

doi: 10.7690/bgzdh.2023.12.007

基于国产化芯片替代的 CAN 总线优化应用

赵苓伶¹, 喻月欣¹, 唐静²

(1. 西南计算机有限责任公司技术中心, 重庆 400060; 2. 重庆星网通信工程有限公司总工办, 重庆 401121)

摘要: 针对国产化 CPU 芯片替代问题, 结合 CAN 通信的技术要求, 进行国产化芯片替代方案设计, 开展芯片通用性的硬件、软件改进方案实施和性能测试。应用结果表明, 该设计验证了选用的国产芯片的可替代性和 CAN 总线优化的正确性。

关键词: 国产化芯片替代; 匹配阻抗; CAN 总线优化

中图分类号: TP36 **文献标志码:** A

Optimization and Application of CAN Bus Based on Domestic Chip Substitution

Zhao Lingling¹, Yu Yuexin¹, Tang Jing²

(1. Technique Center, Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing 400060, China;

2. Chief Engineer Office, Chongqing Star Network Communication Engineering Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

Abstract: Aiming at the problem of domestic CPU chip substitution, combined with the technical requirements of CAN communication, the domestic chip substitution scheme is designed, and the implementation and performance test of the hardware and software improvement scheme of chip universality are carried out. The application results show that the design verifies the substitutability of the selected domestic chips and the correctness of CAN bus optimization.

Keywords: domestic chip substitution; matching impedance; CAN bus optimization

0 引言

随着经济发展, 智能化逐步融入各行各业。我国对芯片需求增大, 但长期被国外半导体行业巨头所限制。供需关系的失衡, 国外的打压, 我国芯片基础的薄弱, 人才引导和关键技术与国外的差距, 这些目前面临的芯片问题, 对我国半导体的发展带来了负面影响。因此, 发展我国自己的芯片、加速国产化芯片替代是推动 5G、人工智能、工业互联网、物联网、数据等新型基础建设的必由之路。

STM32 芯片是意法半导体公司开发的 32 位微控制器, 具有高性能、低成本等特点, 经过多年的推广应用, 已广泛占领全球半导体市场, 是如今 32 位控制器中的闪耀之星。近几年来, 兆易创新公司开发的国产 32 位 MCU, GD32 芯片, 与 STM32 芯片相比, 其 CPU 主频更高、内存更大、外设更丰富, 已成为 STM32 芯片在市场上的有力竞争者。

针对进口 STM32 芯片缺货、断货而受到制约的现状^[1], 提出 GD32 芯片替代 STM32 的解决方案; 同时, 针对多型 CAN 通信终端应用进行 CAN 总线优化, 搭建支持多型(国产自研与进口设备并存)终端共同入 CAN 总线网络的环境, 并通过组网测试

和压力测试验证此解决方案的可行性与正确性。

1 技术特点

受 STM32 芯片缺货、断货的被动局面影响, CAN 通信终端研发进度受阻。为确保研发工作进展顺利, 选用功能接近的、芯片供货稳妥的国产 GD32 芯片作替代。设计提供一款具有稳定 CAN 通信网络环境, 集研发采集、控制于一体的国产自研 A 类和 B 类终端, 与进口 C 类终端共同受控于主计算机, 采用一点对多点的通信模式, 满足多型终端与主计算机数据交互、实时反应。从核心芯片、基础软硬件、整机设备到全网络系统, 至下而上地利用芯片移植技术、CAN 通信技术、线缆设计与制造技术, 推进国产化芯片的替代进程, 提升多型终端入网后的通信适配度, 确保 CAN 通信网络的运行稳定, 实现自主可控的全国产化设计。

设计方案具有国产化芯片的替代、多型终端入网后的通信适配、CAN 总线优化 3 个技术特点。

1.1 国产化芯片的替代分析

现有 GD32 芯片产品中, GD32F10x 系列是中国首类 Cortex™-M3 MCU, 具有比 STM32F10x 系

列 CPU 主频更高、内存更大、外设更丰富、价格更便宜的优势, 并且 GD32F10x 与 STM32F10x 芯片在引脚、寄存器及开发环境方面的共同点是 GD32F10x 替代 STM32F10x 的技术基础, 只需对 GD32F10x 做小幅修改, 即可实现 GD32F10x 对 STM32F10x 的替代。

1) 外围引脚兼容。2 种芯片都有相同的封装和引脚数量, 多可达 144 pin, 少可至 36 pin, 每个引脚上的功能定义也完全一致, 在选用引脚数量相同的前提下, 2 种芯片可以互换^[2]。

