

电源装置输出异常事件分析

阐述了电源装置的设计方案、工艺方案,针对该装置多次故障的现象进行系统、详尽分析。基于多项目故障现象,结合理论分析,最终确定故障原因,并制定对应整改优化方案。实践表明,改进后的方案将提高电源装置的可靠性,并为类似产品的设计、生产提供良好借鉴。

张瑞明 刘 盼 雷亚清/中广核工程有限公司

0 引言

在A电厂LLS配电系统中采用了NIC系列电源装置005TU。该装置输入两线AC 380 V电源,经过内部转换后输出DC 110 V,供给控制回路以及直流负荷。在笔者参与的多电厂建设中,均采用了该型号电源,但多次出现故障,影响电厂的正常运行。

为彻底消除隐患,避免故障重复发生,本文针对电源装置的故障现象,基于电源装置的设计原理,从工艺控制、运输保护和现场使用等方面进行全面分析,确定每次故障的原因,并制定改进方案,保证电源装置的可靠运行。

1 电源装置故障情况简介

1.1 005TU装置介绍

005TU为电厂内重要系统LLS负荷提供DC 110 V工作电源,同时为LLS设备内部提供控制电源。LLS系统原理图^[1]如图1所示。

由图1可知,在输入端采用四路交流输入,以保证交流供电的稳定性、不间断性。由于未采用双路冗余配置(受制于设备尺寸要求),对005TU电源装置提出了较高的可靠性要求。项目电厂采用

的005TU电源装置输出功率为8 000 W,重量高达200 kg。不同项目中采用的005TU装置参数有差异,如输出电压、功率等。

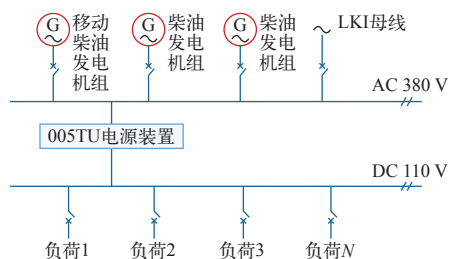


图1 LLS系统图

1.2 设备故障介绍

2010年A项目调试时005TU装置直流输出由125 V降至94 V(空载),低于负荷要求最低工作电压。005TU返厂拆解检修。

2013年B项目设备运行中005TU装置直流无输出。经现场检测,限流电阻过电流烧毁,通过更换电阻、增加并联数量,最终修复成功。

2014年C项目调试中发现005TU装置输出由110 V降至54.7 V(空载)。随后设备返厂检修。返厂后进行空载测试,输出为正常值110 V。多次改变输入电压,并带载试验,输出仍为正常值110 V。用橡胶锤敲击装置,模拟运输震动,输出电压忽然降至70 V,异常情况出现。

2 故障原因分析

2.1 A项目故障原因分析

005TU电源装置核心采用TDK原装进口PH系列DC/DC模块,通过输入隔离



张瑞明/工程师

关键词/Keywords

电源装置 ·
故障 ·
改进 ·

变压器、整流装置、输入滤波装置、DC/DC和输出滤波形成稳定的DC 125 V输出。系统图如图2所示。

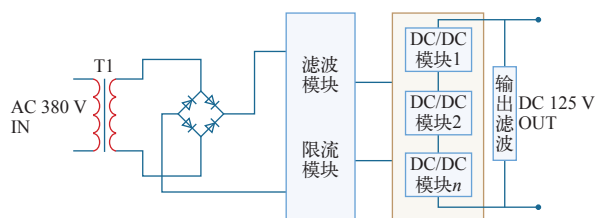


图2 A项目005TU电源装置系统图

在A项目中，由于输出功率较小，因此采用8个DC/DC模块串联，每个模块输出约为15.7 V，40 A，经输出滤波后，考虑内部压降，最终输出直流125 V，40 A，输出功率5 000 W。

