

开关电源可靠性工程设计探索

井沛¹ 庄晨² 王冬³

1. 中国铁塔股份有限公司陕西省分公司 陕西 西安 710000

2. 中国铁塔股份有限公司 北京 100000

3. 安徽电信规划设计有限责任公司 安徽 合肥 230031

摘要: 随着智能化综合性数字信息基础设施的快速建设,开关电源作为动力配套的核心组成部分,直接关系到通信网络的运行质量,其可靠性问题日益受到关注。本文对开关电源可靠性进行深入探索,分析提出提高开关电源可靠性的工程设计方法。

关键词: 开关电源;可靠性;工程设计;探索

引言:随着5G网络和千兆光网的快速建设,促进新型科技的不断发展和应用,通信网络的稳定性和可靠性对保障工作国家工业生产及人民群众日常生活正常进行越发重要。开关电源作为通信网络的重要组成部分,其可靠性是一个综合性的指标,涉及到设计、制造、测试、维护等各个环节。其中,工程设计作为稳定性保障的第一环节对后续环节至关重要,因此,对开关电源的可靠性进行工程设计探索,具有重要的现实意义。

1 开关电源可靠性概述

开关电源的可靠性主要是指设备的稳定性和使用寿命。稳定性是指开关电源在工作过程中应保持稳定的输出电压和电流,不受外界环境中温度、湿度、压力等的影响,以及内部元件的老化或损坏符合设计要求,故障率控制在要求范围内。使用寿命是指设备正常工作的时间长度,在预定的使用期限内保持良好的性能,且在此期间无需进行过多的维护或更换部件。具体表现在环境适应性、运行安全性、维护便捷性、设备兼容性、可扩展性、冗余容错能力、节能环保效率、检测诊断能力等多个方面^[1]。

2 陕西铁塔某本地网开关电源可靠性分析

某本地网约六千余物理站,开关电源中壁挂式约占3%、嵌入式约占76%、组合式约占21%。涉及维谛、华为、中兴、动力源等十余个厂家,品牌分散度较大。开关电源监控覆盖率约96%,逾龄资产占比约55%。根据监控系统数据数据分析,开关电源设备全年平均故障率29%,主要原因包括:

(1) 逾龄资产占比较大,设备设施健壮性不高,运行保障压力大,同时远程核容、能耗精细化管理措施不足,日常维修及更新改造投资不足;

(2) 设备监控未全覆盖,资源信息与运维监控系统

匹配不足,代维单位隐患上报不及时、处理方案不系统,致使投资及时性和靶向性不够;

(3) 产品品牌种类繁多、型号复杂,日常维护难度大,同时未采购原厂维保,设备维修保养不规范,维修配件可靠性、兼容性不足;

(4) 基站现场监控手段不足,电源线、电源模块被盗率较高,频繁补充或为了防止再次被盗采取的防盗措施对设备稳定性有较大影响。

(5) 新型设备成本造价低、集成度高,产品设计之初对共享建设模式考虑不够充分,设备成熟度不足,入网运行后软硬件均存在缺陷。

3 开关电源可靠性工程设计

3.1 供电方式

开关电源的可靠性设计需要综合考虑供电方式的多样性、保护措施、冗余设计、环境适应性以及测试与验证等多个方面,以确保电源能够在各种条件下稳定可靠地工作。不同的供电方式会影响电源的可靠性。集中式供电系统可能导致压差,影响供电质量,而分布式供电系统具有更可靠的供电质量,因为其供电电源和负载距离较近,能有效改善动态响应特性,并具有能源损耗小、传输效率高和节约能源的优点。为了提高电源的可靠性,需要设计合理的保护电路,如过流保护、过压保护、欠压保护等,以防止电源在异常情况下受损。对于关键部分或重要负载,可以采用并联冗余设计,这样即使某个电源出现故障,其他电源也可以继续工作,从而提高整个系统的可靠性^[2]。再者,根据使用环境不同,开关电源应具备防潮、防盐雾、防霉菌等能力,以提高其在各种环境下的稳定性。在产品研发阶段,应进行温度循环测试、湿度测试、振动测试等可靠性测试,以确保产品性能稳定可靠。

3.2 耐压

开关电源的耐压可靠性设计对承压的要求主要体现在输入端和输出端的耐压性能上。开关电源的输入端应具有足够的耐压强度,能够承受输入电源的工作电压加上一定的裕度。这样能在各种条件下保证电源的正常工作,防止过电压导致电源损坏或性能下降。输出端也应具备相应的耐压强度,以保证在输出负载较大时仍能正常工作。这样可以避免因过电压导致电器损坏或安全性问题。开关电源各部分之间应符合一定的绝缘要求,防止电路间相互漏电或过电,造成设备损坏或安全隐患。此外,影响开关电源耐压性能的因素还有电路结构、元器件的选用以及电路布局等。合理的电路结构和元器件选择,以及合理的电路布局,都能提升开关电源的耐压性能和稳定性。

