

# 某核电站1号机反应堆保护组电源故障报警原因分析

## Analysis of Power Failure Alarm Causes for Reactor Protection Group of Unit 1 of a Nuclear Power Plant

陈伟

Wei Chen

中广核核电运营有限公司 中国·广东深圳518000

China Nuclear Power Operations Co.,Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

**摘要:** 论文通过研究金属薄膜电容的结构原理及失效机理,最终找到反应堆保护组电源故障报警根本原因为滤波电容发生湿热失效。

**Abstract:** By studying the structural principle and failure mechanism of metal film capacitor, this paper finally finds that the root cause of power failure alarm of reactor protection group is damp heat failure of filter capacitor.

**关键词:** 电压继电器; 薄膜电容; 失效机理

**Keywords:** voltage relay; film capacitor; failure mechanism

**DOI:** 10.12346/etr.v4i5.5623

## 1 引言

某核电站1号机反应堆在功率模式运行时反应堆保护组电源出现LNB配电盘220V超限报警,论文针对这一故障报警根本原因进行分析。

## 2 设备原理介绍

LNB系统的母线电压采用继电器A41来监视,当电压在198~242V之间时,正常工作指示灯亮,内部继电器励磁;当母线电压超过该范围时,低电压指示灯亮或高电压指示灯亮,内部继电器失磁,报警接点通过中间继电器向主控发送220V超限报警。

## 3 原因分析

### 3.1 直接原因分析

现场检查发现A41正常工作指示灯绿灯与高电压指示灯红灯存在交替闪烁现象,报警接点也会随之翻转,但测量母线实际输出电压为220V且稳定,可以判断A41内部故障导致配电盘故障报警。

### 3.2 继电器A41功能异常分析

A41内部电路板包括电源转换、电压监测比较、继电器控制、指示灯控制等功能单元,工作原理为采集母线电压作为工作电源经过电容C7滤波、稳压管稳压、二极管整流和电压转换后为稳定的直流工作电压VCC,然后继电器通过电压比较器U1将外部高电压检测信号与内部由VCC经过电阻分压来的基准电压进行比较,U1输出经过逻辑电路驱动发出报警。通过给继电器加电测试和记录比较器输入端、输出端及VCC电位波形发现指示灯交替闪烁与VCC的电压波动有关。

测量VCC供电回路各元器件发现C7滤波电容容量只有116.6nF,远低于标称值的330uF,容量下降后相应阻抗上升,电源转换电路的带载能力下降,当继电器动作时,电源转换电路的电流增大,C7上的电压降增大,导致输出后端VCC电压被拉低,继而影响比较器基准电压下降,低于外部高电压检测信号时红灯亮,绿灯灭,继电器失磁后电流减小,导致C7上的电压降减小,输出后端VCC电压又上升,又导致高电压报警电路中比较器基准电压上升,高于外部高电压检测信号时红灯灭,绿灯亮。如此反复,就出现了正常

【作者简介】陈伟(1988-),男,中国广东深圳人,本科,工程师,从事配电技术研究。

工作指示绿灯与高电压指示红灯交替闪烁的现象。将 C7 替换为正常容量的电容后，故障现象消失。

### 3.3 电容 C7 失效分析

#### 3.3.1 结构和基本原理

金属薄膜电容的结构主要包括芯子、喷金层和引线三部分，塑壳封装式电容还包括灌封料和外壳。制作过程是在基膜上蒸镀金属作为构成电容器的极板，形成芯子卷绕结构，再通过两端面喷涂金属引出膜板板焊接引线作为电极，将充当电极的薄膜卷绕成芯子，通过热压定型形成金属膜电容器<sup>[1]</sup>。

在蒸镀金属的基膜会存在一些电弱点，随外加电压升高，电弱点处薄膜先击穿形成放电通道，电荷通过放电通道形成电弧。由于金属层非常薄，击穿点处电弧产生热量使得局部温度非常高，使周围金属层受热蒸发并向外扩散，金属蒸汽易被电离形成等离子体，随着蒸发面积扩大，等离子体放电电弧难以持续时电弧将熄灭，电容器绝缘恢复，局部击穿放电不会影响到整个电容器，这一过程称为金属化膜电容器的自愈性<sup>[2]</sup>。

