DOI:10.3969/j.issn.1672-2337.2016.01.016

星型拓扑 RS422 信号传输特性研究

段晓超[1,2]，段玲琳[1]，李化雷[1]

(1.中国电子科技集团公司第三十八研究所，安徽合肥 230088；
2.通航飞控实验室，安徽合肥 230088)

摘　要：为了保证传输信号的完整性并降低数据传输的误码率，标准推荐的 RS422 信号级联拓扑形式为链式结构，并明确不推荐星型结构和环型结构拓扑。从传输线理论和 RS422 信号传输特性入手分析，通过合理的电路参数匹配设计，比较论述不同参数对信号质量的影响。通过实际电路测试试验验证，给出了一种满足工程应用的 RS422 星型拓扑结构及电路匹配参数选取方法，并给出了推荐使用条件和限制条件，对工程实践中需要使用星型拓扑连接方式的应用具有一定的指导作用和借鉴意义。

关键词：RS422 信号；星型拓扑；参数匹配；信号完整性

中图分类号：TN919.3　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1672-2337(2016)01-0091-04

Research on Star Topology RS422 Signal Transmission

DUAN Xiaochao[1,2], DUAN Linglin[1], LI Hualei[1]

(1. *No.38 Research Institute of CETC, Hefei 230088, China*;
2. *Aerospace Flight Control Laboratory, Hefei 230088, China*)

Abstract: To ensure signal integrity and reduce error rate, it is recommended that the chain topology is suitable for RS422 signal transmission, but not the star topology or the ring topology. The theory of transmission lines and RS422 signal characters are presented. Through proper parameter match designing, the influences of different parameters on signal are compared. Based on practical circuit measuring, a star topology and the parameter design method are given, as well as its recommended application condition and limit condition.

Key words: RS422 signal; star topology; parameter matching; signal integrity

0　引　言

RS422 标准的全称是“平衡电压数字接口电路的电气特性”，由美国电子工业协会(EIA)制定并发布。作为一种业界最常用的串行数据通信接口标准，其具有抗共模干扰能力强、驱动能力强、传输距离远、支持总线传输、信号容差性好等诸多优点，目前被广泛应用在多种工控数据通信场合。对于 RS422 传输电路，标准给出的经典拓扑连接方式为链式结构。但在某些特定的应用场合，如对含有多个固态组件的雷达发射机实施监控[1]，由于受多个接收端的物理位置、接收端电路的一致性要求、可靠性设计和失效影响分析等因素所限，工程中无法顺利使用经典的链式拓扑结构，而不得不使用星型拓扑结构形式。本文就如何有效使用 RS422 的星型拓扑连接方式给出必要的参数选取和试验结果。

1　传输原理

之所以存在不同拓扑结构会影响信号传输特性的问题，是因为电路收发端之间总是需要传输线进行信号连接，进而产生了信号的传输线效应，特别是对数据率高的信号尤为明显。

1.1　传输线特征阻抗

对于特性单一均匀的传输线，可以等效成无数个微电阻、电感和电容串并联组成的电路模型，如图 1 所示[2]。

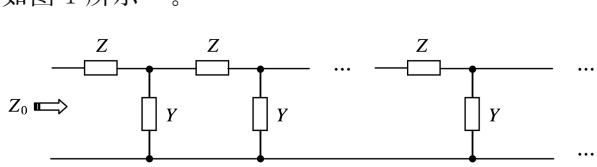


图 1　传输线等效电路模型

收稿日期：2015-07-06；修回日期：2015-08-15

图示电路的输入阻抗 Z_0 为

$$Z_0 = Z + \frac{1}{Y} /\!/ Z_0 \tag{1}$$

可以求出：

$$Z_0 = \frac{Z}{2}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{Z \cdot Y}}\right) \tag{2}$$

对于低损耗的传输线，其电阻损耗 Z 很小，主要表现为感抗特性；线间电导 Y 主要表现为容性阻抗，故 Z 可以简化成微电感（即 $L \to 0$），Y 可以简化成微电容（即 $C \to 0$），求极限后得

