

基于级联调制器的四进制幅移键控 非归零码到归零码格式转换器

余文科 娄采云 赵晓凡 陆 丹 陈健桦

(清华信息科学与技术国家实验室(筹), 集成光电子国家重点实验室, 清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要 提出了一种全新的基于相位-强度级联调制器和色散补偿光纤(DCF)的四进制幅移键控(4-ASK)非归零码(NRZ)到归零码(RZ)格式转换方案。理论分析了新格式转换器的工作原理,并进行了 20 Gb/s 的四进制幅移键控 NRZ 到 RZ 的格式转换实验研究。结果表明,该方案能将四进制幅移键控 NRZ 信号转换为四进制幅移键控 RZ 信号,转换过程不改变信号波长,且转换后信号脉宽较窄、时间抖动较原信号小,该码型转换器还可以应用于多波长幅移键控信号的码型转换。

关键词 光通信;格式转换器;级联调制器;四进制幅移键控

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201131.0206002

Non-Return-to-Zero to Return-to-Zero Format Converter for Quaternary Amplitude Shift Keying Signal Based on Cascaded Modulators

Yu Wenke Lou Caiyun Zhao Xiaofan Lu Dan Chen Jianhua

(Tsinghua National Laboratory for Information Science and Technology(Preparatory),
State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Department of Electronic Engineering,
Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract A novel non-return-to-zero (NRZ) to return-to-zero (RZ) format converter for quaternary amplitude shift keying (4-ASK) signal is proposed based on phase-intensity modulators and one dispersion compensating fiber (DCF) module. The operation principle of the proposed converter is described theoretically. 20-Gb/s NRZ-4-ASK signal to RZ-4-ASK signal conversion is also experimentally demonstrated. The results show that 20-Gb/s NRZ-4-ASK signal could be successfully converted to RZ-4-ASK signal without wavelength shift and the pulse width of the converted signal is narrow. The timing-jitter of the converted signal is lower than the original one. The format converter could also be applied to multi-wavelength amplitude shift keying conversion.

Key words optical communication; format converter; cascaded modulators; quaternary amplitude shift keying (4-ASK)

OCIS codes 060.2330; 070.4340; 230.0250

1 引 言

随着语音、多媒体和高速因特网接入等业务的急剧增长,高速超大容量光网络成为迫切需求。光密集波分复用(DWDM)和光时分复用(OTDM)是

实现高速超大容量数据通信的关键技术,但由于受光放大器增益带宽和光纤低损耗窗口的限制,光通信可利用带宽资源有限,阻碍了超大容量光网络发展。提高信号的频谱效率是克服带宽资源有限的一

收稿日期: 2010-05-24; **收到修改稿日期**: 2010-07-31

基金项目: 国家 863 计划(2009AA01Z256)、国家自然科学基金(60736036,61077055)、国家 973 计划(2011CB301700)和北京市优秀博士论文项目(YB20091000301)资助课题。

作者简介: 余文科(1985—),男,博士研究生,主要从事高速光信号处理方面的研究。

E-mail: ywk07@mails.tsinghua.edu.cn

导师简介: 娄采云(1946—),女,教授,博士生导师,主要从事高速光纤通信系统方面的研究。

E-mail: loucy_ee@mail.tsinghua.edu.cn

种有效途径。与传统的二进制开关键控(OOK)相比,高级光调制格式具有更高的频谱效率和抗干扰能力等优点^[1-4],其中四进制幅移键控(4-ASK)由于具有2倍于OOK的频谱效率和高的色散容忍度等优点而得到广泛研究^[5-8]。目前已有多种全光产生4-ASK信号的方法,如基于电吸收调制器^[7]、基于半导体光放大器的交叉增益调制和交叉偏振调制效应^[8,9]和基于光纤中四波混频效应^[6]等,然而目前所报道的4-ASK的信号处理方面实验研究却相对较少。由于RZ-4-ASK信号比NRZ-4-ASK信号具有更高的抗非线性、色散稳健性和更好的传输性能^[8],且OTDM系统需要采用RZ格式。因此研究四进制幅移键控的NRZ与RZ之间的格式转换也是必要的,且调制格式的NRZ到RZ的格式转换技术,也是光网络中WDM到OTDM节点的接口关键技术之一^[10,11]。

