

引用本文: 李佳, 夏翼飞, 赵婉青, 等. 面向 FTTR 的低成本半双工模式收发机方案及关键技术[J]. 光通信技术, 2024, 48(4): 21-24.

面向 FTTR 的低成本半双工模式收发机方案及关键技术

李 佳, 夏翼飞, 赵婉青, 杨钰叶, 马帅哲, 冉念权, 李 丹*

(西安交通大学 电子与信息学部, 西安 710049)

摘要: 为了降低光纤到房间系统中光网络单元的数量和成本, 提出了半双工模式收发机方案。该方案通过模式切换开关连通不同电路组件, 实现通信系统的收发功能。同时, 将该收发机与 WiFi 无线收发系统配合使用, 形成了“光纤-无线”半双工收发系统架构, 实现光信号和射频信号在光纤到房间系统中的传输。测试结果表明, 设计的模式切换开关与收发机协同工作顺畅, 在数据传输速率为 5 Gb/s 时, 接收端信号眼图清晰, 验证了半双工模式收发机方案的可行性。

关键词: 光纤到房间; 光通信; 无线系统; 半双工; 射频光纤传输

中图分类号: TN432 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2024)04-0021-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2024.04.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Low-cost half-duplex transceiver scheme and key technology implementation for FTTR

LI Jia, XIA Yifei, ZHAO Wanqing, YANG Yuye, MA Shuaizhe, RAN Nianquan, LI Dan*

(Faculty of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: To reduce the number and cost of optical network units in fiber-to-the-room systems, a half-duplex transceiver solution is proposed. This solution realizes the transceiver function of the communication system by connecting different circuit components through a mode switch. At the same time, the transceiver is used together with the WiFi wireless transceiver system to form a "fiber-wireless" half-duplex transceiver system architecture, enabling the transmission of optical signals and radio frequency signals in the fiber-to-the-room system. The test results show that the designed mode switch and transceiver work smoothly together, and the signal eye diagram at the receiving end is clear when the data transmission rate is 5 Gb/s, verifying the feasibility of the half-duplex transceiver solution.

Key words: fiber to the room, optical communication, wireless system, half-duplex, radio-over-fiber

0 引言

近年来,光网络的组网方案主要为光纤到户(FTTH),即将光纤网络单元安装到住户处。然而,由于无线保真度(WiFi)实际覆盖和应用场景复杂等非理想因素,FTTH 组网方案受到一定限制,用户的网络体验并

未达到预期水平,千兆宽带并未带来理想的“千兆体验”。在实际应用中,虽然可以通过使用大功率路由器来提升信号覆盖面积,但由于墙壁阻隔,房间信号质量仍存在较大差异^[1]。光纤到房间(FTTR)技术以其先进性,正成为光网络组网领域备受瞩目的焦点,其全新组网方案将光纤延伸至房间内部,为用户提供全房间千兆以上的网速覆盖,且组网方式更为灵活。不过,无论是主光猫与从光猫间通过一根光纤直接连接,还是从光猫通过光分路器接收主光猫信号的实现形式,FTTR 都需要更多的光网络单元,因此其组网成本较 FTTH 高^[2]。

针对上述问题,本文提出一种半双工模式的收发机方案,该方案对光组件的需求更少,从而能降低单个光网络单元的成本。

收稿日期: 2023-12-12。

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(批准号: 62074126)资助。

作者简介: 李佳(1999—),男,硕士研究生,现就读于西安交通大学电子与信息学部微电子学院电子科学与技术专业,目前主要从事高性能无源光网络接收机模拟前端芯片、激光雷达接收机模拟前端芯片等光通信相关芯片的设计与研究工作。

