

文章编号: 0258-7025(2001)09-0857-03

## 全光高速同步时钟信号的产生\*

宋立军 李世忱 葛春风 余震虹 张劲冶 贾东方 黄超

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 教育部光电信息技术科学重点实验室 天津 300072)

**摘要** 采用 2.5 GHz 光脉冲序列作为低速时钟, 将其注入一含半导体光放大器(SOA)的锁模光纤激光器中, 利用 SOA 的交叉增益调制效应, 采用有理数谐波锁模技术, 产生了 2~7 倍同步群路时钟信号。利用这一技术可以为未来高速光时分复用(OTDM)通信网络中心处理单元提供同步控制时钟。

**关键词** 光时分复用, 注入锁模, 有理数谐波锁模, 全光群路同步时钟产生

**中图分类号** TN 929.11 **文献标识码** A

### All-optical Multiple Repetition Rate Synchronized Reference-clock Generation

·SONG Li-jun LI Shi-chen GE Chun-feng YU Zhen-hong

ZHANG Jin-ye JIA Dong-fang HUANG Chao

(*Optoelectronics Information Science and Technology Lab, MOE,*

*College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*)

**Abstract** Multiple repetition rate (2~7 multiples of 2.5 GHz) synchronized reference-clock generation is demonstrated by use of fiber ring laser with an EDFA as gain medium and a SOA as gain modulation from an external 2.5 GHz optical pulse train generated by a GS-DFB laser.

**Key words** OTDM, injection mode-locking, rational harmonic mode-locking, clock generation

## 1 引言

在未来的光时分复用(OTDM)通信网络中, 信号域上的同步对于处理信号极其重要, 一般在通信网络中使用统一的同步时钟信号。OTDM 单信道可以在较低的速率上工作, 所以在用户节点上需要使用与单信道速率相同的时钟信号对信道的复用和解复用进行同步控制。而在中心处理单元处理复用后的高速信号时, 却需要用与复用后速率相同的“群路”时钟进行同步控制。于是用户节点需要的是低速的时钟与单信道数据速率同步, 而中心处理单元则需要高速时钟与复用信道速率同步; 并且低速时钟和高速时钟也需要同步。一种方法是采用射频调制电信号生成用于用户节点的低速光时钟, 以射频调制的有理数谐波锁模生成高速同步光时钟<sup>[1]</sup>;

另外一种方法就是利用低速光时钟, 采用全光方法直接生成同步高速光时钟<sup>[2]</sup>。

我们利用射频调制的 2.5 GHz 增益开关 DFB 激光器产生的光脉冲作为低速时钟信号, 将其注入锁模光纤激光器, 利用半导体光放大器(SOA)的交叉增益调制效应, 并利用有理数谐波锁模(RHML)技术, 直接由低速光时钟信号生成了 2~5 倍速率的高速同步时钟信号, 对应最高速率时钟 12.5 GHz; 最高阶做到 7 阶, 但此时脉幅调制效应较大。

## 2 实验方案及结果

实验装置如图 1 所示。

2.5 GHz 的射频信号驱动增益开关 DFB 激光器, 输出光脉冲通过色散补偿光纤(DCF)压窄后, 产生脉宽小于 30 ps 的光脉冲序列, 经掺铒光纤放大器(EDFA1)放大, 通过光环行器注入锁模激光器。由于提供本实验使用的 SOA 为负增益器件(-3 dB), 所以腔内增益采用光纤放大器(EDFA2)提供, 注入信号光通过 SOA 和 EDFA2 对腔内振荡光进行

\* 国家自然科学基金(69877012)、信息产业部武汉邮电科学研究院合作项目和天津市光电子联合科学研究中心资助项目。

收稿日期: 2000-07-04; 收到修改稿日期: 2000-08-09

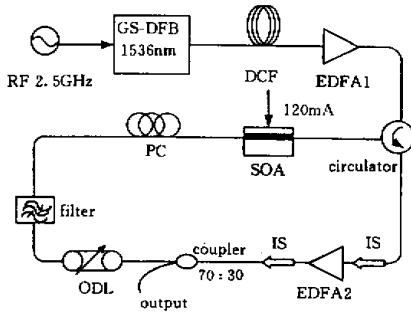


图1 同步高速时钟产生实验装置图

Fig.1 Experimental setup for multiple repetition rate synchronized reference-clock generation

交叉增益调制(XGM);EDFA2 两端各有一光学隔离器,保证环内光脉冲的单向传输;由于 SOA 是偏振有关器件,故在其前端放置偏振控制器(PC)调节输入 SOA 光的偏振态;可调光滤波器(1530~1570 nm,FWHM=2 nm),用于调节锁模激光器输出波长;光可变延时器用于腔长精调;腔内信号通过一 30:70 耦合器输出。输出信号通过高速光通信分析仪和光谱仪探测。

