

DVOR VRB-52D设备晶振故障排查的分析和研究

陈锦宇

民航湖北空管分局技术保障部, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年11月26日; 录用日期: 2022年12月22日; 发布日期: 2022年12月29日

摘要

多普勒甚高频全向信标(DVOR)是现代民航导航系统的重要组成部分,其工作的基本原理是为机载接收机提供一个空间合成的无线电信号,然后经过接收机解调后,得出飞机相对于该地面DVOR台站的磁方位,即VOR方位。DVOR设备常与测距仪(DME)合装,共同为民航飞机提供方位和距离信息,以完成极坐标定位(ρ - θ 定位)。本文针对国内某导航台的DVOR VRB-52D设备晶振故障导致单机关机的案例,浅析DVOR VRB-52D设备在晶振故障时的现象分析与排查思路。

关键词

DVOR, 晶振, 故障排查

Analysis and Research of DVOR VRB-52D Equipment Crystal Oscillator Troubleshooting

Jinyu Chen

Technical Support Department of Civil Aviation Hubei Air Traffic Control Branch, Hubei Wuhan

Received: Nov. 26th, 2022; accepted: Dec. 22nd, 2022; published: Dec. 29th, 2022

Abstract

Doppler Very High Frequency Omnidirectional Range (DVOR) is an important part of the navigation system of the modern civil aviation. The receiver installed on the aircraft is able to receive useful signals, which is provided by the DVOR. The signals can be demodulated into the magnetic

bearing of the aircraft relative to the DVOR station on the ground. The DVOR is usually combined with the Distance Measure Equipment (DME) to provide bearing and distance for the aircraft, which to complete polar coordinate positioning (ρ - θ positioning). Aiming at the case that the crystal oscillator failure of DVOR VRB-52D equipment in a navigation station leads to the shut-down of the equipment, this paper discuss the analysis and troubleshooting of DVOR VRB-52D equipment in the crystal oscillator failure.

Keywords

DVOR, Crystal Oscillator, Troubleshooting

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

Indra AWA 公司生产的 VRB-52D 型 52D 设备由于其工作稳定性高, 方便维护等特点, 在中国民航各地区被广泛使用, 市场占有率位于前列, 例如在湖北境内就有多个导航台采用该型号设备为民航提供导航服务, 此次案例就是发生在湖北境内某导航台。该型号 DVOR 设备主要的信号流程可以分为载波通路和边带通路, 而晶振位于 CGD (Carrier Generator and Driver) 板件中的载波合成器中, 其主要功能是产生二分之载频的振荡信号, 然后经过倍频放大后产生载波振荡频率, 在产生载波信号、上下边带信号的产生以及两种信号在空间中进行调制都有着十分重要的意义[1]。

2. 设备故障现象

某日湖北境内某导航台 VRB-52D 型 DVOR 设备 2 号机单机故障并切机, 技术人员多次尝试重启切机均失败, 为避免设备出现保护关机的情况, 将 2 号机设备开机后, 即刻按下设备的告警抑制按钮, 保

