



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106961069 A

(43)申请公布日 2017.07.18

(21)申请号 201710277453.2

(22)申请日 2017.04.25

(71)申请人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)  
西源大道2006号

(72)发明人 凌云 李浩 尹雨 周恒 邱昆

(74)专利代理机构 成都行之专利代理事务所  
(普通合伙) 51220

代理人 温利平

(51) Int. Cl.

H01S 3/11(2006.01)

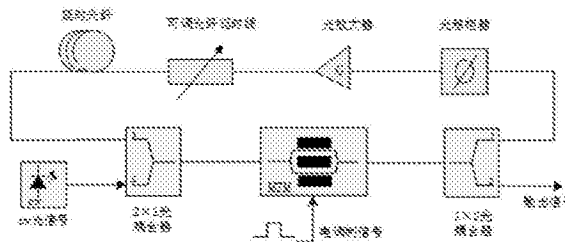
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统及方法,通过光移相器、光放大器、延时光纤和可调光纤延时线构成的反馈回路将调制器输出的一部分光反馈回调制器的输入端,并由光耦合器连同CW激光器输出的光信号一起耦合进光调制器,以此来实现反复调制;具体的讲,通过改变反馈回路中反馈信号的强度和相位,以及两个光耦合器的分光比,就可以实现满足峰值功率和消光比要求的周期脉冲信号的输出,且输出的周期脉冲信号的消光比和光功率可调谐,具有调谐范围广、操作简单,以及适用于高精度OTDR中。



1. 一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统,其特征在于,包括:

—CW激光器,用于产生连续的激光信号输入至 $2 \times 1$ 光耦合器的第二输入端口;

— $2 \times 1$ 光耦合器,将CW激光器的输出信号和反馈回路反馈的信号耦合为一路线号,再发送给光调制器;

—光调制器,在给定的电调制信号控制下,对 $2 \times 1$ 光耦合器的输出信号进行调制,调制完成后输入给 $1 \times 2$ 光耦合器;

— $1 \times 2$ 光耦合器,接收光调制器调制后的光信号,再将光信号分成两路光信号,一路作为高消光比周期脉冲信号从第二输出端口输出,另一路作为反馈信号从第一输出端口反馈至反馈回路;

—反馈回路,包括光移相器、光放大器、可调光纤延时线和延时光纤;反馈信号依次经过光移相器的调相、光放大器的放大和可调光纤延时线的延时处理后通过延时光纤反馈至 $2 \times 1$ 光耦合器的第一输入端口。

2. 一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1)、计算系统的设置参数

(1.1)、计算参数 $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \left( \frac{\sqrt{\gamma ER_{out}} - 1}{\sqrt{\gamma ER_{out}} - \sqrt{\gamma}} \right)^2$$

其中, $ER_{out}$ 为系统输出脉冲信号消光比, $1/\gamma$ 为光调制器的消光比;

(1.2)、判断系统的预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 与CW激光器的预期输出光功率 $P_{in}$ 的比值 $P_{out}/P_{in}$ 是否在 $(0, \alpha / (1 - \sqrt{\varepsilon})^2)$ 的范围内, $\alpha$ 为光调制器器的插入损耗;如果在其范围内,则进入步骤(1.4),否则进入步骤(1.3);

(1.3)、调节系统的预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 和CW激光器的预期输出光功率 $P_{in}$ ,使 $P_{out}/P_{in}$ 是否在 $(0, \alpha / (1 - \sqrt{\varepsilon})^2)$ 的范围内;

(1.4)、计算 $2 \times 1$ 光耦合器和 $1 \times 2$ 光耦合器的耦合系数 $k_1$ 和 $k_2$ :

$$\begin{cases} k_1 = \sqrt{\frac{P_{out}}{\alpha P_{in}}} (1 - \sqrt{\varepsilon}) \\ k_2 = 1 - \sqrt{\frac{P_{out}}{\alpha P_{in}}} (1 - \sqrt{\varepsilon}) \end{cases}$$

(1.5)、计算光放大器的增益 $G$ :

$$G = \frac{\varepsilon}{\alpha k_2 (1 - k_1)}$$

(1.6)、计算延时光纤的长度 $L$ :

$$L = \frac{c}{n} T_p$$

其中, $n$ 为延时光纤的群折射率, $c$ 为真空中光速, $T_p$ 为给定的电调制信号的周期;

