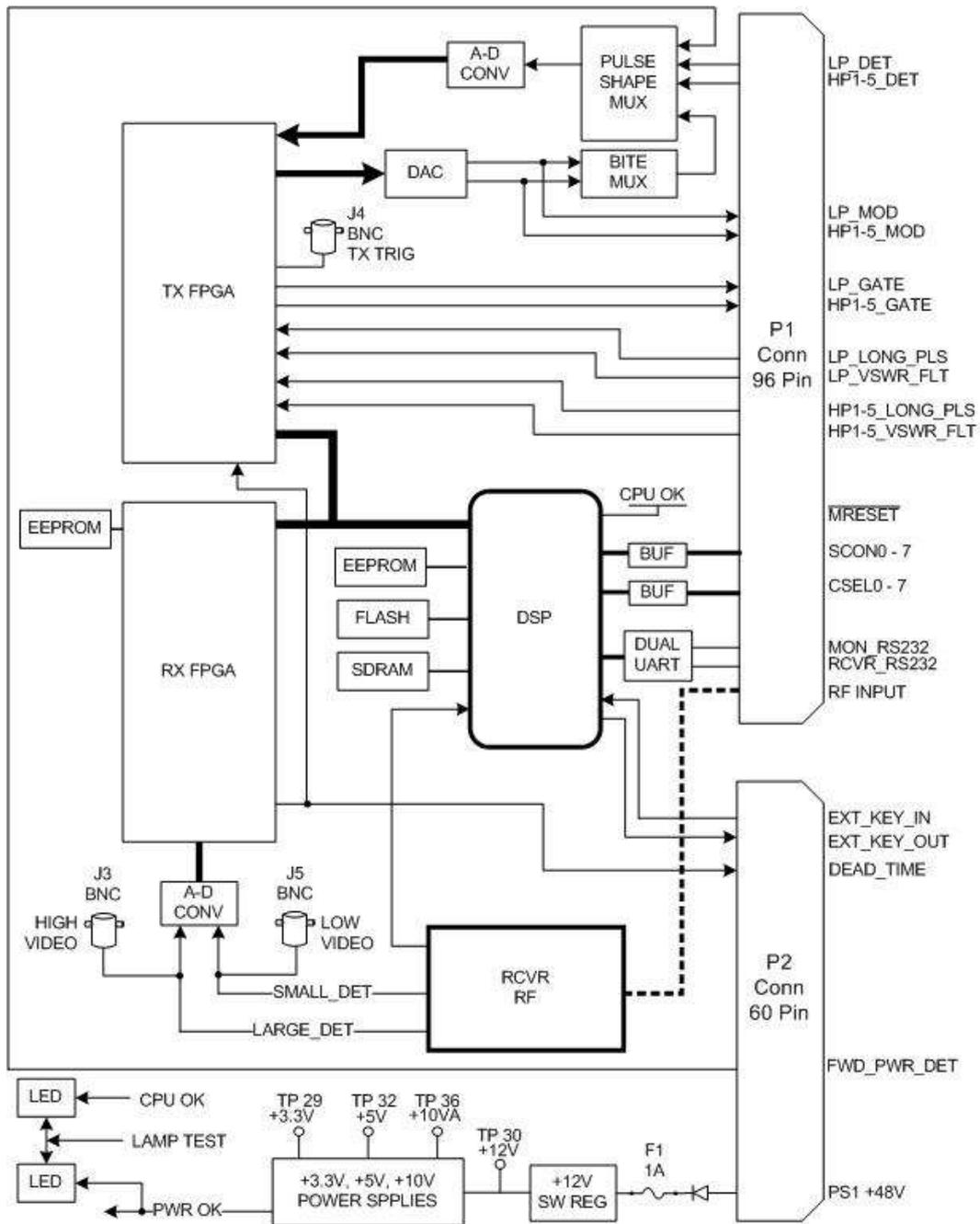


圖 1-3-2-2 RTC 系統架構方塊圖

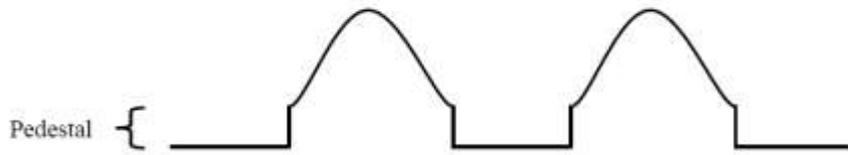
如圖 1-3-2-2 RTC 系統架構方塊圖，收到 RF 脈波對經 P1 連接器接入 RTC 電路板卡，由 RF INPUT 虛線路徑到 RCVR RF 解出弱信號的 SMALL\_DET、強信號的 LARGE\_DET。RTC 內部與 Timing Critical 的處理交由 RX FPGA 處理，比如 Tx 的控制，以及依照 X CHANNEL 定義的

間距(SPACEING)  $12 \mu s$ ，經由電路確認是否符合 GAUSSIAN SHAPEED 等已定義的特性。RTC 電路板卡的 DSP 負責短距離、長距離反射回波抑制、CW 信號的降敏感度等重要工作。為了使航機 Interrogator 的接收機自動增益(AGC)電路穩定，DME 除了一般 Transponder 的航機答詢，將自動維持到 800 PPS，此脈波對稱為 SQUITTER。RTC 產生 SQUITTER Video，Low Power Amplifier(LP AMP)將 RTC 所產生 Video 調變成與詢問脈波對相差 63MHz 的頻率後，再放大信號輸出至天線或 LOAD。而 Tx 路徑中有耦合電路，包含 Monitor 天線都將所發送信號回饋至 Monitor，監視系統的答詢信號及備用發射機 (Standby) 是否正常。Power Amplifier 有自我保護電路，比較 VSWR fault，透過 LP\_VSWR\_FLT 通知，而 Long pulse fault，透過 LP\_LONG\_PLS 通知 TX FPGA，關閉 TX 功能。DSP 透過 RS232 傳送資料給 Monitor 分析。DME 開機時背板的 DIP SWITCH 經由 RTC P1 CONNECTOR 讓 DSP 知道系統的要設定的頻道、組態是甚麼。CPU\_OK 信號是 DSP 內部 WATCHDOG TIMER 自我測試迴圈，輸出至板卡上 PROCESSOR OK 燈號，此燈號綠色恆亮表示接收機 CPU 工作正常。

### 1-3-3 LOW POWER AMPLIFIER 板卡架構方塊圖

在敘述 LOW POWER AMPLIFIER 板卡圖前，要知道 AMP 的 DC BIAS，

稱為 PEDESSTAL。如下圖所示：



RTC 將 Gaussian-shaped modulation 加入 Pedestal 後的信號經由 LP\_MOD 輸出至 LP AMP，在 LOW POWER DME 設定將量測不到 Pedestal，而 HIGH POWER DME 所量測到信號將如圖 1-3-3-2 的 4 號輸入，但是輸入 HIGH POWER AMP 的信號依然需要如圖 1-3-3-2 的 1 號輸入，具有較小的 Pedestal。圖 1-3-3-1 面板上 TX LO 是一個可以透過計頻器量測 AMP 內部 Synthesizer 輸出頻率。POWER OK LED 綠色指出 AMP 內部 DC 電源在可容許的誤差內。

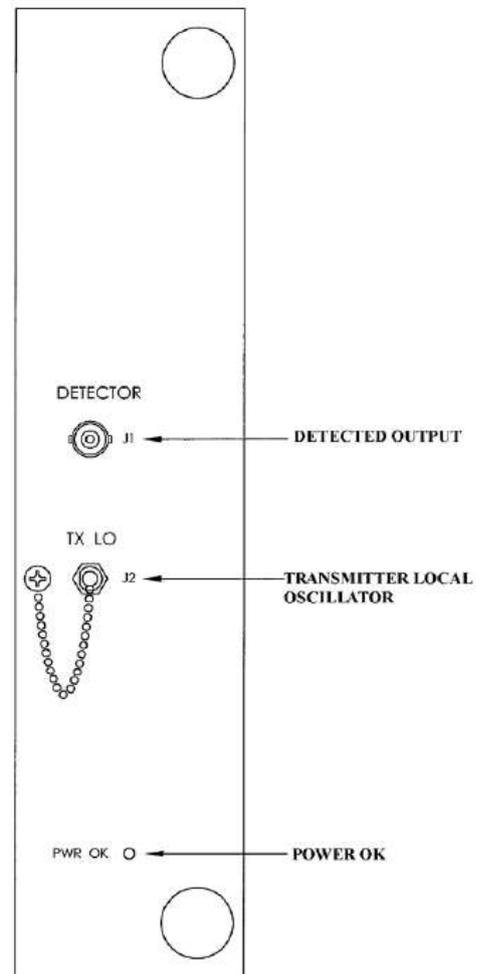


圖 1-3-3-1 LOW POWER AMPLIFIER 板卡圖

高功率 DME(1119A)配置的 HIGH POWER AMPLIFIER 板卡在此不贅

述，其主要內部包含 4 個 250W 的 AMP 並聯，如此可輸出功率將放大至 1000W 供航路航機使用。

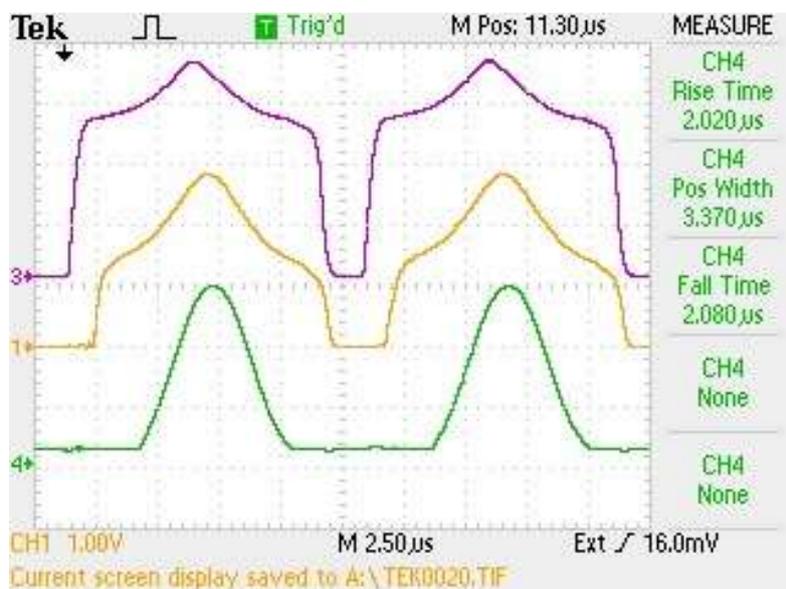


圖 1-3-3-2 各 AMPLIFIER 輸入 VIDEO 圖

100W 輸出功率的 LP DME 正常情況涵蓋 100 NMI 半徑的航機，此時接收機靈敏度應調整至 -82dBm，HP DME 1000W 功率輸出可涵蓋到 200 NMI 半徑的航機，此時接收機應調整接收靈敏度至 -87dBm。

如圖 1-3-3-3 CH2 LP AMPLIFIER J1 DETECTOR VIDEO 圖中，J1 DETECTOR 量測結果。

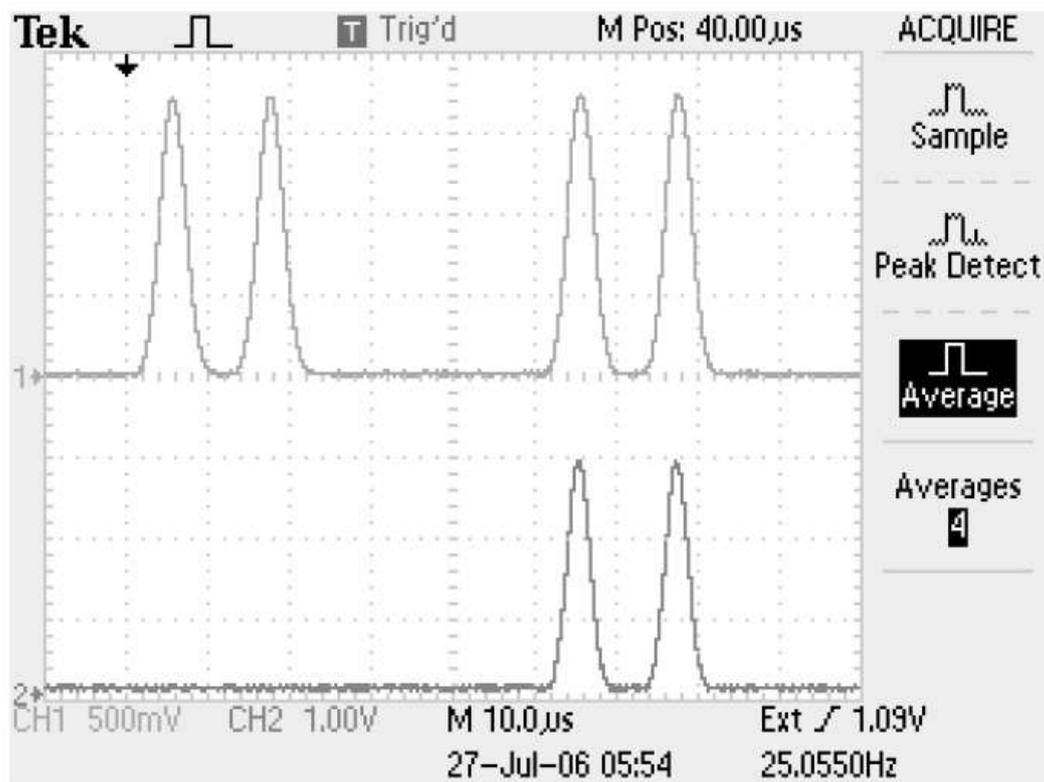


圖 1-3-3-3 CH2 LP AMPLIFIER J1  
DETECTOR VIDEO 圖

### 1-3-4 MONITOR INTERROGATOR 板卡架構方塊圖

右圖 1-3-4-1 MONITOR 板卡有兩塊，負責隨時監視 DME 運作狀況以及是否超過定義

的參數。如前置性、純通告的臨界告

警(PRE-ALARM)，或系統將有對應關機或

切換機的主告警值(PRIMARY ALARM)

