

RS-485 总线分支线短路故障检测技术

田 卫

(西安微电子技术研究所, 陕西 西安 710065)

摘 要: 文中讨论了 RS-485 总线的几种拓扑形式, 分析了总线短路的几种故障模式. 提出了一种基于电流检测的短路故障检测技术, 并说明了它的工作原理, 最后给出了实验结果. 该技术可以有效提高基于 RS-485 物理层的串行高速总线的可靠性.

关键词: RS-485 总线; 拓扑结构; 分支线短路; 电流检测

中图分类号: TN4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)04-0176-04

A Detecting Method on Short Stub of RS-485 Bus

TIAN Wei

(Xi'an Microelectronics Technology Institute, Xi'an 710054, China)

Abstract: This paper discussed the several common topologic structure of the RS-485 Bus, and analyzed its short mode of the stub. A new short-circuit detection technology based on current detection techniques has been proposed to improve the RS-485 bus reliability, the working scheme also has been described. A real test result has been given. The method can effectively improve the reliability of the high speed serial bus based on RS-485 physical layer.

Key words: RS-485 Bus; Topologic structure; short stub; current detection

1 引言

RS-485 总线是一种基于差分信号传输技术的物理层信号传输标准^[1], 具有很强的抗共模干扰能力(-7V~+12V), 可以有效耐受工业现场的复杂环境. 传输距离最远可达几公里, 传输速率可达 10Mbps. 因此被广泛应用于各个领域. 如 Profibus 和 CAN 总线及 EBR 1553B 总线^[2-4]均使用 RS-485 作为其物理层.

RS-485 收发器和总线直接挂接, 没有隔离, 存在短路的可能性. 由于接插件原因、电缆外套老化破损、静电损伤或瞬态效应造成的收发器损坏等原因均可以造成分支线短路故障. 而总线上某一位置一旦出现短路故障, 将会影响到整个总线的工作. 因此, RS-485 总线短路故障检测技术可以及时识别短路, 并通知协议层采取必要的应急措施, 控制设备的启停.

文中提出了一种基于电流检测的短路故障检测技术, 可以准确检测出分支线短路故障, 提高总线的可靠性.

2 RS-485 总线

2.1 常见拓扑结构

- (1) 点对点拓扑结构;
- (2) 带分支线的总线拓扑结构;
- (3) 星型总线拓扑结构;
- (4) 通用拓扑结构.

其中, RS-485 标准 TIA/EIA-485-A R2003 推荐的是通用拓扑结构, 不推荐星型拓扑结构. 以上几种拓扑形式均存在分支线短路故障模式(点对点拓扑为主干电缆短路故障模式).

2.2 端接

如果传输距离较长, 需要在电缆的最远的两个收发器端, 接入和线缆阻抗匹配的端接电阻, 保证线

缆阻抗的连续性,抑制信号反射.可根据电缆阻抗选取,一般为 120Ω .

2.3 偏置

根据 TIA/EIA-485-A R2003 规定,当总线空闲时,必须保证总线正负信号线处于正确的偏置的状态,以使总线上的每个接收器输出“1”.一般选取偏置电阻为 620Ω 时,在电源变化 $\pm 10\%$ 的情况下,能够保证接收器 A 端和 B 端之间的输入电平在总线空闲时处于 $208\text{mV} \sim 254\text{mV}$ 的范围内,使接收器处于正确的接收状态.总线偏置电路见图 1,偏置电压计算公式为:

$$V_{\text{bias}} = V_{\text{CC}} \times \left(\frac{R_2 // R_4}{R_1 + R_2 // R_4 + R_3} \right) = (5V \pm 10\%) \times \left(\frac{120 // 120}{620 + (120 // 120) + 620} \right) \quad (1)$$

偏置电压变化范围为: $208\text{mV} \sim 254\text{mV}$.

