

出國報告（出國類別：實習）

「汰換後龍、綠島、恆春及西港  
VOR/DME 設備案各乙套出國訓練」  
出國報告書

服務機關：民用航空局飛航服務總臺

姓名職稱：許敦智（工務員）

郭百祥（工務員）

賴永達（工務員）

陳春生（工務員）

派赴國家：美國堪薩斯

出國期間：108/9/7~108/10/4

報告日期：108/11/13

# 目錄

壹、目的.....	2
貳、過程.....	3
參、內容.....	4
測距儀 (Distance Measuring Equipment , DME) .....	4
1.1、工作原理 .....	4
1.2、MODEL 1118A/1119A DME 硬體架構.....	16
1.3、DME 信號傳送流程.....	19
特高頻多向導航臺(VHF Omni-directional Range , VOR) .....	21
2.1、VOR 介紹 .....	21
2.2、C-VOR 工作原理.....	21
2.3、D-VOR 工作原理 .....	30
2.4、VOR 模組卡片介紹 .....	33
肆、心得與建議.....	40

## 壹、目的

本採購案係汰換後龍、綠島、恆春及西港等四處站臺 VOR/DME 各乙套，其中除綠島採購 C-VOR 外，其餘站臺均購置 D-VOR；依合約規定，由本總臺派遣航電維護人員參加工廠訓練，並由得標廠商(設備製造原廠 SELEX Systems Integration)執行訓練課程；本次訓練目的為藉由原廠教官親自授課，以及學員親自操作原廠訓練用設備，使本總臺受訓同仁能接受第一手資訊，正確了解設備原理、各機組件的功能，更能在原廠經驗傳授與親自操作設備的過程中，充份學習如何故障排除，藉此提升參訓學員的技能。同仁完訓後並可將這份寶貴的經驗與知識帶回本總臺，與未參與原廠受訓的航電維護同仁分享、傳承，共同為提升航電人員維護設備的技術努力，更為我國飛航服務奉獻一份心力。

## 貳、過程

### 一、參與人員：

許敦智 民用航空局飛航服務總臺  
桃園裝修區臺助航機電臺工務員

郭百祥 民用航空局飛航服務總臺  
高雄裝修區臺南助航臺工務員

賴永達 民用航空局飛航服務總臺  
高雄裝修區臺恆春助航臺工務員

陳春生 民用航空局飛航服務總臺  
臺東裝修區臺臺東助航臺工務員

二、日期：民國 108 年 9 月 7 日至民國 108 年 10 月 4 日。

### 三、行程：

108 年 9 月 7 日：去程搭乘長榮航空班機，由桃園國際機場飛抵美國洛杉磯國際機場，再轉搭美國航空班機前往芝加哥奧海爾國際機場。

108 年 9 月 8 日：由芝加哥奧海爾機場轉搭美國航空班機至堪薩斯國際機場。

108 年 9 月 9 日~ 108 年 10 月 2 日：於 SELEX 訓練中心進行為期 25 天之 VOR/DME 設備訓練。

108 年 10 月 3 日：回程搭乘美國航空班機，由美國堪薩斯國際機場起飛經丹佛國際機場抵達舊金山國際機場。

108 年 10 月 4 日：由舊金山國際機場轉機搭乘長榮航空班機返抵桃園國際機場。

## 參、內容

### 測距儀 (Distance Measuring Equipment, DME)

#### 1.1、工作原理

測距儀 (Distance Measuring Equipment, DME) 系統由航機上機載設備 (Airborne Transceiver / Interrogator) 與地面電臺所構成。測距儀主要的功能為提供航機與地面電臺 (Ground Station) 距離資料，當航機上機載設備 (Airborne Transceiver / Interrogator) 發射詢問脈波對 (Interrogation) 至地面電臺，地面電臺接收到詢問脈波對後會去做信號評估辨識，假設辨識詢問脈波對是有效標準信號，會經設備延遲  $50 \mu s$  後再回傳與詢問脈波對相差  $63 \text{MHz}$  之回覆脈波對 (Transponder) 至航機之機載設備。航機藉由過去發射詢問脈波對及接收到回覆脈波對之來回旅行時間，來量測得航機與地面電臺間之斜線距離 (Slant Distance)，並以海里為單位。

航機距離計算公式如下

$$\text{Distance(nm)} = \frac{\text{Total travel time} - 50 \mu s}{12.36 \mu s / \text{nm}}$$

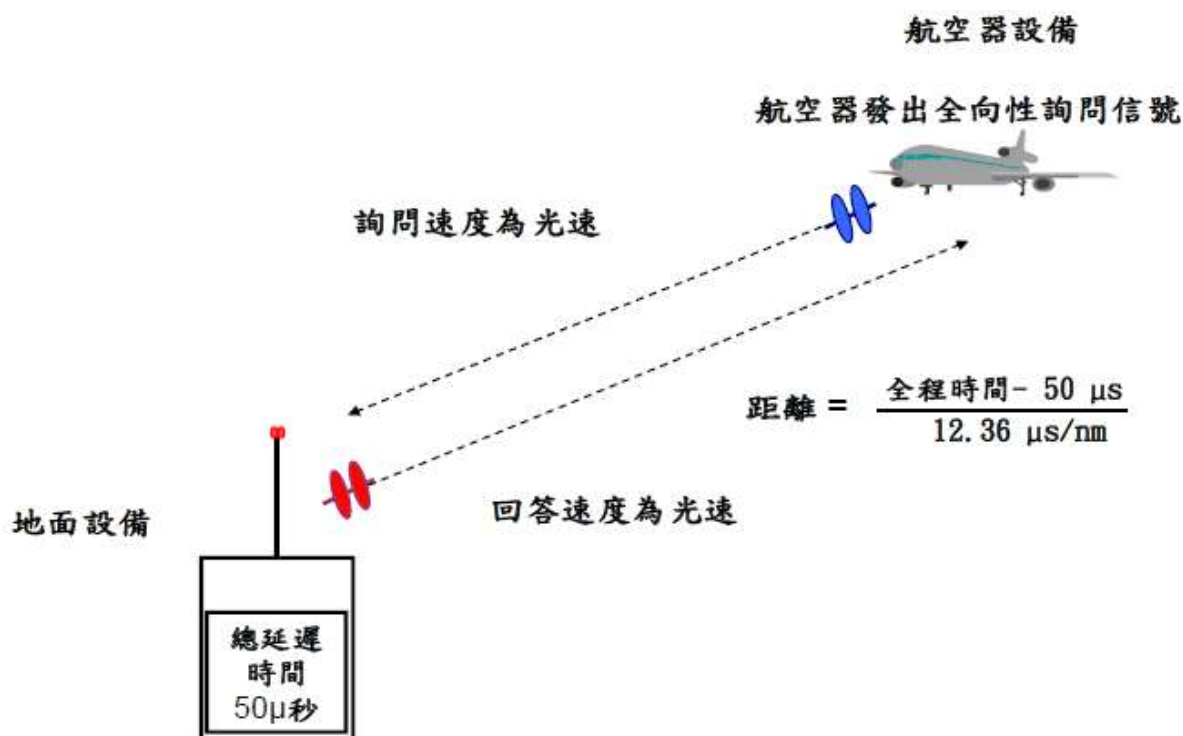


圖 1-1 航機上機載設備與地面電臺發射與接收示意圖

接收器接收天空所有詢問信號  
並辨識接收之詢問是否標準信號

確定接收之詢問為標準信號後  
延遲50 $\mu$ 秒後送出回覆信號



詢問信號

回覆信號

總延遲時間為50 $\mu$ 秒

圖 1-2 詢問脈波對 (Interrogation) 和回覆脈波對(reply pulse pair)之關係圖

下圖為航機上 DME 天線，比手掌還小。

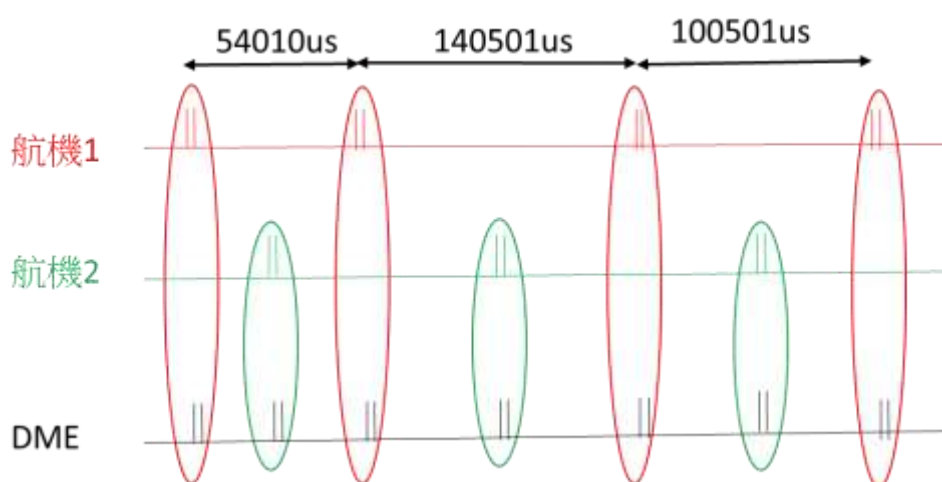


測距儀會約每 30 秒發送識別訊號 ID，目的是讓飛行員正確的識別所選的站台，航機上機載設備 (Airborne Transceiver / Interrogator) 以一固定速率發射詢問脈波對 (Interrogation) 至地面電臺，並從地面電臺接收到回覆脈波對(reply pulse pair)，詢問脈波對和回覆脈波對之間產生了一個時間對距離的關係，當航機機載設備開始發射詢問脈波對時，由於航機尚未取得與測距儀間之相對距離關係，因此航機之機載設備將提高詢問次數約 100~130PPS，稱為搜尋模式(search mode)，航機詢問數個連續的時間對距離的詢問及回覆將被航機上的詢問器(interrogator)所接收，當距離被顯示出來時，這系統的狀態被稱做追蹤模式(Track mode 又稱 lock-on)，此時在追蹤模式下，詢問次數約會降至維持在 25PPS，而其他的詢問脈波對和回覆脈波對之間時間對距離的關係不正確，則不會被系統所接受，DME 最大能夠同時被 200 架飛機詢問，1118ADME 一般會被搭配跟 ILS 或 VOR 來做為近場使用，而 1119ADME 一般會被搭配 VOR 來做為航路使用。

地面電臺 DME 接收到各航機發射過來詢問脈波對，並不會去分辨哪一個詢問脈波對是由哪一架航機所發射過來的，DME 接收到詢問脈波對，在意有兩件事情

- 1、 詢問脈波對間距  $12\mu\text{s} \pm 1.8\mu\text{s}$  ( $10.2\mu\text{s} \sim 13.8\mu\text{s}$ )。
- 2、 航機詢問頻率  $\text{DECODES FREQ} \pm 200\text{KHz}$ 。

以如下圖為例，DME 接收到航機 1 及航機 2 發射多個詢問脈波對，DME 不去分辨哪一架航機所發射過來詢問脈波對或每個詢問脈波對間隔時間多久，只要符合上述兩項要求，DME 則會接受處理詢問脈波對。



1118ADME/1119ADME 系統皆符合規範要求，共有 252 操作頻道，相鄰波道間隔為 1MHz，空對地詢問訊號傳輸，共有 126 頻道，頻道的頻率範圍為 1025MHz~1150MHz；地對空回覆訊號傳輸，共有 126 頻道，為前面 63 頻道，頻率分佈範圍為 960MHz~1024MHz，再加上後面 63 頻道，頻率分佈範圍為 1151MHz~1215MHz。

DME 系統採用脈衝編碼(pulse-coding)來作為傳輸技術，傳輸的方式是由一群已經預先排列好的脈衝群之間距(space)所組成。

對 X-Channel 而言，這詢問脈衝(interrogation pulse)對的間距和回覆脈衝(reply pulse)對的間距，兩者均為 12 usec，脈波半波寬度為  $3.5 \pm 0.5\text{usec}$ 、上升時間(10 ~90% points)為  $2.5 \pm 0.5\text{usec}$ 、下降時間(10 ~90% points)為  $2.5 \pm 0.5\text{usec}$ ，如下圖所示：

### X-Channel 詢問脈波對

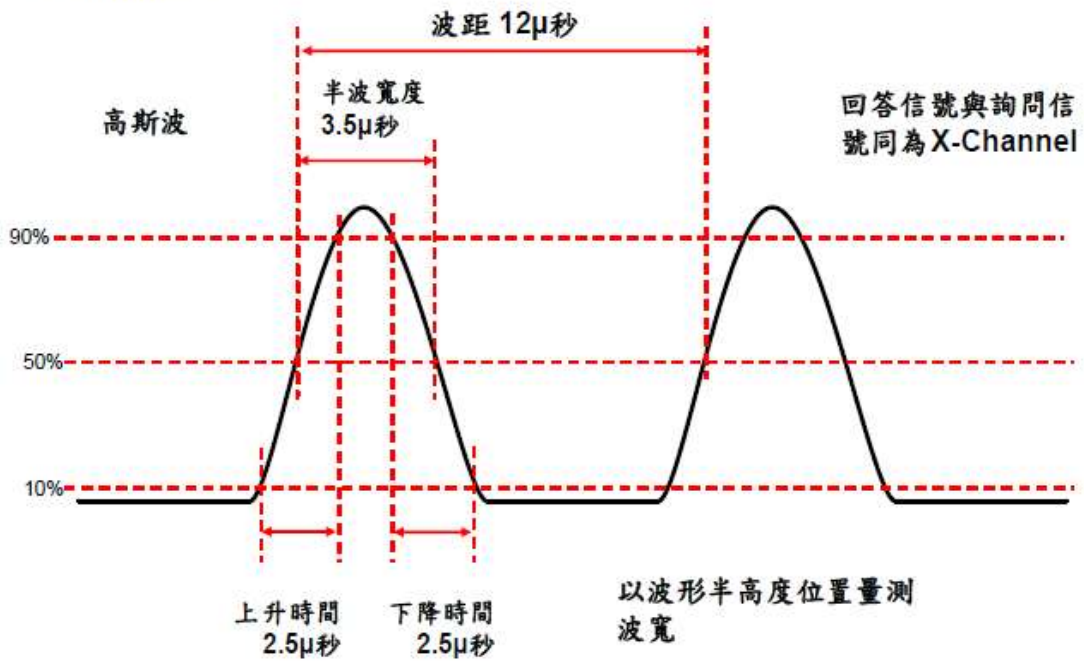


圖 1-3 X-Channel 詢問脈波對 (Interrogation)

### X-Channel 發射延遲

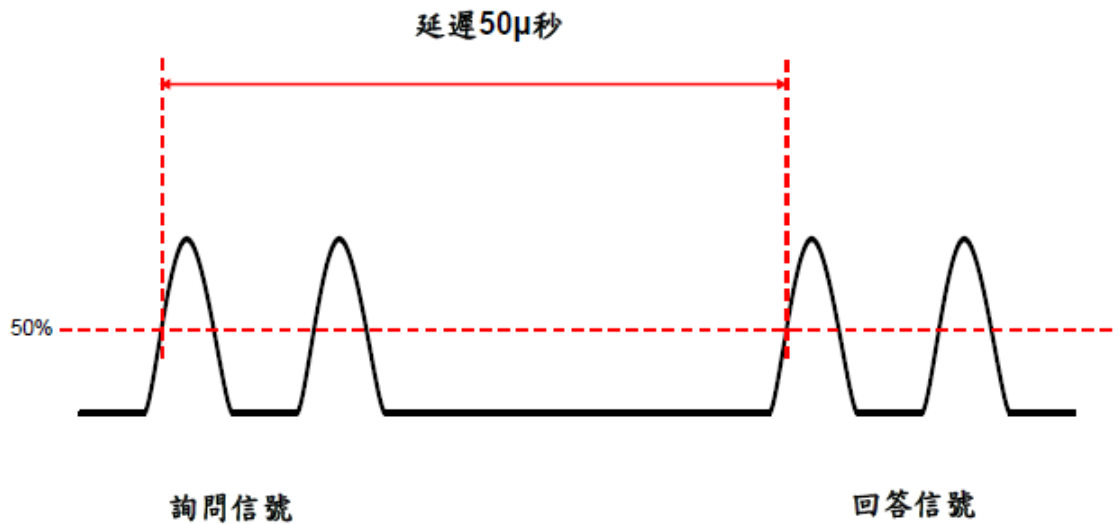
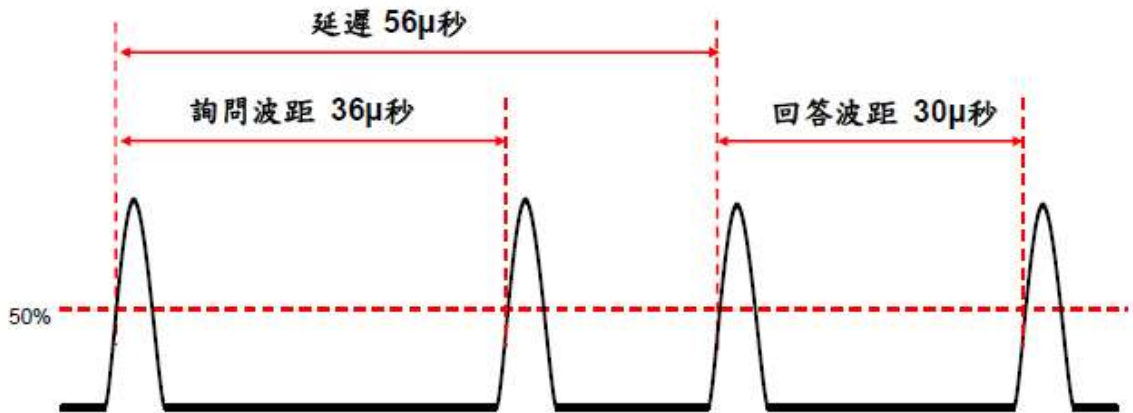


