

基于 CAN 总线的大电流电子继电器的设计

杨云露, 龚元明, 周建鹏

(上海工程技术大学 汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 汽车上的常规负载开关常采用普通机械继电器做功率开关器件, 但因有机械触点, 常常发生触头氧化或粘连等故障; 这篇论文对带有 CAN 总线通讯功能的电子式继电器进行了研究, 以 Infineon XC2234L 微处理器、NMOS 和 CAN 总线收发器为控制核心, 利用 AltiumDesigner 软件对硬件电路进行模块化设计, 利用英飞凌开发工具 Dave 和 Tasking 软件编写底层驱动代码, 同时利用 VisualStudio 设计上位机端监控程序; 该电子继电器具有通信和报警、输入与输出隔离、MOS 管过热保护和能控制 200 A 大电流的功能; 经大量实验测试及现场应用结果表明, 该继电器满足设计要求, 其 CAN 报文数据收发准确、MOS 管温度控制在合理范围内且能稳定控制 200 A 的负载。

关键词: CAN 总线; 大电流; 电子继电器; NMOS

Design of High—Current Electronic Relay Based on CAN Bus

Yang Yunlu, Gong Yuanming, Zhou Jianpeng

(College of Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Conventional load switches on automobiles often use ordinary mechanical relays as power switching devices, but because of mechanical contacts, it often occurs contact oxidation or adhesion. This paper studies the electronic relay with CAN bus communication function, with Infineon XC2234L MCU, NMOS and CAN bus transceiver as the control core, the hardware circuit is modularized by AltiumDesigner software, the underlying driver code is written by Infineon development tool Dave and Tasking software, at the same time, VisualStudio is used to design the upper computer monitoring program. It has the functions of communication and alarm, isolation between input and output, MOSFET overheat protection and 200 A high—current control. The results of a large number of experiments and field applications show that the relay meets the design requirements, its CAN message data receiving and sending is accurate, the temperature of MOSFET is controlled within a reasonable range and the load of 200 A can be controlled stably.

Keywords: CAN bus; high—current; electronic relay; NMOS

0 引言

目前在汽车领域中普遍采用电磁继电器做功率开关器件, 但由于电磁继电器本身有机机械寿命、有吸合释放声音以及开关速度慢等缺点, 在某些高端车型的静音、超长寿命需求以及精确的延时控制等特殊场景中, 传统的电磁继电器已无法满足要求。随着半导体技术的发展, 加之应用领域的多样性, 市场上已经出现了几种新型的负载开关, 比如固态继电器 (SSR)、光 MOS 继电器等。本设计借鉴了在光 MOS 继电器开发中选用功率场效应管作为功率器件的成功经验, 用 NMOS AUIRFS8409 作为控制负载的主要元件来代替继电器, 引入嵌入式微处理器 Infineon XC2234L 实现智能化, 处理器能够根据负载运行状态实时采集流经电子继电器的输入端电压和电流、负载端电压以及 PCB 板上 NMOS 管自身的温度, 同时设计开发了上位机端标定软件, 利用 USB—CAN 发送信息给上位机, 实现与上位机之间的双向通信, 将输入端电压、电流、负载端电压以及 MOS 管温度实时传给上位机, 以此实现监控、保护及通信功能。与电磁继电器相比, 该电子继电器可以对负载进行

实时检测, 其响应速度快、灵敏度高、功耗低、寿命长、控制电流大, 是现代继电器发展的趋势。

1 设计参数与选型

1.1 设计参数及原理

电子继电器满足的功能指标参数如下:

- 1) 输入电压: 12~24 V;
- 2) 输出负载电流: 200 A;
- 3) 通讯方式遵循基于 CAN2.0B 的主从式协议;
- 4) 输入输出隔离;
- 5) 电子继电器节点的实时电流可测量, 实现在线检测节点状态。

电子继电器的工作原理为: 本文设计了一种智能化电子继电器, 电子继电器采用 Infineon XC2234L 微处理器、N 型 MOS 管和 CAN 总线收发器为控制核心, 它具有总线通信和在线诊断功能, 电子继电器自身发生故障时, 可以自动通过 CAN 总线发送报文, 输入端电压过高时 (可以软件设置), 可以自动断开输入和输出的通断状态。当温度传感器检测到 MOS 管温度超过预设值时, 电子继电器能够进行热关断, 起到保护 MOS 管的功能。同时 MOS 管具有反向电压保护功能, 可在反向负载条件下保护 MOS 管。此外, 电子继电器能与上位机进行 CAN 总线通信, 可对输入电