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \tag{3}$$

从式(3) 可以看出，传输线的特征阻抗 Z_0 只与其制造材料和成型工艺有关，而与传输线的长短无关，概念上也不同于传输线的直流欧姆阻抗 R_0。

1.2 反射特性

为了研究信号的传输特性，还需要推导出反射系数和传输线特征阻抗之间的关系，如图 2 所示。

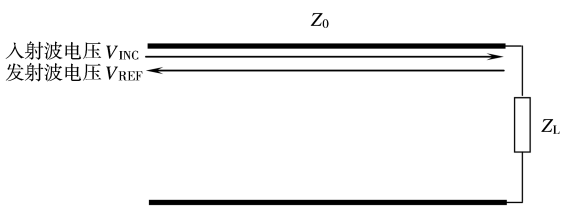


图 2 电路反射特性模型

由图 2 可知：

$$Z_L = \frac{V_{INC} + V_{REF}}{\frac{V_{INC}}{Z_0} - \frac{V_{REF}}{Z_0}} \tag{4}$$

令反射系数 $\Gamma = \frac{V_{REF}}{V_{INC}}$，则有

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{5}$$

从式(5) 可以看出，只有当 $Z_L = Z_0$ 时反射系数才等于 0。否则必然存在反射波，即入射波的能量没有被负载完全吸收，反射回来的信号势必叠加影响入射波，使波形进一步恶化。反射是造成信号波形上冲、下冲和振铃的直接原因，是高速数字电路中最常见的信号完整性问题。

对于 RS422 传输电路，标准给出的经典拓扑连接方式为如图 3 所示的链式结构。从图中看出在同时连接多个接收器的应用场合时，需要在最后一个接收器前端并接一个终端匹配电阻 R_T，同时要求中间接收器的分叉线长度 L_{stub} 尽可能短[3]。

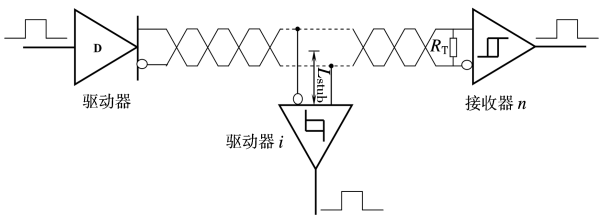


图 3 经典 RS422 拓扑连接图

在接口芯片的用户资料或设计指导手册上，一般还会特别强调不推荐用户采取星型结构和环型结构，因为这两种拓扑结构破坏了传输线匹配特性，对保证传输信号的信号完整性非常不利[4]。

2 试验条件

为了深入研究 RS422 信号的传输特性，特地设计了专门的试验电路进行实际测试，使用到的元器件和材料参数如下：

驱动器：型号 JS26C31BD，高电平输出阻抗约为 9 Ω，低电平输出阻抗约为 7 Ω[5]，试验中取平均值 8 Ω 进行计算。

接收器：型号 JS26C32BD，输入阻抗在 4～20 kΩ 之间[6]，试验中取 10 kΩ 计算。

传输线：AWG26 双绞线，差分阻抗和单端阻抗均约为 120 Ω。

传输信号：最高频率为 5 MHz 的时钟方波信号。

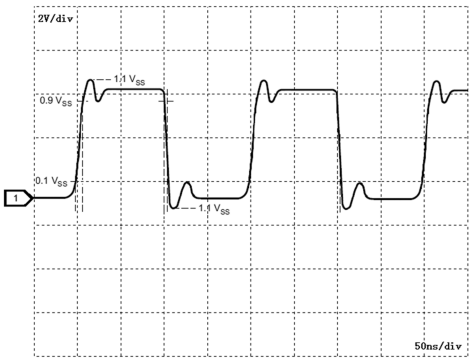
2.1 链式拓扑试验

链式拓扑是标准推荐的 RS422 经典拓扑结构，如图 3 所示，只要保证各分支的抽头长度 L_{stub} 尽量短就可以获得理想的波形。各分支的抽头长度应满足如下公式：

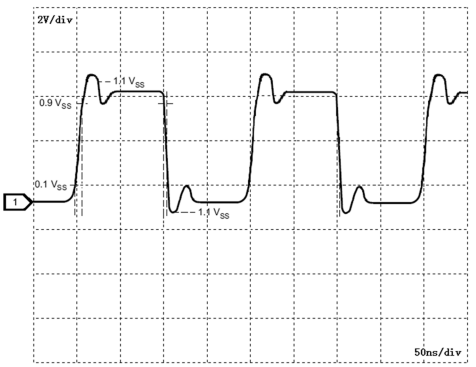
$$L_{stub} \leqslant \frac{t_r}{4} \times 0.6c \tag{6}$$