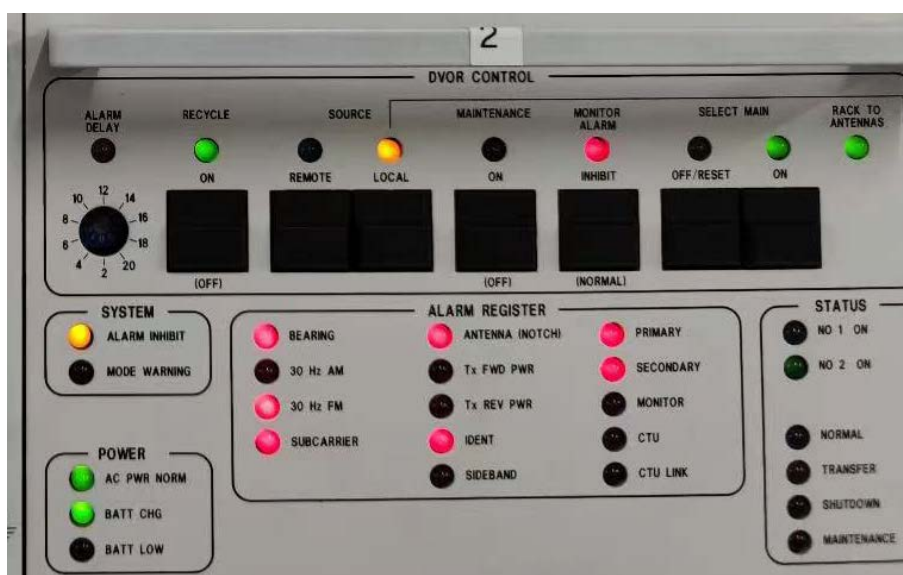


Figure 1. The first fault phenomena

图 1. 故障现象一



Figure 2. The second fault phenomena
图 2. 设备故障现象二

证在 2 号机不出现关机保护的情况下，能对设备各参数进行检查，发现设备面板指示灯中方位告警灯、副载波告警灯、边带失锁告警灯、天线告警灯以及 30 hzFM 告警灯亮红灯，设备参数中载波调制度、副载波调制度以及方位参数异常，如图 1，图 2 所示。

3. 设备故障现象分析

为确认故障原因及进一步确认故障点，现对故障现象进行分析：

1、方位告警灯：此时的方位指的是方位误差，即机内设置的监控天线的方位与实际测量所得的监控天线的方位的误差。理论上，DVOR 方位监控是通过将监控天线得到的信号经过监控器板件进行解调得到 30 hzAM 信号和 30 hzFM 信号进行比相，相位差值即是监控天线的测量方位，与设备安装时在机内设置好的监控天线方位比较即可得出方位误差，当方位误差过大时会出现方位告警($\pm 1^\circ$)。此现象的出现即可能是载波通路的问题也可能是边带通路的问题。

2、30 hzFM 告警灯：30 hzFM 信号其实是监控器通过对解调出来的 9960 hz 信号进行鉴频，然后得出来的 30 hzFM 信号，设备本身是不发射 30 hzFM 信号，对副载波调频的实现是通过上下边带天线旋转实现的。在监控器里，30 hzFM 信号主要是用来和 30 hzAM 信号进行比相，确定方位。

3、副载波告警灯：副载波即 9960 hz 调幅波，上下边带天线分别发射 $fc + 9960$ hz 和 $fc - 9960$ hz 信号，用于同载波进行空间调制，副载波调制度过大或过小，或者边带天线故障会出现副载波告警。

4、天线告警灯：antenna 灯又名 NOTCH 灯，即缺口告警灯，即天线故障，出现边带天线缺口时会告警(什么是天线缺口：边带天线故障时，调频副载波将在一个短时间内出现空白，低于缺口告警电平，这就是所谓的副载波缺口) [2]。

5、边带失锁灯：上下边带和载波相位不锁定时会告警，在上下边带通路分别有一个锁相环路来用于边带信号和载波信号的相位锁定，至于为什么要保证相位锁定，这里就涉及到另一个概念，即空间调制，载波信号和上下边带信号在空间中要合成一个调幅波，那么他们三者之间就要满足一定的关系——首先是幅度关系：边带信号点额幅度应完全相等，且最大为载波幅度的一半(过大的话，调制度越大，超过 100% 则失真)；然后是频率关系：上边带超前载波的频率应等于下边带落后载波的频率；最后是相位关系：上边带超前载波的相位应等于下边带落后载波的相位(此项满足则频率关系必然满足) [3]。

4. 故障判断与排故思路

根据故障现象，可以看出两个最重要的特征：一是边带失锁，二是天线缺口。首先，天线缺口或边带天线出现故障会导致双机告警，此时只是单机故障，另一部设备工作正常，遂排除边带天线故障的可能性。我们在这里考虑的是边带失锁，如图 3 所示，在设备流程图上可以看到，当设备正常运行时，CGD 产生的载频信号一方面会作为载波信号会在 CPA (Carrier Power Amplifier) 经过调制信号调制放大，然后经过低通滤波器滤波处理后，送到 CDC (Carrier Directional Coupler) 中耦合出四路信号，一路经中央天线发射出去，另外两路送至监控器进行功率检测，另外一路便会送至 SGN (Sideband Generator) 中，在 SGN 中分别与经过锁相环处理的上下边带信号进行相位锁定，以保证边带通路发射的信号与载波通路发射的信号在频率和相位上满足空间调制的要求。同时送往 SGN 的还有 CGD 产生的载频信号，其会被当作标准频率在边带通路中的锁相环中与边带信号进行锁相测试，在 SGN 面板上有一个边带失锁测试开关就是用来控制这两路送至 SGN 中的信号是否被使用。