(2)、打开系统中各器件,按照步骤(1)计算的参数设置对应的器件,并在 $1 \times 2$ 光耦合器

的第二输出端口处连接示波器；

(3)、调节可调光纤延时线,使示波器中输出的脉冲信号的宽度等于给定的电调制信号的宽度 $T_w$ ；

(4)、将光调制器给定的电调制信号修改为直通信号,并在 $2 \times 2$ 光耦合器的第二输出端口处连接光功率计；

(5)、调节光移相器的相位,使光功率计中显示的功率达到系统的预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ ；

(6)、将光调制器的电调制信号修改成宽度为 $T_w$ 、周期为 $T_p$ 的方波信号,此时系统输出的信号即为产生的高消光比周期脉冲信号。

## 基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光纤通信技术领域,更为具体地讲,涉及一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统及方法。

### 背景技术

[0002] OTDR(光时域反射仪,Optical Time Domain Reflectometer)是一种基于后向瑞利散射原理的光纤特性检测仪器,它可以用于测量光纤的长度、非破坏性地检测光纤损耗特性以及故障定位等。在OTDR相关的技术中,待测脉冲信号消光比与系统的性能密切相关,脉冲信号消光比将限制OTDR的动态范围。

[0003] 在OTDR系统中,脉冲产生的散射信号为有用信号,底座光产生的散射信号为无用信号,由后向瑞利散射的公式可知,当脉冲重复频率为1MHz,占空比为1:1000时,若要求脉冲产生的散射信号比底座产生的散射信号大10dB(即动态范围大于10dB),那么脉冲信号的功率需要比底座功率大40dB(即脉冲的消光比大于40dB)。

[0004] 在现有技术中,通常有两种方法得到这种高消光比的周期脉冲信号,一种是采用高消光比的光调制器对连续波光信号进行调制,如声光调制器,但该调制器调制速率低,限制了OTDR的分辨率;另一种是采用级联多个高速光调制器对脉冲光信号进行重复调制来提高光脉冲消光比,但要求保证每路调制脉冲信号与光脉冲的同步关系,增加了系统复杂度,也增加了系统的体积和成本。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服现有技术的不足,提供一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统及方法,通过改变反馈回路中反馈信号的强度和相位,以及两个光耦合器的分光比,来实现满足峰值功率和消光比要求的周期脉冲信号的输出。

[0006] 为实现上述发明目的,本发明一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统,其特征在于,包括:

[0007] 一CW激光器,用于产生连续的激光信号输入至 $2\times 1$ 光耦合器的第二输入端口;

[0008] 一 $2\times 1$ 光耦合器,将CW激光器的输出信号和反馈回路反馈的信号耦合为一路信号,再发送给光调制器;

[0009] 一光调制器,在给定的电调制信号控制下,对 $2\times 1$ 光耦合器的输出信号进行调制,调制完成后输入给 $1\times 2$ 光耦合器;

[0010] 一 $1\times 2$ 光耦合器,接收光调制器调制后的光信号,再将光信号分成两路光信号,一路作为高消光比周期脉冲信号从第二输出端口输出,另一路作为反馈信号从第一输出端口反馈至反馈回路;

[0011] 一反馈回路,包括光移相器、光放大器、可调光纤延时线和延时光纤;反馈信号依次经过光移相器的调相、光放大器的放大和可调光纤延时线的延时处理后通过延时光纤反馈至 $2\times 1$ 光耦合器的第一输入端口。

[0012] 本发明还提供一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0013] (1)、计算系统的设置参数

[0014] (1.1)、计算参数 $\varepsilon$ :

$$[0015] \quad \varepsilon = \left( \frac{\sqrt{\gamma ER_{out}} - 1}{\sqrt{\gamma ER_{out}} - \sqrt{\gamma}} \right)^2$$

[0016] 其中, $ER_{out}$ 为系统预期输出脉冲信号的消光比, $1/\gamma$ 为光调制器的消光比;

[0017] (1.2)、判断系统预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 与CW激光器的预期输出光功率 $P_{in}$ 的比值 $P_{out}/P_{in}$ 是否在 $(0, \alpha / (1 - \sqrt{\varepsilon})^2)$ 的范围内, $\alpha$ 为光调制器的插入损耗;如果在其范围内,则进入步骤(1.4),否则进入步骤(1.3);