次告警值(SECONDARY ALARM)。

兩片 MONITOR 卡片同時監視 LOAD 上 TX

或是 MONITOR ANTENNA 的信號，由於

DME HOT-STANDBY 的設計，故可由軟體

設定兩個監視器 AND 或 OR 的執行邏輯。

在表 1-3-4 中列出所有面板 LED 指

示狀態與測量點輸出功能。

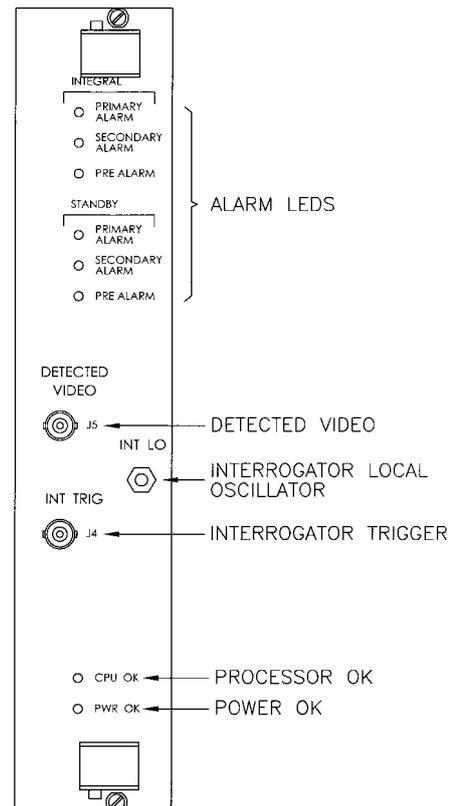


圖 1-3-4-1 MONITOR 板卡圖

表 1-3-4 MONITOR 板卡面板功能。

MON 面板狀態	功能或狀態描述
Integral Primary Alarm LED	紅燈亮表示主發射機(至天線)的MONITOR數值超過了主要告警限制值。
Integral Secondary Alarm LED	紅燈亮表示主發射機(至天線)的MONITOR數值超過了次要告警限制值。
Integral Pre-Alarm LED	黃燈起時表示主發射機(至天線)的MONITOR數值超過鄰界告警限制值。
Standby Primary Alarm LED	黃燈起時表示副發射機(至LOAD)的MONITOR數值超過主要警告限制值。

Standby Secondary Alarm LED	當黃燈起時表示副發射機(至LOAD)的MONITOR數值超過次要警告限制值。
Standby Pre-Alarm LED	當黃燈起時表示副發射機(至LOAD)的MONITOR數值超過鄰界警告限制值。
Detected Video	視頻信號輸出，是脈波對波形的測點。
Interrogator Local Oscillator	詢答機的本地振盪器輸出，驗證頻率的測點。
Interrogator Trigger	觸發信號，供 SCOPE 觸發，同步詢答機的視頻信號輸出。
Processor OK LED	亮綠燈時表示處理器功能正常。
Power OK LED	亮綠燈時表示電源功能正常。

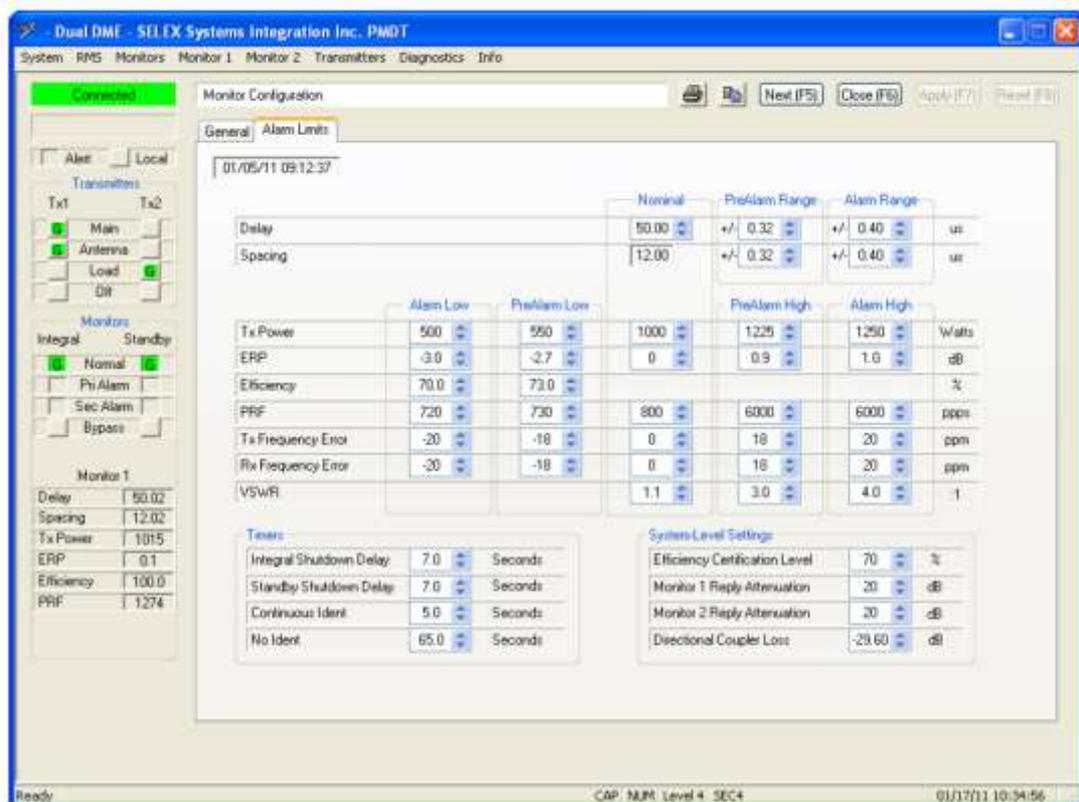


圖 1-3-4-2 Monitor alarm limit 頁面。

在 PMDT 軟件內可看到兩片 MONITOR 收到的數值，並可個別設定

告警點。圖 1-3-4-2 Monitor alarm limit 頁面中，Alarm Low 或是 Alarm High 最好別隨意更動，例如 12  $\mu$ s 的 Pulse Pair Spacing 牽涉 RTC 性能規範，以及 50  $\mu$ s 的 Delay，涉及國際標準組織規範 DME 距離精確度(0.25 nmi plus 1.25% of the distance measured)，Spacing 與 Delay 都是限制不能超過正負 0.4  $\mu$ s。接下來的 Tx Power、ERP...Ident Status，這些重要數值都可由 PMDT Executive Alarms 頁面定義那些要觸發 Primary Alarm，那些只要 Secondary Alarm。

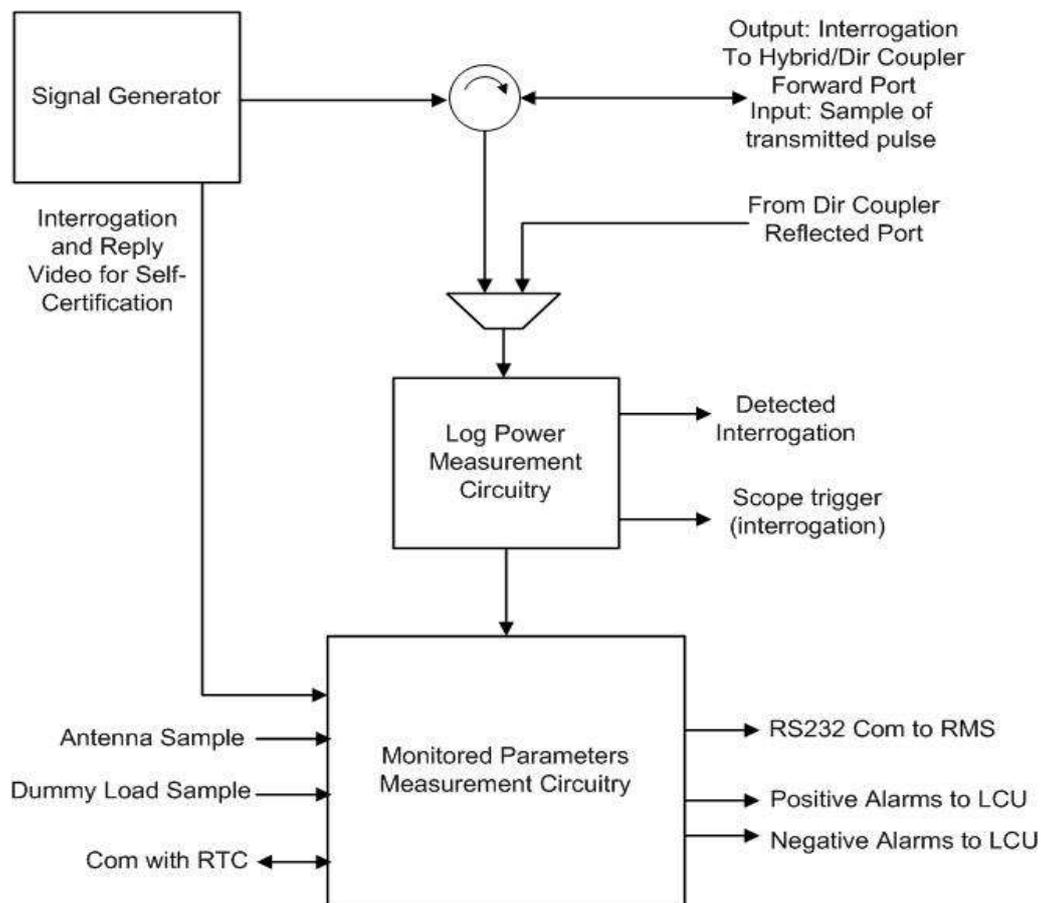


圖 1-3-4-3 MONITOR 方塊圖。

在圖 1-3-4-3 MONITOR 方塊圖中，Signal Generator 產生 50 PPS 詢答脈波對，透過 DC、不透過 antenna 直接往 Circulator、Pre-selector、Low Noise Amp 後給 RTC，使系統自導自演的回應 Reply。Monitor Antenna 與 Dummy load sample 都回 Monitored parameters，供 DME 內部自我分析及檢測。如圖 1-3-4-4，這 MONITOR INTERROGATOR 可在 PMDT 內 MONITOR->TEST RESULT->INTERROGATOR 頁面中得到 PULSE WIDTH、PULSE RISE TIME、PULSE SPACING 等 10 項量測值與參考的上下限制值。此頁面提供 Signal Generator 本身測試結果。如圖 1-3-4-5 Transponder 測試結果，因為 RTC 透過 Tx FPGA 一路將答詢送往天線，故知此頁面將得知 Transmitter X 子系統處理脈波對狀態。如圖 1-3-4-6 Decoder 測試結果，包含接收靈敏度，合乎 spacing 邊限弱信號的解碼狀態，不合 spacing 限制的強信號排斥狀態，合乎頻率邊限弱信號的解碼狀況，不合頻率邊限的強信號排斥狀況，都能循環的在這個頁面被更新即時數據。兩片 MONITOR 板卡輪流監視，在一周期後的 MONITOR 便執行自我詢答(MONITOR INTERROGATION)，這樣產生 100 PPS 的詢答脈波對佔用。雖然如此，拜高速數位電路之賜，本系統屬於全數位化 DME 可達 5400 PPS 的答詢，這樣的性能允許系統容納 200 架航機的答詢，超過 5400 PPS 將導致 OVERLOAD 告警。這樣的性能已遠超過傳統 DME 的 100 架處理

