(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110520802 B
(45)授权公告日 2021.12.07

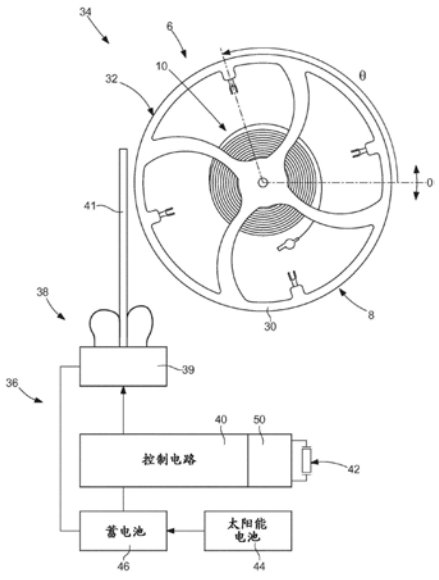
(21)申请号 201880022320.3
(22)申请日 2018.03.16
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110520802 A
(43)申请公布日 2019.11.29
(30)优先权数据
17163248.2 2017.03.28 EP
17172489.1 2017.05.23 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2019.09.27
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2018/056726 2018.03.16
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2018/177779 FR 2018.10.04
(73)专利权人 斯沃奇集团研究和开发有限公司
地址 瑞士马林
(72)发明人 L·通贝兹
(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所 11247
代理人 刘敏 吴鹏
(51)Int.Cl.
G04C 3/04(2006.01)
G04C 13/02(2006.01)
G04B 19/26(2006.01)
G04B 17/26(2006.01)
(56)对比文件
EP 2570870 A1,2013.03.20
US 7512391 B2,2009.03.31
CN 106462109 A,2017.02.22
FR 2162404 A1,1973.07.20
EP 2908187 A1,2015.08.19
WO 2015/140332 A3,2015.11.26
WO 01/48565 A1,2001.07.05
CN 102722099 A,2012.10.10
CN 1603980 A,2005.04.06
审查员 邓臻
权利要求书3页 说明书17页 附图17页

(54)发明名称

包括通过调节装置增强其运行的机械机芯的钟表

(57)摘要

一种配备有机械机芯(4)的钟表(34),包括至少一个时间数据项的指示机构、形成为调节指示机构的运行的机械振荡器的机械谐振器(6)以及用于防止指示机构运行中潜在的时间漂移的校正装置(36)。该校正装置由主控振荡器(42)和机械谐振器的机械制动装置(38,40)形成,该机械制动装置布置成能够以由主控振荡器决定的制动频率向机械谐振器周期性地施加制动脉冲。然后,由机械谐振器和机械制动装置形成的系统配置成使得机械制动装置能够优选地在机械谐振器的任何位置处开始制动脉冲。优选地,制动脉冲的持续时间小于设定点周期的四分之一。



CN 110520802 B

1.一种包括机械机芯(4)的钟表(2,34,62,80),所述机械机芯包括:

-至少一个时间数据项的指示机构(12),

-机械谐振器(6,6A),所述机械谐振器适于沿着总振荡轴线围绕对应于其最小势能状态的中性位置振荡,

-所述机械谐振器的维持装置(18),其与所述机械谐振器一起形成机械振荡器,该机械振荡器设置成控制所述指示机构的运行步调;

所述钟表还包括用于调节所述机械振荡器的中间频率的调节装置(20,36),该调节装置包括所述机械谐振器的机械制动装置;

其特征在于,所述机械制动装置(24,38,40,64)布置成能够在周期性制动脉冲期间向所述机械谐振器施加耗散的机械制动力矩,所述周期性制动脉冲在制动频率下产生,所述制动频率仅根据所述机械振荡器的设定点频率选择并由与所述调节装置相关联的辅助振荡器(22,42)决定,所述周期性制动脉冲各自具有小于设定点周期的一半的持续时间,其中设定点周期对应于设定点频率的倒数,由所述机械谐振器和所述机械制动装置形成的系统配置成使得所述机械制动装置能够在所述机械谐振器的在沿着所述总振荡轴线的位置范围内的任何位置处开始所述周期性制动脉冲,所述位置范围至少在所述机械谐振器的中性位置的两侧中的第一侧并且在所述机械振荡器倾向于针对该机械振荡器的可用操作范围在该第一侧所具有的振幅范围上延伸。

2.根据权利要求1所述的钟表,其特征在于,所述机械谐振器的所述位置范围的第一部分包括所述机械振荡器倾向于在所述机械谐振器的中性位置的所述第一侧所具有的所述振幅范围,所述第一部分具有一定范围,所述第一部分在该一定范围上是连续的或准连续的,该第一部分在所述振幅范围的最小振幅的一侧至少延伸一角距离,该角距离基本上对应于用于该最小振幅的所述周期性制动脉冲之一的持续时间。

3.根据权利要求1所述的钟表,其特征在于,所述系统配置成使得其中所述周期性制动脉冲可以开始的所述机械谐振器的所述位置范围也在所述机械谐振器的中性位置的两侧中的第二侧并且至少在所述机械振荡器倾向于针对该机械振荡器的可用操作范围在该第二侧所具有的振幅范围上延伸。

4.根据权利要求3所述的钟表,其特征在于,所述机械谐振器的所述位置范围的第二部分包括所述机械振荡器倾向于在所述机械谐振器的中性位置的所述第二侧所具有的所述振幅范围,所述第二部分具有一定范围,所述第二部分在所述一定范围上是连续的或准连续的,在所述机械振荡器倾向于在从中性位置的所述第二侧所具有的所述振幅范围的最小振幅的一侧,所述第二部分至少延伸一角距离,该角距离基本上对应于用于该最小振幅的所述周期性制动脉冲之一的持续时间。

5.根据权利要求3所述的钟表,其特征在于,所述制动频率等于所述设定点频率的两倍除以正整数N,即$F_{FR}=2\cdot F0_C/N$,其中F_{FR}是制动频率且$F0_C$是设定点频率。

6.根据权利要求3所述的钟表,其特征在于,所述辅助振荡器结合在该钟表中。

7.根据权利要求3所述的钟表,其特征在于,所述机械制动装置布置成使得所述周期性制动脉冲各自基本上具有小于设定点周期的四分之一的持续时间。

8.根据权利要求3所述的钟表,其特征在于,所述机械制动装置布置成能够通过摩擦将耗散的机械制动力矩施加到所述机械谐振器,使得所述周期性制动脉冲各自基本上具有在

与所述设定点频率的倒数对应的设定点周期的1/400到1/10之间的持续时间。

9.根据权利要求3所述的钟表，其特征在于，所述机械制动装置布置成能够通过摩擦将耗散的机械制动力矩施加到所述机械谐振器，使得所述周期性制动脉冲各自基本上具有在与所述设定点频率的倒数对应的设定点周期的1/400到1/50之间的持续时间。

10.根据权利要求3所述的钟表，其特征在于，所述系统配置成使得所述机械制动装置(24,38,40,64)能够在所述机械振荡器的所述可用操作范围内在所述机械谐振器沿着所述总振荡轴线的任何位置处开始所述周期性制动脉冲之一。

11.根据权利要求10所述的钟表，其特征在于，所述机械制动装置包括制动构件(41,41A,41B,90)，所述制动构件布置成由所述调节装置以所述制动频率致动，以便在所述周期性制动脉冲期间向所述机械谐振器(6,6A)的振荡构件(8,8A)施加所述机械制动力矩。

