



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107407828 A

(43)申请公布日 2017. 11. 28

(21)申请号 201680012763.5

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2016.03.02

G02F 1/01(2006.01)

G01J 4/00(2006.01)

(30)优先权数据

62/127,057 2015.03.02 US

15/057,379 2016.03.01 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.08.29

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/CN2016/075335 2016.03.02

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/138860 EN 2016.09.09

(71)申请人 华为技术有限公司

地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

(72)发明人 温阳敬 朱绯 白聿生

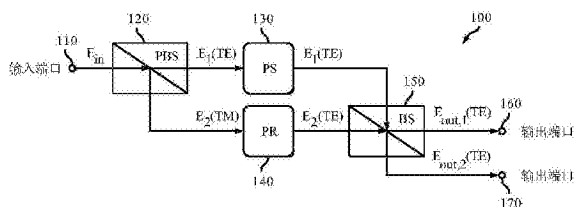
权利要求书3页 说明书10页 附图9页

(54)发明名称

偏振态校准器(PSA)

(57)摘要

一种系统包括：偏振态校准器(polarization state aligner,PSA),包括:输入端口;耦合到所述输入端口的第一偏振分束器(polarization beam splitter,PBS);耦合到所述第一PBS的第一移相器(phase shifter,PS);耦合到所述第一PBS的第一偏振旋转器(polarization rotator,PR);耦合到所述第一PS和所述第一PR的第一分束器(beam splitter,BS);耦合到所述第一BS的第一输出端口;以及耦合到所述第一BS的第二输出端口。



1. 一种系统,其特征在于,包括:  
偏振态校准器 (PSA),包括:  
输入端口;  
耦合到所述输入端口的第一偏振分束器 (PBS);  
耦合到所述第一PBS的第一移相器 (PS);  
耦合到所述第一PBS的第一偏振旋转器 (PR);  
耦合到所述第一PS和所述第一PR的第一分束器 (BS);  
耦合到所述第一BS的第一输出端口;以及  
耦合到所述第一BS的第二输出端口。
2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,还包括:  
接收器,耦合到所述PSA并包括:  
第二PBS;  
耦合到所述第二PBS和所述第一输出端口的第一90度( $^{\circ}$ )混频器;  
耦合到所述第一90 $^{\circ}$ 混频器的第一光电二极管 (PD);  
耦合到所述第一PD的第一互阻抗放大器 (TIA);以及  
耦合到所述第一TIA的数字信号处理器 (DSP)。
3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述接收器还包括:  
耦合到所述第二PBS的第二PR;  
耦合到所述第二PR和所述BS的第二90 $^{\circ}$ 混频器;  
耦合到所述第二90 $^{\circ}$ 混频器的第二PD;以及  
耦合到所述第二PD和所述DSP的第二TIA。
4. 根据权利要求1至3中的任一项所述的系统,其特征在于,还包括调制器系统,其耦合到所述PSA并包括:  
耦合到所述第一输出端口的同相 (in-phase, I) 调制器;  
耦合到所述第二输出端口的正交相位 (quadrature phase, Q) 调制器;  
耦合到所述Q调制器的第二PS;以及  
耦合到所述I调制器和所述第二PS的合束器 (BC)。
5. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于,所述I调制器和所述Q调制器包括马赫曾德尔调制器 (MZM)。
6. 根据权利要求1至5中的任一项所述的系统,其特征在于,还包括调制器系统,其耦合到所述PSA并包括:  
耦合到所述第一输出端口的X分量 (X) 调制器;  
耦合到所述第二输出端口的Y分量 (Y) 调制器;  
耦合到所述Y调制器的第二PR;以及  
耦合到所述X调制器和所述第二PR的偏振合束器 (PBC)。
7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述X调制器和所述Y调制器是马赫曾德尔调制器 (MZM)、电吸收 (EA) 调制器或者同相与正交相位 (IQ) 调制器的任意组合。
8. 根据权利要求1至7中的任一项所述的系统,其特征在于,还包括调制器系统,其耦合到所述PSA并包括:

耦合到所述第一输出端口的第二BS；  
耦合到所述第二BS的第一调制器；  
耦合到所述第二BS的第二调制器；  
耦合到所述第二输出端口的第三BS；  
耦合到所述第三BS的第三调制器；以及  
耦合到所述第三BS的第四调制器。

9. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,还包括基板,其中所述PSA和所述调制器系统集成在所述基板上。

10. 根据权利要求1至9中的任一项所述的系统,其特征在于,还包括波导介质,其将所述第一PBS耦合到所述输入端口,将所述第一PS耦合到所述第一PBS,将所述第一PR耦合到所述第一PBS,将所述第一BS耦合到所述第一PS和所述第一PR,将所述第一输出端口耦合到所述第一BS,并将所述第二输出端口耦合到所述第一BS。

11. 根据权利要求1至10中的任一项所述的系统,其特征在于,所述波导介质包括空气。

12. 根据权利要求10所述的系统,其特征在于,所述波导介质包括硅(Si)、二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)或磷化铟(InP)之一。

13. 一种系统,其特征在于,包括:

偏振态校准器(PSA),用于:

在输入偏振下从光组件接收输入光;

将所述输入光分解为第一光和第二光,其中,所述第一光包括与光电电路对应的输出偏振,所述第二光包括第一偏振;

将所述第一偏振旋转到所述输出偏振;

将所述第一光与所述第二光合并;以及

向所述光电电路提供与所述第一光相关的第一输出光和与所述第二光相关的第二输出光;

其中,所述第一输出光和所述第二输出光包括所述输出偏振。

14. 根据权利要求13所述的系统,其特征在于,所述输入偏振是任意偏振,所述输出偏振是横电(TE)偏振,所述第一偏振是横磁(TM)偏振。

15. 根据权利要求13或14所述的系统,其特征在于,所述PSA包括:

偏振分束器(PBS),用于:

接收所述输入光;以及

将所述输入光分解为所述第一光和所述第二光。

偏振旋转器(PR),耦合到所述PBS并用于将所述第一偏振旋转到所述输出偏振;以及

移相器(PS),耦合到所述PBS并用于将所述第一光的第一相位移至第二相位,使得所述第一光与所述第二光之间的相位时延是 $\pi$ 的整数倍。

16. 根据权利要求13至15中的任一项所述的系统,其特征在于,所述PSA包括:

偏振分束器—旋转器(PSR),用于:

接收所述输入光;

将所述输入光分解为所述第一光和所述第二光;以及

将所述第一偏振旋转到所述输出偏振;以及

移相器 (PS), 耦合到所述PSR并用于将所述第二光的第一相位移至第二相位, 使得所述第一光与所述第二光之间的相位时延是 $\pi$ 的整数倍。

17. 根据权利要求13至16中的任一项所述的系统, 其特征在于, 所述光组件是标准单模光纤 (SSMF), 其不保持偏振。

18. 一种方法, 其特征在于, 包括:

在输入偏振下从光组件接收输入光;

将所述输入光分解为第一光和第二光, 其中, 所述第一光包括与光电电路对应的输出偏振, 所述第二光包括第一偏振;

将所述第一偏振旋转到所述输出偏振;

移动所述第一光、所述第二光或这两者的相位, 使得所述第一光与所述第二光之间的相位时延使第一输出光的第一功率与第二输出光的第二功率均等;

将所述第一光与所述第二光合并; 以及

向所述光电电路提供所述第一输出光和所述第二输出光, 其中, 所述第一输出光与所述第一光相关, 所述第二输出光与所述第二光相关;

其中, 所述第一输出光和所述第二输出光包括所述输出偏振。

19. 根据权利要求18所述的方法, 其特征在于, 还包括:

向相干接收器提供所述第一输出光作为第一本地振荡器 (LO) 光信号; 以及

向所述相干接收器提供所述第二输出光作为第二LO光信号。

20. 根据权利要求18或19所述的方法, 其特征在于, 还包括:

向调制器系统提供所述第一输出光作为第一连续波 (CW) 光; 以及

向所述调制器系统提供所述第二输出光作为第二CW光。

## 偏振态校准器 (PSA)

[0001] 相关申请案交叉申请

[0002] 本申请要求2016年3月1日递交的发明名称为“偏振态校准器 (PSA) (Polarization state aligner (PSA))”的第15/057,379号美国非临时专利申请案的在先申请优先权,其又要求2015年3月2日由Yangjing Wen等人递交的发明名称为“偏振态校准器 (PSA) (Polarization State Aligner (PSA))”的第62/127,057号美国临时专利申请案的在先申请优先权,该在先申请的内容以引用的方式并入本文本中。

### 背景技术

[0003] 光纤广泛用于提供通信链路。相比于采用电子媒介的通信链路,采用光纤的通信链路提供了多种优势。这些优势包括带宽更大、抗扰度更高、功率损耗降低、串扰减少。光通信链路的快速发展以及对更大容量的需求已促使研究与行业采用更先进的高阶调制方案。

