

Based on the Negative-Feedback Modulating of MZM Researching on Dark Pulse Generation

Huiyi Wang¹, Lan Lan¹, Liehui Chen¹, Kezheng Feng¹, Liankeng Cao¹, Yin Chen²

¹Guangdong Planning and Designing Institute of Telecommunications Co., Ltd., Guangzhou

²School of Information and Optoelectronic Science and Engineering, South China Normal University, Guangzhou

Email: wanghuiyi6977@126.com

Received: Dec. 27th, 2012; revised: Jan. 3rd, 2013; accepted: Jan. 15th, 2013

Abstract: Dark pulse has been specially researched in the world. Considering the flexible electronic control of the MZM, the transmission rate function of the MZM is analyzed to obtain output characteristics of the negative-feedback condition. The MZM driven by electronic hyperbolic-secant pulse modulate the CW laser in the negative-feedback condition of the MZM, and the dark pulse is generated with finite CW background. Moreover, the analysis and simulation experiment results indicate the effective feasibility.

Keywords: Dark Pulse; Negative-Feedback; Modulation

基于 MZM 负反馈调制下的暗脉冲产生研究

王会义¹, 蓝 斓¹, 陈烈辉¹, 冯克正¹, 曹炼铿¹, 陈 银²

¹广东省电信规划设计院有限公司, 广州

²华南师范大学信息光电子科技学院, 广州

Email: wanghuiyi6977@126.com

收稿日期: 2012 年 12 月 27 日; 修回日期: 2013 年 1 月 3 日; 录用日期: 2013 年 1 月 15 日

摘 要: 暗脉冲产生的研究已成为国际上热点研究之一。考虑到马赫曾德尔调制(MZM)技术具有灵活的电控特性, 通过对 MZM 技术的透过率曲线进行分析, 获得了 MZM 在负反馈调制条件下的输出特性, 并利用双曲正割电脉冲信号驱动的 MZM 调制连续激光, 产生了有限连续背景光下的暗脉冲。分析和仿真表明该方法具有有效的可行性。

关键词: 暗脉冲; 负反馈; 调制

1. 引言

1973 年, A. Hasegawa 和 F. Tappert^[1]理论预言了暗孤子的存在, 从此相关科研工作者开始通过不同方式对其研究, 并发现暗脉冲在光纤传输特性方面具有诸多独特性质。例如暗脉冲在光纤中形成不需要阈值功率^[2]; 暗脉冲在有损耗介质传输展宽速度比亮孤子小一半^[3]; 暗脉冲由放大器自发辐射(ASE)噪声引起时间抖动比亮脉冲小 $\sqrt{2}$ 倍^[4]等。所以, 暗脉冲在光纤中传输时, 具有比亮脉冲更强的抵抗能力和更佳

性。如何产生暗脉冲也成为国际上的一个研究热点。

目前, 暗脉冲的产生技术主要有利用光纤非线性特性形成的调制不稳定性技术^[5]、脉冲整形技术^[6]、被动锁模光纤激光器技术^[7-9]等。其中, 在暗脉冲产生的前期研究中, 调制不稳定性技术和脉冲整形技术的设备复杂, 难度较大。这也使得暗脉冲的研究进展一直比较缓慢。近几年, 被动锁模光纤激光器中暗脉冲的产生受到了人们的广泛关注, 对于暗脉冲的研究报道纷纷涌现^[7-10]。但是, 通过前期对于暗脉冲被动锁

模光纤激光器技术研究来看, 实验室不易获得稳定的高重复率暗脉冲^[8,11,12]。所以为了克服该缺点, 主动电调制的马赫曾德尔调制器(MZM, M-Z Modulator)技术不失为一种可选择的方法。

通过对 MZM 调制的输出特性进行分析, 发现当 MZM 的输出函数发生 π 相移后, 驱动的电调制信号将落在透过率曲线的负反馈调制区域。利用双曲正割电脉冲信号对 MZM 进行驱动, 调制光器产生的连续激光, 获得了暗脉冲的调制输出, 并且可以通过调节伪随机的发生码率改变暗脉冲的重复率。考虑到 MZM 调制连续激光产生光信号的技术已比较成熟, 所以采用该仿真方法产生暗脉冲具有有效的可行性, 为获得暗脉冲种子源提供一种简单的方法。

