

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01T 1/29 (2006.01)

G01T 1/17 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480016694.2

[45] 授权公告日 2008 年 7 月 9 日

[11] 授权公告号 CN 100401097C

[22] 申请日 2004. 6. 7

[21] 申请号 200480016694.2

[30] 优先权

[32] 2003. 6. 16 [33] EP [31] 03101757.7

[86] 国际申请 PCT/IB2004/050849 2004. 6. 7

[87] 国际公布 WO2004/111682 英 2004. 12. 23

[85] 进入国家阶段日期 2005. 12. 15

[73] 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 W·吕滕 M·奥弗迪克

[56] 参考文献

US5841140A 1998. 11. 24

US6255655B1 2001. 7. 3

CN1481510A 2004. 3. 10

审查员 曲新兴

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 程天正 陈景峻

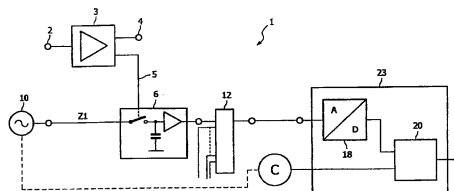
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 7 页

[54] 发明名称

检测事件的时间分辨记录的检测器及相关方法和成像设备

[57] 摘要

本发明涉及一种用于检测事件的时间分辨记录的检测器，包括：一个在操作状态下当一个检测事件发生时提供一个电信号的转换器设备(34, 35, 36)以及评估电子装置(1)，所述评估电子装置具有：至少一个触发器(3)，该触发器被耦合到该转换器设备(34, 35, 36)并被设计成提供一个触发器信号(5)，该触发器信号在时间上被指定给该电信号；至少一个时间信号源(10)，该时间信号源提供第一模拟时间信号(Z1)；以及至少一个第一采样器(6)，该采样器被耦合到该触发器(3)并被设计成提供该第一模拟时间信号(Z1)的第一瞬时值(E1)，所述第一瞬时值在时间上被指定给该触发器信号(5)。



1、一种用于检测事件的时间分辨记录的检测器，包括：

- 一个在操作状态下当一个检测事件发生时提供一个电信号的转换器设备（34，35，36）以及

- 评估电子装置（1），所述评估电子装置具有：

- 至少一个触发器（3），该触发器被耦合到该转换器设备（34，35，36）并被设计成提供一个触发器信号（5），该触发器信号在时间上被指定给该电信号；

- 至少一个第一时间信号源（10），该第一时间信号源提供第一模拟时间信号（Z1）；以及

- 至少一个第一采样器（6），该采样器被耦合到该触发器（3）并被设计成提供该第一模拟时间信号（Z1）的第一瞬时值（E1），所述第一瞬时值在时间上被指定给该触发器信号（5）。

2、如权利要求1中所要求的检测器，其特征在于，所述第一模拟时间信号（Z1）具有一个周期。

3、如权利要求1或2中所要求的检测器，其特征在于，所述检测器具有至少一个时钟（C），该时钟被提供来以所述第一模拟时间信号的唯一性间隔（ $P_{1/2}$ ， $P_1$ ）为单位来测量时间。

4、如权利要求1中所要求的检测器，其特征在于，所述检测器被划分为至少两个检测器通道，并且在每一种情况下每个检测器通道被指定给至少其中一个触发器（3）和至少其中一个采样器（6）。

5、如权利要求1中所要求的检测器，其特征在于，所述评估电子装置（1）具有提供第二模拟时间信号的第二时间信号源（11，21），并且存在被设计成提供该第二模拟时间信号的第二瞬时值（E1'）的第二采样器（7），所述第二瞬时值在时间上被指定给所述触发器信号（5）。

6、如权利要求5中所要求的检测器，其特征在于，所述第二时间信号源被耦合到所述第一时间信号源。

7、如权利要求1中所要求的检测器，其特征在于，所述评估电子装置（1）具有一个被耦合到所述第一采样器（6）的时间计算单元（23），该时间计算单元（23）被设计成计算一个被指定给所述第一瞬时值（E1）的时间值。

8、如权利要求7中所要求的检测器，其特征在于，至少一个多路复用器（12）被配置在所述采样器（6）和所述时间计算单元（23）之间。

9、一种包括一个如权利要求1至8中的任一个所要求的检测器的成像设备。

10、一种用于检测事件的时间分辨记录的方法，包括以下步骤：

- 将一个检测事件转换成一个电信号；
- 产生一个在时间上被指定给该电信号的触发器信号（5）；
- 与该触发器信号（5）在时间上相关联地对至少一个第一模拟时间信号（Z1）进行采样；
- 提供该第一模拟时间信号（Z1）的第一瞬时值（E1）。

## 检测事件的时间分辨记录的检测器及相关方法和成像设备

本发明涉及一种用于检测事件的时间分辨记录 (temporally resolved recording) 的检测器。本发明进一步涉及一种包括这样一种检测器的成像设备。本发明也涉及一种用于检测事件的时间分辨记录的方法。

当时间信息对于检测器数据的评估很重要时,或者当要找到在时间方面属于彼此的检测事件时,用于检测事件的时间分辨记录的检测器被使用。这是例如在正电子发射断层摄影(PET)中的情况。这种PET设备被用于测量在正电子发射情况下出现的湮灭量子对。正电子发射体(例如包含原子序数18的氟同位素的氟混合物)例如被注入到一个患者体中,并以一种特定方式分布在患者的体内,这依赖于包含正电子发射体的化学混合物的类型。在正电子发射的情况下,正电子通常将在1毫米(mm)的十分之几后与一个电子湮灭,同时两个各具有511千电子伏特(keV)能量的伽马量子以基本上相反的方向被辐射。所述量子通过配置在患者周围的一个检测器被记录,所述检测器组成了PET设备的一部分。如果两个检测器事件位于具有几纳秒(ns)长度的一致时间窗内,则这两个检测器事件被指定给单个湮灭过程。被注入的正电子发射体在患者体内的分布能通过被测量的一致事件而被重建出来。

如果湮灭的点能够被确定(近似地),那么测量的质量、相关的正电子发射体分布的重建以及能够随后从测得的分布得出的诊断的意义能够被提高。为了这个目的,需要达到0.1ns或者甚至更短时间的分辨率。这样一种方法的一个例子是“渡越时间(Time of Flight)”PET(TOF PET)。