圖 1-4 X-Channel 詢問脈波對和回覆脈波對之關係圖

對 Y-Channel 而言，詢問脈衝對及回覆脈衝對之間距卻不一致，詢問脈波對(interrogation pulse pair)的間距為 36 usec，回覆脈衝對(reply pulse pair)的間距為 30 usec，而脈波半波寬度、上升時間(10 ~90% points)、下降時間(10 ~90% points)均與 X-Channel 相同，如下圖所示



### Y-Channel 脈波



波寬、上升時間、下降時間均與 X-Channel 相同

圖 1-5 Y-Channel 詢問脈波對和回覆脈波對之關係圖

X-Channel 頻道及 Y-Channel 頻道對本國來說都是可使用的，而 X-Channel 頻道數量已足夠提供本總臺做民航使用，所以將 Y-Channel 頻道規劃給軍方使用；但對於其他先進國家而言，如美國、英國境內架設 DME 站臺數量之多，以 X-Channel 頻道數量絕對無法應付所有站臺，所以在就會使用到 Y-Channel 頻道。

#### 1.1.1 隨機脈波對(Squitters)=Minimum PRF(脈波重複率) =800

測距儀DME 會保持最低脈波重複率，以讓航機自動增益控制器AGC工作更有效率，如果系統詢問訊號總數量未達到產生最低回覆率，地面站臺DME將隨機產生回覆脈波對來補足，又稱為隨機脈波對(Squitters)。

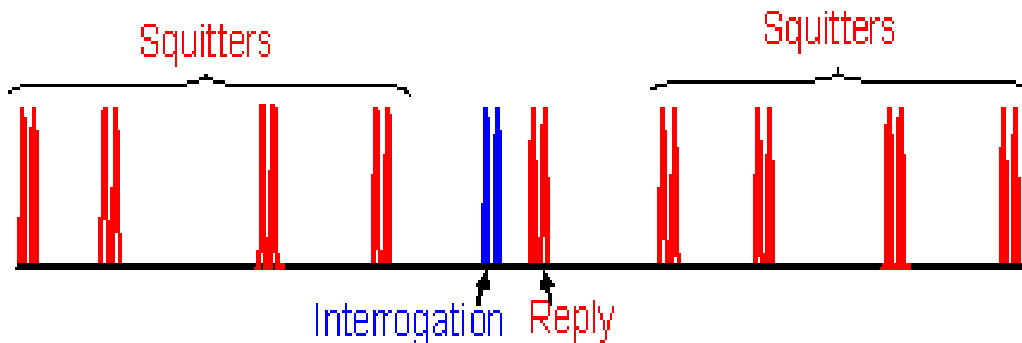
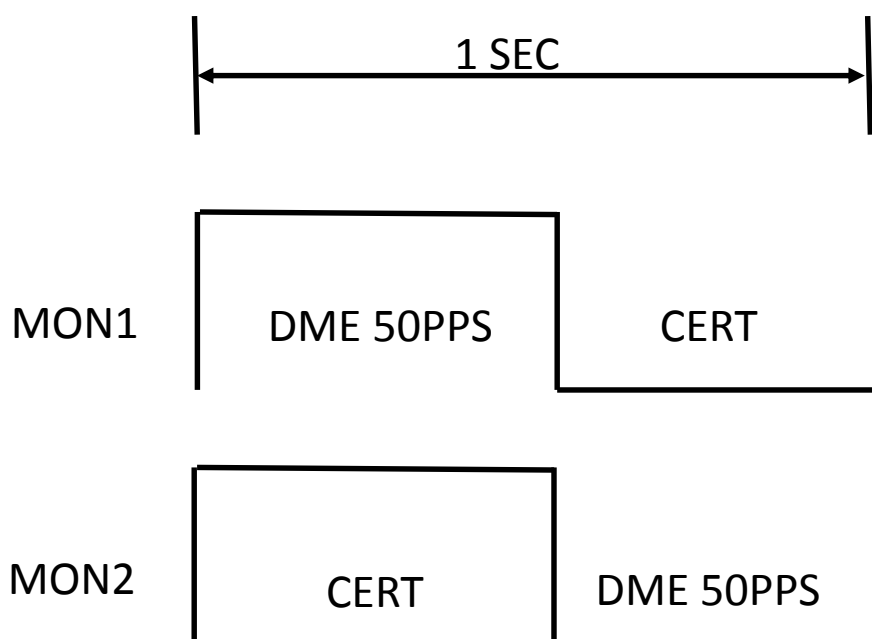


圖 1-6 隨機脈波對(Squitters)

地面站臺DME系統會產生足夠隨機脈波對(Squitters)以維持最低每秒800脈波對(pps)，假設有足夠的回覆脈波對去維持800或更多的回覆脈波對，則不須再產生隨機脈波對(Squitters)。

Monitor CCA 會在1秒鐘內產生100PPS詢問脈波對做自我測試，Monitor1前0.5秒產生送出50PPS詢問脈波對，Monitor1後0.5秒則做耦合返回的回覆脈波對驗證，反之，當Monitor2前0.5秒做耦合返回的回覆脈波對驗證，Monitor2後0.5秒則產生送出50PPS詢問脈波對，如下圖所示



例1：假設Monitor產生100PPS詢問脈波對，無航機詢問脈波對，則為了維持隨機脈波對(Squitters)=Minimum PRF(脈波重複率) =800，所以Squitters要產生**700PPS**。

	INTRG	REPLIES
MON	100PPS	100PPS
航機	0	0
Squitters		<b>700PPS</b>
維持隨機脈波對(Squitters)=Minimum PRF(脈波重複率) =800PPS		

例2：假設Monitor產生100PPS詢問脈波對，1架航機追蹤模式25PPS，則為了維持隨機脈波對(Squitters)=Minimum PRF(脈波重複率) =800，所以Squitters要產生**675PPS**。

	INTRG	REPLIES
MON	100PPS	100PPS
1架航機	25PPS	25PPS
Squitters		<b>675PPS</b>
維持隨機脈波對(Squitters)=Minimum PRF(脈波重複率) =800PPS		

例3：假設Monitor產生100PPS詢問脈波對，30架航機追蹤模式25PPS\*30=750PPS，則REPLIES總數超過維持隨機脈波對(Squitters)=Minimum PRF(脈波重複率) =800PPS，所以Squitters產生**0PPS**。

	INTRG	REPLIES
MON	100PPS	100PPS
30架航機	750PPS	750PPS
Squitters		<b>0PPS</b>
維持隨機脈波對(Squitters)=Minimum PRF(脈波重複率) =800PPS		

### 1.1.2 自動增益控制器(AGC)：Maximum PRF=5400

測距儀DME 限制同時只接受5400 對脈波詢問，如果超過5400 個脈波對詢問，系統會以自動增益控制器(AGC) 降低接收靈敏度，若以HPA接收靈敏度為-87dBm，自動增益控制器 (AGC) 會降低接收靈敏度假設上升至-83dBm， 會抑制接收較弱的脈波信號，只接收較強之脈波信號，自動增益控制器 (AGC) 會自動設在接收5400脈波對，約可接收相當於200 架航空器之詢問信號。

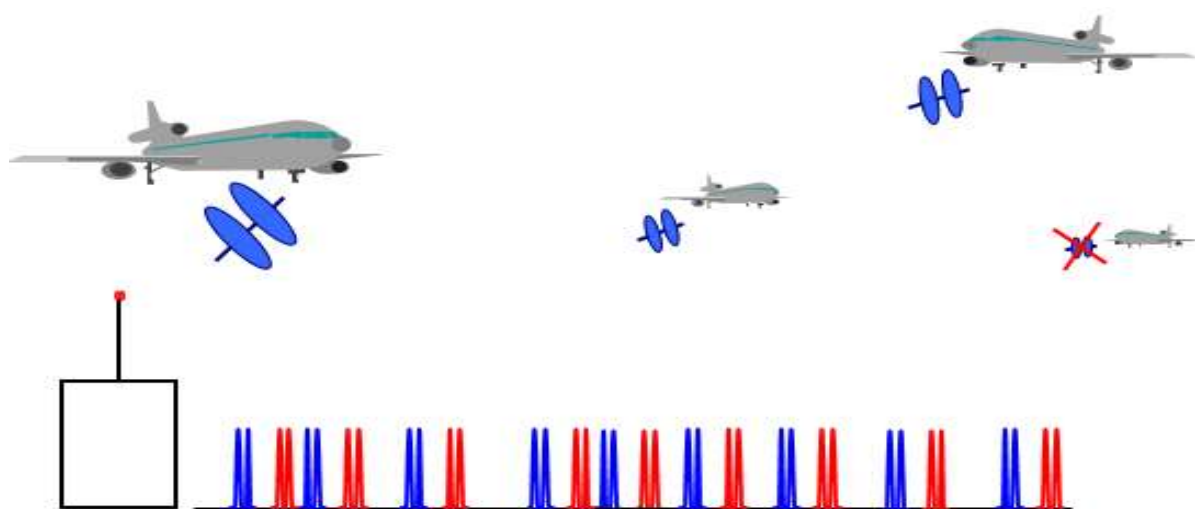


圖1-7 自動增益控制器 (AGC) 示意圖

### 1.1.3 識別電碼(identification Morse Code)：1350Hz

測距儀DME 會週期性每30秒的以長短音送出摩斯識別電碼，短音one dot=115ms，長音one dash=345ms，3倍one dot=one dash，系統會以1350 脈波對方式送出，1350 Hz 脈波對經過1350 Hz 濾波器即產生1350 Hz信號，脈波對的波距12 usec、半波寬度3.5 usec、上升時間(10 ~90% points)2.5 usec、下降時間(10 ~90% points) 2.5 usec均與X-Channel相同。

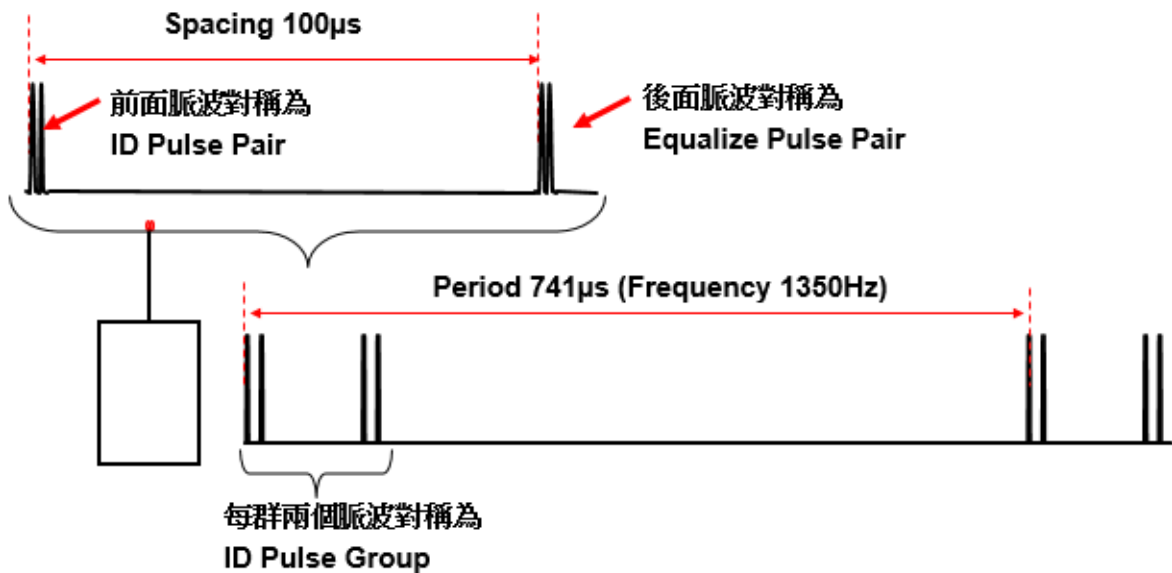
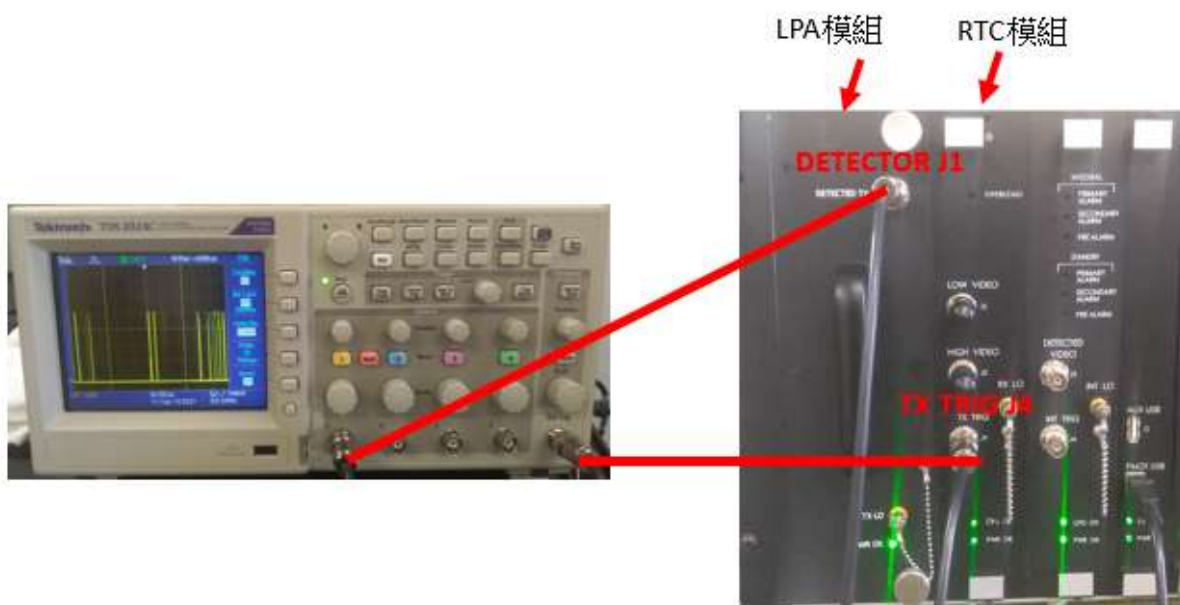
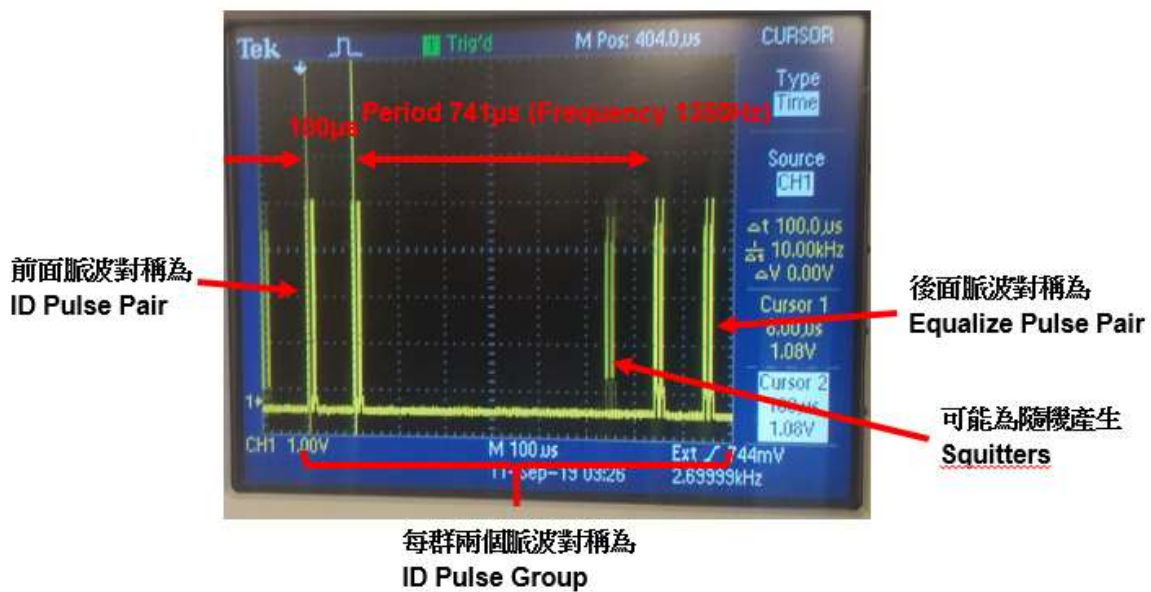


圖1-8 識別電碼(identification Morse Code)

可將LPA模組 DETECTOR J1及RTC模組 TX TRIG J4分別接至視波器CH1及Ext Trig，接法如下圖所示，來量測LPA輸出識別電碼(identification Morse Code)、隨機脈波對(Squitters)及詢問脈衝對之時間、波形及振幅等資訊。



下圖為示波器量測到的識別電碼(identification Morse Code)。



DME站臺以一連串的脈波對傳送三種分離訊號，這三種分離訊號傳送優先順序分別為

- 1、識別電碼(identification Morse Code)：1350Hz。
- 2、回覆脈波對(REPLIES)。
- 3、隨機脈波對(Squitters)。

#### 1.1.4 Short Distance Echoes

航機發射第一個詢問脈波對後，因DME地面電臺附近的地形、地物反射，造成Short Distance Echoes，並且比第二個詢問脈波對先到達DME站臺，一般處理狀況下，只有真實的詢問脈波對會產生回覆脈波。

