

三代核电机组UPS设备故障分析与处理

吴新柱 林 教 熊炳旭 陈桂龙

台山核电合营有限公司 广东台山 529200

【摘要】本文从一起三代核电机组UPS设备故障导致下游失电出发，分别从逆变器下游配电盘绝缘故障、逆变器工作电源PSU故障、逆变器逻辑控制板故障、逆变器主板故障进行原因分析，最终确定逆变器故障失电的原因并制定处理措施，避免UPS设备故障停运影响机组安全稳定运行，通过逆变器故障失电的原因分析和处理措施，UPS设备故障停运对机组安全稳定运行的影响得到有效避免，为三代核电机组UPS设备的可靠性和稳定性提供了重要的参考，为核电行业的发展和安全生产运行提供了有益的经验借鉴。给后续同类设备运行维护提供参考。

【关键词】UPS；绝缘；主板；失电

引言

UPS即不间断电源（Uninterruptible Power Supply），在核电站主要用于给下游重要用户供电，如中、低压配电盘控制保护电源，仪表RPR/KCO系统保护电源，调节阀动力电源等，UPS供电稳定，在上游失去电源后能自动切换到静态旁路运行，确保下游不失电，可靠性高。三代核电机组UPS设备主要使用品牌有瑞士GUTOR，型号为WDW 3200-220/400-EAN-R；德国BENNING，型号为G220D400/144/2rfg-WDG100。

UPS设备主要组成部分为整流器、蓄电池、逆变器、静态旁路、维修旁路、切换开关以及对应的控制部分，见图1^[1]。

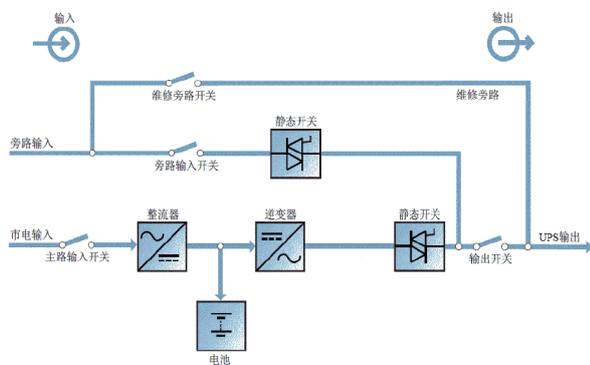


图1: UPS设备组成

1 正常运行方式

UPS正常有4种运行方式，分别是正常运行方式、蓄电池供电运行方式、静态旁路运行方式、手动维修旁路运行方式，

这四种运行方式切换过程中均不会导致下游负荷失电^[2]。

正常运行方式：该方式下整流器、蓄电池、逆变器运行正常，输入电压经整流器整流后一部分给蓄电池充电，一部分经逆变器将直流电转换为交流电给负载供电，运行方式如图2：

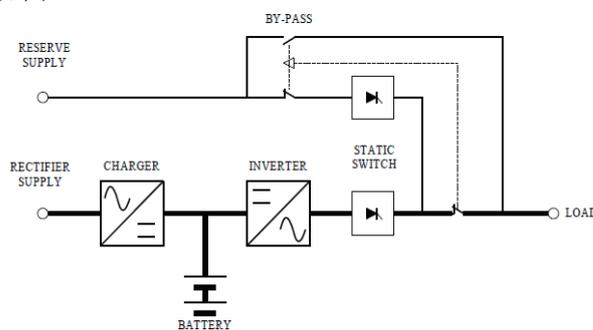


图2: UPS正常运行方式

蓄电池运行方式：当上游AC电源失去或者充电器故障时，蓄电池开始放电，此时由蓄电池开始给下游逆变器供电，蓄电池电压会逐渐降低，直至蓄电池容量耗尽或者达到逆变器的低电压动作，该过程下游不会失电，运行方式如图3：