美国专利申请US 2001/0017352公开了一种用于提高在正电子发射断层摄影中的图像质量的一种设备。这种设备包括被分别连接到一个放大器的多个光电倍增器,该放大器后面跟随着一个模拟/数字转换器(ADC)。通过一个以2ns周期操作的中心数字时钟,在所述ADC之后将一个所谓的时间标记添加到一个检测事件的数字信号中以用于

进一步评估的目的。

为了确保高时间分辨率（其允许将检测事件空间指定到一个湮灭点），在千兆赫（GHz）范围内（大约1-10GHz）的高频时间信息或触发器信号必须通过整个检测器被传送到各个检测器通道，或者从各个通道被传送到一个中心时间获取单元。为了确保这种频率在检测器配置中的高度准确、精确且无损失的传送，存在对高技术和资金费用的需求。作为例子，需要有快速数字存储器。此外，来自其它部件（例如放大器）的高频率信号可能导致干扰。

因此本发明的一个目标是提供一种检测器，其允许高时间分辨的检测同时避免上述问题。

这个目标通过一种用于检测事件的时间分辨记录的检测器来实现，其包括一个在操作状态下当一个检测事件发生时提供一个电信号的转换器设备以及评估电子装置，所述评估电子装置具有：至少一个触发器，该触发器被耦合到该转换器设备并被设计成提供一个触发器信号，该触发器信号在时间上被指定给该电信号；至少一个时间信号源，该时间信号源提供第一模拟时间信号；以及至少一个第一采样器，该采样器被耦合到该触发器并被设计成提供该第一模拟时间信号的第一瞬时值，所述第一瞬时值在时间上被指定给该触发器信号。

这样一种检测器提供这样的优势：没有非常高频率的时间信号（例如非常快速计数的数字时钟）必须被传送。在根据本发明的检测器中使用一个模拟时间信号，其频率分布能被控制。代替一个数字时钟信号，在这种情况下传送一个模拟信号，例如一个斜坡信号或一个正弦信号。然后能从所采样的模拟瞬时值中计算得到一个时间值。高频率仅仅局部地发生在多个样本的快速触发期间（采样保持级）。这种检测器配置从而避免了能影响其它部分的非常高频率分量的发生。

有利地，所述时间信号是周期性的，例如  $Z1 = A \sin(\omega_1 t)$  的正弦或余弦时间信号特别适合，因为它们不包含任何具有高于  $f_1 = \omega_1 / 2\pi$  的频率的信号分量。其它模拟信号类型也是可行的，例如锯齿信号或三角信号，因为虽然这些信号确实包含高频率部分，但后者能通过一个长周期而被抑制。

在本发明的另外一个实施例中有一个时钟，其以第一模拟信号的

唯一性间隔 (uniqueness interval) 为单位来测量时间。这个唯一性间隔是在其中所采样的瞬时值是唯一的时间间隔, 换句话说, 在其中这个瞬时值仅出现一次。所能够获得的时间分辨率由采样的准确性确定。通过以一个低频率计数的该时钟, 其中可以对检测事件进行时间上的指定的时间跨度能通过可能的时钟值的数量而被增加。

根据本发明的检测器的另一个实施例具有多个检测器通道, 并且每个检测器通道具有一个相关的触发器和一个相关的采样器。通过使用多个检测器通道, 多个检测事件能被同时记录在不同的位置。借助于精确的时间指定, 对应时间值的比较成为可能。这例如在 TOF PET 中是有优势的, 因为两个检测事件必须被指定到一个时间窗, 并且在任何情况下各个事件必须以高精度被记录 (例如以 0.1ns 的精度)。

当存在第二时间信号源时给出本发明的另一个有利实施例, 从该时间信号能够采样得到第二瞬时值。如果存在不同的时间信号曲线, 则一个瞬时值元组 (tuple) 被提供 (瞬时值元组: 在这种情况下是指两个所测量的瞬时值的组合), 其能用于进一步计算一个时间值。在两个相同频率的相移正弦信号的情况下, 其结果是所述瞬时值元组的一个唯一性间隔, 其对应于所述正弦时间信号的周期。如果所述相移导致正交信号 (也就是说如果一个信号处于过零点而另外一个信号处于最大值或最小值), 则时间确定仍然是可能的, 因为一个信号仍然处于具有与零显著不同的斜率的状态, 而另外一个信号则处于具有与零稍微不同的斜率的状态或者处于具有零斜率的状态。因此这是有优势的, 这是由于时间确定的准确性不被其中一个时间信号的低斜率区域内的信号采样的准确性所限制。

在具有两个时间信号的实施例中, 第二时间信号源也可以被耦合到第一时间信号源。于是这允许一个这样的设计: 其具有一个例如提供给不同检测器通道的中间时间信号源并且具有另一个局部配置的时间源, 该局部配置的时间源产生作为所述第一时间信号的函数的第二时间信号。

当提供一个从时间信号的采样瞬时值中计算一个时间值的时间计算单元时, 给出另一个有利实施例。随后可以将各个检测事件的时间值直接相互比较, 并且/或者可以将其用于另外的计算步骤。当要在一个与时间分辨率相比非常大的时间间隔上对各时间值进行比较时, 这

尤其具有优势，因为例如能将模拟时间信号的瞬时值与一个数字时钟的时钟值相组合以便计算一个时间值。

在一个仅具有一个中心时间计算单元或具有几个时间计算单元的实施例，在采样器和时间计算单元之间安排一个多路复用器是很有利的。该多路复用器例如可以以一种有序的方式将来自于其它检测器通道的采样器的瞬时值前送到时间计算单元。然而，该多路复用器也可以以串行方式将来自于单个检测器通道的不同采样器的瞬时值前送到时间计算单元。相应的计算单元则不需要被并行安排在所述时间计算单元中。

本发明也涉及一种成像设备，其中利用了上述类型的检测器。该设备可以是一个 PET 或者 TOF PET 扫描仪或者另一种核医疗设备。此外，通过 X 射线辐射操作的医疗成像设备也可以有利地装配这样一个检测器。这种设备也可以被用于检查动物、植物或无生命事物。

