



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102929069 B

(45) 授权公告日 2016.05.04

(21) 申请号 201210341972.8

(22) 申请日 2012.09.14

(73) 专利权人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 闫娟娟 魏人杰 彭亦超

(74) 专利代理机构 北京聿宏知识产权代理有限公司 11372

代理人 吴大建 刘华联

(51) Int. Cl.

G02F 1/35(2006.01)

G02F 1/37(2006.01)

(56) 对比文件

JP 2006047781 A, 2006.02.16,

JP 2006047781 A, 2006.02.16,

CN 101401032 A, 2009.04.01,

Masamichi Fujiwara et al. Optical

Carrier Supply Module Using Flattened

Optical Multicarrier Generation Based On Sinusoidal Amplitude and Phase Hybrid Modulation. 《JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY》. 2003, 第 21 卷 (第 11 期), 第 2206-2209 页.

审查员 全宇军

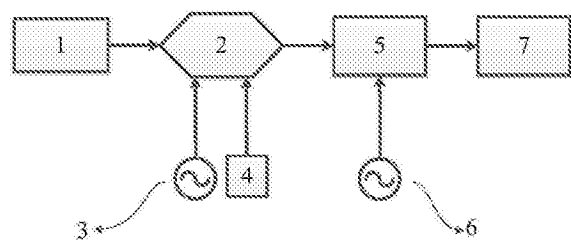
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

光学频率梳发生器中一种功率有效的微波信号配置方法

(57) 摘要

本发明公开了一种在基于双正弦射频信号光调制的光学频率梳发生器中有效配置微波调制信号的方法,光频梳发生器结构如附图所示,其中的两个射频信号频率具有整数倍,且倍数大于1的关系。本发明提供的调制信号配置方法为,将基频正弦射频信号加载于相位调制器,高次谐波信号加载于强度调制器。这种配置方法与传统方法,即将基频信号加载于强度调制器,高次谐波信号加载于相位调制器的方法相比,本发明提供的方法可以较低的微波信号功率产生相同谱线条数且具相同平坦度的光学频率梳,并且输出的光学频率梳具有更高的功率效率。



1. 基于双正弦射频信号光调制的光学频率梳发生器中一种功率有效的微波信号配置方法,其特征在于,在由激光器(1),单臂马赫曾德尔强度调制器(2),LiNbO₃相位调制器(5),两个微波信号源(3,6)和一个直流电压源(4)构成的光学频率梳发生器中,两个微波信号源(3,6)的输出信号分别对激光器(1)产生的连续激光进行强度调制和相位调制,两调制信号的频率具有倍数大于1的整数倍的关系,且基频信号加载于相位调制器(5),高次谐波信号加载于强度调制器(2)。

光学频率梳发生器中一种功率有效的微波信号配置方法

技术领域

[0001] 在基于级联的单臂马赫曾德尔型强度调制器和LiNbO₃相位调制器的光学频率梳发生器中,其调制信号为具有倍频(倍数大于1)关系的两个正弦射频信号时可产生更多的光频率谱线。本发明涉及一种针对于这种光学频率梳信号发生器的微波调制信号配置方法。通过合理配置微波射频信号,可在系统输出谱线平坦度一定的条件下,有效降低相位调制器所需的微波信号驱动功率。本发明属于微波光子技术领域,尤其涉及基于光调制的光学频率梳产生方法的技术领域。

背景技术

[0002] 近年来,光学频率梳发生器吸引了越来越多的关注。光学频率梳可被用于光任意波形产生(O-AWG),波分复用(WDM)网络,光频率测量及其它基本物理量测量等方面。