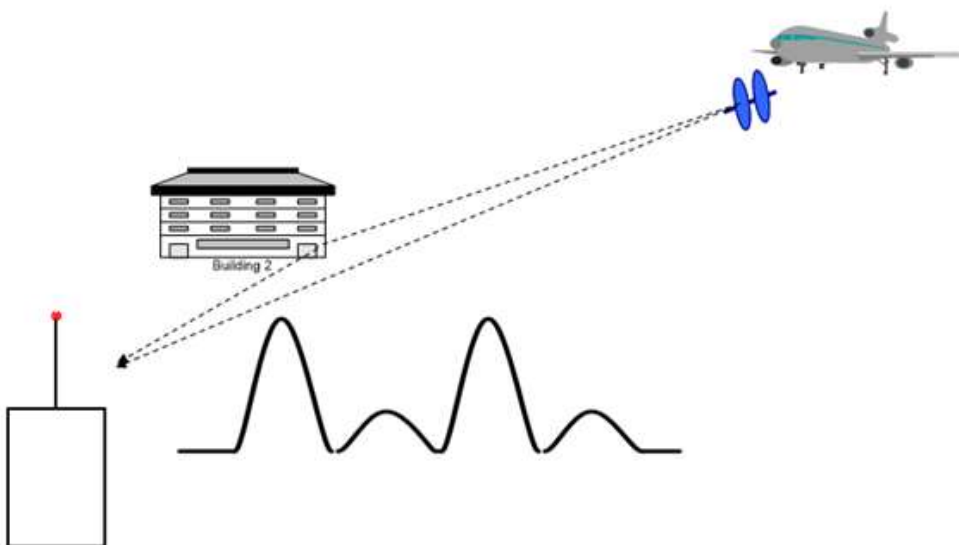


圖1-8 Short Distance Echoes

如果Echoe反射波落在第二個詢問脈波時，則會把Echoe反射波當正常脈波，據以回送回覆信號，則航空器無法辨識正常距離資訊。

近距離反射波會讓航空器無法辨識而無法得知確實距離資訊，會造成航機接收到間歇錯誤性的讀值，並且在誤差1nm(X channel 或是3nm(Y channel)數值間跳動。

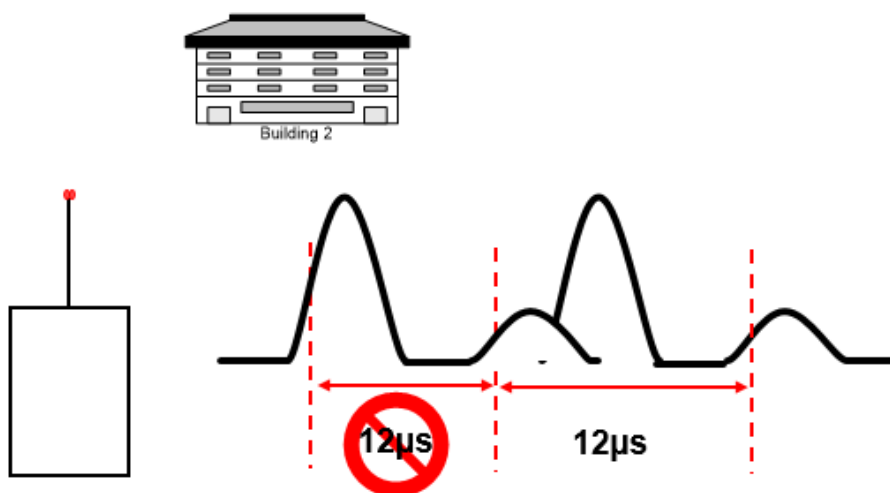
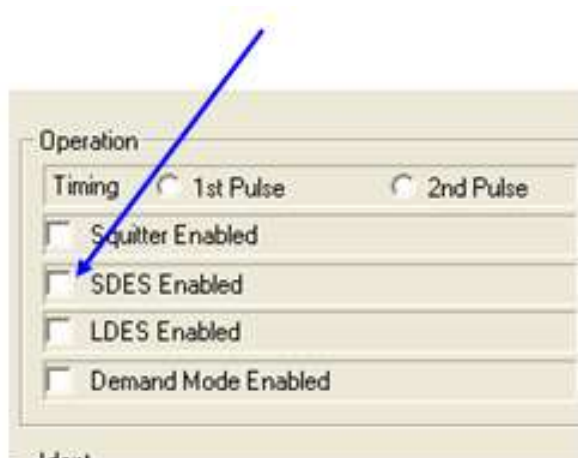


圖1-9 Short Distance Echoes

解決的方法是勾選開啟enable Short Distance Echo Suppression (SDES) 功能，一般都會維持在勾選狀態下，當Echoe反射波落在第二個詢問脈波時，DME會以信號大小去判斷何謂Echoe反射波或正常詢問脈波，當該脈波小於正常脈波1dB以下，會判斷較小脈波為Echoe反射波去除不處理。



### 1.1.5 Long Distance Echoes

航機發送出第一個詢問脈波，因距離DME 站臺較遠處的地形或建築物造成long distance echo，並且比第二個詢問脈波晚到達DME地面設備臺，long distance echo 及第二個詢問脈波皆會產生回覆脈波，航機很可能因此接收到錯誤的訊號。Long distance echo 將造成航機接收到間歇錯誤性的讀值，並且在兩個或是以上誤差超過4NM 數值間跳動。

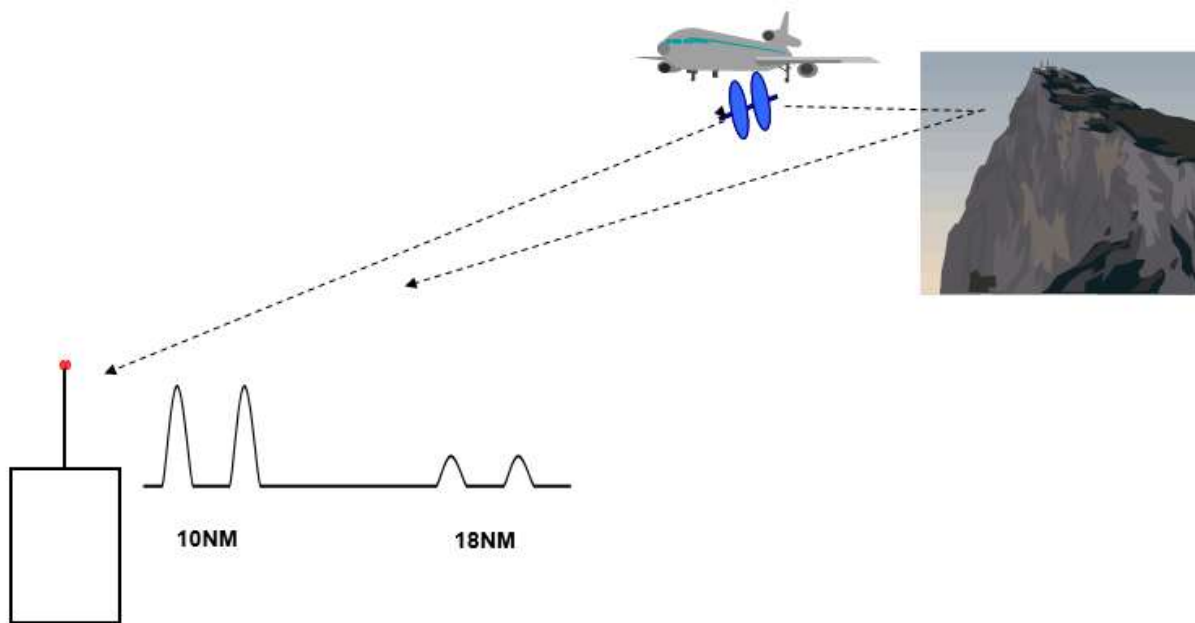
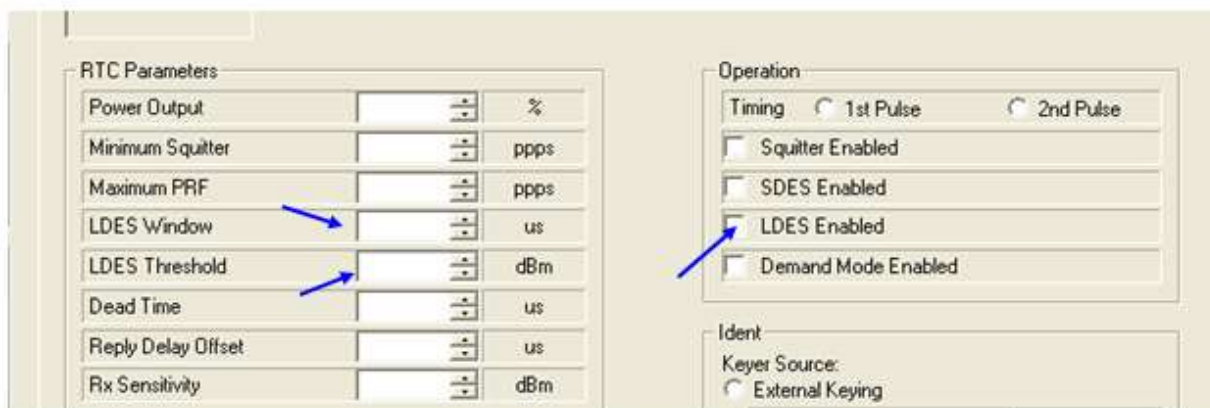


圖1-10 Long Distance Echoes

解決的方法是啟動Long Distance Echo (LDES)，該功能亦利用降低接收靈敏度一段時間來消除Long Distance Echo之回波干擾，。當LDES 啟動會稍許降低系統航機回答架次。



當DME架設完畢並經使用一年以後，DME站台周邊地形或建築物有所改變時，可能就會有Long Distance Echo (LDES)現象發生。

DME地面站臺遭遇到 $\geq 5$ 海哩以上失鎖，處理步驟如下。

- 1、將DME放置在BYPASS STATE模式。
- 2、至PMDT→Transmitters >>Configuration >> Nominalg視窗上勾選LDES Enabled，LDES Window=150us，LDES Threshold=-70dBm先設定為default值。

如下圖所示，DME地面站臺收到詢問脈波後的150us內，不接收小於-70dBm的詢問脈波。



- 3、若航機告知已無失鎖現象，儲存該設定，取消BYPASS STATE模式。
- 4、假如航機告知在55海哩開始，有21海哩的距離錯誤，設定計算公式如下：

$$\text{LDES Windows} = \text{SRE} * 12.36 \text{us} / \text{NMI} + 10 \text{us}$$

$$= 21 * 12.36 + 10 = 269.56 \text{us} ; \text{因此LDES Windows設定在} 270 \text{us}$$

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

$$= -0.385 * 55 - 20 = -41.175 \text{dBm} ; \text{因此LDES Threshold設定在} -41 \text{dBm}$$

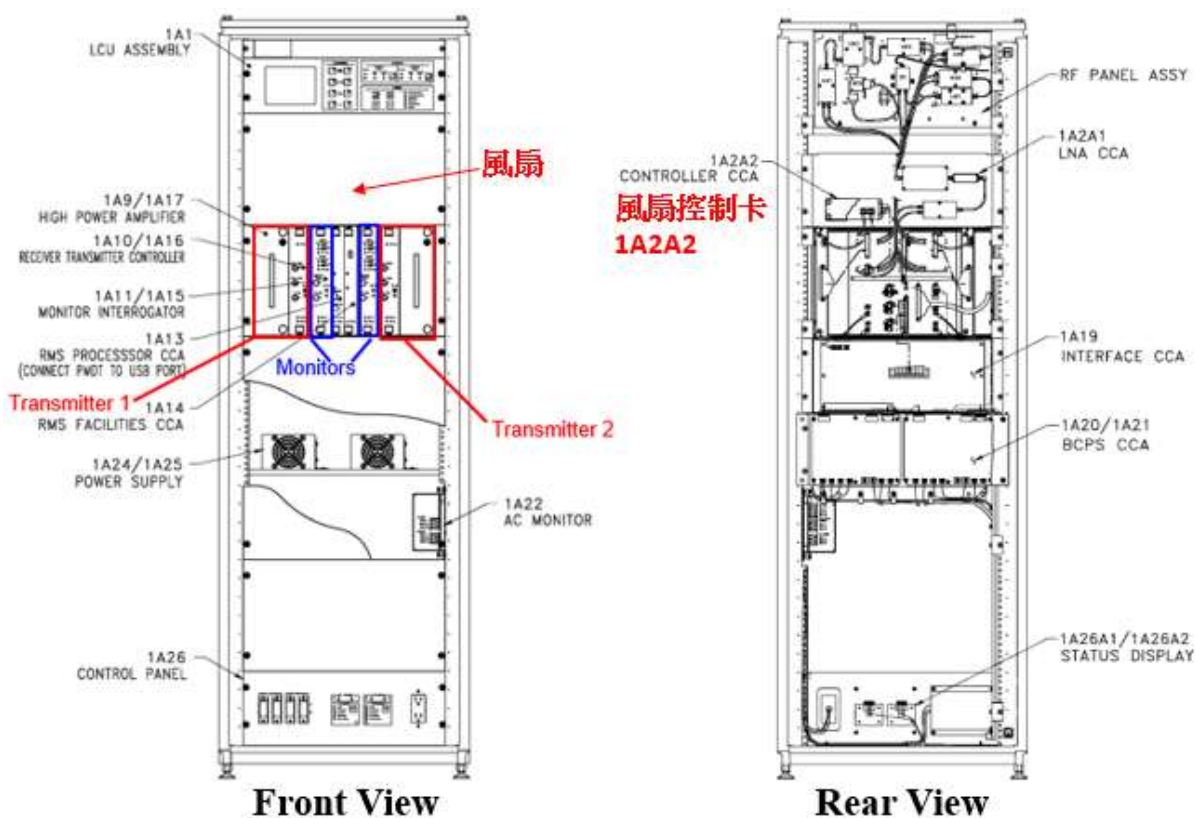


## 1.2、MODEL 1118A/1119A DME硬體架構

Model 1118A Low Power DME發射功率為100W，主要搭配ILS系統，以提供進場使用；Model 1119A High Power DME發射功率達1000W，主要搭配VOR 提供航路使用。LPA與HPA卡片外觀相同，HPA只是在LPA電路後級多兩個並聯各可放大500W放大器，兩者不得互為交換使用。以設備外觀來看，1119A DME多了風扇及風扇控制卡片，當HPA溫度過高時，系統將會自動啟動風扇降溫。

LPA器材料號：030045-0001。

HPA器材料號：030043-0001。



Low /High Power DME

圖1-11 MODEL 1118A/1119A DME硬體

### 1.2.1 本地控制單元(Local Control Unit , LCU)面板功能介紹：

LCU 安裝於於DME 機櫃上方，提供DME 狀態資訊、發射機(Transmitter)主副機之切換、監視器(Monitor)的Bypass選擇及System(系統)告警資訊等，如下圖所示。

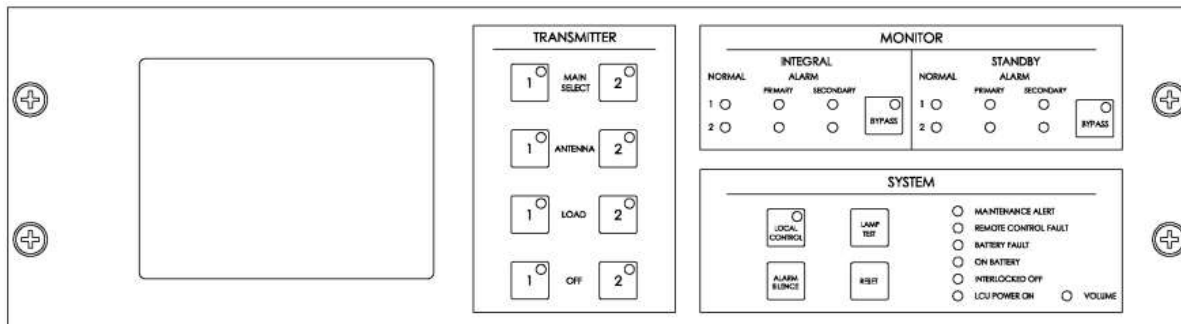


圖1-12本地控制單元(Local Control Unit , LCU)

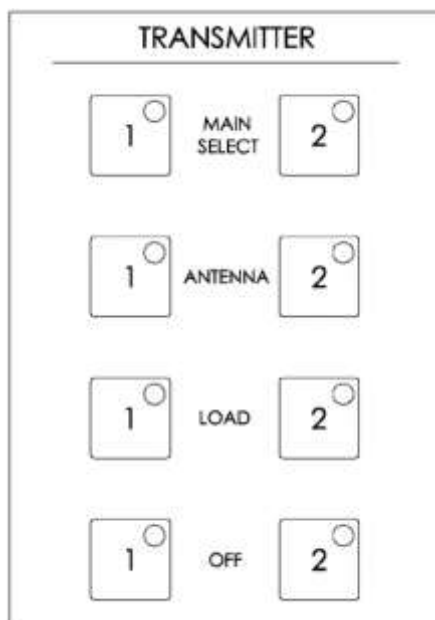


圖1-12 發射機控制面板

- Main select：換機邏輯
  - ◆ 在Local Control下，按壓Main Select 1可選擇將TX1設定為主發射機並經由天線發射信號，TX2 將連接至假負載，若DME 設定為Hot Standby。
  - ◆ 當主機運作狀況產生告警時，系統會自動切換至副機發射信號
  - ◆ 但如副機仍有告警情況，則系統會將DME 關閉不再做切換動作。
- Antenna select: 選擇TX1 或是TX2 發射機上天線。
- Load select: 選擇TX1 或是TX2 發射機上dummy load。
- Off:停止發射機發射。