2. MZM 原理及分析

图 1 为典型的 MZM 简图。其基本原理为^[13]: 输入光 I_i 经过一个 3 dB 耦合器后被平分进入到由 LiNbO_3 构成的光波导臂, 这两臂分别被施加 $V_1(t)$ 和 $V_2(t)$ 的偏置电压。从而使得经过 MZM 两臂的光产生不同的相移 $\phi_1(t)$ 、 $\phi_2(t)$ 。当两束光在第二个 3 dB 耦合器相遇时将会产生相移差 $\Delta\phi = \phi_1(t) - \phi_2(t)$, 在满足相位关系时产生透射光 I_o 。

给出 MZM 的输入光、偏置电压、输出光之间的透射率函数关系:

$$I_o = I_i \cos^2\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right) = I_i \cos^2\left(\frac{\pi V_1 - V_2}{2 V_\pi}\right) = I_o / I_i$$

式中, V_π 为相位变化量为 π 时的偏置电压。对于单臂 MZM, $V_2(t) = 0$, 此时 MZM 只受到偏置电压 $V_1(t)$ 的调制。图 2 给出了 I_o 随 $V_1(t)$ 变化曲线。

在偏置电压 $V_1(t)$ 在二区间变化时, 此时透射率函数随着偏置电压 $V_1(t)$ 的增大而快速增大, 即为正反馈调制机制; 当偏置电压 $V_1(t)$ 在一区间或三区间时, 此时透射率函数随着偏置电压 $V_1(t)$ 的增大而快速减小,

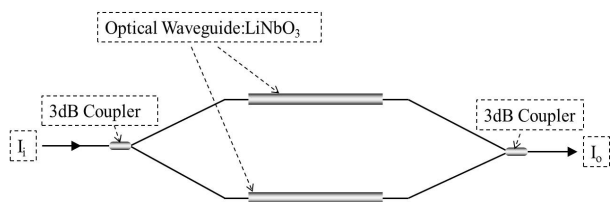
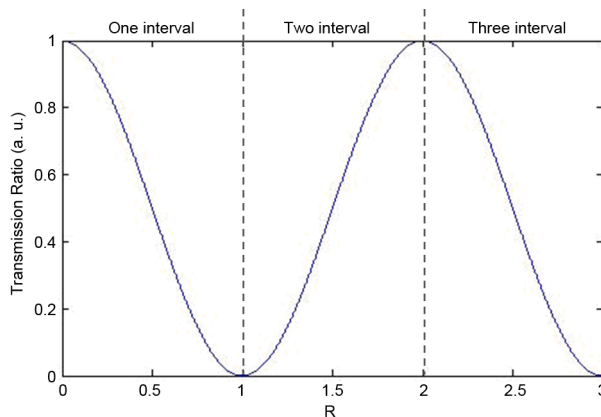


Figure 1. Typical diagram of MZM
图 1. MZM 示意图



归于一化系数 $R = V_1/V_\pi$; 透射率 $= I_o/I_i$

Figure 2. Transmittance curve
图 2. 透射曲线

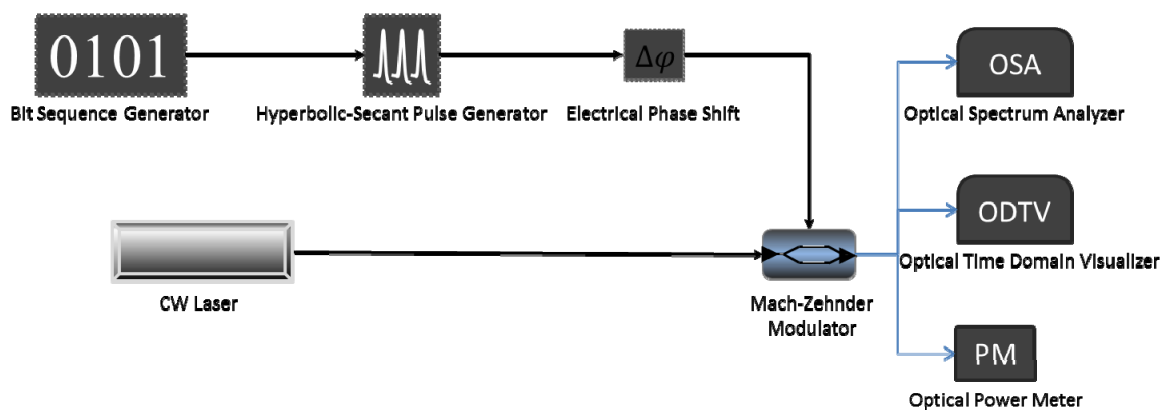
即为负反馈调制机制。在负反馈调制条件下, MZM 输入端输入连续激光时, 可以使 $V_1(t) = 0$ 时的连续激光顺利通过; 当 $V_1(t)$ 变化时, 透射率函数则会随着偏置电压增大而迅速下降, 最终形成和正反馈条件下“翻转”的光脉冲信号。