### 发明内容

[0004] 在一项实施例中,本发明包括一种系统,所述系统包括:偏振态校准器 (PSA),包括:输入端口;耦合到所述输入端口的第一偏振分束器 (PBS);耦合到所述第一PBS的第一移相器 (PS);耦合到所述第一PBS的第一偏振旋转器 (PR);耦合到所述第一PS和所述第一PR的第一分束器 (BS);耦合到所述第一BS的第一输出端口;以及耦合到所述第一BS的第二输出端口。在一些实施例中,所述系统还包括:接收器,耦合到所述PSA并包括:第二PBS;耦合到所述第二PBS和所述第一输出端口的第一90度( $^{\circ}$ )混频器;耦合到所述第一90度混频器的第一光电二极管 (PD);耦合到所述第一PD的第一互阻抗放大器 (TIA);以及耦合到所述第一TIA的数字信号处理器 (DSP);所述系统还包括:耦合到所述第二PBS的第二PR;耦合到所述第二PR和所述BS的第二90度混频器;耦合到所述第二90度混频器的第二PD;以及耦合到所述第二PD和所述DSP的第二TIA;所述系统还包括:调制器系统,耦合到所述PSA并包括:耦合到所述第一输出端口的同相 (in-phase, I) 调制器;耦合到所述第二输出端口的正交相位 (quadrature phase, Q) 调制器;耦合到所述Q调制器的第二PS;以及耦合到所述I调制器和所述第二PS的合束器 (BC);所述I调制器和所述Q调制器包括马赫曾德尔调制器 (MZM);所述系统还包括:调制器系统,耦合到所述PSA并包括:耦合到所述第一输出端口的X分量 (X) 调制器;耦合到所述第二输出端口的Y分量 (Y) 调制器;耦合到所述Y调制器的第二PR;以及耦合到所述X调制器和所述第二PR的偏振合束器 (PBC);所述X调制器和所述Y调制器是马赫曾德尔调制器 (MZM)、电吸收 (EA) 调制器或者同相与正交相位 (IQ) 调制器的任意组合;所述系统还包括:调制器系统,耦合到所述PSA并包括:耦合到所述第一输出端口的第二BS;耦合到所述第二BS的第一调制器;耦合到所述第二BS的第二调制器;耦合到所述第二输出端口的第三BS;耦合到所述第三BS的第三调制器;以及耦合到所述第三BS的第四调制器;所述系统还包括:基板,其中所述PSA和所述调制器系统集成在所述基板上;所述系统还包括:波导介质,其将所述第一PBS耦合到所述输入端口,将所述第一PS耦合到所述第一PBS,将所述第一PR耦合到所述第一PBS,将所述第一BS耦合到所述第一PS和所述第一PR,将所述第一输出端

口耦合到所述第一BS,并将所述第二输出端口耦合到所述第一BS;所述波导介质包括空气;所述波导介质包括硅(Si)、二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)或磷化铟(InP)之一。

[0005] 在另一项实施例中,本发明包括一种系统,所述系统包括:偏振态校准器(PSA),用于:在输入偏振下从光组件接收输入光;将所述输入光分解为第一光和第二光,其中,所述第一光包括与光电电路对应的输出偏振,所述第二光包括第一偏振;将所述第一偏振旋转到所述输出偏振;将所述第一光与所述第二光合并;以及向所述光电电路提供与所述第一光相关的第一输出光和与所述第二光相关的第二输出光;其中,所述第一输出光和所述第二输出光包括所述输出偏振;在一些实施例中,所述输入偏振是任意偏振,所述输出偏振是横电(TE)偏振,所述第一偏振是横磁(TM)偏振;所述PSA包括:偏振分束器(PBS),用于:接收所述输入光;以及将所述输入光分解为所述第一光和所述第二光;偏振旋转器(PR),耦合到所述PBS并用于将所述第一偏振旋转到所述输出偏振;以及移相器(PS),耦合到所述PBS并用于将所述第一光的第一相位移至第二相位,使得所述第一光与所述第二光之间的相位时延是 $\pi$ 的整数倍;所述PSA包括:偏振分束器—旋转器(PSR),用于:接收所述输入光;将所述输入光分解为所述第一光和所述第二光;以及将所述第一偏振旋转到所述输出偏振;以及移相器(PS),耦合到所述PSR并用于将所述第二光的第一相位移至第二相位,使得所述第一光与所述第二光之间的相位时延是 $\pi$ 的整数倍;所述光组件是标准单模光纤(SSMF),其不保持偏振。

[0006] 在又一项实施例中,本发明包括一种方法,所述方法包括:在输入偏振下从光组件接收输入光;将所述输入光分解为第一光和第二光,其中,所述第一光包括与光电电路对应的输出偏振,所述第二光包括第一偏振;将所述第一偏振旋转到所述输出偏振;移动所述第一光、所述第二光或这两者的相位,使得所述第一光与所述第二光之间的相位时延使第一输出光的第一功率与第二输出光的第二功率均等;将所述第一光与所述第二光合并;以及向所述光电电路提供所述第一输出光和所述第二输出光,其中,所述第一输出光与所述第一光相关,所述第二输出光与所述第二光相关;其中,所述第一输出光和所述第二输出光包括所述输出偏振。在一些实施例中,所述方法还包括:向相干接收器提供所述第一输出光作为第一本地振荡器(LO)光信号;以及向所述相干接收器提供所述第二输出光作为第二LO光信号;所述方法还包括:向调制器系统提供所述第一输出光作为第一连续波(CW)光;以及向所述调制器系统提供所述第二输出光作为第二CW光。

[0007] 结合附图和权利要求书可以从下文的详细描述中更清楚地理解这些和其它特征。

## 附图说明

[0008] 为了更透彻地理解本发明,现参阅结合附图和具体实施方式而描述的以下简要说明,其中的相同参考标号表示相同部分。

[0009] 图1是根据本发明一实施例的PSA的示意图。

[0010] 图2是输出为图1中PSA的相对角的各个值的相位时延的函数的图。

[0011] 图3是根据本发明一实施例的集成PSA的示意图。

[0012] 图4是根据本发明一实施例的双偏振相干接收器系统的示意图。

[0013] 图5是根据本发明一实施例的IQ发射器系统的示意图。

[0014] 图6是根据本发明一实施例的双偏振发射器系统的示意图。

[0015] 图7是根据本发明一实施例的并行单模四通道(parallel, single-mode, four-lane, PSM4)发射器系统的示意图。

[0016] 图8是根据本发明一实施例的图示偏振态校准方法的流程图。

[0017] 图9是一种设备的示意图。

### 具体实施方式

[0018] 首先应理解, 尽管下文提供一项或多项实施例的说明性实施方案, 但所公开的系统 and/或方法可使用任何数目的技术来实施, 无论该技术是当前已知还是现有的。本发明决不应限于下文所说明的说明性实施方案、附图和技术, 包括本文所说明并描述的示例性设计和实施方案, 而是可在所附权利要求书的范围以及其等效物的完整范围内修改。

[0019] 高速光收发器是光通信系统中的关键组件。将高阶正交幅度调制(quadrature amplitude modulation, QAM)等高级调制格式与相干检测相结合的系统显现出了高性能和高容量。在这一背景下, 相干检测是指检测幅度信息和相位信息两者以恢复信号。

[0020] 这种高级调制格式在发射器和接收器这两者中实施。在发射器中, 一个调制器, 例如同相与正交相位(in-phase and quadrature phase, IQ)调制器, 将数据调制到连续波(continuous wave, CW)光上以产生调制光信号。这种调制依赖于偏振, 因此CW激光器和调制器需要具有匹配的偏振。在接收器中, 一个集成相干接收器(integrated coherent receiver, ICR)接收调制光信号和本地振荡器(local oscillator, LO)光信号, 其中, LO光信号随着调制光信号而跳动, 以供ICR恢复相位信息。这种恢复依赖于偏振, 因此LO光信号和ICR需要具有匹配的偏振。因此, 发射器和接收器都需要在它们各自的组件之间进行偏振校准。

[0021] Bouda等人于2013年8月27日在光互联网论坛上发表的“针对集成的偏振复用正交调制发射器的实施协议(Implementation Agreement for Integrated Polarization Multiplexed Quadrature Modulated Transmitters)” (“Bouda”)采用保偏光纤(polarization-maintaining fiber, PMF)将CW激光器连接到调制器, 该实施协议以引用的方式并入本文本中。类似地, Johnson等人于2013年11月14日在光互联网论坛上发表的“针对集成的双偏振内差相干接收器的实施协议(Implementation Agreement for Integrated Dual Polarization Intradyne Coherent Receivers)” (“Johnson”)采用PMF将LO光信号源连接到相干接收器, 该实施协议以引用的方式并入本文本中。PMF比标准单模光纤(standard single-mode fiber, SSMF)和其它不能进行偏振保持的光纤的成本高得多。在现有方法中, 其中CW激光器相对靠近发射器中的调制器且LO源相对靠近接收器中的相干接收器, PMF的额外成本可能不是问题, 因为光纤长度相对较短。然而, 在光纤长度更长的其它应用中, PMF的额外成本可能是一个问题。因此, 需要在不使用PMF的情况下匹配发射器与接收器中的偏振。

[0022] 本文公开了PSA的实施例。PSA从光纤或其它光组件接收光束或信号, 将光束或信号的偏置调整到光电电路的所需偏振, 并将光束或信号传递到光电电路。光电电路包括IQ调制器、ICR或其它组件。PSA处理这些组件的偏振依赖性。由于PSA将光的偏振调整到所需偏振, 所以PSA支持使用不能进行偏振保持的SSMF和其它光纤, 而不是使用PMF。PSA降低了成本, 特别是在需要更长的光纤来耦合组件时。对于数据中心发射器应用, 多个激光源可以