能力。

	Low Limit	Data	High Limit	
First Pulse Width	3.0	3.4	4.0	us
First Pulse Rise Time	1.5	2.4	3.0	us
First Pulse Decay Time	1.5	2.5	3.0	us
Second Pulse Width	3.0	3.4	4.0	us
Second Pulse Rise Time	1.5	2.4	3.0	us
Second Pulse Decay Time	1.5	2.5	3.0	us
Pulse Amplitude Difference	-0.5	-0.1	0.5	dB
Pulse Spacing	11.80	12.00	12.20	us
Pulse Rate	25	53	60	ppps
Signal Generator Reference	-1.0	0.1	1.0	dB

圖 1-3-4-4 MONITOR INTERROGATOR 測試結果。

	Low Limit	Data	High Limit	
First Pulse Width	3.0	3.6	4.0	us
First Pulse Rise Time	1.5	2.1	3.0	us
First Pulse Decay Time	1.5	2.1	3.0	us
Second Pulse Width	3.0	3.5	4.0	us
Second Pulse Rise Time	1.5	2.1	3.0	us
Second Pulse Decay Time	1.5	2.1	3.0	us
Pulse Amplitude Difference	-0.5	-0.2	0.5	dB
Ident	1340	1350	1360	Hz
Equalization Pulses	90.0	99.9	110.0	us
RTC #1 Dead Time Gate	55	59	65	us

圖 1-3-4-5 MONITOR Transponder 測試結果。

Monitor 1 Test Results

Alarm Limits Interrogator Transponder **Decoder**

01/17/11 10:37:16

	Low Limit	Data	High Limit		
Receiver Sensitivity @ 12.0 us (R)	-97.0	-94.6	-91.0	dBm	
Spacing: 13.0 us @ -93.6 dBm (R + 1dB)	70.0	82.0	100.0	%	Updated
Spacing: 12.5 us @ -93.6 dBm (R + 1dB)	70.0	92.0	100.0	%	Updated
Spacing: 11.5 us @ -93.6 dBm (R + 1dB)	70.0	100.0	100.0	%	Updated
Spacing: 11.0 us @ -93.6 dBm (R + 1dB)	70.0	88.0	100.0	%	Updated
RF +200 kHz @ -91.6 dBm (R + 3dB)	70.0	98.0	100.0	%	Updated
RF -200 kHz @ -91.6 dBm (R + 3dB)	70.0	98.0	100.0	%	Updated
RF +900 kHz (@ -10 dBm)	0.0	0.0	5.0	%	Updated
RF -900 kHz (@ -10 dBm)	0.0	0.0	5.0	%	Updated
Spacing: 9.0 us @ -17.6 dBm (R + 77dB)	0.0	0.0	5.0	%	Updated
Spacing: 10.0 us (@ -10 dBm)	0.0	0.0	5.0	%	Updated
Spacing: 14.0 us (@ -10 dBm)	0.0	0.0	5.0	%	Updated
Spacing: 15.0 us @ -17.6 dBm (R + 77dB)	0.0	0.0	5.0	%	In Process

圖 1-3-4-6 MONITOR decoder 測試結果。

## 1-4、PMDT 軟體及操作介紹

PMDT 軟體是由 SELEX 開發，透過 SERIAL 介面與 DME 設備 RMS 卡或是 RCSU(REMOTE CONTROL STATUS UNIT)通訊的一套應用程式。執行後需要先設定通訊界面，如圖 1-4-1 所示。

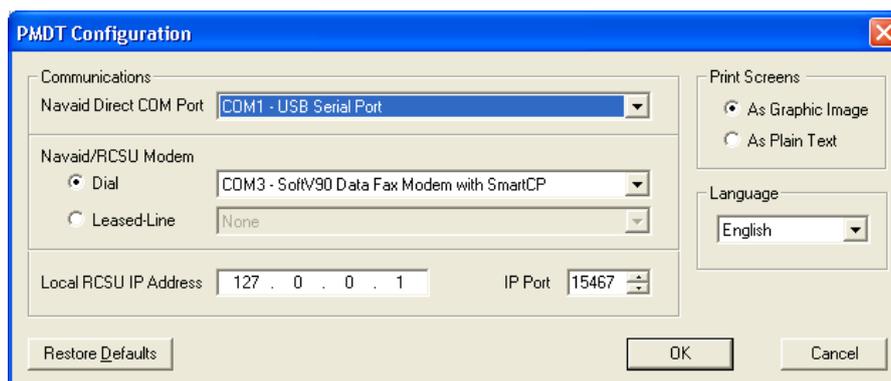


圖 1-4-1 PMDT 設定圖

完成設定便可連接 DME 主機，在 SYSTEM->CONNECT->NAVAID->DIRECT 的頁面下，如下圖。

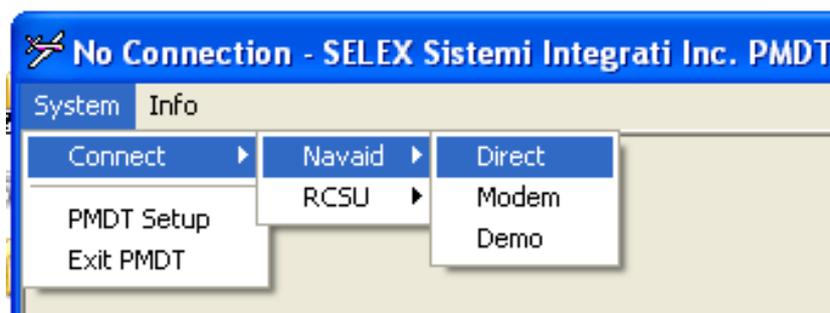


圖 1-4-2 PMDT 連線圖

如果設定正確，連線後將出現要求輸入帳號與密碼，如圖 1-4-3 所示。

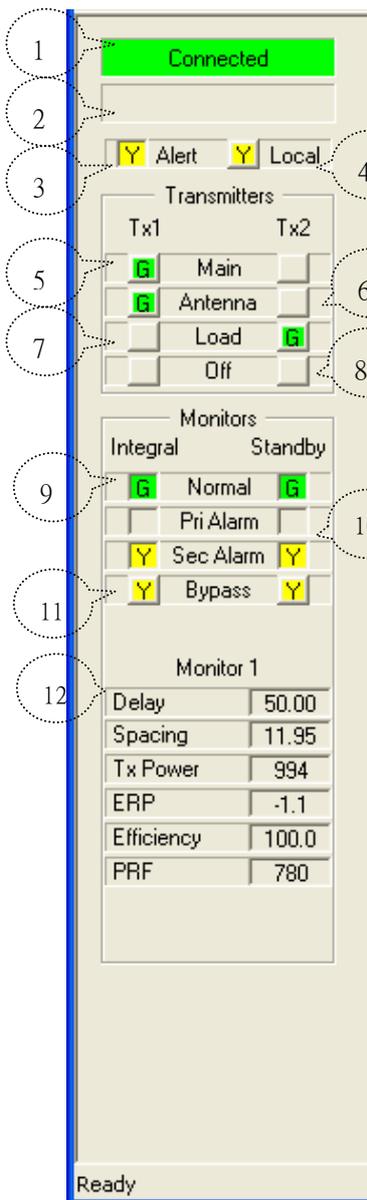


圖 1-4-3 PMDT LOGIN 圖



圖 1-4-4 PMDT 主畫面

Login 成功如圖 1-4-4 的主畫面，紅框是主要狀態顯示 BAR，文件中稱為 SIDE BAR。整理如圖 1-4-5 透過 SIDE BAR 可一目了然 DME 系統主要狀態。



1. 連線狀態指示，綠色表示連線正常至RMS
2. 應該備份指示，紅色表示要備份至EEPROM
3. 維護狀態警示，黃色表示現進入維護狀態
4. LOCAL狀態警示，黃色表示現進入本地狀態
5. 綠色G表示為主發射機，按下可改變發射機TX2
6. 綠色G表示為發射機連至天線，按下可改變發射機TX2
7. 綠色G表示為發射機連至LOAD，按下可改變發射機TX2。
8. OFF按鍵可關閉TX，紅色表示為發射機關機
9. NORMAL綠色G表示為正常
10. Pri Alarm紅色表示為主要告警 Sec Alarm黃色表示為次要告警
11. Bypass按鍵按下為監視系統旁路狀態(黃色Y)，一般運作為灰色。
12. Delay:主發射機延遲時間即時數值  
Spacing:主發射機脈波對寬度時間即時數值  
Tx Power:主發射機功率即時數值  
ERP:主要發射機有效幅射功率即時數值  
Efficiency:主發射機詢答脈波對效率即時數值  
PRF:主發射機脈波對頻率即時數值

圖 1-4-5 SIDE BAR 狀態圖

## 1-5 DME 系統干擾

前面提過航機設備故障時曾經發生持續的 Interrogator 洩漏而產生 CW，DME 系統可以透過降低 RX SENSITIVITY 而保護較接近的航機。但是 DME 所在地附近山坡，將反射產生看似合乎規格的高斯脈波

對，如圖 1-5-1 LONG DISTANCE ECHO(LDE)所示。

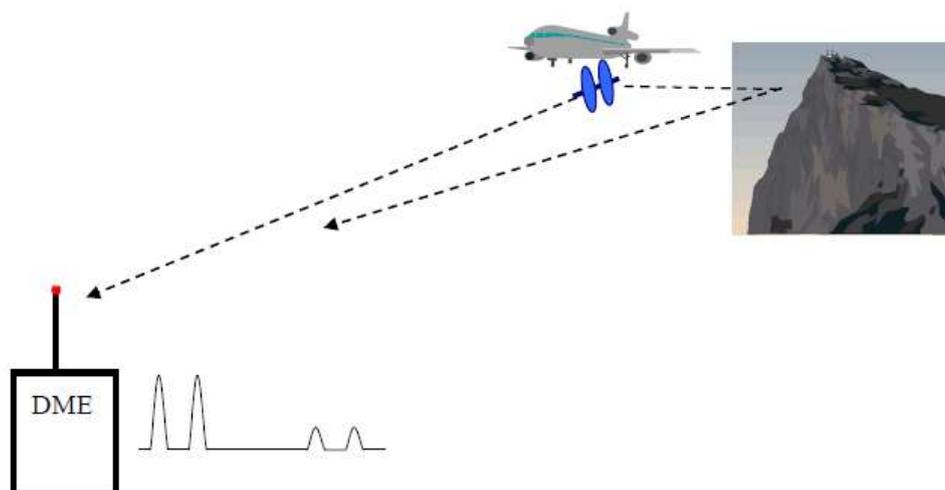


圖 1-5-1 LONG DISTANCE ECHO 干擾示意圖

被大面積山坡反射的脈波對，在一小段時間落後到達，前面提到一般 DME 並不知道接收的詢答是哪架航機，接收機解出合規格的脈波對延遲  $50 \mu s$  後 Reply，根據經驗這些 LDE 反射將導致航機顯示錯誤的距離，或是在兩到三種距離之間交互顯示，又將如何處理呢？所幸本 DME 系統對於 LDE 有軟體設定抑制。位於 Transmitters ->

Transmitter Configuration -> Nominal 的頁面下，如圖 1-5-2 LDE 抑制軟體設定圖，一般建議由  $-70\text{dBm}$  LDES Threshold， $150 \mu s$  LDES WINDOW 作為初始值。微調公式如下：

$$\text{LDES Window} = \text{SRE} * 12.36 \mu s/\text{NMI} + 10 \mu s$$

(SRE = absolute maximum slant range error reported by flight inspection in NMI)

$$\text{LDES Threshold} = -0.385\text{dBm/NMI} * \text{FUD} - 20\text{dBm}$$

(FUD = first unlock distance in NMI)

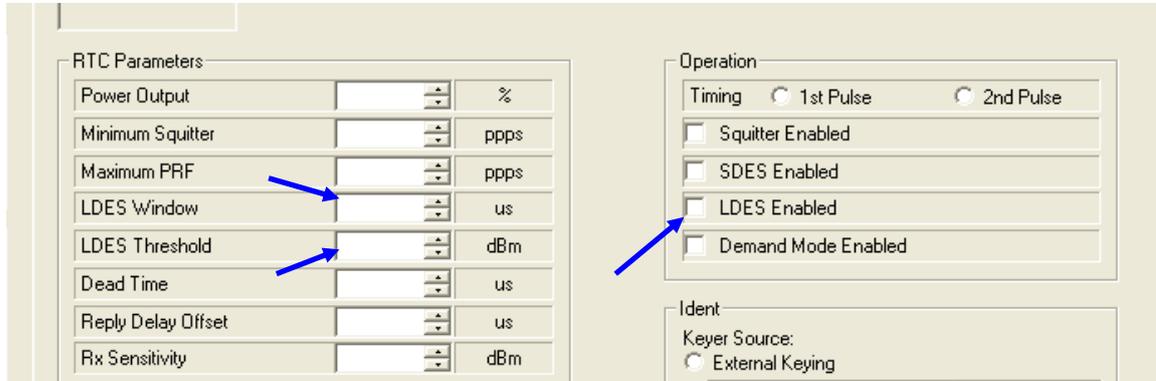


圖 1-5-2 LONG DISTANCE ECHO 抑制軟體設定圖

對 DME Traffic 負載量可以從圖 1-5-3 Transmitter RTC Data 頁面的 Traffic Load 區域顯示得知。Total Replies 加總了大於 30dBm 與小於 70dBm 的答詢，開啟 LDES 會多一列顯示 LDES Triggers 數量的即時狀態。致能 LDES 這麼好的功能當然對系統而言並非完全無代價，當 Traffic Load 達到系統負荷邊限時，DSP 要處理的資料量就有可能超過負荷。