12.根据权利要求11所述的钟表，其特征在于，所述辅助振荡器(42)属于电类型；并且所述机械制动装置由机电致动器(38,66,68,86)形成，所述机电致动器致动所述制动构件，该机电致动器包括压电元件或磁阻元件，或用于致动所述制动构件的电磁系统。

13.根据权利要求11所述的钟表，其特征在于，所述耗散的机械制动力矩和所述周期性制动脉冲的持续时间选择为使得在所述机械振荡器的可用操作范围内，至少在所述钟表的运转的任何瞬时阶段的大部分中在所述周期性制动脉冲期间不瞬时锁定所述机械谐振器，该瞬时阶段倾向于在所述机械振荡器与所述周期性制动脉冲同步的同步阶段之前发生。

14.根据权利要求13所述的钟表，其特征在于，该瞬时阶段倾向于在所述同步阶段之前且在所述调节装置的接合之后发生。

15.根据权利要求13或14所述的钟表，其特征在于，所述振荡构件和所述制动构件布置成使得所述周期性制动脉冲能够至少在所述任何瞬时阶段的大部分中主要通过所述制动构件(41,41A,41B,90)与所述振荡构件的制动表面(32,32A)之间的动态干摩擦施加。

16.根据权利要求13或14所述的钟表，其特征在于，在所述机械振荡器的可用操作范围和所述钟表的运转的同步阶段中，所述耗散的机械制动力矩和所述周期性制动脉冲的持续时间选择为在所述周期性制动脉冲期间瞬时地锁定所述机械谐振器。

17.根据权利要求11所述的钟表，其特征在于，施加到所述振荡构件的所述耗散的机械制动力矩在周期性制动脉冲期间基本上是恒定的。

18.根据权利要求3所述的钟表，其特征在于，所述调节装置布置成使得所述制动频率可以连续地采用多个值，包括在所述调节装置的操作的初始阶段中的第一值和在所述初始阶段之后的正常操作阶段中的小于所述第一值的第二值。

19.一种钟表的机械振荡器的同步模块，用于调节该钟表的钟表机构的运行，该同步模块旨在结合在所述钟表中以使所述机械振荡器与结合在所述同步模块中的辅助振荡器(22,42)同步；其特征在于，所述同步模块包括形成所述机械振荡器的机械谐振器的机械制动装置(24,38,40,64)，该机械制动装置布置成能够在周期性制动脉冲期间向所述机械谐振器施加耗散的机械制动力矩，所述周期性制动脉冲以制动频率产生，所述制动频率仅根据所述机械振荡器的设定点频率选择并由所述辅助振荡器决定，所述周期性制动脉冲各自具有小于设定点周期的一半的持续时间，其中设定点周期对应于设定点频率的倒数，其中所述机械制动装置配置成能够在所述机械谐振器在沿着总振荡轴线的位置范围内的任何位置处开始所述周期性制动脉冲，所述位置范围至少分别在至少两个振幅范围内在所述机

械谐振器的中性位置的两侧延伸,所述机械振荡器倾向于针对该机械振荡器的可用操作范围在这两侧具有所述至少两个振幅范围。

20.根据权利要求19所述的同步模块,其特征在于,所述机械制动装置包括制动构件(41,41A,41B,90),所述制动构件布置成以所述制动频率致动,以便能够与所述机械谐振器(6,6A)的振荡构件(8,8A)瞬时接触以在所述周期性制动脉冲期间将所述耗散的机械制动力矩施加到该振荡构件。

21.根据权利要求20所述的同步模块,其特征在于,所述制动构件布置成使得所述周期性制动脉冲能够主要通过所述制动构件与所述振荡构件的制动表面(32,32A)之间的动态干摩擦至少在倾向于在所述同步模块的启动之后出现的任何瞬时阶段的大部分中施加到所述振荡构件。

包括通过调节装置增强其运行的机械机芯的钟表

技术领域

[0001] 本发明涉及一种钟表，该钟表包括机械机芯，其中通过用于校正机械振荡器的操作中的潜在时间漂移的装置来增强其运行，该装置控制机械机芯的运行步调。这种时间漂移尤其在机械振荡器的平均固有振荡周期不等于设定点周期时发生。该设定点周期由与校正装置相关联的辅助振荡器确定。

[0002] 具体而言，该钟表一方面由机械机芯形成，该机械机芯包括：

[0003] -至少一个时间数据项的指示机构，

[0004] -机械谐振器，其适于沿着总振荡轴线绕对应于其最小势能状态的中性位置的振荡，

[0005] -机械谐振器的维持装置，其与机械谐振器一起形成机械振荡器，该机械振荡器设置成控制指示机构的运行步调，该机械振荡器的每次振荡限定振荡周期，

[0006] 并且该钟表另一方面，由用于调节机械振荡器的中间频率以提高钟表的运转的装置形成。

背景技术

[0007] 在一些现有文献中已经提出了在本发明的领域中定义的钟表。1977年公布的专利CH 597 636提出了这种钟表，参考其图3。该机芯配备有由摆轮游丝和传统维持装置形成的谐振器，所述维持装置包括擒纵叉组件和与配备有发条的发条盒机芯运动学地连接的擒纵轮。该钟表机芯还包括用于调节其机械振荡器的频率的调节装置。该调节装置包括电子电路和磁性组件，该磁性组件由扁平线圈和两个磁体形成，该扁平线圈布置在一支承件上，该支承件布置在摆轮的外轮下方，所述两个磁体安装在摆轮上并且布置成彼此靠近以便两者在振荡器启动时都经过线圈。

[0008] 该电子电路包括时基，该时基包括石英发生器并用于产生基准频率信号FR，该基准频率被与机械振荡器的频率FG进行比较。振荡器的频率FG经由一对磁体在线圈中产生的电信号检测。调节电路适于经由磁性磁体-线圈耦合和连接到线圈的可切换负载瞬时地感生制动转矩。

[0009] 使用磁体-线圈型电磁系统将摆轮游丝与电子调节电路耦合会产生多种问题。首先，永磁体在摆轮上的布置导致在钟表机芯中恒定地存在磁通量，并且该磁通量在空间上周期性地变化。这种磁通量可能对钟表机芯的元件的多种构件、特别是对由磁性材料制成的元件(例如由铁磁材料制成的部件)产生有害作用。这可能会对钟表机芯的正常运转产生影响，并且还会增加枢转元件的磨损。实际上可以设想在一定程度上屏蔽所讨论的磁系统，但是屏蔽需要由摆轮承载的特定元件。这种屏蔽往往增大了机械谐振器的尺寸和其重量。此外，它限制了摆轮游丝的美学配置可能性。

[0010] 本领域技术人员还知道这样的机械钟表机芯，其与属于电子机械类型的用于调节其摆轮游丝的频率的装置相关联。更具体地，调节经由摆轮游丝与调节装置之间的机械相互作用发生，调节装置设置成通过由设置在摆轮上的止动件和配备有可动指状件的致动器

