

梁 华,任京伟,刘永强,等. 新一代天气雷达(CINRAD/CC)发射系统典型故障分析与处理[J]. 干旱气象, 2013, 31(3): 622-626, doi: 10.11755/j. issn. 1006-7639(2013)-03-0622

# 新一代天气雷达(CINRAD/CC)发射系统 典型故障分析与处理

梁 华<sup>1</sup>, 任京伟<sup>2</sup>, 刘永强<sup>1</sup>, 赵 文<sup>1</sup>

(1. 甘肃省气象信息与技术装备保障中心, 甘肃 兰州 730020;

2. 北京无线电测量研究所, 北京 100000)

**摘 要:**根据雷达发射系统工作原理、故障现象和故障原因,对甘肃省新一代多普勒天气雷达运行多年来发生的20余次发射系统故障维修工作进行归纳总结。甘肃省新一代多普勒天气雷达发射系统故障可归纳为6类典型故障,对应找出具体维修措施,并给出了关键测试点的波形、调试指标,供技术人员参考;发射系统组成部件复杂,高压器件较多,维修难度大,维修人员需掌握系统组成和工作原理,然后进行故障分级判断和故障定位;发射系统维修常用检查仪器主要是示波器和三用表,因此要求技术保障人员熟练使用。随着雷达使用年限的增加,雷达设备故障率也在增加,而故障维修工作纷繁复杂,这就需要把雷达故障进行总结、分类,同一种类型的故障对应相应故障处理方法,这样就能大大提高雷达维修的时效性。

**关键词:**CINRAD/CC;发射系统;故障分析;故障处理

**文章编号:**1006-7639(2013)-03-0622-05 doi:10.11755/j. issn. 1006-7639(2013)-03-0622

**中图分类号:**P415.2

**文献标识码:**A

## 引 言

目前中国气象局已投入运行的新一代天气雷达中,CINRAD/CC型有50余部,CINRAD/CC雷达采用先进的二次变频超外差式接收系统,发射系统采用主振放大式。由于发射系统具有功率大、电压高、电流大和热耗大等特点,又多以脉冲形式工作,故发射系统是雷达中可靠性最低的系统。发射系统故障主要分为高频、脉冲调制器、电源、控保4个方面,导致发射系统故障主要原因是受调制的大功率射频信号对发射系统器件的要求较高,既要耐高压又要耐大电流。目前在雷达的故障分析及维修保障方面,已经发表的文章很多<sup>[1-13]</sup>。其中潘新民等<sup>[1]</sup>对天气雷达发射功率标定的检验方法进行了探讨,徐八林等<sup>[2]</sup>对CINRAD/CC雷达发射机磁场电源故障和速调管运行进行了诊断和分析,李明元等<sup>[3]</sup>对CINRAD/CD雷达方位伺服系统典型故障进行了分析与处理,并做了相应的故障归类,但针对CINRAD/CC雷达发

射系统维护维修方面的故障分析总结性文章相对较少。本文分析了CINRAD/CC雷达发射系统工作原理,给出了CINRAD/CC雷达发射系统关键点参数表,通过对发射系统故障现象、故障原因分析,归纳总结出6类发射系统典型故障及其处理方法,可以作为新进工作人员快速上手的第一手资料,同时也能够为同行雷达维修人员提供参考。

## 1 发射系统组成和信号流程

CINRAD/CC雷达发射系统由固态放大器、固态调制器(含脉冲变压器)、速调管功率放大器(含脉冲旁路器)、发射配电电路、发射监控分机、高压电源分机、磁场电源分机I、磁场电源分机II、灯丝电源分机以及钛泵电源分机等10个部分组成,其简化示意框图见图1。