[0018] (1.3)、调节系统预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 和CW激光器的预期输出光功率 $P_{in}$ ,使 $P_{out}/P_{in}$ 是否在 $(0, \alpha / (1 - \sqrt{\varepsilon})^2)$ 的范围内;

[0019] (1.4)、计算 $2 \times 1$ 光耦合器和 $1 \times 2$ 光耦合器的耦合系数 $k_1$ 和 $k_2$ :

$$[0020] \quad \begin{cases} k_1 = \sqrt{\frac{P_{out}}{\alpha P_{in}}} (1 - \sqrt{\varepsilon}) \\ k_2 = 1 - \sqrt{\frac{P_{out}}{\alpha P_{in}}} (1 - \sqrt{\varepsilon}) \end{cases}$$

[0021] (1.5)、计算光放大器的增益 $G$ :

$$[0022] \quad G = \frac{\varepsilon}{\alpha k_2 (1 - k_1)}$$

[0023] (1.6)、计算延时光纤的长度 $L$ :

$$[0024] \quad L = \frac{c}{n} T_p$$

[0025] 其中, $n$ 为延时光纤的群折射率, $c$ 为真空中光速, $T_p$ 为给定的电调制信号的周期;

[0026] (2)、打开系统中各器件,按照步骤(1)计算的参数设置对应的器件,并在 $1 \times 2$ 光耦合器的第二输出端口处连接示波器;

[0027] (3)、调节可调光纤延时线,使示波器中输出的脉冲信号的宽度等于给定的电调制信号的宽度 $T_w$ ;

[0028] (4)、将光调制器给定的电调制信号修改为直通信号,并在 $1 \times 2$ 光耦合器的第二输出端口处连接光功率计;

[0029] (5)、调节光移相器的相位,使光功率计中显示的功率达到系统预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ ;

[0030] (6)、将光调制器的电调制信号修改为宽度为 $T_w$ 、周期为 $T_p$ 的方波信号,此时系统输出的信号即为产生的高消光比周期脉冲信号。

[0031] 本发明的发明目的是这样实现的:

[0032] 本发明一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统及方法,通过光移相

器、光放大器、延时光纤和可调光纤延时线构成的反馈回路将调制器输出的一部分光反馈回调制器的输入端,并由光耦合器连同CW激光器输出的光信号一起耦合进光调制器,以此来实现反复调制;具体的讲,通过改变反馈回路中反馈信号的强度和相位,以及两个光耦合器的分光比,就可以实现满足峰值功率和消光比要求的周期脉冲信号的输出,且输出的周期脉冲信号的消光比和光功率可调谐,具有调谐范围广、操作简单,以及适用于高精度OTDR中。

### 附图说明

[0033] 图1是本发明基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统原理图;

[0034] 图2是系统参数设置流程图;

[0035] 图3是本发明仿真实验输出波形。

### 具体实施方式

[0036] 下面结合附图对本发明的具体实施方式进行描述,以便本领域的技术人员更好地理解本发明。需要特别提醒注意的是,在以下的描述中,当已知功能和设计的详细描述也许会淡化本发明的主要内容时,这些描述在这里将被忽略。

[0037] 实施例

[0038] 图1是本发明基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统原理图。

[0039] 在本实施例中,如图1所示,本发明一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生系统,包括: CW激光器、 $2 \times 1$ 光耦合器、光调制器、 $1 \times 2$ 光耦合器和反馈回路;

[0040] CW激光器,用于产生连续的激光信号输入至 $2 \times 1$ 光耦合器的第二输入端口;

[0041]  $2 \times 1$ 光耦合器,将CW激光器的输出信号和反馈回路反馈的信号耦合为一路信号,再发送给光调制器;

[0042] 光调制器,在给定的电调制信号控制下,对 $2 \times 1$ 光耦合器的输出信号进行调制,调制完成后输入给 $1 \times 2$ 光耦合器;

[0043]  $1 \times 2$ 光耦合器,接收光调制器调制后的光信号,再将光信号分成两路光信号,一路作为高消光比周期脉冲信号从第二输出端口输出,另一路作为反馈信号从第一输出端口反馈至反馈回路;

[0044] 反馈回路,包括光移相器、光放大器、可调光纤延时线和延时光纤;反馈信号依次经过光移相器的调相、光放大器的放大和可调光纤延时线的延时处理后通过延时光纤反馈至 $2 \times 1$ 光耦合器的第一输入端口。

