

信号转换器的低功耗系统设计与应用

贾少毅

北京天玛智控科技股份有限公司, 北京

收稿日期: 2023年7月22日; 录用日期: 2023年8月22日; 发布日期: 2023年8月29日

摘要

在煤炭开采行业内, 井下的开采设备为了满足工矿自动化的需求也在快速的进行种类和数量的增加以及功能迭代。在目前阶段的井下综采控制系统内, 诸多的设备需要组合为一套完整的系统, 其主要包含井上的数据监控系统以及井下液压支架控制系统, 井下液压支架控制系统内有成组的液压支架, 另外每一组的液压支架又包含了标准型或网络型控制器, 电源供给装置, 各种智能传感设备, 声光报警设备以及视频监控设备等, 不同的设备采用的数据传输总线方案不同, 有数字信号也有模拟量信号, 这样要完成液压支架控制系统的数据采集, 传输, 计算整合, 上传下发等就产生一定的困难。目前常用的单功能数据转换装置, 其数据转换功能还是比较单一的, 属于纯硬件转换, 不能编程控制, 这种转换器硬件电路部分复杂度高, 功耗高。普通硬件转换器不仅仅功耗高还造成了设备布设的困难程度, 为了解决上述问题本文重点论述了信号转换器的低功耗系统设计与应用, 论述了信号转换器的低功耗设计方向, 以及在液压支架控制系统中的信号转换功能及系统功能的分担, 本文的信号转换器设计方案降低了硬件电路的复杂度和电路功耗, 同时设计了可编程的低功耗动态控制算法, 解决了液压支架控制系统中信号转换器高功耗的弊端, 对进一步实现智能化低功耗开采具有深远意义。

关键词

低功耗设计, 数据转换, 远程控制, 人机操作交互界面, 独立供电

Application of Low Power System Designed for Signal Converter

Shaoyi Jia

CCTEG Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co., Ltd., Beijing

Received: Jul. 22nd, 2023; accepted: Aug. 22nd, 2023; published: Aug. 29th, 2023

Abstract

In the coal mining industry, in order to meet the needs of industrial and mining automation, the

underground mining equipment is also rapidly increasing the variety and number and iterating the functions. In the current underground comprehensive mining control system, many equipment need to be combined into a complete system, which mainly includes the data monitoring system on the well and the underground hydraulic support control system. There are groups of hydraulic supports in the underground hydraulic support control system. In addition, each group of hydraulic supports includes standard or network controllers, power supply devices, and various intelligent sensing devices, Sound and light alarm equipment and video monitoring equipment, etc., different equipment adopt different data transmission bus schemes, including digital signals and analog signals. Therefore, it is difficult to complete data acquisition, transmission, calculation integration, upload and distribution of the hydraulic support control system. At present, it is a commonly used single function data conversion device, but its data conversion function is relatively single, which belongs to pure hardware conversion and cannot be programmed and controlled. This kind of converter has high complexity and high power consumption in hardware circuit. Ordinary hardware converters not only have high power consumption but also cause difficulties in equipment layout. In order to solve the above problems, this paper focuses on the design and application of low-power system of signal converters, discussing the low-power design direction of signal converter, the signal conversion function in the hydraulic support control system and the sharing of system functions. The signal converter design scheme in this paper reduces the complexity of hardware circuit and circuit power consumption. At the same time, a programmable low power dynamic control algorithm is designed to solve the problem of high power consumption of signal converter in hydraulic support control system, which has far-reaching significance for further realizing intelligent low power mining.