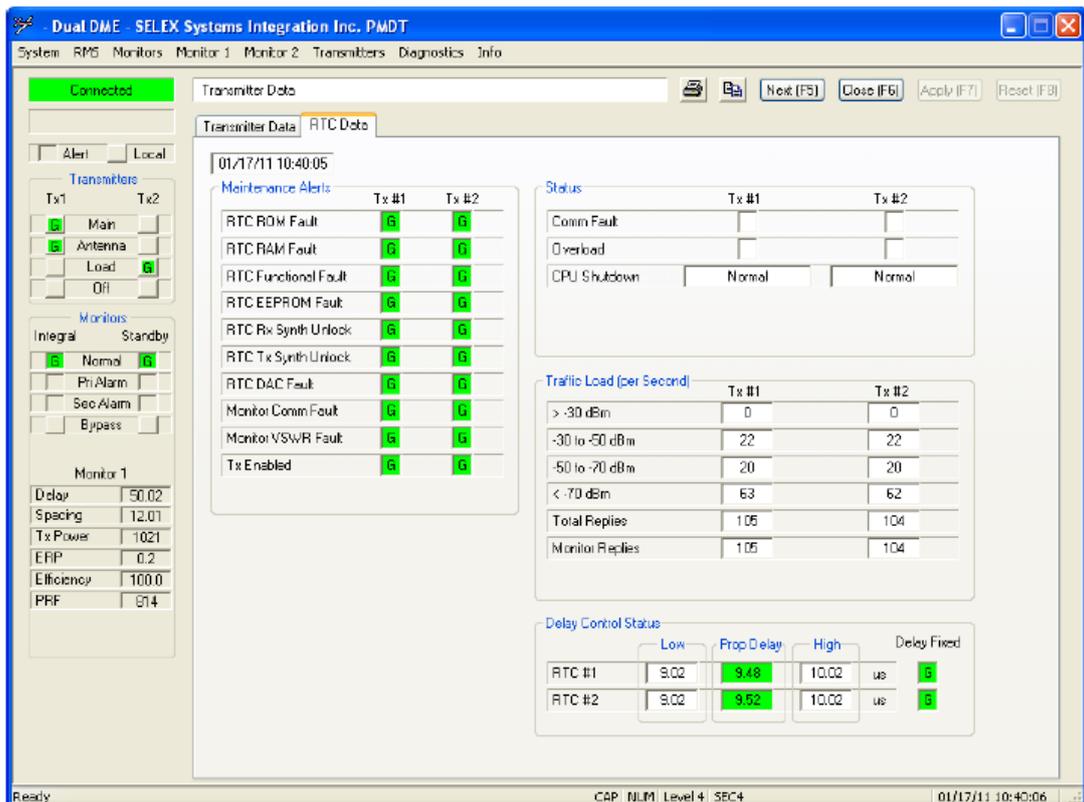


圖 1-5-3 Transmitter RTC Data 頁面

如果是 DME 近距離的物體反射，通常是因地物，如大型建築物的反射將形成 SHORT DISTANCE ECHO(SDE)。這種回波如果未與前波重疊，接收機本身可以透過 DEAD TIME WINDOW 而予以忽略，不影響 DME 接收機。但是迴波如果與前波重疊，如圖 1-5-4 SHORT DISTANCE ECHO 示意圖，將導致 DME 回復 SDE 回波，使得於 X CHANNEL 的 DME 有誤差 1 NM 的錯誤值，Y CHANNEL 有誤差 3 NM 的錯誤距離在航機上交互顯示，或是使近端航機 UNLOCK。拜數位化控制之賜，勾選 SDES Enable 將致能 DME 內 SDE 抑制邏輯，而達到抑制 SDE 干擾的現象。

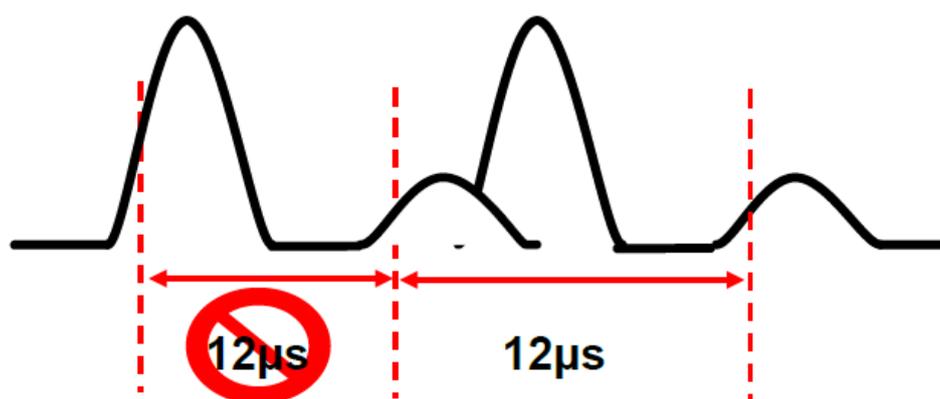


圖 1-5-4 SHORT DISTANCE ECHO 示意圖

## 第二章 Doppler VHF OMNIDIRECTIONAL RANGE (DVOR)

### 2-1 DVOR 系統簡介

多向導航臺(VOR)提供航機以磁北方向為參考點的方位資料，如圖 2-1-1 航機上的指示器，航機駕駛員依據此座艙儀表指示，循已選定之輻向飛航，飛向(TO)或背向(From)多向導航臺，就可以達成航路的指向或者是航機終端進場的指向。多向導航臺依其地面電臺有兩類，以  $9960\pm 480\text{Hz}$  FM 信號作為參考信號 (reference signal) 並以隨電臺方位變換相位之 AM 信號作為可變信號 (variable signal) 的傳統 VOR (Conventional VOR, CVOR)，以及利用 Doppler Effect 產生隨電臺方位變化之 FM 信號的 DVOR 多向導航臺，並依發射功率決定終端或是航路 VOR 兩大類應用。航圖上可依單獨運作的 VOR 或 VOR/DME 共址的設施找到如圖 2-1-2 的標示。



圖 2-1-1 On-board indicator

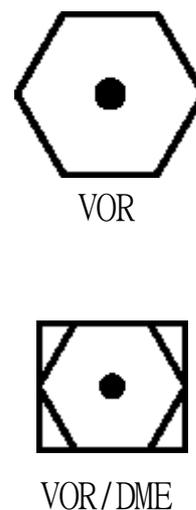


圖 2-1-2 標示

## 2-2 DVOR 信號的組成

DVOR 系統載波頻率範圍為 108~118MHz，波道間隔為 50KHz。其提供方位之信號由 30Hz 的參考信號，以及 FM 的可變信號所組成，其設計如下：

a. 參考信號 (References Signal)：是由 30Hz 之音頻信號 AM 調制到載波頻率，以無指向性天線單獨地發射，在任何方位接收到信號相位皆相同。

b. 可變信號 (Variable Signal)：是 30Hz 之音頻信號 FM 調制到  $F = F_c \pm 9960 \text{ Hz}$  如圖 2-2-1a，調制到載波頻率後，分時的對天線輪流發射信號而產生可變信號。這些天線中分別發射載波頻率加 9960 Hz 的信號稱為 Upper Side Band(USB)，發射載波頻率減 9960 Hz 的信號稱為 Lower Side Band(LSB)，在直徑 44 呎的圓形平臺(pedestal)上等間隔地配置在 48 根 sideband 天線上。

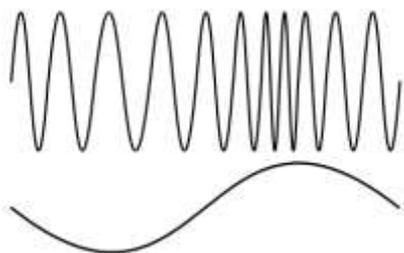


圖 2-2-1a 30Hz FM 調制  $F_c + 9960 \text{ Hz}$

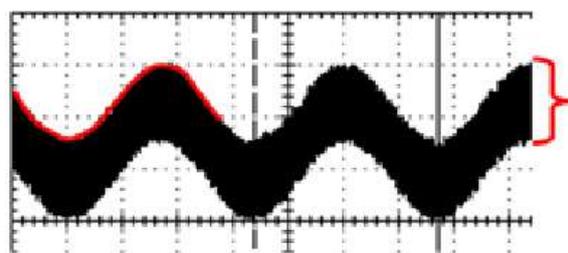


圖 2-2-1b composite 信號

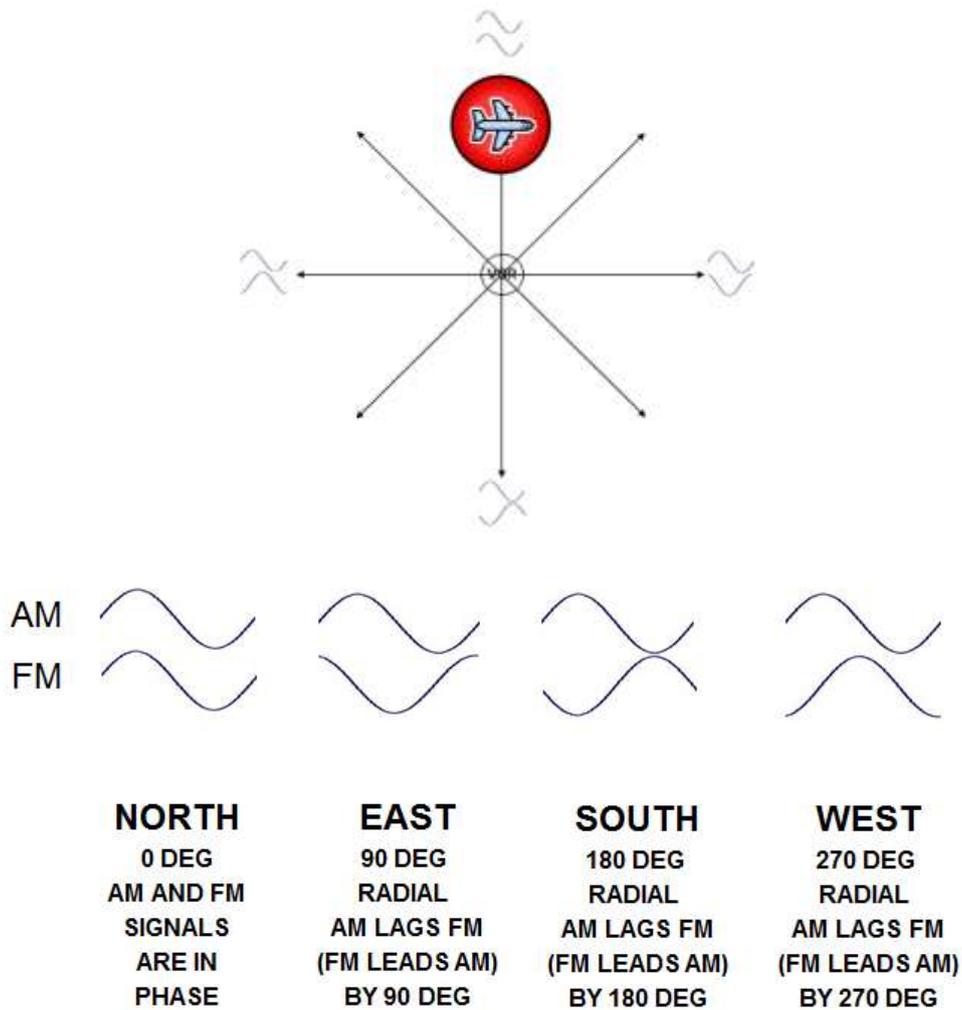


圖 2-2-2 航機解調後相位示意圖

30 Hz AM 正弦信號調變深度 30%時，如圖 2-2-1b composite 信號紅色邊(波封)，同時 9960 Hz 可變信號 FM 調變深形成帶寬，航機解調後兩信號差別在於不同方位的航機將有不同的信號相位差，如圖 2-2-2，如果航機在參考正北，解調後兩種信號相差零度，航機在東解調後 FM 信號領前 90 度，航機在南邊 FM 信號領前 180 度，航機在西邊 FM 信號領前 270 度。

DVOR 天線系統：

如圖 2-2-3 天線發射順序圖，中間的 CSB 天線發射參考信號，也一併將摩斯碼編碼的 identification 1020 Hz 調制發送。位於平臺周圍 48 個 sideband 天線依 CCW 方向編號，磁北位於 1 與 48 號天線之間。由 2 與 26 號開始發射，如圖 2-2-4 用正弦整流成可調制 sideband 信號輸出的大小波瓣。