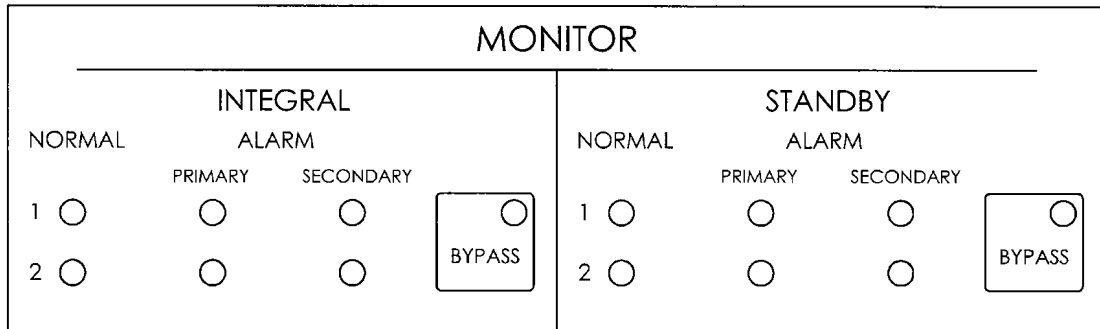


圖1-12 Monitor監控面板

- Integral Monitor:顯示發射機在天線的運作情形
- Standby Monitor: 顯示發射機在dummy load運作情形
- Primary燈亮: 顯示Primary Parameter 導致跳機或關機
- Secondary燈亮:顯示Secondary Parameter導致告警
- BYPASS:在設備維護或飛測時，忽略MONITOR產生告警，避免關機或切換機

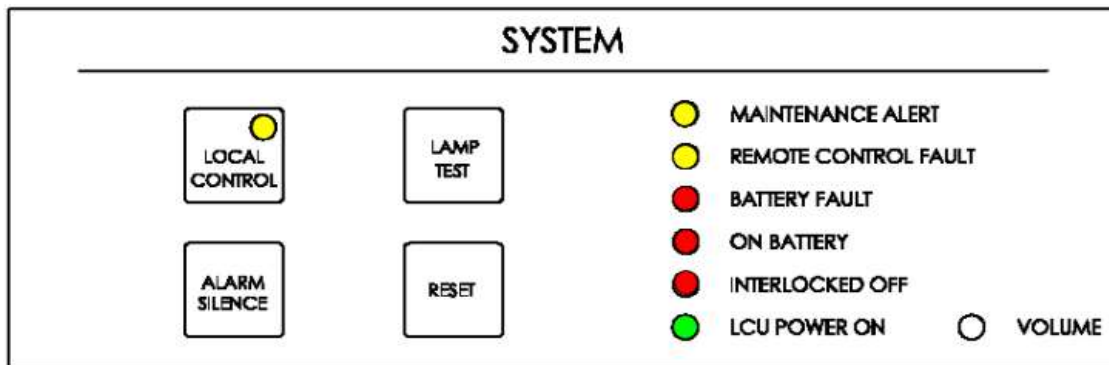


圖1-12系統監控面板

- LOCAL CONTROL: 在此模式下，才能操作BYPASS、MAIN SELECT、ANTENNA、LOAD、OFF等相關工作。
- LAMP TEST: 測試燈號是否正常
- ALARM SILENCE: 強行將告警音關閉，直到有新的告警生出現。
- RESET: 系統硬體重置，該按鍵雖可重啟DME，但原廠工程師較喜歡用開關機方式重啟DME系統。
- MAINTENANCE ALERT: 顯示系統正在維護告警狀態
- REMOTE CONTROL FAULT:顯示遠端連線控制(RCSU)連線異常
- BATTERY FAULT:顯示電池短路、斷路或是電池開關開路
- ON BATTERY: 顯示系統使用電池電源
- INTERLOCKED OFF: 顯示DME系統已被經由RCSU 關閉
- VOLUME:調整告警音量，可搭配LAMP TEST功能鍵來調整告警音量大小。

### 1.3、DME 信號傳送流程

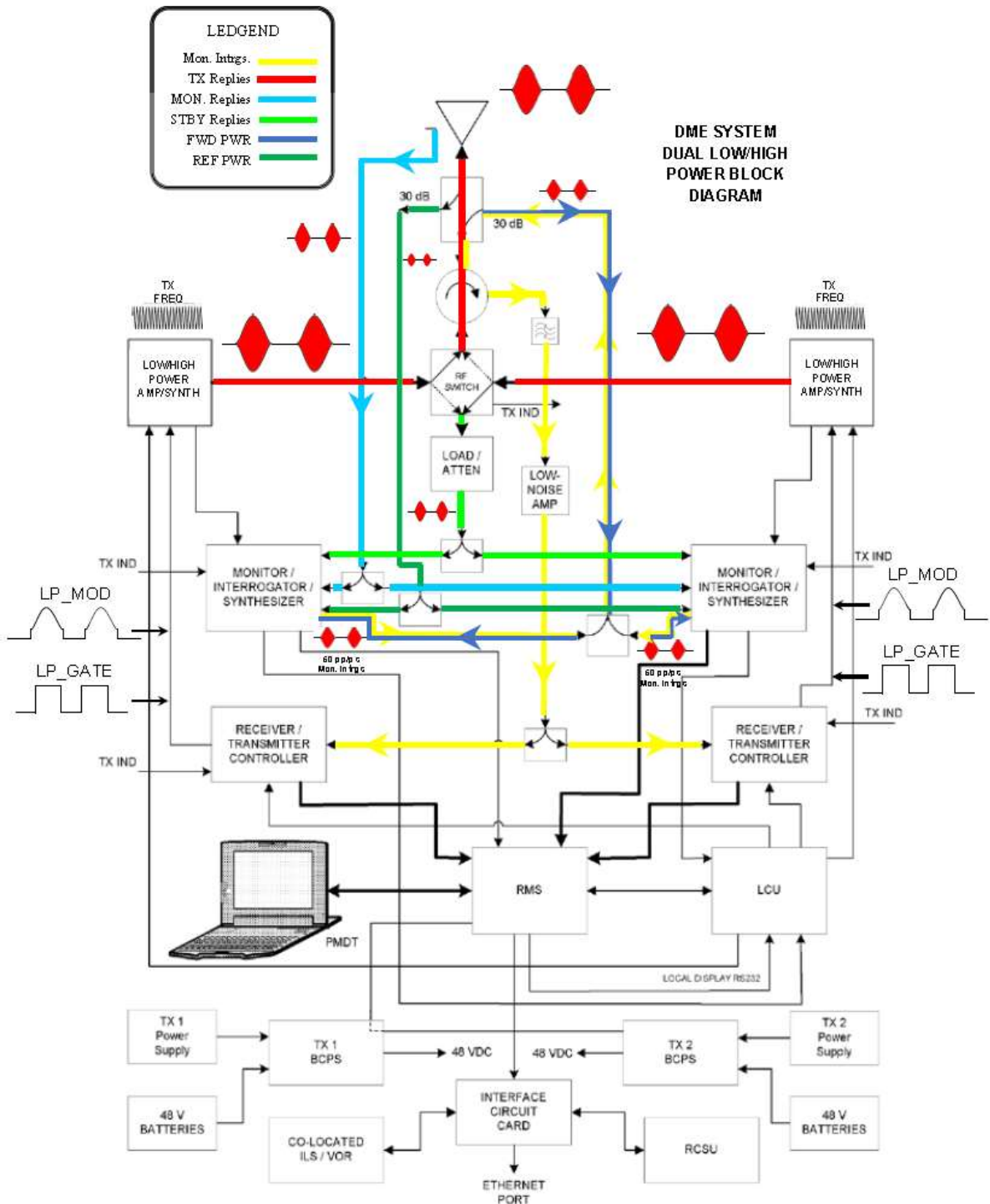


圖1-13 DME 信號傳送流程

為了檢驗航機是否能接收到正確的答詢信號，系統將會產生詢問脈波對以作為系統自我測試。測試詢問脈波對由Monitor 提供，在一秒的時間內，前半秒由Monitor1 產生50 對詢問脈波對，後半秒則由Monitor2 產生，因此系統每秒共產生100 對脈波對作為測試監控用。Monitor1、Monitor2產生之脈波對傳遞路徑如下：

(1) Monitor 1、Monitor 2各自產生50PPS自我測試詢問脈波對後，經由方向耦合器 (DC)、Circulator、Preselector 以及Low Noise Amplifier 最後將脈波對輸出至RTC1及RTC2處理。

(2) RTC 接收到Monitor 自我測試詢問脈波對及航機詢問脈波對後會做下列七件事，做完後，將產生LP\_MOD和LP\_GATE PULSE PAIRS輸出至Low/High Power Amplifier。

項次	說明	RTC卡片內部負責單元
1	比對DECODES FREQ±200KHz是否正確	RCVRF
2	比對脈波對的波距是否12 usec	RX FPGA
3	外加額外延遲時間來符合系統要求延遲時間50usec，一般系統處理時間約為22usec，所以會再額外加28 usec。	
4	確認脈波對符合上述項次1、2要求後，會去觸發TX FPGA	
5	調整補足隨機脈波對(Squitters)使其滿足 Minimum PRF(脈波重複率) =800。	TX FPGA
6	為了每一個DECODE PULSE和Squitter Pulse來產生所需要的LP_MOD和LP_GATE PULSE PAIRS，假若DECODE PULSE和Squitter Puls加起來800PPS，那就要各產生800個LP_MOD和LP_GATE PULSE PAIRS。	
7	適當的時間產生ID PULSE GROUPS	

(3) Low/High Power Amplifier將收到的LP\_MOD和LP\_GATE PULSE PAIRS經由內部的RF調變、放大產生脈波對，一路經由RF SWITCH (J1 to J4) 及Circulator、Directional Coupler上天線發射信號出去，另一路備用發射機經由RF SWITCH (J3 to J2) 送至Load Attenuator，再由Load Attenuator將信號送回至Monitor做備用發射機的參數監測，以檢測回覆脈波是否正確。

(4) 從天線上發射信號會再由Monitor1天線端耦合一小部分信號回Monitor1及Monitor2卡片上進行監視解析及ERP計算，其中天線端耦合部分回來信號包括發射給航機回覆信號及Monitor100PPS自我測試回覆信號。

(5) 當RF信號經過Directional Coupler會耦合部分信號(衰減30dB)經由J1輸出傳至Monitor用來量測Reflection Power。

(6) 當RF信號經過Directional Coupler會耦合部分信號(衰減30dB)經由J2輸出傳至Monitor用來量測Forward Power。

## 特高頻多向導航臺(VHF Omni-directional Range, VOR)

### 2.1、VOR 介紹

VOR(VHF Omni-Directional Range)中文名稱為特高頻多向導航臺，主要的功能為提供終端與航路的導航操作。VOR 所使用的頻率為 108 MHz 至 118 MHz，該頻率又稱為載波頻率( $f_c$ , Carrier Frequency)，藉由載波頻率的傳送可將航機所需要之 2 個 30 Hz 的頻率送達航機，並由航機將它解調為 30 Hz FM 參考信號(Reference Signal)與 30 Hz AM 可變信號(Variable Signal)，經過航機內部的相位比較器比較此 2 個 30 Hz 信號後，航機即可知道與 VOR 站台的方向。

VOR 由外部天線數量與運作原理可區分為 C-VOR(Conventional-VOR)或是 D-VOR(Doppler-VOR)。C-VOR 係由 1 根主天線(Four-Loop Antenna)與 8 或 16 根監控天線(Field Monitor Antenna)所構成；D-VOR 則係由 1 根主天線(Carrier Antenna)搭配 48 根旁波天線(Sideband Antenna)及 1 根監控天線(Field Monitor Antenna)所組成。有關此 2 種不同形式之 VOR 介紹將於下節介紹。

### 2.2、C-VOR 工作原理

圖 2-1 為 C-VOR 系統上的 RF 頻譜圖。藉由將載波頻率( $F_c$ )  $\pm$  30 Hz 後，經過振幅調變(Amplitude Modulation, AM)而產生可讓航機解調出之 30 Hz 的 AM 可變信號(Variable Signal)，以及將載波頻率( $F_c$ )  $\pm$  9960 Hz 以 30 Hz 的速率進行頻率調變(Frequency Modulation, FM)後，產生可讓航機解調出之 30 Hz 的 FM 參考信號(Reference Signal)。30 Hz 的 AM 可變信號與 30 Hz 的 FM 參考信號經航機解調並經相位比較後，即可得知與 VOR 的方位，如圖 2-2 所示，當航機位置在 VOR 北方時，AM 與 FM 的信號是同相；當航機位在 VOR 東方時，AM 的信號是落後 FM 的信號  $90^\circ$ ；當航機位在 VOR 南方時，AM 的信號是落後 FM 的信號  $180^\circ$ ；當航機位在 VOR 西方時，AM 的信號是落後 FM 的信號  $270^\circ$ 。

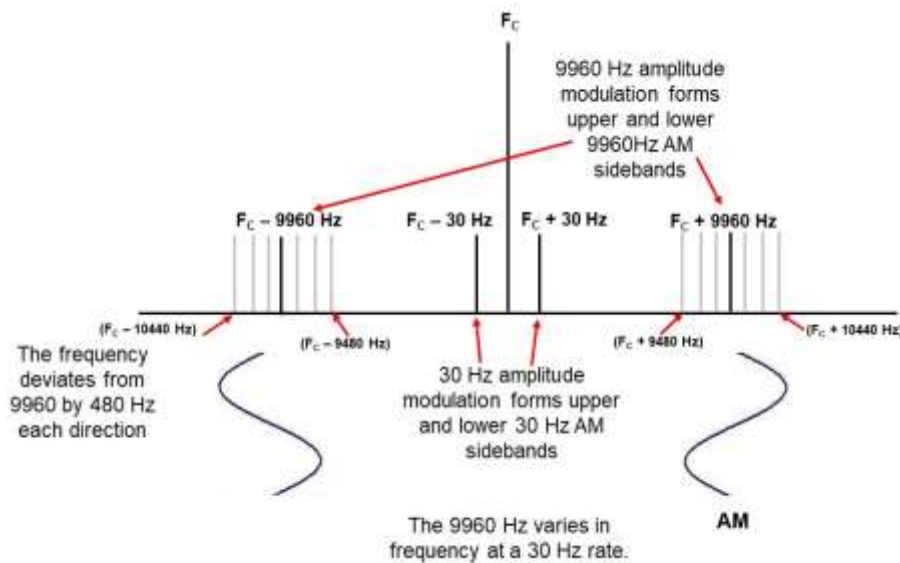


圖 2-1 C-VOR 之 RF 頻譜圖

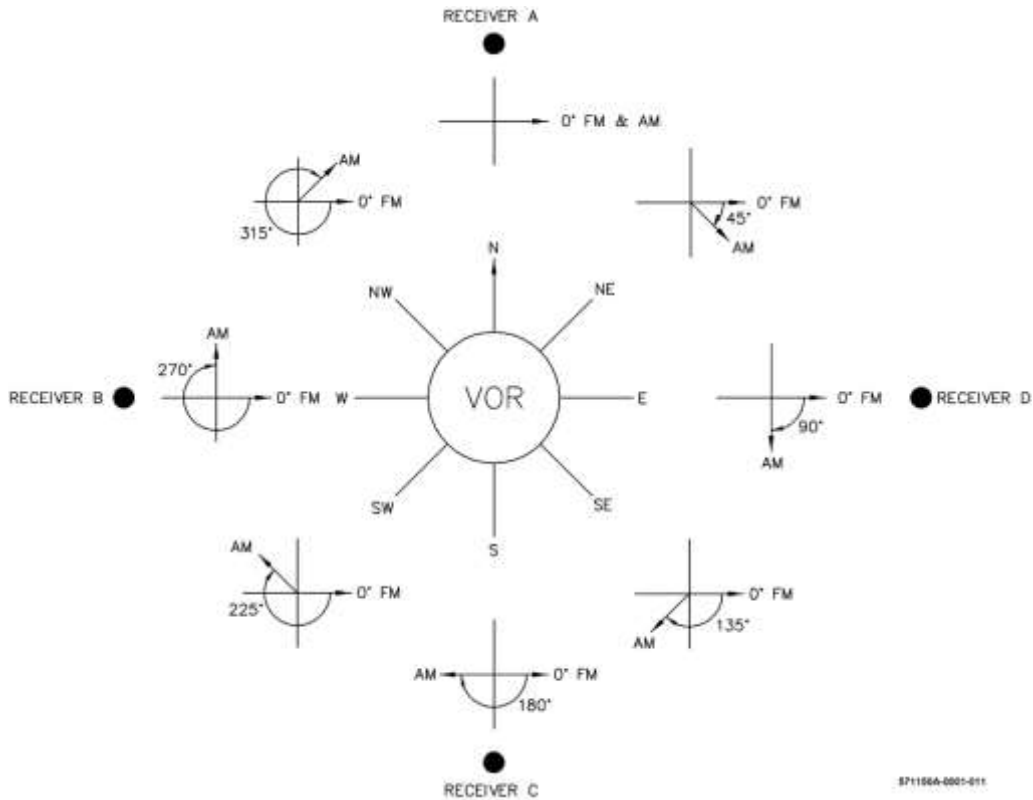


圖 2-2 C-VOR 之 AM 與 FM 信號相位關係圖

C-VOR 發射上述信號的主天線(Four-Loop Antenna)係由 4 組奧爾福德環形天線(Alford-Loop Antenna)所組成，其中奧爾福德環形天線(Alford-Loop Antenna)係由 2 個空氣介質的電容，如圖 2-3 所示。圖 2-4 為奧爾福德環形天線(Alford-Loop Antenna)的運作原理，電流流過①和②時形成 1 組偶極子(Dipole)，如圖 2-4(a)所示；電流流過③和④時形成另 1 組偶極子(Dipole)，如圖 2-4(b)所示；此時內部的電流會產生互消效應，而使得奧爾福德環形天線(Alford-Loop Antenna)的內部無電流流動，亦即是無 RF 信號在該天線的內部產生，此時電流係圍繞天線的表面流動。而當使用 4 組奧爾福德環形天線(Alford-Loop Antenna)去形成 C-VOR 的主天線(Four-Loop Antenna)時，如圖 2-5 所示，其中 NW 天線和 SE 天線為第 1 對天線對，NW 天線為  $0^\circ$ ，SE 天線為  $180^\circ$ ；NE 天線和 SW 天線為第 2 對天線對，NE 天線為  $0^\circ$ ，SW 天線為  $180^\circ$ ，並以磁北 N(Magnetic North)作為參考方位。另 C-VOR 的主天線(Four-Loop Antenna)亦會產生與奧爾福德環形天線(Alford-Loop Antenna)的運作原理相似的结果，即內部的電流會互相抵消，並使電流僅於主天線(Four-Loop Antenna)的表面流動，如圖 2-6 所示，此電流於表面流動的流向方式進而形成的 RF Pattern(場型)即為全向性的(Omni-Directional)。