设备返厂后，剥离密封灌胶，对每个模块进行单独测试，发现2个电源模块无输出电压，初步判定为模块故障。

(1) 原因分析

根据拆解情况，2个电源模块故障，无输出电压，导致装置输出电压降低31 V。电源模块故障可能原因主要有两方面：一方面是本身故障，导致无输出；另一方面是由于外部过电压、过载击穿。据生产工厂经验反馈，该厂数十年间一直使用TDK功率模块，从未发生多个模块共模故障情况，共模故障可能性较小。另一原因为功率模块受到外部过电压冲击或者过电流短路。经用户、设计生产方沟通后发现，该产品在定制时未明确提出负载特性，生产厂设计时默认阻性负载，未

采取防反灌电压措施。在项目应用中，下游存在线圈等控制器件，在反复断开过程中产生大的反向电动势，击穿2个功率模块，导致电压下降，仅有6个模块输出。6个模块每个输出约15.7 V，共计94.2 V，同时考虑内部器件的压损，所以输出94 V，与故障现象符合。

(2) 解决方案

为避免反向电压的串入，在直流总输出端增加逆止二极管，防止电压的反灌。二极管导通电流120 A，反向耐压600 V。为了降低二极管的导通压降，采用4只并联。同时为了不影响产品寿命，采用质量优异的二极管，预期寿命高达30年，远大于产品寿命10年。改进后的装置经过试验、现场长时间运行检验，工作正常，验证了上述分析的正确性。

2.2 B项目故障原因分析

相比A项目，B项目对电源装置的起动涌流进行了严格限制，以防止起动阶段过大的电容充电电流烧毁上游熔体。为限制起动电流，增加了限流装置，如图3所示。

在变压器T1上电后，通过 R_1 为主回路电容充电，200 ms后，延时芯片驱动继电器带电， S_1 闭合， R_1 退出。500 ms后延时芯片驱动 VT_2 导通，DC/DC模块控制端上电，模块工作，装置输出直流电源。通过延时芯片对电源起动过程实现阶梯式起动，通过限流电阻的接入限制起动电流。

根据B项目故障现象，考虑功率模块全部损坏的可能性较小，因此重点排查辅助电路及限流

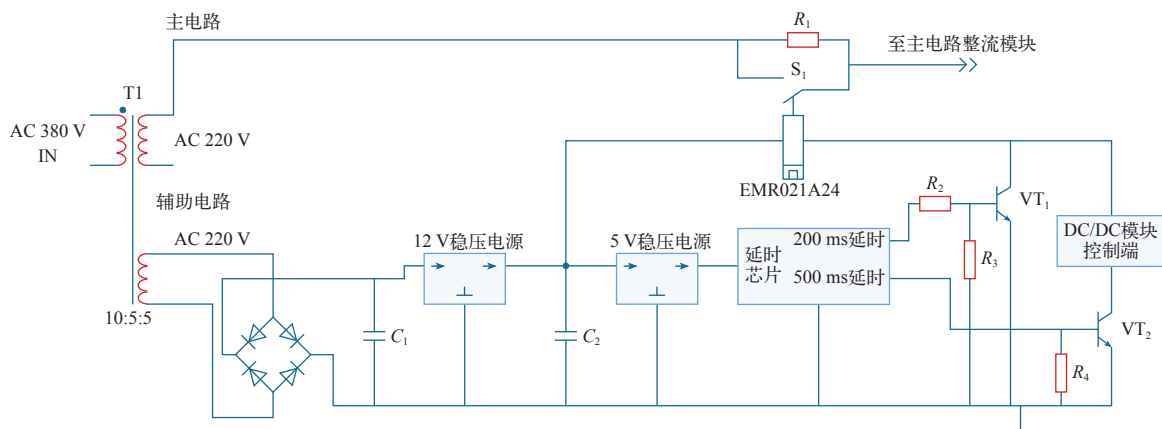


图3 限流装置原理图

电阻。经检查限流电阻损坏，导致主回路无法带电。更换限流电阻，增加并联电阻数量增大容量，有效解决起动问题。更换限流电阻后使用至今未再发生电阻损坏情况。

2.3 C项目故障原因分析

C项目由于负荷功率增大，因此采用与A、B项目不同的设计模式。A、B项目电源装置采用功率模块串联形式，C项目采用模块先并联再串联的方式，兼顾满足大功率输出与提高设备可靠性的要求。电源装置系统原理图如图4所示。