位于一个列末 (end of row, EoR) 交换机中, 与这些激光源对应的调制器在架顶 (top of rack, ToR) 交换机中可能相对较远并通过SSMF耦合到激光源。对于前传发射器应用, 多个激光源可以位于一个基带单元 (base band unit, BBU) 中, 与这些激光源对应的调制器在射频拉远单元 (remote radio unit, RRU) 中可能相对较远并通过SSMF耦合到激光源。类似地, 对于接收器系统应用, LO光信号源可能相对较远并通过SSMF耦合到相干接收器。在这一背景下, 相对较远可以指至少几米 (meter, m), 多达数十公里 (kilometer, km)。虽然PSA降低了尤其是短程应用的成本, 但是PSA也可在地铁应用中使用。

[0023] 图1是根据本发明一实施例的PSA 100的示意图。PSA 100包括输入端口110、偏振分束器 (polarization beam splitter, PBS) 120、移相器 (phase shifter, PS) 130、偏振旋转器 (polarization rotator, PR) 140、分束器 (beam splitter, BS) 150、输出端口160和输出端口170。连接这些组件的线代表光束或信号。这些光束或信号标记为字母“E”的变体, 字母“E”表示单位为平方根瓦特 ( $W^{1/2}$ ) 的光场。此外, 这些光束或信号标有它们在各个点处的偏振。偏振包括横电 (transverse electric, TE) 和横磁 (transverse magnetic, TM) 偏振。虽然未示出, 但是光通过空气在自由空间光学应用中传播, 或通过光波导介质传播, 光波导介质包括硅 (silicon, Si)、二氧化硅 (silicon dioxide,  $SiO_2$ )、磷化铟 (indium phosphide, InP) 或波导应用中的其它合适材料。虽然PS 130示为在PSA 100的上分支中, 但是PS 130还可在PSA 100的下分支中, 或者在PSA 100的上分支和下分支两者中。

[0024] 在操作中, 输入光 $E_{in}$ 通过输入端口110进入PSA 100。 $E_{in}$ 可从SSMF进入, 因此具有任意偏振。 $E_{in}$ 从输入端口110传递到PBS 120。PBS 120将 $E_{in}$ 分解为具有TE偏振的第一光 $E_1$ 和具有TM偏振的第二光 $E_2$ 。然后, PBS 120将 $E_1$ 传递到PS 130, 将 $E_2$ 传递到PR 140。PS 130进行 $E_1$ 的相移, 如下文所述, 并将 $E_1$ 传递到BS 150。在 $E_1$ 的相移之后,  $E_1$ 与 $E_2$ 之间的相位差称为相位时延。PR 140将 $E_2$ 旋转90度 ( $^\circ$ ) 使得 $E_2$ 具有TE偏振, 并且PR 140将 $E_2$ 传递到BS 150。最后, BS 150接收到 $E_1$ 和 $E_2$ 两者, 合并 $E_1$ 与 $E_2$ , 并将 $E_{out,1}$ 传递到输出端口160, 将 $E_{out,2}$ 传递到输出端口170。当相移是某个特定值时,  $E_1$ 和 $E_2$ 则具有相同的功率。此外,  $E_1$ 和 $E_2$ 具有相同的TE偏振, 其可以是后续光电电路所需的偏振。因此, 不论 $E_{in}$ 具有哪个任意偏振,  $E_{out,1}$ 和 $E_{out,2}$ 都具有相同的TE偏振和相同的功率。

[0025] 当 $E_1$ 和 $E_2$ 进入BS 150时, 它们可如下表示:

$$[0026] \quad E_1 = E_0 e^{j[\omega t + \varphi(t)]} \cos \theta \quad (1)$$

$$[0027] \quad E_2 = E_0 e^{j[\omega(t-\tau) + \varphi(t) + \Delta\phi]} \sin \theta \quad (2)$$

[0028] 其中,  $E_1$ 是从PSA 100的上分支进入BS 150的光的光场,  $E_0$ 是 $E_{in}$ 的光场的幅度,  $e$ 是指数函数,  $j$ 是虚数,  $\omega$ 是单位为赫兹 (hertz, Hz) 的光载波频率,  $t$ 是单位为秒 (second, s) 的时间,  $\varphi$ 是可包括相位噪声且单位为弧度的光相位,  $\theta$ 是 $E_{in}$ 的偏振与PBS 120的TE偏振之间的单位为度 ( $^\circ$ ) 的相对角,  $E_2$ 是从PSA 100的下分支进入BS 150的光的光场,  $\tau$ 是 $E_1$ 与 $E_2$ 之间的单位为秒 (second, s) 的时延,  $\Delta\phi$ 是在 $E_1$ 与 $E_2$ 之间引入的单位为弧度的相位时延。 $E_{out,1}$ 和 $E_{out,2}$ 如下表示:

$$[0029] \quad E_{out,1} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_1 + \frac{1}{\sqrt{2}} E_2 e^{j\pi/2}$$

$$E_{out,1} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_0 \sqrt{1 - \sin(-\omega\tau + \Delta\phi) \sin 2\theta} e^{j[\omega t + \varphi(t)] + j\phi_1} \quad (3)$$

$$E_{out,2} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_1 e^{j\pi/2} + \frac{1}{\sqrt{2}} E_2$$

$$E_{out,2} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_0 \sqrt{1 + \sin(-\omega\tau + \Delta\phi) \sin 2\theta} e^{j[\omega t + \varphi(\tau)] + j\pi/2 + j\phi_2} \quad (4)$$

[0031]  $\Phi_1$ 和 $\Phi_2$ 分别是 $E_{out,1}$ 和 $E_{out,2}$ 的单位为弧度的相位,如下表示:

$$\Phi_1 = \arctan \left( \frac{\cos(-\omega\tau + \Delta\phi) \sin \theta}{\cos \theta - \sin(-\omega\tau + \Delta\phi) \sin \theta} \right)$$

$$\Phi_2 = \arctan \left( \frac{\cos(-\omega\tau + \Delta\phi) \sin \theta}{\cos \theta + \sin(-\omega\tau + \Delta\phi) \sin \theta} \right)$$

[0033]  $E_1$ 和 $E_2$ 的单位为瓦特(watt,W)的功率分别如下表示:

$$P_{out,1} = |E_{out,1}|^2$$

$$P_{out,1} = \frac{1}{2} |E_0|^2 (1 - \sin(-\omega\tau + \Delta\phi) \sin 2\theta)$$

$$P_{out,1} = \frac{1}{2} P_0 [1 - \sin(\Delta\phi) \sin 2\theta] \quad (5)$$

$$P_{out,2} = |E_{out,2}|^2$$

$$P_{out,2} = \frac{1}{2} |E_0|^2 (1 + \sin(-\omega\tau + \Delta\phi) \sin 2\theta)$$

$$P_{out,2} = \frac{1}{2} P_0 [1 + \sin(\Delta\phi) \sin 2\theta], \quad (6)$$

[0036] 其中, $\Delta\phi = -\omega\tau + \Delta\phi$ 是 $E_1$ 与 $E_2$ 之间的总相位时延, $P_0$ 是 $E_{in}$ 的功率,单位为瓦特。等式(5)和(6)表明,如果 $\Delta\phi = k\pi$ ,其中 $k$ 是整数,则 $P_1$ 和 $P_2$ 对于 $\theta$ 的依赖性可以消除,从而 $P_1$ 和 $P_2$ 都等于 $P_0/2$ 。

[0037] 下文描述的处理器的执行计算,并指示PS 130基于计算来进行 $E_1$ 的相移。PS 130可以是加热器或相位调制器。如果PS 130是加热器,则PS 130基于来自处理器的指令提供热量。如果PS 130是相位调制器,则PS 130基于来自处理器的指令提供电压或电流。

[0038] 图2是输出为图1中PSA 100的相对角的各个值的相位时延的函数的图200。 $x$ 轴代表弧度为 $x\pi$ 的相位时延 $\Delta\phi$ ,其中 $x$ 在0与2之间。例如,值1表示相位时延 $\Delta\phi$ 的弧度是 $1\pi$ 。 $y$ 轴代表相对于输入功率的任意或恒定单位的输出功率。例如,值0.5表示 $P_{out,1}$ 是 $P_0$ 的一半。相对角是 $\theta$ ,其各个值是 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 和 $80^\circ$ 。对于 $\theta$ 的所有值, $P_1$ 和 $P_2$ 的相对功率随着 $\Delta\phi$ 的变化而变化并且具有互补关系。可见,当 $\Delta\phi$ 的弧度为 $1\pi$ 和 $2\pi$ 时, $P_1$ 和 $P_2$ 的相对功率都是0.5。换言之, $P_1$ 和 $P_2$ 是 $P_0$ 的一半。如上所述,当 $\Delta\phi$ 是 $\pi$ 的任意 $k$ 倍时,情况同样如此。对于相对角 $\theta = N\pi/2$ ,其中 $N$ 是整数, $P_1$ 和 $P_2$ 具有相等的功率,无论 $\Delta\phi$ 是多少。

