

文章编号:1001-5078(2007)09-0874-02

光调制解调器的设计与实现

刘方楠¹, 孙力军², 白瑶晨²

(1. 重庆邮电大学光电工程学院, 重庆 400065; 2. 重庆光电技术研究所, 重庆 400060)

摘要:研制了一种光调制解调器,该光调制器是由高频DFB激光二极管组件与APC电路、ATC电路组成,光纤传输线为5km光纤;光解调器是由高速跨阻放大器的PD组件与宽带低噪声放大器组成。系统实现了宽带微波信号的高线性、低失真、远距离光纤传输。

关键词:光调制器;光解调器;光纤传输;三阶交调

中图分类号:TN76

文献标识码:B

Design and Implementation of Optical Modem

LIU Fang-nan¹, SUN Li-jun², BAI Yao-chen²

(1. College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. Chongqing Optoelectronics Research Institute, Chongqing 400060, China)

Abstract: A novel type of optical modem is presented. The optical modulator includes high frequency DFB laser diode modules, APC circuits and ATC circuits. Fiber of 5 kilometers is used to transmit information. The optical demodulator consists of PD modules of high speed trans-impedance amplifier and broad-band low noise amplifier. The fiber transfer of microwave broad-band signal with high linearity, low distortion, long-distance is realized in the item.

Key words: optical modulator; optical demodulator; optical fiber transmission; third order intermodulation

1 引言

光纤通信因其频带宽、容量大等优点而迅速发展成为当今信息传输的主要形式,要实现光通信就必须进行光的调制解调,因此作为光纤通信系统的关键器件,光调制解调器正受到越来越多的关注。光调制器有直接调制器与外调制器两种,光解调器则分为有、无内置前放两种。直接调制器与具有内置前放的解调器是该项目研究重点,直接调制具有简单、经济和容易实现的优点,具有内置前放的解调器则具有集成度高、体积小等特点^[1]。目前国外产品价格昂贵,而国内产品在一些重要指标上还不能完全满足要求,本文主要针对光调制解调器的阻抗匹配,如何增加三阶交调抑制比与解调器输出信号的放大,从而解决大信号在光纤中传输的问题等方面进行了研究。

2 理论设计

2.1 工作原理

光调制器工作原理如图1所示。光调制器是由微波封装的高频DFB激光二极管与APC、ATC控制电路组成E/O转换部件,利用射频微波信号直接调制超高频激光二极管产生强度调制光信号,再耦合

到单模光纤中,经约5km光纤传输后,再由光解调器接收完成O/E转换,光解调器是由高速跨阻放大器的PD组件与宽带低噪声放大器组成。该转换必须保证高线性、低失真传输,因此,要通过减小射频输入功率,增加放大器增益而完成。设计的重点在于器件的微波封装,阻抗匹配,对器件等效电路进行模拟,设计出合理共平面微带线电路,用CAD优化最终达到行波与复数共轭匹配,还要解决系统中高增益前置放大以及减小三阶交调等技术问题。

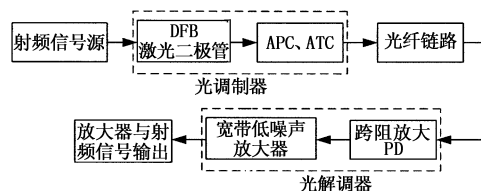


图1 光调制器工作原理

作者简介:刘方楠(1982-),男,2005年毕业于华中科技大学通信工程专业,同年进入重庆邮电大学电路与系统专业攻读硕士学位,主要从事光纤通信研究以及相关的硬件电路设计。E-mail: liufangnan2001@126.com