Keywords

Low Power Design, Data Conversion, Remote Operation, Man Machine Operation Interface, Independent Power Supply

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前随着智能化无人开采技术的广泛应用,各种智能化设备应用于液压支架控制系统,包括成组的液压支架,另外每一组的液压支架又包含了标准型或网络型控制器,电源供给装置,各种智能传感设备,声光报警设备以及视频监控设备等[1],但是不同的设备采用的数据传输总线方案不同,有数字信号也有模拟量信号,这样要完成液压支架控制系统的数据采集,传输,计算整合,上传下发等就产生一定的困难[2]。目前常用的单功能数据转换器,只是设计实现了矿井下数据转换的功能,但是其数据转换功能单一,功耗高[3] [4] [5],且硬件系统集成度低,设备体积大。矿井下的开采环境非常复杂,作业环境非常恶劣,大部分设备都是无法从地面直接布设电缆进行供电的,矿井下的液压支架控制系统主要依靠矿井下专业的本安电源进行供电。出于安全规范的考虑以及矿井下布设安装的条件限制,本安电源具有体积重量以及容量的规范要求。信号转换系统在处理庞大的数据传输的功耗非常大,对本安电源造成了相当高的功耗压力[6] [7] [8],这就导致了井下本安电源需要时常进行维护,增加了运营维护成本的同时也增加了作业安全风险。

因此,对于井下作业设备的低功耗设计非常重要,在目前业界普遍重点研究液压支架控制器的低功耗设计[9],但是忽略了同样具有高功耗的数据转换器,因此对于信号转换系统的低功耗设计尤为重要。

另一方面目前常用的单功能数据转换器只实现了不同数据协议之间的转换传输功能[10][11],其数据传送量相当大,对通信网络系统的要求极高,使得通信系统布设成本很高[12][13]。在液压支架系统中,若数据在信号转换器进行整合后上传数据监控中心,并设计采煤机位置计算,网络转发以及 web 配置等功能,将极大的降低数据传输量及降低通信系统布设的成本。

综合上述信息,本文所论述的信号转换器低功耗系统主要从软硬件结合低功耗设计方向以及对液压支架控制系统的数据整合分析能力的功能分担进行研究设计,其具备超低功耗的 MCU 主控核心单元与 TSN 交换机模块,能够实现数据信号转换功能。接口依据系统传输的信号速率需求,优选满足稳定性前提的最低工作速率,减少数据传输的功耗,采用单线 CAN 与双线 CAN 总线结合的方式,达到稳定性与最低功耗的平衡,并结合功耗动态调整算法实现硬件软件结合的低功耗设计。

2. 信号转换器低功耗硬件设计研究方向

2.1. 硬件低功耗设计研究方向

设备功耗主要体现在其硬件的静态功耗以及动态功耗,静态功耗通过器件选型优化漏电流来降低功耗,这在电路设计时即可以进行优化考虑。但是动态功耗的控制问题便不能再仅仅通过简单的低功耗器件就可以解决。动态功耗的示例如下图 1 所示。

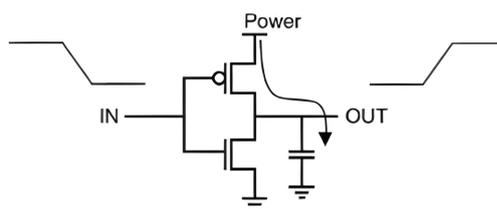


Figure 1. Example of dynamic power consumption
图 1. 动态功耗示例

动态功耗主要是设备工作产生相应的功能时产生的功耗,反映在电路上则是由器件翻转产生电压、电流的变化而产生的功耗。动态功耗既包含了器件的开关功耗又包含了器件的短路功耗,即动态功耗 = 开关功耗 + 短路功耗。要计算设备动态功耗需要以下方法进行计算:电路中所有负载电容与电压,工作电路所占的比例以及工作时钟的乘积加上器件翻转的短路时间与翻转电压,短路电流以及工作时钟的乘积。

由上述计算方法可以看出想要完成信号转换器系统的低功耗设计只要降低以上任意一个条件的值,即通过硬件系统架构的设计以及软硬件结合的动态调整算法设计实现低功耗设计。

2.2. 低功耗信号转换器硬件系统架构

依据上文对低功耗设计的讨论,本文论述的信号转换器在硬件设计方面选型了功耗更低的核心器件。低功耗信号转换器硬件系统设计主要包含了低功耗的 MCU 主控单元及其附属的多协议接口电路与低功耗的 TSN 交换机模块,以实现数据信号转换功能,进而结合功耗动态调整算法进一步降低系统功耗。并且设计了人机操作交互界面,为实现人工设定不同的功耗模式及其交互操作实现了硬件的支持。低功耗信号转换器的硬件设计框架如图 2 所示。