[0003] 到目前为止,产生光学频率梳的方法主要包括两种:一种是采用锁模激光器的方法,另一种是基于光学调制的方法。后一种方法由于其更易调节,具有高稳定和大带宽等突出优点,是目前的研究热点。在采用级联强度和相位调制器产生光频梳的系统中,通过增大相位调制器的调制指数可以增加输出的光频率谱线的条数,然而,大功率微波信号源价格昂贵且输出功率有限。另一种增加输出光频率谱线条数的方法是用频率具有整数倍(倍数大于1)关系的多个正弦微波信号进行光调制。如,通过在相位调制器上加载3GHz的正弦型及其三次谐波微波信号,可得到间隔为3GHz的9条平坦度为0.8dB的光频梳(参考文献[1]:S.Ozharar,F.Quinlan,I.Ozdur,et al.Ultraflat Optical Comb Generation by Phase-Only Modulation of Continuous-Wave Light[J].IEEE Photonics Technology Letters.Vol.20,No.1,2008,PP:36-38.)。再如,利用两个强度和两个相位调制器级联,将频率为10GHz的微波信号和其二次谐波信号分别施加于两个相位调制器,可得到38条频率间隔为10GHz,平坦度为1dB的谱线(参考文献[2]:R.Wu,V.R.Supradeepa,C.M.Long,et al.Generation of very flat optical frequency combs from continuous-wave lasers using cascaded intensity and phase modulators driven by tailored radio frequency waveforms[J].Optics Letters.Vol.35,No.19,2010,PP:3234-3236.)。

[0004] 因此,在目前已有的基于双射频信号光调制产生光学频率梳的研究中,都将基频信号加载在强度调制器上,而其高次谐波信号施加在相位调制器上,这样虽然能够在一定程度上增加输出的光学频率梳平坦谱线数量,但需要较高的微波信号功率,一般需要大于27dBm,有的甚至达到30dBm,购买此类高频大功率信号源需要较高成本。本发明针对这种基于双正弦射频信号光调制的光学频率梳发生器,提供一种功率有效的微波调制信号配置方法。

发明内容

[0005] 本发明公开了一种在基于双正弦射频信号光调制的光学频率梳发生器中有效配置微波调制信号的方法。具体方法为,将基频正弦射频信号加载于相位调制器,高次谐波信

号加载于强度调制器。

[0006] 具体而言,本发明涉及的光学频率梳发生器结构如图1所示。图1中,激光器(1)发出的连续激光进入强度调制器(2),微波信号源(3)和直流电压源(4)加载于强度调制器(2),强度调制器(2)的输出送入相位调制器(5),微波信号源(6)驱动相位调制器(5)。最后从相位调制器(5)输出光学频率梳(7)。按照本发明的调制信号配置方法,微波信号(6)为基频信号,微波信号(3)为(6)的高次谐波信号。最后输出的光频梳的具体理论表达式为:

$$[0007] \quad E(t) = E_0 \exp(i\omega_0 t) \times \cos\left(\frac{\pi\alpha \sin 2\pi f_1 t + \pi\gamma}{2}\right) \times \exp\left[i\pi\beta \sin(2\pi f_2 t + \Delta\phi) + \frac{i\pi\gamma}{2}\right]$$

[0008] 其中, E_0 和 ω_0 是激光光波的电场幅度和频率。 $\alpha = V_{IM}/V_{\pi_IM}$ 和 $\beta = V_{PM}/V_{\pi_PM}$ 分别是相对于强度调制器(2)和相位调制器(5)的半波电压 V_{π} 归一化后的调制指数, $\gamma = V_{bias}/V_{\pi_bias}$ 是相对于强度调制器直流半波电压 V_{π_bias} 归一化后的直流偏置电压, $\Delta\phi$ 是两个微波驱动信号之间的相位差。

[0009] 本发明基于如下原理。假设激光器(1)工作的中心频率为 f_0 ,微波信号(3)和微波信号(6)的频率分别为: f_1 和 f_2 。激光器(1)发出的连续激光经过强度调制器(2)后会得到频率间隔等于微波信号源(3)频率的谱线,其中功率最强的三条谱线对应的频率分别为 f_0 、 $f_0 - f_1$ 和 $f_0 + f_1$,其它边频分量强度较小,作用有限。对于相位调制器(5),强度调制器(2)输出的三条谱分量可看作三个独立的输入源,相位调制器(5)对每一个谱分量进行调制,得到三个输出谱,将其中相同频率点对应的谱分量分别叠加,即得到输出的光学频率梳。按照本发明提供的微波信号配置方法,驱动强度调制器的微波信号频率 f_1 为高次谐波信号,即 $f_1 = mf$,其中 m 为大于1的正整数,驱动相位调制器的微波信号频率 f_2 为基频信号,即 $f_2 = f$ 。而按照传统信号配置方法,基频信号用于驱动强度调制器(2),即 $f_1 = f$,高次谐波信号用于驱动相位调制器(5),即 $f_2 = mf$ 。当 $m = 3$ 时,本发明提出的调制信号配置方法和传统方法对应的光频梳产生原理示意图分别如图2(a)和(b)所示。由图可见,按照本发明提供的配置方法,调制器输出谱的叠加作用更加突出,所以能够以较低的微波信号功率产生相同条数且具有一定平坦度的光学频率梳。

