

# WDM-PON 与电力无线的 RoF 融合通信系统仿真研究

蔡 昊, 黄 翔, 李 沛

(江苏省电力公司信息通信分公司, 江苏 南京 210008)

**摘 要:** 本文研究了采用 RoF 技术的 PON (无源光网络) 和无线融合通信系统, 其中无线部分采用了电力系统可申请的 1.8GHz 频段。融合方案中以外调制光生毫米波技术产生 1.8GHz 无线信号, 此方法中的下行基带信号主要携带在边带信号上, 未经调制的中心载波可作为上行链路的光源进行再利用。通过仿真得到信号时域、频域波形及信号眼图、星座图等性能指标, 结果表明此 RoF 融合系统可实现 30-40km 的光纤传输。

**关键词:** PON 与无线融合; RoF; 毫米波; 波长重用

## 0 引言

光载无线 (RoF) 技术是光和无线融合技术发展比较高级的阶段, 在该技术中, 光纤仅起到传输的作用, 交换、控制和信号的再生都集中在中心站, 基站简化到仅实现光电转换的作用。在未来无线通信的发展中, 随着数据传输速率的提高和低频段资源的不断消耗, 信号的载波频率将提高到毫米波频段。高频率的电磁波在传播过程中损耗会增加, 信号传播距离将缩短, 则蜂窝小区面积减小, 蜂窝数量就需要增加, 此时 RoF 技术中的简化就体现出了其成本优势。

对于现今的智能电网通信, 其专用频段 230MHz, 允许申请的频段 1.8GHz 等相比于毫米波波段 (30GHz~300GHz) 频率较低, 衰减程度相对较小, 但是电力系统的无线设备发射功率较低, 覆盖范围也不会很大。同时电力系统各配用电终端数量相比移动通信业务的终端数量要少得多, 因此频谱利用率不会因为覆盖范围较大而显著降低。故 RoF 技术简化基站, 增加小区数量的思想十分适合电力系统通信。

当前在智能电网通信系统及其它各通信领域广泛使用的 PON 技术是 TDM-PON, TDM-PON 在拥有许多明显优势的同时也存在一些问题, 同时接入网容量需求在不断增加, 传统的 TDM-PON 无法满足今后高带宽长距离的通信需求, 因此性能更加优异的 WDM-PON 是未来无源光网络的应用发展趋势。另外, TDM-PON 作为 IP 网络, 其传输时延具有较大的不确定性, 而无线部分多采用时分双工 (TDD) 技术, 其信号接收对时钟有严格的要求,

从这一方面来看, TDM-PON 并不十分适合与无线通信进行 RoF 融合。因此, 本课题选择对 WDM-PON 与电力系统可申请的 1.8GHz 频段无线的 RoF 融合系统进行前瞻性的仿真研究。

## 1 基于外调制技术的 WDM-PON 与 RoF 融合系统原理

采用外调制技术进行光生毫米波的 WDM-PON 与 RoF 融合系统, 如图 1 所示。

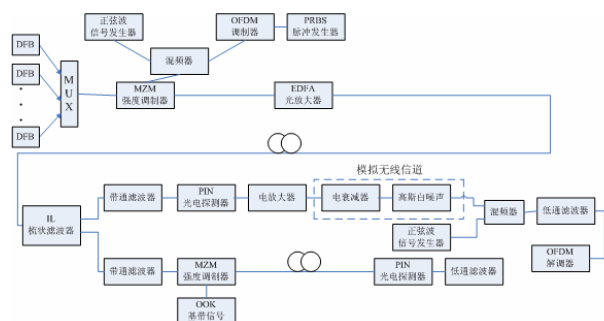


图 1 采用外调制技术的 WDM-PON 与 RoF 融合系统原理图

位于中心站的发射端采用  $N$  个不同波长的光源, 耦合后输入强度调制器。若采用频率为  $2f$  的下行链路射频无线信号, 则强度调制器的驱动信号为频率为  $f$  并调制了基带信号的射频副载波, 基带信号采用 OFDM 调制方式。对光信号进行双边带调制 (DSB), 调节驱动器参数, 增大二阶及以上边带信号的衰减, 使能量主要集中在二阶边带和中心载波上, 因此强度调制器的输出为双边带光载 OFDM 毫米波, 其中二阶边带频率间隔为  $2f$ 。基带 OFDM 信号主要携带在边带信号上, 信号到达基站后, 未经调制的中心载波可作为上行链路的光源进行再利用。由于信号经过调制器后有损耗, 经光放大器进