形成的系统作用在振荡摆轮上，所述可动指状件在朝向止动件的方向上以制动频率被致动，但是不接触摆轮的外轮。在文献FR 2.162.404中描述了这种钟表。根据该文献中提出的概念，当机械振荡器表现出相对于设定点频率的时间漂移时，希望通过指状件与止动件之间的相互作用来使机械振荡器的频率与石英振荡器的频率同步，设想指状件能够瞬时地锁定摆轮，摆轮然后在一定的时间区间内停止(在摆轮朝向其中性位置返回时，抵靠指状件的止动件沿其方向移动)，或者当在摆轮沿其端部角位置(限定其振幅)之一的方向旋转的同时指状件抵靠止动件时限制振动幅度，然后指状件停止振荡并且摆轮开始沿反方向直接背向移动。

[0011] 这种调节系统有许多缺点，并且可以严重怀疑它能否形成一个操作系统。指状件相对于止动件的振荡运动的周期性致动以及潜在的大初始相移对于止动件相对于指状件朝向该止动件的周期性运动的振荡引起许多问题。应该注意的是，指状件与止动件之间的相互作用限于摆轮的单个角度位置，该角度位置由致动器相对于摆轮游丝的轴线的角位置和空转时摆轮上的止动件的角位置(定义地中性位置)限定。实际上，设想指状件的移动使得可以通过与止动件的接触来停止摆轮，但是指状件被设置成不与摆轮的外轮接触。此外，应该注意的是，指状件与止动件之间的相互作用的时间也取决于摆轮游丝的振荡的幅度。

[0012] 应该注意，寻求的同步似乎不太可能。实际上，特别是对于摆轮游丝，其中频率大于对指状件的往复运动进行定时的设定点频率，并且利用指状件与止动件之间的第一次相互作用(其瞬时保持从其两个端部角位置之一返回的摆轮(减小误差的校正))，第二次相互作用在止动件在指状件交替运动期间不接触指状件的情况下的多次振荡之后肯定会是通过指状件停止摆轮，其中其振荡方向立即反转，其中，当摆轮朝向所述端部角位置旋转时，止挡部抵靠指状件(增加误差的校正)。因此，不仅在可能很长的时间区间内存在未校正的时间漂移，例如几百个振荡周期，但是指状件与止动件之间的一些相互作用增加了时间漂移而不是减少它!应该进一步注意的是，根据指状件与止动件之间的相对角位置(摆轮处于其中性位置)，在上述第二次相互作用期间，止动件的振荡和因此摆轮游丝的振荡的相移可能是显著的。

[0013] 因此可以怀疑是否获得了期望的同步。此外，特别是如果摆轮游丝的自然频率接近但不等于设定点频率，则指状件通过此时与指状件相对的止动件锁定其朝向摆轮的移动的情形是可以预见的。这种附加的相互作用可能损坏机械振荡器和/或致动器。此外，这实际上限制了指状件的切向范围。最后，指状件在与止动件的相互作用位置的保持持续时间必须相对较短，因此限制了引起延迟的校正。总之，文献FR 2.162.404中提出的钟表的操作对于本领域技术人员来说似乎是不太可能的，并且本领域技术人员对这样的教导不敏感。

发明内容

[0014] 本发明的一个目的是找到以上在技术背景中提到的技术问题和缺点的解决方案。

[0015] 在本发明的范围内，通常寻求提高机械钟表机芯的运行精度，即减少该机械机芯的每日时间漂移。特别地，本发明试图实现机械钟表机芯的这种目标，该机械钟表机芯初始最佳地调节运行。实际上，本发明的一般目的是找到一种用于防止机械机芯的潜在时间漂移的装置，即用于调节机械机芯的运行以提高其运行精度的装置，而不是放弃能够以机械机芯借助于其特定特征(即在没有调节装置的情况下或当校正装置不起作用时)能够具有

的最佳可能的精度自主地运行。

[0016] 为此，本发明涉及如上文在技术领域中所定义的钟表，其中调节装置由机械谐振器的机械制动装置形成。机械制动装置布置成能够在周期性制动脉冲期间向机械谐振器施加机械制动力矩，所述制动脉冲以仅根据钟表机芯的机械振荡器的设定点频率选择并由与调节装置相关联的辅助振荡器决定的制动频率产生。由机械谐振器和机械制动装置形成的系统配置成使得机械制动装置能够在机械谐振器在沿着该机械谐振器的总振荡轴线的位置范围内的任何位置处开始周期性制动脉冲，所述振荡轴线在至少一个第一振幅范围内至少在机械谐振器的中性位置的两侧中的第一侧延伸，机械振荡器倾向于针对该机械振荡器的可用操作范围在该第一侧具有所述至少一个第一振幅范围。

[0017] 在一个通用的替代实施例中，由机械谐振器和机械制动装置形成的系统构造成使得机械谐振器的位置范围——其中周期性制动脉冲可以开始——也在至少一个第二振幅范围内在机械谐振器的中性位置的两侧中的第二侧延伸，机械振荡器倾向于针对该机械振荡器的可用操作范围在该第二侧沿着总振荡轴线具有所述至少一个第二振幅范围。

[0018] 在一优选的替代实施例中，上文提到的机械谐振器的位置范围的两部分中的每一部分——其分别结合机械振荡器倾向于在其机械谐振器的中性位置的两侧具有的第一和第二振幅范围——表现为一定范围，在该范围内它是连续的或准连续的。

[0019] 在一个通用的替代实施例中，机械制动装置设置成使得周期性制动脉冲各自基本上具有小于对应于设定点频率的倒数的设定点频率的四分之一的持续时间。在一个特定的替代实施例中，周期性制动脉冲的持续时间实质上在设定点周期的1/400到1/10之间。在一个优选的替代实施例中，周期性制动脉冲的持续时间在设定点周期的1/400到1/50之间。

[0020] 在一个优选实施例中，辅助振荡器结合在该钟表中所包括的调节装置中。

[0021] 借助于本发明的特征，出乎意料的是，钟表机芯的机械振荡器有效且快速地与辅助振荡器同步，这将在下文中对本发明的详细描述中变得显而易见。调节装置形成用于使机械振荡器(从动机械振荡器)与辅助振荡器(主振荡器)同步的装置，而不需要闭环伺服控制和机械振荡器的运动的测量传感器。因此，调节装置以开环起作用，并且可以校正机械机芯的自然运行中的提前和延迟，如下文所述。这个结果绝对是意义重大的。术语“与主振荡器同步”在此表示从动机械振荡器对主振荡器的伺服控制(开环，因此没有反馈)。调节装置的操作使得从主振荡器的基准频率衍生的制动频率被强加在从动机械振荡器上，这控制了时间数据项指示机构的运行步调。在此这不包括耦合的振荡器的情况，或甚至不包括强制振荡器的标准情况。在本发明中，机械制动脉冲的制动频率决定从动机械振荡器的中频。

[0022] 术语“控制机构的运行步调”表示在操作、特别是确定该机构的运动部件的轮的转速并因此确定时间数据项的至少一个指标时控制所述运动部件的运动步调。术语“制动频率”表示制动脉冲周期性地施加到从动机械谐振器的给定频率。

[0023] 在一优选实施例中，由机械谐振器和机械制动装置形成的系统配置成使得机械制动装置能够在从动机械振荡器的可用操作范围内基本上在该从动机械振荡器的固有振荡周期的任何时间开始机械制动脉冲。换句话说，周期性制动脉冲之一可以基本上在机械谐振器沿着总振荡轴线的任何位置处开始。

[0024] 作为一般规则，制动脉冲具有耗散性质，因为振荡器的一部分能量通过这些制动脉冲消散。在一主要实施例中，机械制动力矩基本上通过摩擦、特别是借助于在机械谐振器

