

设备结构、组件原理及测量

本章导读

本章主要以 NM7000B 为例讲解仪表着陆设备整机结构、组件原理、调整及测量,具体包括整机框图、发射机、监视器、控制部分、远程监控系统(RMS)部分、接口组件、电源部分、遥控器、远程监控和管理(RMM)软件部分。通过学习本章内容,可深入理解仪表着陆系统的组成,掌握其内部结构及参数调整原理,为设备维护人员提供维护指南,为维修人员提供故障点定位及维修参考。

3.1 整机框图

仪表着陆系统包含的设备有航向设备、下滑设备、指点标或测距仪。本章主要介绍航向设备和下滑设备。航向设备与下滑设备结构相近,而且具有识别信号、远场监视等组件,所以学习航向设备能更全面地了解设备。下面将以航向设备为例介绍设备组成与原理。

3.1.1 设备描述

NM7000B 设备包含 7011B-7014B 航向设备和 7031B-7034B 下滑设备。不同型号设备采用相同的机柜,ILS 机柜可以为 I 类、II 类、III 类的应用配置所需的组件,但机柜本身没有基本的改变。

各型号如下:

NORMARC 7011B: 单频航向。

NORMARC 7012B: 具有热备份监视的单频航向(III类)。

NORMARC 7013B: 双频航向。

NORMARC 7014B: 具有热备份监视的双频航向(III类)。

NORMARC 7031B: 单频下滑。

NORMARC 7032B: 具有热备份监视的单频下滑(III类)。

NORMARC 7033B: 双频下滑。

NORMARC 7034B: 具有热备份监视的双频下滑(III类)。

为了获得较佳的性能,目前国内普遍采用双频的型号。图 3.1 为航向设备框图。

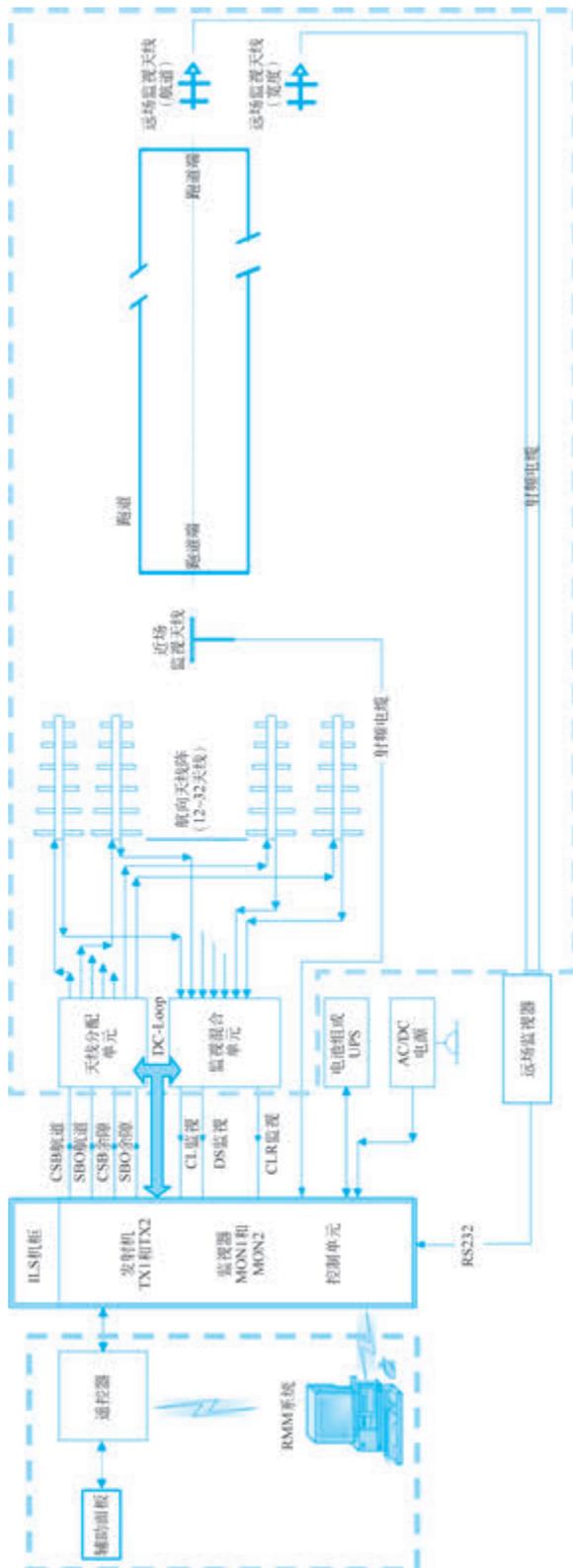


图 3.1 航向设备框图

航向信标系统主要由室内的 ILS 机柜、遥控部分、电源(包括备用电池组)、远程监控系统、远场监视器和室外的天线分配单元、监视混合单元、航向天线阵(12~32 天线)、近场监视天线、远场监视天线组成。

ILS 机房内的机柜产生 CSB 航道、SBO 航道、CSB 余隙和 SBO 余隙共 4 路射频信号送到天线分配单元(ADU),ADU 按设定的幅度和相位关系把 4 路射频信号分配到天线阵的每根天线,信号经天线发射,在空中形成 ILS 场型。而监视混合单元(MCU)则把每根天线上的采样耦合信号进行混合,组合出航道(CL)、宽度(DS)和余隙(CLR)信号送回 ILS 机柜的监视器进行检测,由 MCU 送回来的 3 个信号称为整体监视信号,其参数代表了发射信号的幅度和相位情况,如参数异常超出门限,设备控制部分将根据设备当前状态做出转换或关机的操作。

近场监视天线一般安装在跑道中心线的延长线上,距离天线阵 60~100m 的位置,通过射频电缆把接收信号送回机房,对航道信号进行监视。Ⅱ类设备配有远场监视,对航道和宽度信号进行监视,监视航道信号的天线通常安装在对端航向天线阵后方的跑道中心线的延长线上,监视宽度信号的天线往往因避免影响机场的运行而没有条件安装在宽度 $150\mu\text{A}$ 的位置,一般安装在对端航向机房附近。因此监测到 DDM 值不是标准的 $150\mu\text{A}$,但由于在 $180\mu\text{A}$ 以内信号是线性的,检测点的信号和宽度 $150\mu\text{A}$ 具有相关性,所以也可作为宽度监视的参考。远场监视除天线外还需要一个远场监视器或一台 ILS 接收机,多数情况下远场监视器安装在对端航向机房,对航道和宽度信号检波,得出数字化的参数值,再经过 RS-232 串行数据接口传送到对应的设备。近、远场监视实现外场信号的监视,作为整体监视信号的有益补充,当出现外场场地变化、天线机械失准和交通车辆误入天线场地保护区等情况时,能给出必要的提示,完善了设备的监视手段。远场监视天线的信号易受航班升降影响,通常设置为出现异常情况时不对设备进行控制,只给出警告提示。为避免错误关闭设备的情况,近场监视参数也可以适当延长告警时间。

为预防室外的天线阵、ADU、MCU、发射和监视电缆出现开路性故障,而又不明显影响各监视参数数值的情况,ILS 机柜的监视器具有直流环路(DC-Loop)检测功能,当检测到告警时,也可以关闭设备。

在供电方面,ILS 机房的设备具有厂家配套的电源器,保证提供足够的电源功率,同时为保障 4h 不间断供电,还应配有电池组或 UPS 等设施。ILS 设备的工作状态和控制还可以通过遥控部分延伸到集中监控室和塔台,实现远程的监控。遥控器安装在监控室,提供显示和控制的功能。从属面板通过 CAN 总线连接到遥控器上,用于塔台。具有正常/预警/告警指示,在出现告警等异常情况时给出声音告警。另外,值得注意的是它能够在选择允许的情况下开关设备,为避免错误操作,目前这一功能需屏蔽。

在维护方面,设备具有多个串行接口方便技术人员通过安装了 RMM 程序的计算机在本地或监控室对设备进行检查维护和参数设置。

以上为航向设备的典型配置,下滑设备除没有远场监视以外有着与航向基本相同的架构,这里不再阐述。所有投入运行的 ILS 设备在性能上均应符合《国际民用航空公约》附件 10 的要求,本书附录摘录了附件 10 的部分规范。

3.1.2 机柜部件

NM7000B ILS 设备的组件安装在一个紧凑的壁挂式机柜中,出于可靠性考虑,和其他的导航设备一样,机柜内配置了两台发射机、两个监视器和用于开关机操作的控制部分。机柜部件如图 3.2 所示。

1. 发射机

机柜内一般配有两台发射机,用于主备选择,提高系统可靠性。每台发射机包含一块射频源(OS)、一块低频产生器(LF)、一或两块功放模块(LPA/GPA),单频系统为一块功放,双频系统为两块功放。

射频振荡器使用频率合成器,简单地设置就可以改变波道频率。双频系统的射频源可有航道、余隙两个输出。

低频产生器包含了产生 CSB 和 SBO 调制信号(90Hz 和 150Hz)、键控调制信号(1020Hz)的电路;同时也包含用于 DME 主或从键控的识别键控器/定序器和接口。数字信号处理器产生所需的信号,并可确保调制信号稳定的相位和幅度关系。调制平衡、调制度和、射频电平、SBO 衰减、SBO 相位、识别码和识别调制等调制参数都是由此模块控制。这些数值存储在电可擦除编程只读存储器(EEPROM)中,且由具有硬件写保护的 RMS 处理器进行更新。

单频和双频系统都使用相同的低频产生器。

功放模块完成调制和功率放大。放大部分为宽带功率放大器,在 ILS 波段内改变频率无需调谐。转换继电器作为公共部分用于发射机主备切换。

2. 监视器

设备配有两个监视器,其输入信号为航道(CL)、宽度(DS)、近场(NF)和余隙(CLR)。MF 监视器前端对这些信号进行接收,解调出载波电平信号、导航基带信号后,信号在模块 MO 进行数字化,并通过数字信号处理器(DSP)执行快速傅里叶变换滤波。经处理后每个参数的结果与数字硬件比较器中的存储门限进行比较。比较结果将送控制部分,控制部分可设置单监视器(或逻辑)或双监视器(与逻辑)检测到超出门限告警时对设备进行转换/关机的操作。

每个监视器都包含 MF 与 MO 模块。对于Ⅲ类设备,通过增加一个监视器和相关的射频耦合器以及混合器来形成热备份监视。

由于告警比较器使用数字化硬件和使用信号处理器实现简洁的快速傅里叶变换及均值计算完成数据滤波,使得监视器的设计能够确保非常高的完好性。此外,监视器具有自检功能,当监视器自身故障时,也可以导致设备转换或关闭。

告警门限存储在 EEPROM 中,并且由 RMS 处理器进行更新,并使用独立的硬件写保护以确保监视器完好性不会被 RMS 影响。

3. 发射机控制

发射机控制模块是依靠来自监视器的告警和来自本地控制、遥控、RMS 的输入进行系统控制,同时接收 RMS 产生的状态信息。发射机控制模块通过控制射频源的通断或功放 LPA/GPA 的供电实现开关机操作。发射机控制模块由本地控制和状态指示器组成,发射机控制的所有功能都基于数字硬件,以确保其较高的完好性。

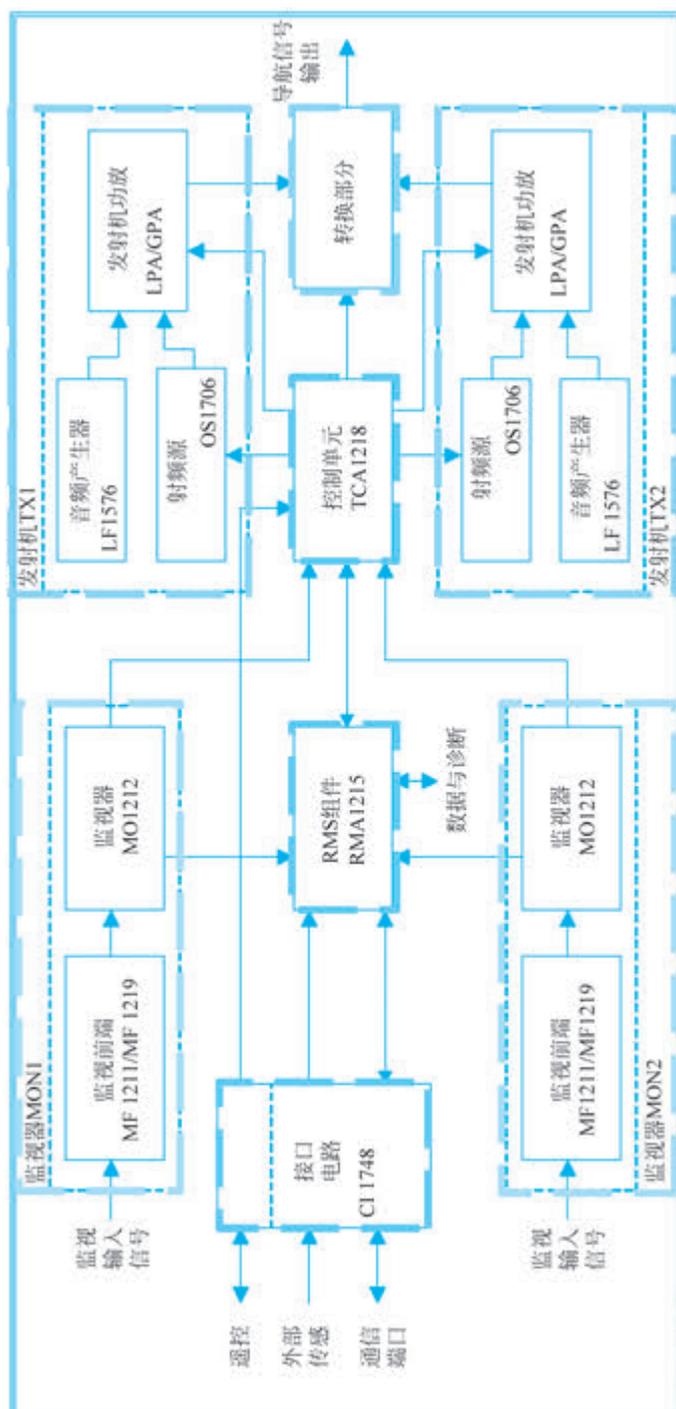


图 3.2 机柜部件图

4. 远程监控系统

远程监控系统模块包括系统微处理器,它处理存储和读取监视器参数、维护测量和故障查找,并执行故障分析;同时可设置监控门限和调整发射机。

远程监控系统处理本地和远程装有 RMM 程序的计算机的通信,此外,它还具有一个小型的显示屏和按键组,用于进行参数设置和读取。

5. 连接接口

连接接口(CI)包含通信、监控、供电和传感器等各种连接。其主要作用除了提供可靠连接,还在接口电路增加过压过流的保护,防止外部原因对设备造成损害。

3.2 发射机部分

发射机产生受 90Hz 和 150Hz 音频调制且具有所需功率的 ILS 调幅信号。该部分包含两台相同的发射机 TX1 和 TX2,通过转换继电器,一台连接到天线,另一台连接到假负载作为备份。

以航道发射机为例介绍其信号流程,如图 3.3 所示。发射机部分的直流供电电压来自电源板 PS1227。射频源 OS1706 产生射频载波信号,用于双频系统时,输出航道和余隙信号。

低频产生器 LF1576 产生低频调制信号(90Hz 和 150Hz)和用于航向识别的 1020Hz 键控信号。LF1576 送出 CSB 调制信号(I、Q 通道共用一个调制信号)、SBO I 调制信号和 SBO Q 调制信号。通过调节 SBO I 和 SBO Q 调制信号的幅度比例可精确控制 SBO 相位,其相位变化范围为 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 。

LPA1580 航向功率放大器组件和 GPA1581 下滑航道功率放大器组件均包含两个负反馈通道控制的输出放大器,一个用于 CSB 信号,另一个用于 SBO 信号。图 3.3 中除了 OS、LF 及转换继电器,其他模块均属于功率放大器。另外,GPA1582 下滑余隙功率放大器只包含一个通道放大器。

每个放大器由“笛卡儿环”反馈控制。采用独立的 I 和 Q(I 代表同相(in-phase),Q 代表正交(quadrature-phase))、调制器(Modulator)、解调器(Demodulator)和积分器(Integrator)。解调器从放大器(Power amplifier)输出的定向耦合器馈入采样信号,解调得到的 I 和 Q 负反馈信号送到积分器,I、Q 反馈环路可以协助精确控制输出信号的幅度和相位。积分器合成调制信号和负反馈信号送到调制器,可准确地控制射频功率、调制电平以及 SBO 相对于 CSB 的功率比。调制器完成对载波信号的幅度调制,再由放大器放大到足够的功率送至天线系统。

转换部分的继电器能够将一台发射机的 CSB 和 SBO 输出信号连接到天线,而另一台发射机连接到假负载上,继电器的切换由发射机控制模块控制。

以下将详细描述发射机的原理。

3.2.1 射频源 OS1706

射频源按照设置的频率为发射机产生射频载波信号(LO 信号)。单频设备频率为波道频率,双频设备的航道(COU)和余隙(CLR)信号以波道频率为中心,频率分别高或低偏移,其频率间隔为航向 10kHz、下滑 15kHz。OS1706A 用于航向设备,航向射频载波频率范围为 108~112MHz; OS1706B 用于下滑设备,下滑射频载波频率范围为 328.6~335.4MHz。

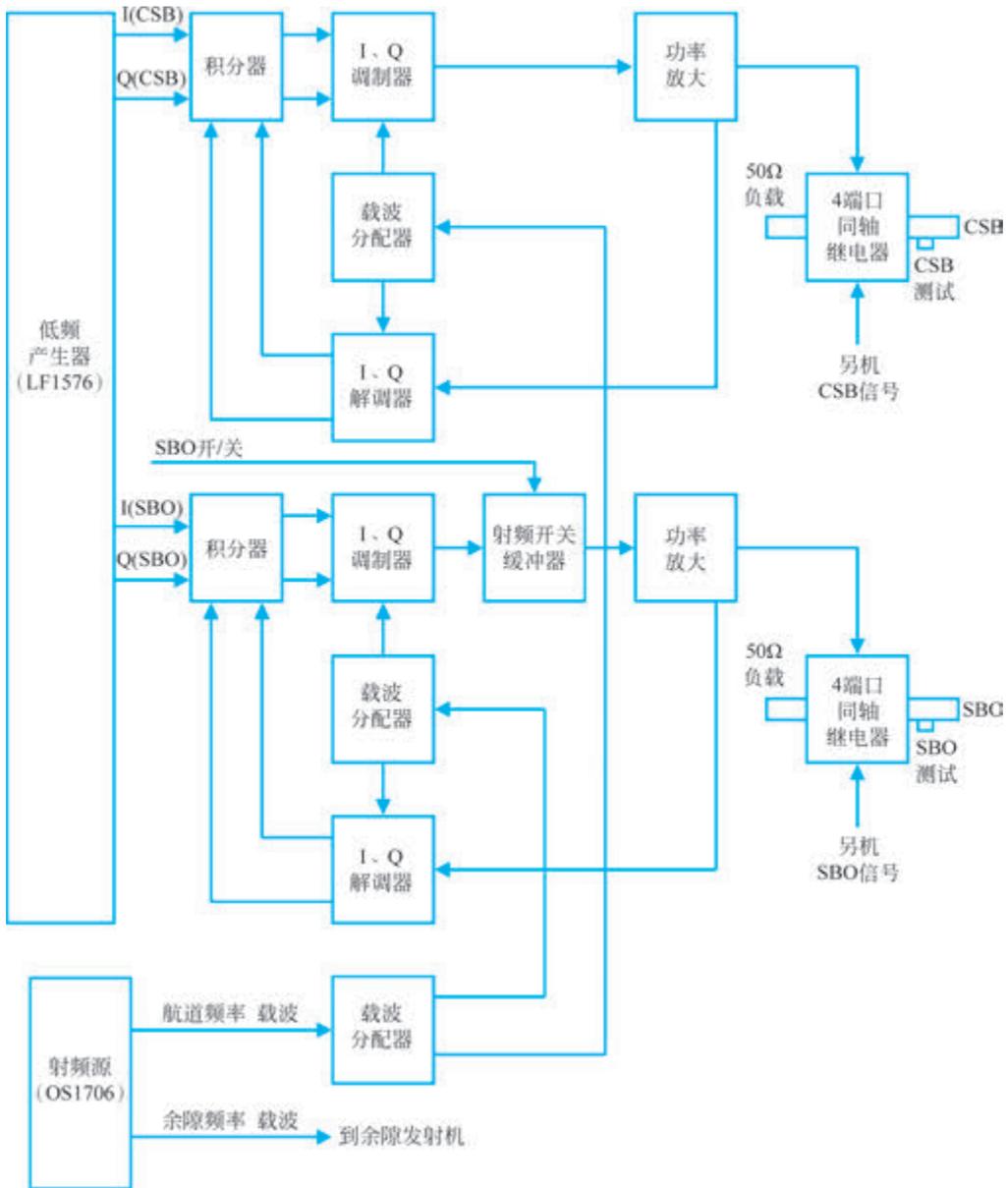


图 3.3 发射机原理框图

1. OS 射频源原理框图

OS 射频源原理框图如图 3.4 所示。

OS 模块包含两个相同并独立的电路，分别产生航道和余隙本振信号，图 3.4 中上半部分为航道电路、下半部分为余隙电路，只有频率设置部分是共用的。

以航道信号的产生为例介绍 OS 原理。在模块上电时，波道选择(Channel select)内的微处理器 U_7 读取频率设置跳线的位置，将信息转换为合适的数据传送到锁相环(PLL)IC。该 IC 负责对来自具有电压控制-温度补偿的晶体振荡器(VTCXO)的基准信号 f_{ref} 和来自压控振荡器(VCO)输出的 f_{out} 反馈信号进行锁相。因为两个输入信号频率并不相同，IC 首

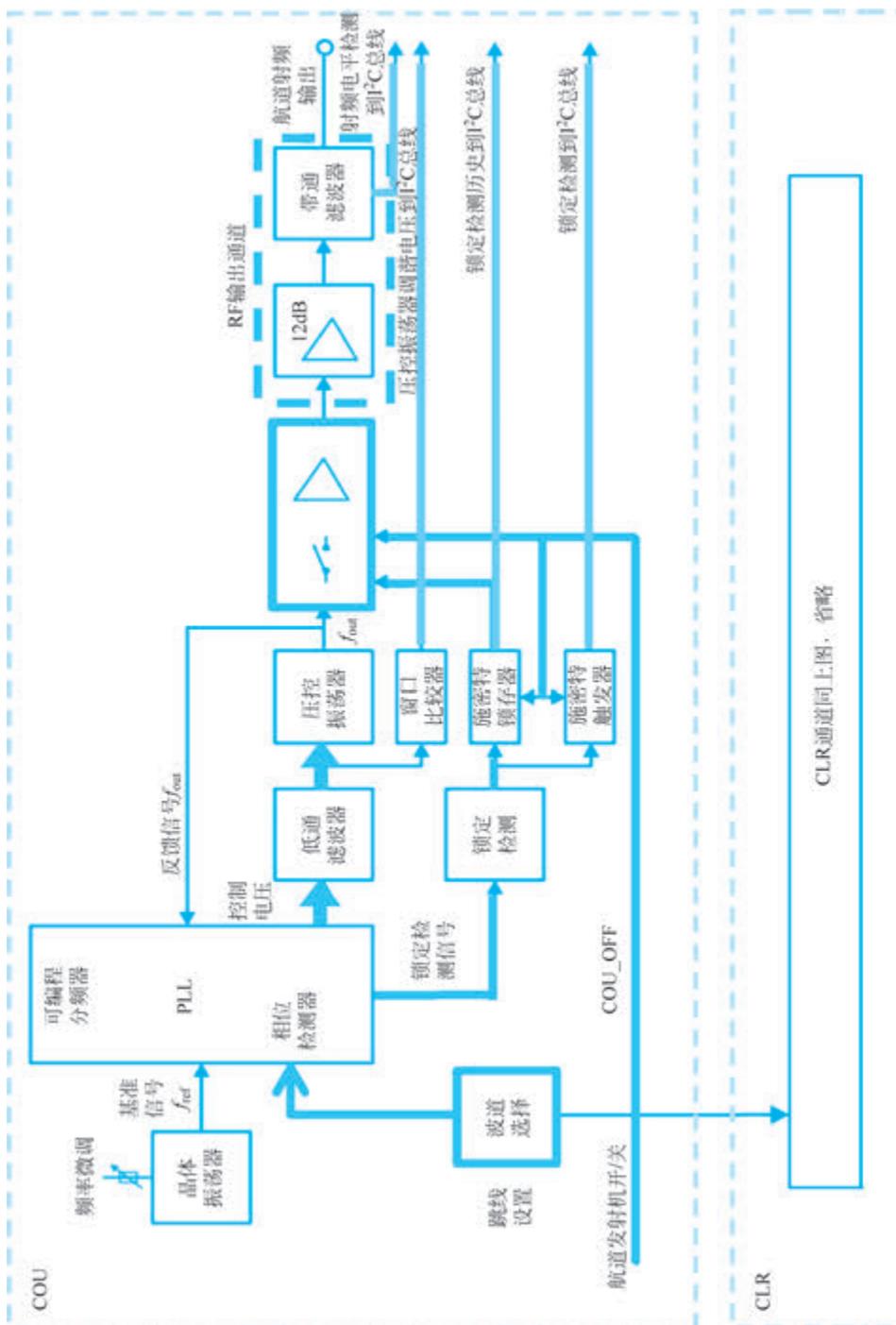


图 3.4 OS 射频源原理框图

先通过加电时接收的频率设置数据,设定两个独立的可编程分频器对输入信号进行不同的分频。如 R 是基准信号 f_{ref} 的分频因子, N 是 VCO(输出频率) f_{out} 的分频因子。IC 内部的频率/相位检测器比较两个分频器的输出,并产生一个输出电压,经低通滤波器后该输出电压把 VCO 调谐到使相位检测器的两个输入信号在频率和相位上完全相同。两个频率关系可以用公式 $f_{\text{out}} = f_{\text{ref}} \times N/R$ 表示,因此通过改变 VCO 反馈信号的分频数,将会改变输出频率。VCO 除了准确输出设备所需射频信号频率 f_{out} ,其频率稳定度也与晶体振荡器的基准频率稳定性相当。

锁相环被设计成产生 ILS 需要的频率。模块前面位置的跳线选择所需的 ILS 波道,适用于单频和双频系统配置,双频系统中航道信号频率比波道频率高 5kHz(下滑 7.5kHz),而余隙频率低 5kHz。但航道和余隙信号的频率也可以通过跳线配置成互为交换使用。

来自 VCO 的信号通过 PIN 二极管开关连接到双栅极 MOSFET 放大管,这两个器件组成受发射机控制模块 TCA 组件送出来的开关机信号 COU_OFF 和锁定检测历史信号 LD_hist 控制的两级开关。只有当开关接通时,VCO 输出的信号才能到达 12dB 的 RF 放大器进行放大,并经过一个带通滤波器输出射频(RF)信号到功放(LPA)。

当输出信号的频率正确时,PLL IC 产生一个高电平的锁定检测(LD)信号,如果 PLL 失锁,LD 将变低,使施密特触发器的输出 LD_Hist 变成低电平。该低电平信号将关闭 PIN 二极管开关和双栅极 MOS 晶体管的控制栅极,导致 RF 输出信号关闭。

如果 PLL 再次锁定,LD 将再次变高。但是,由于施密特触发器的锁存功能,LD_Hist 信号不会改变,RF 输出将保持关闭。施密特触发器需由 COU_OFF 输入信号的负跳变或电源的关闭和接通进行复位。

LD 和 LD_Hist 的状态从 I²C 扩展器 IC(U₁₅)读取,并通过 I²C 总线传输到 RMM 系统。RF 信号电平状态也用于 RMM 检测。

2. OS 射频源的设置和测量

OS 射频源作用是产生波道频率,模块的调整主要包括频率的设置和测量。

1) 频率的设置

OS 射频源频率的设置通过模块上 P_2 跳线实现。跳线编号为 1~9,各自含义见表 3.1。 P_2 实物图如图 3.5 所示。 P_2 部分频率设置见表 3.2。模块上有详细的频率设置说明。



图 3.5 P_2 实物图

表 3.1 P_2 跳线功能

跳 线	功 能
1~6	频率设置
7	单、双频设置,连接为单频系统
8	连接为 CLR 频率高于 COU 频率
9	用于使连接的跳线数量为偶数

表 3.2 P₂ 跳线频率设置

波道号	航向频率/MHz	跳线(波道配置)						系统配置		
		1	2	3	4	5	6	7 ¹⁾	8 ²⁾	9 ³⁾
1	108.1						×			×
2	108.15					×				×
3	108.3					×	×			
4	108.35				×					×
5	108.5				×		×			

在频率的设定中,为防止热备份配置下主备机相互之间的串扰,注意 TX1 与 TX2 的频率设置。TX1 的跳线 8 断开,而 TX2 的跳线 8 连接,双机的航道和余隙频率得以互换,改善了波道隔离。此外,通过微调 TX1 与 TX2 的频率增加额外间隔 300Hz(GP 为 900Hz),即 TX1 上偏 150Hz(GP 为 450Hz),TX2 下偏 150Hz(GP 为 450Hz)。

2) 频率的微调

测量的频率与标称频率频差要求在 1kHz 以内,否则需要对射频频率进行调整。微调图中 CLR/COU Freq Adj 的 10kΩ 电位器(物理位置靠外),调整引起的电压变化将控制晶体改变输出的基准频率,从而令 PLL 环路的输出频率满足要求。在上述两个电位器旁边靠里位置还有两个 1kΩ 电位器,从阻值看它们的调整将更加细微,可以达到更高频率精度,实际在航向设备上进行调整,其范围也在 300Hz 以内。另外还需注意,如图 3.6 所示,1kΩ 的 R_{100} 电位器和场效应管 Q_2 并联, Q_2 栅极接母板,如果 OS 模块为 TX2 的射频源,在母板 Slot2 位置有一个高电平加至 Q_2 栅极, Q_2 将进入饱和导通状态, R_{100} 的 3 脚接地, R_{100} 失去

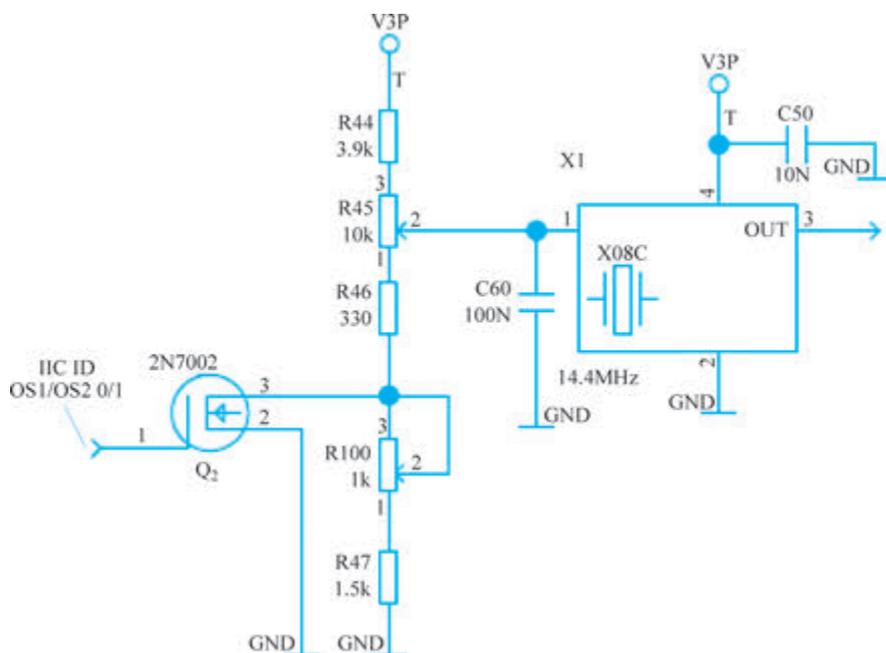


图 3.6 晶体及外围调整电路

注: TX2 的 OS(Slot2)不需调整。

调整电压的作用,因此设备手册建议无须调整 TX2 的 OS 射频源靠里的两个电位器。电路结构使晶体的控制电压降低,射频源输出频率轻微降低,确保实现热备份设备频率的偏移。

3) 频率的测量

频率测量步骤如下:

- (1) 测量连接如图 3.7 所示,频率计连接至前面板 COU CSB 或 CLR CSB 端口。
- (2) 测量过程需关闭 90Hz、150Hz、1020Hz 调制信号。
- (3) 正确选择频率计的通道和精度等参数读出频率值。

4) 功率测量

功率较小时进行高精度测量需使用终端式功率计(如图 3.8 所示)、功率传感器、耦合器等仪表工具。

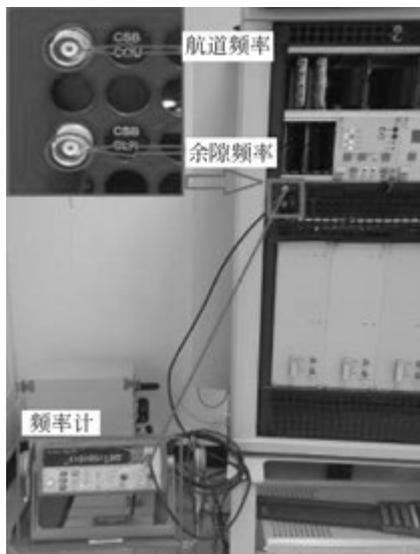


图 3.7 频率测试点



图 3.8 终端式功率计

功率测量步骤如下:

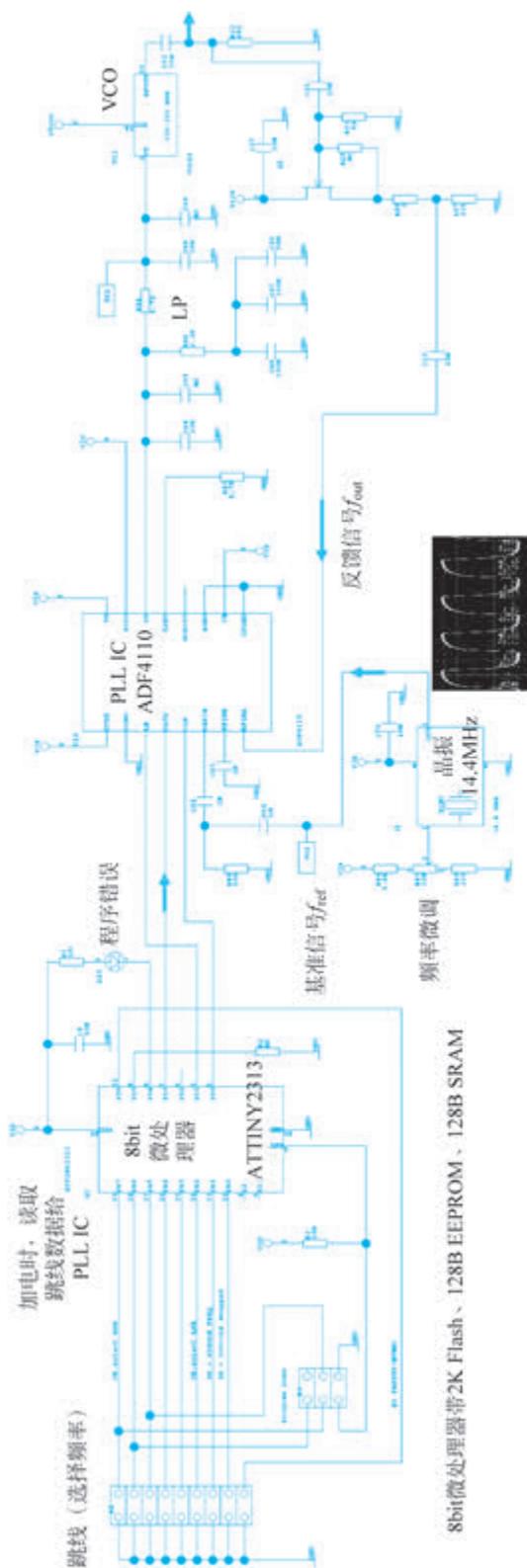
- (1) 按照测量频率校准用于测量的网分。
- (2) 网分测量耦合通道的衰减,用于测量过程中的功率补偿。
- (3) 在 OS 输出端接入功率计进行测量。

3. OS 射频源的电路结构

OS 射频源主要有 PLL 电路、射频开/关电路、相位锁定检测电路等。

1) PLL 电路

OS 射频源的 PLL 电路如图 3.9 所示,跳线 P_2 包含单双频和航道/余隙频率设置。通电时 8bit 微处理器读取跳线信息,对跳线连接数量进行奇偶校验,偶数为正常。检测异常,将点亮 D_{20} 黄色 LED,板件不工作;检测正常,则根据设置频率的信息送出串行数据到 U_{10} 。 U_{10} 为 PLL IC,内部结构如图 3.10 所示,接收的数据包含对 U_{10} 内部计数器的分频设置 R 和 N 。输入到 U_{10} 进行锁相的信号分别为晶振产生的 14.4MHz 基准信号 f_{ref} 和 VCO 输



8bit微处理器带2K Flash、128B EEPROM、128B SRAM

图 3.9 PLL 电路

出频率 f_{out} 信号, 经过各自的分频器后两者频率相同, 同时加到 IC 内部的频率/相位检测器进行比较, 根据比较结果在 CP 端输出一个 VCO 控制电压。控制电压经低通滤波器后将 VCO 调谐到使相位检测器的两个输入锁相。从通电到频率锁相的 VCO 控制电压波形变化过程如图 3.11 所示。

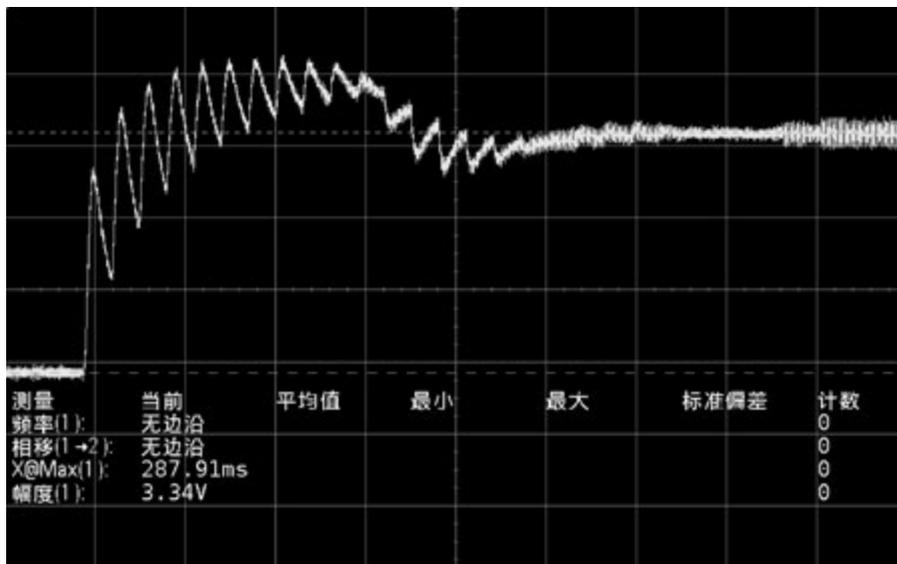


图 3.11 VCO 控制电压

2) 射频开/关电路

VCO 产生的射频信号经过由 PIN 二极管和双栅极 MOSFET 管组成的两级开关电路后送到后级放大电路。开关电路的通断由 TCA 送来的 COU_OFF (CLR_OFF) 输入信号和 LD_Hist 锁定检测历史信号共同控制。COU_OFF 输入信号的低电平/高电平对应开启/关闭开关电路, LD_Hist 锁定检测历史信号的高电平/低电平对应开启/关闭开关电路。接通开关电路两个控制信号均要在开启状态, 电路如图 3.12 所示。

为了使 PIN 二极管 D_1 导通, 正极 A 点必须为高电平。导通时, Q_3 NPN 三极管的发射极接 COU_OFF 输入信号低电平、基极接 LD_Hist 锁定检测历史信号的高电平、集电极经 R_{26} 接 12V 电源, 其处于导通状态。流经 R_{26} 的电流产生的压降使 Q_3 进入饱和状态, 集电极和发射极为短路状态, 均为高电平, 这一高电平加到 PIN 二极管 D_1 正极 A 点, D_1 负极经电阻 R_{22} 接地, 因此 D_1 导通。 R_{22} 相对于射频信号呈感性高阻状态, 射频信号将通过 D_1 送到下一级双栅极 MOSFET 管开关电路。

以上为 PIN 二极管 D_1 导通的过程, 只要两个控制信号其中之一处于关闭状态, 二极管将截止, 射频无法通过。同理, 还可以说明双栅极 MOSFET 管 Q_5 组成的开关电路的接通和关断情况, 只要 Q_7 导通, Q_4 饱和, Q_5 的控制栅极为高电平将处于导通放大的状态, 开关接通, 反之则关断。

由此形成了受 COU_OFF 输入信号和锁定检测信号控制的两级开关电路。

3) 相位锁定检测电路

相位锁定检测电路如图 3.13 所示。

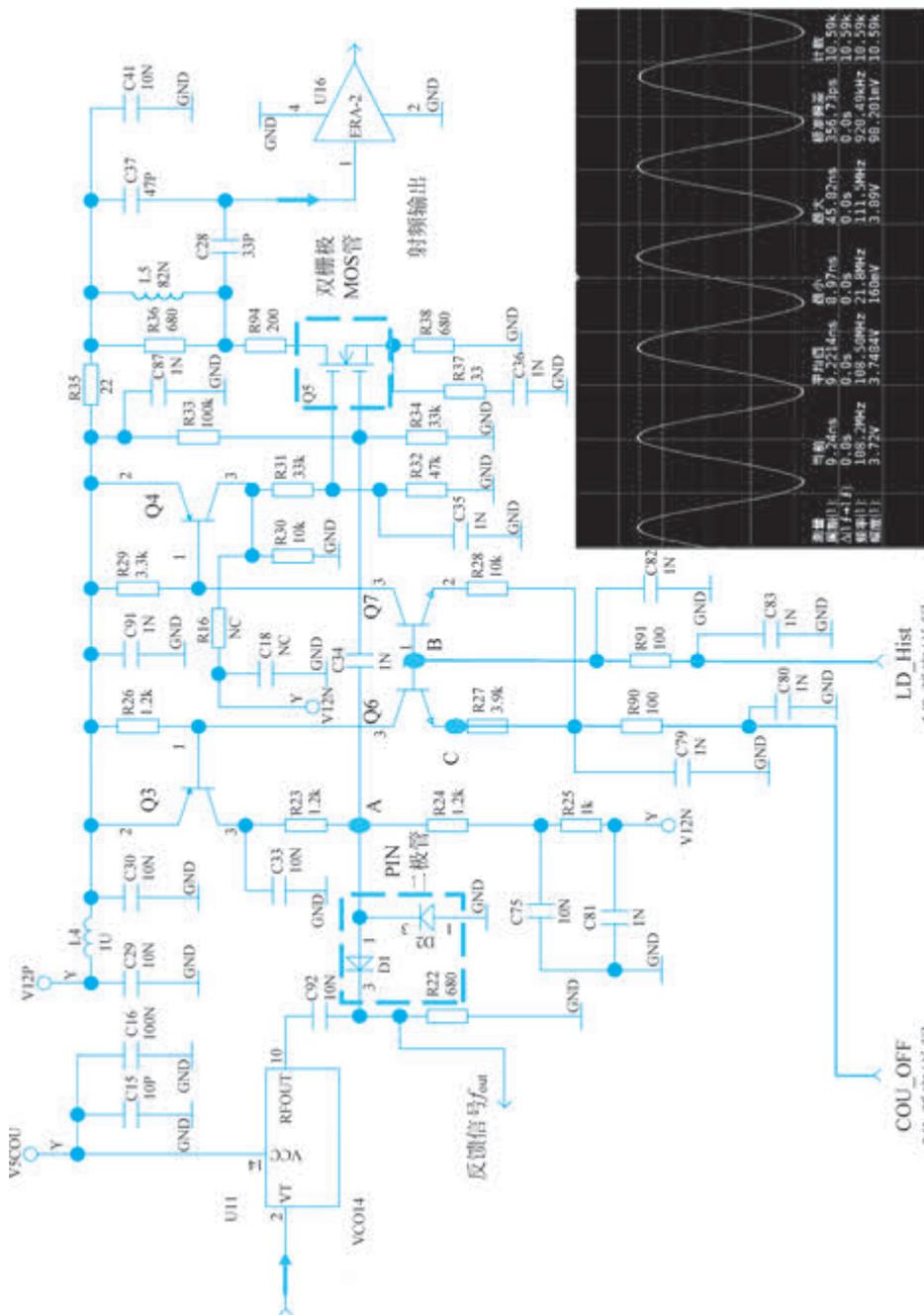


图 3.12 两级射频开关电路

失锁触发后保持, LD_Hist具记忆功能

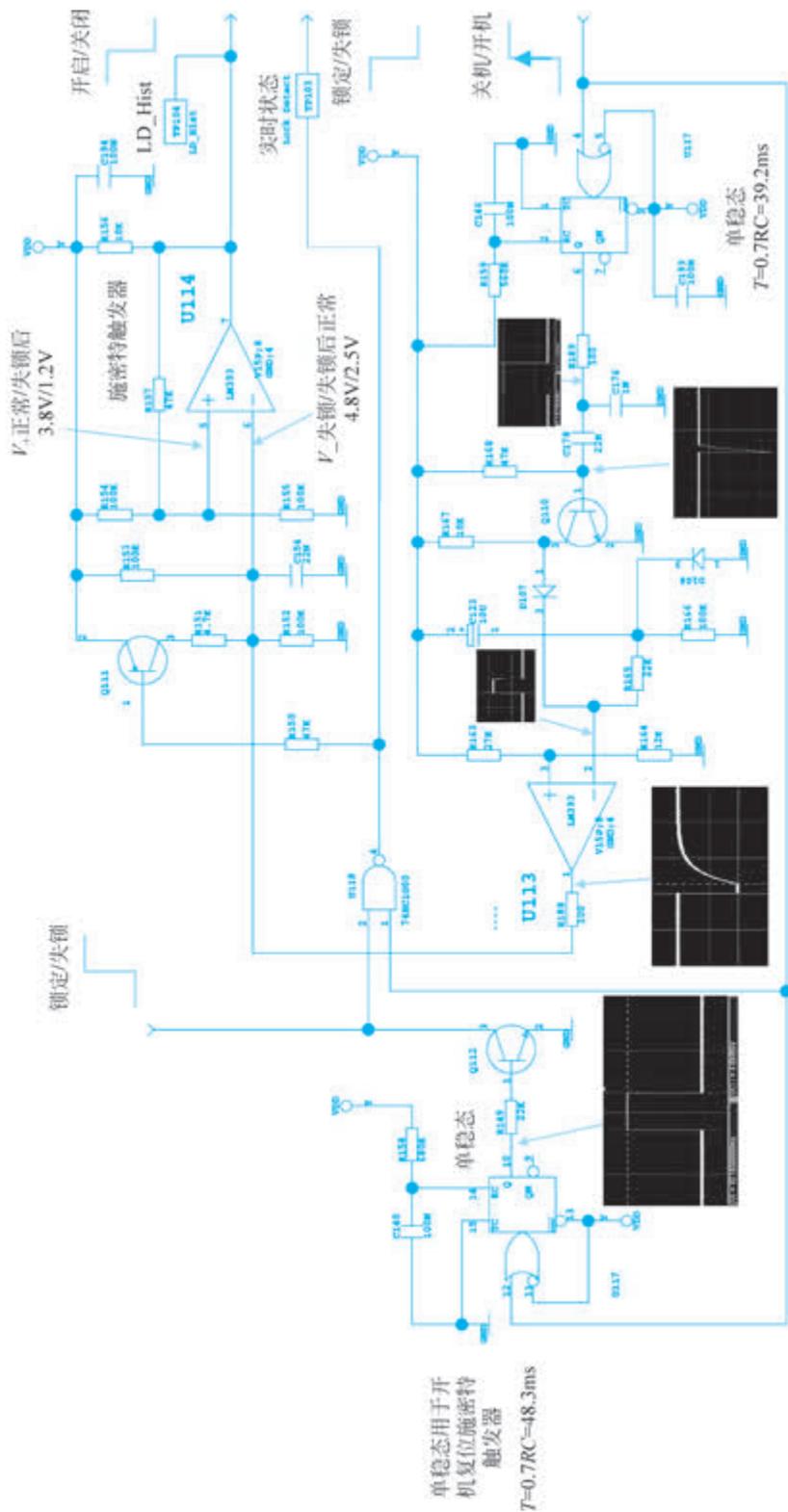


图 3.13 相位锁定检测电路

图 3.13 中左上方为 PLL IC 的锁相状态输入, 下半部分为开机瞬间复位施密特锁存器使其开启射频开关电路, 这里不作阐述。右下方, 正常开机时 TCA 送入高电平到与非门 U_{118} 的输入端, 与非门的输出将取决于另一输入端 2 脚, 2 脚是 PLL IC 的锁相状态输入, 锁定时为低电平, 失锁时为高电平。在与非门输出端将输出 Lock Detect 锁相实时状态。相位锁定为高电平, 相位失锁为低电平, 这一实时状态为 RMM 程序提供维护状态指示, 告知技术人员相位锁定情况。而实时状态还会送到施密特触发器 U_{114} 产生 LD_Hist 信号作为射频开关的控制信号。

施密特触发器应用较多, 在这里作为滞回比较器。一般电压比较器的输入检测电压如在门限电压附近存在微小的变化, 将会引起输出电压的跃变, 比较灵敏, 抗干扰能力差。施密特触发器有两个不等的门限, 传输曲线具有“滞回”特性, 因而也具有一定的抑制噪声、抗干扰能力。施密特触发器与一般电压比较器的性能比较如图 3.14 所示。

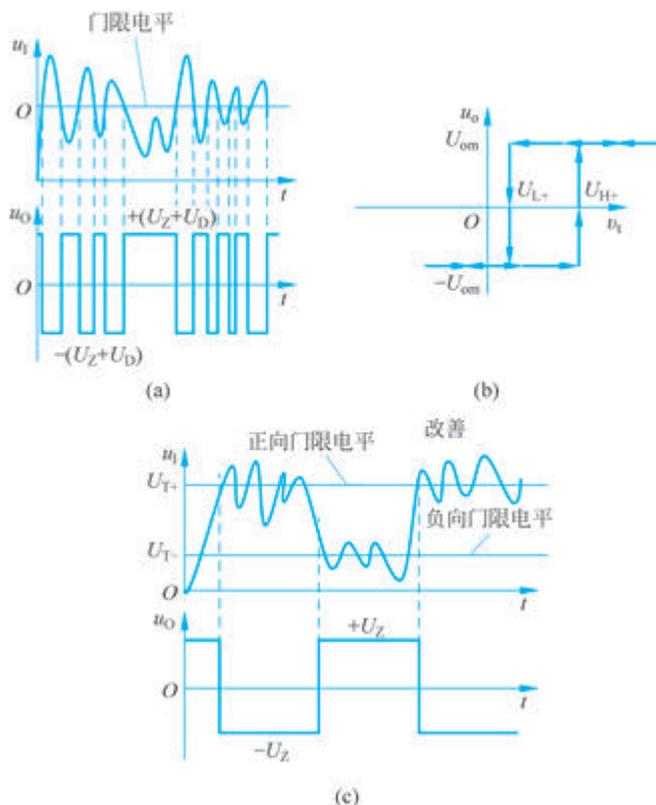


图 3.14 施密特触发器与一般电压比较器的性能对比

本电路由于 R_{157} 的接入, U_{114} 具有了施密特触发器的特性。其工作状态分析和计算如下:

开机时, U_{113} 送入一个低电平到 U_{114} 施密特触发器的反相端, U_{114} 同相端由 R_{154} 和 R_{155} 分压, 同相端高于反相端, 所以 U_{114} 输出高电平 5V, LD_Hist 信号为高电平, 可接通射频电路开关。

U_{114} 同相端输入电压 ($U_0 = 5V$):

$$R_{54} // R_{55} = 50(k\Omega), \quad R_{57} // R_{55} = 31.97(k\Omega)$$

$$V_+ = \left(\frac{R_{54} // R_{55}}{R_{54} // R_{55} + R_{57}} + \frac{R_{57} // R_{55}}{R_{57} // R_{55} + R_{54}} \right) \times 5 = 3.79(\text{V})$$

当出现失锁时,与非门 U_{118} 输出的低电平使 Q_{111} 饱和,5V 高电平经过 Q_{111} 加到 U_{114} 反相端,这时 U_{114} 施密特触发器将状态逆转输出低电平,LD_Hist 信号为低电平关闭射频电路开关。

U_{114} 同相端和反相端的输入电压:

$$R_{51} // R_{53} = 4.489(\text{k}\Omega)$$

$$V_- = \frac{R_{52}}{R_{51} // R_{53} + R_{52}} \times 5 = 4.785(\text{V})$$

$$V_+ = \left(\frac{R_{57} // R_{55}}{R_{57} // R_{55} + R_{54}} \right) \times 5 = 1.211(\text{V})$$

当失锁消失后,改变反相端输入电压:

$$V_- = \frac{R_{52}}{R_{53} + R_{52}} \times 5 = 2.5(\text{V})$$

显然,反相端的输入电压 2.5V 依然高于同相端的输入电压 1.2V,施密特触发器状态不再改变。也就是 PLL 失锁后,LD_Hist 维持送出低电平。此时施密特触发器的状态改变需要通过 COU_OFF 信号的负跳变或电源的关闭和接通实现。

4. OS 射频源的维护参数分析

射频源 Maintenance 参数采集电路如图 3.15 所示。

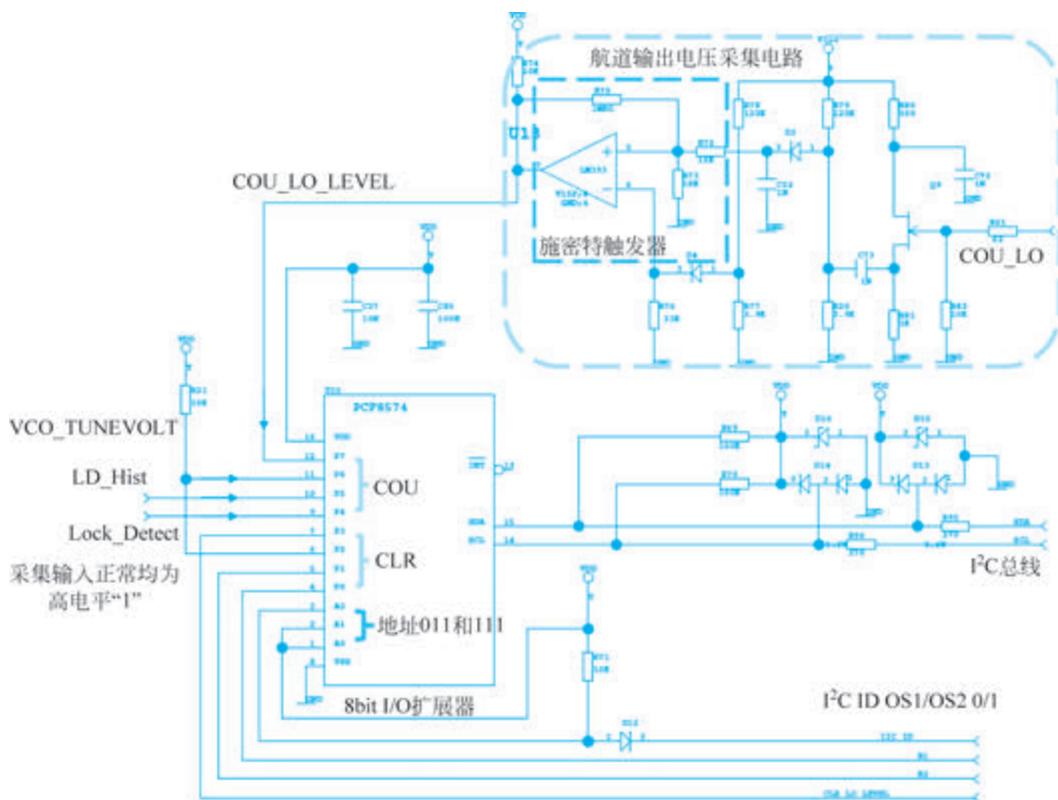


图 3.15 OS 射频源 Maintenance 参数采集电路

OS 射频源的运行参数可在 RMM 程序的 Maintenance 参数测量菜单查看。在模块内采集 Maintenance 数字参数的电路是一个 8bit 的 I/O 扩展器芯片 PCF8574。其通过 I²C 总线与 RMA1215 等其他组件或模块的 I²C 总线并联连接,除了 RMA1215,每个连接到 I²C 总线的模块都有一个地址,当总线上的 RMA1215 询问对应地址时,模块才给出应答信号。OS 射频源 PCF8574 的 A2~A0 输入为模块地址,在母板和模块内线路连接的作用下,对应 TX1 和 TX2 的 OS 地址分别为 011 和 111。

当地址选通信号到来时,PCF8574 把在 OS 模块内采集到的并行数据 P7~P0 转换成串行数据输出到 RMA1215 进行检查,其中 P7~P4 采集航道电路的参数,P3~P0 采集余隙电路的参数。航道与余隙检查参数一致,航道采集参数名称及含义如表 3.3 所示。

表 3.3 航道采集参数名称及含义

参数名称	参数含义
Course output level (航道输出电平)	OS 输出的航道 RF 电平是否低于门限值
COU tunevolt (航道调谐电压)	航道 VCO 调谐电压超出预设门限 实际电路为检测 V _{DD} 是否存在
Course synth lock warn (航道合成器锁定预警)	LD_Hist 信号,航道发射机开启以来,合成器出现过锁
Course lock detect (航道 PLL 锁定检测)	航道合成器当前状态是否锁定

Lock Detect 和 LD_Hist 信号在相位锁定检测电路已做介绍。以下分析航道/余隙输出电平的采集电路。

如图 3.15 所示,OS 射频源输出耦合一路 COU_LO 信号,经过由场效应管组成的射频跟随器电路缓冲隔离,被二极管 D₃ 检波,得出代表射频电平的电压值。这个电压值送到施密特触发器 U₁₃ 同相端,反相端电压为经电阻分压的电平门限。只有同相端电压大于门限时 U₁₃ 才输出高电平,代表 OS 射频源输出信号幅度正常,Maintenance 参数显示“OK”,反之施密特触发器输出低电平,在 Maintenance 参数显示“FAIL”。

