

SA 雷达俯仰定位自行漂移引起天线空转故障诊断

张海燕¹ 杨传凤¹ 张璇¹ 张骞¹ 袁希强²

(1. 山东省气象台, 济南, 250031;

2. 山东省气象服务中心, 济南, 250031)

摘要

2010 年 12 月-2011 年 1 月济南雷达俯仰定位自行漂移严重, 定位偏差过大时可导致雷达空转, 经现场观察发现, 漂移明显, 雷达运行 1 小时即可偏离 0.13 度, 正负方向来回漂移, 即 vcp21 模式正常体扫时间为 6 分钟, 但由于俯仰定位自行漂移造成雷达空转, 使雷达体扫延续到 8-10 分钟。本次故障有两个主要原因: 其一, DCU 电源输出特性不佳, 导致 DCU 数字板和模拟板供电不足造成其性能变差; 其二, 由于 DCU 数字板和模拟板都是早期生产的两层板且已老化, 地电位在板上出现较大幅度的漂移跑偏, 使 $+\!-15V$ 对称度失衡, 导致模拟板上本已调好的速度环零点随之来回漂移, 定位偏差超界时会导致雷达在刚进入一个仰角时无法发射雷达波, 先行空转, 直到系统自动再次发出 DOUBLET 操作进行调整, 使得天线上冲, 瞬间角度合法, 诱使系统发射雷达波, 直到本仰角结束。本文主要对本次故障排除过程进行总结分析, 希望对同行有所启迪。

关键词: SA 雷达, 俯仰定位, 自行漂移, 天线空转, 故障诊断

1 故障现象

2010 年 12 月-2011 年 1 月济南雷达俯仰定位自行漂移严重, 定位偏差过大时可导致雷达空转, 经现场观察发现, 漂移明显, 雷达运行 1 小时即可偏离 0.13 度, 正负方向来回漂移, 即 vcp21 模式正常体扫时间为 6 分钟, 但由于俯仰定位自行漂移造成雷达空转, 使雷达体扫延续到 8-10 分钟 (图 1)。

地址 (1) H:\Archive20101225

名称	大小	类型	修改日期
2010122501_36A	9,688 KB	36A 文件	2010-12-25 9:44
2010122501_44A	9,693 KB	44A 文件	2010-12-25 9:52
2010122501_52A	9,688 KB	52A 文件	2010-12-25 10:00
2010122502_00A	9,693 KB	00A 文件	2010-12-25 10:08
2010122502_08A	9,693 KB	08A 文件	2010-12-25 10:16
2010122502_16A	9,693 KB	16A 文件	2010-12-25 10:23
2010122502_23A	9,690 KB	23A 文件	2010-12-25 10:31
2010122502_31A	9,693 KB	31A 文件	2010-12-25 10:39
2010122502_39A	9,693 KB	39A 文件	2010-12-25 10:47
2010122502_47A	9,693 KB	47A 文件	2010-12-25 10:55
2010122502_55A	9,690 KB	55A 文件	2010-12-25 11:03
2010122503_03A	9,690 KB	03A 文件	2010-12-25 11:11
2010122503_11A	9,690 KB	11A 文件	2010-12-25 11:18
2010122503_18A	9,693 KB	18A 文件	2010-12-25 11:26
2010122503_26A	9,681 KB	26A 文件	2010-12-25 11:34
2010122503_34A	9,690 KB	34A 文件	2010-12-25 11:42
2010122503_42A	9,700 KB	42A 文件	2010-12-25 11:50
2010122503_50A	9,690 KB	50A 文件	2010-12-25 11:58
2010122503_58A	9,690 KB	58A 文件	2010-12-25 12:06
2010122504_06A	9,690 KB	06A 文件	2010-12-25 12:13
2010122504_13A	9,690 KB	13A 文件	2010-12-25 12:21
2010122504_21A	9,690 KB	21A 文件	2010-12-25 12:29
2010122504_29A	9,690 KB	29A 文件	2010-12-25 12:37
2010122504_37A	9,688 KB	37A 文件	2010-12-25 12:45
2010122504_45A	9,690 KB	45A 文件	2010-12-25 12:53
2010122504_53A	9,690 KB	53A 文件	2010-12-25 13:01
2010122505_01A	9,690 KB	01A 文件	2010-12-25 13:08
2010122505_08A	9,690 KB	08A 文件	2010-12-25 13:16
2010122505_16A	9,690 KB	16A 文件	2010-12-25 13:24
2010122505_24A	9,700 KB	24A 文件	2010-12-25 13:32
2010122505_32A	9,690 KB	32A 文件	2010-12-25 13:40
2010122505_40A	9,688 KB	40A 文件	2010-12-25 13:48