2) 2 种芯片内部寄存器默认偏移地址大致相同, 与 STM32 存在差异的某些外设, 如 ADC, 可在软件上修改其相应偏移地址, 使其功能得到实现。

3) GD32 开发环境也可使用通用型的 IDE, 即可在对 STM32 的开发环境上对 Cortex-M Target Driver Setup 的规划算法等进行相应的修改。

1.2 多型终端入网后的通信适配

为保证稳定的通信, 提供精准时钟是前提。在 CAN 网络中调整 sample 点, 让每个节点都能对每个位点正确采样, 使每个节点的时钟容差能正确接收和解码每个传输的消息, 才能有效提高 CAN 网络通信的成功率^[3-4]。

1) 精准时钟。

通常选用内部时钟作为 RTC 时钟源, 用于建立内部时间基准。单一终端在时钟源的精准上体现得不明显, 数据收发正常, 但在多型终端同时入网的情况下(国产自研与进口设备并存), 会导致出现时钟偏差。为解决这一问题, 利用 GD32 较 STM32 有更高的主频、对晶振选型的范围更宽、硬件布板更灵活的特点, 引入精度较高的晶体振荡器作为时钟源, 稳定网络的时钟。

2) sample 点适配。

多型终端同时入网时, 国产自研与进口终端的 CAN 配置可能存在不同的 sample 点, 会导致网内一个或多个非法位出现, 引起测试软件提示 form error 错误。为解决这一问题, 采用定位遍历的方法, 在多型终端组网中, 找到进口终端的 sample 点, 修改国产自研终端适配进口终端的 sample 点, 实现全网的 sample 点设置统一。

1.3 CAN 总线优化

多型终端同时入网, 可能存在国产自研与进口终端在 CAN 总线上的阻抗不匹配情况, 导致进口终端入网 T 时间后离线。为解决这一问题, 通过在

一个节点上增加测试软件代码, 深入 CPU 寄存器, 对总线上的发送错误计数器(transmit error counter, TEC)等数据进行监控, 根据监控数据涨幅分析, 采用最佳匹配阻抗的算法计算最佳阻抗值, 调整 CAN 总线终端电阻, 进行 CAN 总线优化, 实现网内 CAN 总线阻抗匹配。

2 解决方案

针对国产化芯片替代、多型终端组网、提供稳定的 CAN 通信网络环境的需求, 从芯片移植、组网规划、CAN 总线的布置 3 个主要方面提出具体的解决方案。

2.1 芯片移植

2.1.1 硬件修改

1) GD32 芯片的 BOOT0 引脚接地。BOOT0 为 0, 表示引导源选择主 FLASH 存储器, 即主存被选为启动区域。若处于浮空状态, 会导致烧录不正常从而影响启动。

2) 布设 RC 复位电路, 确保 MCU 正常工作。

3) 降低 SWD 的通讯速率, 匹配 GD32 芯片的 SWD 接口驱动能力。

2.1.2 软件修改

1) GD32 芯片对时序要求严格, 在配置外设之前需先打开时钟, 即在 startup_stm32f10x_hd.s 启动文件中首先进入 SystemInit() 函数配置 SetSysClock(), 否则可能导致外设无法配置成功。

2) GD32 芯片主频比 STM32 芯片主频要高, GD32 芯片启动时间较 STM32 芯片更短, 所以要修改外部晶振起振超时时间, stm32f10x.h 头文件中, 将 HSE_STARTUP_TIMEOUT 值修改为 0xffff。

3) 内部 Flash 芯片设置读保护: GD32 芯片的 flash 擦除时间要比 STM32 芯片更长, 所以在写完 KEY 序列以后, 需要插入 2 个 NOP(), 分别在 ST 库中, 将 FLASH_EraseOptionBytes(void)、FLASH_ProgramOptionByteData(uint32_tAddress, uint8_tData)等 4 个函数修改。

4) 寄存器地址与 ST 库稍有区别, 若在使用某些寄存器时, 可能出现寄存器地址不准确而导致该寄存器不受控的现象, 可根据用户手册, 在 stm32f10x.h 中进行核对、修改, 保持一致。