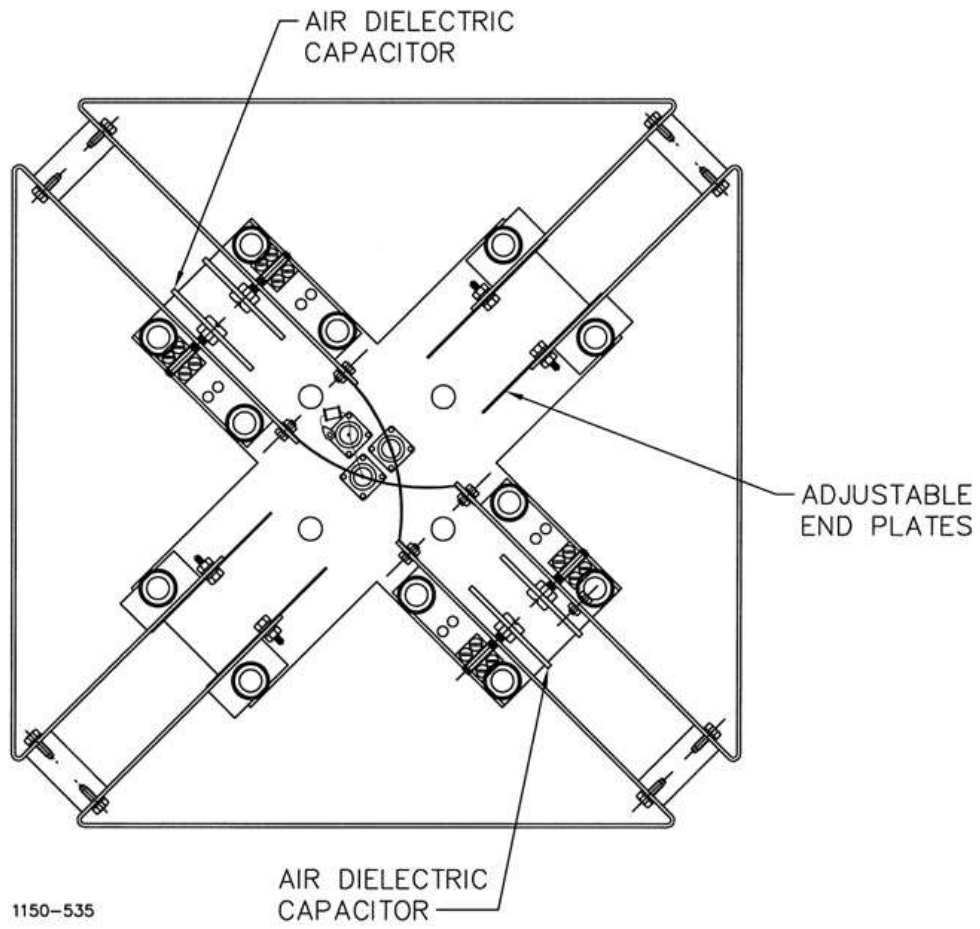
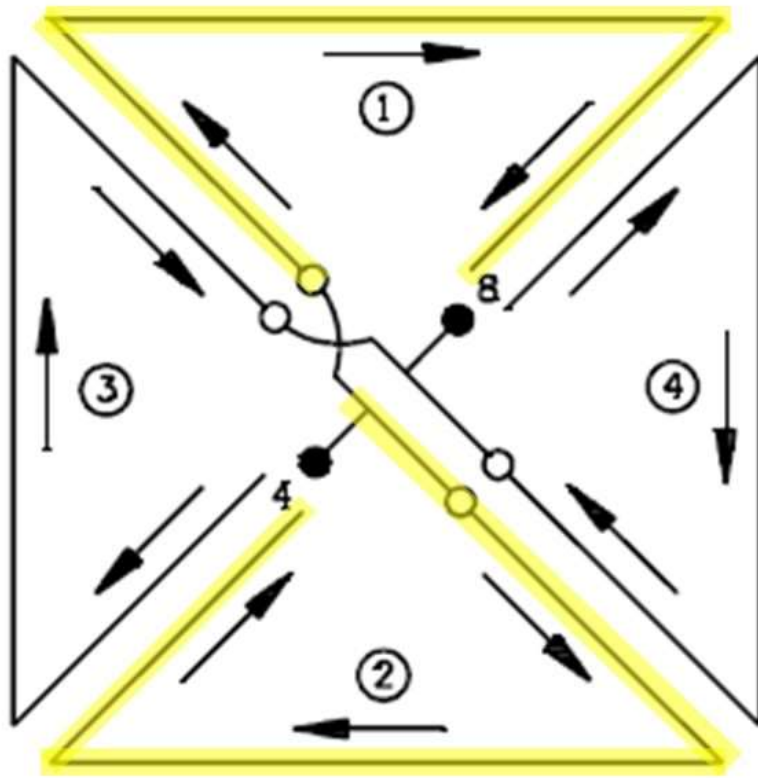
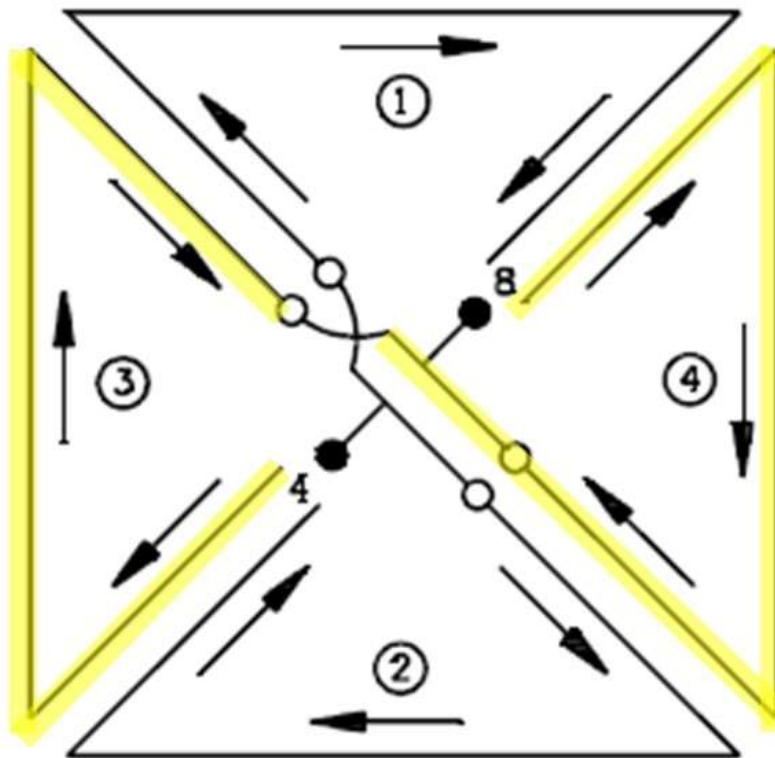


圖 2-3 奧爾福德環形天線(Alford-Loop Antenna)

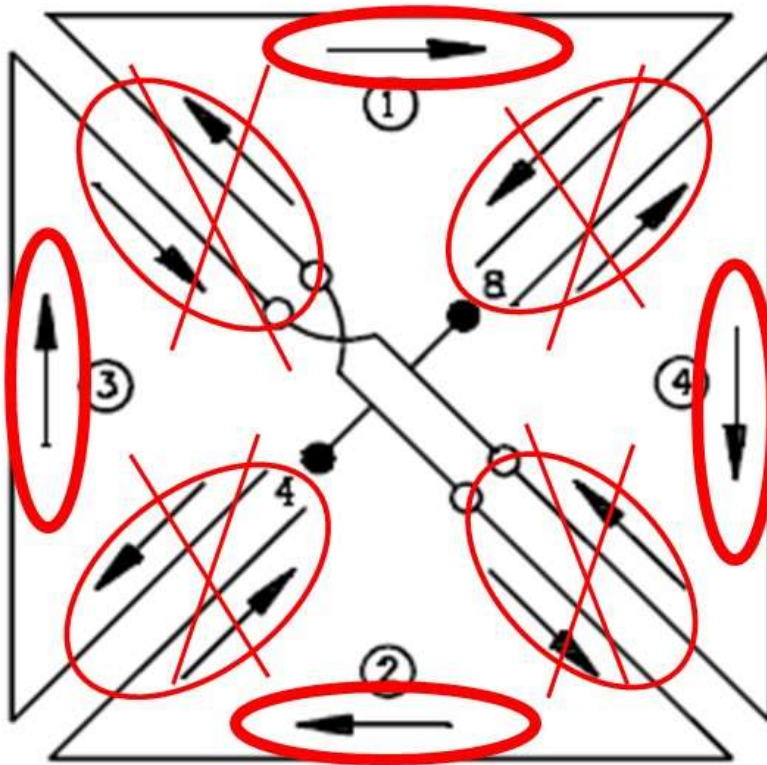




(a)



(b)



(c)

圖 2-4 Alford-Loop Antenna 的運作原理圖

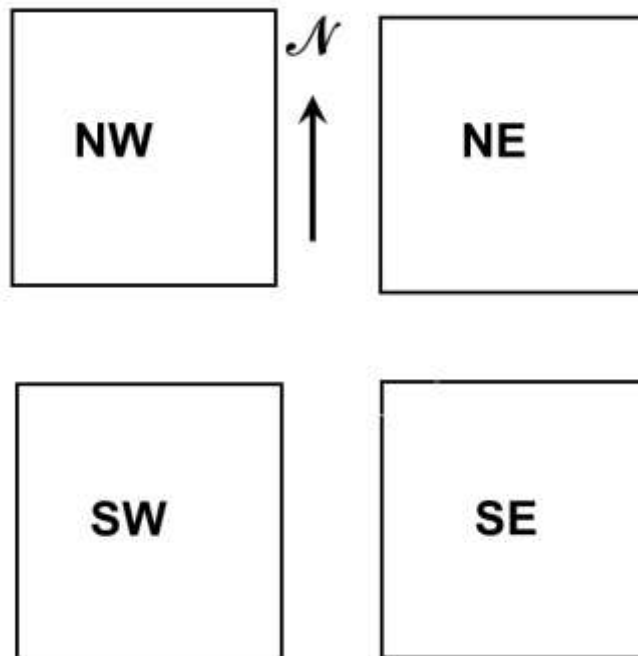


圖 2-5 主天線(Four-Loop Antenna)的方塊圖

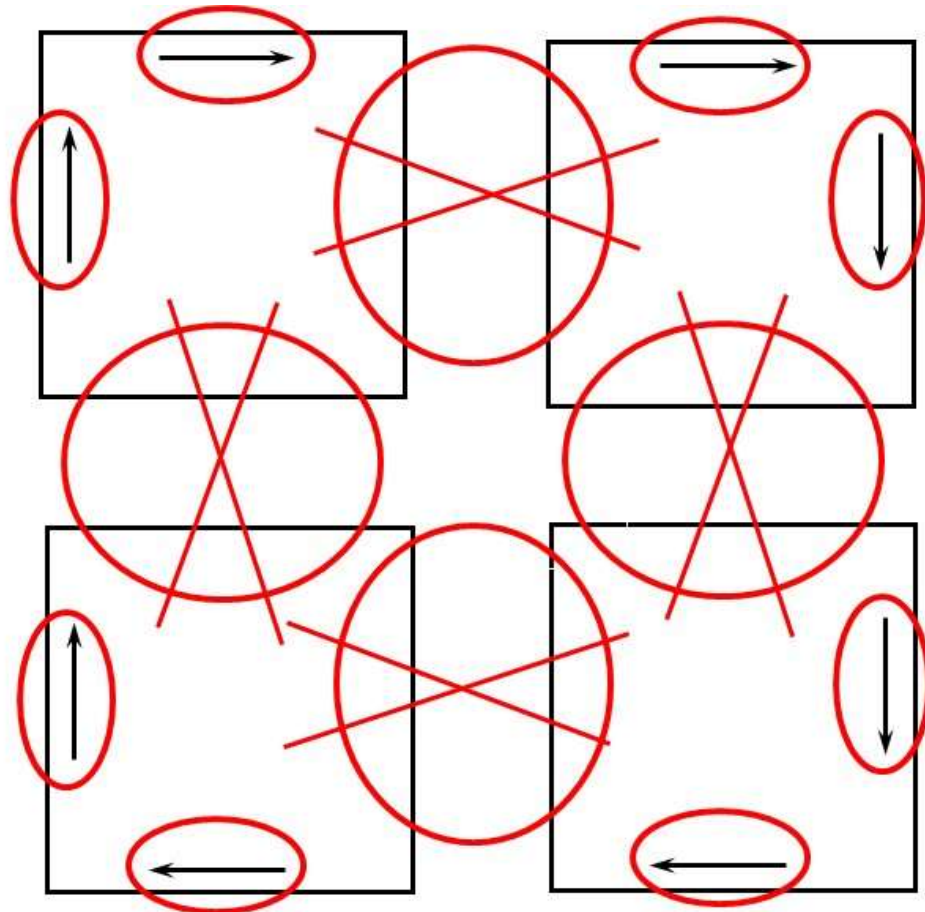
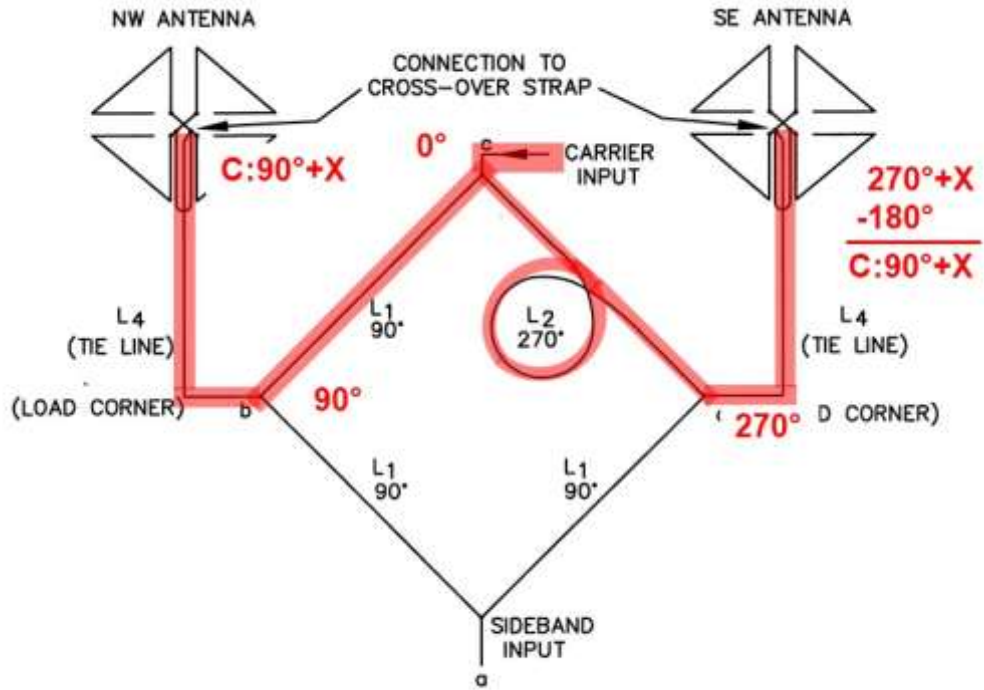


圖 2-6 主天線(Four-Loop Antenna)的運作原理圖

圖 2-7 為 CSB 信號輸入(Carrier Input)至主天線第 1 對天線線路圖，當載波頻率  $f_c$  輸入至天線時，往 NW 天線之路徑會先經過 1 條  $90^\circ$  的線再到達 NW 天線；而往 SE 天線走的路徑則係先經過 1 條  $270^\circ$  的線再到 SE 天線。因為 NW 天線與 SE 天線相差  $180^\circ$ ，故在 NW 的天線相位為  $90^\circ + X$ ，在 SE 的天線相位為  $90^\circ + X (270^\circ + 180^\circ + X)$ ，同樣的在第 2 對天線(NE 與 SW)也是相同狀況。

