

CAN 通信电路的干扰分析与抗干扰措施

尤程瑶 孙培德

(东华大学信息科学与技术学院 上海 201620)

摘要: CAN 总线主要被应用于工业控制领域的通信,针对工业中 CAN 通信存在的电磁干扰现象,分析了造成其通信干扰的主要原因。工业现场由于电路不平衡性、空间电磁场、电网进线等因素的存在,会导致 CAN 总线因辐射干扰而产生共模噪声,影响数据通信质量。根据 EMC 标准规范,从物理屏蔽、电路滤波以及硬件设计等角度对共模干扰抑制提出了相应解决措施。并以实际工程为例,通过 MATLAB 电路仿真,从对噪声电压的抑制效果和是否对正常信号通信造成影响两方面,验证了共模电感滤波电路方案对抑制 CAN 通信干扰的可行性。

关键词: CAN 通信;共模干扰;干扰抑制;EMC

中图分类号: TN97 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.40

Interference analysis and the anti-interference methods of CAN communication circuit

You Chengyao Sun Peide

(Information Science and Technology Department, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: CAN bus is mainly applied in the industrial-control field for data communication, aimed at the phenomenon of EMI in CAN communication, this paper analyzes the main cause of its interference. Because of the unbalanced circuit, space electromagnetic field and the power grid, CAN bus will be interfered by radiated interference and cause common-mode noise, affecting the quality of data communication. According to the EMC standards, the paper puts forward several solutions from different sides on the basis of physical shielding, circuit filtering and hardware design. Taking the actual project as an example, the paper uses MATLAB simulation to verify the feasibility of the method from two aspects of the inhibition effect of noise voltage and the affect to normal signal communication.

Keywords: CAN communication; common-mode interference; interference restrain; EMC

0 引言

CAN 通信是目前工业和汽车领域用的比较多的一种通信方式,是基于控制器局域网总线控制的一项通信总线技术,具有通信速度快,传输距离远,可靠性高等优点^[1]。当前国际上 CAN 总线技术主要还是应用在工业环境和车载设备之上,生产环境相对嘈杂,存在诸多干扰因素,对 CAN 通信过程中的信号传输可靠性和准确性有很大影响。

本文旨在研究 CAN 通信系统在实际应用中遇到的 EMI 问题及 EMC 规范下相对应的抗干扰措施,并在 MATLAB 中通过电路仿真对所得结论进行验证,表明了共模电感滤波电路对 CAN 通信的共模干扰有很好的抑制作用,为提高 CAN 通信系统在实际应用领域的通信性能提供了参考。

1 CAN 通信系统干扰

1.1 CAN 通信基本原理

不同于以往那些通过时钟信号来进行同步的通信方式,CAN 通信由 CAN_High 与 CAN_Low 两条信号线,共同组成一组差分信号实现数据传输。设备多节点挂靠于 CAN 总线之上,当设备有信号发出时,CAN_High 和 CAN_Low 信号线上电平分别置 3.5 V 和 1.5 V,存在电压降,信号线通过两端 120 Ω 的终端电阻构成回路,实现数据传输;设备无信号发出时,两条信号线电压均为 2.5 V,线间不存在电压降,总线处于闲置状态,CAN 总线框图及工作电平如图 1、2 所示。

