

文章编号: 1001-3806(2013)06-0773-04

电光调制器偏置点抖动控制对射频信号的影响

任铁铁, 徐 晨, 郑史烈, 池 灏, 金晓峰, 章献民*
(浙江大学 信息与电子工程学系, 杭州 310027)

摘要: 马赫-曾德尔电光调制器的偏置点控制是光载射频传输链路中一项十分关键的技术。为了分析马赫-曾德尔电光调制器偏置点抖动控制对射频信号的影响,用贝塞尔级数展开再进行频谱分析的方法对系统输出信号成分进行了理论分析,设计了马赫-曾德尔调制器任意点控制系统并进行了实验验证。用 MATLAB 进行仿真后可知,在输入射频功率为 18dBm 时,抖动信号幅度需小于 45mV,2 次射频信号对抖动信号引起的频率分量抑制比才能大于 20dB;而在输入射频功率为 10dBm 时,这个幅度要小于 19mV。改变抖动信号幅度进行实验,得到 2 次射频信号对抖动信号引起的频率分量抑制比与仿真结果误差始终保持在 3dB ~ 3.2dB 左右。结果表明,马赫-曾德尔电光调制器工作在线性偏置点时,抖动信号引起的频率分量是可以忽略的;但将调制器偏置控制在最低偏置点时,对射频信号的影响不可忽略。

关键词: 光通信;光载射频传输;偏置点抖动控制;马赫-曾德尔电光调制器

中图分类号: TN929.1 **文献标识码:** A **doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.06.015

Effect of dither tone-based electro-optic modulator bias control on radio-frequency signal

REN Tie-tie, XU Chen, ZHENG Shi-lie, CHI Hao, JIN Xiao-feng, ZHANG Xian-min
(Department of Information Science and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Bias control of Mach-Zehnder electro-optic modulators (EOM) is of great importance in radio over fiber links. In order to study the impact of dither tone-based modulator bias control on radio frequency (RF) signal, the output signal component of the system was theoretically analyzed by means of spectrum analysis after it was turned into the Bessel series, a system for arbitrary bias point was designed to confirm the analysis experimentally. The results of MATLAB simulation show that when the input RF power is 18dBm, only when the amplitude of dither tone is smaller than 45mV, the suppression ratio of the second harmonic of RF signal to signal caused by dither tone can be greater than 20dB. When the input RF power is 10dBm, the amplitude should be smaller than 19mV accordingly. When the amplitude of dither tone changes, the error between the experimental data of the suppression ratio of the second harmonic of RF signal to signal caused by dither tone and the simulation results is maintained at about from 3dB to 3.2dB. The results demonstrate that when Mach-Zehnder EOM works at linear bias-point, frequency components caused by dither tone can be ignored, however, when Mach-Zehnder EOM works at smallest bias-point, the impact of dither tone cannot be ignored.

Key words: optical communication; radio over fiber; dither tone-based bias control; Mach-Zehnder electro-optic modulator

引 言

无线光通信具有光通信和微波通信的结合优势,光载射频通信是未来超宽带无线通信最理想的

通信方式^[1-2]。在光载射频传输链路中,铌酸锂马赫-曾德尔电光调制器是最常用的调制器件,它具有啁啾现象影响小^[3]、适用于多种码型^[4]等优势。马赫-曾德尔调制器的传输函数为周期非线性函数^[5]。根据传输函数可知,当调制器直流偏置点不同时,调制器输出端的光功率不同,射频信号的传输也不同。但铌酸锂调制器的偏置点常常因外界环境的变化而发生漂移^[6]。参考文献[6]中证明直流偏置端加抖动信号的反馈控制方法可以控制调制器工作在传输

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61071059)

作者简介:任铁铁(1988-),男,硕士研究生,现主要从事光通信和微波光子学的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zhangxm@zju.edu.cn

收稿日期:2013-01-21;收到修改稿日期:2013-02-27

曲线上的任意点。参考文献[7]中证实了这种方法可以在一定的应用场合使用,并能达到较好的信噪比。然而加入抖动信号后对射频信号的影响并不总是可以忽略的,在一些实验中,调制器偏置点工作在非线性点,对射频信号信噪比要求也较高,此时抖动信号的影响不可忽略。在很多应用中,调制器需要工作在最低偏置点来抑制光载波^[8-14],此时抖动信号的影响相比线性点更值得考虑。本文中对抖动信号对射频信号的影响做了理论分析,并着重对调制器工作在最低偏置点时的情况进行了仿真与实验论证。

