

PSM 短波发射机功率控制板工作原理与故障分析

都日娜

内蒙古自治区广播电视传输发射中心 839 台 内蒙古自治区 呼和浩特 010010

摘要: PSM短波发射机凭借脉冲阶梯调制技术成为主流广播设备,功率控制板作为其核心单元,承担功率调节、保护控制及信号处理等关键功能。本文从工作原理出发,解析功率调节、保护机制及信号传输技术,结合硬件老化、软件算法缺陷及环境干扰等因素,系统分析功率输出异常、保护误动作等典型故障,并提出“先外后内”的诊断方法与分级维护策略。通过建立维护档案与数据分析体系,可有效降低故障率,提升发射机运行稳定性,为广播设备维护提供理论支持与实践参考。

关键词: PSM短波发射机;功率控制板;工作原理;故障分析;维护策略

引言: PSM短波发射机自20世纪80年代问世以来,凭借高效、稳定的技术优势广泛应用于广播领域。其核心的脉冲阶梯调制(PSM)技术通过动态控制模块开通数量实现功率调节,突破了传统调幅器的效率瓶颈。功率控制板作为发射机的“大脑”,直接决定输出功率精度与设备安全性。然而,受硬件老化、软件缺陷及环境干扰等因素影响,控制板故障频发,导致功率波动、保护误动作等问题,严重影响广播信号传输质量。本文从工作原理、故障现象、诊断及维护策略四方面展开研究,旨在为PSM发射机运维提供系统性解决方案。

1 PSM短波发射机功率控制板概述

1.1 PSM短波发射机简介

PSM短波发射机作为现代广播发送领域的核心设备,自20世纪80年代由瑞士ABB公司首创以来,凭借其独特的脉冲阶梯调制(PSM)技术,迅速成为国际主流机型。该技术通过将高压直流电源“化整为零”,采用48个独立低压整流模块串联叠加,动态生成射频末级所需的阶梯状板极电压。例如,在100kW发射机中,载波状态下21个模块接通提供额定板压,调制时模块数量随音频信号变化,100%正峰时42个模块接通,负峰时全部断开,实现电压的阶梯式调整。这种设计不仅取消了传统调幅器的调幅变压器和阻流圈,还将调制器与电源系统合二为一,使整机效率提升至70%以上,较传统乙类屏调发射机提高近20个百分点^[1]。PSM技术通过数字信号处理实现精确控制,配合光缆传输技术,有效解决了高电位与低电位信号的隔离问题,显著提升了系统的稳定性和可靠性。

1.2 功率控制板的功能与组成

功率控制板是PSM短波发射机的核心控制单元,承担着输出功率设置、高低功率切换、过载保护及故障自恢复等关键功能。其硬件架构以三态或非R/S锁存器U26

为核心,通过光电耦合器接收面板操作指令,结合复位信号和故障计数器U30的反馈,生成高/低功率控制信号。例如,在自动功率控制模式下,开机时复位信号为高电平,U26锁定初始状态;当发生三次过载故障时,U30的Q3输出高电平,触发U26将功率信号从高功率切换至低功率,并点亮低功率锁定指示灯。软件层面,功率控制板集成数字信号处理算法,可实时监测阴极电流、帘栅流及驻波比等参数,通过PID控制算法动态调整模块开通数量,确保输出功率稳定在设定值的 $\pm 1\%$ 以内。另外,该板还具备边缘检测功能,通过异或非门电路检测功率切换时的暂态信号,生成150纳秒宽度的低电平脉冲,用于清除故障计数器,避免误保护动作。在保护机制设计上,功率控制板与PSM调制器、过流传感器及驻波比封锁装置协同工作,形成三级防护体系:一级保护通过过流继电器实现毫秒级响应,二级保护利用功率模块的过温传感器和电压监测电路,三级保护则依赖驻波比比较器,当VSWR超过1.7:1时,0.5秒内切断高压电源,确保设备安全。

2 PSM短波发射机功率控制板工作原理

2.1 功率调节原理

PSM短波发射机功率控制板通过脉冲阶梯调制(PSM)技术实现功率调节。其核心是将高压直流电源分解为多个独立低压模块(通常48个),每个模块输出相同电压,通过开关矩阵控制模块的开通数量,叠加生成阶梯状板极电压。例如,载波状态下开通21个模块提供额定电压,调制时根据音频信号动态增减模块数量:正峰时开通42个模块提升电压,负峰时全部断开降低电压^[2]。控制板通过数字信号处理器(DSP)实时采集音频信号幅度,结合预设的功率曲线生成模块控制指令,经光耦隔离后驱动功率开关。采用闭环反馈控制,通过监测阴极电流、帘栅流