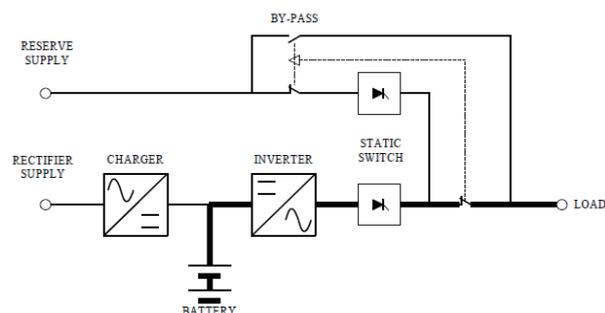


图3: 蓄电池运行方式

静态旁路运行方式：当逆变器故障或者输入电压逐步降低到逆变器的低电压定值以下时，逆变器采样卡检测到异常（逆变器故障或者输入电压异常），自动将采集的信息发送到接口板A071，最终传送给主板A070，主板A070分析输入异常或者逆变器故障后，发送指令将旁路静态开关闭合，逆变器回路静态开关断开，切换时间为10-20ms，下游可不断电切换，静态旁路运行方式如下图4：

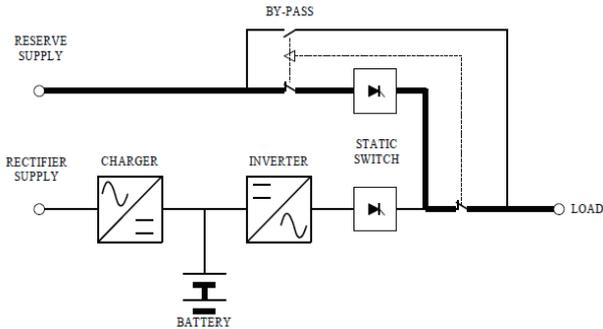


图4：静态旁路运行方式

手动维修旁路运行方式：当逆变器故障需要停运隔离出来检修时，需手动切换到维修旁路供电，切换到手动维修旁路主要通过操作切换开关来实现，切换开关一般有3个档位，分别是AUTO位、TEST位、MAINTANCE位，由于手动维修旁路切换开关是先通后断，所以手动切换过程中不会失电，手动维修旁路运行方式如下图5：

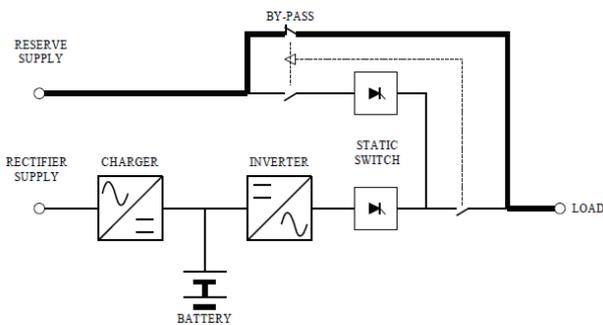


图5：手动维修旁路运行方式

2 问题介绍

2023年3月，广东某三代核电站主控触发配电盘失电报警，现场检查逆变器处于停运状态，就地INVERTER FAULT、EA INHIBITED、FAN FAILURE、AC UNDERVOLTAGE、AC OVERVOLTAGE故障指示灯亮。查询逆变器历史报警记录，发现逆变器存在60:MPU IS RESET报警。手动按逆变器启动按钮重启逆变器正常，运行一天后，逆变器再次自动停运，下游失电，故障现象跟第一次故障一样。

3 原因分析

3.1 逆变器下游配电盘故障

逆变器下游的负荷是配电盘，当配电盘母线发生接地或者短路故障时，故障电流会超过逆变器的带载能力，逆变器会自动切到静态旁路，静态旁路由于电流过大，会导致驱动板发热故障从而停运。

配电盘失电后，出票对配电盘进行母线绝缘测量，发现母线A/B/C三相相间及对地绝缘数据正常，将逆变器的输出开关断开，通过另一路电源给配电盘供电，下游配电盘运行正常，由此判定逆变器故障停运原因并非下游配电盘导致，配电盘绝缘测量数据见下表1^[3]。

表1：配电盘绝缘测量数据

A-B	A-C	B-C	A-地	B-地	C-地	ABC-地	标准
>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	>2000	≥1 (MΩ)

3.2 逆变器工作电源PSU故障

逆变器卡件的工作电源模块被扩展成独立的两组A201/A211和A202/A212，分别从交流侧和直流侧取电，经整流或斩波为满足卡件工作的电压等级后，供给扩展卡，再经扩展卡汇总分配给主板A070，最终用于各卡件工作电源。具体的电源传输路径接线图为交流电及直流电从A071接口板经保险输入后，交流侧经过逆变器的输出侧取电，经1T04/2T04隔离变压器处理后输入给A201/A211，经整流斩波获得工作电源，并与直流侧输入给A202/212处理后的电源并联后，分别经“K”和“2K”线输给扩展卡1A99和2A99，最终由1A99通过“MM”线传输给A070，最终给其余控制板卡供电。