[0039] 时延 $\tau$ 可设计为零,以降低波长依赖性。但是制造可能引入 $\tau$ 的一些变化,使得 $\tau$ 不为零。对于典型的单波长操作, $\omega\tau$ 是单值,但是光载波频率 $\omega$ 可由于波长漂移而变化。对于非制冷粗波分复用(coarse wavelength-division multiplexing,CWDM)激光器,波长漂移可以是 $\pm 6.5$ 纳米(nanometer,nm),但是波长漂移通常相对缓慢。因此,可以跟踪波长漂移,并且可以通过调整相位时延 $\Delta\phi$ 来补偿波长漂移。当波长漂移相对较快时,时延容限的100吉兆赫(gigahertz,GHz)的自由光谱范围(free spectral range,FSR)提供波长漂移跟踪和补偿。100GHz的FSR对应10皮秒(picosecond,ps)的时延 $\tau$ ,因此,对于折射率约为4的硅波导,PSA 100的上分支与PSA 100的下分支之间的长度差,或容限,约为0.75毫米

(millimeter,mm)。该容限对于可用制造技术来说是现实的。

[0040] 等式 (3) 和 (4) 表明,如果  $-\omega\tau + \Delta\phi = k\pi$ , 则  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  都等于  $\theta$ 。所以  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  的变化缓慢。因此,可以跟踪并补偿  $\Phi_1$  和  $\Phi_2$  的变化。

[0041] 图3是根据本发明一实施例的集成PSA 300的示意图。PSA 300包括基板310、输入端口320、偏振分束器—旋转器(polarization splitter-rotator,PSR) 330、PS 340、光耦合器(optical coupler,OC) 350、输出端口360、输出端口370。PSA 300称为集成PSA,这是因为,与PSA100不同,PSA 300的组件在制造过程中集成到基板310中或集成到基板310上。基板310包含硅。光通过基于硅的光波导来传播。

[0042] 在操作中, $E_{in}$ 通过输入端口320进入PSA 100。 $E_{in}$ 可从SSMF进入,因此具有任意偏振。 $E_{in}$ 从输入端口320传递到PSR 330。PSR 330将 $E_{in}$ 分解为具有TE偏振的第一光 $E_1$ 和具有TM偏振的第二光 $E_2$ 。然后,PSR 330将 $E_1$ 传递到OC 350。此外,PSR 330将 $E_2$ 旋转 $90^\circ$ ,使得 $E_2$ 具有TE偏振,并且PSR 330将 $E_2$ 传递到PS 340。PS 340进行 $E_2$ 的相移,如上所述,并将 $E_2$ 传递到OC 350。在 $E_1$ 的相移之后, $E_1$ 与 $E_2$ 之间的相位差称为相位时延。最后,OC 350接收到 $E_1$ 和 $E_2$ 两者,合并 $E_1$ 与 $E_2$ ,并将 $E_{out,1}$ 传递到输出端口360,将 $E_{out,2}$ 传递到输出端口370。当相移是某个特定值时, $E_1$ 和 $E_2$ 则具有相同的功率。此外, $E_1$ 和 $E_2$ 具有相同的TE偏振,其可以是后续光电电路所需的偏振。因此,不论 $E_{in}$ 具有哪个任意偏振, $E_{out,1}$ 和 $E_{out,2}$ 都具有相同的TE偏振和相同的功率。等式 (1) 至 (6) 适用于PSA 300中的 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_{out,1}$ 和 $E_{out,2}$ ,如同它们适用于图1的PSA 100一样,除了光路相反。例如,等式 (1) 适用于 $E_2$ ,等式 (2) 适用于 $E_1$ 。

[0043] 图4是根据本发明一实施例的双偏振相干接收器系统400的示意图。系统400通常包括与PSA 100类似的PSA 405,以及接收器440。因此,系统400提供PSA 100的一种实施方式。在其它双偏振相干接收器系统中,PSA 405可代替PBS。PSA 405和接收器440可集成在硅基板上。

[0044] PSA 405包括PBS 410、PS 415、PR 420和BS 425,它们分别与PSA 100中的PBS 120、PS 130、PR 140和BS 150类似。接收器440是双偏振相干接收器,包括PBS 430、PR 435、 $90^\circ$ 混频器445、光电二极管(photodiode,PD) 450、互阻抗放大器(transimpedance amplifier,TIA) 455、数字信号处理器(digital signal processor,DSP) 460、 $90^\circ$ 混频器475、PD 470和TIA 465。虽然PD 450、470和TIA 455、465示为单个组件,但是它们可代表四个或任何合适数量的PD或TIA。

[0045] 在操作中,PSA 405从LO光信号源接收LO光信号 $E_{L0}$ ,该LO光信号源在发射器中可相对远离系统400。如果该LO光信号源通过SSMF耦合到系统400,则 $E_{L0}$ 的偏振可以随时间的变化而变化。尽管如此,如针对PSA 100所述,PSA 405提供具有相同TE偏振和相同功率的 $E_{L0,x}$ 和 $E_{L0,y}$ 。 $E_{L0,x}$ 是X偏振分量的LO光信号, $E_{L0,y}$ 是Y偏振分量的LO光信号。接收器440从信号源接收调制光信号 $E_s$ ,同样地,该信号源在发射器中可相对远离系统400。PBS 430将 $E_s$ 分解为具有TE偏振的 $E_{s,x}$ 和具有TM偏振的 $E_{s,y}$ 。PR 435将 $E_{s,y}$ 的偏振旋转到TE偏振。 $90^\circ$ 混频器445在 $E_{s,x}$ 与 $E_{s,y}$ 之间引入 $90^\circ$ 相移,PD 450检测到该相移,TIA 455将该相移放大,DSP 460将该相移从模拟转换为数字并且随后进行处理。类似地, $90^\circ$ 混频器475在 $E_{L0,x}$ 与 $E_{L0,y}$ 之间引入 $90^\circ$ 相移,PD 470检测到该相移,TIA 465将该相移放大,DSP460将该相移从模拟转换为数字并且随后进行处理。

[0046] 自零差检测(self-homodyne detection,SHD)意味着LO光信号和调制光信号具体

相同的波长。对于SHD,  $E_{s,x}$ 如下表示:

$$[0047] \quad E_{s,x} = E_{sig,x}(t_s) e^{j[\omega t_s + \varphi_{sig}(t_s) + \varphi(t_s)]} \quad (7)$$

[0048] 其中,  $E_{sig,x}$ 是信号波形,  $t_s$ 是单位为秒的时间,  $\varphi_{sig}$ 是通过数据来编码的相位,  $\varphi$ 是相位噪声。 $E_{LO,x}$ 如下表示:

$$[0049] \quad E_{LO,x} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{LO,0} \sqrt{1 - \sin(-\omega t + \Delta\phi) \sin 2\theta} e^{j[\omega t_{10} + \varphi(t_{10}) + \varphi_1]} \quad (8)$$

[0050] 其中,  $E_{LO,0}$ 是 $E_{LO}$ 的光场幅度,  $t_{10}$ 是单位为秒的LO时间。对于平衡检测, PD 450提供给同相 (in-phase, I) 信道和正交相位 (quadrature phase, Q) 信道的输出光电流分别如下:

$$[0051] \quad I_{XI} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{sig,x}(t_s) E_{LO,0} \sqrt{1 - \sin(-\omega t + \Delta\phi) \sin 2\theta} \cos(\Delta\Phi_{XI}) \quad (9)$$

$$[0052] \quad I_{XQ} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{sig,x}(t_s) E_{LO,0} \sqrt{1 - \sin(-\omega t + \Delta\phi) \sin 2\theta} \sin(\Delta\Phi_{XQ}) \quad (10)$$

[0053]  $\Delta\Phi_{XI}$ 和 $\Delta\Phi_{XQ}$ 则如下表示:

$$\Delta\Phi_{XI} = \Delta\Phi_{XQ} = \Delta\Phi$$

$$[0054] \quad \Delta\Phi_{XI} = \Delta\Phi_{XQ} = \varphi_{sig}(t_s) + \omega(t_s - t_{10}) + \varphi(t_s) - \varphi(t_{10}) + \varphi_1 \quad (11)$$

[0055] 当设置 $-\omega t + \Delta\phi = k\pi$ 时, 等式(9)至(11)可以分别如下表示:

$$[0056] \quad I_{XI} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{sig,x}(t_s) E_{LO,0} \cos(\Delta\Phi_{XI}) \quad (12)$$

$$[0057] \quad I_{XQ} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{sig,x}(t_s) E_{LO,0} \sin(\Delta\Phi_{XQ}) \quad (13)$$

$$[0058] \quad \Delta\Phi_{XI} = \Delta\Phi_{XQ} = \varphi_{sig}(t_s) + \omega(t_s - t_{10}) + \varphi(t_s) - \varphi(t_{10}) + \theta \quad (14)$$

[0059] 如上所示,  $\Delta\Phi$ 包括: $\varphi_{sig}(t_s)$ , 即通过数据来编码的相位;  $\omega(t_s - t_{10})$ , 即载波引入的相位时延和信号与LO之间的时延;  $\varphi(t_s)$ , 即由于相位噪声而引起的相位差; 以及 $\theta$ , 即由于LO的偏振方向而引起的相位。 $\theta$ 为总的提取相位差的一部分。除了数据调制相位项以外, 其它相位贡献的变化相对缓慢, 因此它们可以由DSP 460进行跟踪和补偿。上文描述了X偏振分量 $I_{XI}$ 和 $I_{XQ}$ , 但是相同的等式也适用于Y偏振分量 $I_{YI}$ 和 $I_{YQ}$ 。