在工业环境下,各控制器之间利用 CAN 总线实现数据传输和信息通信,除了考虑理想状态下的技术原理,往往容易忽略复杂的工业现场环境会对数据在总线上传输产生

的干扰,从而破坏数据的准确性^[2]。工业环境中的EMI电磁干扰复杂多样,其中对CAN通信质量影响最大的便是共模干扰。

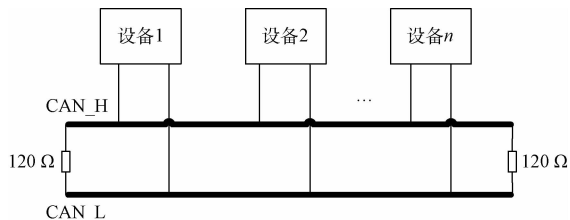


图1 CAN总线框图

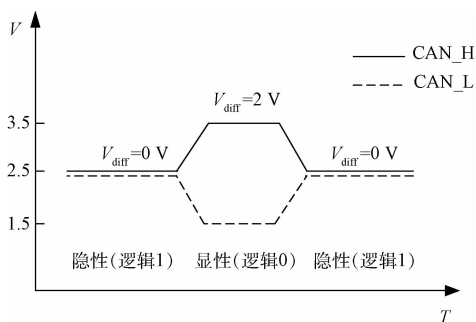


图2 双绞线CAN总线电平

1.2 干扰原因

共模电压是两条差分信号线分别与大地之间的电势差,对传输线而言同时存在,信号线上传输的有效信号电压和回路中的有效电流并不会因为共模电压的存在而发生变化^[3],理论上系统的正常工作也不会被影响;而差模干扰电压在信号传输过程中,会对回路中的差分电流造成影响,导致信号传输受干扰,使其成为引起信号传输故障的根本原因^[4]。正因为如此,在抗干扰方案设计过程中,我们通常会将通信电路工程环境理想化,重点考虑如何滤除差模干扰,而忽略共模干扰。但在实际应用中,共模干扰并不能被忽略,反而应该引起足够的重视,主要原因如下。

1) 电路具有不对称性,会存在不平衡现象,两条信号线上即使有相同的共模电压,但相同共模电压产生的共模电流并不相同,从而转换成会对通信造成干扰的差模电压及电流^[5]。

2) 共模电流的存在会令周边设备受到辐射干扰,而在工业中,辐射干扰是影响设备性能的关键因素之一,所以对设备造成的影响不容小觑。一般情况下,差分信号线上产生共模电流的原因如下。

(1) 空间电磁场会对所处空间中的导线产生辐射感应电压,使得所有导线会因此产生一个相对于大地等幅同相的电压,在该感应电压的作用下,导线上会产生电流。

(2) 通信电缆不同节点所连设备的地点位不同,电缆中会因该电位差的驱动产生电流,地电位不同的设备两端之

间,相当于存在一个电压源,各通信电缆均与大地构成通信回路^[6],由于安规电容的存在及差异,导致两条通信电缆中的共模电流不相等,从而影响信号的传输。

(3) 通信电缆与电网进线、大地之间存在电位差,使得电缆上产生共模电流^[7]。电网、信号线与大地之间构成回路,空间中存在的分布电容对电路有分压作用,使得双信号线上共模电压不一致,从而使产生的共模电流对电路形成干扰,影响通信效果和质量。

2 EMC抗干扰措施

为保证设备装置的安全,系统的稳定运行,EMC研究已成为微电子领域的重点关注对象。在当前的工业应用中,主要从屏蔽、滤波、接地等技术角度出发来抑制EMI电磁干扰^[8]。

在实际的工程项目中,以EMC为规范,合理的电路设计、空间布局以及良好的接地系统能增强工程的抗干扰能力和稳定性。但是要想更有效的抑制系统和电缆上的电磁干扰,必须要在设计过程中对局部电路进行有针对性的处理。

2.1 屏蔽与接地

为有效抑制因电磁波的辐射和传导而产生的干扰电流,CAN总线最好使用双屏蔽的双绞线,以减少线间的耦合。因为总线上的干扰电压随频率变化而变化,各电缆线之间的耦合程度越低,干扰电压也较低。由于CAN总线信号传输介质使用的是特性阻抗为120Ω的双绞线,信号传输采用差动发送和差动接收的方式,而CAN系统内两个任意节点之间的最大传输距离与其位速率有关,位速率越快,允许的最大总线长度越短^[9]。因此在实际应用中,需要根据实际情况,考虑现场干扰因素,选择合适的总线长度,使系统工作在最长总线长度之内,减小干扰作用的影响。

2.2 EMI滤波器

在进行干扰抑制时,最常用的办法便是在电路中增加EMI滤波器或滤波电路。CAN通信传输过程中,可在信号线的输入和输出端增加简单的滤波电路。通常的LC滤波电路中,信号线间并联电容能够抑制差模干扰,信号线和大地之间并联电容可抑制共模干扰^[10];电感串联在要滤波的信号线上,同时起到抑制差模和共模干扰的作用。在实际应用中,应根据具体要求选择合适的电容或电感,常见的LC滤波电路如图3所示,信号地与大地间通过1000pF的电容相连,在交流电路中,由于接地电容远大于滤波电容,信号地与大地可等效为同一电势点。

LC滤波电路设计时,可根据公式计算电路的谐振频率,且在调试过程中,可以不断调整参数大小,使谐振频率接近电路的干扰频率,提高滤波性能^[10]。但在CAN通信系统中,有效信号采用差分信号传输,通信频率在100kHz左右,采用图3中的普通LC滤波电路,在滤除共模干扰的