* 通信作者: 李丹(1982—),男,博士,副教授,主要研究方向为光通信、集成微波光子、3D 传感、射频及电源管理芯片。



李佳, 夏翼飞, 赵婉青, 等: 面向 FTTR 的低成本半双工模式收发机方案及关键技术

1 半双工模式收发机方案

1.1 收发机结构及原理

目前的无源光网络(PON)收发机架构是将接收与发射模式分为2个独立部分,形成了全双工模式。这种架构需要2套光组件,即激光器和光电探测器^[3],完成光信号的发射与接收工作。在新的FTTR的应用场景中,由于光纤需要深入众多房间并与许多媒体设备相连,对收发机数量的需求(相比FTTH)几乎成倍增长。这导致了用户在安装FTTR网络时的成本增加。因此,本文改变了目前PON收发机的架构,通过将接收与发射2种模式结合在1套光组件中,形成了半双工模式的收发机架构,如图1所示。收发机由双模式光器件(本文采用分布反馈式光纤激光器,DFB-LD)、模式切换开关、突发模式跨阻放大器(BM-TIA)和激光驱动器组成。DFB-LD具有接收和发射2种模式,通过改变偏置,光器件可以充当不同的角色:当阳极电压高于阴极电压时,它作为激光器(发射机)来工作;当阴极电压高于阳极电压时,它作为光电探测器(接收机)来工作^[4-6]。模式切换开关由2个单刀双掷开关(SPDT)组成,其工作方式类似于双刀双掷开关(DPDT)。其中,SPDT_S连接光器件的阳极,并同时连接信号接收模块和信号发射模块;SPDT_P将光器件的阴极与高电位或低电位相连,用来为双模式光器件提供不同的偏置。

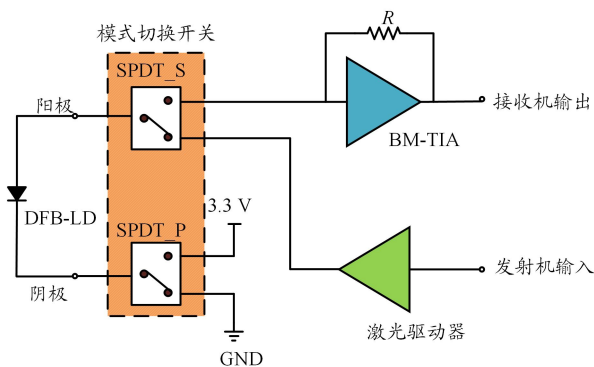


图1 半双工模式收发机架构原理框图

半双工模式收发机原理如下:当收发机处于接收模式时,2个开关将双模式光器件的阳极与信号接收机连接,同时确保阴极与高电位相连。由于这种连接方式使DFB-LD的阴极电路获得最高电位,DFB-LD因此处于反向偏置状态,作为光电探测器工作。DFB-LD配合后方的信号接收模块,能够顺利接收并传递来自光纤的光信号。当收发机处于发射模式时,2个开关将DFB-LD的阳极与信号发射机连接,同时将阴极与

低电位连接。由于光器件的阴极为系统最低电位,DFB-LD处于正向偏置状态,因此作为激光器来工作。这样,DFB-LD可以配合后面的信号发射机将光信号发射到光纤中。

1.2 模式切换开关设计

模式切换开关是半双工模式收发机方案中的关键组件。本文将设计的模式切换开关与采用突发模式响应技术的BM-TIA集成在基于互补金属氧化物半导体(CMOS)工艺制作的芯片上^[7]。与本芯片配合使用的DFB-LD在发射模式下需要的偏置电流约为120 mA,且具有约为1 pF的寄生电容。模式切换开关设计内容包括:安全防护设计、带宽设计及开关控制时序设计。

1)安全防护设计。模式切换开关的设计首先注意避免晶体管击穿。开关在工作过程中面对的电压变化范围很大。接收模式下,BM-TIA前端的电压约为600 mV,而发射模式下,激光驱动器输出端口的电压约为2 V,电压的大范围变化会带来晶体管击穿的风险,因此开关设计时,接收机输出端口采用了相比普通晶体管有更高耐压的厚栅极晶体管。模式切换开关晶体管电路结构如图2所示。