式中，t_r 为信号的上升沿时间，c 为光速。例如，在上述试验中波形的上升沿时间为 10 ns，则抽头长度最大不应超过 45 cm。图 4 为收端匹配电阻时驱动器正端和接收器正端的实测波形图。

从图 4 中可以看出，波形的上升/下降时间均在 10 ns 以内，过冲约为 1 V，这在差分电路中不会引起问题。经计算，接收端的匹配电阻上约产生 0.15 W 左右的热耗，这对驱动器端的热设计和长期运行的可靠性都非常不利。



(a) 驱动器正端波形



(b) 接收器正端波形

图 4　链状结构试验波形图

2.2　发端串联匹配

发端匹配是一种将匹配电阻串接在 RS422 发送端的匹配方式,如图 5 所示。

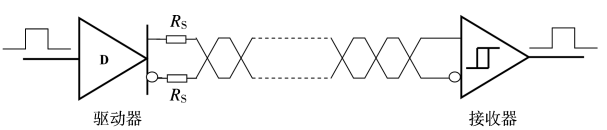
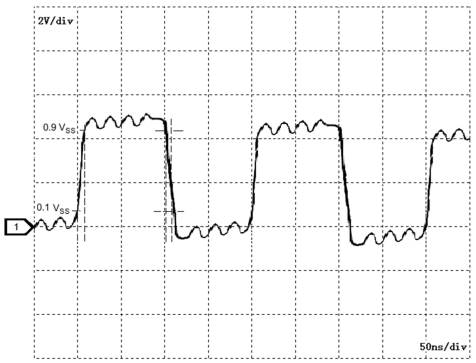


图 5　发端匹配电路图

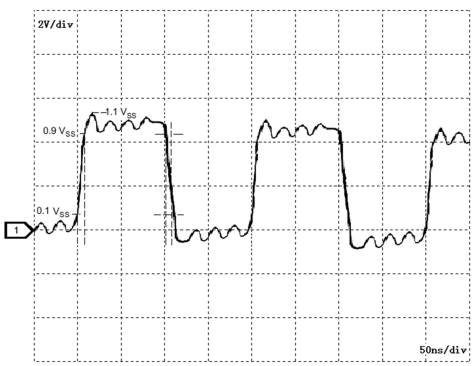
图中 R_S 的选取为 120 Ω。这样,从驱动器端输出的信号将以半幅度进行传播,由于接收端呈高阻态,反射系数约等于 1,信号在发端将叠加到满幅,发射波达到驱动器后也不再继续反射。但此种匹配方式的缺点是必须保证传输线延时远小于信号的码元周期。如果电信号在双绞线中的传输速度为 0.6c(c 为光速),则 2 m 传输线的往返延时约为 22 ns。为了保证传输信号的完整性,信号的理论最高频率为 22.7 MHz,但限于收发端芯片性能的限制,工程中不可能达到如此高的传输频率。

5 MHz 信号的理论最远传输距离为 9 m。图 6 给出了点对点 2 m 传输线长时的实测波形图,在接收端波形的边沿特性及单调性保持仍较理想,上升/下降沿时间依然在 10 ns 以内,满足工程使用要求。

显然,采取发端匹配时匹配电阻的功耗仅几十微瓦,比收端匹配要小得多。



(a) 驱动器正端波形



(b) 接收器正端波形

图 6　点对点发端匹配波形图

2.3　星型拓扑连接方式

在使用星型拓扑连接方式时,当然在每个接收器端分别并接匹配电阻 R_T 可以有效保证接收端的信号完整性,但此时驱动器端的输出驱动电流将大到器件不能接受。根据 2.2 节的分析试验结果,考虑使用发端匹配技术。同时考虑到不同路径的反射波叠加效应,下面重点研究 4 分支星型拓扑结构中分支等长的应用情况,如图 7 所示。

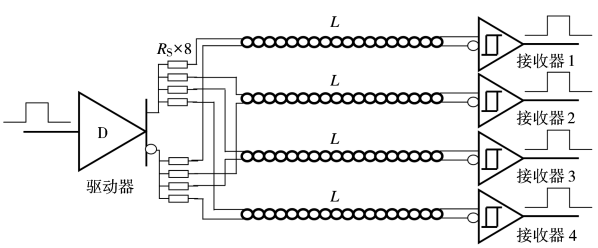


图 7　4 分支星型拓扑发端匹配等长分支图

根据传输线理论，对于 4 分支的发端匹配连接，电阻 R_S 的选取应满足条件：

$$R_S + 4 \times R_0 = Z_0 \tag{7}$$

式中，R_0 为驱动器的输出阻抗。据此计算，R_S 的理论值为 88 Ω。由于 4 路接收器存在较大的并联电容，当传输线长度 L 为 2 m ± 5 cm 时，经过反复试验验证，R_S 的取值为 120 Ω 时波形质量最理想，试验实测波形如图 8 所示。