收稿日期: 2019-03-04; 修回日期: 2019-07-05。

作者简介: 杨云露 (1995-), 女, 河南新乡人, 在读硕士研究生, 主要从事汽车电子控制技术方向的研究。

压、电流、输出电压和温度进行自动检测并在上位机界面显示, 同时对异常情况进行报警与处理。图 1 是该电子继电器在汽车上作为双电池开关的一个实例应用。

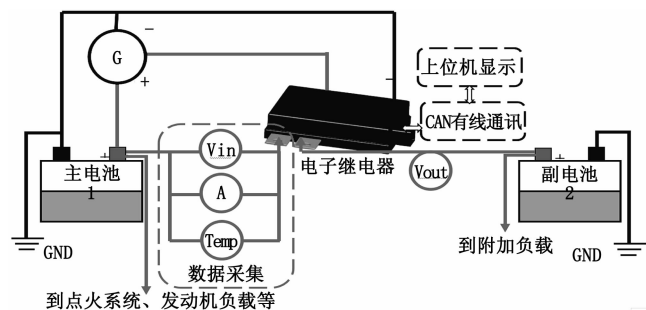


图 1 电子继电器应用实例

1.2 MOS 管选型

功率场效应管的选择是设计技术的关键环节。功率 MOS 管选择时, 应充分考虑到电子继电器设计所要求的耐压、工作电流以及导通损耗大小, 选择的正确步骤分别是确定沟道类型、确定额定电流、确定热要求以及决定开关特性^[1]。由于增强型 N 沟道 MOS 管导通电阻小并且容易制造, 加之本文在设计 MOS 管的隔离驱动电路时栅极电压是 9 V, 源极接地, 所以选择 NMOS 作为开关器件; 额定电流是负载在所有情况下能够承受的最大电流, 同时要考虑 MOS 管在连续导通和瞬态脉冲尖峰时的电流情况; 在散热方面, 主要是选择导通电阻比较低 MOS 管, 这样电流就会在这个电阻上消耗的能量较低, 功耗较低, 在通大电流时其内部温度不会超过安全余量; 最后一步是决定 MOS 管的开关性能, 由于 MOS 管是电荷控制器件, 对 MOS 管的驱动实际上就是对内部寄生电容的充放电, 驱动要求由其栅极总充电电量参数决定。同时必须保证由能够提供足够灌入和拉出电流的低阻抗源来驱动, 以实现控制电荷的快速嵌入和脱出。但开关频率越快, 器件开关损失也越大, 因此优先选择导通电阻小的 MOS 管来减小导通损耗。

在本文的设计参数中, 负载最大电流达 200 A, 由于功耗与工作电流大小成正比, 这将对 MOS 管造成巨大的损耗, 同时对其性能也提出了更高的要求。在电路设计时, 采用 8 个 MOS 管来实现主电路的分流, 平均每个 MOS 管的最大工作电流为 25 A, 在实际使用时, MOS 管最大过电流值一般是设计参数的 30%~50%, 因此一般选择过电流能力达 100 A 以上的 MOS 管开关器件^[2]。根据设计目标, 本文选取英飞凌 N 沟道增强型 MOS 管 (AUIRFS8409) 即可满足要求, 其耐压大小为 40 V、导通电阻 0.5 mΩ、瞬态脉冲尖峰电流 523 A、额定电流 360 A, 且具有 175 °C 的结温以及快速的开关速度等特性。

2 CAN 总线技术

CAN 总线是 ISO 国际标准化的串行通信协议。它的短帧数据结构、非破坏性总线仲裁技术以及灵活的通讯方式, 使 CAN 总线具有很高的可靠性和抗干扰性, 满足了汽车对