等参数,利用PID算法动态调整模块开通数量,确保输出功率稳定在设定值的 $\pm 1\%$ 以内。这种阶梯式调节方式既避免了传统调幅器的能量损耗,又实现了高效率(达70%以上)和线性度。

2.2 保护控制原理

功率控制板的保护机制采用三级防护体系。一级保护为瞬态过流保护,通过霍尔传感器实时监测阴极电流,当电流超过额定值1.5倍时,0.1毫秒内触发过流继电器切断高压电源。二级保护为模块级保护,每个功率模块内置温度传感器和电压监测电路,当模块温度超过 85°C 或电压异常时,自动关闭该模块并上报故障信号。三级保护为驻波比(VSWR)保护,通过定向耦合器检测天线端驻波比,当VSWR超过1.7:1时,控制板在0.5秒内切断高压,同时启动故障计数器。若连续三次故障,系统自动切换至低功率模式并锁定,需手动复位才能恢复。此外,保护电路还具备自恢复功能,当故障排除后,控制板通过延时电路逐步恢复模块开通,避免冲击电流损坏设备。

2.3 控制信号传输与处理

控制信号传输采用光缆隔离技术,确保高电位区与低电位区的电气隔离。面板操作指令(如功率设置、高低功率切换)通过光电耦合器转换为光信号,经光缆传输至控制板,再由光接收器还原为电信号。控制板内部采用三态或非R/S锁存器(如U26)处理信号,结合复位信号和故障计数器(U30)的反馈,生成精确的模块控制脉冲。例如,高功率模式下,复位信号为高电平,锁存器输出开通信号;当故障计数器达到3次时,其Q3输出高电平,强制锁存器切换至低功率状态。信号处理环节,DSP对音频信号进行预加重、限幅和数字滤波,生成符合PSM调制特性的控制码流,再通过FPGA转换为模块开关指令。同时控制板还具备边缘检测功能,通过异或非门电路检测功率切换时的暂态信号,生成150纳秒宽度的低电平脉冲,用于清除故障计数器,避免误保护动作。

3 PSM短波发射机功率控制板故障分析

3.1 常见故障现象

PSM短波发射机功率控制板常见故障现象可分为三类:一是功率输出异常,表现为发射机无法达到额定功率、功率波动超过 $\pm 1\%$ 或自动切换至低功率模式;二是保护电路误动作,如无过载情况下频繁触发过流保护、驻波比告警灯常亮或系统锁定无法复位;三是控制信号中断,包括面板操作无响应、功率设置值与实际输出不符、高低功率切换失效等^[3]。例如,某发射机在运行中突然功率跌落至30%,同时低功率指示灯亮起,复位后短暂恢复正常但反复出现;另一案例中,操作人员调整功率时发

现显示屏数值变化但实际输出未跟随,且伴随间歇性“滴滴”告警声。另外,部分故障表现为模块状态异常,如功率模块指示灯闪烁不规律、部分模块温度显著高于其他模块等,这些现象通常与控制板对模块的驱动信号异常有关。

3.2 故障原因分析

故障原因可从硬件、软件及环境三方面分析。硬件方面,光电耦合器老化导致信号传输失真、锁存器(如U26)损坏引发控制信号错乱、故障计数器(U30)误计数造成系统锁定,以及功率模块驱动电路元件(如三极管、电阻)参数漂移,均可能引发功率控制异常。软件层面,DSP算法错误导致模块开通数量计算偏差、PID参数设置不当造成功率波动,或FPGA固件版本不匹配引发信号处理错误,是常见软件故障根源。环境因素中,机房温度过高导致控制板电容性能下降、灰尘堆积引发接触不良、雷击或电源波动造成瞬态过压,均可能间接导致控制板工作异常。

