

集中抄表系统中多节点 RS-485 总线通信失败率的研究

纪 峰^{1, 2}, 周 超^{1, 2}, 鲍 进^{1, 2}, 宋忠强³

(1.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2.国家电网公司电能计量重点实验室, 江苏 南京 211103; 3.积成电子股份有限公司, 山东 济南 250100)

摘 要: RS-485 总线作为一种多节点、差分数据传输的通讯方式, 由于其具有长距离传输、良好的共模干扰抑制的特点, 广泛应用于智能电表集抄系统中。本文在研究 RS-485 总线的特点及组网技术的基础上, 通过分析工程现场多节点 RS-485 通信失败的原因, 结合国内智能电表的发展趋势, 提出了针对多节点 RS-485 通信设计的改进建议, 并在工程应用中收到了良好的效果。

关键词: 智能电表; 集中抄表; 三线制 485

0 引言

RS-485 总线以其抗干扰能力强、支持多节点远距离通信、高接收灵敏度、连线简单等优点^[1], 在集中抄表系统中得到了广泛应用。随着智能电表集抄系统的全面推广, 工程现场对 RS-485 网络的节点总数也提出了更高的要求。每路 485 通道节点数量由原来的 32 个提高到 64 个^[2], 有的应用现场已经提出了 96 个节点的要求。随着 RS-485 总线节点的增多, 其通信成功率也在逐渐下降。RS485 总线故障已成为影响集中抄表系统采集成功率的一个重要因素^[3]。本文在研究典型 RS-485 通信电路的基础上, 结合现场运行经验, 分别从智能电表的 RS-485 方案设计、电源设计、485 通信保护、总线的偏置电阻四个方面对通信失败原因进行分析, 并提出了改进建议。

1 典型 485 电路

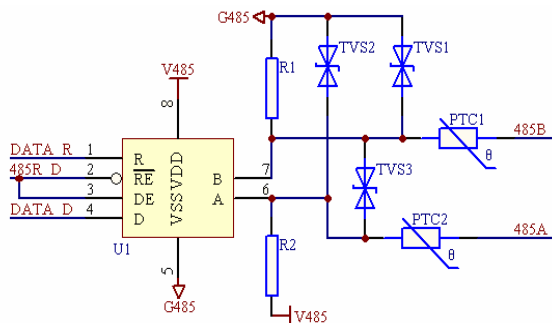


图 1 典型 485 电路

Fig. 1 485 typical circuit

图 1 是目前广泛用于智能电表和采集终端 RS-485 接口电路, 其主要功能是实现 TTL 信号和 485 信号的转换。如图 1 所示, 485 差分信号经 PTC、TVS 保护后进入至 485 芯片; 偏置电阻 R1、R2 为总线空闲时提供一个可靠电平^[4]。485 通信由数据接收 DATA_R、数据发送 DATA_D、收发控制 485R_D 三个 IO 线来完成, 但许多设计中, 收发控制是由数据发送的反向来实现, 即当发送“0”时, 485 芯片处于发送状态, 将“0”发送到 485 总线上; 当发送“1”时, 485 芯片处于接收状态, 总线的偏置电阻将总线状态保持为“1”。这种两线制的通信方式可以节省一个 MCU IO 及光耦, 但数据的发送依赖于总线的偏置电阻, 因此两线制的 485 方案通信成功率对总线环境依赖较大, 而三线制 485 方案中数据的发送均有 485 芯片来驱动, 受外部环境影响较小。

2 电源设计

国内的大部分智能电表厂商的电源为线性电源, 这种电源结构比较简单, 纹波干扰相对较小, 但效率较低, 电源的输出功率容易受到电网电压高低的影响^[5]。特别是当现场 485 网络节点数较多时, 电能表电源可能无法为 485 芯片提供驱动总线的功率, 导致 485 通信失败。这种情况在现场表现为通信成功率与用电高峰相关, 当用电高峰期时, 通信成功率较低, 用电低谷时, 通信成功率则较高。