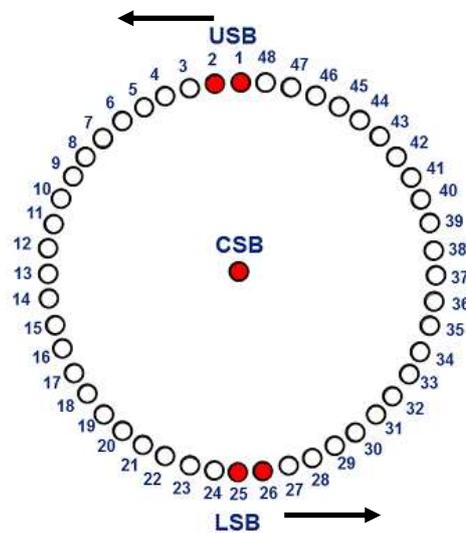


圖 2-2-3 天線發射順序圖

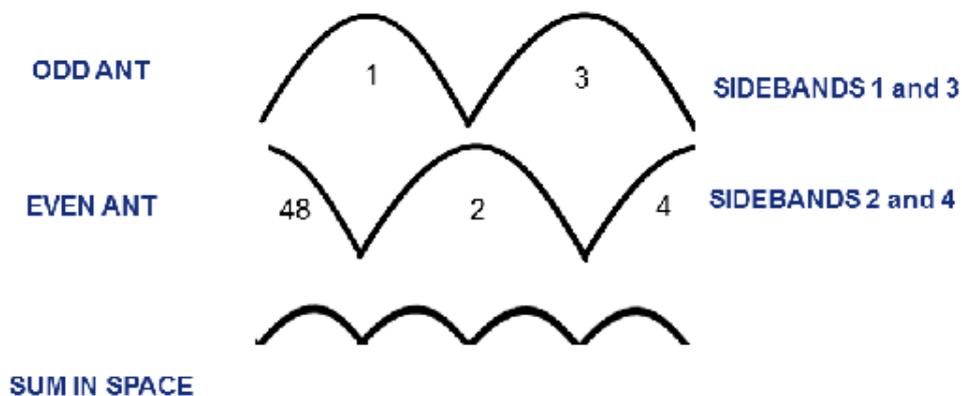


圖 2-2-4 天線發射 AM 順序圖

這些 sideband 天線實際上分成四組分別控制：

Sideband1 = at  $F_c - 9960\text{Hz}$ , amplitude modulated by rectified sine wave  
Sideband2 = at  $F_c - 9960\text{Hz}$ , amplitude modulated by rectified cosine wave  
Sideband3 = at  $F_c + 9960\text{Hz}$ , amplitude modulated by rectified sine wave  
Sideband4 = at  $F_c + 9960\text{Hz}$ , amplitude modulated by rectified cosine wave

這些天線系統在空間中合成傳播的組合信號 (composite)。由於 sideband 功率輸出依序的被正弦調整，在航機上因為 USB 與 LSB 分布於直徑 44 尺的反射平臺，於 VOR 東邊的航機會形成 USB 信號遠離，而 LSB 信號靠近，好似天線平臺旋轉的物理現象。

### 2-3 DVOR 設備組成

傳統 CVOR 以 AM 信號的旋轉來產生 VOR 電臺相角差，以平整地面為反射面，為了保持好信號涵蓋，如圖 2-3-1 的天線系統架高，選址都是建置 VOR 的一部分。例如沿天線輻射場型附近存有反射信號的地形地物時，反射結果將場型扭曲失真，進而影響信號的準確度。VOR 一般 500 公尺以內沒有樹木，臺灣的設置場所常會不得已選在非良好條件地點，此時 DVOR 成為解決方案，DVOR 改進成 FM 的可變信號與杜普勒原理的應用。

SELEX 公司所生產 1150A DVOR 機櫃外觀如圖 2-3-2 所示，雙備援系



圖 2-3-1 實際 VOR 天線系統

統架構中，1 號發射機由 Audio Generator，Synthesizer、兩塊 Sideband AMP、CSB Power AMP 板卡，以及共用的 Commutator Controller 所構成。

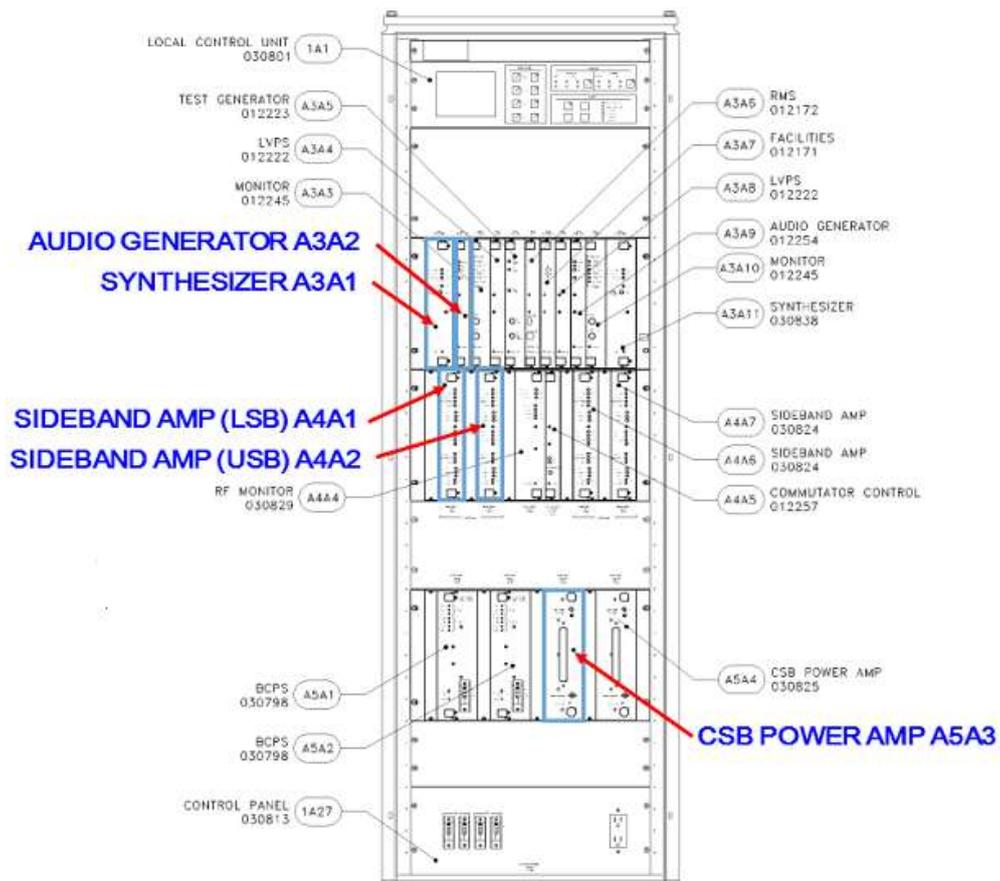


圖 2-3-2 1150A DVOR 的機櫃外觀

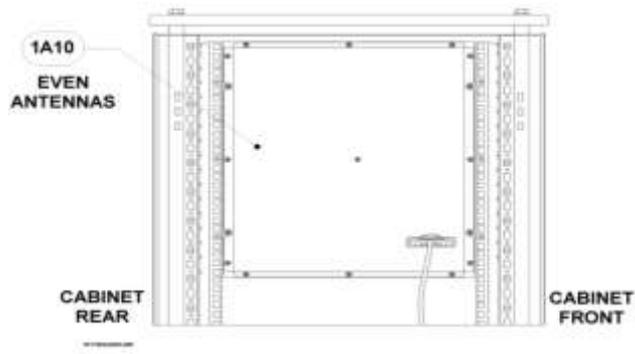


圖 2-3-3 1150A DVOR 的機櫃中繼版(左)

偶數天線接頭由圖 2-3-3 DVOR 的左邊機櫃中繼版(Commutator)構成 24 組輸出。另一邊則提供其餘 24 組奇數天線輸出。編號 A4A5 Commutator 控制板提供前述的正弦波瓣控制信號至中繼版，中繼版 PIN diode 接受 sideband 控制信號，分別切換 sideband 2、sideband 4 輸出。

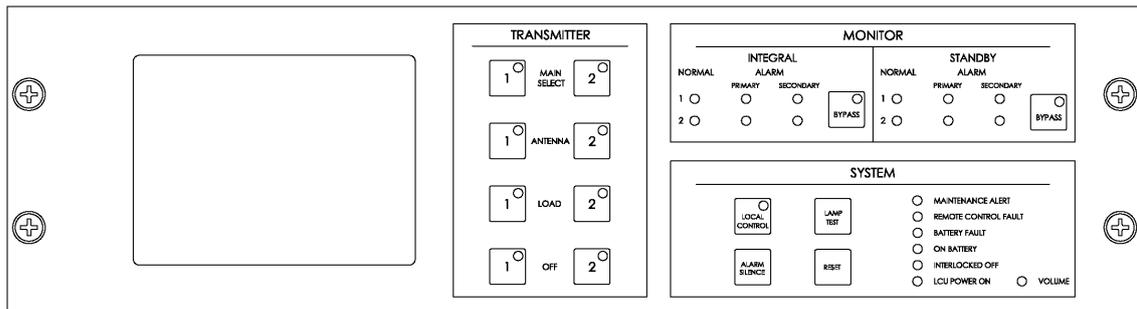


圖 2-3-4a DVOR 的機櫃中 LCU 面板

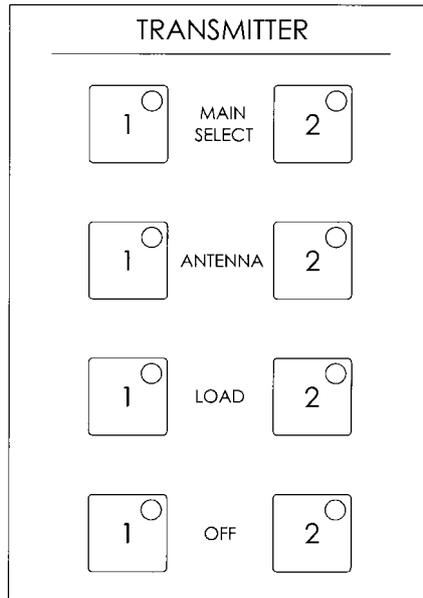


圖 2-3-4b 發射機控制切換鍵

圖 2-3-4a DVOR 的機櫃中 LCU 面板由薄膜按鍵，觸控螢幕組成。

圖 2-3-4b 發射機控制切換鍵中，MAIN SELECT 燈亮指示選擇哪一發射機是主機，並自動將此選擇連接至天線輸出(ANTENNA LED ON)。熱備援的設定下副機將連接至內部負載(LOAD LED ON)，主發射機運作如果有切換機發生將自動的使副機接至天線。副機運作如果有主告警發生將自動的 shutdown，OFF 鍵紅色燈亮。

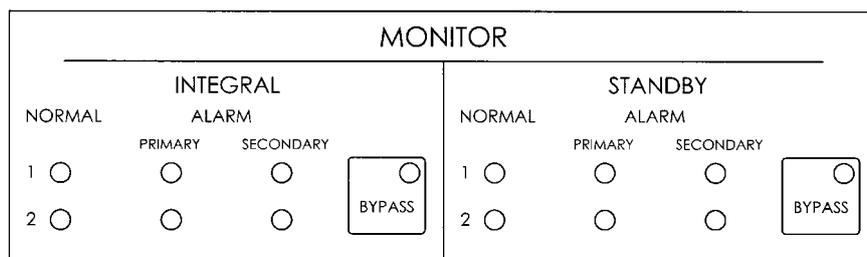


圖 2-3-4c LCU 監視器面板

圖 2-3-4c LCU 監視器面板中 PRIMARY ALARM 將導致切換機或是 shutdown 的執行，SECONDARY ALARM 告警將觸發 Maintenance Alert 告警。在現場調校的維護人員為避免無謂切換機動作將致能 BYPASS(BYPASS LED ON)使監視器抑制 Primary 告警的對應動作。