本文提出了一种基于级联调制器和色散补偿光纤的4-ASK信号非归零码到归零码的格式转换器,采用了一种简单的基于偏振合束器(PBC)和检偏器的全光产生伪NRZ-4-ASK信号的方法。实现了20 Gb/s的4-ASK信号的NRZ到RZ格式转换实验。

2 格式转换装置和理论分析

基于级联调制器的4-ASK信号的NRZ/RZ格式转换器如图1所示,转换器由级联相位-强度调制器和色散补偿光纤(DCF)构成,相位调制器(PM)和强度调制器(IM)驱动之间引入了一个微波移相器,类似装置曾被应用于光频率梳和超短脉冲源的产生^[12,13]。转换器的工作原理示意图如图2所示,假设进入转换器的NRZ-4-ASK信号的电场表示为

$$E_{in}(t) = E_0(t) \exp(-i\omega_0 t), \quad (1)$$

式中 ω_0 为角频率,假设输入4-ASK信号不同幅度的双比特信息为‘00’,‘01’,‘10’,‘11’,且对应的信号光强 $|E_0(t)|^2$ 分别为‘Level-0’,‘Level-1’,

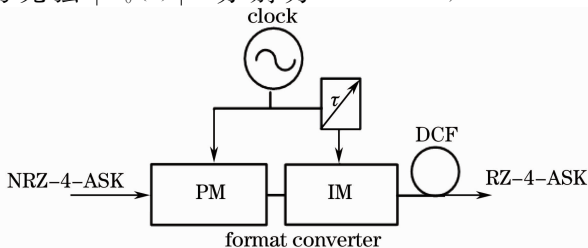


图1 基于级联调制器的格式转换器

Fig. 1 Format converter based on cascaded modulators

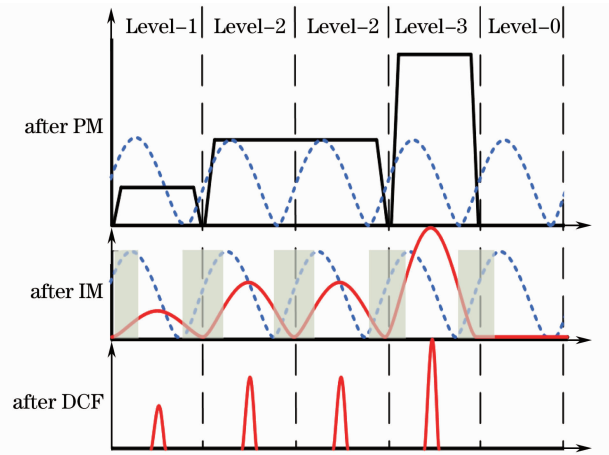


图2 格式转换器工作原理示意图

Fig. 2 Schematic diagram of operation principle of format converter

‘Level-2’和‘Level-3’。当信号通过相位-强度级联调制器后,可表示为

$$E_{out}(t) = E_{in}(t) [\exp(i\alpha \sin \omega_m t)] \cdot \cos[\beta \sin(\omega_m t + \tau) + \varphi/2], \quad (2)$$

式中 α 为PM的相位调制系数, β 为IM的调制系数, τ 为两个调制器驱动信号的相位差,可通过微波移相器调节, φ 是由IM直流偏置所决定的相位,使强度调制器工作在线性区域,即 φ 值为 $\pi/2$ 。 ω_m 为驱动调制器的时钟信号角频率,其数值上与输入NRZ-4-ASK信号的波特率对应。该驱动时钟信号可通过光电振荡器等时钟提取装置获得^[14]。将(1)式代入(2)式,得到

$$E_{out}(t) = E_0(t) \exp\{-i[\omega_0 t - \alpha \sin \omega_m t]\} \cdot \cos[\beta \sin(\omega_m t + \tau) + \pi/4], \quad (3)$$

输出光信号的瞬时频率可表示为

$$f(t) = -\frac{1}{2\pi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\omega_0}{2\pi} - \alpha \frac{\omega_m}{2\pi} \cos \omega_m t, \quad (4)$$