行补偿后,送入光纤信道传输至基站。

信号到达基站后,采用梳状滤波器(IL)将N路信号的中心载波与一阶边带分离,IL的两个输出端分别输出N路一阶边带和N路中心载波。经光滤波器分离出第一路一阶边带信号,此为携带基带OFDM信号的光载毫米波,将其输入光电探测器(PD)进行拍频,产生两倍于射频副载波频率的毫米波,经电放大后,由天线发射进行无线通信。无线信道实际上是一个加性高斯白噪声信道,因此可以用一个衰减器和一个高斯白噪声模块进行等效。无线终端接收来自基站的无线信号,经电放大器放大后,将信号与一个同频的毫米波本地振荡器进行混频,即进行相干解调,然后经过低通滤波器,得到OFDM调制信号。最后进行OFDM解调,获得基带信号。对于中心载波,由于未调制任何信号,可以作为上行链路的光源进行再利用。使用光滤波器分离出第一路中心载波,将上行链路基带信号通过光强度调制器调制到中心光载波上,送入光纤信道传输至中心站,经光电检测和低通滤波,得到基带信号。

## 2 仿真模型与性能分析

### 2.1 模型描述及波形结果

根据上述原理,使用Optisystem7.0建立以下仿真模型。

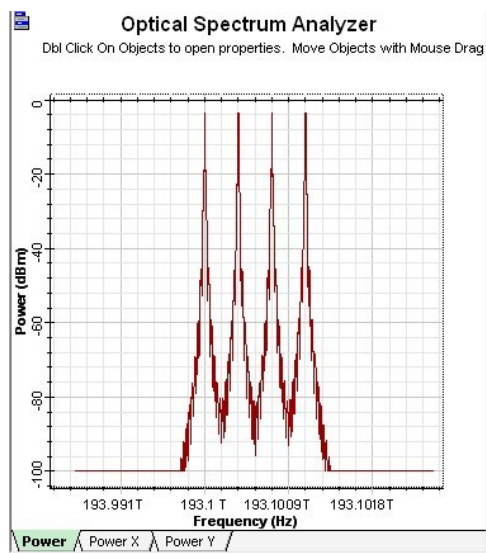


图2 四路WDM信号波形

发射端光源采用WDM Transmitter和WDM Mux 4×1进行4路波分复用,四路信号频率为193.1THz~193.1108THz,3.6GHz的频率间隔是由射频副载波频率和基站处梳状滤波器的工作原理决

定的,并可有效避免各路信号之间的干扰。4路WDM信号如图2所示。使用PRBS序列发生器产生伪随机码,进行OFDM调制,该OFDM调制器采用Optisystem和Matlab协同仿真,由软件自带的Matlab模块调用Matlab程序实现。将产生的OFDM信号与0.9GHz的正弦波射频信号进行混频后,输入马赫曾德强度调制器(MZM)的两臂对耦合后的四路光波进行双边带调制,调制后的WDM光信号如图3所示,虽然仍可见二阶及以上边带,但衰减较大,可以忽略。将产生的四路WDM双边带光载OFDM毫米波输入EDFA放大后,送入单模光纤(SMF)传输。

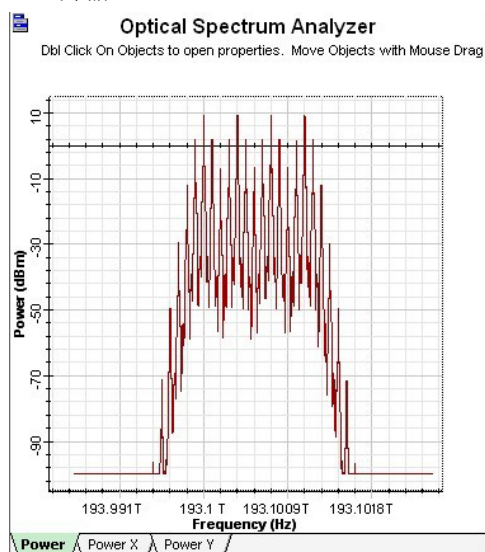
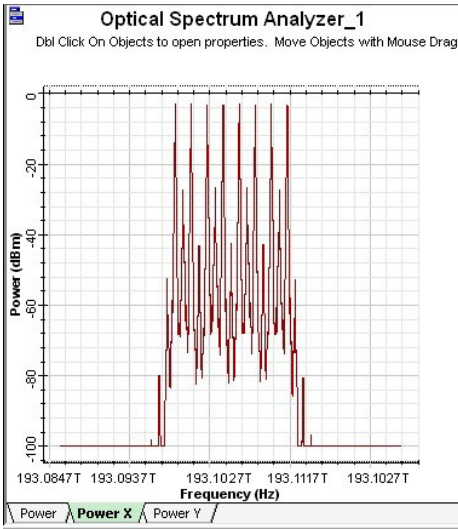


