 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i8.7038

The physical layer design and implementation of a new two-line fieldbus (BSKY bus)

Weibin Lv

Wuxi Brightsky Electronic Co.,Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214187, China

Abstract

In response to the demand for low-cost, long-distance, power and data transmission capabilities, and good anti-interference fieldbus in the sensor/actuator layer of industrial automation, this paper proposes and designs a new type of two-wire fieldbus - BSKY bus. The physical layer design of this bus integrates the differential transmission and long-distance characteristics of RS485, the node error isolation mechanism of CAN bus, and the power&data multiplexing technology of AS Interface bus, and innovatively uses benchmark floating current detection technology to achieve host side signal reception. Analysis shows that BSKY bus has significant advantages in system cost, wiring simplification, power supply integration, and fault isolation compared to RS485, CAN, and AS-i buses in specific application scenarios such as remote meter reading, distributed I/O, and low-speed device monitoring. It provides a cost-effective and reliable solution for the interconnection of underlying equipment in industrial sites.

Keywords

fieldbus; two-line system; physical layer design; BSKY bus; power and data multiplexing; differential transmission; current modulation; reference suspension detection; node protection; industrial automation

一种新型二线制现场总线（BSKY 总线）的物理层设计与实现

吕卫斌

无锡蓝天电子股份有限公司，中国 · 江苏 无锡 214187

摘　要

针对工业自动化领域传感器/执行器层对低成本、长距离、兼具电源与数据传输能力且具备良好抗干扰性的现场总线的需求，本文提出并设计了一种新型二线制现场总线——BSKY总线。该总线物理层设计融合了RS485的差分传输与长距离特性、CAN总线的节点错误隔离机制以及AS-Interface总线的电源与数据复用（Power & Data）技术，并创新性地采用基准悬浮电流检测技术实现主机侧信号接收。分析表明，BSKY总线在特定应用场景（如远程抄表、分布式I/O、低速设备监控）下，相比RS485、CAN和AS-i总线，在系统成本、布线简化、供电集成及故障隔离方面具有显著优势，为工业现场底层设备互联提供了一种高性价比的可靠解决方案。

关键词

现场总线；二线制；物理层设计；BSKY总线；电源与数据复用；差分传输；电流调制；基准悬浮检测；节点保护；工业自动化

1 引言

现场总线作为工业自动化系统的“神经系统”，其性能直接影响系统的可靠性、实时性和成本。在传感器 / 执行器层，对总线的需求通常集中在低成本、简化布线、适度通信速率、一定传输距离以及为现场设备供电的能力。现有主流二线制总线如 RS485、CAN 在长距离和抗干扰方面表现优异，但均无法通过通信线缆为从设备供电，需额外敷设电源线；而 AS-Interface 总线（AS-i）虽支持电源与数据复用，但其传输距离有限（标准 100m，需中继扩展），且需要专用电源模块。针对上述局限，本文设计了一种新型二线制现场总线——BSKY 总线，其物理层设计旨在综合现有技术的优势，提供一种更适应特定低成本、长距离、需集成供电应用场景的解决方案。

【作者简介】吕卫斌（1973–），男，中国江苏无锡人，硕士，高级工程师，从事计算机技术研究。

2 相关总线技术分析

国际标准化组织（ISO）的开放系统互联（OSI）参考模型将网络通信分为七层。本文聚焦于物理层的设计。以下分析现有主要二线制总线物理层的特性：

2.1 RS485 总线

原理：平衡（差分）发送，差分接收。需专用收发器芯片。

介质：通常使用非屏蔽双绞线（UTP）。

优点：抗共模干扰能力强，接收灵敏度高（典型＞±200mV），传输距离远（标准 1200m@100kbps）。

缺点：仅传输数据，不提供电源；半双工通信；需额外措施实现电气隔离（如隔离 DC-DC）。

2.2 CAN 总线

原理：基于差分电压，采用非破坏性逐位仲裁。需专用控制器和收发器。

介质：屏蔽或非屏蔽双绞线。

优点：传输距离更远（可达 10km@5kbps），强大的错误检测与处理机制，支持多主通信，具有节点故障自动关闭（Bus Off）功能。

缺点：仅传输数据，不提供电源；协议相对复杂，成本较高。

2.3 AS–Interface (AS–i) 总线

原理：通过调制技术在同一对双绞线上同时传输电源（24-31.6V DC）和数据。主从模式，半双工。

介质：非屏蔽双绞线（特殊黄色电缆）。

优点：电源与数据复用，极大简化布线；成本低；抗干扰能力良好。

缺点：传输距离短（标准 100m，使用中继器可达 300m）；需要专用 AS-i 电源以保证信号质量；从站地址容量有限。

核心局限总结： RS485/CAN 缺乏供电能力，AS-i 受限于传输距离和专用电源需求。BSKY 总线设计目标即在单一 UTP 上实现长距离（＞ 1500m）通信与设备供电，并具备良好抗干扰性和节点保护。

