

光载无线通信系统(RoF)中宽带光收发模块的设计

杨立杰^{1,2}, 李宝霞³, 刘丰满^{1,4}, 陆 原^{1,4}, 曹立强^{1,2,4}, 谭 同^{1,2}

(1 中国科学院 微电子研究所, 北京 100029; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 西安微电子技术研究所, 陕西 西安 710065; 4 华进半导体封装先导技术研发中心有限公司, 江苏 无锡 214135)

摘 要: 本文提出一款应用于光载无线通信系统的射频光收发模块, 具有低噪声、宽频带及高线性度的性能. 分别介绍了该光模块收发两部分的结构框架, 及模块中的关键电路, 包括射频放大电路、激光器驱动电路和电源管理模块. 该模块电信号的反射损耗在 DC-10 GHz 带宽内控制在 -10 dB 以下, 增益在 DC-8 GHz 内保持 9 dB 左右, 输出三阶交调分量 OIP3 可达到 28 dBm 以上, 并得到该光电系统较清晰的 64QAM 星座图. 射频光模块作为光载无线系统的关键部分, 具有广阔的发展前景.

关键词: 光发送模块; 光接收模块; RoF; 射频放大电路

中图分类号: TN41

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)07-0037-05

A Broadband Optical Transceiver of RoF System

YANG Li-jie^{1,2}, LI Bao-xia³, LIU Feng-man^{1,4}, LU Yuan^{1,4},
CAO Li-qiang^{1,2,4}, TAN Tong^{1,2}

(1 Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

3 Xi'an Microelectronics Technology Institute, Xi'an 710065, China;

4 National Center for Advanced Packaging(NCAP), Wuxi 214315, China)

Abstract: This study proposes a broadband RF optical transceiver applied to Radio over Fiber (RoF) system, which has low noise, wide band and high linearity. The structures of transmitter module and receiver module are reported respectively, including the RF amplifying circuit, the laser driving circuit and the power management module. The electrical signal reflection loss S11 of the module is controlled below -10 dB in the DC-10 GHz bandwidth, the gain is kept about 9 dB in DC-8 GHz bandwidth, the OIP3 can reach more than 28 dBm, and the clear constellation diagram of the photoelectric system is obtained. As the key part of RoF system, RF optical transceiver has broad application prospects.

Key words: transmitter module; receiver module; RF amplifying circuit; RoF system

1 引言

基于射频拉远的光载无线(Radio over Fiber, RoF)技术^[1]是将光纤通信和无线通信结合起来的无线接入技术. 结合了光纤通信高带宽、低损耗和无线通信接入灵活的特点. 可降低基站成本、增加基站数量^[2-3]. 同时, 这种结构可以将编码、调制等信号处理功能集中由中心站完成, 可以更好地实现设备共

享, 提高整个系统的资源调配灵活性和利用率^[4]. 而且, RoF 系统对信号调制格式、射频载波频率、协议等透明化, 可以通过副载波复用 SCM(Subcarrier Multiplexing)技术利用同一 RoF 链路同时传输多路不同频率的信号, 从而实现多业务的并行操作, 同时可结合光纤通信中的波分复用 WDM(Wavelength Division Multiplex)技术, 更加灵活地利用同一套设备提供多种接入服务^[3].

目前 RoF 光模块基本处于外国垄断的状况,国内射频光模块依然依靠进口,没有自主研发的用于 RoF 系统的射频光收发模块.

本文基于光载无线通信系统的需求,设计了一款宽频带、高线性、低噪声四收四发一体光模块,可实现多业务传输,频率覆盖范围为 DC-10GHz.

2 模块的系统架构

多制式宽频带光载无线系统的通信原理结构如图 1 所示,其基本原理就是在中心站将微波信号通

过射频光模块调制到激光上,调制后的光信号通过复杂的光纤链路进行传输;到达基站后,再通过射频光模块将光信号解调成微波信号,由天线发射供用户使用^[5]. 其中射频光收发模块起到关键的作用,且其性能指标决定着整个收发链路的信号传输质量. 光发送模块实现将射频电信号转换成光信号,通过激光器输出;光接收模块实现将探测器接收到的光信号转换成无线射频信号输出. 该四收四发光模块的每个通道均可达到 10 GHz 的带宽,可以实现多种业务并行传输.