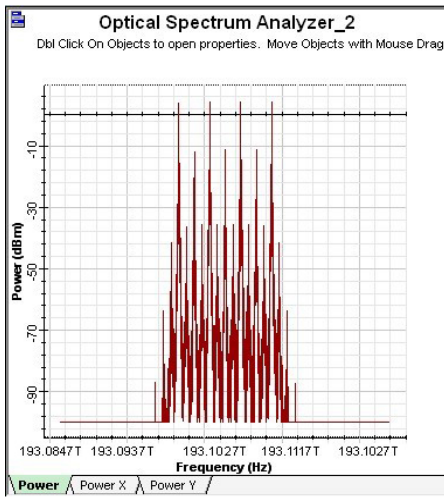
图3 经DSB的WDM信号波形

到达基站后,采用WDM Interleaver Demux(梳状滤波器)分离边带和中心载波,模型中滤波器的上端口输出四路边带,下端口输出四路未经调制的中心载波,输出波形分别如图4(a)、(b)所示。采用直角滤波器分离各路信号。将滤波器中心频率设为193.1THz,带宽设为1GHz,滤出将传回中心站进行再利用的第一路中心载波,如图5所示。将另一滤波器中心频率同样设为193.1THz,带宽设为2GHz,滤出第一路调制了OFDM信号的边带,如图6所示。将该光载毫米波信号输入光电探测器(PD)转换成电信号,经电放大后送入无线信道。使用一个20dB的电衰减器和一个Matlab模块等效无线信道,Matlab模块调用Matlab程序以实现加性高斯白噪声功能,其信噪比为5dB。信号到达无线终端的时域波形如图7所示。信号在无线终端处与一频率为1.8GHz的正弦波混频以实现相干解调,经过低通滤波,此处低通滤波器采用Rec直角滤波