3 BSKY 总线物理层设计

BSKY 总线物理层设计是其核心创新，主要包含以下关键技术：

3.1 整体架构与介质

采用两芯非屏蔽双绞线（UTP） 作为传输介质，同时承载：

1）通信信号：主机 - ＞从机：差分电压信号；从机 - ＞主机：电流调制信号。

2）设备电源 为主机（供电端）和从机提供工作电源（标称 24V DC）。

3.2 信号编码与传输机制

3.2.1 主机到从机（下行，Master- ＞ Slave）

编码：差分电压编码。逻辑 '1'：A 线高电平（≈+24V），B 线低电平（≈0V/GND）；逻辑 '0'：A 线低电平（≈0V/GND），B 线高电平（≈+24V）。电压幅值基于 24V 电源。

优势：继承 RS485 差分传输优点，抗共模干扰能力强。即使经过长线衰减（1500m UTP），接收端（从机）的压差信号仍能保持较好的完整性供解码。

BSKY 总线的通迅框架见下图：

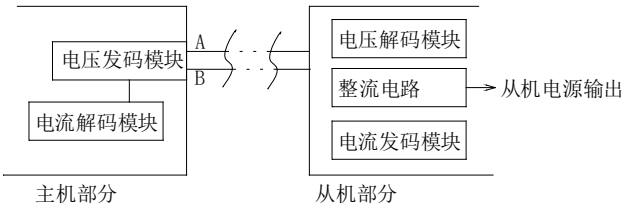


图 1 BSKY 总线系统架构示意图

3.2.2 从机到主机（上行，Slave- ＞ Master）

编码：电流调制编码。逻辑 '1'：从机在短时间内显著增大总线电流（拉电流）；逻辑 '0'：从机不进行额外电流调制（维持静态电流）。这是一种脉冲电流调制方式。

主机接收技术（关键创新）：采用基准悬浮检测技术。

原理：主机侧的电流解码模块设计为忽略总线上的静态（背景）电流（主要由设备供电和线路电阻引起），仅对总线电流的动态变化（即调制脉冲）进行高灵敏度检测。

优势：有效隔离静态电流对信号检测的干扰。允许总线存在较大的静态工作电流（用于供电），而不会影响通信信号质量。回码（电流调制）引起的微小总线电压波动不足以干扰主机正在发送的差分电压波形。

3.2.3 电源 / 数据复用

从机供电：从机端包含全波整流电路，无论主机发送 '1' 或 '0'，整流桥都能将 A/B 线间的电压差转换为从机内部电路所需的直流电压（VCC 和 GND）。

关键点：通信信号（电压翻转）不影响整流电路对从机的持续供电。供电电压会随线路长度和负载电流下降，但 24V 初始电压为长距离供电提供了裕量 [1]。

3.3 节点保护与容错特性

3.3.1 节点故障隔离（类 CAN 功能）

故障场景 1（从机持续发’0’）：不影响总线，主机忽略（无电流脉冲）。

故障场景 2（从机持续发 '1'）：从机持续拉电流。主机检测到持续的“动态”电流。

3.3.2 保护机制

通过精心设计电流发码模块和检测电路的 RC 时间常数，可将故障从机产生的持续大电流迅速衰减为静态电流（时间可控在一个通信周期内）。一旦电流变为“静态”，主机端的基准悬浮检测技术将忽略此电流，从而在物理层将该故障节点的干扰排除在有效通信信号之外。

3.3.3 系统级处理

主机检测到故障从机无响应或错误响应，可将其标记为故障，便于维护。长期故障会增加总线静态电流负载，需及时处理。

3.3.4 极性容错

得益于从机的全波整流供电和差分电压解码，A/B 线互换不影响从机获得正确电源和识别主机命令（解码逻辑可能需要软件取反，硬件不变）。从机回码采用电流调制，是

单端对电源 / 地的拉电流行为，与 A/B 线物理极性无关。主机接收采用电流检测，同样与 A/B 线极性无关。

3.4 性能参数（基于作者测试）

供电电压：24V DC。

传输介质：非屏蔽双绞线（UTP）。

通信距离：＞ 1500m (在较低通信速率下，如 9.6kbps 或更低)。

从节点数量：＞ 100 个 (受限于主机电源输出能力，典型 200mA@24V 需考虑线路压降和从机功耗)。

通信模式：主从模式，半双工。建议采用主机轮询（Polling）方式，效率高且易于管理。

4 应用场景与工程实现

4.1 适用场景

BSKY 总线在单一 UTP 上独特地结合了长距离、电源传输、节点保护和极性容错，使用常规 24V 电源，在特定低速应用场景下具有显著的成本和部署优势，特别适用于以下场景：