[0010] 本发明具有以下优点:

[0011] (1)本发明所涉及的方法与传统方法,即将基频信号加载于强度调制器,高次谐波信号加载于相位调制器的方法相比,有效应用了相位调制器输出频谱的叠加效应,可在平坦度一定的情况下,有效降低用于驱动相位调制器的微波信号功率。

[0012] (2)与传统的配置方法相比,本发明输出的光学频率梳具有更高的功率效率,即功率更集中于可用的平坦的光频率谱线上。

[0013] (3)当相位调制器驱动信号功率与传统方法配置之下的功率相等时,按照本发明提供的方法可以增加输出的平坦谱线的数量,实现更大带宽的平坦光学频率梳。

附图说明

[0014] 图1:本发明涉及的光学频率梳发生器装置图。

[0015] 图2: $m = 3$ 时,基于光调制的光学频率梳产生原理示意图。其中:(a)基于本发明提供的方法,即高次谐波信号施加于强度调制器(2),基频信号施加于相位调制器(5)。(b)基于传统的方法,即基频信号施加于强度调制器(2),高次谐波信号施加于相位调制器(5)。

[0016] 图3:以图表的形式表示实例1的实验结果(实线)和仿真结果(离散点)图。其中:(a)基于本发明提供的方法得到的结果,即高次谐波信号施加于强度调制器(2),基频信号施加于相位调制器(5),当 $f_1=mf_2$,且 $m=2$ 时的实验输出谱线和理论输出谱线。(b)基于传统的方法,即基频信号施加于强度调制器(2),高次谐波信号施加于相位调制器(5),当 $f_2=mf_1$,且 $m=2$ 时的实验输出谱线和理论输出谱线。

[0017] 图4:以图表的形式表示实例2的实验结果(实线)和仿真结果(离散点)图。其中:(a)基于本发明提供的方法得到的结果,即高次谐波信号施加于强度调制器(2),基频信号施加于相位调制器(5),当 $f_1=mf_2$,且 $m=3$ 时的实验输出谱线和理论输出谱线。(b)基于传统的方法,即基频信号施加于强度调制器(2),高次谐波信号施加于相位调制器(5),当 $f_2=mf_1$,且 $m=3$ 时的实验输出谱线和理论输出谱线。

具体实施方式

[0018] 为了更好地验证本发明提出的光学频率梳产生方法的性能,结合附图和实施例说明如下。

[0019] 先给出光学频率梳的功率效率的定义:

$$[0020] \quad \eta = \frac{\text{可用梳线功率之和}}{\text{所有梳线功率之和}}$$

[0021] 其中可用梳线指的是光学频率梳平坦的部分,这部分可以用来作为信号源直接使用。所有梳线指的是梳线中最大功率及其以下30dB范围内的所有梳线。

[0022] 实施例1

[0023] 设定谐波次数 $m=2$,即选用基频信号和其两倍频信号,同时设定基频信号为4GHz,将强度调制器(2)的调制指数 α 定为0.5,对应的驱动微波信号功率为22.1dBm。采用本发明提供的方法和传统方法,两个微波信号源之间的相位差 $\Delta\phi$ 分别为0和 $\pi/4$ 。通过调节系统参数使输出的光学频率梳平坦度最小,利用光谱仪观察得到了7条平坦光学频率梳。实验参数和光学频率梳平坦度,功率效率如表1所示。

[0024]