收稿日期:2007-04-24

2.2 理论分析与参数设计

2.2.1 工作频率

工作频率由光纤链路中高频激光二极管组件与高速光电二极管组件的带宽决定,高频激光二极管是采用 InP 衬底具有分布反馈多量子阱结构,其激光器张弛频率 f_r 由归一化速率方程得出:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} (AP_0/\Gamma_p)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中, P_0 为稳态光子密度; Γ_p 为光子寿命; A 为增益。由式(1)可知提高 f_r ,应该增加 P_0 、 A ,减少 Γ_p 。增加 P_0 必需要考虑器件自身承受能力^[2],提高增益 A 可通过控制温度来实现,这里重点讨论减少 Γ_p 的措施,采用 50Ω 阻抗纯电电压信号源驱动 LD 时,注入效率公式^[3]:

$$f = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{50 + R}{LRC} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式中, R 为芯片电阻; L 为引线电感; C 为芯片结电容。当设计频率 $f > 10\text{GHz}$ 时,假定 $R = 5\Omega$, $C \leq 5\text{pF}$,则 $L = 0.5\text{nH}$ 应采用双引线,其长度应小于 1mm 。影响高速光电二极管的带宽是光生载流子渡越耗尽区的时间和光生载流子扩散出非耗尽区的时间,以及光电二极管自身 RC 常数,高速光电二极管的带宽 B 经验公式:

$$B = \frac{1}{4\pi RC} \quad (3)$$

式中, R 为负载电阻; C 为光电二极管结电容^[4]。

2.2.2 三阶交调抑制

三阶交调抑制取决于三阶截距大小,输入三阶截距越大三阶交调抑制越好,三阶截距是从双音测试中的两等量载波小信号驱动光调制器得到的,可用下式表示:

$$f_{\text{IM}} = nf_1 \pm mf_2 \quad (4)$$

式中, f_1, f_2 分别为载波频率; $n + m = N$ 为产生交调的阶; f_{IM} 为交调积。如果调制器完全工作,意味载波输入功率增加 1dB 时,调制器的输出功率也增加 1dB ,但三阶交调截距却增加 3dB ,典型数据为基音输入功率为 0dBm , f_{IM} 三阶交调积为 27dBc ^[5-6]。降低三阶交调抑制,是采用减小调制器输入功率方法,那么相应地就要解决系统高增益输出,系统采用低噪声跨阻放大器接收后,再加 40dB 增益宽带低噪声放大器,从而得到在输入功率 $\leq -3\text{dBm}$ 时,保证三阶交调 $\geq 30\text{dBc}$ 。三阶交调测试原理图以及测试结果如图2和图3所示。

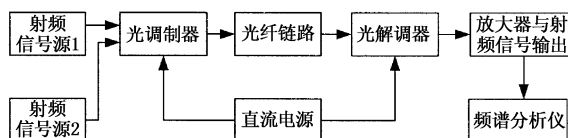


图2 三阶交调测试框图

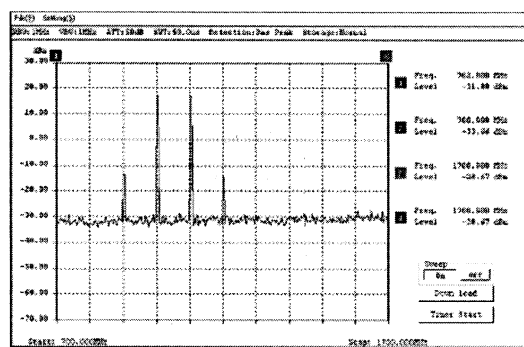


图3 三阶交调曲线

2.2.3 输出 1dB 压缩点

计算光调制解调器输出 1dB 压缩点,要了解光链路增益与插损,增益用 G_{dB} 表示:

$$G_{\text{dB}} = 10\log[i_{\text{out}}^2 R_L / i_{\text{in}}^2 R_{\text{in}}] \quad (5)$$