OS 射频源 8 个维护参数均是检测到高电平代表正常。有关的 RMM 软件的 Maintenance 参数显示和设置如图 3.16 所示。

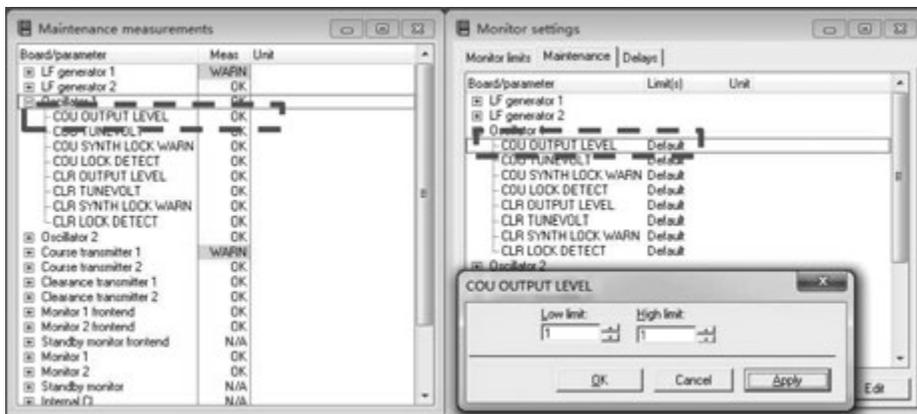


图 3.16 Maintenance 参数显示和设置菜单

设置菜单中“Limit(s)”限值列显示了每个参数的预警限值的配置。显示的限值格式取决于参数类型。数字测量值通常显示为文本“Default”,意味着这些限值是使用默认限值配置的。如图 3.16 所示,对于 OS 航道,输出电平是高电平为正常,上、下限设成高电平后,限制列显示“Default”。若限值不是默认设置,则该字段可能显示以下的文本:

“Normally low”: 限值已从默认值(即测量值为逻辑高电平)更改为逻辑低电平。

“Normally high”: 限值已从默认值(即测量值为逻辑低电平)更改为逻辑高电平。

“OFF”: 限值已关闭,即测量不会产生预警。

“Invalid”: 参数的限值已设置为无效值。

“Fixed”: ILS 内部的限值是固定不可改变的。

菜单页面分别如图 3.17 所示。

3.2.2 低频产生器 LF1576

低频产生器提供载波信号调制所需的音频信号,通过 RMS 总线进行数据交互,储存发射机运行所需的设置数据,并对发射机的功率输出、相位等参数进行控制。

1. 低频产生器原理框图

LF 模块由数字部分、I²C 接口和模拟部分三部分组成,如图 3.18 所示。

用于产生导航音频基带信号的设置被存储在数字部分的 EEPROM 中,并且所有频率分量的信号以数值的形式存储。DSP 使用包含调制电平、相位和同步信号的公式连续地计算输出低频信号。登录访问级别 3(或更高级)时,用户可以更改信号参数设置。

1) 数字部分

该模块由数字部分组成(除了自检功能部分)。

I/O 系统主要由 FPGA NMP 137 组成,并执行以下任务:

(1) 产生数字部分的自检状态到 I²C 接口;

(2) 通过 RMS 总线和 DSP 数据总线之间转换数据,在 RMS 和 DSP 微计算器之间传递协议消息;

(3) 限制对存储器的写入访问,因此当系统的访问级别不允许时,DSP 不能更改对信号生成的设置;

(4) 产生 30Hz 测试信号(由 DSP 控制);

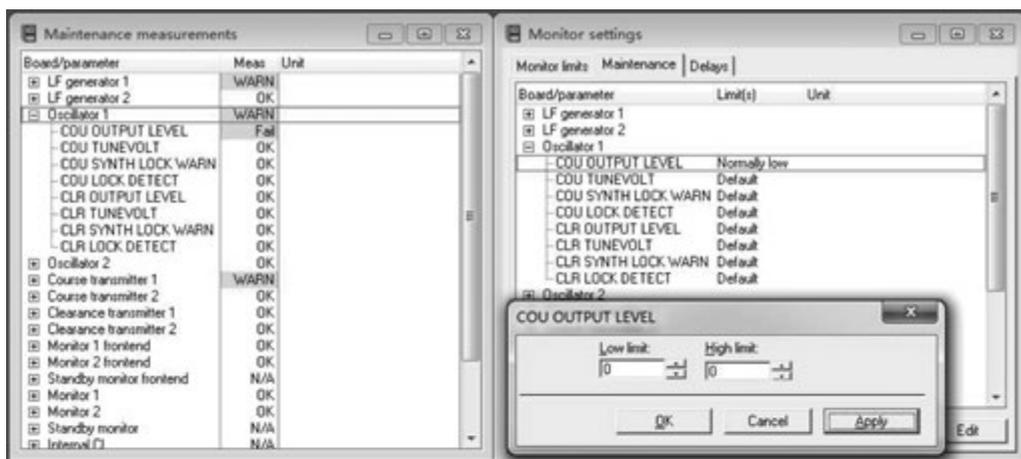
(5) 将 RMS 总线数据转换成 PA I²C 控制数据(框图上的 LOCAL 数据总线),反之亦然。

LOCAL DATA 总线从 I/O 系统转换为 PA I²C 总线数据,反之亦然。它还产生 16 个数字备用输出,再次由 DSP 控制。

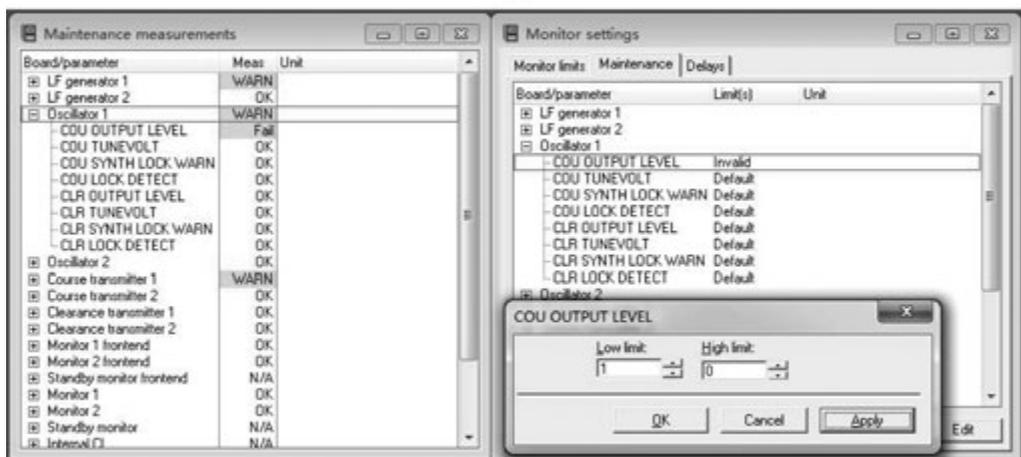
DSP 微计算器由具有外围电路的数字信号处理器组成,32.768MHz 的振荡器作为其时钟信号。DSP 运行程序 NMS221,程序生成低频值发送到模拟部分的两个四通道数/模转换器(DAC),这是通过基于存储器系统的存储值计算实时的频率分量来执行的。频率分量的幅度和模拟输出的特性可以由 RMS 通过专用的 RMS-DSP 协议改变。NMS221 同样产生 30Hz 测试信号。

存储器由具有 DSP 程序 NMS221(启动时加载)的闪存设备和用于存储非易失性数据的 EEPROM 组成,除在访问级别 3 外,该 EEPROM 不允许写入。(见 I/O 系统。)

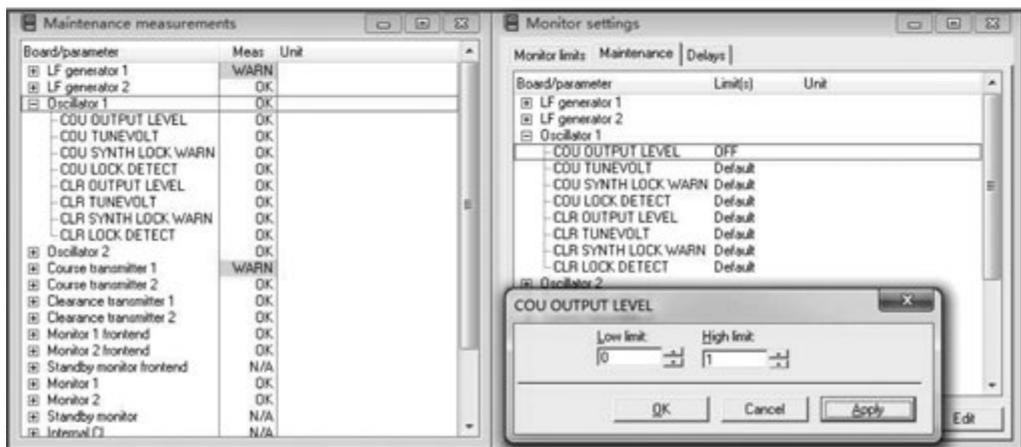
串行口(可选)用于调试软件的串行接口,一般情况下产品不具有该接口。



(a)



(b)



(c)

图 3.17 Maintenance 参数不同门限设置菜单

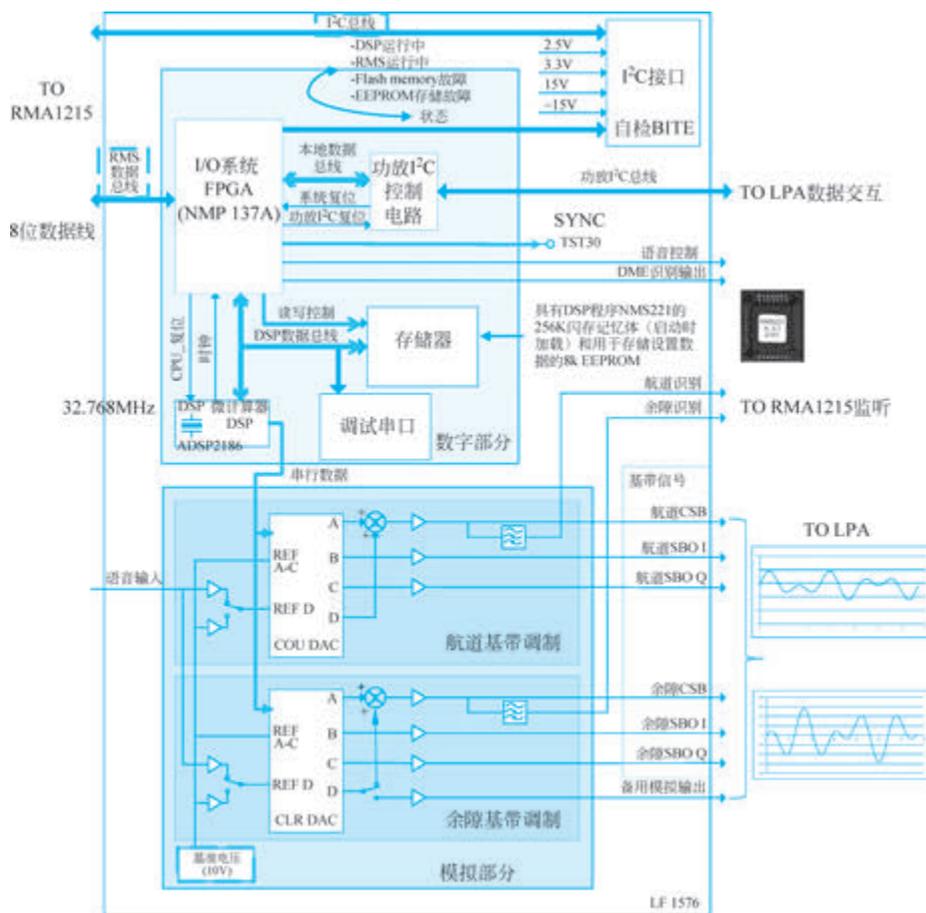


图 3.18 低频产生器原理框图

2) I²C 接口(自检用)

内部自检系统是与射频源同样的具有 8 个输入的芯片,其中 4 个专用于内部电压状态检测(2.5V、3.3V、15V 和 -15V),其他 4 个输入专用于数字部分的状态检测(DSP 正常运行、RMS 正常运行、DSP 闪存故障和 DSP EEPROM 存储器故障)。这些输入通过 I²C 总线被 RMS 读取。

3) 模拟部分

模拟部分包括板件上的模拟电路(放大器、滤波器等)加上数/模转换电路,此外还具有高精度的 10V 基准电压用于数/模转换。

COU 基带调制和 CLR 基带调制将串行数据从 DSP 转换成发送到发射机的实际信号,包括:

- (1) CSB、SBO I 和 SBO Q 的数/模转换;
- (2) 识别信号的生成(从 CSB 基带滤出用于监听)。

COU 数/模转换和 CLR 数/模转换将串行数据从 DSP 转换成实际的低频输出。使用的数/模转换器的分辨率是 14 位。

数/模转换模拟电路使用的基准电压为 10V。

2. 低频产生器的设置和测量

1) 跳线设置

模块跳线的含义和位置如图 3.19 所示。

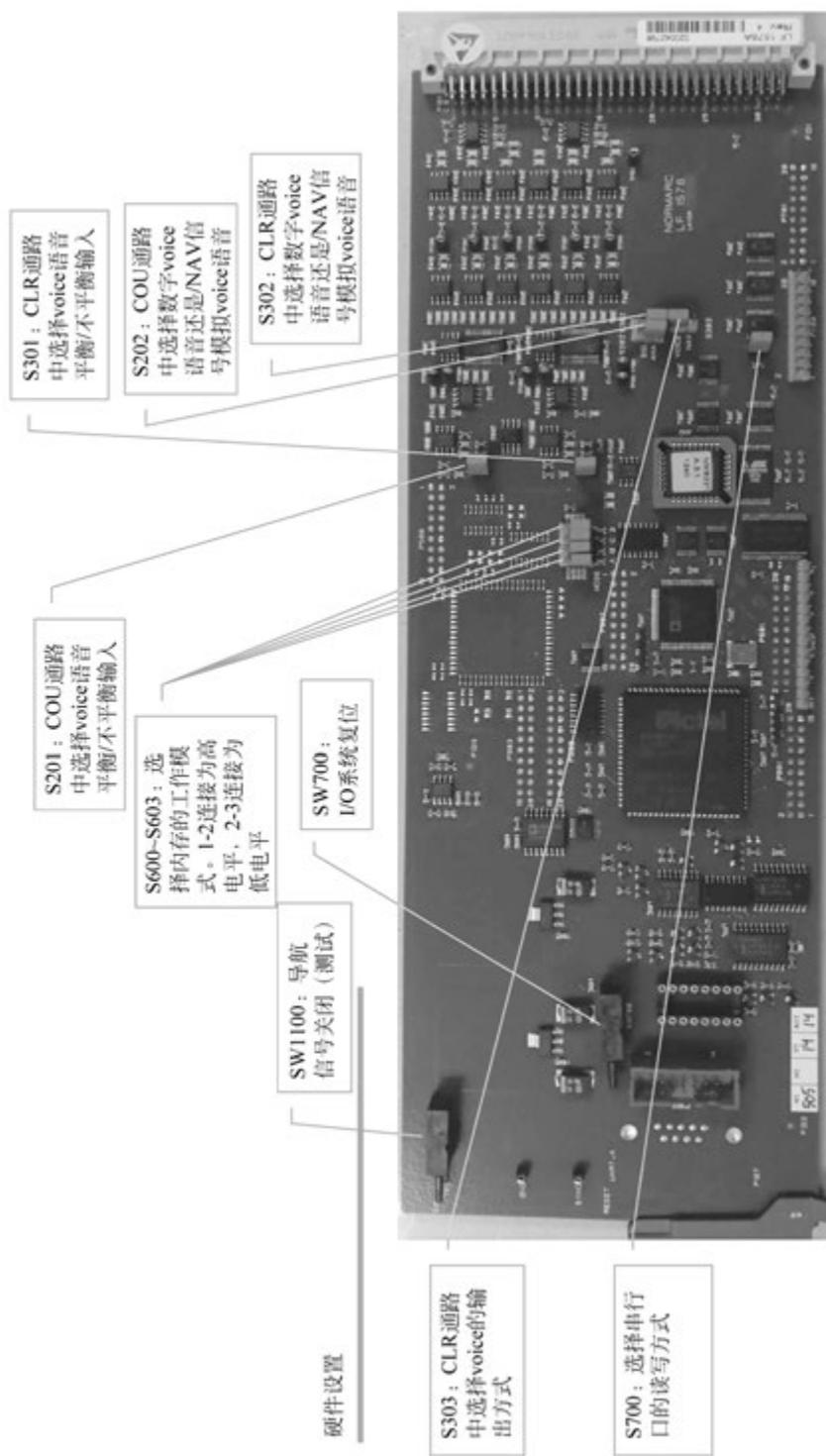


图 3.19 模块跳线的含义和位置

S600~S603 用于处理器对内存的使用模式设置,会影响程序能否正常运行,不能接错。其他跳线用于语音设置,影响不大,如图 3.20 所示。更换 LF 模块时,建议参考原有模块的设置或使用默认设置。

跳线	功能	默认设置连接
S201	COU通路中选择voice平衡/不平衡输入	1-2短接;选择不平衡输入
S202	COU通路中选择数字voice还是/NAV信号模拟voice	2-3短接;选择NAV信号模拟voice
S301	CLR通路中选择voice平衡/不平衡输入	1-2短接;选择不平衡输入
S302	CLR通路中选择数字voice还是/NAV信号模拟voice	2-3短接;选择NAV信号模拟voice
S303	CLR通路中选择voice的输出方式	1-2短接;选择语音使用CLR CSB通道输出
S600	处理器-Programmable I/O Pin PF3	2-3短接;选择低电平
S601	处理器-PF2 Mode C/模式选择-仅在复位期间检查	2-3短接;选择低电平。处理器对内存模式选择Full Memory Mode
S602	处理器-PF1 Mode B/模式选择-仅在复位期间检查,控制程序内存空间组织	2-3短接;选择低电平
S603	处理器-PF0 Mode A/模式选择-仅在复位期间检查,控制复位启动加载存储器的方式	2-3短接;选择低电平
S700	选择调试串行口的读写方式	1-2短接

图 3.20 低频产生器跳线设置

2) 参数设置

发射机的功率输出、音频调制度和射频相位等参数的调整是通过调制信号的设置实现的,LF 产生调制信号并储存相关的设置。RMM 程序发射机设置 Signal adj 选项卡可完成调制信号设置,如图 3.21 所示。



图 3.21 Signal adj 选项卡

航道和余隙参数基本相同,航道主要调整项目如表 3.4 所示。

表 3.4 航道主要调整项目说明

参数	描 述	空间信号影响
COU RF	通过设置 CSB 调制信号的直流电平改变航道 CSB 输出功率,其值可在 LF 的 TP206 测试点检测。 设置值 = $20\log(\text{调制电平值})$ 。设置值的变化与功率变化量相关	设置值影响空间信号强度,配合功率计的功率测量,设置此值使发射机输出标称功率,如航向为 20W,下滑为 6W。在功率下降到 80% 门限设置时,根据 $10\log 0.8$ 计算,可降低设置值 1dB;需降低到 63% 和 50% 门限设置时分别对应 -2dB 和 -3dB。调整 1dB,空间信号对应原有场强变化 1dB。当增加 1dB 后 20W 变为 25W,理论上计算功率增加 4dB,覆盖距离只增加 1 倍,因此利用提高功率增加覆盖,往往需要大幅度提高功率输出
COU DDM	调整航道 CSB 信号的调制度差,可称为“调制平衡”	可改变航道线位置或下滑角。从原理上分析,航道线或下滑角的 DDM 值为零的原因是 SBO 信号为零,所以通过调整调制度差达到跑道中心线及延长线上或 3° 下滑角的 DDM 为零不是首选方式,而且需要过度调整补偿时需要查找原因,建议下滑调制平衡不应大于 0.7%,航向要求应更高一些。DDM 为零和不同音频占优的波形情况如图 3.22 所示
COU SDM	调整航道 CSB 信号的调制度和	在 COU DDM 设置为零时,90Hz 和 150Hz 信号的调制度应一致,对于航向设备各为 20%,因此设置 COU SDM 为 40%。检查调制度和的飞行校验科目是在航道上进行,如航道上 SBO 为零,则测量值由 CSB 信号决定。设置根据校验结果调整,地面预调可在 NM7000B 设备面板 CSB COU 测试孔上测量,并在设置菜单调整
COU IDENT level	调整航道 CSB 信号的识别调制度	信号按标准值 10% 设置,过大将影响导航信号,过小则影响识别信号的使用
COU SBO level	设置 SBO 调制电平值 设置值 = $20\log(\text{调制电平值}/0\text{dB 时 SBO 的调制电平值})$ SBO 0dB 调制电平值与 CSB 功率设置的“COU RF”相关,当调整 CSB 的“COU RF”时,SBO 调制电平同步变化,因此宽度将保持一定的范围内	在 SBO 相位正确的前提下,决定宽度角。根据一定范围内角度与 DDM 值的线性关系,调整可使用下式计算: $\text{SBO 调整量(dB)} = 20\text{Log}(W_{\text{现在宽度}}/W_{\text{预期宽度}})$ 计算同样可用于宽、窄告警设置
COU SBO phase	和 COU SBO phase offset 一起设定 SBO 相位,在正确安装完成设备各项调整后,其相位接近 0°	相位值往正调整,相位超前;反之,相位滞后。SBO 与 CSB 相位正确,可达到最大空间调制度;如不正确,则需较大 SBO 功率才可满足航道宽度要求,而且较大幅度的 SBO 信号可能影响航道结构。 通过测量 ADU 测试口耦合信号的 DDM 值进行调整,具体步骤可见电子版课件或设备手册;同时注意,测试口取样的天线单元的匹配情况有可能影响调整的数据,理想的匹配有助于正确的相位值设置
COU SBO phase offset	和 COU SBO phase 一起设定 SBO 相位。其值与 ADU、发射电缆等部件的传输相位值有关。在 COU SBO phase 为 0° 时,调整机柜输出的 CSB 和 SBO 相位满足以下要求:航向 CSB 与 SBO 正交,CSB 为 0°,SBO 为 -90°;下滑 CSB 与 SBO 同相	同上,而且调整不正确,将影响 COU SBO phase 的设置值

续表

参数	描述	空间信号影响
COU 90Hz phase	设置航道 90Hz 初相	90Hz 应与 150Hz 初相一致且为零。在规范中要求 90Hz (与 150Hz) 必须锁相, 使半航道扇区内, 解调的 90Hz 与 150Hz 合成波形的每半周期相对于 150Hz 成分在要求的相位内以同一方向通过零点。波形图如图 3. 23、图 3. 24 所示
COU/CLR LF phase	设置航道与余隙之间的 30Hz 相位差	正常情况下此相位应一致, 航道与余隙的 90Hz 和 150Hz 同相, 有利于调制度的正确计算和在航道与余隙信号强度大致相等的区域 DDM 值能平稳过渡。如 30Hz 相位差不一致, 航道与余隙各自的 90Hz 和 150Hz 相位关系将影响调制度的计算结果。如把 30Hz 相位差设为 18° , 则 90Hz 存在 54° 的相差, 而 150Hz 存在 90° 的相差。在计算两者合成的调制度时, 150Hz 的调制度将因此低于 90Hz, 如图 3. 25 所示

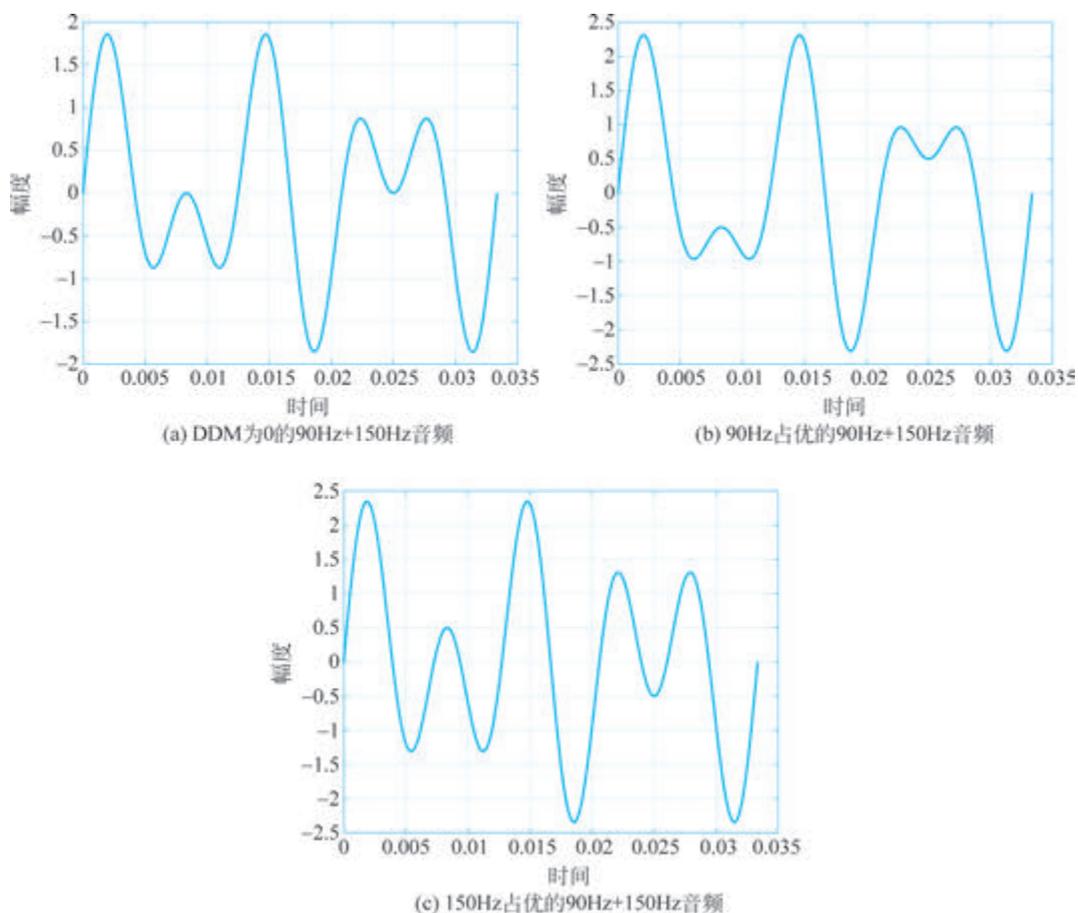
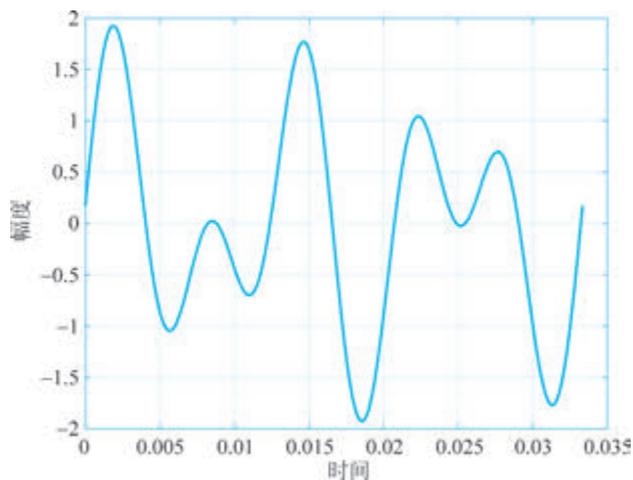
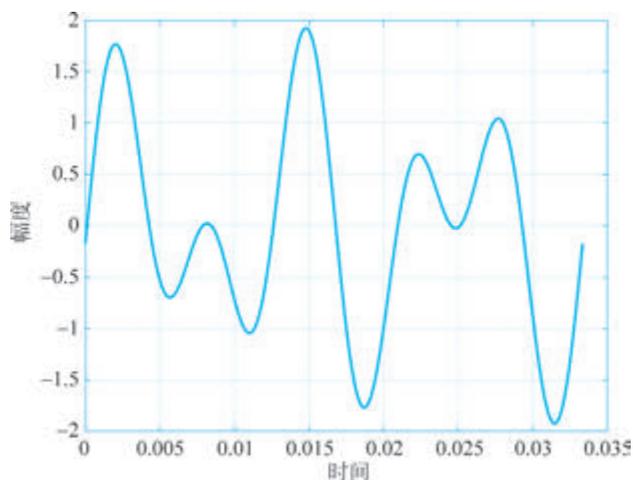
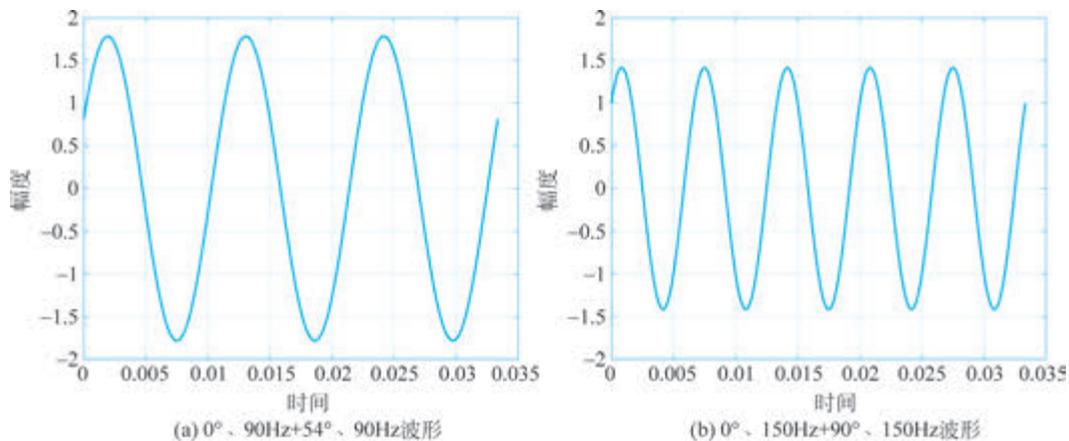


图 3.22 DDM 为零和不同音频占优的波形情况

以上 90Hz+150Hz 音频仿真波形不含直流, 用示波器检查需选交流耦合输入才得相似波形。

图 3.23 90Hz 有 10° 误差的 $90\text{Hz}+150\text{Hz}$ 调制音频图 3.24 90Hz 有 -10° 误差的 $90\text{Hz}+150\text{Hz}$ 调制音频图 3.25 30Hz 相位差设成 18° , 航道与余隙的 90Hz 和 150Hz 合成信号仿真

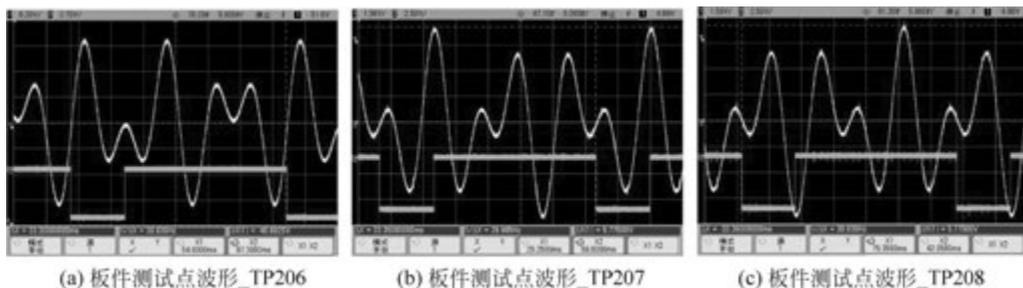


图 3.27 调制信号的波形测量

TP206 的 CSB 调制信号可写成

$$I(t) = Q(t) = U_{\text{CSB}}(1 + m \sin\omega_{90}t + m \sin\omega_{150}t) \quad (3.1)$$

式中: U_{CSB} 为 COU RF 设置的调制直流电平,其值决定了 CSB 射频的输出功率,在航向设备 $m=0.2$ 。

TP207 的 SBO I 调制信号和 TP208 的 SBO Q 调制信号可写成

$$\begin{aligned} I(t) &= U_{\text{SBO}}(\sin\omega_{150}t - \sin\omega_{90}t)\cos\varphi \\ Q(t) &= -U_{\text{SBO}}(\sin\omega_{150}t - \sin\omega_{90}t)\sin\varphi \end{aligned} \quad (3.2)$$

式中: U_{SBO} 为调制电平,其值决定了 SBO 射频的输出功率,大小与 U_{CSB} 相关; φ 为 LF 设置中 COU SBO phase 和 COU SBO phase offset 两项设置值相加的 SBO 信号相位值,相位 φ 值将影响 I 和 Q 的幅度大小。

4) 数据备份与上传

设置在 LF 上的发射机参数可通过 RMM 程序进行备份和上传,具体操作如图 3.28 所示。

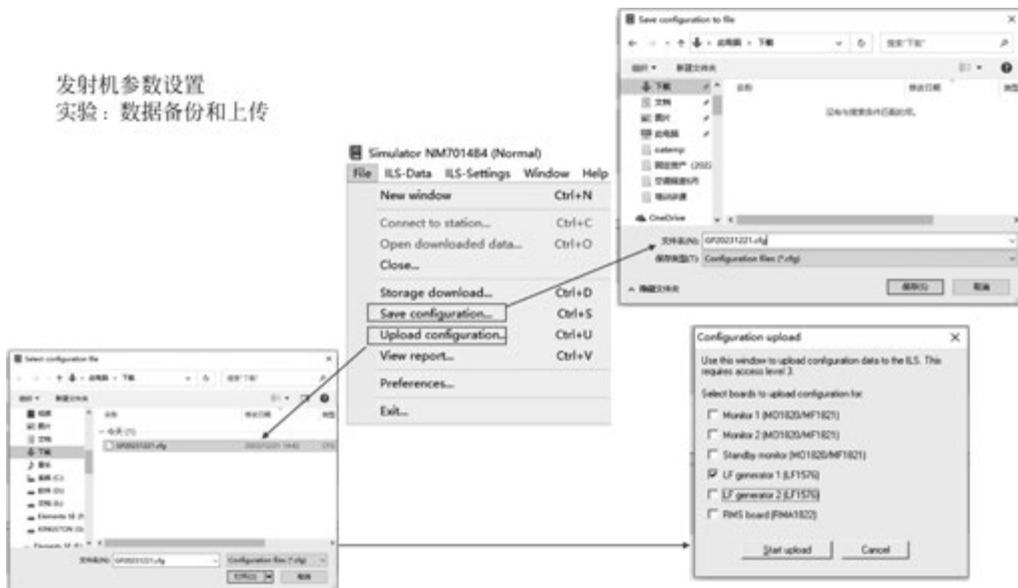


图 3.28 数据备份和上传

3. 低频产生器的电路结构

低频产生器的电路以数字电路为主,这里只介绍数/模转换电路,其采用 AD5544 芯片,具有 14bit 串行输入、4 路电流输出的数/模转换器。其芯片电路框图如图 3.29(a)所示,为 R-2R 梯形 DAC。工作时 LF 的微计算机送出串行数据、片选和时钟信号到数/模转换电路,在片选信号和芯片内部地址译码的作用下把串行数据分配到 4 个 DAC 通道进行数/模转换,如图 3.29(b)所示送出 CSB、SBO I 和 SBO Q 的电流信号。

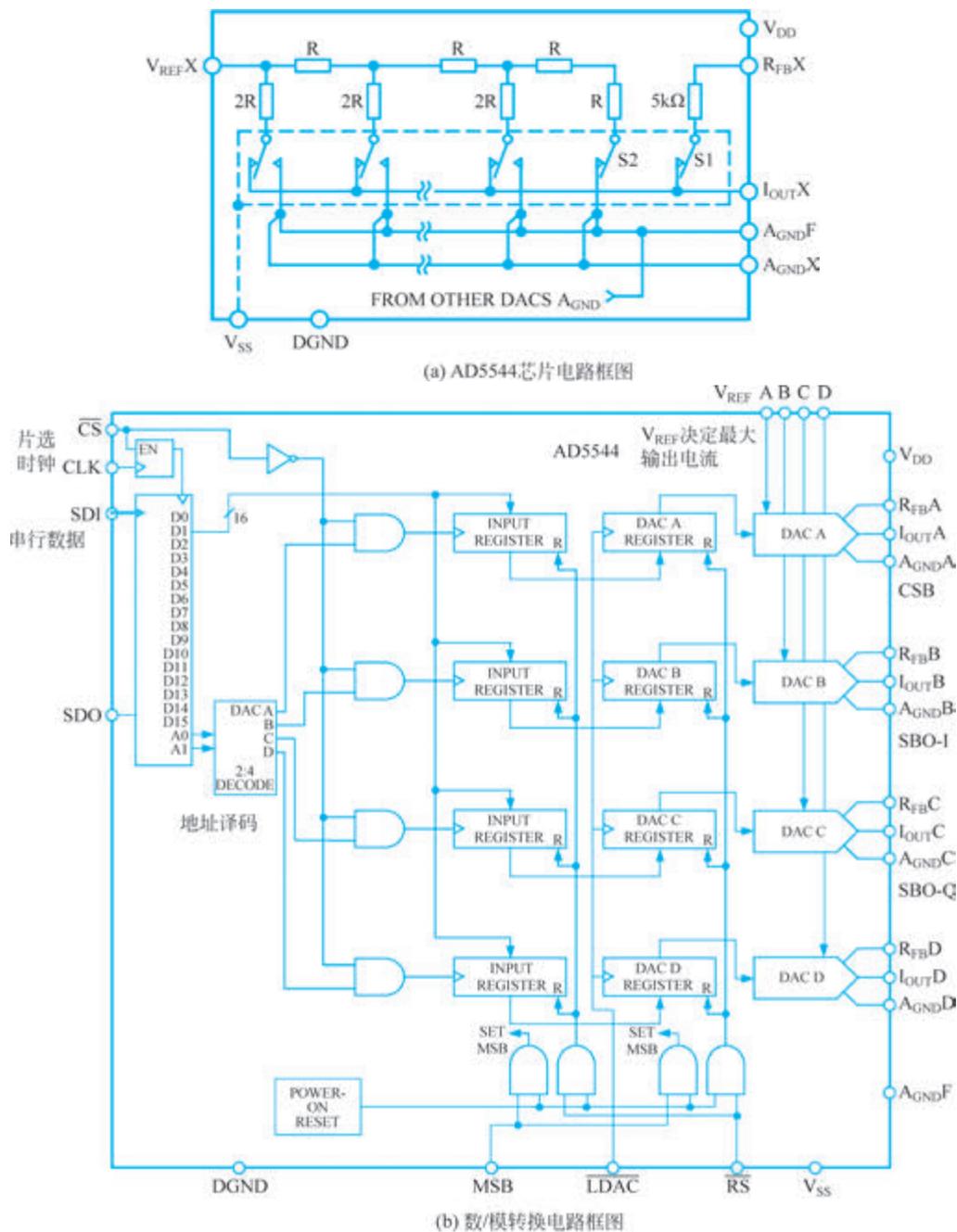


图 3.29 AD5544 芯片和数/模转换电路框图

信号被数/模转换后,输出电流加到 I -to- V 精度放大器,把调制信号转换成足够幅度的调制电压,如图 3.30 所示。输出电压计算:

$$V_{OUT1} = -V_{REF} \times \frac{D}{16384}$$

$$V_{OUT} = \left(\frac{D}{8192} - 1 \right) \times V_{REF}$$

式中: D 为串行数据的电压数字值,最大为 2^{14} ,即 16384;基准电压 $V_{REF} = 10V$,由此可知输出调制电压幅度为 $-10 \sim 10V$ 。为抑制传输过程中的信号干扰,调制电压经平衡输出电路送到 LPA 进行幅度调制。

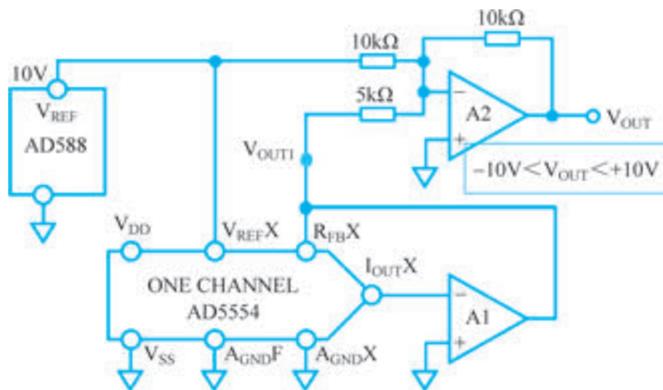


图 3.30 I -to- V 精度放大器

4. 低频产生器的维护参数分析

Maintenance 参数采集电路如图 3.31 所示。

同样,低频产生器的运行参数可在 RMM 程序的 Maintenance 参数测量菜单查看。在模块内采集 Maintenance 数字参数的电路是 8bit 的 I/O 扩展器芯片 PCF8574。其对应 TX1 和 TX2 的 LF 地址分别为 001 和 101。

如图 3.31 所示采集电路的采集参数分别为模块内电压的监视和 I/O 提供的数字部分工作状态。模块内检测 $-15V$ 、 $15V$ 、 $2.5V$ 、 $3.5V$ 电压,但由于是数字量检测,所以显示“OK”时仅代表检测电压存在,具体电压值是不提供的。图 3.31 中已标有各数字采集量正常时的逻辑电压,门限设置如 3.2.1 节的介绍。I/O 提供的数字部分采集参数名称及含义如表 3.5 所示。

表 3.5 I/O 提供的数字部分采集参数名称及含义

参数名称	参数含义
Watchdog(看门狗电路,DSP alive)	看门狗状态,反映 DSP 是否正常工作。若看门狗已经复位了 DSP,则该信号被设置为 1,预警
DSP execution(DSP 执行,RMS alive)	DSP 软件执行状态,反映 RMS 是否正常工作。若 DSP 不访问 FPGA,则该信号设置为 0,预警
DSP memory check (DSP 内存检查, DSP Flash memory fail)	DSP 内存状态。若外部闪存程序存储器或内部 RAM 检测到任何故障,则 DSP 软件将该信号设置为 1,预警
EEPROM parity(EEPROM 奇偶校验,DSP EEPROM memory fail)	配置数据 EEPROM 的奇偶校验状态。若在任何配置设置中检测到奇偶校验错误,则 DSP 信号将该信号设置为 1,预警

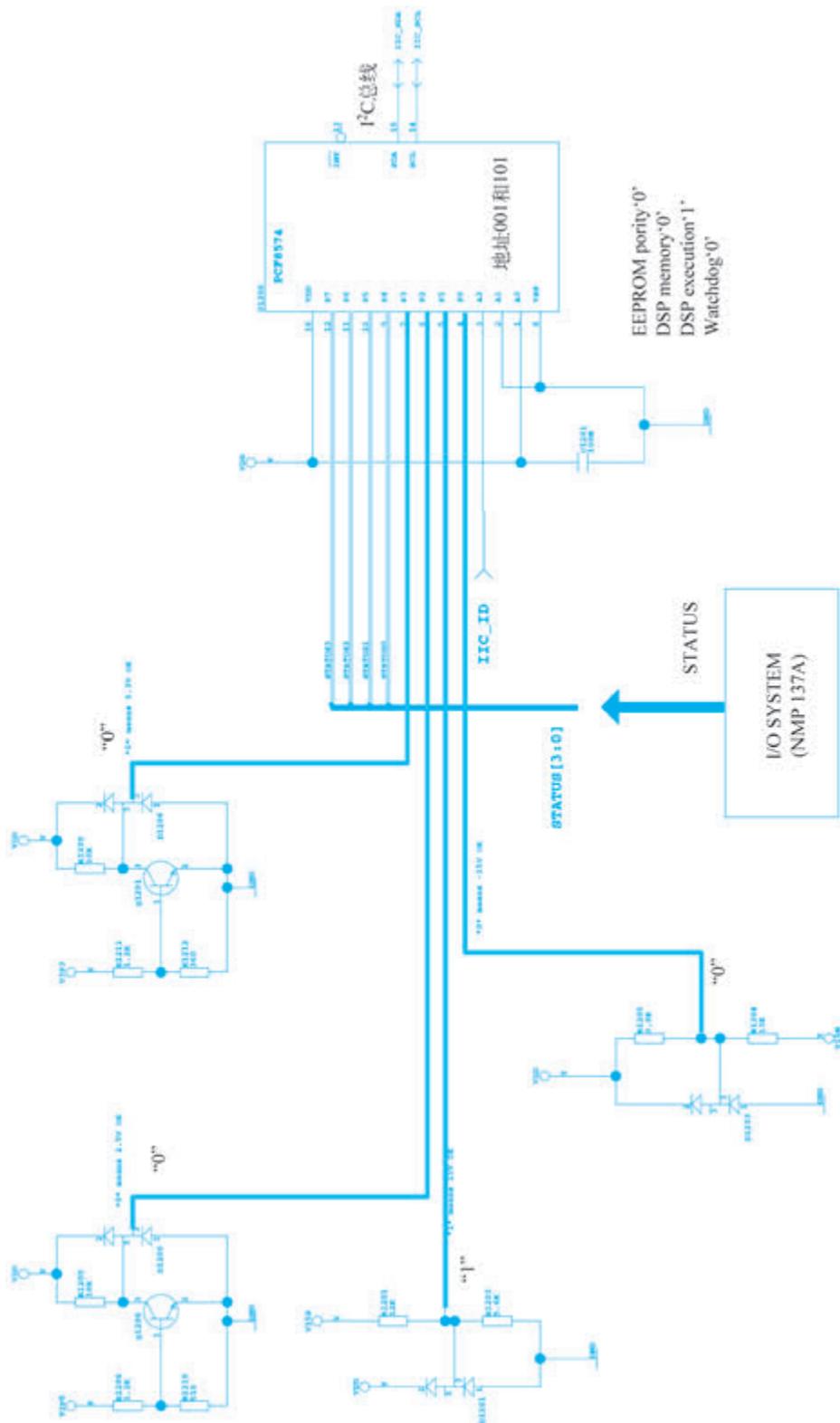


图 3.31 低频产生器 Maintenance 参数采集电路

3.2.3 功率放大器 LPA1580

功率放大器接收射频源 OS1706 的 RF 信号和低频产生器 LF1576 的 LF 信号,输出经调制放大的 CSB 和 SBO 信号。下滑功放组件型号为 GPA1581/GPA1582。

1. LPA 功率放大器原理框图

LPA CSB 通道框图如图 3.32 所示,SBO 通道和 CSB 通道类似,不再列出。

LF 送出的 CSB 调制信号提供给 CSB 放大器的 I 和 Q 通道。而在 SBO 放大器中, I 和 Q 使用分开的输入,以允许 SBO 信号相位的调整。

I 和 Q 调制信号与解调器的负反馈信号同时加到误差放大器的积分器进行放大, I 和 Q 两路经负反馈控制的信号在各自的调制器与正交关系的 LO 射频信号混合完成调制,调制后的 I 和 Q 信号进行叠加,经缓冲器得到合适电平的 RF 信号送到 PA 的输入端。PA 把射频信号放大到足够的功率,送天线系统发射。在 PA 输出端通过定向耦合器进行正、反向的信号耦合,反向信号在 PA 内完成检波,得到代表反向功率的电压值用于维护电路的测量并送到一个比较器与设定门限比较,反射信号较强高于门限时将送出保护低电平,关断射频输出。得到的正向信号分成两路:一路由二极管包络检波后送功放面板测试口进行波形检查和维护参数检测;另一路经衰减后送到解调器,作为负反馈控制。反馈信号进入解调器经过带通滤波,将 RF 信号分两路,分别与正交关系 LO 射频信号在解调器内的乘法器混频。通过低通滤波去除残留 RF 成分仅保留 I 和 Q 基带信号,消除直流偏移后 I 和 Q 基带信号作为反馈信号送到误差放大器。因为是负反馈,所以在误差放大器中与 I 和 Q 调制信号是相减的关系。

尽管总是存在小的误差,但控制回路有效地形成了跟踪和消除 PA 产生的幅度和相位误差,这种线性化技术称为笛卡儿反馈。

图 3.32 中的开关位置均处于默认的工作状态,每一单元电路具体原理如下。

1) AGC 和分配器

OS 产生的射频载波信号送 AGC 电路,AGC 电路将确保提供给调制器和解调器的载波射频信号具有稳定的电平。AGC 的动态范围约为 6dB。分配器首先分配到调制器和解调器,再各自分配成 CSB 和 SBO 两路信号。

2) 相位控制

用于调制器和解调器的射频信号均经过相位控制单元,对于送到解调器的信号,单元电路只起缓冲作用,而送调制器的信号除缓冲外,还可以进行相位调整,使 I 、 Q 两个反馈信号在幅度上相等且均为负反馈。单元电路具有以下特性:

- (1) 具有 270° 的相位调整范围;
- (2) 通过 I²C 总线控制,改变变容二极管上的电压可以获得相移;
- (3) 相移的 LO 射频信号经过两级的场效应管放大和缓冲,获得了适当的信号电平和隔离度;
- (4) 用于解调器的未补偿支路仅实现增益和缓冲;
- (5) 缓冲的 LO 射频信号除提供足够的电平,还分别与调制器和解调器的 LO 输入之间进行隔离。

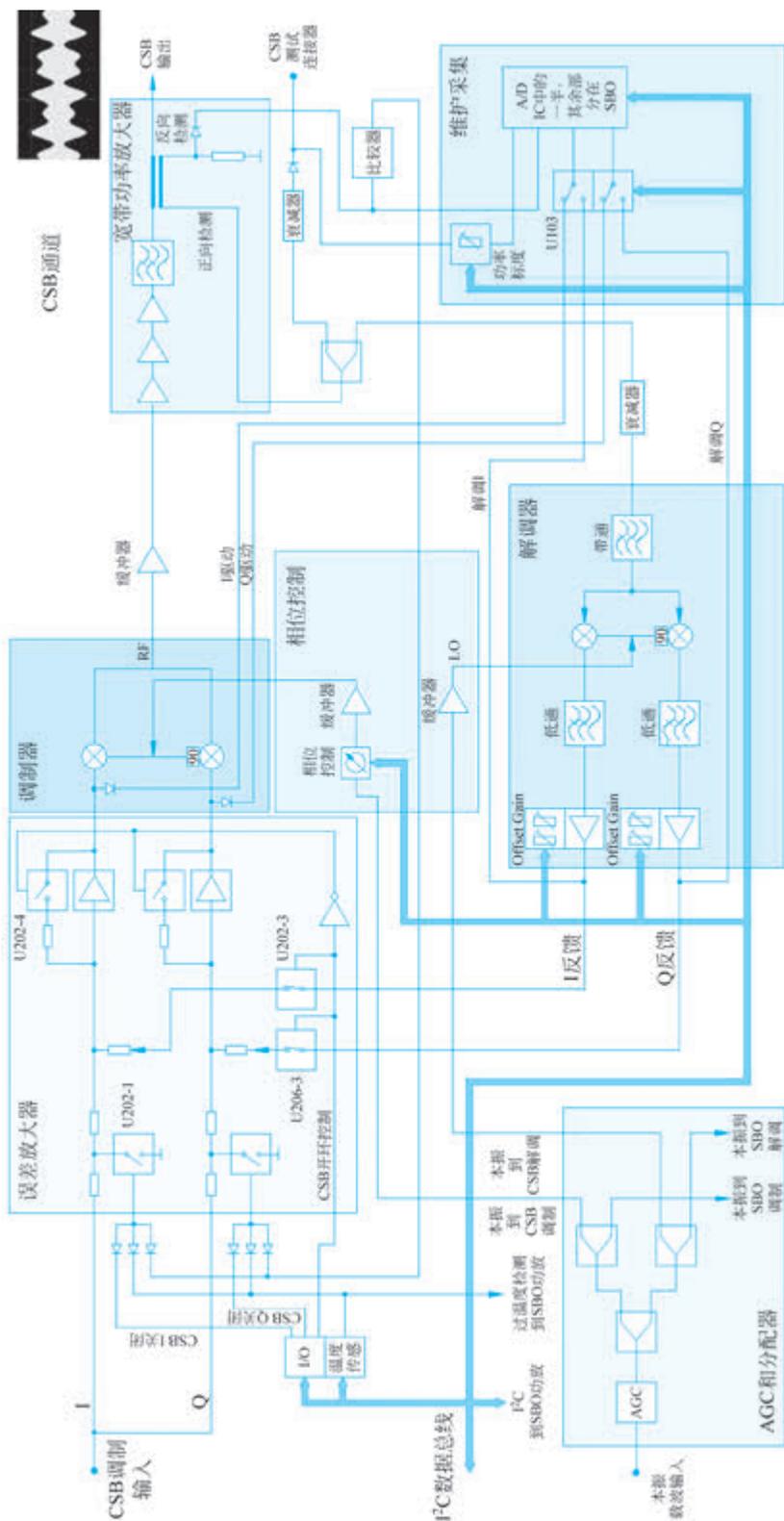


图 3.32 LPA CSB 通道框图

3) 误差放大器

误差放大器由 I 、 Q 通道的两个积分器和对应控制开关组成。以 I 通道为例,调制信号进入积分器之前经过 U_{202-1} 开关,正常情况下开关打开,信号可通过进入积分器;开关闭合则信号下地,积分器没有调制信号,该通道将停止工作。 U_{202-1} 开关受由三个二极管组成的与门电路控制,二极管的负极分别接 I/O 的 CSB I off 控制信号、功放过热保护信号和反向功率保护信号,其中 CSB I off 控制信号用于 Offset 等调整测试项目时关闭通道,其余两个信号起异常状态下的保护作用。正常运行时与门的三个输入信号都应为高电平,二极管与门电路的正极高电平送到 U_{202-1} 开关控制端,这时 U_{202-1} 开关打开;如其中任意一个信号为低电平,控制端的低电平使 U_{202-1} 开关闭合,调制信号下地无法通过。积分器进行加法和积分的运算,其作用是把调制信号和负反馈信号进行相加生成送调制器的信号。 U_{202-3} 开关受 I/O 的 CSB Open-Loop 信号控制,用于在 Loop Phase 等调整时断开反馈环路,设备工作于开环状态。相应的 U_{202-4} 开关在开环时闭合,积分器成为直流反相放大器,使不含交流成分的调制信号得以送到调制器。

单元电路具有以下特性:

- (1) I 、 Q 调制信号和 I 、 Q 负反馈信号相加后被放大,并馈送到 I 、 Q 调制器对射频进行调制和 maintenance 维护参数电路进行采样(I -drive 和 Q -drive);
- (2) 差分输入电路消除了来自 LF 的 I 、 Q 调制信号的直流偏移;
- (3) 与所需的环路带宽相比,具有足够带宽的精密运算放大器被用于误差放大器,运算放大器作为积分器使用;
- (4) I^2C 总线控制的开关过程中包括开环和开环增益设置;
- (5) 在 CSB 通道中,由 I^2C 总线控制的 I -off 和 Q -off 信号分别调控 I 通道和 Q 通道;
- (6) 高电压驻波比(VSWR)和功放过热关闭功率的保护机制,在高 VSWR 或高温度的情况下,衰减误差放大器输入信号以关闭 PA 输出;
- (7) 延迟环路增益的保护机制,直到 PA 满功率输出。

4) 调制器

调制器由 I 调制器、 Q 调制器和混合器组成。调制器实现乘法运算。

CSB 通道调制的数学计算:

根据 3.2.2 节描述 CSB 调制信号可写成

$$I(t) = Q(t) = U_{CSB} (1 + m \sin \omega_{90} t + m \sin \omega_{150} t) \quad (3.3)$$

为了方便计算,设其中 U_{CSB} 为“1”,则式(3.3)可写为

$$I(t) = Q(t) = 1 + m \sin \omega_{90} t + m \sin \omega_{150} t \quad (3.4)$$

I 调制器的射频输入可写成

$$E_{CSB}(t) = E_{CSB} \sin \omega_c t$$

Q 调制器的射频输入可写成

$$E_{CSB}(t) = E_{CSB} \sin(\omega_c t - 90^\circ)$$

经过乘法调制和混合可计算如下:

$$\begin{aligned} E_{CSB}(t) &= E_{CSB} [I(t) \sin \omega_c t + Q(t) \sin(\omega_c t - 90^\circ)] \\ &= E_{CSB} (1 + m \sin \omega_{90} t + m \sin \omega_{150} t) [\sin \omega_c t + \sin(\omega_c t - 90^\circ)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= E_{\text{CSB}}(1 + m \sin \omega_{90} t + m \sin \omega_{150} t) \left[2 \sin \left(\frac{\omega_c t + \omega_c t - 90^\circ}{2} \right) \cos \left(\frac{\omega_c t - \omega_c t + 90^\circ}{2} \right) \right] \\
&= E_{\text{CSB}}(1 + m \sin \omega_{90} t + m \sin \omega_{150} t) [2 \sin(\omega_c t - 45^\circ) \cos 45^\circ] \\
&= \sqrt{2} E_{\text{CSB}}(1 + m \sin \omega_{90} t + m \sin \omega_{150} t) \sin(\omega_c t - 45^\circ)
\end{aligned} \tag{3.5}$$

从计算结果可知,调制器最终输出 CSB 调幅波,初相为 -45° 。但在 ILS 中,最关键的相位值是以 CSB 为基准,SBO 与 CSB 之间的相位差,而且经过 PA、BUF 等电路的 CSB 输出也会产生新的相移,所以此初相仅在后续计算反馈环路相位时考虑,在其他的场型分析中可以忽略。

SBO 通道调制的数学计算:

根据 3.2.2 节描述 SBO I 调制信号和 SBO Q 调制信号可写成

$$\begin{aligned}
I(t) &= U_{\text{SBO}}(\sin \omega_{150} t - \sin \omega_{90} t) \cos \varphi \\
Q(t) &= -U_{\text{SBO}}(\sin \omega_{150} t - \sin \omega_{90} t) \sin \varphi
\end{aligned} \tag{3.6}$$

式中: U_{SBO} 为调制电平,其值决定了 SBO 射频的输出功率; φ 为 LF 设置中“COU SBO phase”和“COU SBO phase offset”两项设置值相加的 SBO 信号相位值。

同样,为了方便计算设

$$A = U_{\text{SBO}}(\sin \omega_{150} t - \sin \omega_{90} t)$$

I 调制器的射频输入可写成

$$E_{\text{SBO}}(t) = E_{\text{SBO}} \sin \omega_c t$$

Q 调制器的射频输入可写成

$$E_{\text{SBO}}(t) = E_{\text{SBO}} \sin(\omega_c t - 90^\circ)$$

经过乘法调制和混合可计算如下:

$$\begin{aligned}
E_{\text{SBO}}(t) &= E_{\text{SBO}} [I(t) \sin \omega_c t + Q(t) \sin(\omega_c t - 90^\circ)] \\
&= E_{\text{SBO}} [I(t) \sin \omega_c t - Q(t) \sin(90^\circ - \omega_c t)] \\
&= E_{\text{SBO}} [I(t) \sin \omega_c t - Q(t) \cos \omega_c t] \\
&= E_{\text{SBO}} [A \cos \varphi \sin \omega_c t + A \sin \varphi \cos \omega_c t] \\
&= E_{\text{SBO}} (-U_{\text{SBO}} \sin \omega_{90} t + U_{\text{SBO}} \sin \omega_{150} t) \sin(\omega_c t + \varphi)
\end{aligned} \tag{3.7}$$

