

塑料光纤在用电信息采集通信系统中的应用研究

汪 洋, 王东山, 李明维

(国网电力科学研究院北京南瑞智芯微电子科技有限公司, 北京 102200)

摘要: 本文提出了一种新型的用电信息采集通信系统, 该系统将塑料光纤与石英单模光纤相结合, 利用塑料光纤易于连接、柔韧性好的优势降低系统成本和布线施工难度。通过计算得到了不同速率条件下塑料光纤的链路预算和功率代价, 并且由接收误码率和发射眼图结果得出了采用垂直腔面发射激光器作为光源可满足千兆位传输百米需求的结论。

关键词: 塑料光纤; 用电信息采集; 以太无源光网络

0 引言

用电信息采集系统主要包括终端设备、通信网络和系统主站。其物理架构如图 1 所示, 其中通信网络连接主站、采集传输终端、电能表, 是信息交互的载体^[1]。光纤专网采用以太无源光网络 (Ethernet Passive Optical Networks, EPON) 架构, 速度快、可靠性高、采集成功率高、响应时间短、传输距离远并且不收电磁干扰影响, 是重要的用电信息采集通信系统之一。EPON 采用石英单模光纤 (Single Mode Fiber, SMF) 作为传输介质, 上行波长 1310nm、下行波长 1490nm, 上下行均为千兆速率, 单纤双向工作^[2]。然而, 由于石英单模光纤纤芯尺寸只有不到 10 μm , 在光源耦合和光纤对接时需要精确的对准, 造成了包括光纤连接器、光收发模块、封装以及安装在内的系统整体成本很高。

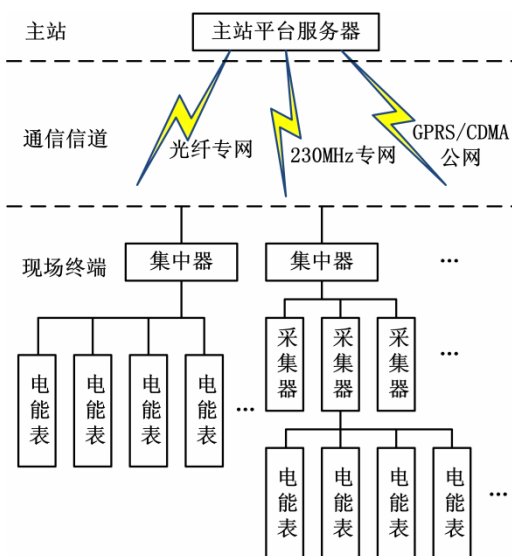


图 1 用电信息采集系统示意图

近年来, 大芯径、高带宽、低损耗的渐变折射率塑料光纤 (graded index plastic optical fiber, GI-POF) 发展迅速^[3]。GI-POF 的芯径高达 200-1000 μm , 对接容差很大, 可以采用廉价的连接器。阻碍 POF 在数据通信应用的主要障碍是其高损耗问题, 目前广泛商用的阶跃折射率塑料光纤 (step index POF, SI-POF) 的纤芯材料是 PMMA 树脂, 其低损耗极限值大约 100dB/km, 处于可见光区^[4]。随着全氟化 (perfluorinated, PF) 渐变折射率塑料光纤 (PF-GI-POF) 的发展, 损耗逐年降低, 并且低损耗窗口从可见光区移向了近红外区域^[5-9]。理论上, 氟化物塑料光纤的低损耗极限可以达到石英光纤的水平, 大约 0.3dB/km。同时, 塑料光纤带宽越来越大, 带宽距离积也超过了 1GHz·km, 可实现 10Gbps 甚至 40Gbps 的高速传输^[10-13]。另外, 塑料光纤柔韧性好, 可以弯曲、打结、挤压, 更适合各种布线情况。

为了降低系统成本和布线难度, 本文提出了一种采用塑料光纤与石英单模光纤结合的 EPON 方案用于用电信息采集通信系统中, 并且对该方案进行了物理层的仿真计算, 证明这种方案的可行性。

1 网络架构及链路预算

1.1 结合 POF 与 SMF 的 EPON 架构

如图所示, 将布线复杂的楼宇建筑内部 SMF 光纤全部替换成 POF。在楼宇建筑内部的 POF 光分配网络 (Optical Distribution Network, ODN) 采用双纤方式, POF-ODN 内的上下行可采用同一波长 λ_{POF} 。楼宇外部到远端光线路终端 (Optical Line