2.2 组网规划

在 CAN 通信网络环境中, 将国产自研的 A、B

类终端与能设置传输速率的进口 C 类终端规划入网，其简要的组网如图 1 所示。

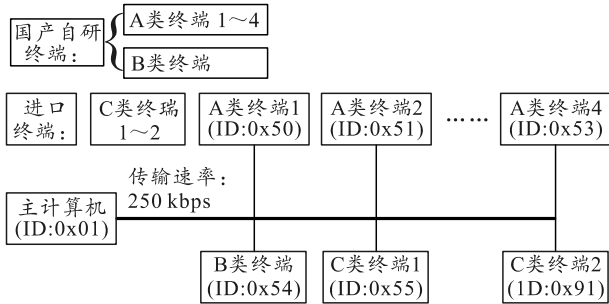


图 1 CAN 总线上终端通信的组网

为满足组网规划的通信可靠要求，要统一网络时间基准，精准时钟，硬件方面根据封装选型，添加 8 MHz 的晶振。软件方面修改 system_stm32f10x.c 文件，使用外部时钟倍频到 72 MHz：

```
static void SetSysClockTo72(void)
{
    ...
    //PLL config: PLLCLK=HSE*9=72 MHz
    RCC->CFGR|=(uint32_t)(RCC_CFGR_PLLSRC
_HSE | RCC_CFGR_PLLMULL9);
}
```

经国产自研终端与进口终端共同入网后的带宽占用测试结果分析得出：传输速率为 250 kbps 时，可能出现数据传输掉包现象；传输速率为 1 Mbps 时，数据传输稳定。为满足高速实时传输的要求，扩大带宽，将传输速率设计为 1 Mbps，以保证数据的稳定可靠传输。

2.3 CAN 总线的布置

要将图 1 中的终端按需求全部入网，采用星型拓扑结构。该结构特点是控制简单，任一节点只需与中央节点连接，易于网络监控和管理；故障诊断与隔离容易，单个节点故障只会影响一个设备，不会影响全网络^[5-6]。总线线缆设计如图 2 所示。

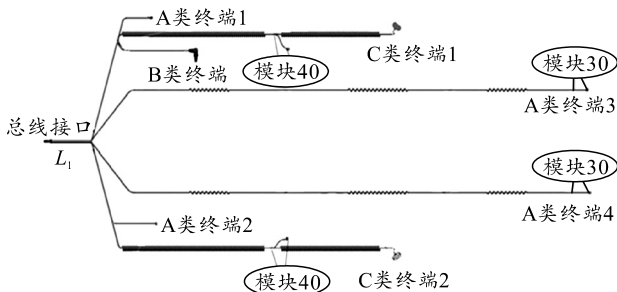


图 2 总线线缆

同时，考虑位置部署要求，设计不等长的星型拓扑结构，为稳定网内通信，需要调整终端电阻。

终端电阻对总线有 2 个重要作用：

1) 提高抗干扰能力，确保总线快速进入隐性状态；

2) 提高信号质量，让反射能量降低。

等长星形连接， $R=N \times 60 \Omega$ ，式中： R 为每个分支终端电阻； N 为分支数量^[7]。而图 2 有 4 根分支，且不等长，若将每个分支看作是一个终端，终端电阻为 240Ω ，不能满足组网环境要求，采用等效电路分析和差分信号分析进行分支终端电阻计算^[8-9]：

R_T 为终端电阻，发送分支的输出电压 V_{out} ，接收分支的输入电压 V_{in} ，接收分支的输入电阻 R_{in} ，阈值电压 V_{th} 。

总线线缆电阻 $R_w = \rho L$ ，其中： ρ 为电阻率； L 为线缆长度。线缆越长，其终端电阻就更大。为接收分支能正确检测到显性位， V_{in} 得大于 V_{th} 。

$$V_{in} = V_{out} / (4R_w (1/R_T + 1/R_{in}) + 0.75) \geq V_{th}; \quad (1)$$

演算得出：

$$R_T \geq 5R_w. \quad (2)$$

CAN 信号做双绞处理，由最佳匹配阻抗的算法式(2)算出，在 4 根主分支的最远终端处 CAN-H、CAN-L 信号线间加匹配电阻 300Ω ，即图 2 中模块 30、模块 40 各加 300Ω 。

当进口终端入网 T 时间后离线时，通过在一个节点上增加以下测试软件代码，对总线上的 TEC 等数据进行监控。

```
void Read_CAN_ESR(void);
#define BASE_LEC(u8
*)(0x40000000+0x6400+0x18) //CAN_LEC
#define BASE_T (u8
*)(0x40000000+0x6400+0x18+0x02) //CAN_TEC
#define BASE_R (u8
*)(0x40000000+0x6400+0x18+0x03) //CAN_REC
```

