

电源系统的可靠性分析及其在关键应用中的优化

李敏 陈培宽 高峰

(普天信息工程设计服务有限公司 北京 100088)

摘要:本研究探讨了电源系统在设计、制造、运行与维护各个阶段的优化策略。一是介绍了设计阶段的需求分析、电路设计和元器件选择优化,二是在制造和测试的各个阶段,探讨了生产流程的控制、质量的管理以及可靠性测试的优化方法。然后对运行及维护阶段预防性维护,实时监控及故障诊断优化策略进行分析。经过综合优化后,该电源系统可提高系统的稳定性,可靠性以及经济效益,以适应多种应用场景要求。

关键词:电源系统;设计优化;制造与测试;运行与维护

一、电源系统可靠性分析

(一)概述电源系统的组成和功能

电源系统作为现代电子设备中不可缺少的一部分,主要作用就是给设备稳定供电,保障设备的正常工作,典型电源系统一般由电源模块,电池组,电路保护,控制电路几大部件构成。一是电源模块是电源系统的核心,负责将输入电源(如交流电或者直流电)转换为适合设备使用的稳定输出电压和电流。一般由整流,滤波,调节及稳压组成,保证输出电源优质稳定。不同种类电源模块应用在不同应用场景中,例如工业设备,消费电子或者医疗设备^[1]。二是电池组在整个电源系统中起着至关重要的作用,尤其是在电力中断或紧急情况下,它能提供必要的备用电源。电池的种类和容量的选择是基于设备的能耗需求和运行时长来决定的。

(二)可靠性定义与评估指标

可靠性是衡量系统在规定条件下正常运行的能力,通常用来评估系统无故障运行的概率或者时间,就电源系统而言,可靠性评估对于保证关键应用下系统稳定工作具有至关重要的作用。可靠性的评估指标主要包括两个核心概念:MTBF(Mean Time Between Failures,平均无故障时间)和MTTR(Mean Time To Repair,平均修复时间)。MTBF是系统平均工作时间和系统故障次数之比,它反映系统无故障时期望持续时间。但MTTR是指系统故障后至维修结束之间的平均耗时,它影响着系统可用性及服务连续性。除上述两大核心指标之外,可靠性评估涉及故障率(Failure Rate),可用性(Availability)和系统寿命(System Lifetime)三个参数。

(三)常见的可靠性分析方法

在进行电源系统的可靠性分析时,常用的技术手段有故障模式与影响分析(FMEA)、故障树分析(FTA)以及可靠性块图方法等。一是故障模式与影响分析(FMEA)的目的是通过识别系统中存在的故障模式,并评估其带来的后果和影响,从而协助工程师和设计师在设计阶段识别和优化系统的弱点,进而提升系统的可靠

性^[2]。二是故障树分析(FTA)是一种结合定性与定量分析的技术,它通过将系统的故障拆分为逻辑事件链条,来识别导致系统故障的各种潜在路径,以及每条道路的可能性,这有助于设计者对该系统进行风险评估与管理。另外,可靠性块图方法将系统分解为多个独立的可靠性块(如组件、子系统),并考虑它们之间的关系和影响,通过定量计算每个块的可靠性指标,以预测整体系统的可靠性。

二、电源系统在关键应用中的重要性

(一)关键应用领域概述

关键应用领域对于电源系统稳定性与可靠性有极高要求,主要涉及医疗设备,航空航天及军事系统。这些方面不但需要电源系统来确保设备的正常工作,而且涉及生命安全,数据完整性以及特殊工作环境等方面的考虑。医疗设备作为一个关键应用领域,例如心脏监护仪,手术室设备以及呼吸机都要依靠稳定,可靠的电源支撑。系统故障会使设备停运,对患者的救治及监护造成直接影响。在电源系统的设计选型时,需要兼顾高可靠性,低噪音,电磁兼容性的需求。

(二)电源系统的关键作用

电源系统对于现代科技的应用起着举足轻重的作用,它所起到的关键作用涉及诸多方面,小到确保设备的正常工作,大到保障生命安全、确保数据的完整性。一是电源系统的核心职责是确保各类电子设备和系统能够获得稳定和可靠的电力供应。不管是家庭用电,工业生产设备或者是信息技术系统都离不开电源系统的稳定电压与电流输出来保证设备的正常工作。电源系统既要提供合适的电力负载能力又要能处理电网波动,电压峰值及频率变化等外在因素以确保输出电源品质稳定。二是在关键的应用场景中,电源系统起到了独特的安全保护功能,就医疗设备而言,例如心脏起搏器,手术室设备以及监护仪器等,其电源系统是否稳定直接影响着患者生命安全以及医疗工作能否顺利开展。在航空航天、军事系统等领域,电源系统在极端环境情况下要能提供

可靠电力支持以保证飞行器安全飞行、军事装备正常工作，还要能防止电磁干扰对整个系统产生影响^[9]。此外，电源系统对于数据中心，通信设备以及网络系统的功能是非常关键的。数据中心依靠稳定的电源系统确保服务器及存储设备长期稳定工作，从而保持互联网及云计算服务持续可靠。通信设备，例如基站和卫星通信设备，都需要电源系统提供稳定的电力支持，以确保通信网络的正常运行和数据传输的安全性。

