



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103076112 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 12

(21) 申请号 201310018033. 4

(22) 申请日 2013. 01. 17

(73) 专利权人 广东电网公司电力调度控制中心
地址 510699 广东省广州市越秀区梅花路
75号

专利权人 广东电网公司江门供电局

(72) 发明人 何杰 蒋康明 吴赞红 刘新展
杨旭 范继新 汪莹 张珮明
付佳佳 余子勇 彭志荣

(74) 专利代理机构 广州华进联合专利商标代理
有限公司 44224

代理人 王茹 曾旻辉

(51) Int. Cl.

G01K 11/32(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102374873 A, 2012. 03. 14, 说明书第
[0031]、[0036] 段, 说明书附图图 2.

US 2002/0154291 A1, 2002. 10. 24, 全文.

JP 特开 2004-101472 A, 2004. 04. 02, 全文.
CN 201852564 U, 2011. 06. 01, 说明书第
[0018]-[0033] 段, 说明书附图图 1.

CN 102829811 A, 2012. 12. 19, 全文.

胡晓东, 胡小唐, 陈津平. 基于布里渊增益
的单端分布式光纤传感技术. 《光电子·激
光》. 2000, 第 11 卷 (第 1 期), 86-88.

宋牟平, 郑晓, 章献民. 波分复用串联的布
里渊散射分布式光纤传感器. 《光子学报》. 2005,
第 34 卷 (第 10 期), 1497-1500.

审查员 董立静

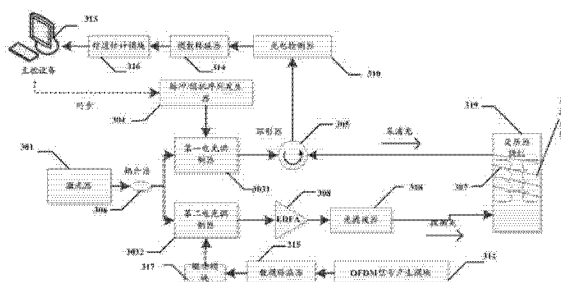
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置

(57) 摘要

本发明提供的单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置, 包括基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统, 光 OFDM 信号发生模块, OFDM 检测模块和信号处理模块; 其中基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统包括激光器、耦合器、第一电光调制器和第二电光调制器、放大器、光滤波器、脉冲/随机序列发生器、环形器、和缠绕着作为传感光纤的单模光纤的变压器绕组; 所述光 OFDM 信号发生模块包括 OFDM 信号发生器、数模转换器和驱动模块; 所述 OFDM 检测模块包括检测模块、模数转换器和信道估计模块。本发明能够提高测量时间和精度, 扩大测量的动态范围, 提升分布式传感系统的可靠性和实时性。



1. 一种单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置,其特征在于,包括基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统,光 OFDM 信号发生模块,OFDM 检测模块和信号处理模块;

其中基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统包括激光器、耦合器、第一电光调制器和第二电光调制器、放大器、光滤波器、脉冲 / 随机序列发生器、环形器、和缠绕着作为传感光纤的单模光纤的变压器绕组;

所述光 OFDM 信号发生模块包括 OFDM 信号发生器、数模转换器和驱动模块;所述 OFDM 检测模块包括检测模块、模数转换器和信道估计模块;

所述激光器产生激光,利用所述耦合器将所述激光器产生的激光分成两路激光,所述第一电光调制器将其中一路激光与所述脉冲 / 随机序列发生器生成的电信号进行调制,生成泵浦光;所述 OFDM 信号发生器生成的数字信号经过数模转换后通过驱动模块驱动所述第二电光调制器将另一路激光与所述数模转换后的 OFDM 信号调制为带有光载波的光 OFDM 信号,所述光滤波器将所述光 OFDM 信号的一个边带滤除生成单边带光 OFDM 信号,所述单边带光 OFDM 信号作为探测光进入所述变压器绕组,经过布里渊增益之后再通过所述环形器进入所述检测模块,得到电 OFDM 信号,通过所述模数变换器进行模数转换,通过信道估计模块得出沿光纤轴向分布式的布里渊频移,从而得出分布式的变压器绕组的待测参数;

其中,所述放大器为掺饵放大器;

所述信号处理模块还用于对所述待测参数信息进行显示;