从计算结果可知,调制器最终输出初相为“ φ ”的 SBO 调幅波信号。 φ 值为技术人员在调试过程中进行 SBO 与 CSB 相位定相时的设定值, φ 值设置正常时设备才可提供理想的场型。

在计算过程中可以理解相位 φ 值通过 \cos 函数或 \sin 函数直接影响 I 和 Q 调制信号和调制后的 I 和 Q 通道的射频幅度值,并由 I 与 Q 幅度值最终决定 SBO 的相位。不同的相位设置值的情况如图 3.33~图 3.35 所示。

单元电路具有以下特性:

(1) 通过 Gilbert-cell(吉尔伯特单元)混合器进行直接调制。基带调制和 LO 同时输入,调制 RF 输出。

(2) I 和 Q 调制器的 LO 由 90° 混合器提供。

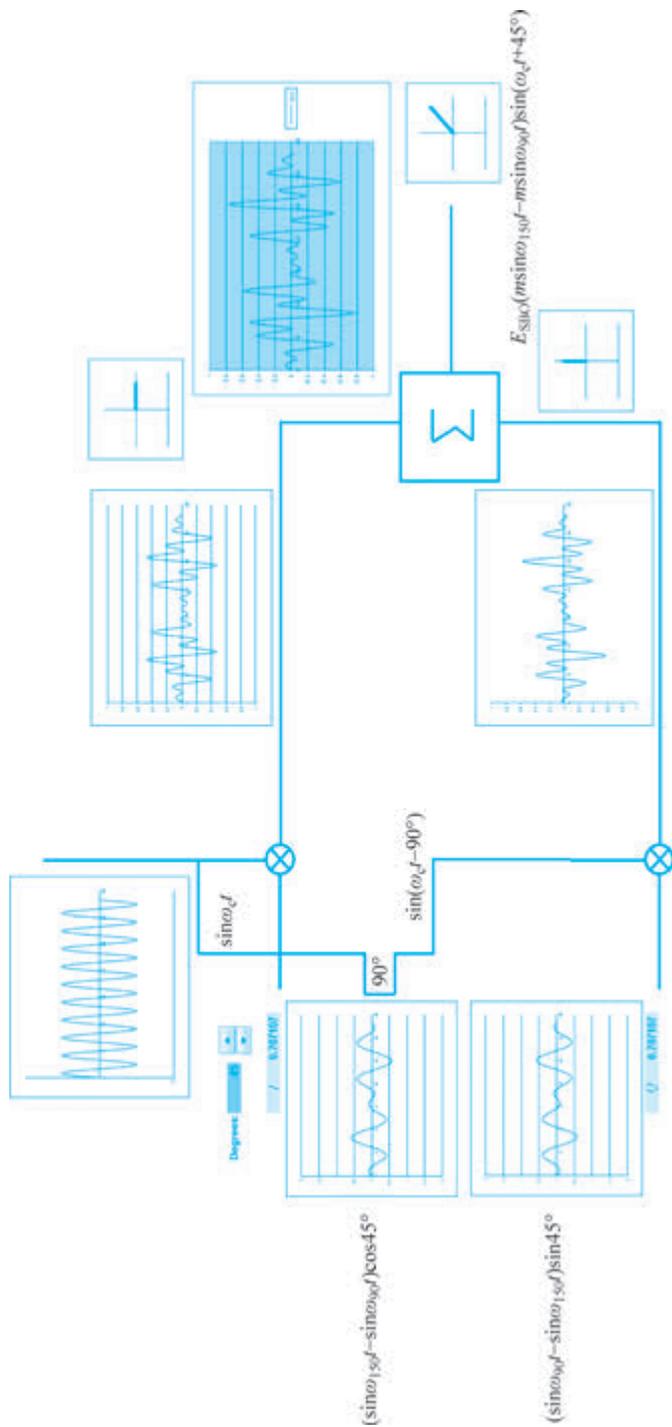
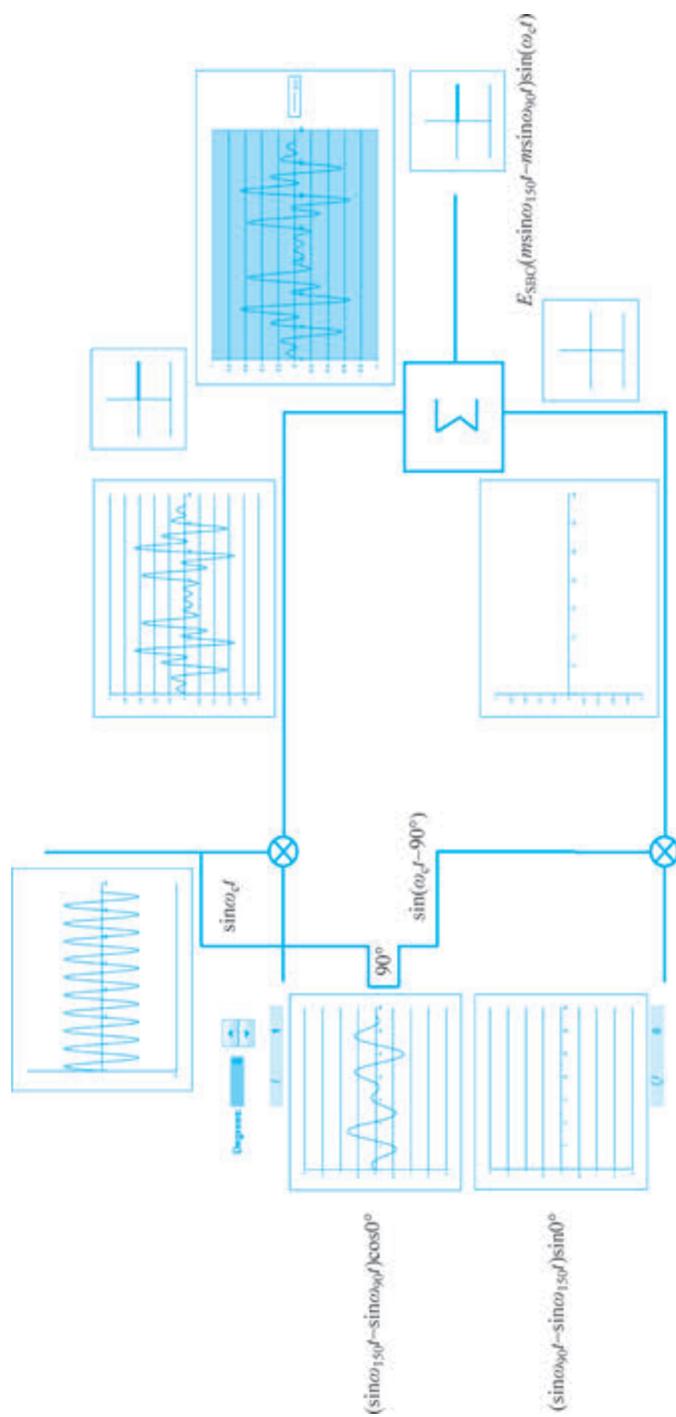


图 3.33 $\phi = 45^\circ$ 的情况

图 3.34 $\varphi = 0^\circ$ 的情况

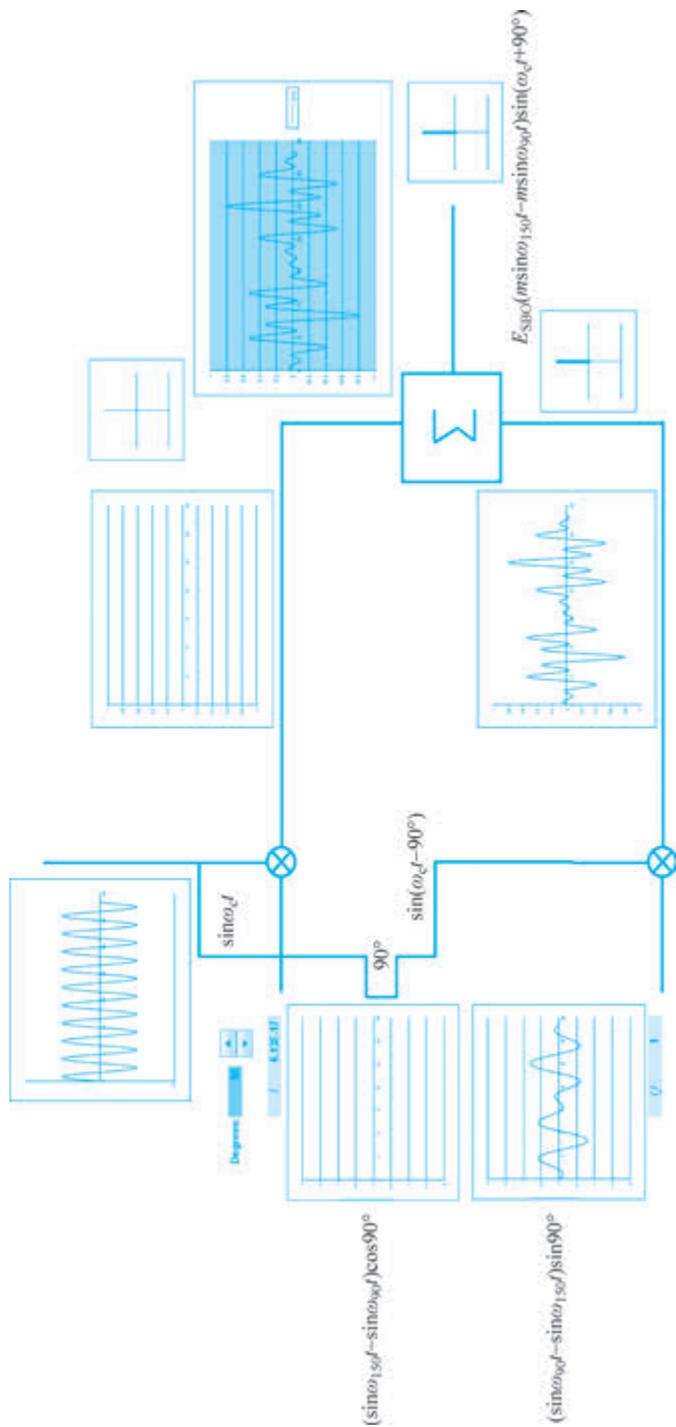


图 3.35 $\varphi = 90^\circ$ 的情况

5) 功放

功放是宽带放大器,因其级间采用传输线变压器作为耦合电路,在 ILS 频段内更换频率不需要做射频谐振回路的调整。航向功放的驱动和放大部分共采用三级放大,每级功率放大管工作的导通角大于 180° ,根据输入射频信号的强度,将工作于甲类或甲乙类,效率相对较低。输出级采用 N 沟道增强型场效应推挽放大管,减少谐波输出。

单元电路具有以下特性:

(1) 输入功率约为 6dBm。

(2) CSB 放大器使用带有两个 RF 场效应晶体管的驱动级,以及一个具有推挽双 RF 场效应晶体管的输出级。SBO 放大器使用两个 RF 场效应晶体管。

(3) 下滑 CLR 的 CSB 放大器使用两个 RF 场效应晶体管。

(4) 混合耦合器位于 PA 的输出端,正向耦合信号被衰减并分为维护参数检测输出和反馈环路信号,反向耦合信号同样也在耦合器上检测,反向信号将控制误差放大器的 VSWR 功率关闭开关。

6) 分路器/衰减器

图 3.32 右侧的电阻分路器将前向耦合信号分离,一路到解调器,另一路到功率测量和测试连接器,两路信号都经过衰减器。

7) 解调器

耦合的功放输出采样信号经带通滤波器后送 *I*、*Q* 解调器,解调器也同样加入 LO 射频信号,*Q* 通道的射频经 90° 延迟。功放的输出采样信号与 LO 射频信号在解调器进行混频,得到基带信号在内的多种频率信号,在低通滤波的作用下只保留基带信号,解调的基带信号经增益控制和去除直流偏置后作为误差放大器的负反馈信号输入。

单元电路具有以下特性:

(1) 通过 Gilbert-cell 混合器进行直接解调,RF 和 LO 输入,基带输出。

(2) *I* 和 *Q* 解调器的 LO 由 90° 混合器提供,两路射频相位呈正交关系。

(3) DC 偏置调整消除反馈环路上 *I* 和 *Q* 解调器等电路输出的直流偏移电压。

(4) 增益调整设置使 *I* 和 *Q* 放大通路上具有相等的幅度输出。

(5) 该电路由运算放大器和数字可调电阻组成,可调电阻通过 I^2C 总线进行控制。

(6) 解调器输出端的低通滤波器是为了滤除 RF 成分,只保留基带部分。

8) 维护电路

(1) 8 路输入 A/D 转换器可测量 CSB 和 SBO 输出端的正向功率和反向功率,同时还读取到调制器的 *I* 和 *Q* 驱动电平(正常运行)或解调器输出(测试模式)。

(2) 温度传感器 IC 提供温度测量,并且提供过温度信号给误差放大器。

(3) 测量通过 I^2C 总线送到远程监控系统。

2. LPA 功率放大器的设置和测量

功率放大器通过 RMM 程序的 PA adj. 选项卡(如图 3.36 所示)进行调整,只是对功放的电路增益、误差偏移等工作状态进行调整。因每个功放电路在这些方面存在差异,所以调整设置不设备份数据功能。在以下情况下有必要执行调整:

(1) 安装新的系统。

(2) 改变现有系统的信道频率。

(3) 更换故障功率放大器。

执行 PA adj. 将通过 3 级或更高级用户身份登录 RMM 程序进行访问。调整后,可能需要检查或重新设置设备参数。如 DDM、SDM 和 CSB/SBO 相位等。调整可按以下顺序进行。

1) PA adj-Gain(增益)

通过调整反馈信号增益,使 I、Q 射频通道放大量一致。

为确保调整的精度,工厂建议使用高精度功率计,把相应功率计分别接 LPA 的 CSB 或 SBO 通道输出端口进行功率测量。如图 3.37 所示,选择 Gain 调整选项卡,勾选 Enable test mode,LF 音频产生器和 LPA 组件上的测试模式被激活,以下 LF 的信号被馈送到 LPA 的 I 输入或 Q 输入:

- (1) CSB: 3.5V 直流(无调制信号)。
- (2) SBO: 2V 直流(无调制信号)根据测试选择 SBO I 或 SBO Q 的调制信号输出。
- (3) 蓝色文本“Q off”或“I off”表示当前测试模式只检查一个通道,另一通道关闭。
- (4) 当选择调整 I-signal 时,显示蓝色文字“Q-off”,同时 Q 通道输入关闭,此时 LPA 只输出 I 通道的功率,选择调整 Q 通道时同理。先后选择 I 或 Q 通道,对应测得 LPA 输出功率,编辑 I、Q 通道设置值使两者输出功率完全相等,即完成此项调整。

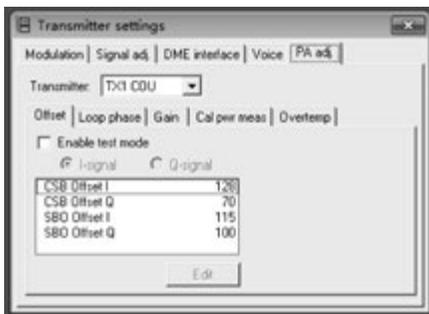


图 3.36 PA adj. 选项卡

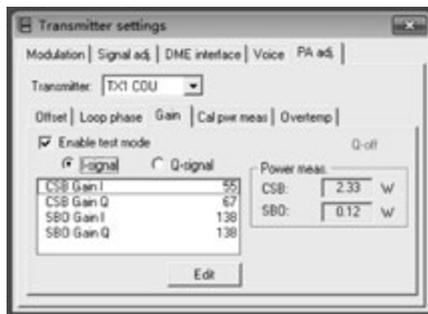


图 3.37 Gain 调整选项卡

Gain 调整电路如图 3.38 所示。图中可调电位器的调整为数字控制,通过选项卡设置值调整阻值,可调电位器的阻值变化影响 U_{602} 反相放大器对反馈信号的放大量,从而控制对应通道的功率输出。

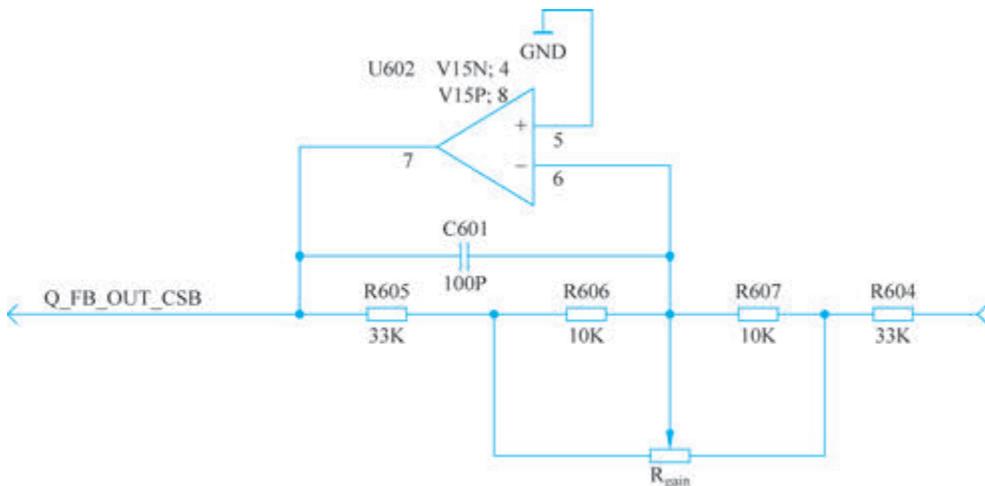


图 3.38 Gain 调整电路

2) PA adj-Offset(偏置)

通过调整运放的直流偏置,抵消解调器电路的直流偏移,在解调器无 RF 输入信号时提供零直流输出信号。

调整原因如图 3.39 所示,设 150Hz 反馈信号带有 0.1V 直流电压,在误差放大器 and 调制信号相加之后,引起合成的调制信号也带有 0.1V 直流电压,因此正、负峰值电平对于零电位不对称。调制信号在完成幅度调制之后生成相邻调制包络幅度不等的调幅波,对其进行包络检波后,在功放面板测试口输出幅度不一致的 300Hz 波形。

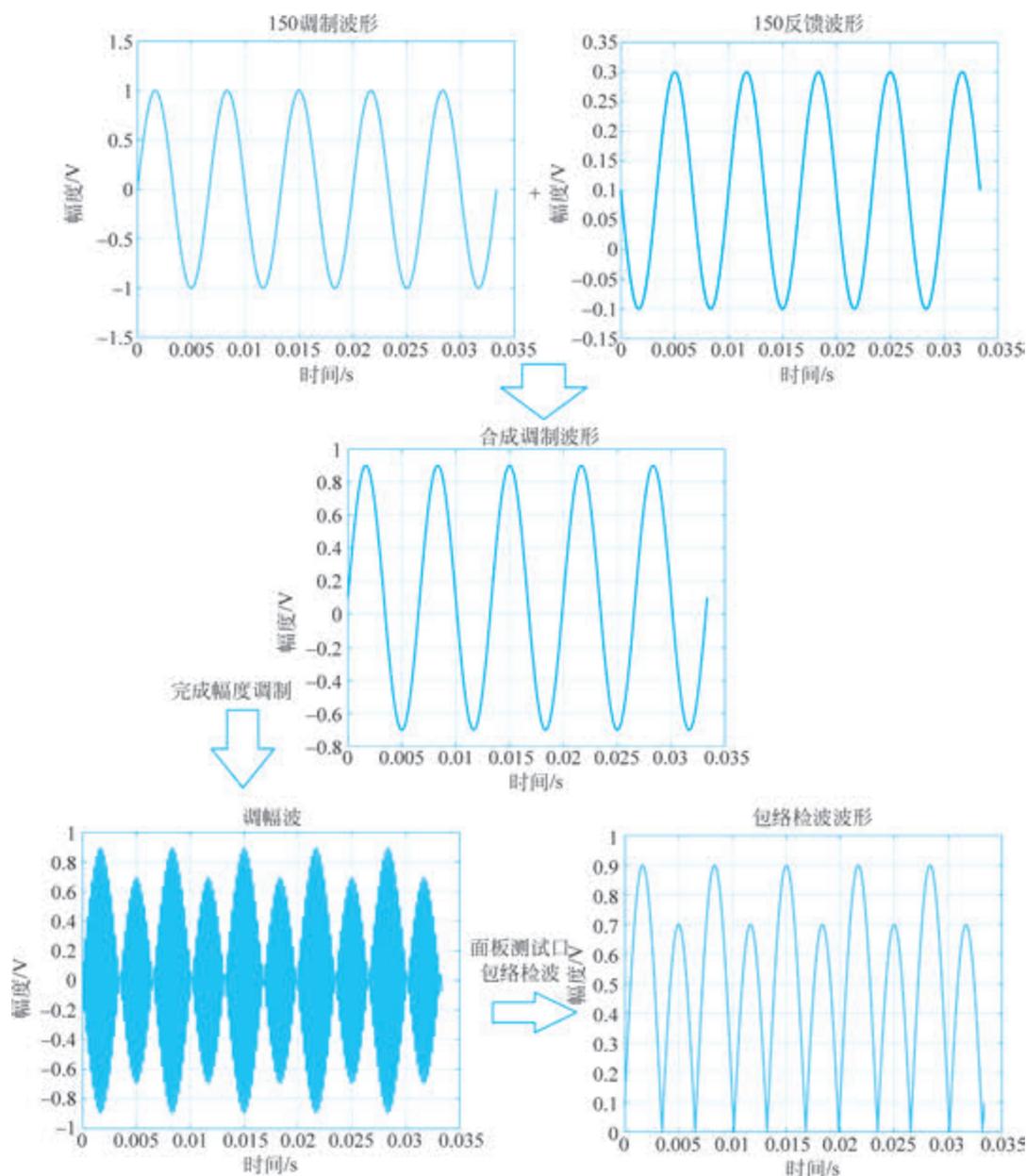


图 3.39 调整原因示意图

调整时将示波器连接到 LPA 组件前面板的 CSB 或 SBO 的 BNC 测试孔,调整示波器得到稳定的波形。

如图 3.40 所示,选择“Offset”调整选项卡,勾选“Enable test mode”,低频产生器和功放处于测试模式下,以下信号将分别馈入 LPA 中的 I、Q 信号输入端:

- (1) CSB: 幅值为 1.0V 的 150Hz 正弦信号,无 DC 直流偏置。
- (2) SBO: 每个音频幅值为 1.5V 的 SBO 信号。

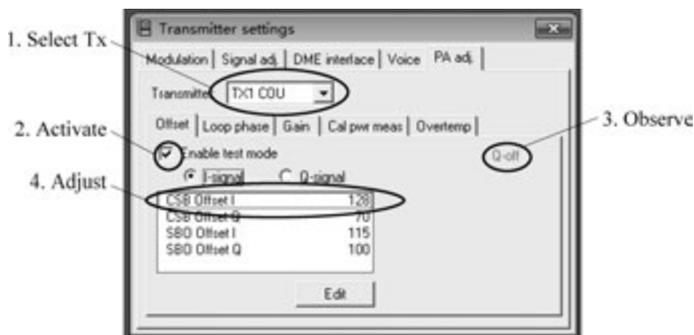


图 3.40 Offset 调整

边框中蓝色字体“Q-off”或“I-off”表示当前测试模式下只检查选中的一个通道,另一通道被关闭。

同样地,“Offset”设置值用于调整控制偏移补偿的数字电位器,通过编辑设置值达到调整波形的目的。需对 I 和 Q 通道的 CSB、SBO 波形分别检查,波形调整正确时,CSB 各个正半周波形的幅度相等和形状一致,SBO 波形在周期内幅度左右对称,波形的最小值均在零电平位置,CSB 和 SBO 通道存在偏移和正确情况如图 3.41 和图 3.42 所示。

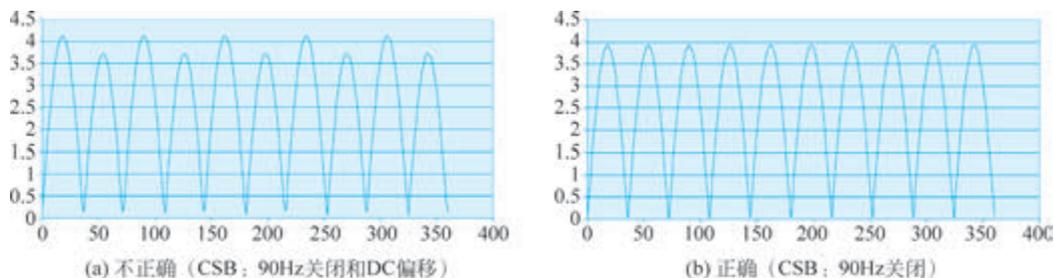


图 3.41 CSB 通道调整过程中存在直流偏移和正确情况的波形图

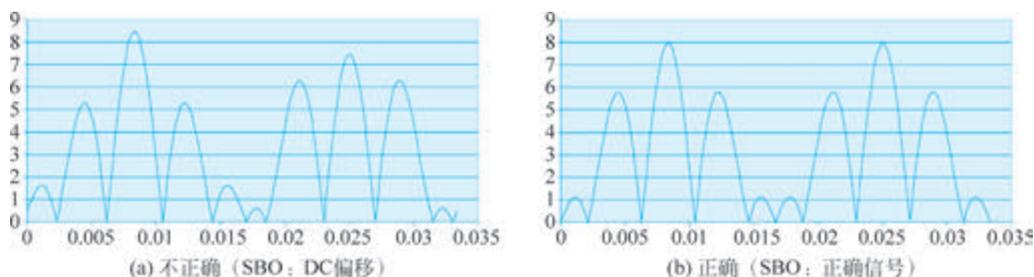


图 3.42 SBO 通道调整过程中存在直流偏移和正确情况的波形图

Offset 调整电路如图 3.43 所示,解调电路产生直流偏移的原因较多,包括共模抑制比下降、工作点漂移等,其影响表现为 U_{608} 的“1”和“7”脚在无 RF 信号时输出不为零电平。如

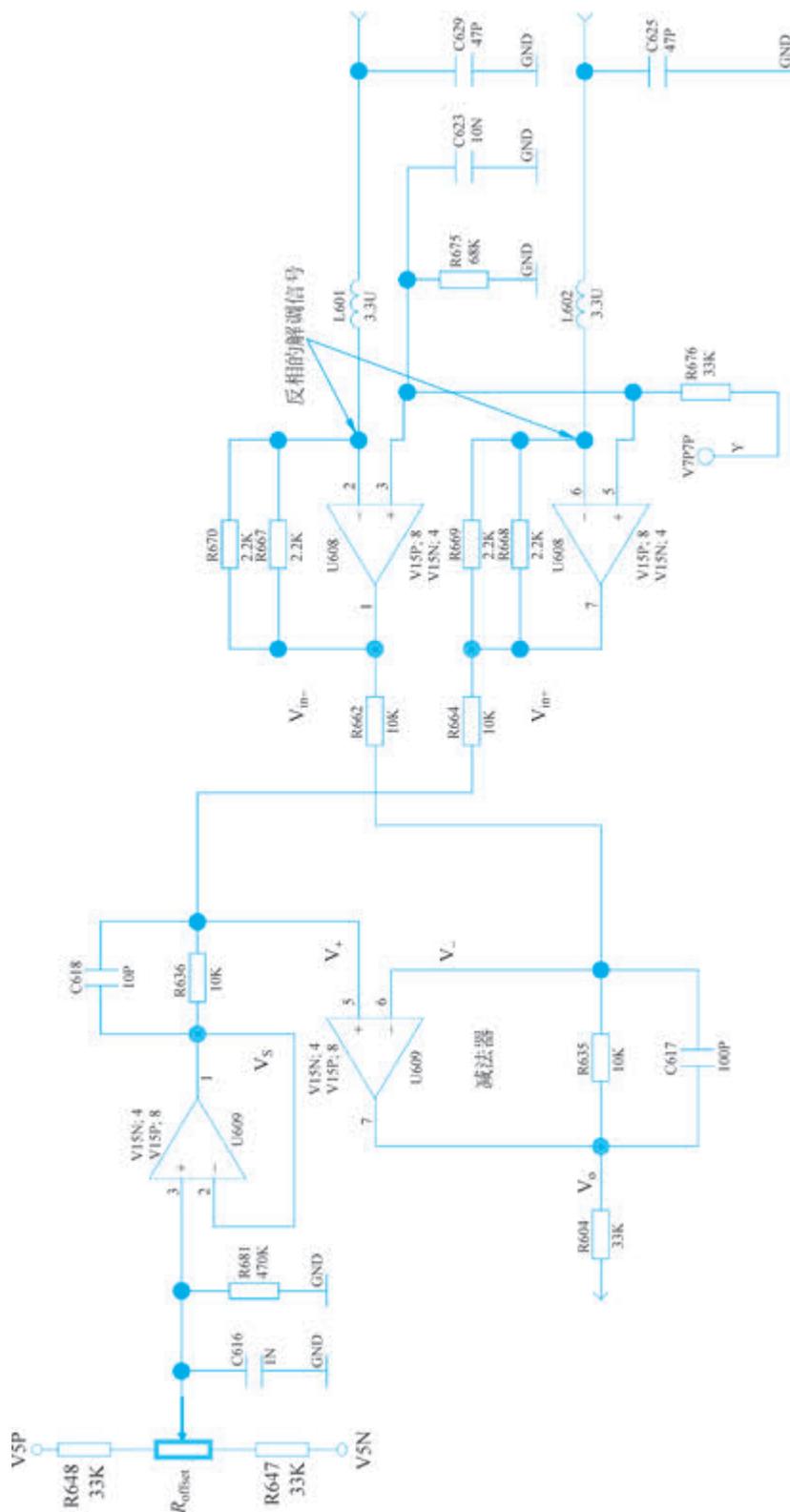


图 $V_{in+} - V_{in-} \neq 0$, 设其为 $-V_s$, 经过减法器 U_{609} 的输出, 反馈电压 V_o 。将出现错误的直流偏移电压。为了抵消其影响, 图中 R_{offset} 为补偿调整用的数字电位器, 根据其连接, 输出范围为 $\pm 5V$, 经选项卡的设置值可调整为 V_s , 经过 U_{609} 缓冲隔离后加到减法器上作为偏置电压。减法器的输出电压 $V_o = (V_{in+} - V_{in-}) + V_s$, 因此直流偏移得以抵消。

3) PA adj-Loop Phase(环路相位)

通过调整变容二极管的偏置电压改变电容容抗, 从而改变传输相移, 使整个环路为负反馈环路。环路为 I 、 Q 通道的误差放大器提供最佳(对称相等)相位/幅度工作点的输入反馈信号。

Loop Phase 选项卡用于调整控制 LPA 中 I 和 Q 环路相位延迟的数字电位器。勾选 Enable test mode, LF 产生器上的测试模式被激活, 以下信号被馈送到 LPA 的输入端:

- (1) CSB: 3.5V DC(无调制信号)。
- (2) SBO: 1.5V DC(无调制信号)。

U_{202-3} 和 U_{206-3} 开关断开, LPA 以“开环”状态运行, 并在维护参数采集电路的 U_{103} 选择测量解调器的输出而不是正常运行的调制驱动信号, 测试模式在所选 LPA 上激活(蓝色显示的文本标签 Read-demod 和 Open-loop 表示 LPA 上的这些模式处于运行状态)。

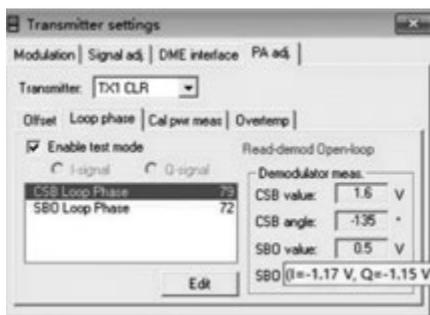


图 3.44 环路相位调整

“解调器测量”框显示了转换为极坐标表示的 I 和 Q 解调器测量幅值和相位角度值。将鼠标指针放在幅值或角度字段上, 可以弹出显示实际的 I 和 Q 电压测量值文本。如图 3.44 所示, 在角度为 -135° 时, 将观察到 I 、 Q 的电压值均为负值且相等。

调整时观察 CSB 或 SBO 的解调器角度测量值, 其值应接近 -135° 。当需要调整时, 编辑 Loop Phase 的设置值, 达到预期的角度值。工厂解释调整的原因是器件性能和工艺问题。要求是对全频

段的最佳反馈, 这样才会更加稳定, 而不是只针对某个频率点。所以在工厂调整时没有使用设备自身的 OS 作为射频源, 而是额外接入信号发生器, 用航向或下滑频段内不同频点进行测量调整, 最后取均值作为设置值。实际调整方法的差异和下滑频率较高易于出现不稳定的原因, 设备手册已经特别列明 GPA1581A 在序列号 1127 以上和 GPA1582A 在序列号 1030 以上的组件由工厂预设不需要用户调整。

Loop Phase 调整电路如图 3.45 所示。图中省略数字电位器, 可以理解调整过程就是改变电位器送出的电压值, 电压值作为相位控制电压加到 U_{300} , U_{300} 主要起 2 倍电压放大和电压极性调整的作用, 其电压输出加至变容二极管 CD_{300} , 电压值决定了 CD_{300} 的容抗, 电路传输相移将是受控的, 因而环路的射频相位可以得到调整。

调整原理可以用数学推导加以说明, 以下为相关推导:

馈入解调电路的 LO 信号在通道上没有相位调整的电路, 设其为基准信号, 则输入 I 解调器的 LO 信号为 $\sin\omega_c t$, 而 Q 解调器的 LO 信号为 $\sin(\omega_c t - 90^\circ)$ 。

以 SBO 通道为例, 使能 Loop Phase 测试模式时, 调制信号为 1.5V 直流, 调制器输出将为 $1.5\sin(\omega_c t - 45^\circ)$, 在 I 、 Q 解调电路中。解调过程如下:

(1) I 解调信号:

$$\begin{aligned}
 & 1.5 \sin(\omega_c t + \varphi - x) \sin \omega_c t \\
 &= 1.5 \left\{ -\frac{1}{2} [\cos(\omega_c t + \varphi - x + \omega_c t) - \cos(\omega_c t + \varphi - x - \omega_c t)] \right\} \\
 &= 1.5 \left\{ -\frac{1}{2} [\cos(2\omega_c t + \varphi - x) - \cos(\varphi - x)] \right\} \text{ (滤除高频分量后)} \\
 &= 0.75 \cos(\varphi - x)
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

式中: $\varphi = -\frac{\pi}{4}$; x 为环路相位值。

(2) Q 解调信号:

$$\begin{aligned}
 & 1.5 \sin(\omega_c t + \varphi - x) \sin\left(\omega_c t - \frac{\pi}{2}\right) \\
 &= 1.5 \left\{ -\frac{1}{2} \left[\cos\left(2\omega_c t + \varphi - x - \frac{\pi}{2}\right) - \cos\left(\varphi - x + \frac{\pi}{2}\right) \right] \right\} \text{ (滤除高频分量后)} \\
 &= 0.75 \cos\left(\varphi - x + \frac{\pi}{2}\right) \\
 &= -0.75 \sin(\varphi - x)
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

为了满足解调信号与调制信号相位相反和解调的 I 、 Q 信号幅度相等,有以下条件:

$$\begin{aligned}
 & 0.75 \cos(\varphi - x) = -0.75 \sin(\varphi - x) \text{ 且 } < 0 \\
 & \Rightarrow \varphi - x = \frac{3\pi}{4}
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

$$\text{如 } \varphi = -\frac{\pi}{4}, \text{ 则 } x = -\pi$$

可见 Loop Phase 的调整使环路相位为 180° , 实现负反馈。

正常运行时,解调电路的反馈信号数学推导如下:

(1) I 解调信号:

$$\begin{aligned}
 & m(-\sin \omega_{90} t + \sin \omega_{150} t) \sin(\omega_c t + \varphi + \pi) \sin \omega_c t \\
 &= m(-\sin \omega_{90} t + \sin \omega_{150} t) \left\{ -\frac{1}{2} [\cos(\omega_c t + \varphi + \pi + \omega_c t) - \cos(\omega_c t + \varphi + \pi - \omega_c t)] \right\} \\
 &= m(-\sin \omega_{90} t + \sin \omega_{150} t) \left\{ -\frac{1}{2} [\cos(2\omega_c t + \varphi + \pi) - \cos(\varphi + \pi)] \right\} \text{ (滤除高频分量和忽略常量后)} \\
 &= m(-\sin \omega_{90} t + \sin \omega_{150} t) \cdot \cos(\varphi + \pi) \\
 &= m(\sin \omega_{90} t - \sin \omega_{150} t) \cdot \cos \varphi
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

(2) Q 解调信号:

$$\begin{aligned}
 & m(-\sin \omega_{90} t + \sin \omega_{150} t) \sin(\omega_c t + \varphi + \pi) \sin\left(\omega_c t - \frac{\pi}{2}\right) \\
 &= m(-\sin \omega_{90} t + \sin \omega_{150} t) \left\{ -\frac{1}{2} \left[\cos\left(\omega_c t + \varphi + \pi + \omega_c t - \frac{\pi}{2}\right) - \cos\left(\omega_c t + \varphi + \pi - \omega_c t + \frac{\pi}{2}\right) \right] \right\} \\
 &= m(-\sin \omega_{90} t + \sin \omega_{150} t) \left\{ -\frac{1}{2} \left[\cos\left(2\omega_c t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) - \cos\left(\varphi + \frac{3\pi}{2}\right) \right] \right\} \text{ (滤除高频分量和忽略常量后)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= m(-\sin\omega_{90}t + \sin\omega_{150}t) \cos\left(\varphi + \frac{3\pi}{2}\right) \\
 &= m(\sin\omega_{150}t - \sin\omega_{90}t) \sin\varphi
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

计算后得知,解调的反馈信号分别与 I 、 Q 调制信号反相,为其负反馈信号。在 Loop Phase 的调整过程中,LPA 处于开环状态,反馈信号不能返回到误差放大器。反馈信号的相位角度反映了由功率放大、输出和解调等电路组成的环路的相位值变化,调整到位后电路参数固定。在正常运行时处于闭环状态,这时 LPA 电路就能正常工作。Loop Phase 的控制电压与反馈信号对射频相位的影响是相反的,即如 Loop Phase 使射频相位超前,但反馈信号变化量又会使射频在调制过程中相位滞后,反之亦然。所以 Loop Phase 的调整不会对整机相位输出造成影响。但在设备调试过程中,必须确保 Loop Phase 设置值正常,电路处于正常工作之后,再进行 SBO Phase 的调整。

4) PA adj-Cal pwr meas(功率测量校准)

通过调整功率采样的大小,校准正向功率测量与实际一致。

“Cal pwr meas”选项卡用于 RMM 程序前向功率测量的校准,反向功率测量没有校准功能。选项卡 and 对应电路如图 3.46 所示。

通过改变调整电路中可调电位器的功率采样输出达到调整的目的。通过编辑设置值使 Power meas 的功率显示和功率计测得的功率一致。

功率放大器除以上 PA adj 调整外,在维护中需进行射频功率测量,测量用的功率计可采用通过式或终端式,测量位置一般为机柜底部的输出端口,测量过程注意功率探头的正确使用。在设备手册的技术指标列明的是 CSB 功率,包含了音频调制产生的边带成分,所以对于测量过程中是否关闭调制音频没有严格规定,只需要按测量要求和稳定测量读数方面考虑。但对于 SBO 信号,因其为 100% 调制,功率测量必须开启音频调制。测量结果航向的航道和余隙的 LPA1580A 标称输出功率为 20W,下滑的航道 GPA1581A 和余隙 GPA1582A 标称输出功率分别为 6W 和 0.6W。对于调制度、输出频率等其他参数,通常在设备面板的测试孔使用外场测试仪测量。

3. LPA 功率放大器的电路结构

1) 与门保护电路

图 3.47 为射频放大器 LPA1580A 的 CSB 调制部分,保护电路也包含在内。其中 Error amp 误差放大器接收 CSB mod. in 调制信号和 feedback 反馈信号,相加后生成经负反馈校正的调制信号,送 Modulator 调制器的乘法器完成调制。在误差放大器中 I 和 Q 调制信号需经过 U_{202} 和 U_{206} 组成的 CMOS 模拟开关,由它们实现对射频放大电路的保护。

U_{202} 为 DG211 模拟开关,其功能在控制端“1”脚输入低电平时,“2”和“3”脚将会导通。

调制信号经 R_{237} 送到 U_{202} 模拟开关,在正常情况下 D_{203} 和 D_{205} 的负极均为高电平, $V5P$ 经 R_{238} 使 U_{202} 的“1”脚为高电平,开关处于断开位置,信号可由 R_{242} 送到后面的电路进行放大和调制; D_{203} 和 D_{205} 的正极接在一起组成与门电路,只要其中一个负极输入低电平,并接的正极位置和 U_{202} 控制端就为低电平, U_{202} 的“2”和“3”脚导通。 U_{202} 的“2”脚接地,与“3”脚导通后调制信号将被旁路下地,无法送到调制器。调制器在调制信号为“0”时关闭射频,起到保护射频放大器的作用。

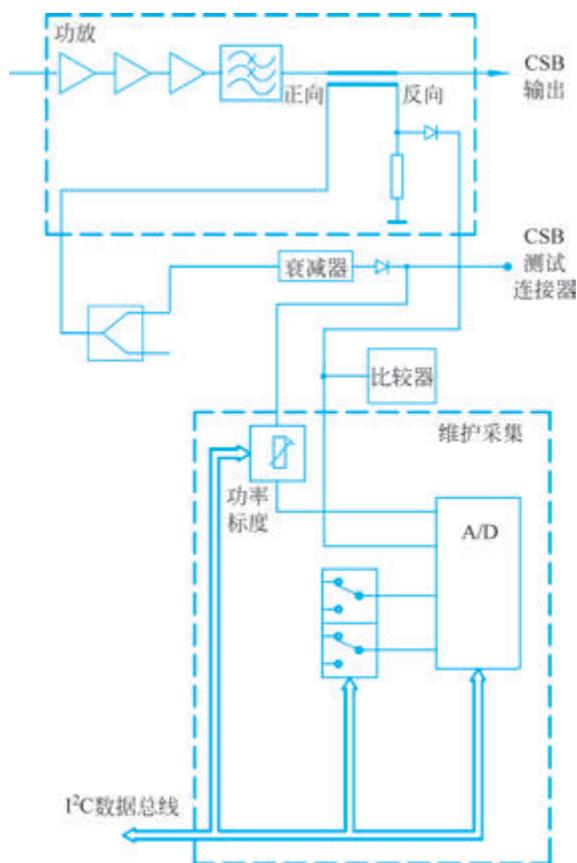
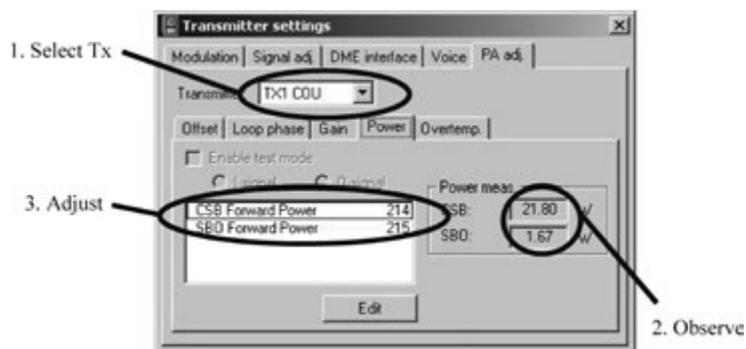
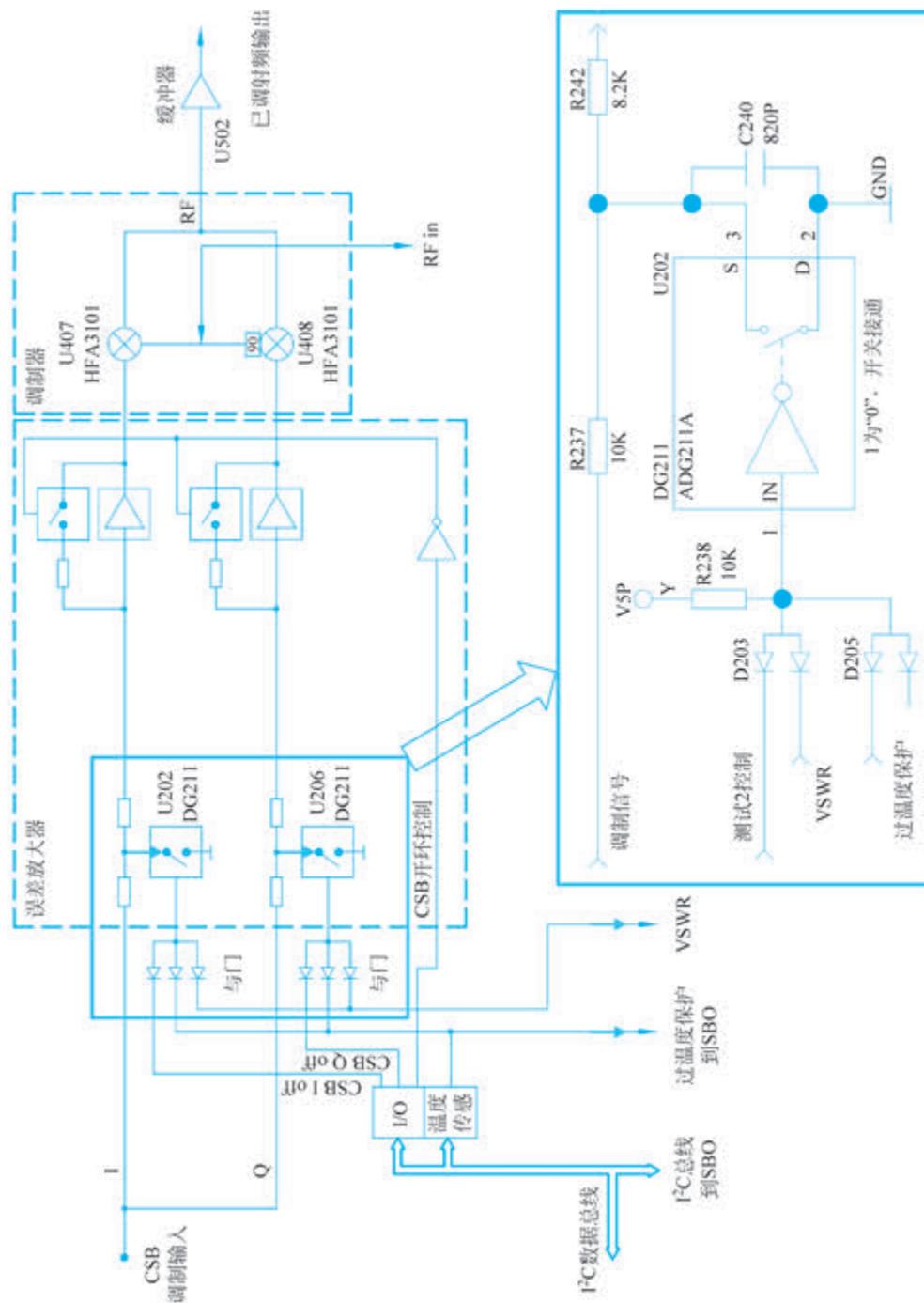


图 3.46 功率测量及校准



二极管与门保护电路的输入分别是 TEST2 测试控制、电压驻波比保护和 Overtemp 过温度保护。TEST2 测试只在 Offset、Gain 调整校准时才起关闭通道的作用。后两个控制在射频放大器异常时使电路进入保护状态,降低功率放大电路受损的可能,下面逐一详细讲述。

2) 电压驻波比保护电路

电压驻波比用于射频放大器输出开路时关闭射频,避免功放管功耗过大造成损坏,该保护主要用于 CSB 通道。

如图 3.48 所示,PA 为放大器功率输出模块,双向耦合器位于输出端,正向和反向信号分别经过耦合器的 FWD 和 REV 端口送出。REV 的信号经过检波等电路得到代表反向信号的电压值。这个电压值分成两路:一路送到 Maintenance 模块,在模块内完成 A/D 转换,具体数值由 I²C databus 送到 RMS,最终用户能在 RMM 软件查看到反向信号的功率值,如图 3.48 所示对应项“CSB reverse power”。

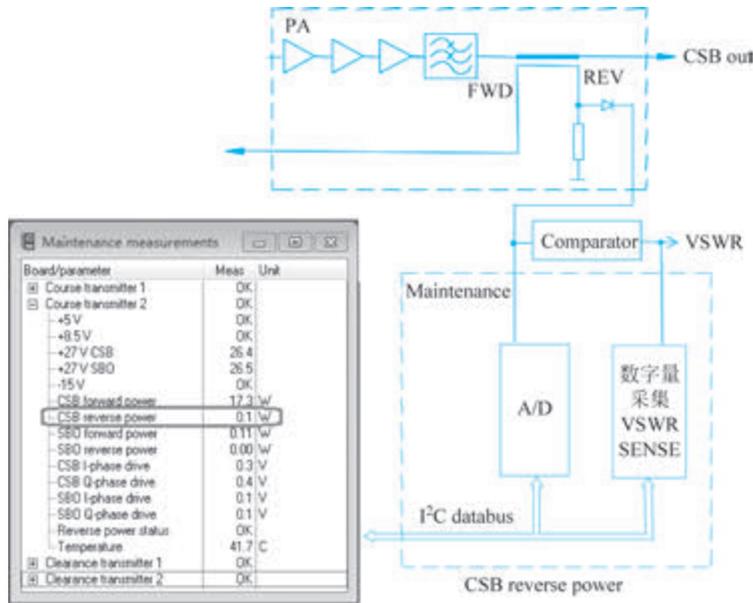


图 3.48 反向功率检测及测量

另一路信号送到比较器,比较器电路如图 3.49 所示。

U_{203} 为电压比较器,其“3”和“6”脚由电阻分压得出图中所示的基准门限。检测到的反向电压 VSWR DWN 送到 U_{203} 的“2”脚,正常时检测电压应远低于“3”脚同相端门限,比较器送出高电平,后面的电路不动作;但存在较强反向信号时,“2”脚电平大幅升高,反相端高于同相端,比较器送出低电平,这个电平称为 VSWR RAW,它代表存在反向的原始实时信号,VSWR RAW 被送到 U_{207} 。 U_{207} 是带振荡器的可预置延时计数器,其组成单稳态电路。在初始状态时 U_{207} 的“7”脚 \bar{Q} 端为高电平 5V,比较器 U_{203} 同相端“5”脚的 5V 高于反相端“6”脚的 2V,“7”脚输出高电平到二极管与门,不触发保护电路;当 VSWR RAW 的低电平加到 U_{207} 的“5”脚 \bar{B} 触发端, \bar{Q} 端转为低电平 0V 进入暂稳态,这个低电平称为 VSWR DLY。另一方面 U_{207} 开始计数。 U_{207} 的延时时间由“2”和“3”脚的阻容值和 S3~S0 预置值决定。在这里 S3 为“1”、S2 和 S0 均为“0”, U_{207} 被预置成 217,对 RS 时钟实现 131072 分频。时钟的频率为

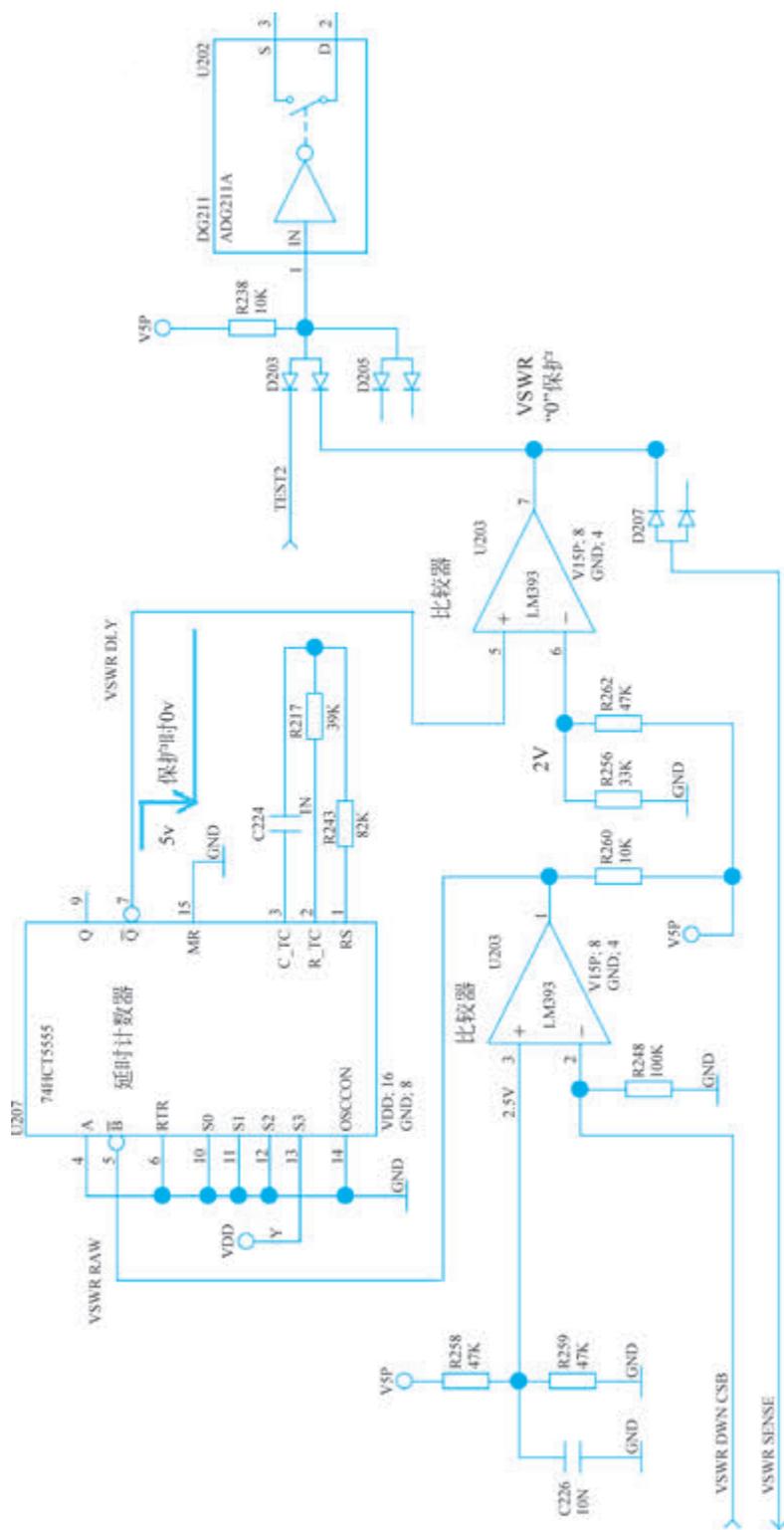


图 3.49 比较器和延时单稳态电路

$$f_{\text{osc}} = \frac{1}{2.5 \times R_{217} \times C_{224}} = 10.26(\text{kHz})$$

单稳态延时持续时间为 $131072 \times 1/f \approx 12.8(\text{s})$, 在 12.8s 后 \bar{Q} 重新回到稳态高电平。VSWR DLY 时钟图如图 3.50 所示。

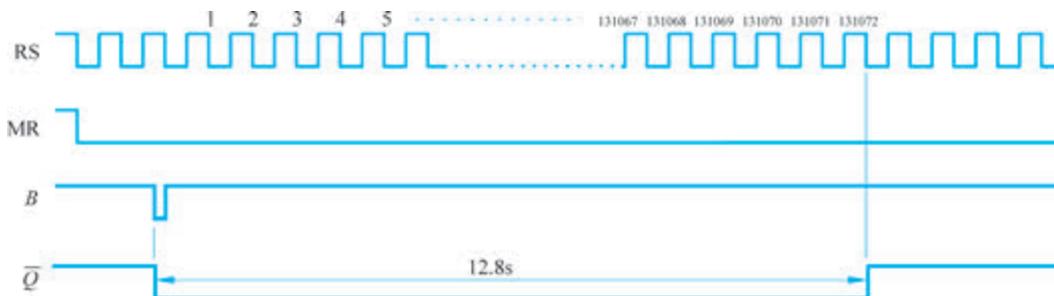


图 3.50 VSWR DLY 时钟图

U_{207} 的 \bar{Q} 端输出信号 VSWR DLY 为低电平, 送到 U_{203} 比较器同相端“5”脚, 反相端“6”脚电压高于同相端, 比较器“7”脚输出低电平到二极管与门电路, 使射频放大器输出开路存在较大反向电压的状态下保护电路起作用。同时, D_{207} 送出一个 VSWR SENSE 低电平到 RMS, 在 RMM Maintenance 菜单给出 Reverse power status 提示用户, 如图 3.51 所示。

因此, 每次检测到反向电压过大时, VSWR DLY 触发保护电路, 并持续延时 12.8s。在此延时时间内, 即使反向电压值恢复正常, 射频放大器也处于保护状态, 直到 12.8s 后才解除保护, 射频放大器再次工作; 此时, 如果电路反向电压依然不正常, 那么 12.8s 保护电路会被重新触发启动, 这种状态会一直循环下去。以上循环状态需在设备处于 Manual 强制工作下才能发生。

3) Overtemp(过温度保护)

功放管功耗太大过量发热或工作于较高温度的环境下容易造成损坏, RMM 软件可对放大器的保护温度门限进行设置, 如图 3.52 所示。当超出设定的 Overtemp. turnoff limit 时, 放大器进入保护状态。Overtemp. turnoff limit 设置 PA 射频输出关闭时的温度($^{\circ}\text{C}$)。Overtemp. reset limit 设置超过温度限制关闭后能再次正常工作的温度。一般情况下关闭设为 105°C 。重启设为 85°C 。

设备使用高精度数字温度计及具有温控器功能的 DS1631 完成温度的测量和保护控制, 其框图如图 3.53 所示。

DS1631 安装于 CSB 功放散热片附近, 如图 3.54 所示。芯片的传感部分感应温度, 通过 A/D 转换成数字信号, 经 I²C 总线送到 RMM 软件进行温度显示。turnoff limit 门限设置值储存在芯片内的寄存器, 实时监测的温度和门限值在数字比较器进行比较。当温度高于门限时, 送出 Tout 低电平信号, 这个信号同样送到二极管与门保护电路起到保护放大器