3 485 通信保护电路

图 1 中瞬间抑制二极管 TVS1、TVS2、TVS3,

热敏电阻 PTC1、PTC2 为电路提供瞬间干扰及过压、过流保护^[6]；瞬间抑制二极管的结电容 C_j 和漏电流 I_l ，热敏电阻的阻值 R_t ，在节点较多情况下，所有节点的等效电容 C_j' 、等效漏电流 I_l' 、热敏电阻 R_t' 将成为总线不可忽略的负载。

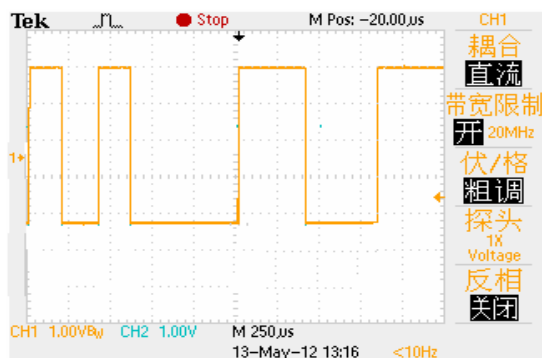


图 2 10 个节点时总线数据

Fig. 2 RS-485 Bus data for 10 nodes

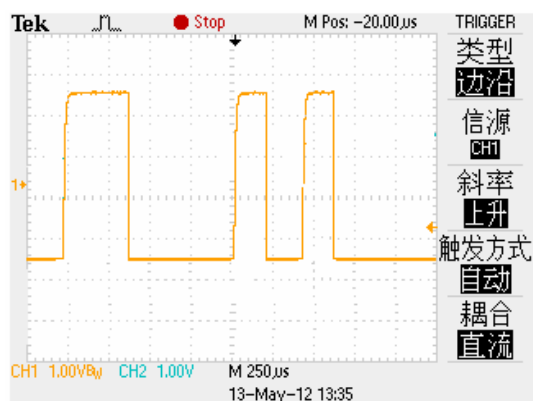


图 3 20 个节点时总线数据

Fig. 3 RS-485 Bus data for 20 nodes

如图 2、图 3 所示，当节点从 10 个增加到 20 个时，由于 TVS 漏电流的增加，485 总线的电压“1”从 2.5V 下降到 2.2V，“0”的电压从 2V 上升到 1.8V。由于 TVS 的电容效应，总线数据从“0”到“1”跳变时的上升时间由 12 微秒上升至 45 微秒。

4 总线偏置电阻

图 4 为节点数为 96 时的 485 芯片发送数据时的等效电路图。

如图 4 所示，偏置电阻 R_u 、 R_p 为总线上所有偏置电阻的并联等效； $R_1 \sim R_{96}$ 为 485 芯片的等效内阻。 I_m 为 485 芯片 A、B 间的输入电流。以美信的 MAX13085EESA 为例，等效内阻最小为 $96k\Omega$ ， I_m 最大为 $120\mu A$ （输入电压 12V 时），总线空闲时的

U_{AB} 最小为 $0.2V$ ^[7]； V_{cc} 取值 5V， $R_1 \sim R_{96}$ 取值 $96k\Omega$ ， I_m 取 $0.12 \times 96 = 11.52mA$ ， U_{AB} 取值 0.2V，可以得出 $R_u + R_p$ 的最小值：

$$(R_u + R_p)_{\min} = \frac{5 - 0.2}{11.52 + \frac{0.2}{96/96}} \approx 410\Omega \quad (1)$$