所述检测模块为光电检测器或者相干接收机。

单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置

【技术领域】

[0001] 本发明涉及光纤的测量技术领域,特别涉及一种分布式光纤传感系统的参数测量装置。

【背景技术】

[0002] 在电力系统中,经常会需要对电缆、风电设备等长期暴露在大气中的设备的某些参数进行在线监测,例如,高温、火灾是影响电力系统安全运行的常见事故。所以温度在线监测的质量是影响电力系统安全运行中很重要的一个方面,如果能在安全事故发生早期通过温度测量进行预警并迅速采取措施,就能有效避免此类安全事故。传统的测温方法是将点式感温元件如热电偶装在电缆或电力系统重要部位进行测温,或使用光纤光栅和准分布式测量的方法进行测温。但是这些测温方法只能对电力系统局部位置进行测温,而无法对整个电力系统实现温度在线监测,且在经济性和实用性方面都有一定的缺陷。而分布式光纤测温系统能够实现多点、在线的分布式测量。分布式光纤测温系统利用光纤即可感知温度信息又可传输温度信息,具有耐高温、防电磁辐射、高带宽等特点,从而大幅提升了温度分辨率和空间分辨率,有效地解决了长期以来现场出现的高温、燃烧、爆炸等事故应急不备的问题。在电力系统中,在高压电力电缆、电气设备因接触不良易产生发热的部位、电缆夹层、电缆通道、大型发电机定子、大型变压器、锅炉等设施的定点测温场合,这种光纤传感技术具有广泛应用前景。

[0003] 在分布式光纤测温技术中,主要有基于拉曼散射的分布式光纤传感技术、基于布里渊光时域反射 (BOTDR) 技术的分布式光纤传感技术和基于布里渊光时域分析 (BOTDA) 技术的分布式光纤传感技术。

[0004] 在基于 BOTDA 技术的分布式光纤且采用直接检测方法获取布里渊频移的技术中,如图 1 所示,从光纤的两端分别注入一脉冲光(泵浦光)与一连续光(探测光)在光纤的铺设路径上,由于温度、应力等参数不同,相同波长的泵浦光激发的布里渊散射频移也不同。当泵浦光与探测光的频率差与布里渊频移相等时,两束光之间发生能量转移,布里渊波长上的光就会被放大,即在该位置产生了布里渊放大效应。当对一个激光波长进行扫描时,通过检测从光纤一端耦合出来的连续光功率,就可以确定光纤各小段区域上能量转移达到最大时所对应的频率差。由于布里渊频移与温度、应力等参数呈线性关系,因此,对激光器的频率进行连续调节的时候,就可以得到需要测量的各种信息,实现分布式测量。实际运用中可以采用电光调制器对探测光或者泵浦光的频率在布里渊频移波段(约为 10.8GHz ~ 11.1GHz)进行扫描,以绘制布里渊增益/损耗谱。可是该技术存在以下问题:(1)光源稳频要求高;(2)由于需要分析点数非常多,为提高测试灵敏度,需要多次平均,因此测试时间非常长;(3)增益型传感方式会引起泵浦光能量急剧降低,难以实现长距离检测。

[0005] 在基于微波外调制的损耗型 BOTDA 分布式光纤传感技术中,参考图 2 所示的基于微波外调制的损耗型 BOTDA 分布式光纤传感技术的微波外调制 BOTDA 光纤传感系统示意图,基于微波外调制的 BOTDA 系统只需要一个激光器作为光源,将激光器输出光分成两路,

通过调节探测光调制信号的频率实现对被测光纤区域的扫描,以此确定布里渊频移的改变量并获得温度、应力等参数的传感信息。损耗型是指连续探测光频率高于脉冲光频率,探测光的能量向脉冲光转移,这种传感方式使脉冲光能量升高,不存在泵浦耗尽现象,从而能实现长距离的检测。

[0006] 参考图 2 所示的基于微波外调制的损耗型 BOTDA 分布式光纤传感技术的微波外调制 BOTDA 光纤传感系统示意图,系统基本原理:在传感光纤两端分别入射短脉冲光与连续探测光,当两者的频率差与光纤中某区域的布里渊频移 ν_B 相等时,则在该区域就会产生受激布里渊散射(SBS)放大效应,两光束之间发生能量转移。由于布里渊频移与需要测量的参数存在线性关系,因此,在对激光器的频率进行连续调节的同时,通过检测从光纤一端耦合出来的探测光,就可以确定光纤各小段区域上能量转移达到最大时所对应的频率差。从而得到传感光纤上需测量参数的信息,实现分布式测量。

