

# 基于 VPX 和 CTC7132 的全国产可扩展交换板设计与实现

常琦<sup>1</sup>, 魏晓磊<sup>1</sup>, 茅智星<sup>2</sup>, 潘纯婵<sup>2</sup>, 杨惠<sup>1</sup>, 王粤<sup>1</sup>

(1. 火箭军装备部装备项目管理中心, 北京 100085;

2. 中国电子科技集团第15研究所, 北京 100083)

**摘要:** 针对现阶段军用指控系统对网络交换性能和安全方面的要求, 研发了一款基于 CTC7132 交换芯片和 VPX 体系架构的全国产可扩展交换板; 详细阐述了全国产交换板的架构, 各功能模块的设计与实现, 并对整板进行热设计和仿真, 最后对交换板的功能、性能、环境适应性进行了测试验证; 测试结果表明: 交换板能适应  $-40\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  高低温苛刻环境, 具备强大的网络交换能力, 所有端口支持全双工线速交换, 最高速率可达 984 Mbps, 丢包率低, 具有很好的通用性和扩展性; 该板卡的成功研制为自主可控交换平台的国产化器件应用验证奠定了坚实的基础。

**关键词:** 以太网交换; VPX; 可扩展; 热设计

## Design and Implementation of Native Extensible Switchboard Based on VPX and CTC7132

CHANG Qi<sup>1</sup>, WEI Xiaolei<sup>1</sup>, MAO Zhixing<sup>2</sup>, PAN Chundi<sup>2</sup>, YANG Hui<sup>1</sup>, WANG Yue<sup>1</sup>

(1. Equipment Project Management Center of Rocket Army, Beijing 100085, China;

2. 15<sup>th</sup> Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Aiming at the requirements of command and control system deployed in the army for network switching performance and security, an extensible switching board based on CTC7132 and VPX has been developed. Firstly, the architecture of domestic switch board was introduced, then the design methods of each function module, and the thermal design and simulation of the whole board were made in detail. Finally, the test about function and environmental adaptability of the switch board were practiced. The test results show that the board has a strong switch ability in the harsh environment temperature range of  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , all ports support full-duplex mode with a maximum rate of 984 Mbps and low packet loss, which has good universality and extensibility. The successful development of this board has provided a solid foundation for the application and verification of the localized device in the switching platform.

**Keywords:** ethernet switch; VPX; extensibility; thermal design

## 0 引言

目前, 云时代和物联网高速发展, 云计算、边缘计算技术飞速演进, 满足交换节点接入时更大表项、更低时延、更灵活流水线需求的新一代交换机研制迫在眉睫。新一代交换机需要具有线速的增强特性能力和更高的集成度, 更好服务于边缘的多业务接入场景, 满足网络未知、业务需求不断融合的网络技术发展趋势<sup>[1]</sup>。

从国家层面看, 网络信息已经成为一种重要的战略资源, 信息安全直接决定军事行动的成败<sup>[2]</sup>。目前交换机大部分以国外产品或芯片为主导, 存在极大的安全隐患, 而且很多交换机产品无法适应军用现场复杂的电磁环境和恶劣的温度环境。目前国家确立了基于国产软硬件的自主可控发展战略, 在政策的引导下, 国产处理器、交换芯片、

电源模块、操作系统等基础软硬件得到飞速发展, 全国化的生态体系已经越来越完善。

基于技术的驱动, 结合现阶段军用指控系统对网络交换性能和安全方面的要求, 研发了一款基于 CTC7132 交换芯片和 VPX 体系架构的可扩展交换板。该交换板的所有软硬件均采用国产化产品, 实现了从芯片到硬件再到系统的完全自主可控。交换板将所有交换和控制资源展现给机箱, 机箱可根据实际使用需求裁剪网络端口的数量、形式、速率。该交换机能适应  $-40\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  高低温环境, 抗电磁干扰性强。本文详细描述了交换板的总体架构、各功能模块的设计与实现, 进行了热设计并仿真, 对功能、性能、环境适应性进行了测试, 验证了设计的合理性, 为高性能自主可控交换平台的发展奠定了坚实的基础, 提供了高价值

收稿日期: 2022-06-10; 修回日期: 2022-07-28。

作者简介: 常琦(1990-), 男, 山东菏泽人, 硕士, 高级工程师, 主要从事导弹系统控制技术方向的研究。

引用格式: 常琦, 魏晓磊, 茅智星, 等. 基于 VPX 和 CTC7132 的全国产可扩展交换板设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(2):

167-172.