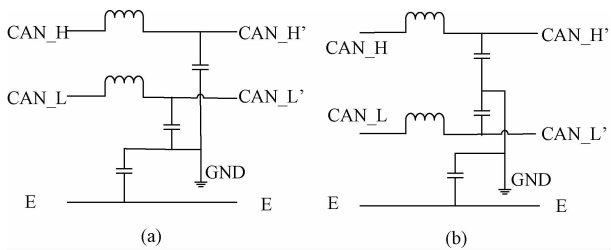


图 3 LC 滤波电路

同时可能会对通信频率造成额外的影响和干扰,因此在设计 CAN 通信的抗干扰电路时,通常使用共模电感来抑制共模干扰,避免了对电路环境二次干扰^[11]。

2.3 共模电感

共模电感,通常用于过滤共模的电磁干扰信号,可以有效抑制因电磁辐射而产生的 EMI 干扰。CAN 通信系统中,常用共模电感抑制设备和系统中的共模噪声干扰^[12],但实质上,共模电感抑制共模干扰的原理与普通 LC 滤波电路相同,只是共模电感的抑制性能相对普通电感更好。

共模电感如图 4 所示,由两个绕在同一铁芯上,匝数相同、相位相同、绕制方向相反的共模电感线圈组成。当有正常工作中的差分电流流过时,线圈中产生的磁场反向且相互抵消,此时共模电感对正常信号电流只起到电阻作用;当有共模电流流过时,两个线圈内产生同向磁场,使线圈感抗增加,呈现出高阻抗特性,加强了阻尼作用的效果,以此衰减共模电流,达到滤波的目的^[13]。

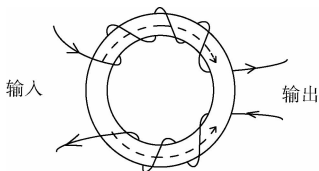


图 4 共模电感结构

对于共模电感而言,在利用其高阻抗特性滤除共模干扰的同时,由于铁芯绕组间的间隙和不完全耦合,共模电感同样会产生漏感,从而形成差模电感。因此,共模电感对差模干扰同样也具有一定的抑制能力,能达到更好的滤波效果。共模电感与电容组成 LC 滤波器,过滤共模噪声,其原理如图 5 所示。

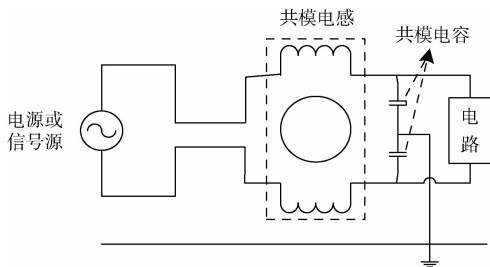


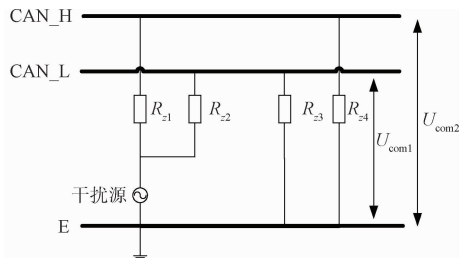
图 5 共模电感滤波电路

2.4 硬件抗干扰

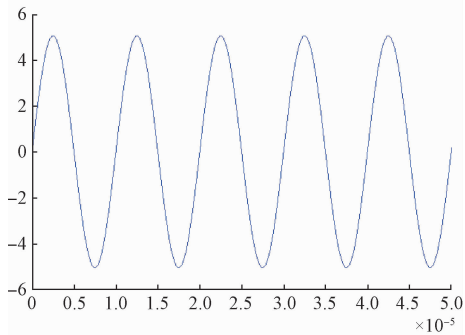
根据电磁兼容试验最新标准 GB/T17626 中的传导骚扰抗扰度试验表明^[14],合理的布局,对关键电路的处理,能有效保护敏感元器件不受电磁干扰的影响,保证设备的稳定性,提高系统的 EMC 和抗干扰能力。因此,CAN 系统在进行抗干扰设计时,除了对通信电缆采取一些有效的抑制方法之外,还可以在硬件电路设计中采取一些抗干扰的措施:如对 CAN 驱动芯片使用隔离电源进行独立供电;在微控制器与 CAN 收发器间实行光耦隔离;在 CAN 总线间加瞬变电压吸收器等^[15],上述方法均能提高 CAN 总线的抗干扰能力。