[0007] 基于微波外调制的损耗型 BOTDA 分布式光纤传感技术主要有以下技术缺陷:(1)单端方案不能实现远距离传感;(2)为提高测量精度,需要测量多个频点,多次平均,因此测量时间较长;(3)该方案因为要对大量实验数据进行统计分析,对实验设备及环境要求很高。

【发明内容】

[0008] 针对上述问题,本发明提供一种单边带分布式光纤传感系统的测量装置,监控变压器绕组或者区域性较小的分布式测量参数,能够提高测量时间和精度,扩大测量的动态范围,提升分布式传感系统的可靠性和实时性。

[0009] 本发明提供的单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置,包括基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统,光 OFDM 信号发生模块,OFDM 检测模块和信号处理模块;

[0010] 其中基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统包括激光器、耦合器、第一电光调制器和第二电光调制器、放大器、光滤波器、脉冲/随机序列发生器、环形器、和缠绕着作为传感光纤的单模光纤的变压器绕组;

[0011] 所述光 OFDM 信号发生模块包括 OFDM 信号发生器、数模转换器和驱动模块;所述 OFDM 检测模块包括检测模块、模数转换器和信道估计模块;

[0012] 所述激光器产生激光,利用所述耦合器将所述激光器产生的激光分成两路激光,所述第一电光调制器将其中一路激光与所述脉冲/随机序列发生器生成的电信号进行调制,生成泵浦光;所述 OFDM 信号发生器生成的数字信号经过数模转换后通过驱动模块驱动所述第二电光调制器将另一路激光与所述数模转换后的 OFDM 信号调制为带有光载波的光 OFDM 信号,所述光滤波器将所述光 OFDM 信号的一个边带滤除生成单边带光 OFDM 信号,所述单边带光 OFDM 信号作为探测光进入所述变压器绕组,经过布里渊增益之后再通过所述环形器进入所述检测模块,得到电 OFDM 信号,通过所述模数变换器进行模数转换,通过信道估计模块得出沿光纤轴向分布式的布里渊频移,从而得出分布式的变压器绕组的待测参数。

[0013] 作为一个实施例,所述放大器为掺饵放大器。

[0014] 作为一个实施例,所述信号处理模块还用于对所述待测参数信息进行显示。

[0015] 作为一个实施例,所述检测模块为光电检测器。

[0016] 作为一个实施例,所述检测模块为相干接收机。

[0017] 使用本发明相比较于现有技术,解决了现有技术的测量精度低的问题,也可以解决现有技术测量范围受限制的问题,进一步解决了现有技术测量结果的单一性问题。

[0018] 此外,在本发明采用光 OFDM 信号取代单束激光作为 BOTDA 系统中的探测光,其可以大大的增加扫描速度,一次性完成多个频点的扫描,从而解决了现有技术单点单频扫描速度慢和单频扫描精度不高的缺点;可以大大提高测量动态范围。本发明可简化传统方式中的平均过程,降低系统计算复杂度,减少检测时间;解决了现有技术不能进行实时监控的缺点。

【附图说明】

[0019] 图 1 是基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感且采用直接检测方法获取布里渊频移的技术的原理图;

[0020] 图 2 是基于微波外调制的损耗型 BOTDA 分布式光纤传感技术的微波外调制 BOTDA 光纤传感系统示意图;

[0021] 图 3 是本发明单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置的逻辑框图;

[0022] 图 4 是含有 5 个子载波的光 OFDM 信号的示意图;

[0023] 图 5 是本发明相干检测单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置的逻辑框图。

【具体实施方式】

[0024] 以下结合附图来详细说明本发明的分布式光纤传感系统的测量装置,下面仅仅作作为示例来说明,本领域技术人员清楚地知晓,只要符合本发明思想的方法及系统均落入本发明之中;另外地,不应当将本发明的保护范围仅仅限制至采用光 OFDM 信道估计方式测量布里渊频移技术的具体结构或部件的具体参数。