根据监控数据涨幅分析来调整对应终端电阻，从而优化 CAN 总线。

此种 CAN 总线的星型拓扑结构，简化了传统 CAN 总线的布网，降低布线成本和布线难度，可实现 CAN 总线多节点复杂布网时稳定通信。

3 应用实例

搭建国产自研与进口的多型终端共同通过 CAN 总线组网的环境，针对技术要求进行点对点、组网、压力测试和分析，验证解决方案的可行性和合理性。

3.1 测试

1) 点对点测试。

主计算机向 A 类终端 1 发送 10 000 帧,发送间隔为 1 帧/s,并收到 A 类终端 1 应答的 10 000 帧,发送耗时: 10 000 s,传输正确率为 100%,从而验证国产化芯片替代方法的可行性。

2) 组网测试。

以图 2 CAN 总线布置组网,主计算机向所有终端发数(1 对 7),根据不同协议,同时发 2 组数,每组发 10 000 帧,即主计算机共发 20 000 帧,每个终端识别属于自己的报文后向主计算机应答 10 000

帧,主计算机实收 70 000 帧,传输正确率为 100%,从而验证多型终端入网后的通信已适配。

3) 压力测试。

在组网测试的基础上,通过对发送帧数量加大、发送间隔时间缩短来进行压力测试。

发送间隔由实际的 1 帧/s,大幅压缩成 1 帧/ms,每组发 X 帧,即主计算机共发 $2X$ 帧,每个终端向主计算机应答 X 帧,主计算机应收 $7X$ 帧。压力测试数据如表 1 所示。压力测试结果如表 2 所示。

表 1 压力测试数据

方向	帧格式	帧类型	帧 ID	数据长度	发送间隔/ms	帧数
发送	数据帧	标准帧	0x00000001	0x06	1	10 000
发送	数据帧	标准帧	0x00000001	0x08	1	10 000
接收	数据帧	标准帧	0x00000050	0x08	--	10 000
接收	数据帧	标准帧	0x00000051	0x08	--	10 000
接收	数据帧	标准帧	0x00000052	0x08	--	10 000
接收	数据帧	标准帧	0x00000053	0x08	--	10 000
接收	数据帧	标准帧	0x00000054	0x05	--	10 000
接收	数据帧	标准帧	0x00000055	0x08	--	10 000
接收	数据帧	标准帧	0x00000091	0x08	--	10 000

发送帧数: 80 000, 接收帧数: 280 000, 每组发送 20 000 帧到收回 70 000 帧所耗时间约为 312 049 ms, 一共发送 4 组

表 2 压力测试结果

序号	发帧数	收帧数	测试结果		
			发送帧数	接收帧数	发送耗时/ms
1	10 000	350 000	100 000	350 000	1 560 165
2	120 000	420 000	120 000	420 000	1 872 199
3	160 000	560 000	160 000	560 000	2 496 265
4	200 000	700 000	200 000	700 000	3 120 269
5	240 000	840 000	240 000	840 000	3 744 273
6	300 000	1 050 000	300 000	1 050 000	4 680 324

压力测试的传输正确率为 100%。

CAN 总线优化后,组网测试和压力测试的通信稳定、可靠,证明此 CAN 总线优化的正确性。

3.2 优化 CAN 总线前后对比分析

接 2 个进口终端时, T 时间后, TEC 溢出从而进入离线状态。只接一个进口终端时, TEC 时增时减, T 时间, 甚至 $2T$ 、 $3T$ 时间后, TEC 未溢出, 终端未离线。

根据监控 TEC 数据的涨幅和参照设计的式(2), 来调节图 2 中模块 40 的线缆阻抗。总线优化前后对比如表 3 所示。表中 Err 表示错误量, Msg 表示数据传输量。

表 3 总线优化前后对比

序号	CAN 总线状态	测试结果		
1	优化前	Err:46,558	Ovr:0	Msg:1,795,084
2	优化后	Err:0	Ovr:0	Msg:1,100,008

实测数据证明, 通过监控数据涨幅和算法来获

得匹配阻抗, 优化 CAN 总线, 消除错误, 不会使终端进入离线状态, 能够确保终端的正常工作, 保障通信的稳定。

4 结论

笔者通过对国产化芯片替代和对 CAN 总线优化的方案设计和实验分析, 验证了方案的可行性与正确性。同时也为 CAN 通信网络的设计提供实践参考。GD32 芯片较 STM32 芯片而言, 性价比更高, 货源、价格受国内主导, 能够满足当前 32 位 MCU 芯片国产化要求, 增强国产化芯片研发的信心, 推动技术难题的突破, 加快在通信、工业等领域的国产化替代。

参考文献:

[1] 刘福祿. 浅谈国产芯片推广存在的问题[J]. 现代电信科技, 2020(7).
 [2] STMicroelectronics. STM32 Reference Manual Rev 10[Z/OL]. <http://www.st.com/stonline/products/>. 2009, 12.