硬件设计框架中主要包含 MCU 主控单元(54608 核心单元)、TSN 交换机模块、CAN 隔离模块、CAN 扩展芯片、RS422 接口芯片。其中,RS422 接口芯片经过磁偶隔离后通过 UART 信号方式与 MCU 主控单元连接,实现与主机 422 信号的通讯功能;CAN 扩展芯片以及 CAN 隔离模块通过 SPI 数据信号以及 CAN 信息模式与 MCU 主控单元连接实现了解决 CAN 资源不足的问题,同时实现与操作台及控制系统

的 CAN 信号的通讯功能；TSN 交换机模块通过 RMIi 接口及 console 接口形式实现与 MCU 主控单元的连接，实现了百兆接口及光纤信号的通讯功能。

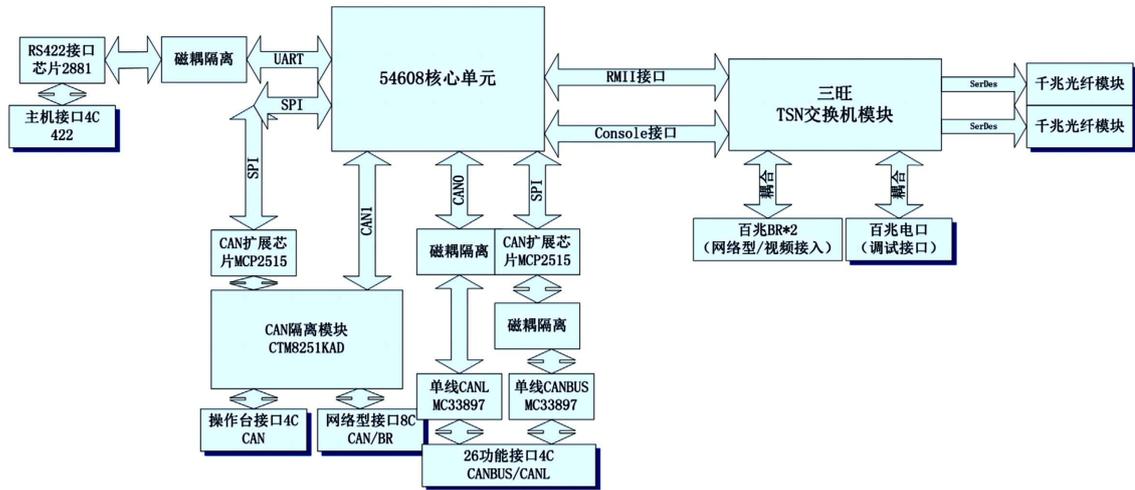


Figure 2. Hardware design framework of low power signal converter
图 2. 低功耗信号转换器的硬件设计框架

2.2.1. 低功耗的 MCU 主控单元

鉴于目前矿井下液压支架控制系统内低功耗设计的趋势，在设计系统内配套数据转换器时必须充分考虑低功耗的设计。在硬件的低功耗设计方面，一般可以从降低芯片电压的方向来进行。本文论述的低功耗信号转换器硬件选型的低功耗 MCU，其工作电压最低可以达到 1.71 V，较低的工作电压有效降低了设备整机功耗。

MCU 主控单元可编程 PMU (电源管理单元)可最大限度降低功耗，并满足不同性能级别的要求，为低功耗信号转换器功耗动态调整算法的设计提供了充分的支持。

54608 核心单元作为 MCU 主控，实现信号转换功能，可实现 CAN 总线信号数据信号，RS422 数据信号等的接入及计算转换。

2.2.2. 低功耗的 TSN 交换机模块

低功耗信号转换器硬件系统为了能够实现将数据上传至地面的监控主机，在硬件框架内采用 TSN 交换机模块搭建通信千兆光纤主干道，接口提供无阻塞上行链路，级联到更高端口数的 16 和 24 端口交换机，节能以太网 PHY 可降低功耗，而 VCT 可提供定性电缆设备诊断，降低运营成本，可实现二层交换配置，以太网实时通信，并方便沿途设备的接入，实现单组及成组整合数据上传，减少矿井下数据传输网络的布设困难，并减少沿途由于过多的布设数据上传设备产生的功耗。其硬件实现参考案例如图 3 所示。

