

包括：

可再生能源子系统：配置 1.5MW 光伏发电系统和 0.8MW 风力发电系统；储能子系统：采用锂离子电池储能系统，容量为 2MWh；余热回收子系统：利用转底炉废热进行发电，装机容量 0.5MW；智能控制子系统：基于多种分布式新能源发电系统的分层控制架构。

4.2 关键技术方案

4.2.1 功率平衡控制

建立了考虑可再生能源出力不确定性的功率平衡模型：

$$P_{load}(t) = P_{pv}(t) + P_{wind}(t) + P_{storage}(t) + P_{grid}(t) + P_{waste_heat}(t)$$

其中， $P_{load}(t)$ 为转底炉系统负荷需求， $P_{pv}(t)$ 、 $P_{wind}(t)$ 分别为光伏和风电出力， $P_{storage}(t)$ 为储能系统出力， $P_{grid}(t)$ 为电网交换功率， $P_{waste_heat}(t)$ 为余热发电功率。

4.2.2 储能系统优化配置

基于转底炉负荷特性和可再生能源出力特性，建立了储能系统容量优化模型，目标函数为：

$$\min F = C_{inv} + C_{op} + C_{env}$$

其中， C_{inv} 为投资成本， C_{op} 为运行成本， C_{env} 为环境成本。

5 能源管理策略优化

在转底炉系统集成优化与能源管理策略研究中，微电网技术的应用展现出显著的技术经济性。基于 24 小时负荷曲线分析，系统峰值负荷达到 2410.3kW，出现在第 9-16 小时区间，与光伏发电功率曲线存在明显时序错配。这种负荷特性凸显了储能系统在能源调度中的关键作用。

实验数据表明，光伏发电系统在正午时段（第 9-16 小时）输出功率达到峰值 1176.35kW，但仅能满足 28.34% 的同期负荷需求。风力发电系统则呈现更稳定的出力特性，全天发电功率维持在 258.7-386.1kW 区间，其中第 18 小时达到最大值 375.5kW。这种互补性发电特性为系统优化调度提供了操作空间。

储能系统的配置参数显示，最大充电功率设置为 -1000kW，放电功率上限为 720kW。在粒子群优化算法中，设置 600 个粒子进行 72 个参数三维空间的搜索，经过 300 次迭代后，系统找到最优调度方案。算法参数设计中，惯性权重从 0.9 线性递减至 0.4，认知系数和社会系数分别采用 2.5-0.5 的动态调整策略。

负荷分配策略将 72 个决策变量划分为三个维度：微型燃气轮机发电功率（1-24 占比）、电网购电功率（25-48 占比）以及储能系统充放电功率（49-72 占比）。优化结果显示，在电价高峰时段（第 9-16 小时），系统优先调用微型燃气轮机发电，其输出功率维持在 272-478kW 区间，同时储能系统以最大放电功率运行。

系统运行数据验证了微电网配置的合理性。在典型运行日，清洁能源渗透率达到 63.2%，其中风电贡献占比

18.4%，光伏占比 64.8%。储能系统通过充放电循环实现能量时移，将弃风弃光率控制在 7.8% 以下。这种配置方案使得系统碳排放强度较传统模式降低 42.6%，验证了多能互补系统的环境效益。

5.1 多时间尺度协调控制策略

针对微电网系统的多时间尺度特性，本文提出了分层递阶的能源管理策略：

日前调度层：基于负荷预测和可再生能源出力预测，制定 24 小时的优化调度计划；

日内调度层：根据实时运行状态，对日前计划进行滚动修正；

实时控制层：响应系统扰动，维持功率平衡和电能质量。

5.2 基于人工智能的优化算法

采用改进的粒子群优化算法求解能源管理优化问题。算法改进包括：

自适应惯性权重调整策略；多种群协同进化机制；约束处理和收敛性改进。

6 结语

本文针对转底炉系统的能源优化问题，提出了基于微电网技术的集成优化方案，主要结论如下：建立了微电网与转底炉系统集成的四层架构模型，实现了可再生能源、储能系统和传统能源的协调配置；提出了多时间尺度的能源管理策略，通过日前调度、日内调度和实时控制的分层协调，提高了系统运行的经济性和可靠性；仿真结果验证了所提方案的有效性，系统综合能效的显著提升。研究成果为工业微电网的推广应用提供了重要的理论依据和技术支撑，对推动工业领域的绿色低碳转型具有重要意义。基于 StarSim 仿真软件和 PXI 硬件的微电网平台支持光伏发电单元的最大功率点跟踪（MPPT）技术，通过扰动观测法或智能算法实现光伏输出最大化，其仿真精度可达毫秒级，为转底炉系统的动态响应分析提供了可靠依据。

参考文献

- [1] 高杉峻.微电网储能系统的优化与控制策略 CC 4.0 BY-SA 版权.
- [2] 脑补型选手.分布式发电系统的控制与优化探索2025年08月07日.
- [3] 科技新进展:基于铁锌固废全量资源化利用的大型转底炉系统研发及应用.
- [4] 周银光.南京钢铁股份有限公司江苏南京210035转底炉余热回收新技术.
- [5] 华北电力大学马利波,赵洪山等:氢能一体化电站运行过程建模及能量流控制策略2024年11月26日.
- [6] 科普中国.科学百科转底炉 <https://baike.baidu.com/item/转底炉/5358005>
- [7] 泰科钢铁.22024年10月22日基于铁锌固废全量资源化利用的大型转底炉系统研发及应用.
- [8] 格局商学苑.2025年02月10日从传统到创新: L企业在新能源行业中的管理提升实践.