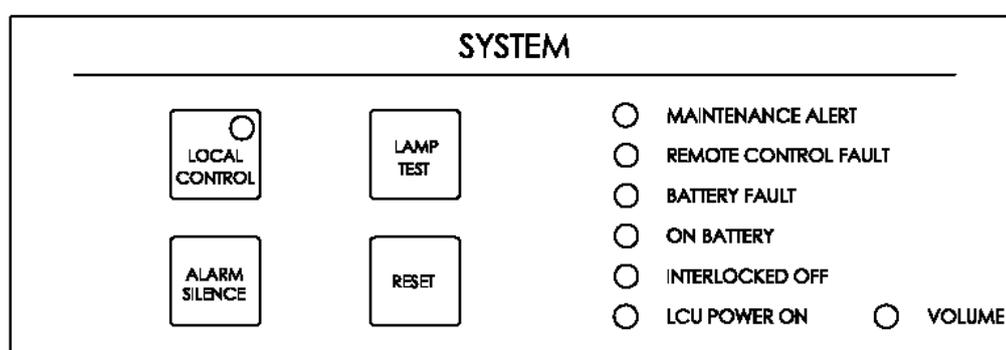


圖 2-3-4d LCU 系統指示面板

如圖 2-3-4d 系統狀態與控制圖，各開關功能如下：

1. LOCAL CONTROL: 致能本地端所有開關。
2. LAMP TEST: 燈號測試。
3. RESET: 系統重置。
4. ALARM SILENCE: 強制關閉告警音 (TURN OFF ALARM TONE)，直到下一次告警邏輯致能。

各 LED 燈號意義：

MAINTENANCE ALERT: 維護模式告警。

REMOTE CONTROL FAULT:遠端控制告警(RCSU COMMUNICATION LINK FAILURE)。

BATTERY FAULT:電池異常狀態警告(BATTERY SHORT、OPEN、SWITCH OPEN)。

ON BATTERY: 指示本設備使用電池電力。

INTERLOCKED OFF: 指示本設備與共址設備互鎖狀態。

LCU POWER ON:指示 LCU 電源已開啟。

VOLUME:告警音量。

## 2-4 DVOR 系統架構與部件

### 發射機架構

如圖 2-4-1 發射機方塊圖中，發射機主要由 CSB/Sideband AMP，Synthesizer、audio generator、Commutator Controller 所組成。影響發射機 composite 的 Azimuth Index(Azimuth Offset) 是透過圖中箭頭處 audio generator 送出兩個 timing 關係調整。

Synthesizer 產生站臺設定頻率的 CW RF。Audio Generator 產生 30 Hz 正弦信號、sideband 的 Audio Signal，audio 信號加入 DC offset，使 AMP 輸出功率。Audio Generator 也提供 360 Hz 正弦、方波信號，圖 2-4-2 方波用來將正弦負半周整流。Sideband Generator 利用此

正弦波瓣將 USB/LSB RF 調變後，產生 Sideband Only (SBO)輸出。

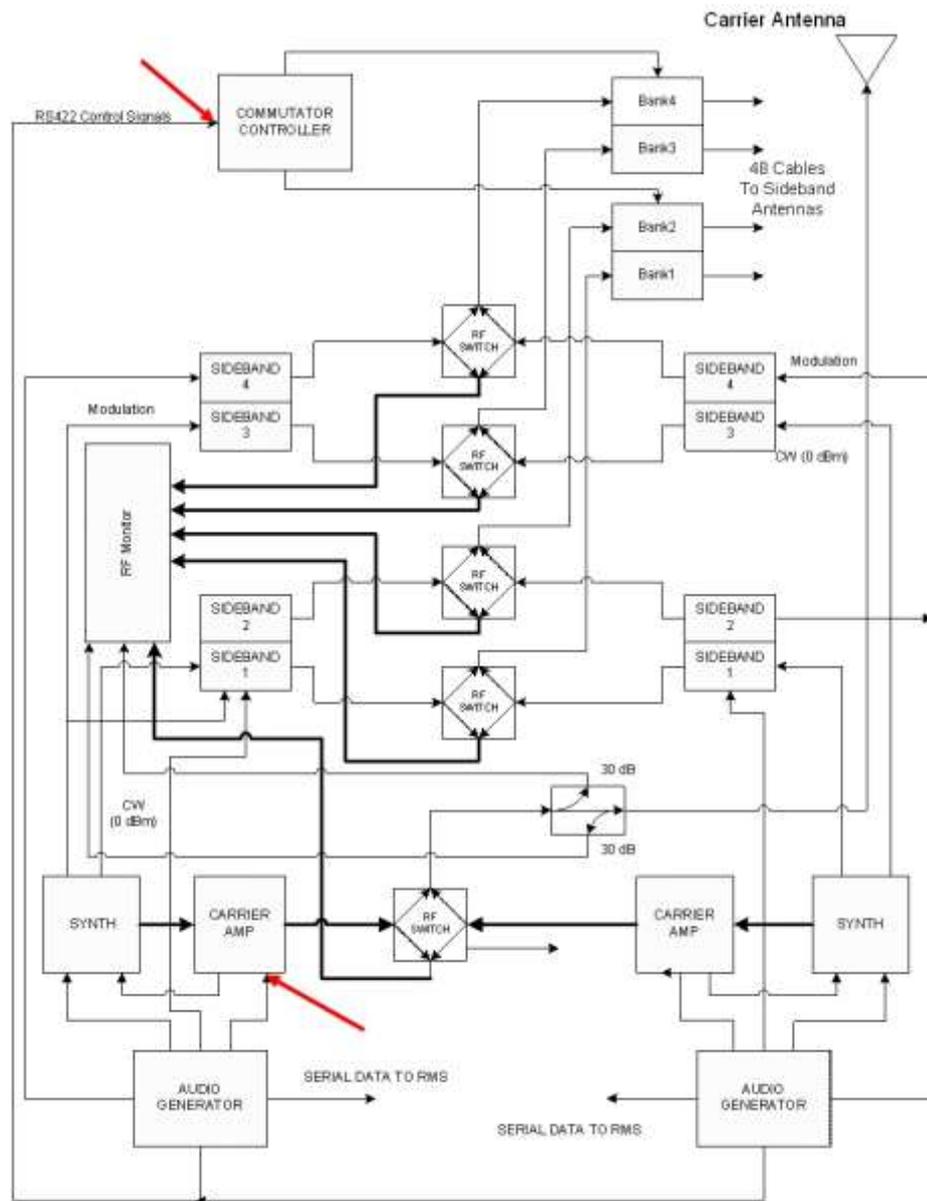


圖 2-4-1 發射機方塊圖

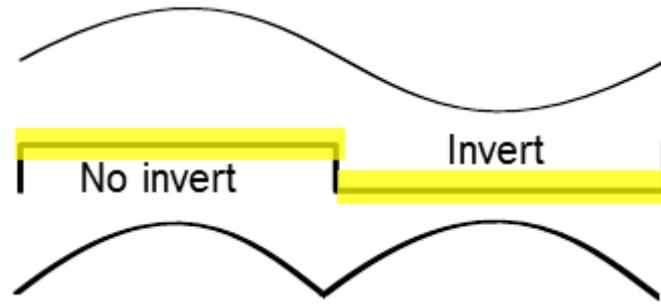


圖 2-4-2 方波整流的 360 Hz 正弦波瓣圖

## Synthesizer(頻率信號合成器)

表 2-4-1 Synthesizer 板卡面板功能

測點	功能與指示
TP0	GND
TP1	載波相位誤差電壓
TP2	載波相位控制電壓
TP3	Sideband to Carrier 相位控制電壓
J2	產生頻率的測點

如下圖 Synthesizer 板卡面板，各測量點輸出功能如表 2-4-1。



圖 2-4-3a Synthesizer 板卡面板圖



圖 2-4-3b Synthesizer 偵測狀態

如圖 2-4-3b Synthesizer 偵測狀態，Carrier Phase Error 是 Synthesizer 內部 Phase detector 將 Carrier Amplifier 回授做比較，並由 dynamic phaser 控制 dc offset 輸出至 Synthesizer 內部 Buffer amplifier 做相位調整。在可調整邊限內，透過 TP1，Carrier Phase 誤差正常輸出範圍正負 0.05 Volts DC，Synthesizer 偵測狀態軟體頁面顯示綠色燈號。控制 Buffer amplifier 的電壓正常輸出範圍是 2-8 Volts DC。

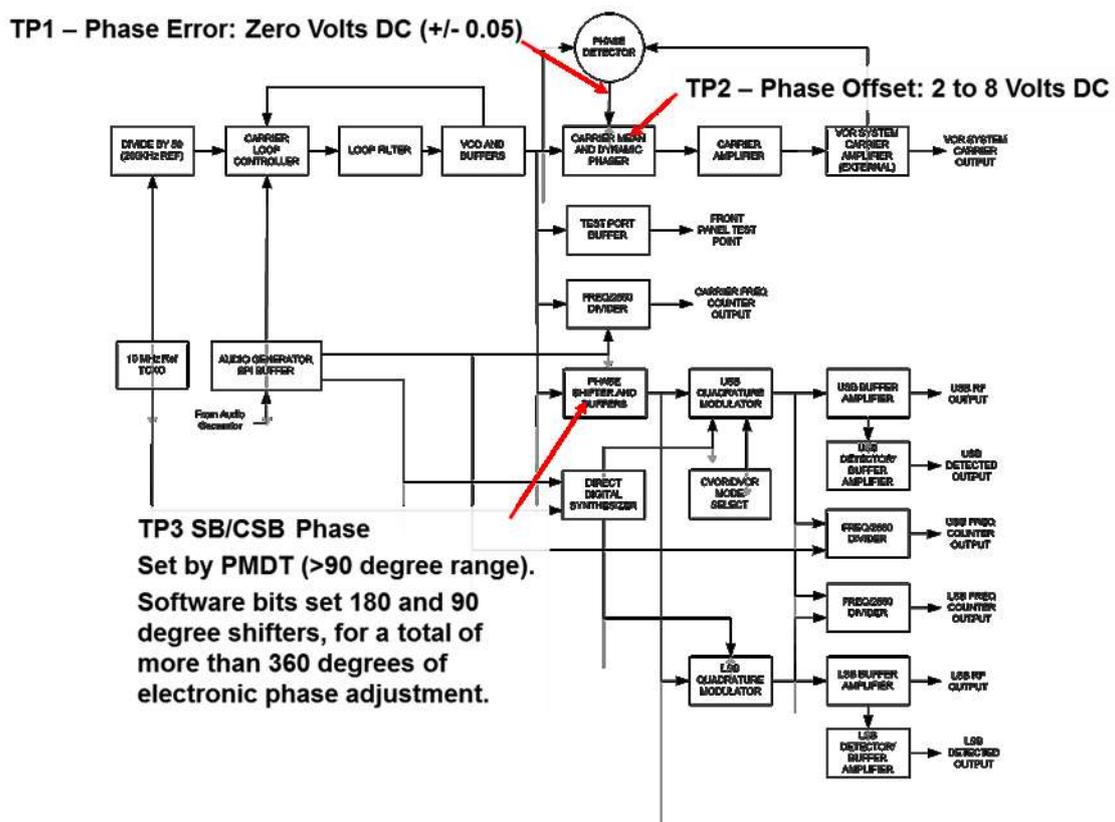


圖 2-4-4 Synthesizer 內部方塊圖

## Audio Generator

Audio generator 包含三個主要輸出，其中第一組 CSBAudio，30 Hz + 1020 Hz + Voice + DC offset。第二組 sideband，包含四個單獨 sideband 的 Audio Signal，第三組則是 Commutator 的控制信號。如圖 2-4-5a Audio Generator 板卡面板圖，此板卡前面板量測點整理如表 2-4-2。在 PMDT 軟件頁面可看到此板卡重要參數，如圖 2-4-5b Audio Generator 參數狀態圖，其中 CSB power 與 SBO RF Level 輸出百分比調整 DC offset 使其影響兩組發射機輸出，Azimuth Index 則調整 audio 輸出的時序，注意到此頁面的參數同時影響兩機。

表 2-4-2 Audio Generator 板卡面板功能

測點或燈號	功能與指示
TP0	GND
TP1	載波調制信號
TP2	音頻調制信號
TP3	示波器同步
CPU OK	綠色 LED ON 表示板卡內 cpu 自我測試正常

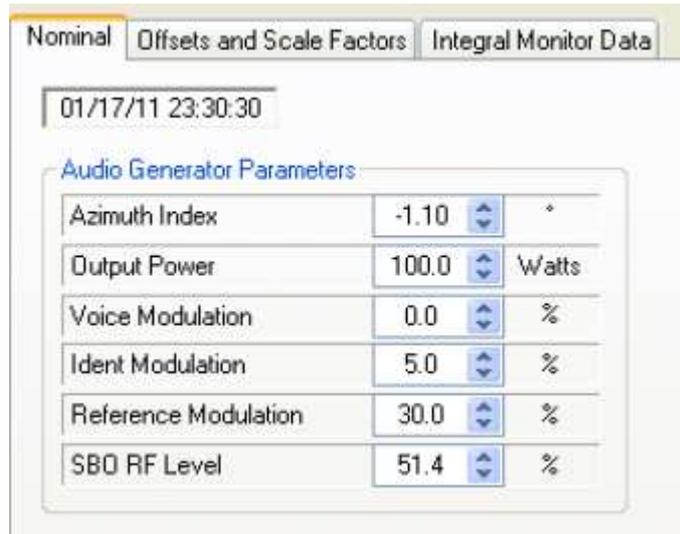


圖 2-4-5b Audio Generator 參數狀態圖

圖 2-4-5a Audio Generator 板卡面板圖



表 2-4-3 Carrier Amplifier 板卡面板功能

測點	功能與指示
P1	CSB RF amp 信號取樣輸出
Detected CSB	Amp 偵測輸出，是觀察調制與功率的測點
Power ok LED	供應 amp 的直流電壓狀態是否在容許範圍