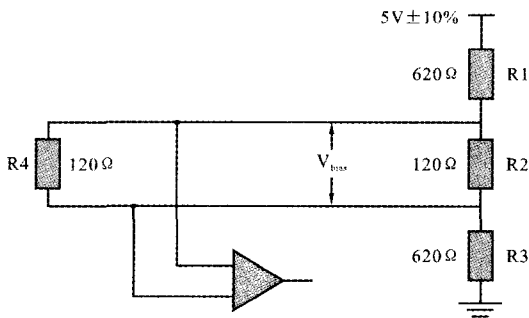


图1 总线偏置电路

3 短路故障模式

总线电缆的短路共有 4 种情况:

- (1) 分支电缆正端对地短路;
- (2) 分支电缆负端对地短路;
- (3) 分支电缆正负端之间短路;
- (4) 分支电缆正负端对地短路.

4 基于电流检测的短路故障检测技术

在分析了 4 种短路情况的特点后,文中设计了一种基于电流检测技术的短路故障报警保护电路,它能够准确检测分支电缆正负端之间短路故障并向节点设备报警.将这种电路简单扩展后可以检测所有的 4 种短路模式.

4.1 总线正常工作状态分支电流分析

正常工作状态如图 2 所示.假设 Master 的发送器差分输出电压为 V_{OAB} ,分支设备 ($S_1 \sim S_N, N \leq 31$) 差分输出电压为 $V_{OA'B'}$,电源电压为 V_{CC} ,端接电阻为 120Ω ,两个偏置电阻为 620Ω .

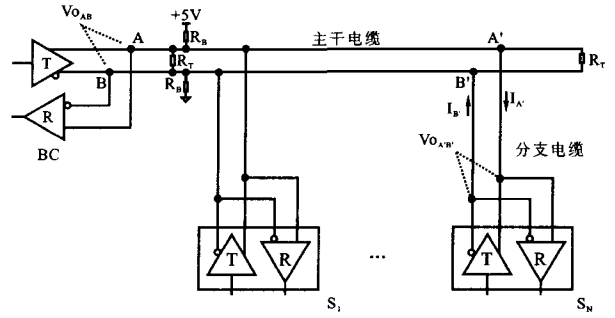


图2 总线处于正常工作状态分支电流分析

当总线处于正常工作状态下,分支设备 S_N 收发器 A' 、 B' 点处电流随着总线消息的变化而不同.电流变化情况如下:

(1) Master 发送命令字、数据字时的 $I_{A'}$ 、 $I_{B'}$

$$I_{A'} = \frac{V_{OAB}}{R_{INi}} \quad (2)$$

$$I_{A'} = -I_{B'} \quad (3)$$

$$V_{OAB} = \begin{cases} +|V_{OAB}|, & V_A > V_B \\ -|V_{OAB}|, & V_A < V_B \end{cases} \quad (4)$$

按照 TIA/EIA-485A 标准:

$$1.5V \leq |V_{OAB}| \leq 5V \quad (5)$$

$$R_T = 120\Omega, N = 32, R_{INi} = 12k\Omega, R_B = 620\Omega \quad (6)$$

$$I_{A'} = \frac{V_{OAB}}{R_{INi}} =$$

$$\begin{cases} 16\mu A \leq I_{A'} \leq 417\mu A, & 1.5V \leq |V_{OAB}| \leq 5V \\ 417\mu A \leq I_{A'} \leq 16\mu A, & -5V \leq |V_{OAB}| \leq -1.5V \end{cases} \quad (7)$$

(2) 分支设备 S_N 发送数据字的 $I_{A'}$ 、 $I_{B'}$

$$I_{A'} = \frac{V_{OA'B'}}{R'_T} - \frac{V_{OA'B'}}{R_{INi}} \approx \frac{V_{OA'B'}}{R'_T} = \begin{cases} 29\text{mA} \leq I_{A'} \leq 96.7\text{mA}, \\ 1.5V \leq |V_{OAB}| \leq 5V \\ -96.7\text{mA} \leq I_{A'} \leq -29\text{mA}, \\ -5V \leq |V_{OAB}| \leq -1.5V \end{cases} \quad (8)$$