3. 暗脉冲产生仿真

为了更好的对上述理论分析进行验证, 利用 OptiSystem 仿真软件对光信号经过 MZM 调制后的实验结果进行了系统仿真。系统仿真的简图, 如图 3 所示, 其中包含了中心频率为 193.1 THz, 线宽为 10 MHz, 发射功率为 4 dBm 的连续激光器(CWL); 可比特率的比特发生器(BSG)用以产生 40 Gb/s 的 00100 数字电信号, 使双曲正割电信号产生器(HSPG)发射双曲正割电脉冲信号; 电相移器(EPS)将产生的双曲正割电脉冲信号加上 π 的相移后输入到单臂调制的 MZM 中, 从而调制由 CWL 产生的连续激光, 获得调制后的光脉冲信号输出; 光谱分析仪(OSA)、光示波器(OTDV)、光功率计(OPM)用来对产生的光信号进行实验测量和观察。

通过对 MZM 的理论分析可知, 工作在正常状态的 MZM 在加入 π 相移后会使得它由正反馈调制变为负反馈调制状态。系统仿真正是通过 EPS 使得 HSPG 产生的偏置电压信号加入了 π 的相移, 使 MZM 工作在负反馈调制区间。根据上述给出的条件设定仿真系统的参数, 将 EPS 的相移间隔设为 36° , 运行搭建的仿真系统。如图 4 为随着 EPS 的相移 $\Delta\phi$ 变化的 MZM

基于MZM负反馈调制下的暗脉冲产生研究



比特发生器(BSG)、双曲正割电信号产生器(HSPG)、电相移器(EPS)、连续激光器(CWL)、马赫曾德尔调制器(MZM)、光谱分析仪(OSA)、光示波器(OTDV)、光功率计(OPM)