本发明进一步涉及一种用于检测事件的时间分辨记录的方法。

下面将参考附图中所示的实施例实例来进一步描述本发明，然而本发明并不限于附图。

图 1 展示了在核医疗中使用的医疗成像设备的实施例。

图 2 展示了用于检测伽马量子的检测器的实施例。

图 3 展示了具有多路复用器和时间计算单元的评估电子装置，其使用一个时间信号。

图 4 展示了具有多路复用器和时间计算单元的评估电子装置，其使用两个时间信号。

图 5 展示了相同频率的两个彼此正交的时间信号的时间曲线，其中示出了一个实例以说明一个二值元组的唯一性。

图 6 展示了具有多路复用器和时间计算单元的评估电子装置，其使用两个时间信号，其中一个信号通过到另外一个时间信号的耦合而被产生。

图 7 展示了具有相关联的多路复用器和时间计算单元的评估电子装置，其使用四个时间信号。

图 8 展示了两对彼此正交的不同频率的时间信号的时间曲线，其中示出了一个实例以说明一个四值元组的唯一性。

图 1 展示了被用于医疗目的的成像设备的一种可能的实施例，其在这种实施例中具有被安装在一个框架结构 31 上的两个检测器 30、30'。通过一个患者台床 32，任何将被检查的患者身体能被放置在两个检测器之间。为了此目的，要么患者台床 32 是可移位的，要么框架结构 31 被设计成能够被移动。其它实施例仅具有一个检测器 30，其以一个环的形式闭合，或者有三个检测器被配置在将被检查的身体周围。替代一个连续的框架结构 31，检测器也可以通过臂而被单独装配，例如在屋顶或在地板上。在所示的实施例中，框架结构 31 被设计为可旋转的，以便能够记录断层摄影数据（例如用于重构正电子发射体分布的 PET 数据）。

图 2 展示了在核医疗中被使用来检测伽马量子的检测器 30 的实施例。在检测器 30 之前（或者集成在其中）通常有一个准直器（collimator）33，其例如通过铅壁的方式拦截来自非期望方向的量子。在其它实施例中这样一个准直器是不需要的，例如在一个 PET 检测器中不需要该准直器，其中可以通过对沿相反方向辐射的两个量子的一致检测来确定发射方向。所述检测器通常具有一个闪烁器（scintillator）34。一个闪烁器将输入量子转换为光。此闪烁器例如可以是晶体的（由压制或者喷涂的粉末组成）或者是陶瓷的。在所示的实施例中有有一个充当扩散器的光耦合 35，其在闪烁器 34 和配置在其后的光电倍增器 36 之间。光电倍增器将输入光转换为一个电信号。被连接到光电倍增器 36 下游的是处理电子装置 37，其确定诸如在检测器上的检测点、所检测的能量以及检测时间之类的参数。这些检测器可以具有一维或者二维的光电倍增器配置。在另外一个实施例中，光电二极管被配置在闪烁器 34 下方，所述光电二极管同样将输入光转换为一个电信号。检测器的另外一个实施例由一种配置在两个电极之间的直接转换材料组成，其中所述直接转换材料将输入量子转换为电载荷，而加在所述电极之间的电场则产生一个电信号。这些实施例的一个共同特征是一个一级或者多级转换器设备，其将检测事件（即量子到达与该转换器设备交互的检测器）转换为电信号。替代在所述实施例中已经展示的内容，所述检测器也可以被弯曲，以便使检测器本身是一个环或者可以包括多个检测器以构成一个环。例如可以设想一个形成

球形配置的二维弯曲。

图 3 展示了根据本发明在一个具有一个模拟时间信号的实施例中的评估电子装置 1。模拟时间信号 Z1 (也可参考图 5 和图 8) 通过一个时间信号源 10 产生。在具有多个检测通道的情况下, 时间信号源 10 有利地被用作中心时间信号源, 其提供多个检测器通道。经过输入端 2, 评估电子装置从转换器设备接收当一个检测事件发生时所产生的电信号。这样一个电信号通常具有伸展的曲线, 其反映多个参数, 例如闪烁器的速度、施加在一个直接转换器的电极之间的电压、转换材料的厚度等等。电信号通常首先上升到一个最大值, 以便然后以一个较其上升速率为低的速率减小。一个积分放大器 3 具有一个输出端 4, 该输出端提供一个与积分的电信号成比例并且与检测事件的总能量能量成比例的信号。当例如将要通过确定其较低总能量而区分散射量子与 511keV 的非散射量子时, 这样一个信号是非常重要的。积分放大器 3 具有另一个输出端, 经由该输出端前送一个触发器信号 5。例如当电信号到达一个预定义强度或者当积分的信号超过一个预定义阈值时产生这个触发器信号 5。在此情况下, 可以利用不同的实现方式 (例如一个 CFD (常分数鉴别器)), 以便例如校正该触发器信号的幅度依赖性。触发器信号 5 触发一个采样与保持电路 6, 该电路测量所述模拟时间信号的瞬时值 E1 (也参见图 5 和图 8) 并使得该瞬时值在其输出端可获得。一个适合于大约 0.1ns 的时间分辨率的快速采样与保持电路对本领域技术人员来说是熟知的。一个多路复用器 12 可以被连接到采样与保持电路 6 的下游。当来自不同采样与保持电路 6 的瞬时时间值 E1 将被馈送到一个目的地 (例如一个时间计算单元 23) 时这是有利的。由于来自采样与保持电路 6 的瞬时值 E1 没有在预定义时间到达, 所述多路复用器例如可以具有一个被规则读取的存储器。为了使得将模拟时间信号 Z1 的瞬时值 E1 与其它检测事件的其它瞬时值直接作比较成为可能, 瞬时值 E1 在时间计算单元 23 中被转换为一个时间值。在所示的实施例中, 在时间计算单元 23 中的瞬时值 E1 被馈送到一个模拟/数字转换器 (ADC) 18。ADC 18 数字化模拟传输的瞬时值 E1。ADC 18 的比特深度 (例如 8 比特或 12 比特) 和速度适应于期望的时间分辨率准确度和预计的检测速率 (每单位时间的检测事件)。在这方面需要提及的是, 在这里所示的仅具有一个模拟信号的实施例中, 准确度被时