图4中单个DC/DC模块采用PAF600F280-48（与A项目不同），输出电压约56 V，输出电流达12.5 A。组1由8个模块组成，最大可输出100 A，组2同理。电源装置由组1与组2串联而成，两组分

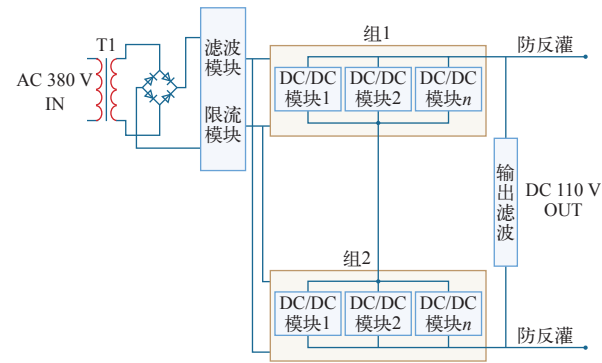


图4 C项目电源装置系统图

别输出约56 V，减去防反灌装置分压，输出稳定在110 V，输出电流高达100 A。上述方案中每一组并联模块中均有电流冗余，当某一模块故障，不影响电源装置的输出额定电流。虽然使用模块数量

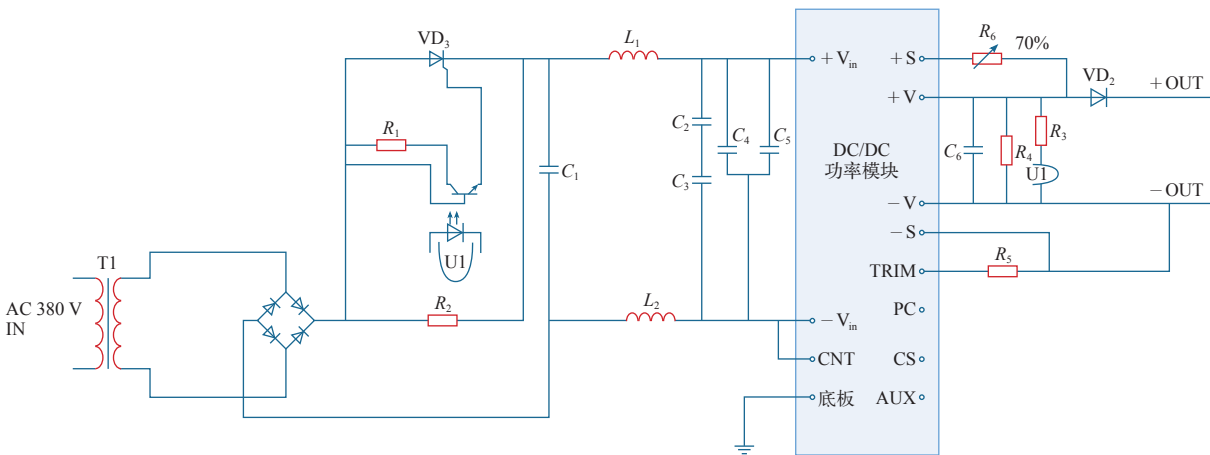


图5 电源装置原理图（单模块）

有增加，即成本升高，但可靠性有提升。

2.3.1 电源装置原理图介绍

C项目电源装置原理图如图5所示。

图5为单模块的工作原理图。AC电源经过变压器、整流器形成直流输入。 R_1 、 R_2 、 VD_3 、 $U1$ 形成光耦隔离起动限流回路。当电源上电后，光耦 $U1$ 不带电， VD_3 无法导通，通过 R_2 电阻形成限流，当 $+V$ 有输出时， $U1$ 带电， VD_3 导通， R_2 电阻退出电路。直流电源经过LC回路滤波后输入DC/DC模块。DC/DC功率模块内部原理如图6所示。

