

doi: 10.7690/bgzd.2016.05.007

FlexRay 总线物理层应用解析

韩 强, 牛德青, 张 锐, 李林珊

(绵阳市维博电子有限责任公司, 四川 绵阳 621000)

摘要: FlexRay 总线作为一种高速率、冗余总线, 有着广阔的应用前景。为了让 FlexRay 总线开发者能设计出性能优异的 FlexRay 总线系统, 对 FlexRay 总线设计的关键点包括: 电缆与连接器选型、接口电路设计、组网技术, 通过列表法对关键选型参数进行了论述, 以便设计者能快速开发出满足 FlexRay 总线物理层协议的总线系统。

关键词: FlexRay; 物理层; 电缆

中图分类号: TP302 **文献标志码:** A

FlexRay Communications Electrical Physical Layer Application Analysis

Han Qiang, Niu Deqing, Zhang Rui, Li Linshan

(Mianyang Weibo Electronic Co., Ltd, Mianyang 621000, China)

Abstract: As a high speed and redundant bus, FlexRay has broad application prospects. In order to let the FlexRay bus developers to design excellent performance of the FlexRay bus system, including the key point of FlexRay bus design: cable and connector selection, interface circuit design, network technology, through the list of parameters of key selection are discussed in this paper, according to this paper, designers can rapidly develop a bus system that satisfies the FlexRay bus physical layer protocol.

Keywords: FlexRay; electrical physical layer; cable

0 引言

FlexRay 是戴姆勒克莱斯勒公司注册商标。2000 年成立的 FlexRay 联盟推进了 FlexRay 总线的标准化, 使之成为新一代车载总线标准。FlexRay 总线关注的是汽车行业的一些核心需求, 包括更快的数据速率, 更灵活的数据通信, 更全面的拓扑选择和容错运算, 为下一代车内控制系统提供所需的速度和可靠性。

FlexRay 总线是一种时间与事件混合触发总线, 具有故障容错功能, 可提供 500 kbit/s~10 Mbit/s 的确定数据传输速率和 24 位 CRC(循环冗余校验码)。FlexRay 协议是双通道总线, 每条总线的数据传输速率均可达到 10 Mbit/s 以上, 可以满足现代汽车及工业控制系统的数据传输要求。2 条通信线路互为冗余, 用于提高容错能力, 增强系统可靠性。随着 FlexRay 总线应用技术的不断成熟, FlexRay 总线应用也越来越广泛。目前, 已从车载应用领域逐步延伸到其他领域, 如工业、航空等。

笔者从 FlexRay 总线实际应用出发, 对 FlexRay 总线设计者关心的连接器选型、接口电路设计、总线拓扑结构作出详细阐述。

1 电缆与连接器

1.1 电缆的选型参数

FlexRay 总线在选择电缆时要求电缆的特性阻抗在 80~110 Ω 之间, 以达到与直流负载最优匹配的效果。如果电缆特性阻抗不在此范围内, 应用过程中需根据实际应用仔细检查约束条件。

屏蔽双绞线的特性阻抗计算公式:

$$Z_0 = (2 \times Z) \parallel Z_{12}。$$

根据 FlexRay 总线物理层协议 3.0.1, FlexRay 总线电缆特性如表 1 所示。

表 1 电缆特性要求

电缆特性	最小值	最大值
10 MHz 时特性阻抗 Z_0/Ω	80	110
电缆延迟 $T_0/(ns/m)$	3.4	10

电缆的衰减和延迟与温度、频率和环境有关, 在选择电缆时应当根据实际的应用环境及应用情况进行选择, 以满足 FlexRay 总线物理层协议要求。

1.2 连接器选型参数

在 FlexRay 总线物理层 3.0.1 协议中, 没有规定 FlexRay 总线系统使用的具体连接器类型, 但推荐了电连接器选型参数, 如表 2、表 3 所示。

收稿日期: 2016-02-17; 修回日期: 2016-03-18

作者简介: 韩 强(1986—), 男, 四川人, 硕士, 工程师, 从事 FlexRay 总线应用技术研究。

表 2 连接器参数 1

参数	最小值	最大值
接触电阻(含压接部分) $R_{DCContact}/m\Omega$		50
连接器阻抗 $Z_{Connector}/\Omega$	70	200
耦合连接长度 $l_{Coupling}/mm$		150

表 3 连接器参数 2

参数	典型值
BP 与 BM 针脚之间的距离 $l_{ContactDistanceBP-BM}/mm$	≤ 4.5
最外层金属与接触针脚中心之间的距离 $l_{ContactMetal}/mm$	≥ 2
双绞线末端与连接器接触处到印制电路板 $l_{ECUCoupling}/mm$	≤ 75
允许每厘米的阻抗变化 $\Delta Z/\Omega$	< 50