(3) 总线空闲时的 $I_{A'}$ 、 $I_{B'}$

$$I_{A'} = \left[(V_{CC} \pm 10\%) \times \left(\frac{R'_T}{R_B + R'_T + R_B} \right) \right] / R_{INi} = \begin{cases} 16\mu A & V_{CC} = 5.5V \\ 15\mu A & V_{CC} = 4.5V \end{cases} \quad (9)$$

其中:

$$R'_T = \frac{\frac{R_{INi} \times R_T}{N} + \frac{R_T}{2}}{\frac{R_{INi}}{N} + \frac{R_T}{2}} = \frac{\frac{12k \times 120}{32} + \frac{120}{2}}{\frac{12k}{32} + \frac{120}{2}} = 51.7\Omega \quad (10)$$

当总线正常工作状态下,分支设备 S_N 收发器

A' 、 B' 点处电流最大为 96.7mA, 总线空闲时最大为 $16\mu\text{A}$.

4.2 总线短路工作状态分支电流分析

假设在分支电缆处出现短路点, 如图 3 所示. 则由于短路点存在, $R'_T = 0\Omega$.

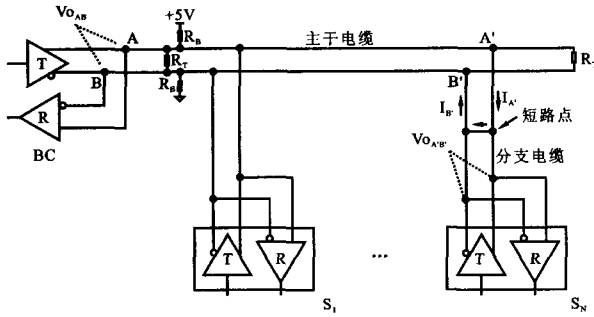


图3 分支线处于短路状态时分支电流分析

(1) Master 发送命令字、数据字时的 $I_{A'}$ 、 $I_{B'}$

发送器输出的短路电流 $I_{OS_{AB}}$ 通过短路点返回主干电缆, 不经过 S_N 的收发器.

$$I_{A'} = I_{OS_{AB}} \quad (11)$$

$$I_{A'} = -I_{B'} \quad (12)$$

$$R'_T = 0 \quad (13)$$

其中: $-250\text{mA} \leq I_{OS_{AB}} \leq +250\text{mA}$.

(2) 分支设备 S_N 发送数据时的 $I_{A'}$ 、 $I_{B'}$

发送器输出的短路电流 $I_{OS_{A'B'}}$ 通过短路点返回分支电缆, 不经过主干电缆.

$$I_{A'} = (V_{CC} \pm 10\%) / (R_B + R_B) \approx \begin{cases} 4.4\text{mA}, & V_{CC} = 5.5\text{V} \\ 3.6\text{mA}, & V_{CC} = 4.5\text{V} \end{cases} \quad (14)$$

$$I_{A'} = -I_{B'} \quad (15)$$

$$R'_T = 0 \quad (16)$$

其中: $-250\text{mA} \leq I_{OS_{A'B'}} \leq +250\text{mA}$.

(3) 总线空闲时的 $I_{A'}$ 、 $I_{B'}$

$$I_{A'} = (V_{CC} \pm 10\%) / (R_B + R_B) \approx \begin{cases} 4.4\text{mA}, & V_{CC} = 5.5\text{V} \\ 3.6\text{mA}, & V_{CC} = 4.5\text{V} \end{cases} \quad (17)$$

$$I_{A'} = -I_{B'} \quad (18)$$

当短路工作状态下, 分支设备 S_N 收发器 A' 、 B' 点处电流最大为 250mA, 总线空闲时最大为 4.4mA.