Figure 3. System simulation schematic diagram
图 3. 系统仿真示意图

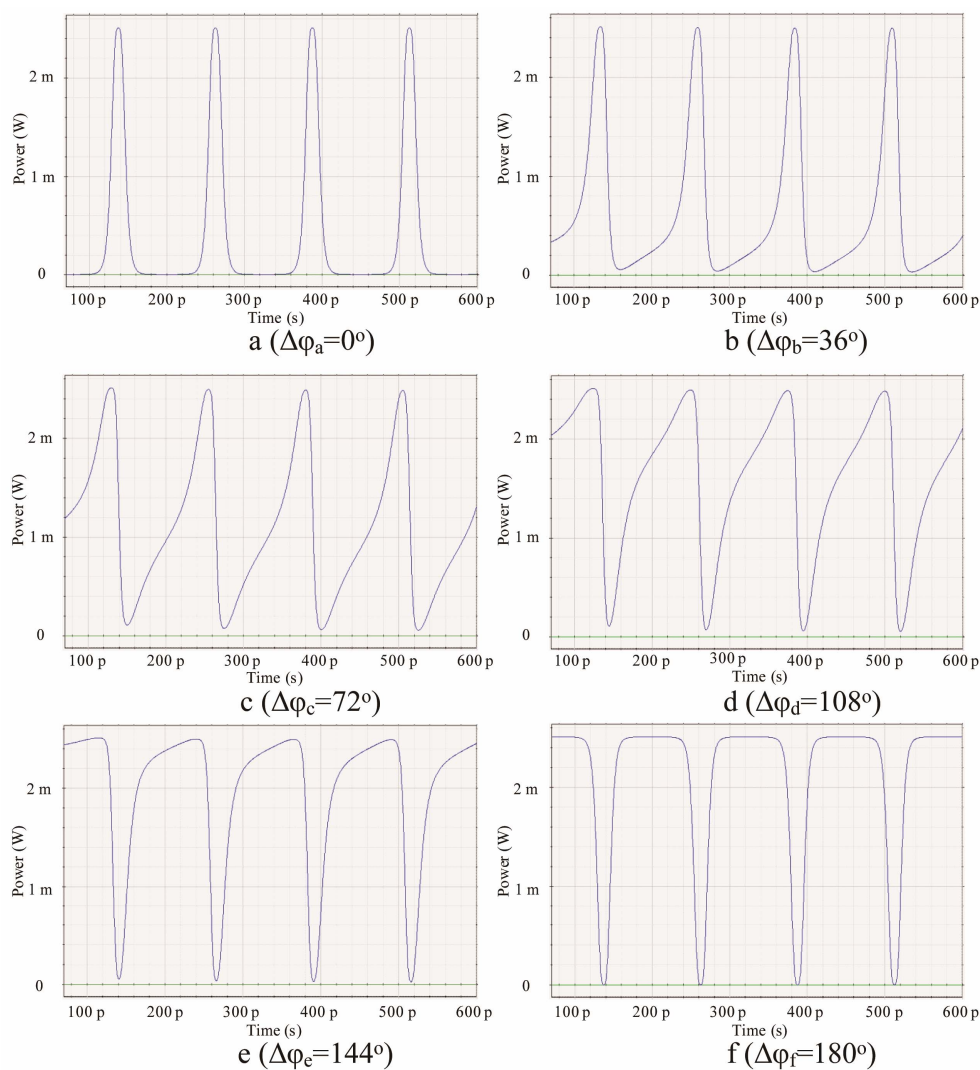


Figure 4. Pulse-shape with the EPS changing
图 4. 脉冲随 EPS 变化情况

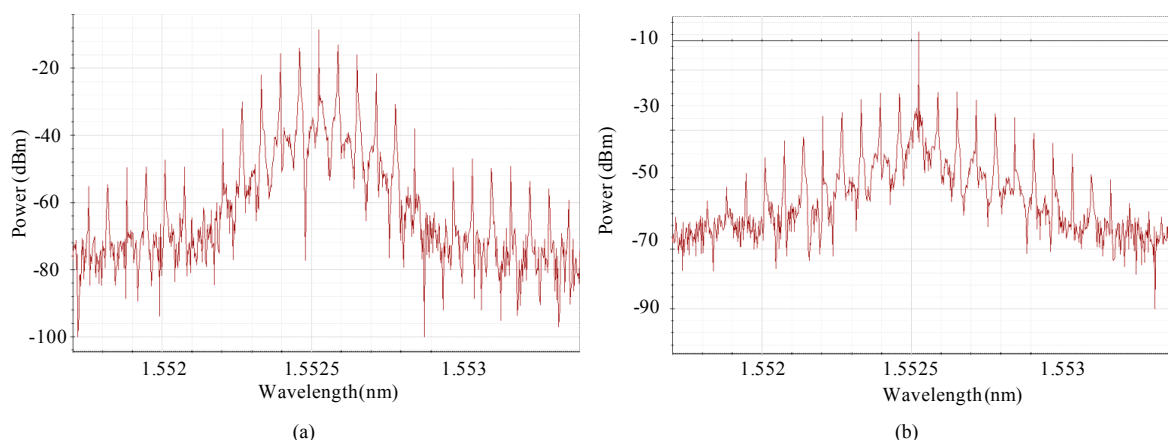


Figure 5. (a) Spectrum of bright pulse; (b) Spectrum of dark pulse
图 5. (a) 亮脉冲光谱图; (b) 暗脉冲光谱图

Table 1. Value of input and output power
表 1. 输入和输出功率值

	CW laser	Bright pulse	Dark pulse
Power (dB)	4.00	-6.09	2.41

调制连续激光输出的光脉冲波形图。

从系统仿真结果可以看出,随着相移 $\Delta\phi$ 的变大,正常状态下的双曲正割光脉冲的背景光越来越强,最终在 $\Delta\phi_f = 180^\circ$ 时形成了有限连续背景光下的一个下陷的光脉冲,即暗脉冲光信号。并且,OPM 测量了图 4(a)和(f)对应的 MZM 输出光功率,分别为 -4.139 dBm 和 3.275 dBm。从仿真数据得出,负反馈调制下的 MZM 对于低的偏置电压时的连续激光透射率损耗较小,所以输出的光功率要远大于正反馈调制时的光功率,这有利于更充分利用 CWL 发射的连续激光,提高光信号源的发射功率。仿真中,通过改变 BSG 的发生比特率改变 MZM 输出的暗脉冲的发射重复率,但是由于 MZM 本身物理相应特性有限,使得其调制速率不可能无限提高。

图 5 为图 4(a)和(f)对应的的光谱图。其中,从图中可以看出暗脉冲的光谱峰值要大于双曲正割光脉冲的光谱峰值,表 1 给出输入连续光功率和输出亮脉冲与暗脉冲对应功率。

进一步得出 MZM 产生暗脉冲强能够更有效的利用 CWLaser 光功率。测量获得图 5(a)的边模抑制比为 6 dBm,而图 5(b)的边模抑制比为 21 dBm 边模。但是,当暗脉冲和亮脉冲具有相同平均功率时,亮脉冲由于具有很高的峰值光功率,更容易产生非线性效应加快其在正色散光纤中的展宽,所以在正色散光纤中传输

