



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109756224 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 11

(21) 申请号 201811306692.7  
(22) 申请日 2018.11.05  
(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109756224 A

(51) Int. Cl.  
H03L 7/091 (2006.01)  
H03L 7/099 (2006.01)  
H04L 27/00 (2006.01)

(43) 申请公布日 2019.05.14  
(30) 优先权数据  
62/581,890 2017.11.06 US  
16/175,184 2018.10.30 US

(56) 对比文件  
US 2015055694 A1, 2015.02.26  
JP 2003018232 A, 2003.01.17

(73) 专利权人 QORVO美国公司  
地址 美国北卡罗来纳

审查员 林婵

(72) 发明人 汉斯·范·德瑞斯特

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所  
有限公司 11038

专利代理师 张丹

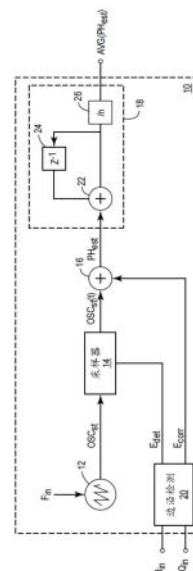
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

鉴相器电路和估计相位的方法

(57) 摘要

本申请涉及鉴相器电路和估计相位的方法。鉴相器电路包括：振荡器电路；边沿检测和校正电路；采样器电路；以及加法器电路。所述振荡器电路被配置为提供锯齿波振荡器信号。所述边沿检测和校正电路被配置为接收同相信号和正交信号，在所述同相信号和所述正交信号的每个边沿期间提供边沿检测信号，并且基于所述边沿是在所述同相信号中还是在所述正交信号中和所述边沿是上升沿还是下降沿而提供边沿校正信号。所述采样器电路被配置为响应于所述边沿检测信号而对所述锯齿波振荡器信号进行采样。所述加法器电路被配置为从所采样的锯齿波振荡器信号中减去所述边沿校正信号以提供相位估计信号。



1. 一种鉴相器电路,所述鉴相器电路包括:
  - 振荡器电路,所述振荡器电路被配置为提供锯齿波振荡器信号;
  - 边沿检测和校正电路,所述边沿检测和校正电路被配置为:
    - 接收同相信号和正交信号;
    - 在所述同相信号和所述正交信号的每个边沿期间提供边沿检测信号;以及
    - 提供边沿校正信号,其中所述边沿校正信号是基于所述边沿是在所述同相信号中还是在所述正交信号中和所述边沿是上升沿还是下降沿;
  - 采样器电路,所述采样器电路耦合到所述振荡器电路以及所述边沿检测和校正电路,所述采样器电路被配置为响应于所述边沿检测信号而对所述锯齿波振荡器信号进行采样;以及
  - 加法器电路,所述加法器电路耦合到所述采样器电路以及所述边沿检测和校正电路,所述加法器电路被配置为从所采样的锯齿波振荡器信号中减去所述边沿校正信号以使得对于所述同相信号和所述正交信号的每个边沿将所采样的锯齿波振荡器信号归一化以提供相位估计信号。
2. 如权利要求1所述的鉴相器电路,所述鉴相器电路还包括平均电路,所述平均电路耦合到所述加法器电路,并且被配置为接收多个相位估计信号并对其求平均值以提供平均相位估计信号。
3. 如权利要求1所述的鉴相器电路,其中所述振荡器电路被配置为提供所述锯齿波振荡器信号,使得所述锯齿波振荡器信号的值在0与360之间变化。
4. 如权利要求3所述的鉴相器电路,其中所述边沿检测和校正电路被配置为提供所述边沿校正信号,使得:
  - 当所述边沿是所述同相信号的下降沿时,所述边沿校正信号的值为0;
  - 当所述边沿是所述同相信号的上升沿时,所述边沿校正信号的所述值为180;
  - 当所述边沿是所述正交信号的下降沿时,所述边沿校正信号的所述值为90;并且
  - 当所述边沿是所述正交信号的上升沿时,所述边沿校正信号的所述值为270。
5. 如权利要求1所述的鉴相器电路,其中所述同相信号和所述正交信号是无线通信信号的分量。
6. 如权利要求5所述的鉴相器电路,其中所述无线通信信号是硬限幅信号。
7. 一种估计相位的方法,所述方法包括:
  - 通过边沿检测和校正电路接收同相信号和正交信号;
  - 通过振荡器电路产生锯齿波振荡器信号;
  - 通过采样器电路在所述同相信号和所述正交信号的每个边沿处对所述锯齿波振荡器信号进行采样,所述采样器电路耦合到所述振荡器电路以及所述边沿检测和校正电路;以及
  - 通过加法器电路基于所述边沿是在所述同相信号中还是在所述正交信号中和所述边沿是上升沿还是下降沿而对所采样的锯齿波振荡器信号进行补偿,以使得对于所述同相信号和所述正交信号的每个边沿将所采样的锯齿波振荡器信号归一化以提供相位估计信号,其中,所述加法器电路耦合到所述采样器电路以及所述边沿检测和校正电路。
8. 如权利要求7所述的方法,所述方法还包括通过平均电路对多个相位估计信号求平