的参考依据。

## 1 交换板总体设计

VPX 总线是新一代高速串行总线，采用时钟打包和时钟恢复技术、信号的预加重和均衡处理技术，成功解决了时钟和数据之间的偏移和抖动问题；采用低压差分电平传输协议，大大减小了总线位宽，规避了并行总线的缺点，降低了系统成本，是目前最具潜力的总线技术<sup>[3]</sup>。VPX 标准定义了模块结构、连接器、散热、通信协议、电源定义，能够提高模块间的互操作能力，保证多个厂家产品可彼此兼容，并较好地支持系统升级换代<sup>[4]</sup>。本文设计的交换板采用 3U VPX 板卡形式，适合任何一款 3U 结构形式的 VPX 设备机箱（交换槽接口协议需一致），即插即用，避免了外接交换机设备繁杂的线缆数量和庞大的系统体积。

盛科是目前少数能够提供从高性能以太网设备核心芯片到 SDN 交换平台全套解决方案，且拥有完整自主知识产权的创新公司<sup>[5]</sup>。CTC7132 芯片是盛科推出的第六代核心交换芯片，芯片支持 L2/L3 层交换，提供 MPLS、VXLAN 特性，集成 ARM 双核 A53 处理器，支持最高 I/O 带宽可达 440 Gbps，支持 QSGMII 和 USXGMII 等端口形态，提供从 100 M~100 G 的全速率端口能力<sup>[6]</sup>。本设计考虑到军用设备对网络交换性能和安全方面的要求，选用盛科公司的 CTC7132 芯片。

考虑到交换芯片的功耗高，散热要求严格，同时为了便于系统的后续升级换代，同时提高交换板的可扩展性，将交换板设计为底板搭载核心板的形式。交换板总体设计方案如图 1 所示，由 CTC7132 最小系统核心板（核心板）和接口扩展底板（底板）组成，最小系统核心板是一块 87 mm × 80 mm 的小板，接口扩展底板采用 3U VPX 标准形式，两个板卡通过板间高密度连接器互联。本设计首次提出 CTC7132 最小系统的概念，即配置 CTC7132 芯片必须的辅助电路（如时钟电路、电源电路、存储电路等），利用最小系统实现网络信息交换的核心功能<sup>[7]</sup>。最小系统核心板一方面完成整个交换系统的初始化、协议处理、配置管理和维护等功能；另一方面实现数据交换的功能，对外提供 32 路高速 SerDes Lanes。利用 2 对板间连接器，将 CTC7132 芯片的所有网络交换信号、控制及管理信号、GPIO 信号等全部资源引出来。CTC7132 最小系统核心板是交换板实现网络信息交换功能的核心单元，接口扩展底板是交换板可扩展特性的具体展现形式。接口扩展底板根据机箱的实际使用需求，利用核心板引出来的资源，灵活配置网络端口的形式、数量、速率。接口扩展底板还提供智能平台管理控制（IPMC）功能，对板卡进行健康管理，同时通过 VPX MultiGig RT2 连接器将机箱所需的 SerDes 高速串行交换接口和控制资源分派到背板各槽位。

这样设计的好处是将网络信息交换功能聚焦在核心板上，便于系统的升级换代；采用双层板结构，有利于散热；底板根据机箱所需的网络端口进行动态扩展，合理裁剪

CTC7132 资源，降低功耗，同时降低二次开发时间和成本，提高了板卡的复用率。

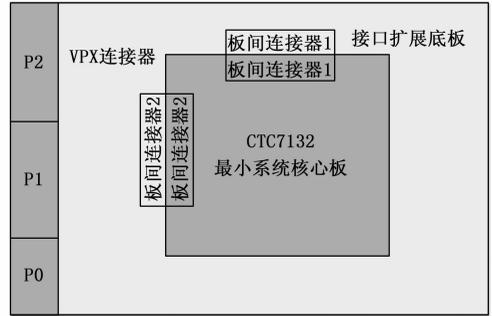


图 1 板卡总体设计方案

## 2 交换板硬件设计

### 2.1 CTC7132 最小系统核心板设计

CTC7132 最小系统核心板（简称核心板）配置 CTC7132 芯片工作必须的辅助电路，结合驱动软件实现网络交换核心功能，同时实现整个交换板的初始化、协议处理、配置管理和维护等功能。

CTC7132 最小系统核心板由 CTC7132 芯片、存储模块、时钟模块、电源模块、复位模块、I<sup>2</sup>C 总线模块组成，如图 2 所示。CTC7132 芯片实现数据交换核心功能。存储模块保存系统程序、启动程序、操作系统等信息。时钟模块产生交换系统所需的时钟。电源模块产生 CTC7132 芯片需要的多种电压。复位模块在需要的时候对整个交换系统进行复位操作。I<sup>2</sup>C 模块连接多个不同功能的 I<sup>2</sup>C 设备。