[0060] 系统400是单波长双偏振相干光接收器系统。但是方案可扩展到多波长系统。在此情况下, 将一个波分复用 (wavelength-division multiplexing, WDM) 复用器放置在系统400之前, 该WDM复用器输出M个波长, 并且在WDM复用器之后放置M个PSA, 使得每个波长与一个单独的PSA相关联。或者, 将两个复用器放置在PSA 405之后。一个复用器用于X偏振分量, 一个复用器用于Y偏振分量。然后这两个复用器输出M个波长。

[0061] 图5是根据本发明一实施例的IQ发射器系统500的示意图。系统500通常包括与PSA 100类似的PSA 505, 以及调制器系统530。因此, 系统500提供PSA 100的一种实施方式。PSA 505和调制器系统530可集成在硅基板上。

[0062] PSA 505包括PBS 510、PS 515、PR 520和BS 525, 它们分别与PSA 100中的PBS 120、PS 130、PR 140和BS 150类似。调制器系统530包括I调制器535、Q调制器540、PS 545和合束器 (beam combiner, BC) 550。I调制器535和Q调制器535可以是马赫曾德尔调制器 (Mach-Zehnder modulator, MZM)。

[0063] 在操作中, PSA 505从CW源接收 $E_{cw}$ , 该CW源可相对远离系统500。如果该CW源通过SSMF耦合到系统500, 则 $E_{cw}$ 的偏振可随时间的变化而变化。尽管如此, 如针对PSA 100、405所

述,PSA 505提供具有相同TE偏振和相同功率的 $E_{cw,I}$ 和 $E_{cw,Q}$ 。TE偏振对应I调制器535和Q调制器540的偏振方向。I调制器535通过数据来调制 $E_{cw,I}$ 以产生 $E_I$ ,然后将 $E_I$ 传递到BC 550。Q调制器540通过数据来调制 $E_{cw,Q}$ 以产生 $E_Q$ ,然后将 $E_Q$ 传递到PS 545。PS 545将相位变化添加到 $E_Q$ 以产生 $E_I$ 与 $E_Q$ 之间的 $90^\circ$ 相位差。最后,BC 550将 $E_I$ 和 $E_Q$ 合并为单个光 $E_{out}$ ,然后输出 $E_{out}$ 。

[0064] 图6是根据本发明一实施例的双偏振发射器系统600的示意图。系统600一般包括与PSA 100类似的PSA 605,以及调制器系统630。因此,系统600提供PSA 100的一种实施方式。PSA 605和调制器系统630可集成在硅基板上。

[0065] PSA 605包括PBS 610、PS 615、PR 620和BS 625,它们分别与PSA 100中的PBS 120、PS 130、PR 140和BS 150类似。调制器系统630包括X分量(X)调制器635、Y分量(Y)调制器640、PR 645和偏振合束器(polarization beam combiner,PBC)650。X调制器635和Y调制器640可以是MZM、电吸收(electro-absorption,EA)调制器或IQ调制器,并且可提供不归零调制、正交相移键控、16阶正交幅度调制器(16-level quadrature amplitude modulator,16-QAM)或另一种合适的调制格式。

[0066] 在操作中,PSA 605从CW源接收 $E_{cw}$ ,该CW源可相对远离系统600。如果该CW源通过SSMF耦合到系统600,则 $E_{cw}$ 的偏振可随时间的变化而变化。尽管如此,如针对PSA 100、405、505所述,PSA 605提供具有相同TE偏振和相同功率的 $E_{cw,x}$ 和 $E_{cw,y}$ 。TE偏振对应X调制器635和Y调制器640的偏振方向。X调制器635通过数据来调制 $E_{cw,x}$ 以产生 $E_x$ ,然后将 $E_x$ 传递到PBC 650。Y调制器640通过数据来调制 $E_{cw,y}$ 以产生 $E_y$ ,然后将 $E_y$ 传递到PR 645。PR 645旋转 $E_y$ ,使得 $E_y$ 具有与 $E_x$ 正交的偏振。最后,PBC 650将 $E_x$ 和 $E_y$ 合并为单个光 $E_{out}$ ,然后输出 $E_{out}$ 。

[0067] 图7是根据本发明一实施例的PSM4发射器系统700的示意图。系统700通常包括与PSA 100类似的PSA 705,以及调制器系统730。因此,系统700提供PSA 100的一种实施方式。PSA 705和调制器系统730可集成在硅基板上。

[0068] 该PSA包括PBS 710、PS 715、PR 720和BS 725,它们分别与PSA100中的PBS 120、PS 130、PR 140和BS 150类似。调制器系统730包括BS 735、调制器740、调制器745、BS 750、调制器755和调制器760。调制器740、745、755、760可以是MZM。

[0069] 在操作中,PSA 705从CW源接收 $E_{cw}$ ,该CW源可相对远离系统700。如果该CW源通过SSMF耦合到系统700,则 $E_{cw}$ 的偏振可随时间的变化而变化。尽管如此,如针对PSA 100、405、505、605所述,PSA 705提供具有相同TE偏振和相同功率的 $E_{cw,1}$ 和 $E_{cw,2}$ 。TE偏振对应调制器740、745、755、760的偏振方向。BS 735将 $E_{cw,1}$ 均等地分解为 $E_{in,1}$ 和 $E_{in,2}$ ,BS 750将 $E_{cw,2}$ 均等地分解为 $E_{in,3}$ 和 $E_{in,4}$ 。最后,调制器740通过数据来调制 $E_{in,1}$ 以产生 $E_{out,1}$ ,然后输出 $E_{out,1}$ ;调制器745通过数据来调制 $E_{in,2}$ 以产生 $E_{out,2}$ ,然后输出 $E_{out,2}$ ;调制器755通过数据来调制 $E_{in,3}$ 以产生 $E_{out,3}$ ,然后输出 $E_{out,3}$ ;调制器760通过数据来调制 $E_{in,4}$ 以产生 $E_{out,4}$ ,然后输出 $E_{out,4}$ 。调制器740、745、755、760可分别将 $E_{out,1}$ 、 $E_{out,2}$ 、 $E_{out,3}$ 和 $E_{out,4}$ 输出到PSM4光纤。

[0070] 图8是根据本发明一实施例的图示偏振态校准方法800的流程图。PSA 100、300或系统400、500、600、700可在任何合适的时间实施方法800,例如,在希望提供LO光信号或光信号时。在步骤810处,从光组件接收输入光。该输入光在输入偏振下。例如,PSA 100从SSMF接收 $E_{in}$ , $E_{in}$ 包括任意偏振。在步骤820处,将输入光分解为第一光和第二光。第一光包括与光电电路对应的输出偏振,第二光包括第一偏振。例如,PBS 120将 $E_{in}$ 分解为具有TE偏振的 $E_1$ 和具有TM偏振的 $E_2$ 。在步骤830处,将第一偏振旋转至输出偏振。例如,PR140旋转 $E_2$ 的偏

振,使得 $E_2$ 具有TE偏振。在步骤840处,移动第一光、第二光或这两者的相位,使得第一光与第二光之间的相位时延使第一输出光的第一功率与第二输出光的第二功率均等。例如,PS 130移动 $E_1$ 的相位,使得 $E_1$ 的相位与 $E_2$ 的相位之间的相位时延是 $\pi$ 的整数倍,从而 $P_{out,1}$ 和 $P_{out,2}$ 相等。最后,在步骤850处,将第一输出光和第二输出光提供给光电电路。第一输出光和第二输出光包括输出偏振。例如,PSA 100将 $E_{out,1}$ 和 $E_{out,2}$ 提供给调制器系统或接收器, $E_{out,1}$ 和 $E_{out,2}$ 包括TE偏振。

[0071] 图9是设备900的示意图。设备900适用于实施所公开的实施例。例如,如上所述,设备900执行计算以确定合适的相移,并指示PS 130、340、415、515、615、715等PS来应用该相移。设备900包括:入端口910和接收器单元(Rx) 920,用于接收数据;处理器、逻辑单元或中央处理器(central processing unit,CPU) 930,用于处理数据;发射器单元(Tx) 940和出端口950,用于发送数据;以及存储器960,用于存储数据。设备900还可包括光电(optical-to-electrical,OE)组件和电光(electrical-to-optical,E0)组件,它们耦合到入端口910、接收器单元920、发射器单元940以及用于光信号或电信号的出入的出端口950。

[0072] 处理器930通过硬件、中间件和软件的任意合适组合来实施。处理器930可以实施为一个或多个CPU芯片、核(例如,实施为多核处理器)、现场可编程门阵列(field-programmable gate array,FPGA)、专用集成电路(application specific integrated circuit,ASIC)和数字信号处理器(digital signal processor,DSP)。处理器930与入端口910、接收器单元920、发射器单元940、出端口950和存储器960通信。

[0073] 存储器960包括一个或多个磁盘、磁带驱动器和固态硬盘,并可用作溢流数据存储设备,用来在程序被选择执行时存储这类程序,以及用来存储在程序执行期间读取的指令和数据。存储器960可以是易失性的和非易失性的,并且可以是只读存储器(read-only memory,ROM)、随机存取存储器(random-access memory,RAM)、三态内容寻址存储器(ternary content-addressable memory,TCAM)和静态随机存取存储器(static random-access memory,SRAM)。