3.3 故障诊断方法

故障诊断遵循“先外后内、先软后硬”原则,具体流程如图1所示。

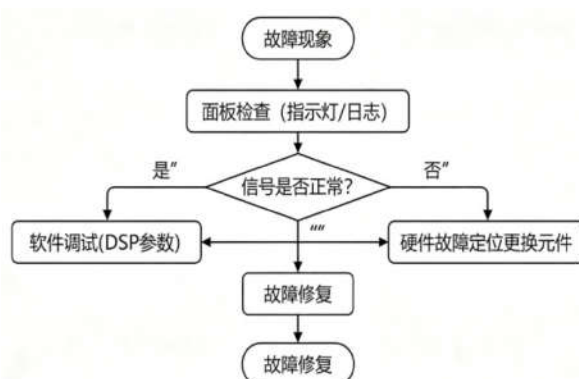


图1 PSM短波发射机功率控制板故障诊断流程图

首先检查面板操作记录、故障日志及指示灯状态,初步定位故障范围。例如,若低功率指示灯常亮且无法复位,优先排查故障计数器是否达到锁定阈值;若功率波动伴随模块指示灯闪烁,则需检测模块驱动信号。其次,使用示波器监测关键信号:在控制板输入端检测面板操作指令的光信号波形,确认信号是否完整;在输出端检测模块驱动脉冲的幅度、宽度及相位,判断锁存器及驱动电路是否正常。若硬件信号正常,需通过调试软件读取DSP内部参数,检查功率计算值、PID输出及故障计数器状态,确认软件逻辑是否正确。对于环境因素导致的故障,需测量机房温湿度、电源电压稳定性,并检查控制板接地是否良好。

4 PSM短波发射机功率控制板维护策略

4.1 日常维护与保养

PSM 短波发射机功率控制板日常维护聚焦清洁、检查与基础参数监测。每日用吸尘器或软毛刷清理控制板表面灰尘,着重清除散热片缝隙和接口处积尘,防止元件过热损坏;每周用压缩空气罐吹扫光耦、插座等精密部件,避免接触不良。每日检查控制板指示灯,确认电源、故障等指示灯显示正常;通过监控系统记录阴极电流等关键参数,对比历史数据发现潜在异常。每月紧固检查控制板,轻拧固定螺丝防松动;用万用表检测电源输入电压,确保供电稳定。每季度清洁光缆接头,用酒精棉擦拭光纤端面;检查控制板接地电阻,要求小于 1Ω ,保障防雷效果。

4.2 故障预防与处理

故障预防需结合定期检测与参数优化。每半年对控制板进行功能测试,通过模拟过流、驻波比超限等故障场景,验证保护电路响应速度(要求过流保护 $\leq 0.1\text{ms}$,驻波比保护 $\leq 0.5\text{s}$);同时使用示波器检测模块驱动脉冲波形,确认幅度、宽度符合标准(如脉冲宽度 $150\pm 10\text{ns}$)。针对软件故障,每年联系厂家更新DSP及FPGA固件,修复已知算法漏洞;并重新校准PID参数,根据发射机实际运行数据调整比例、积分系数,提升功率稳定性。故障处理时,遵循“先隔离后修复”原则:若某模块驱动信号异常,先通过跳线将该模块从控制回路中隔离,避免故障扩大;再根据示波器波形定位故障点(如光耦损坏、锁存器失效),更换对应元件后进行功能复测。对于频繁复发的故障,需深入分析环境因素,如加装机房空调控制温度(建议 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$),或增设防雷器降低电源波动影响。

4.3 维护记录与档案管理

维护记录对故障溯源和优化维护策略至关重要。每次

完成功率控制板维护后,维护人员要认真填写《功率控制板维护记录表》,详细记录维护时间、内容,如清洁、参数检测、元件更换情况等,还需记录所用工具和测试数据,像电源电压、驱动脉冲波形截图等。若发现异常,要描述故障现象、处理过程和结果,并签字确认,保证记录真实可追溯^[4]。同时,要建立完善的电子化档案系统,分类存储维护记录、设备说明书、电路图及历史故障案例等,方便按时间、故障类型等关键词快速检索,助力故障排查。此外,每年要对维护数据深入分析,统计故障高发时段、元件寿命、维护成本等信息,依据分析结果制定下一年度维护计划,如合理调整检测周期、优化备件库存等,以此提升维护效率和质量,保障设备稳定运行。

结束语

PSM短波发射机功率控制板的稳定性直接关系到广播信号的传输质量与设备寿命。本文通过解析其工作原理与故障机理,提出分级诊断方法与预防性维护策略,强调硬件清洁、参数监测与软件更新的协同作用。实践表明,建立维护档案并定期分析故障数据,可提前识别潜在风险,降低非计划停机率。未来,随着数字化技术的发展,功率控制板将进一步集成智能诊断功能,实现故障预测与自适应调整,为广播设备的智能化运维提供新方向。

参考文献

- [1]徐倩.DF100A型PSM短波发射机功率开关模块的介绍与典型故障分析[J].现代信息科技,2022,6(4):66-68,71.
- [2]马江辉.探析小功率短波发射机保护问题[J].卫星电视与宽带多媒体,2022(15):25-26,29.
- [3]罗桑卓玛.短波发射机天线效率影响因素分析[J].中国科技纵横,2025(14):79-81.
- [4]陈艳慧.中短波发射机PLC自动化控制[J].电视技术,2022,46(1):64-66.