 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i9.7444

The Application of Unipolar Conversion Technology in the Design of Communication Power Supplies

Yuelong Peng

Beijing Zhongwang Huatong Design Consulting Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

In the design of communication power supplies, unipolar transformation technology, relying on its simplified topological structure and high energy transmission efficiency, has become a key means for optimizing emergency communication and mobile communication power supplies. This article focuses on the application of unipolar conversion technology, analyzes its reliability under high power density conditions, stability and dynamic response when operating in parallel with modular heat dissipation, as well as key technical difficulties such as electromagnetic compatibility and filtering issues, and proposes corresponding design optimization strategies. Research shows that through reasonable thermal management scheme control strategies and circuit topology design, power supply performance can be optimized, ensuring the safety and stability of system operation, and providing technical support for the efficiency and reliability of communication power supplies.

Keywords

Unipolar transformation technology Communication power supply “Design; Application; Key points

单极变换技术在通信电源设计中的应用

彭岳龙

北京中网华通设计咨询有限公司，中国 · 北京 100000

摘　要

在通信电源设计中单极变换技术依靠其拓扑结构简化，能量传输效率较高的特性已然成为应急通信以及移动通信电源优化的关键手段。文章聚焦单极变换技术的应用，剖析其于高功率密度状况下的可靠性与散热模块化并联运行时的稳定性与动态响应，还有电磁兼容及滤波问题等关键技术难点，提出对应的设计优化策略。研究显示，通过合理的热管理方案控制策略以及电路拓扑设计，能优化电源性能，保证系统运行的安全与稳定，为通信电源的效率和可靠性提供技术支撑。

关键词

单极变换技术；通信电源；设计；应用；要点

1 引言

在移动通信与应急通信场景里，传统电源架构的局限性正逐步显现，这是由于通信网络对于供电稳定性以及响应速度的要求在持续提高。因其具备高能效低器件压力以及灵活拓扑特性，单极变换技术成为通信电源设计的新趋势，在有限空间里该技术能够完成功率转换以及电压调节，为模块化与并联运行给出可行方案从而满足快速启动和负载波动时的电力需求。

2 单极变换技术的原理与特性

在通信电源设计中常用的拓扑形式之中单极变换技术是较为典型的一类，它的关键特性在于借助单个磁性元件的磁通转换，达成电压的升降以及隔离。在工作机理方面，该技术借助单极性驱动信号，对功率开关器件的导通以及关断过程实施控制，通过这种方式让输入端的能量，能够经由变压器磁通传递到输出端。如此一来既确保能量传递效率，还能降低元件应力。在控制环路设计中单极变换技术鉴于开关频率颇高，一般能够于较小体积状况下达成稳定输出且具备较强的动态响应能力 [1]。

从特性方面来讲单极变换技术具备显著优势，第一，电路结构相对简洁，在中低功率通信电源的应用场景中十分契合。磁元件工作期间电流波形连续性颇佳，能有效降低电磁干扰程度，给后级滤波设计带来便利。第二，该技术在达成电气隔离之际维持了较高的能量利用率，与传统的双极性变换拓扑相比，其导通损耗以及反向恢复损耗都有一定程度地减轻，这进一步提升了系统的整体转换效率。第三，在通信电源领域单极变换技术于器件挑选，以及散热设计方面呈现出显著的灵活性，该技术可以依据通信电源所具备的电压

【作者简介】彭岳龙（1990–），男，中国湖南岳阳人，本科，工程师，从事通信电源工程设计研究。

等级情况，以及负载呈现出的特性状况对自身进行优化配置，在保证可靠性的前提下兼顾轻量化和高效化的需求。

3 单极变换技术在通信电源设计中的应用模式

3.1 通信基站电源设计中的应用

在通信基站电源的设计工作中单极变换技术被引入的目的在于让能量传输的稳定性以及效率得以提高。传统电源架构在基站运行时面对负载频繁波动，瞬态响应常出现迟滞。单极变换技术却不同，它借助对拓扑结构和控制环路的优化达成对输入电压的快速调节，这能让直流母线电压在窄幅波动区间内保持稳定，进而确保射频设备交换设备等核心模块持续供电的稳定性。在高频开关的驱动作用下，该技术能够切实减轻设备重量，有效降低磁性元件体积，为基站电源的小型化给予技术方面的支撑 [2]。此外，通常基站电源需要满足能耗控制与高效散热的双重要求，在工作进程中单极变换技术凭借减少导通损耗以及开关损耗提升整体的能效比，降低电能于传输与变换环节里的损失，以此来降低发热量增强电源系统在高温或者复杂环境下运行的可靠性。该技术与此拥有模块化扩展的优势，能够依据不同基站规模对功率等级灵活加以配置，防止因过度设计致使资源出现浪费。