总线的实时性和可靠性的要求^[3]。CAN 总线采用 CANH 和 CANL 两根导线差分传输信号, 总线上某一时刻表现的数值由这两根导线的电压差值决定, 信号在总线上基于非破坏性仲裁机制竞争, 信号方向相反, 这样可以提高抗干扰性能。在本电子继电器中, Infineon XC2234L 微处理器内部集成 MultiCAN 控制器, CAN 控制器与物理总线之间需 CAN 收发器作为接口, 它实现 CAN 控制器逻辑电平与 CAN 总线差分电平之间的转换。本文选择了 Infineon TLE6250 CAN 收发器作为数据转换接口。其数据收发过程是控制器发出 TTL 电平信号给收发器, 收发器将数据信号转化为 CAN 标准的差分信号, 将控制器传来的数据转化为电信号并将其送入 CAN 总线上。总线上的输入输出端电压、电流和 MOS 管温度数据通过外部 CAN 接口卡 USB-CAN 与上位机进行通讯, 上位机通过 USB-CAN 读取数据, 从而图形化、数字化地监控和显示输入输出端电压、电流和 MOS 管温度的实时数据状态。若微处理器监测到 MOS 管的温度过高, 输入端电压超过设定值, 则微处理器将通过 CAN 总线将故障码传输至上位机进行报警、自动断开输入输出端等保护处理, 从而实现数据的接收与发送。

3 系统硬件设计

电子继电器硬件电路主要包括电源稳压电路、DC-DC 隔离驱动电路、MOS 管驱动电路、温度采样电路、电流采样电路以及 CAN 总线收发电路等。

3.1 电源稳压电路

系统主控制芯片在电压为 5 V 的环境下工作, 大部分外围电路也是 5 V 供电, 所以电源模块的稳定性和可靠性是整个电子继电器安全可靠有效运行的前提。图 2 为电源电路图, 电源芯片选用 MIC4680, 根据该芯片的数据手册设计电路, 在输入端 VIN 接入 12 V 直流电压, 从输出端 Switch 引脚输出的即为 5 V 直流电压。为了尽可能降低电源的干扰, 在 VIN 端加一个滤波电容, 在输出端加一个肖特基二极管 1N5819 是为了防止系统反向的高压, RC 电路用于整流滤波。

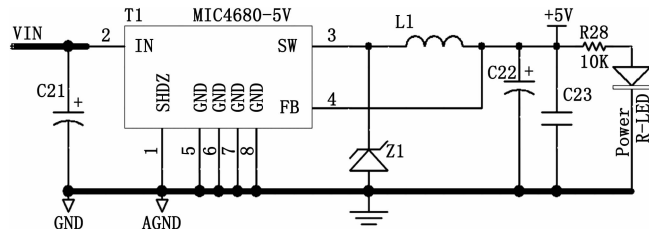


图 2 电源稳压电路

3.2 MOS 管隔离驱动电路

为了实现主电路与控制电路的电气隔离, 驱动电路电源与微处理器系统电源必须相互隔离, 本文的 MOS 管选择 DC-DC 光耦隔离驱动, 得到两路相互隔离的电源。其中 DC-DC 芯片选型为 B0509XT、光电耦合器选型为 AQY210EH、MOS 管选型为 NMOS AUIRFS8409, 光耦隔离电路和 MOS 管驱动电路如图 3 所示。

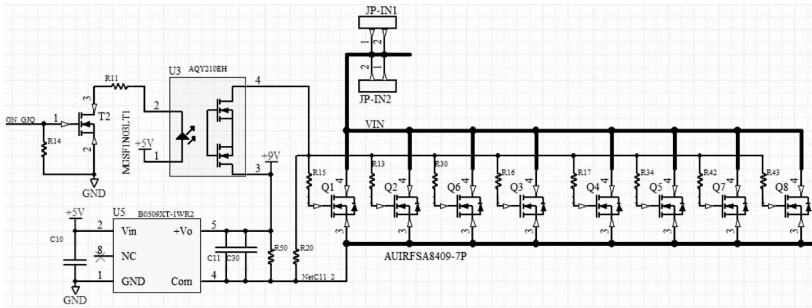


图 3 MOS管隔离驱动电路

3.3 温度采样电路

温度采样芯片选用 AD7416，它是一种基于 IIC 总线接口的数字温度传感器芯片，它包括一个带隙温度传感器和一个用来监视并将温度数字化的 10 位 A/D 转换器，其精度达 0.25 °C，温度测量范围 -55~125 °C。工作电源电压在 2.7~5.5 V 之间，具有标准 IIC 总线接口^[4]。由于采用低功耗 CMOS 技术，它具备掉电工作模式。AD7416 的引脚配置如图 4 所示。其中 SDA—串行地址/数据双向 I/O 端。漏极开路，使用时须接上拉电阻。本文中的上拉电阻阻值为 10 K。