谐波次数	微波信号频率	光学频率梳平坦度	相位调制器(5)的驱动信号功率	功率效率
$m=2$	$f_1=8\text{GHz}, f_2=4\text{GHz}$	3.19dB	18.2dBm	96%
	$f_1=4\text{GHz}, f_2=8\text{GHz}$	2.65dB	21.5dBm	90%

[0025] 表1 $m=2$,保证光频梳约3dB平坦度时,本发明与传统方法采用的参数和实验结果

[0026] 通过表1,可以看出 $m=2$ 时,在保证实现输出7条平坦度为3dB的光学频率梳的情况下,采用本发明提供的方法相较于传统方法可以将相位调制器(5)所需的微波信号功率降低3.3dBm。同时本发明提出的方法具有更高的功率效率,这表明更多的输出功率集中在有用部分。采用上述参数时,通过光谱仪观察到的实验结果和利用科学计算软件得到的理论仿真结果如图3(a),(b)所示。由图3可见,理论结果和实验结果非常符合,两种情况下得到

的光学频率梳均为7条,频率间隔为4GHz,平坦度相近,均在3dB左右,由此表明谐波次数为偶数时,采用本发明提供的方法相较于传统方法更具功率有效性。

[0027] 实施例2

[0028] 设定谐波次数 $m=3$,即选用基频信号和其三倍频信号,同时设定基频信号为4GHz,将强度调制器(2)的调制指数 α 定为0.5,对应的驱动微波信号功率为22.1dBm。采用本发明提供的方法和传统方法,两个微波信号源之间的相位差 $\Delta\phi$ 均为0。同样,通过调节系统参数使输出的光学频率梳平坦度最小,利用光谱仪观察到了9条平坦光学频率梳。实验参数和光学频率梳平坦度,功率效率如表2所示。

[0029]

谐波次数	微波信号频率	光学频率梳平坦度	相位调制器(5)的驱动信号功率	功率效率
$m=3$	$f_1=12\text{GHz}, f_2=4\text{GHz}$	1.27dB	18.9dBm	97%
	$f_1=4\text{GHz}, f_2=12\text{GHz}$	0.61dB	21.5dBm	87%

[0030] 表2 $m=3$,保证光频梳约1dB平坦度时,本发明与传统方法采用的参数和实验结果

[0031] 通过表2,可以看出 $m=3$ 时,在保证实现输出9条平坦度为1dB的光学频率梳的情况下,采用本发明提供的方法相较于传统方法可以将相位调制器(5)所需的微波信号功率降低2.6dBm。同时本发明提出的方法功率效率达到97%,明显高于传统方法,这表明更多的输出功率集中在有用部分。采用上述参数时,通过光谱仪观察到的实验结果和利用科学计算软件得到的理论仿真结果如图4(a),(b)所示。由图4可见,理论结果和实验结果非常符合,两种情况下得到的光学频率梳均为9条,频率间隔为4GHz,平坦度相近,均在1dB左右,由此表明谐波次数为奇数时,采用本发明提供的方法相较于传统方法具有更高的功率效率。

[0032] 结合实施例1和2,采用本发明提供的方法,以高次谐波信号驱动强度调制器,基频信号驱动相位调制器,无论谐波次数为奇数还是偶数,相较于传统方法,均能以更小的驱动信号功率实现同样平坦度的光学频率梳,并具有更高的功率效率。