$$R_{u\min} = R_{p\min} = 205\Omega \quad (2)$$

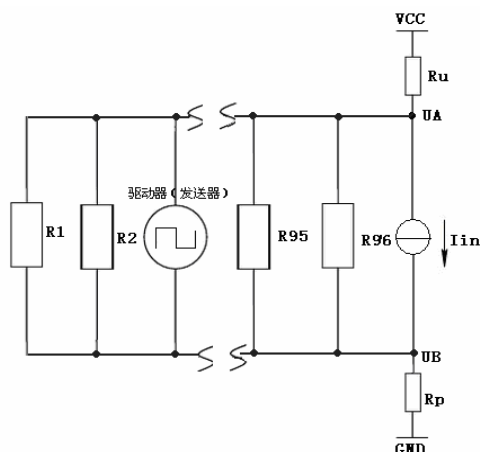


图 4 96 个节点等效电路图

Fig. 4 The 96 node of equivalent circuit diagram

考虑到总线上只有两个节点并且 485 通信方案为两线制时，总线的电压从“0”到“1”跳变完全由总线的偏置电阻来完成，图 5 为 2 个节点时等效电路图。

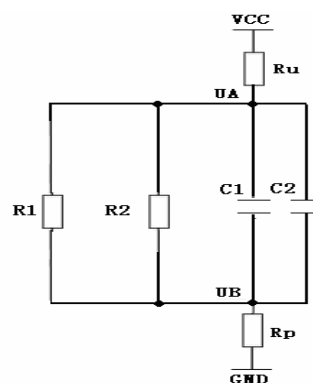


图 5 2 个节点等效电路图

Fig. 5 The 2 node of equivalent circuit diagram

R_1 、 R_2 为 485 芯片的等效内阻， C_1 、 C_2 为节点的等效电容，主要由 TVS 的等效电容、线路的分布电容组成。485 芯片以美信的 MAX13085EESA 为例，TVS 以深圳方新 P6KE6.8CA 为例， R_1 、 R_2 取值 $96k\Omega$ ， C_1 、 C_2 取值 $2nF$ ， V_{cc} 为 5V。总线通信波特率为 2400bps。总线从“0”到“1”的上升时间完全有 R_1 、 R_2 、 C_1 、 C_2 、 R_u 、 R_p 决定，使用戴维

南定理将图 5 变为 RC 串联电路，R 为 $\frac{(R_u + R_p)_{\max} * (96/2)}{(R_u + R_p)_{\max} + (96/2)}$ ；C 为 $2*2 = 4 \text{ nF}$ 。C 的起始电平为总线的“0”状态设为-5V；t1 时刻 C 被充电到 200mV。t1 必须小于半个数据位，否则通信将出错。

$$t1 = RC \ln(\frac{V - V_o}{V + V_i}) < 0.5 * (1/2400) \tag{3}$$

上式中 V 为电容的最终电压 $\frac{5*(96/2)}{(R_u + R_p)_{\max} + (96/2)}$ ，V_o为起始电压即-5V，V_i为 0.2V。

由（3）可以得出 $(R_u + R_p)_{\max} \approx 120 \text{ k}\Omega$
 $R_{\text{umax}} = R_{\text{pmax}} = 60 \text{ k}\Omega \tag{4}$

总线的偏置电阻应该在总线的某一个节点上（方案一），或平均分配在整个总线上（方案二）^[8]，由于国内对偏置电阻的选择没有统一的标准，特别是节点较多时，容易发生通信失败的情况。在某市的低压集抄系统中，抄表设备厂家的偏置电阻按照方案一来设计，而电表厂家按照方案二来设计，导致总线的等效偏置电阻过小，总线负载较重，32 个节点时通信正常，当增加至 52 个节点时通信开始出现失败，增加至 64 节点时通信完全失败，调整抄表设备的偏置电阻后，通信恢复正常。

笔者做了偏置电阻与最大组网个数的统计，如表 1 所示。

表 1 偏置电阻与最大组网个数

Table 1 Bias resistor and the maximum network number				
项目	数值			
偏置电阻（每个节点）/K	1	10	20	30
最大节点个数	18	62	110	116

上述统计是在以下前提下进行的：
通信方式为两线制 485；485 电源功率最大为 260 mW；瞬间抑制二极管的 Cj 最大为 1.5 nF、漏电流最大为 100 uA、热敏电阻阻值为 30~60 Ω，485 芯片的等效内阻最小为 96 kΩ，通信波特率为 2400 bps。