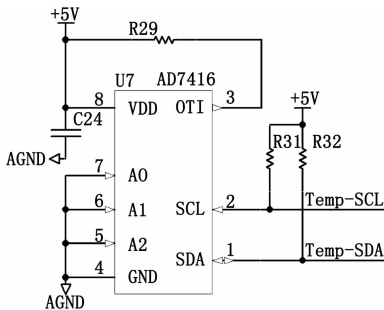


图 4 温度采样电路

SCL 为串行时钟输入端。2.7 V 时可达 100 kHz，5 V 时达 400 kHz。

OTI 为超温输出，漏极开路。可作为中断输出信号。在系统构成时，为降低功耗，上拉电阻取值至少大于 10 K，本文上拉电阻取值为 10 K。

A0、A1、A2 为地址引脚，AD7416 可以级联至多 8 片在同一个 IIC 上。

V_{CC} (2.7~5.5 V) 和 GND 提供工作电源。

AD7416 通过 IIC 内部总线（时钟线 SCL 和数据线 SDA）与微处理器进行通信，数据传送时，当时钟线为高电平，数据线必须保持在稳定状态，不能有跳变。否则数据线上任何电平变化都将被看作总线的起始或者停止信号。在时钟线保持高电平期间，数据线电平由高到低被看作是 IIC 线的起始信号，由低到高被看作是 IIC 线的停止信号。

3.4 电流采样电路

电流采样芯片选用 ACS758，它是一种带 100 μΩ 电流导体的增强散热功能、全集成、基于霍尔效应的线性电流传感器。其采样电路如图 5 所示。

3.5 CAN 总线收发电路

在 CAN 网络通信中一般每个节点都包括 CAN 收发器、CAN 控制器、微处理器三部分^[5]。本文选用的 Infineon XC2234L 微处理器集成了 MultiCAN 控制器，MultiCAN 已经将 CAN 的底层协议（物理层和数据链路层）集成到芯片硬件中。CAN 总线收发器选用 Infineon 公司的 TLE6250GV33，它是一种高速 CAN 收发器，数据传输速率达 1Mbaud，具有过温保护、良好的 EMC 性能，以此实现 MultiCAN 控制器与总线之间逻辑电平信号的转换。同时为了增强 CAN 通信的可靠性，CAN 总线网络的两个端点通常均接有抑制反射的终端匹配电阻。一般 CAN 总线用的是标准的双绞线，其特性阻抗大约为 120 Ω，所以终端电阻 R 值一般取值为 120 Ω。CAN 收发器引脚结构如图 6 所示，CAN 通信电路如图 7 所示。