因电源侧从二个部位取电（直流输入侧、逆变器输出侧），分别输入给4个电源模块A201/A202、A211/A212，如果A201/A202、A211/A212单独故障，系统会发出控制信号，单独停运某一电源卡，A201/A202、A211/A212单独故障并不会引起整盘失电。而系统正常运行期间，A201/A202、A211/A212同时发生故障的概率也较低。现场测量电源板卡A201/A202的输出电压分别为5.17V, 5.24V，测量主板芯片

对地电压5V，满足要求的 $>4.7V$ ，可排除 PSU电源板卡故障导致的逆变器停运^[4]。

3.3 逆变器远程控制功能故障

为了方便在逆变器故障时，通过远方将逆变器停运，安装了一块远方启停控制板A025，一旦A025异常自动触发停运逆变器指令，可实现逆变器自动停运，逆变器检测到无异常后重新启动，触发报警MPU IS RESET，现场检查远方启停控制板A025，外观无异常，控制板表面无发热、破损痕迹，将A025拆下来拷机运行，在其余逆变器上试验运行正常，未出现逆变器MPU IS RESET现象，现场将故障逆变器的A025换新备件后，启动逆变器运行一段时间MPU IS RESET仍然会现象，可排除远程控制板A025故障导致的逆变器停运。

3.4 逻辑控制板A701故障

A701控制板主要是并机、负载分配、watchdog控制、输出静态开关控制，一旦该控制板卡故障，可导致静态开关无输出，从而下游失电。现场启动后对A701控制板进行测温，无异常，检查A701控制CLPD芯片针脚无断裂、变形痕迹，更换新的A701控制板卡后，逆变器MPU IS RESET现象仍旧出现，可排A701故障导致的逆变器停运。

3.5 主控制板A070故障

主控制板A070的MPU芯片组由D096MPU Firmware、D097RAM1、D098RAM2以及处理器Main Processor Unit组成（见图6），其中Main Processor Unit是主控制中心，用于读取D096、D097中的程序及系统设置，经分析处理后向系统其它模块发送指令，其系统运行记录存储在

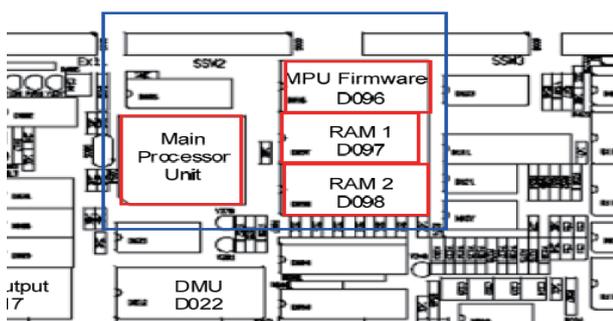


图6：主控制板A070功能分区图

D098中；D096是存储模块，存有系统的主程序；D097为存储模块，存有系统的参数设置等，D098为存储模块，存储系统时钟、运行及故障记录等。

当Main Processor Unit、D096、D097、D098这4块芯片（见图7）的硬件故障（芯片引脚虚焊、引脚腐蚀锈蚀、引脚接触不良）或软件故障（芯片内部程序故障），可导致逆变器停机且无法切换至旁路运行，从而引起母线失电。现场在对主板的这4块MPU芯片处理单元检查时，发现Main PROCESSOR UNIT芯片存在接触不良，轻碰该芯片逆变器RESET故障复现，检查Main Processor Unit芯片与底座为插拔设计，底座存在空隙（见图8），无法固定牢固，容易脱落，而其它3块芯片通过针脚卡扣式连接，对其进行硬件检查无异常。