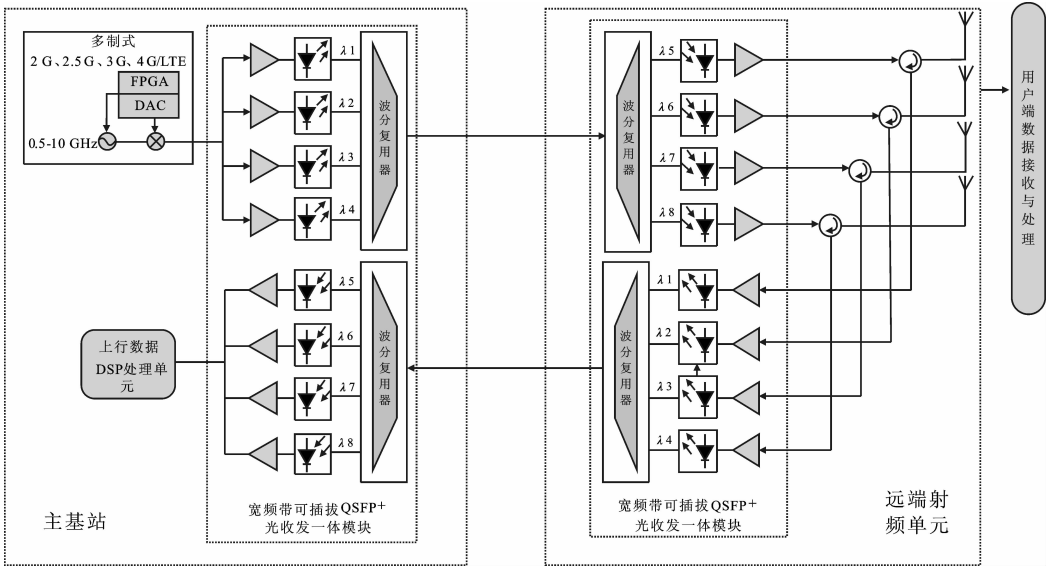


图 1 多制式宽频带光载无线通信原理

2.1 光发送模块

光发送模块主要实现射频信号的输入和激光器的光调制功能,电路结构如图 2 所示. 射频信号进入模块后,需经过放大电路的放大,来调节射频信号的强度,以使得激光器得到最佳的调制深度,从而改善系统的三阶互调性能. 同时要保证电路的阻抗匹配设计,对链路中引入的不连续点进行优化设计,保证模块在 0~10 GHz 带宽内实现较好的电压驻波比,提高信号传输质量.

另外,激光器的光调制部分电路主要包括偏置电流的提供电路和 Bias-Tee 电路. 首先,需要通过驱动电路为激光器提供直流偏置,使激光器工作在最佳的直流工作点;然后,通过 Bias-Tee 电路将经过适当放大的射频信号与直流偏置信号叠加,以实现

2.2 光接收模块

光接收模块主要实现光信号的接收及射频信号

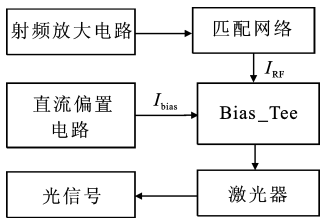


图 2 光发送模块结构框架

放大与输出匹配等功能,如图 3 所示. 首先,探测器将光纤中接收到的携带信息的光信号转换成微小电流;然后,经宽带跨阻放大器 TIA(Trans-impedance Amplifier)将电流转换成电压;最后经由放大链路实现高线性、低噪声放大,输出电信号. 另外同样需要进行电路的阻抗匹配设计,保证 0~10 GHz 带宽内电路的信号传输质量.

3 关键电路结构设计

在光载无线系统中,因为光载波承载的是可以直接通过天线发射的射频信号,所以 RoF 系统不是

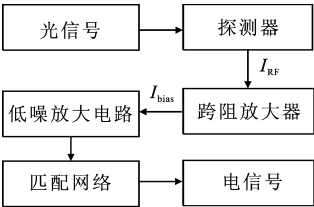


图 3 光接收模块结构框架

传统的数字通信系统,而是模拟通信系统.与数字光纤通信链路相比,模拟光纤通信链路对性能有更高的要求,包括增益、带宽、线性度、噪声等参数,进而对系统中的器件指标有更加苛刻的要求^[6].

