

集中抄表系统中多节点RS 485总线通信失败率的研究

RS 485总线作为一种多节点、差分数据传输的通信方式，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中抄表系统中。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。

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
2.国家电网公司电能计量重点实验室 3.积成电子股份有限公司



纪峰/高级工程师

关键词/Keywords

智能电表·
集中抄表·
三线制485·

RS 485总线以其抗干扰能力强、支持多节点远距离通信、高接收灵敏度和连线简单等优点^[1]，在集中抄表系统中得到了广泛应用。随着智能电表集中抄表系统的全面推广，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个节点提高到64个节点^[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。RS 485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、RS 485通信保护和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。

典型485电路

图1为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 R_1 、 R_2 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和收发控制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。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由485芯片来驱动，受外部环境影响较小。

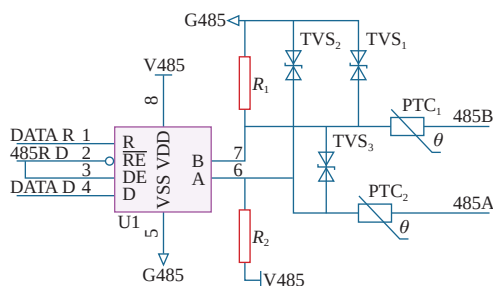


图1 典型485电路

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。

485通信保护电路

图1中瞬间抑制二极管TVS₁、TVS₂和TVS₃,热敏电阻PTC₁、PTC₂为电路提供瞬间干扰、过电压及过电流保护^[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。

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总线的数据“1”的电压从2.5 V下降到2.2 V,“0”的电压从-2 V上升到-1.8 V。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 μs上升至45 μs。

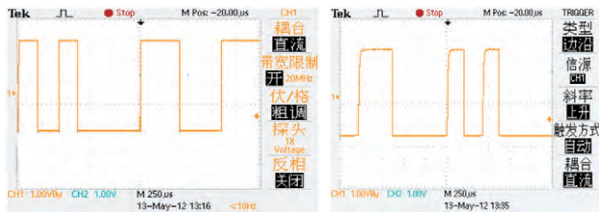


图2 10个节点时总线数据

图3 20个节点时总线数据

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。

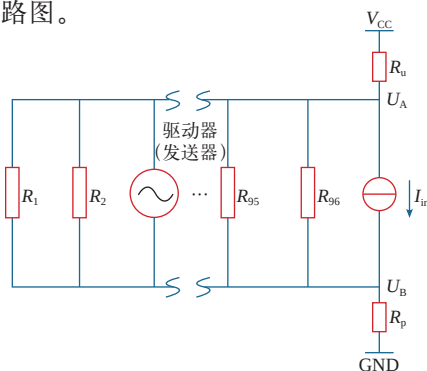


图4 96个节点等效电路图

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;R₁~R₉₆为485芯片的等效内阻。I_{in}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96 kΩ,I_{in}最大为120 μA(输入电压12 V时),总线空闲时的U_{AB}最小为0.2 V^[7];V_{cc}取值为5 V,R₁~R₉₆取值为96 kΩ,I_{in}取(0.12×96) mA=11.52 mA,U_{AB}取值为0.2 V,可以得出R_u+R_p的最小值为

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

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

考虑到总线上只有两个节点并且485通信方案为两线制时,总线的的数据从“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。

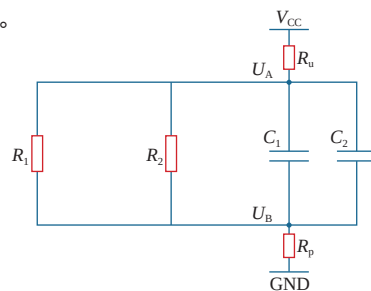


图5 2个节点等效电路图

图5中,R₁、R₂为485芯片的等效内阻;C₁、C₂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,R₁、R₂取值为96 kΩ,C₁、C₂取值为2 nF,V_{cc}为5 V。总线通信波特率为2 400 bit/s。总线从“0”到“1”的上升时间完全由R₁、R₂、C₁、C₂、R_u和R_p决定,使用戴维南定理将图5变为RC串联电路,R为 $\frac{(R_u + R_p)_{\max} \times (96/2)}{(R_u + R_p)_{\max} + (96/2)}$,C为(2×2) nF=4 nF。C的起始电平在总线的“0”状态设为-5 V;t₁时刻C被充电到200 mV。t₁必须小于1/2数据位,否则通信将出错,即

$$t_1 = RC \ln\left(\frac{V - V_0}{V + V_1}\right) < 0.5 \times (1/2400) \quad (3)$$

式中,V为电容的最终电压 $\frac{5 \times (96/2)}{(R_u + R_p)_{\max} + (96/2)}$;

V_0 为起始电压即 -5 V ； V_t 为 0.2 V 。

由式(3)可以得出 $(R_u + R_p)_{\max} \approx 120\text{ k}\Omega$ ，所以

$$R_{\text{umax}} = R_{\text{pmax}} = 60\text{ k}\Omega \quad (4)$$

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。在某市的低压集中抄表系统中，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个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。

偏置电阻与最大组网个数的统计，如下表所示。

表 偏置电阻与最大组网个数

偏置电阻(每个节点)/k Ω	1	10	20	30
最大节点个数	18	62	110	116

上述统计在以下前提下进行：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 C_j 最大为1.5 nF、漏电流最大为100 μA 、热敏电阻阻值为30~60 Ω ；485芯片的等效内阻最小为96 k Ω ；通信波特率为2 400 bit/s。

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260 Ω （单个节点30 k Ω ）时，节点总数可以支持116个节点。

设计建议

由于智能电表集中抄表系统的通信波特率为2 400 bit/s^[9]，为使485网络可以扩展到96个的节点、具有更好的兼容性，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260 MW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 k Ω 。

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个，将两栋楼互联组网，加上集中抄表设备，节点总数可达到85个。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个，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个），对现场总线进行48 h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30 min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] Q/GDW 1374. 2—2013 第2部分: 集中抄表终端技术规范 [S]. 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, 2013 (11).
- [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 [M]. 4版. 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]. 北京: 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] Q/GDW 1354—2013 智能电能表功能规范 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

(收稿日期: 2015-01-20) EA