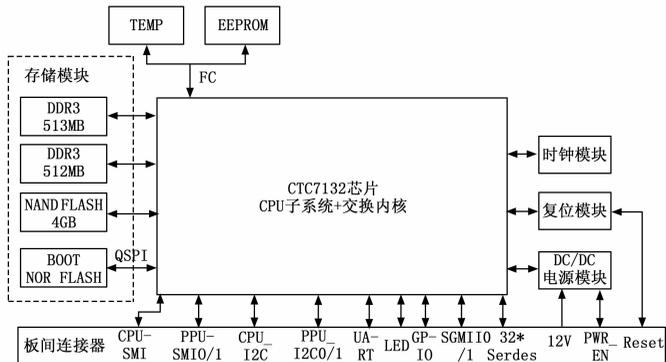


图 2 CTC7132 最小系统核心板原理框图

CTC7132 芯片主要功能模块分为两大部分：CPU 子系统和交换内核<sup>[8]</sup>。CPU 子系统内置 ARM 双核 A53 处理器，主频最大支持 1.2 GHz；集成 16 位 DDR3、PCIE、QSPI、I<sup>2</sup>C、34 路 GPIO 等接口；提供 2 路网络带外管理接口、2 路以太网物理芯片（PHY 芯片）管理接口（SMI 接口）。交换内核提供 3 组 8 路低速 SerDes Lanes，速率为 1.25~12.5 Gbps；2 组 4 路高速 SerDes Lanes，速率为 1.25~28 Gbps；每路 SerDes Lane 都可以配置为 SGMII/1000Base-X/QSGMII 等模式<sup>[9]</sup>。CTC7132 单芯片支持 48x1 G/48x2.5 G/24x5 G 下

行, 上行支持 10 G/40 G/ 25 G/ 50 G/100 G 上联, 并可以使用 40 G/50 G/100 G 等任意速率进行堆叠<sup>[10]</sup>。本设计将 CPU 子系统的所有接口以及交换内核的 32 路 SerDes Lanes 都配置使用上。

存储模块包括内存和存储单元。本设计中, CTC7132 芯片外挂 2 颗 DDR3 SDRAM 作为内存, 总容量为 1 024 MB; 通过 SPI 接口连接 4 MB NORFlash, 通过 eMMC 接口连接 8 GB NandFlash, 这三者供 CTC7132 芯片保存 bootload 程序、系统程序、操作系统等信息。系统上电时, CTC7132 芯片从 NORFlash 把 bootload 文件装入到内存, CPU 子系统执行内存里的 bootload 程序, 将操作系统从 NandFlash 装入到内存里面, 装载完成后, bootload 把 CPU 的控制权交给操作系统, CPU 在内存里执行操作系统, 执行交换系统初始化指令, 交换系统启动完成。

时钟模块产生核心板所需的时钟。本设计涉及到 32.768 kHz、12 MHz、100 MHz、156.2 MHz、125 MHz 等多种时钟。PCIE 总线要求的 100 M 时钟输入, 对抖动要求较高, 选用宁波奥拉公司的国产 PLL 时钟芯片 AU5315 来实现。AU5315 芯片是可编程高性能去抖动频率合成器, 支持四路差分或单端输入, 10 路差分输出或 20 路单端输出, 输出时钟 RMS 抖动 < 150 fs。本设计采用 48 MHz 的单端时钟作为输入, 通过编程实现需要的时钟输出, 一片芯片解决所有的时钟输入问题。本设计还生成 125 MHz 的时钟, 引到底板上, 供底板扩展网口时 PHY 芯片选用。在电路设计时, 时钟线路尽量靠近交换芯片的时钟管脚, 同时通过严格控制时钟线路的电路阻抗, 包地处理等技巧, 减小干扰, 提高时钟线路的屏蔽性能<sup>[11]</sup>。

电源模块负责产生 CTC7132 芯片需要的多种类电压。根据芯片手册提供的最大功耗数值预估核心板最大功耗为 40 W, 所以设计时输入电压为 12 V, 电流为 5 A。对各种电压的电流需求分析如表 1 所示, 利用这些数据来指导电源芯片的选型, 重点关注电源芯片在高温下的降额指标<sup>[12]</sup>。

表 1 各电压需求表

电压类型	电压值/V	最大功耗/W	最大电流/A
AVDD33/VDDIO33	3.3	1.5	0.455
AVDD18	1.8	5.818	3.232
VDDIO_DDR	1.5	1.825	1.217
VDDIO3312	1.2	0.43	0.358
VDD	0.9	29.3	32.56
AVDD09	0.9	5.205	5.783