1 原 理

图1为光载射频传输链路系统示意图。分布式反馈(distributed feed back,DFB)激光器输出稳定的光源,射频(radio frequency,RF)信号从马赫-曾德尔电光调制器(electro-optic modulator,EOM)的射频输入端注入,而调制器的直流(direct current,DC)偏置端口加入直流和抖动信号。调制器输出端输出的光经耦合器后,绝大部分光输入高速光电探测器(photodetector,PD)转化为电信号进入频谱分析仪,一小部分光进入低速光电探测器,以数字信号处理器(digital signal processor,DSP)为核心的电路将其转化为电信号进行分析并控制直流偏置的输出。如参考文献[7]中所述,该系统可以使调制器工作在任意偏置点。

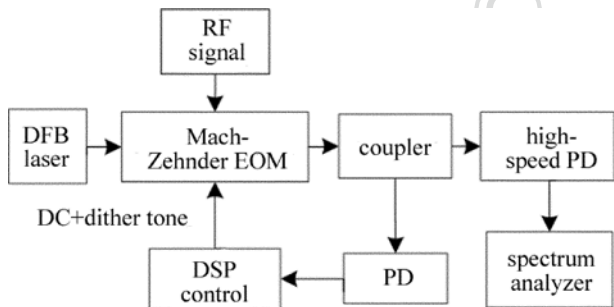


Fig. 1 Transmission link of radio over fiber

马赫-曾德尔电光调制器的传输函数为:

$$P_{MZM}(t) = \frac{P_0}{2}(1 + \cos\varphi_{bias}) \quad (1)$$

式中, P_{MZM} 为调制器输出端光功率, P_0 为调制器输入端光功率。其中:

$$\varphi_{bias} = \frac{\pi V_{DC}}{V_{\pi,DC}} + \frac{\pi V_{LF} \cos(\omega_{LF}t)}{V_{\pi,LF}} + \frac{\pi V_{RF} \cos(\omega_{RF}t)}{V_{\pi,RF}} + \varphi_0 \quad (2)$$

式中, V_{DC} 为直流偏置, $V_{\pi,DC}$ 为直流偏置的半波电压,

$V_{\pi,LF}$ 为低频抖动信号的半波电压, $V_{\pi,RF}$ 为射频信号的半波电压, ω_{LF} 为低频抖动信号的角频率, ω_{RF} 为射频信号的角频率, φ_0 为调制器固有相位,会随着环境的变化而变化。这里可以设:

$$m_{DC} = \frac{\pi V_{DC}}{V_{\pi,DC}}, m_{LF} = \frac{\pi V_{LF}}{V_{\pi,LF}}, m_{RF} = \frac{\pi V_{RF}}{V_{\pi,RF}} \quad (3)$$

设 R 为光电探测器的响应度,将上述参量代入(1)式并进行贝塞尔级数展开,忽略射频信号3次以上项,则各个频率分量的幅度大小分别为:

$$\begin{cases} A_{\omega_{RF}} = RP_0 J_1(m_{RF}) J_0(m_{LF}) \sin m_{DC} \\ A_{\omega_{RF} \pm \omega_{LF}} = 2RP_0 J_1(m_{RF}) J_1(m_{LF}) \cos m_{DC} \\ A_{2\omega_{RF}} = RP_0 J_2(m_{RF}) J_0(m_{LF}) \cos m_{DC} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $A_{\omega_{RF}}$, $A_{\omega_{RF} \pm \omega_{LF}}$ 和 $A_{2\omega_{RF}}$ 分别表示频率为 ω_{RF} , $\omega_{RF} \pm \omega_{LF}$ 和 $2\omega_{RF}$ 信号的幅度, $J_n(x)$ ($n=0,1,2$)是第1类 n 阶贝塞尔级数项。

由(3)式和(4)式可知,如果调制器工作在线性偏置点,此时 $\cos m_{DC} \ll \sin m_{DC}$ (1次信号大,2次信号可忽略),因为 m_{LF} 一般比较小,所以 $J_0(m_{LF}) \gg J_1(m_{LF})$,抖动信号引起的频率分量是可以忽略的。但当调制器偏置在最低点时,此时 $\cos m_{DC} \gg \sin m_{DC}$ (2次信号大,1次信号可忽略),频率为 $\omega_{RF} \pm \omega_{LF}$ 的信号对2次信号的影响不可忽略。

$$\frac{A_{2\omega_{RF}}}{A_{\omega_{RF} \pm \omega_{LF}}} = \frac{J_2(m_{RF}) J_0(m_{LF})}{2J_1(m_{RF}) J_1(m_{LF})} \quad (5)$$

由(5)式可知, m_{RF} 越大, m_{LF} 越小,即抖动信号相对射频功率的幅度尽可能小,2次射频信号对抖动信号引起的噪声的抑制比才能达到系统要求。

对图1的系统进行了仿真,这里不妨设 $RP_0 = 1$ 。为便于观察抖动信号对2次射频信号的影响,偏置点控制在 $\cos m_{DC} = 1$ 处。 $V_{\pi,LF} = 5.7V$, $V_{\pi,RF} = 7.5V$,抖动信号从 $0V \sim 0.5V$ 变化, V_{RF} 分别取 $2.4V$ (射频功率为 $18dBm$)和 $1V$ (射频功率为 $10dBm$)。仿真结果如图2和图3所示。