[0045] 在图1所示的系统中,其对应的传输矩阵为:

$$[0046] \left\{ \begin{array}{l} \begin{bmatrix} E_{1,out} \\ E_{2,out} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{1-k_2} & j\sqrt{k_2} \\ j\sqrt{k_2} & \sqrt{1-k_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{1-k_1} & j\sqrt{k_1} \\ j\sqrt{k_1} & \sqrt{1-k_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{1,in} \\ E_{2,in} \end{bmatrix} \\ E_{1,in} = GE_{1,out} \cdot e^{i(\varphi)} \end{array} \right.$$

[0047] 其中, $E_{n,in}$ 分别是 $2 \times 1$ 光耦合器的输入端口n的输入光信号场强, $E_{n,out}$ 分别是 $1 \times 2$

光耦合器的输出端口 $n$ 的输出光信号的场强, $n=1,2$ ;  $k_1$ 和 $k_2$ 分别为 $2 \times 1$ 光耦合器和 $1 \times 2$ 光耦合器的耦合系数;  $G$ 为光放大器的增益;  $\Psi = \varphi + \theta$ 为光移相器和延时光纤的总相移,其中, $\varphi$ 为光移相器的相移, $\theta$ 为延时光纤的相移;  $A$ 为光调制器的传输系数,当光调制器的电调制信号为高电平时, $A = \alpha$ ; 当电调制信号为低电平时, $A = \alpha \gamma$ ,其中,光调制器的插入损耗为 $\alpha$ 、消光比为 $1/\gamma$ 。

[0048] 令 $\Psi = 1.5\pi + 2n\pi, n=1,2,3 \dots$ 时,CW激光器可以输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 为:

$$[0049] \quad P_{out} = \left( \frac{\sqrt{Ak_1(1-k_2)}}{1-\sqrt{\varepsilon}} \right)^2 \times P_{in}$$

[0050] 对应的消光比为:

$$[0051] \quad ER_{out} = \frac{1}{\gamma} \times \left( \frac{1-\sqrt{\gamma}\sqrt{\varepsilon}}{1-\sqrt{\varepsilon}} \right)^2$$

[0052] 其中, $P_{in} = |E_{2,in}|^2, P_{out} = |E_{2,out}|^2, \varepsilon = AGk_2(1-k_1), A = \alpha$ 。

[0053] 下面结合图1,对本发明一种基于反馈结构的高消光比周期脉冲信号产生方法进行详细说明,具体包括以下步骤:

[0054] S1、计算系统的设置参数

[0055] S1.1、计算参数 $\varepsilon$ :

[0056] 如图2所示,对于给定的光调制器的消光比为 $1/\gamma$ 、插入损耗为 $\alpha$ 。当系统预期的输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 、CW激光器的预期输出光功率 $P_{in}$ 、消光比为 $ER_{out}$ 时,将 $ER_{out}$ 、 $1/\gamma$ 带入到 $ER_{out}$ 的关系式中,可得与预期消光比对应的 $\varepsilon$ 值为:

$$[0057] \quad \varepsilon = \left( \frac{\sqrt{\gamma ER_{out}} - 1}{\sqrt{\gamma ER_{out}} - \sqrt{\gamma}} \right)^2$$

[0058] 其中, $ER_{out}$ 为系统预期输出脉冲信号的消光比, $1/\gamma$ 为光调制器的消光比;

[0059] S1.2、判断系统预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 与CW激光器的输出光功率 $P_{in}$ 的比值 $P_{out}/P_{in}$ 是否在 $\left(0, \alpha/(1-\sqrt{\varepsilon})^2\right)$ 的范围内, $\alpha$ 为光调制器的插入损耗;如果在其范围内,则进入步骤S1.4,否则进入步骤S1.3;

[0060] S1.3、调节系统预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 和CW激光器的输出光功率 $P_{in}$ ,使 $P_{out}/P_{in}$ 是否在 $\left(0, \alpha/(1-\sqrt{\varepsilon})^2\right)$ 的范围内;

[0061] S1.4、计算 $2 \times 1$ 光耦合器和 $1 \times 2$ 光耦合器的耦合系数 $k_1$ 和 $k_2$ :

[0062] 定义拉格朗日函数 $L(k_1, k_2, \lambda) = P_{out} + \lambda g(k_1, k_2)$

[0063] 其中, $g(k_1, k_2) = \alpha G k_2(1-k_1) - \varepsilon$ 为约束函数; $\lambda$ 为拉格朗日乘子。