3.1 放大链路设计

基于系统对增益、带宽、线性度等方面的要求,选用了一款宽带模拟功率放大器芯片,其性能指标如表 1 所示.这款放大器线性度较高,输出三阶交调分量 OIP3 可达 40 dBm,且具有 13.5 dB 的高增益,满足系统指标的要求.其 1 dB 压缩点输出功率为 28.5 dBm,由 $P_{out} = I^2 R$, R 为 50Ω ,则可以估算出放大器的输出电流最大可达到约 113 mA.激光器的电流工作范围约为 20 mA~150 mA,则该放大器线性输出电流满足激光器的要求.

表 1 放大器芯片指标

测试条件	
$T_A = +25^{\circ}\text{C}$, $V_{dd} = +10\text{ V}$, $V_{gg2} = +3.5\text{ V}$, $I_{dd} = 400\text{ mA}$	
频率范围	DC-10 GHz
增益	13.5 dB
1dB 压缩点输出功率	28.5 dBm
输出三阶交调点 OIP3	41 dBm
噪声系数	3.5

如图 4 所示搭建该放大器的外围电路,构成射频信号的放大链路.该芯片为共源共栅放大器,需调节两级栅压 V_{gg1} 和 V_{gg2} .则采用可调电阻来控制两个栅压的变化,进而保证放大器工作在最佳放大状态.此外,需通过图中所示的 bias_Tee 结构来提供放大器的漏极电压 VDD.芯片管脚采用多个电容并联的方式,由于电容自谐振特性,大小电容搭配可以很好的抑制低频到高频的电源干扰信号:小电容自谐振频率较高,主要滤除高频;大电容自谐振频率较低,主要滤除低频,两者互为补充.同时,放大器输入输出端通过 10 nF 的高频电容来实现交流信号的耦合,最终输出经过适当放大的射频信号.

3.2 激光器驱动电路

激光器驱动电路包括偏置电流产生电路及 Bias-Tee 电路两部分组成,其调制原理如图 5 所示.激

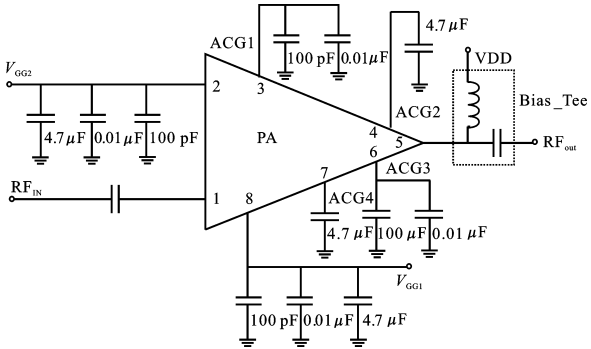


图 4 放大芯片外围电路

光器阳极接 3.3 V 直流电压 V_{cc} ,直流偏置电流通过电感为激光器提供静态工作点,射频信号通过电容对激光器进行调制,则激光器两端的电压随射频信号的波动而改变,输出携带信息的光信号.

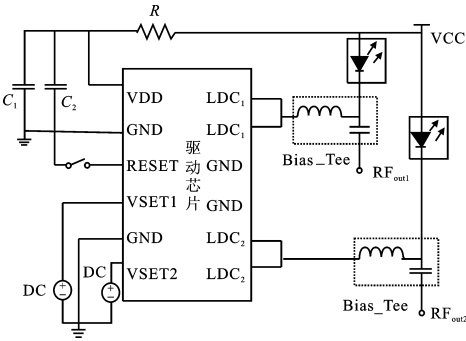


图 5 激光器驱动电路

本文采用的这款驱动芯片,具有双通道,可同时驱动两路激光器,利于模块小型化.其输出电流可高达 500 mA,满足激光器的直流需求.搭建其外围电路如图 5 所示,通过调节电压 VSET1 和 VSET2 来控制输出电流的大小,即调节激光器的静态工作点. Bias-Tee 电路是一个三端口网络,主要实现直流偏置信号与交流信号的叠加,以实现激光器的调制,其主体部分由一个电感 L 和一个电容 C 组成.另外,采用的 bias_Tee 具有 10 MHz~10 GHz 带宽,满足系统对带宽的要求.