[0074] 在一示例实施例中,设备900包括:光输入模块,其在输入偏振下从光组件接收输入光;分光器模块,其将输入光分解为第一光和第二光,其中,第一光包括与光电电路对应的输出偏振,第二光包括第一偏振;旋转模块,其将第一偏振旋转到输出偏振;相移模块,其移动第一光、第二光或这两者的相位,使得第一光与第二光之间的相位时延使第一输出光的第一功率与第二输出光的第二功率均等;合并模块,其将第一光与第二光合并;以及光输出模块,其向光电电路提供第一输出光和第二输出光,其中,第一输出光与第一光相关,第二输出光与第二光相关,其中第一输出光和第二输出光包括输出偏振。在一些实施例中,设备900可包括其它或额外的模块,用于执行实施例中所描述的任一步骤或步骤的组合。

[0075] 除非另有说明,否则使用术语“约”是指以下描述的数字的 $\pm 10\%$ 。虽然本发明中已提供若干实施例,但应理解,在不脱离本发明的精神或范围的情况下,本发明所公开的系统和方法可以以许多其它特定形式来体现。本发明的实例应被视为说明性而非限制性的,且本发明并不限于本文本所给出的细节。例如,各种元件或组件可以在另一系统中组合或合并,或者某些特征可以省略或不实施。

[0076] 此外,在不脱离本发明的范围的情况下,各种实施例中描述和说明为离散或单独的技术、系统、子系统和方法可以与其它系统、模块、技术或方法进行组合或合并。展示或论

述为彼此耦合或直接耦合或通信的其它项也可以采用电方式、机械方式或其它方式通过某一接口、设备或中间组件间接地耦合或通信。其它变化、替代和改变的示例可以由本领域的技术人员在不脱离本文精神和所公开的范围的情况下确定。