Termination, OLT) 的 ODN 仍然采用单根石英单模光纤, 上行 1310nm, 下行 1490nm。在 POF-ODN 与石英单模光纤之间采用光纤媒体转换器 (Fiber Media Converter, FMC) 连接, FMC 是光-电-光转换器件, 将 POF 中的 ONU 上行 λ_{POF} 信号转换为 1310nm 波长的光信号输入石英单模光纤, 同时将石英单模光纤中的 OLT 下行 1490nm 波长信号转换为 λ_{POF} 。

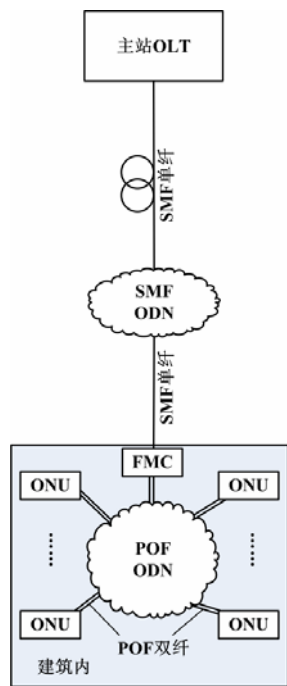


图 2 基于 SMF 与 POF 结合的 EPON 网络架构示意图

1.2 链路预算

在不考虑模式色散的前提下, 需要计算链路预算得到 POF-ODN 的覆盖范围通过 (ONU 至 FMC 的最大 POF 长度)。满足如下关系:

可获得光功率预算-通道插入损耗=代价分配

可获得光功率预算由光发射器件和光接收器件性能决定, 即光发射器件的平均光发射功率与光接收器件的接收灵敏度的差值; 通道插入损耗由分光器损耗、连接器损耗、光纤线路衰减等无源光器件引入的损耗构成; 代价分配用于补偿传输相关的代价, POF 链路主要补偿模式色散代价。

1.2.1 低速 (10M/100M) 方案

绝大部分用电信息采集系统的信息量不大, 10M 或者 100M 码率完全可以满足通信需要。在这种对 ONU 接入端速度要求不高的应用中, 可用廉价的发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 和硅探测器作为发射和接收器件, 其传输波长

$\lambda_{\text{POF}}=650\text{nm}$, 实现 10M/100M 的较低速率传输。其链路预算如表 1 所示, 其中 A 为 POF 线路衰减, $\alpha(\lambda_{\text{POF}})$ 为单位长度 POF 在波长 λ_{POF} 处的衰减, L 为 POF 长度, 满足 $A=\alpha(\lambda_{\text{POF}})L$ 。

| 表 1 650nm(850nm) 波长 10M/100M 速率下链路预算 | | | |
|--------------------------------------|----------------|-----------|--------------------|
| 描述 | 链路预算 | 备注 | |
| 可获得光功率预算 | 22dB (28dB) | LED 发射功率 | -2dBm |
| | | 接收机灵敏度 | -24dBm (-30dBm) |
| 通道插入损耗 | 16dB+A | 分光器损耗 | 14dB |
| | | 连接器损耗 | 2dB |
| | | 线路衰减 | A |
| 代价分配 | 2dB | 预留给模式色散代价 | |

可由链路预算得到线路衰减 A 最大允许 4dB, 以 $\alpha(650\text{nm})=100\text{dB/km}$ 计算, POF 最远传输距离可达到 40m。

由于 650nm 波长处的光纤线路衰减较大, 也可采用 850nm 波长的 LED 和 InGaAs 探测器作为光发射和接收器件, InGaAs 探测器成本比硅探测器略高。如表 1 所示, 括号内为 850nm 波长数据, 可得线路衰减 A 最大允许 10dB, 以 $\alpha(850\text{nm})=40\text{dB/km}$ 计算, POF 最远传输距离可达 250m。