圖 2-4-6a Carrier Amplifier 板卡面板



圖 2-4-6b Monitor 板卡面板

## Monitor 板卡

Monitor 板卡內含接收機與微處理器，負責偵測 PMDT 所設定的告警值。如圖 2-4-6b Monitor 板卡面板，J3 測試信號輸出可由 PMDT 軟體頁面 test signal output 選擇 Integral composite/test generator/Carrier Forward Power 等信號，J2 測點提供自動同步信號。其餘指示信號整理如表 2-4-4 Monitor 板卡面板功能。

表 2-4-4 Monitor 板卡面板功能

MON 面板狀態	功能或狀態描述
Integral Primary Alarm LED	紅燈亮表示主發射機的 MONITOR 數值超過了主要告警限制值。
Integral Secondary Alarm LED	黃燈亮表示主發射機的 MONITOR 數值超過了次要告警限制值。
Integral Pre-Alarm LED	黃燈起時表示主發射機的 MONITOR 數值超過鄰界告警限制值。

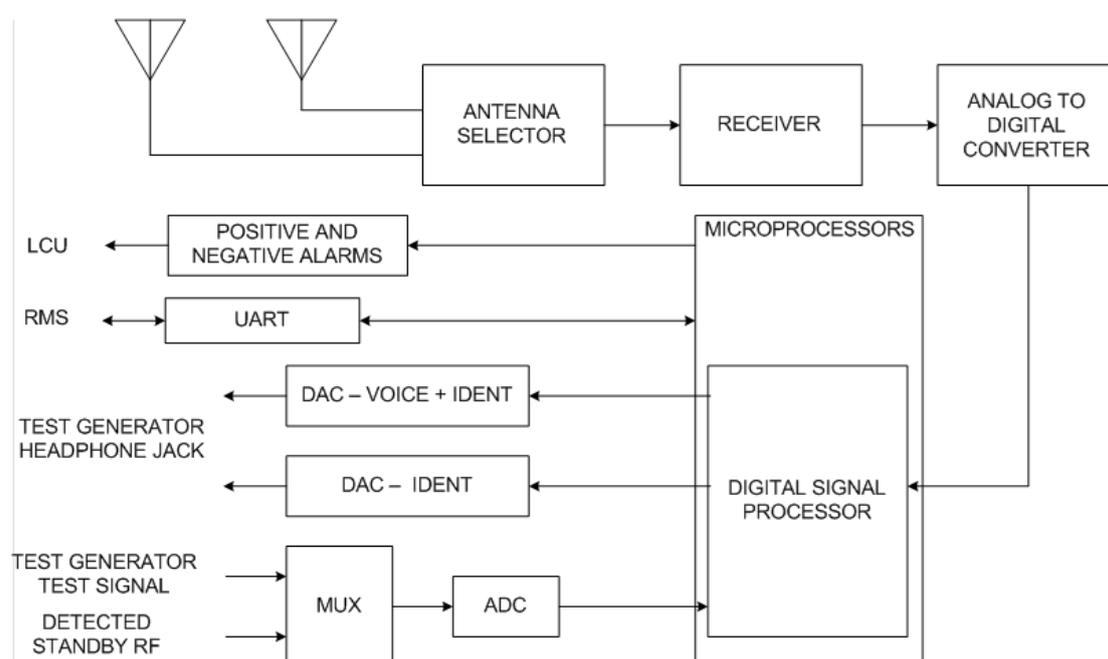


圖 2-4-7 Monitor 方塊圖

如圖 2-4-7 Monitor 方塊圖中透過正與負兩種觸發信號通知 LCU 各種告警，此設計可避免傳輸過程中干擾能量導致誤告警。主機透過如圖 2-4-8b 的 Monitor antenna、副機透過 Standby RF 偵測，同時被處理機檢視著如圖 2-4-8a 的各項參數。

	Alarm Low	PreAlarm Low	Data	PreAlarm High	Alarm High	
Antenna #1 Azimuth	359.00	359.10	359.99	0.90	1.00	°
30 Hz Modulation	28.0	28.5	30.0	32.0	32.5	%
9960 Hz Modulation	28.0	28.5	29.9	31.5	32.0	%
9960 Hz Deviation	15.00	15.20	15.60	16.30	17.00	Ratio
RF Level	-3.0	-1.0	-0.1	2.5	3.0	dB
Ident Modulation	2.0	4.0	8.2	9.0	10.0	%
Ident Status			Normal			
Ident Code			TST			
Tx Power	50.0	75.0	103.1	125.0	130.0	Watts
Tx Frequency			113.0000			MHz
Tx Frequency Error	-20	-18	0	18	20	ppm

圖 2-4-8a Monitor 頁面的各項參數

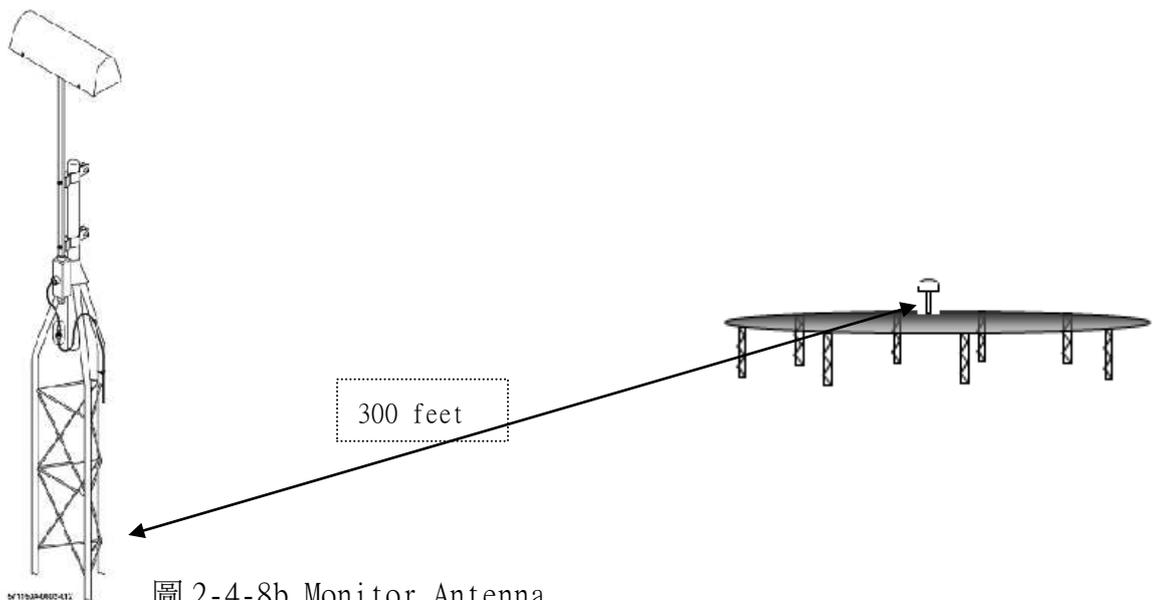


圖 2-4-8b Monitor Antenna

其中 Antenna 方位角是 Monitor Antenna 安裝於 300 呎外的天線。在這個例子是天線安裝於磁北方所接收的信號。RF Level 是天線接收的功率位準參考，經過校正值應為 0dB。

Monitor 系統可以彈性的為了管理而設定告警值。在 Monitors-> Configuration->Alarm Limits 頁面下如圖 2-4-9 Monitor 告警參數

頁面所示，Alarm Limit 一般要符合標準規範，而 Pre-Alarm Limit 則可依使用者定義產生次要告警，一般建議值是 75% Alarm Limit。

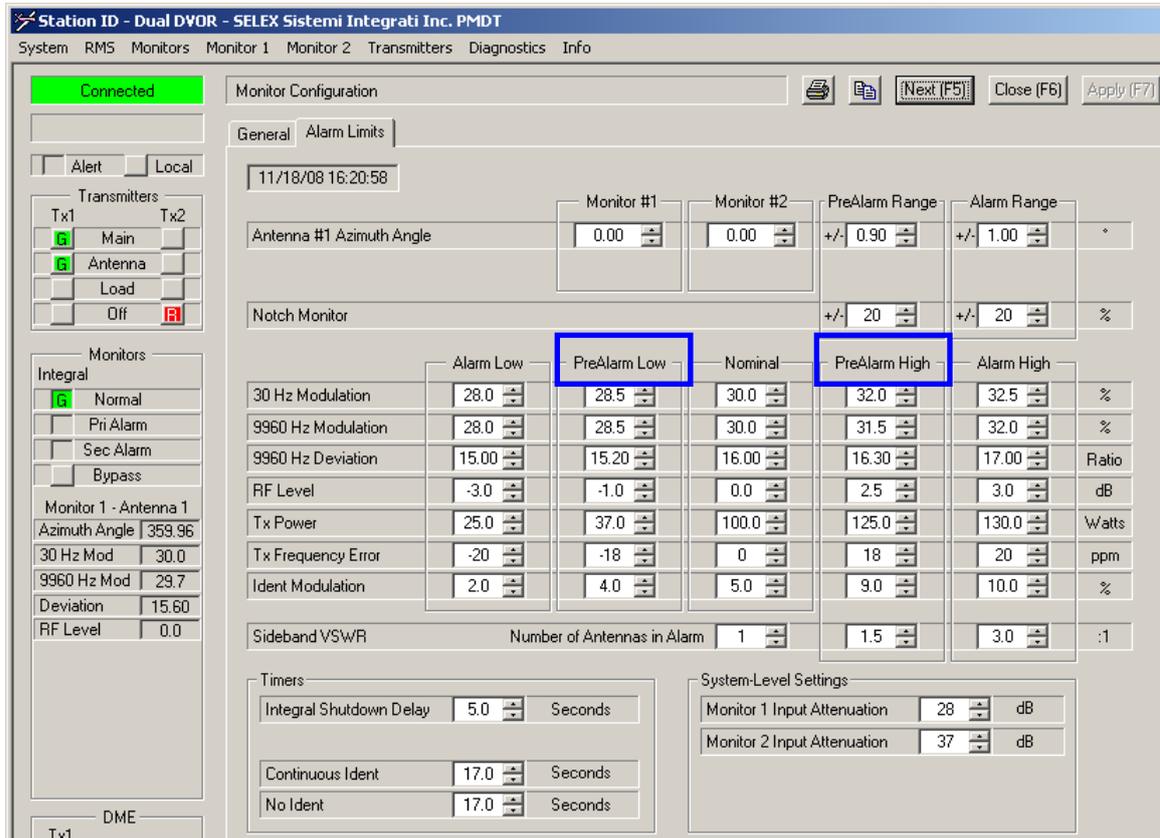


圖 2-4-9 Monitor 告警參數頁面

## 2-5、PMDT 軟體及操作介紹

PMDT 軟體 icon 如圖 2-5-1b 所示，透過 SERIAL 介面與 DME 設備 RMS 卡或是 RCSU(REMOTE CONTROL STATUS UNIT)通訊的一套應用程式。執行後需要先設定通訊界面，如圖 2-5-1a 所示。

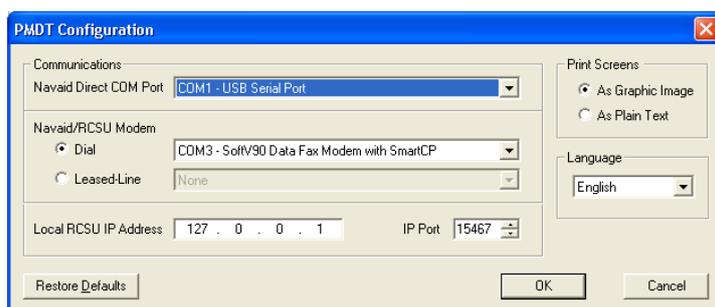


圖 2-5-1a PMDT 設定圖

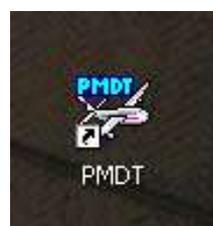


圖 2-5-1b PMDT Icon

如果透過 RCSU 連線不成功，注意到機櫃後方背板的設定是否將 RCSU 數據機功能開啟，或是現場人員連接 RMS Login 後如圖 2-5-2 可看 DIP Switch 設定狀態。