1）远程、分散式低速数据采集：如火灾报警系统、智能疏散系统、智能抄表系统（水表、气表、电表）等，传感器可直接从总线取电。

2）分布式开关量 / 简单模拟量 I/O 控制：如大型场区（农场、光伏电站、仓库）的灯光、阀门、简单状态监控设备的启停控制。

3）对成本敏感且需要简化布线的场合：替代需要额外布设电源线的 RS485 系统。

需要一定节点容错能力的低成本网络。

应用模式建议：采用主机轮询巡检，从机仅在主机指定时段内执行操作（如采集、AD 转换）并回传数据，最大化利用总线带宽和电源效率。

4.2 工程实现

4.2.1 主机设计

电压发码模块：需具备足够的驱动能力，保证长线末端压差满足从机解码要求。

电流解码模块：核心是实现高灵敏度、抗干扰的基准悬浮电流检测电路。需精确设定检测阈值和滤波时间常数，以区分有效电流脉冲与噪声及静态电流漂移。

4.2.2 从机设计

电压解码模块：相对简单，差分比较器即可实现。

整流电路：采用高效全波整流桥，减少压降损耗。

电流发码模块：设计为低阻抗的开关通路，确保能产生足够幅度的电流脉冲供主机检测，同时自身功耗可控。需考虑短路保护 [2]。

4.2.3 电源管理

主机电源：需提供足够的功率（24V, 电流能力需满足所有从机静态功耗 + 通信峰值电流 + 线路损耗）。

长距离压降：24V 初始电压为克服长距离线损提供了基础，但需核算最远端从机供电电压是否满足其最低工作电压要求。必要时可提升供电电压（如 30V）或为高功耗从机本地供电。

4.2.4 隔离（可选）

若从机内部电路需要与总线侧电气隔离（如安全或抗干扰需求），可采用光耦隔离其内部 MCU 与通信接口电路。

4.2.5 关键优势

由于 BSKY 总线接口电路本身由总线供电（经整流），实现光耦隔离仅需隔离信号线，而无需额外的隔离 DC-DC 电源模块（与 RS485 接口隔离相比，大幅简化并降低成本）。

4.2.6 线缆与连接器

选择符合距离和电流要求的 UTP 线规（如 AWG18），连接器需保证可靠接触。

5 结论

本文提出并详细阐述了一种面向工业传感器 / 执行器层应用的新型二线制现场总线——BSKY 总线的物理层设计方案。该设计创造性地融合了差分电压传输（主机 - ＞从机）、电流调制回码（从机 - ＞主机）以及基于全波整流的电源 / 数据复用技术，并成功应用基准悬浮电流检测技术解决了上行信号在强静态供电电流背景下的提取难题。BSKY 总线核心优势在于：

1）单一 UTP 线缆实现长距离（＞ 1500m）通信与设备供电，显著简化布线，降低成本。

2）采用常规 24V DC 电源，无需 AS-i 专用电源。

3）具备类 CAN 总线的节点故障自动隔离能力，提升网络鲁棒性。

4）独特的极性容错设计，降低现场接线错误率。

5）电气隔离实现简单高效（仅需信号光耦）。

实测结果表明，BSKY 总线在低速通信速率下，能够稳定支持超过 1500 米传输距离和 100 个以上从节点。其设计特别适用于远程抄表、分布式低速 I/O 控制、对成本敏感且需简化布线的应用场景。BSKY 总线物理层的成功设计，为工业自动化底层设备互联提供了一种高性价比、高可靠性的新型解决方案，有效弥补了现有 RS485、CAN 和 AS-i 总线在特定应用需求下的不足 [3]。

未来工作包括：定义更完善的数据链路层协议（如寻址、帧结构、错误校验）；进行更严格的 EMC 测试与环境适应性验证；优化电流检测电路性能与功耗；探索在更高通信速率下的性能边界；推动标准化或产业化应用。

参考文献

[1] 中国电工技术学会. 中国电器工程大典: 第11卷 配电工程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009

[2] Maxim Integrated. RS-485/RS-422 Transceivers Selection Guide and Data Sheets

[3] 袁占辉.基于现场总线的数字阀门控制器开发[D].天津大学,2007.