当闭合边带失锁测试开关时，锁定载频的来源不再是从 CDC 耦合过来的载波信号，而是直接从 CGD 板件的晶体振荡器产生的载频，这样就可以检测是载波通路的问题还是 SGN 的故障，测试时，边带失锁灯仍然常亮，说明从 CDC 耦合来的载波信号没有故障，故障更可能是边带通路，而且在整个故障显示灯上来看，30 hzFM、SUBCARRIER 灯和 ANTENNA 灯显示故障也可以说明是边带通路故障的可能性更大，技术人员立即更换 SGN 备件，并检查边带天线及馈线连接情况，故障现象并未消失。技术人员立即转变思路，发现如果闭合测试开关后，直接从 CGD 送来的测试信号本身就有故障，也会导致边带失锁灯常亮，遂将故障点锁定在 CGD 板件，更换 CGD 备件后，设备故障现象消失，设备运行恢复正常，为进一步确定故障原因，技术人员换回故障板件后检查载波频率，将频率计接入 SGN 板件上的 MOD RF OUT 孔测量载波频率，频率超出载波频率 0.0033 MHz 如图 3 所示，高于告警门限 $\pm 0.02\%$ ，在 CGD 面板 CARRIER

FREQUENCY 孔进行调整至合理范围内后, 如图 4 所示, 告警现象消失, 设备恢复正常。

5. 设备故障结果分析

经过技术人员的分析和处理, 已经知道故障板件是 CGD, 且故障原因是载波频率超限导致的故障, 现在反过来思考一下为什么载频超限会导致这些故障现象。

1、边带失锁: 在上下边带的锁相环中, 锁相环为了锁相通过将输入信号和取样的信号再平衡混频器中进行比较, 然后得出的信号与标准的信号进行鉴相, 输出一路控制电压, 来控制压控振荡器的输出,