3.3 功率因数校正

采用功率因数校正技术可以减小开关电源产生的谐波电流,从而减小对电网的污染,提高电源的效率。通过功率因数校正,可以改善输入电流波形,使其接近于正弦波,从而提高电源的功率因数,可以提高开关电源的效率,从而减小能源的浪费,达到节能减排的目的,同时可以减小开关电源对电网的负面影响,如电压波动、谐波干扰等。

3.4 电气隔离与绝缘

为了防止触电和烧伤,需要对开关电源进行隔离和绝缘。对于带电部分和带电与不带电的金属部分之间,需要满足安全保证的空间距离要求。例如,对于高于250V的交流电压,火线与零线以及高压导线与不带电的金属部分之间,除了励磁绕组的线端,其余部分都需要保持2.5mm的距离。绝缘设计是防止电击的重要措施。在开关电源设计中,需要遵守相关行业安规设计标准,对开关电源的不同位置做绝缘要求,以保证操作人员的安全。绝缘类别包括基本绝缘、功能绝缘和补充绝缘,它们各自有不同的目的和用途。对于使用时必须触碰的或者是需要用手操作的裸露零件等,应该接到保护地或者是将其妥善地处理。这样可以防止人体(操作人员或者维修人员)受到电击^[3]。

3.5 元器件选择和布局

元器件应尽量选用硅半导体器件,多采用集成电路,少用分立元件的电路,以减少故障的发生。应选用具有软恢复特性的二极管作为输出整流管,并尽量采用金属封装、陶瓷封装或玻璃封装的器件,避免使用塑料封装的器件。元器件以每个功能电路的核心元件为中心进行布局,元器件应均匀、整齐、紧凑地排列在PCB

上。同时,应尽量减少和缩短各元器件之间的引线和连接,去耦电容应尽量靠近器件的VCC。在高频下工作的电路,要考虑元器件之间的分布参数,使元器件平行排列,这样既美观又易于批量生产。应按照电路的流程安排各个功能电路单元的位置,使布局便于信号流通,并使信号尽可能保持一致的方向。此外,降额设计是提高元器件可靠性的有效方法,它通过降低元器件的工作应力来延长其寿命。在开关电源设计中,应根据元器件的降额等级进行选择和应用。

3.6 散热

根据实际情况选取散热方式,如自然冷却、强迫风冷、液冷等。一般来说,自然冷却的散热量比强迫风冷小10倍以上,但是要尽量优先采用自然冷却,以降低开关电源的成本和复杂性,并提高系统的可靠性。在选择元器件时,应考虑降额设计,降低元器件的工作应力,从而延长其寿命并提高可靠性。在布局元器件时,应将发热器件安放在下风位置或印制板的上部,并采用氧化发黑工艺处理散热器以提高辐射率。同时,变压器和电感线圈应选用较粗的导线来抑制温升。

3.7 电路保护

过压保护电路能够防止电源电压过高对开关电源造成损坏。当输入电压过高时,过压保护电路会立即关闭开关电源,以保护电路不受损坏。欠压保护电路能够防止输入电压过低对开关电源造成损坏。当输入电压过低时,欠压保护电路会立即关闭开关电源,以保护电路不受损坏。过载保护电路能够防止电流过大对开关电源造成损坏。当输出电流过大时,过载保护电路会立即关闭开关电源,以保护电路不受损坏。短路保护电路能够防止输出端发生短路对开关电源造成损坏。当输出端发生短路时,短路保护电路会立即关闭开关电源,以保护电路不受损坏。过温保护电路能够防止温度过高对开关电源造成损坏。当温度过高时,过温保护电路会立即关闭开关电源,以保护电路不受损坏。

3.8 冗余与备份

为了增加电源系统工作的可靠性,可以采用冗余电源模块设计。冗余电源模块可以提供额外的电力输出,当主电源模块出现故障时,冗余电源模块可以接管负载,确保系统的连续供电。并联开关电源系统的设计可以提高电源的可靠性。当系统内某个电源模块出现故障时,其它电源模块可以继续供电,保证系统稳定运行。同时,并联开关电源系统也可以提供更高的输出电流,满足大负载的需求。为了确保电源系统的可靠性,可以配备备份电源模块。备份电源模块可以在主电源模块出

现故障时快速替换,保证系统的连续供电。同时,备份电源模块也可以用于定期维护和部件更换,提高系统的可维护性。为了方便对电源系统的维护和管理,需要显示各电源模块的工作状态,尤其是出现故障的电源模块。这样可以及时发现和处理问题,防止故障扩大影响整个系统的运行。在备份电源模块加入并联电源系统时,应确保不会对系统内其它元器件造成损坏。为此,应保证备份电源模块的投入能够稳定工作,实现“无扰动投切”。

3.9 环境适应性

电源系统应具备良好的温度适应性。温度对电源系统的性能和寿命有显著影响。过低或过高的温度都可能导致电源系统的损坏或无法正常工作。合理的散热设计和冷却系统对于电源系统的可靠性至关重要。在高温环境下,可采用散热片或风扇进行散热,保持电源系统的工作温度在安全范围内。电源系统应具备抗振与抗冲击的能力。在某些恶劣的工业环境或运动环境下,电源系统经常受到振动和冲击的影响。如果电源系统无法适应这些振动和冲击,可能会导致电源系统的损坏或故障,进而影响设备的正常运行。设计电源系统时,应采取措​​施来提高其抗振与抗冲击能力,例如使用防震材料或增加结构强度。