[0025] 如图 3 所示,本发明采用光 OFDM 信道估计方式测量布里渊频移技术,即利用光 OFDM 信道估计方法测量布里渊频移框图,本发明可以在一个时间单位上完成多个频点的扫描,使得测量速度及测量精度大大增加。相对于基于布里渊散射的分布式光纤传感系统 BOTDA 中现大多依靠扫频方式获得温度导致布里渊频移的频移测量值以及通过拟合得到测量结果,克服了由于激光器单频扫描速度慢、精度不高、很难实现快速高精度等问题。

[0026] 在本发明的采用光 OFDM 信道估计方式测量布里渊频移技术中,由于需要测量的参数(例如温度、应力等)会导致不同的布里渊频移,测量出不同的频移量即可分析出沿光纤轴向分布的参数值,为此,利用光正交频分复用 O-OFDM 通信系统中的信道估计技术可以精确估计出布里渊频移量。OFDM 信号是一种含有多个子载波的宽带信号。

[0027] 图 3 所示的直接检测单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置,用于监控变压器绕组或者区域性较小的分布式测量参数,该直接检测单边带分布式光纤传感系统的参数测量装置包括基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统,光 OFDM 信号发生模块,OFDM 检测模块和信号处理模块。其中基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统包括一个激光器、一个耦合器、第一电光调制器和第二电光调制器、一个放大器(优选 EDFA 掺饵放大器)、一个光滤波器、一个脉冲/随机序列发生器、一个环形器、和缠绕着作为传感光纤的单模光纤的变压器绕组;光 OFDM 信号发生模块包括 OFDM 信号发生器、数模转换器和一个驱动电光调制器调

制光 OFDM 的模块。OFDM 检测模块包括一个检测模块、一个模数转换器和一个信道估计模块；在本实施例中，检测模块为光电检测器。

[0028] 首先利用耦合器 306 分成两路激光，首先利用耦合器 306 将激光器 301 发出的激光分成两路，一路激光进入第一电光调制器 3031 进行脉冲或者随机序列调制，调制之后的脉冲光作为泵浦光，通过环形器 305 后进入变压器绕组 307。另一端，用另一路激光调制 OFDM 信号产生带有光载波的光 OFDM 信号，此时需要采用光单边带调制，因此需要使用光滤波器 318 将一个边带滤除，然后这个单边带光 OFDM 信号作为探测光进入变压器绕组 319，经过布里渊增益之后再通过环形器 305 进入光电探测器 310 得到接收电 OFDM 信号，通过模数变换器 314，信道估计得出沿光纤轴向分布式的布里渊频移，从而得出分布式的变压器绕组温度参数。

[0029] 如图 4 所示，图 4 给出了一个含有 5 个子载波的光 OFDM 信号，其中，中心光载波的频率为 f_0 。假设子载波的带宽固定，即频点间隔固定，通过增加子载波的个数，使得光 OFDM 信号的带宽增加，则一次扫频扫过的带宽越大，测量速度越高。通过调节子载波的带宽，可调节频点间隔。

[0030] 如图 5 所示的相干检测单激光器 OFDM-BOTDA 系统，其是在直接检测单边带 OFDM-BOTDA 系统基础上检测模块采用了相干检测算法。该分布式光纤传感系统的测量装置系统包括基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统，光 OFDM 信号发生模块，OFDM 检测模块和信号处理模块。其中基于 BOTDA 技术的分布式光纤传感系统包括一个激光器、一个耦合器、两个电光调制器、一个 EDFA、一个脉冲 / 随机序列发生器、一个环形器、和缠绕着作为传感光纤的单模光纤的变压器绕组；光 OFDM 信号发生模块包括数模转换器和一个驱动电光调制器调制光 OFDM 的模块；OFDM 检测模块包括一个相干接收机、一个模数转换器和一个信道估计模块。在整个发明装置中，首先利用耦合器 506 将激光器 501 发出的激光分成两路，一路激光进入电光调制器 5031 进行脉冲或者随机序列调制，调制之后的脉冲光作为泵浦光，进入变压器绕组 519。另一路激光通过电光调制器 5032 调制 OFDM 信号产生带有光载波的光 OFDM 信号，并通过 EDFA 508 放大，此时必须采用光单边带调制，因此需要使用光滤波器 518 将一个边带滤除，然后这个单边带光 OFDM 信号作为探测光进入变压器绕组 519，经过布里渊增益之后再通过环形器 505 进入相干接收机 520，得到接收电 OFDM 信号，通过模数变换器 514，然后信道估计得出沿光纤轴向分布式的布里渊频移，从而得出分布式的变压器绕组温度参数。使用相干接收的有益处则不再需要探测光单边带调制，并且可以将电光调制器处于抑制载波点。