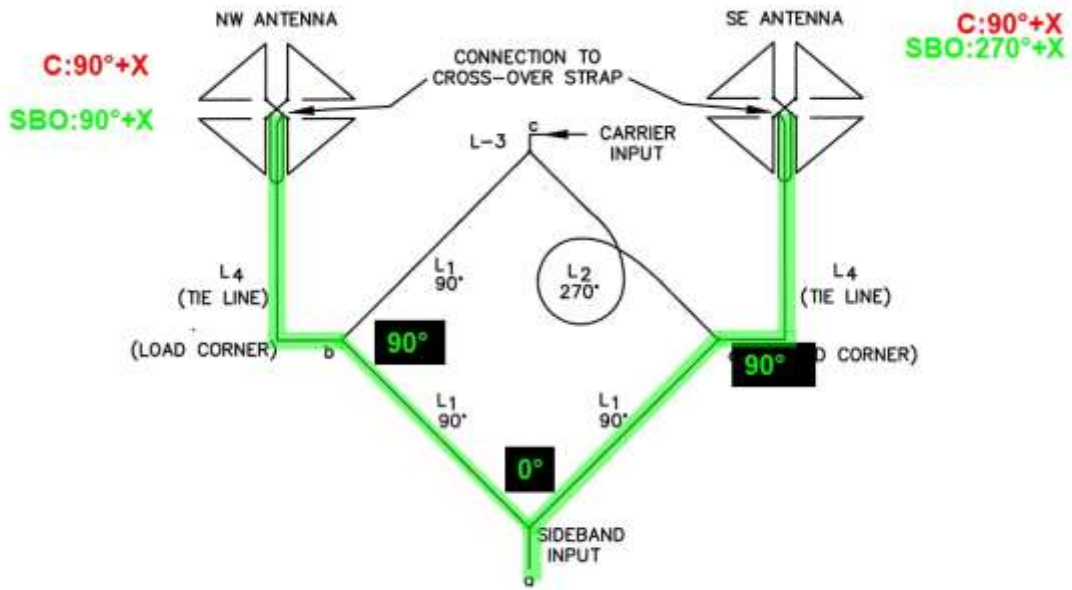
圖 2-8 為旁波信號 1(Sideband 1, SB1)輸入至主天線第 1 對天線，當 SB1 輸入至天線時，往 NW 天線之路徑會先經過 1 條  $90^\circ$  的線再到達 NW 天線；往 SE 天線走的路徑係先經過 1 條  $90^\circ$  的線再到 SE 天線。因為 NW 天線與 SE 天線相差  $180^\circ$ ，故在 NW 的天線相位為  $90^\circ + X$ ，在 SE 的天線相位為  $270^\circ + X (90^\circ + 180^\circ + X)$ ，同樣的在第 2 對天線(NE 與 SW)也是相同狀況，只是輸入的信號改為旁波信號 2(Sideband 2, SB2)。

圖 2-9 為 RF Coaxial Bridge 與主天線(Four-Loop Antenna)連接之線路圖，透過此橋式連接的方式來完成第 1 對與第 2 對天線的連接。



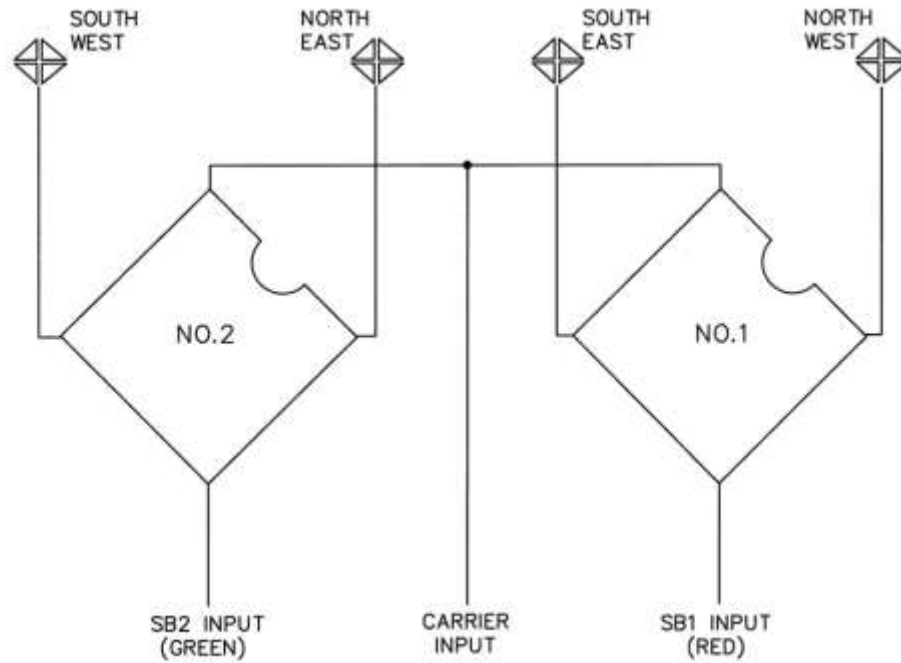
1150-540

圖 2-7 CSB 信號輸入(Carrier Input)至主天線第 1 對天線



1150-540

圖 2-8 旁波信號(Sideband 1, SB1)輸入至主天線第 1 對天線



1150-539

圖 2-9 RF Coaxial Bridge 與主天線(Four-Loop Antenna)連接之線路圖

當在主天線(Four-Loop Antenna)上僅輸入 CSB 載波信號(Carrier Only)時所產生的場型，如圖 2-10 所示，此 CSB 載波信號加上  $9960\text{Hz} \pm 480\text{Hz}$  的 FM 信號再經  $30\text{Hz}$  的 AM 調變發射至航機解調形成  $30\text{Hz}$  的 FM 參考信號，。圖 2-11 為主天線(Four-Loop Antenna)上僅輸入旁波信號 1(Sideband 1, SB1)的場型，因為 NW 與 SE 天線相位相差  $180^\circ$ ，所以會產生 2 個波瓣(Lobe)，在第 1 個週期時 NW 天線的波瓣(Lobe)相位為  $0^\circ$ ，在 SE 天線的波瓣(Lobe)相位則為  $180^\circ$ ，且 RF 的能量亦隨之增大再慢慢降到零，並在下一個週期時則會 2 組天線的相位便會相反，即 NW 天線的波瓣(Lobe)相位為  $180^\circ$ ，在 SE 天線的波瓣(Lobe)相位則為  $0^\circ$ 。

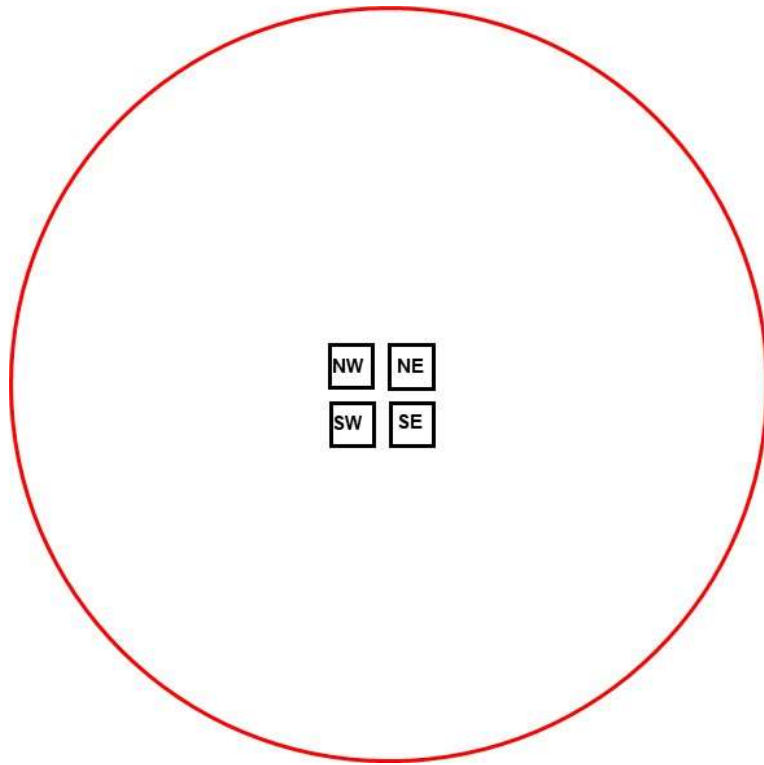


圖 2-10 CSB 輸入至主天線(Four-Loop Antenna)之場型

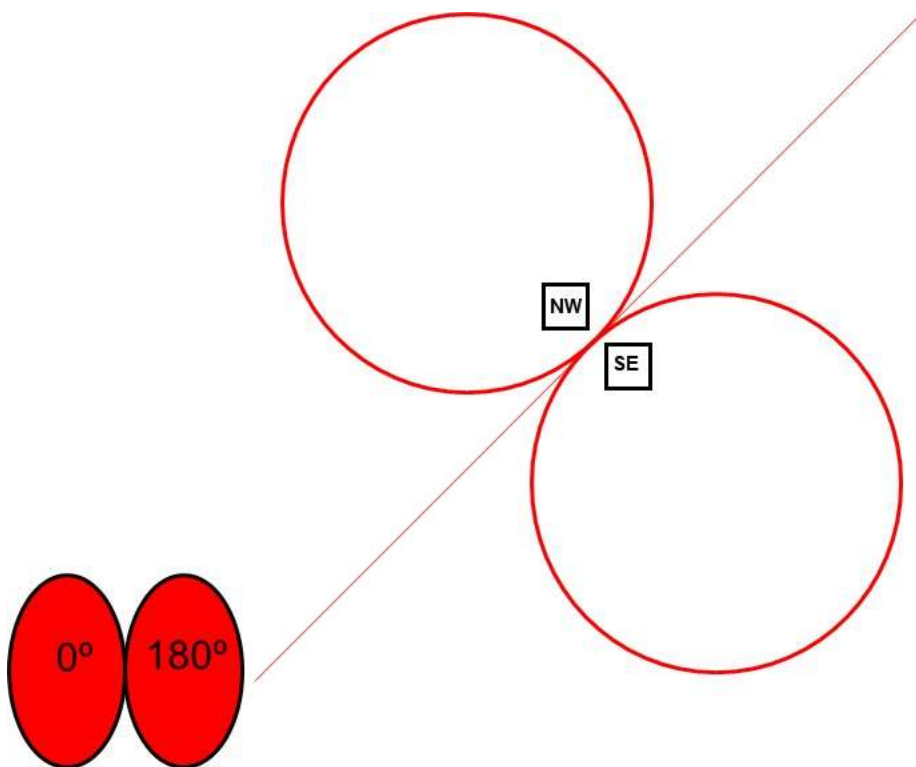


圖 2-11 旁波信號 1(Sideband 1, SB1)輸入至主天線(Four-Loop Antenna)之場型

### 2.3、D-VOR 工作原理

D-VOR 由 1 根主天線(Carrier Antenna)搭配 48 根旁波天線(Sideband Antenna)及 1 根監控天線(Field Monitor Antenna)所組成。圖 2-12 為 D-VOR 系統上的 RF 頻譜圖。藉由將載波頻率( $F_c$ )  $\pm 30$  Hz 後，經過振幅調變(Amplitude Modulation, AM)而產生 30 Hz 的 AM 參考信號，以及將載波頻率( $F_c$ )  $\pm 9960$  Hz 以 30 Hz 的速率進行頻率調變(Frequency Modulation, FM)後，產生  $9960\text{Hz} \pm 480$  Hz 之 30 Hz 的 FM 可變信號，其中上旁波頻率(Upper Sideband Frequency, USB)為載波頻率( $F_c$ ) + 9960 Hz，下旁波頻率(Lower Sideband Frequency, LSB)為載波頻率( $F_c$ ) - 9960 Hz。30 Hz 的 FM 可變信號與 30 Hz 的 AM 參考信號經航機解調並經相位比較後，即可得知與 D-VOR 的方位，如圖 2-13 所示，當航機位置在 D-VOR 北方時，FM 與 AM 的信號是同相；當航機位在 D-VOR 東方時，FM 的信號是超前 AM 的信號  $90^\circ$ ；當航機位在 D-VOR 南方時，FM 的信號是超前 AM 的信號  $180^\circ$ ；當航機位在 D-VOR 西方時，FM 的信號是超前 AM 的信號  $270^\circ$ 。

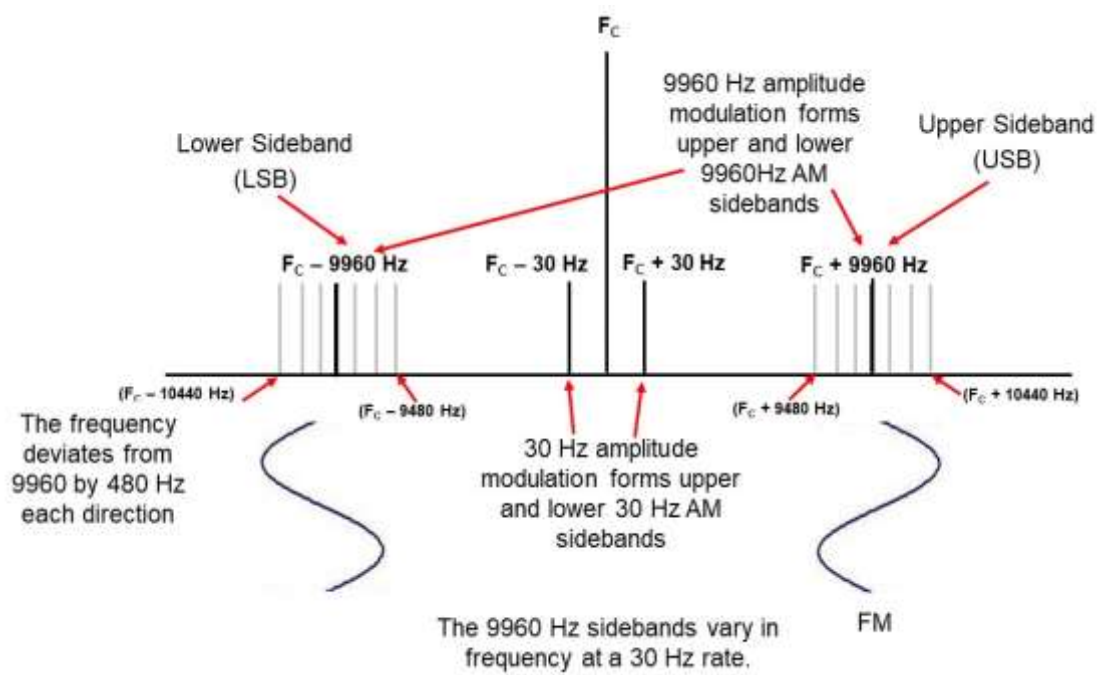


圖 2-12 D-VOR 之 RF 頻譜圖

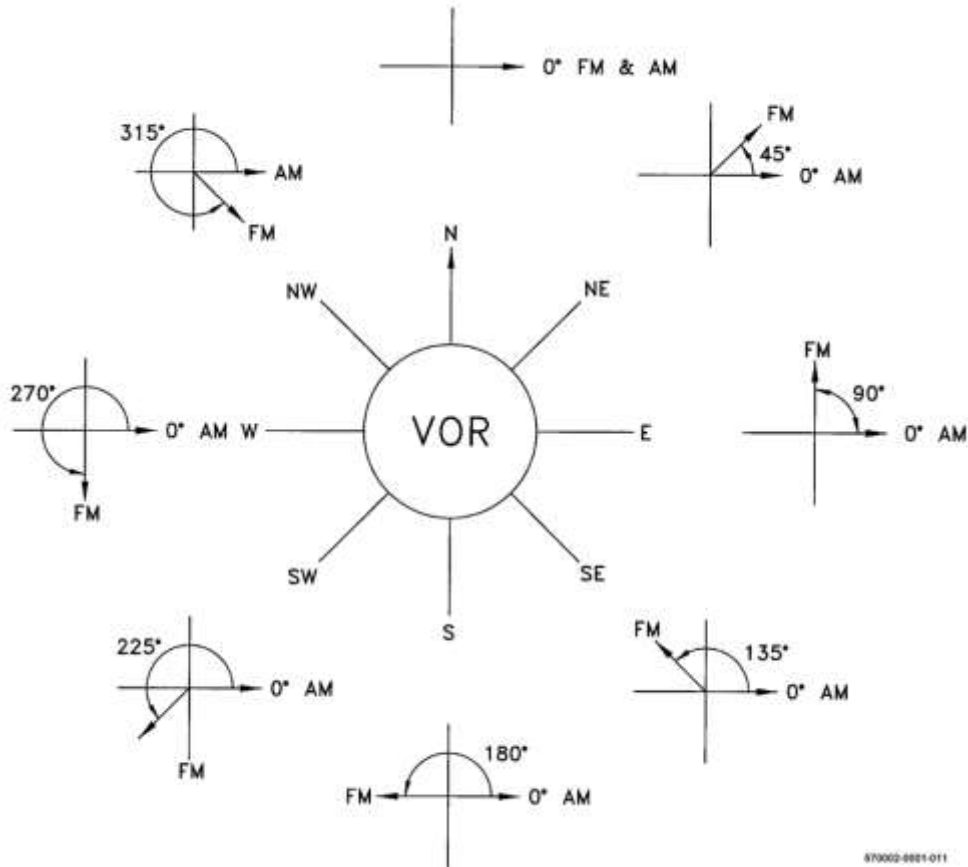


圖 2-13 D-VOR 之 FM 與 AM 信號相位關係圖

圖 2-14 為 D-VOR 之天線信號運作圖，首先 1 號天線放置於磁北方向後再以逆時針方式逐步放置 2、3、...、48 號天線。當上旁波頻率(Upper Sideband Frequency, USB)加於 1 號天線時，同時下旁波頻率(Lower Sideband Frequency, LSB)也會加於 1 號天線的對向 25 號天線，並依序進行，每根天線都會有上旁波頻率及下旁波頻率的信號經過。接下來先只討論上旁波頻率加於每根天線的情形，每根天線加有信號的時間間隔為  $1/1440$  秒，每經過  $1/1440$  ( $\approx 694 \mu s$ ) 秒後下 1 根天線就會加入信號，再過  $1/1440$  ( $\approx 694 \mu s$ ) 秒後，加於原先天線的信號就會結束，如第 1 根天線加入信號後，第  $1/1440$  ( $\approx 694 \mu s$ ) 秒時第 2 根天線也加入信號，第  $2/1440$  ( $\approx 2 \times 694 \mu s$ ) 秒第 1 根天線的信號關閉，依序加於 48 根天線，即形成以  $30\text{Hz}$  ( $48 \times 694 \mu s = 33.3 \text{ ms}$ ) 的速率完成 48 根天線的運作，相同的狀況也會運作於下旁波頻率加於每根天線，故形成了  $9960\text{Hz} \pm 480 \text{ Hz}$  的波形產生給航機收到。圖 2-15 為 Doppler 位移產生之不同頻率關係圖，當航機位置在北方時，12、13 號天線的信號因係遠離航機，36、37 號天線係接近航機，所以 12、13 號天線的信號跑到航機的距離較遠，亦即 12、13 號信號到航機時的時間較長(即頻率較短)，36、37 號天線的信號跑到航機的距離較近，亦即 36、37 號信號到航機時的時間較短(即頻率較快)，故在 D-VOR 的西方上、下旁波頻率分別為  $F_c + 9960 \text{ Hz} - 480 \text{ Hz}$  與  $F_c - 9960 \text{ Hz} - 480 \text{ Hz}$ ；在 D-VOR 的東方上、下旁波頻率分別為  $F_c + 9960 \text{ Hz} + 480 \text{ Hz}$  與  $F_c - 9960 \text{ Hz} + 480 \text{ Hz}$ ；在 D-VOR 的北和南方上、下旁波頻率分別為  $F_c + 9960 \text{ Hz}$  與  $F_c - 9960 \text{ Hz}$ 。