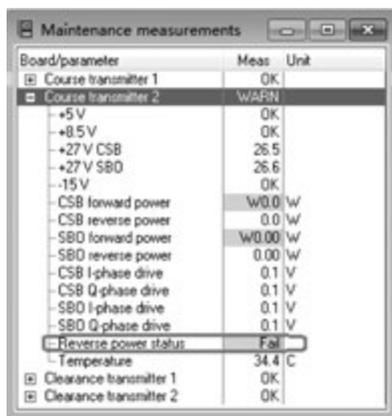


图 3.51 Maintenance 里代表 CSB 反向信号参数异常的状态

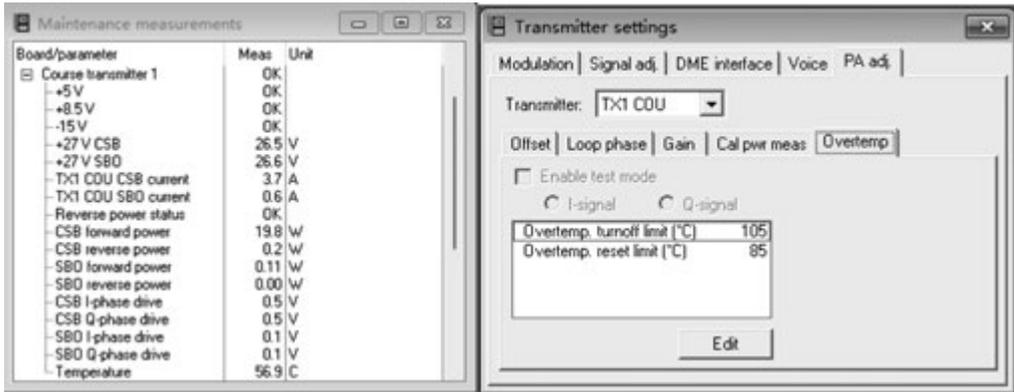


图 3.52 保护温度门限设置

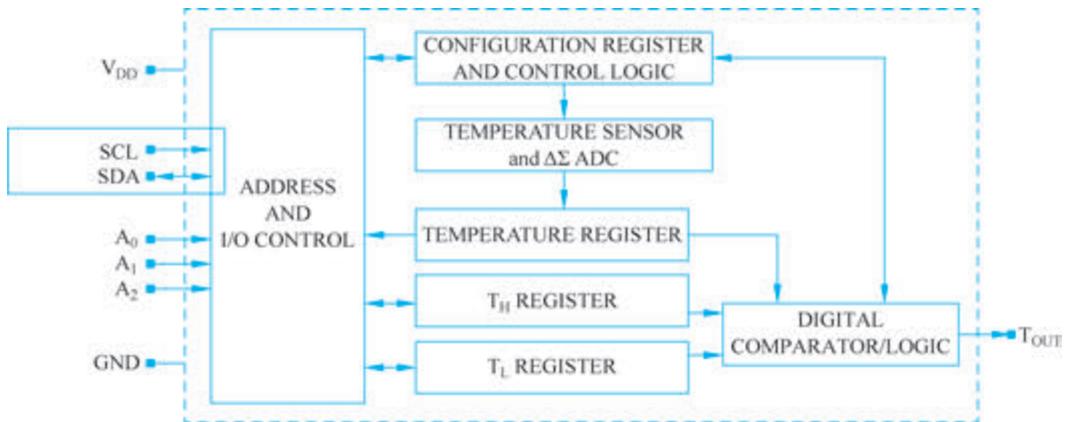


图 3.53 DS1631 框图

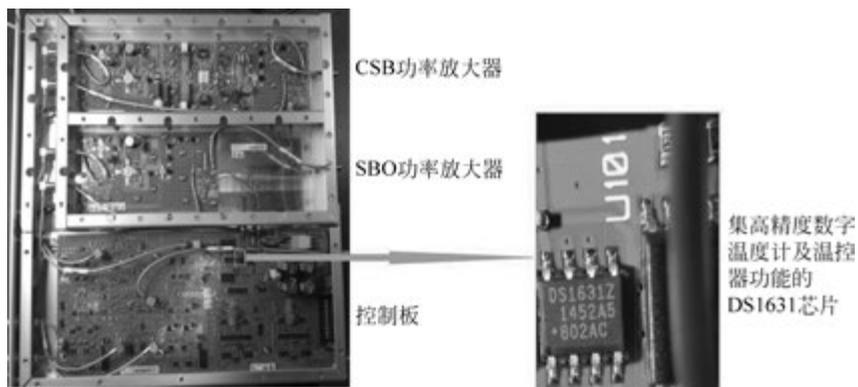


图 3.54 DS1631 芯片及安装

的作用。待射频放大器因不工作温度下降,低于复位 reset limit 的设置值时,放大器又重新恢复正常工作。

为了方便观察,温度门限设为 38°C ,如图 3.55 所示。射频放大器进入保护状态停止工作,可看到 Maintenance 参数里的功率测量值预警和 I、Q 驱动调制电压被保护为“0V”,对比实测温度和 turnoff limit 设置值可知,放大器已进入过热保护状态。

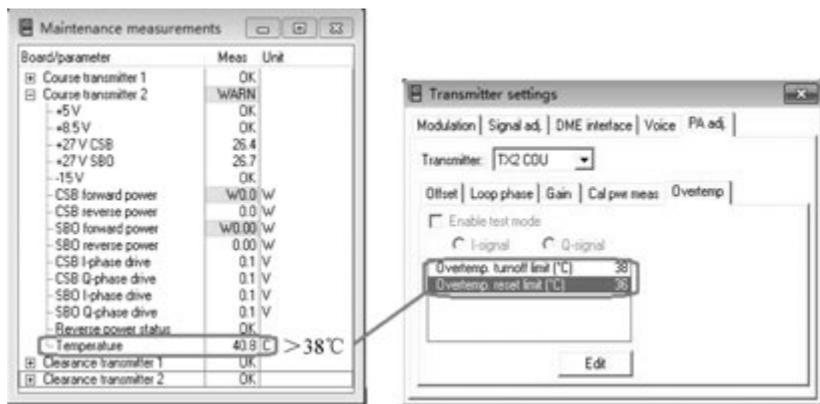


图 3.55 温度显示及 Overtemp 保护设置

4) 无射频输入保护电路

当射频源无射频输入到射频放大器时,为避免产生过大的调制电压,具有相应的保护。无射频输入保护电路如图 3.56 所示。

OSC 射频源输入信号在射频放大器的 AGC 模块耦合,送到 TURNOFF 模块进行电平比较。这两个模块的电路和之前介绍的射频取样、电压门限比较相似,不再详述。检测到没有射频输入时,OFF 信号送出低电平,低电平使 U_{202} 的“6”和“7”脚导通,导致 U_{204} 调制信号放大器的反相端和输出端短路。 U_{204} 的同相端经电阻接地,根据运算放大器“虚短”的特性,反相端也为零电平,从而使反相端和输出端同为零电平,调制信号为“0”保护了射频放大器。

5) 调制电路与解调电路

调制与解调均采用 HFA3101 吉尔伯特单元,相当于两个并联的差分电路,作为两个“可变跨导乘法器”,其输出交叉耦合,能够实现四象限乘法运算。调制电路与解调电路如图 3.57 所示。

6) 数字电位器 X9258

X9258 是四路数字控制电位器,框图如图 3.58 所示。通过 255 个电阻元件的串联阵列实现电位器功能。每个元件之间都有通过开关连接到游标端子的分接头。游标端子的位置由用户通过 I²C 总线设置。每个电位器都有一个易失性游标计数器寄存器(WCR)和 4 个非易失性数据寄存器(DR),设置数据存储在 DR,通电会将 DR 的数据重新调用到 WCR, WCR 的内容控制游标端子的位置。PA adj 调整均由数字电位器 X9258 实现。X9258 在 NM7000 的应用举例如图 3.59 所示。

4. LPA 功率放大器的维护参数分析

采集电路及 RMM 维护参数如图 3.60 所示,PCF8574 通过 I²C 总线用于数字采集和控制,采集的数字量有 5V、8.5V、-15V 和 VSWR 状态,控制的数字量主要包括 PA adj 调整所需的控制信号如 TEST0 控制开环,TEST2 控制 I 通道关闭,TEST3 控制 Q 通道关闭,TEST1 控制维护参数采样电路对驱动检测和解调检测的切换。MAX127 采集 8 个模拟通道信号,包括正反功率、驱动电压等。X9258 为数字电位器,其有 4 通道,分别用于 CSB、SBO Loop Phase 控制和 CSB、SBO 功率显示的校准。所有的数据通过 I²C 总线进行交互。

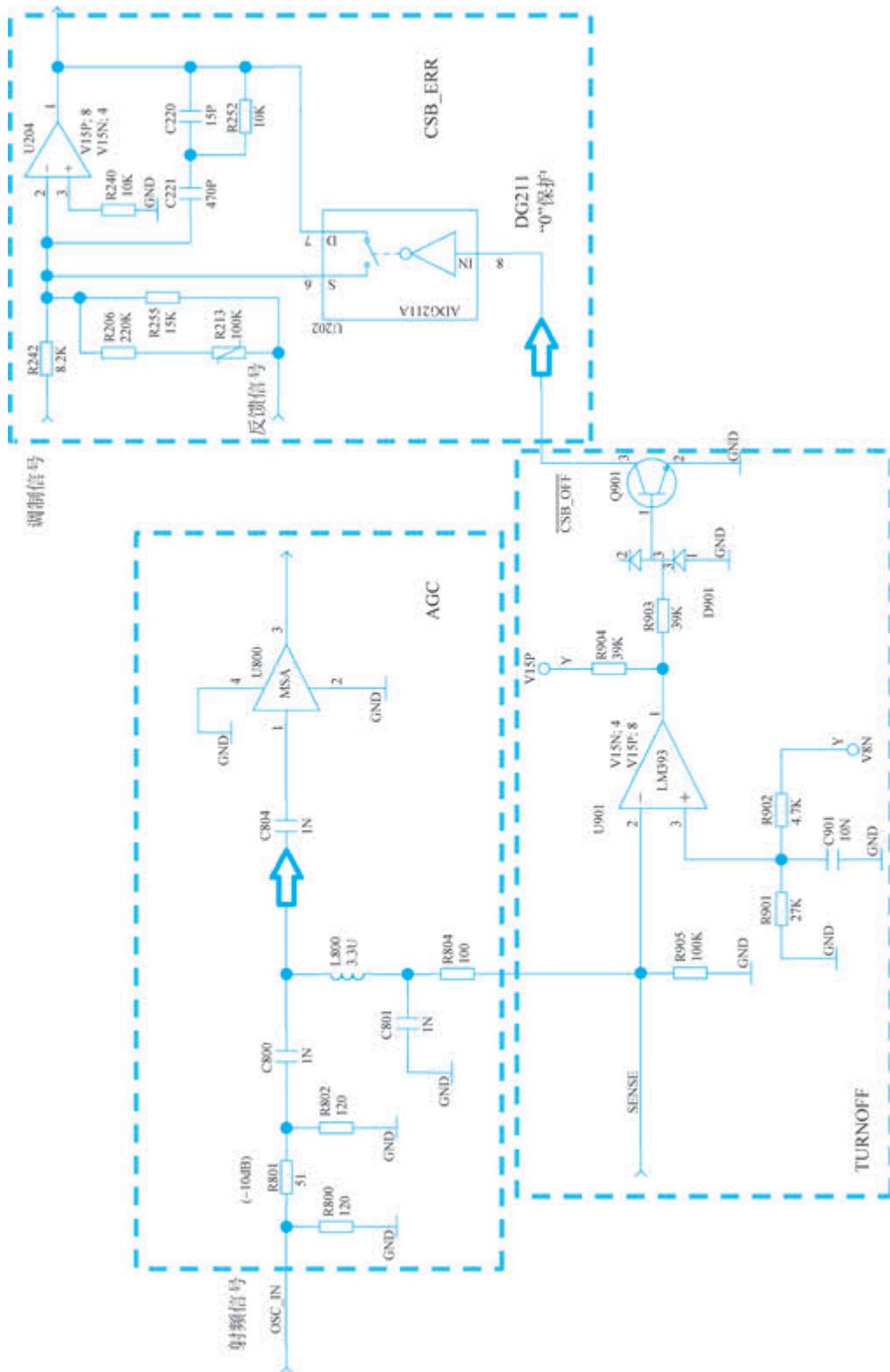


图 3.56 无射频输入保护电路

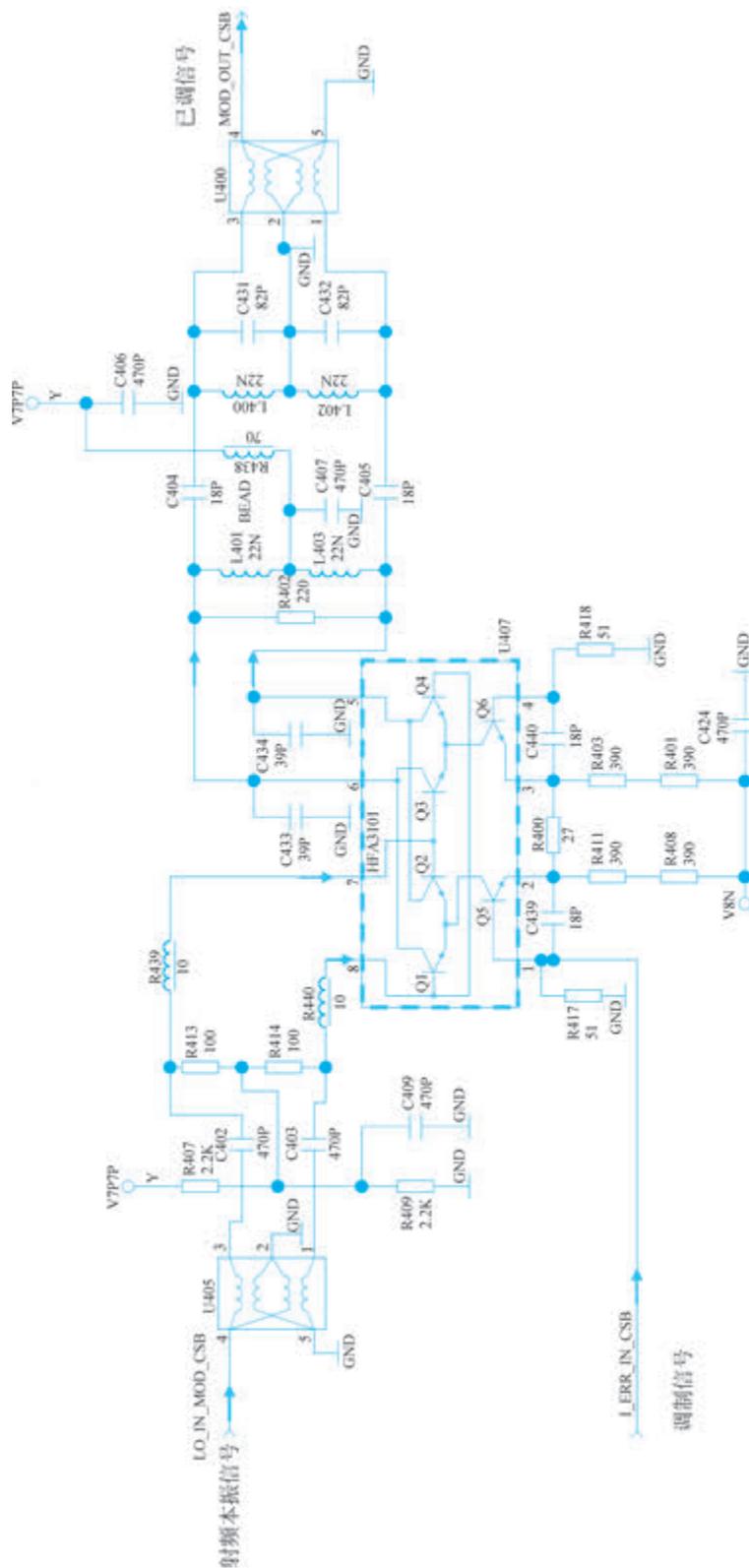


图 3.57 调制电路与解调电路

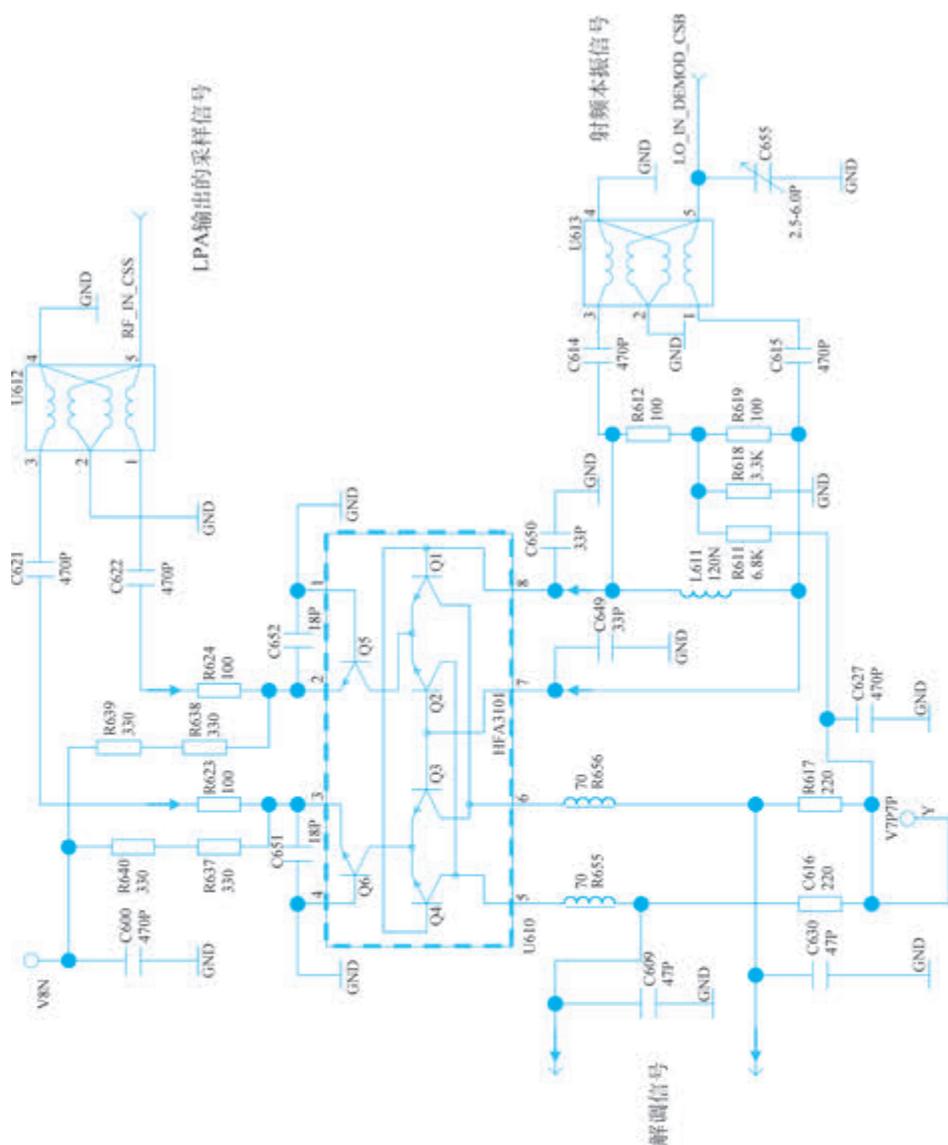
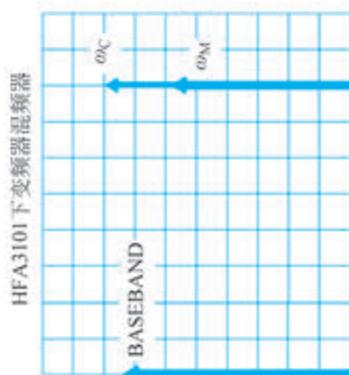


图 3.57 (续)



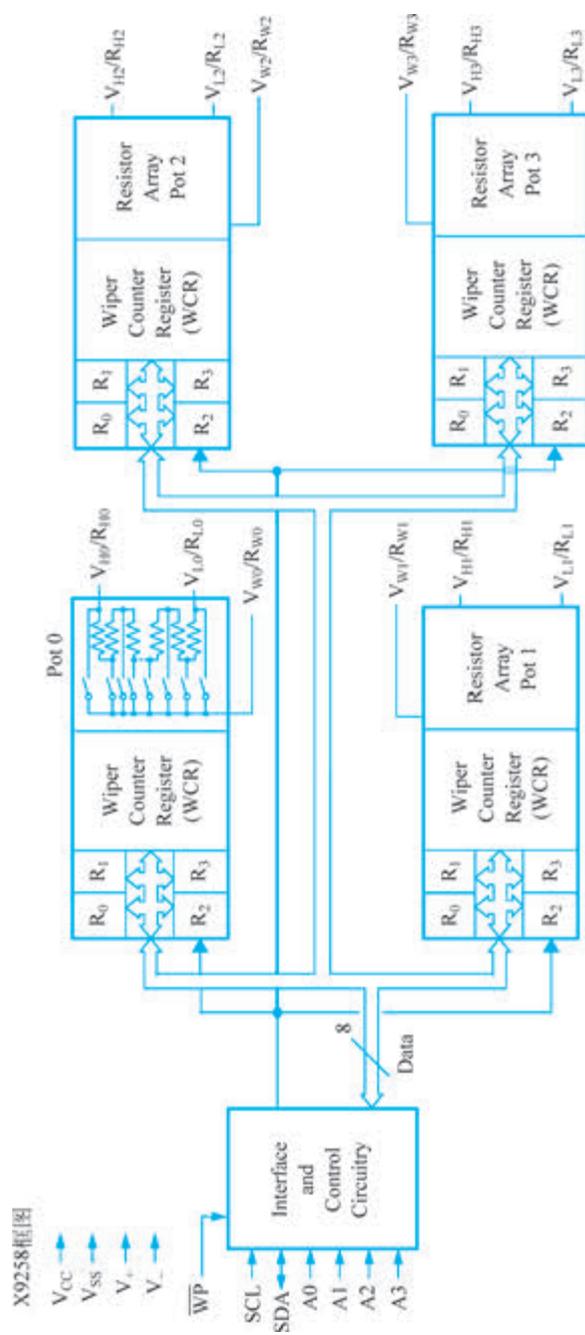


图 3.58 X9258 框图

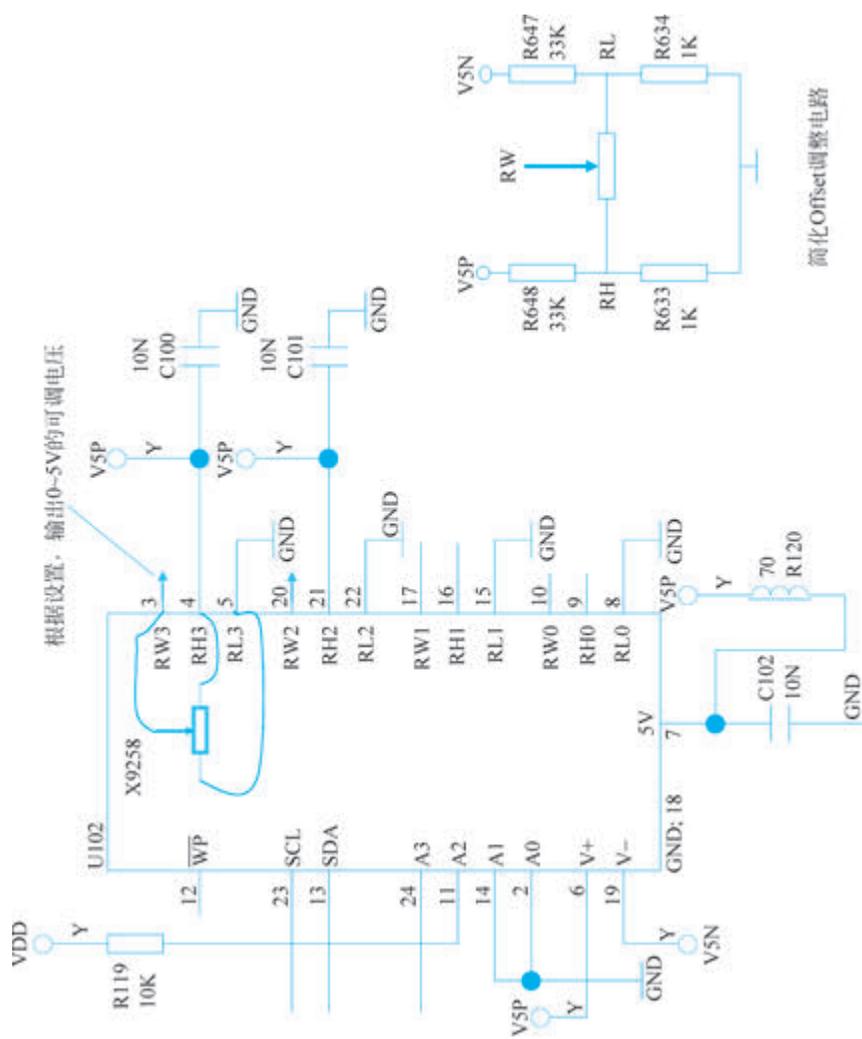


图 3.59 X9258 在 NM7000 的应用

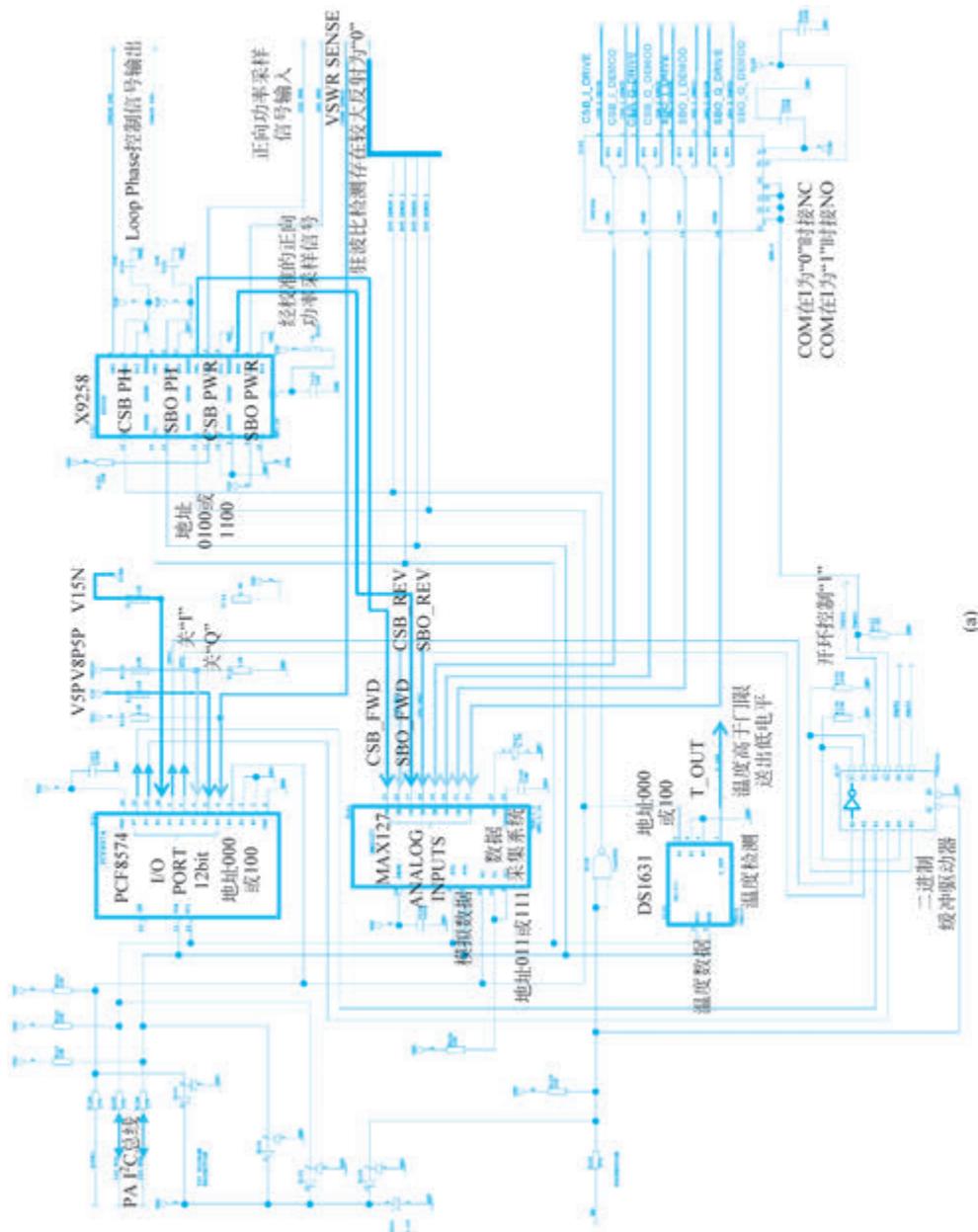


图 3.60 采集电路及 RMM 维护参数

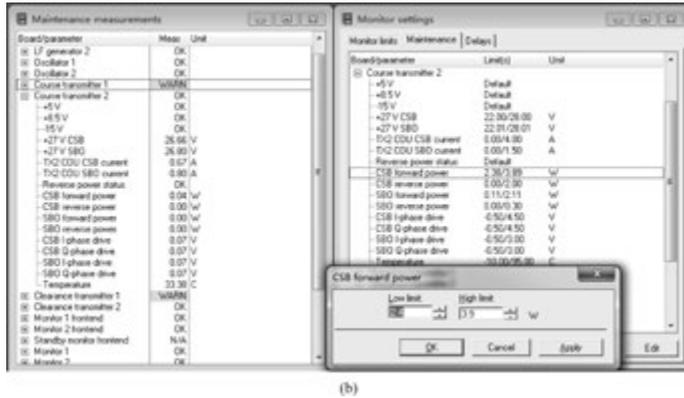


图 3.60 (续)

发射机维护参数测量菜单内的部分参数,如+27V CSB(SBO)、CSB(SBO)电流采集位置在 PS1227 电源模块,在后续内容介绍。

3.2.4 转换继电器

转换继电器单元如图 3.61 所示,由 TCA1218 控制选择接天线的发射机,通常接天线的发射机称为主机,而另一台发射机为备机,接假负载。双频航向使用 4 个同轴继电器,双

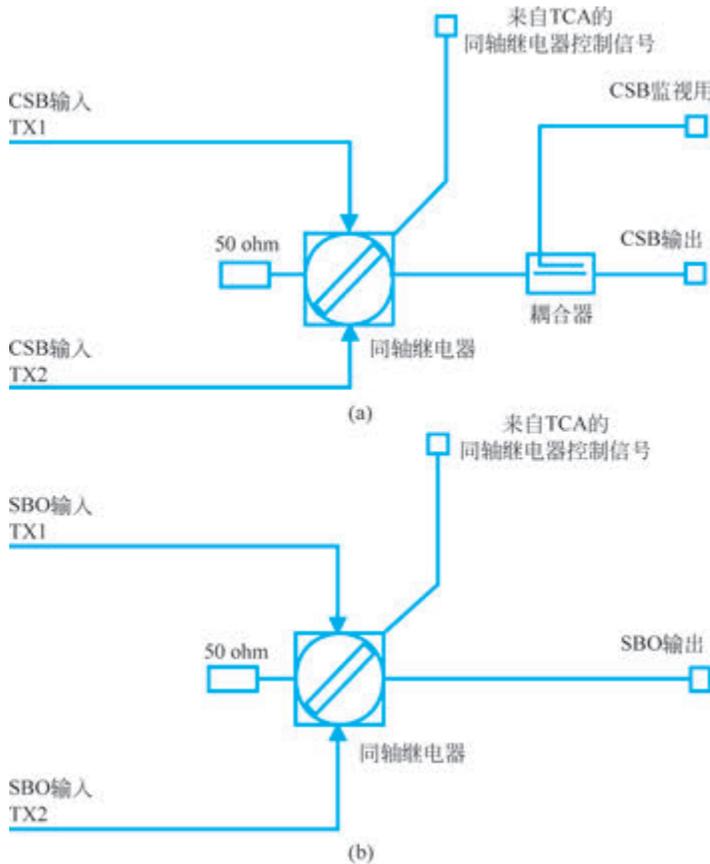


图 3.61 转换继电器

频下滑使用 3 个同轴继电器。在热备份系统,同轴继电器与假负载之间增加定向耦合器,耦合信号到备机监视器。

3.3 监视器部分

监视器部分的主要任务是在发射机发生故障时产生告警。告警信号由 TCA1218 的 SC 台站控制部分分析,台站控制部分根据当前状态决定是转换发射机还是关闭 ILS 信号。预警信息由 RMA1215 处理。

监视器的输入信号来自天线系统的航道、宽度、近场、余隙射频信号。此外,直流回路检测用于检查天线系统是否存在开路故障,并且可选的外部前端可以监视来自附加设备(如远场监视器)产生的告警参数。监视器输出的告警状态送到发射机控制 TCA1218、参数值送到 RMS、直流回路的参考电压送到天线系统。

监视器部分由航向 MF1211A、下滑 MF1219A 监视器前端模块和监视器模块 MO1212A 组成。监视器部分使用双机制提高了可靠性,在热备份配置中附加一个监视器,以监视备用发射机,如图 3.62 所示。

监视器前端模块主要是调幅接收机,用于检测基带信号并产生与射频电平成比例的直流电压。此外,还产生一个数字脉冲串,以便在双频设备中表示航道发射机和余隙发射机之间的频差。

监视器模块将模拟信号数字化,通过快速傅里叶变换(FFT)和平均值计算过滤所有数据,并将参数传递给比较器。如果参数超出预设门限,比较器将产生告警信号。

3.3.1 监视器前端 MF1211/1219

监视器前端包含宽度(DS)、近场(NF)、航道(CL)、余隙(CLR)四个相同电路。监视器前端接收监视混合单元和近场监视天线的信号,检测出代表射频电平的直流信号和基带信号 BASEBAND。在双频系统中还生成航道和余隙的 DF 信号用于频差的检查。所有的信号送至 MO 组件进行测量评估。

1. MF 监视器前端原理框图

监视器前端具有 DS、NF、CL、CLR 四个独立相同的通道。CL 通道框图如图 3.63 所示,其他通道类似。

前端板的每个通道分成 XX_FILT、XX_RFAMP、XX_LEV、XX_BASEB 和 XX_LPFI (XX 根据不同通道对应为 DS、NF、CL、CLR)。

此外,模块还包括频率混合电路(DF MIXER),用于产生 CL 和 CLR 输入信号之间的频差,及维护监视部分(Part of Maintmon),当发生低调制度和低射频电平情况时,可通过 I²C 总线产生维护预警到 RMS(详细原理在电路结构进行介绍)。

2. MF 监视器前端的设置和测量

1) 射频输入电平调整和参数校准

各监视通道输入电平的匹配放大和调整 RMM 程序显示监视参数测量值的准确性。在设备正常时,MCU 调整到位后进行此项调整。以 DS 通道为例,调整和测量位置如图 3.64 所示。调整步骤如下:

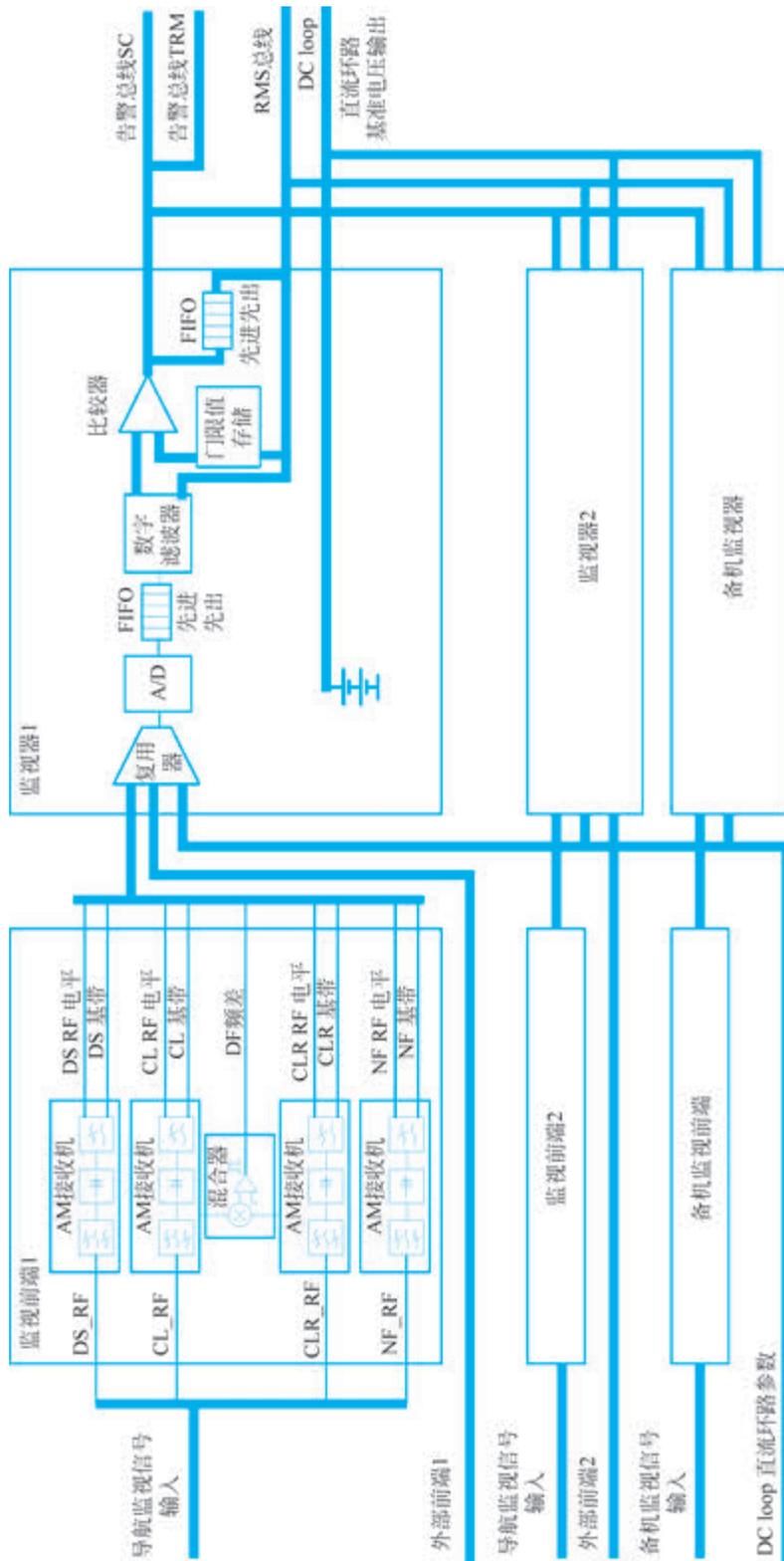


图 3.62 监视器

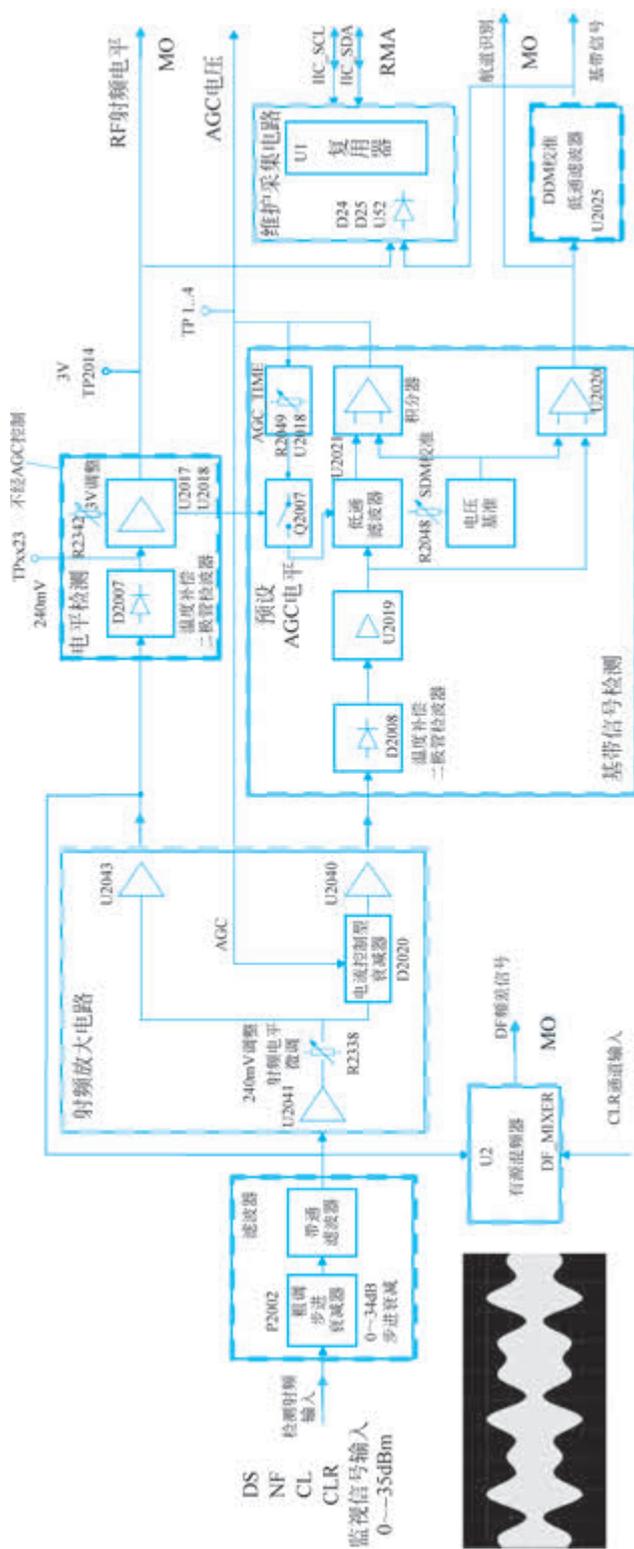


图 3.63 CL 通道框图

- (1) 关机,使用延长板连接 MF12xx 监视器前端板;
- (2) 打开发射机;
- (3) 调整电位器 R_{38++} ,使其位于中间位置;
- (4) 调整跳针 P_{2++} 使 TP23++ 的电压接近 240mV;
- (5) 调整电位器 R_{38++} 使 TP23++ 的电压为 240mV;
- (6) 关闭发射机并移除延长板,把 MF12xx 放回其对应位置;
- (7) 打开发射机;
- (8) 调整位于 MF12xx 前端的 RF level 电位器,直至监视器 RF level 的值显示为 3.0V;
- (9) 调整 SDM 电位器使监视器 SDM 参数为 40.0%(LOC)/80.0%(GP)SDM $\pm 0.1\%$ SDM;
- (10) 监视器参数 DDM 值与使用外场测试仪对 MCU 或监视天线的测量值不一致时,可调整 DDM 电位器。

2) AGC 时间调整

通过调整设备在关机状态下的 AGC 电压值,使其与正常开机时相等,达到设备开机后 AGC 环路能迅速稳定工作的目的。AGC 调整点如图 3.65 所示,调整步骤如下:

- (1) 正常状态下打开发射机。
- (2) 记录此时监视器前端上 TP1、TP2、TP3 和 TP4 的 AGC 电压值。
- (3) 关闭发射机。
- (4) 调整位于 MF12xx 监视器前端的 AGC TIM 电位器,直到 AGC 电压与记录值一致。监视器的 CL、CLR、DS 和 NF 通道都要调整 AGC 电压,以确保监视器反应足够迅速。

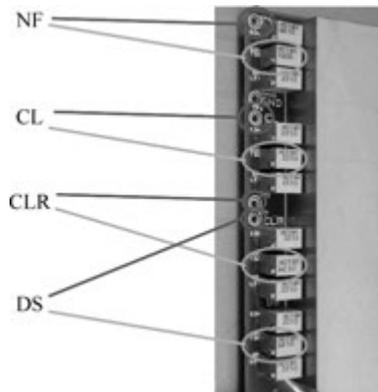


图 3.65 MF AGC 和 RF level

3. MF 监视器前端的电路结构

以 CL 为例进行介绍。

1) CL_FILT(滤波器)

如图 3.66 所示,射频电平被粗调至适宜组件处理的电平。由 3 组跳线选择 6dB、12dB 和 16dB 的衰减组合,对输入信号有 0~34dB 的衰减,因此组件允许输入范围为 -35~0dBm。随后的带通滤波器滤除 ILS 频带以外的信号,将频带以外的信号干扰降到最小。

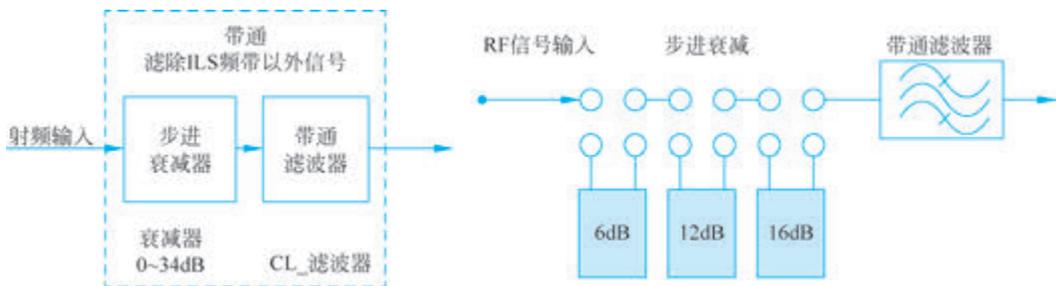
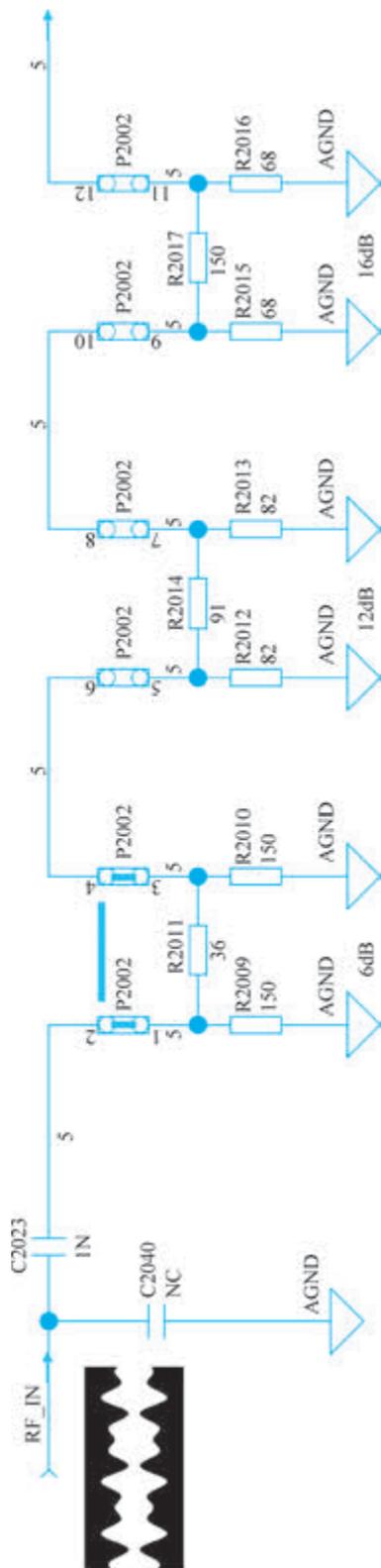


图 3.66 CL 通道滤波器和步进衰减器

衰减器 π 型电阻网络如图 3.67 所示,不同的电阻阻值实现 6dB、12dB 和 16dB 的衰减。

图 3.67 衰减器 π 型电阻网络

以 6dB 衰减器为例,当 1 和 2 短接、3 和 4 短接时选用 6dB 衰减;当 2 和 4 短接时,跳开该衰减器。不同衰减的组合位置如图 3.68 所示。

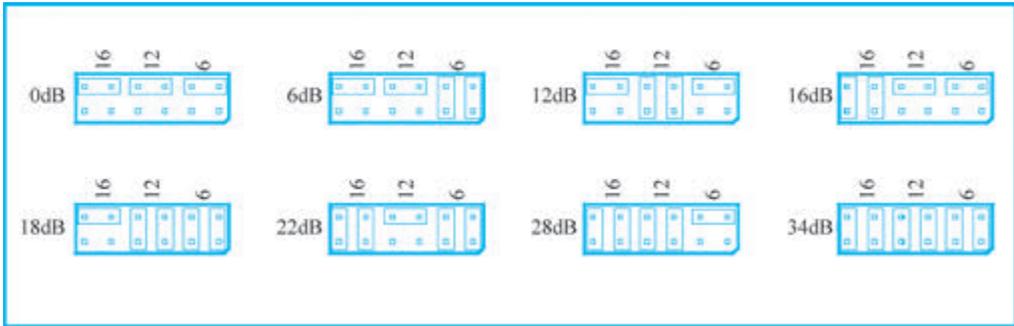


图 3.68 不同衰减的组合位置

2) CL_RFAMP(射频放大电路)

从 CL_FILT 来的信号被放大和分离到两个各自的支路,如图 3.69 所示。

不经 AGC 处理,代表 RF 电平的一路射频信号送到 CL_LEV 进行射频电平检测(检测过程在下面介绍),另一支路送到 CL_BASEB 用于基带处理,其包含作为 AGC 系统的 PIN 二极管衰减器。在 AGC_VOLT 电压控制下二极管的导通情况将影响信号的幅度,从而达到自动增益控制,稳定的电平使基带信号 SDM、DDM 参数检测更加准确。

CL_RFAMP 包含 RF 电平微调控制(R_{2338} 用于 CL 通道),用于细调输入电平到最佳值,适合 CL_LEV 等后续电路的处理。

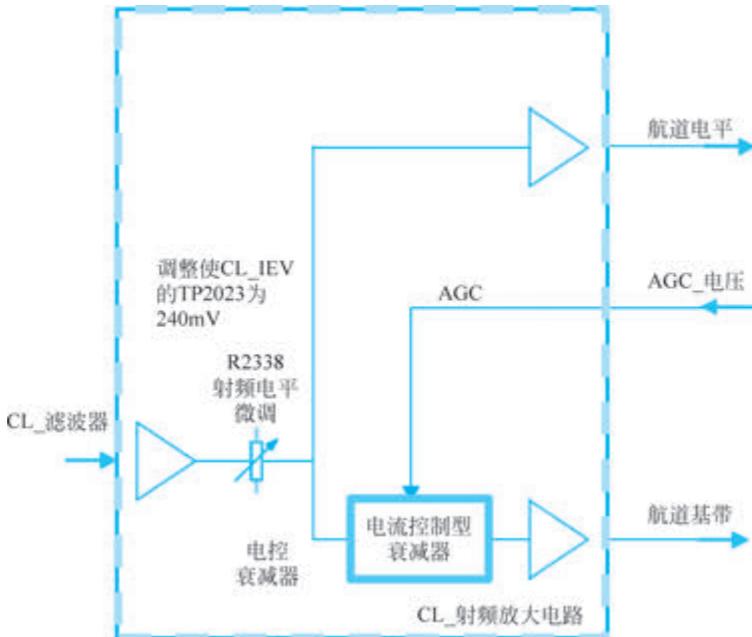


图 3.69 CL_RFAMP(射频放大电路)

3) CL_LEV(电平检测电路)

电平检测电路如图 3.70 所示。RFAMP 的射频信号送到 LEV 电路,加到二极管对 D_{2007} 检波器之前,经 R_{2218} 送出一路信号到频差检测的混频电路。二极管对 D_{2007} 的“2”和“3”脚二极管用于检波,得到含直流电平的调制信号,其中直流的幅度将代表射频强度,检波信号加到差分放大器 U_{2017} 同相端。 D_{2007} 为肖特基二极管对,在同一封装内两个二极管具有良好的匹配,有着相同的特性。 D_{2007} 的“1”和“4”脚二极管接到差分放大器反相端输入。差分放大器同相和反相端的电阻网络取值对称相等,输出电压将为同相端输入电压减去反相端输入电压。当温度等外界环境变化时,二极管参数漂移给差分放大器同相输入端和反相输入端带来同等的变化,这个影响将会在减法运算中得以消除,起到温度补偿作用。差分放大器的输出电压被 RFAMP 电路的 R_{2338} 调整为 240mV。

差分放大器的输出信号被放大和分到两个支路:一路经低通滤波,缓冲后送到监视器模块 MO1212A。该 DC 直流信号和通道输入电平成比例,并用于监视射频电平。RF LEVEL DC OUT(R_{2342} 用于 CL 通道)电位器用于校准监视器显示读数为 3V;另一路连接 CL_BASEB 用于控制 AGC 电路的开关。

4) CL_BASEB(基带信号检测电路)

基带信号检测电路如图 3.71 所示。这部分的功能是解调受 AGC 控制的射频信号和产生控制 RFAMP 电路的 PIN 二极管衰减器增益的 AGC 电压。

二极管检波器和 LEV 电路部分是相同的。信号在 D_{2008} 解调之后,基带信号在 U_{2019} 被放大,在 U_{2019} -7 脚送出解调信号。解调信号包含直流和调制音频,幅度受 AGC 精准控制。解调信号被送到 U_{2020} 同相端, U_{2020} 反相端接监视器 SDM 校准电位器(R_{2048})设置的基准电压,因为 AGC 将保持基带信号在正确的电平,所以差分放大器 U_{2020} 将移除解调信号的直流偏置电平,得出预期的监视值。

U_{2021} 积分器用于产生 AGC 电压。其工作原理: U_{2021} 和 C_{2259} 、 R_{2252} 组成积分器。 U_{2021} 的“3”脚同相端接 SDM 校准的基准电压,根据运放虚短的特性,“2”脚反相端同为此电压。 R_{2252} 的一端接 U_{2021} 的“3”脚同相端,另一端通过跟随器接与 U_{2020} 同相端相同的解调信号电压。由此解调信号电压和 SDM 校准的基准电压之间的电压差决定了 R_{2252} 的电流。当 SDM 校准电压大于解调电压时,电容 C_{2259} 的电流流动方向从右向左,积分器输出电压上升,RFAMP 电路的 PIN 二极管衰减器正向电压加大,信号增强,引起解调电压升高;反之,解调电

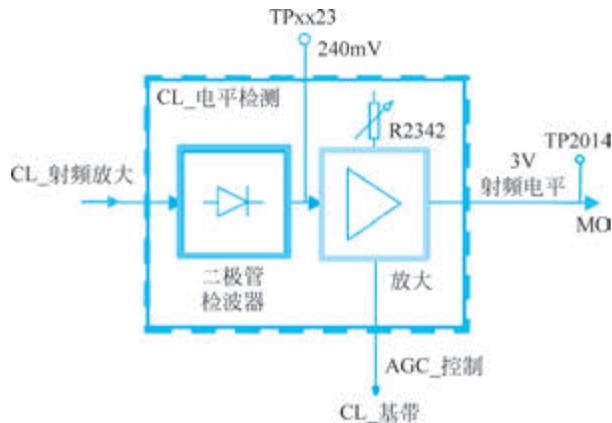


图 3.70 CL_LEV(电平检测电路)

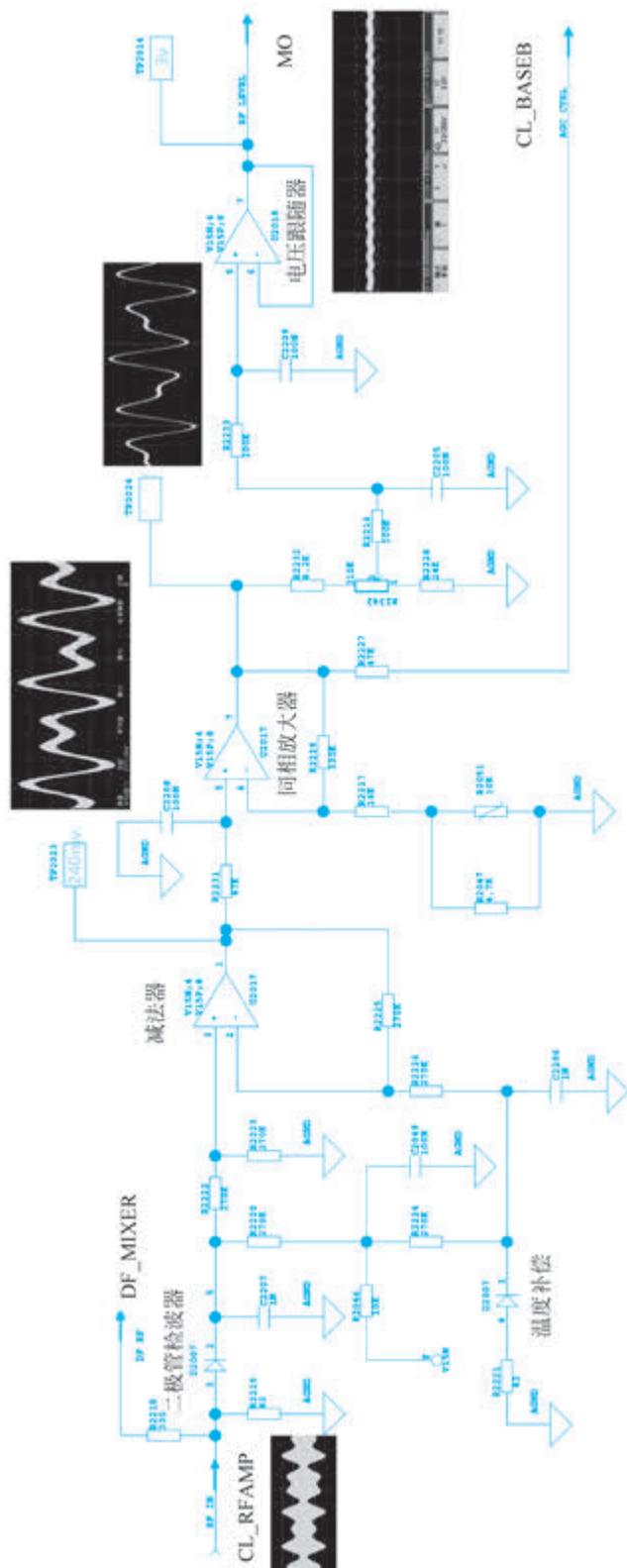


图 3.70 (续)

压降低,这就是 AGC 的控制过程。在 SDM 校准电压等于解调电压的情况下,AGC 电压保持不变,电路稳定,同时也确保了差分放大器 U_{2020} 能正确移除解调信号的直流偏置。