的制动表面上施加一定压力的机械制动构件施加，该压力具有沿着振荡轴线的一定范围(未隔离)。

[0025] 在一特定实施例中，制动脉冲在机械谐振器上施加机械制动力矩，其中该值选择成在周期性制动脉冲期间不会瞬时地锁定该机械谐振器。在这种情况下，优选地，上述系统设置成使得由每个制动脉冲产生的机械制动力矩能够在一定的连续或准连续时间区间期间(不是零或隔离，但具有一定的明显持续时间)施加至机械谐振器。

[0026] 本发明还涉及一种机械振荡器的同步模块，所述机械振荡器由钟表所包括并且控制该钟表的钟表机构的运行步调，该同步模块旨在结合在钟表中以使机械振荡器与结合在同步模块中的辅助振荡器同步。同步模块包括形成机械振荡器的机械谐振器的机械制动装置，该机械振荡器设置成能够在周期性制动脉冲期间向机械谐振器施加机械制动力矩，所述周期性制动脉冲以仅根据机械振荡器的设定点频率选择并由辅助振荡器决定的制动频率产生。机械制动装置配置成能够在机械谐振器在沿着总振荡轴线的位置范围内的任何位置处开始周期性制动脉冲，该振荡轴线分别在至少两个振幅范围内在机械谐振器的中性位置的两侧延伸，机械振荡器倾向于针对该机械振荡器的可用操作范围在这两侧具有所述至少两个振幅范围。

[0027] 在同步模块的一个特定实施例中，机械制动装置包括制动构件，该制动构件设置成以制动频率被致动，以便能够瞬时地与机械谐振器的振荡构件接触以在所述周期性制动脉冲期间对该振荡构件施加所述机械制动力矩。

[0028] 在一个有利的替代实施例中，制动构件设置成使得周期性制动脉冲可以主要通过制动构件与振荡构件的制动表面之间的动态干摩擦至少在大多数倾向于特别是在同步模块的启动之后出现的任何瞬时阶段中施加到振荡构件。

附图说明

[0029] 下面将使用通过决非限制的示例给出的附图详细地描述本发明，其中：

[0030] -图1示意性地示出了根据本发明的钟表的通用实施例，

[0031] -图2示出了根据本发明的钟表的第一特定实施例，

[0032] -图3示出了结合在第一特定实施例中的校正装置的致动器的控制电路的电子图；

[0033] -图4示出了根据本发明的钟表的第二特定实施例，

[0034] -图5示出了根据本发明的钟表的第三特定实施例，

[0035] -图6示出了在机械谐振器通过其中性位置之前在其振荡的某半周期中第一制动脉冲施加至机械谐振器，以及在第一制动脉冲发生的时间区间内摆轮的角速度及其角位置，

[0036] -图7是类似于图6中的图，但针对于在机械振荡器经过其中性位置之后在机械振荡器的振荡的某半周期中施加第二制动脉冲，

[0037] -图8A、8B和8C分别示出了在振荡周期期间摆轮游丝的角位置、根据摆轮游丝的角位置对于恒定制动转矩的三个值针对固定持续时间的制动脉冲获得的钟表机芯的运行的变化以及相应的制动力，

[0038] -图9、10和11分别示出了校正装置互锁在根据本发明的钟表中之后的初始阶段倾向于出现的三种不同情形，

[0039] -图12是在校正装置互锁在根据本发明的钟表中之后产生并且引起针对从动机械振荡器的自然频率大于设定点频率的情形寻求的同步的物理过程的说明性曲线图，

[0040] -图13表示在图12的情形中，对于在每个半周期中发生制动脉冲的替代实施例，从动机械振荡器的振荡和稳定的同步阶段中的制动脉冲，

[0041] -图14是在校正装置互锁在根据本发明的钟表中之后产生并且引起针对从动机械振荡器的自然频率小于设定点频率的情形寻求的同步的物理过程的说明性曲线图，

[0042] -图15表示在图14的情形中，对于在每个半周期中发生制动脉冲的替代实施例，从动机械振荡器的振荡和稳定的同步阶段中的制动脉冲，

[0043] -图16和17分别针对图12和14的两种情形提供了对于每四个振荡周期发生一次制动脉冲的校正装置的运行模式，机械振荡器的角位置和相应振荡周期的曲线图，

[0044] -图18和19分别是图16和17的局部放大图，

[0045] -图20与前两个图相似表示机械振荡器的频率等于制动频率的特定情形，

[0046] -图21示出了对于根据本发明的钟表的替代实施例，从动机械振荡器的振荡周期的进展以及总时间误差的进展，

[0047] -图22示出了对于根据本发明的钟表的又一替代实施例，在用于校正潜在的时间漂移的装置接合之后的初始阶段中从动机械振荡器的振荡的曲线图。

具体实施方式

[0048] 在图1中部分示意性地示出了根据本发明的钟表2的通用实施例。它包括机械钟表机芯4，该机械钟表机芯4包括至少一个时间数据项的指示机构12，该指示机构包括由发条盒14致动的齿轮系16(该机构在图1中部分地示出)。该机械机芯还包括由摆轮8和游丝10形成的机械谐振器6，以及用于维持由擒纵机构18形成的机械谐振器的维持装置，该维持机构与该机械谐振器一起形成控制指示机构的运行步调的机械振荡器18。擒纵机构18通常包括擒纵叉组件和擒纵轮，擒纵轮经由齿轮系16与发条盒运动地连结。机械谐振器适于沿着圆形轴线围绕对应于其最小势能状态的中性位置(空转位置/零角位置)振荡，所述圆形轴线的半径例如对应于摆轮的外轮的外半径。由于摆轮的位置由其角位置给出，所以可以理解，这里圆形轴线的半径并不重要。它定义了总振荡轴线，该振荡轴线指示机械谐振器的运动的性质，其在一个特定实施例中例如可以是线性的。机械谐振器的每次振荡限定一个振荡周期。

[0049] 钟表2还包括用于校正机械机芯4的机械振荡器的运转中潜在的时间漂移的校正装置，该校正装置20为此目的包括机械制动装置24和辅助振荡器22(以下也称为“主控振荡器”)，辅助振荡器22与机械制动装置的控制装置26相关联，以向其提供基准频率。主控振荡器22是辅助振荡器，只要直接为钟表机芯的运行定时的主振荡器是以上提到的机械振荡器即可，后者因此是从动振荡器。应当注意的是，可以设想辅助振荡器的各种类型，特别是电子类型，例如具有石英谐振器的振荡器，或甚至与控制电路一起完全集成在电子电路中的振荡器。通常，辅助振荡器本质上或通过设计比布置在钟表机芯中的主机械振荡器更精确。

[0050] 通常，机械制动装置24布置成能够以根据设定点频率/周期选择并由主控振荡器22决定的制动频率周期性地向机械谐振器6施加机械制动脉冲。该功能在图1中通过制动构件28示意性地示出，制动构件28包括适于与摆轮的外轮30的外侧表面32相接触的垫。该制

动构件是可移动的(这里为平移),以便能够在机械谐振器6上瞬时地施加制动转矩,且制动构件的往复运动由控制装置26控制,控制装置26以制动频率周期性地致动,使得制动构件周期性地与摆轮接触以便向其施加机械制动脉冲。