[0033] 综上所述,本发明达到了预期的目的。

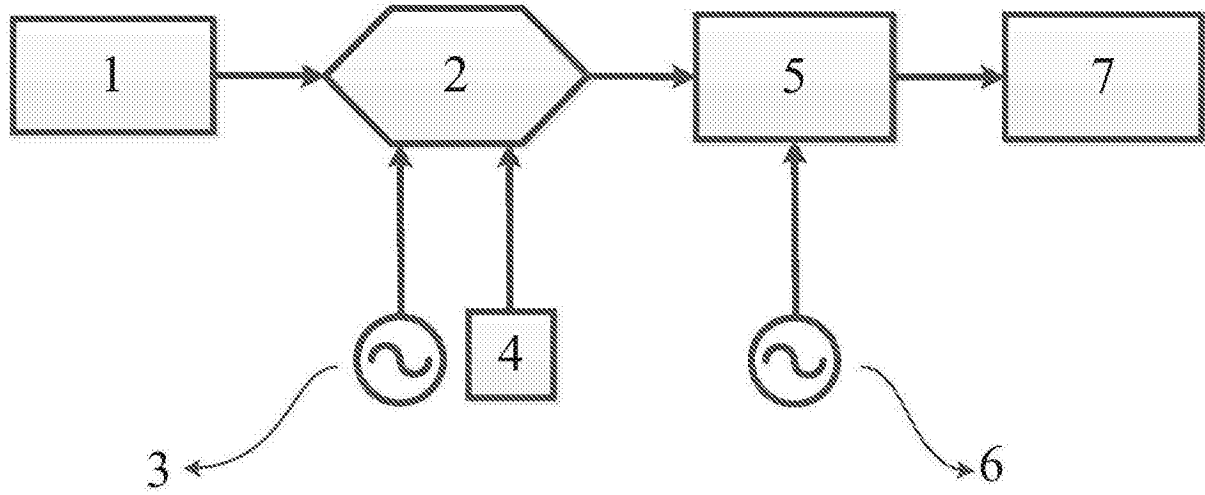


图1