时暗脉冲较亮脉冲具有更强的抵御正色散光纤色散和非线性的特点^[3],并且在 MZM 输出的暗脉冲具有更好的边模抑制比。可以看出,该仿真产生的暗脉冲具有较好的脉冲质量。由于暗脉冲的线宽主要由 CW Laser 的线宽所决定,所以实际系统中可以通过线宽更窄的单频光纤激光器^[14]来获得单色性更好的 MZM 调制的暗脉冲输出,从而提高 MZM 调制产生的暗脉冲输出的光谱质量。

4. 结论

通过对上述 MZM 的理论分析和仿真结果对比之前报道的采用被动锁模技术产生暗脉冲的装置^[8,11,12],利用负反馈调制下的 MZM 系统可以产生高重复率的暗脉冲,并通过改变比特发生机的信号发生速率控制暗脉冲发射的重复率。这些使得基于 MZM 负反馈调制下产生的暗脉冲具有灵活的电控特性。仿真结果也进一步证实, MZM 调制产生的暗脉冲具有较好的边模抑制比。仿真基于现有成熟光电子器件基础之上。因此,该技术方法使得 MZM 负反馈调制下产生暗脉冲具有有效的可行性。同时,也为获得暗脉冲种子源提供了另一种可行的技术方案。

参考文献 (References)

- [1] A. Hasegawa, F. Tappert. Transmission of stationary nonlinear optical pulses in dispersive dielectric fibers I. Anomalous dispersion. *Applied Physics Letters*, 1973, 23(3): 142-145.
- [2] S. A. Gredeckul, Y. S. Kivshar. Generation of dark solitons in optical fibers. *Physical Review Letters*, 1989, 62(8): 977.
- [3] W. Zhao, E. Bourkoff. Generation, propagation, and amplification of dark solitons. *Journal of the Optical Society of America*

- B, 1992, 9(7): 1134-1144.
- [4] J. P. Hamaide, P. Emplit and M. Haelterman. Dark-soliton jitter in amplified optical transmission system. *Optics Letters*, 1991, 16(20): 1578-1580.
- [5] J. E. Rothenberg, H. K. Heinrich. Observation of the formation of dark-soliton trains in optical fibers. *Optics Letters*, 1992, 17(4): 261-263.
- [6] P. Emplit, M. Haelterman and J. P. Hamaide. Picosecond dark soliton over a 1-km fiber at 850 nm. *Optics Letters*, 1993, 18(13): 1047-1049.
- [7] H. Zhang, D. Y. Tang, L. M. Zhao and X. Wu. Dark pulse emission of a fiber laser. *Physical Review A*, 2009, 80: Article ID: 45803.
- [8] H. Y. Wang, W. C. Xu, Z. C. Luo, A. P. Luo, W. J. Cao, J. L. Dong and L. Y. Wang. Experimental observation of dark soliton emitting with spectral sideband in an all-fiber ring cavity laser. *Chinese Physics Letters*, 2011, 28(2): Article ID: 024207.
- [9] H. P. Li, H. D. Xia, Z. Jing, J. K. Liao, X. G. Tang, Y. Liu and Y. Z. Liu. Dark pulse generation in a dispersion-managed fiber laser. *Laser Physics*, 2012, 22(1): 261-264.
- [10] M. Feng, K. L. Silverman, R. P. Mirin and S. T. Cundiff. Dark pulse quantum dot diode laser. *Optics Express*, 2010, 18(13): 13385-13395.
- [11] H. Y. Wang, W. C. Xu, W. J. Cao, L. Y. Wang and J. L. Dong. Experimental observation of bright-dark pulse emitting in an all-fiber ring cavity laser. *Laser Physics*, 2012, 22(1): 282-285.
- [12] L. Y. Wang, W. C. Xu, Z. C. Luo, W. J. Cao, A. P. Luo, J. L. Dong and H. Y. Wang. Dark pulses with tunable repetition rate emission from fiber ring laser. *Optics Communications*, 2012, 285(8): 2113-2117.
- [13] K. Noguchi, O. Mitomi, H. Miyazawa and S. Seki. A broadband Ti:LiNbO₃ optical modulator with a ridge structure. *Journal of Lightwave Technology*, 1995, 13(6): 1164-1168.
- [14] S. H. Xu, Z. M. Yang, W. N. Zhang, X. M. Wei, Q. Qian, D. D. Chen, Q. Y. Zhang, S. X. Shen, M. Y. Peng and J. R. Qiu. 400 mW ultrashort cavity low noise single frequency Yb³⁺-doped phosphate fiber laser. *Optics Letter*, 2011, 36(18): 3708-3710.