发射配电电路将输入的50 Hz、三相380 V电源合理地分配给本分系统内各分机、组件以及冷却设备,向它们提供50 Hz单相220 V或三相380 V电

收稿日期:2013-01-14;改回日期:2013-04-17

基金项目:行业专项“自动气象站故障诊断、测试、维修系统研发”(201206076)资助

作者简介:梁华(1981-),男,工程师,硕士,主要从事大气探测装备运行保障与雷达信号处理工作. E-mail:liangh0531@126.com

源。此外,还为本分系统之外的充气机提供三相380 V 电源。对某些需要输入大功率的分机和设备,在它们的供电线路上设置保护装置,并具有断相保护功能。

发射监控分机负责本分系统与全机其它分系统在信号定时、同步和工作状态控制方面的联系,并采集本分系统各分机的故障信号,完成内部技术状态检测功能。

固态放大器将来自发射分系统激励源分机的0.5 W 射频激励信号,放大到满足速调管激励要求的功率电平,送到速调管的输入腔。

固态调制器在放电触发脉冲的控制下,通过脉冲变压器向速调管阴极提供调制脉冲。

速调管作为功率放大器,在其阴极调制脉冲持续期间,将输入的射频激励信号进行充分、有效的功率放大,最后输出 250 kW 以上的射频发射脉冲。脉冲旁路器与速调管及脉冲变压器连接,用以构成速调管收集极电流、管体电流和总流的通路,并可进行检测。

高压电源分机在充电触发脉冲控制下,向固态调制器的储能组件(PFN)提供充电电源。磁场电源 I 和 II 为速调管的 2 组聚焦线圈提供电流,以形成径向聚焦磁场,保证速调管工作时电子柱不致散焦。灯丝电源分机、钛泵电源分机向速调管提供灯丝电源和钛泵电源,后者用以保证速调管的真空度不致降低。

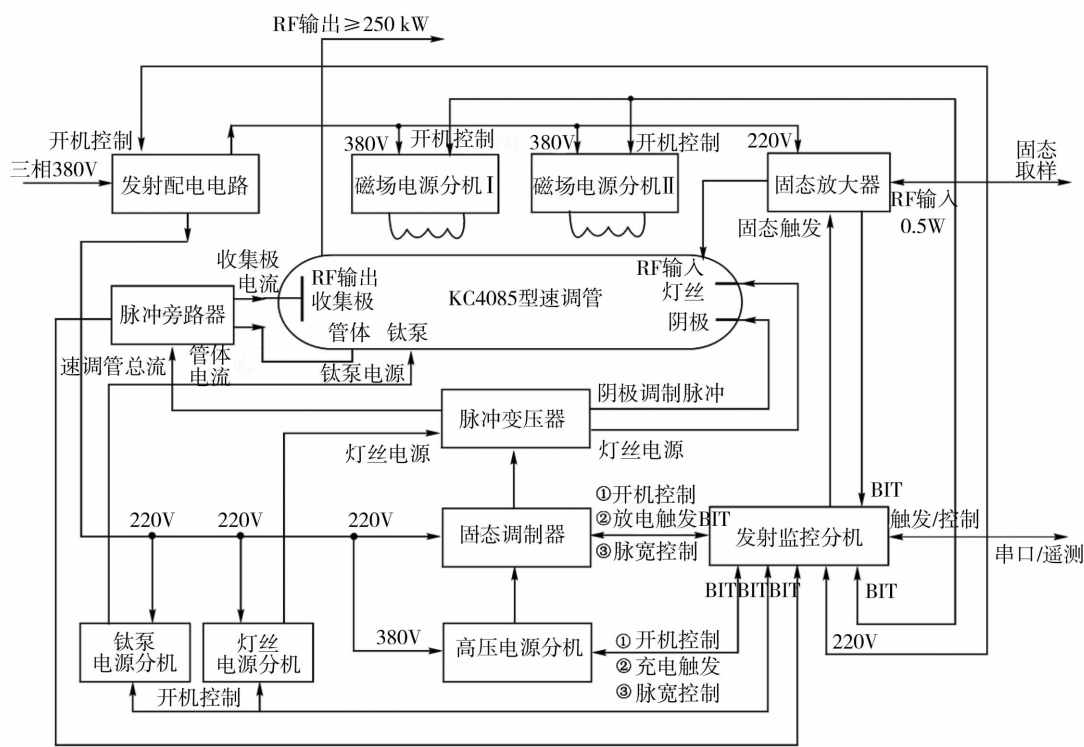


图1 CINRAD/CC 雷达发射分系统组成简化示意框图

Fig.1 The block diagram of CINRAD / CC radar transmitter

## 2 CINRAD/CC 雷达发射系统关键点参数

雷达正常工作状态下,发射系统关键点参数见表1。当雷达发射系统出现故障时,我们可以通过查表的方式对故障区域进行定位,通过发射系统典型故障类型表,迅速找到故障点,对应相应的故障排除方法,迅速排除故障。发射系统关键点参数值见表1。