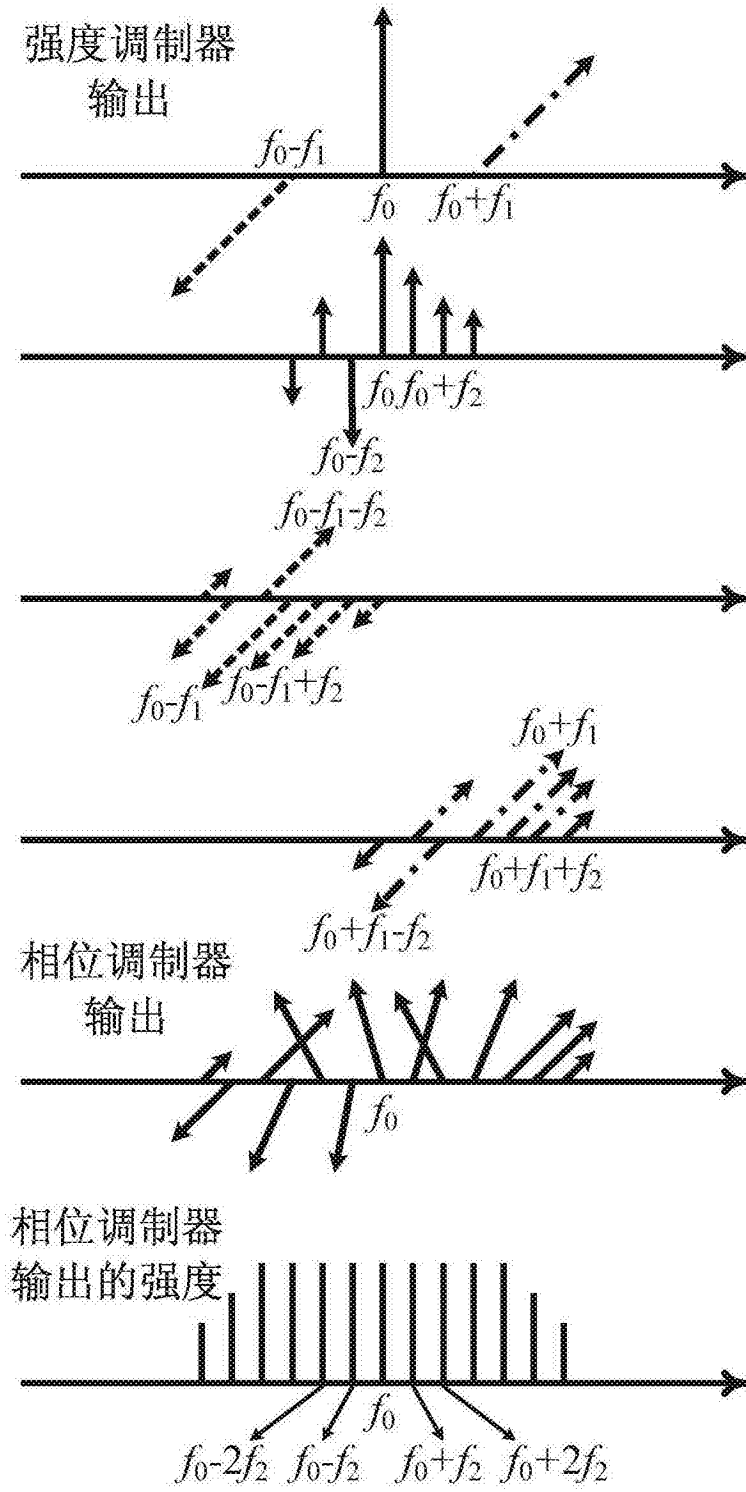


图2(a)

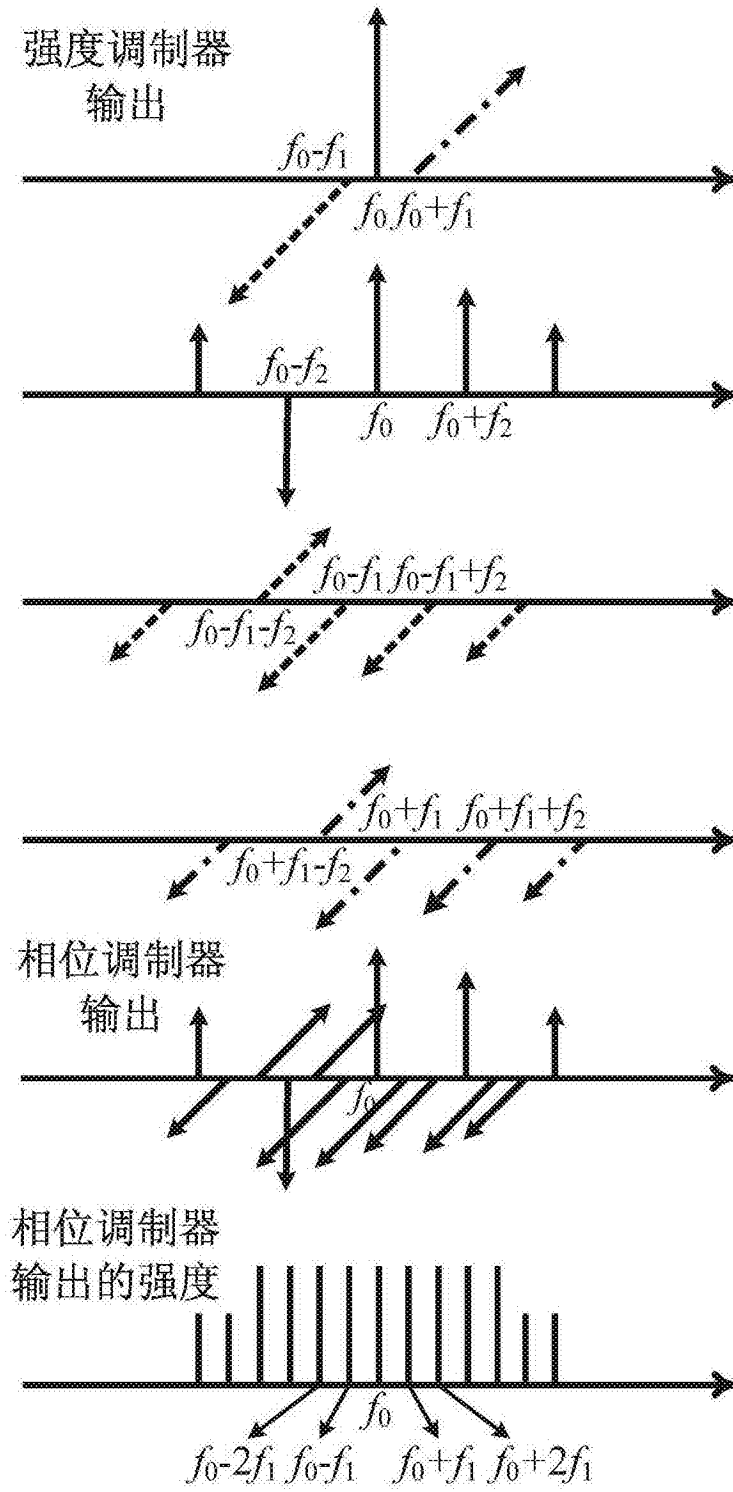


图2(b)