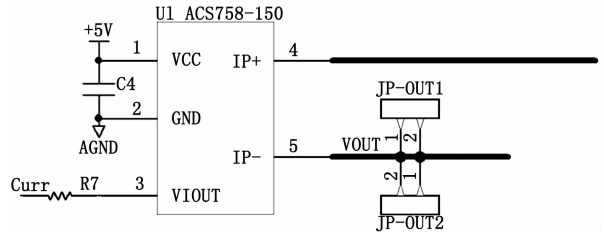


图 5 电流采样电路

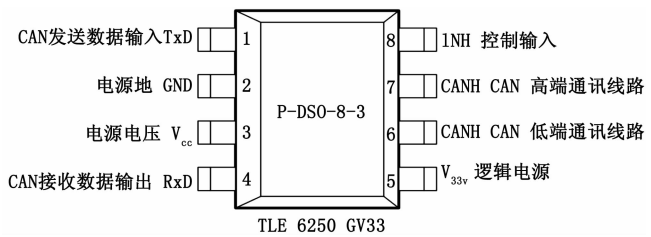


图 6 CAN 收发器引脚结构

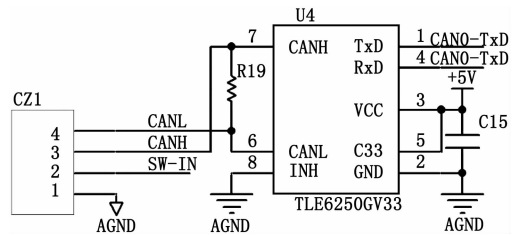


图 7 CAN 通信电路

XC2234L 内部 MultiCAN 控制器通过引脚 CAN0-TxD 和 CAN0-RxD 与 CAN 收发器连接，进行数据收发的传输。在 TLE6250GV33 的 +5 V 供电电压设计 C15 的电容，是为了滤除电源的尖峰干扰，同时增加电源稳定性。

4 系统软件设计

软件主要包括温度采样子程序、CAN 模块软件设计和上位机监控端程序等。

4.1 温度采样子程序

首先使用 Dave 对 XC2234L 微处理器进行 IIC 配置, XC2234L 内部含有 2 个 USIC 模块, 通过配置 USIC1 来配置 USIC 使用的协议, 选择通道 CH0 (U1C0) 配置为使用 IIC 协议, 主控模式, SCL 引脚为 P10.8, SDA 引脚为 P10.13, 波特率设置为 100KBand, 地址模式为 10 位。在 Functions 中选择函数 “U1C0_IIC_vWriteData”、“U1C0_IIC_uwReadData”、“U1C0_IIC_uwGetStatus”、“U1C0_IIC_vResetStatus”、“U1C0_IIC_vEnableACK”、“U1C0_IIC_vDisableACK”。AD7416 的内部功能框图如图 8 所示。

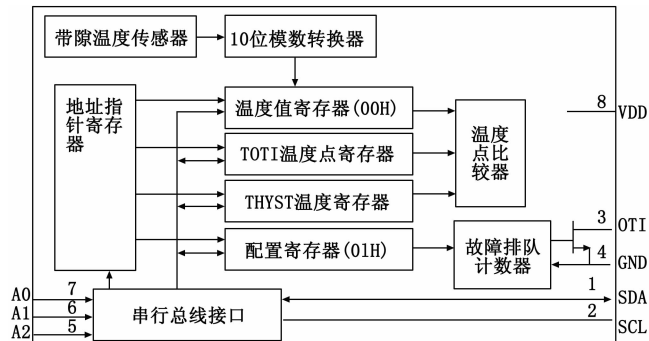


图 8 AD7416 的内部功能框图

通过 IIC 接口对 AD7416 的内部寄存器进行读写操作, AD7416 的片内带隙温度传感器可按预先设置的工作方式对 MOS 管温度进行实时测量。首先在配置寄存器中预先设置工作方式 D0 为自动测温, 每隔 400 μ s 对温度测量一次。再根据 AD7416 芯片手册提供的温度与输出数据的转化关系, 将模拟量转化为数字量存到温度值寄存器中, 在数据传输时, AD7416 作为从器件通过 SDA 和 SCL 两条线与总线相连, 当 SCL 保持高电平时, SDA 从高电平到低电平的沿跳变为开始信号, 之后传输地址信息读写控制位, 数据格式为 1001A2A1A0R/W^[6]。1001 是它的特征位, A2A1A0 是 3 位地址码, 读写控制位 R/W 为 0 时表示“写”, 1 表示“读”。当主器件发送写指令 1001A2A1A00, 由函数 “U1C0_IIC_vWriteData (uword uwTDF, uword uwData)” 完成写数据操作, 写到地址指针寄存器, 当每个字节传送结束时, 必须在收到接收数据一方的确认信号 ACK 后方可开始下一步的操作, 所以当主器件接收到确认信号 ACK 后, 就可以发出待写数据到总线。当主器件发送读指令 1001A2A1A01, 收到 ACK 后, 产生读时钟 SCL, 由函数 “U1C0_IIC_uwReadData (void)” 完成字节读操作。最后, 当 SCL 保持高电平, SDA 从低电平跳变到高电平时将终止数据的传输。

4.2 CAN 模块软件设计

CAN 模块设计是整个软件设计的基础。CAN 通讯模块包括 CAN 初始化程序、报文接收程序和报文发送程序。其中初始化需要在复位的模式下进行, 主要是对控制器工作方式、验收屏蔽寄存器、验收滤波方式、波特率参数、验收代码寄存器和中断允许寄存器等设置, 这一过程在