## 3 发射系统故障分析及处理

### 3.1 故障分析

发射机主要为分立元件,所以在各个元件上均能测到相应的波形。发射机的故障分析通常采用测试元件的波形或相关参数的方法。这就要求雷达站机务人员能够熟练使用示波器以及掌握发射机各个关键监测点的波形。

表 1 CINRAD/CC 发射系统关键点参数值

Tab.1 The transmitter critical point parameter values

项目	正常范围状态(1 $\mu\text{s}$ 单频 900 Hz)状态	备注
总流	2.0 ~ 3.0	终端
管体	$\leq 2.0$	终端
人工线(PFN)	$\leq 4.0$	终端
发射峰值功率	$\geq 250$ kW	终端
灯丝	6 ~ 9 A	分机
磁场 I	6 ~ 9 A	分机
磁场 II	6 ~ 9 A	分机
反峰	$\leq 1.25$ V	指示板
钛泵	$\leq 16.0$ $\mu\text{A}$	指示板
高压 IF	2.0 ~ 3.0 A	指示板
高压 VF	4.5 ~ 6.0 V	指示板
脉冲宽度(1 $\mu\text{s}$ )	1.0 $\pm$ 0.1 $\mu\text{s}$	示波器
脉冲宽度(2 $\mu\text{s}$ )	2.0 $\pm$ 0.1 $\mu\text{s}$	示波器
输出极限改善因子	$\geq 49$ dB	频谱仪
输入极限改善因子	$\geq 52$ dB	频谱仪
IGBT 驱动波形	见图 2	示波器
可控硅阻值	200 ~ 300 k $\Omega$	万用表
可控硅驱动波形	见图 3	示波器
人工线实际电压	$\leq 4$ 000 V	-
阴极电压	$\leq 48$ 000 V	-
钛泵电压	3 500 V	-
温度显示	0 ~ 50 $^{\circ}\text{C}$	-
磁场线圈插座之间阻值	8 ~ 10 $\Omega$	-
门开关故障形式	闭合报故障(1)	-
其余故障形式	断开报故障(0)	-

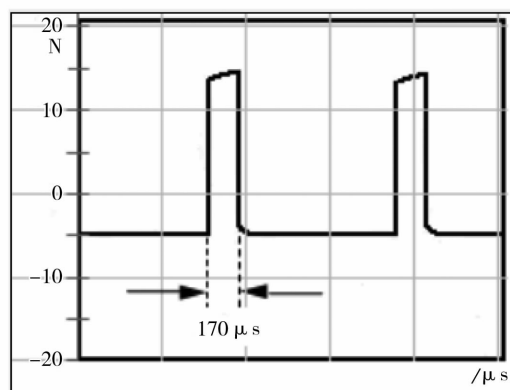


图 2 高压电源的变换器 IGBT 驱动波形

Fig. 2 The driven wave form of the Insulated Gate Bipolar Transistor

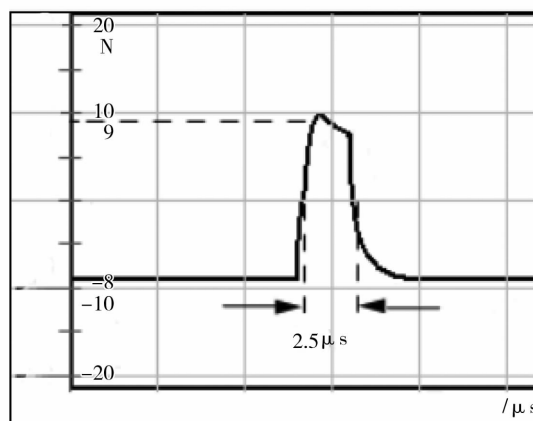


图 3 固态调制器开关管可控硅驱动波形

Fig. 3 The driven wave form of the silicon controlled rectifier

发射机故障主要分为高频、脉冲调制器、电源、控保 4 个方面,故障排除的一般方法为:先从发射机控制保护命令等源头信号查起,首先要根据终端显示的监控系统报警信息结合发射机控制面板参数指示值判断出故障大致部位,再直接检修与报警参数相关的电路。检修时一般先外部输入信号检测,再单元电源检测及关键点参数、波形检测,孤立故障到板级的功能模块及可更换单元。