间信号 Z1 的斜率所限制。例如如果模拟信号是正弦的, 则其在极限值处具有非常小的斜率。因此在这种情况下, 如果时间分辨率相比于正弦模拟时间信号的周期持续时间比较小, 则对于 ADC 18 有较高要求。在 ADC 18 之后, 数字化的瞬时值随后通过一个查找表 20 被转换为一个时间值。在这种情况下, 假设所述模拟时间信号的曲线为已知的。已知的模拟时间信号曲线作为相对的时间值和幅度值的数值对而被存储在查找表中。在此实施例, 将其表中幅度值与数字化瞬时值最接近的相对时间值指定给该数字化瞬时值, 否则一个插值将被执行以从表中相对时间值和幅度值中确定所述相对时间值。随后可以将在一个唯一性时间间隔内的相对时间直接相互比较, 或者可以将其用于计算其它数据。作为对一个查找表的可替换方案, 所述瞬时值的反正弦或反余弦也可以在一个相应的处理单元中被直接计算。

为了确定绝对时间值以使得在大时间间隔上将由时间计算单元 23 确定的时间值作比较成为可能, 在所示的实施例, 一个数字时钟 C 被连接到时间计算单元 23。这个可以被耦合到时间信号源的数字时钟 C 例如对各个唯一性间隔进行计数。所述模拟时间信号因此可以是一个在其已经达到最大值之后总是被带回到起始值的斜坡信号。于是该数字时钟对已经通过的斜坡进行计数。数字时钟 C 从而是一个以低频率计数的时钟。如果一个斜坡的持续时间已知 (持续时间 I), 则时间计算单元 23 能从斜坡的数字化瞬时值 (时间值 M) 和对应于已经通过的斜坡数量的数字值 (数量值 A) 确定一个绝对时间值  $T=M+A*I$ 。替代周期性斜坡信号, 三角信号也可以有利地被使用。在三角信号中, 高频率部分以比周期性斜坡信号 (锯齿) 更高的程度而被抑制, 正如可以从信号的傅利叶展开所看到的那样。在三角信号或正弦信号的情况下, 所述时钟以半周期为单位对时间进行计数 (在任何情况下是从一个极限值到另一个极限值)。

图 4 展示了具有两个时间信号源 10、11 的评估电子装置 1 的实施例。所述时间信号源分别提供模拟时间信号 Z1 和模拟时间信号 Z2。借助于触发器信号 5, 两个采样与保持电路 6 和 7 随后被触发, 它们分别确定模拟时间信号 Z1 的瞬时值 E1 和模拟时间信号 Z2 的瞬时值 E1'。所述瞬时值然后被馈送到时间计算单元 23。虽然时钟 C 在这里未被示出, 但可以理解的是该时钟 C 也可以被使用在这个实施例或任意

其它实施例中以获得一个大的时间确定的唯一性范围。

图 5 展示了正弦时间信号 Z1 和 Z2 的时间信号曲线。E1 表示通过在时间值  $t=0.125$  处采样模拟时间信号 Z1 而确定的瞬时值，并且所述瞬时值在时间信号曲线中以实菱形被展示。E2 表示将在采样时间  $t=0.875$  处给出相同值  $E2=E1$  的瞬时值。非常清楚的是，在根据图 3 的仅具有一个正弦模拟时间信号 Z1 的实施例中，所述瞬时值的唯一性间隔  $P_{1/2}$  为半个周期。时间分辨率作为 ADC 18 的比特深度和该正弦模拟时间信号的所选定频率的函数而被获得。正如已经提及的那样，在此实施例中的时间分辨率被正弦信号在其极限值处的斜率所限制。然而，在 8 比特 ADC 的情况下，仍然可以利用十倍于期望时间分辨率的模拟时间信号的周期持续时间，以使得这个实施例以有效划算的方式达到所设定的目标。由于在瞬时值和时间值之间的指定在两个连续半周期中被镜像，于是在具有一个数字时钟 C 的实施例中可以利用两个查找表，其中依赖于时钟的计数状态是偶数还是奇数而在这两个查找表之间进行切换，或者可以在时间值计算本身中考虑所述镜像。在这个实施例中，在时间计算单元 23 中也可以考虑这样的事实：在接近于最大值的瞬时值 E1 的情况下，在采样中的不确定性（所谓的噪声）可能导致在时间计算中的不定性，因此对位于具有更大斜率的区域内的瞬时值 E1' 给予更多重视。

图 5 也展示了与第一模拟时间信号 Z1 正交（即已经被相移 90 度）且具有与 Z1 相同频率的第二模拟时间信号 Z2 的时间信号曲线。在采样时间  $t=0.125$ ，瞬时值 E1' 在模拟时间信号 Z2 中被测量。该过程也在采样时间  $t=0.375$  处被重复。因此可以看到，当使用两个相同频率的正弦相移时间信号时，所述唯一性间隔通常是一个周期  $P_1$ 。如果两个模拟时间信号彼此正交（如图 5 中所示），则在一个模拟时间信号的最大值或最小值处另外还找到另一个模拟时间信号的过零点。因此这两个时间信号在同一时间从不会都处于同一个小斜率状态中。在这个实施例中，可以令所述时间确定更加精确。当使用 8 比特 ADC 时，可以使用 100 倍于期望时间分辨率的模拟时间信号的周期持续时间。因此与具有单个模拟时间信号的实施例相比，将被传送的频率再次被降低一个数量级。

图 6 展示了评估电子装置 1 的一个实施例，其对应于图 4 的实施

例但是在其中第二时间信号源 21 被耦合到第一时间信号源 10。在所示的实施例中,所述耦合经由一个锁相环路 22 发生,并且时间信号源 10、21 都是产生正弦时间信号 Z1 和 Z2 的振荡器。替代正弦时间信号,也可以利用例如三角信号和锯齿信号。在本例中的锁相环路 22 确保振荡器 21 产生一个对应于第一时间信号源 10 的模拟时间信号 Z1 的模拟时间信号。在一个优选的实施例中,锁相环路 22 被设置成使得第一时间信号源 10 和振荡器 21 的模拟时间信号 Z1 和 Z2 是正交的。这样一个实施例具有这样的优点:时间信号源 10 能被用作中心时间信号源,其将模拟时间信号 Z1 提供给所有或部分检测器通道。相对地,振荡器 21 可以是检测器通道局部的。于是不需要通过长距离将第二时间信号从中心第二时间信号源 11 馈送到各检测器通道。

