

在闲置，整体能效比差，不符合绿色集约化建设目标。

5 两种替代方案综合对比分析

5.1 双 PC 过渡方案存在管理效率低下与资源利用率不足的缺陷

双 PC 部署作为常见的过渡应对策略，虽然在初始阶段因技术简单、无需调整现有网络拓扑而具备一定易用性，但其分散式架构在长期运维中暴露出显著弊端。该方案缺乏集中化管理机制，IT 人员需分别对国产终端和 Windows 物理 PC 进行个体维护，如双系统安装、软件更新、外设调试与故障排查等，这种点对点运维方式耗费人力、管理效率低。资源利用上，为用户配备两套计算设备造成硬件冗余与重复投资；很多 Windows PC 仅运行少数未适配国产化的专业应用，大部分时间资源低负载或闲置，整体利用率严重不足。国产化改造完成后，Windows 终端将被淘汰，使企业面临前期投入沉没、设备处置成本升高、环保压力增大等问题，违背降本增效和可持续发展目标。

5.2 桌面云方案实现资源整合与平滑过渡的优势显著

相较于双 PC 过渡方案所面临的运维与资源挑战，桌面云方案依托资源池化与虚拟化技术，构建出高度集中、弹性灵活的 IT 资源交付模式。该方案通过数据中心对计算资源进行统一整合与调度，可按需动态分配国产化或 Windows 虚拟机，彻底避免物理终端冗余带来的资源浪费，显著提升资源利用效率。其基于中心的统一管理平台极大增强了 IT 管控能力，支持通过模板化技术批量部署虚拟机、统一下发系统镜像与安全策略，实现自动化运维与大规模监控，有效降低人为配置错误和安全风险。在过渡策略方面，云桌面架构展现出高度灵活性，管理员可依据国产化应用适配进展，在后台无缝调整虚拟机操作系统类型、资源配置及用户访问权限，支持从混合环境向全国产化体系平滑迁移，既保障业务连续性，也为企业长期数字化转型提供可靠、经济且可持续的技术支撑。

5.3 双系统云桌面差异化资源调度与自动化运维管理策略

在成功部署双系统云桌面架构后，为确保其在大规模制造业环境中稳定、高效且安全地运行，必须实施一套精细化的资源调度与自动化运维管理策略。该策略旨在智能地解决双系统并行带来的资源分配与运维复杂性挑战。首先，基于制造业应用负载的特性差异实施分层资源调度。

对于承担重任的 Windows 环境云桌面，尤其是运行如 MES 终端、CAD 辅助设计等对计算性能和稳定性要求较高的专业软件实例，通过资源池的 QoS（服务质量）策略，将其优先调度至配备高性能 CPU 与充足内存的专用计算节点，并分配足够的 vCPU 与独占内存资源，以保障高负载任务的实时响应与稳定运行。相比之下，主要用于日常办公、浏览器访问及轻量国产化应用的国产系统云桌面，因其资源需求较为常规，可部署于标准性能节点，并采用更高密度整合策略，从而提升整体资源利用效率，避免资源闲置。其次，面

对大量异构虚拟机环境，需引入强大的自动化运维平台，实现对全部虚拟机生命周期的集中化管理，包括通过模板化技术实现国产与 Windows 桌面快速部署，利用差分镜像技术减少系统更新资源占用，制定统一安全基线完成漏洞扫描与补丁安装，建立监控告警体系实时感知异常。这套策略减轻了 IT 运维团队维护双轨并行系统的压力，降低人为失误风险，确保过渡期生产环境稳定、高效、安全。