3.2 数据中心通信电源设计中的应用

在数据中心通信电源设计中单极变换技术应用的重点，是要去应对大规模服务器群对于电能供应所提出的高密度且连续性的需求。在高度集约化特征显著呈现于数据中心设备运行负载的状况下，电源系统在长时间维持满负荷工况时极其容易遭受电压波动以及谐波干扰的影响。在大规模计算与存储单元面临高并发任务时，单极变换技术借助高频开关控制，搭配精确的能量分配手段以此保障直流母线电压的稳定。

在转换效率方面这项技术具备优势，能够对能量损耗起到有效降低的作用。传统供电方式在数据中心内部复杂的电力消耗结构里，多级能量转换过程易出现效率下滑。单极变换架构则凭借减少中间变换环节，缩短能量传递路径达成高效功率转换，这既有助于减轻散热压力又能提升整体功率密度。该技术的拓扑设计与此便于跟冗余电源系统相结合，让电源架构的可靠性得以增强使其拥有应对大规模节点失效的能力。除此之外，单极变换技术在控制系统中可与数字化管理平台相结合，以实现实时监测以及动态调节。在服务器群突发扩容或者计算任务出现激增情况时，借助多点对电压以及电流参数展开采集操作，并运用智能化算法予以快速校正，如此能够让供电维持连续性与均衡性。该机制不但为数据中心的能耗优化提供了可操作的技术路径，也为机架级、模块级供电的灵活部署创造条件。

3.3 新能源与 5G 基站融合电源中的应用

在 5G 基站与新能源融合电源的设计里，单极变换技术的应用关键在于化解高频通信设备稳定性同可再生能源波动之间的矛盾。单极变换技术凭借快速电压调节与电流分配机制，让光伏风能这类受环境条件影响输出功率波动大电压曲线有不规则起伏的新能源能够平稳接入直流母线，防止因能量波动造成基站射频模块和信号处理单元运行不稳定。

在高功率密度需求下，这项技术通过改进开关频率以及磁性器结构来减小传输能量的路径，借此提升能量转化率且降低整体系统的损耗。在基站部署规模不断扩大，功耗持续攀升的状况下，这种特性让其能够维持高效供电以此减轻散热方面的压力，确保系统在复杂环境中得以持续运行。不仅如此，单极变换技术结合新能源储能单元，能够达成对电池组双向能量流的控制，在负载处于低谷阶段时把富余能量储存起来，于高峰阶段将储存的能量释放，以此保障基站全天候稳定运行。在 5G 基站对于低时延以及高可靠性有需求的情况下，单极变换技术借助数字化控制平台能够达成毫秒级的动态响应，电源系统在应对瞬态负载突增时，借助对输入侧和输出侧参数展开实时采集以及快速调整的操作，能够维持母线电压稳定。这一举措可降低对功率器件的冲击，进而延长电源设备储能模块的使用寿命。在大规模分布式基站的建设与运维场景，这一特征尤其适用。

3.4 应急通信与移动通信电源中的应用

在移动通信电源以及应急通信的设计中，单极变换技术可有效对能量传输路径予以简化，让电源系统的快速响应能力得以提升。在突发环境里应急通信系统常遭遇电力供给不稳定的状况，单极变换技术让电源装置于启动和切换进程中拥有较高的效率与稳定性，借助减少能量在转换环节的损耗，以此确保通信设备能够在短时间内投入运行。

在负载波动频繁的条件下，移动通信电源设计中的单极变换技术不仅能够维持输出电压的平稳，还提升了电压调节的灵活性。单极变换技术凭借单一环节达成电压的升降与稳定，降低了系统的复杂性与故障率。在电源散热与电磁兼容性上，该技术的表现极为突出，能够借助优化电路拓扑这一方式，有效减少高频损耗与干扰。在移动通信电源持续供能以及应急通信电源快速部署方面，单极变换技术凭借这些特性已然成为重要的设计方向 [3]。

4 关键技术问题与解决策略

4.1 单极变换技术在通信电源中面临的电磁兼容与滤波问题

在通信电源设计领域里单极变换技术凭借拓扑结构紧凑，能量传输效率高的特点被广泛运用，然而在实际运行阶段电磁兼容性以及滤波问题一直都是限制其性能提升的关键要素。在开关器件高频动作的情况下，单极变换电路会产生较强的电磁干扰信号，要是这种信号未能得到有效抑制，就非常容易对周边通信设备产生耦合干扰，致使信号出现畸变或者误码率升高。此外，供电质量波动会因电源本身输出电压与电流叠加的高频纹波造成，这对敏感负载设备的稳定运行形成潜在威胁。