为了避免交叉干扰, 同时保证核心板功能的完整性, 核心板的电源和底板的电源进行了隔离设计, 两者分别独

立工作, 互不影响。VPX 模块 P0 连接器输入的 12 V 电压经过滤波处理后, 直接转送给核心板, 核心板将输入的 12 V 电压分别转为 3.3 V、1.8 V、1.5 V、1.2 V、0.9 V 电压供核心板使用。3.3 V、1.8 V、1.5 V、1.2 V 电压要求的最大电流都不超过 4 A, 选用 AST4644I 国产电源模块实现这三路电压的转换。AST4644I 是四通道 DC/DC 降压型微型模块稳压器, 输入电压范围内为 4~14 V, 输出电压范围为 0.6~5.5 V, 自带过压、过流和过热保护, 每路输出可提供 4 A 连续电流 (5 A 峰值), 输出可通过并联形成一个阵列以提供高达 16 A 的电流能力, 原理设计如图 3 所示。0.9 V 电压要求的最大电流约为 39 A, 采用 AST4650I 模块合路输出 50 A 来满足设计要求。

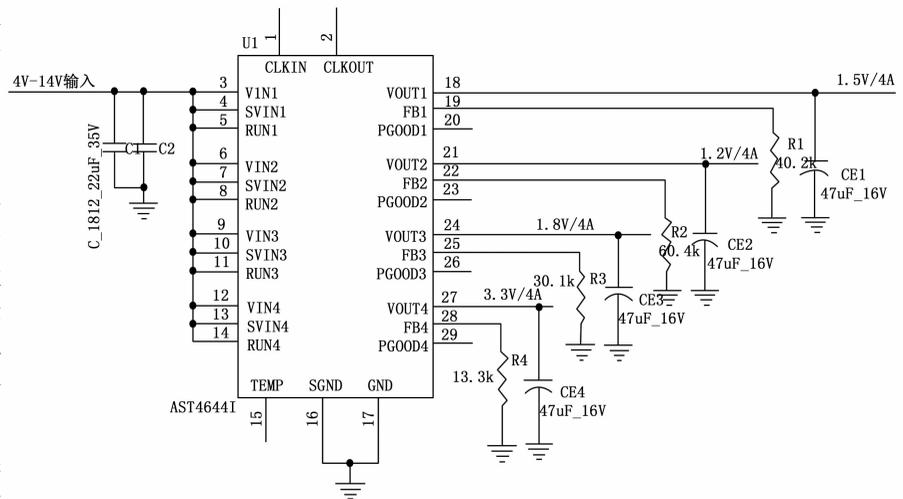


图 3 AST4644I 电压转换模块原理图

转换后的电压输入到 CTC7132 芯片内部的时候, 在靠近每种电压的 BGA 输入引脚处放置 2.2 uF、0.47 uF、0.1 uF 三种旁路电容, 以此来消除高频噪声, 保证电源信号完整性。

复位模块为交换系统提供复位指示信号。系统采用看门狗复位电路作为系统的主复位, 在板卡上电后, 看门狗电路会给出一个 200 ms 的低电平复位信号, 此信号用来复位 CPU 和管理口 PHY。接口扩展底板的 IPMC 管理模块 (具体功能描述见 3.2.3) 也可对核心板进行复位操作, IPMC 管理模块控制的复位信号与看门狗的 WDG\_OUT 信号进行“或”操作, 然后送给看门狗电路, 这两个复位信号中的任何一个信号为低, 均会导致交换系统复位启动。

I<sup>2</sup>C 模块连接多个不同功能的 I<sup>2</sup>C 器件。根据系统需要, CPU 子系统下搭载了 3 个不同功能的 I<sup>2</sup>C 器件, 包括温度传感器器件、E<sup>2</sup>PROM 器件、GPIO 接口扩展芯片。3 种器件的地址及具体功能如表 2 所示。

表 2 I<sup>2</sup>C 设备表

器件型号	地址	功能描述
SD5075	0x48	温度传感器, 搭载在 CPU_I <sup>2</sup> C1 接口上
FM24C64D	0x57	E <sup>2</sup> PROM, 搭载在 CPU_I <sup>2</sup> C1 接口上
AT9555PW	0x3C	GPIO 扩展芯片, 搭载在 CPU_I <sup>2</sup> C0 接口上

温度传感器实时采集 CTC7132 交换芯片附近的环境温度，将温度信息传送给交换芯片的 CPU 子系统，当交换芯片过热时，CPU 子系统会及时给出警告并关闭芯片功能，进入关机状态。E2PROM 负责存储交换芯片的初始化、配置等信息供系统查询使用。GPIO 扩展芯片扩展出系统需要的 GPIO 接口，例如芯片复位信号、中断信号等，为接入多个以太网物理层芯片做预留。