### 3.2 发射系统典型故障处理

#### (1) 典型故障类型 1

故障现象为:回扫电源故障,发射机无人工线高压;高压电源故障,人工线没有充电电压。首先判断是 500 V 电源故障还是后面回扫充电故障,然后判断是否后面储能变压器后的负载故障,可采用断开负载方法,即断开储能变压器和调制器高压连接电缆,如果可以加上高压(注意由于断开了高压负载,此时人工线无电压),说明后端负载(调制器)故障,如仍加不上高压,报警消除不了,说明前端 500 V 电源和回扫充电电路故障,500 V 电源可以断开负载直接测量,储能变压器(回扫变压器)可按文中方法测试,如果储能变压器故障(短路或断路),将导致充电电流波形变化。在控保信号正常情况下(无充电故障报警),可先测驱动电路输入端有无驱动信号,再测输出端,按照充电信号流程逐级测试检查定位故障器件。具体方法:切断雷达发射机电源,断开高压电源回扫变压器所有的连接电缆,使用万用表或摇表测量变压器初级与次级之间的阻值为 M $\Omega$  量级,正常,排除回扫变压器损坏的可能;将回扫变压器电缆连接好,将雷达发射机开到低压状态,使用示波器测量高压电源中 2 个 IGBT 驱动波形,

示波器探头夹子(地)加白线,钩子钩蓝线,正确波形为0线以上15 V,0线以下5 V,1  $\mu\text{s}$ 时脉冲宽度为170  $\mu\text{s}$ 左右,2  $\mu\text{s}$ 时脉冲宽度为240  $\mu\text{s}$ 左右。测量结果没有该驱动波形,应检查充电触发信号是否正常或IGBT模块是否损坏(注意:此时示波器严禁接地)。更换IGBT后,故障排除,雷达工作正常。

#### (2) 发射系统典型故障类型2

故障现象为反峰故障。雷达反峰电路的作用在于消除PFN放电后出现的负压。现此故障的主要原因是脉冲变压器打火导致人工线(PFN)呈现负压时,整流导通时,从电阻2端输出反峰报警信号,或者硅堆击穿导致反峰报警。将雷达发射机断电,将调制器中整流硅堆拆下,使用摇表测试该整流硅堆的正向导通和反向的阻值为2 M $\Omega$ (正常值M $\Omega$ 量级),判断硅堆正常,排除硅堆损坏的可能(如果测的硅堆阻值不在正常范围内,则更换硅堆);在雷达加高压时,在雷达机房发射机柜II旁边仔细听脉冲变压器中存在打火现象,同时观察打火时反峰电流突然变大,报反峰故障,雷达高压自动切断,判断脉冲变压器中存在打火现象;更换脉冲变压器后,故障排除,雷达工作正常。

#### (3) 发射系统典型故障类型3

故障现象为KLY温度异常。在雷达速调管收集极装有一个温度继电器,该继电器正常时为常闭状态,当雷达速调管收集极的温度超过110  $^{\circ}\text{C}$ 时,该继电器断开,雷达发射机报KLY温度异常故障,发射机高压自动关闭。如果电源相序不对,将导致风机风量较小,达不到散热要求,或者110  $^{\circ}\text{C}$ 温度继电器损坏,都可出现KLY温度异常报警。故障诊断与处理:检查速调管散热风机转动是否正常,是否存在刮叶片现象,若电机运转正常(如果电机不转,判断电机烧坏,更换电机或整个风机),检查风机转动方向是否正常,将雷达加上冷却,然后关冷却,从雷达速调管散热风机出风处观察叶片转动方向,正常时应该是叶片向外鼓风,风量非常大,若反转,风机风量较小,达不到散热要求,经过观察,叶片转动方向正常(如果反转,则可调整电机供电电源任意2项之间的相序。雷达发射机断电,使用三用表测温度继电器2个焊接点之间为常开状态(正常时为常闭状态,即通路),判断该温度继电器损坏。更换温度继电器后,故障排除,雷达工作正常。