调节 1536 nm DFB 激光器的射频调制频率可以改变注入脉冲的重复频率,腔内振荡光和注入光通过 SOA 进行交叉增益调制,利用有理数谐波锁模技术<sup>[3]</sup>可以产生各阶倍重复速率的同步时钟。实验测得锁模激光器的腔基频约为  $\Delta\nu_{\text{cw}} = 4.988$  MHz,等效光程长为 60.2 m。注入锁模腔内的 2.5 GHz

的光信号平均功率为 15 dBm。通过精细调节 RF 驱动频率、偏振控制器和光可变延时器,实现了 2~7 倍同步高速时钟信号,具体实验数据如下。

当射频驱动频率为  $f_{\text{mod}} = 2.498821728$  GHz 时,对应谐波锁模次数  $m \cong 501$ ,输出脉冲为 2.5 GHz 的谐波锁模脉冲序列。当调制频率为  $f_{\text{mod}} = 2.50131$  GHz 时,  $f_{\text{mod}} \cong (501 + 1/2)\Delta\nu_{\text{cw}}$ ,实现 2 阶有理数谐波锁模输出;当调制频率为  $f_{\text{mod}} = 2.50047$  GHz 时,  $f_{\text{mod}} \cong (501 + 1/3)\Delta\nu_{\text{cw}}$ ,实现 3 阶有理数谐波锁模输出;当调制频率为  $f_{\text{mod}} = 2.50050$  GHz 时,  $f_{\text{mod}} \cong (501 + 1/4)\Delta\nu_{\text{cw}}$ ,实现 4 阶有理数谐波锁模输出;当调制频率为  $f_{\text{mod}} = 2.49981$  GHz 和 2.50080 GHz 时,  $f_{\text{mod}} \cong (501 + 1/5)\Delta\nu_{\text{cw}}$  和  $f_{\text{mod}} \cong (501 + 2/5)\Delta\nu_{\text{cw}}$ ,实现 5 阶有理数谐波锁模输出;当调制频率为  $f_{\text{mod}} = 2.49963$  GHz 时,  $f_{\text{mod}} \cong (501 + 1/6)\Delta\nu_{\text{cw}}$ ,实现 6 阶有理数谐波锁模输出,当调制频率为  $f_{\text{mod}} = 2.50023$  GHz 和 2.50094 GHz 时,分别对应  $f_{\text{mod}} \cong (501 + 2/7)\Delta\nu_{\text{cw}}$  和  $f_{\text{mod}} \cong (501 + 3/7)\Delta\nu_{\text{cw}}$ ,实现 7 阶有理数谐波锁模输出。2 阶有理数至 7 阶有理数锁模的波形图如图 2(a)~(f) 所示;由于 2~7 阶有理数谐波锁模光谱图基本相同,所以仅给出一个光谱图,如图 3 所示,其谱宽为 0.2 nm,信噪比 >25 dB。

实验过程中发现,当有理数谐波锁模阶数小于 4 阶时,对应的腔内增益较小,此时腔内 EDFA2 的输出功率小于 20 mW;当要实现稳定的 5 阶以上有理数谐波锁模时,需要的掺铒光纤放大的增益较大,此时对应的放大器的输出功率大于 30 mW。这是