$+V_{in}/-V_{in}$ 为模块直流电源输入， $+V/-V$ 为稳压直流输出；CNT为外部控制模块开关端；

$+S/-S$ 为远程电压补偿端；PC为并机均流端；TRIM为输出电压削减端；AUX为外接辅助电源。

2.3.2 电源装置灌封介绍

NIC系列电源装置可靠性高，设计裕量大，可耐受恶劣环境。虽然电源装置内部核心部件DC/DC模块已封装，但其他功能部件裸漏外部隐患较大。通过采用有机硅胶的灌封技术可对敏感电路和电子元器件进行长期有效的保护。有机硅灌封胶为电子模块和装置，无论是简单的还是复杂的结构和形状都提供了无与伦比的保护^[2]。有机硅材料具有稳定的介电绝缘性，是防止环境污染的有效屏障，同时在较大的温度和湿度范围内能消除冲

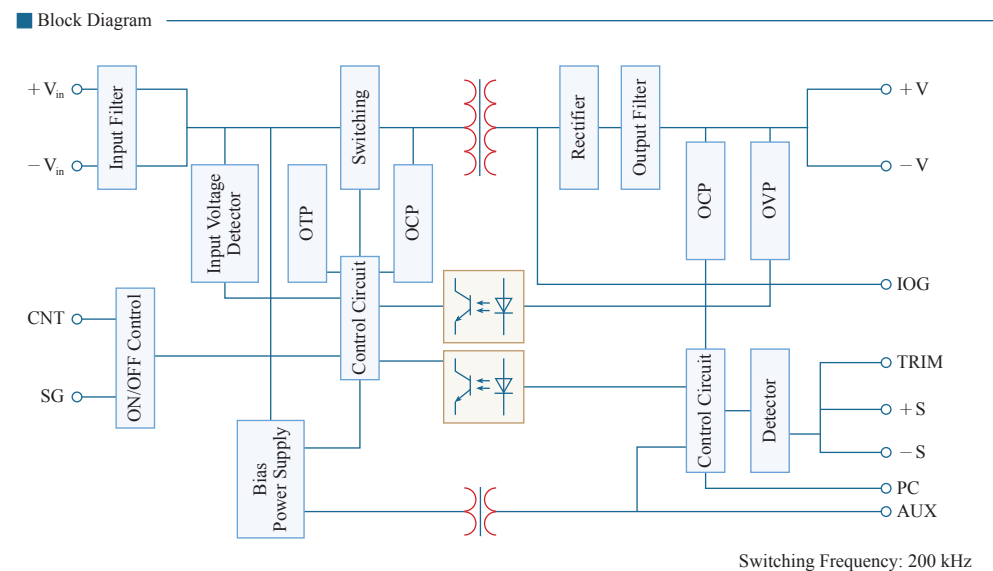


图6 DC/DC变换功率模块原理图

击和振动所产生的应力。

除了能够在各种工作环境下保持它们的物理和电学性能以外，有机硅材料还能够抵抗臭氧和紫外线降解，具有良好的化学稳定性。灌封后效果如图7所示。

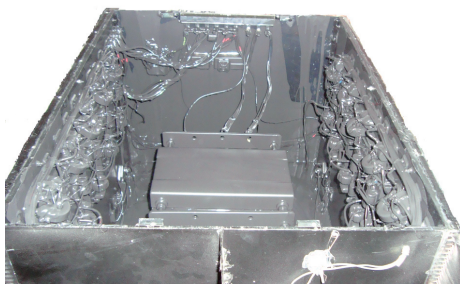


图7 灌胶后电源装置

灌封后能有效保护设备，但对模块散热、维修维护带来一定影响。为了保证散热，一方面采用散热性能较好的道康宁胶水；另一方面增大空间，加装散热风扇。本设备采用可靠元器件，降低故障率，减少维修，由于灌封，现场维修可能性极低，往往需要返回工厂维修。