[0051] 然后,由机械谐振器6和机械制动装置24形成的系统配置成使得机械制动装置能够在机械谐振器至少在一定的连续或准连续的位置范围内的任何位置处开始机械制动脉冲,由此该机械谐振器适合于沿着其总振荡轴线通过。图1所示的情形对应于一个优选的替代实施例,其中由机械谐振器和机械制动装置形成的系统配置成使得机械制动装置能够基本上在从动机械振荡器的可用操作范围内的振荡周期的任何时间向机械谐振器施加机械制动脉冲。实际上,外轮30的外侧表面32在此是连续的且圆形的,使得径向移动的制动构件28的垫可在摆轮的任何角位置处施加制动转矩。因此,特别地,制动脉冲可以在机械谐振器的两个端部角位置(从动机械振荡器的两个振幅分别在其机械谐振器的中性点的两侧)之间的任何角位置处开始,所述两个端部角位置可以在从动机械振荡器运行时获得。

[0052] 最后,周期性机械制动脉冲各自基本上具有小于对由机械谐振器6和维持装置12形成的从动机械振荡器的振荡限定的设定点周期的四分之一的持续时间。

[0053] 在一个有利的实施例中,校正装置20的多种元件形成机械机芯4的独立模块。因此,该同步模块可以在其在封盖之前发生的最终组装步骤中安装在表壳中期间组装或与机械运动相关联。特别地,这种模块可以附接到围绕钟表机芯的壳体环(casing ring)上。应当理解,一旦钟表机芯被完全组装并调整,同步模块就因此可以有利地与钟表机芯相关联,该模块的组装和拆卸是可能的,不必对机械机芯本身进行操作。

[0054] 在借助于图2至5详细描述这种钟表的显著操作以及如何获得主机械振荡器与主控辅助振荡器的同步之前,将描述一些具有电/电子类型的辅助振荡器和机电类型的机械制动装置的特定实施例。

[0055] 根据图2所示的第一特定实施例,钟表34包括机械钟表机芯(仅示出了谐振器6)和用于校正用于显示至少一个时间数据项的机构的潜在时间漂移的校正装置36,其中通过由谐振器6形成的机械振荡器来控制运行的步调。校正装置36包括机电致动器38、由电子控制电路40和时钟电路50形成的电子电路、石英谐振器42、太阳能电池44和储存由太阳能电池供应的电能的蓄电池46。致动器38由电源电路39和可动制动构件41形成,可动制动构件41响应于由电子控制电路40提供的控制信号而被致动,以便在机械制动脉冲期间向机械谐振器6的振荡构件施加一定的机械力。为此,致动器38包括由电路39供电的压电元件,根据控制信号向该压电元件施加电压。当压电元件瞬时接通时,制动构件与摆轮的制动表面接触以便将其制动。

[0056] 在图2所示的示例中,形成制动构件的板条41在施加电压时弯曲并且其端部压靠在摆轮8的外轮30的圆形侧表面32上。因此,该外轮限定圆形制动表面。制动构件包括可移动部分,这里是板条41的端部部分,其限定制动垫,该制动垫设置成在施加机械制动脉冲时对圆形制动表面施加压力。用于枢转的振荡构件(摆轮)和至少一个可径向移动的制动垫的圆形制动表面在本发明的范围内形成具有关键优点的机械制动系统。实际上,在一个优选的替代实施例中,振荡构件和制动构件设置成使得机械制动脉冲通过制动构件与振荡构件的制动表面之间的动态干摩擦施加。

[0057] 应该注意的是,制动表面可以不是摆轮的外轮的外侧表面。在一未示出的替代实

施例中，摆轮的中心轴限定圆形制动表面。在这种情况下，制动构件的垫设置成在施加机械制动脉冲时对中心轴的该表面施加压力。

[0058] 作为非限制性示例，对于由摆轮游丝形成的钟表谐振器，其中游丝的常数k＝5.75E-7Nm/rad，惯量I＝9.1E-10kg·m^2，并且设定点频率$F0_C$等于4Hz，可以考虑钟表机芯的第一替代实施例，其中非同步运行有些不精确，日误差约为五分钟，以及又一钟表机芯的第二替代实施例，其中非同步运行更精确，日误差约为30秒。在第一替代实施例中，制动转矩的值的范围在0.2μNm与10μNm之间，制动脉冲的持续时间的值的范围在5ms与20ms之间并且相对于用于施加周期性制动脉冲的制动周期的值的范围在0.5s与3s之间。在第二替代实施例中，制动转矩的值的范围在0.1μNm与5μNm之间，周期性制动脉冲的持续时间的值的范围在1ms与10ms之间，并且制动周期的值的范围在3s与60s之间，即每分钟至少一次。

[0059] 图3是示出钟表34的控制电路40的一个替代实施例的图。该控制电路一方面连接到时钟电路50，另一方面连接到机电致动器38。时钟电路50保持石英谐振器42并且继而以特别是等于2^{15}Hz的基准频率产生时钟信号S_Q。石英谐振器和时钟电路一起形成主振荡器。时钟信号S_Q连续地供应给两个分路器DIV1和DIV2(这两个分路器能够形成同一分路器的两级)。分路器DIV2将周期信号S_D供应给计数器52。信号S_D的频率例如等于1Hz、2Hz或4Hz。计数器52是N位计数器，即它在循环中对信号S_D的连续脉冲数N进行计数，并且每当其达到该数N时经由它供应给计时器54(“计时器”)的信号S_R传送脉冲。在接收到每个脉冲时，计时器立即打开开关56以接通并因此以持续时间T_{Imp}为机电致动器38供电，该持续时间限定每个制动脉冲的持续时间。由于该持续时间实质上小于$T0_C/4$($T0_C$是机械振荡器的设定点周期)并且优选地大幅小于该值，特别是在1ms与10ms之间，所以计时器从分路器DIV1接收计时信号。

[0060] 在机械振荡器的设定点频率$F0_C$等于4Hz($F0_C$＝4Hz)、信号S_D的脉冲频率等于8Hz并且数N等于16的示例中，信号S_R的制动频率F_{FR}于是为0.5Hz，这意味着每八个周期$T0_C$(即机械振荡器的大约每八个周期)有一个制动脉冲，只要其自然频率F0接近设定点频率$F0_C$即可。在一个替代实施例中，计数器52被省略，并且分路器DIV2将脉冲直接传递给计时器以周期性地接合计时器。在这种情况下，优选地，信号S_D的脉冲频率等于或小于设定点频率F0的两倍。因此，对于F0＝4Hz，信号S_D的频率等于或小于8Hz，因为优选地机械振荡器的每个半周期最多有一个制动脉冲。

[0061] 参考图4，将描述钟表62的第二特定实施例，其与前一实施例的不同之处首先在于其制动装置64的布置。该制动装置的致动器包括两个制动模块66和68，每个制动模块都由通过磁体-线圈磁系统70A和70B致动的板条41A和41B形成。两个磁系统的线圈分别由两个电源电路72A和72B控制，电源电路72A和72B电连接到电子电路40,50。板条41A和41B分别形成第一制动构件和第二制动构件，其限定适于压靠在摆轮8A的外轮30A的外侧表面32A上的两个制动垫。这两个制动垫设置成使得在施加周期性制动脉冲时，它们分别向摆轮的外轮施加相对于摆轮的旋转轴线和并在相反的方向上的两个径向相对的径向力。显然，在制动脉冲期间由两个垫中的每一个施加的力偶被为基本上等于另一个。因此，在摆轮的总平面中的力的合力基本上为零，使得在制动脉冲期间没有径向力施加到摆轮轴。这防止了对该摆轮轴的枢轴并且更一般地在与这些枢轴相关联的轴承处的机械应力。这种布置可以有利地结合在替代实施例中，其中在摆轮轴上或在由该轴承载的盘上进行制动。