Dave 中配置好微处理器的收发引脚时自动完成; CAN 总线收发程序包含总线接收函数与消息发送函数, 用到的函数包括 “CAN_vGetMsgObj”、“CAN_vTransmit”、“CAN_vLoadData” 以及 “CAN_vReleaseObj”。CAN 通信流程如图 9 所示。

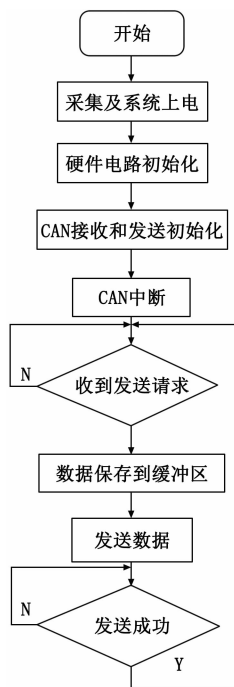


图 9 CAN 通信流程图

待初始化完成后, 主程序进入循环状态, 随时检测总线发送的数据, 并通过中断进行消息的接收和分辨等, 然后再通过 CAN_vTransmit 发送函数将数据缓冲区的数据以设计好的 CAN 报文形式发送至 PC 端上位机监测软件。其中图 10 是上位机主窗口界面, 图 11 是现场测试图。

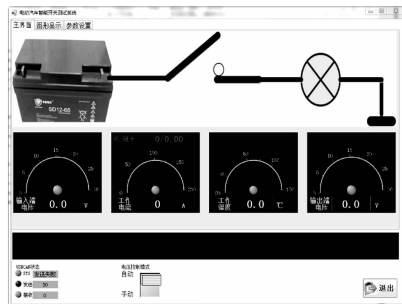


图 10 上位机主窗口界面

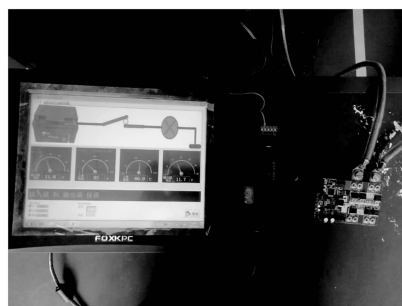


图 11 现场测试图

电子继电器通过汽车线束接插件、USB-CAN 接口卡与上位机进行通信。电子继电器通电之后，通过 CAN 总线发送报文，当输入端电压过高时，电子继电器可以自动断开输入和输出的通断状态并在上位机端进行实时监测显示。当检测到温度超过一定值时，电子继电器能够进行热关断，起到保护 MOS 管的作用。实时检测继电器的外部供电电压、负载电流、板内 MOS 管温度以及负载输出端电压。并可通过参数设置来设置继电器电压、电流与温度的安全范围，将数据固化到微处理器中，以此监测和保护电子继电器。

5 实验结果与分析

表 1 是经大量实验测试得出的结果，输入电压范围为 9~20 V，所加负载电流范围在 100~200 A，每一阶段测试时间大约为 30 min。利用红外测温枪分别测试不同负载不同时间下 6 个 MOS 管的温度，由于考虑到成本因素，在焊接元器件时只焊接了 6 个 MOS 管进行实验。由于功率 MOS 管不是理想器件，所以在实际使用过程中，其导通及关断时间并不是一样的，由数据结果可以看出温度分布也有一定的差异。随着负载电流的逐渐增加，MOS 管的功耗以及温度也在不断增加，当负载电流达到 200 A 时，由于在程序中设置的过温保护上限为 90 度，电子继电器能够及时的进行热关断，并且 CAN 报文数据收发准确、MOS 管温度控制在合理范围内，且能稳定控制 200 A 的负载。若是按照电路图设计的 8 个 MOS 管来对负载进行接通和分断，则预计实验效果会更加可观，每个 MOS 管中的工作电流大小会降低，损耗也会降低，测得的温度值也会更低。同时由实验结果可知，由于 MOS 管这样的大功率器件高密度地集成在一块 PCB 板上，当 MOS 管的工作温度超过最高结温（降额使用限于 125 ℃）时，其性能会显著下降，甚至失效，所以 PCB 板的散热问题仍然是下一步研究的重点。部分实验测试结果如表 1 所示。