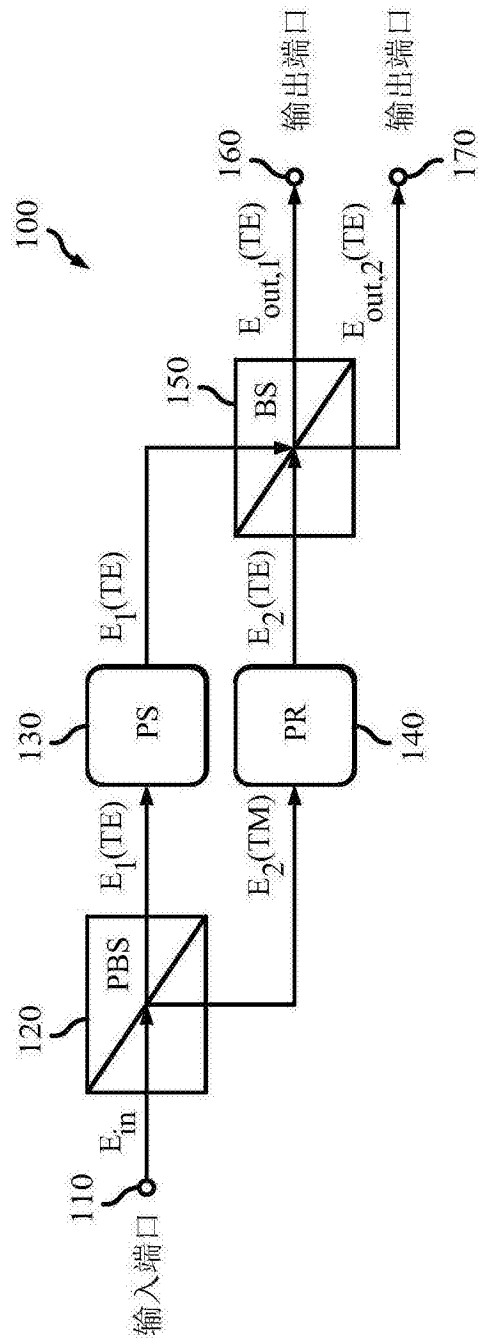


图1

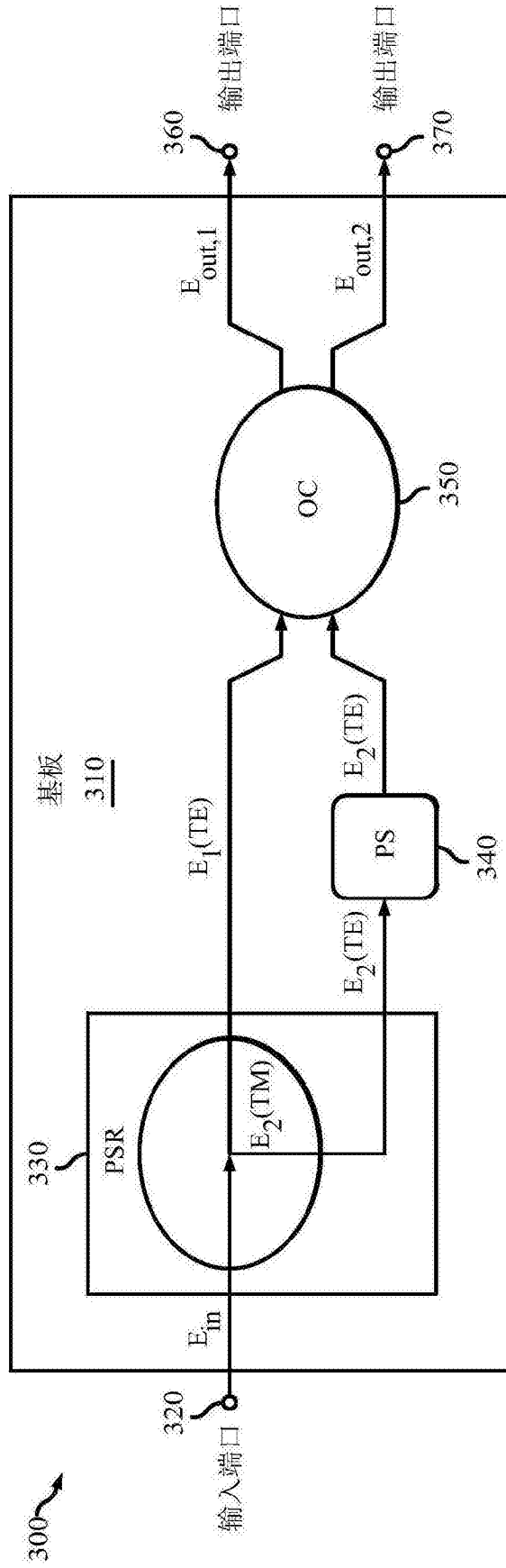


图3

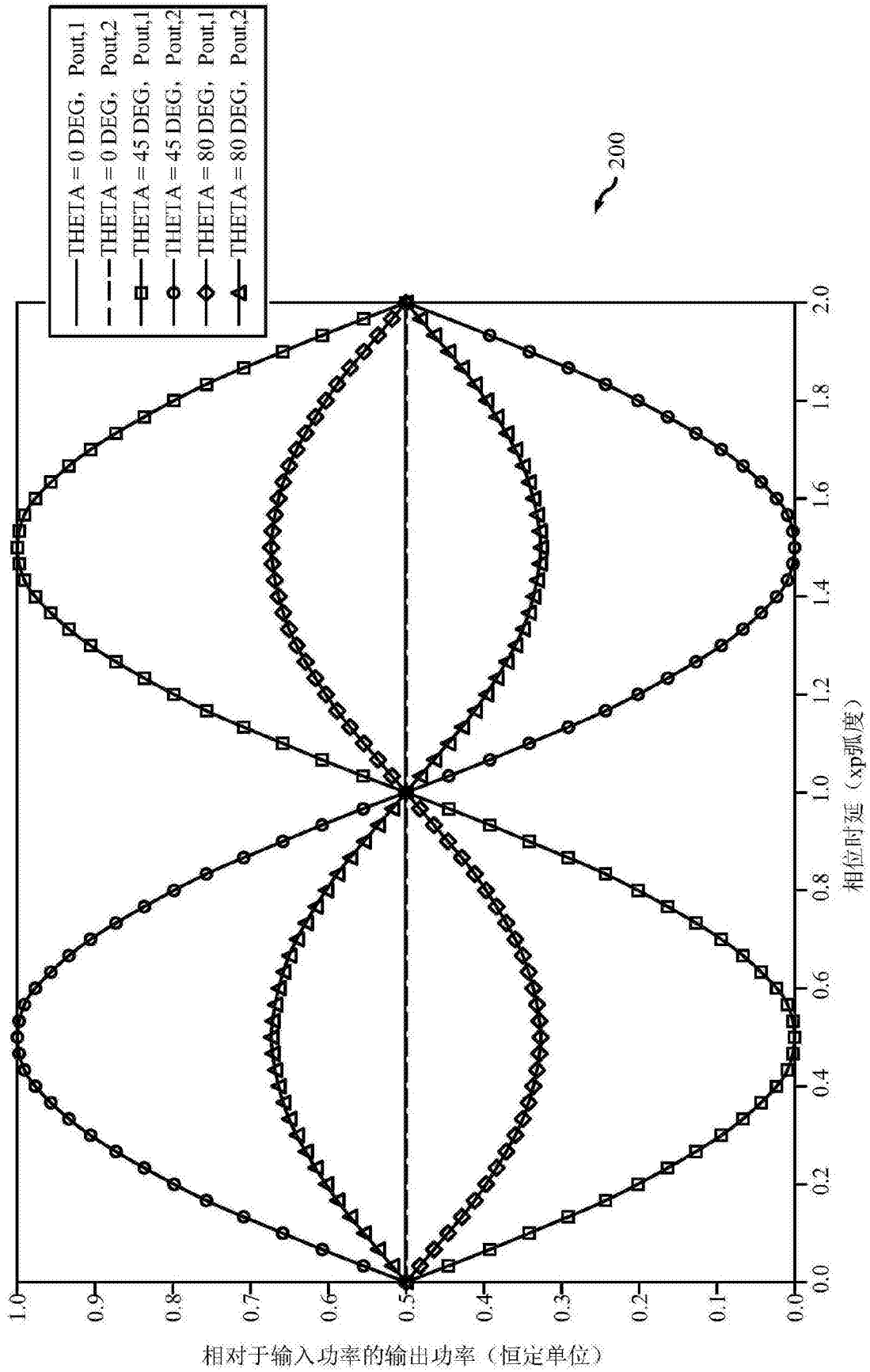


图2

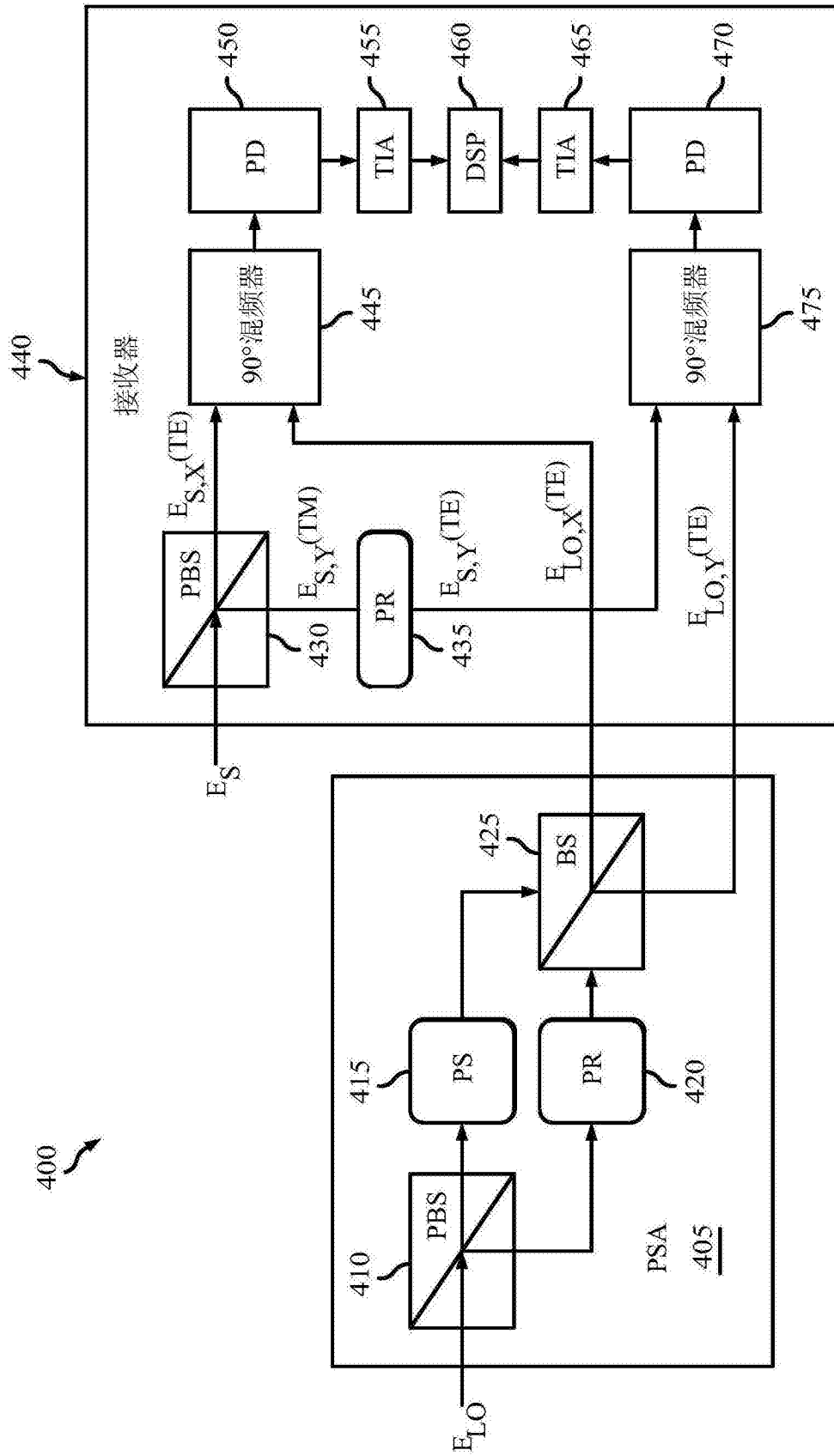


图4

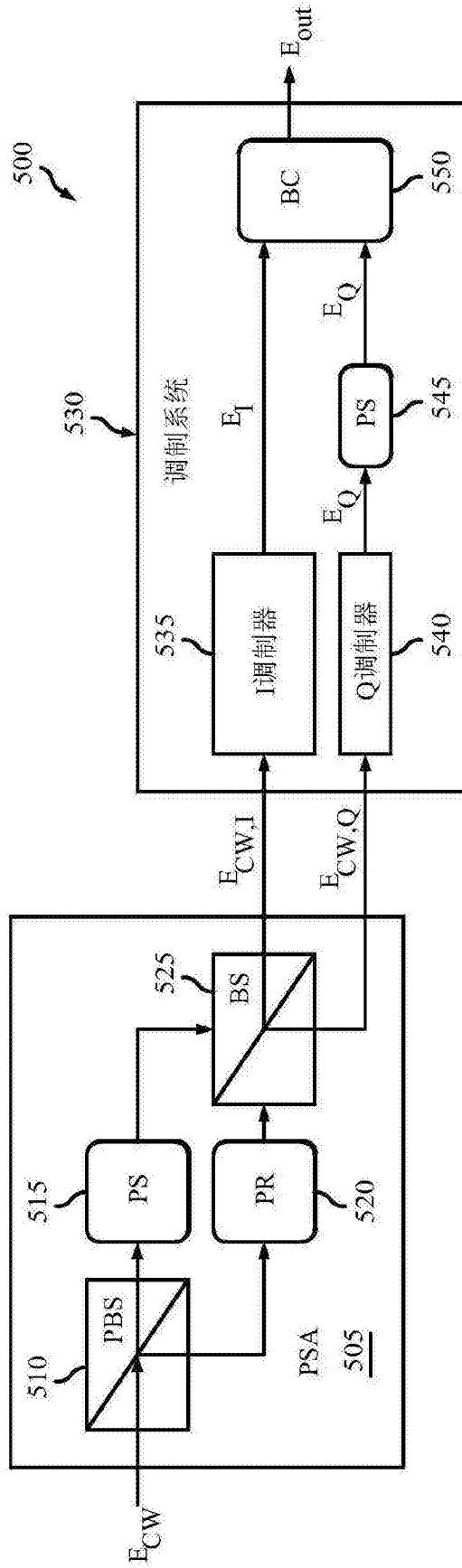