3 仿真分析

根据 GB/T17626.6 射频场感应的传导骚扰抗扰度实验表明,共模干扰主要针对 9 kHz~80 MHz 频率范围内的电磁骚扰^[15]。在实际工程中,CAN 通信系统的正常工作频率为 100 kHz,共模噪声的干扰频率为 10 MHz 左右,共模电压为 5 V 左右,图 6 所示为共模噪声干扰原理图 6(a)及 Simulink 仿真环境下的共模电压波形图 6(b)。



(a) 共模噪声干扰原理



(b) 滤波前共模干扰波形

图 6 共模干扰 Simulink 仿真

其中, U_{com1} 和 U_{com2} 即为共模干扰电压, $R_{z1} \sim R_{z4}$ 为共模阻抗,通过测量 $U_{diff} = U_{com2} - U_{com1}$ 等效表示共模噪声大小。

在电路设计过程中,为抑制高频噪声干扰,增大共模抑制比,采用共模电感组成的 LC 滤波电路进行共模抑制,由于 CAN 收发器中存在对称的 25 kΩ 上拉电阻,则共模交流滤波电路等效示意图如图 7 所示。

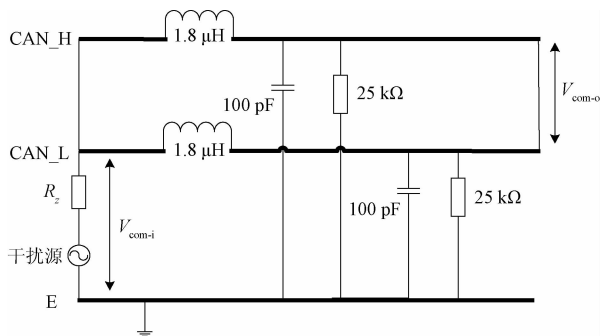


图 7 交流 LC 滤波等效电路

LC 滤波电路中的电容给干扰提供低阻抗的回流路径, 容值选取范围为 22~1 000 pF, 为了兼顾差模信号的失真, 选取典型值 100 pF; 共模电感用于滤除差分线上的共模干扰, 为了兼顾差模信号的失真, 共模阻抗选择范围为 120 Ω/100 MHz ~ 2 200 Ω/100 MHz, 由于本系统的正常工作频率较低, 为了最大限度抑制共模噪声, 故取共模电感的上限 2 200 Ω/100 MHz。电路设计时选用 WCM-3216-222T 型号的共模电感, 根据频率特性曲线可得其在 100 MHz 时共模阻抗为 2 200 Ω, 则共模电感为:

$$L = \frac{R_z}{\omega} = \frac{2200}{2\pi f} = 3.5 \mu\text{H}$$

共模信号的衰减比为:

$$K = \frac{V_{\text{com-o}}}{V_{\text{com-i}}}$$

其传递函数为:

$$G(S) = \frac{\frac{1}{SC} // R}{SL + \frac{1}{SC} // R} = \frac{1}{LCS^2 + \frac{L}{R}S + 1} =$$

$$\frac{1}{7 \times 10^{-16} S^2 + 0.07^{-9} S + 1}$$

传递函数的频率特性如图 8 所示, 从图 8 可看出, 共模噪声在 10 MHz 以上的频率开始以 -40 dB 的趋势衰减, 且随着频率的增大, 衰减效果越显著。同时, 考虑到共模电感在抑制共模噪声时产生的漏感会对差分信号传输产生干扰, 通过 saber 仿真得到如图 9 所示的差模信号交流滤波等效电路波形, 可见尽管有一点衰减振荡, 但并不影响信号