图 7 展示了根据本发明的评估电子装置 1 的另一个实施例。有四个时间信号源 10、11、10'和 11',其馈送四个模拟时间信号 Z1、Z2、Z3 和 Z4 到采样与保持电路 6、7、6'和 7'。当触发器 3 由于一个检测事件而产生一个触发器信号 5 时,所述四个模拟时间信号 Z1、Z2、Z3 和 Z4 的瞬时值被采样并被前送到一个时间计算单元 23,这里在适当情况下使用多路复用器 12、13、12'和 13'。这里所示的时间计算单元 23 的实施例具有两个时间计算电路 25 和 25',其各对应于图 4 的时间计算单元。每个时间计算电路 25、25'具有两个 ADC 18、18'和一个查找表 20、20'。在一个优选实施例中,模拟时间信号 Z1 和 Z2 是正弦且正交的,并且具有频率  $f_1$ ;模拟时间信号 Z3 和 Z4 同样是正弦且正交的,但具有频率  $f_2$ 。如果这两个频率具有一个  $f_1/f_2=m/n$  的比例,这里  $m$  和  $n$  为整数,则在一个时间点上采样的时间信号的瞬时值的唯一性间隔扩展到频率  $f_1$  的  $m$  个周期以及频率  $f_2$  的  $n$  个周期。这通过图 8 被展示。已经在时间计算电路 25、25'中针对每个时间信号对 Z1、Z2 和 Z3、Z4 的瞬时值而计算的中间值被馈送到另一个查找表 24,该查找表从两个中间值确定单个时间值,所述单个时间值表示在所扩展的唯一性间隔内的时间。在这种情况下可以被理解的是,在该实施例中,时间信号源 11 和 11'例如可以作为本地振荡器被实现,正如在图 6 中已经针对一对时间信号所展示的那样。使用例如产生一对正弦时间信号和一个斜坡时间信号的三个时间信号源 10、11、10'也是可能的。

图 8 展示了关于四个模拟时间信号 Z1、Z2、Z3、Z4 的例子,时

间信号  $Z1$  和  $Z2$  相对于时间信号  $Z3$  和  $Z4$  的频率比为 4 比 5。在时间  $t$  被采样的四个时间信号的瞬时值（由虚线表示）在时间信号曲线上以菱形被展示。对应于在除了  $t$  的其它时间的各个时间信号的相应瞬时值以实菱形被画出。对于各个时间信号对，在每种情况下，瞬时值的一致二值元组通过实圆形在两个时间信号曲线下方被示出。如在图 5 中已经展示的那样，正弦、正交时间信号的二值元组在每种情况下对于时间信号的一个周期是唯一的。对于所有四个时间信号的瞬时值的四值元组，仅在所示的时间间隔中存在一致性，这通过一个垂直条纹圆形表示。所述唯一性间隔随着时间信号的这种选择以时间信号  $Z1$  和  $Z2$  的周期长度的五倍或者以时间信号  $Z3$  和  $Z4$  的周期长度的四倍增加。