为了最小化从关机到开机状态的 AGC 稳定时间,当没有射频输入信号时,需调整插入一个标称的 AGC 电压,标称电压的大小由 AGC_TIME(R_{2049}) 电位器调整,在 U_{2018} 的“1”脚输出。

RF_LEV 电路检测到 RF 电压值 AGC_CTRL 送到 Q_{2003} 的基极, Q_{2003} 为 NPN 三极管。若 RF_LEV 电路检测到 RF 信号,AGC_CTRL 电压使 Q_{2003} 饱和, Q_{2003} 的集电极为低电位, Q_{2007} 场效应管截止,则 U_{2018} 的“1”脚输出的电压未能进入 AGC 环路,AGC 环路正常运行;若 RF_LEV 电路未能检测到 RF 信号,因没有 AGC_CTRL 电压 Q_{2003} 截止, Q_{2003} 的集电极为高电位, Q_{2007} 场效应管栅极为高电位饱和导通,则 U_{2018} 的“1”脚输出的电压进入 AGC 环路,AGC 环路以正常运行时的电压值加到二极管衰减器,当设备重新开启时,AGC 电压和通道放大量可迅速稳定。

5) CL_LPFI(低通滤波器)

低通滤波器移除 ILS 基带以外的频率成分。如图 3.72 所示,通过调整滤波器的电位器 R_{2056} ,多重反馈二阶低通滤波器的幅频传输函数受到影响,以此调整 DDM 读数,通常在出厂调整。多重反馈二阶低通滤波器的特征频率计算和幅频传输函数如图 3.73 所示。

6) DF_MIXER(频差混频器)

如图 3.74 所示,航道和余隙射频信号被馈送到混频器 U_2 ,得到的频差信号经低通滤波,波形图为 TP10。电压比较器 U_{44} 的“5”脚频差信号与“6”脚的门限电平进行比较,电压比较器以 TTL 格式产生代表频差的信号,TP12 的测量点可测得高电平为 5V、低电平 0V 的信号,送至 MO 组件测量评估。

4. MF 监视器前端的维护参数分析

采集电路及 RMM 维护参数如图 3.75 所示,PCF8574 通过 I²C 总线进行数字采集。

采集部分把从模块四通道得出的基带信号和射频电平与预置的门限比较,若信号低于门限电平,通过 I²C 总线向 RMS 报告。监视器前端的维护参数如图 3.76 所示。

3.3.2 监视器 MO1212

监视器对监视信号进行数字转换和处理,处理后的参数值与设置的门限进行比较,并报告告警情况到 TCA1218 上的台站控制和 RMS。

1. MO 监视器原理框图

MO 监视器由 LF_FRONT、DSP_FILTER 和 COMPARATOR 组成。

1) LF_FRONT(低频前端)

LF_FRONT 由 ANAFRONT 和 NMP101 组成。从 MF1211A 监视器前端来的电平、基带和识别共 10 路模拟信号和 4 路 DC 环路(DL_检测[3:0])送到 ANAFRONT 的大复用器。

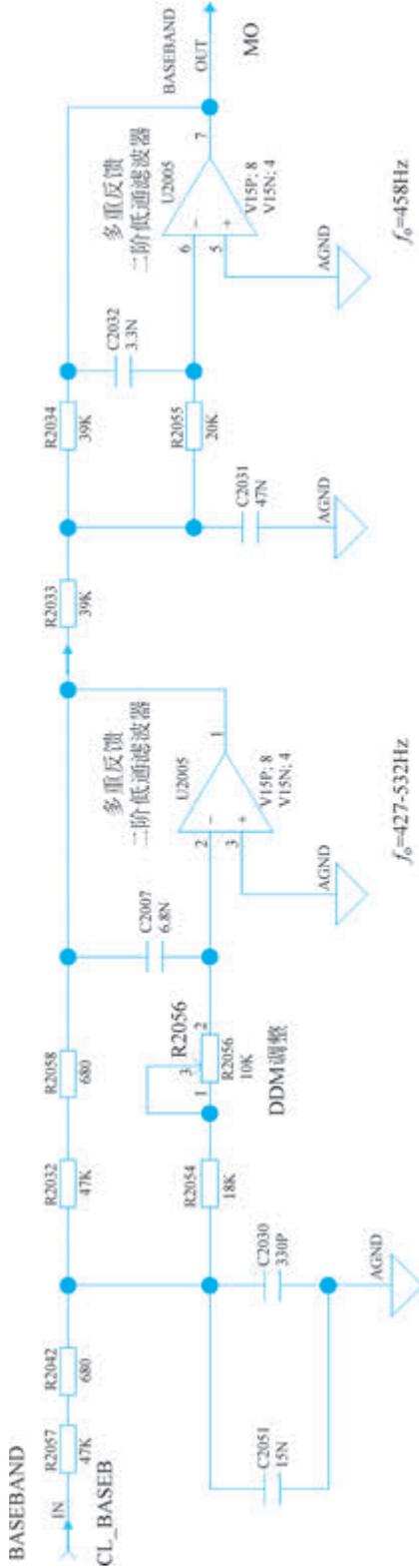
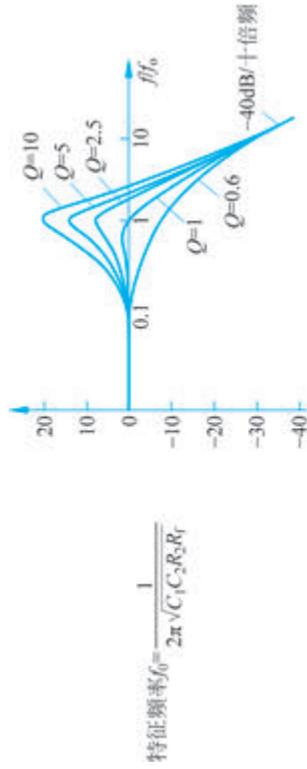


图 3.72 CL_LPF1 低通滤波器



$$\text{特征频率 } f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_1 C_2 R_3 R_T}}$$

图 3.73 多重反馈二阶低通滤波器的特征频率计算和幅频传输函数

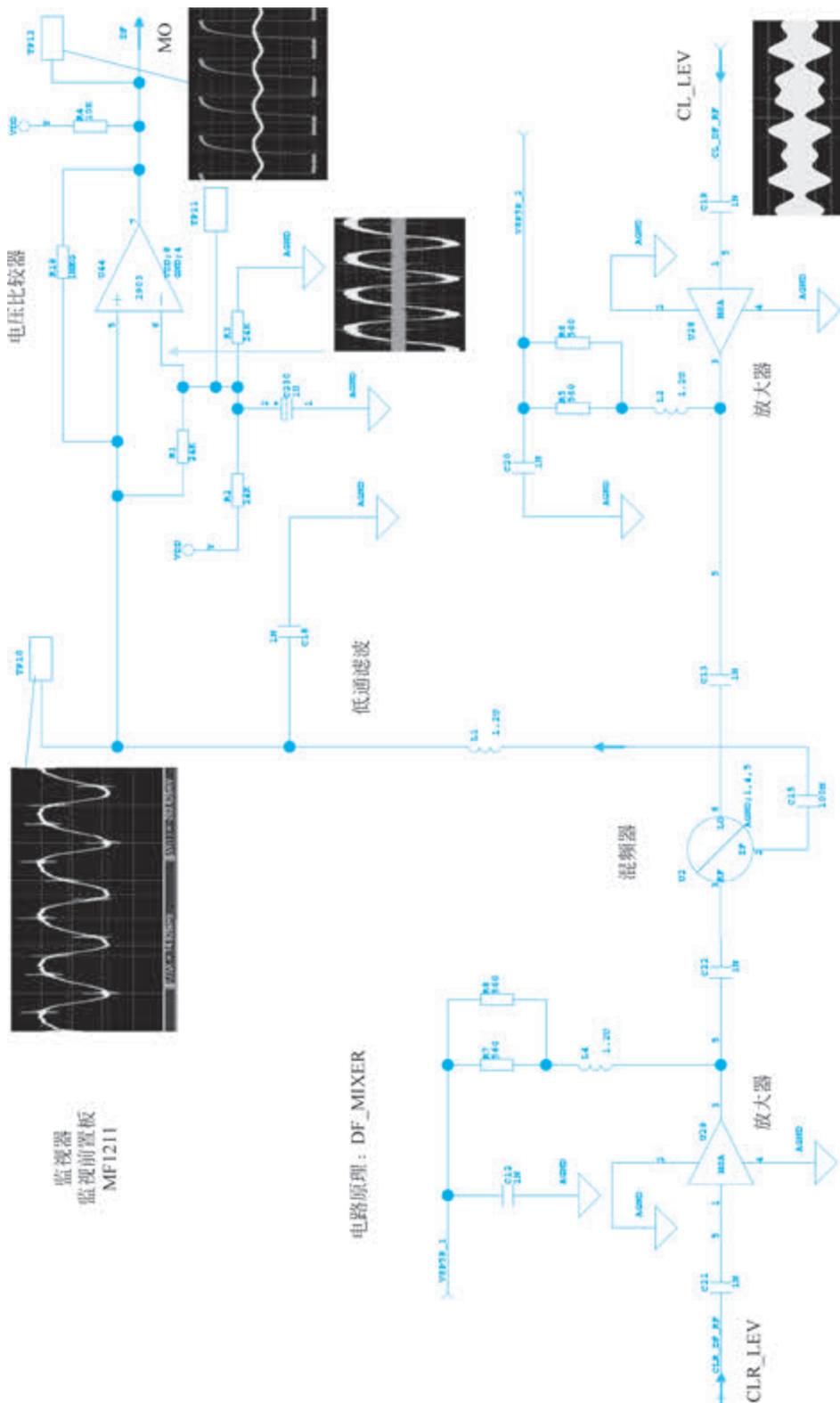


图 3.74 DF_MIXER(频差混频器)

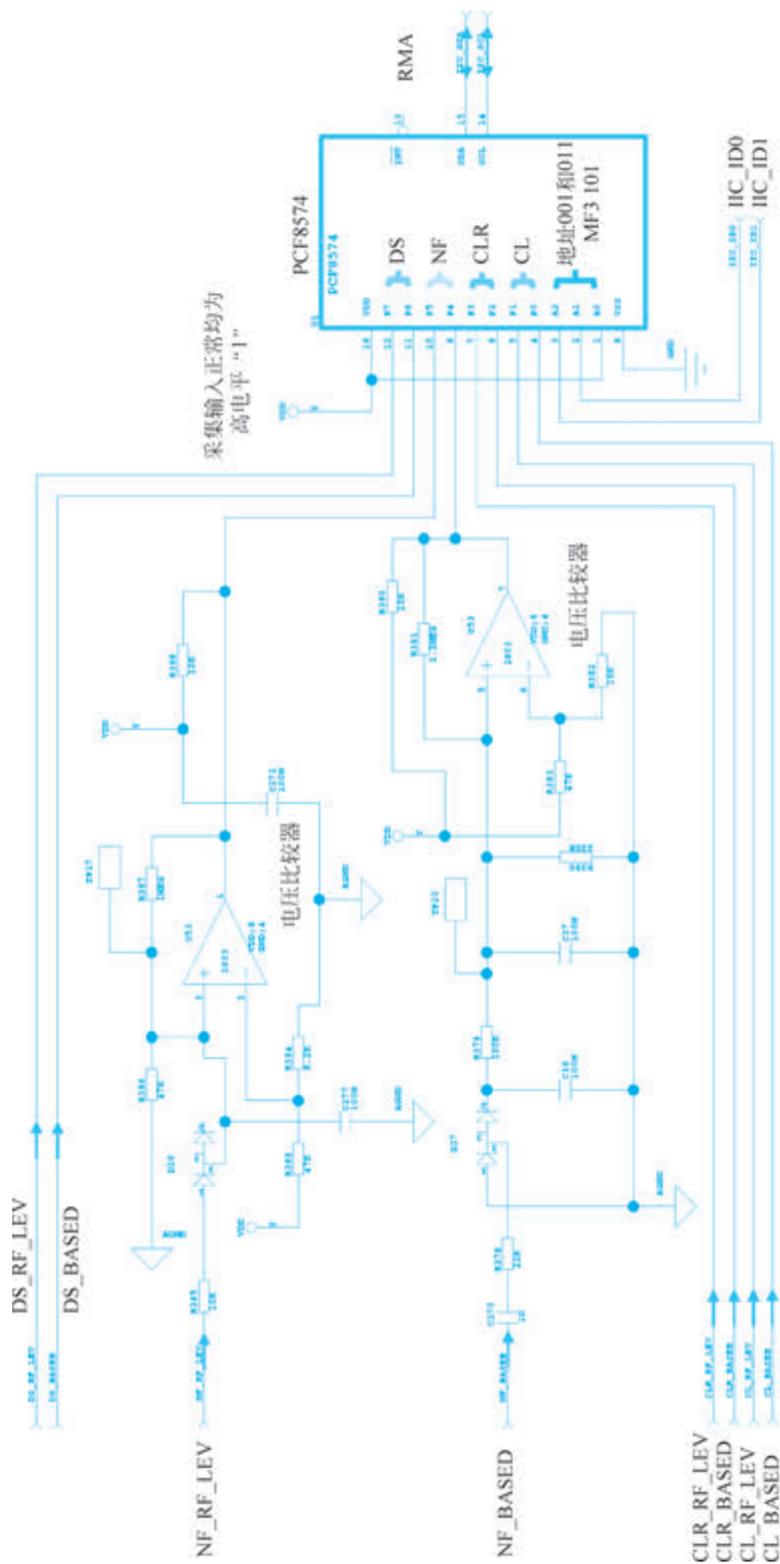
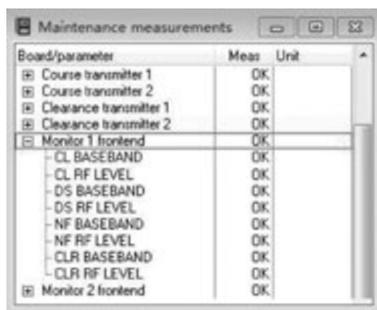


图 3.75 MF 监视器前端维护参数采集



Board/parameter	Meas	Unit
Course transmitter 1	OK	
Course transmitter 2	OK	
Clearance transmitter 1	OK	
Clearance transmitter 2	OK	
Monitor 1 frontend	OK	
CL BASEBAND	OK	
CL RF LEVEL	OK	
DS BASEBAND	OK	
DS RF LEVEL	OK	
NF BASEBAND	OK	
NF RF LEVEL	OK	
CLR BASEBAND	OK	
CLR RF LEVEL	OK	
Monitor 2 frontend	OK	

图 3.76 监视器前端的维护参数

一个专门的自检测试(self-test)被集成在监视系统,用于连续的监视器完好性检查。ANAFRONT 首先利用 CL 基带信号生成一个含有差错的 CL_BB_DGR 信号,电压基准生成 3V 电压用于 TEST_RF_OK,1.5V 电压用于 TEST_RF_ERROR 检测,这 4 个信号加到小复用器,如图 3.77 所示,经 TST_CH[1:0]通道选择后复用成 DDM 和电平两个测试信号送到大复用器。这些特定的自检通道信号作为平常的基带或电平信号,以相同的方式被取样和检查。因此在后续的监视链路里,自检测试通道重复在正常信号值与差错信号值之间转换。如果监视功能是正常的,则自检测试信号被检测出在正常与告警状态之间切换。如果不切换,就认为监视器不能检测监视信号中的告警,整个监视器处于告警状态。基于另一监视器的状态,给出告警转换/关台或设备预警。

14 个检测参数和 2 个测试通道共 16 路信号在 ANA_CH[3:0]通道选择下在大复用器多路复用,随后被 A/D 转换成一系列 12bit 的参数值。ANAFRONT 还产生用于天线系统 DC-Loop 检查的 4 路 DL_REF 电压基准输出。

ANAFRONT 的数字参数值、外部参数值(Ext_Val[11:0])和频差(DF)脉冲序列被送到 NMP101A 监视数字前端板,NMP101A 是一个在 LF_FRONT 部分的 FPGA。它提供作为 MF1211A 监视前端的输入(已被 ANAFRONT 数字化)与 DSP_FILTER 部分之间的接口。

NMP101A 是基于 Actel ACT1020 FPGA,其功能描述如下:

(1) REF COUNTER(基准计数器):系统时钟分频(4.9152MHz)用于各个复用器通道选址。它同样产生读取/转换脉冲到 EXT 外部 8 个通道的 ADC。

(2) DIFF FREQ COUNTER(频差计数器):对应于航道与余隙信号之间频差的脉冲序列计数。它产生一个 12bit 值,并乘以 20 给出真实的频差。

(3) MUX(数字复用):选择 DF、从 ADC 来的 16 个检测通道之一或 8 个外部通道之一,以轮转方式送到 FIFO。

(4) FIFO(先进先出队列):FIFO 取样频率是每通道 640Hz,容量是 7 个字的深度,是一个 7×17bit 先入先出队列,5 个最高有效位为通道地址和 12 个最低有效位为数据。FIFO 是到 DSP_FILTER 部分的 TMS320C31 DSP 的接口,同时报告错误到比较器和数据可用状态(DAV)到 DSP。

2) DSP_FILTER(数字信号处理器_滤波器)

执行所有运算处理功能。从 LF_FRONTEND FIFO 读取数据,交流信号经快速傅里叶变换分析,对于直流信号计算出其平均值。被计算的参数写到 COMPARATOR(比较器)。DSP_FILTER 包含 TMS320C31 DSP 数字信号处理器、存储器和复位/看门狗电路。

3) COMPARATOR(比较器)

接收来自 DSP_FILTER 的参数与设置的上、下告警门限比较。告警数据经一专用总线传递到 TCA1218A 的台站控制和电源终结控制器。比较器产生所有实时和延时的告警。只有在设定的延时周期后,告警依然存在,延时的告警信号才被送出。所有参数、告警和预警数据通过 FIFO 传递到 RMS(预警信息由 RMS 处理)。告警、预警门限和延时设置存储在本地的 EEPROM。比较器的大部分功能由 NMP102A 和 NMP103A 完成。

NMP102A/NMP103A 比较器是基于 Actel ACT1020 FPGA,并且两个 FPGA 上都有相同的功能。其功能描述如下:

NMP102A/NMP103A 是提供比较器大部分功能的两片 FPGA。

(1) INPUTLATCH(输入锁存): 存储来自 DSP_FILTER 的参数编号和参数值。

(2) SEQUENCE CONTROLLER(序列控制器): 控制从 EEPROM 读取告警门限的整个操作,运行告警门限值的校验检查,与上、下告警门限比较来自 DSP_FILTER 的参数值,告警延时值的读取、校验检查及执行相应的告警延时。

(3) COMP(比较): 比较来自 DSP_FILTER 的参数值和来自 EEPROM 的告警门限,并产生一个原始告警。

(4) DELAY(延时): 按照存储在 EEPROM 的相应延时值延迟原始告警。

(5) FIFO CONTROL(FIFO 控制): 当比较器的周期完成后,写数据到 FIFO。

(6) EEPROM INTERF(EEPROM 接口): 控制通向 EEPROM 的接口。EEPROM 只在 RMS_LEVEL1 逻辑为“0”时才允许写入(RMS 访问 3 级)。

(7) RMS INTERF(RMS 接口): 当 FIFO 的数据准备就绪时,RMS 的接口控制中断和产生 EEPROM 编程、状态和控制信号的地址。

(8) PARITY CHECK(校验检查): 检查从 EEPROM 的输入数据。若单个比特位错误,将被校正和只有一个校验预警传递到 RMS。若两个比特位错误,则将设成所有输出告警和一个校验错误传递到 RMS。

(9) EEPROM: 用于存储告警门限。用于 RMS 的预警同样存储在这里。

(10) FIFO: 用于传输数据流到 RMS。在启动中断前完整的 32 个参数写入 FIFO。

告警信号分为 SC ALARM 和 TER ALARM,数据分别通过各自的专用总线传递到 TCA1218A 的台站控制和电源终结控制器。数据包含 ALARM_RDY(数据准备就绪)、ALARM_RAW(实时告警数据)、AL_N(延时告警_非)、AL(延时告警)和 AL_ID(告警_参数号)。告警信号送到 TCA 之后,由 TCA 分析判断,对设备进行转换关机等操作。

2. MO 监视器的读数分析和调整

MO 监视器的测量读数如图 3.78 所示,包括航道(CL)、宽度(DS)、近场(NF)、余隙(CLR)、频差、识别信号(航向)、DC-Loop(航向)、远场监视 FFM(航向)和 TEST

Parameter	MON1	MON2	STB	Unit
CL DDM	-0.2	-0.1		%
CL SDM	39.8	39.7		%
CL RF	3.0	3.0		V
DS DDM	0.0	0.0		%
DS SDM	39.9	39.9		%
DS RF	3.0	3.0		V
NF DDM	0.1	0.1		%
NF SDM	40.0	40.1		%
NF RF	3.0	3.0		V
CLR DDM	-0.5	-0.4		%
CLR SDM	39.9	40.0		%
CLR RF	3.0	3.0		V
DIFF FREQ	10	10		kHz
IDENT	OK	OK		
DC-LOOP	OK	OK		
-DL 0	973.0	972.0		
-DL 1	971.0	970.0		
-DL 2	974.0	974.0		
-DL 3	974.0	973.0		
FFM	OK	OK		
-FFM Ch.A DDM	-0.2	-0.2		%
-FFM Ch.A SDM	39.9	39.9		%
-FFM Ch.A RF	-72.80	-72.80		dBm
-FFM Ch.B DDM	0.2	0.2		%
-FFM Ch.B SDM	39.9	39.9		%
-FFM Ch.B RF	-72.00	-72.00		dBm
Execute alarm	0.0	0.0		
TEST	OK	OK		

图 3.78 监视器的读数

自检信号,合共 32 个参数,任一参数值超出告警门限可引发设备转换机或关闭 ILS。

1) 监视参数含义和具体测量值

(1) 读数显示一般为测量所得值,个别例外,例如:

DS DDM: 显示值与参数实际测量值和 RMM 软件的修正值有关,还与监控软件上 CL DDM 的显示值相关,不同 RMM 版本的 DS DDM 显示:

DS DDM=测量值+nominal value(RMM2.7)-CL DDM(大约)

DS DDM=测量值+offset added to measurement(RMM3.1)-CL DDM(大约)

这种设计方式保证了当实际的航道出现变化时不会对宽度的显示造成影响。以航向为例,监控参数均处于标准值,若航道偏右 $1\mu\text{A}$,CL DDM(显示值)=- $1\mu\text{A}$,DS DDM 测量值= $149\mu\text{A}$,经上式计算 DS DDM(显示值)仍保持 $150\mu\text{A}$,这样 DS DDM 始终可以监测宽度点与航道中心线的差值,抵消了航道变化对宽度显示值的影响。

参数的 RF 显示值:可以通过设置选择 dB 值或电压值,选择 dB 值时与功率的变化相等,选择电压值时需注意与功率之间的变换。例如,-1dB 约对应 90% 的电压变化,当功率正常 0dB 为 3V,对应 -1dB 约为 2.7V。

DC-Loop: 参数实际测量值为一个电压值,显示值为一个和电压值成比例的数字。

(2) 理解参数含义。

应准确掌握监视参数出现不同的告警对应信号的变化,如 CL 监视通道有 DDM、SDM 和 RF 三个参数。图 3.79 所示航道信号波形将产生不同参数告警,理解后有助于故障排除,CL RF 参数值为 0.0 产生告警,可以考虑发射机没有射频输出或没有信号回送监视通道。区别于其他波形图造成的单个 DDM 或 SDM 参数异常,将会有不同的排除故障思路。

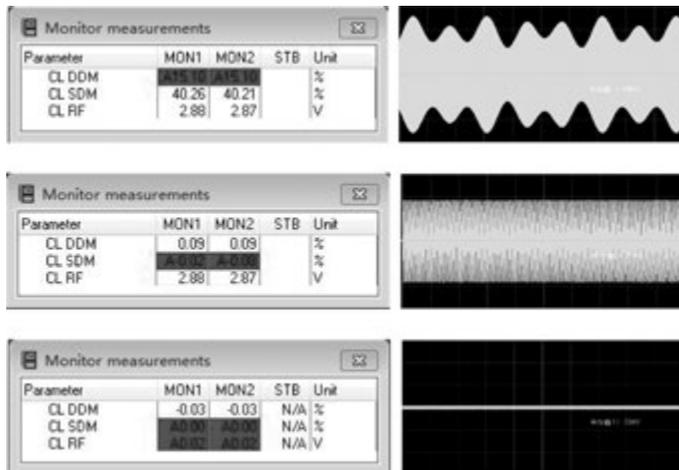


图 3.79 理解参数含义

2) 参数异常处理

(1) 总体思路。

监视器发现参数异常,应通过切换设备的主备机区分是单机故障还是双机故障,大致确定故障范围。

单机故障可分为单发射机或单监视器故障。单监视器故障包括功分器、MF、MO 及其

连线,可根据“Maintenance measurements”去判断检查。发射机单机故障包括各自的 PS、OS、LF、PA、继电器及其连线,RF LEV 和 SDM 告警主要检查 CSB 通道,DDM 告警主要检查 SBO 通道和与 CSB 的相位。在 TCA 控制部分故障也可能引起单机无法开启(在 TCA 组件部分会详细描述其控制功能)。

双机故障是指通过切换,双机均出现相同的告警参数的情况。这时应根据故障现象重点检查电源、ADU、MCU、天线系统和控制等公共部分。当排除电源、控制部分后,对 ADU、MCU、天线系统检查时,通常用外场测试仪 PIR 检查 MCU 的监视输出和参考远、近场监视天线的信号来区分是发射部分还是监视部分的问题。在初步判断后再使用网分、功率计等仪表对怀疑部分进行详细检查。

(2) 参数检查步骤。

在日常维护中,常见的设备故障有自然故障和遭受雷击故障。一般情况下自然故障的故障点不多,可能只是某个模块损坏,这种情况可根据现象,重点怀疑高电压、大电流和存在外部接口的模块并进行检查。雷击故障往往导致大量部件损坏,这种情况需要从发射到监视部分开始逐一检查是否正常,更换故障部件,全面排除故障。以下只介绍借助监视器读数的一般检查步骤。

出现设备转换或关闭,在征得相关部门同意设备检修的情况下,需把设备放“MANUAL”强制工作,进行设备检查。首先查看监视器读数“Monitor measurements”,找出告警参数。对于多个告警应找出主因,虽然每个参数都可能导致设备关闭,但从排故步骤考虑参数有主次之分,即某个参数告警会引起其他参数告警,首先找出引起一系列告警的主要参数,就可以迅速排除故障。以航向为例,监视参数可粗略分为外场监视(NF、FFM)、MCU 整体混合监视(CL、DS、CLR、DF 和 IDENT)和辅助监视(DC-Loop)。TEST 通道用于监视器自身检查,若其他参数均正常,TEST 通道告警,则监视器出现检测的问题。DC-Loop 参数对天线系统是否存在开路性故障进行检查时,若出现 DC-Loop 告警,则应首先给予处理。外场监视和 MCU 整体混合监视检查范围有所区别,外场监视包含了保护区和天线机械安装的监视,而 MCU 整体混合监视是对设备信号幅度和相位的监测。两者之一出现告警可根据现象进行区分:仅出现 NF 告警,可以考虑 NF 天线或附近保护区的问题;仅 CL 的射频告警,可以考虑 CL 相关的监视部件。当两者都告警时,要检查设备发射的问题。同一监视通道有 RF、SDM 和 DDM 参数,从波形和告警参数对应图可见没有 RF 信号可以带出 SDM 告警,那 RF 就是主因,成为排故的方向。不同通道之间也是有一定关联,如 CL 和 DS 的告警应考虑是否 CL 引起 DS 告警,不同情况具体分析。

其次按照“Monitor measurements”的结果有针对性地看维护参数“Maintenance measurements”。优先处理 DC Supplies 或各组件的电源电压故障,对于 OS、LF、MO 的参数 Fail 要及时处理,因为这几个组件相对独立,显示有故障时基本是自身出了问题。而 MF 和 Transmitter 除了自身,外部原因也可使其参数 Fail,如 MF 对应的监视通路没有信号输入,它会给出 RF LEVEL 和 BASEBAND 的 Fail。要把 MF 和 Transmitter 出现 Fail 的参数结合监视器测量读数作为排除故障的考虑因素。

3) 监视器标准值、门限及告警延时设置

使用 RMM2.7 和 RMM3.1 的软件管理 NM7000B2 设备,调整菜单如下:区别于

RMM2.7 直接修改 Nom 标准值的正常值设置, RMM3.1 则通过单击“Calibrate measurement”修改“Offset added to measurement”实现。参数门限按校飞结果进行调整。告警延时依据附件 10 对超出门限的工作时间不应超出航向 I 类 10s、II 类 5s(建议 2s)、III 类 2s(建议 1s), 下滑 I 类 6s、II/III 类 2s(建议 1s)的规范要求设置。考虑双机公共故障, 在告警延时的设置中, General 按照设备类型设置成规范要求的一半, 如 I 类航向设置成 5s, 下滑设置成 3s; 维护参数中 Monitor alarm verification = (2 * General+1)s, 即 I 类航向设置成 11s, 下滑设置成 7s; 以此类推。以上监视器设置如图 3.80 所示。

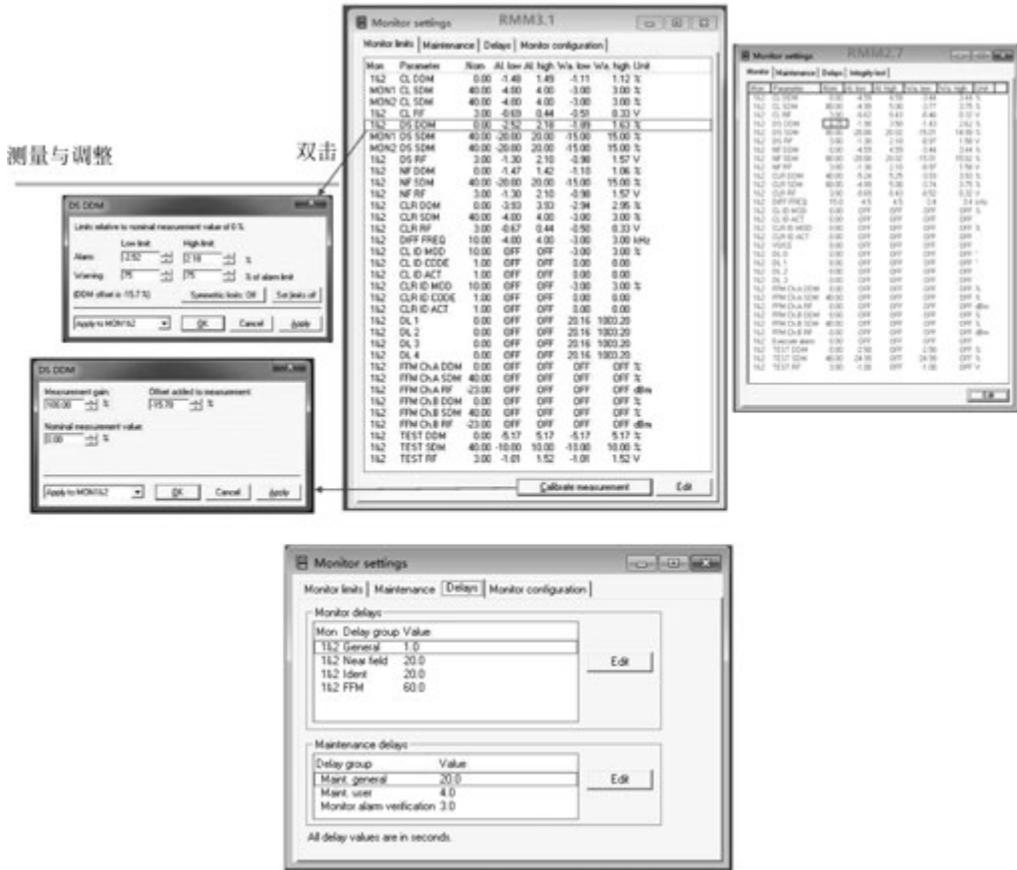


图 3.80 监视器标准值、门限及告警延时设置

3. MO 监视器的电路结构

1) 复用电路

LF_FRONT 监视机内 16 个参数的复用电路如图 3.81 所示,除了 MF 送达的 CL、DS、NF、CLR 等 10 个参数,DC-Loop 的 4 路信号,还有两路 TEST 通道的信号,一路经过电阻 R_{12} 和 C_{25} 的移相得到 CL_BB_DGR 误差信号,DDM 出现偏差,如图 3.81 所示的波形图,另一路是 5V 经 R_{18} 、 R_{17} 和 R_{11} 的分压得到 3V 和 1.5V 作为正常和告警的电平检测,这些信号被复用后进行 A/D 转换。

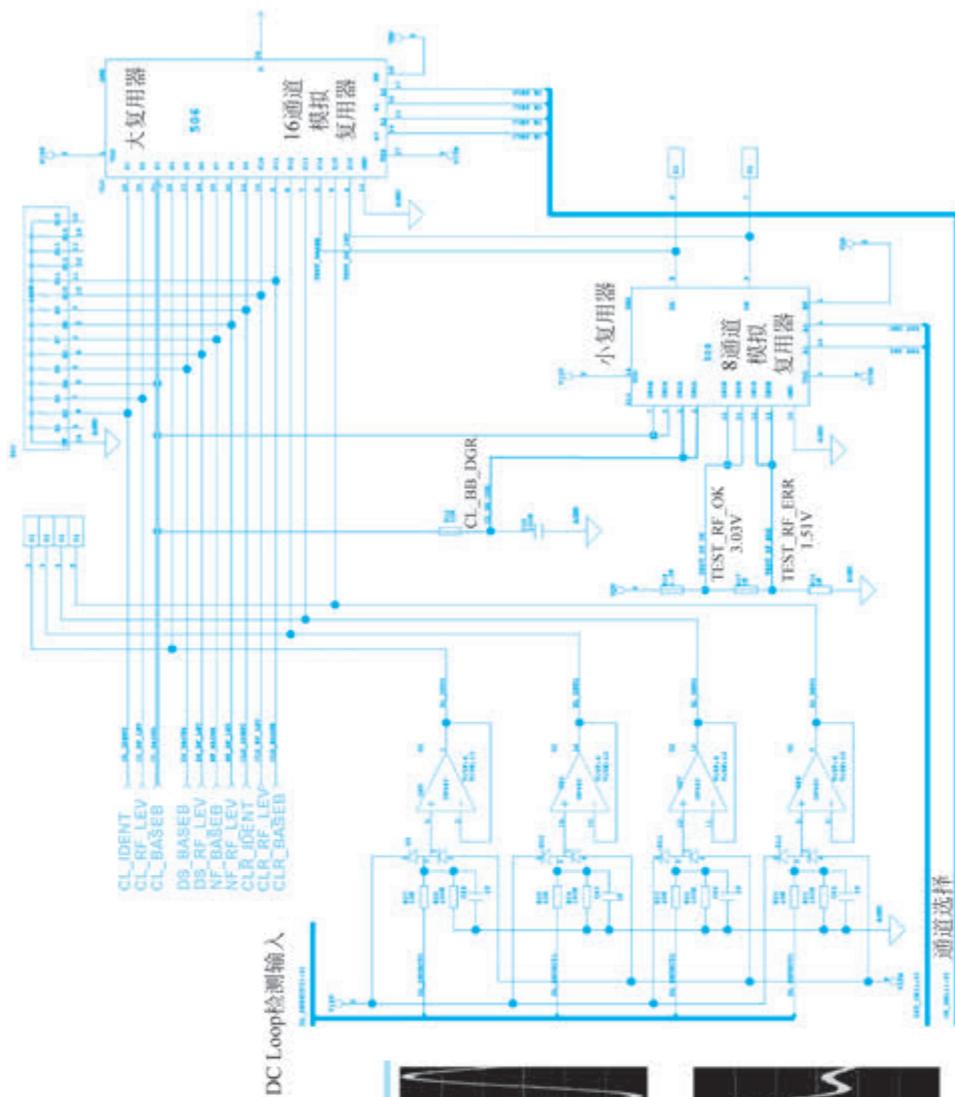
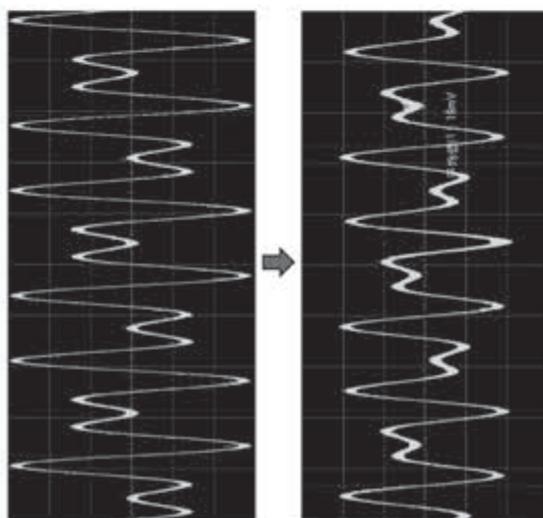


图 3.81 MO 监视器复用器电路

电路原理：复用电路



DC Loop检测输入

通道选择

2) A/D 转换电路与 DC-Loop 检测输出

A/D 转换电路与 DC-Loop 检测如图 3.82 所示。经复用的模拟参数送到 U_{16} 进行 A/D 转换, U_{16} 为 AD1674 芯片, 12bit A/D 转换器, 与其他 A/D 转换电路一样提供代表芯片处于转换过程的 STS 状态, 使其他电路能够正确获取数据。同时它产生 10V 的基准电压在“8”脚输出, 作为 DC-Loop 的检测电压, 经过带增益低通滤波器 U_1 输出 4 路 DC-Loop 检测电压。

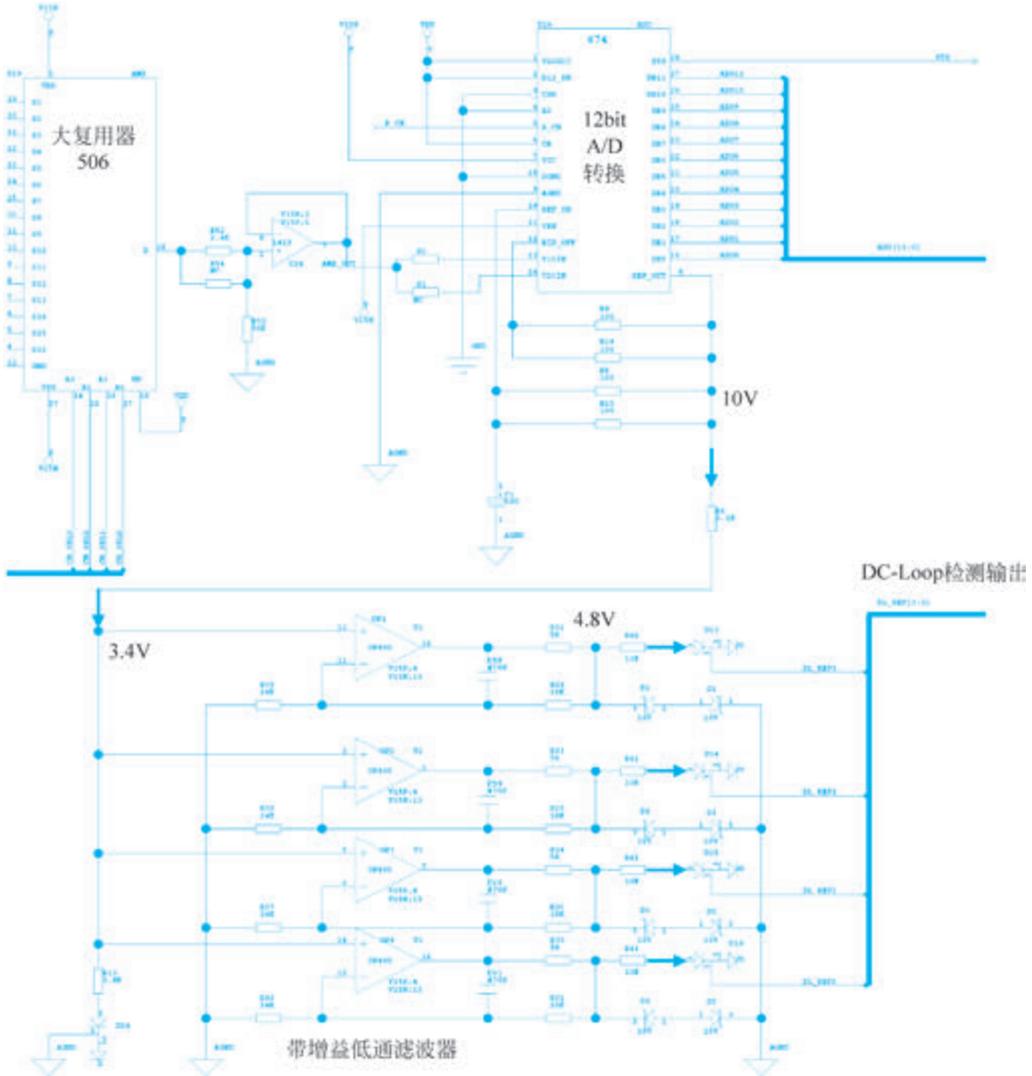


图 3.82 A/D 转换电路与 DC-Loop 检测

MO 的数字电路这里不作过多的描述, 读者只需掌握框图的信号流程。

4. MO 监视器的维护参数分析

采集电路及 RMM 维护参数见图 3.83。PCF8574 通过 I²C 总线进行数字采集。各参数正常值如图 3.83 所示。数字部分采集参数名称及含义如表 3.6 所示。

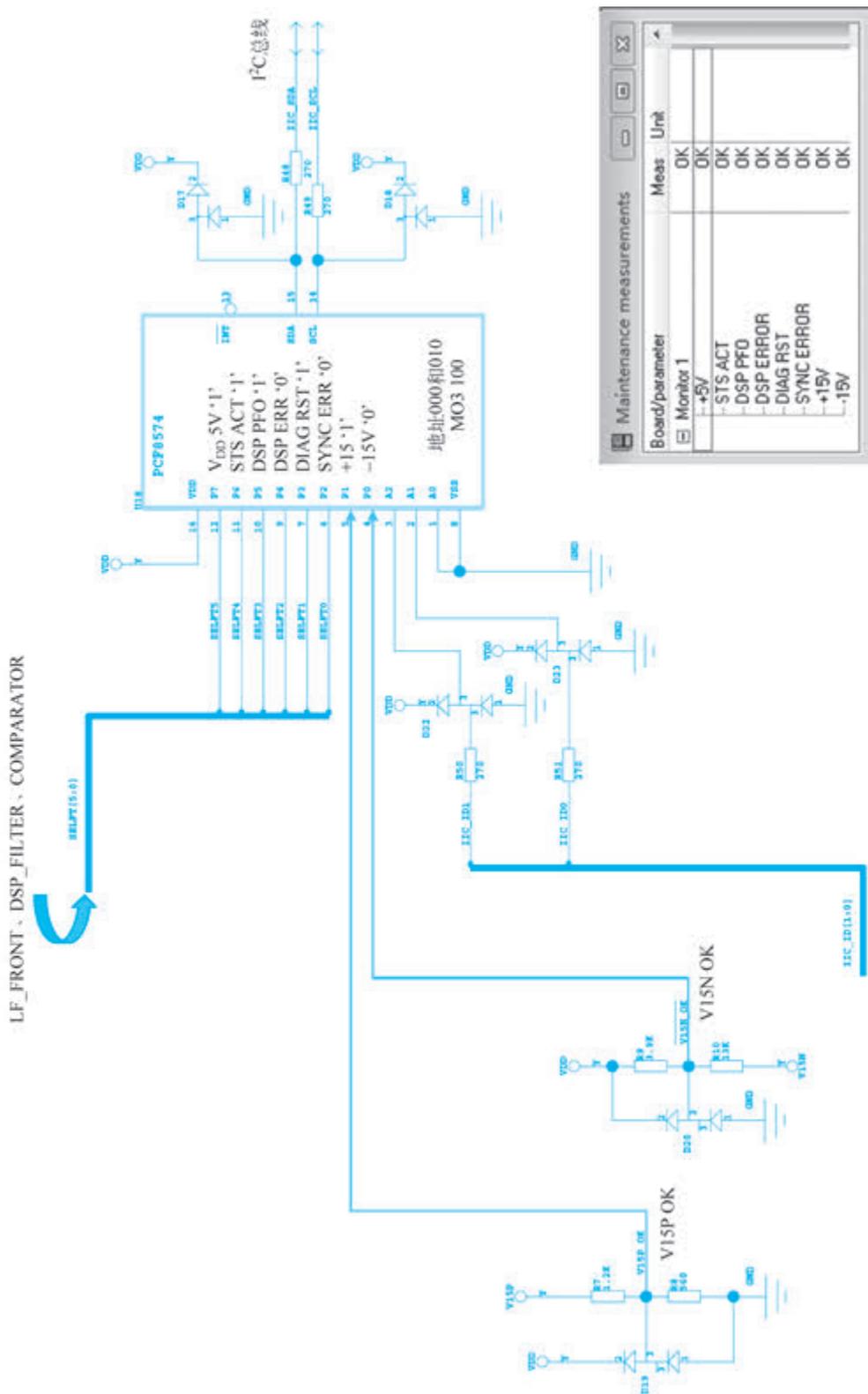


图 3.83 采集电路及 RMM 维护参数

表 3.6 数字部分采集参数名称及含义

参数名称	参数含义
STS ACT	A/D 转换完成。高电平正常
DSP PFO	DSP +5V,看门狗电路正常。高电平正常
DSP ERROR	DSP 数据处理完成。低电平正常
DIAG RST	复位信号(未使用)
SYNC ERROR	DSP 运行正常。低电平正常

3.4 控制部分

NM7000B 设备的控制功能由 TCA1218 发射机控制组件实现,信号框图如图 3.84 所示。组件的主要功能为控制发射机的开关机及转换机,控制信号主要来自监视器告警信息、遥控器、本地面板以及 RMM 软件输入。

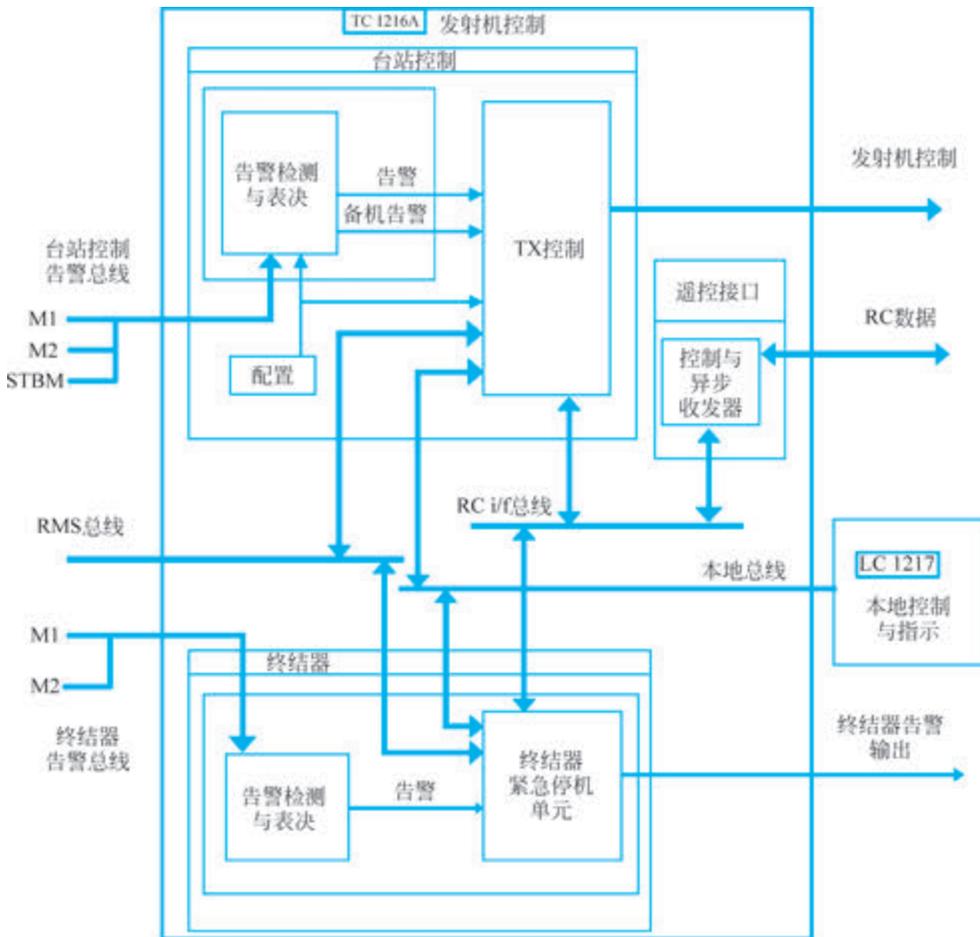


图 3.84 TCA1218 信号框图

发射机控制组件 TCA1218A/B/C 包括发射机控制模块 TC1216A 以及本地控制前面板 LC1217A/B/C(B 版本用于热备份系统)。目前 LC1217A/B 被用于冷热备份的版本

LC1217C 替换,LC1217C 用于冷备份时部分显示灯不显示。

台站控制(SC)单元接收来自监视器的告警信息,根据监视器告警状态及设备当前的工作状态,SC 单元发出控制设备关机或转换机的信号。同时,SC 单元也接收来自遥控器(如 interlock 信息)和 RMM 系统(如预警灯信息)的用户或状态信号输入。另外,TC1216A 板的跳线选择也对 SC 单元发出的信号产生影响。

发射机控制模块中的 TRM 终结器单元负责 SC 无法正常工作时控制设备关机。当监视器检测到告警发生或设备互锁后,TRM 单元在延迟 1s 后会切断发射机电源来关闭发射机。

遥控接口单元负责进行与遥控组件的串行数据信息交换,具有发现并报告数据传输错误的功能,并将接收到的遥控信息发送给 SC 及 TRM 单元。

本地控制前面板 LC1217 可以显示设备的发射机状态,同时维护人员可以通过前面板来实现设备的基本操作。

3.4.1 TCA1218 发射机控制组件原理框图

1. TCA 组件

如图 3.85 所示,对 TCA 组件中各信号进行描述。

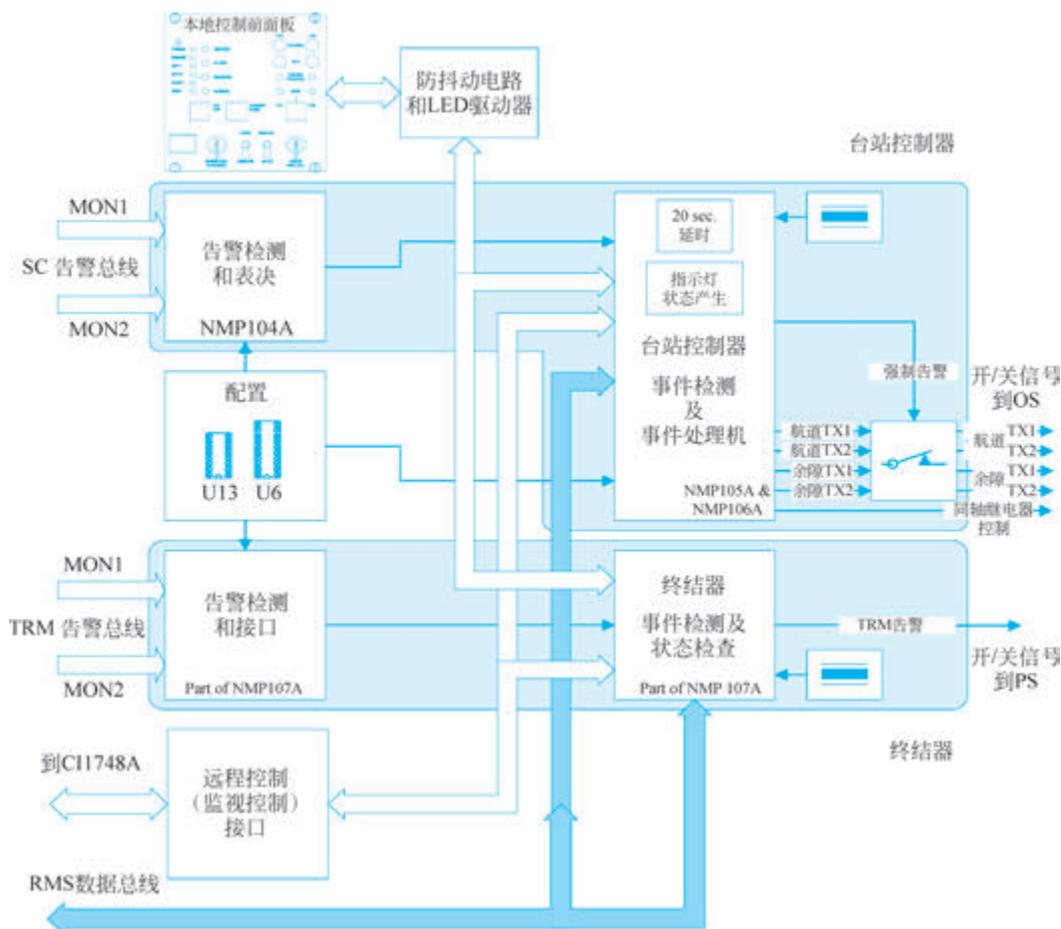


图 3.85 TCA 组件框图

1) 接收的信号

(1) MON1 SC ALARM BUS: 接收来自一号监视数据板 MO1212 的 SC 告警信息, 数据包含 M1S_AL_ID[4:0]、M1S_AL_RDY、M1S_AL、M1S_AL_N 以及 M1S_AL_RAW。

(2) MON2 SC ALARM BUS: 接收来自二号监视数据板 MO1212 的 SC 告警信息, 数据包含 M2S_AL_ID[4:0]、M2S_AL_RDY、M2S_AL、M2S_AL_N 以及 M2S_AL_RAW。

(3) STB MON ALARM BUS: 接收来自备份监视数据板 MO1212 的 SC 告警信息, 数据包含 MSTBS_AL_RDY 和 MSTBS_AL, 只用于热备份配置。

(4) RMS BUS: 与 RMS 的数据接口, 数据包含 IOD[7:0]、IOCS 和 IOS[2:0]。

(5) MON1 TRM ALARM BUS: 接收来自一号监视数据板 MO1212 的 TRM 告警信息, 数据包含 M1T_AL_ID[4:0]、M1T_AL_RDY、M1T_AL、M1T_AL_N 以及 M1T_AL_RAW。

(6) MON2 TRM ALARM BUS: 接收来自二号监视数据板 MO1212 的 TRM 告警信息, 数据包含 M2T_AL_ID[4:0]、M2T_AL_RDY、M2T_AL、M2T_AL_N 以及 M2T_AL_RAW。

(7) RC_BUS: 与 CI1748 板上遥控接口进行数据交换, 数据包括 SDIN、SDOUT 以及 CD。

2) 送出的控制信号

(1) On/Off signals to OS: SC 台站控制单元送出到 OS 控制射频输出的开关信号, 低/高电平输出分别对应开启/关闭。

(2) On/Off signals to PS: TRM 电源终结器送出到 PS 控制电源输出的开关信号, 低/高电平输出分别对应开启/关闭。

(3) Coax Control: SC 台站控制单元送出到射频转换继电器控制主备机切换的信号, 低/高电平输出分别对应 TX2/TX1 接天线主用。

(4) TXFB(0~3): SC 台站控制单元送出到 LF 控制其是否产生调制音频的信号。

2. STATION CONTROL(台站控制部分)

台站控制部分包括 SC 监控数据检测器、SC 状态机控制和 SC 事件检测。接收来自 MO1212A 监视数据板的 SC 告警信号, 并根据来自本地控制单元的输入信号(通过 LC1217)、遥控单元的控制信号(通过 CI1748A)、RMS 的输入信号以及板件配置信息(通过板件跳线选择和存储在 EEPROM 中的信息)来决定并控制发射机的状态。SC 单元产生状态信息并发送至本地控制面板(LC1217)及遥控器面板(通过 CI1748A)。当发射机状态发生变化时, SC 单元会产生一个中断信号送至 RMS, 以使 RMS 能够实时地获取设备状态信息。SC 台站控制是通过关闭 OS 的射频输出信号来达到关闭发射机的目的。SC 单元大部分功能通过 NMP104A、NMP105A 以及 NMP106A 三个 FPGA 模块实现。

1) NMP104A(SC 监控数据检测器)

NMP104A 是位于 SC 模块中的 FPGA, 它用作监视器告警/错误检测和监视器告警表决策单元。模块具体功能如下:

(1) MON. 1 ALARM 和 ERROR DETECTION(监视器 1 告警和错误检测): 若接收到的 1 号监视器 MO1212A 一组 32 个参数中的任何一个设置了告警标志, 则该模块对 MON1 SC 告警总线进行解码并生成告警。错误检查包括参数标识序列检查、AL 的 AL_N

非信号、测试通道告警切换和 RDY 信号超时。任何告警/错误都会在接下来的 32 个参数的持续时间内设置监视器告警输出(M1_alarm)。这意味着在重置告警输出之前必须按顺序接收 32 个没有告警/错误的参数。

(2) MON. 2 ALARM & ERROR DETECTION(监视器 2 告警和错误检测): 同监视器 1 告警与错误检测,但用于 MON2 SC Alarm 总线。

(3) VOTING(表决): 根据 CONFIG 模块中的跳线设置(1/2 模式或 2/2 模式)及监视器的输入数据,该模块会选择是否提供监视器告警信号 VALARM 给 NMP105A 单元。当设置为 2/2 模式时,只有双监视器告警才会输出 VALARM 信号;当设置为 1/2 模式时,单监视器告警就会输出 VALARM 信号。

(4) STB ALARM DETECTION(备用发射机告警检测): 任何参数的告警标志都会立即设为告警。当按顺序收到 32 个参数且未设置告警标志时,告警将重置。

(5) PUSHBUTTON ONESHOTS(按钮单触发): 为防止按键锁住导致按键长按状态,该电路将 LC1217 开关输入信号的高低电平转换为脉冲信号输出。

2) NMP105A SC(事件检测)

NMP105A 是位于 SC 模块中的 FPGA,主要功能是事件检测及控制。同时,SC 模块的 RMS 接口也位于 NMP105A 中,NMP105A 检测到的事件信息被传送至 SC 状态控制器 NMP106A 中。模块具体功能如下:

(1) RMS INTERFACE(RMS 接口): 提供与 RMS 总线数据交互的接口。

(2) LAMP STATUS GENERATION(指示灯状态产生): 生成前面板指示灯的信息发送给本地控制及遥控接口。

(3) RMS LEVEL DETECT(RMS 等级检测): 参考 CONFIG 模块中跳线的设置、本地控制面板写保护设置、遥控器接口面板登录授权设置和 RMS 的访问请求,解码 RMS 系统二级与三级用户登录。

(4) EVENT DETECT(事件检测): 事件检测单元检查到控制按键、监视器告警、互锁等有效的事件,并将有效事件编号发送给 SC 状态机控制器 NMP106A。同时,忽略当前运行状态无关的事件。各类事件被分为不同优先级,“互锁”为最高优先级,“监视器告警”次之,而其他事件则逐一被轮询。事件检测单元在设备正常运行(发射机开机无告警状态,并且在自动位)时会进行机内的完好性检测。当按下前面板的“ON/OFF”开关时,输出 FORCE_AL 信号,该信号关闭所有发射机,而不通知系统的其他部分。监视器 MO1212 将会检测到发射信号丢失并发出告警信息给 SC 模块。此告警将导致 SC 模块启动 TX 转换,但由于备用发射机同样处于关闭状态,监视器的告警状态会依然存在,并在告警延迟后引起设备关机。此顺序可确保监控电路和停机机制按预期运行。若完好性检查功能失败,则超时功能将关闭 ILS。

(5) INTERRUPT DETECT(中断检测): 检测发射机状态的变化并存储引起状态改变的事件信息,同时存储发射机的反馈及继电器的位置信息。当发射机状态改变时,该模块会生成一个中断信息发送给 RMS。

(6) TX 20 SEC DELAY(发射机 20s 延时): 该功能保证了当发生告警关机后 20s 内不允许发射机开启。

(7) MAIN SELECT STORE(主机选择存储): 该模块存储关于选择哪台发射机作为

主发射机的信息。

(8) INTERLOCK DELAY(互锁延时): 该模块在遥控器接口的互锁信号被禁用 20s 后开启发射机。

3) NMP106A SC(状态机控制器)

NMP106A 是位于 SC 模块中的 FPGA 单元,主要功能是作为状态机控制器(状态存储在 EPROM,根据控制信号按照预先设定的状态进行状态转换)用于发射机的开关控制。模块具体功能如下:

(1) SEQUENCER(时序控制器): 该模块产生用于运行状态机的选通和控制信号。基于从 NMP105A(在 STO_BUS 上)接收到的新数据触发新状态,该模块还生成硬件看门狗的复位信号,以保护和控制 SC 重置。

(2) EVENT CHECK(事件检查): 该模块检查从 NMP105A 接收到的事件和主用机选择信号。在对事件/主用机选择采取行动之前,必须按顺序接收到两个相同的事件/主用机选择信号。

(3) TIMER(定时器): 状态机用于状态更改的延时/超时。

(4) DELAY(延迟): 延迟状态变化序列中的同轴继电器位置反馈,确保同轴继电器在发射机发射时不会改变位置。

(5) PARITY CHECK(校验检查): 此模块检查从 EPROM 读取的状态机内容的每个字节的奇偶校验。奇偶校验失败会导致发射机关闭。

(6) LOCKUP DETECT(锁定检测): 此模块检测状态机序列中的故障。如果状态机在指定时间内没有空闲,那么它将触发。故障导致发射机停机。

(7) EPROM READ DATA ADDRESS(EPROM 读数据地址): 此模块是一个地址计数器,用于在通过 RMS 读取期间设置状态机 EPROM 的地址。RMS 可以重置或递增地址计数器。来自这些控制选通脉冲、地址位 0 和 EPROM 数据字节的反馈被传输到 NMP105A,供 RMS 读取。

(8) TX ON/OFF CONTROL(发射机开关控制): 此模块控制发射机的开/关状态。默认情况下,将发射机保持在其反馈信号报告的状态,从而不改变发射机状态。但是,如果检测到奇偶校验故障或事件锁定故障,发射机就将关闭。

(9) LOCAL LAMP STATUS(本地指示灯状态): 根据从 NMP105A 接收到的同轴继电器位置、TX 主用选择、发射机状态和台站状态,向本地控制模块提供本地面板灯输出。

(10) EPROM ADDR MUX(EPROM 地址多路复用器): 此模块选择 EPROM 寻址用于状态机或 RMS 读取控制。

3. TERMINATOR(电源终结器)

处理来自监视器 MO1212A 的告警并产生报警。该信号与本地控制(在 LC1217 上)、远程控制(通过 CI1748A)、RMS 输入和配置设置(在 EEPROM 和跳线设置中)一起确定 TRM 告警(TRM_AL)的输出状态。终结器具有额外的 1s 延迟,以便在终结器关闭设备之前,SC 单元有时间完成发射机状态更改。终结器告警通过断开发射机 LPA 的 27V 电源来关闭设备。终结器单元绝大部分功能是通过 FPGA 模块 NMP107A 实现的。

NMP107A 是位于 TRM 模块中的 FPGA,即当 SC 单元无法正常工作时,控制设备关机。模块具体功能如下:

(1) RMS INTERFACE(RMS 接口): 提供与 RMS 总线数据交互的接口。

(2) RMS LEVEL DETECT(RMS 等级检测): 参考 CONFIG 模块中跳线的设置、本地控制面板写保护设置、遥控器接口面板登录授权设置和 RMS 的访问请求, 解码 RMS 二级与三级用户登录。

(3) EVENT DETECT(事件检测): 事件检测单元检查控制按键、监视器告警、互锁等有效的事件, 并将有效事件编号发送给电源终结器状态检查。同时, 忽略当前运行状态无关的事件。

(4) TERMINATOR STATE CHECK(终结器状态检查): 该模块作用于从 EVENT DETECT 模块接收的事件/状态信号。告警/互锁状态允许持续 1s 后才会激活终结器告警。若检测到开关事件, 则终结器告警会被重置, 从而启动新的 1s 超时周期。台站控制 STATION CONTROL 须在此 1s 内确保 ILS 稳定且无告警, 方可避免终结器启动关机。若发射机工作期间因告警或互锁触发终结器, 将生成中断信号。随后 RMS 可通过 RMS 总线读取中断成因。

(5) INTERLOCK FILTER(互锁过滤器): 该模块在互锁忽略操作模式下忽略互锁信号。要启用互锁忽略操作模式, 必须使用互锁忽略开关锁, 本地/远程开关必须处于本地位置, 自动/手动开关必须处于手动位置。

(6) MON. 1 ALARM 和 ERROR DETECTION(监视器 1 告警和错误检测): 若接收到的 1 号监视器一组 32 个参数中的任何一个设置了告警标志, 则该模块对 MON1 TRM 告警总线进行解码并生成告警。错误检查包括参数标识序列检查、AL 的 AL_N 非信号、测试通道告警切换和 RDY 信号超时。任何告警/错误都会在接下来的 32 个参数的持续时间内设置监视器告警输出(M1_alarm)。这意味着在重置告警输出之前必须按顺序接收 32 个没有告警/错误的参数。

(7) MON. 2 ALARM 和 ERROR DETECTION(监视器 2 告警和错误检测): 同监视器 1 告警和错误检测, 但用于 MON2 TRM Alarm 总线。

(8) VOTING: 此模块根据 CONFIG 模块中的跳线配置(1/2 模式或 2/2 模式)和两个 MO1212A 监视器(不包括 STBY 监视器)的输入提供监视器告警(VALARM)。当设置为 2/2 模式时, 只有双监视器告警时才会输出 VALARM 信号; 当设置为 1/2 模式时, 单监视器告警就会输出 VALARM 信号。

4. REMOTE CONTROL IF(遥控接口单元)

遥控接口单元连续将 SC 信号与 TRM 信号转换为串行信号, 每个信息 2 个字节, 每秒转换 10 个信息。遥控单元的串行输入被转换为并行, 从遥控板接收到的信息, 只有当两个并行信息相同时, 才认为是有效的。如果在 2s 内没有接收到有效的信息, 遥控接口单元就会产生一个错误的信号发送给 SC 单元以及 TRM 单元, 确定遥控连接已中断。根据 TCA 中跳线的设置来决定遥控信号丢失时是否关闭设备。

NMP109A 提供遥控接口的绝大部分功能, NMP109A 实现 SC 单元与 TRM 模块通过 CI1748A 与遥控系统间的数据转换。

模块具体功能如下:

(1) STB LAMP FILTER: 通过异步收发器将备机状态灯信息发送给遥控系统。

(2) TX UART(发射端异步收发器): 将并行数据转换为 2 个字节串行消息。串行数

据 SDOUT(通过 CI1210A/CI1748A 发送)的协议是起始位、8 个数据位、1 个停止位、奇数奇偶校验。

(3) RX UART(接收端异步收发器): 将由遥控端接收到的串行数据 SDIN 转换为 2 个字节的并行数据。

(4) MESSAGE DETECTOR(信息检测模块): 只有当按顺序接收到两条相同的消息时,才会接收来自 RX UART 的消息。若满足条件,则更新数据输出锁存器并生成新的消息脉冲。

(5) NEW MESSAGE TIMER(新消息定时器): 检查是否存在来自 MESSAGE DETECTOR 的“OK”消息和来自 CI1210A/CI1748A 的载波检测信号。消息丢失或 2s 或更长时间未检测到载波,向数据过滤器发出超时信号。

(6) DATA FILTER(数据过滤器): 若 NEW MESSAGE TIMER(新消息定时器)发出超时信号(表示丢失消息),该模块将通过强制打开 TX_OFF 信号来修改从 MESSAGE DETECTOR(消息检测器)接收到的数据(可配置)。若配置启用互锁,则互锁信号也会被强制激活。

5. 其他模块

(1) CONFIG(跳线配置): 用于设备配置的跳线,主要为 TCA 板件中 U13 与 U6 的配置信息。

(2) DEBOUNCE(防反跳电路): 由防止面板 LC1217 上的按键开关信号多次触发的防反跳电路和用于设置远程控制访问级别的跳线组成。

(3) LOCAL CONTROL(本地控制): 由位于 LC1217 上的钥匙、开关、带指示灯开关和指示灯组成,用于控制和指示设备的运行状态。

3.4.2 TCA1218 发射机控制组件使用与设置

1. TCA 本地控制显示面板

TCA1218 发射机控制组件的 LC1217 本地控制显示面板如图 3.86 所示,图中列明开关的作用和指示灯的对应信息,其中可通过 RMM 软件设置引起 Warning 预警显示灯点亮的相关参数。

2. TCA 组件设置

(1) U₆、U₁₃ 用于 ILS 设备设置配置,如图 3.87 和表 3.7~表 3.11 所示。

表 3.7 通过 U6 可以实现以下配置选项

跳线	连接/不连接	注 释
1	连接	非互锁
	不连接	互锁
2	连接	非热备份
	不连接	热备份
3	连接	双频 ILS
	不连接	单频 ILS
4	连接	或逻辑 1/2 表决
	不连接	与逻辑 2/2 表决(默认)

续表

跳线	连接/不连接	注 释
5	连接	与遥控器断开连接时,发射机不会关闭
	不连接	与遥控器断开连接时,将会关闭发射机(默认); 有关关闭延时的设置,参见 U6 和 U13 设置
6	连接	禁用写保护(水平放置)会触发维护模式状态(默认)
	不连接	禁用写保护(水平放置)不会触发维护模式状态
7	连接	必须将遥控器上的 ACCESS GRANT 开关置于授权位置,才能从 RMM 系统获取 2 级或 3 级访问权限(默认)
	不连接	遥控器上的 ACCESS GRANT(访问授权)开关已被忽略
8	连接	告知 RMS 此为 GP
	不连接	告知 RMS 此为 LOC
9	备用	—
10	连接	仅用于主密码重置
	不连接	默认

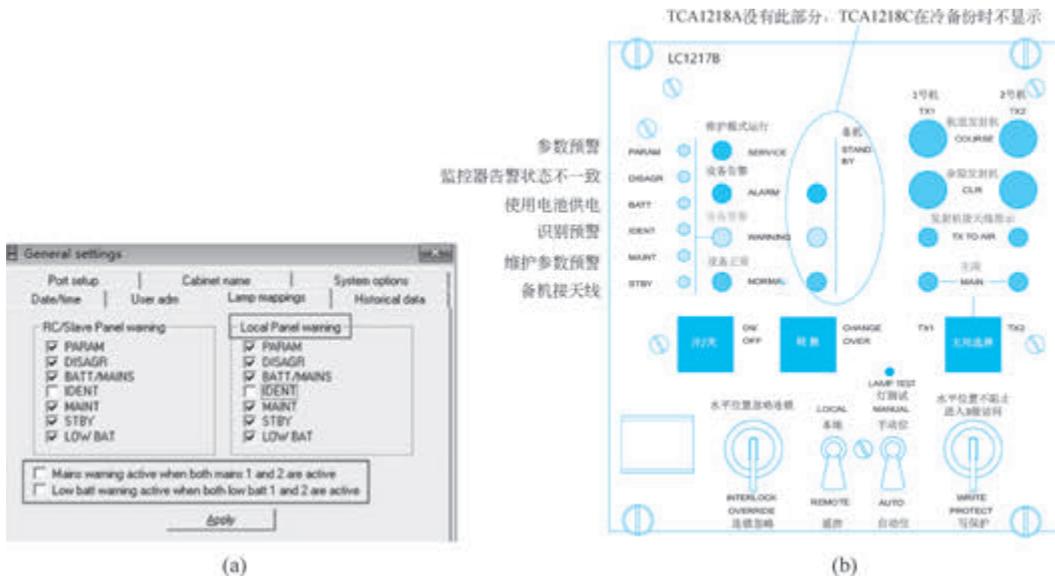


图 3.86 TCA1218 发射机控制组件面板

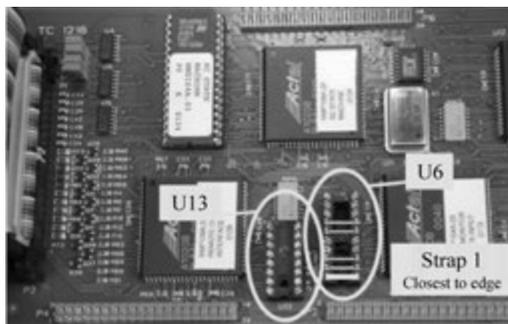


图 3.87 TCA 跳线设置

表 3.8 通过 U6 和 U13 组合设置遥控中断的关机延时

动 作	U6 跳线 5	U13 跳线 5
不关机	连接	无须关注
2s 后关机(默认)	不连接	不连接
30s 后关机	不连接	连接

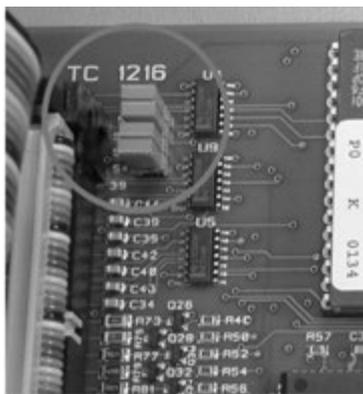
表 3.9 通过 U13 设置遥控转换机时是否改变主机

动 作	U13 跳线 1	U13 跳线 2	U13 跳线 4
转换机时不改变主机(默认)	不连接	不连接	不连接
转换机时改变主机	连接	连接	连接

表 3.10 通过 U13 设置遥控的维护模式显示

动 作	U13 跳线 3
维护模式时遥控面板显示“Alarm”(默认)	不连接
维护模式时遥控面板正常显示各状态	连接

(2) $S_1 \sim S_4$ 用于定义遥控接口访问等级,如图 3.88 和表 3.11 所示。

图 3.88 $S_1 \sim S_4$ 跳线定义表 3.11 通过 $S_1 \sim S_4$ 可以定义遥控接口等级

端 口	访问级别 2	访问级别 3
Remote 1	S_1 连接	S_2 连接
Remote 2	S_3 连接	S_4 连接

3.4.3 TCA1218 发射机控制组件的电路结构

1. 主要输出的控制信号

开/关机的控制信号(如图 3.89 所示):

- (1) TX_ON[3:0]: SC 信号控制 OS1706 射频是否输出。
- (2) TXFB[3:0]: SC 信号控制 LF1576 是否产生调制音频。
- (3) TRM_AL: TRM 信号控制 PS1227 是否送出 27V 到发射机。
转换继电器控制信号 COAXPOS。

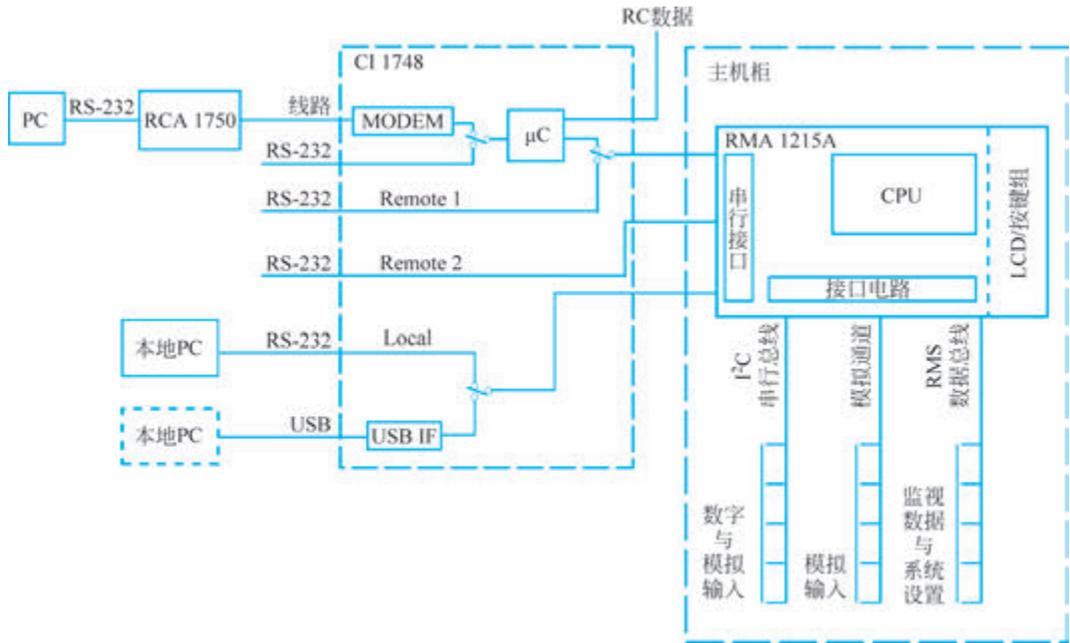


图 3.90 RMS 硬件配置结构

组,用于参数设置和读出。

远程监控系统的硬件 RMA1215A 由位于主机柜内的 CPU 板组成,具有从设备内外收集数据的几种方法。RMS 还构成操作用户界面,提供三个 RS-232 串行接口和本地按键组/显示屏。其主要任务是:收集执行监视参数和维护参数,产生系统预警,维护所有数据的历史存储,在发生告警之前立即对所有监视器和维护数据进行“快照”,设置告警门限和发射机参数,故障隔离,控制本地按键组和显示屏,监听识别信号。

RMS SW(软件)包含 ILS 板件内置的部分,它通过专用线路或者 MODEM 与 RMM PC(监控计算机)程序进行通信。PC 软件 RMM 程序是与 ILS 交互的主要操作界面。

RMS 采集数据的方式有提供读写操作的并行高速 RMS 数据总线、I²C 标准串行总线和一组 32 个不同的 ADC 通道。

2. 个人计算机与连接接口

用户使用的主操作界面是本地或远程连接的个人计算机(PC)运行专用 RMM 软件以及通过专用协议与主机柜内部软件通信。该系统有连接 PC 的三个通道:①本地通道可以通过 USB 或串行链路连接到本地 PC;②Remote 1 可以与遥控数据进行复用,并通过内部或外部专用线路传输到远程 PC 或者 Remote 1 可以通过外部 Modem 或串行链路单独连接到 PC;③Remote 2 可以通过外部专用线路或者拨号 Modem 连接到 PC。三台 PC 可以同时登录,但在同一时刻只有一台 PC 具有写入权限。

3. RMS 数据总线

如图 3.91 所示,RMS 并行数据总线的主要操作是不断地从监视器 MO1212 收集数据。附加功能是设置 MO1212 监视器告警门限和延时、设置发射机低频产生器 LF1576 的参数以及从发射机控制组件 TCA1218 读取系统状态。通过 RMS 数据总线也可以向 TCA1218 写入预警状态。

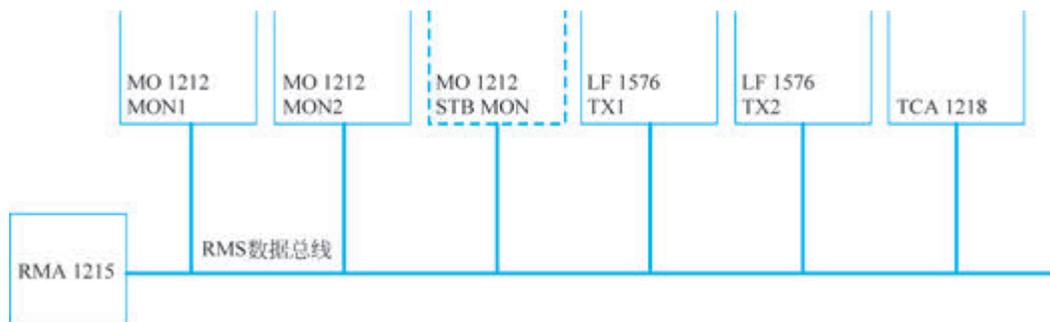


图 3.91 RMS 数据总线

4. 维护数据采集

为了便于故障隔离和显示,在整个系统中分布了多个模拟和数字测量点。这些测量点主要通过 I²C 串行总线访问,如图 3.92 所示。此外,还可以将 32 个 ADC 通道直接读入 RMA1215。

I²C 串行总线从 MF1211/1219、MO1212、LF1576、OS1706 和 CI1748 连接接口收集数字状态信息。其中 CI 的 6 个通道是用户可配置的输入/输出接口。每个 LF1576 板控制一个额外的 I²C 总线,用于 TX1 发射机和 TX2 发射机的数据采集与控制。

ADC 通道主要用于测量功率放大器供电电流以及供电电压,这些测量值从电源板 PS1227 获得。此外,系统供电、电瓶电流以及多个用户可配置的输入是在 CI1748 板上测量的。

5. 存储功能

RMS 部分的 RMA1215 组件上配有 CR2032 电池为 RAM 备份供电,用于存储历史数据。存储了以下 5 种类型的历史数据:

(1) Medium time periodic storage(中期定期存储):以用户指定的时间间隔对所有监视和维护参数进行采样的定期存储。存储最新的 96 个采样数据。

(2) Long time periodic storage(长期定期存储):在 180 天内的每一天,存储所有监视和模拟维护参数的平均值和标准偏差。

(3) Warning storage(预警存储):当预警 LED 点亮时,对所有监视和维护参数采样。存储 25 个最新预警数据。

(4) Alarm storage(告警存储):记录从告警发生前 30s 到实际告警采样结束的所有监视和维护参数。存储最后 7 个告警。其中 ILS 将为换机并且关机的每个告警情况存储两条告警信息。

(5) Event storage(事件存储):存储最近 300 个主要运行事件,包括用户登录和注销、发射机开/关操作、告警和预警、监视参数变化和系统状态变化。

6. RMS 完好性测试

当设备未处于手动模式时,每次关闭设备后,RMA1215 上的 RMS 软件将执行以下完好性测试(除了测试 5 之外的所有测试都在关机命令后 30s 执行,测试 5 在关机命令之后的可配置延迟时间结束后执行):

测试 1:射频源输出

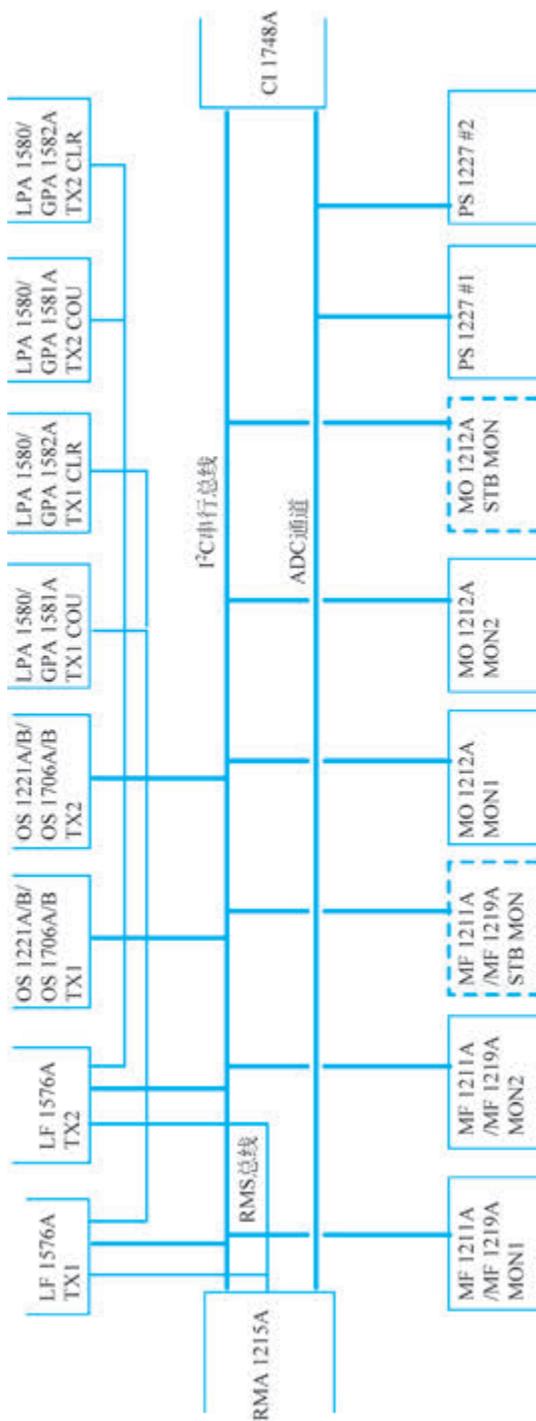


图 3.92 I²C 串行总线和 ADC 通道

RMS 确认 OS 板上的 COU 和 CLR 输出电平维护测量值低于预警门限。

测试失败时事件列表中的文本“IntTst: OSC not off”。

测试 2: LPA/GPA 27V 电源

RMS 确认每个功率放大器组件上的 27V 电源输入低于 2V。

测试失败时事件列表中的文本“IntTst: 27V not off”。

测试 3: 监视器射频告警状态

在关闭指令发出 30s 后, RMS 会验证监视器 1 和 2 是否已在 CL RF 和 CLR RF 监视参数上报出告警状态。

测试失败时事件列表中的文本“IntTst: No RF alarm”

测试 4: TXFB

TXFB[3:0]是 TC 板上的四个内部信号,这些信号是打开和关闭射频源的反馈信号。

测试失败时事件列表中的文本“IntTst: TXFB not 0”。

测试 5: 监视告警延时

在关闭命令发出后的一段可配置时长后, RMS 会确认发射机控制单元已检测到监视器发出的告警。

时间设置在“监视器设置”窗口,“完好性测试”选项卡上。

测试失败时事件列表中的文本“IntTst: Mon dly fail”。

附加测试结果报告:

- 若上述任何测试失败,则“Intgrt test FAILED”也将存储在事件列表中;
- 若所有测试均未失败,则“Intgrt test ok”存储在事件列表中;
- 未执行完好性测试时, RMS 会生成事件“Intgrt tst canceled”。若用户在 30s 内再次开机,则会出现这种情况;

如果参数预警 LED 已配置为显示完好性故障(ILS settings-General settings-System options-integrity test failure on Parameter LED),当出现“Intgrt test FAILED”预警灯时,去掉预警灯唯一的方法是关闭系统电源并重启。

3.5.2 RMA1215A 组件的原理框图

RMA1215A 作为远程监视系统的基础,是一块基于 RMS 软件微处理器的组件,由具有按键组和显示屏的 KD1214 前面板与 RM1213 RMS 模块组成,原理框图如图 3.93 所示。

RMA1215A 组件中各模块功能如下:

(1) CPU(微处理器): CPU 是一块 80C188EB 微处理器,包含地址译码单元与两个异步收发传输器(UART)。其中一个异步收发传输器用于串口通信,另一个异步收发传输器作为并行的 I/O 端口。CPU 工作频率 20MHz 由一块外置的 40MHz 晶体振荡器提供。

(2) WATCHDOG AND BATTERY(看门狗电路和备份电池): 设备通电,看门狗电路会复位 CPU,当 CPU 启动失败或检测到+5V 供电电压小于电池电压时,看门狗电路会在约 1.6s 间隔后重启。若是供电电压不足导致电路重启,则重启后 RAM 及 RTC 将会转为电池供电。若移除板件中的电池或将跳线 S₁ 断开,则板件中用户登录等所有功能将被抑制。若电池不可用,则可以将电池插座短路来实现系统的运行。在长期存储模块时,可以通过拆下跳线 S₁ 断开电池。为了减少电池放电,板件中使用一个光电耦合开关来测量电池的电压,并保证电源

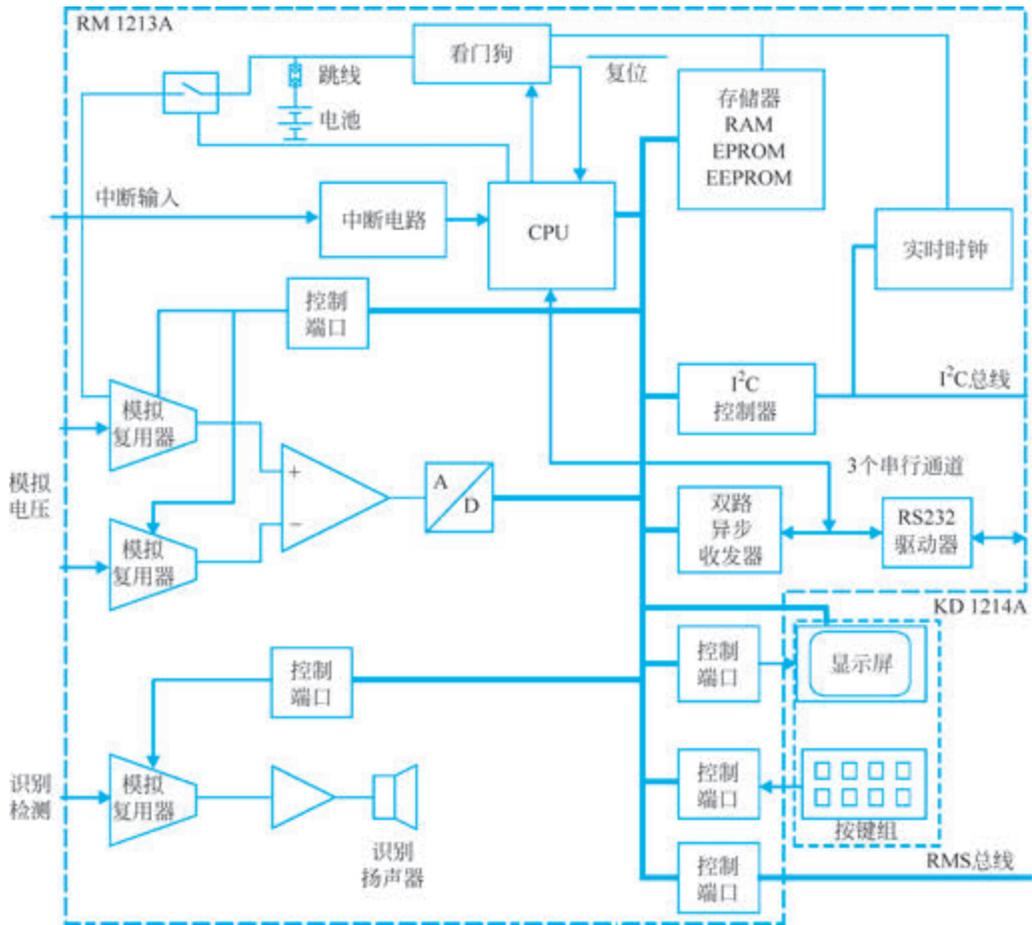


图 3.93 RMA1215A 组件的原理框图

正常时不会对电池进行放电。在设备电源关闭时,电池可以为存储器供电约 1 个月,用户可以通过 RMS 软件系统中维护参数“RMS BATTERY”查看电池目前的状态。

在 RMA1215A 的某些版本上,跳线插头 S_1 是一个小型印制电路板 BP1626A,其中包含锂电池的保护电路,以保护该电池免受有害的充电和放电。注意以正确的方式安装此跳线板,使引脚 1 最靠近 RM1213 板上的连接器 P7。

(3) INTERRUPT CIRCUITRY(中断电路): CPU 中断电路将若干中断组合成为 5 组中断命令送给 CPU,以中止 CPU 上现程序的运行,引出处理该事件的服务进程。

(4) DISPLAY(液晶显示屏): 使用的显示屏是一个 20 个字符乘 4 行的 LCD。

(5) KEYPAD(按键组): 按键组由 7 个按键组成,连接到并行的输入端。

(6) DOUBLE UART(双路异步收发器): 双 UART 是一种标准 UART,在两个通道上都有一个 16 字节的双向 FIFO。

(7) RS-232 DRIVERS(RS-232 驱动器): RS-232 驱动器是单电源 RS-232 驱动器,它们提供 UART 与外部 PC 或调制解调器之间的接口。

(8) I²C CONTROLLER(I²C 控制器): I²C 控制器处理 I²C 总线上的通信,I²C 总线是设备维护数据收集的主要通信总线。

(9) REAL TIME CLOCK(RTC,实时时钟): 机内时钟使设备保持正确的日期与时间,为维护数据与监视数据提供时间戳。机内时钟精度高于 15 秒每 24 小时。

(10) CTRL PORT(CTRL 端口): 控制端口作为 CPU 并行的输入/输出端口。

(11) ANALOGUE INTERFACE(模拟电路接口): 模拟电路接口模块包含两个模拟多路复用器和一个模/数转换器。该模块的主要功能是测量设备内一些测试点的模拟信号。模拟多路复用器通过独立的使能控制信号连接到同一地址总线。这允许模拟输入作为单端信号单独测量,或配对进行差分测量。

(12) AURAL IDENT(音频识别): 音频识别码模块由模拟电路多路复用器及放大器和扬声器组成。用户通过选择可监听双机双频 4 台发射机的识别莫尔斯电码。该模块使用 1020Hz 带通滤波器滤出 CSB 信号中的识别码,并以音频的形式播放出来。

(13) MEMORY(存储器): 存储器模块包含用于数据存储的 RAM、用于程序的 EPROM 和用于系统设置参数的 EEPROM。RAM 具有备用电池,以便在断电期间保留日志数据。

3.5.3 RMA1215A 组件的设置

RMA1215A 组件可执行的软件设置设备机柜名称、系统、时间、用户、通信口和历史数据设置。打开 General settings 菜单,勾选对应选项卡进行设定,如图 3.94 所示。

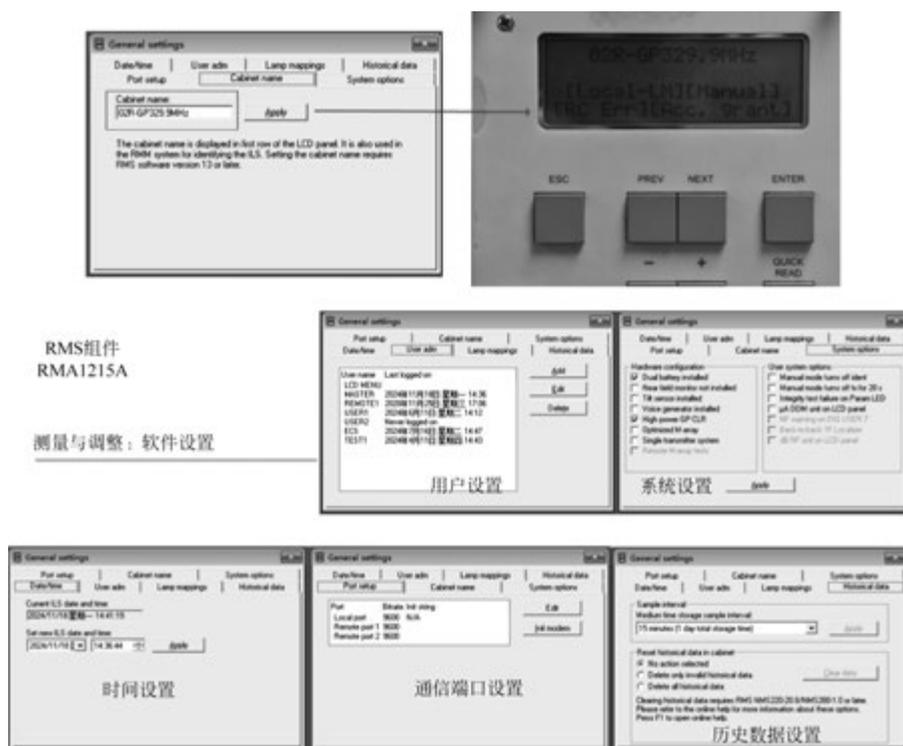


图 3.94 RMA1215A 组件可执行的软件设置

RMA1215A 的维护参数如图 3.95 所示,数字部分采集参数名称及含义如表 3.12 所示。



图 3.95 RMA1215A 的维护参数

表 3.12 数字部分采集参数名称及含义

参数名称	参数含义	关联组件
RC LINK STATUS(远程控制链接状态)	若 TCA 板没有收到来自 RC 单元的有效数据流,则将生成预警。高电平正常	TCA1218
EPPROM PARITY CHECK(奇偶校验)	EPPROM 低电平正常	TCA1218
INTEGRITY CHECK(完好性检查)	低电平正常	TCA1218
EPPROM CRC CHECK(程序内存 CRC 检查)	持续运行,大约每 30min 完成一次。高电平正常	RMA1215
RAM CHECK(RAM 读写测试)	持续运行,大约每 15min 对所有 RAM 进行一次检查。高电平正常	RMA1215
RMS+5V(5V 电压测量)	正常范围为 4.3~6V	RMA1215
RMS BATTERY(时钟和 RAM 电池电压测量)	跳线 S ₁ 是 BP1626 板时,正常范围为 2.0~2.8V; 跳线 S ₁ 只是连接插头时,正常范围为 2.7~3.5V	RMA1215

3.5.4 RMA1215A 组件的电路结构

1. 微处理器及外围电路

微处理器及外围电路如图 3.96 所示。

2. I²C 总线

I²C 总线接口如图 3.97 所示。RMA1215 的 U₇ 为 I²C 总线控制器 PCD8584,它通过 I²C SDA 数据总线和 SCL 时钟总线和各模块的 I²C 总线接口并接。总线监视采集的模块有 OS、LF、MF、MO 等,借助 PCF8574A 和 PCF8574 的从地址,总线可最多连接 16 个模块,除机柜上述模块外,RMA1215 组件上的时钟日历芯片 PCF8583 也并接在总线上,总线同时连接到 CI,用于采集电源部分的数字量状态并可扩展使用。

3. 32 路模拟采集通道

RMA1215 使用两片 ADG506 模拟复用器芯片,ADG506 有 16 通道输入,两个芯片将有 32 通道,每个通道的复用由芯片的 AMUX_ENA 使能后,再经 AMUX_ADR 地址通道进行选择。32 路模拟采集通道如图 3.98 所示。两个芯片分别对 1、2 号机的 PS 上的电压和电流,CI 采集到的电源接口 PC1749 的电压和电流,RMA 自身的电池电压和 5V 供电进行复用。从图 3.98 所示电路分析,有 4 个通道并没使用,因此一共复用 28 个通道。复用后的信号送差分放大器 U₁₀,在这里所有通道只作为单端输入,没有使用差分双端输入的工作方式。经放大后由 AD1674 模/数转换器进行 12bit 的模/数转换。

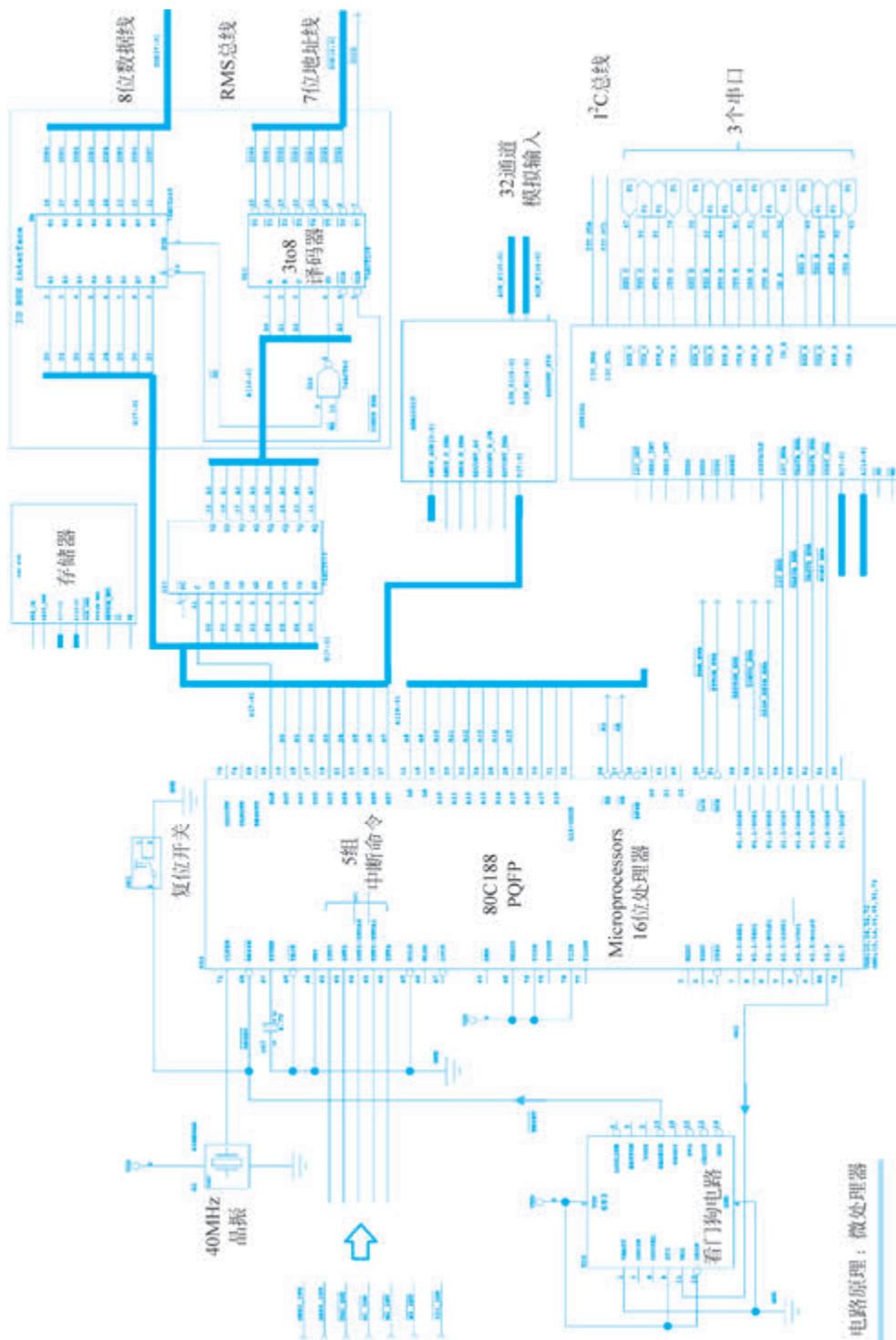


图 3.96 微处理器及外围电路

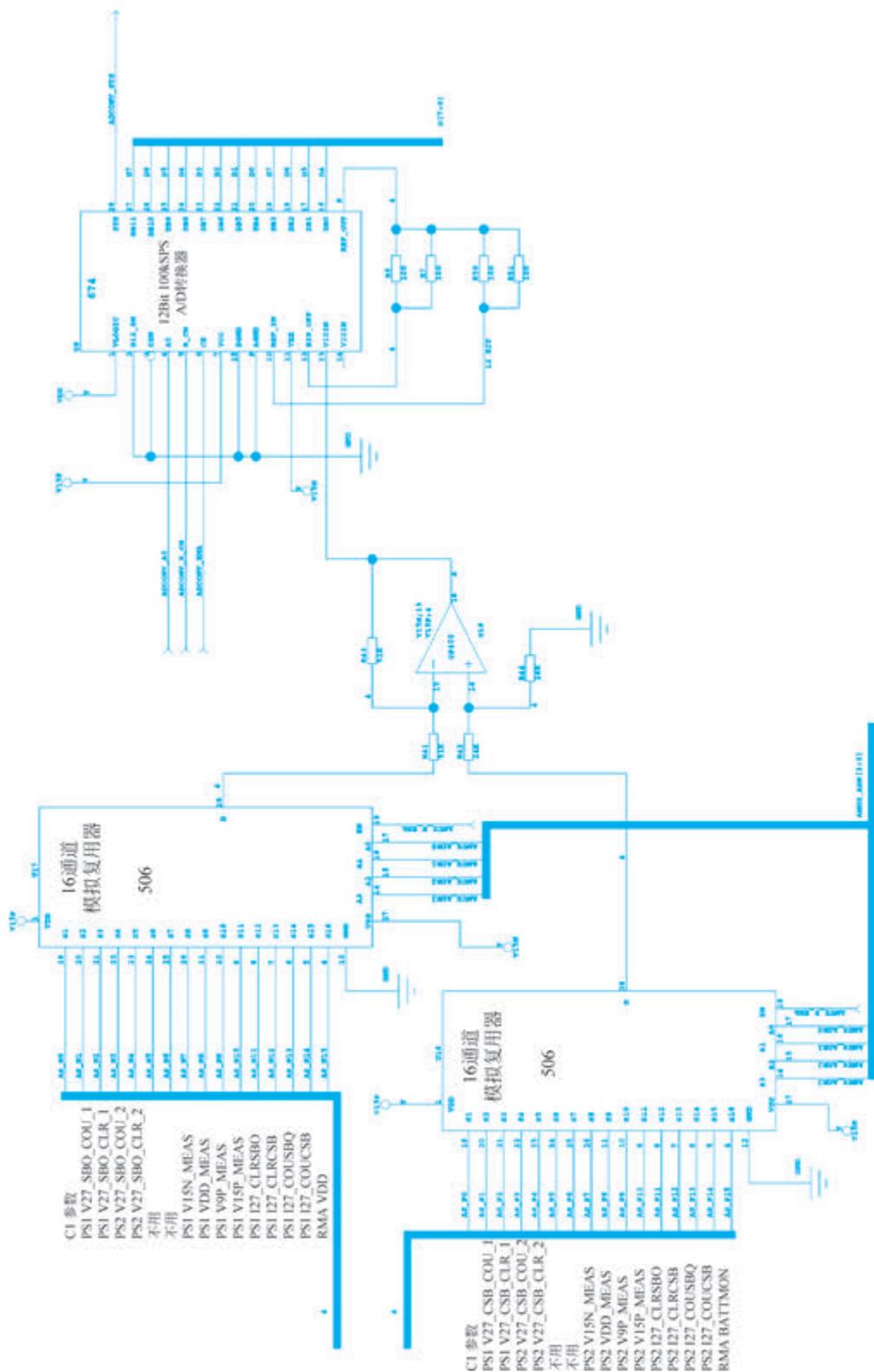


图 3.98 32 路模拟采集通道

3.6 接口部分

接口部分由 CI1748A 板构成,提供除射频信号和电源外的所有信号连接点。CI 模块位于 ILS 机柜的背后,CI 模块的信号通过一根扁平电缆和机柜背板 MB1575 连接。电源器及电源接口 PC1749 的检测信号经 CI 送机柜内的组件处理,所有与外部设备连接的线路均具有浪涌和过压保护。

3.6.1 CI1748A 的原理框图

如图 3.99 所示,CI 模块由 DME 交互接口、模拟多路复用器、USB 接口与串行接口转换、RS-232 驱动和接收、微型控制器、数字多路复用器、调制解调器、移位寄存器、LED 显示灯、CI 模块配置、连接器(包含一个在线编程接口和一个测试接口)组成。

CI 模块的主要功能是提供 ILS 机柜外部信号的连接点,使外部信号转换成能被机柜内部模块处理的电平。

连接接口还根据配置设定和遥控器交互的串行数据格式。发射机控制 TCA1218 和 RC 之间的数据路由总是 CI 模块上的微控制器,然后通过内置或外置调制解调器进行传输,但目前更多的是通过 RC/RMM RS-232 接口经光纤等传输设备进行传输。通过设定,微控制器可把包括来自 RMS 的 RMM 数据和 RC 数据组合在相同数据流;否则,RMM 数据将送到 Remote 1。根据配置可选择不同的数据格式和比特率。

各模块功能如下:

(1) DME interface(DME 接口): DME 接口用于将 DME 设备连接到 ILS。该接口使用光耦合器来隔离设备。这些信号的路由是从 CI 模块到机柜中的 TX 控制。DME 接口可使用跳线进行配置。

(2) Analogue multiplexer(模拟多路复用器): 模拟多路复用器用于选择多个模拟输入中的一个。选择输入由 RMA1215A 控制,复用器输出被传输到 RMA1215A。在测量之前,所有外部电压输入都被调整到合适的电平范围。该接口可以选择室外和室内温度、电源电压(通过变压器)、外部模拟电压、电瓶和电瓶充电器电压和电流等值。CI 模块不负责解释测量值。

(3) USB interface(USB 接口): 经背板 $S_1 \sim S_4$ 跳线后,NM7000B2 在前面板的本地串行接口,可以连接到 CI1748,同时前面板的接口将失效。USB interface 是一个多路复用器,可选择 CI1748 本地串口的 RS-232 输入或 USB 输入。当 PC 连接到 USB 连接器并打开 com 口时,会自动选择 USB 输入。当 USB 通信端口被取消选择或 USB 电缆被移除时,切换回 RS-232 输入。

(4) RS-232 Drivers/Receivers(RS-232 驱动器/接收器): 该模块负责逻辑电平与 RS-232 电平间信号转换。

(5) Micro controller(微控制器): 该模块由 AVR 微控制器组成。大多数串行数据通过此控制器路由。路由的方式和更改此数据的格式由跳线 $S_{401} \sim S_{403}$ 配置决定。该模块还包括外部 RAM 和地址锁存器,以及用于重置微控制器的跳线 S_{410} 。

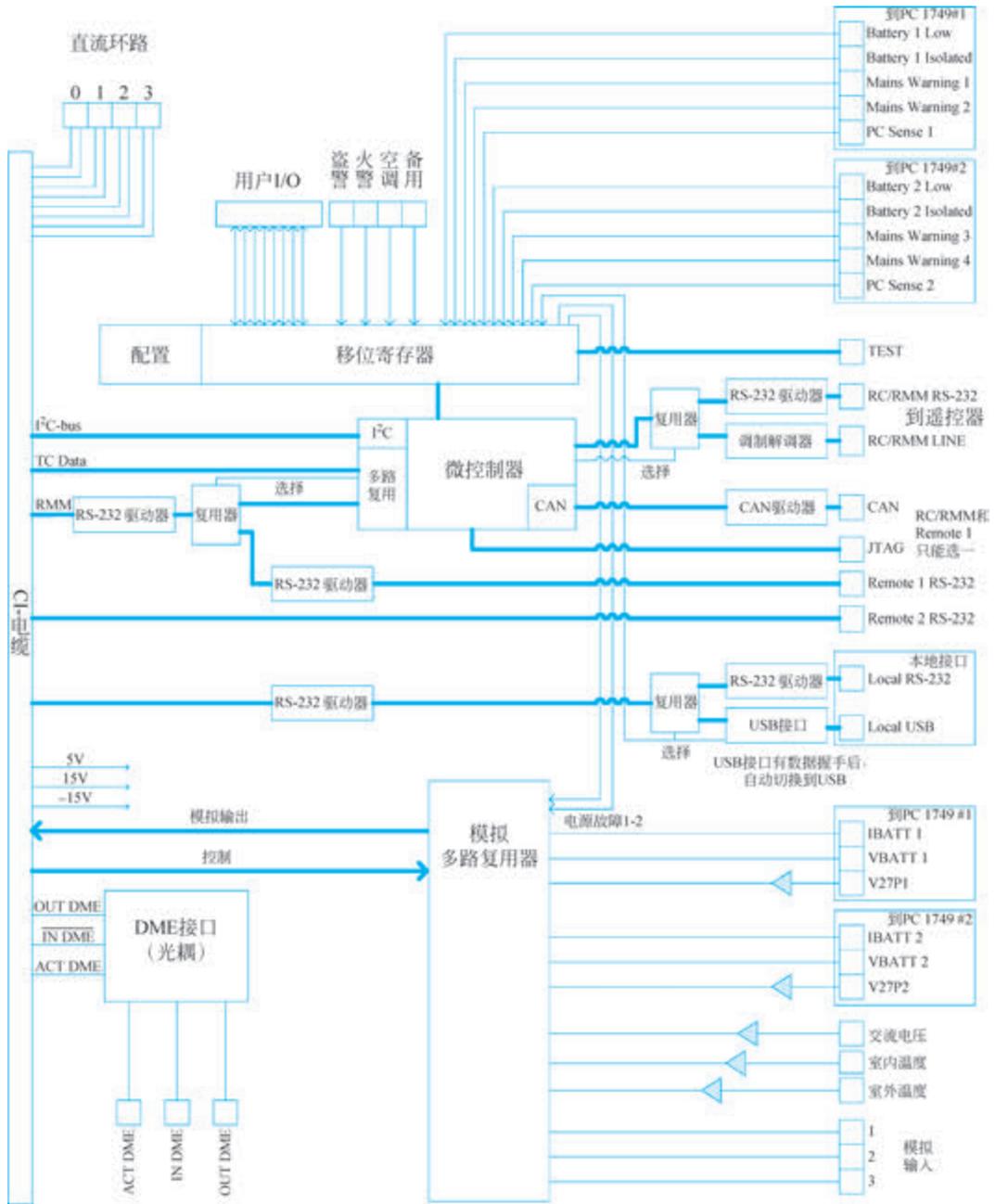


图 3.99 CI1748A 的原理框图

(6) Watchdog(看门狗): 微控制器有一个内置的看门狗计数器。这个看门狗有自己的振荡器,可以产生分频时钟。计数器对这个时钟计数。如果此计数器计满超限,微控制器就将被重置。如果程序正常运行,此计数器就将在程序主循环中重置。

(7) Mains failure(电源故障): 微控制器从 PC1749 板卡读取所有主电源预警信号,如果只有一个 PC1749,微控制器就把一、二号主电源预警送到 Mains failure1 和 Mains failure2; 如果两个 PC1749,微控制器就把一号主电源预警送到 Mains failure1,把二号主电

源预警送到 Mains failure2。

(8) RMM data(RMM 数据): 当 RMM 数据与遥控 TC 数据结合传输时, 遥控 TC 数据具有优先级。微控制器使用硬件流量控制来控制 RMM 数据的输入。当 RMM 数据输入缓冲区中有 64 字节或更少的可用空间时, 通过停用 RMM 端口上的 CTS 信号来实现。当输入缓冲器中的数据剩余 32 字节或更少时, CTS 信号再次被激活。

(9) Digital multiplexers(数字多路复用器): 该模块用于传输数字信号。总共有三个数字多路复用器, 一个用于将 RMM 数据复用传输到连接器(Remote1)或微控制器, 一个用于将 RC(/RMM)数据复用到内部或外部调制解调器, 一个用于再复用 RS-232 或 USB 本地连接器的数据。

(10) Modem(调制解调器): 该模块将逻辑电平的串行信号转换为 V. 22/1200b/s 或 V. 22bis/2400b/s 电平的专用线路信号。使用 AT 命令在与数据相同的串行线上控制调制解调器。

(11) Shift registers(移位寄存器): 这是数字信号的接口, 该模块包含移位寄存器, 用于将并行/离散输入和输出转换为由微控制器读/写的串行形式。此模块还包含多级的下级输入。

该模块中具有以下移位寄存器: 一个输出寄存器, 用于控制用户 I/O 的输出; 一个输出寄存器, 用于产生电源故障到 RMS 并控制 6 个 LED 显示灯; 一个输入寄存器, 用于读取用户 I/O 的状态; 两个输入寄存器, 用于从 PC1749 板卡读取状态, 读取辅助信息(盗警、火警、空调状态、备用), 并读取两个测试输入, 输入的状态通过 I²C 总线发送到 RMS 或发送到遥控器。

(12) LED: 连接接口上共有 9 个 LED, 3 个连接到微控制器, 6 个连接到移位寄存器。这些 LED 位于微控制器块和移位寄存器模块内, 未在信号框图中显示。

(13) Configuration(板件配置): 该模块包含 8 个配置跳线。使用移位寄存器将这些跳线的设置读入微控制器。只定义了 3 个, 其余的用于未来的扩展。

(14) CAN(驱动器): 该模块包含 CAN 总线的接口电路(驱动器), 通常不会使用, 但会用于未来的扩展。

(15) Connectors(连接器): 除了正常操作期间使用的连接器外, CI 模块上还有一个带 AVR JTAG 引脚输出的 10 针连接器。该接口用于制造过程中的编程和调试; 此外, 还可用于调试或将来使用的测试连接器。

3.6.2 CI1748A 的设置

CI1748 使用时需设置与遥控器的通信协议, 同时遥控器的 RCA1750 配合 CI 进行相应的设置。CI1748 具体设置和板上位置如图 3.100 所示。

S₄₀₁~S₄₀₃ 用于协议设置, 目前使用较广泛的是表内第二种协议, 数据流为 RC+RMM, 波特率 9600, 设置此协议, S₄₀₁ 短接, S₄₀₂ 和 S₄₀₃ 断开。S₄₀₄ 用于设置在丢失 RC 消息后产生通信错误的延迟时间, 插入跳线设置 30s 的延迟, 而不是默认的 2s。