式中, R_L 为输出负载阻抗; R_{in} 为传输线输入阻抗,包含激光二极管串联电阻和输入匹配阻抗; i_{in} 为输入电流; i_{out} 为输出电流。假定匹配阻抗 $R_L = R_{\text{in}} = 50\Omega$,则:

$$G_{\text{dB}} = 20\log[i_{\text{out}} / i_{\text{in}}] \quad (6)$$

设激光二极管工作在线性区调制的增益为 M ,光纤传输线的光损耗用 L_{opt} 表示,光电二极管响应度为 r ,光电二极管输出阻抗 R_0 ,负载阻抗 R_L, R_S 为内阻,光纤链路等效电路如图4所示。因此有:

$$i_{\text{out}} = \left(\frac{R_0}{R_0 + R_L} \right) r \left(\frac{M}{L_{\text{opt}}} \right) i_{\text{in}} \quad (7)$$

光插损 L_{dB} 可表示为:

$$L_{\text{dB}} = 10\log L_{\text{opt}} \quad (8)$$

将式(7)、(8)带入式(6)可得:

$$G = 20\log \left(\frac{R_0 r M}{R_0 + R_L} \right) - 2L_{\text{dB}} \quad (9)$$

光纤在光波长为 1550nm 时损耗为 0.2dB/km ,激光二极管 $M = 0.04\text{mW/mA}$,光二极管 $r = 0.8\text{mA/mW}$, $R_0 = R_L = 50\Omega$,由式(9)得出 $G \approx -40\text{dB}$,若输出 1dB 压缩点 $\geq 20\text{dBm}$,光链路总增益应 $\geq 60\text{dB}$ 。对于 6GHz 全带宽光链路必须有 60dB 增益,因此,光解调器采内置跨阻放大器外,还加宽带高增益低噪声高增益放大器。

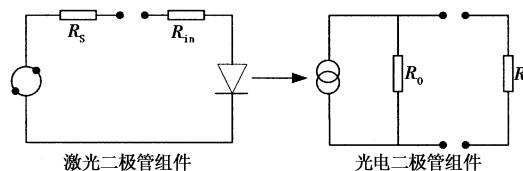


图4 光纤链路等效电路图

2.2.4 匹配设计

光调制器中激光二极管组件输入阻抗低到几欧姆,而光解调器中光二极管组件输出阻抗是低到几千欧姆,二者都要匹配到 50Ω 是主要技术难点之一。首先用计算机仿真两种组件等效电路,先实部阻抗匹配,然后进行复数共轭匹配,即微波阻抗匹配

(下转第878页)

以看到,在每一个实验图像中都存在干涉条纹。图像受干涉条纹的影响较大时,甚至可能影响对危险物品的辨别。干涉条纹是多路反射射线在探测器相干叠加的结果,目前从实验装置中还不能很好地去除。

4 结论和展望

以上的实验结果表明,通过连续太赫兹成像系统可以比较清楚地看到隐藏在纸盒、聚乙烯等包装材料以及纺织物——毛巾中的刀具,从而有可能将其应用于安全检查当中。连续太赫兹成像技术仍然处于研究和发展之中,基础研究和技术应用都还在不断地完善和发展。现有的太赫兹成像系统的设备不仅价格昂贵,而且成像不够清晰,存在干涉条纹,信息处理过程较复杂,有待于进一步实用化。但总体来看,小型、低廉、便携式连续太赫兹成像系统在安全检查方面确实有着诱人的应用前景。

参考文献:

- [1] S Wang, B Ferguson, D Abbott, et al. T-ray imaging and tomography [J]. Journal of Biological Physics, 2003, 29 (2): 247 - 256.
- [2] John F Federici, Brian Schulkin, Feng Huang, et al. THz imaging and sensing for security applications-explosives,

weapons and drugs [J]. Semicond. Sci. Technol., 2005, 20: S266 - S280.