均值以提供平均相位估计信号,所述平均电路耦合到所述加法器电路。

9. 如权利要求7所述的方法,其中产生所述锯齿波振荡器信号包括产生所述锯齿波振荡器信号,使得所述锯齿波振荡器信号的值在0与360之间变化。

10. 如权利要求7所述的方法,其中基于所述边沿是在所述同相信号中还是在所述正交信号中和所述边沿是上升沿还是下降沿而对所采样的锯齿波振荡器信号进行补偿以提供相位估计信号包括:

- 当所述边沿是所述同相信号的下降沿时,不改变所采样的锯齿波振荡器信号的值;
- 当所述边沿是所述同相信号的上升沿时,从所采样的锯齿波振荡器信号中减去180;
- 当所述边沿是所述正交信号的下降沿时,从所采样的锯齿波振荡器信号中减去90;

以及

- 当所述边沿是所述正交信号的上升沿时,从所采样的锯齿波振荡器信号中减去270。

11. 如权利要求7所述的方法,其中所述同相信号和所述正交信号是无线通信信号的分量。

12. 如权利要求11所述的方法,其中所述无线通信信号是硬限幅信号。

## 鉴相器电路和估计相位的方法

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求2017年11月6日提交的美国临时专利申请序列号62/581,890的权益,该申请全文以引用方式并入本文。

### 发明领域

[0003] 本公开涉及用于测量信号的相位的系统和方法。

### 背景技术

[0004] 信号的相位提供可能在若干应用中有用的有价值的信息。例如,在多个天线处接收的无线通信信号的相位可以用于确定无线通信信号的到达角,到达角指示某个方向,无线通信信号相对于接收器传输从该方向传输。用于测量无线通信信号的相位的常规系统和方法依赖于高线性接收器。然而,高线性接收器在费用和功耗方面成本高昂。因此,相位测量和因此的到达角估计对诸如物联网(IoT)装置的低成本和低功率应用是不可用的。鉴于以上情况,需要用于测量适合于非线性(例如,硬限幅)接收器架构的无线接收信号的相位的系统和方法。

### 发明内容

[0005] 在一个实施方案中,一种鉴相器电路包括:振荡器电路;边沿检测和校正电路;采样器电路;以及加法器电路。所述振荡器电路被配置为提供锯齿波振荡器信号。所述边沿检测和校正电路被配置为接收同相信号和正交信号,在所述同相信号和所述正交信号的每个边沿期间提供边沿检测信号,并且基于所述边沿是在所述同相信号中还是在所述正交信号中和所述边沿是上升沿还是下降沿而提供边沿校正信号。所述采样器电路耦合到所述振荡器电路和所述边沿检测和校正电路。所述采样器电路被配置为响应于所述边沿检测信号而对所述锯齿波振荡器信号进行采样。所述加法器电路耦合到所述采样器电路和所述边沿检测和校正电路。所述加法器电路被配置为从所采样的锯齿波振荡器信号中减去所述边沿校正信号以提供相位估计信号。通过基于所述同相信号和所述正交信号的所述边沿而提供所述相位估计信号,即使当所述同相信号和所述正交信号是硬限幅无线通信信号的分量时,所述相位估计信号也可以提供重复地准确的相位测量。