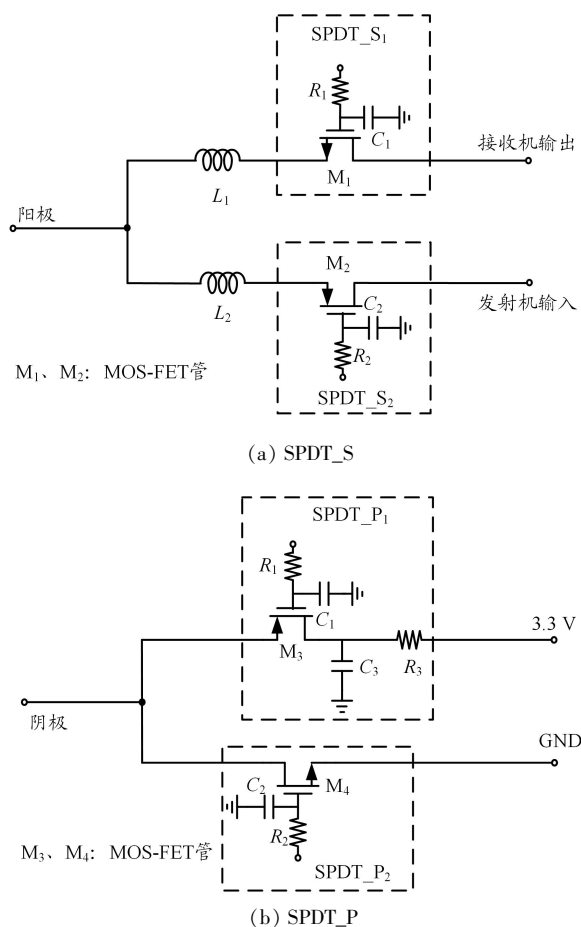


图2 模式切换开关晶体管电路图

2) 带宽设计。模式切换开关电路对收发机总体传输能力的影响主要取决于开关的自身带宽和寄生电容。厚栅极晶体管本身会带来较大的寄生电容, 因此, 除了在设计开关晶体管时精确控制尺寸, 本文还增加了片上电感(对应图 2 中的 L_1 与 L_2), 利用串联谐振技术来进一步减轻带宽压力。

3) 开关控制时序设计。该时序指的是收发机 2 种模式互相切换时对各组件行为控制的时间先后顺序。本开关控制时序设计的主要考量在于避免电路中 2 种模式之间的相互干扰, 因此在时序控制电路中设计了固定和选通 2 种延时模块来实现以下行为: 收发机进行模式切换时, 先切断原模式模拟前端电路与信号通路的连接, 并且关闭对光器件的偏置; 然后, 将新模式的模拟前端电路与信号通路进行连接, 同时给予光器件相应的偏置。

1.3 模式切换开关眼图测试

模式切换开关的性能测试系统框图如图 3 所示。系统主要由电源、信号发生器、光测试板、眼图仪和激光驱动器组成。其中, 光测试板实物图如图 4 所示。测

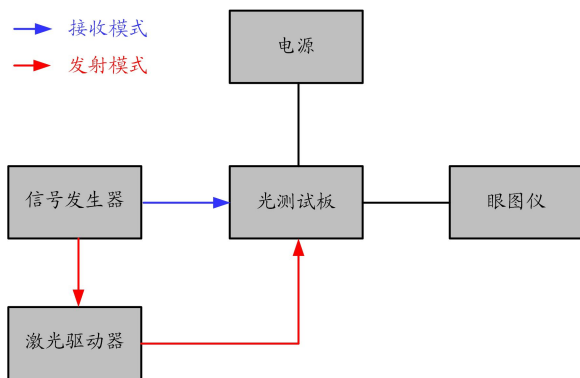


图 3 模式切换开关的性能测试系统框图

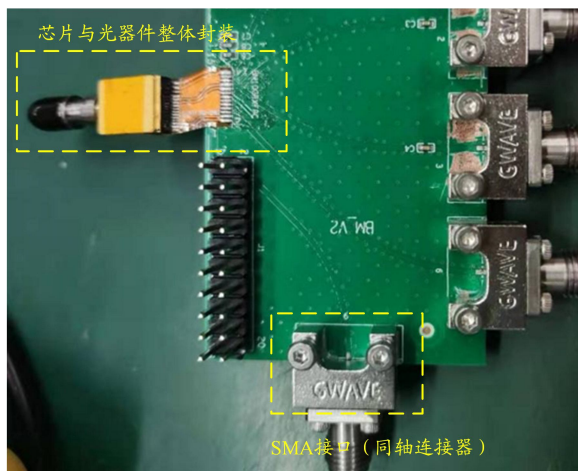


图 4 光测试板

试过程如下:

在接收模式下, 测试开始时信号发生器会生成各种速率的伪随机码。这些码由光测试板接收并放大后, 再送往眼图仪以观察信号的眼图形成情况。

在发射模式下, 由于芯片未集成激光驱动器, 信号需先经激光驱动器放大处理, 随后再传送至光测试板, 并最终在眼图仪中观察光眼图的情况。

测试系统的工作波长为 1 270 nm。在 3.3 V 反偏置电压下, 光器件的响应度为 0.3 A/W, 光-电带宽为 3 GHz 左右。受制于器件的带宽、电路带宽及印刷电路板(PCB)的低通特性, 测试系统的整体带宽偏低。数据传输速率为 5 Gb/s 的发射模式眼图及接收模式眼图如图 5 所示。可以看出, 收发 2 种模式中, “眼睛”张开清晰, 表明模式切换开关能配合收发机工作, 进而验证了本文所提半双工收发机方案的可行性。