4.3 短路故障检测电路

根据短路时流过分支线的电流变化情况, 设计了一种短路检测电路, 该电路通过检测总线空闲时的 $I_{A'}$ 、 $I_{B'}$ 来确定是否存在短路. 如图 4 所示.

在图 4 中:

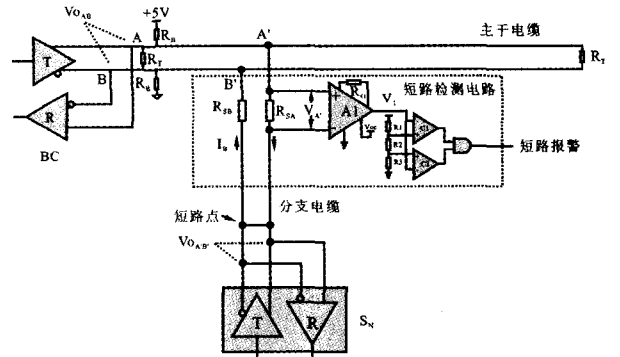


图4 短路检测电路示意图

R_{SA} 、 R_{SB} : 电流采样电阻, $R_{SA} = R_{SB} = 2\Omega$, 阻值非常小是为了减少对被测电路的影响;

$V_{A'}$ 、 $V_{B'}$: 采样电阻 R_{SA} 、 R_{SB} 上的采样电压;

$A1$: 可调增益的差分放大器, 输入阻抗;

R_G : 差分放大器 $A1$ 的增益调节电阻, 取 $G_g = 350$;

V_1 : $V_{A'}$ 经过差分放大器 $A1$ 放大 G 倍后的电压.

4.4 短路检测原理

当总线处于正常工作状态时, $V_{A'}$ 经过差分放大器 $A1$ 放大 G 倍后的电压 V_1 计算如下:

(1) Master 发送数据, S_N 接收数据

$$V_1 = V_{A'} \times G = \begin{cases} 10.7\text{mV} \leq V_1 \leq 277.7\text{mV}, \\ 1.5\text{V} \leq |V_{O_{AB}}| \leq 5\text{V} \\ -277.7\text{mV} \leq V_1 \leq -19.7\mu\text{V}, \\ -5\text{V} \leq |V_{O_{AB}}| \leq -1.5\text{V} \end{cases} \quad (19)$$

(2) 分支设备 S_N 发送数据字的 $V_{A'}$ 、 $V_{B'}$

$$V_1 = V_{A'} \times G = \begin{cases} V_{A'} = 5\text{V}, 1.5\text{V} \leq V_{O_{A'B'}} \leq 5\text{V} \\ \text{(此时 } A1 \text{ 输出正向饱和)} \\ V_{A'} = 0\text{V}, -5\text{V} \leq V_{O_{A'B'}} \leq -1.5\text{V} \\ \text{(此时 } A1 \text{ 输出负向饱和)} \end{cases} \quad (20)$$

(3) 总线空闲时的 $V_{A'}$ 、 $V_{B'}$

$$V_1 = V_{A'} \times G = \begin{cases} 10.7\text{mV}, & V_{CC} = 5.5\text{V} \\ 10.0\text{mV}, & V_{CC} = 4.5\text{V} \end{cases} \quad (21)$$

当总线发生短路故障时, 根据前面的讨论有三种情况:

(1) Master 发送数据, S_N 接收数据 $V_{A'}$ 、 $V_{B'}$

$$V_1 = V_{A'} \times G = +500\text{mV} \times 350 \approx 5\text{V} \quad \text{(此时 } A1 \text{ 输出正向饱和)} \quad (22)$$

(2) S_N 发送数据

$$V_1 = V_A \times G = \begin{cases} 2.93V, & V_{CC} = 5.5V \\ 2.4V, & V_{CC} = 4.5V \end{cases} \quad (23)$$