### 2.2 接口扩展底板设计

接口扩展底板（以下简称底板）根据设备机箱的实际使用环境，利用核心板引出的交换资源以及 CPU 子系统提供的管理控制资源，扩展出机箱所需的网络接口、光口、串口等形式的通信端口。根据机箱整体功能规划，底板采用 3U VPX 形式，核心板一共提供 32 对 SerDes 链路，本次设计共引出 19 对 SerDes 总线，其中 16 对直接连接到 P2 连接器，通过背板为业务槽位提供数据交换；2 路 SerDes 连接到千兆以太网 PHY 转换为 8 路 1000Base-T 网络接口；1 路连接到光模块，转为光信号供机箱使用。底板还预留一路 1000Base-T 系统管理网口，一路 RS232 管理串口。底板 VPX 槽位定义符合 VITA48 标准，VPX 连接器 P0 上分布 IPMC 管理总线、时钟总线、测试总线和电源等信号；P1 上分布 8 路 1000Base-T 网络差分信号、RS232 信号、复位信号等；P2 上分布 16 路高速 SerDes 差分信号、SMI 单端信号等。底板原理如图 4 所示，由以太网转换模块、光电转换模块、IPMC 管理模块、指示灯模块、电源模块组成。

心板连接，用以完成配置与传输数据；与网络变压器通过 MDI 接口相连，用以对外接收或传输数据；外接 25 MHz 晶体提供时钟信号；通过配置信号完成地址、工作状态等配置；对外引出 LED 信号，以此显示网络传输状态。HSP401 是四路千兆网络变压器，隔离电压高达 1 500 V<sub>rms</sub>，网络变压器电路设计使得 PHY 芯片和外部隔离，并具有信号增强、阻抗匹配、波形修复、信号杂波抑制等作用，在保护核心芯片的同时使得传输距离和抗干扰能力增强。

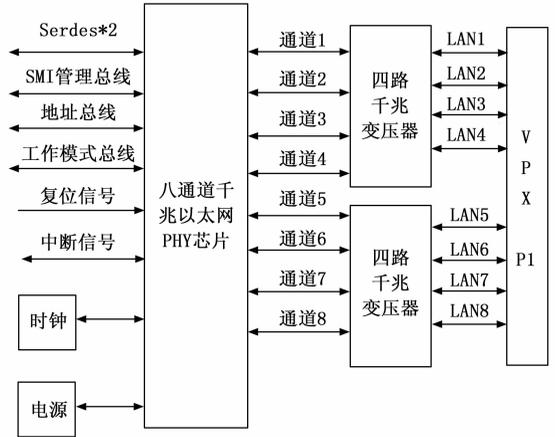


图 5 以太网转换模块原理框图

光电转换模块将核心板的 SerDes Lanes 转为光信号利用光缆进行远距离传输。根据要求，本设计选用速率 1.25 G 的光模块，该光模块功耗低，传输距离高达 120 km，光传输具有高带宽、大容量、易集成、损耗低、电磁兼容性好、无串扰、重量轻、小体积等优点，被广泛应用于数字信号传输中。

IPMC 管理模块完成整板上电和复位控制、电流及电压实时测量与显示、温度监测等功能<sup>[13]</sup>。模块原理如图 6 所示，选用 GD32F103 芯片作为核心处理器，通过 IPMB-A、IPMB-B 双冗余总线与位于机箱内的管理控制器实现信息交互。当板卡上电时，处理器通过温度传感器的 I<sup>2</sup>C 总线获取板卡温度情况，通过分压电路读取各路电压的数值，通过状态位获取交换板目前的运行状态，然后处理器将获取到的信息打包成私有协议，通过 IPMB-A、IPMB-B 双冗余总线以及地址总线汇报给机箱 IPMC 管理控制器。机箱管理控制器根据 GD32 上报的数据，对管理的交换板发送相应的指令，比如进行上下电操作，给出告警提示等<sup>[14]</sup>。为了实时监测板卡的状态，实现全动态管理，IPMC 管理模块的电源单独供应，只要机箱一上电，管理模块就对板卡进行实时监测和管理。

指示灯模块显示每路网络的连接状态和速率，同时也可显示整个板卡的运行状态。CTC7132 芯片串行指示灯接口由编码比特流组成，包括 2 个信号：LED\_CLK 和 LED\_DATA，通过交换芯片内部寄存器编程控制端口时序<sup>[15]</sup>，时序图如图 7 所示。每路指示灯可设置为两种模式：常亮/