[0006] 在结合附图阅读以下对优选实施方案的详细描述之后,本领域的技术人员将了解本公开的范围并认识到本公开的另外方面。

### 附图说明

[0007] 结合在本说明书中并形成其一部分的附图示出本公开的若干方面,并且连同描述一起用来解释本公开的原理。

[0008] 图1示出了根据本公开的一个实施方案的鉴相器电路。

[0009] 图2是示出根据本公开的一个实施方案的鉴相器电路的操作的曲线图。

[0010] 图3是示出根据本公开的一个实施方案的用于估计信号的相位的方法的流程图。

### 具体实施方式

[0011] 以下阐述的实施方案代表使得本领域的技术人员能够实践所述实施方案的必要信息,并且示出实践所述实施方案的最佳模式。在根据附图来阅读以下描述之后,本领域的技术人员将理解本公开的概念,并且将认识到本文中未具体提出的这些概念的应用。应理解,这些概念和应用落在本公开和随附权利要求书的范围内。

[0012] 将理解,虽然在本文中可能使用术语第一、第二等来描述各种元件,但是这些元件不应受这些术语的限制。这些术语仅用来将一个元件与另一个元件进行区分。例如,在不脱离本公开的范围的情况下,第一元件可命名为第二元件,并类似地,第二元件可命名为第一元件。如本文所使用,术语“和/或”包括相关列出项中的一个或多个的任何和所有组合。

[0013] 将理解,当诸如层、区域或衬底的元件被称为“在”另一个元件“上”或延伸“到”另一个元件“上”时,它可以直接地在另一个元件上或直接地延伸到另一个元件上,或者也可存在中间元件。相比之下,当元件被称为“直接地在”另一个元件“上”或“直接地”延伸“到”另一个元件“上”时,不存在中间元件。同样地,将理解,当诸如层、区域或衬底的元件被称为“在”另一个元件“之上”或“在”另一个元件“之上”延伸时,它可以直接地在另一个元件之上或直接地在另一个元件之上延伸,或者也可存在中间元件。相比之下,当元件被称为“直接地在”另一个元件“之上”或“直接地在”另一个元件“之上”延伸时,不存在中间元件。还将理解,当元件被称为“连接”或“耦合”到另一个元件时,它可以直接地连接或耦合到另一个元件,或者可以存在中间元件。相比之下,当元件被称为“直接地连接”或“直接地耦合”到另一个元件时,不存在中间元件。

[0014] 诸如“在……下方”或“在……上方”或“上部”或“下部”或“水平”或“垂直”的相对性术语在本文中可以用于描述图中所示的一个元件、层或区域与另一个元件、层或区域的关系。将理解,这些术语和上文论述的那些术语旨在涵盖装置除图中所示的定向之外的不同定向。

[0015] 本文使用的术语仅用于描述特定实施方案的目的,并且不旨在限制本公开。如本文所使用,除非上下文另外清楚地指出,否则单数形式“一个”、“一种”和“所述”旨在同样包括复数形式。还将理解,术语“包括”(“comprises”、“comprising”、“includes”和/或“including”)当在本文中使用时指明存在表述特征、整数、步骤、操作、元件和/或部件,但是不排除存在或添加一个或多个其它特征、整数、步骤、操作、元件、部件和/或它们的组。

[0016] 除非另有定义,否则本文使用的所有术语(包括技术和科学术语)都具有与本公开所属领域的普通技术人员通常理解的相同的含义。还将理解,本文使用的术语应解释为具有与它们在本说明书和相关领域的情况下的含义一致的含义,而将不能以理想化或过度正式的意义进行解释,除非本文中明确地这样定义。