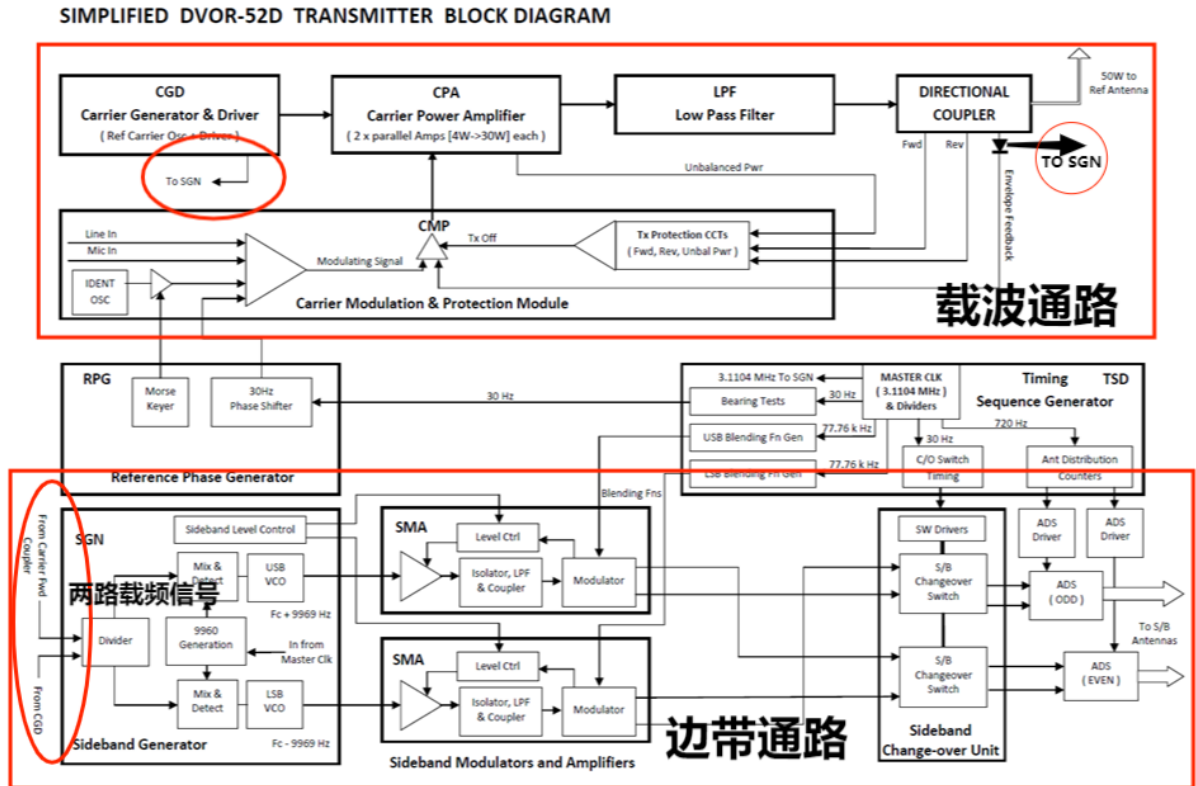


Figure 3. The signal flows of carrier channel and sideband channel
图 3. 设备载波通路及边带通路信号流程



Figure 4. The frequency is out of the range
图 4. 故障时, 设备频率超出门限



Figure 5. The frequency is normal
图 5. 调整后，设备频率恢复正常

输出频率和相位稳定的上下边带信号，经过调制之后的信号再取样回平衡混频器与输入信号比较，这就是通过取样回来的信号来调整控制电压的大小，从而使压控振荡器输出相位和频率达到稳定和锁定信号。载波频率超限，输入的频率和相位都与标准信号相差很大，而取样回来的信号频率始终是想与标准信号锁定的，所以导致整个锁相环的工作过程都一直在找标准信号的频率和相位，导致控制电压忽大忽小，也就不能输出相位和频率锁定的上下边带信号。

2、30 Hz FM 告警：30 Hz FM 信号是用天线的旋转来使副载波频率产生频偏来对副载波进行调频的，边带失锁，上下边带的相位无法锁定，调频副载波的频率和相位都不稳定，所以从调频副载波中解调出来的 30 Hz FM 信号也是无法满足要求。

3、方位告警：方位是通过比较 30 Hz AM 和 30 Hz FM 信号的相位得出的，当边带失锁，无法输出相位锁定的上下边带信号，接收到的 30 Hz FM 信号经过解调后也无法得到稳定的相位。所以故障现象里可以观察到 MBD (Monitor Bearing) 上的显示的方位误差是一直在变化的，而且变化幅度很大。

4、副载波告警和天线告警(缺口)：频率超限就会导致相位的不锁定，在整个锁相的过程中，为了与标准相位锁定，控制电压变化很大，输出的上下边带信号频率和相位变化也会很大，且一直不稳定，而相位的不稳定，也会影响副载波调制度的大小，所以接收到的副载波的信号的幅度也会一直变化，有时甚至会低于缺口电平，如图 4 所示，导致缺口告警，同时也会有副载波告警。

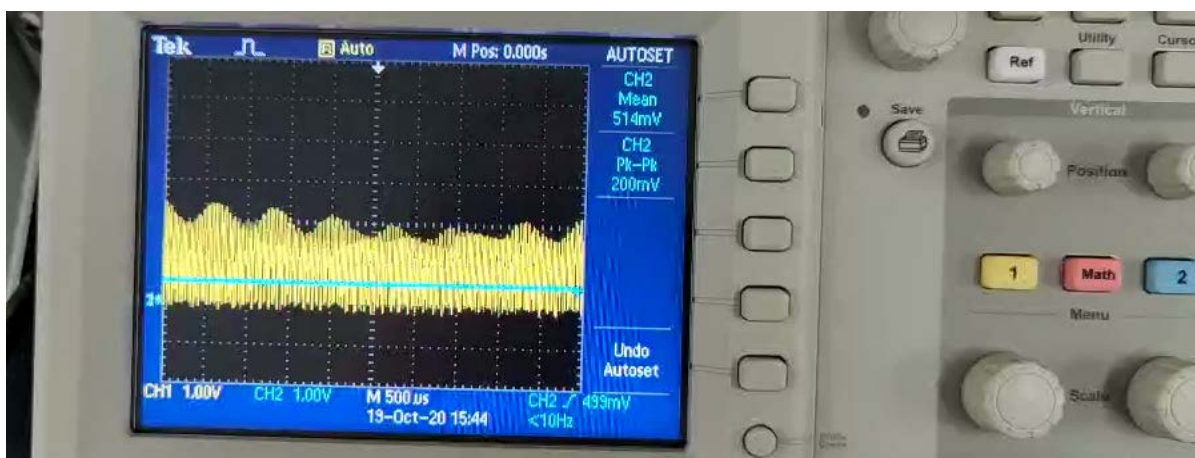


Figure 6. The waveform of DVOR subcarrier when the sideband phases are unlocked
图 6. 边带锁相正常时的 DVOR 副载波波形图