(3) 空闲

$$V_1 = V_A \times G = \begin{cases} 2.93V, & V_{CC} = 5.5V \\ 2.4V, & V_{CC} = 4.5V \end{cases} \quad (24)$$

从式(19)~(24)中可以看出,总线正常状态下的电流变化,与分支线短路时的电流变化是有明显差异的。据此,可以选择总线空闲状态时的电流作为鉴别短路故障是否发生的判别条件。取 $G=350$ 。由于差分放大器使用的是+5V单电源,所以只有短路状态下的总线空闲和 S_N 发送电流被放大到 2.4V~2.93V 之间,其它信号被放大到+5V 或者小于 300mV。此时可以使用图中的比较器 C_1 、 C_2 检测出该电压范围并报警输出。当把 R_1 、 R_2 、 R_3 的阻值分别取为 1.5k Ω 、1.5k Ω 、2k Ω ,可以设定比较器 C_1 、 C_2 阈值电压为 2V 和 3.5V。只有当 V_1 的电压在 2V~3.5V 之间时,比较器 C_1 、 C_2 输出同时为“1”,后面的“与门”才输出高电平报警信号“1”进行报警。其它情况下,报警信号为低电平“0”。

采样电阻 R_{SA} 、 R_{SB} 的位置应在分支电缆接入主干电缆的接入点处,以尽可能扩大对整个分支线的检测范围,并保持总线的平衡。如果使用同样的检测电路,同时检测 R_{SA} 、 R_{SB} 上的电流变化,就可以识别分支线正端或者负端对地短路的情况。

5 实验结果

文中搭建了 12 节点的一个基于 RS-485 物理层的 1553B 总线^[3]实验环境,其中 1 个 BC 节点、10 个 RT 节点、1 个 MT 节点,总线长度为 20m,总线速率为 6Mbps。RS-485 收发器采用了 MAXIM 公司的 MAX13442E^[5]。在其中的一个节点上接入了短路检测电路,并进行了人工短路测试实验。

实验结果表明,短路检测电路可以实时、正确地检测出分支线短路故障,并进行报警,使应用层可以在 1ms 内切换到备用总线上。

由于当分支设备正常发送时会使 V_1 在 2.4V~2.93V 之间穿越,因此“与门”输出会产生短时间毛刺,称之为“虚警”,毛刺宽度和数据通讯所用的码制、通讯速率有关。因此通过在“与门”输出后接入适当的滤波电路(模拟或数字)就可以消除“虚警”现象。

6 结束语

文中分析了 RS-485 总线分支线短路故障的各种情况,提出了一种基于电流检测技术的短路检测报警电路。所用元器件少,对总线影响小。实验结果表明它能很好的检测出分支线短路故障,如果在分支线上采取进一步的隔离措施,则可以对分支节点进行物理隔离。可以有效提高基于 RS-485 物理层的串行高速总线(Profibus 和 CAN 总线)的可靠性。

参考文献:

- [1] TIA. TIA-845-A-1998 R2003. Electrical characteristics of generators and receivers for use in balanced digital multipoint systems[S]. USA: ANSI, 2003.
- [2] Department of Defense. MIL-STD-1553B-1996. Aircraft interanl time division command/response multiplex data bus[S]. USA: Department of Defense, 1996.
- [3] Department of Defense. MIL-HDBK-1553A. Multiplex applications handbook[S]. USA: Department of Defense, 1988.
- [4] SAE. AS5652(EBR 1553B). 10 Megabit/sec network configuration digital time division command/response multiplex data bus[S]. USA: AS,2005.
- [5] Maxim. MAX13442E-MAX13444E. pdf. 19-3898[R]. Sunnyvale: Maxim, 2010.

作者简介:

田卫男,(1969-),研究员,博士生.研究方向为 DSP 实时控制应用、高速解算体系结构。