3.10 可靠性测试

常规测试包括开机瞬间电流、能源之星(蓝天使)测试、无负载启动测试、电压过冲及过降、负载调整率、容性负载测试、动态负载变动率、电压缓慢变动测试等,以检测电源的常规性能参数。开关机测试包括输入市电,测试过输入电压点、欠输入电压点,电源模块最大负载,合15秒断5秒持续工作,以检验电源在各种输入条件下的稳定性和可靠性。输入瞬态高压测试包括额定电压输入,用示波器记录高压的周期数,电源满载运行,叠加电压跳变持续运行,以检测电源在高压瞬态下的性能表现。输入电源不稳定的输出动态负载测试包括将输入电压调整为不稳定跳变,输出调整为最大负载和空载跳变,持续运行,以检验电源在不稳定输入和动态负载下的工作稳定性。电源波形测试包括模拟尖峰、毛刺、谐波等电压输入,测试电源的性能和参数,查看元器件等,以检测电源对各种异常电压波形的处理能力。绝缘强度测试包括在产品的绝缘强度基础上增大数值,持续测试,得出极限值和异常情况,以检验电源的绝缘强度是否满足设计要求。抗干扰测试包括利用EFT可抗干扰电压设为不同等级的电压,持续进行冲击性抗干扰测试,以检测电源的抗干扰性能。温湿度测试包括在高温和

低温环境下进行长时间的工作和存储测试,检验电源在不同温度下的性能表现和稳定性。振动与冲击测试包括模拟实际应用中可能遇到的振动和冲击环境,对电源进行振动和冲击测试,检验其结构的稳定性和抗振能力^[4]。

4 开关电源可靠性工程设计的发展方向

随着技术的不断发展和使用环境的要求,通信用开关电源的改进方向主要集中在以下几个方面:

(1) 高效化:随着能源紧缺和环保意识的提高,开关电源的高效化已成为重要的发展方向。通过采用先进的功率半导体器件、高效的电感和电容元件,以及数字控制技术,实现更高的转换效率,降低能源消耗和散热需求。

(2) 集成化:为了满足电子设备不断发展和智能化水平提高的需求,开关电源将采用更加紧凑、集成化的设计。这有助于减小设备体积、降低成本和提高可靠性。

(3) 多功能化:未来的开关电源将不仅仅是一个简单的电源设备,而是一个具有多种功能的智能系统。例如,集成电池管理、电源控制和数据传输等功能,以满足不同用户的需求。

(4) 安全性:开关电源的安全性一直是人们关注的焦点。未来,将采用更加先进的数字控制技术和自动保护功能,以提高其安全性和可靠性,降低故障风险。

(5) 绿色化:未来的开关电源将更加注重环保和可持续发展。采用环保的材料和工艺,减少对环境影响,并优化能源利用效率,以实现绿色能源的目标。

(6) 智能化:随着物联网和人工智能技术的快速发展,开关电源将集成更多的智能化功能。例如,通过传感器和智能算法实现实时监测、故障诊断和远程控制等,提高系统的可靠性和可维护性。

(7) 定制化:随着应用领域的多样化,未来的开关电源将更加注重定制化设计。根据不同应用的需求,定制化开关电源可以更好地满足性能、尺寸、成本等方面的要求。

(8) 模块化:模块化设计有助于提高开关电源的可靠性和灵活性。通过将电源模块化,可以独立替换故障模块,降低维修成本和停机时间,并实现灵活的扩展和配置。

(9) 数字化:数字化控制技术可以提高开关电源的可靠性和性能。通过数字化控制,可以实现精确的电压和电流调节,优化电源的工作状态,提高电源的稳定性和效率。

(10) 预测性维护:利用传感器和数据分析技术,实现开关电源的预测性维护。通过对电源运行数据的实时

监测和分析,预测潜在的故障并及时采取维护措施,降低故障发生的风险和维护成本。

总之,随着技术的不断发展和市场需求的变化,通信用开关电源将继续朝着高效率、智能化、绿色环保、小型化、高可靠性的方向发展。

结语

通过对开关电源可靠性工程设计的探索,我们可以认识到提高开关电源的可靠性需要从多个方面入手,在工程设计时,应根据具体需求和实际情况采取针对性措施确保开关电源的可靠性达到最佳水平。同时,应重视质量控制,确保生产工艺满足工程设计要求,提高产品

的可靠性和使用寿命,以满足市场需求。

参考文献

[1]李明.开关电源可靠性工程设计研究[J].电子质量,2021(1):1-5

[2]王志强.开关电源可靠性设计探讨[J].电子产品可靠性与环境试验,2021(2):12-13

[3]王晨.基于开关电源的可靠性设计研究[J].电子质量,2021(3):15-16

[4]李瑞.开关电源可靠性设计要素分析[J].电子产品世界,2021(4):23-25