三、优化电源系统的关键技术

(一) 设计阶段的优化

优化电源系统设计阶段，是保证系统稳定可靠运行的关键环节，设计优化包含了需求分析，电路设计以及元器件的选型等诸多方面的考虑与策略，对系统的性能有着至关重要的影响。一是进行深入的需求分析是优化过程的初始阶段，了解电源系统应用环境，负载特性以及电力需求非常关键。比如医疗设备要求电源具有高稳定性才能保证患者的安全，工业自动化设备要兼顾大电流启动及长期稳定工作。二是电源系统的结构布局和电路设计显得尤为关键，选择合适的电源拓扑结构（例如开关电源，线性电源，混合电源等）能在保证效率的同时满足稳定性要求。

(二) 制造与测试阶段的优化

优化电源系统制造及测试阶段是保证产品质量及性能稳定的关键环节，该阶段涉及生产流程控制，质量管理以及可靠性测试几个关键的方面，全面考虑才能保证产品满足设计要求，并且在多种环境情况下能够可靠地工作。一是在制造过程中，严格的生产流程管理是关键所在，在电源系统的制造过程中，必须严格遵守标准化的操作流程和质量管理体系，以确保生产各个环节的准确性和一致性，这包括但不限于材料的采购和焊接组装、PCB 的制作及组件的安装等环节，从而降低了生产过程中的缺陷及存在的质量问题^[4]。二是 ISO 9001 这一全方位的质量管理体系在生产过程中扮演了至关重要的角色，它通过对原材料的严格筛选、对供应商的严格管理以及实时的质量审查来确保产品的质量，保证了产品一致性及高质量水平，在生产过程中发现问题及时整改，增强了可靠性及稳定性。此外，自动化设备、精密加工技术等先进生产设备与工艺的运用促进生产效率与精度的提高，降低人为错误发生率。自动化焊接设备及精密组件安装机器人保证焊接质量及组件精准度，提高产品一致性及可靠性。测试阶段以可靠性测试与性能验证为核心，涉及环境应力测试，负载温度循环测试，振动与冲击测试等多种手段，模拟产品在使用过程中遭遇的多种极端情况，并对产品的稳定性及耐久性进行评价。通过静态和动态的性能测试，验证了产品在不同工作负载

下的电压和电流输出的稳定性，而通过 EMC 测试，确认了产品在电磁环境中不会受到干扰，也不会对其他设备产生影响。

(三) 运行与维护阶段的优化

电源系统运行及维护阶段的优化，是保证系统连续平稳运行，延长设备使用寿命的关键步骤，该阶段涉及从预防性维护、远程监控、故障诊断等诸多方面，目的是尽量减少系统故障及停机时间、提高系统可靠性及效率。一是为了确保电源系统的可靠性，预防性的维护措施是至关重要的。通过定期的检查与保养，能够及时发现和解决出现的问题，从而避免因没有预见到的故障导致设备停运。预防性维护包括定期更换关键部件（如电容器、电池等）、清洁设备、检查连接和紧固件、进行校准和调整等操作。这些措施在延长设备使用寿命的同时，也增强了系统稳定性与可用性^[5]。二是在运行阶段，优化措施还涵盖了实时监测以及远程诊断技术的实际应用。借助安装的监控传感器和数据收集工具，能够对电源系统的工作状况和各种性能指标，例如电压、电流和温度等，进行实时的监控。该监控系统能及时发现异常情况并通过远程连接对故障做出诊断与分析，对出现的问题提前报警与处理，缩短了系统停机时间，降低了维修成本。

结论

从设计、制造、运行与维护四个阶段分析了电源系统的优化策略，设计阶段的需求分析与电路设计关系到系统的稳定性与功效。在制造与测试阶段进行质量管理及可靠性测试，保证产品达标。在系统的运行和维护过程中，预防性的维护、实时的监测以及故障的诊断都是确保系统平稳运作和延长其使用寿命的关键措施。通过上述优化措施使电源系统在各种应用场景中都能表现出较高可靠性与效率，从而给用户带来稳定、可靠的电力支撑。今后研究可持续深入探索电源系统优化新技术的应用及发展趋势。

参考文献：

- [1] 刘燕江,万登红,王勇.DCS 电源系统可靠性分析及优化[J].自动化仪表, 2020, 41(1):5.
- [2] 穆克强,任勇峰,贾兴中.水下测量装置的高可靠性电源系统设计[J].舰船电子工程, 2023, 43(5):189-194.
- [3] 陈继洪.一种高可靠性的嵌入式系统电源方案[J].集成电路与嵌入式系统, 2023, 23(4):28-32.
- [4] 范莉莎.开关电源可靠性工程设计探索[J].通信电源技术, 2022(1):168-170.
- [5] 陈继洪.一种高可靠性的嵌入式系统电源方案[J].单片机与嵌入式系统应用, 2023, 23(4):28-32.