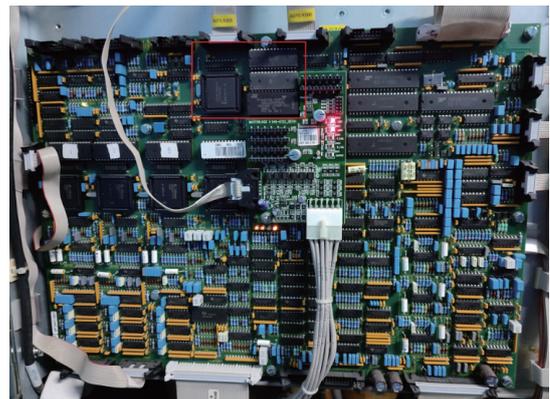


图7：主控制板A070 MPU实物图

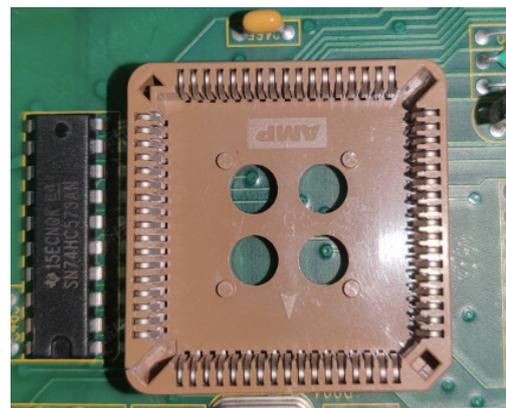


图8：Main PROCESSOR UNIT底座图

使用专用软件对芯片的内部程序进行读取匹配，软件检查无异常，并将这三块带软件的芯片在其它正常运行的逆变器上进行验证，运行无异常，确认此次故障原因为主板上的Main PROCESSOR UNIT故障导致。

综上所述认为,逆变器故障停运的主要原因为逆变器主板A070上的Main Processor Unit芯片接触不良导致逆变器停运;而逆变器主板芯片接触不良的原因为主板存在设计缺陷,加上逆变器主板故障时不会强制切换到旁路运行,造成逆变器停运下游负荷失电。

4 问题处理

(1) 现场对逆变器主板上的Main Processor Unit芯片进行更换,更换完成后对芯片加载运行程序;

(2) 运用9点敲击法敲击主板上的芯片四周和边沿,确认主板上的芯片接触良好无松动;

(3) 启动逆变器进行功能试验、验证逆变器在正常运行方式、静态旁路运行、手动维修旁路运行方式间切换正常,输出电压波形无断点,切换时间 $<20\text{ms}$;

(4) 对主板A070发起升级优化流程,将原芯片的固定方式由插拔方式优化为焊接方式,确保芯片不会接触不良,同时优化芯片的软件加载方式,无需来回插拔芯片进行软件数据导入,可无需插拔芯片直接通过主板加载软件程序。

(5) 对逆变器增加ISBS强切功能,在逆变器主板故障时启动ISBS,强制切换到静态旁路,确保逆变器下游不失电。

(6) 对全厂1/2号机组同类型逆变器主板进行检查,将接触不良的芯片进行更换并确保新安装的芯片无松动现象。经过一轮排查将存在缺陷的主板芯片全部完成更换和升级,更换后全厂逆变器运行正常,未再出现出主板芯片接触不良导致逆变器停运事件。

5 结束语

近年来,各核电站陆续出现UPS设备故障停运事件,如2022年5月,福建某电站由于主板A070上的RAM1芯片基座3号引脚处异常,接触不良,CPU读写RAM1时地址错误,引起系统反应变慢卡顿,最终系统故障停运,造成母线失电。2022年10月,山东某电站由于逆变器主板A070上芯片接触不良导致逆变器停运下游失电最终引起机组跳堆。UPS作为不间断电源,下游均为涉及安全的重要负载,按照设计不应该存在UPS故障下游停运事件,同时UPS设备随着运行年限的增加,电容、电路板老化问题,尤其是主板芯片故障问题会更加突出,在定期检修中运用合适的方法检查芯片的接触情况,同时加快主板的升级替代和ISBS功能的增加,避免UPS设备故障从而影响机组的安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 闻凯阳. UPS不间断电源的组成原理及维保分析[J]. 中国新通信. 2018(09): 231.
- [2] 李佳. 泰山核电站UPS故障导致停机的原因分析[J]. 中国核电, 2017(1): 34-38.
- [3] DL/T596-2021电力设备预防性试验规程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2021: 106.
- [4] REPLACE COPY OF PERMIT. Operation and Maintenance Manual[J]. Pico Branch Library at Virginia Avenue Park, 2012.

作者简介:

吴新柱(1986-),男,湖北咸宁人,工程师/技师。毕业于武汉大学电气工程与自动化专业。主要从事中低压配电盘、直流UPS设备的设计采购、安装调试、维护工作。