[0017] 图1示出了根据本公开的一个实施方案的鉴相器电路10。鉴相器电路10包括振荡器电路12、耦合到振荡器电路12的采样器电路14、耦合到采样器电路14的加法器电路16、耦合到加法器电路16的平均电路18,以及耦合到采样器电路14和加法器电路16的边沿检测和校正电路20。

[0018] 在操作中,振荡器电路12提供锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ ,其具有在由输入频率信号

$F_{in}$  确定的频率处在0与360之间变化的值。边沿检测和校正电路20接收同相信号 $I_{in}$ 和正交输入信号 $Q_{in}$ 并提供边沿检测信号 $E_{det}$ 和边沿校正信号 $E_{corr}$ 。边沿检测信号 $E_{det}$ 仅在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 中的任一个的边沿期间提供。响应于边沿检测信号 $E_{det}$ ，采样器电路14对锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 进行采样以将采样的锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}(t)$ 提供到加法器电路16。加法器电路16从采样的锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}(t)$ 中减去边沿校正信号 $E_{corr}$ 以提供相位估计信号 $PH_{est}$ 。

[0019] 当边沿检测和校正电路20检测到同相信号 $I_{in}$ 的上升沿时，边沿校正信号 $E_{corr}$ 具有的值180。当边沿检测和校正电路20检测到同相信号 $I_{in}$ 的下降沿时，边沿校正信号 $E_{corr}$ 具有的值0。当边沿检测和校正电路20检测到正交信号 $Q_{in}$ 的上升沿时，边沿校正信号 $E_{corr}$ 具有的值270。当边沿检测和校正电路20检测到正交信号 $Q_{in}$ 的下降沿时，边沿校正信号 $E_{corr}$ 具有的值90。

[0020] 边沿校正信号 $E_{corr}$ 的效果是在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的每个边沿将采样的锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}(t)$ 归一化。取同相信号 $I_{in}$ 的下降沿作为参考，本领域得技术人员将容易地了解，同相信号 $I_{in}$ 的上升沿将是180度异相的，正交信号 $Q_{in}$ 的下降沿将是270度异相的，并且正交信号 $Q_{in}$ 的上升沿将是与此边沿90度异相的。因此，相位估计信号 $PH_{est}$ 反映在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的每个边沿处对相位的归一化估计。

[0021] 平均电路18包括平均加法器22、延迟器24和分频器26。相位估计信号 $PH_{est}$ 被提供到平均加法器22，在那里，相位估计信号被加入到延迟器24中保持的一个或多个先前相位估计。在平均加法器22的输出端处的组合的相位估计除以相位估计的数量以提供平均相位估计 $AVG(PH_{est})$ 。

[0022] 虽然振荡器电路12、采样器电路14、加法器电路16、平均电路18以及边沿检测和校正电路20在图1中被示出为单独的功能部件，但是本领域的技术人员将容易地理解由此提供的功能可以进一步分离或组合成任何数量的不同功能部件，所有这些功能部件都在本文中被设想。

[0023] 图2是示出锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 、同相信号 $I_{in}$ 、正交信号 $Q_{in}$ 和边沿检测信号 $E_{det}$ 的曲线图。在图2中，Y轴代表信号幅度，而X轴代表时间。值得注意的是，同相信号 $I_{in}$ 、正交信号 $Q_{in}$ 和边沿检测信号 $E_{det}$ 相对于Y轴任意地放置。如图所示，锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 具有的值在0与360之间变化。同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 被示出为1位量化信号，如同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 是由硬限幅接收器架构接收的无线通信信号的分量的情况下将出现。在这种情况下，同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 被表示为二进制信号，其中在其边沿处包含关于其相位的所有信息。值得注意的是，同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的边沿表示其非量化且非限幅版本的过零点，该过零点通常将会是正弦信号。边沿检测信号 $E_{det}$ 被示出为在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的每个边沿处提供。