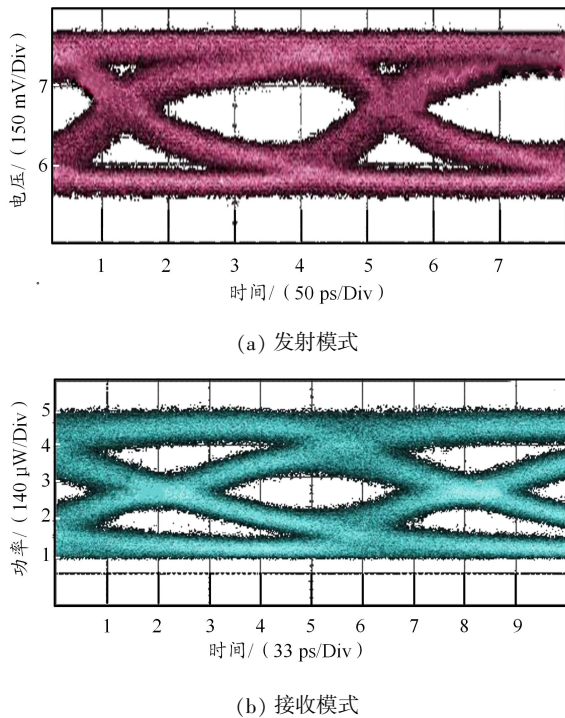


图 5 收发模式眼图

2 半双工“光纤-无线”系统

根据文献[8]可知, WiFi 无线收发系统也是一种半双工模式的系统。因此, 本文提出的半双工模式收发机可以与 WiFi 无线收发系统配合使用, 形成“光纤-无线”半双工收发系统架构, 如图 6 所示。这样的架构不仅可以实现射频光纤传输(RoF), 还可以实现光收发机与无线收发机同芯片集成, 能进一步降低组网方案的繁琐度和安装难度。

李佳, 夏翼飞, 赵婉青, 等: 面向 FTTR 的低成本半双工模式收发机方案及关键技术

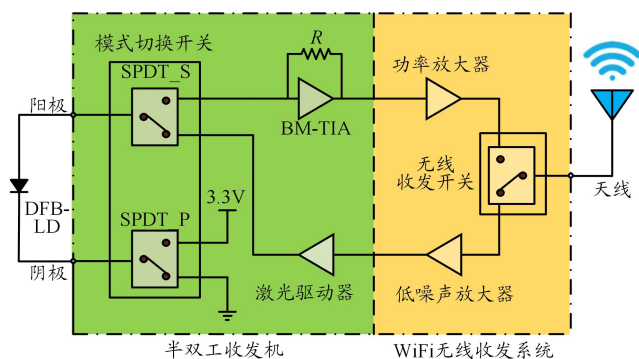


图6 “光纤-无线”收发系统架构

3 结束语

本文提出了一种半双工模式收发机方案,该方案可以有效降低 FTTR 组网时的光网络单元成本。测试结果表明:该方案中模式切换开关能够顺畅地与收发机协同工作,从而验证了半双工模式收发机方案的可行性。这种半双工模式的收发机与 WiFi 无线收发系统相结合,共同构建了一个完整的半双工“光纤-无线”收发系统架构,有望推动高速光纤通信的进一步发展,助力数字中国的建设,造福广大民众。

参考文献:

- [1] 林炎. FTTR 网络架构及其应用研究[J]. 通信与信息技术, 2023(1): 25-27, 49.
- [2] 吴戈. 基于 GPON 下 FTTR 全光 Wi-Fi 技术组网方案研究[J]. 电信工程技术与标准化, 2023, 36(4): 64-69.
- [3] RAZAVI B. Design of integrated circuits for optical communications [M]. 2nd Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.
- [4] VAN J P. Characteristics of 1.3- μm InGaAsP lasers used as photodetectors[J]. Journal of Lightwave Technology, 1989, 7(2): 347-352.
- [5] KASHIMA N. A new approach to an optical attenuator for a time compression multiplex system using a laser diode as both transmitter and receiver[J]. Journal of Lightwave Technology, 1991, 9(8): 987-990.
- [6] KASHIMA N. Time compression multiplex transmission system using a 1.3- μm semiconductor laser as a transmitter and a receiver[J]. IEEE Transactions on Communications, 1992, 40(3): 584-590.
- [7] LI D, LI J, HUANG W, et al. Low-cost high-speed rapidly reconfigurable integrated half-duplex optical transceiver front-end[J]. Optics Express, 2023, 31(2): 2386-2393.
- [8] IEEE. IEEE draft standard for Information technology—telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks-specific requirements: IEEE Std 802.11bb-2023[S]. New York: IEEE, 2023: 1-37.