[0064] 则 $L(k_1, k_2, \lambda)$ 取得极大值时,得 $2 \times 1$ 光耦合器和 $1 \times 2$ 光耦合器的耦合系数 $k_1$ 和 $k_2$ 关系式分别为:

$$[0065] \quad \begin{cases} k_1 = 1 - \sqrt{\frac{\varepsilon}{\alpha G}} \\ k_2 = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\alpha G}} \end{cases}$$

[0066] 将 $k_1$ 和 $k_2$ 的值代入到输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 的表达式中,可以得到光放大器增益系数 $G$ 的值为:

$$[0067] \quad G = \frac{\varepsilon}{\alpha \left( 1 - \sqrt{\frac{P_{out}}{\alpha P_{in}}} (1 - \sqrt{\varepsilon}) \right)^2}$$

[0068] 联立 $k_1$ 、 $k_2$ 、 $G$ 的关系式,可以得到 $k_1$ 、 $k_2$ 、 $G$ 的具体参数值为:

$$[0069] \quad \begin{cases} k_1 = \sqrt{\frac{P_{out}}{\alpha P_{in}}} (1 - \sqrt{\varepsilon}) \\ k_2 = 1 - \sqrt{\frac{P_{out}}{\alpha P_{in}}} (1 - \sqrt{\varepsilon}) \end{cases}$$

$$[0070] \quad G = \frac{\varepsilon}{\alpha k_2 (1 - k_1)}$$

[0071] 其中,  $\varepsilon = \left( \sqrt{\gamma ER_{out}} - 1 / \sqrt{\gamma ER_{out}} - \sqrt{\gamma} \right)^2$ ,  $0 < k_1, k_2 < 1$ , 因此, 可得  $0 < \frac{P_{out}}{P_{in}} < \frac{\alpha}{(1 - \sqrt{\varepsilon})^2}$  ;

[0072] 即预期消光比决定了输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 所能达到的最大值,因此,在设置CW激光器的预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ 和输出功率 $P_{in}$ 时,应使它们的比值在  $\left( 0, \alpha / (1 - \sqrt{\varepsilon})^2 \right)$  的范围内;

[0073] S1.5、计算延时光纤的长度 $L$ :

$$[0074] \quad L = \frac{c}{n} T_p$$

[0075] 其中, $n$ 为延时光纤的群折射率, $c$ 为真空中光速, $T_p$ 为给定的电调制信号的周期;

[0076] 在本实施例中,对于给定的周期为 $T_p = 0.5 \text{ ns}$ 和脉冲宽度为 $T_w = 0.1 \text{ ns}$ 的电脉冲信号,光调制器的消光比为 $1/\gamma = 1000$ 、插入损耗为 $\alpha = -3 \text{ dB}$ 、带宽大于 $1/T_w$ ,延时光纤的光纤群折射率为 $n = 1.47$ ,CW激光器的输出光功率为 $P_{in} = 200 \text{ mW}$ ,为获得预期输出信号脉冲峰值功率为 $P_{out} = 100 \text{ mW}$ 和消光比为 $ER_{out} = 50 \text{ dB}$ 的周期信号,按照上述方法可以依次计算出上述参数:

$$[0077] \quad \varepsilon = 0.81; \begin{cases} k_1 = 0.1 \\ k_2 = 0.9 \end{cases}; G = 2; L = 0.102 \text{ 米};$$

[0078] S2、打开系统中各器件,按照步骤S1计算的参数设置对应的器件,并在 $1 \times 2$ 光耦合器的第二输出端口处连接示波器;

[0079] S3、调节可调光纤延时线,使示波器中输出的脉冲信号的宽度等于给定的电调制信号的宽度 $T_w$ ;