[0062] 于是，谐振器6A与前一实施例的不同之处在于摆轮8A包括具有空腔74(在摆轮的总平面中)的外轮30A，其中装有用于平衡摆轮的螺钉76。因此，外侧表面32A不再限定连续的圆形表面，而是具有四个连续的角形扇区的不连续的圆形表面。然而，应该注意的是，板条41A和41B具有接触表面，该接触表面具有这样的范围，使得即使当这两个空腔面向两个板条端部时，也可以针对摆轮的任何角位置保留制动脉冲，如图4所示。

[0063] 在一个替代实施例中，施加到摆轮的制动力为轴向的。在这种替代实施例中，有利的是第二实施例类型的机械制动装置，即，两个制动垫彼此轴向面对地布置，并且摆轮的外轮特别地经过其间。因此，致动器设置成使得在施加制动脉冲时，两个垫向摆轮施加两个相反方向的基本上对齐的轴向力。在此在制动脉冲期间由两个垫中的每一个施加的力偶彼此基本上相等。

[0064] 根据第三特定实施例的钟表80在图5中示出。其与第一实施例的不同之处主要在于包括钟表式电机86和制动构件90的致动器的选择，制动构件90安装在该电机的转子88(具有永磁体)上，以便当转子进行一定的旋转时，在谐振器6的摆轮8的外轮上施加一定的力，所述旋转由电机线圈的电源82在制动脉冲期间响应于由控制电路40供应的控制信号而引起。

[0065] 根据各种替代实施例，机电致动器包括压电元件或磁阻元件，或用于致动所述制动构件的电磁系统。

[0066] 下文将参考图6和7描述在引起本发明的发展范围内强调并在根据本发明的钟表中实现的同步方法中涉及的显著的物理现象。理解这种现象将使得可以更好地理解由调节机械机芯的运行的校正装置获得的同步，该结果将在下文中详细描述。

[0067] 在图6和7中，第一曲线图示出了时刻t_{P1}，在该时刻，制动脉冲P1或P2施加到所讨论的机械谐振器，以对通过由该谐振器形成的机械振荡器控制步调的机构的运行进行校正。后两幅曲线图分别显示了随时间推移的机械谐振器的振荡构件(以下也称为“摆轮”)的角速度(以弧度/秒:[rad/s]为单位的值)和角位置(弧度值:[rad])。曲线90和92分别对应于在发生制动脉冲之前自由振荡(以其自然频率振荡)的摆轮的角速度和角位置。在制动脉冲之后，示出了速度曲线90a和90b，其分别对应于谐振器在受制动脉冲干扰的情形和无干扰情形中的行为。类似地，位置曲线92a和92b分别对应于谐振器在受制动脉冲干扰的情形中和无干扰情形中的行为。图中，制动脉冲P1和P2发生的时刻t_{P1}和t_{P2}对应于这些脉冲的中点的时间位置。然而，制动脉冲的开始及其持续时间被认为是在时间方面定义制动脉冲的两个参数。

[0068] 应注意，脉冲P1和P2在图6和7中由二进制信号表示。然而，在下文的说明中，考虑了施加到机械谐振器而不是控制脉冲的机械制动脉冲。因此，应该注意的是，在某些实施例中，特别是对于具有机械控制装置的机械校正装置，控制脉冲可以至少部分地在施加机械制动脉冲之前发生。在这种情况下，在以下说明中，制动脉冲P1、P2对应于施加到谐振器的机械制动脉冲而不是先前的控制脉冲。

[0069] 还应注意，制动脉冲可以被施加恒定的力偶或非恒定的力偶(例如基本上以高斯或正弦曲线)。术语“制动脉冲”表示力偶对机械谐振器的瞬时施加，其制动其振荡构件(摆轮)，即对抗该振荡构件的振荡运动。在可变的不同于零的力偶的情况下，脉冲的持续时间通常被定义为该脉冲的一部分，其具有很大的力偶以制动机械谐振器。应该注意的是，制动

脉冲可能表现出显著的变化。它甚至可能波动并形成一系列较短的脉冲。在恒定力偶的情况下,每个脉冲的持续时间小于设定点半周期,并且优选地小于设定点周期的四分之一。应该注意的是,每个制动脉冲可以制动机械谐振器而不是如在图6和7中那样使其停止,或者在制动脉冲期间使其停止并且在该制动脉冲的剩余部分期间瞬时地将其锁定。

[0070] 机械振荡器的每个自由振荡周期T0限定第一半周期$A0^1$,接着是第二半周期$A0^2$,其各自都发生在限定该机械振荡器的振荡幅度的两个结束位置之间,每个半周期具有相同的持续时间t0/2并且呈现出机械谐振器在中间时刻通过其零位置。两次连续的振荡半周期限定两个半周期,在此期间摆轮分别维持一个方向上的振荡运动以及随后另一方向上的振荡运动。换句话说,一个半周期对应于摆轮在其限定振荡幅度的两个结束位置之间的在一个方向或另一方向上的振荡。通常,观察到发生制动脉冲的振荡周期的变化,并因此观察到机械振荡器的频率的孤立变化。事实上,时间变化涉及在此期间发生制动脉冲的唯一半周期。术语"中间时刻"表示基本上在半周期的中点发生的时刻。当机械振荡器自由振荡时尤其如此。另一方面,对于在此期间发生调节脉冲的半周期,由于调节装置引起的机械振荡器的干扰,该中间时刻不再精确地对应于这些半周期中的每一个半周期的持续时间的中点。

[0071] 现在将描述机械振荡器在其振荡频率的第一校正情形中的行为,该第一校正情形对应于图6中所示的情形。在第一时间段T0之后,然后分别开始新的时间段T2和新的半周期A1,在此期间发生制动脉冲P1。在初始时刻t_{D1}开始半周期A1,谐振器14占据对应于结束位置的最大正角位置。然后,制动脉冲P1在时刻t_{P1}处发生,该时刻t_{P1}位于谐振器经过其中性位置的中间时刻t_{N1}之前,因此也位于无干扰振荡的相应中间时刻t_{N0}之前。最后,半周期A1在结束时刻t_{F1}结束。在标记半周期A1开始的时刻t_{D1}之后的时间区间T_{A1}之后触发制动脉冲。持续时间区间T_{A1}小于四分之一周期T0/4减制动脉冲P1的持续时间。在给出的示例中,该制动脉冲的持续时间远小于四分之一周期T0/4。

[0072] 在该第一种情况下,制动脉冲因此在半周期开始与谐振器在该半周期中通过其中性位置之间产生。在制动脉冲P1期间,角速度的绝对值减小。这在谐振器的振荡中引起负时间相移T_{C1},如图6中由角速度的两条曲线90a和90b以及角位置的两条曲线92a和92b所示,即相对于未受干扰的理论信号(用虚线示出)的延迟。因此,半周期A1的持续时间增加了时间区间T_{C1}。因此,包括半周期A1的振荡周期T1相对于值T0延长。这引起了机械振荡器频率的孤立降低和相关机构的瞬时减速,该机构的运行由该机械振荡器调节。