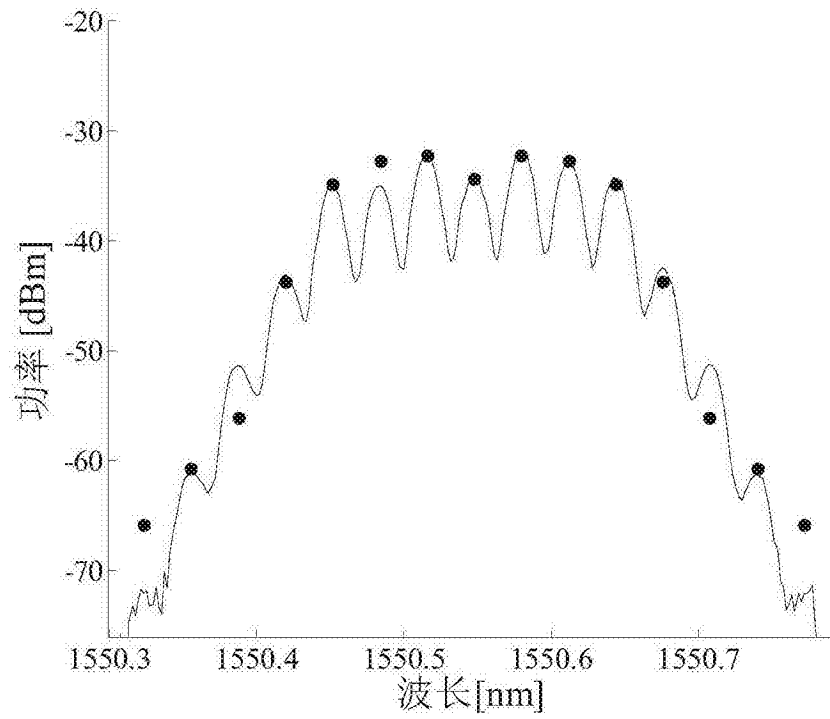


图3(a)

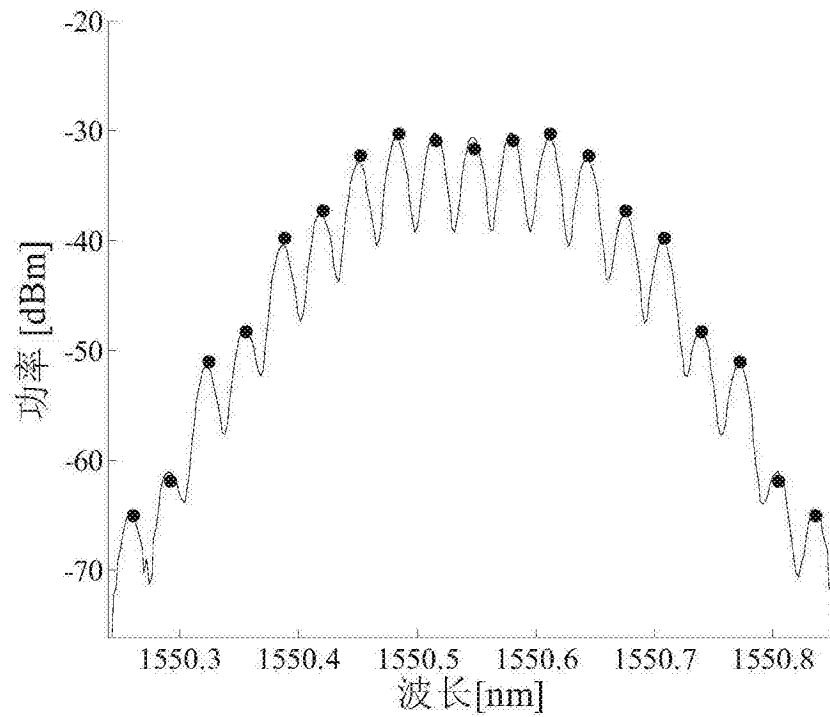


图3(b)