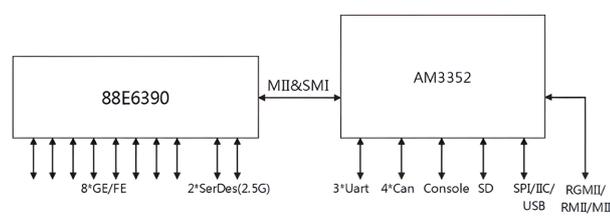


Figure 3. TSN switch module
图 3. TSN 交换机模块

2.3. 低功耗信号转换器硬件系统架构

目前常用的 CAN 总线多数为双线 CAN 总线即高速 CAN，其传输速率，工作频率都比较高，速率最高可到达 1 Mbit/s，一般布线采用双绞线布设以达到避免干扰的效果。但是此种方式占用接口较多，对于像井下标准型控制器以及其他需要控制体积和接口数量的设备造成了一定的资源浪费。

因此，本文所描述信号转换器采用了单线 CAN 总线。其单线 CAN 总线的设计原理是：所有总线节点采用公共的 GND，用来代替双线 CAN 总线其中的一条线缆。其传输频率最高可达 125 Kbit/s，在满足功能需求的前提下可以实现更低的功耗。如图 4 数据传输频率与功耗的关系。

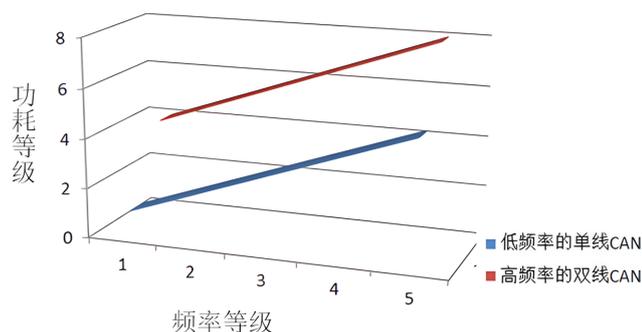


Figure 4. Relationship between data transmission frequency and power consumption
图 4. 数据传输频率与功耗的关系

低功耗信号转换器的硬件设计框架中采用了单线 CAN-MC33897 芯片模块，支持了低功耗的单线 CAN 总线信号的接入，并可通过 MCU 主控单元进行信号转换。

基于目前常规的信号转换器的设计大多只采用低功耗器件的选型途径实现[3] [11]，本文论述的硬件层面的低功耗的设计不仅包含了低功耗的器件选型并且整合了低数据传输频率层面的设计，既保证了数据传输的稳定性又降低的信号转换器的整体功耗。

3. 低功耗信号转换器功耗动态调整算法设计

本文论述的信号转换器的低功耗设计在硬件低功耗的基础上还采用了低功耗控制技术的动态控制算法，其算法的设计依托 MCU 主控单元实现对整个数据转换系统的动态控制，以降低系统运行功耗。

动态调整算法依据系统运行状态可以控制信号转换器达到不同的工作状态、不同的转换增益率，以达到动态控制信号转换功率的目的，如图 5 所示。

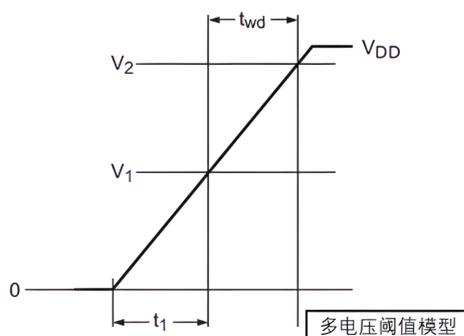


Figure 5. Example of control strategy for multi voltage threshold model
图 5. 多电压阈值模型控制策略示例