[0024] 如图2所示，在同相信号 $I_{in}$ 的下降沿处，锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 的值为约10。在同相信号 $I_{in}$ 的上升沿处，锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 的值为约190。从锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 的值(其为在同相信号 $I_{in}$ 的上升沿期间由边沿检测和校正电路20提供的边沿校正信号 $E_{corr}$ 的值)中减去180提供在同相信号 $I_{in}$ 的下降沿期间获得的相同的值10。在正交信号 $Q_{in}$ 的上升沿处，锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 的值为约280。从锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 的值(其为在同相信号 $I_{in}$ 的上升沿期间由边沿检测和校正电路20提供的边沿校正信号 $E_{corr}$ 的值)中减去270提

供在正交信号 $Q_{in}$ 的下降沿期间获得的相同的值10。最后,在正交信号 $Q_{in}$ 的下降沿处,锯齿波振荡器的值为约100。从锯齿波振荡器信号 $OSC_{st}$ 的值(其为在同相信号 $I_{in}$ 的下降沿期间由边沿检测和校正电路20提供的边沿校正信号 $E_{corr}$ 的值)中减去90提供在正交信号 $Q_{in}$ 的下降沿期间获得的相同的值10。以此方式,可以在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的每个边沿处获得相位估计。虽然给出以上示例,使得在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的每个边沿处的相位估计产生相同的值,但是该值通常将会不同。平均电路18因此对于对在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的每个边沿处的相位估计之间的差值求平均值是重要的,使得平均相位估计信号 $AVG(PH_{est})$ 更准确地反映由同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 组成的无线通信信号的实际相位。

[0025] 虽然可以操作鉴相器电路10来在任何时段内对同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 进行采样以针对其任何数量的边沿而提供平均相位估计信号 $AVG(PH_{est})$ ,但是在一个实施方案中,来自同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的至少四个边沿的至少四个相位估计信号 $PH_{est}$ 求平均值以提供平均相位估计信号 $AVG(PH_{est})$ 。

[0026] 如上讨论,振荡器电路12以由输入频率 $F_{in}$ 确定的频率操作。虽然未示出接收输入频率 $F_{in}$ ,但是边沿检测和校正电路20也可以以确定其采样率的频率操作。本领域的技术人员将容易地了解,输入频率 $F_{in}$ 应被选择为显著高于同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的频率。在一个实施方案中,输入频率 $F_{in}$ 应比同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的频率高至少两个量级。例如,如果是同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的频率为1.75MHz,那么输入频率 $F_{in}$ 可以被选择为192MHz。这意味着在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的每个周期中存在192/1.75个样本,以提供每一样本约3.3度的分辨率(在每个周期中360度)。

[0027] 鉴相器电路10在不需要绝对相位测量的应用(诸如对于其中仅需要在不同天线处接收的相同无线通信信号之间的相对相位的到达角估计)中可以是尤其有用的。值得注意的是,与常规相位测量电路相比,鉴相器电路10可能不易受到常见的系统误差源影响。常规相位估计电路中的典型的系统误差源包括:IQ相位偏移,其中出现与同相信号和正交信号之间的理想90度相位分离的偏差;IQ不平衡,其中同相信号和正交信号之间的增益存在差异;以及在同相信号和正交信号中的DC偏移。

[0028] 关于IQ相位偏移,这将在同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 的边沿处产生不同的相位估计值 $PH_{est}$ ,这又将使平均相位估计值 $AVG(PH_{est})$ 位移。然而,这种位移与绝对输入相位无关,并且在测量到的相位中总是给出相同的相位位移或偏移。在仅需要信号之间的相对相位或相差的应用中,该固定相位偏移不会造成降级。

[0029] 关于IQ不平衡,这将对其中同相信号 $I_{in}$ 和正交信号 $Q_{in}$ 被量化为1位(如上讨论)的硬限幅接收器是无关紧要的,因为硬限幅产生仅两个信号电平,并且因此消除增益差异。