输出信号的啁啾为

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \alpha \frac{\omega_m^2}{2\pi} \sin \omega_m t, \quad (5)$$

输出信号的光强为

$$I_{out}(t) = |E_0(t)|^2 \{ \cos[\beta \sin(\omega_m t + \tau) + \pi/4] \}^2 = \frac{1}{2} |E_0(t)|^2 \{ 1 - \sin[2\beta \sin(\omega_m t + \tau)] \}. \quad (6)$$

从(5)式可知信号通过调制器后获得了周期性啁啾,且与输入信号周期对应(如图2中虚线所示)。从(6)式还可以得到,通过合理设置 τ 值,可使输入信号在每个电平周期内中心高功率部分具有近似线性的负啁啾,而两侧低功率部分则对应为正啁啾

(图2中灰色区域)。由于DCF具有补偿线性负啁啾能力,在级联调制器后加入一段适当长度的DCF,使得调制输出信号通过DCF后被压窄,从而实现NRZ-4-ASK到RZ-4-ASK信号的转换,而未得到补偿的小功率正啁啾部分对应为输出RZ信号的基座部分,通过提高相位调制系数和引入合适的滤波器可以有效抑制基座^[13],理论上如果DCF能够完全补偿PM产生的啁啾,转换的RZ-4-ASK信号的脉宽可以接近变换极限的宽度^[13]。由于调制器对输入信号波长依赖性不高,且DCF在1550 nm附近的色散斜率较低使其具有同时补偿多波长的输入信号能力。所以本文方案也适用于多波长的格式转换。

3 实验及结果分析

基于图2的格式转换器的转换原理,对20 Gb/s NRZ-4-ASK/RZ-4-ASK转换进行了实验验证。实验装置如图3所示,分布反馈式激光器的输出光中心波长为1543.4 nm,马赫-曾德尔调制器(MZM)由码长为 $2^{15}-1$ 的10 Gb/s伪随机二进制序列驱动,激光经MZM调制后成为10 Gb/s NRZ数据,NRZ数据首先通过一个3 dB耦合器分成A、B两路。A路加入一个

可调衰减器(ATT)和偏振控制器(PC)以分别控制本路光的功率和偏振态;B路引入可调光延时线(ODL)用于与A路码型去相关并使两路信号周期对准,B路的PC可使其偏振态与A路偏振保持垂直状态进入偏振合束器。最后信号进入一个检偏方向与A、B两路偏振方向分别成 45° 夹角的检偏器,这样就使得由A、B组成的四进制输入信息‘00’,‘10’,‘01’,‘11’分别对应不同的输出光功率即使信号加载上4种电平,分别表示为‘Level-0’,‘Level-1’,‘Level-2’和‘Level-3’,即实现两路10 Gb/s NRZ信号合成输出一路20 Gb/s的伪随机NRZ-4-ASK信号。随后NRZ-4-ASK信号进入格式转换器,NRZ-4-ASK信号平均光功率约为3 dBm,实验中,相位调制器的调制系数约为 1.2π ,DCF长度为1.14 km,在输入中心波长附近色散系数约为 -100 ps/(nm·km),色散斜率约为 0.22 ps/(nm²·km),损耗约为0.6 dB/km。转换后的信号经过掺铒光纤放大器(EDFA)和一个带宽约为1.2 nm的光带通滤波器(OBPF)后通过示波器(Agilent 86100A)和光谱仪(Ando AQ-6315B)进行监测。