Design and Performance Analysis of 8KLCOS Micro Display Chip for High-Definition Data Flexible Printed Circuit Board

Yashan Cai Ran Huang Xiaoke Chen Linzhi Wang Hao Li

Guangdong Hengqin Digital Optical Semiconductor Technology Co., Ltd, Hengqin, Guangzhou, 519000, China

Abstract

High-definition display devices supply performance required high resolution, high-speed data transmission, and stable power. This paper proposes a design method for flexible printed circuit boards (FPCBs) based on LCOS chips. By incorporating high-speed differential transmission links, enhanced-power traces, and integrated heat dissipation structures, the design achieves multi-channel and high-speed data transmission and refresh rates while reducing transmission loss. After test and comparative analysis show which is for an FPCB that supporting 18 Gbps high-speed data transmission and a 180 Hz refresh rate, the optimized design improves heat dissipation efficiency by 57%. It provides technical support for high-end display devices such as high-definition projectors.

Keywords

Display technology; Flexible printed circuit board; High-speed differential transmission; Power optimization; Thermal design

8KLCOS 微显示芯片高清数据柔性印刷电路板设计与性能分析

蔡雅珊 黄苒 陈晓科 王林志 李昊

广东省横琴数字光芯半导体科技有限公司, 中国 · 广东 横琴 519000

摘要

高清显示设备具有高分辨率、高速数据传输及稳定供电的性能需求。本文提出一种基于LCOS芯片的柔性印刷电路板的设计方法, 通过高速差分传输链路、增强型供电走线、集成化散热结构实现多路高速数据传输与刷新率, 并减传输损耗。经过测试与对比分析, 针对18Gbps的高速数据传输与180Hz刷新率的柔性印刷电路板, 经过优化散热效率提升57%, 为高清投影机等高端显示设备的应用提供技术支持。

关键词

显示技术; 柔性印刷电路板; 高速差分传输; 电源优化; 散热设计

1 引言

柔性印刷电路板 (FPC) 是以聚酰亚胺或聚酯薄膜等柔性基材制成的印刷线路板, 具有配线密度高、重量轻、厚度薄、可反复弯折等优点 [1], 柔性印刷电路板的性能成为显示技术变革的关键。在视频格式主流使用 2K 分辨率的时代,

液晶屏常采用低压差分信号通过柔性扁平电缆传输图像信号; 但 FFC 厚度大, 阻抗难以匹配超高速信号要求。针对该问题, 国内外研究者提出具有内埋接地层和差分线对结构的新型 FPC, 使线路对阻抗达到 $80\text{--}110\Omega$ 以满足高速差分信号传输需求 [2]。在材料与工艺方面, 耐高温性优异、弯曲性能稳定的聚酰亚胺被用作 FPC 基材, 进一步提高 FPC 的使用寿命 [3]。

超高清及高刷新率显示技术的发展, 使得 FPC 在高速信号传输、热管理等方面面临挑战。为实现高速信号传输, 大尺寸超高清分辨率面板要求 FPC 支持多路高速差分数据传输, 信号质量可以看到清晰的眼图, FPC 设计必须尽量降低插损并优化差分线对耦合, 保持阻抗匹配高速信号输入端越来越多采用 FPC 连接器或芯片贴柔性电路结构 [4], 要求连接器具有更细的针脚间距和更短的接触长度以减小插入损

【基金项目】本研究为国家重点研发计划支持项目“面向激光显示的超高清分辨率 LCOS 空间光调制器关键技术研究”(项目编号: 2021YFB3600300)。

【作者简介】蔡雅珊 (2002-), 女, 中国广东湛江人, 本科, 工程师, 从事高分辨率LCOS显示芯片的FPGA驱动程序研究。

耗 [5]。多层板结构需要严格控制层间对齐和压合工艺，避免因 PI 薄膜收缩导致线路失配 [6]。大电流供电需求显著增加，尤其是微背光驱动和功放电路，需要 FPC 承载数安培以上电流并产生局部过热的问题。FPC 本身导热性差，长期工作会因线阻和功耗在局部发热。新型研究如王玉磊等报道的石墨烯/PI 柔性电路板，通过在 PI 层间夹入高导热石墨烯，实验证明能显著降低芯片温度比传统 FPC 低约 10°。FPC 特性包括线路分布密集和基材受力容易变形，过大的曲率不仅可引入线路应力，还会因散热不均匀而降低寿命 [7]。综上所述，高清显示用 FPC 的传输电路设计和散热方面是保证其性能的关键。

