

基于CAN总线的舰船直流开断装置通信方案设计

在舰船直流电力系统中，直流开断装置是非常重要的电力设备，为实现智能化操作，需在开断装置及其监控主机间构建快速、可靠的通信网络。CAN总线协议具有速率高、抗干扰性能好的特点，且具有较强的错误检测功能。基于CAN总线设计了由节点模块和网桥模块组成的通信架构，并利用Matlab GUI开发了监控主机软件，对所设计的软硬件方案进行了系统测试，能够满足舰船直流开断装置的实际通信需求。

潘 鹏/国网湖北省电力公司

0 引言

随着直流供配电系统在舰船中的应用不断推进，与直流开断装置相关的研究越来越受到重视。典型的直流开断装置的组成原理如图1所示，主要由负荷开关、短路保护开关、空气隔离开关、电流传感器、电压传感器及其监控单元组成。其中短路保护开关QF用于开断短路电流，负荷开关QL用于开断过载及正常工作电流，此外还负责带电合闸，具备短路关合能力，空气隔离开关实现电路的断口及隔离。监控单元采集电流、电压、关键点温度、短路保护开关状态、负荷开关状态、空气隔离开关状态及上一次故障信息等数据，通过通信总线向上位机发送。

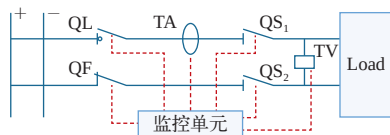


图1 直流开断装置组成图

QL—负荷开关 QF—短路保护开关 QS₁、QS₂—隔离开关
TA—电流传感器 TV—电压传感器

直流开断装置与监控主机之间的通信总线在功能上需满足以下需求：①适应舰船中复杂的电磁环境，保证高温、低温、噪声及振动等不良环境因素影响下的正常工作；②各通信组成模块与监控单元间具有较好的适配性，实现即插即用；③节点具备检错功能，单个节点因故障退出后不影响通信正常进行。

相比232、485等传统总线技术，CAN总线是一种多主模式的串行总线，采用非破坏性技术仲裁总线冲突，在通信数据流量较大时，也不会导致总线瘫痪，且具备高抗电磁干扰性及很好的错误检测功能^[1-2]，适合在舰船等严苛的工况下使用。基于CAN总线实现的直流开断装置通信架构如图2所示，CAN节点模块提供与直流开断装置的数据接口，CAN网桥模块实现CAN总线数据帧到串口数据的转换，监控主机运行监控软件，实现对直流开断装置运行状态的远程控制。

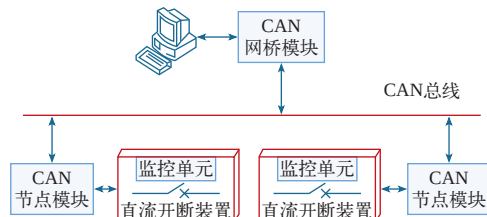


图2 基于CAN总线的直流开断装置通信架构

1 CAN应用层协议设计

CAN协议规范只明确了物理层和数据链路层的定义，CAN高层协议的实现方式需由用户针对现场需求自行设计。

关键词/Keywords

直流开断装置 ·
监控单元 ·
通信方案 ·
CAN总线 ·

在CAN2.0B总线协议规范中，数据帧用于发送节点向其他节点传输数据信息，远程帧则主要用于向其他节点请求发送具有同一标识符的数据帧^[3]。其中，数据区的排列方式及数据帧标识符的分配方案是应用层协议设计需要考虑的关键内容^[4]。

基于直流开断装置的监控需求，定义的数据区字节与数据组对应关系如表1所示。数据区为8 B，分为4组，分别对应电流、电压及温度数据，若一组数据未定义，对应数据区填0，相应的状态位置0。数据帧标识符中相应的状态位在数据有变化时设置为1，没有变化时设置为0。采用固定的数据区字长和统一的编码方式便于提高节点解析数据帧的效率，也方便实现差错控制，从而提高数据传输的可靠性。

表1 数据区字节与数据组对应关系

D63~D48	D47~D32	D31~D16	D15~D0
(0~1 B)	(2~3 B)	(4~5 B)	(6~7 B)
第1组(电流)	第2组(电压)	第3组(温度)	第4组(温度)