[0080] S4、将光调制器给定的电调制信号修改为直通信号,并在 $1 \times 2$ 光耦合器的第二输



出端口处连接光功率计；

[0081] S5、调节光移相器的相位，使光功率计中显示的功率达到CW激光器的预期输出信号脉冲峰值功率 $P_{out}$ ；

[0082] S6、将光调制器的电调制信号修改为宽度为 $T_w$ 、周期为 $T_p$ 的方波信号，此时输出的信号即为产生的高消光比周期脉冲信号。

[0083] 实例

[0084] 图3是本发明仿真实验输出波形。

[0085] 在仿真实验中，以功率为23dBm的CW激光器作为直流输入信号；电调制信号是频率为2GHz，占空比为1:5的方波；光调制器的消光比设置为30dB，用光衰减器代替调制器的插入损耗，损耗值设置为-3dB；光放大器的增益系数为3dB；延时光纤的相位变化设置为0，移相器的相位为 $1.5\pi$ 。得到如图3所示的仿真实验输出波形。由图3可知，输出信号的峰值功率随着时间的增加而不断增加，并最终稳定在19.97dBm，近似等于20dBm；谷值功率最终稳定在-29.74dBm。因此，消光比为49.71dB，近似等于50dB。可以看出仿真实验结果与理论值相符，这也说明了本发明的可行性。

[0086] 尽管上面对本发明说明性的具体实施方式进行了描述，以便于本技术领域的技术人员理解本发明，但应该清楚，本发明不限于具体实施方式的范围，对本技术领域的普通技术人员来讲，只要各种变化在所附的权利要求限定和确定的本发明的精神和范围内，这些变化是显而易见的，一切利用本发明构思的发明创造均在保护之列。