6 国产化桌面云替代方案带来的额外价值

桌面云方案不仅解决了国产化替代过程中的兼容性与管理问题，还为中车南京浦镇车辆带来了多方面的额外价值。在数据安全方面，虚拟桌面将数据存储在数据中心而非本地设备，减少了数据泄露与丢失的风险，同时可通过加密访问、权限控制与行为审计等功能增强整体安全性。在运维管理方面，集中化的管理平台支持远程维护、快速故障恢复与统一策略部署，大幅提高了 IT 团队的响应效率与服务质量。此外，桌面云架构可扩展性良好，能随企业业务增长灵活调整资源规模，支持新技术集成与系统升级。从成本看，虽初期投入可能较高，但长期可通过资源整合与运维自动化降低总拥有成本（TCO），实现投资回报最大化。这些优势使桌面云方案不仅是国产化替代的有效手段，更是中车南京浦镇车辆带来了构建未来数字化基础设施的战略选择。

7 结语

国产化云桌面替代 Citrix 系统的探索实践，是制造业企业数字化转型实现技术自主可控与安全保障的重要举措。本文分析国产化信息技术发展现状，指出改造面临系统兼容性、过渡期管理、资源利用效率等核心问题，提出双 PC 与桌面云两种解决方案。综合对比显示，桌面云方案在管理效率、资源优化、过渡平滑性上优势显著，还能增强数据安全、降低运维成本、具备长期可扩展性。随着国产化技术成熟普及，桌面云架构有望成制造业企业主流选择，助其保持竞争力与创新力。未来，企业应结合自身需求和资源，制定循序渐进的替代策略，关注技术演进与行业最佳实践，确保国产化改造项目成功实施与持续受益。

参考文献

- [1] 杨汉民,张艳.基于云桌面平台的无机化学实验教学模式与实践[J].大学化学, 2023, 38(8):77-84.
- [2] 杨鑫,刘文艳,王珂,等.云桌面技术在高校计算机实验教学中的应用探究[J].中国信息技术教育, 2025(2):98-103.
- [3] 许琦.基于KVM架构的云桌面GPU虚拟化技术研究[J].自动化与仪器仪表, 2023.
- [4] 陈柏英.云桌面数据的迁移方法,节点和服务:CN20211087 9884.2[P].
- [5] 蒋宇,陈思佳.云桌面下的计算机虚拟实验室建设[J].实验室研究与探索, 2025(7).
- [6] 周杨.基于云桌面技术的高校同声传译语音室远程控制方法[J].信息技术, 2023, 47(6):113-118.

Research on Anti-interference Design of Switching Power Supplies

Lujun Wei

Sichuan Hushan Electric Appliance Co., Ltd., Mianyang, Sichuan, 621000, China

Abstract

Switching power supplies have been widely applied in numerous fields such as consumer electronics, industrial control, and audio equipment due to their high efficiency, small size, and strong adaptability. During the high-frequency switching process, electromagnetic interference (EMI) is inevitably generated. If not effectively suppressed, it will not only affect the stable operation of the power supply itself, but also may interfere with the digital power amplifier and audio signal processing circuit, ultimately leading to a decrease in the overall performance of the system. Based on this, the article will start from the interference mechanism, discuss key measures such as circuit topology optimization, PCB layout and routing filtering, and shielding grounding system design, and propose comprehensive design strategies in combination with actual application scenarios, hoping to provide references for improving the electromagnetic compatibility performance of electronic devices.

Keywords

Switching power supply; Electromagnetic interference; Filtering; PCB design; Electromagnetic compatibility

开关电源的抗干扰设计研究

魏路军

四川湖山电器股份有限公司, 中国 · 四川 绵阳 621000

摘要

开关电源凭借高效、体积小和适应性强等特点在消费电子工业控制以及音频设备等众多领域得到广泛应用。在高频开关过程里电磁干扰 (EMI) 不可避免地产生, 倘若没有进行有效抑制, 不但会对电源自身的稳定运行产生影响, 而且还可能干扰数字功放以及音频信号处理电路最终致使系统整体性能降低。基于此, 文章将由干扰机理切入, 对电路拓扑优化、PCB 布局布线滤波与屏蔽接地系统设计等关键措施进行探讨, 结合实际应用场景提出综合性设计策略, 期望能为提升电子设备的电磁兼容性能给予参考。