在CAN2.0B规范中，扩展数据帧信息除8 B的数据字节外，还包括29 bit的标识符(ID28~ID0)。对29 bit报文标识符进行差别编码，CAN总线上的节点将被赋予不同的优先级，以便满足各节点不同的实时性要求，优先级最高的CAN节点可在134 μs内得到总线响应。通过对报文标识符实施滤波识别，CAN总线上的其他节点即可选择单对单、单对多及总线广播等几种方式实现数据收发^[5]。

设计中，将29 bit的标识符进行扩展使用，如表2所示，使用标识符高位的16 bit进行节点编码，足以满足舰船中直流开断装置的节点编号需求。4 bit的状态位分别对应数据区字节中的4组数据，通过比较前后两次数据帧中的状态位，即可判断数据字节的变化情况，在线路正常运行时，数据区内容无变化或变化很小，可以有效减少数据传输内容，提高通信效率。4 bit开关量用于指示直流开断装置中短路保护开关、负荷开关、正极空气隔离开关及负荷隔离开关的状态，4 bit报警信息反映直流开断装置工作状况，可用于编码表示辅助电源故障、温度越限、过电压和欠电压等故障及

不正常状态信息，校验位实现奇偶校验。这样的标识符定义，既适用于舰船直流开断装置的实际工作情况，又能保证通信可靠性，并充分利用标识符字段以提高数据传输效率。

表2 CAN2.0B扩展数据帧信息标识符定义

ID28~ID13	ID12~ID9	ID8~ID5	ID4~ID1	ID0
数据帧编号	状态位	开关量	报警信息	校验位
(16 bit)	(4 bit)	(4 bit)	(4 bit)	(1 bit)

2 硬件结构设计

CAN总线控制器芯片种类繁多，但对于常见的CAN总线应用场景，都具有基本相同的硬件组成，典型CAN总线节点的构成方案有两种：①MCU、独立CAN控制器和CAN收发器；②带有CAN控制器的MCU、CAN收发器。每种方案都需要通过CAN收发器实现电平转换后与CAN总线相连。

①方案一。CAN节点控制程序是针对独立CAN控制器的，程序易于移植，可以方便地添加到其他MCU平台上。但因使用独立CAN控制器占用MCU的I/O资源，增加了电路的复杂程度。②方案二。CAN控制程序是针对特定选用的MCU，例如LPC2294，程序移植性差，但硬件电路简单、清晰。考虑到CAN总线通信方案需适应不同型号直流开断装置的需求，并与内置监控单元的数据接口配合，CAN节点硬件采用方案二实现。

2.1 CAN节点模块硬件设计

CAN节点模块的硬件电路如图3所示，该模块通过标准的SPI接口与直流开断装置内置的监控单元连接，可以实现即插即用的功能。节点模块电路主要由独立CAN控制器MCP2515、CAN收发

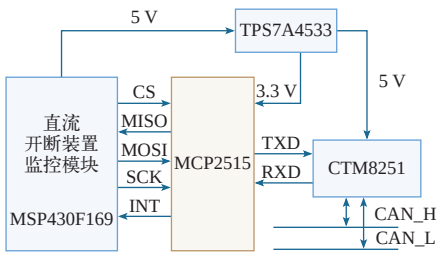


图3 CAN节点模块硬件原理图

器CTM8251、电源管理芯片TPS7A4553、晶振电路、CAN接口插座和SPI接口插座等组成。其中，CTM8251是带隔离和保护功能的集成CAN收发器，能隔离DC 2 500 V电压，与采用限流电阻、反向二极管保护的分立元件方案相比，效果更好^[6]。

2.2 CAN网桥模块硬件设计

CAN网桥模块的硬件电路如图4所示，为方便维护，网桥模块的CAN总线控制器、收发器电路与CAN节点模块相同，增加了电源管理、USB协议控制器FT232RL及网桥控制芯片MSP430F169，增加的通信接口及其控制电路通过SPI接口插座及电源插座实现与CAN节点模块的可靠连接。网桥模块的芯片选择及电路设计保证了低功耗特性，其工作电源可通过USB接口由上位机提供。