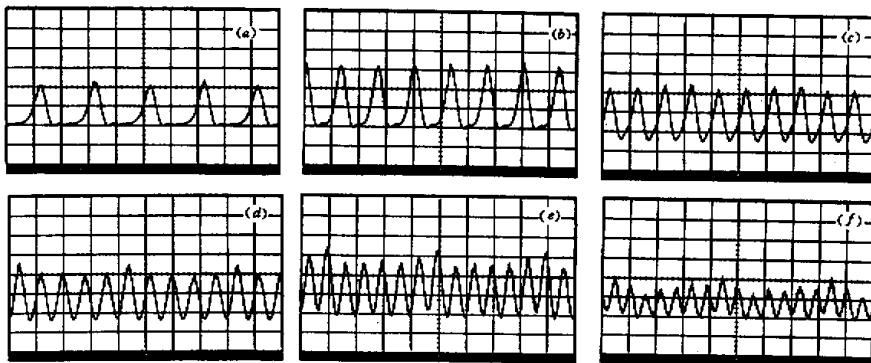


图2 (a)~(f) 分别对应 2~7 阶 RHML 高速时钟波形,其中 2~4 阶锁模脉冲的平均脉幅稳定度 &lt;2%

Fig.2 (a)~(f) temporal waveforms of 2~7 multiple clock signal

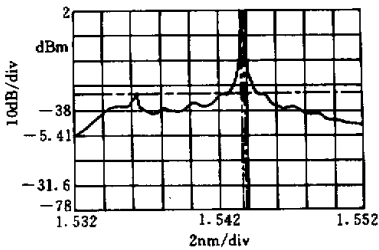


图3 2~7阶RHML高速时钟脉冲对应的光谱图  
Fig.3 Power spectrum of 2~7 multiple clock signal

因为在实现高阶有理数谐波锁模时,腔内循环的脉冲多,每个脉冲经历一次完整的增益调制所经历的损耗也越大,因而需要的腔增益也就越大。

### 3 实验结果分析

当外部调制脉冲注入SOA腔时,它通过消耗载流子浓度使SOA迅速达到增益饱和,使腔内形成与外注入脉冲频率一致的损耗调制机制。由上面的实验数据发现,调制频率与 $m\Delta\nu_{\text{mod}}$ 存在 $\Delta\nu_{\text{mod}}(k/p)$ 偏差时( $m$ 为谐波次数; $k < p$ ,且 $k/p$ 为真分数),腔内脉冲每循环一次将与上一次脉冲的时间位置存在 $k/(pf_{\text{mod}})$ 的时间偏差,经过 $p$ 次循环后完成一个完整的增益调制,形成 $pf_{\text{mod}}$ 的锁模脉冲输出,从而实现 $p$ 倍于注入时钟重复频率的同步高速时钟输出。与我们多次所做的用铌酸锂MZ干涉仪型调制器实现有理数谐波锁模相比<sup>[4]</sup>,我们发现利用SOA交叉增益调制实现有理数谐波锁模相对容易,且输出锁模脉冲稳定,脉冲幅度调制效应小得多,本实验的2~4阶有理数谐波锁模输出的脉冲平均稳定度 $< 2\%$ 。造成有理数谐波锁模脉冲起伏的主要原因是由于存在对应腔基频的非匹配的低阶调制谐波分量,它使输出脉冲的谱成分中存在没有被锁定的频谱分量<sup>[1]</sup>。采用光注入SOA进行调制不同于LN振幅调制,它基本上按照注入信号的反码进行增益调制或同相损耗调制,高阶调制分量很小,所以脉冲调制效应较小。由于SOA腔内载流子浓度动态变

化,色散较大,当外界环境扰动引起腔长发生微小变化时,锁模脉冲中心波长会在滤波器带宽范围内相应发生微小变化,通过锁模中心波长的微小变化追踪腔长的变化形成稳定的锁模运转<sup>[5]</sup>;另外在饱和增益区SOA的增益对偏振的敏感性较低,所以腔内光偏振态的随机扰动对锁模影响较小,这些是使得利用SOA的交叉增益调制效应实现锁模比用铌酸锂调制器实现锁模更加稳定的重要原因。由于实验中采用的SOA为负增益器件,增加了腔内损耗,所以锁模质量受到了限制。若使用高品质SOA,利用SOA同时提供腔增益和增益调制,有理数谐波锁模脉冲的质量应可以得到提高。

### 4 结论

采用注入锁模和有理数谐波锁模技术,并利用SOA的交叉增益调制效应,通过全光方法,在锁模激光器中实现了2~7倍同步高速时钟的产生。与采用射频调制的LN调制器实现有理数谐波锁模相比,利用半导体光放大器-交叉增益调制效应生成的同步高速时钟的脉冲幅度调制效应要小得多,是实现未来高速光时分复用通信网络群路时钟同步的简便和有效手段。

### 参考文献

1. E. Yoshida, M. Nakazawa. 80~200 GHz erbium doped fiber laser using a rational harmonic mode-locking technique. *Electron. Lett.*, 1996, 32(15):1370~1372
2. T. Papakyriakopoulos, K. Vlachos, A. Hatziefremidis et al.. Optical clock repetition-rate multiplier for high-speed digital optical logic circuits. *Opt. Lett.*, 1999, 24(11):717~719
3. Z. Ahmed, N. Onodera. High repetition rate optical pulse generation by frequency multiplication in actively mode-locked fiber lasers. *Electron. Lett.*, 1996, 32(5):455~457
4. Song Lijun, Wang Taili, Zhang Jinye et al.. Rational harmonic mode-locked fiber ring laser. *Journal of Tianjin University* (天津大学学报), 2000, 33(6):798~801 (in Chinese)
5. K. Tamura, M. Nakazawa. Dispersion-tuned harmonically mode-locked fiber ring laser for self-synchronization to an external clock. *Opt. Lett.*, 1996, 21(24):1984~1986