[0030] 关于DC偏移,虽然这将对同相信号 $I_{in}$ 和/或正交信号 $Q_{in}$ 的占空比有影响,但是该变化是对称的,并且因此将抵消,因为上升沿和下降沿都包括在平均相位估计信号 $AVG(PH_{est})$ 中。

[0031] 图3示出了根据本公开的一个实施方案的用于估计相位的方法。首先,接收同相信号和正交信号(步骤100)。产生锯齿波振荡器信号(步骤102)。在同相信号和正交信号的每个边沿处对锯齿波振荡器信号进行采样(步骤104)以提供采样的锯齿波振荡器信号。基于边沿是在同相信号上还是在正交信号上和边沿是上升沿还是下降沿而对采样的锯齿波振荡器信号(步骤106)进行补偿以提供相位估计信号。最后,根据需要重复以上过程多次(步

骤108),并且对多个相位估计信号求平均值(步骤110)以提供平均相位估计信号。

[0032] 如上讨论,锯齿波振荡器信号的值在0与360之间变化。另外如上讨论,基于边沿是在同相信号上还是在正交信号上和边沿是否是上升沿而对采样的锯齿波振荡器进行补偿可以通过以下方式完成:当边沿是同相信号的下降沿时,不改变采样的锯齿波振荡器信号的值;当边沿是同相信号的上升沿时,从采样的锯齿波振荡器信号中减去180;当边沿是正交信号的上升沿时,从采样的锯齿波振荡器信号中减去270;以及当边沿是正交信号的下降沿时,从采样的锯齿波振荡器信号中减去90。同相信号和正交信号可以是无线通信信号的分量。在一个实施方案中,无线通信信号是硬限幅的,并且同相信号和正交信号被量化为1位信号。