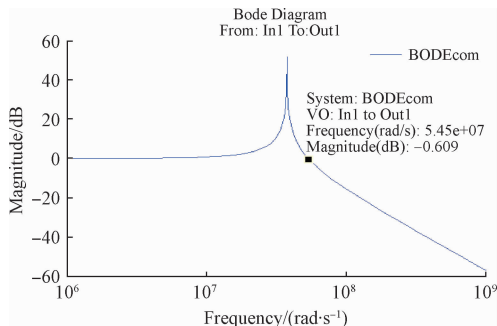


图 8 共模抑制频率特性

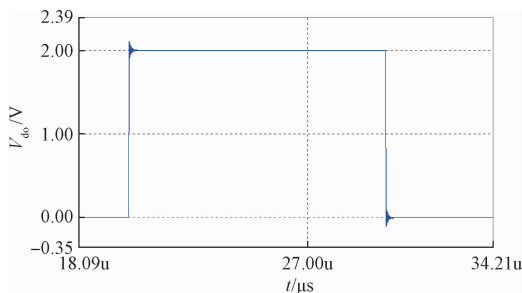


图 9 差模信号交流滤波等效电路波形

的特性, 表明共模电感的漏感对差分信号的传输影响甚微, 基本不会影响差分信号的传输。

共模噪声在增加上述 LC 滤波电路后, 仿真结果如图 10 所示, 共模噪声基本消除, LC 滤波电路滤波效果明显, 有效抑制了 CAN 通信过程中的共模干扰。

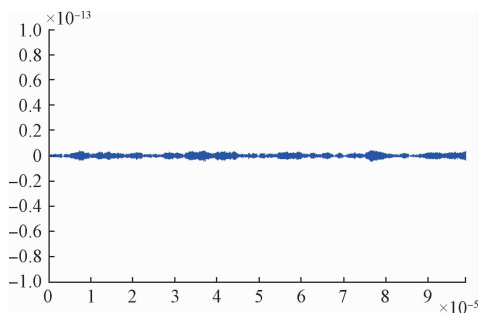


图 10 LC 共模滤波效果

4 结 论

在工业工程领域中, 干扰的来源比较复杂, 而 EMI 电磁干扰一直是影响设备性能、生产效率以及生产质量的主要因素。要想有效抑制工程项目中的差模和共模干扰, 最佳策略便是在项目启动前和设计过程中, 充分考虑可能会遇到的干扰问题, 并及时在系统设计、电路设计及软件设计中采取相应的抗干扰措施来滤除和抑制这些干扰, 而非脱离实际环境, 在设计完成或运行之后进行事后补救。在使用 CAN 总线实现数据通信的工程中, 只有提高 CAN 系统的电磁兼容性, 使其达到抗电磁干扰的要求, 才能提高生产效率, 延长设备使用寿命。

参考文献

- [1] 郑梁, 杨城城. 一种用于工业现场的 CAN-蓝牙数据传输装置[P]. CN105471479A, 2016-04-06.
- [2] 杨福宇. 探讨 CAN 总线的抗干扰能力[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008(12): 12-15.
- [3] 许珂. 电力电子装置共模电磁干扰分析及抑制技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [4] 孔舒亚, 吴彦涛, 俞道滨. 一种新的 SAR 窄带干扰抑

- 制方法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(1): 44-48.
- [5] 赵乾, 钱建平, 郭恩全, 等. 双绞线电磁干扰防护研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(3): 279-282.
- [6] 张文杰, 王坤. 浅谈 CAN 通信的硬件抗干扰设计[J]. 科技信息, 2012(23): 144-144.
- [7] 任杰, 刘士全, 欧阳雪. CAN 总线的抗干扰及综合保护设计[J]. 自动化应用, 2016(6): 32-33, 35.
- [8] 水恒春, 赵小珍, 刘同昆. 高频电路设计中电磁干扰(EMI)和电磁兼容性(EMC)研究[J]. 科技创新导报, 2014, 11(7): 21-22, 24.
- [9] 吴建军. CAN 现场总线隔离技术研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(7): 1-3.
- [10] 武小军, 秦开宇, 唐博. EMI 滤波器设计[J]. 电子测试, 2011(7): 75-80, 113.
- [11] 叶春琴. 电磁干扰(EMI)及其抑制[J]. 网络财富, 2010(20): 191-191.
- [12] 冯玲. 电子仪器 PCB 设计中 EMC 技术的应用[J]. 电子测试, 2016(7): 15-16.
- [13] 李洪珠, 张垒, 王俏, 等. 一种双磁芯差共模电感集成 EMI 滤波器[J]. 电力电子技术, 2016, 50(2): 97-100.
- [14] 周忠杰, 张文强, 刘学申. 浅谈 GB/T 17626 系列中的三种磁场的抗扰度试验[J]. 电气开关, 2016(6): 10-13.
- [15] 周定华, 葛玉峰, 王平. 汽车网络总线抗干扰方法研究分析[J]. 安徽工程大学学报, 2011, 26(4): 58-60.

作者简介

尤程瑶, 硕士研究生, 研究方向为电力电子与电气传动。

E-mail: youchengyao92@163.com

孙培德, 副教授, 研究方向为电力电子与电气传动等。