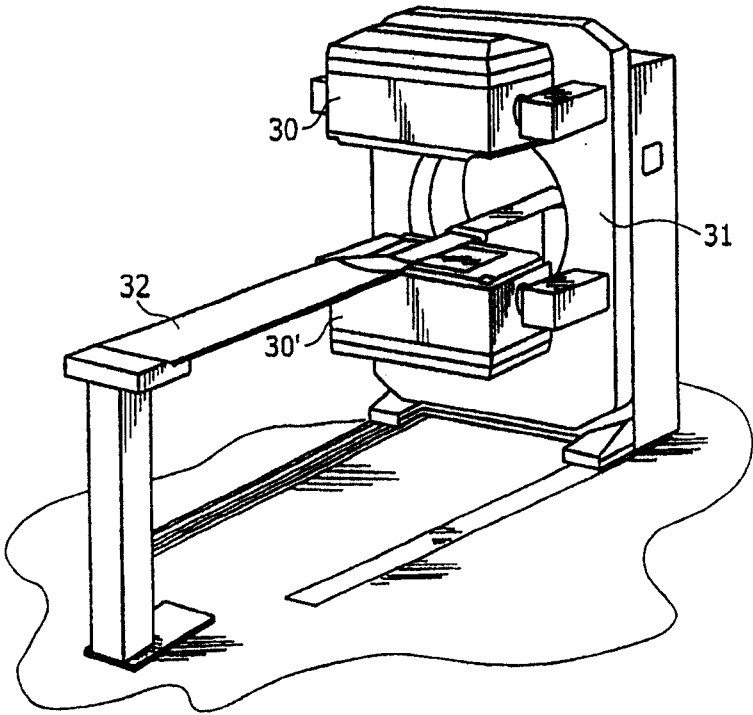


图 1

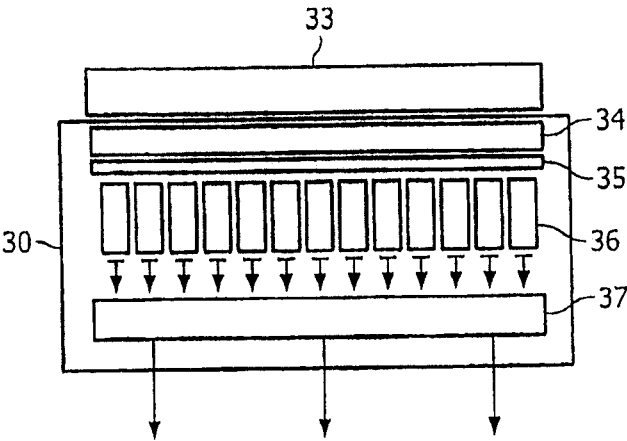


图 2

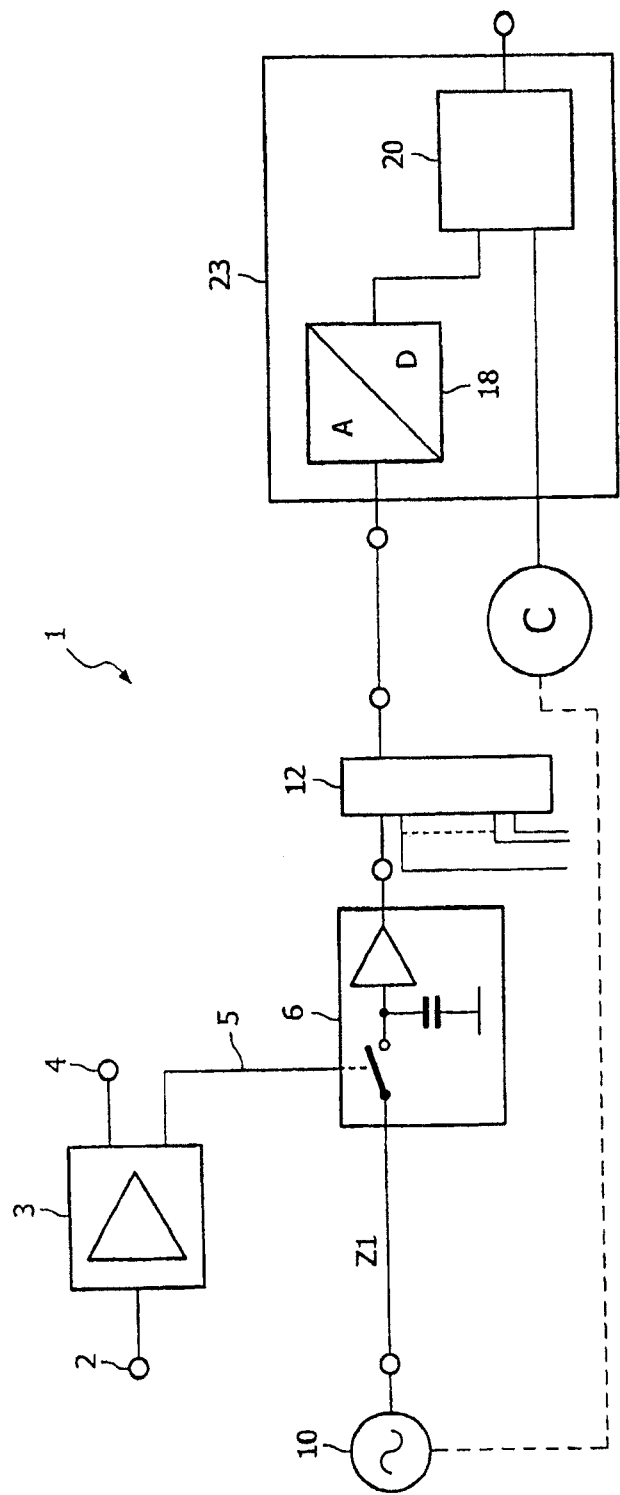