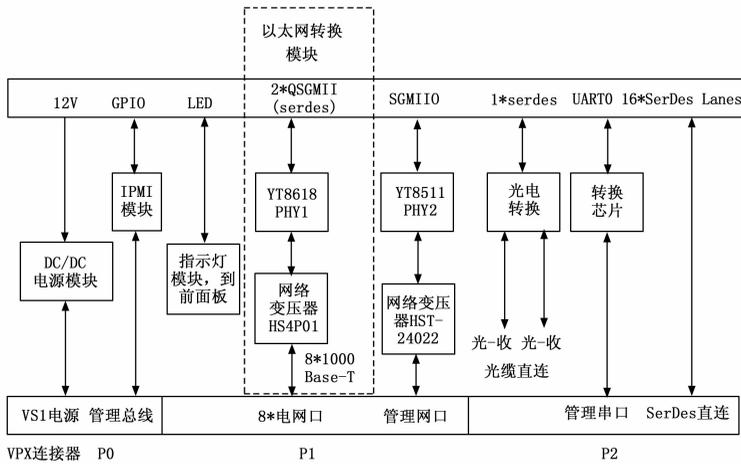


图 4 接口扩展底板原理框图

以太网转换模块将核心板的 SerDes Lanes 转为 1000BASE-T 物理网口引到 P1 连接器上。以太网转换模块原理如图 5 所示，将 2 路 SerDes 信号配置为 QSGMII 模式，通过以太网物理层芯片 YT8618H 和网络变压器 HS4P01，转为 8 路 1000Base-T 网络接口。YT8618H 是一款八通道千兆以太网 PHY 芯片，支持标准 5 类 UTP 以太网电缆和以太网光纤的所有物理层功能，包括 1000BASE-T、100BASE-TX 等，芯片的上行接口可支持 SGMII 和 QSGMII。YT8618H PHY 芯片通过 SMI 接口、SGMII 接口与核

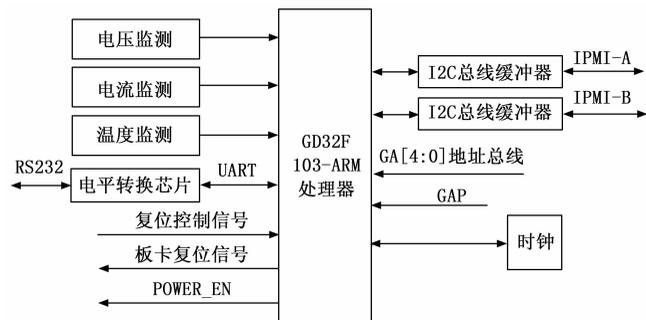


图 6 IPMC 管理模块原理框图

常灭模式、闪烁模式，通过内部寄存器配置每路指示灯的模式。为了减小布线数量，降低设计难度和成本，本设计采用 FPGA 芯片来解析比特流信息并控制每路 LED 的状态。核心板控制点灯的两根串行线、一路复位线直接接入 FPGA 芯片内，FPGA 芯片在 LED\_CLK 时钟的上升沿采样 LED\_DATA 数据，然后进行串并转换，并控制每路指示灯的状态。前文已介绍过，交换芯片最大支持 32 路 SerDes 链路，局限于板卡尺寸限制，选用 16 路指示灯分时显示 32 路 SerDes 链路的连接状态和速率，轮询时间可通过 FPGA 芯片编程设置。板卡还有另外 2 路指示灯，一路指示板卡电源状态，一路指示交换系统运行状态。选用可编程逻辑门阵列（FPGA 芯片）取代移位寄存器来实现串行点灯的功能，简化了电路设计，减小了 PCB 布局布线工作量，还便于板卡根据不同的机箱进行软件升级换代，进一步增强了交换板的可扩展特性。

电源模块负责将 VPX 连接器 P0 模块输入的 12 V 电压转为多种电压分配给底板各功能模块使用。底板需要的电压一共分别 6 种，分别为 IPMC 模块 3.3 V、PHY 芯片 3.3 V、PHY 芯片 1.2 V、光电转换模块 3.3 V、FPGA 串行指示灯模块 3.3 V、FPGA 串行指示灯模块 1.2 V。为了避免各功能模块电源交叉串扰，同时保证各模块的功耗需求，底板 PHY 芯片的 3.3 V 电源、光模块的 3.3 V 电源、FPGA 芯片的 3.3 V 电源分别采用电压转换芯片独立提供<sup>[16]</sup>。PHY 芯片的 1.2 V 电源、FPGA 芯片的 1.2 V 电源也分别提供。电路设计时，在电源、地线之间添加去耦电容，尽量加宽电源线、地线宽度，大电流通道采用铺铜、阵列孔等方式来增加过流能力，同时兼顾电源芯片的散热设计。