关键词

开关电源; 电磁干扰; 滤波; PCB设计; 电磁兼容

1 引言

电力电子技术的迅猛发展一方面带动了电源技术的发展, 另一方面也给电源产品提出了越来越高的要求。开关电源具有线性电源无可比拟的优点: 体积小、重量轻、效率高等。但是, 功率密度的增大和频率的提高所产生的电磁干扰对电源本身及周围电子设备的正常工作都造成威胁^[1]。关变转换器本身具有一定的开关噪声, 从而会从电源的输入端产生差模与共模干扰信号。所以针对开关电源的抗干扰设计展开深入研究, 不仅是确保电源可靠运行的必要举措, 更是提升音频设备整体性能的关键所在。

2 开关电源的干扰机理分析

2.1 传导干扰

开关器件在高频导通关断过程里引发的电流脉冲是传导干扰的主要表现, 其会通过输入电源线, 以及输出端口朝外部传输。在开关进程中电流以及电压的变化率处在极高状态, 极易在导线上催生丰富的谐波成分, 电源网络里这些谐波相互叠加, 从而形成频谱范围较宽的干扰信号。并且整流环节输入的非线性特性加上滤波电容的充放电行为, 会让电流畸变进一步加剧, 致使传导干扰幅值在低频段和高频段都有所呈现^[2]。

通常来说, 传导干扰主要划分为差模与共模干扰两种形式, 其中, 差模干扰的原因在于开关器件电流的急剧变化。以至于频谱集中处在相对较低频段, 且沿着相线与中性线之间的路径进行传输。共模干扰源在开关节点显著的高 dv/dt 效应, 借由寄生电容在相线和地线之间构建起泄漏电流,

【作者简介】魏路军 (1985-), 男, 中国四川射洪人, 本科, 工程师, 从事开关电源、数字功放、音频信号处理研究。

它的能量分布处在较高频率区间,对外部电路所产生的影响更为显著。除此之外,传导干扰的严重程度受整流电路滤波电容,以及磁性元件等非理想特性影响颇大,举例来说,电容的充放电行为在输入电流里极易产生高幅度尖峰,而磁芯的非线性会致使电流谐波数量增多,进而让干扰水平进一步攀升。

2.2 辐射干扰

开关电源里的高速开关器件在运行期间产生诸多高频谐波,这是辐射干扰的主要来源。当电流与电压以较高变化率切换时,由电路中寄生电感和寄生电容构成的非理想通道会把高频能量转变为电磁波。这些电磁波通过布线散热结构以及器件引脚等导体,以天线的形式向外辐射出去,既包含由非线性效应引发的高次谐波,也包括开关频率的基波成分,其频谱范围较宽进而在较大频段内呈现出显著的电磁干扰特征。

在具体的机制当中电路布局和辐射干扰存在着紧密的关联,高频电流会因功率环路面积过大,增强等效辐射天线效应进而让干扰场强显著增大。当布线没能对信号回路的闭合路径予以控制时,具备高 dv/dt 的节点更容易形成强烈的电场辐射,在高频运行时磁性器件会产生磁通泄漏,这些泄漏的磁通叠加到周边导体上,使得空间辐射水平得到进一步提高。除此之外,在高频条件下散热器金属外壳,以及地平面都有可能成为电磁辐射源,在电磁场激励下,要是接地不连续或者结构不完整,这些金属部件就会产生共模电流^[3]。共模电流会让辐射通道的有效面积增大,使得干扰信号能够在较远的距离传播,并且会对相邻的敏感电路或者设备造成影响。