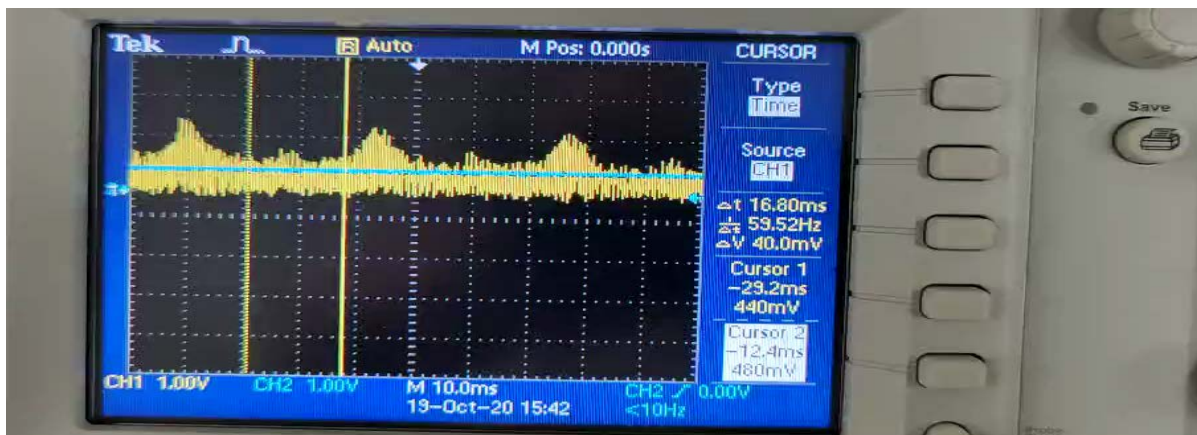


Figure 7. The waveform of DVOR subcarrier when the sideband phases are locked

图 7. 边带失锁时的 DVOR 副载波波形图

6. 反思总结

晶振在此次故障中所造成的影响，究其根本原因还是频率对于整个调幅波的影响，对于调幅波方程来说，即

$$\begin{aligned} v(t) &= V_0 (1 + m_a \cos \Omega t) \cos \omega_0 t \\ &= V_0 \cos \omega_0 t + m_a V_0 \cos \Omega t \cos \omega_0 t \quad (\text{三角函数积化和差}) \\ &= V_0 \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} m_a V_0 \cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{1}{2} m_a V_0 \cos(\omega_0 - \Omega)t \end{aligned}$$

其中 $V_0 \cos \omega_0 t$ 表示载波， $\frac{1}{2} m_a V_0 \cos(\omega_0 + \Omega)t$ 表示上边带， $\frac{1}{2} m_a V_0 \cos(\omega_0 - \Omega)t$ 表示下边带。此式说明：调幅波是由三个不同频率的正弦波组成，其中第一项为未调制的载波；第二项的频率等于载波频率与调制频率之和，叫上边频；第三项的频率等于载波频率与调制频率之差，叫下边频。当载波频率出现波动时，上下边带的相位也会不断变化，同时会使上下边带合成的信号偏离载波的相位，影响信号的空间调制，导致调制度大小的波动。

纵观整个设备排故的工作中，需要经验和理论相结合。按照理论知识，边带失锁故障的排查方法指向的是边带通路的故障，但在实际排查处置中发现故障点位于载波通路，特别是此类设备，单一故障原因可能造成多个故障现象，如果不能结合经验综合考虑分析，容易走入故障排查的死胡同，理论分析的同时要与实际现象结合，才可以帮助维护人员更快捷、更准确的解决设备故障，设备故障现象最终也能通过理论得到解释。

参考文献

- [1] 郑连兴, 倪玉德. DVOR VRB-51D 多普勒全向信标[M]. 天津: 中国民航出版社, 1997.
- [2] 王平. 浅析 DVOR 设备边带缺口告警[J]. 民航科技, 2006(3): 25-26.
- [3] 唐飞. DVOR VRB-52D 副载波故障案例分析[J]. 电子世界, 2019(19): 2.