3.6.3 CI1748A 的电路结构

1. 模拟复用电路

复用电路对传感器采集的室外/室内温度、电源电压(通过变压器)、外部模拟电压及

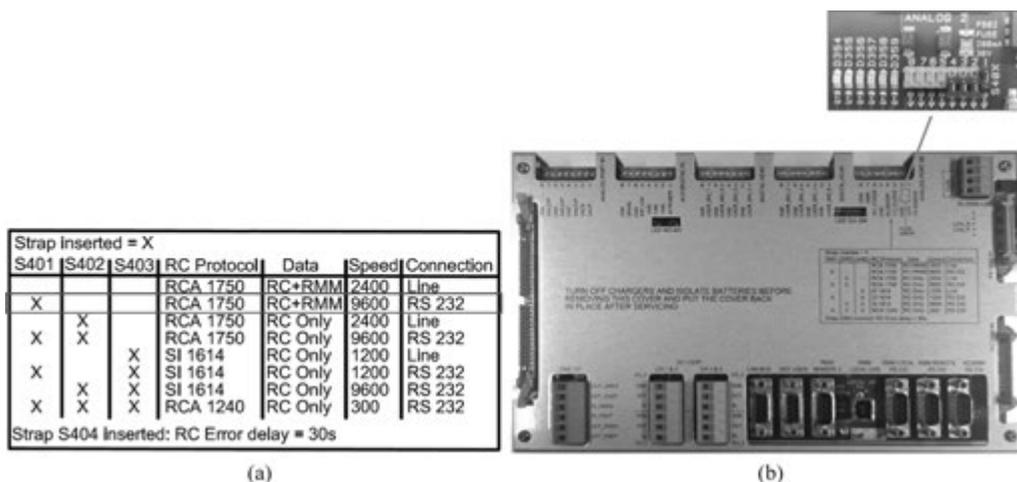


图 3.100 CI1748 具体设置和板上位置

PC1749 采集的电瓶与电瓶充电器的电压和电流等参数值进行复用。采集的电路和 RMM 维护参数如图 3.101 和图 3.102 所示。

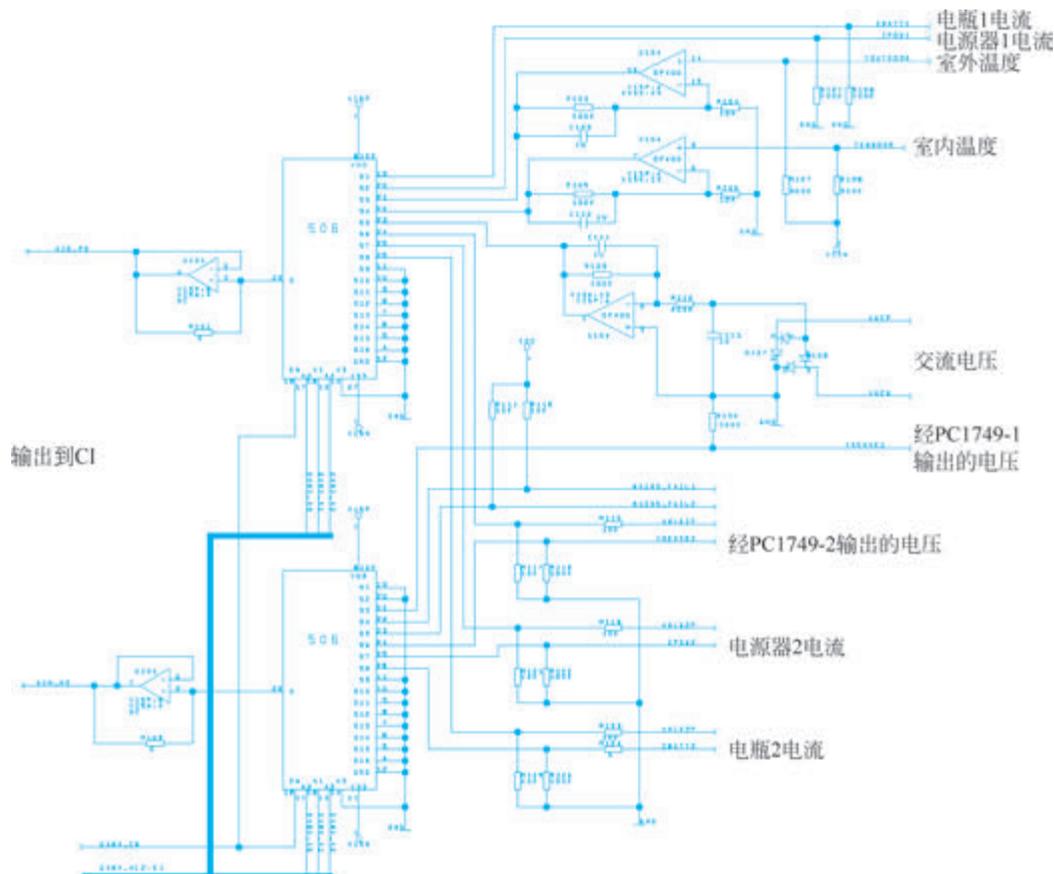


图 3.101 CI1748 模拟复用电路

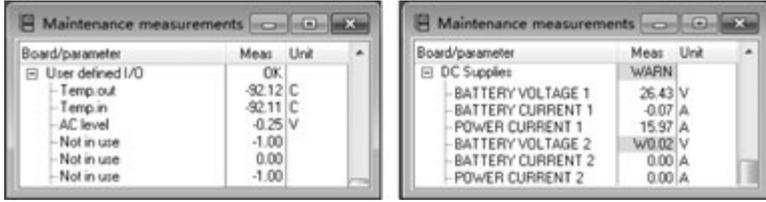


图 3.102 模拟电路采集的维护参数

2. 数字驱动电路

数字驱动电路采集的参数有传感器的防盗/火警、空调状态及 PC1749 的电瓶状态和市电状态。此外,还有用户定义的 I/O 数字量,共有 8 路,其中 2 路保留,用于模块的计数器。数字驱动电路采集的参数如图 3.103 所示。

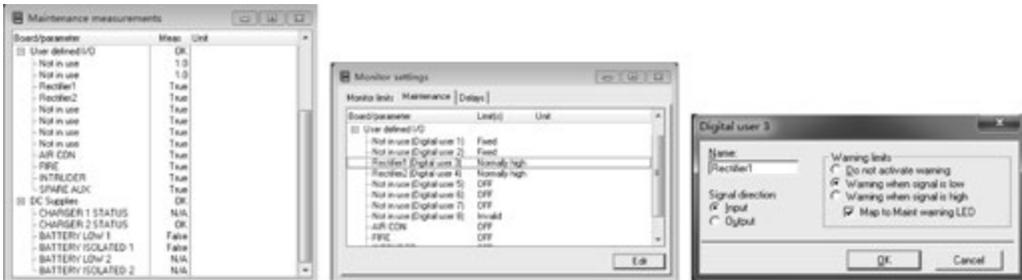


图 3.103 数字驱动电路采集的参数

I/O 电路如图 3.104 所示。

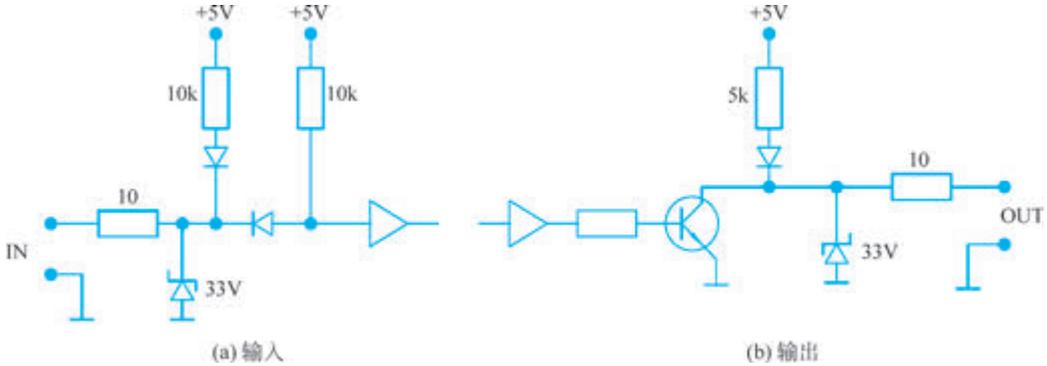


图 3.104 I/O 电路

3.7 电源部分

ILS 通常使用外部 BC1361 电源,市电输入为 230V 交流电,并提供 27V 直流输出用于 ILS 机柜的运行和为备用电瓶充电。

冷备份模式(NORMARC 7011B/7013B/7031B/7033B)使用 4 个整流模块的单电源,电流最高可达 40A。即使有一个整流器故障,电源也可以提供足够的电力。另外,还可以连接一组备用电瓶,确保在市电故障时不会中断设备运行。

热备份模式(NORMARC 7012B/7014B/7032B/7034B)使用双电源,每个电源具有3个整流模块且电流最高可达30A。即使有一个整流器故障,电源也可以提供足够的电力。另外,还可以连接两组备用电瓶,确保在市电故障时不会中断设备运行。

发射机功率放大器需直接馈送27V电源。PS1227电源板负责为设备机柜内各板件供电,其输入为+27V直流,输出+27V、±15V、+8.5V及+5V直流。在电源部分测量电瓶和每个功率放大器的电流,上述直流电压值的测量采样在PS1227模块,测量结果通过RMS提供给用户。当ILS信号关闭时,实际上功率放大器的电源由继电器关闭。这是由来自TCA台站控制部分的终结告警信号 terminator alarm 控制的,如图3.105所示。备用电瓶通过保护电路防止深度放电。当电压低于22V时,保护电路断开电瓶连接。当主用电源故障时,通过RMS给出电瓶工作预警。

3.7.1 PC1749A 电源连接

PC1749A的原理框图如图3.106所示。它可用于单配置或双配置,并提供以下功能:

- (1) 连接一个或两个外部电源器;
- (2) 连接一个电瓶组的电源;
- (3) 连接一个或两个PS1227电源;
- (4) 为一组电瓶提供电池保护;
- (5) 电源器/电瓶的电压和电流测量;
- (6) 外部电瓶开关的连接;
- (7) 电源器预警输入接口;
- (8) 为调制解调器提供电源(至CI1748A)。

板件的具体连接如下:

(1) 外部电源器/电瓶和内部电源的电源连接。板件右侧的J1接点用于连接外部AC/DC电源器(蓝色线)和电瓶组(红色线),板件上侧的J2接点用于经机柜面板开关后连接到内部PS1227电源。

(2) 电瓶保护。当蓄电池电压降至预设电压以下时,模块将断开电瓶连接,通常为22V直流电压(通过电位器 R_{107} 可在20~24V之间调节)。同时还设置电压过高切断电路,切断电压由电位器 R_{103} 调节。电压值在出厂时完成设置。

(3) 电压和电流测量。 U_{102} 、 U_{103} 和 U_{104} 是精密零漂移电流检测放大器芯片,用于测量外部电源器提供的电流(Power Current)以及流入或流出电瓶组的电流(Battery Current)。 U_{107} ~ U_{109} 运放IC用于以上电流测量检测和PC1749的27V输出电压测量(Battery Voltage)的幅度放大控制。电压和电流测量值可在RMM维护参数中获得。

(4) 电瓶开关/电源器预警。P3连接器用于连接电池开关(Battery Isolated)和来自外部电源的电源预警(Charger Status)。

跳线 S_1 和 S_2 提供了一个选项,用于选择RMM维护参数中的电源状态Charger Status来自外部或内部。

位置1、2:默认位置,使用外部电源告警输入(连接到P3)。

位置2、3:使用板件上电瓶电流极性的内部感应。

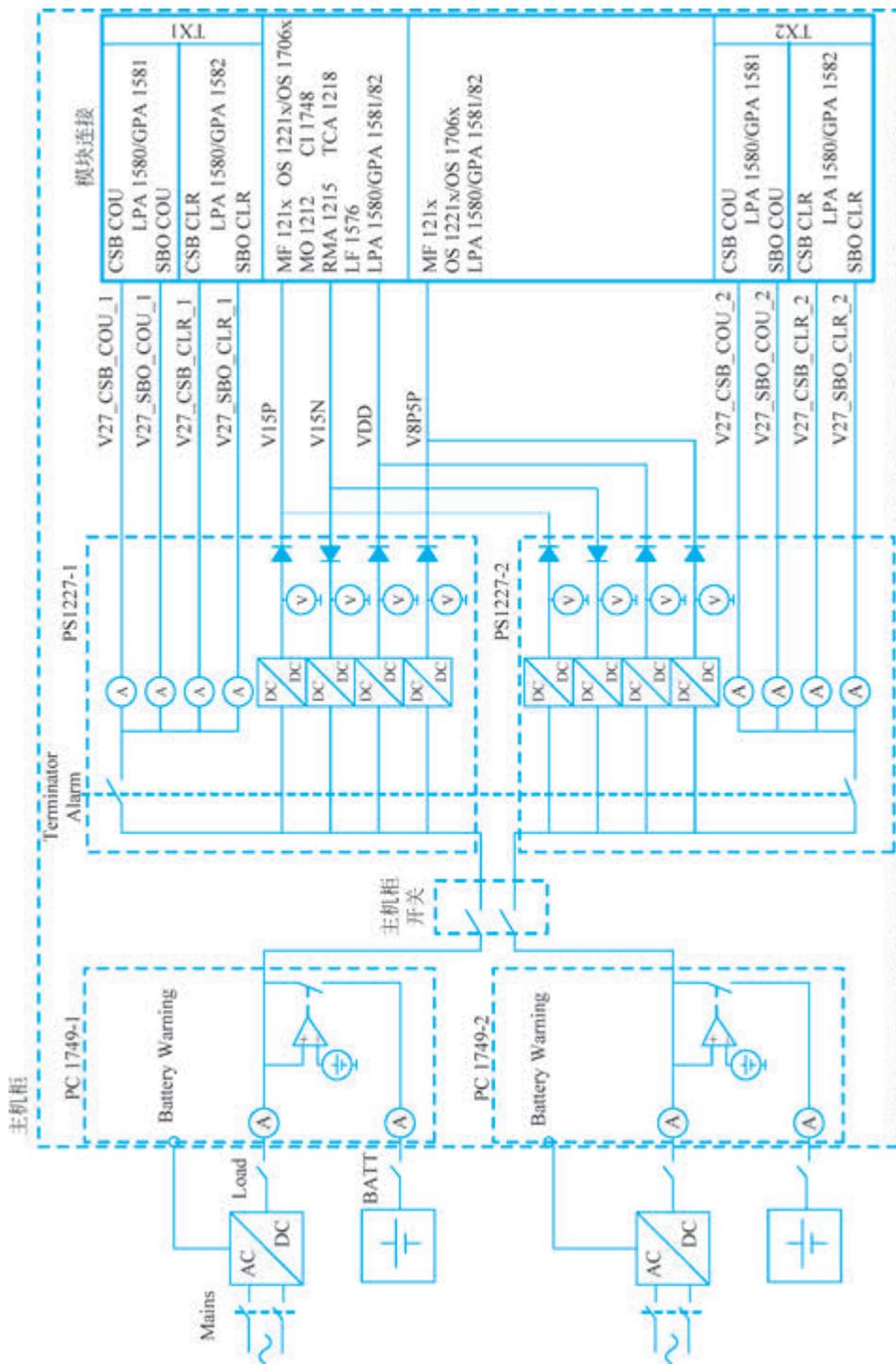


图 3.105 双电源供电框图

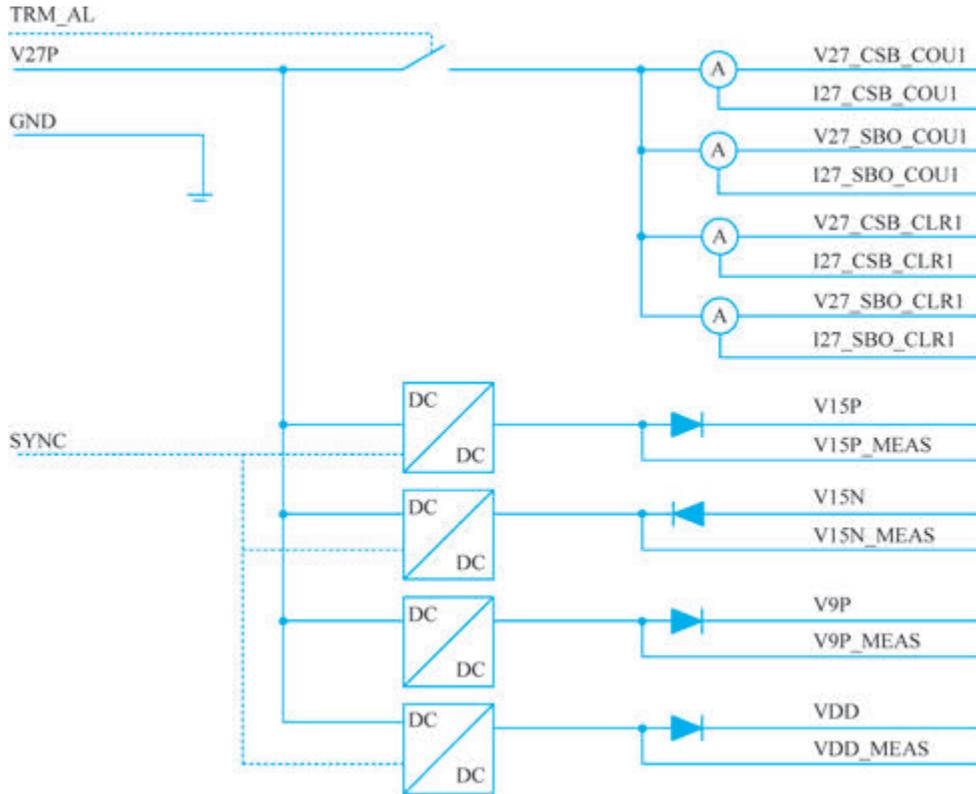


图 3.107 PS1227 电源模块的原理框图



图 3.108 PS1227 在维护参数中的测量

3.8 遥控部分

遥控器提供从控制塔或技术设备室到 ILS 机柜的用户界面,外观如图 3.109 所示。遥控盒里的 MB1753A 背板提供所有互连,最多可连接 4 个 RCA1750 组件。

遥控器为 ILS 机柜提供用户输入和选择,并显示 ILS 的状态。遥控器通过传输设备上的串行链路或调制解调器与 ILS 机柜通信。来自遥控器前面板开关的输入,如 ON/OFF、转换和访问许可,以及来自运行跑道方向选择的互锁信号,被发送到 ILS 机柜的 TCA 发射机控制,ILS 状态和其他信息被接收并显示在 LED 指示灯或其他输出上。

实现控制和显示功能的模块为 RCA1750 远程控制器。其还可以配置为在同一串行信道上组合 RMS 的遥控数据和 RMM 数据的协议上运行,从而降低调制解调器和线路成本。

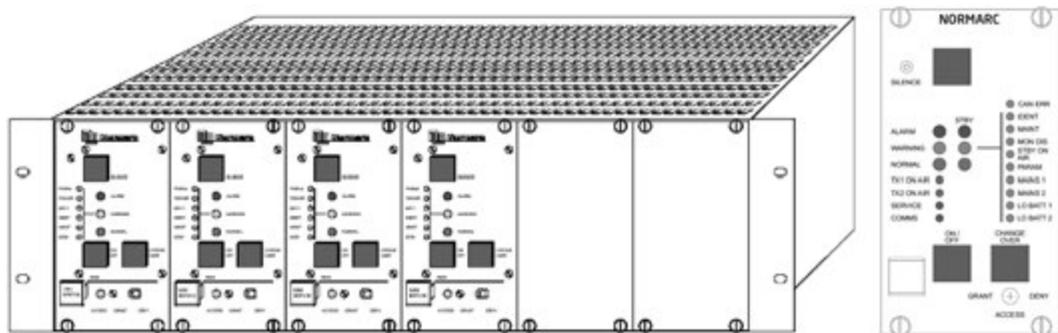


图 3.109 遥控器及面板

此协议仅在 ILS 机柜配备连接接口 CI1748 时可用。

此外,遥控部分还可以根据需要配置位于塔台的 SP1754 从面板和 IL1380 互锁开关模块,也可以连接其他特殊面板/系统,如类别状态面板(CSU)模块。(更多信息参阅厂家设备手册。)

3.9 RMM 软件

NORMARC®7000 RMM 是一个基于 Microsoft Windows 的程序,如图 3.110 所示。可访问远程监控子系统提供的所有数据和功能。目前使用版本为 RMM2. X~RMM5. X,新版本向下兼容,但建议使用设备附带的 RMM 软件版本,使用不同版本存储数据的格式会不同,在一定程度上影响使用。软件使用需使用账户和用户密码登录,根据需求可设置登录等级如表 3.13 所示。

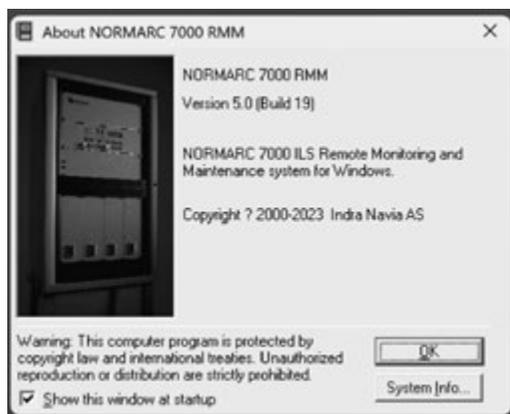


图 3.110 RMM 软件

表 3.13 设置登录等级

登录等级	允许的操作
1 级	读取所有测量参数和配置数据,用户密码除外
2 级	1 级操作+打开/关闭发射机和低频信号
3 级	1 级和 2 级操作+设置所有的配置数据,用户密码除外
管理员	1 级、2 级和 3 级操作+设置/查看用户和密码,设置 ILS 实时时钟

通过连接到远程监控子系统,该程序允许用户执行以下操作:

- (1) 查看 ILS 的当前状态和测量结果。
- (2) 配置 ILS 监视器和发射机设置。
- (3) 查看显示 ILS 当前运行状态和配置的报告。
- (4) 从 ILS 下载历史数据并浏览各个数据集。
- (5) 下载并查看事件,查看 ILS 的运行历史。
- (6) 使用 RS-232、USB、网络 IP 等多种方式连接 ILS。

更多 RMM 软件使用参阅厂家设备手册。

以下为 B4 版本的设备中与 B2 版本不同的板件介绍。

3.10 监视器部分(B4)

监视器部分由监视器前端 MF1821A 和监视器 MO1820A 组成。双监视器的配置提高了可靠性。在热备份配置中,附加的模块电路监视备用发射机。

监视器前端主要是一个 AM 数字接收机,它对 RF 信号进行采样、滤波和数字化检测。模块还将接收到的频率与其自身的本地振荡器进行对照检查。监视器前端输出由数字信号表示的解调信号。

监视器接收 MF 的参数并传递给比较器。若参数超出程序设置门限的时间长于配置的告警延时,则比较器会产生告警信号。使用两个独立的比较器电路来提高完好性。若参数在告警延时结束前恢复正常,则告警将被清除。监视部分原理框图如图 3.111 所示。

3.10.1 监视前端 MF1821A

MF1821A 模块包含四个相同的模拟射频前端(CL、NF、DS 和 CLR),每个前端由两个分别用于 LOC 和 GP 的并联射频带通滤波器组成。选择 LOC 或 GP 滤波器的 LOC/GP 控制数据位存储在板载配置闪存中,并且可以在 RMM 程序中修改。

对于每个前端,RF 滤波信号被馈送到一个射频变压器,然后是 12 位的 A/D 转换器。A/D 转换器使用欠采样方式来提取 AM 信号的包络。LOC 的采样频率为 90MHz,GP 的采样频率为 120MHz。数字化包络被馈送到 MF 板上的 FPGA。

FPGA 包含四个信号处理单元(SPU),用于提取 90Hz 和 150Hz 调制电平、代表射频功率的直流电平和维护数据(维护数据包含语音、噪声和用于四个监视通道的 90Hz/150Hz 谐波)。在 SPU 之后,仍然在 FPGA 内部计算 SDM、DDM 和 RF 电平,以及识别电平/编码、频差和各种维护参数。AL data(主要,监视)和 MNT data(次要,维护)参数被复用并发送到监视器 MO1820A。

1. MF 监视前端原理框图

MF 监视前端原理框图如图 3.112 所示。

1) 供电

该单元使用 15V 和 8.5V 系统电压作为内部开关稳压器 PSU 的输入。15V 用于产生 1.8V ADC 电源电压和 FPGA I/O 电压,8.5V 用于产生 1.2V FPGA 内核电压和 3.3V 通用电压。2.5V FPGA LDO 电压由 3.3V 电源产生。

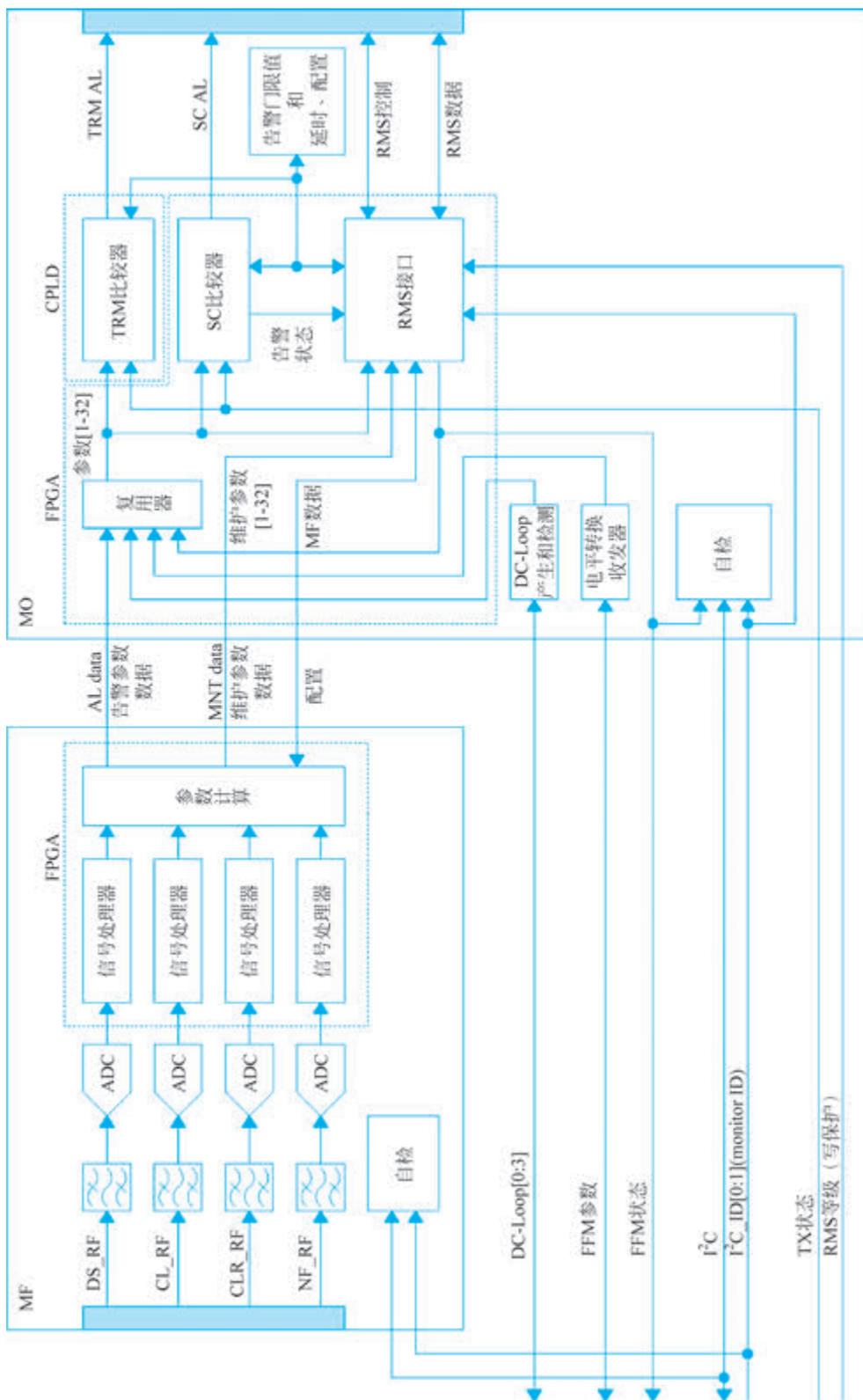


图 3.111 监视器部分原理框图

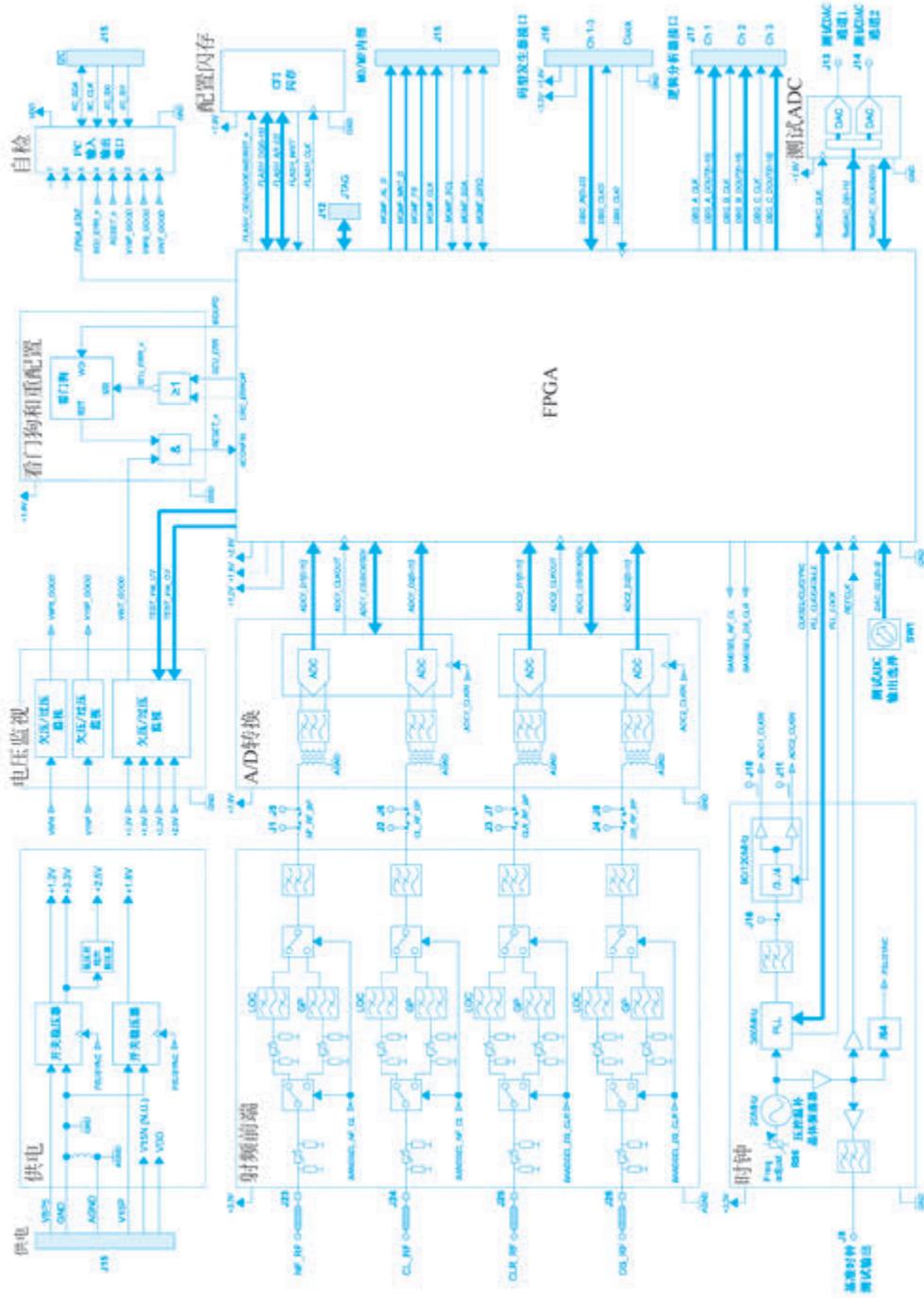


图 3.112 MF 监视前端原理框图

2) 电压监视

电压监视器检查外部电压和内部电压,任何故障都会产生一个 Power Good 故障,该故障会馈送到看门狗和重配置模块。

板卡正面的三个 LED(顶部 D13,底部 D11)指示电压监控的状态。

D13: 内部电压(3.3V/2.5V/1.8V/1.2V)—OK。

D12: 输入电压 8.5V—OK。

D11: 输入电压 15V—OK。

3) 看门狗和重配置

该模块检查来自 FPGA 的看门狗更新信号和来自电压监视模块的 Power Good 信号。这些线路的任何故障都会重置 FPGA。CRC 错误和 SEU 错误(单粒子翻转错误,如宇宙射线、 α 粒子等高能粒子撞击电子器件引发的瞬时软错误,导致的存储单元或逻辑电路的数据位翻转)也将重置 FPGA。

4) 自检

自检部分通过 I²C 接口提供有关 FPGA 状态和内部/外部电压的信息。

5) 配置闪存

配置闪存存储用于启动时加载的 FPGA 配置文件。LOC 和 GP 配置文件存储在不同的存储器位置。默认情况下,FPGA 将加载 LOC 配置文件,并使用它来确定选择 LOC 还是 GP。若选择了 GP,则会加载 GP 配置文件。

6) 时钟

一个标准的 20MHz 压控、温度补偿晶体振荡器被用作基准时钟。基准时钟的容差由 RF 频率测量精度要求确定,1kHz 对应于 330MHz 时的 3ppm(parts per million,1ppm = 0.0001%)。Analog Devices ADF4360-8 用作 PLL,为 LOC 生成 90MHz 的采样频率,为 GP 生成 120MHz 的采样频率。

7) 测试接口

提供双模拟输出,用于使用示波器进行现场测试和调试。FPGA 内部 IF 和音频信号的各种组合可以通过 Hex 开关进行选择,并输出到 DAC。信号可从板卡正面的两个 SMB 插孔 J13 和 J14 测量。J9 连接器输出基准时钟。

8) 射频前端

前端由 DS、CL、CLR 和 NF 四个通道组成。在输入端有一个 π 型衰减器,用于改善输入匹配并将 RF 信号衰减到合适的电平。频段切换(LOC 或 GP)由 Hittite HMD544E 开关完成。在 GP 通道输入端有另一个开关为 LOC 部分提供良好的隔离。频段选择后有另一个 π 型衰减器,衰减后经切比雪夫滤波器 LOC 72~158MHz / GP 272~384MHz 和新的另一 Hittite 频段选择开关。在 ADC 之前添加了一个 Mini-Circuits 陶瓷低通滤波器,以滤除 800MHz 以上信号。

9) A/D 转换

理论上输入范围为 0~-45dBm。包括峰值功率和补偿,A/D 的动态范围为 55dB。为此,使用了 12 位 A/D 转换器。

注意,欠采样应选择合适的采样频率使得信号的镜像不重叠。考虑航向与下滑的频段范围和信号带宽,为确保无混叠数字化,最佳采样频率如下:

LOC: 88.0~146.7MHz

GP: 147.6~189.7MHz 或者 102.2~120.7MHz

设备的实际采样频率设置为 90MHz(LOC)和 120MHz(GP)。A/D 转换后数字化射频信号的频率范围为 18~22MHz(LOC)和 24~32MHz(GP)。

Linear Technologies LT2145-12 用作 A/D 转换器。

根据数据手册中的建议,基于射频变压器的输入电路用于单端到平衡的转换。选择 Mini-Circuits 的射频变压器 TC1-1-13MX+ 和 TC2-72+。

10) FPGA

使用的 FPGA 是 Altera Cyclone III 系列 EP3C40F484I7N。配置如下:

逻辑元件:	39600 个
乘法器 (18×18):	126 个
存储器块 (9×1024):	126 个
锁相环:	4 个
核心电压:	1.2V
工艺技术:	65nm

该器件有错误检测功能,利用该功能完成:加载配置文件时对配置数据进行基于帧的 CRC 检查;运行时软错误检测,检测内部配置 RAM 的变化。专用电路持续计算配置内容的 CRC(32 位 IEEE 802),并将其与配置时加载的预计算值进行比较。检测到 CRC 错误后,CRC_ERROR 输出端将触发主复位,从而启动设备重新配置。

FPGA 内部各模块可参考 B4 手册中的框图,组成如下:

(1) SPU 信号处理单元: FPGA 包含四个 SPU,CL、DS、NF 和 CLR 通道各一个。每个 SPU 都执行相同的功能。

数字化的采样信号从 A/D 转换器馈送到 SPU 内的下变频混频器。具有 I 和 Q 输出的数字混频器接收数字本振(NCO)生成的正交载波信号,并和采样信号进行混频,其优势为下变频过程不产生镜频干扰和节省处理带宽。 I 、 Q 信号经过两个降采样滤波器,首先进行低通滤波,把信号带宽限制在降采样之后能够无混叠的范围内,在降低信号采样率的过程中,尽可能保留所需频带内的信号信息,避免因混叠引入失真。滤波器的参数 D 为抽取因子(Decimation Factor),表示信号采样率的降低比例。例如,若原始采样率为 90MS/s(每秒 90M 次采样),经过抽取因子 $D=6$ 的降采样后,新采样率为 15MS/s。 N 为滤波器阶数(Filter Order),直接影响滤波器的性能, N 越高,通带与阻带的过渡带宽越小,过渡带越陡峭,阻带衰减越好,但计算量越大。 N 过低,可能导致混叠或信号失真。经过滤波器后,采样率为 3MS/s,该信号被馈送到希尔伯特(Hilbert)变换器,希尔伯特变换器对 Q 路信号延时 90° 相移,同时为确保两路信号的数据位运算同步, I 信号通道延时 T 。变换器构成频谱仅含正频率分量的复信号,降低信号的带宽。需要解调的输出信号在到达 AM 检波器之前被复用到一个通道滤波器和另一个复用器中。AM 检波器采用了希尔伯特变换提高了解调的精度,检测到的数据以 50kS/s 的速率输出到多路复用器,再馈入音频滤波器。解调公式如下:

$$|z(t)| = \sqrt{\underbrace{[A(t)\cos\omega_0 t]^2}_{I^2} + \underbrace{[A(t)\sin\omega_0 t]^2}_{Q^2}} = A(t)$$

音频滤波器的输出被馈送到多路复用器以及测试生成器,测试生成器为每个通道生成

一组周期性的退化样本。MO1820A 使用测试生成器产生的数据来检查数据通道是否处于活动状态。若通道检查的结果不在正常与异常之间切换,则会引起设备主备转换或关机。

所有这些数据都被送入离散傅里叶变换(DFT),该变换以 10S/s 的速率将数据输出到幅度和相位计算器模块。模块输出的是直流电平(RF 功率)、CL、DS、NF 和 CLR 的 90Hz 和 150Hz 调制深度,以及相同通道的测试信号(周期性退化)和语音、噪声和谐波调制深度以及 LF 相位数据。

(2) 主数据缓冲器/调制计算/射频电平计算:来自四个 SPU 的数据被馈送到主数据缓冲器,并由调制计算和射频电平计算模块使用,以计算 SDM、DDM 和 RF 电平的原始值,数据值可以在 RMM 程序显示。数据被发送到多路复用器,并进一步发送到 FIFO 和 CRC/串行化功能模块,准备传输到监视器 MO1820A。

(3) 维护参数:除了主要参数,另一个模块还对计算差频所需的 CL 和 CLR 通道的 RF 频率进行计数。此外,还计算/检查识别调制深度和莫尔斯电码。这些参数与 SDM/DDM 和 RF 一起构成监视器 MO1820A 的主要参数。

CL 和 CLR 信号相对于载波的 RF 频率、CL 和 CLR 信号的 LF 相位以及语音/噪声和谐波调制深度构成了发送到 MO1820A 的维护数据。

(4) MO/MF 数据接口:监视参数经多路复用后存入 FIFO 队列,随后在串行化模块中添加数据包 CRC 校验码。维护数据也遵循相同处理流程。

2. MF 监视前端的测量

监视前端的调整点如图 3.113 所示。

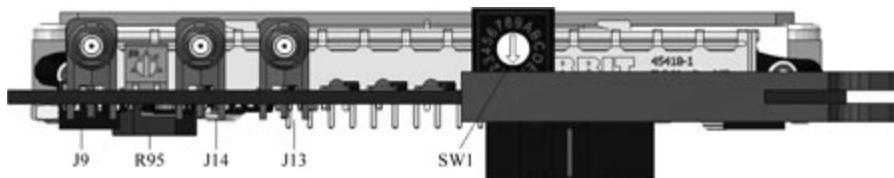


图 3.113 监视前端的调整点

1) J9 和 R95

R95 用于微调 ADC 时钟频率。该时钟出厂时已校准,通常不应改动。但由于老化,频率可能产生 \pm ppm 级的偏移,此时可用 R95 进行微调。调试时,使用 50 Ω 阻抗的 SMB 接口线缆将频率计连接至 J9 测试点,调节 R95 使频率稳定在 20(\pm 3ppm)MHz(60Hz)范围内,如图 3.114 所示。

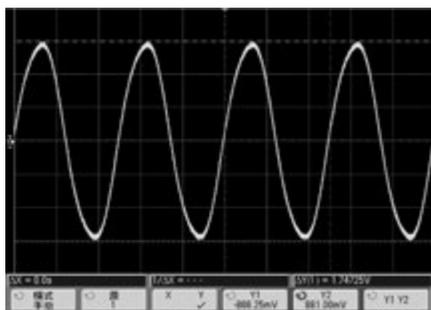


图 3.114 20MHz 时钟信号

2) J13、J14 和 SW1(仅限调试使用)

SMB 测试连接器 J13 与 J14 在 50Ω 负载下的标称电平为 250mV (峰-峰值)。通过十六位拨码开关 SW1,可将如表 3.14 所示的信号切换至 J13 和 J14 用于测试与调试。

音频通道显示解调波形,而 IF 通道显示中频(500kS/s)的 ILS 信号。所有信号都是 MF FPGA 中信号处理单元的输出,如表 3.14 所示。

表 3.14 MF 测试与调试信号

DAC_选择(SW1)	DAC 通道 1	DAC 通道 2
0x00	关闭	关闭
0x01	NF 音频	DS 音频
0x02	CL 音频	CLR 音频
0x03	NF 中频	DS 中频
0x04	CL 中频	CLR 中频
0x05	NF 音频	NF 中频
0x06	CL 音频	CL 中频
0x07	CLR 音频	CLR 中频
0x08	DS 音频	DS 中频
0x09~0x0f	关闭	关闭

图 3.115~图 3.118 为部分测试波形。

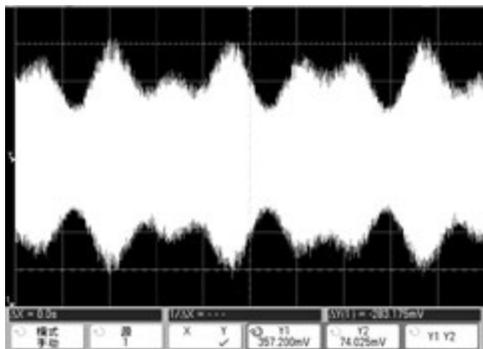


图 3.115 CL IF 中频信号

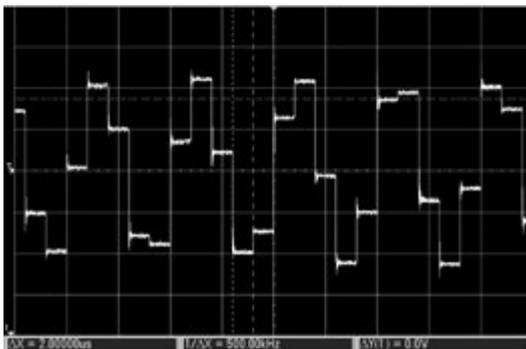


图 3.116 CL IF 中频信号的采样频率为 500kS/s

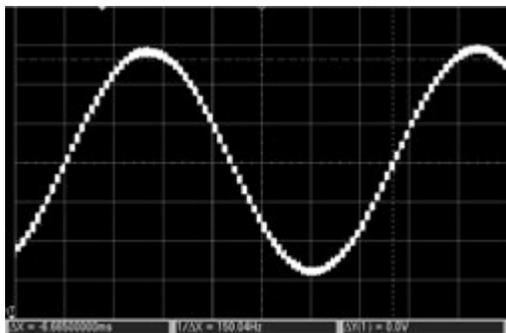


图 3.117 关闭 90Hz 调制信号后解调的音频信号

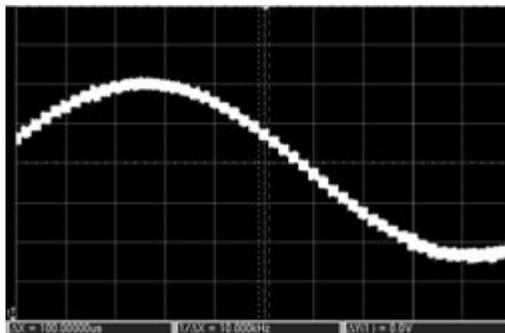


图 3.118 解调的音频信号的采样率为 10kS/s

3. MF 监视前端板的维护参数

MF1821A 维护参数菜单如图 3.119 所示。维护参数名称及含义如表 3.15 所示。

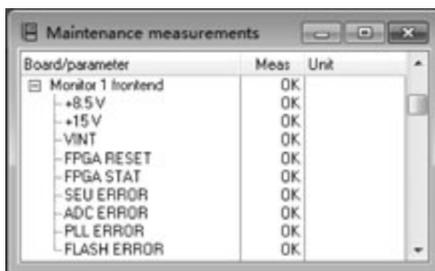


图 3.119 MF1821A 维护参数菜单

表 3.15 MF1821A 维护参数名称及含义

参数名称	参数含义
VINT	检测到所有内部电压正常
FPGA RESET	指示 FPGA 是否卡在复位状态
FPGA STAT	检测 FPGA 信号处理中的错误
SEU ERROR	检测 FPGA 中的单粒子翻转现象
ADC ERROR	检测两个 ADC 中的错误
PLL ERROR	检测生成采样频率的锁相环(PLL)失锁异常
FLASH ERROR	检测闪存中的 CRC 校验错误或读/写错误

3.10.2 监视器 MO1820A

监视器 MO1820A 从监视前端 MF1821A 和 FFM 接收监视参数和维护参数数据,此外还产生用于天线 DC-Loop 的基准电压和具有相应的检测电路。该模块采用 FPGA 处理所有输入参数,并为台站控制提供监控比较器功能。一个独立的 CPLD 为终结器提供比较和告警生成。FPGA 连接到 RMS 总线,用于参数/状态读取和模块配置。监视器包含独立于 FPGA 的自测电路和电压监控。

1. MO 监视器原理框图

监视器原理框图如图 3.120 所示。

1) 供电

该单元使用 15V 和 5V 系统电压作为内部开关稳压器的输入。内部电压主要为 3.3V、2.5V、1.8V 和 1.2V。-15V 和 8.5V 系统电压不被本模块使用。

2) 电压监视

电压监视器检查外部电压和内部的电压,任何故障都会产生一个 Power Good 故障,该故障会馈送到看门狗和重置模块。

板卡正面的三个 LED(顶部 D12,底部 D29)指示电压监控的状态。

D12: 输入电压 15V—OK。

D13: 输入电压 +VDD—OK。

D29: 内部电压(3.3V、2.5V、1.8V、1.2V)—OK。

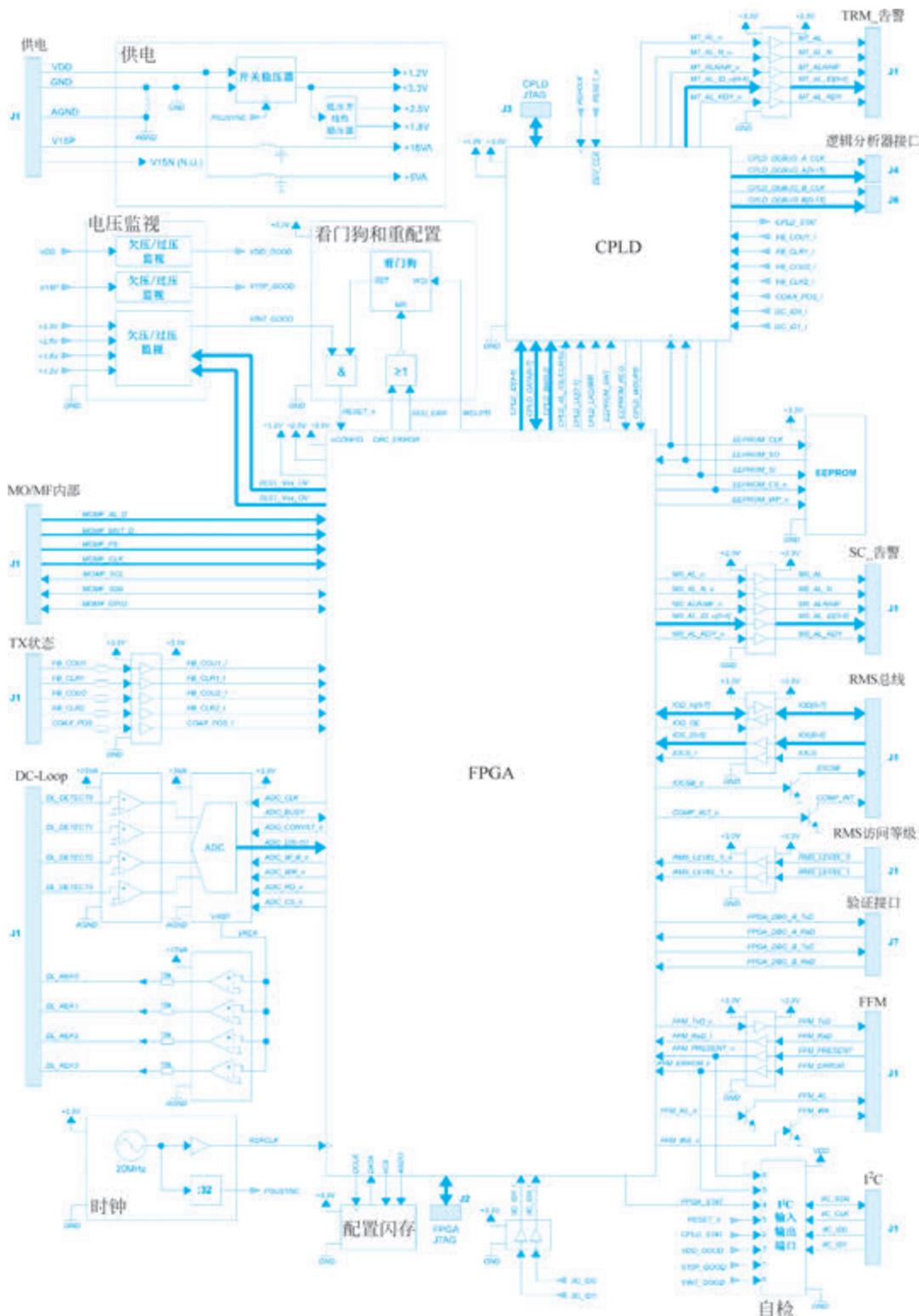


图 3.120 监视器原理框图

3) 看门狗和重置

该模块检查来自 FPGA 的看门狗更新信号和来自电压监视模块的 Power Good 信号。任何这些线路的故障都会复位 FPGA。CRC 错误和 SEU 错误也将复位 FPGA。

4) DC-Loop

DC-Loop 模块产生四个直流回路基准电压,这些基准电压被馈送到天线分配单元 (ADU)、天线、监视混合单元(MCU)和用于发射及监视的射频电缆。返回的电压在馈送到 FPGA 之前进行缓冲和数字化处理。任何开路性的天线故障都会导致其中一个直流回路电压发生偏移,因此监视器可以检测到具体哪个天线有故障。DC-Loop 与旧的 MO1212 兼容。

5) 自检

自测部分通过 I²C 接口提供有关 FPGA 和 CPLD 状态以及内部/外部电压的信息。

6) 配置闪存

配置闪存存储用于启动时加载的 FPGA 映像文件。该设计采用一片 Altera 串行闪存作为映像存储介质,用户可通过 JTAG 接口经 FPGA 将映像文件下载至配置器件。

7) EEPROM

采用非易失性存储器存储告警门限、延时参数及校准/配置值,所需总存储容量大于或等于 1024 字节。基于功能安全考量,优先选用 EEPROM 器件,最终选定安森美半导体 (ON Semiconductor)的串行器件 CAT25640VI-G。

所有告警门限值均存储在 EEPROM 的两个独立区域,一组供 FPGA(连接至台站控制)使用,另一组专用于 CPLD(终结器)。为确保告警门限值的可靠性,已采用多重安全防护机制。

8) 时钟

采用标准 20MHz 低功耗晶体振荡器作为基准时钟源。

9) FPGA(现场可编程门阵列)

使用的 FPGA 是 Altera Cyclone II 系列 EP2C8F256I8N。FPGA 关键参数如下:

逻辑元件:	8256 个
内存块 (9×512bit):	36 个
锁相环:	2 个
核心电压:	1.2V
工艺技术:	90nm

FPGA 内部各模块可参考 B4 手册的框图,组成如下:

(1) MO/MF 数据接口:本模块接收来自 MF 的测量数据(含监视数据与维护数据)。执行数据解串、数据包 CRC 校验、数据缓冲等操作,并将数据发送至主数据预处理器与定序器。维护数据则传输至专用维护数据定序器。

(2) 主要数据预处理器和定序器:本模块输出解串后的数据,包括告警 ID(内部编号)、参数 ID、参数测量值及 CRC 校验码。该数据发送至台站控制模块进行与告警门限值的对比,同时传输至参数完好性检查模块。

(3) 参数完好性检查:该模块检查 CL、NF、CLR 和 DS 的 SDM、DDM 和 RF 数据是否存在正常与告警之间的切换。告警数据在 MF FPGA 中通过对主 SDM、DDM 和 RF 进行

采样并周期性地退化数据而生成。当所有这些数据在 MO 接收后验证存在退化时,数据通道才被判定为有效。

模块的另一部分计算数据块的 CRC,并将其与附加的 CRC 进行验证。

模块的第三部分(测试信号检查)执行高级计算,以查找在切换检查中不可见的存在问题的数据低位。

这三个完好性检查的状态被发送到台站控制,如果其中任何一个检查失效,台站控制将把所有告警参数设置为原始告警,持续 1s,从而有效地强制设备进行转换/关闭。

(4) MO/MF 控制接口:该接口通过读取 MF1821A 的扩展寄存器获取状态。这些寄存器用于读取 MO/MF 设备的综合状态、读写 MF 校准参数,以及激活维护测试。

(5) DC-Loop ADC 接口:该模块从 ADC 接收数字化直流回路电压,添加 ID 和 CRC 并将它们发送到台站控制/终结器进行告警检查。

(6) FFM 接口:该接口通过 UART 从外部 FFM 控制器接收数据。检查消息是否存在 CRC 错误,并将其拆分为数据包供监视器(RF/DDM/SDM)使用,并在台站控制和终结器中进行检查。另一个数据包被发送到维护部分。

(7) TX 状态接口:该部分检查来自航道发射机的反馈信号是否变化,若这些信号状态变化过快,则将监控的信号置于告警状态几秒。

(8) 时钟和复位:基准时钟被馈送到提供主时钟信号和复位信号的 PLL 中。

(9) TEST_RF 计算:TEST_RF 预处理通过从输入值中减去 CL_RF_LEVEL 来归一化 TEST_RF_LEVEL。

(10) EEPROM 接口/总线矩阵:EEPROM 接口从 EEPROM 中读取数据(告警门限),并使其可用于台站控制和终结器。当 rms_level_1 为低电平且 RMS 请求告警门限发生变化时,该接口把新门限值写入 EEPROM。它还处理 CRC 检查和 CRC 生成。

(11) 配置控制器:配置控制器从 EEPROM 读取存储的数据,并将其提供给监视器的各部分。这包括:

NF_CLR_TEST_CONFIG:该指令告知监视器是否安装了 CLR 和 NF。

MO_CONF:该指令告知监视器执行比对 IDENT_KEY 和 FFM 是否执行告警触发停机。

(12) RMS 接口:RMS 接口接收访问级别的状态,从而确定写保护是否启用。其与 RMS 板卡进行通信,从 RMS 板卡向监视器发送指令,且所有维护参数均发送至 RMS 板卡。RMS 板卡还接收来自扩展寄存器的状态信息。

(13) 比较器台站控制:比较器接收主要监视参数的测量数据(所有通道的 RF、SDM、DDM,频差,CL 和 CLR 识别电平和状态、直流回路、FFM SDM/DDM 和 RF 以及测试通道的切换)并根据告警门限检查数值。任何超出门限的参数都将导致该参数的原始告警并启动延迟计数器。若原始告警一直存在,则延迟计数器向上计数,达到延迟门限时把参数设置为延迟告警。

告警状态被发送到发射机控制组件(TCA1218)的台站控制模块。若出现任何延迟告警,则 TCA 将转换或关闭发射机。

作为一项安全措施,台站控制部分包含一个名为 HRA 的模块,代表保持原始告警。如果发生以下事件:

- ① 来自参数完好性检查部分的切换错误。
- ② 来自参数完好性检查部分的测试信号检查。
- ③ 来自参数完好性检查部分的 CRC 检查。
- ④ 与 MF 板件的通信错误(mf_al_err)。
- ⑤ 从 MF 板件(id_err)接收到错误的参数 ID。

此模块会将所有参数置于原始告警 1s。

10) 复杂可编程逻辑器件(Complex Programmable Logic Device,CPLD)

监视器 CPLD 框图可参考 B4 手册。

终结比较器使用了 Altera 5M2210ZF256I5N MAX V CPLD。CPLD 是一种用户可自定义逻辑功能的数字集成电路器件,优点是非常低的功耗和非易失性配置存储器(闪存)。

CPLD 关键参数如下:

逻辑元件:	2210 个
等效宏单元:	1700 个
用户闪存:	8kbit
核心电压:	1.8V
工艺技术:	180nm

CPLD 基本上是 FPGA 的参数完好性检查和台站控制部分的复制。选择了另一个器件系列的 CPLD,以确保在处理同一数据集时具有很强的独立性。CPLD 与 TCA1218D 的终结器通信。

2. MO 监视器的维护参数

MO1820A 维护参数菜单如图 3.121 所示,维护参数名称及含义如表 3.16 所示。

Board/parameter	Meas	Unit
Monitor 1	OK	
-FPGA STAT	OK	
-CPLD STAT	OK	
+5V	OK	
+15V	OK	
-VINT	OK	
-DS 180HZ	0.2	%
-DS 270HZ	0.1	%
-DS 300HZ	0.1	%
-DS 450HZ	0.0	%
-CLR 180HZ	0.2	%
-CLR 270HZ	0.4	%
-CLR 300HZ	0.0	%
-CLR 450HZ	0.1	%
-CL PHASE	0.0	°
-CLR PHASE	0.4	°
-30HZ PHASE DIFF	0.4	°
-CL RF FREQ	-5.3	kHz
-CLR RF FREQ	4.7	kHz
-DS VOICE	0.1	%
-DS NOISE	0.1	%
-CLR VOICE	0.1	%
-CLR NOISE	0.1	%