#### (4) 发射系统典型故障类型4

故障现象冷却开关脱扣,散热风机短路。在发射机柜I最上边配电分机中有一个控制冷却电源的空气开关和一个辅助节点,当该空气开关断开时,其

辅助节点也随之断开,雷达发射机报冷却开关脱扣故障,高压自动断开,该故障出现应该是雷达冷却系统存在短路现象。故障诊断与处理:用手感觉雷达磁场线包和速调管散热电机表面温度是否正常(如果电机烧坏,表面应该会很烫),如不正常,再进一步判断雷达磁场线包和速调管散热电机是否烧坏,可断开雷达磁场线包和速调管散热风机电源(该电源电缆连接在发射机机柜I配电分机靠近发射机柜II的侧面),打开雷达冷却,如故障现象仍然存在(如果不再报故障,则可判断磁场线包和速调管散热风机中有一个损坏,更换风机备件),再逐个断开雷达机柜顶部的风扇电源插头,判断出现短路的机柜顶部风扇位置。一般采用排除法,逐个判断该机柜顶部4个风扇中损坏的风扇,更换风扇后,故障排除,雷达工作正常。

#### (5) 发射系统典型故障类型5

故障现象为发射脉冲包络检波明显变窄。雷达发射机射频放大链第一级为固态放大器,第二级为大功率速调管放大。这2级是对射频信号进行放大的,正常时激励信号应该处于调制脉冲的中间位置,若存在偏移现象,则会造成脉冲包络变窄或前后沿变差现象,导致发射功率下降。这需要检查固态放大器输出脉冲与激励信号的时序关系,速调管调制脉冲与激励信号的时序关系。故障诊断与处理:使用示波器和检波器对接收机输出激励信号进行包络检波波形检查,脉冲宽度为1.0  $\mu\text{s}$ ,接收机输出激励信号正常(正常时为一个标准矩形方波,宽度为 $1 \pm 0.1 \mu\text{s}$ ),使用示波器和检波器测试发射机固态放大器输出信号的脉冲包络,脉冲宽度为1.0  $\mu\text{s}$ ,固态放大器工作正常(正常时为一个标准矩形方波,宽度为 $1 \pm 0.1 \mu\text{s}$ ,如果较窄可通过调整发射机监控分机中接口板中的可调电位器RP1来调整),雷达加高压,使用电流测试环测试速调管调制脉冲与接收机激励信号之间的时序关系,发现激励信号没有处于调制脉冲底部中间的位置。调制脉冲的时序与接收机送过来的激励信号之间的时序没有对上(正常时激励信号应该处于发射机调制脉冲的正中间位置),通过调整发射机监控分机中接口板中的可调电位器RP2(靠近插件的面板),可调整两着之间的时序关系。调整后,故障排除,雷达工作正常。

#### (6) 发射系统典型故障类型6

故障现象为雷达无回波。发射机没有处于正常工作状态,雷达出现无回波故障时,首先要判断是发射系统故障还是接收系统故障。先做标校检查,如果标校检查正常,说明接收系统工作正常,故障可能

在发射系统。故障诊断与处理:将雷达设置在 1  $\mu\text{s}$ , 单频 900 Hz 状态, 同时雷达不在标定状态下(雷达在标定状态下会将激励信号封掉, 雷达激励无输出), 使用示波器和检波器对接收机输出激励信号进行包络检波, 脉冲宽度为 1.0  $\mu\text{s}$ , 接收机输出激励信号正常。雷达加高压, 总流、管体均正常, 峰值功率显示为 0 kW, 使用示波器和检波器测试发射机固态放大器输出信号的脉冲包络, 检测不到信号输出, 判断固态放大器坏或送到固态放大器时序不对(正常时为一个标准矩形方波, 宽度为  $1 \pm 0.1 \mu\text{s}$ ), 通过调整发射机监控分机接口板中的可调电位器 RP2(靠插件的右面)来调整激励信号和固态放大器调制脉冲之间的时序关系, 缓慢调整电位器, 在示波器上始终看不到激励信号, 判断为固态功放损坏, 更换固态功放后, 故障排除, 雷达工作正常。

## 4 结 语

(1) 发射系统发射机故障主要分为高频、脉冲调制器、电源、控保 4 个方面, 可以归纳为 6 类典型故障。回扫电源故障现象一般是脉冲变压器打火和 IGBT 可控硅被击穿; 反峰故障现象一般是硅堆被击穿; KLY 温度异常故障现象一般是冷却三相电机烧坏和三相电机相序不对; 冷却脱扣故障现象一般是速调管未接触好和轴流风扇烧坏造成短路; 发射脉冲包络检波变窄故障现象一般是发射监控分机接口板中可调电位器 RP1 漂移; 高压功率指示无回波故障现象一般是固态放大器损坏。