因此, 650nm 方案器件成本低, 但覆盖范围较小 (40m); 850nm 方案器件成本较高, 但覆盖范围大 (250m)。

1.2.2 高速 (1000M) 方案

随着未来光纤到户建设和高速数据业务的发展, 承载用电信息采集业务的光纤专网将与电话、电视、互联网通信网络逐渐融合。高速 (1000M) 接入可采用 850nm 的垂直腔面发射激光器 (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL) 作为光源。链路预算如表 2 所示, 最大传输距离也可达到 100m。

| 表 2 1000M 速率下链路预算 | | | |
|-------------------|--------|------------|--------|
| 描述 | 链路预算 | 备注 | |
| 可获得光功率预算 | 22dB | VCSEL 发射功率 | 0dBm |
| | | 接收机灵敏度 | -22dBm |
| 通道插入损耗 | 16dB+A | 分光器损耗 | 14dB |
| | | 连接器损耗 | 2dB |
| | | 线路衰减 | A |
| 代价分配 | 2dB | 预留给模式色散代价 | |

POF ODN 在 10M/100M 以及 1000M 的速率下均可以保证最大 100m 的传输距离, 可适于大部分楼宇建筑内部布线要求。

2 系统物理层仿真

为了确定模式色散对系统的影响,需要对塑料光纤链路物理层进行仿真,计算出最受模式色散影响的高速条件下的系统误码率。仿真系统如图3所示,塑料光纤采用芯直径 $60\mu\text{m}$ 、包层直径 $500\mu\text{m}$ 的 PF-GI-POF, 在 850nm 处的损耗 40dB/km , 模式带宽 $1000\text{MHz}\cdot\text{km}$ 。伪随机码发生器用于产生 2^7-1 的伪随机比特序列。VCSEL 驱动电路和 850nm VCSEL 将 1.25Gbps 的不归零 (NRZ) 电信号转换为平均输出功率 0dBm 的光信号。可变光衰减器用以模拟分光器引入的损耗。光接收机采用响应度 1A/W 、暗电流 10nA 的 PIN 探测器, 截止频率 750MHz 的 4 阶 Bessel-Thomson 低通滤波器作为模型。光接收机输出的波形通过示波器观察并可与伪随机码发生器输入系统的原始信号进行比较得出比特误码率 (BER)。在接收机前端可使用功率计测量光功率。

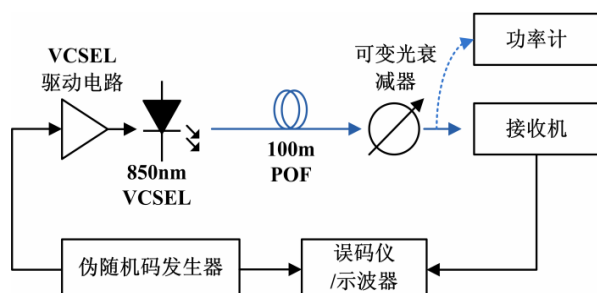


图3 仿真系统的搭建

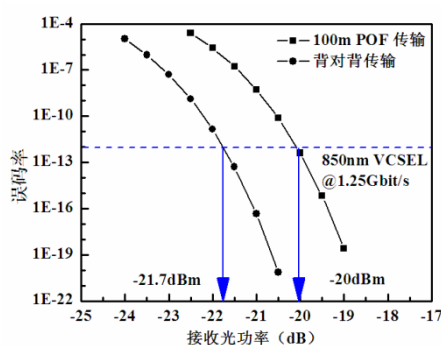
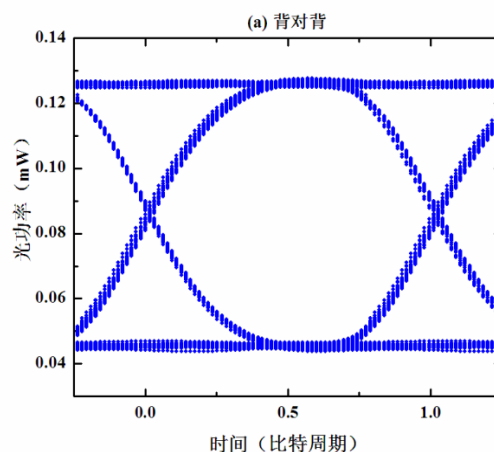