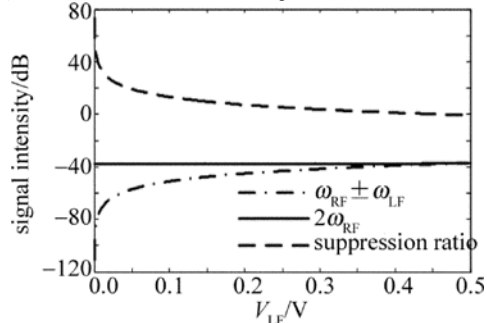


Fig. 2 Impact of dither signal on the second harmonic of RF signal when the input RF power is 18dBm

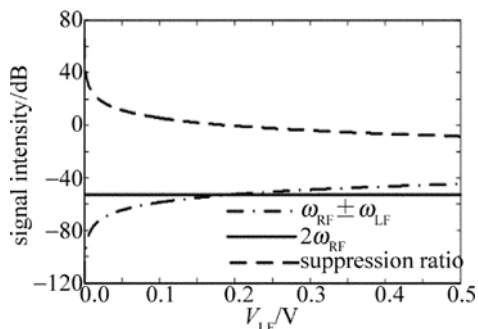


Fig. 3 Impact of dither signal on the second harmonic of RF signal when the input RF power is 10dBm

图 2 和图 3 所示的仿真曲线图中,点划线是频率为 $\omega_{RF} \pm \omega_{LF}$ 信号的幅度,实线是频率为 $2\omega_{RF}$ 信号的幅度,而虚线则是实线对点划线的差值。从图中可知,在输入射频功率为 18dBm 时,抖动信号幅度需小于 45mV,2 次射频信号对抖动信号引起的频率分量抑制比才能大于 20dB,而在输入功率为 10dBm 时,这个幅度要小于 19mV。

2 实验与讨论

为验证上述分析,搭建了如图 4 所示的实验系统。借鉴参考文献[5]中所述方法,采用自带光电探测器的马赫-曾德尔电光调制器,会有一小部分调制器输出光输入到该光电探测器,数字信号处理器通过读取模数转换器(analog-to-digital converter, ADC)的值,并做快速傅里叶变换来比较一次低频信号与 2 次低频信号的值,来调节数模转换器(digital-to-analog converter, DAC)的输出,使偏置点稳定控制在所需的 $\cos m_{DC} = 1$ 点,此时 2 次射频信号的幅度最大,有利于观察。

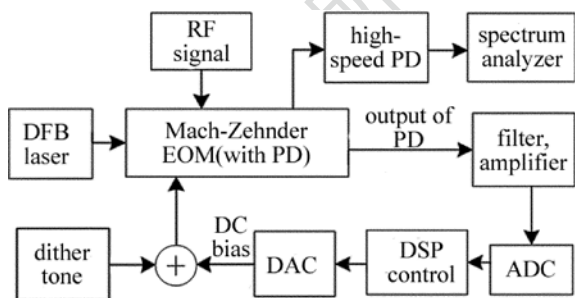


Fig. 4 Block diagram of experimental system

在实际应用中,射频功率大小往往是确定的,所以改变抖动信号的大小,观察当幅度变化时抖动信号对射频 2 次信号的影响。这里输入射频功率为 18dBm 和 10dBm,所使用的调制器 $V_{\pi,LF} = 5.7V$, $V_{\pi,RF} = 7.5V$,与作者的仿真参量一致。改变抖动信号大小并记录 2 次射频信号与频率为 $\omega_{RF} \pm \omega_{LF}$ 信号

的抑制比,如表 1 和表 2 所示。

Table 1 Comparison of theoretical and experimental data of the second harmonic of RF signal to signal of $\omega_{RF} \pm \omega_{LF}$ when input RF power is 18dBm

V_{LF}/mV	suppression ratio/dB		
	theoretical	experimental	error
50	19.22	22.33	3.11
75	15.67	18.83	3.16
125	11.24	14.50	3.26
175	8.34	11.33	2.99
225	6.16	9.17	3.01
275	4.41	7.50	3.09
325	2.96	6.00	3.04
375	1.72	4.83	3.11
400	1.16	4.34	3.18
450	0.23	3.17	2.94

Table 2 Comparison of theoretical and experimental data of the second harmonic of RF signal to signal of $\omega_{RF} \pm \omega_{LF}$ when input RF power is 10dBm