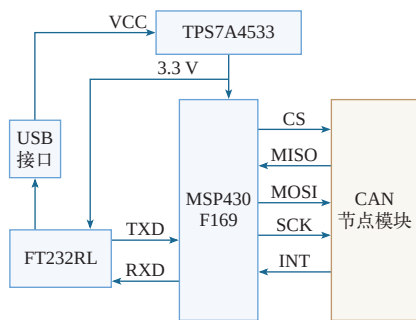


图4 CAN网桥模块硬件原理图

3 系统软件开发

3.1 CAN节点模块程序设计

CAN节点模块程序的主要任务是对直流开断装置监控单元采集的数据进行处理，按照CAN应用层协议的要求，组装成规定的数据帧，并向CAN总线发送。

监控单元MCU通过标准SPI总线对CAN收发器MCP2515的寄存器进行读写操作，从而实现数据收发及控制。CAN节点实现数据收发的程序流程分别如图5、图6所示。数据发送分为周期发送和变位发送，周期发送以固定的发送频率进行发送，并可通过软件进行设定；变位发送时，若标识符中的开关量和报警信息变化时立即进行发送。数据接收程序由CAN控制器的输出中断触

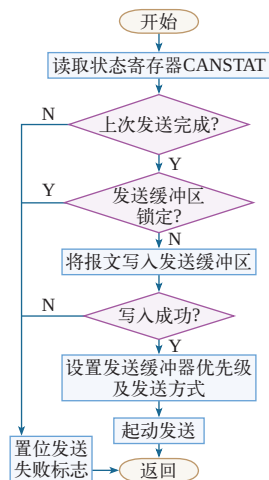


图5 CAN节点发送程序流程图

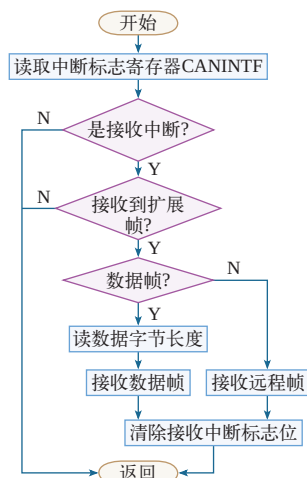


图6 CAN节点接收程序流程图

发，完成响应。

3.2 CAN网桥模块程序设计

CAN网桥模块的数据收发程序与CAN节点模块程序相同，由于USB/UART协议转换芯片FT232RL内部集成了USB协议栈^[7]，在CAN网桥模块程序设计中，只需考虑对MSP430F149的串口通信与CAN节点数据间的转换与控制。

CAN网桥模块处理CAN总线数据时，一帧信息为连续的13 B（数据帧）或5 B（远程帧），上位机通过串口通信时，一次传输的数据位为8 bit，故需要将一个完整的数据帧拆散成独立的数据字节进行发送。而数据帧是否已经传输完成，以及上一个完成传输的数据字节在整个数据帧中的位

置是未知的，为了保证CAN网桥模块数据转发的可靠性，设计了如表3所示的串口通信8 bit数据编码方法。其中，D1~D0为数据位，D7~D2为编码位，高4 bit位D7~D4编码表示数据位在CAN协议数据帧中的字节位置，低2 bit D3~D2编码表示数据位在数据字节中的位置。

表3 串口数据位编码表

D7~D4	D3~D2	D1~D0
识别码SIDH、SIDL、EID8、EID0、 数据字节D0~D7、控制字节	数据位位置码	数据位

应用中，CAN总线通信的波特率设定为250 Kbit/s，而网桥模块串口通信的波特率是19 200 Kbit/s，利用串口通信较高的波特率，对CAN数据帧信息按数据位划分，添加编码位之后再通过串口向上位机发送，能够提高网桥模块的中继性能，保证数据转发的可靠性，且不会降低CAN总线数据传输的效率。

3.3 上位机监控软件开发

CAN总线节点发送至上位机的数据具有类型多、容量大及时间密集的特点，并需要进行分析处理。Matlab软件具有强大的数据处理及分析功能，上位机监控软件基于Matlab环境及其图形界面GUI开发，由操作界面、串口管理模块、参数存储模块及数据分析模块组成。操作界面主要分为串