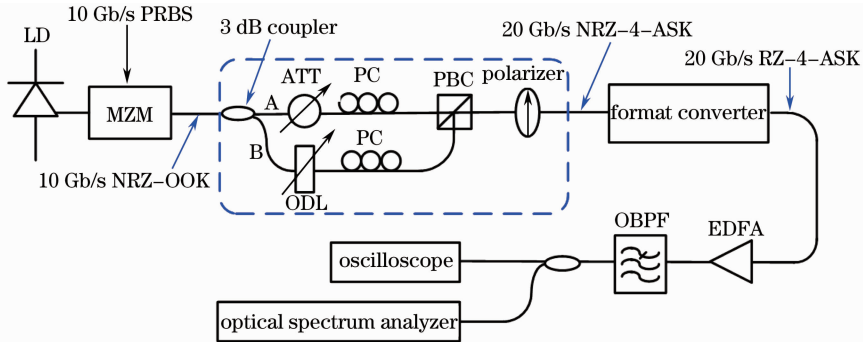


图3 四进制幅移键控的非归零/归零转换实验系统图

Fig. 3 Experimental setup of NRZ-4-ASK to RZ-4-ASK conversion

图4为实验所测得输入NRZ和转换前后4-ASK信号的眼图和光谱图。从眼图可知,20 Gb/s NRZ-4-ASK信号成功的转换为RZ-4-ASK信号,输出RZ信号的脉宽约为12 ps,且基座较低,表明转换后的RZ-4-ASK信号可以进一步复用到40 Gb/s,且示波器测出转换后的信号时间抖动较原始信号小,说明转换器具有一定的再定时功能。从光谱可以看出,NRZ-4-ASK与NRZ信号光谱基本一致,这是因为实验中NRZ-4-ASK信号是通过两路NRZ幅度叠加而产生;而经过格式转换后的RZ-4-ASK信号光谱得到一定的展宽,这与文献^[13]中产生超短脉冲源所测得光谱形状相似。从输入输出

信号光谱还可以看出转换后信号中心波长与原信号一致。值得注意的是,从眼图中看,‘Level-3’的幅度抖动较其他电平稍大,这是由于实验中产生的‘11’码时的偏振干涉作用较强所致。

4 结 论

报道了一种新型的NRZ-4-ASK/RZ-4-ASK高级调制格式转换器。基于级联调制器的混合调制和色散补偿光纤的啁啾补偿。采用了一种简单产生伪NRZ-4-ASK信号的方法供实验研究,针对20 Gb/s NRZ-4-ASK信号进行了格式转换的实验验证。实验结果表明,NRZ-4-ASK信号能够成功转换为RZ-

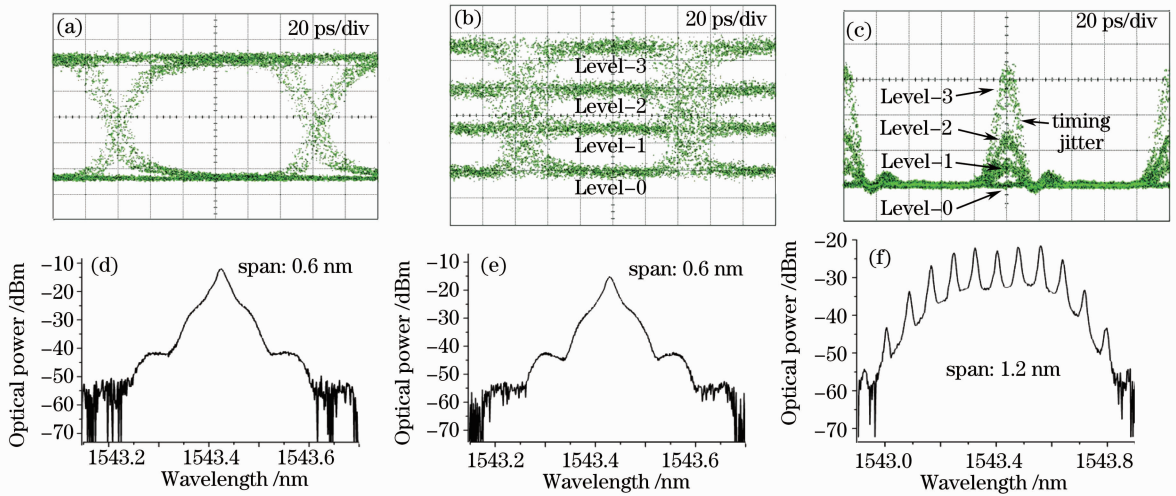


图4 信号的眼图(a)、(b)、(c)和光谱图(d)、(e)、(f)。(a)、(d)原始非归零信号,(b)、(e)非归零四进制幅移键控信号,(c)、(f)归零四进制幅移键控信号