6 结束语

本文选用 Infineon 公司的 XC2234L 芯片设计开发了基于 CAN 总线技术、利用 MOS 管的大功率驱动功能的电子继电器。通过大量实验进行软硬件联调以及现场实际测试验证了该电子继电器的功能和稳定性。它既保留了常规固态继电器使用寿命长、可靠性好以及灵敏度高长处，又具

表 1 实验测试结果

负载电流 /A	实验时间 /min	Q1/℃	Q2/℃	Q3/℃	Q4/℃	Q5/℃	Q6/℃	上位机显示温度(℃)
120	1	37.2	37.2	34.2	35.6	34.4	33.6	36
	5	40.6	39.6	30.6	35.6	37.6	36.4	39.5
	10	41.8	44.6	42	42.2	42	38.6	42.5
	15	45.8	45.4	34.6	40.6	40.6	39.4	43.3
	20	45.8	45.6	36.8	40.4	40	37.4	42.8
160	1	60.8	60.2	47.4	51.6	54.6	48	55.5
	5	60.6	59.6	47.8	52.2	52	50.2	55.8
	10	62.8	62.2	44.8	51.4	52.6	50.8	57.5
	15	63.4	62.6	47.6	53.6	53.2	50.2	57.3
200	1	57.6	61.6	44.8	48.6	50	47.8	65
	5	78.6	74.8	75.8	60	82	81.6	76.5
	10	87	87.2	63	65.8	86.6	87.6	82.5
	15	88.2	88.1	75.8	70.2	90	90.8	84.5
	20	89.2	89.6	78	73	90.8	90.6	84.3

有传统电磁继电器导电阻低、输出线性好的优点，从而开拓了基于 MOS 管固态继电器应用的新领域^[7]。将电子继电器作为汽车电气系统的负载开关，能够克服传统电磁式继电器在通过大电流时产生的电火花、电弧干扰以及整车机械振动带来的触点误动等各种不足，可靠地保护汽车负载系统和监测负载参数，具有很好的市场应用前景。

参考文献:

[1] <https://wenku.baidu.com/view/754fafac590216fc700abb68a98271fe900eaf34>, [EB/OL].

[2] 陈捷彬. 6kW DC/DC 变换器热分析及散热结构优化 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.

[3] 诸晓强. 基于 CAN 总线的车身控制系统的设计与实现 [D]. 上海交通大学, 2010.

[4] <https://pdf1.alldatasheetcn.com/datasheet-pdf/view/48207/AD/AD7416.html>, [EB/OL].

[5] 王书举. 车辆控制系统局域网络 (CAN) 调度策略研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2011.

[6] 马立明, 任杰, 马怀祥. 10 位数字温度传感器 AD7416 应用设计 [J]. 现代机械, 2003 (3): 94-96.

[7] 赵鲁建. MOS 管继电器应用探讨 [J]. 汽车电器, 2007 (9): 12-13.

[8] 苏州: 苏州大学, 2011.

[10] 雷卫延, 敖振浪, 周钦强. 基于 STM32 的在应用编程 (IAP) 开发 [J]. 电子测量技术, 2015, 38 (5): 62-66.

[11] 雷卫延, 黄飞龙, 吕玉嫦. 基于 Ymodem 协议的远程升级系统开发 [J]. 广东气象, 2017, 39 (2): 78-80.

[12] 吕玉嫦, 黄海玉莹, 黄飞龙. 新型自动气象站与 II 型自动气象站的对比分析 [J]. 广东气象, 2018, 5: 68-72.

(上接第 169 页)

[6] 张萌. 基于 ISP/IAP 和 CAN 总线的远程升级系统研制 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.

[7] 陈艳, 刘宏立, 刘述钢. 一种电力线载波路由远程升级方法 [J]. 计算机科学, 2013, 40 (10): 87-91.

[8] 唐湘, 孙益强, 秦霆翰. 酒店客房控制系统固件远程升级的设计与实现 [J]. 仪表技术, 2015, 1: 35-38.

[9] 常赛. 基于专用物联网的远程更新技术研究与应用 [D].