器，截止频率设为 3GHz。滤波后进行 OFDM 解调，OFDM 解调器同样采用与 Matlab 协同仿真的方式。



(a) 经 IL 分离出的四路边带信号



(b) 经 IL 分离出的四路中心载波

图 4 四路 WDM 经梳状滤波器后的输出

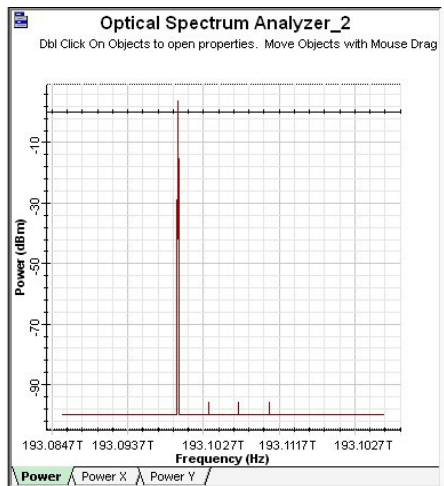


图 5 第一路中心载波

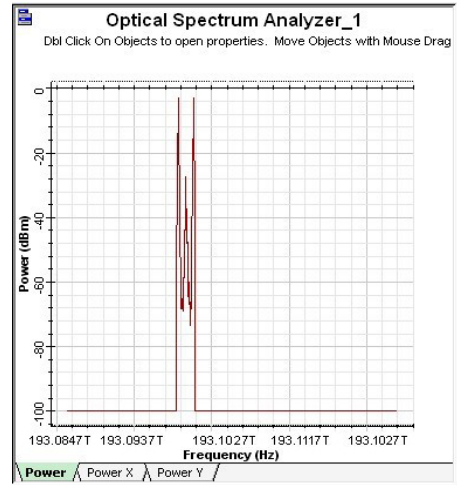


图 6 第一路边带信号

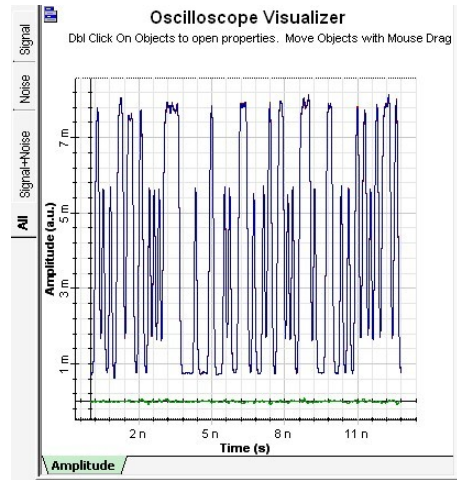


图 7 无线终端接收到的信号时域波形

## 2.2 性能分析

下行链路光信号经光电检测恢复出毫米波，测得其眼图如图 8 所示。由图可见眼图张开程度良好，毫米波信号在可接收范围内。



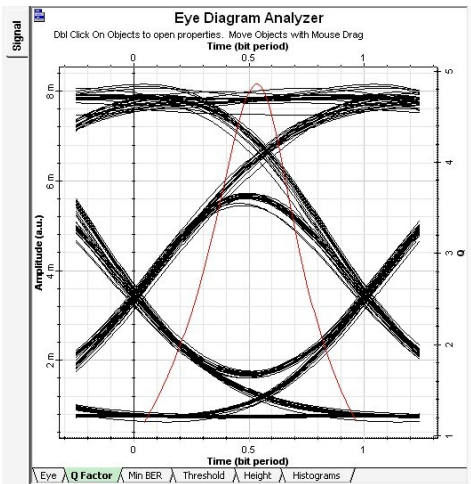
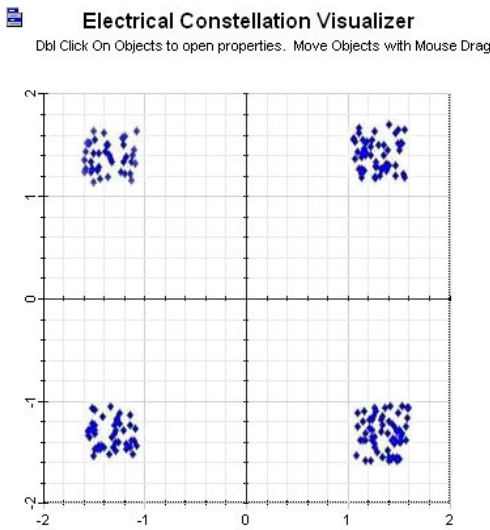
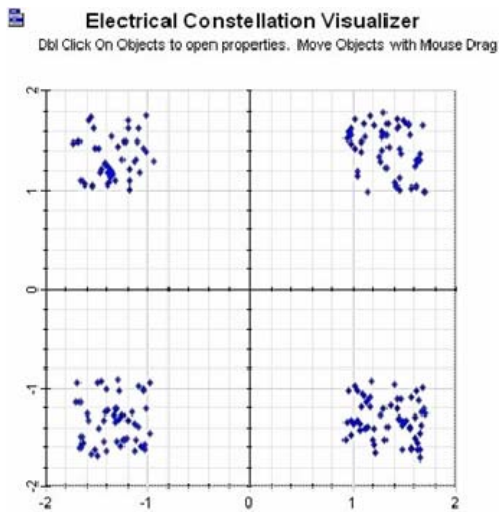


图 8 毫米波信号眼图

经 OFDM 解调器解调出的基带 OFDM 信号星座图如图 9 所示。图 9 (a) 是经 20km 光纤传输后的星座图，由图可见，四个点可以保持比较清晰的状态；图 9 (b) 是经 40km 传输后的星座图，由于传输距离延长，引入的噪声和信号衰减增大，再加上色散和非线性效应的影响，四点略有发散，但仍能保持在各自的区域内，可以区分开来。



(a) 经 20km 光纤传输的基带信号星座图



(b) 经 40km 光纤传输的基带信号星座图

图 9 分别经 20km、40km 光纤传输的基带信号星座图

3 结论

采用了外调制光生毫米波方法，在 optisystem 软件的基础上建立了 WDM-PON 与电力无线的 RoF 融合系统的仿真模型，并采用 1.8GHz 的电力系统无线通信专用频段。在外调制方法中，耦合四路激光光源，将频率为 0.9GHz 的射频信号输入强度调制器对激光进行双边带调制，这样的光信号边带含有基带信息，采用梳状滤波器分离出纯净的中心载波返回中心站进行再利用。系统模拟结果表明，经过 40km 的光纤传输后，星座图仍然可辨，可基本恢复基带数据。

参考文献：

[1] 昌庆江. Radio over Fiber 宽带无线接入网络的关键技术研究[D]. 上海：上海交通大学，2009. 21.

[2] 李涛. 用于 ROF 系统中的相干光通信及其仿真[D]. 成都：电子科技大学，2010. 12.

[3] 王晶. WDM-PON 与 ROF 系统融合技术研究[D]. 长沙：湖南大学，2010. 11-15.

[4] 国网电力科学研究院. 光载无线技术应用研究可研报告 [Z]. 南京：国网电力科学研究院，2011.

[5] 张亮. ROF 与 WDM-PON 融合系统的关键技术研究[D]. 上海：上海交通大学，2010. 7.

作者简介：

蔡 昊 (1979—)，男，江苏盐城人，工程师，从事电力系统通信方面的工程和研究工作，E-mail：caihao2013@163.com；

黄 翔 (1981—), 男, 江苏南京人, 工程师, 从事电力系统通信方面的工程和研究工作, E-mail :  
3499494@sina.com;

力系统通信方面的工程和研究工作, E-mail :  
bladenw@aliyun.com。

李 沛 (1986—), 男, 江苏镇江人, 助理工程师, 从事电