2 伺服的构成与工作原理

2.1 伺服功能

按照 RDA 计算机输出的位置命令使天线快速、准确地转到命令所规定的位置，并将天线的方位角、俯仰角和天线座的状态实时上报到 RDA 计算机。

2.2 伺服的特点

CINRAD 伺服由计算机所产生的程序来引导。引导程序就是体扫程序 (Volume Coverage Pattern)。按其天线方位转速的高、低分为 11, 21 和 31 三种工作模型。体扫开始时, 天线仰角在 0.5° 位置, 天线方位等速转动。当每个 Radial 的脉冲数达到要求个数也就是天线方位转够了规定的时间后, 俯仰角就从一个 Cut 转到下一个 Cut, 与此同时方位速率在改变。两个 Cut 之间俯仰角的变化量是根据天线波束宽度 (大约为 0.95°) 来决定的。当天线仰角达到 19.5° 并且每个 Radial 的脉冲数达到要求个数也就是天线方位转到了规定的时间后, RDA 计算机输出 0.5° 的位置命令, 天线俯仰从 19.5° 以无超调的运动方式转到 0.5° 位置, 以后周而复始。

2.3 俯仰控制策略

俯仰采用 Doublet 控制策略。所谓 Doublet 控制策略就是天线仰角从一个 Cut 转到下一个 Cut 时, 伺服位置环开环, RDA 计算机命令 D/A 输出正最大电压 (10V) 至速率环, 速率环带动天线作匀加速转动, 设加速时间为 t_1 , 然后 RDA 计算机命令 D/A 输出负最大直流电压 (-10V) 使天线作匀减速运动, 设减速时间为 t_2 。不管在哪一个 Cut, t_1 都大于 t_2 , 即加速时间长, 减速时间短。当天线快要达到命令所规定的位置时, 再按误差控制即闭上位置环。

当天线仰角在 19.5° 位置并且完成了规定的任务后, RDA 计算机命令俯仰 D/A 输出 23 个采样周期即 $23 \times 45\text{ms} = 1.035\text{s}$ 时间的负最大电压 (10V), 使天线作匀加速运动。如果加速度按 $17^\circ/\text{s}^2$ 计算, 则加速到 $E = 19.5^\circ - 1/2at^2 = 19.5^\circ - 9.10^\circ = 10.4^\circ$ 时, 再按误差控制(闭位置环)。考虑到 $E = 10.4^\circ$ 到 $E = 0.5^\circ$ 还有将近 10° 的角度范围, 按误差控制完全可以使天线无超调转到 0.5° 位置, 所以 RDA 计算机没有令天线作匀减速运动, 这样天线就可以很快地转到体扫的初始位置 (0.5°)。可见, 采用 Doublet 控制不仅实现了无超调控制, 而且使天线俯仰角很快转到命令所规定的位置, 这样就可以缩短气象雷达的体扫周期, 提高雷达的工作效率。

2.4 伺服系统的构成

CINRAD/SA 雷达伺服系统在电路上采用了三个环路的结构形式: 即位置环、速度环和加速度环。每个环都为一阶无静差系统。

2.4.1 加速度环

加速度环主要由 PWM 功率放大器, 伺服电机和微分环节等组成。其作用可使伺服系统提供符合要求的加速度, 加速度环的开环增益为 6。

2.4.2 速率环

速率环主要由加速度环 (速度内环), 测速机和速度比较环节等组成。速率环可使伺服具有良好的动、静特性, 其速率环的开环增益为 3.49。

2.4.3 位置环

位置环主要由计算机、D/A、速率环和轴角编码器等组成。其作用是控制天线, 使天线方位角和俯仰角能准确地转到命令所要求的位置, 位置环的开环增益为 0.8。

2.4.4 工作模式

任一时刻天线在方位或俯仰方向上工作于位置模式还是速度模式, 完全是由当时从 RDA 计算机传来的控制本方向运动的命令究竟是速度命令还是位置命令决定的。以体扫为例, 当雷达天线保持在某个特定仰角旋转时, RDA 计算机在方位方向上发送一个固定的速度命令, 伺服在方位方向上工作于速度模式, RDA 计算机在俯仰方向上发送一个固定的位置命令使天线停留在此仰角, 伺服在俯仰方向上工作于位置模式。当仰角需要变化时, 在俯仰方向上, 体扫程序使用 DOUBLET 控制策略, 即先使天线在最初的一段时间内以与目标角度同向的最大速度向目标仰角趋近, 而后在接下来的一段时间内连续向 DCU 发送俯仰方向上与目标角度反向的最大速度命令控制天线刹车, 这两段时间内俯仰方向上工作于速度模式, 最后, 在天线已非常接近目标仰角时, 俯仰方向上重新切入位置模式, 此时 RDA 计算机在俯仰方向上直接