动态调整算法会依据系统状态选择不同的阈值等级，即监控数据转换器的数据传输状态以及人机交互功能的操作状态，当数据传输数据量很小或者处于监听状态时，系统自动降低数据传输的带宽或频率以达到降低功耗的目的；当人机交互界面无人操作时，系统自动降低监听频率以及降低屏幕亮度以达到降低功耗的目的。

动态调整算法在煤机位置计算完成后，可依据采集的数据计算当前液压支架控制系统的工作状态以及数据传输状态，进而调整信号转换器进入低功耗工作模式。低功耗动态调整控制算法运行框架如图 6 所示。

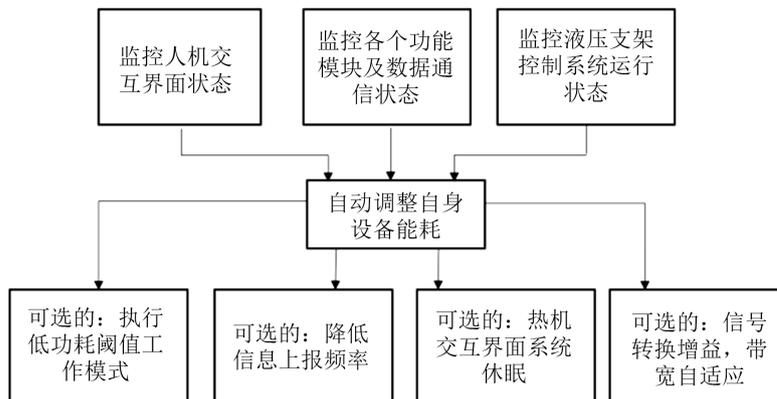


Figure 6. Low power dynamic adjustment control algorithm running framework
图 6. 低功耗动态调整控制算法运行框架

动态调整算法对装置自身的人机交互单元状态、各个功能模块的电气参数、液压支架系统运行状态、液压支架外设传感器状态进行实时监控。算法依据采集的信息进行状态分析并自动执行适应当前状态的低功耗控制措施。低功耗控制措施包含自身装置的主动降频运行低功耗阈值工作模式、自适应调节通信速率、降低信息上报频率、人机交互界面休眠、关闭内部级外部功能模块等，能够有效降低装置及系统的功耗。

4. 低功耗信号转换器系统功能应用的分担

本文所述的低功耗信号转换器应用于液压支架控制系统，不仅可以实现信号的转换，还可实现网络转发、Web 配置、煤机位置计算、数据上传、远程控制、视频接入等功能。相较常规的信号转换器功能单一，传输数据量大，功耗高的现状，本文论述的信号转换器在分担系统功能的同时降低了数据传输的数据量以及液压支架控制系统的数据运算压力从而降低整个液压支架控制系统的功耗。

如图 7 所示：低功耗信号转换器各个功能接口应用示例。

低功耗的信号转换器在液压支架控制系统内采用单独的电源进行供电，运行耗电不占用液压支架控制器的独立电源，这样可以有效减少对液压支架控制器的影响。

在应用架构内所有接口都设计了电气隔离，可以适配 26 功能、网络型、标准型三大系统，实现了较高的系统兼容性。如图 8 所示，低功耗的信号转换器在现场网络型控制系统中已有成熟的应用案例。

低功耗信号转换器将控制器传递的控制信息和传感信息打包上传到监控中心；将接收的模拟量信号数据进行统计计算，确定煤机位置；同时可在监控中心远程网络访问数据转换器，对视频监控设备进行 IP 配置，VLAN 划分等。信号转换器的运算功能设计极大的降低了数据传输量及降低通信系统布设的成本。