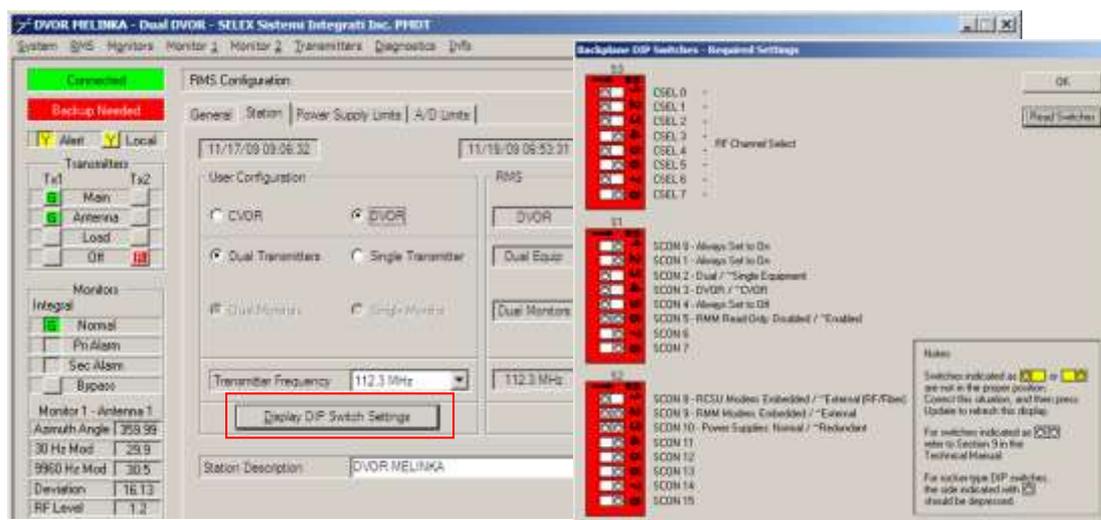


圖 2-5-2 DIP Switch 狀態按鈕

現場人員連接 RMS 完成設定便可連接 DME 主機，在 SYSTEM->CONNECT->NAVAID->DIRECT 的頁面下，如下圖。

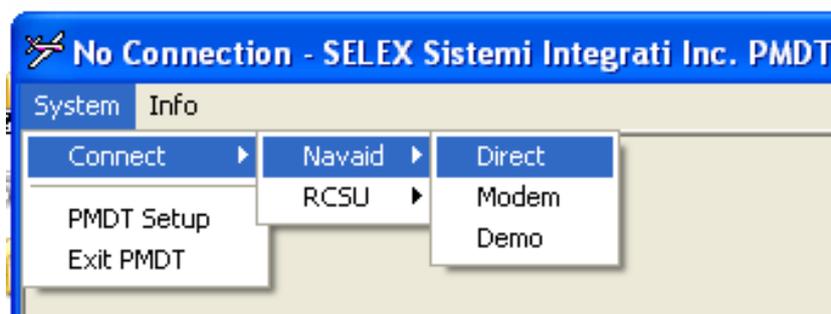


圖 2-5-3 PMDT 連線圖

如果設定正確，連線後將出現要求輸入帳號與密碼，如圖 2-5-4 所示。



圖 2-5-4 PMDT LOGIN 圖

LOGIN 成功如圖 2-5-5 的主畫面，左邊主要狀態顯示 BAR，可一目了然 DVOR 系統主要狀態。整理主要狀態顯示 BAR 意義如圖 2-5-6 所示。

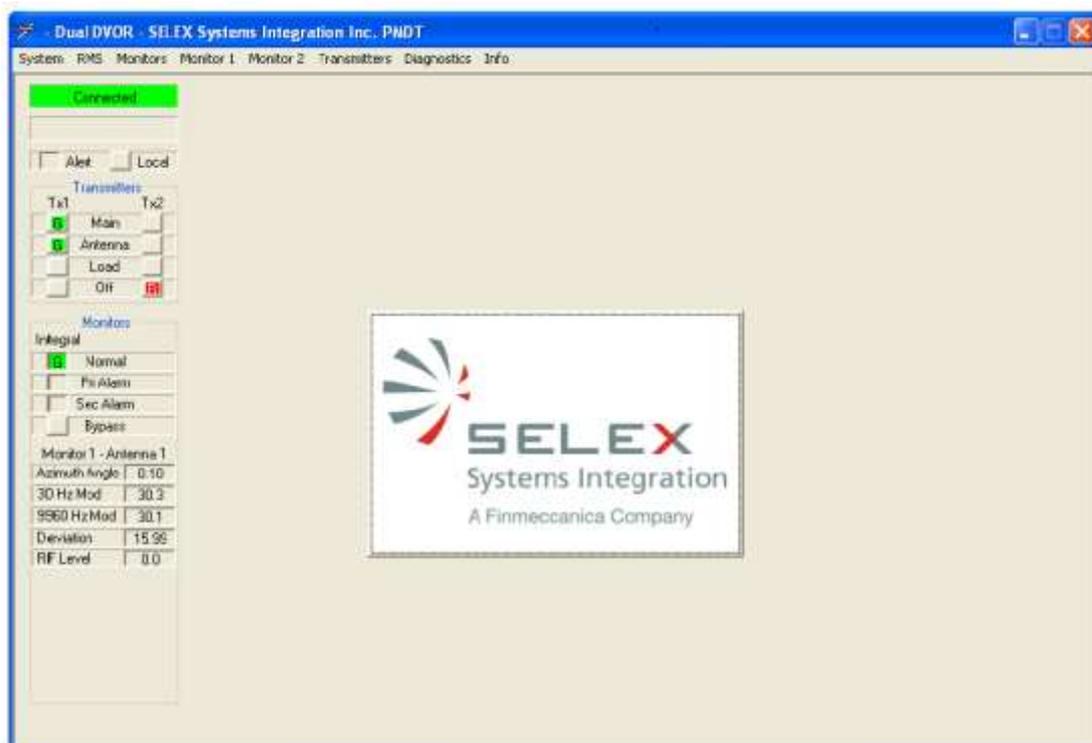


圖 2-5-5 PMDT 主畫面

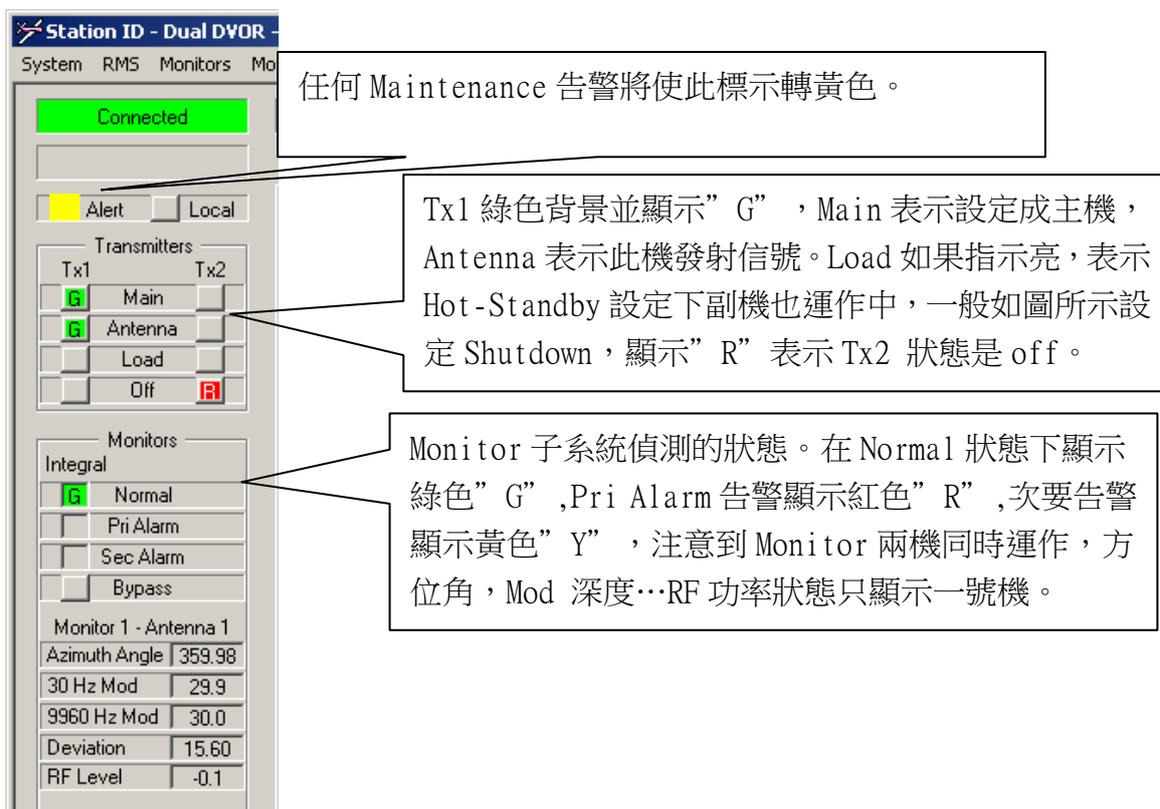


圖 2-5-6 PMDT 主要狀態顯示 BAR

## 四、心得與建議：

### 心得

筆者能有幸奉派參加此訓練，實為資深同仁謙讓，受長官肯培養之恩澤。幸與家人討論後得到支持，克服萬難接受了奉派，只望不負上級給予這次難能可貴的機會，並戰戰兢兢的加強聽力，複習平日少用的英語會話。11 月適逢臺灣剛加入免簽證國家生效，美國運通的旅助也無經驗可奉告，於是在護照上並無原有的美簽註記。在 LA 轉機的時候因美國加強出入境管制，LA 海關官員一開始並不接受入境，一番解釋後幸好海關官員看了帶在身上的臺灣證件，有驚無險的准許入關。

美國堪薩斯州位於美國國土地理位置中間，原是一農業大州，在十一月這段期耶誕節前夕往年已是一片銀色大地，筆者也遇到因下雪導致高速公路上煞車不及，輪子陷入路旁水溝等待拖吊的旅店掌櫃。在當地雪地駕車以沒經驗的臺灣客來說非常危險。講師 Virgil 也叮嚀如果早上起來發現路面冰封可以 Call 他接送，所幸今年降雪嚴寒日期延後至 12 月底，路滑期間只有一日 Call 他接送，原是經理的 Virgil 看不出架子，看的出來有替客戶設想到。這段期間講師 Geoff 從課堂上的專業知識傳授，涵蓋下課用餐購物等生活瑣碎都能面面俱到。出國前對於 DME/VOR 設備原理稍有初淺認識。講師能深入淺出的

由原理、設備架構、應有的規範、性能等有條理的介紹，一直到能讓筆者能夠操作設備、量測相關參數等，受訓期間很 enjoy(樂於其中)，課程到後來提問的問題，講師就算不能回答也很有耐性即刻打電話給開發設備的工程部協理及時解惑。

出國這段期間遇到問題，回報長官後得到完全的協助，這是一個遠在外國受訓人員得到最溫暖而將永感在心的事。

## 建議

1. 拜科技進步所賜，助導航設備大量採用微處理器、FPGA/PLD 等大型積體電路元件設計，電路板上的架構日益精簡及模組化。現今維護工作除了需要使用示波器、電表、烙鐵外，技術演進下更須加強系統原理、裝備架構及網路通訊的概念，設備維護以 LRU (Line Replacement Unit) 為主，零件檢修為輔，因此備份零組件充裕與否，關係日後搶修效率高低。現今總臺助導航設備採購均含二分之一備份零組件採購，除可建立完整備份件庫存外，亦可降低日後備份件採購成本，免於原廠代理商報價過高。建議此採購模式可推展至其它設備採購，即主設備與備份器材一併納入採購規範辦理招標。
2. 本次訓練原廠採理論配合實務操作方式教學，講師會配合課程需要，於訓練教室提供同型設備及附屬儀表供學員操作練習。因目前系統大量運用微處理器，故裝備系統設計已模組化，裝備卡片電路由於積體電路的大量簡化後，維修部份已不若以往需大量分析各電路區塊原理，取而代之的是功能性驗證各模組及系統參數設定的技巧與影響，惟軟體的參數設定與操作有賴實體裝備方能實現演練。航電人員因無離線的訓練裝備，現場裝備亦因上線使用無法實機操作練習，以致訓練成效侷限於理論講解。總臺已規

劃於清泉崗機場設立訓練中心及採購訓練裝備，便於航電同仁訓練時能模擬故障維修及實機操作，以期快速提升人員專業技能，達到預期的航電培訓成效。鑒於訓練設備採購囿於預算編列及採購時程費時，建議訓練中心除採購新訓練裝備外，短期亦可將汰除之助導航、雷達及通信氣象裝備納入考量，如此可增加航電人員實機操作機會。

3. 國外設備製造原廠訓練係最直接、第一手的訓練方式，這樣的訓練成效影響我國航空電子從業人員日後技術傳承，助導航設備維護績效。本次受訓人員僅 1 人，在國外人生地不熟情況下生活上有諸多不便，建議日後應編列充足預算提供多人參訓，如此不僅在學習上，同仁可相互討論增進學習成效，亦能改善同仁出國意願及在外生活的照應。