图4 误码率与接收光功率关系计算结果

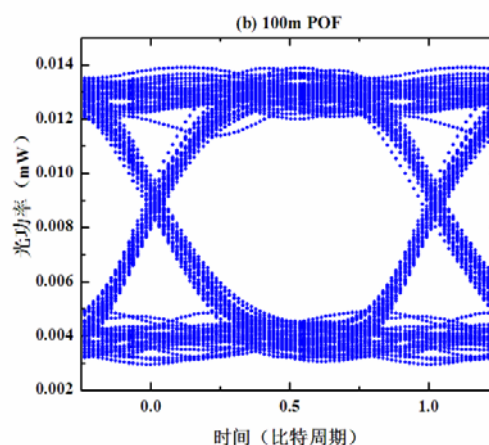
图4为计算得到的系统比特误码率 (Bit Error Rate, BER) 与接收光功率的关系图。系统误码率在 10^{-12} 的条件下,接收机灵敏度达到 -20dBm 。VCSEL 输出光信号直接进入可变光衰减器,不经过 100m POF 传输情况下 (背对背传输),接收机灵敏度为 -21.7dBm 。由此可见,由 100m POF 引入的功率代

价大约为 1.7dB , 主要是模式色散造成的。表2中为模式色散预留的 2dB 代价分配可以满足该传输系统。

图5为计算得到的眼图结果,经过 100m POF 传输的眼图与背对背传输相比没有明显恶化。



(a)背对背传输眼图



(b)经过 100m POF 传输眼图

图5 传输眼图

3 结论

利用氟化物渐变折射率塑料光纤 (PF-GI-POF) 构建的 EPON 光纤专网,可满足千兆位速率的传输需求。千兆位传输条件下, 100m 的 PF-GI-POF 引入了大约 1.7dB 的模式色散代价。塑料光纤芯径粗,连接方便,可以降低系统成本;柔韧性好,适于复杂布线环境,是用电信息采集系统的理想媒介。

参考文献:

- [1] 陈丽娟, 许晓慧. 智能用电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011: 112-121.

- [2] IEEE Computer Society. IEEE 802.3ah-2004 [S]. New York: IEEE Press, 2004.
- [3] Koike Y, Ishigure T, Nihei E. High-bandwidth graded-index polymer optical fiber[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1995(13): 1475-1489.
- [4] Kaino T, Fujiki M, Jinguji K. Preparation of plastic optical fibers[J]. Review of Electronic Communication Laboratory, 1984, (32): 478-488.
- [5] Loch Jr M. Plastic optical fibers: properties and practical applications[J]. Proceedings of SPIE, 2004, 5596: 299-308.
- [6] Daum W, Krauser J, Zamzow P E. POF-Polymer Optical Fibers for Data Communication[M]. Berlin: Springer, 2002.
- [7] White W R, Blyler L L Jr, Ratnagiri R. Manufacture of perfluorinated plastic optical fibers[C]. Optical Fiber Communication Conference, USA, 2004.
- [8] Koike Y. Progress of plastic optical fiber technology[C]. Proceedings of European Conference on Optical Communication, Oslo, Norway, 1996.
- [9] Koike Y, Ishigure T. Progress of low-loss GI polymer optical fiber from visible to 1.5- μm wavelength[C]. Proceeding of European Conference on Optical Communication, Edinburgh, Scotland, 1997.
- [10] Ishigure T, Nihei E, Koike Y. High-bandwidth(2GHz·km), low-loss(56dB/km) GI polymer optical fiber[J]. Proceedings of SPIE, 1992, 1799: 67-78.
- [11] Ishigure T, Sato M, Takanahi O, et al. Formations of the refractive index profile in the graded index polymer optical fiber for Gigabit data transmission[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1997, 15(11): 2095-2100.
- [12] Giaretta G, White W, Wegmueller M, et al. 11Gb/sec data transmission through 100m of perfluoriated graded-index polymer optical fiber[C]. Optical Fiber Communication Conference, San Diego, USA, 1999.
- [13] Ralph E, Polley A. 40-Gb/s in Plastic Optical Fiber[C]. Optical Fiber Communication Conference, San Diego, USA, 2008.

作者简介:

汪 洋 (1984-), 男, 安徽休宁人, 电力工程技术工程师, 主要研究方向为光通信器件及系统应用;

王东山 (1965-), 男, 江苏泰兴人, 高级工程师, 主要研究方向为光通信器件及系统应用;

李明维 (1978-), 男, 河北唐山人, 高级工程师, 主要研究方向为光通信器件及系统应用。