Fig. 4 Eye diagram (a)、(b)、(c) and optical spectra (d)、(e)、(f). (a)、(c) NRZ signal, (b)、(e) NRZ-4-ASK signal, (d)、(f) RZ-4-ASK signal

4-ASK 信号,转换后的信号脉宽约为 12 ps,时间抖动有所降低,且格式转换不改变信号波长。本文方案也适合多通道多电平的格式转换,因此有利于 WDM-OTDM 的应用。

参 考 文 献

- 1 P. J. Winzer, R. J. Essiambre. Advanced modulation formats for high-capacity optical transport networks[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **24**(12): 4711~4728
- 2 He Jing, Liu Limin, Chen Lin *et al.*. Generation of advanced modulation formats based on Mach-Zehnder modulators [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(8): 1185~1190
何晶,刘丽敏,陈林等.基于马赫-曾德尔调制器的先进调制格式的产生[J]. *中国激光*, 2008, **35**(8): 1185~1190
- 3 Gao Junming, Chang Qingjiang, Wang Tao *et al.*. A cost-effective 100-Gb/s transmitter with low-speed optoelectronic devices and high spectral efficiency[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2008, **6**(8): 550~552
- 4 He Jing, Chen Lin, Wen Shuangchun. Performance research on 40 Gb/s DPSK format against polarization-mode dispersion[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(3): 660~664
何晶,陈林,文双春.40 Gb/s 差分相移键控格式抗偏振模色散的性能研究[J]. *光子学报*, 2009, **38**(3): 660~664
- 5 S. Walklin, J. Conradi. Multilevel signaling for increasing the reach of 10 Gb/s lightwave systems[J]. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(11): 2235~2248
- 6 M. L. F. Abbade, E. A. M. Fagotto, R. S. Braga *et al.*. Optical amplitude multiplexing through four-wave mixing in optical fibers[J]. *IEEE Photonic Technol. L.*, 2005, **17**(1): 151~153
- 7 Huo Li, Zhao Jian, Lin Chinlon *et al.*. Experimental demonstration of a novel all-optical multilevel 4-amplitude-shifted-

- keying coding/decoding scheme [C]. *Optical Fiber Communication Conference and National Fiber Optic Engineers Conference*, 2006, JThB41
- 8 David Dahan, Uri Mahlab, David Levy. Novel all-optical quaternary amplitude shift keying modulation technique based on cross gain modulation in a semiconductor optical amplifier[J]. *Opt. Engng.*, 2009, **48**(5): 055007~0550011
- 9 H. Soto, A. Gutiérrez. All-optical 2-to-4 level encoder based on cross polarization modulation in a semiconductor optical amplifier utilized to develop an all-optical 2 input digital multiplexer[J]. *Opt. Express*, 2006, **14**(20): 9000~9005
- 10 Han Bingchen, Yu Jinlong, Luo Jun *et al.*. Multi-channel all-optical non-return-to-zero to return-to-zero format converter based on fiber optical parametric amplifier[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(11): 2962~2965
韩丙辰,于晋龙,罗俊等.基于光纤光参量放大的多通道全光非归零/归零码转换器[J]. *中国激光*, 2009, **36**(11): 2962~2965
- 11 Yu Yu, Zhang Xinliang, Wang Fei *et al.*. Multilevel all-optical format conversion from NRZ signal to RZ signal[C]. *Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition*, 2009, FY2
- 12 M. Fujiwara, J. Kani, H. Suzuki *et al.*. Flattened optical multicarrier generation of 12.5 GHz spaced 256 channels based on sinusoidal amplitude and phase hybrid modulation[J]. *Electron. Lett.*, 2001, **37**(15): 967~968
- 13 Y. Takita, F. Futami, M. Doi *et al.*. Highly stable ultra-short pulse generation by filtering out flat optical frequency components [C]. *CLEO*, 2004, CTuN1
- 14 Huo Li, Dongyi, Lou Caiyun *et al.*. Clock extraction using an optoelectronic oscillator from high-speed NRZ signal and NRZ-to-RZ format transformation [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**(7): 981~983