[0073] 参考图7,下面将描述机械振荡器在其振荡频率的第二校正情形中的行为。在第一时间段T0之后,然后开始新的振荡周期T2和相应的半周期A2,在该半周期A2期间发生制动脉冲P2。在初始时刻t_{D2}开始半周期A2,然后机械谐振器处于结束/端部位置(最大负角位置)。在对应于四分之一周期的四分之一时间段(T0/4)之后,谐振器在中间时刻t_{N2}到达其中性位置。然后,制动脉冲P2在时刻t_{P2}发生,该时刻t_{P2}位于谐振器经过其中性位置的中间时刻t_{N2}之后的半周期A2中。最后,在制动脉冲P2之后,该半周期A2在结束时刻t_{F2}结束,在该结束时刻谐振器再次占据结束位置(时间段T2中的最大正角位置)并且因此也在无干扰振荡的相应结束时刻t_{F0}之前。制动脉冲在半周期A2的初始时刻t_{D2}之后的时间区间T_{A2}之后触发。时间区间T_{A2}大于四分之一周期T0/4并且小于半周期T0/2减去制动脉冲P2的持续时间。在给出的示例中,该制动脉冲的持续时间远小于四分之一周期。

[0074] 在所讨论的第二情形中,因此在一个半周期中,在谐振器通过其中性位置的中间

时刻与该半周期结束的结束时刻之间产生制动脉冲。角速度的绝对值在制动脉冲P2期间降低。显然，制动脉冲在此引起如图4中通过角速度的两条曲线90b和90c以及角位置的两条曲线所示的谐振器的振荡中的正时间相移T_{C2}，即相对于不受干扰的理论信号(用虚线示出)的提前。因此，半周期A2的持续时间减少了时间区间T_{C2}。因此，包括半周期A2的振荡周期T2比值T0短。这引起机械振荡器的频率的孤立升高和相关机构的瞬时加速，该机构的运行由该机械振荡器控制步调。此现象出乎意料且不明显，这是本领域的技术人员过去忽视了它的原因。实际上，通过制动脉冲获得机构的加速原则上是出乎意料的，但是当这种运行由机械振荡器定时并且制动脉冲施加到其谐振器时情况确实如此。

[0075] 以上对机械振荡器提到的物理现象在根据本发明的钟表中实施的同步方法中涉及。与钟表领域中的一般教导不一样，不仅可以利用制动脉冲降低机械谐振器的频率，而且可以也利用制动脉冲提高这种机械振荡器的频率。本领域的技术人员将期待能够在实践中利用制动脉冲仅降低机械振荡器的频率，并且通过推论能够在向所述振荡器供给动力时通过施加驱动脉冲来仅提高这种机械振荡器的频率。已在钟表领域中确立并且因此由本领域的技术人员首先想到的这种直观的想法证实对于机械振荡器是不正确的。因此，如下文详细描述的，可以经由限定主振荡器的辅助振荡器来同步机械振荡器，此外，该机械振荡器非常精确，无论它是否瞬时地具有稍微过高或过低的频率。因此，仅借助于制动脉冲就可以校正太高的频率或太低的频率。总之，在摆轮游丝的振荡半周期期间施加制动力偶根据在摆轮游丝通过其中性位置之前或之后是否分别施加所述制动转矩而引起该摆轮游丝的振荡的负相位或正相移。

[0076] 下面描述结合在根据本发明的钟表中的校正装置的最终同步方法。在图8A中示出了在250ms的振荡周期期间以300°的振幅振荡的钟表机械谐振器的角位置(以度为单位)。在图8B中示出了在机械谐振器的连续振荡周期中根据制动脉冲在这些周期内的施加时间并因此根据机械谐振器的角位置施加的一毫秒(1ms)的制动脉冲所产生的日误差。这里基于以下事实：机械振荡器以4Hz的自然频率(无干扰情况)下自由运行。对于每个制动脉冲施加的三个力偶(100nNm、300nNm和500nNm)分别给出三条曲线。结果证实了上述物理现象，即在第一个四分之一周期或第三个四分之一周期内发生的制动脉冲引起源于机械振荡器频率降低的延迟，而第二个四分之一周期或第四个四分之一周期内发生的制动脉冲引起源于机械振荡器的频率升高的提前。然后观察到，对于给定的力偶，对于在谐振器的中性位置处发生的制动脉冲日误差等于零，该日误差在接近振荡的结束位置时增大(绝对值)。在谐振器的速度经过零并且运动方向改变的该结束位置处，日误差的符号突然反转。最后，在图8C中根据在振荡期间施加制动脉冲的时间给出了上述三个力偶值所消耗的制动功率。随着速度在接近谐振器的结束位置时降低，制动功率降低。因此，当所引起的日误差在接近结束位置降低时，所需的制动功率(和因此振荡器所损耗的能量)显著降低。

[0077] 图8B中引起的误差事实上可以对应于机械振荡器具有不对应于设定点频率的自然频率的情况的校正。因此，如果振荡器具有太低的自然频率，则在振荡周期的第二或第四个四分之一周期发生的制动脉冲可以使得能够校正由自由(无干扰)振荡所采用的延迟，该校正根据振荡周期内的制动脉冲的时间或多或少是实质性的。另一方面，如果振荡器具有过高的自然频率，则在振荡周期的第一或第三个四分之一周期中发生的制动脉冲可以使得能够校正自由振荡所采用的提前，该校正根据振荡周期内的制动脉冲的时间或多或少是实

质性的。

[0078] 上面给出的教导使得可以理解通过以制动频率F_{FR}仅对从动机械谐振器周期性地施加制动脉冲来使主机械振荡器(从动振荡器)与形成主控振荡器的辅助振荡器同步的显著现象,制动频率F_{FR}有利地对应于设定点频率$F0_C$的两倍除以正整数N,即$F_{FR}=2\cdot F0_C/N$。因此,制动频率与主控振荡器的设定点频率成比例,并且一旦给出正整数N便仅取决于该设定点频率。由于设定点频率等于分数乘以基准频率,因此制动频率与基准频率成比例并由该基准频率确定,该基准频率由辅助振荡器提供,该辅助振荡器本质上或者设计上比主机械振荡器更精确。

[0079] 现在将借助于图9至22更详细地描述通过结合在根据本发明的钟表中的校正装置获得的上述同步。

[0080] 在图9中在上部曲线图中示出了自由振荡(曲线100)和制动振荡(曲线102)的从动机械谐振器、特别是钟表谐振器的摆轮游丝的角位置。自由振荡的频率大于设定点频率$F0_C=4Hz$。这里,第一机械制动脉冲104(下文也称为"脉冲")在通过结束位置与通过零之间的四分之一周期中每个振荡周期发生一次。该选择是任意的,因为所设想的系统不检测机械谐振器的角位置;因此,这仅仅是可能的假设,其将在下文中进行分析。因此,这里观察到机械振荡器减速的情形。这里第一制动脉冲的制动转矩大于最小制动转矩,以补偿自由振荡器在振荡周期内所采用的提前。这引起第二制动脉冲稍微在发生这些脉冲的四分之一周期内的第一个四分之一周期之前发生。给出机械振荡器的瞬时频率的曲线106实际上表示瞬时频率低于第一脉冲的设定点频率。因此,第二制动脉冲更靠近前一结束位置,使得制动效果随后续脉冲逐渐增加。在瞬时阶段,振荡器的瞬时频率因此逐渐降低,并且脉冲逐渐移动靠近振荡的结束位置。在一定时间之后,制动脉冲包括通过结束位置,其中机械谐振器的速度改变方向,然后瞬时频率开始升高。