[0033] 本领域的技术人员将认识到本公开的优选实施方案的改进和修改。所有此类改进和修改都被视为在本文公开的概念和随附权利要求书的范围内。

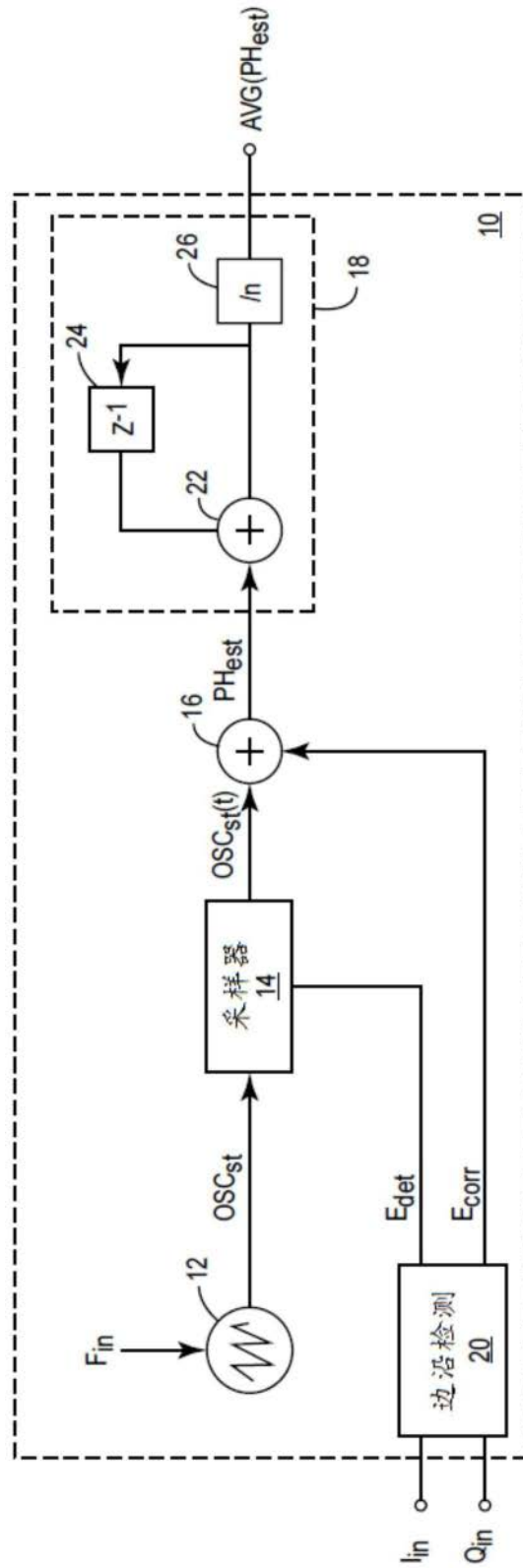