2 接口电路设计

2.1 终端电阻端接方法

为了达到更好的电磁兼容性能,推荐使用分离电阻法,如图 1 所示。它将终端电阻 R_T 分成了 2 个相等部分 R_{TA} 和 R_{TB} 。

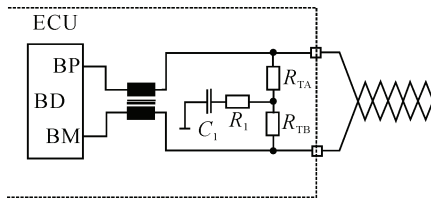


图 1 分离电阻端接方法

在分离电阻中心串联 RC 网络 (R_1, C_1) 为共模信号提供一个到地的通路, R_1 可以被省略。典型值如表 4 所示。

表 4 端接电阻参数

参数	典型值
电阻 R_1/Ω	< 10
电容 C_1/pF	4 700
端接电阻失配度 $2 \times R_{TA} - R_{TB} / R_{TA} + R_{TB} / \%$	≤ 2

对于 R_{TA} 与 R_{TB} , 采用精度小于 1% 的电阻, 以满足表 4 提到的小于 2% 失配度。2 个电阻值越接近, 产生的 EMI 越小。

2.2 共模扼流圈

为了增强电磁兼容性, 共模扼流圈的使用非常必要。共模扼流圈的作用在于其对共模信号阻抗高, 可以使 2 条信号线缆上的电流驱动能力一致, 但方向相反。在选用共模扼流圈时, 应保证其寄生的杂散电感尽量小, 以使总线振荡的可能性尽可能小。

在 FlexRay 物理层协议里面, 笔者推荐共模扼流圈的特征如表 5 所示。

表 5 共模扼流圈阐述

特征	典型值
单条通信线缆的电阻 R_{CMC}/Ω	≤ 1.5
共模扼流圈主电感 $L_{CMC}/\mu H$	100
杂散电感 $L/\mu H$	< 1

共模扼流圈的最大机械尺寸如表 6 所示。

表 6 共模扼流圈机械尺寸 mm

机械尺寸	最大值
高 H	5.2
宽 W	6.0
长 L	10.0

目前, EPCOS 公司已经推出了车载应用的共模电感型号为: B82789C0104H/N001, 满足表 5、表 6 中技术要求。

2.3 静电防护

对于信号线 BP 与 BM 来说, 静电防护器件是典型的容性负载。EMC 研究表明: 如果 BP 与 BM 容性负载不匹配, 发散增加且射频免疫能力降低。

因此, 笔者强烈推荐对静电防护二极管器件、PCB 布线、连接器及更多终端电路的电容进行严格限制, 以尽量匹配, 电容的失配度不能大于 2%。ECU 静电防护电路如图 2 所示。

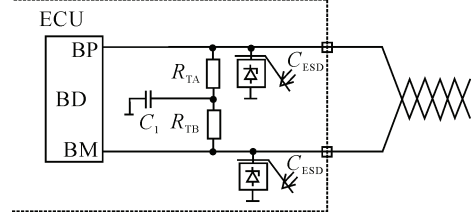


图 2 ECU 静电防护电路

NXP 公司推出了 FlexRay 总线静电防护二极管 PDS1FLEX, 其容值失配度典型值为 0.1%, 单线路最大电容为 17 pF。静电防护二极管参数如表 7。

表 7 静电防护二极管参数

参数	最小值	最大值
静电防护单元的电容 C_{ESD}/pF	—	20

2.4 PCB 线路走线

对于在通信控制器与总线驱动器间的 PCB 线路 ($TxD, TxEN$ 和 RxD), 应当满足表 8 的条件。

表 8 PCB 线路要求

线路要求	典型值
PCB 线路阻抗 Z_{PCB}/Ω	> 50
PCB 线路延迟 $d_{TrackDelay}_{PCB}/ns$	< 1

3 组网技术

3.1 直流负载匹配

BD 上的总线直流负载用 R_{DCLoad} 表示。网络的等效直流电路原理如图 3 所示。

在图 3 中, 并不包括共模扼流圈 (R_{CMC})、连接电阻 ($R_{Connector}$) 和串联线阻 (R_{Wire}), 因为这些因素在计算中均可以忽略。

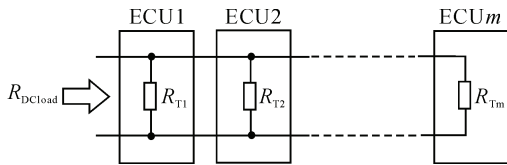


图 3 直流负载

总线直流负载的计算公式：

$$R_{DCload} = \left[\sum_m (R_{Tm})^{-1} \right]^{-1}$$

总线直流负载参数如表 9 所示。

表 9 总线直流负载参数 Ω

参数	最小值	最大值
总线直流负载 R_{DCload}	40	55

注意：端接电阻 R_{Tm} 通常与 BD 的接收器共模输入电阻并联，端接电阻也可放置在 ECU 的外面，如在网络分支处。在无端接电阻的线缆末端中 R_{Tm} 只表示 BD 接收器的共模输入电阻。