2.3 耦合途径

在高频运行阶段的开关电源电磁干扰常借助多种耦合途径侵入敏感电路,其常见的形式涵盖电磁感应,电容耦合以及公共阻抗耦合。首先,当大电流以高 di/dt 切换时,邻近导体上会感应出干扰电压,电磁感应耦合主要发生在功率回路和信号回路之间,该干扰电压幅度与耦合回路面积及相对位置密切相关。若布线间距不够或者平行长度过长,那么感应效应会明显增强,这将导致低电平信号很容易受到干扰。其次,高 dv/dt 开关节点与相邻导体间的分布电容会因与寄生电容相关,产生电容耦合形成电流传输通道把高频电压直接叠加到敏感节点。在开关频率提升的条件下,此类耦合的高频特性尤为突出,对控制电路和检测模块影响颇大。此外,在开关频率提升的条件下,此类耦合的高频特性尤为突出,对控制电路和检测模块影响颇大,当不同电路模块共用同一回路路径时,公共阻抗耦合与接地或供电回路的阻抗相关。高频电流在该路径上形成的电压降,会叠加到其他电路中表现为共模噪声或控制信号畸变。

在实际的系统里,上述三种耦合机制常常共同存在,并且在复杂的布线环境当中相互叠加。这就导致干扰路径

很难被单一隔离,从而进一步加大了系统电磁兼容设计的难度。

3 开关电源的抗干扰设计措施

3.1 电路拓扑与开关策略优化

在开关电源抗干扰设计里,对开关策略与电路拓扑进行优化是降低传导干扰以及辐射干扰的关键措施。第一,合适的拓扑结构应依据负载类型、输入输出特性以及功率等级来进行选择。诸如反激、正激半桥以及全桥等拓扑需依据磁性元件特性,功率器件承受能力以及开关频率来开展匹配工作,以此对电流波形特性与电压应力分布予以优化。在此过程中,需考虑高频噪声生成机理来选择拓扑结构,尽可能防止尖峰电压与振铃效应被放大,以此来降低高频干扰源的强度。此外,进行拓扑优化时需要针对关键节点的寄生参数展开分析以及实施补偿,开关尖峰和振铃的产生是由于功率器件的输出电容、寄生电感以及 PCB 走线寄生影响所导致,为有效降低其中的高频成分,可通过匹配补偿网络或者对缓冲电路进行合理布局来实现^[4]。第二,在开关策略上要想实现干扰能量的分散,可以借助对开关频率、占空比以及相位关系作出调整来达成。通过软开关技术如零电压开关(ZVS)或零电流开关(ZCS),降低开关瞬态尖峰电压和电流,从源头控制高频干扰产生。同时高频 PWM 控制需结合负载动态特性开展频率调节工作,防止特定频率段出现共振耦合现象。对高压输入或大功率输出电路而言可采用多级转换拓扑,把电压与电流分摊到多个子模块达成低电压应力操作让单元器件的开关噪声得以降低。进行控制环路设计时要依照拓扑特性对反馈路径予以优化,在瞬态负载出现变化的状况下,通过运用快速采样以及闭环调节这两种方式能够实现迅速响应,避免开关波形的异常跳变带来的干扰扩散。

3.2 PCB 布局与布线控制

在开关电源的抗干扰设计工作里,PCB 的布局以及布线控制是达成高频噪声抑制以及保障系统稳定性的基础性环节。首先,按照电源拓扑结构对功能区域予以划分。分别集中设置功能区域,将功率器件、控制芯片、滤波网络以及信号处理电路,防止高频开关噪声经由导体耦合到敏感区域。为避免出现干扰问题,应尽量让功率回路靠近器件引脚,形成最短的回路路径,这样做能够降低寄生电感,减小回路路径的阻抗。其次,在布线策略方面,需要着重考量电流回路的闭合路径连续性,对在高频开关节点的走线宽度,要确保满足电流密度方面的要求,尽力规避急转弯情况以及长线跨越现象,以此来降低由环路电感所引发的尖峰干扰。并且,敏感信号线(模拟采样反馈以及控制信号)需远离功率回路,在必要的情况下应采用差分走线或者屏蔽走线,以此抑制共模与差模干扰的叠加效应。再者,在多层板设计方面,要把关键信号层夹在连续的电源层或者磁层之间,借由层间电容耦合来降低高频噪声的传播,并且形成稳定的参考电位,以