### 3 热设计与仿真

交换芯片自身功耗比较高，机箱又采用全封闭的形式，因此交换板散热条件有限，需要进行热设计工作。设计要求交换板能耐受 60 °C 高温环境，并正常工作，本次选用的

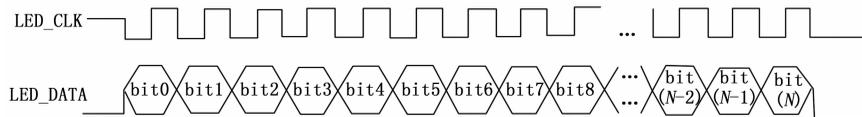


图 7 LED 接口时序图

元器件均为军用标准级别，能在 -40~125 °C 环境下正常工作，因此热设计的目的是确保交换板的最高温度不超过 125 °C。交换板的热量分布如图 8 所示，主要发热器件为交换芯片 CTC7132，最高功耗 40 W，电源转换模块功耗也比较高，最高 35 W。机箱采用导冷加风冷联合的方式进行散热，且在大功率元器件与壳体内壁间放置导热硅胶垫，以增强外壳体的散热效果。

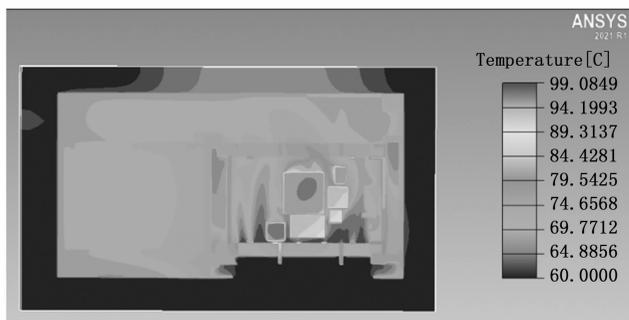


图 8 交换板温度截面图

依据板卡的热量分布情况建立热量分布模型，环境温度设置为 60 °C，进行仿真计算分析。仿真结果见图 8，由温度截面图可以看出芯片最高温度 99 °C，满足芯片最高结温要求，与壳体温度相差不超过 5 °C，结构散热良好。仿真中元器件发热功率均设为理论最大发热功率，在实际使用中，发热功率很难达到理论最大值，故实际温度会小于仿真时得到的温度<sup>[17]</sup>。对交换板的散热设计合理有效，可以满足环境适应性的设计要求。

### 4 功能及性能测试

给交换板烧录专门开发的驱动程序，搭载 Linux 嵌入式操作系统，进行单板调试，通过交换芯片初始化、以太网接口与计算机通信接口、串口状态查询等测试手段，验证了交换板的基本功能；然后将交换板插入到 VPX 设备机箱中，交换板通过背板与其他板卡数据通信正常，进一步验证了国产交换芯片的接口特性；最后对交换板进行环境适应性测试与性能测试<sup>[18]</sup>，验证交换板是否可在恶劣环境中正常工作。环境测试根据 GJB150.1A-2009 军用装备实验室环境试验方法进行<sup>[19]</sup>，篇幅有限，本文仅展示高温试验的结果，测试互联如图 9 所示。交换板置于机箱中，通过背板与机箱中的其它业务板卡通信，机箱放置在高温试验温度箱中，温度设置为 60 °C。

如图 10 所示，经过各项热设计措施处理之后，在高温环境下，交换芯片温度稳定在 91 °C，符合要求，交换芯片可正常工作。测试过程中，光口通过光交换机与对端设备正常通信，无异常。如图 11 所示，5、8、11 槽的 SerDes 总线状态均为 up，验证了交换板与其他业务板卡互连正常。

通过专用测试软件进行网络丢包率和速率测试<sup>[20]</sup>，交换板所有端口支持全双工线速交换，最高速率可达 984 Mbps，而且

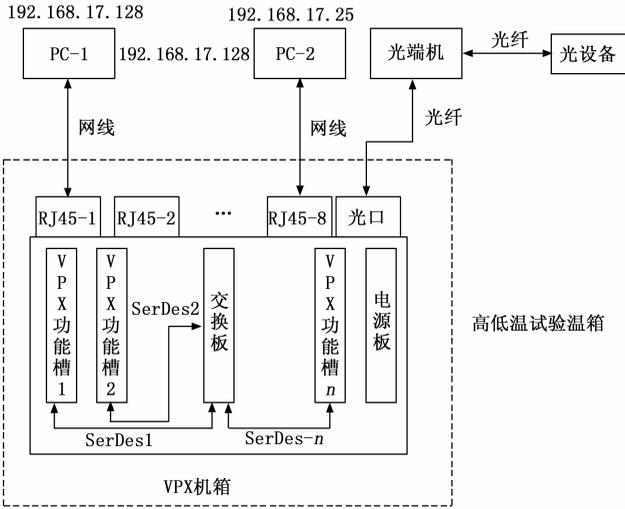


图 9 交换板高温试验平台

在不同包大小、不同速率的情况下，均没有发生丢包，如图 12 所示。由此可见，国产化器件在生产工艺、集成度方面已经取得了长足的进步，在稳定性、可靠性方面可满足实际使用需求。

```
Switch#show system
system configuration
system description      : Switch
system object id        : 1.3.6.1.4.1.54367.1.3.32.1
system name             : Switch TR-CORE-3202SG-8T5S
system run time         : 16 minute 20 second 20 tick
system temperature      : 91 degree Celsius
system voltage          : 839 mV
system location         : sample syslocation factory default
administrator contact   : http://
product name            : TR-CORE-3202SG-8T5S
interface of system     : 13
Switch#
```