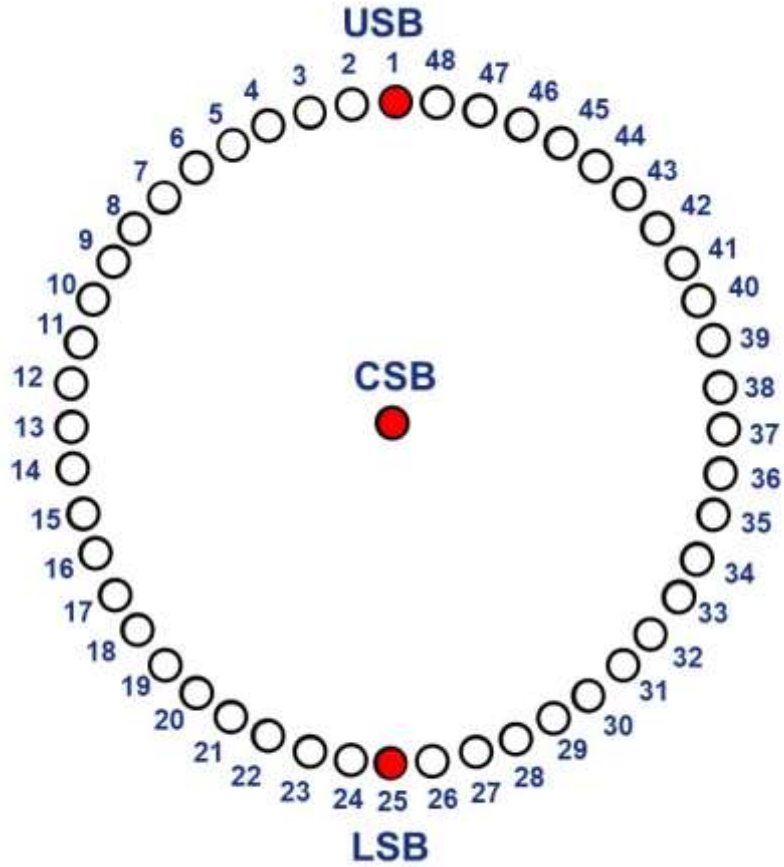


圖 2-14 D-VOR 之天線信號運作圖

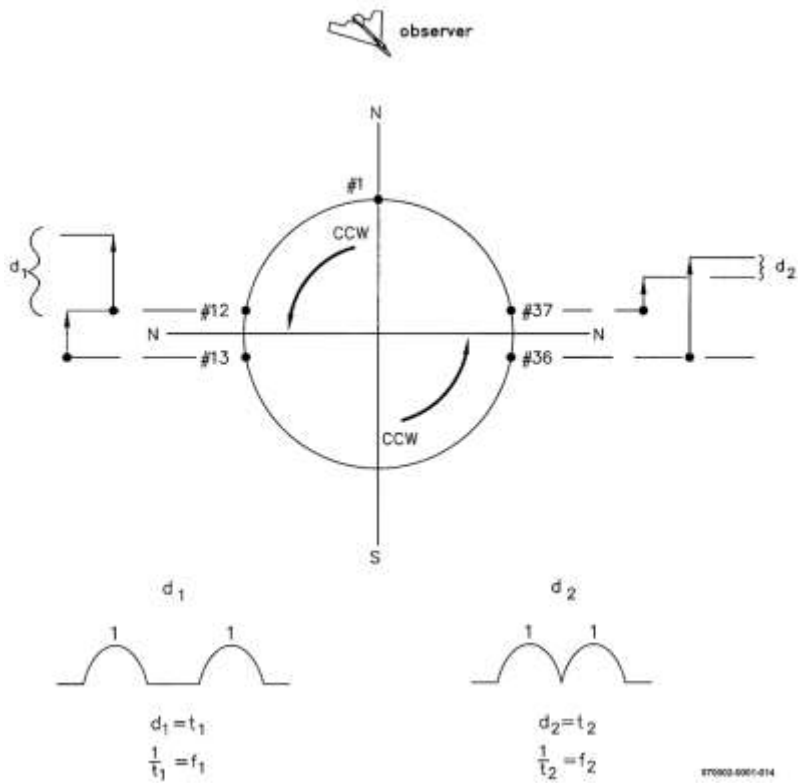


圖 2-15 Doppler 位移產生之不同頻率關係圖

## 2.4、VOR 模組卡片介紹

圖 2-16 為 VOR 卡板位置圖，左邊紅色框框為 1 號發射機使用之卡板，右邊紅色框框為 2 號發射機使用之卡板，這些卡板分別為 Audio generator、Synthesizer、CSB power amplifier、Sideband amplifier(SB1、SB2)、Sideband amplifier(SB3、SB4)、RF Monitor、Monitor、BCPS 與 LVPS；另外其餘的則是 1、2 號機共用的卡板，分別為 Test generator、AC power monitor、RMS、Facilities 與 Interface。所有的卡板不論是在 C-VOR 或是 D-VOR 皆是相同且可以互換，所以接下來會將 C-VOR 與 D-VOR 的卡板功能一起介紹。

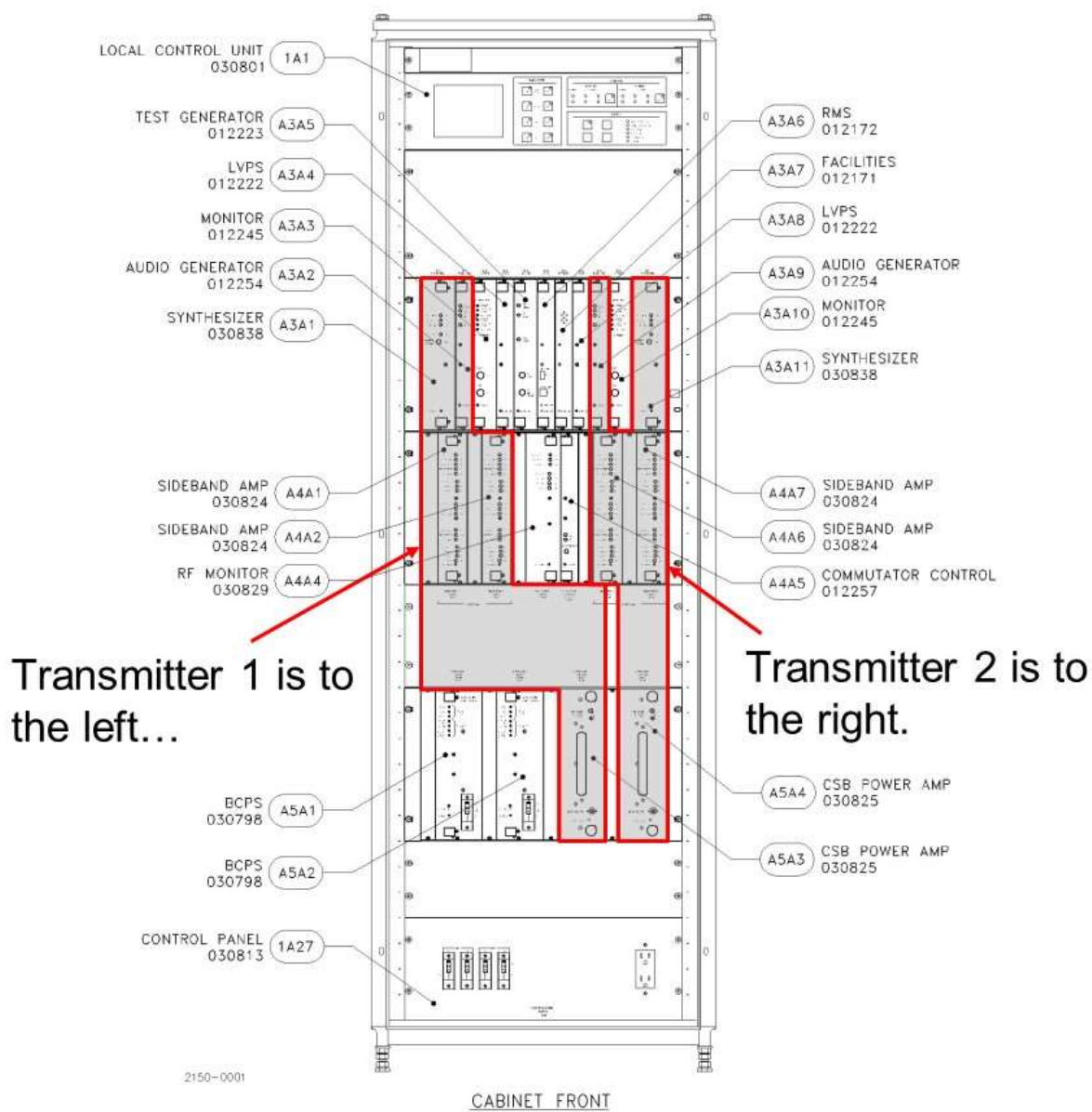


圖 2-16 VOR 卡板位置圖

#### 2.4.1 Audio generator 卡板

Audio generator 卡板的主要功能為產生參考調變信號(Reference Modulation)及 I.D.信號(Identification Signal)及旁波信號(Sideband Signal)，其中參考調變信號(Reference Modulation)於 C-VOR 中為 9960 Hz 音頻信號並加入 DC 準位以控制輸出功率大小；於 D-VOR 中為 30 Hz 音頻信號並加入 DC 準位以控制輸出功率大小。旁波信號(Sideband Signal) 於 C-VOR 中為 2 個 30 Hz 音頻信號分別為 SB1 與 SB2，其中 SB1 為正弦(Sine)信號、SB2 為餘弦(Cosine)信號；於 D-VOR 中為 4 個 9960 Hz 音頻信號分別為 SB1、SB2、SB3 與 SB4，其中 SB1 和 SB3 為正弦(Sine)信號、SB2 和 SB4 為餘弦(Cosine)信號。上述產生之參考調變信號(Reference Modulation)及 I.D.信號(Identification Signal)會送給 CSB Amplifier 卡板進行調變，產生參考信號(Reference Signal)；旁波信號(Sideband Signal)會送給 Synthesizer 卡板進行調變，產生可變信號(Variable Signal)。

#### 2.4.2 Synthesizer 卡板

Synthesizer 卡板的主要功能為產生 CSB Amplifier 及 Synthesizer 卡板所需要的頻率。提供給 CSB Amplifier 卡板所需要的頻率於 C-VOR 與 D-VOR 皆是載波頻率( $f_c$ )，提供給 Synthesizer 卡板所需要的頻率於 C-VOR 為載波頻率( $f_c$ )，於 D-VOR 的頻率則為上旁波頻率(SB3 與 SB4， $f_c + 9960$  Hz)與下旁波頻率(SB1 與 SB2， $f_c - 9960$  Hz)。

#### 2.4.3 CSB power amplifier 卡板

CSB power amplifier 卡板的主要功能為將來自於 Audio generator 卡板與 Synthesizer 卡板的信號合成後放大產生參考信號(Reference Signal)並送至天線將其發射出去。其中於 C-VOR 的信號在 CSB power amplifier 卡板之輸出端為  $f_c \pm 9960$  Hz  $\pm 480$  Hz 並以 30 Hz 的速率進行頻率調變(FM)，D-VOR 的信號為  $f_c \pm 30$  Hz 並進行振幅調變(AM)。

#### 2.4.4 Sideband amplifier 卡板

Sideband amplifier 卡板的主要功能為將來自於 Audio generator 卡板與 Synthesizer 卡板的信號合成後放大產生可變信號(Variable Signal)並送至天線將其發射出去。其中於 C-VOR 的信號在 Sideband amplifier 卡板之輸出端為  $f_c \pm 30$  Hz 並進行振幅調變(AM)，D-VOR 的信號為  $f_c \pm 9960$  Hz  $\pm 480$  Hz 並以 30 Hz 的速率進行頻率調變(FM)。

#### 2.4.5 RF Monitor 卡板

RF Monitor 卡板的主要功能為將發射及反射的功率資料送至 RF Monitor 及 Audio generator 卡板進行分析後，將資料顯示於 PMDT 上。同時內部設置 1 組高功率假負載與 4 組假負載分別供吸收 Standby 發射機發射之 RF 功率與 SB1、SB2、SB3 與 SB4 的功率，並將 RF 功率的資料分析後顯示於 PMDT 上，如圖 2-17 所示。

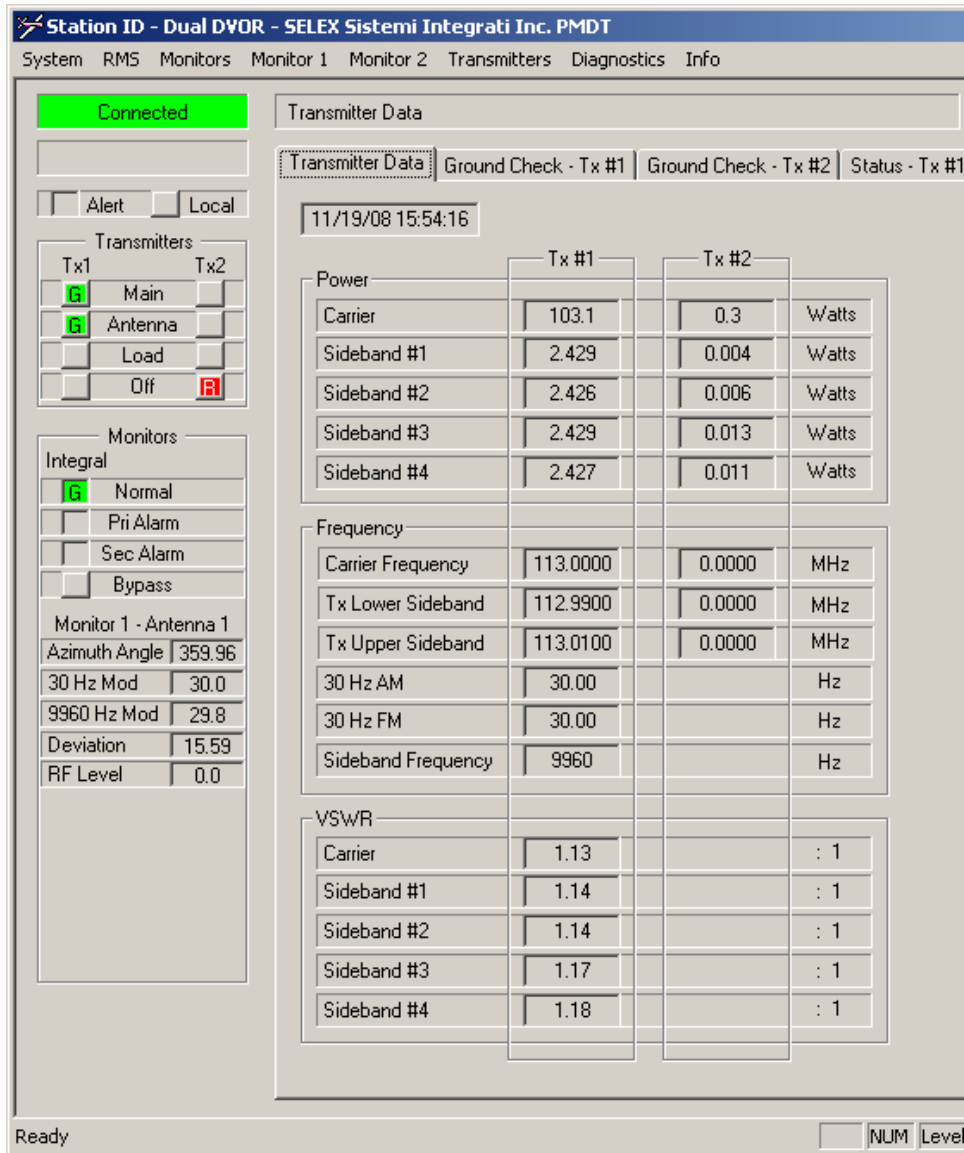


圖 2-17 PMDT 上經 RF Monitor 分析後的資料

#### 2.4.6 Monitor 卡板

Monitor 卡板的主要功能為將距 D-VOR 站台外 300 呎處之監控天線的信號放大後，進行分析並將分析後的資料顯示於 PMDT 上，如圖 2-18 所示。若這些資料超出設定的告警上、下限值時，便送出關機信號給 Local Control Unit(LCU)，進行發射機關機。