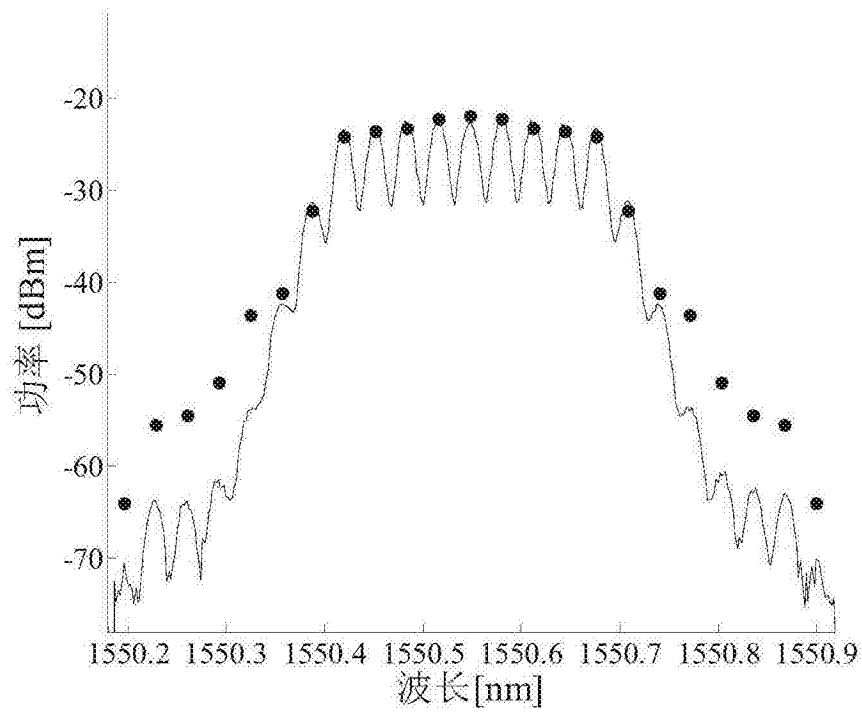


图4(a)

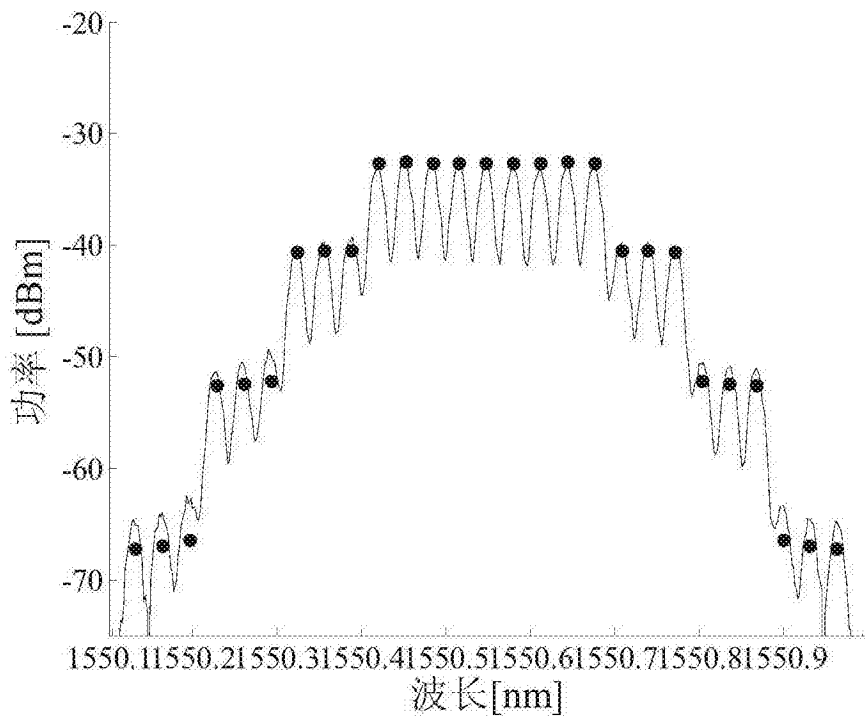


图4(b)