图 10 交换芯片温度

```
eth-0-3  down  auto  auto  access  1000BASE-T
eth-0-4  down  auto  auto  access  1000BASE-T
eth-0-5  up    a-full a-100 access  1000BASE-T
eth-0-6  down  auto  auto  access  1000BASE-T
eth-0-7  down  auto  auto  access  1000BASE-T
eth-0-8  up    a-full a-100 access  1000BASE-T
eth-0-9  down  auto  auto  access  UNKNOWN
eth-0-10 down  auto  auto  access  UNKNOWN
eth-0-11 up    a-full 1000  access  UNKNOWN
eth-0-12 down  auto  auto  access  UNKNOWN
eth-0-13 down  auto  auto  access  UNKNOWN
```

图 11 各路 SerDes 链路状态

图 12 网络互联及性能测试结果

### 5 结束语

本文设计的自主可控交换板具有高性能、模块化、可扩展性强等特点。该板卡目前已应用于多种环境苛刻的指控系统中，功能与性能稳定，较好地支持系统升级换代，提高了装备的自主保障能力，为军工、航空航天等领域的国产化器件应用与验证奠定了坚实的基础，提供了参考依据。

#### 参考文献:

- [1] 余久方, 杨帆. 以太网交换机发展趋势研究与分析 [J]. 计算机时代, 2018, 7: 5-8.
- [2] 张志鹏, 韩崇伟, 王天石. 以太网在火炮综合电子系统中的实时性应用研究 [C] //2018 中国自动化大会 (CAC2018 论文集, 2018.
- [3] 俞大磊, 邓豹, 韩强. 基于 VPX 标准的以太网交换模块设计 [J]. 工业控制计算机, 2017, 30 (6): 88-92.
- [4] 高媛, 贾凡, 唐学术. 基于 VPX 总线的无线电指令收发测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (8): 109-113.
- [5] Centec Network Co., Ltd. Centec CTC7132 Datasheet [Z]. 2020.
- [6] 嵇成友, 陈守卫, 李仙和. 一种基于 CTC7132 的工业以太网交换机 [P]. 中国: CN 2151871 81 U, 2021.
- [7] KASHIF K M, TANG Y Z, SADIQ K U. TOSwitch: programmable and high-throughput switch using hybrid switching chips [J]. IEEE Communications Letters, 2019, 23 (12): 2266-2270.
- [8] 孙剑勇, 许俊, 朱坚. 支持软件定义网络 (SDN) 的高性能以太网交换芯片 Greatbelt (CTC5160) [Z]. 盛科网络, 2017.
- [9] 顾双豪, 韩崇伟, 王天石, 等. 基于 ARM 的国产化以太网交换机设计 [J]. 兵工自动化, 2021, 40 (11): 36-42.
- [10] 邹维军, 顾燕飞. 基于 VPX 的国产化 40 G 以太网交换模块设计 [J]. 软件开发与应用, 2018 (8): 81-83.
- [11] 刘骏, 王刘成, 侯颀. X 光机高压发生器智能控制系统实时时钟选型 [J]. 真空电子技术, 2019 (5): 73-79.
- [12] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [13] 张睿, 黄泳铭, 吴悠. 基于国产平台 VPX 架构的 IPMC 控制器设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (6): 99-103.
- [14] 陈禹. 信息系统管理工程师教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [15] TOMASZ K, PAWE P, DARIUSZ M. Real-time IPMI protocol analyzer [J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2011, 58 (4): 1857-1863.
- [16] 骆训卫, 宋金华, 林兰修. 满足多种供电输入的大功率电源设计 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (11): 245-249.
- [17] 龚昌星, 廖西斌, 崔中涛. 一种军用通信设备的热设计方法 [J]. 现代制造技术与装备, 2022, 58 (1): 9-12.
- [18] 张斌, 孙丽滨, 蔡玲玲. 电子设备环境应力筛选试验研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (2): 456-459.
- [19] GJB150A-2009. 军用装备实验室环境试验方法 [S]. 2009.
- [20] 宋小庆, 陈永星, 赵梓旭. 基于 MIC 总线的军用车载网络故障诊断与测试方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (12): 4001-4004.