3.2 线缆屏蔽层的典型连接

图 4 为一个典型的线缆屏蔽层连接。它假定连接器也是在屏蔽条件下；因此，屏蔽线路在 2 个 ECU 机壳之间不能被打断。2 个节点之间的屏蔽层短接会引起共振，可通过增加终端网络电路来打破共振。

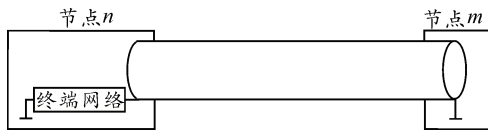


图 4 线缆屏蔽层的典型连接

3.3 网络拓扑规划

当规划拓扑结构时，遵循以下规则可以增加拓扑规划的合理性，信号能在所有可能的发送节点通过投票规则被准确接收。

1) 避免多层分支，一个分支不应该被连接在超过两层的其他分支上。

2) 保持线缆的总长度尽量短，避免

$$\sum IStub_i + \sum ISpliceDistance_{ij} > 24 \text{ m}$$

3) 运用拆分终端电阻到每个 ECU 模块，使直流负载在规定的范围之内。

3.4 组网终端电阻

1) 点对点连接的终端电阻。

在线缆的两端都端接一个电阻（阻值为 $R_{TA}+R_{TB}$ ），阻值等于所用线缆的特性阻抗。

2) 被动星型连接的终端电阻。

在被动星型结构中，2 个电气连接最远的节点线缆终端端接的电阻等于或略大于线缆的特性阻抗。在所有其他节点线缆终端端接高阻抗的分裂终

端电阻（如 $2 \times 1\ 300\ \Omega + 4.7\ \text{nF}$ ）。需满足线缆的特性阻抗和 FlexRay 总线的直流负载要求。

3) 被动线型总线拓扑连接的终端电阻。

在被动线型总线拓扑中，2 个电气连接最远的节点线缆终端端接的电阻等于或略大于线缆的特性阻抗。在所有其他节点线缆终端端接高阻抗的分离终端电阻（如 $2 \times 1\ 300\ \Omega + 4.7\ \text{nF}$ ）。需满足线缆的特性阻抗和 FlexRay 总线的直流负载要求。

3.5 被动星型阻抗调节器

被动星型拓扑结构在其低阻中心容易引起反射。为了避免反射，铁氧体磁芯被用于增大对于高频信号的阻抗。如图 5 所示结构。

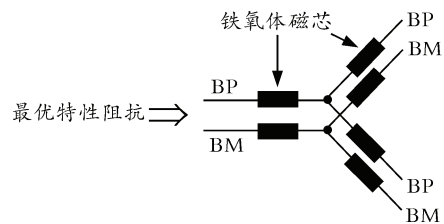


图 5 铁氧体磁芯用于被动星型每条信号线

这种阻抗调节功能可被分离元件替代来实现相同功能，如图 6 所示。

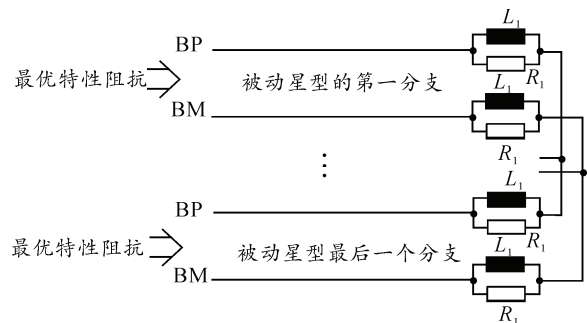


图 6 不带屏蔽的被动星型调节

在增加线缆屏蔽以后，演变成图 7 所示。

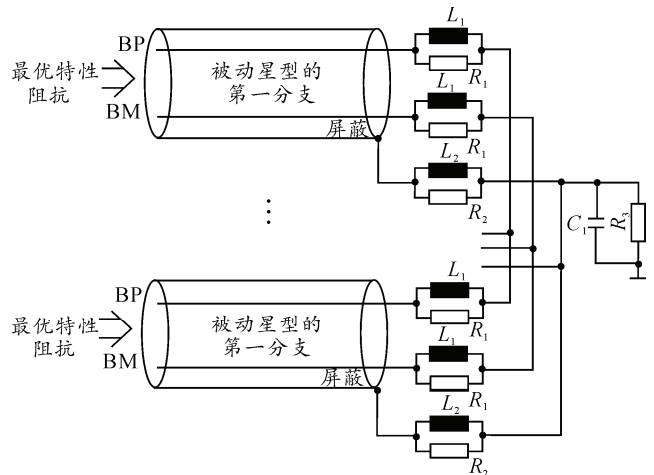


图 7 带屏蔽的被动星型调节