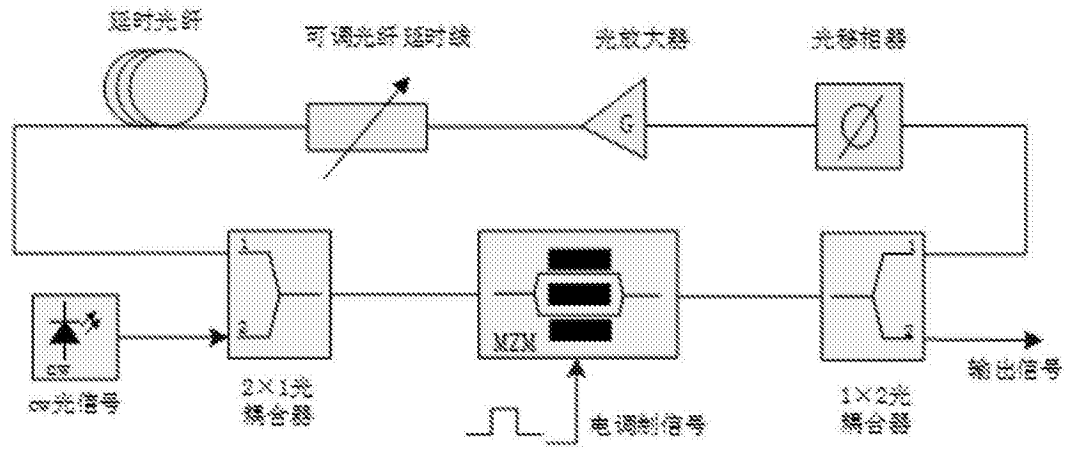


图1

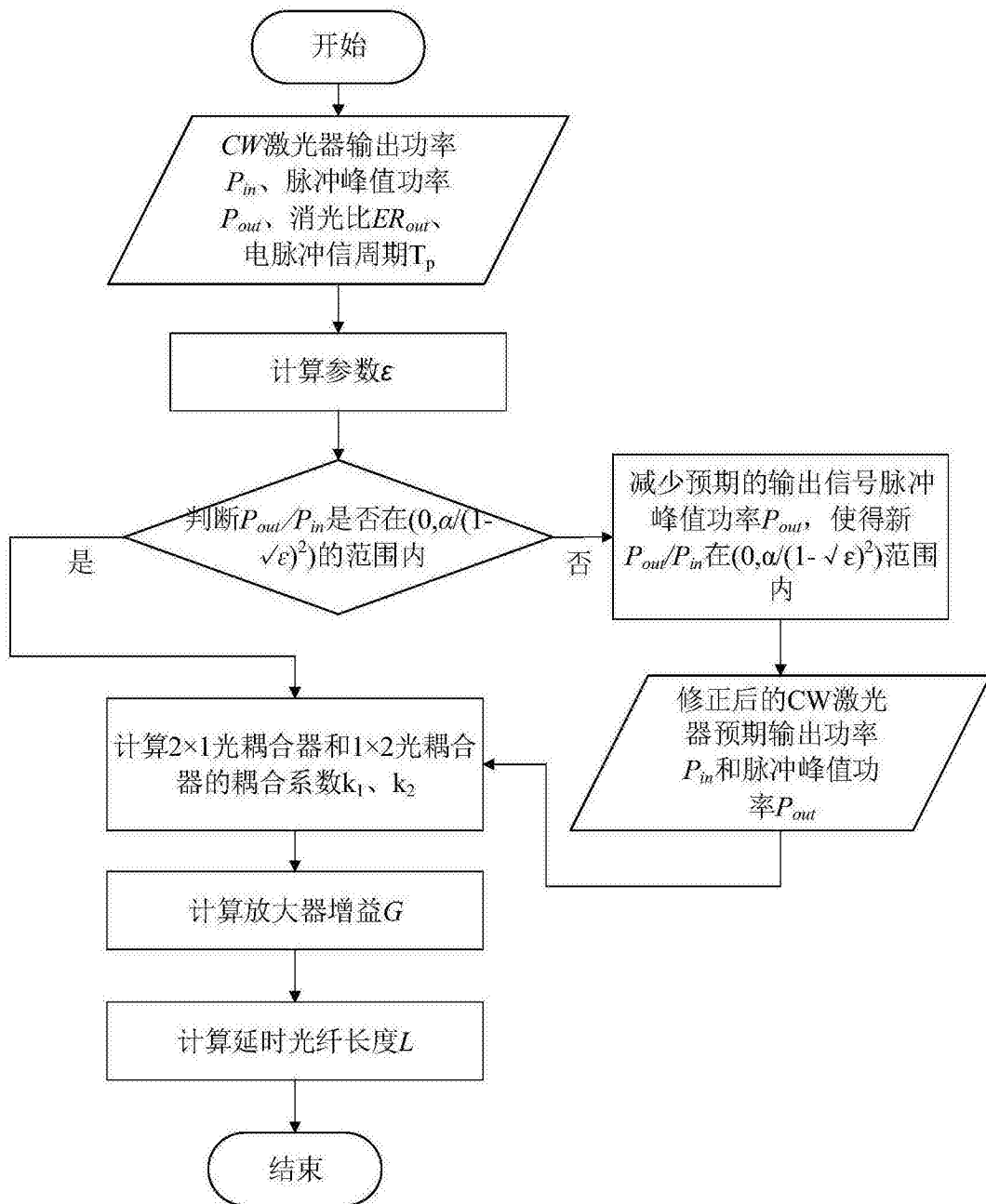


图2

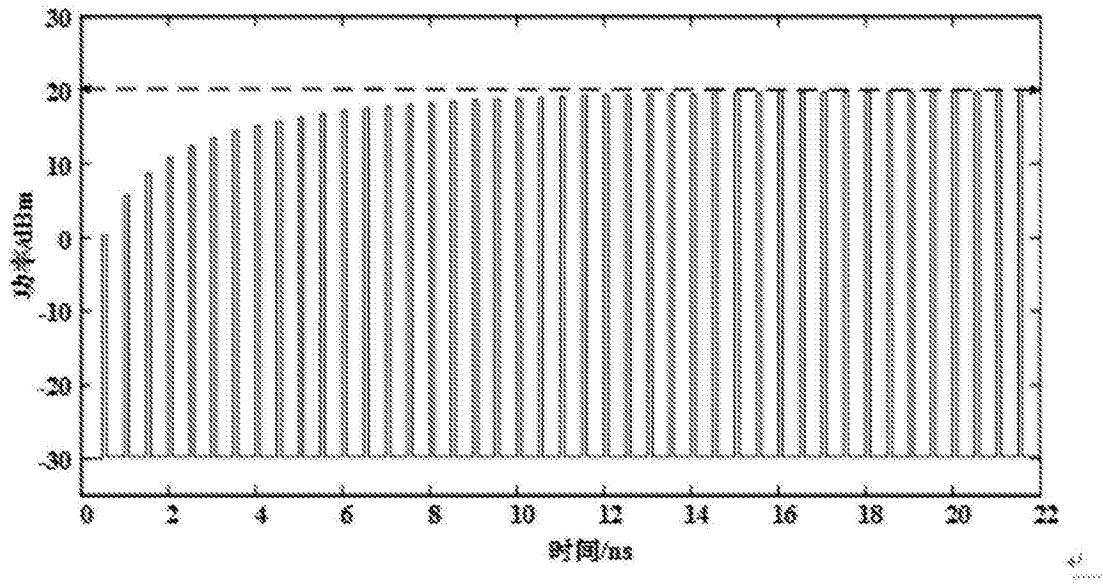


图3