- [3] GigaDevice Semiconductor Inc. GD32 系列微控制器入门开发指南 V1.0[Z/OL]. <http://www.gd32mcu.com/>. 2019, 10.
- [4] GigaDevice Semiconductor Inc. GD32F10x_User_Manual_CN_V2.3[Z]. <http://www.gd32mcu.com/>. 2020, 3.
- [5] 束秋霞, 王直, 王益山. CAN 总线分布式系统在医疗仪器中的设计与实现[J]. 信息技术, 2018, 42(10): 112-114, 119.

- [6] 高燕. CAN 总线在汽车中的应用分析[J]. 科技传播, 2016(5): 117-118.
- [7] 张强松, 郭贝贝. 基于 CAN 总线的电缆布线方法与终端电阻匹配[J]. 数字技术与应用, 2017(12): 37-38.
- [8] 管昊, 陈永冰, 周岗, 等. CAN 通信终端电阻匹配试验研究[J]. 舰船电子工程, 2019, 39(6): 71-75.
- [9] ZLG 致远电子. CAN 总线冷知识——边沿台阶是怎么来的[J]. 电子产品世界, 2019(4).

(上接第 5 页)

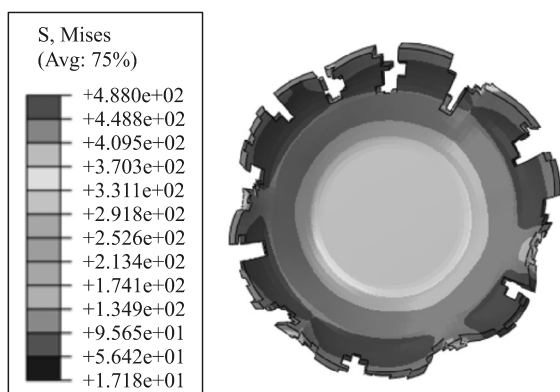


图 19 弹壳仿真应力云图

由上图可知, 弹壳底部所受应力超过材料的强度极限断裂, 断裂弹壳前端所受应力较大, 随之逐渐减小。弹壳破裂的情况与试验结果较为吻合, 证明了所建仿真的正确性。

5 结束语

外能源自动机不可避免的会发生迟发火故障, 造成一定的破坏, 因此采用合理且有效的方式对迟发火故障进行损伤诊断是十分有必要的, 进一步对损伤结果进行结构性改进。

迟发火故障对外能源自动机产生危害, 损伤主要出现在弹壳底部及闭锁齿处。明确循环图与内弹道的匹配关系, 开锁后发生迟发火故障, 不同迟发火延迟下, 闭锁齿配合度不同, 自动机的损伤不同。配合度为 70% 时出现损伤, 以 20% 为间隔分别分析弹壳与闭锁齿损伤情况。

与试验结果进行对比, 验证了仿真的可靠性,

并为迟发火保险结构的设计提供了依据, 迟发火故障时身管无法顺利后坐, 保险机构对自动机进行制动, 避免产生更大危害。

参考文献:

- [1] 梅康, 罗定, 王茂森, 等. 迟发火对某内能源自动机动态特性的影响分析[J]. 兵工自动化, 2022, 41(1): 11-17, 29.
- [2] 戴劲松, 王茂森, 苏晓鹏, 等. 现代火炮自动机设计理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2018: 18-20.
- [3] 张海洋. 某转管炮药筒破裂故障原因分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2019, 40(3): 84-89.
- [4] 李涌, 吴宝双. 协同仿真技术某转管武器炮闩小闭锁齿疲劳寿命预测[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(12): 141-144.
- [5] 杨雕, 刘源远, 黄少保, 等. 冲击载荷下身管延伸体改进设计及疲劳寿命研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2020, 41(1): 84-88.
- [6] 付帅, 顾克秋, 张俊飞. 某火炮炮闩机构动态特性有限元分析[J]. 机械科学与技术, 2015, 34(3): 361-365.
- [7] 原平. 某药筒有序回收外能源转管自动机动力学特性分析[D]. 南京: 南京理工大学, 2020.
- [8] 田爽, 陈萍. 炮闩机构的力学模型与闭锁条件[J]. 机械工程师, 2021(9): 14-16.
- [9] 倪路瑶, 朱永梅, 付彩越. 炮闩抽壳机构抽壳过程和抽壳力分析[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2018, 32(1): 67-71.
- [10] 刘杭. 速射武器炮闩裂纹损伤分析与仿真研究[D]. 太原: 中北大学, 2016.
- [11] 赵森森, 方峻. 某自动步枪闭锁机构强度寿命分析[J]. 兵工自动化, 2019, 38(1): 6-10.