发送代表目标角度的位置命令使天线运行至并停留在此仰角。

3 故障检测

对一个系统而言，其低频大功率电路和高频小信号电路应当单独供电。但早期的 SA 雷达伺服数字控制单元内只有一路+5V 电源同时为大电流的数码管显示电路和小电流的控制电路供电，经验告知相当多的伺服问题都是由供电问题导致的，所以故障排除先从伺服供电入手。

伺服数字控制单元的电源输出+28VDC、+5VDC、+15VDC、-15VDC 和+5VDC，为数字控制单元 UD5A6 中的数字/模拟电路、功率放大器单元 UD5A7 提供低压直流电压（如图 2）。

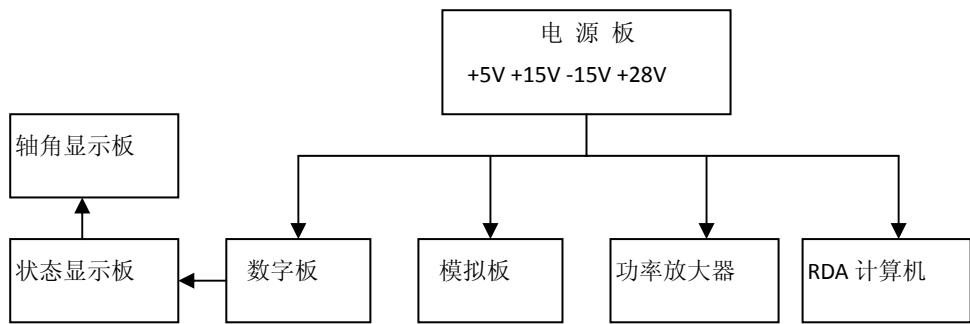


图 2 数字控制单元 DCU 电源功能框图

打开 DCU，检测发现 DCU 中数字控制电路和模拟电路都出现电源供给不佳现象，+5V 控制电和显示电在数字控制电路上衰减波动，同时也引起了控制电路地电位的波动，进而使得+/-15V 供电的对称度因其地电位的波动而发生变化，造成+/-15V 对称度偏差过大。

- 1) 检测+5V 控制电。测量数字板 D16, D13 为 4.38V, D6 为 4.48V, XS (J) 14 的 1—2 脚为 4.60V, XT1 上的 5V 从 4.60V 可飘移到 5.12V。检测 AP3 电源空载输出为 5.3V，一旦加载数字板和模拟板，起初数字板上+5V 控制电可达 4.9V，但运行时间稍长，+5V 控制电明显下降，并且来回飘移。这应该 AP3 电源板老化所致，说明+5V 控制电带载能力下降，导致负载端供电出现衰减和漂移。
- 2) 检测+5V 显示电。检测电源板 AP3 空载输出为 5V，但电源加载后 XS (J) 14 的 9—10 只有 3.85~4.52V。后检测发现，+5V 控制电和+5V 显示电各自的独立地并未在电源根部或接线排上互连，而是在数字板上共地，造成接线排上+5V 控制电地和+5V 显示电地压差可达 0.7V 以上，测量数字板上的地与接线排上的+5V 控制电地无地压差，但测量接线排上的+5V 显示电地压差为 0.7V，由于自身的地被严重抬高，表现为供电电压衰减严重。
- 3) 检测±15V 是否正常。检测数字板 N1 为+14.53V 和-14.66V, XT1 处测为+14.32V 和-14.85V。

- 4) 检测+28V 是否正常。测量 XSJ (14) 最大为 27.7V 可漂移到 26.5V。
- 5) 检测方位测速机信号。使用 RDASOT 测试, 10 度/S 为 9.08~9.19V, 20 度/S 为 18.24~18.31V。
- 6) 综上检测所有电压明显偏小或漂移, 说明电源板 AP3 自身老化, 抗载能力下降, 引起电压不稳定。更换了 DCU 电源, 使用新的电源模块, 并将其单一+5V 输出调为 5.3V, 数字板上的供电有明显改善, 但雷达开机后仍然有空转现象。
- 7) 在确定电源输出准确无误的情况下, 怀疑 DCU 模拟板问题, 检查发现 DCU 中原 2 层模拟板的 D/A 转换器和 **POS / RATE** 选择放大器±15V 电源对称度偏差过大, 见如图 3、4。