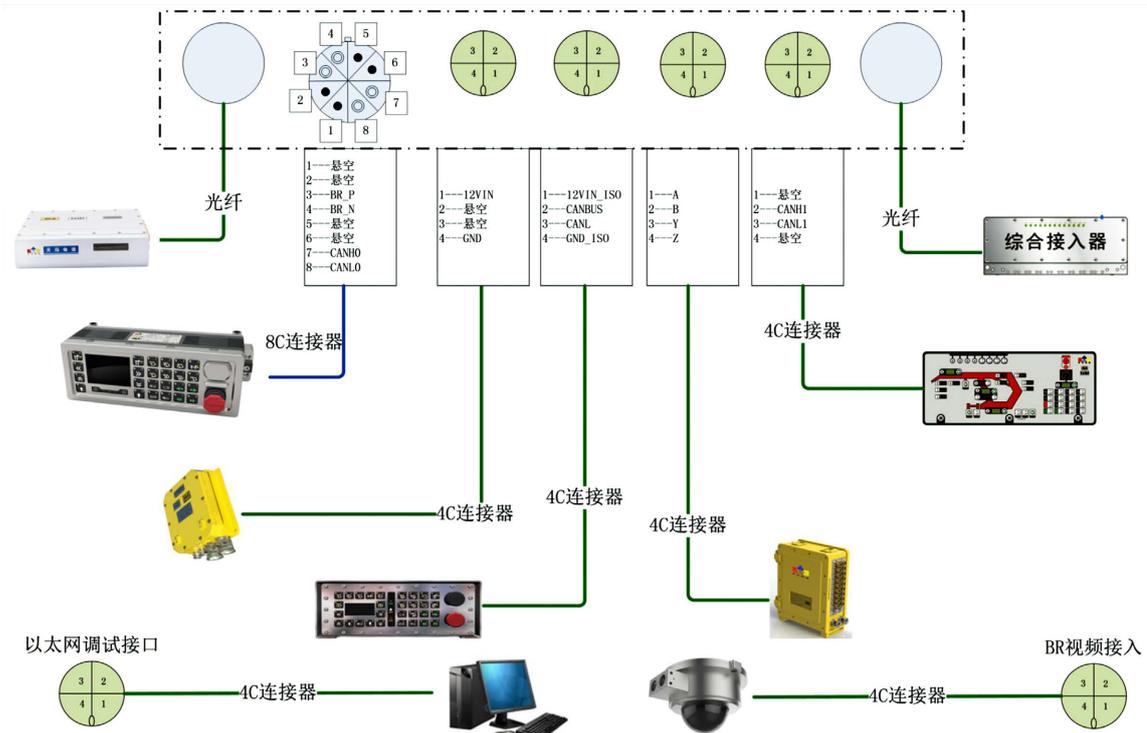


Figure 7. Low power signal converter interface application example
图 7. 低功耗信号转换器接口应用示例