(2) 发射系统维修常用仪器仪表主要是频谱分析仪、功率计、示波器, 因此要求保障人员熟练使用。

(3) 随着雷达使用年限的增加, 雷达设备故障率也在增加, 而故障维修工作纷繁复杂, 这就需要把雷达故障进行总结、分类, 同一种类型的故障对应相应故障处理方法, 这样就能大大提高雷达维修的时效性。

## 参考文献:

- [1] 潘新民, 汤志亚. 天气雷达发射功率标定的检验方法探讨[J]. 气象, 2002, 28(4): 34-37.
- [2] 徐八林, 杨松福, 何跃, 等. CINRAD/CC 雷达发射机磁场电源故障诊断与调试[J]. 气象, 2010, 36(2): 126-129.
- [3] 李明元, 陈明林, 左经纯, 等. 新一代天气雷达方位伺服典型故障分析及处理[J]. 气象, 2012, 38(1): 123-128.
- [4] 周红根, 柴秀梅, 胡帆, 等. 新一代天气雷达回波异常情况分析[J]. 气象, 2008, 34(6): 112-115.
- [5] 周红根, 周向军, 祈欣, 等. CINRAD/SA 天气雷达伺服系统特殊故障分析[J]. 气象, 2007, 33(2): 98-101.
- [6] 杨传凤, 袁希强, 黄秀韶, 等. CINRAD/SA 雷达发射机故障诊断技术与方法[J]. 气象, 2008, 34(2): 115-118.
- [7] 梁华, 刘永强, 谢万军, 等. 利用微波仪器测量新一代天气雷达发射功率及改善因子[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 635-638.
- [8] 梁华, 刘永强. CINRAD/CC 雷达技术指标测试方法[J]. 干旱气象, 2011, 29(4): 504-508.
- [9] 刘维成, 尚大成, 张宇飞, 等. 兰州新一代天气雷达数据误差来源分析[J]. 干旱气象, 2008, 26(1): 89-94.
- [10] 王志武, 周红根, 林忠南, 等. 新一代天气雷达 SA&B 的故障分析[J]. 现代雷达, 2005, 27(1): 16-18.
- [11] 周红根, 朱敏华, 段素莲, 等. CINRAD/SA 雷达故障分析[J]. 气象, 2005, 31(10): 39-42.
- [12] 张涛, 王民栋, 解莉燕, 等. 用频谱仪检修 CINRAD/CC 雷达发射系统故障[J]. 气象科技, 2010, 38(3): 336-339.
- [13] 潘新民, 柴秀梅, 申安喜, 等. 新一代天气雷达(CINRAD/SB)技术特点和维修、维修方法[M]. 北京: 气象出版社, 2009, 217-218.

## Analysis and Solution of Typical Faults on the Transmitter of the CINRAD/CC

LIANG Hua<sup>1</sup>, REN Jingwei<sup>2</sup>, LIU Yongqiang<sup>1</sup>, ZHAO Wen<sup>1</sup>

(1. Gansu Meteorological Information and Technic Support and Equipment Center, Lanzhou 730020, China;

2. Beijing Institute of Radio Measurement, Beijing 100000, China)

**Abstract:** Due to launch system of radar contains lots of complex components and high-pressure devices, the maintenances are difficult, which require technicians knowing the structure and working principle of the system very well for the fault type judgment and fault location. Moreover, the frequencies of radar faults are rising gradually with the service life, it is thus necessary to summarize and classify the faults of radar to make the complicated repair in radar maintenance more efficient, because different faults need corresponding methods to solve. Accordingly, this paper summarized the maintenance of the transmitter of China new generation radar (CINRAD/CC) applied in Gansu Province based on the operating principle, the occurring fault and the fault cause of the transmitter system. It was found that the faults of the transmitter system of CINRAD/CC were classified into six typical types. Through finding out the cause of each type of fault, the corresponding maintenance method was defined, and the waveform and debugging indicators of the critical test point were obtained too. Furthermore, technicians need to use the oscilloscope and multimeter skillfully. It is believed that these results can be not only a tutorial material for the beginners of radar maintenance, but also a useful reference for the technicians of radar maintenance.

**Key words:** CINRAD/CC; transmitter; fault analysis; fault maintenance