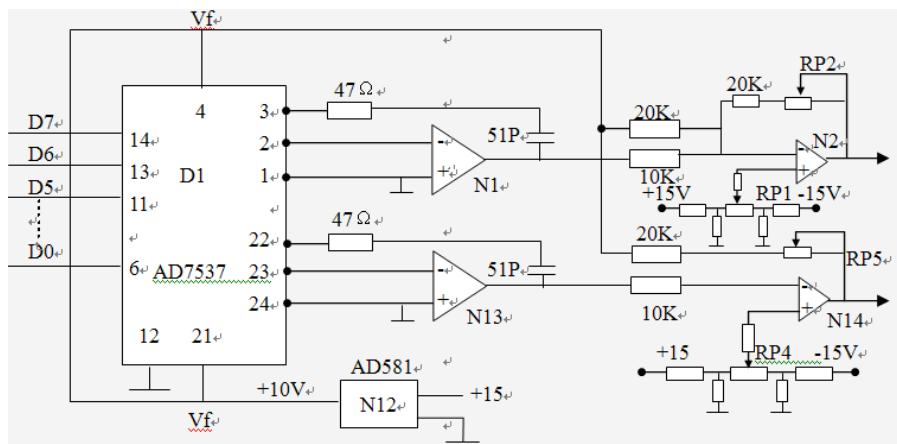


图 3 D/A 转换电路

D/A 转换的作用是把位置误差 $P_e = A_{P2} - P_m$ 和速度命令 R_a 转换成与之对应的模拟电压。

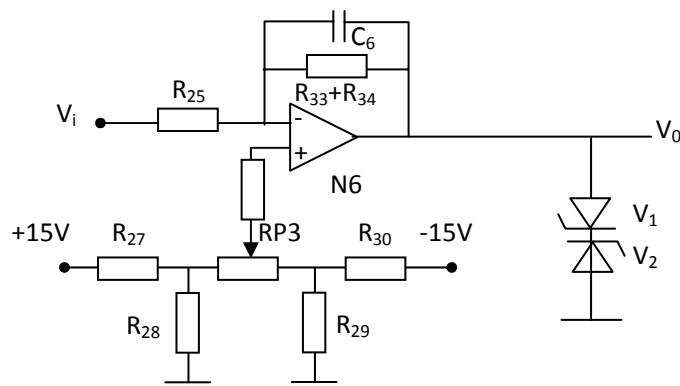


图 4 **POS / RATE** 选择放大器原理电路

在 RDA 计算机控制时也就是在体扫时系统采用速率模式, **POS / RATE** 选择放大器增益为-1; 在 Local 计算机控制时系统工作于位置模式, 其增益为-0.91。设计位置模式的目的是当执行“park”命令时, 无论天线工作在什么位置都能使天线无超调的转到“park”命令所规定的位置。电位器 RP3 用来调整天线角度, V_1 和 V_2 用来嵌位 (±10V)。

8) 更换新 4 层模拟板后, 经过 48 小时连续考机, 俯仰角度定位稳定, 无任何漂移。

4 小结

本次故障首先是 DCU 电源输出特性不佳。后是由于 DCU 数字板和模拟板都是早期生产的两层板且已老化, 地电位在板上出现较大幅度的漂移跑偏, $+\!-\!15V$ 对称度失衡, 导致模拟板上本已调好的速度环零点随之来回漂移, 定位偏差超界时会导致雷达在刚进入一个仰角时无法发射雷达波, 先行空转, 直到系统自动再次发出 DOUBLET 操作进行调整, 使得天线上冲, 瞬间角度合法, 诱使系统发射雷达波, 直到本仰角结束。

参考文献

- 1 杨传风, 黄秀韶. CINRAD/SA 雷达发射高压故障诊断. 气象, 2005, 31 (1): 88-89.
- 2 胡东明, 伍志方. CINRAD/SA 雷达日常维护及故障诊断方法. 气象, 2003, 29 (10): 26-28.
- 3 王志武, 周红根等. 新一代天气雷达 SA&B 的故障分析. 现代雷达, 2005, 27 (1): 16-18.
- 4 周红根, 朱敏华等. CINRAD/SA 雷达故障分析. 气象, 2005, 31 (10): 39-42.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>