针对上述问题在电路拓扑层面展开优化工作尤为关键。

首先，通过对开关节点电压变化率以及电流上升率予以降低，来有效削弱电磁干扰源。如，使用软开关技术来将瞬态冲击电流降低，从根源之处对高频干扰的幅值予以控制。其次，在设计滤波环节，需要依照通信电源对于动态响应的要求对输入端滤波器以及输出端滤波器进行合理地配置。在输入侧多级 LC 滤波结构可供选用，以此对传导干扰加以抑制，而输出侧在满足快速调节这一条件的基础上还要对滤波深度予以兼顾，以减小输出纹波的幅度。再者，单极变换电源的电磁兼容性提升方面，屏蔽与接地技术同样有着重要作用，采用金属屏蔽措施于关键电路区域，能够将辐射干扰路径阻断。

4.2 高功率密度条件下的散热与可靠性设计

单极变换技术应用于通信电源时，系统设计的核心影响因素是高功率密度。随着集成功率水平在单位体积内的提升，器件发热量明显增大。要是散热机制不够完善，会使得器件结温过高进而加速材料老化，还会缩短系统寿命。如何在有限空间里达成高效散热以及可靠性设计，成为此类电源研发的关键问题。

在散热路径的优化工作当中，对于热源分布均衡化设计应当予以优先考量，可借助对功率器件布局以及电路板走线进行调整这一方式，实现局部区域热堆积情况的降低。常用散热措施是在高发热元件下方安置金属基板或者热管结构，目的是提高热流传导效率，利用高导热界面材料降低器件与散热结构之间的热阻，以此达成热量的快速传递。在大功率模块下为解决长时间高负荷工况引发的温升问题，还能够将液冷或者喷雾冷却加以结合运用，在可靠性设计方面，需将散热与器件的电气应力控制相结合。此外，提升系统在频繁开关操作下的稳定性，需选择高耐温高热循环寿命的半导体与封装材料，采用多物理场仿真手段对电热耦合效应预先评估，了解极端条件下的应力分布，以此为结构优化提供依据。

4.3 模块化并联运行时的动态响应与稳定性控制

在通信电源系统中模块化的并联运行能够极大地提升功率扩展能力以及冗余设计水平，然而在动态响应和稳定性控制领域，却面临着巨大的技术挑战。在负载突变或者输入出现扰动的情况下，并联模块之间电压电流分配不均衡的问题会造成系统瞬态响应出现延迟现象，甚至可能引发振荡情况或者导致环路失稳。在控制策略层面要建立高精度的电压调节与电流共享机制，以此来优化动态性能保证各模块于不同工作状态时输出的功率能够协调一致。在控制回路设计领域，需运用多环路协同控制架构，把电流环和电压环予以分层耦合处理，模块间负载平衡依靠电流环快速响应模块输出的瞬态变化来维持，而电压环负责整体输出稳定性以及负载调节。此外，引入前馈补偿与相位优化的方式，来有效抑制系统振荡。对于并联数量较多的模块需考虑控制信号传输延迟和功率器件动态特性的差异，使用分布式数字控制或高速通信接口，以同步不同模块间的信息，以此减小响应时间差异并提高系统抗扰能力。

5 结语

总而言之，单极变换技术的应用有效提升了通信电源的系统性能，为应急通信和移动通信提供了高效、可靠的电力保障，在复杂负载与高功率密度条件下，针对电磁兼容模块化并联以及散热管理实施优化策略能够达成电源的稳定运行。今后，结合数字控制与多物理场仿真技术的设计方法，将进一步增强单极变换技术在通信电源中的实用性与应用广度。

参考文献

[1] 黄振威.基于单级变换器的动态无线电能传输技术的研究[D].华南理工大学,2023.

[2] 马凯,李振东.单极变换技术在通信电源设计中的应用研究[J].通信电源技术, 2024, 41(13):91-93.

[3] 王静怡,王盼,袁雷,等.单极倍频与单极性调制策略对比及特性分析[J].电子器件, 2023, 46(5):1364-1371.

[4] 刘文建;吴硕.浅析通信电源技术的多元化发展及标准研究要点[J]. 中国新通信,2024(01)：4-6.