V_{LF}/mV	suppression ratio/dB		
	theoretical	experimental	error
50	11.60	14.83	3.23
75	8.08	11.33	3.25
125	3.64	7.33	3.03
175	0.72	3.83	3.11
225	-1.46	1.83	3.29
275	-3.21	0.00	3.21
325	-4.66	-1.67	2.99
375	-5.90	-2.67	3.23
400	-6.46	-3.33	3.13
450	-7.49	-4.33	3.16

从表 1 和表 2 可知:在输入射频功率一定时,随着抖动信号幅度的增加,2 次射频信号与 $\omega_{RF} \pm \omega_{LF}$ 信号抑制比减小,即抖动信号对 2 次射频信号的影响增大。在输入信号为 18dBm 和 10dBm 时,在抖动信号变化的情况下,2 次射频信号与 $\omega_{RF} \pm \omega_{LF}$ 信号抑制比的实验与仿真数据误差保持始终在 3dB ~ 3.2dB 左右,且实验数据大于仿真数据。引起误差的可能原因有:(1)调制器的 $V_{\pi,LF}$ 和 $V_{\pi,RF}$ 并不等于 5.7V 和 7.5V,尤其 $V_{\pi,RF}$ 没有很精确的测量方法,实际值很可能小于手册中的 7.5V;(2)本文中的输入射频功率,均已考虑射频线缆的插入损耗,但是插入损耗测量也会存在误差,实际输入调制器的射频功率大于 18dBm 和 10dBm;(3)系统中其它电路、光路以及频谱仪精度限制。

3 结 论

用理论分析和实验证明,抖动信号对射频 2 次信号的影响不可忽略。当射频功率一定时,要获得更高的抑制比,需要幅度更小的抖动信号。然而如参考文献[6]中所述,抖动信号幅度越小,噪声对偏置点控制电路的影响也越大,对电路的精度要求也更高。所以在实际应用中,应该综合考虑系统的输入输出参量要求,实现成本及难度等问题。改变控制电路的实现方式,在调制器输出端加入光滤波器等都是可以考虑的方法。

参 考 文 献

- [1] LIU Q, DING M Y, LUO L H, *et al.* A full-duplex radio-over-fiber system for 60GHz millimeter wave[J]. *Laser Technology*, 2011, 35(2): 264-271 (in Chinese).
- [2] LENG J F, HAO S Q, LU X G, *et al.* Performance study of optical wireless communication system based on LDPC code and BPPM[J]. *Laser Technology*, 2012, 36(3): 334-389 (in Chinese).
- [3] TANG Y F, LI H Z, LI R. Research on auto-control of bias voltage of high speed EOM[J]. *Journal of Air Force Engineering University*, 2011, 12(4): 69-72 (in Chinese).
- [4] HIGUMA K, MORI S, KAWANISHI T, *et al.* A bias condition monitor technique for the nested Mach-Zehnder modulator[J]. *IEEE Electronics Express*, 2006, 3(11): 238-242.
- [5] YANG J L, TU T, ZHA D K. Composite second order distortion and its suppression in optical fiber CATV externally modulated transmitter[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2000, 29(11): 1001-1004 (in Chinese).
- [6] WANG L L, TONY K. A versatile bias control technique for any point locking in lithium niobate Mach-Zehnder modulators[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2010, 28(11): 1703-1706.
- [7] HUANG Z J, ZHANG X M, ZHENG S L, *et al.* Any bias point control of Mach-Zehnder electrooptic modulator and its applications in optimization of radio-over-fiber links[C]//2011 International Topical Meeting on Microwave Photonics. Singapore City, Singapore: IEEE Microwave Theory and Techniques Society, 2011: 218-212.
- [8] YAO J P. Microwave photonics[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2009, 27(3): 314-335.
- [9] XIE X B, WU Y, HODIAK J H, *et al.* Suppressed-carrier large-dynamic-range heterodyned microwave fiber-optic link[C]//2004 International Topical Meeting on Microwave Photonics. Ogunquit, ME, USA: IEEE Microwave Theory and Techniques Society, 2004: 245-248.
- [10] CHEN L X, HUANG C, CHEN L. A modified scheme for optical millimeter-wave generation based on optical carrier suppression modulation[J]. *Laser Technology*, 2008, 32(6): 659-662 (in Chinese).
- [11] LIU P, ZHAO L L. LO signal distribution system based on DSB-CS modulation[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39(4): 622-625 (in Chinese).
- [12] LIU Y, HU Z F, WANG H, *et al.* Design of six-fold microwave photonic link system using two cascaded modulators[J]. *Optical Communication Technology*, 2010, 34(7): 23-25 (in Chinese).
- [13] ZHANG Q, XIAO Z D. A novel four-wave mixing simultaneous transmission baseband signals based radio-over-fiber systems[J]. *Study on Optical Communications*, 2010, 36(3): 64-66 (in Chinese).
- [14] CHI N, YU S Y. Optical subcarrier labeling transparent to the payload format using carrier suppression technique[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2006, 18(8): 971-973.