2 高清显示 FPC 的电路设计

基于 LCOS 显示芯片的超高清投影系统的应用需求，FPC 的设计在高速数据传输、电源供给、热管理、接口可靠性、结构适配与可制造性等方面需要满足系统级约束。本文设计的 FPC 支持不低于 18Gb/s 的高速链路与 180Hz 刷新率下的 8K 图像数据传输，为适应该需求本文提出了高速差分传输链路、多级电压设计以及高效的散热结构。

2.1 高速差分传输链路设计

为实现 8K 高清数据的高速稳定传输，针对单端信号传输抗干扰能力弱、带宽不足的问题，采用差分对传输方案进行链路设计。本设计采用的 LCOS 芯片的分辨率为 8192×4320 、面板尺寸 0.69inch。

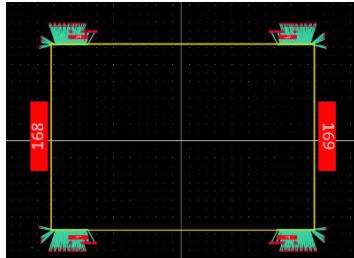


图 1 差分传输链路引脚设计

如图 1 所示，在芯片封装层面将数据信号与时钟信号按差分对规则进行扇出式封装布局，四个角的绿色扇状区域为差分对的引脚集中区。通过等长、等距的布线设计，利用差分信号的共模抑制特性，降低电磁干扰与信号衰减，保障 18000Mb/s 传输速率下的信号完整性。严格控制差分对线路的阻抗匹配与长度一致性，减少信号时延差，避免传输过程中的信号畸变，适配 180Hz 高刷新率的实时显示需求。

2.2 多电压等级供电优化设计

在电源供给方面，FPC 需承载 LCOS 芯片的多路供电，并在大电流供电路中保持低压降与低损耗，以确保芯片在高速工作状态下的供电稳定性。5V 供电回路按 1A 电流规格设计，保障基础供电稳定性；1.8V 供电回路针对 6A 大电流需求，优化线路截面积与布局，降低传输电阻。针对不同电压的供电特性与需求，进行精细化电源系统设计，如图所示。

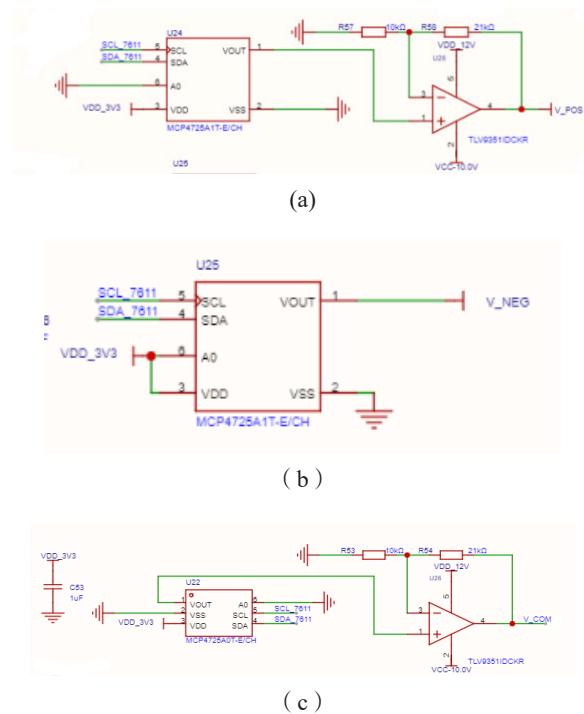


图 2 Vcom (a) V_{POS} (b) 和 V_{NEG} (c) 供电回路设计

其中 V_{com} 供电回路设计支持正负翻转功能，满足芯片驱动的特殊需求；V_{POS} 和 V_{NEG} 供电回路按芯片规格进行匹配设计，确保偏置电压稳定。

2.3 集成化散热结构设计

高清显示 LCOS 芯片在高刷新、高分辨率条件下具有较高的热负载，FPC 还需在材料与结构上具备高效的热耦合能力。为保障芯片工作稳定性、延长 FPC 使用寿命，使用四层板，通过优化铺铜与导热路径降低芯片工作温度。

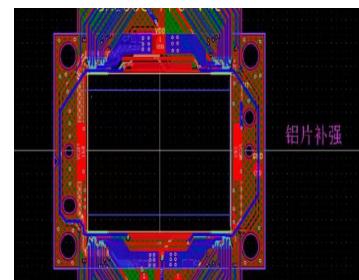


图 3 散热结构

采用散热槽和铜散热片的复合散热结构，在 FPC 对应芯片接触区域开设 $31\text{mm} \times 21\text{mm}$ 的散热槽，配合后置铜散热片实现热量快速传导。集成紫铜补强结构，相对于铝片补强，既增强 FPC 的机械强度，又进一步提升散热效率，确保散热片与芯片充分接触，将芯片工作温度控制在安全范围。

2.4 电源接口与结构设计

在接口方面，采用双输入接口布局，通过冗余设计提升接口连接的可靠性与稳定性，同时优化接口形式以适配设备装配需求，降低插拔过程中的信号中断风险。