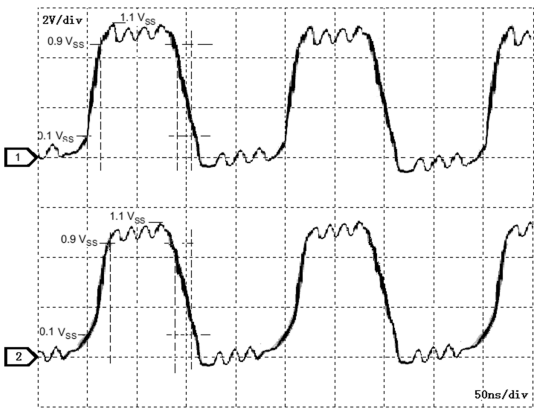


图 8　4 分支星型拓扑发端匹配等长分支波形图

从图中可以看出，接收端（1 通道）的波形质量比发送端（2 通道）略好，测量两者波形的上升/下降沿，分别约为 20 ns 和 25 ns，但相比点对点的发端匹配电路，收发端波形的边沿均有所恶化，但依然可以满足工程应用要求。

进一步的试验证明，当 4 条传输线的长度不相等时，特别是长度差大于 50 cm 后，收发端的波形均有明显恶化，5 MHz 频率下的通信误码率明显提高，已不适合工程应用。

为了得出接收端数量增多会进一步恶化通信效果的结论，又进行了 8 分支 2 m 等长分支的试验。按照式(7)的要求并经试验验证，R_S 取值 75 Ω 为宜。此时收发端的波形前后沿均较 4 分支（图 8）有进一步恶化，并出现较明显的抖动，但仍可满足通信误码率要求，可以在工程中应用。

3　结束语

综合以上理论分析和试验数据，说明 RS422 信号在合理的电参数设计条件下可以使用星型拓扑结构，但为了保证信号完整性和传输误码率，应满足以下约束条件：(1) 使用发端匹配电路，且各分支的传输线特征阻抗和接收器输入阻抗特性必须相同，传输线长度差应控制在 5 cm 以内；(2) 不得用于长线传输，如 5 MHz 传输速率时建议分支长度不大于 5 m；(3) 发端匹配电阻 R_S 按式(7)的原则进行选取，可适当放大阻值；(4) 接收端数量建议不大于 8 个，且越少越有利于保证收发端波形质量；(5) PCB 设计时要求差分线等长，印制线对参考平面的特征阻抗为 120 Ω ± 10%，线间紧耦合，线间距为 1 倍线宽；(6) 各收发端有效共地，严禁信号浮地传输。

参考文献：

[1] 李冬芳，崔忠林. 基于串行总线和分布式测控的发射监控系统[J]. 雷达科学与技术，2006，4(6)：382-386.
LI Dongfang，CUI Zhonglin. A Transmit Monitoring System Based on Seria Bus and Distributed Measurement and Control[J]. Radar Science and Technology，2006，4(6)：382-386.(in Chinese)

[2] 朱亚地. 高速 PCB 信号反射及串扰仿真分析[D]. 西安：西安电子科技大学，2012.

[3] SOLTERO M，ZHANG J，COCKRIL C. RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations[R]. Dallas，Texas：Texas Instruments，2010：14-15.

[4] 刘健. 提高串行总线的可靠性[J]. 硅谷，2010(6)：34-36.

[5] JS26C31 四路差分驱动器技术说明书[Z]. 无锡：中国电子科技集团公司第五十八研究所，2013：5-6.

[6] JS26C32 四路差分接收器技术说明书[Z]. 无锡：中国电子科技集团公司第五十八研究所，2013：5.

作者简介：

段晓超　男，1978 年 2 月出生于安徽宿州，工学硕士，现为中国电子科技集团公司第三十八研究所高级工程师，主要研究方向为大型相控阵雷达波控系统、卫星有效载荷测控系统以及浮空器测控系统的设计开发。
E-mail：xiaochaoduan@163.com