2.3.3 故障分析

根据现场测量，模块空载输出由110 V降为54.7 V。但设备返厂后多次空载测量均输出为110 V，故障现象无法重现。经共同研究讨论，初步怀疑模块内部存在虚接情况，于是用橡胶锤多次敲击

模块，模拟运输振荡。经过多次敲击，装置输出电压由110 V降为70 V，此时分别测量两组模块输出，一组输出56 V；一组输出15 V。进一步拆检发现一组模块的+S端与输出正端的连接线过短，可能为虚接故障点，如图8所示。



图8 连接线过短故障示意图

为确定故障原因，对+S点功能进行分析：+S为模块的输出调节，用于调高输出电压（TRIM端用于调低输出电压），但调节范围需在-40%~+20%之间。超出上述范围，模块将在超压保护作用下关断。+S与TRIM原调节原理图如图9所示。

若+S虚接，相当于+S端串接一较大电阻，根据集成运放的“虚短”及“虚断”原理^[3]计算可知，+S端电压大幅升高，超出输出+20%范围，触发过电压保护，模块关断，没有输出。因此仅剩一组模块输出，根据原理图4分析，总输出电压为一组模块输出电压减去内部元件压降，因此为

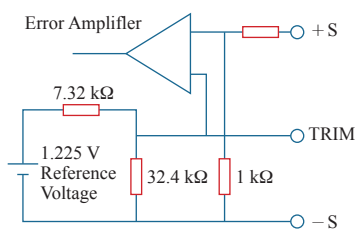


图9 +S与TRIM端调节原理图

54.7 V。

若 +S 悬空，或与连接线完全断开，回路无法形成闭环，经试验观察，输出未超压，模块异常输出 15 V。由于 DC/DC 模块为集成，进一步原因分析难于展开。

一组模块的连接线过短与 +S 点焊接后受力。在运往项目现场过程中，振动使焊点连接处松动。但由于焊盘与连接线处灌注有硅橡胶，所以分离间距较短。针对前述故障现象分别分析如下：

1) 项目现场。由于运输过程已松动，在现场该装置位于一泵体附近，受泵体运行振动影响，连接线向 +S 处微弱延伸，导致已经在运输过程中松动断开的结点虚接，+S 在虚接后导致一组模块过电压保护、关断，装置输出为 54.7 V。

2) 返回工厂。由于运输振动连接线又与 +S 处完全接触，模块工作正常，装置输出电压 110 V。

3) 返回工厂，敲击后。经过多次敲击后，连接线与 +S 完全分离，+S 悬空，根据前述分析，装置输出 70 V。

经过针对性试验，验证了上述情况，至此，C 项目原因已查明。+S 处连接线过短，运输过程振动，焊点出现开焊（悬空）、虚接和连接三种情况，导致一组模块出现输出 15 V、无输出和输出 56 V 情况，装置对应输出 70 V、54.7 V 和 110 V 三

种状态。

2.3.4 解决方案

连接线过短属于工艺组装过程中工人操作失误所致。在布线阶段连接线预留较短，同时绑扎位置的 水平距离过于靠近焊接点，导致焊接点受力。由于设备已经被灌胶，无法更换连接线，因此更改绑扎带位置，松动连接线，有效解决该问题。改进后，再次进行敲击试验，输出正常，故障现象消失。

在运输阶段，设备采用优质木箱包装，并用环保包装缓冲物填充，降低运输振动。

3 结束语

本文通过对电源装置在不同环境下不同故障现象进行分析，结合设备原理图、工艺特点和环境条件等情况，最终确定 +S 处连接线过短是产生故障的根本原因。经过整改，电源装置输出正常，并通过了全部验证性试验，经过整改，设备可靠运行。

参考文献

[1] 广东核电培训中心. 900 MW 压水堆核电站系统与设备 [M]. 北京: 原子能出版社, 2005.

[2] 吕彩琴. 高过载测试中的电子线路灌封技术研究 [J]. 机械工程与自动化, 2009 (10).

[3] 康华光. 电子技术基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.

(收稿日期: 2015-04-29) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告