图5

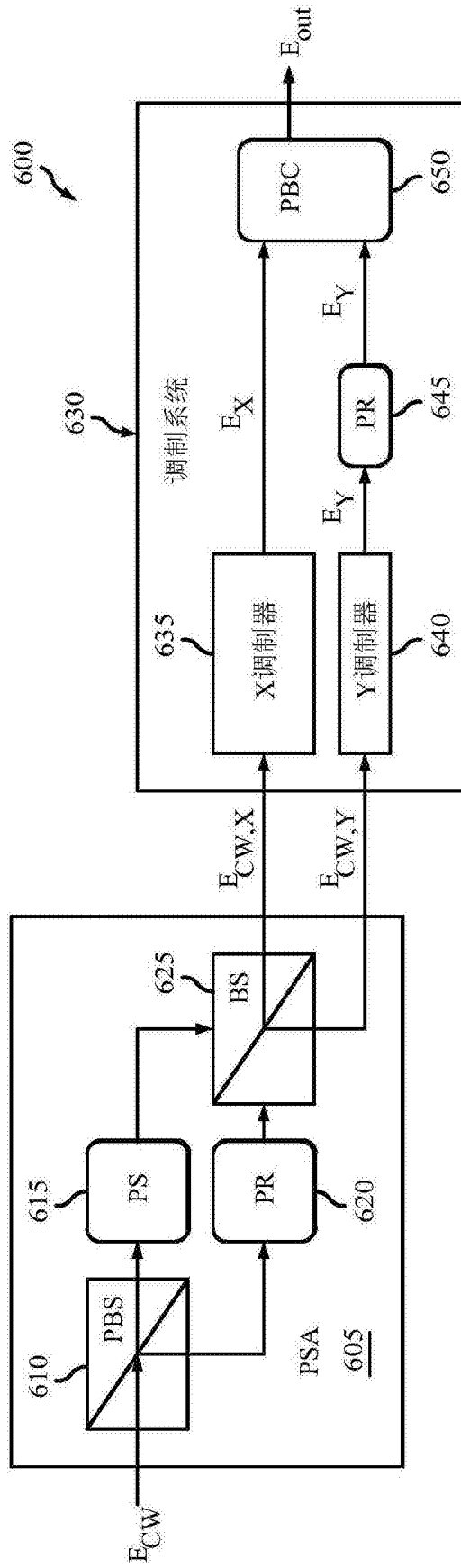


图6

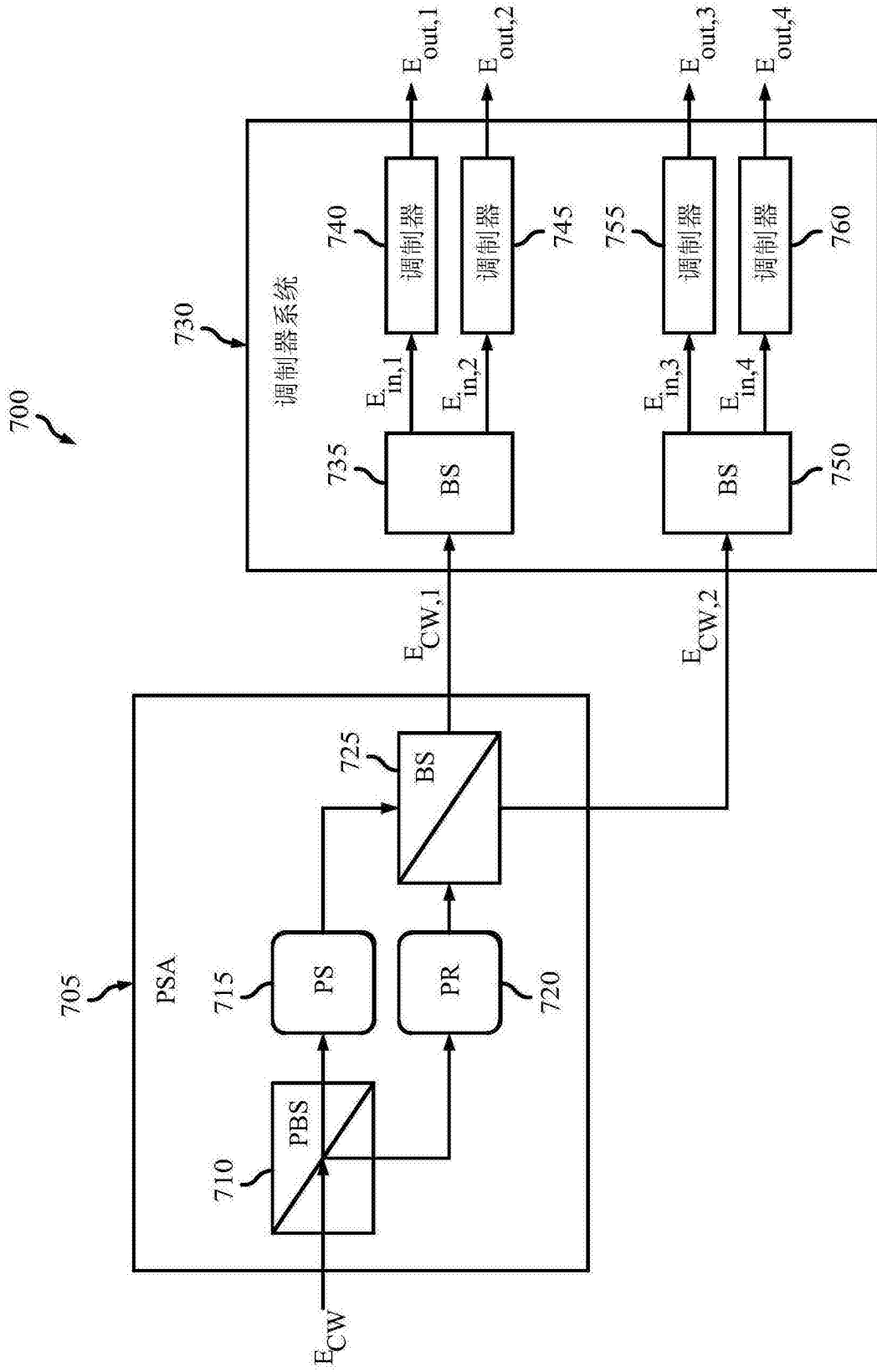


图7

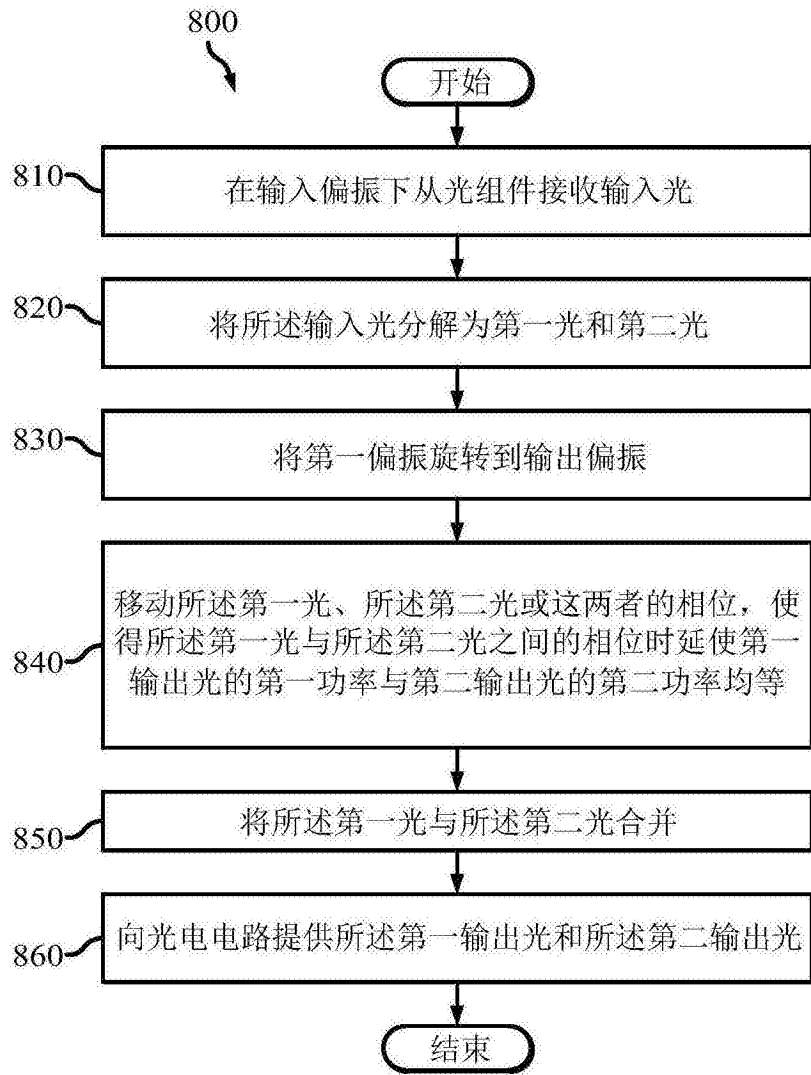


图8

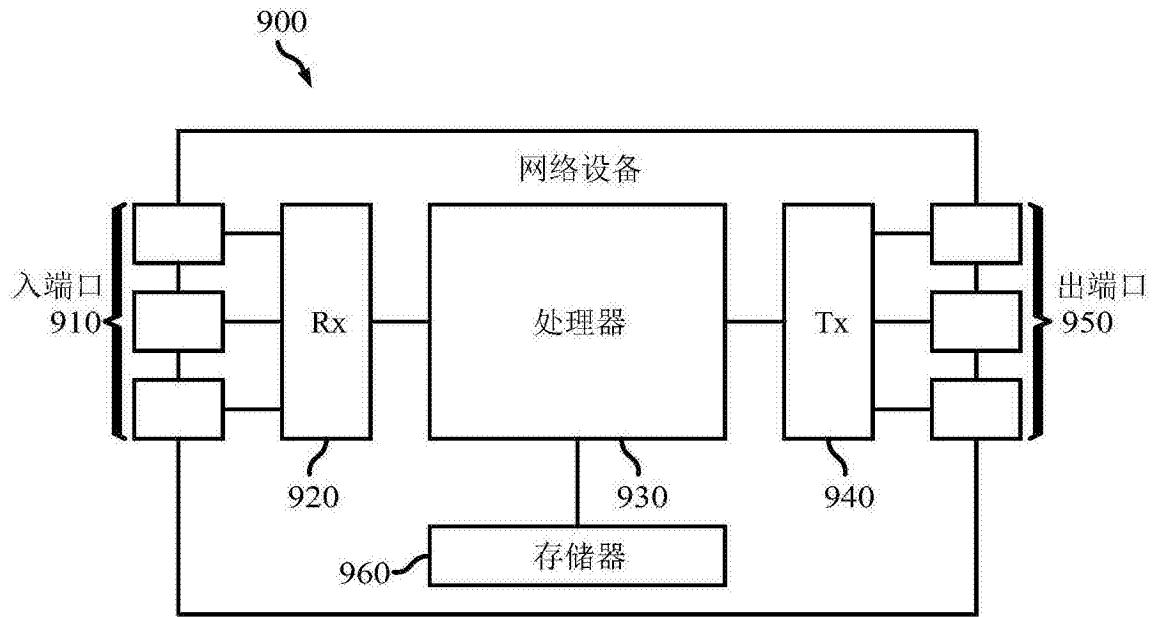


图9