#### 3.3.2 失效机理分析

电容器的失效机理与产品的类型、材料的种类、结构的差异、制造工艺、环境条件(包括温度、湿度、大气压和振动)和工作应力(包括使用电压、纹波电流和充放电循环次数)等诸因素有密切的关系，其中湿热失效是主要失效模式。

湿热失效的潮气的来源有两种：一种是以水膜状态附着在产品表面上，当电容器表面环氧封装料保护层材料受到热、紫外线、空气中的二氧化硫、臭氧等作用，封装层容易老化，致使表面产生许多小孔和细微破裂，潮气会渗透到介质材料内部；另一种是制造残留，在配料、封装、热处理过程中，环氧封装料主剂与固化剂的配比不当、热处理干燥工艺不当以及保护层未完全包住卷绕芯子或保护层厚度不够时引入潮气<sup>[3]</sup>。温度越高，潮气渗透越快，会使电容器介质的绝缘电阻绝缘能力下降，在电压作用下产生电晕现象，破坏电容器的介质镀层，使电容器的介质镀层腐蚀氧化(不可逆转)，电极有效面积减小，从而使电容的容量衰减、等效串联电阻增大、损耗增加、纹波电流温升加剧，如果环境还是持续高湿热状态，就形成恶性循环，进一步加速电容高湿热失效。介质镀层腐蚀氧化的反应过程如下：

- ①阳极反应(金属溶解)；
- ②阴极反应(氧被还原)；
- ③部分与形成晶种即；
- ④最终反应：↓。

#### 3.3.3 电容 C7 解体检查

LNB 逆变器输出电压幅值为  $220\text{VAC} \pm 1\%$ ，频率为  $50\text{Hz} \pm 1\%$ ，非常稳定，且 C7 的标称耐压等级为  $400\text{VAC}$ ，对 C7 外观检查有无鼓包、变色、过热、漏液等现象，可以排除因工作应力导致的电容失效。由于 C7 的芯子外层无塑壳封装结构如图 1，缺乏灌封料和外壳两层防护，易受潮气侵蚀，怀疑湿热失效是引起 C7 性能参数退化的主要原因。对 C7 拆封并将内部电极箔展开，发现多层电极箔上存在发白区域如图 1，证明电极箔上的金属薄膜镀层存在缺失现象，金属薄膜镀层的缺失会导致电容极板间的有效面积减小，根据电容容量公式，从而造成电容容量下降。对金属薄膜镀层进行化学成分分析如表 1，对比金属区域，发现金属缺失区域已经没有 Zn 元素，只有 C 和 O 元素，符合介质镀层腐蚀氧化的反应特征，从而证明电容发生了湿热失效。

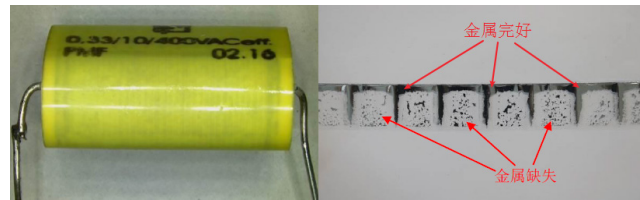


图 1 电容 C7 外观与电极箔展开形貌

表 1 C7 电极箔成分分析

区域	元素	重量百分比 %	原子数百分比 %
金属缺失区域	C	99.51	99.63
	O	00.49	00.37
金属完好区域	C	10.32	35.63
	O	03.80	09.85
	Zn	85.89	54.52

## 4 结语

论文通过研究金属薄膜电容的结构原理及失效机理，找到继电器滤波电容故障的根本原因，为后续设备出现同类问题的处理提供了良好的参考和借鉴。金属薄膜电容应用广泛，研究其失效机理对于提升设备管理水平非常重要。

## 参考文献

- [1] 吴木瑞.方壳灌封式金属化薄膜交流电容耐湿热特性探讨[J].新型工业化,2020(12):14.
- [2] 杨惠兰,侯涛,刘淳.金属膜电容老化特性及寿命模型研究[J].现代工业经济和信化,2020(8):20.
- [3] 袁捷.薄膜电容器的失效分析和试验方法[J].电子质量,2008(11):39.