- [3] K Siebert, T Löffler, H Quast, et al. All-optoelectronic continuous wave THz imaging for biomedical applications [J]. Phys. Med. Biol., 2002, 47: 3743 - 3748.
- [4] A Luukanen, R H. Hadfield, A J Miller. A superconducting antenna-coupled microbolometer for THz Applications [C]// Proc. of SPIE, 2004, 5411: 121 - 126.
- [5] Sun Jin-Hai, Shen Jing-Ling, Liang Lai-Shun, et al. Experimental investigation on terahertz spectra of amphetamine type stimulants [J]. Chin. Phys. Lett., 2005, 22 (12): 3176.
- [6] 李福利,任荣东,王新柯,等. 太赫兹辐射原理与若干应用[J]. 激光与红外, 2006, 36(增刊): 785 - 791.
- [7] 任荣东,王新柯,赵国忠,等. 建筑材料的太赫兹实验研究[J]. 量子电子学报, 2006, 23(4): 555 - 559.
- [8] 王新柯,任荣东,赵国忠,等. 与安全检查有关的包装材料的太赫兹实验研究[J]. 激光与红外, 2006, 36(8): 678 - 682.
- [9] 韩元,周燕,阿布来提,等. 太赫兹技术在安全领域中的应用[J]. 现代科学仪器, 2006, 2: 45 - 47.
- [10] 张蕾,徐新龙,李福利. 太赫兹 (THz) 成像的进展概况 [J]. 量子电子学报, 2005, 22(2): 129 - 134.

(上接第 875 页)

是采用共平面微带线方法解决的。实现两种组件为 50Ω 阻抗匹配,全频带幅频波动很小,达到了 $\pm 2.5\text{dB}$,幅频响应曲线如图 5 所示。

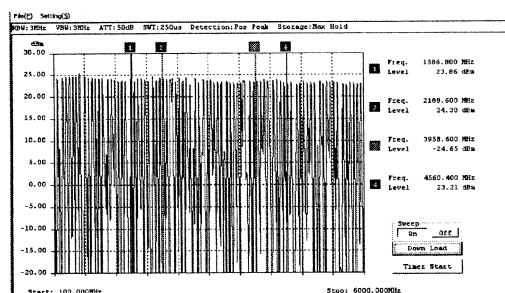


图5 幅频响应曲线

3 测试结果

经过准确的测试,系统在工作频率、幅频波动、三阶交调抑制等指标上已经与国外产品达到了相同的水平,而且达到了更高的输出 1dB 压缩点,从而保证了更大的线性工作范围^[6]。光调制解调器的主要指标测试结果与国外产品的对比如表 1 所示。

表 1 主要指标的测试结果与国外产品指标对比

技术指标	光调制解调器	1.5 μm DFB 激光器 1741A 型光发射机
工作频率	(0.1 ~ 6) GHz	(0.1 ~ 6) GHz
输出 1dB 压缩点	$\geq 22\text{dBm}$	+13dBm
幅频波动	$\pm 2.5\text{dB}$	$\pm 2.5\text{dB}$
输入输出阻抗	50Ω	50Ω
三阶交调抑制	$\geq 30\text{dBc}$	$\geq 30\text{dBc}$
射频输出功率	$\geq 20\text{dBm}$	$\geq 16\text{dBm}$

4 结论

随着光纤通信系统的不断向前发展,势必要求更加高速稳定的光调制解调器。我们研制的光调制解调器实现了微波信号的高线性、低失真,远距离光纤传输,具有抗干扰能力强、性能稳定好、使用方便等优点,它的微波封装与阻抗匹配方法有独到之处,可广泛地应用于信号传输与信息处理领域,有着十分广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 周震,余重秀,马健新. 一种同时具有高消光比和低插入损耗的新型谐振腔增强型光调制器的理论分析 [J]. 半导体学报, 2006, 27(7): 1305 - 1309.
- [2] 2002 Designers' Reference Manual [M]. Analog Devices, 2002.
- [3] Ortel Division of Emcore [M]. February 24, 2003.
- [4] 黄章勇. 光电子器件和组件 [M]. 北京:人民邮电出版社, 2001.
- [5] Reinhold Ludwig, Pavel Bretchko. 射频电路设计理论与应用 [M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [6] Matthew M Radmanesh. 射频与微波电子学 [M]. 北京:电子工业出版社, 2002.