口参数设置区域、数据发送控制区域以及数据接收显示区域。

GUI设计的内容保存在两个文件中，一个是FIG文件，它包含对GUI和GUI组件的完整描述，另一个是M文件，它包含控制GUI的代码和组件的回调事件代码^[8]。

完成程序编写后，通过执行mcc命令调用编译器，再由MoleBox Pro工具将编译后的文件打包成exe文件，即可在没有安装Matlab的目标计算机环境下运行。

4 实用效果

对设计的直流开断装置CAN总线通信方案进行实用测试，CAN节点模块将直流开断装置监控单元采集的数据组装成扩展数据帧，CAN网桥模块接收CAN总线上的数据帧信息，对接收数据进行扩展编码后通过串口向上位机转发，上位机软件实时侦听串口，接收数据后完成解析。上位机软件监控界面如图7所示，CAN节点模块ID分别为0x1234与0x1212，工作在变位发送模式，上位机接收程序成功收到数据，判断出帧格式和帧类型，并且可以对接收数据进行计数，实现对CAN总线传输数据的监视，同时可以解析数据字节内容，反映负荷开关、短路保护开关、正极空气隔



图7 上位机软件监控界面

离开关和负极空气隔离开关等状态信息，针对温度越限、报警等不正常信息输出声光报警信号。监控软件也可根据直流开断装置的现场参数对报警定值进行整定。根据实际测试效果，CAN总线传输的实时性、可靠性及上位机监控软件的可操作性都能够满足直流开断装置监控通信的实际需要。

5 结束语

针对舰船直流开断装置监控通信的特点，设计的基于CAN总线的通信架构由节点模块、网桥模块及上位机监控软件组成，提出了实用的CAN应用层数据分配方案，硬件设计考虑了与直流开断装置配合的即插即用特性，具有较好的抗干扰性能，软件设计具备移植性好、适于开发高级应用的特点，通信架构经过测试能够满足实际需要，可为相关应用提供一定的借鉴。

参考文献

[1] 韩成浩，高晓红. CAN总线技术及其应用 [J]. 制造业自动化，2010，2 (2)：146-149.

[2] 王英志，杨佳，韩太林. 基于STM32的RS232-CAN通信协议转换器设计 [J]. 制造业自动化，2013 (14)：141-143.
[3] 袁帅，李颖. CAN总线电能质量监测系统通信协议设计 [J]. 低压电器，2010 (5)：31-33.
[4] 郝勃，刘衍珩，曲良东，等. CAN网络的分组合并策略研究及实现 [J]. 仪器仪表学报，2012 (9)：2137-2143.
[5] 王桂荣，钱剑敏. CAN总线和基于CAN总线的高层协议 [J]. 计算机测量与控制，2003，11 (5)：391-394.
[6] 吴坎，赵薇，李封. 基于SJA1000和PCA82C250的CAN总线接口设计 [J]. 机械设计与制造，2010 (7)：55-57.
[7] 刘纯虎，付斌，盛庆华. 基于STM32的微型USB-CAN适配器开发 [J]. 计算机测量与控制，2013，4 (4)：996-998.
[8] 薛飞，杨友良，孟凡伟，等. 基于Matlab GUI串口通信的实时温度监控系统设计 [J]. 计算机应用，2014，1 (1)：292-296.

(收稿日期：2016-01-18) EA

(上接第65页)

联补偿装置，稳定并提高供电首端的正序电压。

3) 对于供电末端正序电压满足限值要求的低电压问题台区，可选择安装并联型治理装置解决低电压问题。对于无功压降较大的台区可选择SVG进行无功补偿；对于零序电压较大的低压台区可选择安装零序滤波器，也可选择SVG平衡三相负载电流，减少不平衡电流的发生量，进而减少供电末端的零序压降。

4) 低压台区治理装置的安装位置对治理效果的影响较大，因此必须重视治理方案的设计、科学规划才能取得最佳的治理效果。

参考文献

[1] 卓谷颖，江道灼，梁一桥，等. 改善配网电压质

量的固定串补技术研究 [J]. 电力系统保护与控制，2013，41 (8)：61-67.

[2] 雷宪章. 串联补偿技术在远距离高电压交流输电系统中的应用 [J]. 电网技术，1998，22 (11)：34-38.
[3] 周封，肖强，刘志刚，等. 配电网串联电容补偿对电机端电压调节性能的影响 [J]. 电力系统保护与控制，2015 (8).
[4] 周名嘉，杨松，翁锡营. 零序谐波滤波器解决中性线电流超载的原理 [J]. 建筑电气，2008，27 (5)：13-16.
[5] 宋祺鹏，尹忠东，单任仲，等. 移相型零序滤波器的仿真与实验 [J]. 电力系统自动化，2008，32 (17)：75-78.

(收稿日期：2016-01-18) EA