圖 2-18 PMDT 上經 Monitor 分析後的資料

### 2.4.7 BCPS 卡板

BCPS 卡板的主要功能為將輸入的交流電壓(100Vac 至 260Vac)轉變成直流電壓(48Vdc)後供給各卡板使用，如圖 2-19 所示。其中 BCPS 1 供給 CSB power amplifier TX1、Sideband amplifier TX1 與 LVPS 1(含 Audio generator 1、Monitor 1 與 Synthesizer 1)使用；BCPS 2 供給 CSB power amplifier TX2、Sideband amplifier TX2 與 LVPS 2(含 Audio generator 2、Monitor 2 與 Synthesizer 2)使用。其餘的卡板(Commutator Control、RMS、Facilities、Test generator、LCU、RF monitor 與 Interface)則是共用 BCPS 1 和 BCPS 2 卡板輸出的電壓。並同時藉由 BCPS 輸出的直流電壓對電池進行充電，若此時無輸入的交流電壓時，電池便會進行放電，將 48V 的直流電壓送至各卡板以維持 VOR 的工作。

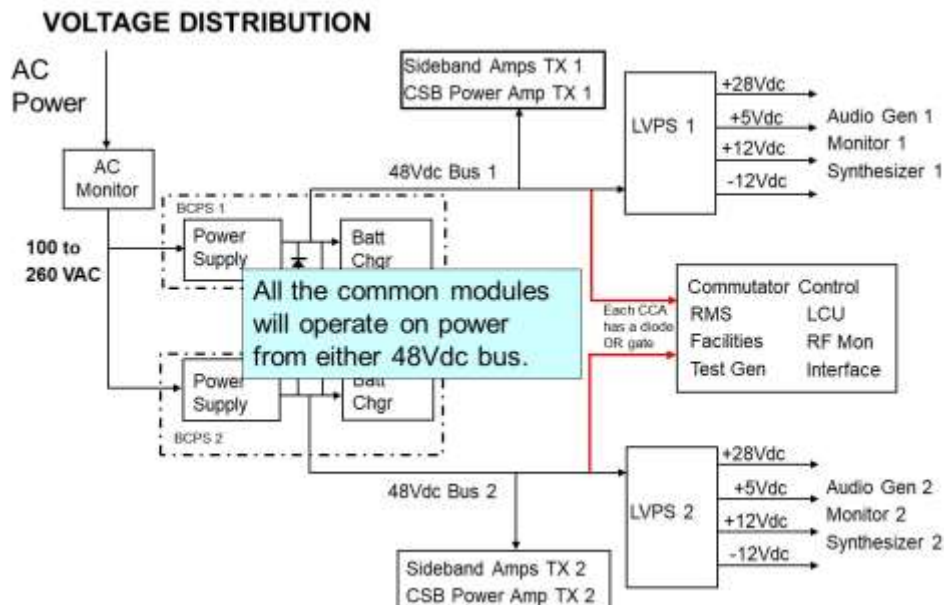


圖 2-19 BCPS 工作方塊圖

### 2.4.8 LVPS 卡板

LVPS 卡板的主要功能為將直流 48V 的電壓降成+28V、+5V、+12V、-12V 以供應給 Audio generator、Monitor、Synthesizer 卡板使用，如圖 2-20 所示。

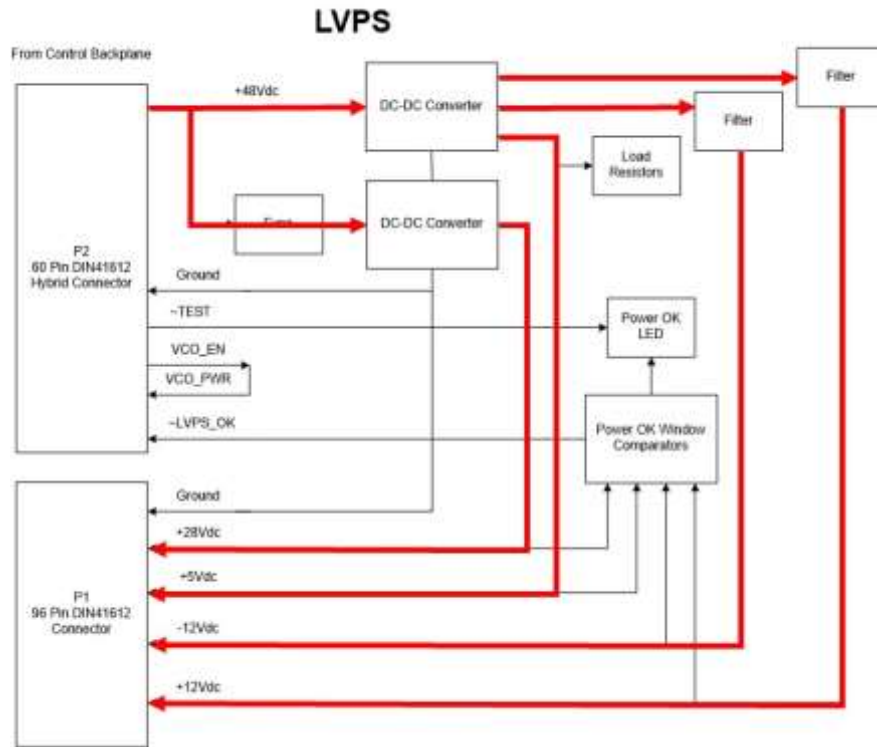


圖 2-20 LVPS 工作方塊圖

### 2.4.9 Test generator 卡板

Test generator 卡板的主要功能為提供標準的參考信號及可變信號的合成信號至 Monitor 卡板，供判斷 Monitor 卡板目前的運作狀況是否良好，如圖 2-21 所示，同時送測試信號至 Monitor 卡板，以測試告警上、下限值的功能是否運作正常，如圖 2-22 所示。

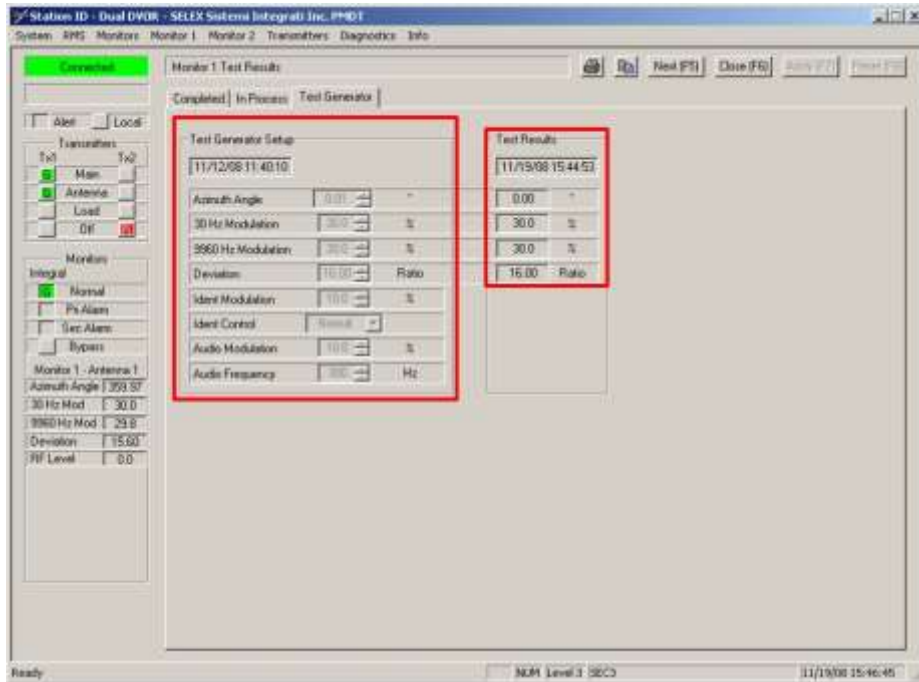


圖 2-21 PMDT 上測試 Monitor 運作狀況

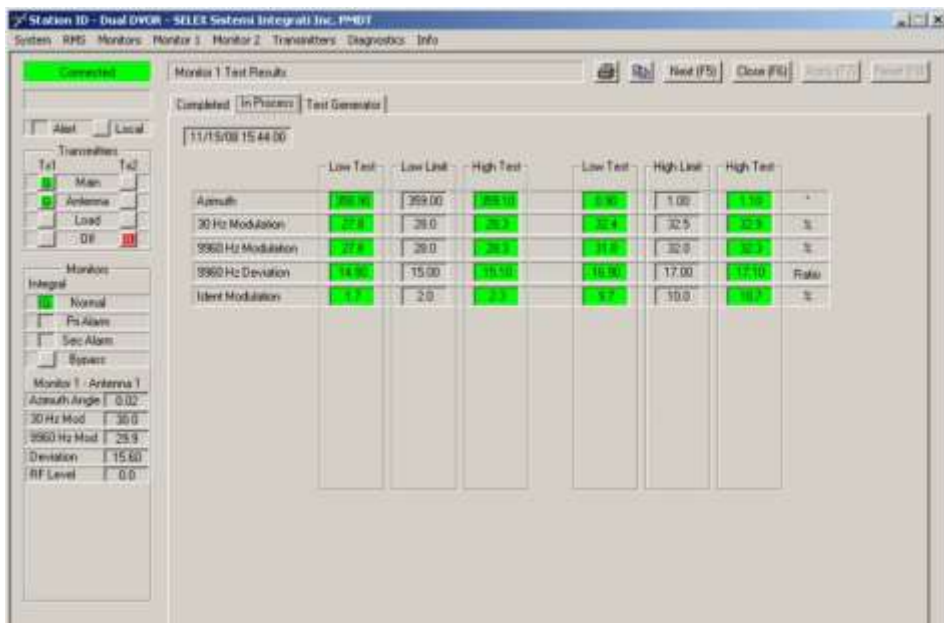


圖 2-22 PMDT 上測試 Monitor 告警上、下限值

#### 2.4.10 AC power monitor 卡板

AC power monitor 卡板的主要功能為量測 VOR 之輸入交流電壓、電流與障礙燈的電壓、電流，並將資料顯示於 PMDT 上，如圖 2-20 所示。

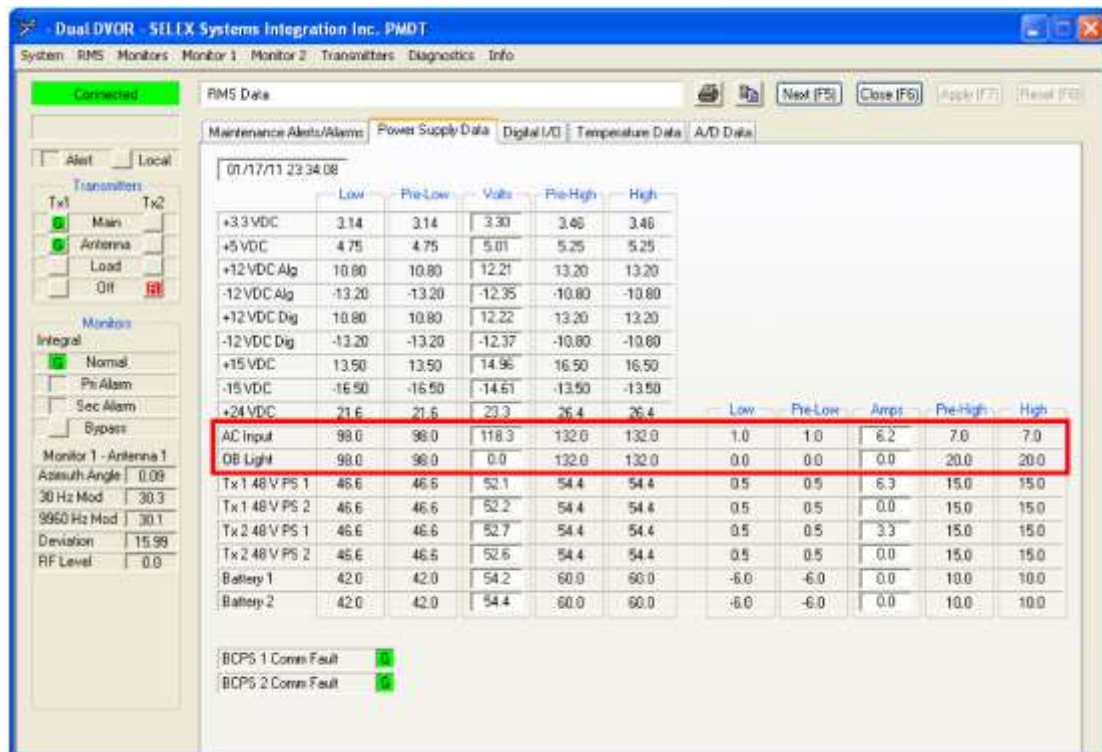


圖 2-22 PMDT 上經 AC monitor 量測後的資料

#### 2.4.11 RMS 卡板

功能與 DME 的 RMS 卡板一樣。

#### 2.4.12 Facilities 卡板

功能與 DME 的 Facilities 卡板一樣。

#### 2.4.13 Interface 卡板

功能與 DME 的 Interface 卡板一樣。



## 肆、心得與建議

### 一、心得：

本次藉著汰換後龍、綠島、恆春及西港 VOR/DME 設備的機會，計有 4 員航電人員獲派至美國堪薩斯參加原廠訓練，備感榮幸的同時，也深覺責任重大；學員除了利用本次難能可貴的機會努力提升自我能力，更要將寶貴資訊帶回臺灣，為提升本總臺航電人員技術能力及飛航服務品質共同努力。

本購案所購置之 VOR 設備，除 DVOR(都卜勒多向導航臺)設備外，也購置 CVOR（傳統式多向導航臺）設備，授課講師教學認真，**授課內容深入淺出，從 CVOR 至 DVOR 設備原理、模組功能、參數設定及卡板調校等詳細介紹**，讓同仁學習到這二種設備差異處，並十分注重學員的反應與吸收程度，學員有困惑提出問題時，必定詳加解說。透過此次的訓練課程中，也了解到 CVOR 和 DVOR 設備中有許多卡片模組均可以共用，唯一不同處在天線系統部分，雖各陣地均有購置二分之一的備份件，但在 CVOR 與 DVOR 設備之卡片模組都可互相共用下，**未來設備卡片模組之運用及調度上將變得更有彈性。**

原廠講師無論在設備原理講解及設備故障排除（Trouble Shooting）方面均有相當豐富的經驗，在授課前，講師將訓練用之 DVOR 設備設定於告警無法正常工作的狀態，由講師在旁協助學員親自依序檢測設備中的各模組工作狀態、確認系統參數設定是否正確等步驟，一步一步將故障排除，使系統恢復正常。藉此**設備故障排除 Trouble Shooting 課程中，學員能親自反覆練習操作設備，學習獨自查修設備**，對於一位航電維護人員而言，這是相當珍貴的經驗，也是每位航電維護人員需具備的基本能力。

經驗往往在不斷練習中逐漸累積，然而過去本總臺大部份為線上使用設備，啟用後鮮少可讓維護同仁進行大幅的調整操作，僅能在遇突發狀況時，隨著前輩維修吸取經驗，然囿於設備修復有其急迫性，無法使同仁做長期的檢測，在設備故障排除能力上其成效也無法發揮到極致，然而透過本次的原廠教育訓練，建立種子教官，未來配合本總臺航電人員專精複訊或專長訓練，即能將原廠習得的經驗傳承下去，這也是出國訓練最重要的目的地之一。

## 二、建議：

### (一)建議未來可增加飛測參數調校課程：

- 1、本次訓練課程著重在工作原理及卡片模組介紹，而在飛測時之參數調校，則較少談及，建議原廠於訓練課程中，可增加飛測參數調校相關課程。
- 2、另未來在國內訓練中增加飛測參數調校課程，並可於原廠工程師實施設備啟用飛測時，一併進行 VOR/DME 設備參數調校之實務訓練，除可增加航電人員對裝備參數校準能力及熟稔度外，亦可減少飛測時參數調校時間。

### (二)建議國內訓練及航電專精複訓中加強故障排除(Trouble Shooting)方面相關課程：

- 1、設備故障時能以最短時間內將故障排除，係航電維護人員應具備之維護能力，然而設備汰換啟用後，維護同仁無法利用線上設備進行故障排除之維護訓練，本次在國外訓練時，能反覆練習操作設備與故障排除，確實可增加學員之維護經驗。
- 2、若未來能在國內訓練時，增加故障排除相關課程，除可提升同仁在面對各種設備故障狀況的修復速度及熟悉度外，亦可將設備故障檢修過程撰寫成案例，在航電專精複訓時分享，除可提升維護同仁之查修能力外，亦可將查修經驗傳承予新進同仁。