3.3 电源网络

为了满足各类芯片对电压的需求,需进行电源 DC-DC 转换.本文采用的电源管理芯片可以实现升压和降压的功能,满足模块对正负电压的需求.如图 6 所示,该芯片有两路通道,通过设计外围电路可以实现正负电压.其中, V_{out1} 输出正电压,电压值通过 R_1 和 R_2 来调节, $V_{out1} = V_{FER} (1 + R_1/R_2)$; V_{out2} 输出负电压,电压值通过 R_3 和 R_4 来调节, $V_{out2} = V_{FER} (R_3/R_4)$, V_{FER} 为内部参考电压 1 V.

常广阔的应用前景. 所以,在 RoF 系统中起到关键作用的射频光模块具有很大的研究价值. 同时,该光模块在整个频带内的指标也需进一步的改善,高频段的损耗尽量控制在更小的程度,以得到性能更好的光电转换系统.

参考文献:

[1] 余建国, 龚珉杰, 张明. 光载无线通信技术的发展与应用前景[J]. 中兴通讯技术, 2009, 15(3):17-20.

[2] 刘思湛. ROF 光收发模块研究[D]. 成都:电子科技大学, 2011.

[3] 汤兆星. 宽带低成本模拟光收发模块设计与光载无线系统应用[D]. 北京:北京邮电大学, 2013.

[4] 方磊. 基于直接调制 DFB 激光器的 RoF 链路收发模块研究[D]. 大连:大连理工大学, 2013.

[5] Tang Zhaoxing. A cost-effective broadband RoF transceiver based on COTS GbE optical components[C]// Microwave Photonics (MWP), 2012 International Topical Meeting on. Noordwijk, Netherland, IEEE, 2012: 148-151.

[6] Haddad, Ahmed, Maurice Gagnaire. Radio-over-Fiber (RoF) for mobile backhauling: a technical and eco-

nomie comparison between analog and digitized RoF [C]// Optical Network Design and Modeling, 2014 International Conference on. [s. l],IEEE, 2014.

[7] Koonen A M. Perspectives of radio-over-fiber technologies[C]// Optical Fiber Communication Conference. Optical Society of America. San Diego ,2008.

作者简介:

杨立杰 女,(1990-),硕士研究生. 研究方向为射频光收发模块系统级封装及信号完整性分析.

李宝霞 女,(1977-),博士,副研究员. 研究方向为光互连技术和高密度 SOP 系统封装技术.

刘丰满 男,(1980-),博士,副研究员. 研究方向为光电集成设计、射频系统级封装及 MEMS 器件封装.

陆 原(通讯作者) 男,(1957-),博士,研究员,千人计划. 研究方向为先进微电子封装、MEMS 器件封装及光电器件封装等. E-mail:luyuan@ime. ac. cn.

曹立强 男,(1974-),博士,研究员. 研究方向为系统级封装 sip 工艺设计.

谭 同 男,(1993-),硕士研究生. 研究方向为光收发模块系统级封装设计及信号完整性分析.

(上接第 36 页)

传输提供有利条件,并满足对图像进行实时处理的速度要求.

参考文献:

[1] CCSDS. Recommended standard for image data compression[S]. Washington DC, USA; CCSDS 122. 0-B-1, 2005.

[2] CCSDS. Report concerning image data compression, [R]. Washington DC, USA; CCSDS 120. 1-G-1, 2007.

[3] Skodras A, Christopoulos C, Ebrahimi T. The JPEG 2000 still image compression standard[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2010,18(5):36-58.

[4] 张旭东. 图像编码基础和小波压缩技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

[5] Chakrabarti C, Vishwanath M, Owens R M. Architectures for wavelet transforms: a survey[J]. Journal

of VLSI Signal Processing Systems for Signal Image and Video Technology, 1996,14(2):171-192.

[6] 任思颖. JPEG 2000 中 5/3 离散小波多层变换 FPGA 实现研究[J]. 现代电子技术, 2011,34(12):75-82.

[7] Weeks M, Bayoumi M. Discrete wavelet transform: architectures, design and performance issues [J]. Journal of VLSI Signal Processing Systems for Signal Image and Video Technology, 2003,35(2):155-178.

[8] 张学全,陈晓敏. CCSDS 中二维整数小波变换的 FPGA 实现方法[J]. 半导体光电, 2012,33(5):747-751.

作者简介:

王鸣哲 男,(1992-),硕士研究生. 研究方向为 FPGA、数字图像处理与应用. E-mail:wangmingzhe@hotmail. com.

薛长斌 男,(1972-),博士,研究员. 研究方向为信号与信息处理技术.

张学全 男,(1979-),博士. 研究方向为空间综合电子信息系统.