图1

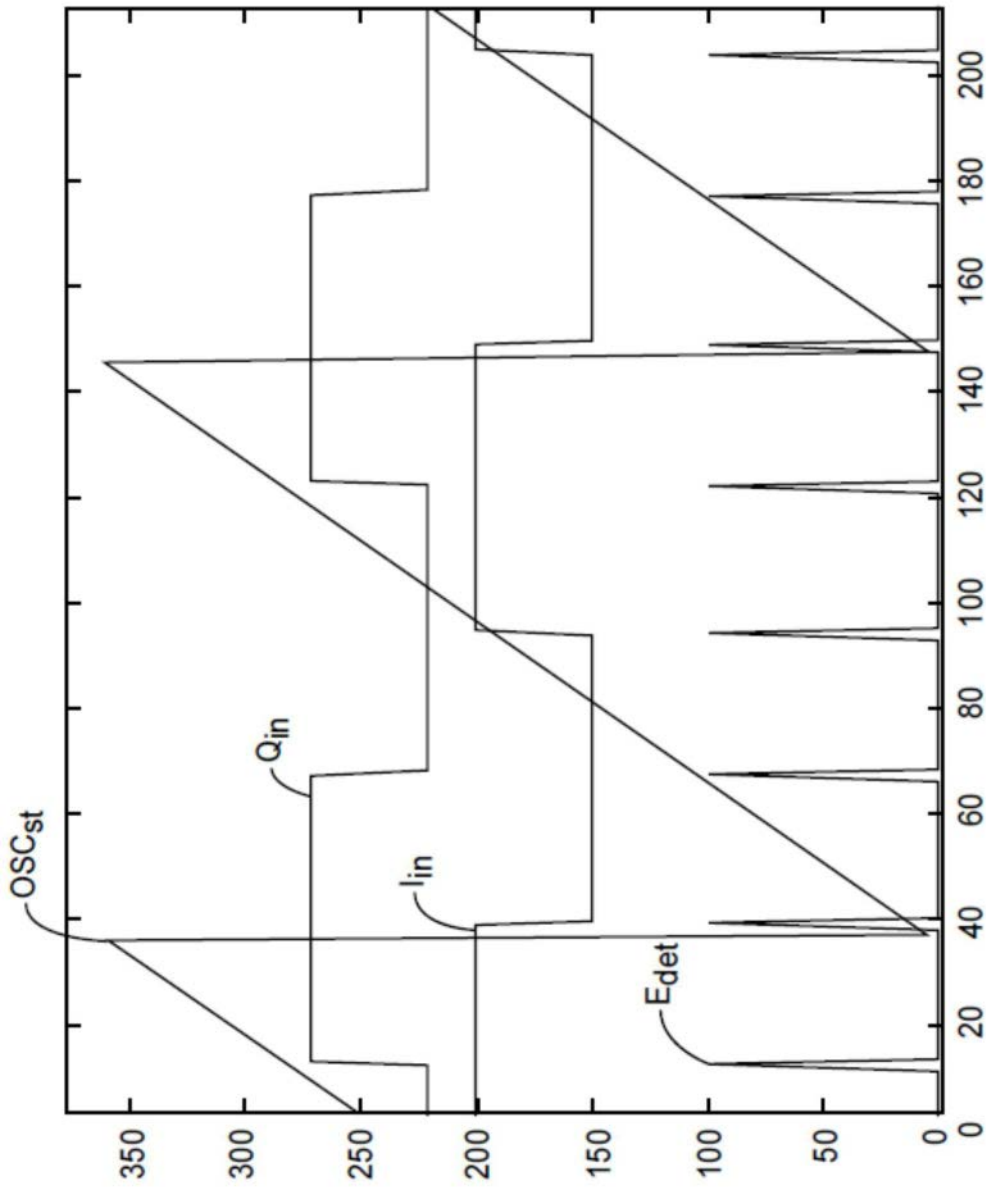


图2

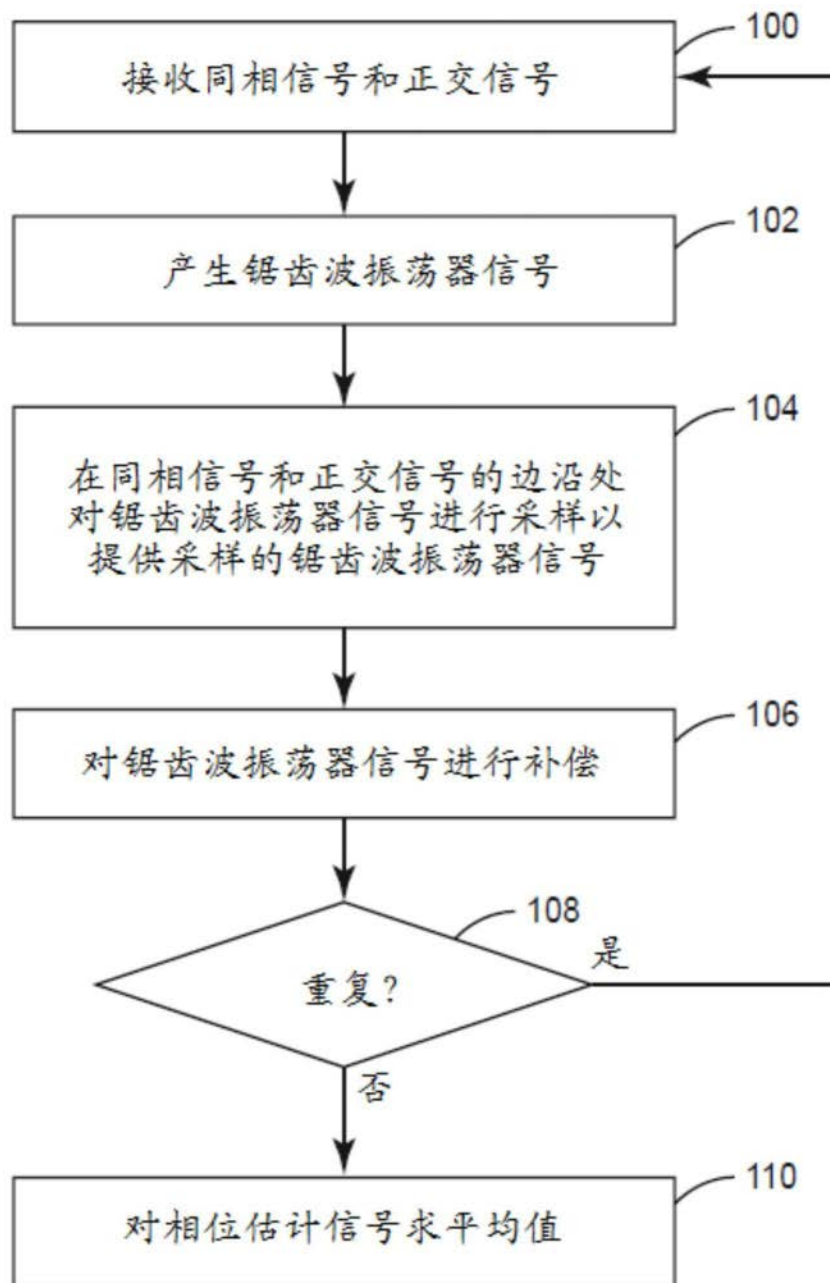


图3