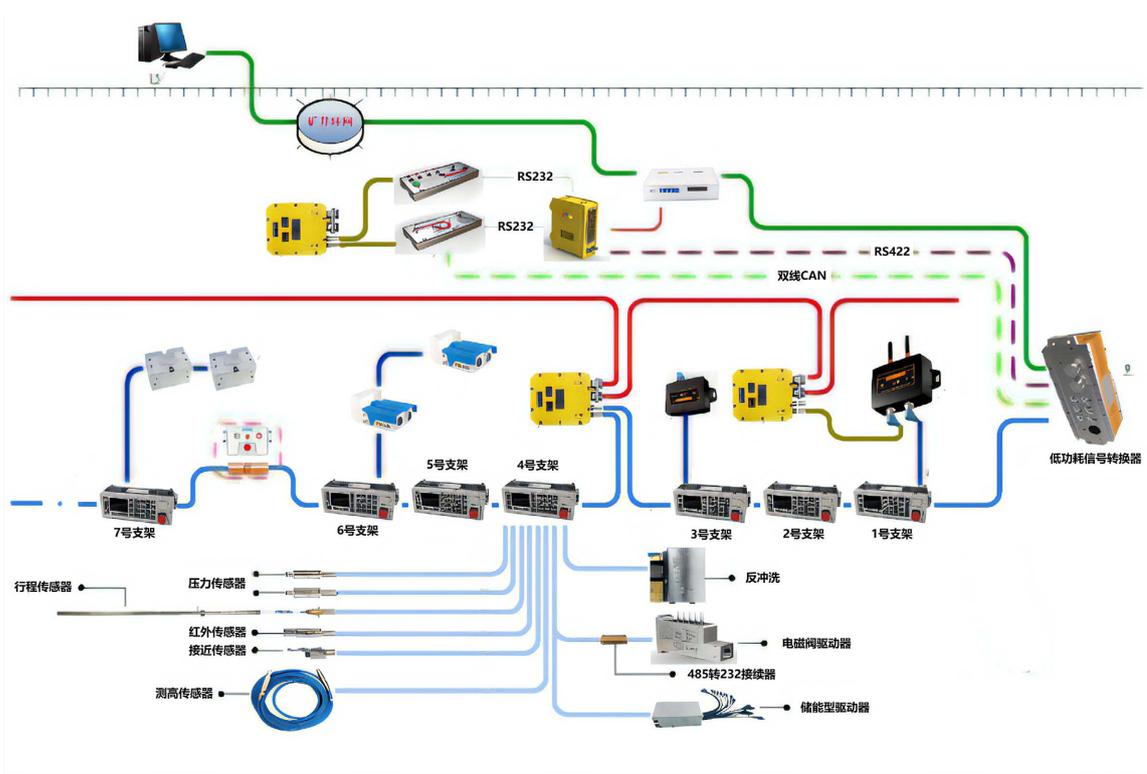


Figure 8. Application of low-power signal converters in field-networked control systems
图 8. 低功耗的信号转换器在现场网络型控制系统中的应用案例

5. 总结

本文论述的信号转换器的低功耗系统设计与应用重点为低功耗的硬件设计架构与应用系统架构的设计。采用了低功耗的集成电路模式,降低了硬件电路的复杂度和电路功耗,同时设计了可编程的低功耗动态控制算法,能够依据液压支架控制系统的工作状态调整信号转换器的工作模式,以降低功耗。具有将控制器传递的控制信息和传感信息打包上传到监控中心;将接收的模拟量信号数据进行统计计算,确定煤机位置;同时可在监控中心远程网络访问数据转换器,对视频监控设备进行IP配置,VLAN划分等功能,能够有效替代现有液压支架控制器中的信号转换器,以超低功耗的运行状态完善当前液压支架控制系统的自动化功能。对减少井下设备能量的消耗,实现工矿自动化具有重大意义。

基金项目

山东省重点研发计划资助项目。

参考文献

- [1] 王国法,徐亚军,张金虎,等. 煤矿智能化开采新进展[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(1): 1-10.
- [2] 张建明,曹文君,王景阳,等. 智能化煤矿信息基础设施标准体系研究[J]. 中国煤炭, 2021, 47(11): 1-6.
- [3] 王璐. 一种矿用信号转换器的设计[J]. 煤矿机电, 2019, 40(6): 1-3+14.
- [4] 王红尧. 一种新型煤矿安全监控系统信号转换器设计[J]. 工矿自动化, 2013, 39(3): 100-104.
- [5] 孙钢,刘炜,景振兴. 矿用多功能WiFi信号转换器的设计[J]. 工矿自动化, 2011, 37(12): 74-75.
- [6] 吴赛燕,杨辉. 基于MSP430的低功耗煤矿瓦斯监测系统设计[J]. 煤炭技术, 2019, 38(3): 138-140.
- [7] 肖杰,罗勇,罗传文. 一种低功耗信号转换器[P]. 中国专利, CN207283687U. 2018-04-27.
- [8] 汤天知. EILog测井系统技术现状与发展思路[J]. 测井技术, 2007(2): 99-102.
- [9] 胡亮. 无线低功耗液压支架压力监测系统设计[J]. 工矿自动化, 2017, 43(6): 83-86.
- [10] 黄兴荣,顾万龙,李寿泉,等. 一种基于LM3S8962的网口与CAN总线矿用数据转换装置[P]. 中国专利, CN203849732U. 2014-09-24.
- [11] 王竞蒙,吴金波,孙佳伟,等. 一种基于动态管理的低功耗CAN总线通信网络及其控制方法[P]. 中国专利, CN114257467B. 2023-04-14.
- [12] 韩华方,徐煜东,刘秋雨. 一种数据转换系统[P]. 中国专利, CN114328698B. 2022-05-24.
- [13] 王炜,谢雁. 高速遥传系统配接DTB总线仪器的接口设计[J]. 测井技术, 2002(4): 325-327+352.