图 3

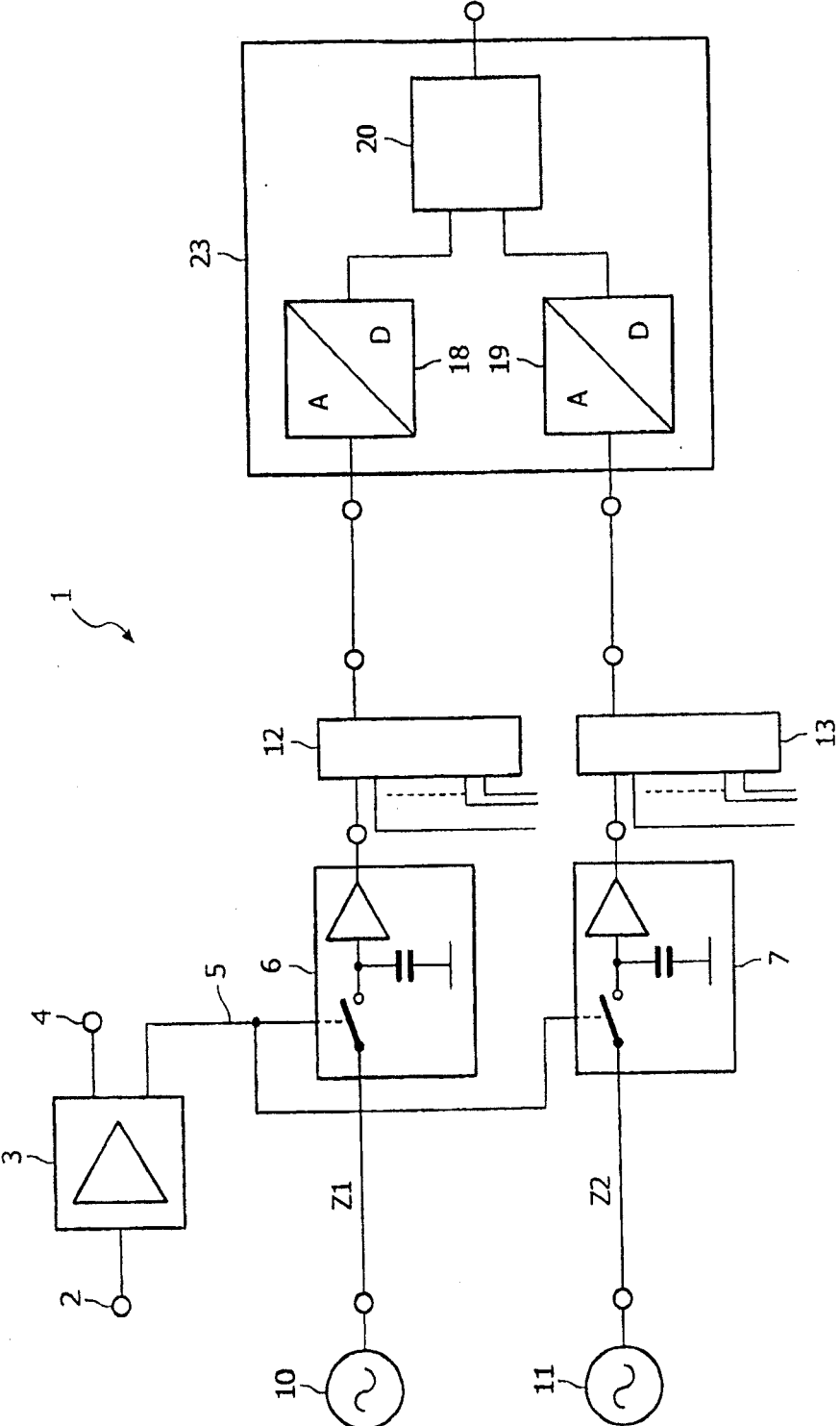


图 4

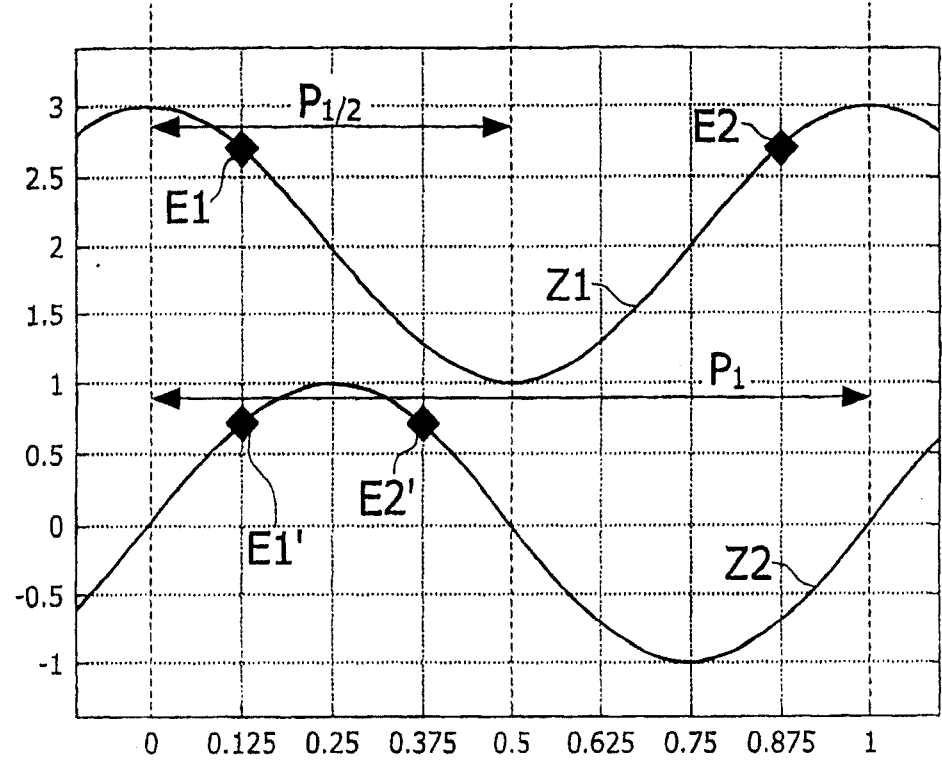


图 5