由表 1 可以得出随着偏置电阻的增大，总线负载的减少，网络支持的节点数逐渐增加。当总偏置电阻为 260Ω（单个节点 30K）时，节点总数可以支持 116 个节点。

5 设计建议

由于智能电表集抄系统的通信波特率为 2400bps^[9]，为使 485 网络可以扩展到 96 的节点、更好的兼容性，对智能电表的设计提出以下建议：

- （1）智能电表 485 方案使用三线制 485。
- （2）智能电表在正常供电范围内可以为 485 电路提供至少 260mW 的功率。
- （3）在满足功能性能的前提下，选用结电容、漏电流较小的 TVS，阻值较小的 PTC。
- （4）智能电表 485 总线的偏置电阻选取 20~30 kΩ。

6 结束语

随着智能电网建设经验的积累，新建小区都配备了专门的配电室，电能表集中程度大大提高，以多层楼房为例，一栋楼假设有 3 个单元，整栋楼的电能表数量为 42 只，将两栋楼互联组网，加上集中抄表设备，节点总数可达到 85。在实际集中抄表应用中，采用了上述设计建议的电能表 485 组网节点总数可扩展至 113，抄表效果稳定可靠。笔者随机选取一个台区（总线节点数为 96），对现场总线进行 48 小时监听，根据国家电网对单相智能表数据抄读的要求，每个节点抄读数据项 64 个，每半小时抄读一次，总线单次抄读成功率为 99.8%，30 min 曲线数据抄读成功率可达到 100%。

参考文献：

[1] 阳宪惠.现场总线技术及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2001 .
[2] 国家电网公司. Q/GDW1374.2-2013 第 2 部分: 集中抄表终端技术规范[Z].北京：中国电力出版社，2013.
[3] 顾国栋,周玉,钱立军,等.用电信息采集系统集抄用户采集成功率提升研究 [J]. 江苏电机工程,2014,32(6):29-31.
[4] 穆斌,罗王旬.RS-485 总线网络应用中的安全与可靠性 [J].光学精密工程,2003(2).

- [5] 童诗白.模拟电子技术基础(第四版)[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [6] Thomas Kugelstadt. RS-485: Transient Protection for Bus Nodes [J]. Electronic Engineering & Product World,2011,18.
- [7] 颜荣江.MAXIM 热门集成电路使用手册(第四册)[M]. 人民邮电出版社,1999.
- [8] 虞日跃, 史洪源.RS-485 总线的理论与实践[J].电子技术应用,2001,(11).
- [9] 国家电网公司. Q/GDW1354-2013 智能电能表功能规范[Z].北京: 中国电力出版社, 2013.

作者简介:

纪 峰(1981-), 男, 硕士, 高工, 主要研究方向: 电力电子计量检测技术, Email: jifeng81@163.com;

周超(1987-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 电力电子计量检测技术, Email: zhouchao023@126.com;

鲍进(1985-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 电力电子计量检测技术, Email: baj8403@163.com;

宋忠强(1984-), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 嵌入式电子技术, Email: songzhongqiang@ieslab.cn。

Research of multi node 485 bus communication failure in centralized meter reading system

JI Feng^{1, 2}, ZHOU Chao^{1, 2}, BAO Jin^{1,2}, Song Zhongqiang³

(1. Electric Power Science Institute of Jiangsu province electric power company, Nanjing 210024, China; 2 China State Grid Corp electrical energy measurement key laboratory, Beijing 102200, China; 3 Integrated Electronic Systems Lab Co., Ltd, Jinan 250100, China)

Abstract: RS-485 bus as multi node, the differential data transmission communication method, because it has the characteristics of long distance transmission suppression of common mode interference, widely used in centralized meter reading system. In this paper, based on characteristics of RS-485 bus network technology, through the analysis of the project site multi node 485 communication failure, according to the development trend of domestic smart electricity meter, and puts forward some suggestions for improvement, received good effect in engineering application.

Key words: smart electricity meter; centralized meter reading; 3 line 485