[0031] 本发明的基于 LabView、Matlab/C/C++ 等软件产生数字 OFDM 信号，通过示波器实现模数转换器的功能，通过示波器得到的数字信号送入 LabView、Matlab/C/C++ 等计算机软件进行检测，从而分析出布里渊频移得到需要测量的参数值。利用 LabView 开发周期短，观测效果好。利用 Matlab/C/C++ 等软件产生 OFDM 信号以及对传输后的信号进行处理，其可以利用较复杂的算法来提高系统性能。

[0032] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

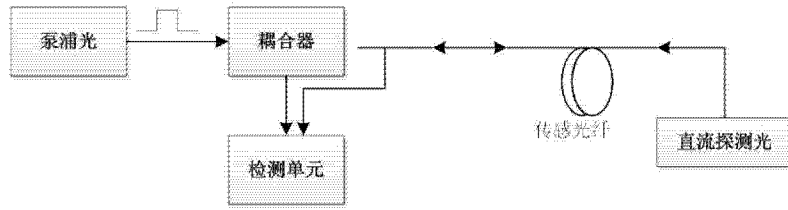


图 1

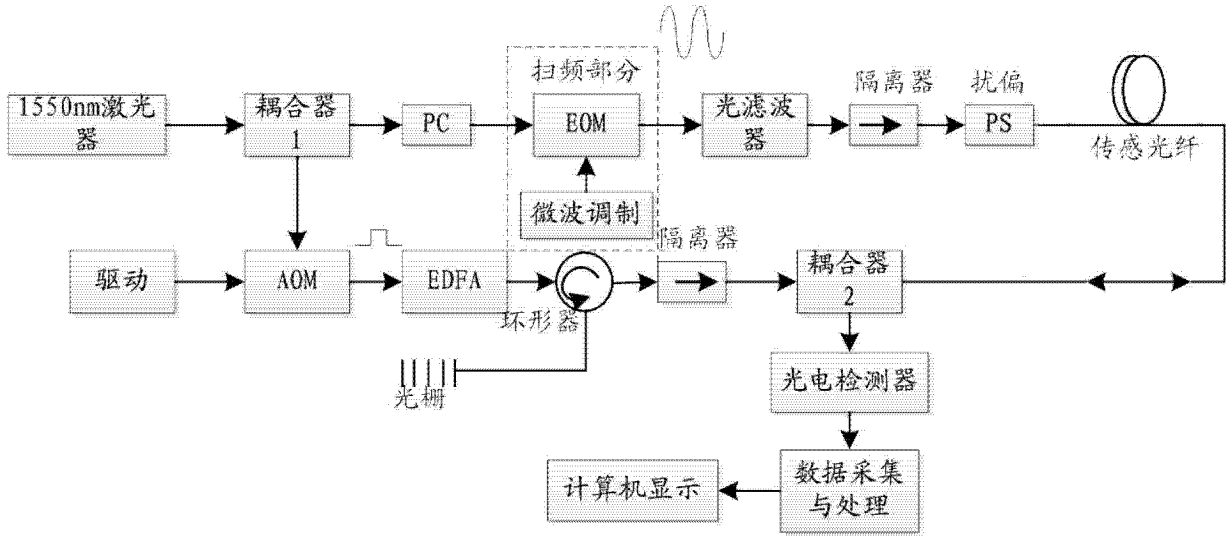


图 2

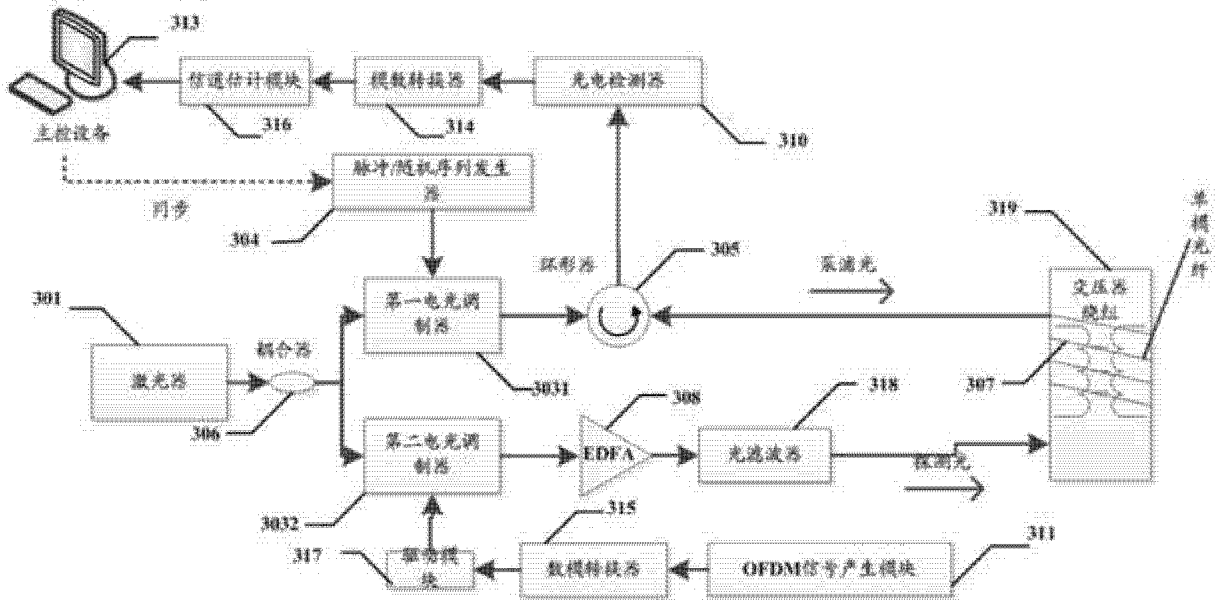


图 3

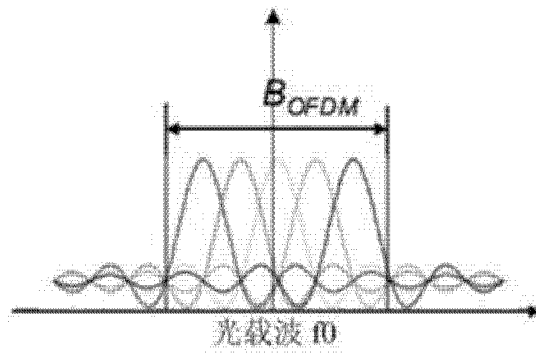


图 4

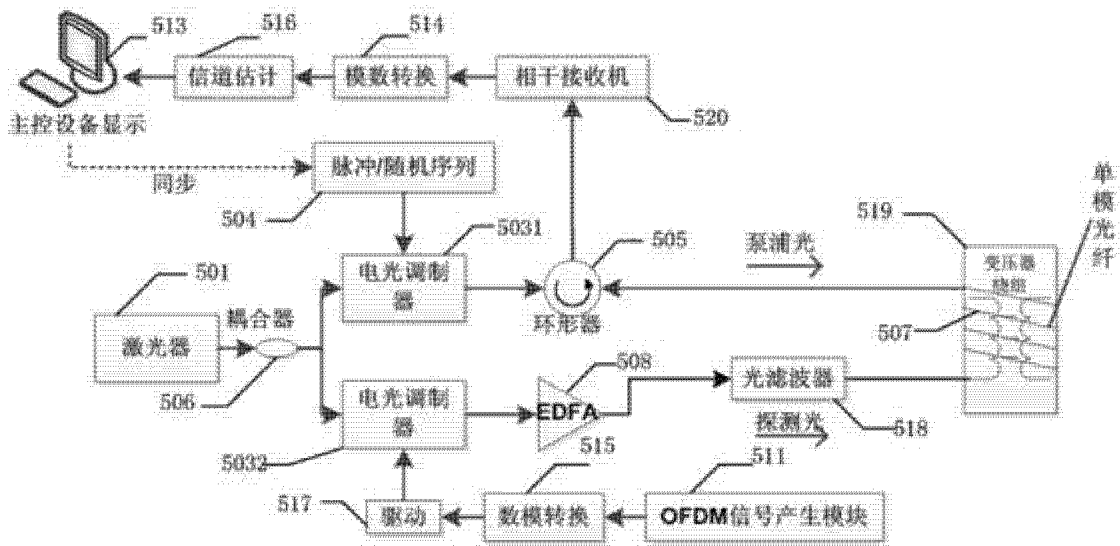


图 5