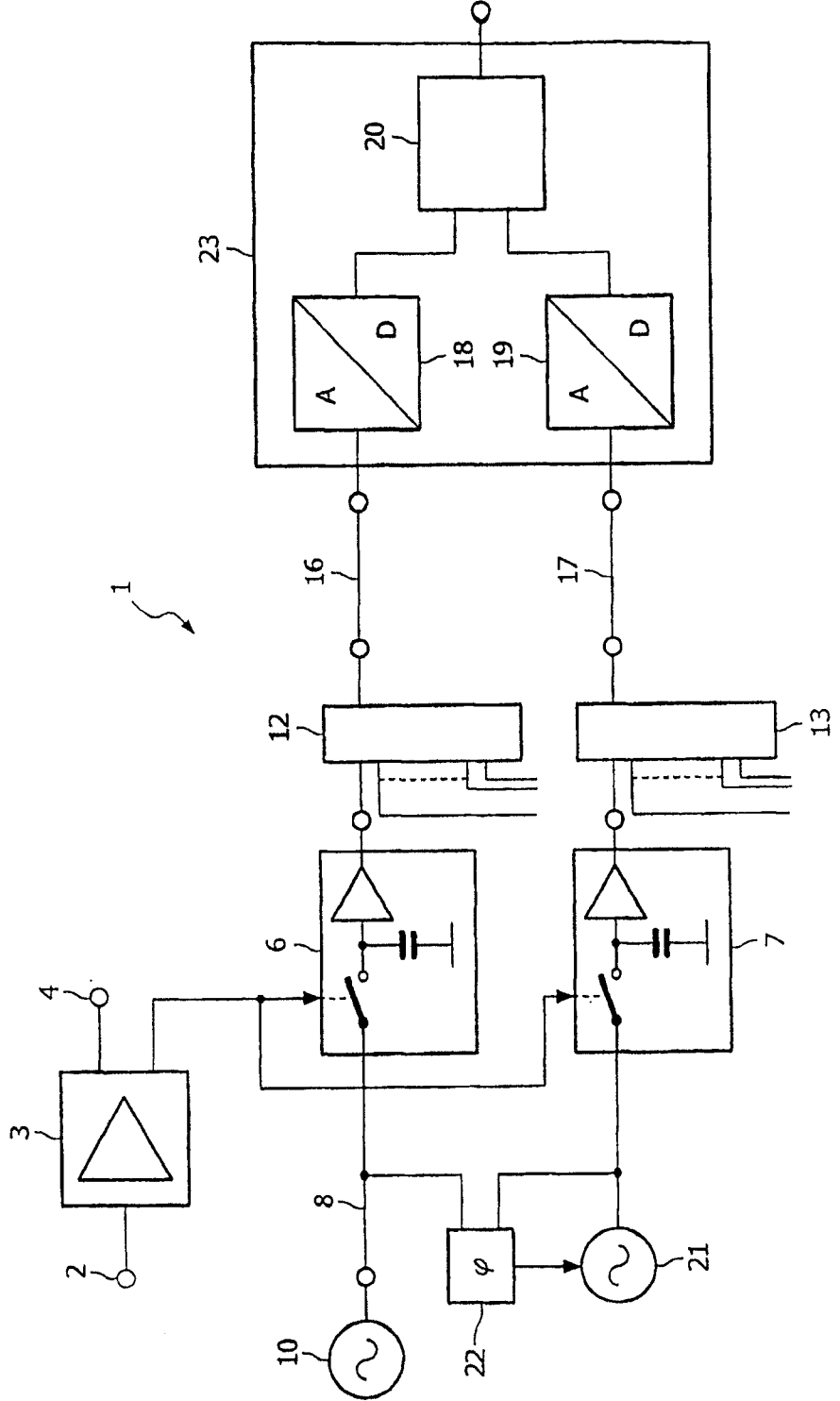


图 6

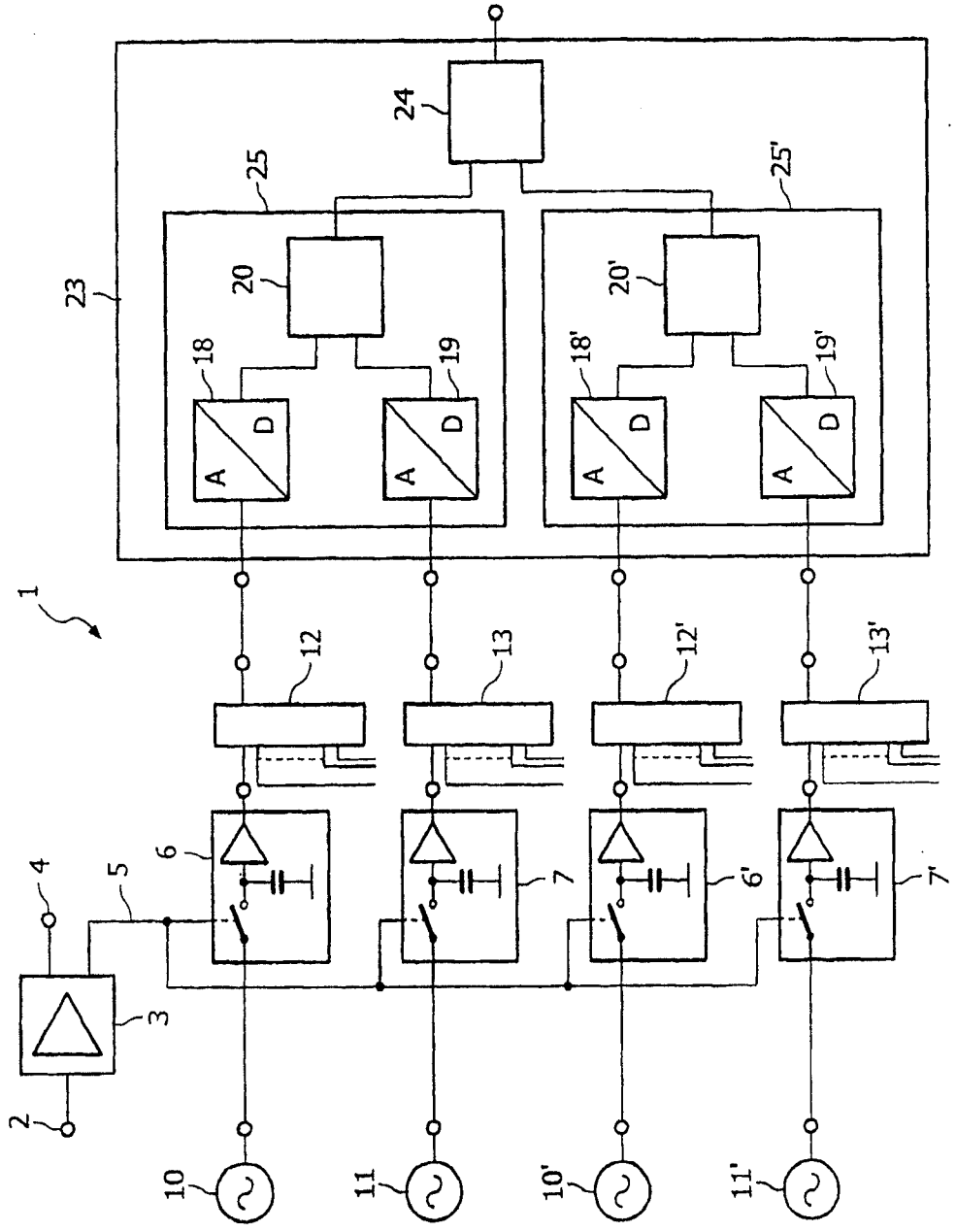


图 7

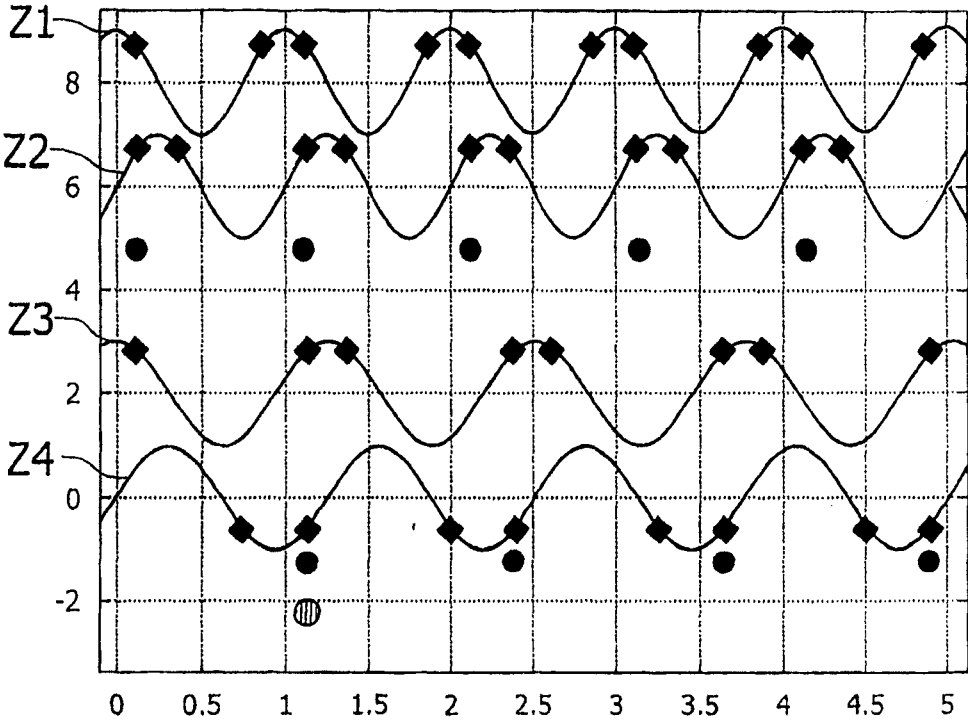


图 8