图 3.121 MO1820A 维护参数菜单

表 3.16 MO1820A 维护参数名称及含义

参数名称	参数含义
FPGA STAT	检测 FPGA 信号处理过程中的错误
CPLD STAT	检测 CPLD 信号处理过程中的错误
DS/CLR ** HZ	DS/CLR 信号中的 ** HZ 成分,仅在 MANUAL 模式和备机关闭的情况下测量,没有测量,显示 N/A
CL/CLR PHASE	CL/CLR 调制音频信号 90Hz 与 150Hz 之间的相位差(°)
30Hz PHASE DIFF	基于合成的 90Hz 和 150Hz 曲线形态,测量 CL 与 CLR 低频信号间的相位差(°)
CL RF FREQ	测量 CL 载波相对于标称载频的频率偏差(在单载频设备中,该值等于载波频率)
CLR RF FREQ	测量 CLR 载波相对于标称载波频率的频率偏差(在单频设备中,此值为 N/A(不适用))
DS/CLR VOICE	测量 DS/CLR 通道 300~3000Hz 范围内的频率
DS/CLR NOISE	在 10~300Hz 范围内(不含 90Hz/150Hz/180Hz/270Hz 及 300Hz 频率点)的最高测量值

3.10.3 监视器的设置与调整

1. 监视器配置菜单

监视器配置菜单如图 3.122 所示。



图 3.122 监视器配置菜单

从菜单中选择 ILS Settings→Monitoring→Monitor Configuration。对应部分选项如下：

- (1) 设备类型选择 LOC/GP。
- (2) 设置频率,通道 0 和通道 41 用于测试,不使用。
- (3) 设置 FFM 远场监视告警是否控制设备转换或关闭。
- (4) 设置内部测试配置,选项如表 3.17 所示。

表 3.17 TEST config 设置选项及作用

MONx_TEST_CONFIG 设置	作用
Disable NF&CLR test	单频设备无 NF,CLR 与 NF 告警门限为 OFF
Disable CLR test	单频设备带 NF,CLR 告警门限为 OFF
Disable NF test	双频设备无 NF,NF 告警门限为 OFF
All enabled	双频设备带 NF

内部测试属于持续运行的完好性检查。监视器为数字式设备,已采取严格的安全措施确保 FPGA 的完好性。所有四个射频通道均受到持续监控,以检测其是否能正常监控数据及有无其他故障。

为使这些内部测试正常运行,必须为监视器配置启用的信道(即存在信号的信道)。

告警门限设为 OFF 的参数应排除在此项测试之外。例如,在 Normarc 7014B 配置中,备机监视器应设为“禁用 NF 测试”(未安装 STBY NF),MON1/MON2 则设为“全启用”。

2. 监视器通道校准与门限设置

1) RF 电平调整

RF 电平标称值调整如图 3.123 所示。

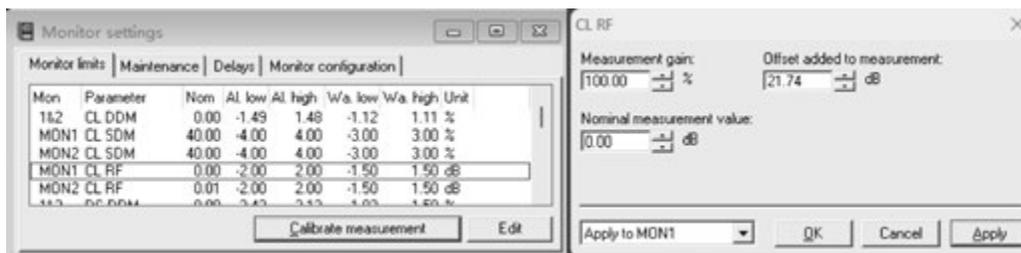


图 3.123 MF RF 通道校准

从菜单中选择 ILS Settings→Monitoring→Monitor limits→Calibrate measurement。

应通过设置对应参数及其监视值的偏移量,在 RMM 程序中将 RF 电平调整至 0dB。简便的调整方法是各参数及其监控项的偏移量设为 0dB,开启发射机后读取参数 RF 电平值,并记录监视读数。若监控读数为 -21.74dB,则在偏移量输入该数值的相反数(即 21.74dB),并应用于当前调整的监视项。此调整程序必须对所有在用监视项及各通道重复执行,包括 CL、DS、CLR 及 NF。

设置 RF 电平告警门限值:

从菜单中选择 ILS Settings→Monitoring→Monitor limits→Edit。

设置 RF 的告警门限值,具体门限值根据设备类别和校飞结果设置。

对所有监视器,重复设置其 CL、DS、CLR 及 NF 参数的告警门限值。

设置 RF 单位:

当所有在用监视器均已调至 0dB 且告警门限值设置正确后,可更改 RF 电平的单位。若选择伏特(V),其标称值将为 3.0V,以保持与旧版的兼容性。切换 RF 电平单位时,程序将自动双向重新计算告警门限值。

2) SDM 调整

SDM 标称值调整如图 3.124 所示。

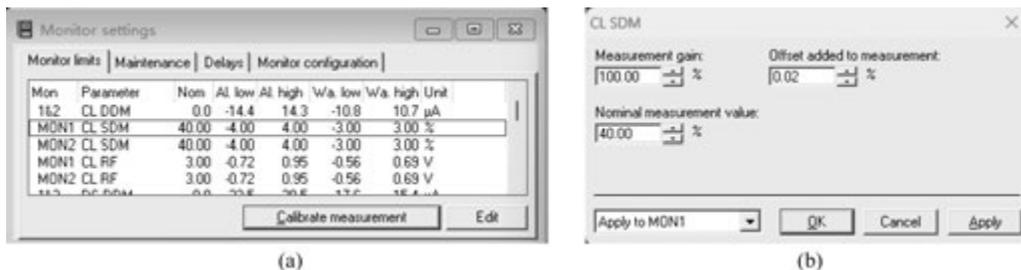


图 3.124 MF SDM 标称值调整

调整 SDM 值,使数值与连接到对应通道的 PIR 的监视输入信号测量读数相同。标称值通常为 40%(LOC)或 80%(GP)。使用偏移量对测量值进行微调。该操作须对所有正在使用的监视器及所有信道重复执行,即 CL、DS、CLR 和 NF。

SDM 的告警门限参考设备手册设置,对所有监视器,重复设置其 CL、DS、CLR 及 NF 参数的告警门限值。

3) DDM 调整

DDM 标称值调整如图 3.125 所示。



图 3.125 MF DDM 的标称值调整

验证 DDM 值是否与连接对应通道上的 PIR 的监视输入信号测量读数相同。通常,标称值: CL 和 NF 为 $0\mu\text{A}$; DS 为 $150\mu\text{A}$ 或 $75\mu\text{A}$; CLR 为 $280\sim 514\mu\text{A}$ 。

若需将测量值调整为显示 $0\mu\text{A}$,则使用偏移量设置。图 3.125 为 LOC DS 的设置,其值为 $150\mu\text{A}$ 。调整后,在输入 $-150\mu\text{A}$ 时,监视器将显示 $0\mu\text{A}$ 。

在正确调整的系统中,将标称值设为 $150\mu\text{A}$ 且偏移量设为 $0\mu\text{A}$,监视器将显示 $150\mu\text{A}$ 作为监视值。

DDM 的告警门限根据设备类别和校飞结果设置,个别门限值参考设备手册设置。对所有监视器,重复设置其 CL、DS、CLR 及 NF 参数的告警门限值。

3.11 控制与 RMS 部分(B4)

3.11.1 发射机控制组件 TCA1218D

发射机控制组件 TCA1218D 由发射机控制 TC1216B 和本地控制面板 LC1217C 组成,结构如图 3.126 所示。区别于之前的版本,TCA1218D 在 AUTO 切换到 MANUAL、在 2、3 级登录且禁止写保护、遥控切换到本地等情况下,将会自动控制关机 20s,维护时应避免操作错误导致关机。

本地控制面板 LC1217C 由用于本地控制 ILS 的按钮和开关以及用于状态指示的 LED 组成。它通过扁平电缆连接到发射机控制板。

发射机控制模块 TC1216B 包含用于控制发射机的逻辑。该模块分为台站控制部分和终结器部分。台站控制和终结器将彼此独立运行。

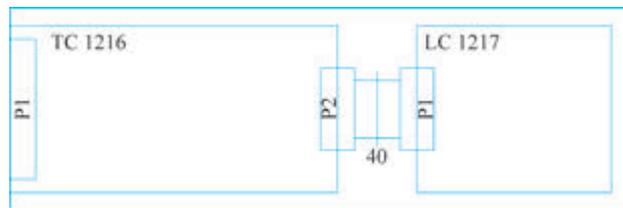


图 3.126 TCA1218D 结构

1. TC1216B 模块

TC1216B 原理框图如图 3.127 所示。

(1) 连接器: 通过 96 针欧式连接器 P1 实现与 ILS 机柜背板的连接,与前面板 LC1217 的连接则通过 40 针扁平线缆连接器 P2 实现。

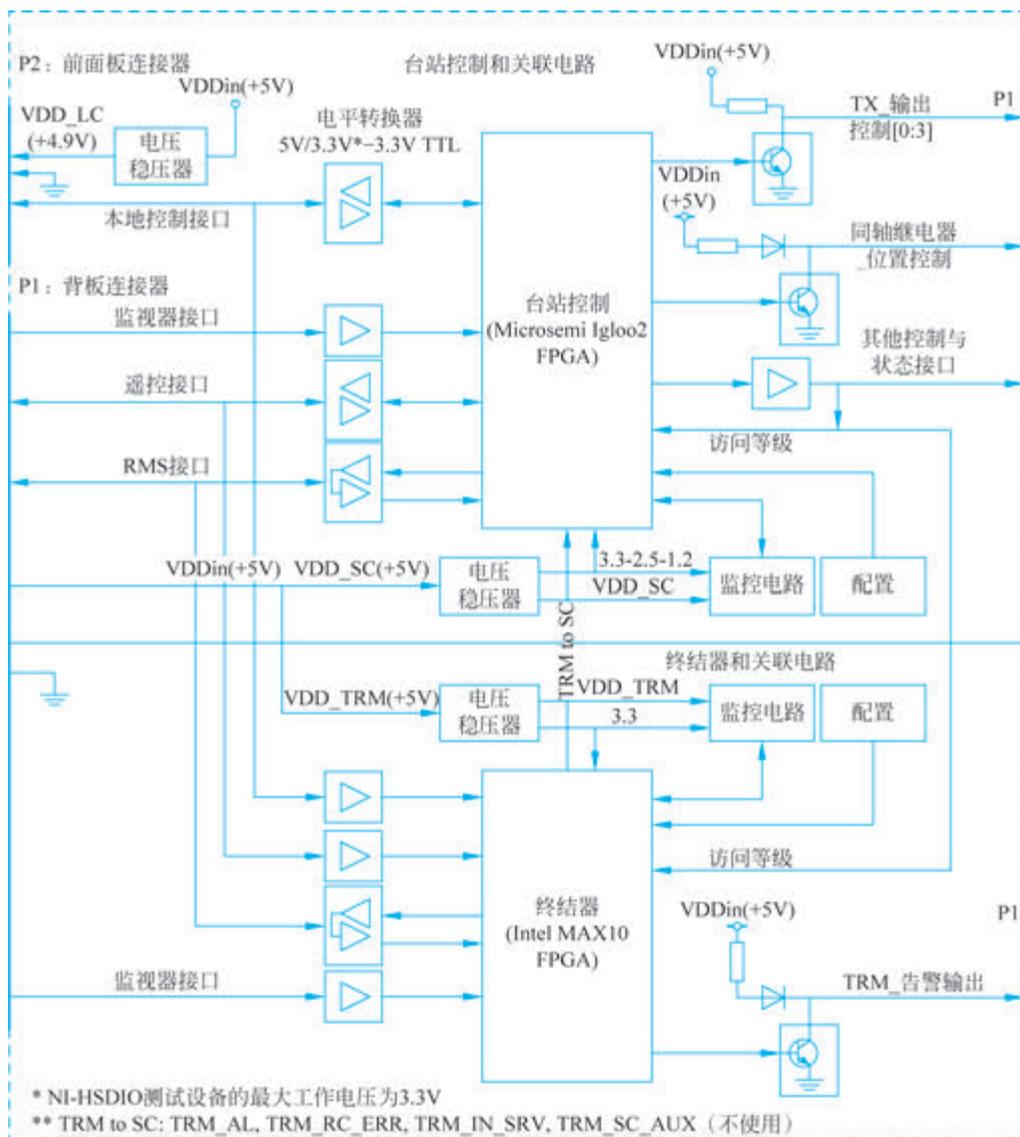


图 3.127 TC 1216B 原理框图

(2) 供电：电源输入为来自背板连接器的 5V 直流电。采用带限流器的低压差稳压器 (LDO), 为电路板上的台站控制和终结器部分提供短路保护。5V 输入也通过前面板连接器为前面板上的 LED 指示灯供电。未连接前面板时, 总电流消耗小于 100mA。

(3) 独立性：电路板上的台站控制部分和终结器部分采用相互独立的设计, 以避免发生不安全的共因故障。

(4) FPGA 之间的连接：FPGA 之间的连接数量被控制在最低限度, 并采用串联电阻设计, 以防止单一 FPGA 的故障影响另一 FPGA。从 TRM 到 SC 传输的必要信号包括 TRM_AL(终结器检测的告警)、TRM_RC_ERR(与远程控制的通信错误)以及 TRM_IN_SERVICE(终结器检测的维护模式状态)。

(5) RMS_LEVEL0_N 与 RMS_LEVEL1_N 信号回读：访问级别输出信号被反馈至

FPGA,以验证输出信号与解码后的访问级别是否一致。采用串联电阻设计,防止单一FPGA的故障影响另一FPGA。

(6) 配置: SC与TRM FPGA拥有独立且相同的配置跳线排。配置选项如表3.18和表3.19所示。

表 3.18 通过 U70/U130 可以实现的配置选项

跳线	CNF_参数名称	连接/不连接	注 释
1	CNF_ILOCK	连接	非互锁
		不连接	互锁
2	CNF_HOT_STB	连接	非热备份
		不连接	热备份
3	CNF_FRQ1_N	连接	单频 ILS
		不连接	双频 ILS
4	CNF_VOT22_N	连接	2/2 表决(默认)
		不连接	1/2 表决
5	CNF_RCERR_TX_OFF	连接	与遥控器断开连接时,发射机不会关闭。 注意:若系统启动时未连接遥控器,且发射机在本地模式下开启,则当系统切换至远程模式时,发射机将关闭
		不连接	与遥控器断开连接时,将会关闭发射机(默认)。 有关关闭延时的设置,参见 U71/U131 设置
6	CNF_WRENA_SRV	连接	禁用写保护(水平放置)不会触发 SERVICE 维护模式状态。此设置用于需始终允许 3 级登录的场合。此配置下若启用写保护(垂直放置),则将激活维护模式状态。 注意:在此配置下,当通过 RMS 以 2 级或 3 级登录且禁用写保护时,发射机将关闭 20s 后方可重新启动
		不连接	禁用写保护(水平放置)会触发维护模式状态(默认)
7	CNF_ACC_GR_OVR_N	连接	遥控器上的 ACCESS GRANT(访问授权)开关已被忽略
		不连接	必须将遥控器上的 ACCESS GRANT 开关置于授权位置,才能从 RMM 系统获取 2 级或 3 级访问权限(默认)
8	CNF_LOC_SELECT	连接	告知 RMS 系统此为 GP
		不连接	告知 RMS 系统此为 LOC
9	备用(未使用)	—	—
10	RESET_MASTER_PW_N	连接	U70 未使用; U130,主密码重置
		不连接	默认

表 3.19 通过 U71/U131 可以实现的配置选项

跳线	CNF_参数名称	连接/不连接	注 释
1	CNF_LONG_RCERR_DLY	连接	中断 2s 后检测到 RC 错误;对于 RCA1750 是 5~8s,取决于协议(使用 V.22bis 时 5s)
		不连接	中断 30s 后检测到 RC 错误
2	CNF_ILOCK_ON_DELAY	连接	发射机在互锁开启之后被打开
		不连接	发射机在互锁开启 20s 之后被打开

续表

跳线	CNF_参数名称	连接/不连接	注 释
3	CNF_MSEL_AT_CHOVR_N	连接	主用跟随 RC 的转换操作
		不连接	主用不受转换操作的影响(默认)
4	备用(未使用)	—	—
5	备用(未使用)	—	—
6	CNF_RC_TX_ON_AIR_SRV_N	连接	若发射机处于辐射状态且维护模式状态开启,则向 RC 发送指示信号(RI_AUX_to_RC[1])
		不连接	所有 AUX 输入信号传输至 RC(默认)
7	CNF_SPLIT_AL_SRV	连接	RCA 上的维护模式状态指示灯仅在 RMS 以 2 级或更高级别访问 TCA 时激活
		不连接	RCA 上的维护模式状态指示灯与 TCA 维护模式状态指示灯保持同步(默认)
8	备用(未使用)	—	—

通过跳线 $S_{70} \sim S_{73}$ (SC) 和 $S_{130} \sim S_{133}$ (TRM) 设置远端端口的最高访问级别。配置选项如表 3.20 所示。

表 3.20 通过 U70/U130 可以实现的配置选项

端 口	访问级别 2	访问级别 3
Remote 1	S_{70} 和 S_{130} 连接	S_{71} 和 S_{131} 连接
Remote 2	S_{72} 和 S_{132} 连接	S_{73} 和 S_{133} 连接

2. 台站控制

发射机转换和控制系统主要是控制发射机的开/关状态。这是基于来自监视器的告警输入、远程控制的输入、本地按键组(前面板)的输入以及远程监控和测量系统 RMM 的输入来完成的。若发射机或天线系统发生故障,则监视系统将向台站控制发出告警。根据告警状态和当前的运行模式,台站控制决定是否应该进行转换/关闭。台站控制单元还接收来自远程控制(如互锁)和 RMM 系统的用户/状态输入。

台站控制逻辑在 Microsemi Igloo2 FPGA 中实现。Igloo2 使用基于闪存的配置,具有 SEU 抗扰性,非常适合安全关键型应用。

图 3.128 展示了台站控制的相关电路和接口。

(1) 监视器接口: 监视器接口接收 32 个通道的告警状态。SC 配备两个独立的接口用于监视器 1 和监视器 2; 此外,还有一个简化的接口,仅使用告警触发脉冲信号和告警状态,用于备机监视器接口。

(2) 本地控制接口: 来自前面板接口的输入信号均通过缓冲器/电平转换器传输至 SC FPGA。前面板的 21 个 LED 指示灯由 SC FPGA 经驱动电路控制。

(3) 远程控制接口: RC IF 由一个用于与 RC 遥控器通信的串行接口,以及用于在背板连接器和 RC 之间传输状态信号的辅助输入和输出组成。

(4) RMS 接口: 一条 8bit 数据总线用于在 RMS 与 SC FPGA 之间,以及 RMS 与

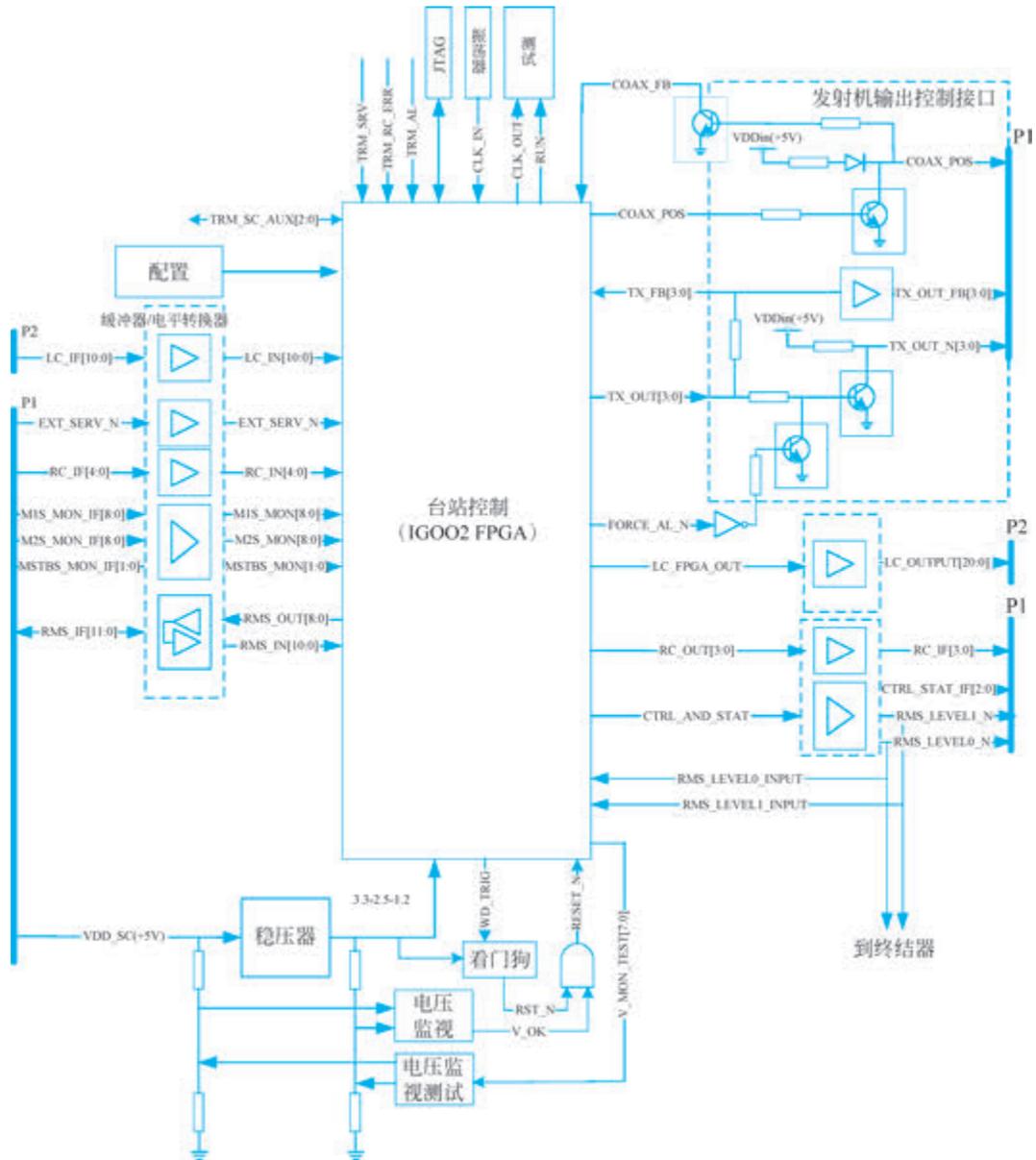


图 3.128 台站控制的相关电路

TRM FPGA 之间传输数据。SC FPGA 和 TRM FPGA 均设有独立接口电路。图 3.129 展示了 RMS 总线接口及其中断输出信号 TC_INT。

板卡地址 0x12 用于台站控制接口。每个 FPGA 均设有独立接口,图 3.129 展示了其中某个 FPGA 的接口连接方式。

(5) 发射机控制和状态接口: 该接口包含用于控制发射机开关的 TX_OUT[0:3]信号、控制天线切换开关的 COAX_POS 信号、发射机开关状态及天线继电器位置信号。所有控制信号均来自 SC FPGA。

(6) RMS 访问等级: 经解码的 RMS 访问等级通过输出信号 RMS_LEVEL0 与 RMS_

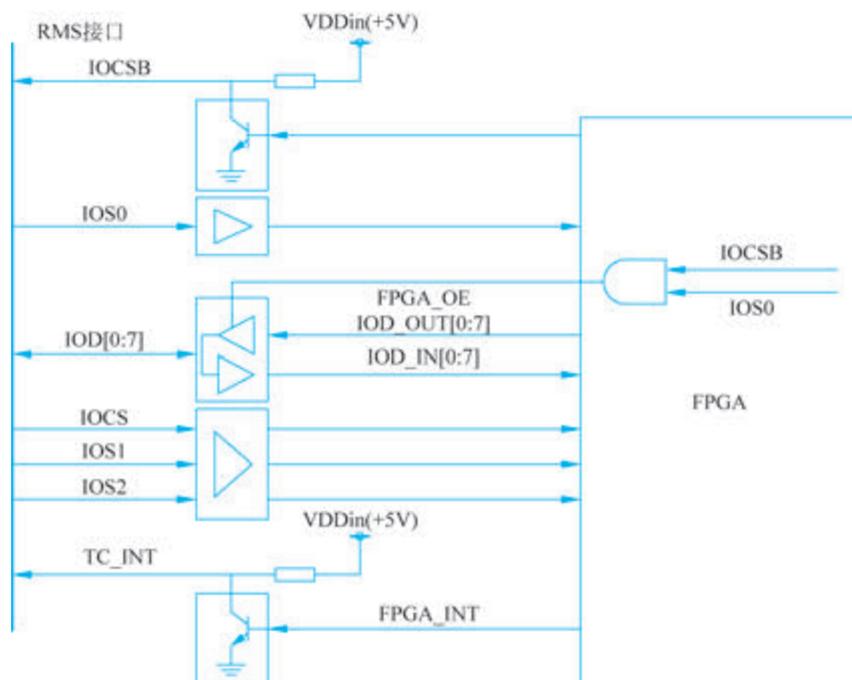


图 3.129 RMS 接口

LEVEL1 发送至其他设备模块。

(7) 其他控制和状态接口：这包括指示哪台发射机被选为主发射机的 MAIN_SEL 状态。EXT_SERVICE 则是来自外部板卡的维护状态输入信号。TXC_INT 是 RMS 的中断信号，可由台站控制和终结器激活。

(8) 直流电压：来自背板的输入电压通过带过流保护的 3.3V 稳压器进行保护，该 3.3V 电压进一步降压转换为 Igloo2 FPGA 所需的 2.5V 及 1.2V 工作电压。

(9) OV/UV 监视：5.0V 输入电压及所有内部生成电压均接受过压(OV)与欠压(UV)监测。过压及欠压故障可通过 RMS 控制的完好性测试进行模拟。若任何电压值超限，则 FPGA 将被复位。

(10) 看门狗：如果电路未被 FPGA 触发，外部看门狗电路就向 FPGA 发出器件复位信号。

(11) 时钟振荡器：为 SC FPGA 提供时钟输入的是一个独立的 25MHz 外部时钟振荡器。该 FPGA 的监视总线与 RMS 总线接口需要高的时钟频率，而其余逻辑电路则运行于低的频率。

(12) JTAG：SC 有一个独立的 JTAG 接口，用于编程和生产测试。

(13) SC FPGA LED：该电路板设有绿色 LED 指示灯，用于指示 SC FPGA 已启动并正在运行。

3. 终结器

终结器(TRM)是发射机控制系统中的第二重控制机制。基于来自各监视器(Monitors)的独立告警输入，终结器将在延时后启动关断程序，通过置位一个“TRM OFF”告警输出信号来切断发射机的电源。

终结器主要是提高设备停机能力的完好性。终结器的控制动作将比台站控制延迟约 1s,以便台站控制有足够时间执行必要的发射机切换,从而解除告警状态或停止其自身的关断动作。若告警状态持续存在,则终结器将关闭所有发射机。TRM_AL 信号在复位或 FPGA 上电后也将保持激活状态。该终结器逻辑在英特尔 FPGA 中实现,以支持(与台站控制的)多样性及独立性。

图 3.130 示出了终结器的相关电路和接口。

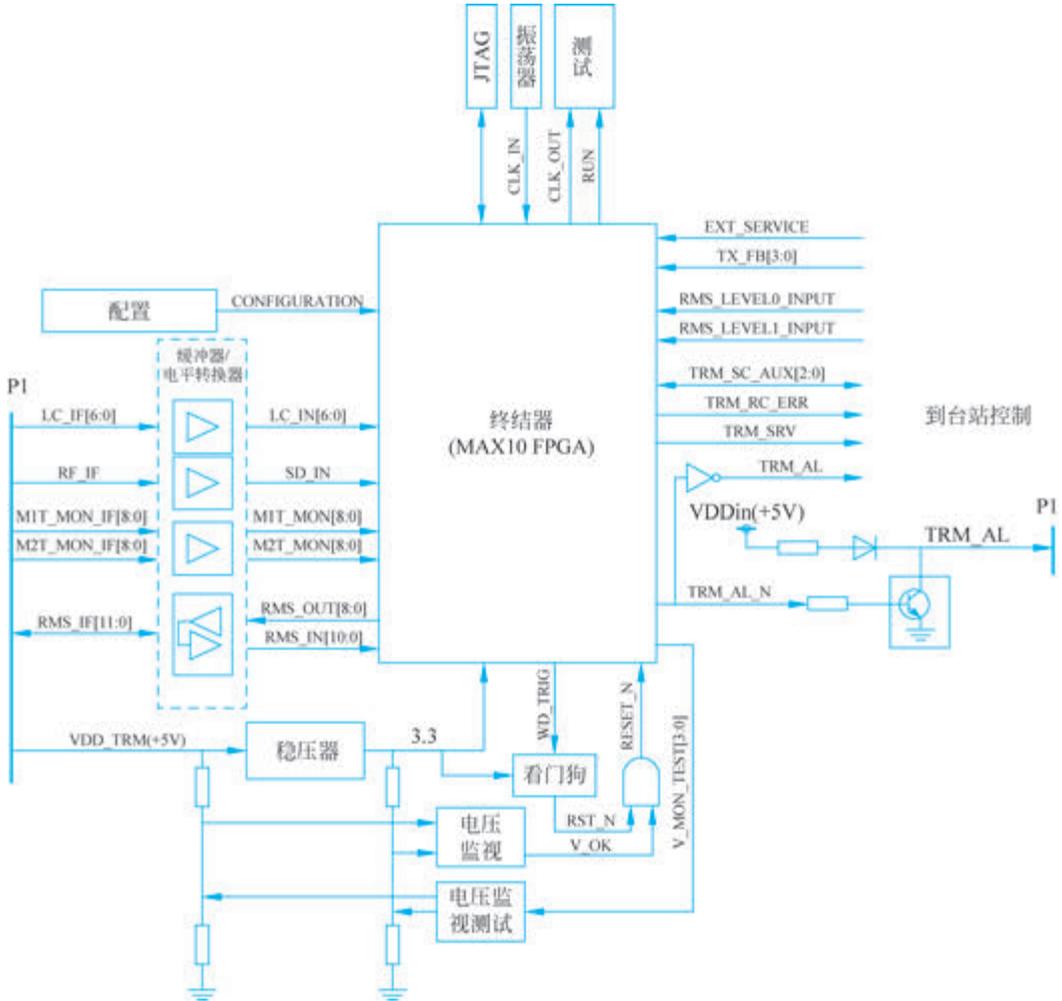


图 3.130 终结器相关电路

(1) 监视器接口：终结器设有两个独立接口,分别连接至不同的监视器电路板。终结器监控接口与 SC 单元监控接口独立运行。各监控接口应接收 32 个通道的告警状态信号。

(2) 本地控制输入：终结器从本地控制接口接收输入信号 ON_OFF(开关)、AUTO/MANUAL(自动/手动)、REMOTE/LOCAL(远程/本地)、INTERLOCK OVERRIDE(互锁忽略)及 WRITE PROTECT(写保护)。

(3) 远程控制输入：来自遥控器的串行输入也在 TRM FPGA 中解码。

(4) RMS 接口：台站控制单元与终结器均设有与 RMS 交互的独立接口,二者接口结

构相同。终结器接口使用板卡地址 $0x13$ 。

(5) 发射机控制和状态接口：终结器可以访问来自 TX 控制的“反馈”信号。

(6) 其他控制和状态接口：TRM_AL 是发送给发射机的 1s 延迟关机信号，该信号受控于 TRM FPGA。TXC_INT 是发往 RMS 的中断信号，可由台站控制单元或终结器触发。EXT_SERVICE 则是来自外部板卡的维护状态输入信号。

(7) OV/UV 监视：5.0V 输入电压及所有内部生成电压均接受过压与欠压监测；过压与欠压故障可通过 RMS 控制的完好性测试进行模拟。若任何电压值超限，则 FPGA 将被复位，且终结器复位脉冲持续至少 6s。

(8) 看门狗：若电路未被 FPGA 触发，则外部看门狗电路将向 FPGA 发出器件复位信号。进行 FPGA 编程时，需通过插接跳线禁用该看门狗功能。

(9) CRC 校验：MAX10 的配置存储器持续接受错误检测。若检测到错误，则 FPGA_CRC_ERROR 输出端将向 FPGA 产生复位信号。

(10) 时钟振荡器：为 TRM FPGA 提供时钟输入的是一个独立的 11.0592MHz 外部时钟振荡器。该 FPGA 的监视总线与 RMS 总线接口需要高的时钟频率，其余逻辑电路则运行于低的频率。高/低频时钟信号均由内部锁相环生成。

(11) JTAG：TRM 有一个独立的 JTAG 接口，用于编程和生产测试。

(12) TRM FPGA LED：该电路板设有绿色 LED 指示灯，用于指示 TRM FPGA 已配置并启动运行。

3.11.2 RMS 组件 RMA1822A

1. 概述

如图 3.131 所示，RMA1822A 是一种基于微处理器的组件，它包含 RMS 软件，同时也是 Normarc7000B RMM 系统的基础。RMA1822A 由带按键组和显示屏的 KD1824A 前面板以及作为 RMS 模块的 RM1823A 组成。

KD1824A 前面板通过一根 50 针扁平电缆连接器连接到 RM1823A 模块，该电缆连接在 RM1823A 的 P10 接口和 KD1824A 的 P11 接口之间。显示屏通过一根连接到 J20 接口的半柔性线缆与 KD1824A 主板相连。

2. 模块描述

1) 供电

该电路板的输入电压来自 ILS，电压值分别为 5V、15V、-15V 及数字地。

RM 模块采用来自凌力尔特(Linear Technology)公司的板载开关稳压器，其输入电压为 5V。LTC3614 单元产生 3.3V 电压，LTC3615 单元产生 1.8V 和 1.0V 电压，LT3060 单元为显示系统提供 1.5V 电压。CPU 使用 1.0V、1.8V 及 3.3V 电压。该电路板上大部分逻辑电路工作电压为 3.3V，并通过 5V 电平转换器连接至 ILS 其余部分。

仅 AD 系统使用来自 ILS 的 $\pm 15V$ 电压。

2) CPU

CPU 采用飞思卡尔(Freescale)的 PowerPC 处理器 MPC8308。该处理器内核工作频率为 400MHz，通过 266 兆字/秒(时钟频率 133MHz)的接口连接 DDR2 SDRAM 内存。

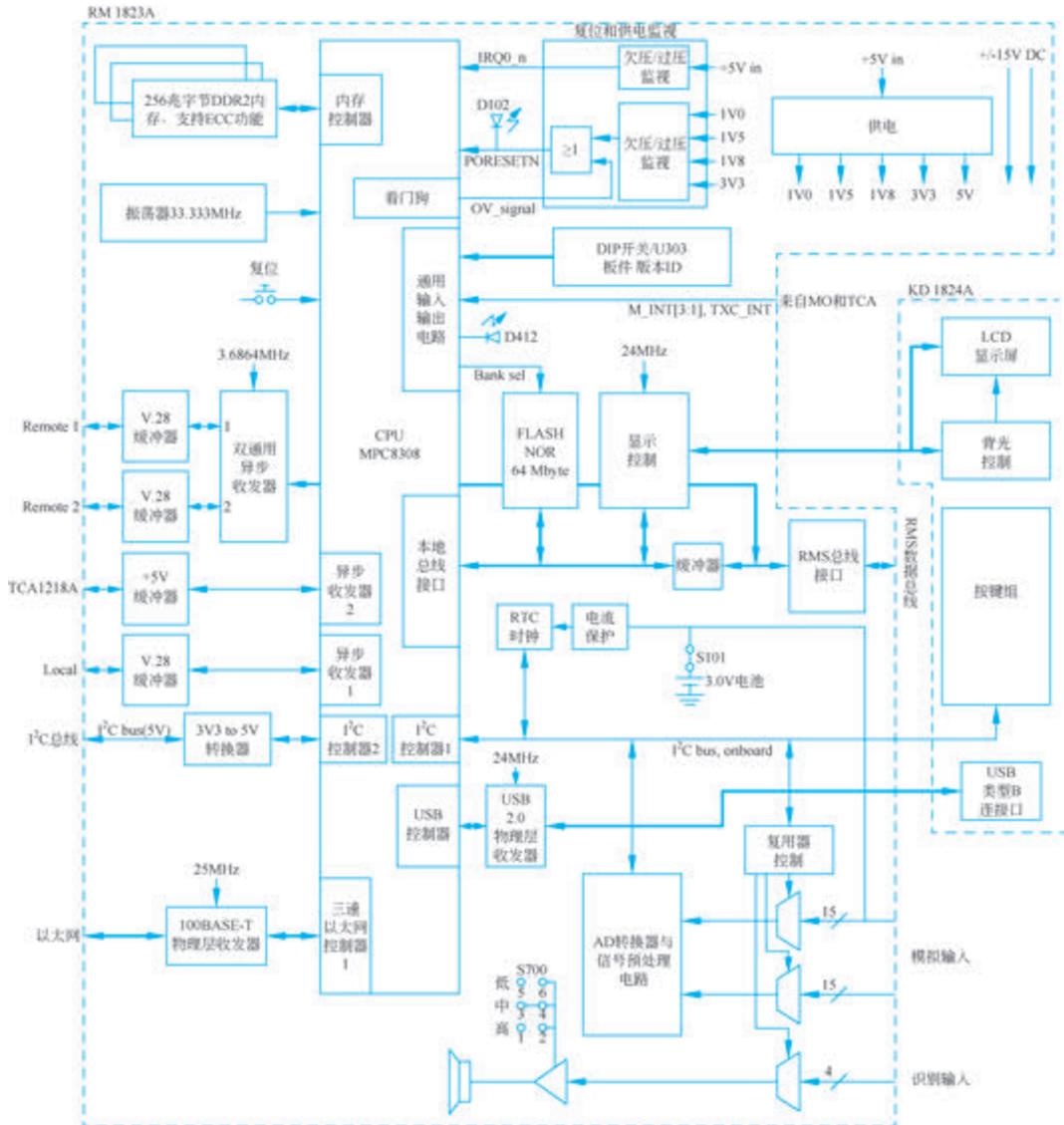


图 3.131 RMA1822A 框图

除 CPU 内核外, MPC8308 还集成多个高级外设控制器及总线系统, 其功能如下:

DDR2 内存控制器: 支持连接至三组 DDR2 存储设备。

本地总线: 支持 RMS 总线、FLASH 存储器、LCD 控制器及多路 UART。

TSEC1 控制器: 支持 10/100Mb/s 基带 TX 以太网端口。

TSEC2 控制器: 配置为 GPIO 通用输入/输出接口。

SD 接口: 配置为 GPIO 通用输入/输出接口。

SPI 控制器: 连接至 KD 板。

USB 控制器: 连接至 USB 收发器(该收发器直连 USB 物理接口)。

PCI Express: 未启用。

UART 串口: UART1 配置用于本地总线通信, UART2 与 TCA1218 通信。

I²C 控制器: I²C-1 为本地 I²C 总线, I²C-2 为全局 I²C 总线。

中断请求(IRQ): 用于掉电预警、串口中断及键盘(按键组)中断处理。

JTAG 接口: 用于烧录程序数据。

片选信号: 用于访问 NOR 闪存、RMS 总线、LCD 控制器及双路 UART。

通用片选控制器(GPCM): 通用芯片选择控制单元。

CPU 中断输入信号配置如下:

IRQ0_n: 掉电预警信号。

IRQ1_n: UART_A 中断(高电平有效)。

IRQ2_n: UART_B 中断(高电平有效)。

IRQ3_n: 键盘中断信号。

3) ECC DRAM/NOR FLASH 带 ECC 校验的 DRAM 内存/NOR 闪存

本板卡搭载 256MB 的 DDR2 内存, 采用美光(Micron) MT47H64M16HR-3 IT: H 存储芯片(元件标识符 25120)。CPU 连接三组 DDR2 存储器件, 其中一组专用于 ECC 校验支持。

本系统采用 512Mbit 的 NOR 闪存, 存储结构为 32M×16bit, 用于程序代码及记录型测量数据的非易失存储。CPU 配置为从顶部启动扇区引导, 程序代码将加载至 DDR2 内存并在其中运行。

MPC8308 提供带 ECC 校验的 32bit 的 DDR2 内存控制器。RM1823A 模块配置 256MB 的 DDR2 内存。由三个 64M×16bit 的 DDR2 存储芯片构成内存阵列, 其中 ECC 存储芯片仅实际启用 8bit 数据线, 减少物理单元换取可靠性和时序稳定性。该 DDR2 控制器工作频率为 133MHz, 可支持 266 兆字/秒的数据传输速率, 该内存同时承担程序运行与数据存储功能。

当前布局设计与 DDR2 内存控制器通过配置三个 128M×16bit 的存储芯片, 可支持 512MB 的 DDR2 内存容量。

4) 看门狗与复位电路

看门狗电路保障程序运行性能。MPC8308 CPU 内置看门狗单元, 该单元可通过软件配置为在看门狗超时产生非屏蔽中断(NMI)或执行硬件复位。当 VDD_IN(5V)电压低于 4.2V 时, 系统会向 MPC8308 产生一个中断(掉电预警告警, IRQ0n)。

当 MPC8308 的任何一个功能模块供电的独立电源通路的电压值超过规格值时, 系统将产生过压复位信号, 确保芯片在过压状态下不会执行异常操作。

由电源监控芯片 LTC2938(U103)实时监测 3.3V、1.8V、1.5V 及 1.0V 供电电压。其过压保护信号与 1.5V 供电电压形成逻辑门控关联。当系统上电时, LTC2938 向 MPC8308 发出电源复位信号 PORESETN; 若任一供电电压降低至设定值以下, 则立即触发 PORESETN 信号。

当电源监控器生成复位信号时, 绿色的 CPU 电源就绪指示灯 D102 将会熄灭。

此外, 所有的电源电压均可通过板载 ADC 进行测量。

5) LCD 控制

LCD 控制器位于 RM1823A 模块上, 基于 Epson S1D13781 液晶芯片。该控制器通过本地总线访问, 并使用片选信号 CS2n 进行寻址。LCD 控制器配置为 16bit 直接模式 1 总线

运行。

爱普生(Epson)控制器通过端口 PDT[15:0]输出 16 位 RGB 数据。高 8 位输出 PDT[23:16]用作连接显示屏的 GPIO 控制线。此外,在显示控制器与显示屏之间还提供了 VSYNC、HSYNC、DE 和 DOTCLK 信号线。

基于 24MHz 的 CLKI 输入时钟,内部 PLL 被配置为生成 40MHz 的主时钟 MCLK。

$\text{PFDCLK} = \text{CLKI} \div 24 = 1\text{MHz}$ (寄存器地址 12h 存储分频系数。写入值 17h(十六进制)=23(十进制)。实际分频系数=写入值+1)。

$\text{MCLK} = \text{POCLK} = \text{PFDCLK} \times 40 = 40\text{MHz}$ (寄存器地址 14h 存储分频系数。写入值 39。实际分频系数=写入值+1)。

6) 按键组与显示屏

LCD 显示屏为夏普(Sharp)LQ035Q3DW02(或同等型号)3.5 英寸屏,位于 KD1824A 上。

按键组位于 KD1824A 模块上,由五个按钮(上、下、左、右和确认键)组成,这些按钮直接连接至 TCA6416A 器件,该器件通过本地 I²C 总线与 RM 板通信。此按键组用于前面板的菜单选择,适用于没有通过 RMM 程序连接计算机的情况。其余按钮包括用于快速读取主要参数的 QUICKREAD 键以及用于返回上一级界面的 BACK 键。

7) USB 接口

本设备采用 SMSC USB3300-EZX USB 收发器连接至 KD1824A 前面板的 USB 接口,该接口可作为本地端口连接 RMM 程序。

8) DUART/RS-232 DRIVERS 双通用异步收发器/RS-232 驱动器

UART1 用于本地端口,经 V.28 缓冲器缓冲。

UART2 用于与 TCA1218 通信,经+5V CMOS 缓冲器缓冲。

LCS3 用于访问 DUART(SC16C2552B)。

RM1823A 模块提供 4 个异步串行端口,所有端口均连接至背板连接器 P1。其中,2 个端口通过一个外部 DUART(ST16C2552)实现,最后两个串行端口由 MPC8308 内部的 2 个 UART 模块支持。这些端口的具体用途如下:

UART1: Local Port。

DUART1: Remote port1。

DUART2: Remote port2。

UART2: 到 TCA1218。

9) I²C 控制器和 I²C 接口

I²C-1 用于连接内部设备,而 I²C-2 用于全局 I²C 总线。

该电路板上的两个 I²C 接口由 CPU 内部的 I²C 控制器提供。I²C-1 接口用于连接本地的板载 I²C 设备。

I²C-2 接口通过板载连接器提供,用于连接外部 I²C 设备(扩展板)。该总线的信号电平通过 PCA9306 芯片转换为 5V 电平。

TCA6416 IO 扩展器通过板载 I²C 总线(I²C-1)提供 16 个 GPIO 引脚。这些 GPIO 的输出电平为 3.3V,且所有引脚上电时默认配置为输入模式。

RTC(实时时钟)提供时间数据,可由电池或外部 3.3V 电压(V3P3)供电运行。

ADC 具有 8 个输入通道,其中一个通道用于采集来自其他板卡的维护数据,其余部分

通道则用于测量内部电压。

TCA6416A #1(同一总线上可能有两个此类器件)为 ADC 系统、电池测量功能和扬声器选择提供控制信号——地址信号和使能信号。

TCA6416A #2 位于 KD1824A 板上,并连接至按键组。

10) ETHERNET INTERFACE 以太网接口

TSEC1 控制器用作 10/100Base-T 发送以太网端口,并通过 DP83848K 单端口以太网收发器进行接口连接。该以太网端口位于 ILS 机柜内的 MB1575 主板背面。

该设备使用自动协商功能来选择 10Mb/s 或 100Mb/s 的半双工或全双工模式。

11) CPU GPIO AND CONFIG/PCB/ID

GPIO(通用输入输出)电路具有以下功能:

四条线路用作来自 TCA1218 和三个监视器(MON1/MON2/STBY MON)的中断输入。

连接至用户配置平台 U303。该 DIP 开关(4 位拨码开关)提供多种启动选项,通常不应更改,即应为出厂设置。所有开关 OFF(或表示为“1111”,表示所有引脚均未接地)。

四条线路用于电路板识别码(PCB ID)。这些线路被硬编码,以确定模块的版本。

12) 实时时钟(RTC)及后备电池

该电路板配备了一个带电池备份的实时时钟电路,用于事件显示和时间戳记录。它还包含一个 RAM,用于存储事件和测量值等数据。可通过移除跳线插头来断开电池连接,防止在长期存储期间耗尽电池电量。

为防范短路导致过热风险,电池回路中串联安装了两个保护元件(二极管和电阻)。

实时时钟通过 I²C-2 总线与 CPU 通信。电池电压由远程监控系统通过 ADC 进行监测。为防止电池意外放电,ADC 仅在触发信号作用下光耦中的晶体管导通时才进行电压采样。

安装电池跳线 S101 时,电池连接至实时时钟;未安装跳线 S101 时,电池与 RTC 断开连接。在存储和运输期间,不应安装跳线 S101。

当模块处于存储状态时,可通过移除跳线 S101 来断开电池连接。电池电压的测量使用了光耦开关,以避免消耗电池电量。该电池在持续使用(系统电源关闭)情况下可维持约 1 个月的数据保存时间。电池状态通过 RMS 报告为维护参数 RMS BATTERY。

13) 模拟接口

模拟接口模块包含两个模拟多路复用器和一个 ADC。该模块的主要功能是测量 Normarc 70xxB 设备中多个测量点提供的模拟信号。两个模拟多路复用器连接到相同的地址总线,但拥有独立的使能位。这样设计使得既可以对模拟输入进行单独测量(作为单端信号),也可以将它们配对进行差分测量。

ADC 为凌力尔特(Linear Technology)公司的 LTC2309,这是一款 8 通道、12 位精度的模/数转换器,采用 I²C 接口。该器件内置 2.5V 基准电压源,并通过内部放大电路将基准电压提升至 4.096V 后输出至 REFCOMP 引脚。LTC2309 配置为单端单极性工作模式,输入电压范围为 0~4.096V。ADC 用于监测所有电源电压、实时时钟备份电池电压,以及测量选定的模拟输入信号。

14) 扬声器与放大器

该模块配有一个扬声器,用于通过背板监听从低频板接收到的识别音频。共有四个信号源:来自 LF1 板的 CL 和 CLR 信号及来自 LF2 板的 CL 和 CLR 信号。这些信号可以通过一

个模拟多路复用器选作音频输出,其选择由来自 I/O 电路的数字输入信号 PAA_KEY[3:0] 控制。

扬声器的信号源通过一个运算放大器进行放大。可支持三种音量设置。音量通过在 S700 接插件上进行跳线设置来调节。音量跳线设置如表 3.21 所示。

表 3.21 音量跳线设置

音 量	S700 设置
高	1、2 短路
中	3、4 短路
低	5、6 短路

15) 指示灯

D102: CPU 电源正常指示灯(CPU POWER GOOD LED),当电源监控器产生复位信号时,该指示灯将熄灭。

D412: 绿色指示灯,表示软件正常运行。

3.12 转换单元 CO1837/1838(B4)

3.12.1 总体描述

CO1837B(LOC)和 CO1838B/CO1838C(GP)是转换模块,用于在 Normarc7000B 仪表着陆系统中将一台发射机的输出连接至天线,同时将另一台发射机的输出连接至假负载。此外,该单元还包含用于监控的输出接口。

它们位于机架后部、发射机功率放大器(LPA/GPA)的上方。

转换单元由用于射频切换的 PIN 二极管构成。每个开关包含 12 个 PIN 二极管。单元内还集成了用于监控的耦合器,以及为备机监视器提供 DS/CLR 读数的信号混合器。

转换模块采用单一基础设计,通过在一个机架中使用一个或两个模块,在不同配置中重复地应用。根据航向信标台或下滑信标台的不同,模块内部配置的元件会有所差异。以下列出了不同配置的设置情况:

(1) 航向信标台: CO1837B 包含转换开关,可将发射机 Tx1 切换至天线辐射状态,同时将 Tx2 切换至假负载(或反之)。在双频系统中需使用两个单元。每个单元配备四个输入端口(两个用于 CSB 信号,两个用于 SBO 信号),并生成 DS/CLR 信号供备机监视器使用。

(2) 下滑信标台: CO1838B 包含航道转换开关,可将航道发射机 Tx1 切换至天线辐射状态,同时将 Tx2 切换至假负载(或反之)。配备四个输入端口(两个用于 CSB 信号,两个用于 SBO 信号),生成 DS 信号供备机监视器使用。

CO1838C 包含余隙转换开关,可将余隙 CSB 发射机 Tx1 切换至天线辐射状态,同时将 Tx2 切换至假负载(或反之)。配备两个 CSB 输入端口,生成 CLR 信号供备机监视器使用。

3.12.2 转换单元

CO1837B 和 CO1838B 的原理框图如图 3.132 所示。

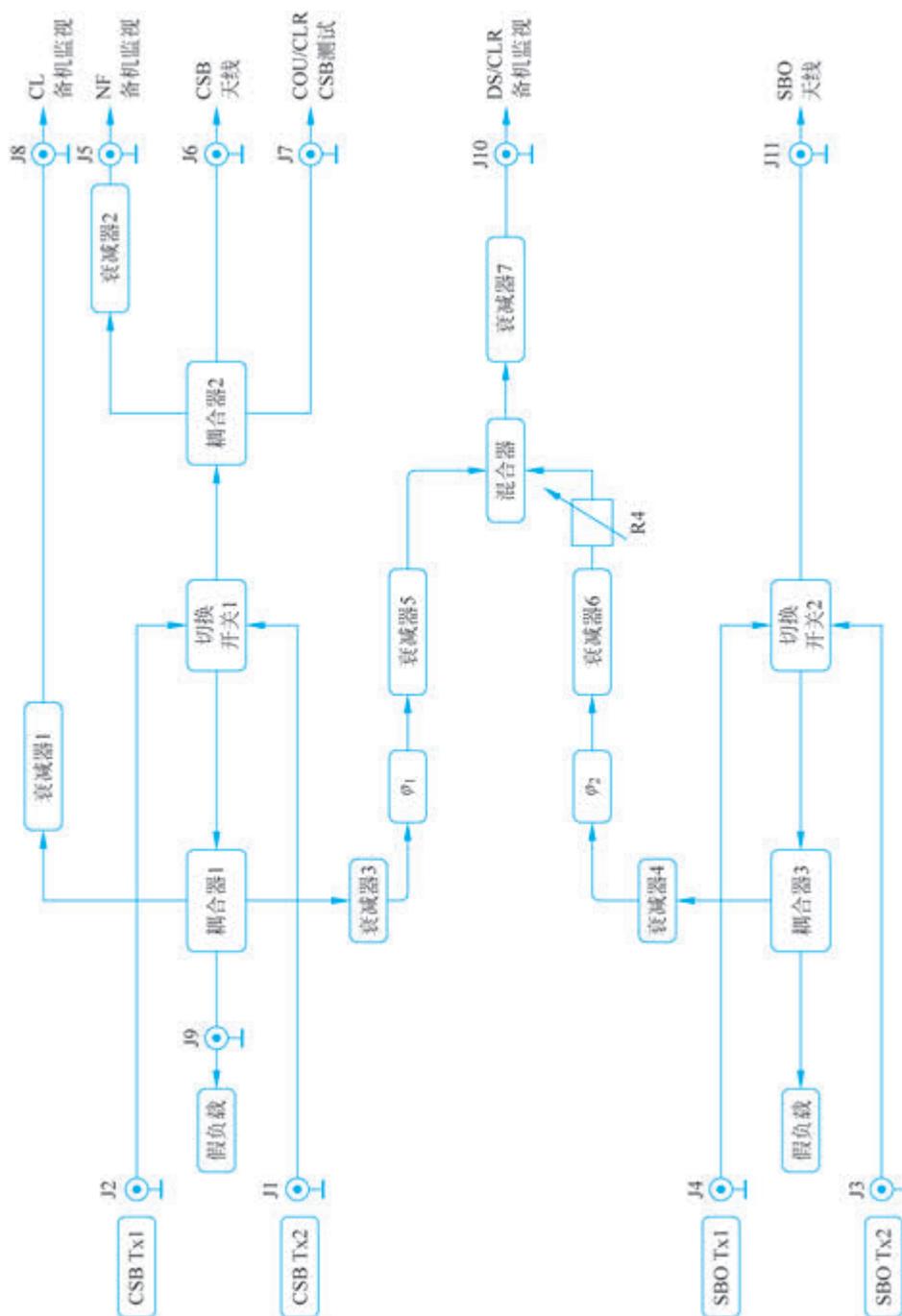


图 3.132 CO1837B 和 CO1838B 的原理框图

1. CO1837B 和 CO1838B

如图 3.132 所示,主 CSB 信号经开关 1 后,通过双定向耦合器(耦合器 2)输送到天线输出端(J6)。本单元所有耦合器的耦合度为航向信标 32dB、下滑信标 22dB。其中一路耦合信号(J7)送至机柜正面的 CSB 测试接口;另一路信号经衰减后送至备机监视器的近场通道(J5),该信号用于对主发射机 CSB 信号的补充性维护监控。

备用 CSB 信号通过一个双定向耦合器(耦合器 1)后,接入 50Ω 假负载(J9)。在热备份状态的航向信标台上,假负载安装在机柜顶部以改善散热;其余机柜中,假负载则直接安装在 J9 连接器上。

其中一路来自耦合器 1 的信号经衰减后,用作备机监视器的 CL 监视信号(J8);另一路信号与备用 SBO 信号复合,生成备机监视器所需的 DS/CLR 信号。

主用 SBO 信号经切换开关 2(Switch2)传输至天线输出端口(J11),备用 SBO 信号则通过定向耦合器(耦合器 3)后接入内部 50Ω 假负载。由于 SBO 信号功率较低,因此无需使用外部假负载。

耦合的备用 SBO 信号与备用 CSB 信号混合,合成供备机监视器使用的 DS/CLR 信号。

为确保备机监视器获得正确的 DS/CLR 信号,备用 CSB 信号与备用 SBO 信号在混合前必须保持同相。同相通过两个相位延迟器(φ_1 和 φ_2)实现。对于航向信标, $\varphi_1 = 0^\circ, \varphi_2 = -90^\circ$;对于下滑信标, φ_1 与 φ_2 均为 -90° 。

此外,需使用衰减器(Att3、Att4、Att5 及 Att6)调节至备机监视器信号的 DDM 值符合规范。

$$\text{DDM} = 2 \times \frac{E_{\text{SBO}}}{E_{\text{CSB}}}$$

式中:DDM 用绝对值表示, E_{SBO} 与 E_{CSB} 采用相对电压值。可调衰减器 R_4 用于精确设定 DS/CLR(航道宽度/余隙)的 DDM 值。

2. CO1838C

CO1838C 模块仅包含下滑 CLR CSB 信号的切换开关。

如图 3.133 所示,经过该开关(开关 1)后,主 CLR CSB 信号经一个定向耦合器(耦合器 2)传输至天线输出端口(J6)。该耦合器的耦合端信号(J7)则引至机柜前部的 CLR CSB 测试连接器。

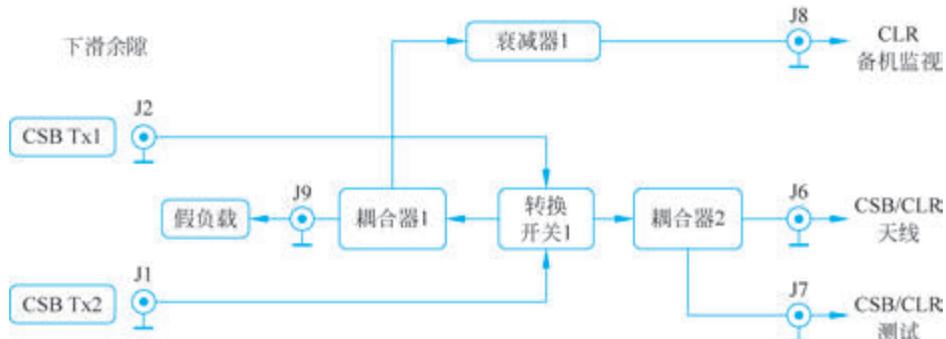


图 3.133 CO1838C 的原理框图

备用 CLR CSB 信号在被送入一个 50Ω 假负载(J9)之前,会先经过一个定向耦合器(耦合器 1)。该耦合器的耦合端信号经过衰减后,用作备机监视器的 CLR 监视信号(J8)。