[0081] 制动的特征在于,无论其运动方向如何,它都对抗谐振器的运动。因此,当谐振器在制动脉冲期间经过其振荡方向的反转时,制动转矩在该反转时自动改变符号。这给出了制动脉冲104a,其对于制动转矩具有带第一符号的第一部分和带与第一符号相反的第二符号的第二部分。在这种情形中,信号的第一部分因此在结束位置之前发生并且对抗在该结束位置之后发生的第二部分的效果。虽然第二部分降低了机械振荡器的瞬时频率,但第一部分升高该瞬时频率。然后,校正降低以最终并且相对快速地稳定在振荡器的瞬时频率等于设定点频率(这里对应于制动频率)的值。因此,瞬时阶段接着稳定阶段(也称为同步阶段),其中振荡频率基本上等于设定点频率,并且制动脉冲的第一和第二部分具有基本恒定和确定的比率。。

[0082] 图10中的曲线图与图9中的曲线图相当。主要区别在于自由机械振荡器的自然频率的值小于设定点频率$F0_C=4Hz$。第一脉冲104在与图9中相同的四分之一周期中发生。如所预期的,观察到由曲线110给出的瞬时频率的降低。因此,具有制动108的振荡在瞬时阶段瞬时地采用更多的延迟,直到脉冲104b开始涵盖谐振器通过结束位置。从此时起,瞬时频率开始升高,直到其达到设定点频率,因为在结束位置之前发生的脉冲的第一部分升高了瞬时频率。这种现象是自动的。实际上,当振荡周期的持续时间大于$T0_C$的持续时间时,脉冲的第一部分增加而第二部分减少,因此瞬时频率继续升高到稳定状态,其中设定点周期基本上等于振荡周期。因此,获得了期望的同步。

[0083] 图11中的曲线图与图10中的曲线图相当。主要区别在于第一制动脉冲114在与图10中不同的另一四分之一周期中发生，即在通过零与通过结束位置之间的四分之一周期中发生。如上所述，在瞬时阶段，这里观察到由曲线112给出的瞬时频率的升高。这里第一制动脉冲的制动转矩大于最小制动转矩，以补偿自由机械振荡器在振荡周期内采用的延迟。这导致第二制动脉冲稍微在发生这些脉冲的四分之一周期内的第一个四分之一周期之后发生。曲线112确实显示了振荡器的瞬时频率从第一脉冲升高到设定点频率以上。因此，第二制动脉冲更接近随后的结束位置，使得制动效果随后续脉冲逐渐增加。在瞬时阶段，具有制动114的振荡的瞬时频率因此升高并且制动脉冲逐渐移动靠近振荡的结束位置。在一定时间之后，制动脉冲包括通过结束位置，其中机械谐振器的速度改变方向。从那时起，观察到与上述类似的现象。然后，制动脉冲114a具有两个部分，并且第二部分降低瞬时频率。出于与参考图9和10给出相同的原因，瞬时频率的这种降低持续到其具有等于设定点值的值为止。当瞬时频率基本上等于设定点频率时，频率的降低自动停止。然后获得机械振荡器在同步阶段中稳定在设定点频率。

[0084] 将借助于图12至15描述机械振荡器在振荡周期期间发生第一制动脉冲的任何时刻在瞬时阶段中的行为，以及对应于振荡频率稳定在设定点频率的同步阶段的最终情形。图12表示具有机械谐振器的位置的曲线S1的振荡周期。在这里讨论的情形中，自由机械振荡器的固有振荡频率F0(没有制动脉冲)大于设定点频率$F0_C$($F0>F0_C$)。振荡周期通常包括第一半周期A1，随后是第二半周期A2，其各自都在对应于振荡幅度的两个结束位置(t_{m-1},A_{m-1};t_m,A_m;t_{m+1},A_{m+1})之间。然后，在第一半周期中，示出了制动脉冲“Imp1”，其中中点时刻位置在时刻t_1出现，而在第二半周期中，示出了另一制动脉冲“Imp2”，其中点时间位置在时刻t_2出现。脉冲Imp1和Imp2表现出T0/2的相移，并且它们的特征在于，对于给定的制动转矩曲线，它们对应于引起系统的两种不稳定平衡的校正。由于这些脉冲分别发生在振荡周期的第一和第三个四分之一周期中，因此它们将机械振荡器制动到一定程度，使得可以精确地校正自由机械振荡器的过高自然频率(为施加制动脉冲而选择的制动频率)。应该注意的是，脉冲Imp1和Imp2均属于第一脉冲，每个脉冲在没有另一脉冲的情况下被独立地考虑。应该观察到脉冲Imp1和Imp2的效果是相同的。

[0085] 如果第一脉冲在时刻t_1或t_2发生，则因此在理论上将存在该情形在下一个振荡周期期间的重复和等于设定点频率的振荡频率。对于这种情形，应该注意两件事。首先，尽管有可能，但是第一脉冲恰好在时刻t_1或t_2发生的概率相对较低。其次，如果出现这种特定情形，则它将无法持续很长时间。实际上，由于各种原因(振荡幅度，温度，空间取向的变化等)，钟表中的摆轮游丝的瞬时频率随时间推移略微变化。尽管这些原因代表了在高级制表中通常寻求最小化的干扰，但事实仍然是，在实践中，这种不稳定的平衡不会持续很长时间。应当注意，制动转矩越高，时刻t_1和t_2越接近机械谐振器分别在这两个时刻之后通过其中性位置的两个通过时间。还应注意的是，固有振荡频率F0与设定点频率$F0_C$之间的差值越大，时刻t_1和t_2也越接近机械谐振器分别在这两个时刻之后通过其中性位置的两个通过时间。

[0086] 现在来看在施加脉冲期间稍微偏离时间位置t_1或t_2时会发生什么。根据参考图8B给出的教导，如果在区域Z1a中的脉冲Imp1的左侧(先前时间位置)发生脉冲，则校正增加，使得在随后的周期期间，前一个结束位置A_{m-1}将逐渐接近制动脉冲。另一方面，如果在脉冲

Imp1的右侧(后续时间位置)发生脉冲,则在零位置的左侧校正减少,使得在随后的周期期间脉冲向该零位置漂移,其中校正变为零。实际上,脉冲的影响改变并且发生瞬时频率的升高。由于自然频率已经过高,脉冲将迅速漂移到结束位置A_m。因此,如果在区域Z1b中的脉冲Imp1的右侧发生脉冲,则后续脉冲将逐渐接近随后的结束位置A_m。在第二半周期A2中观察到相同的行为。如果在区域Z2a中的脉冲Imp2的左侧发生脉冲,则后续脉冲将逐渐接近前一结束位置A_m。另一方面,如果在区域Z2b中的脉冲Imp2的右侧发生脉冲,则后续脉冲将逐渐接近后续结束位置A_{m+1}。应该注意的是,该公式是相对的,因为事实上制动脉冲的施加频率由主振荡器(给定的制动频率)设定,使得振荡周期变化,因此它是所讨论的接近制动脉冲的施加时间的结束位置。总之,如果在除t_1之外的时间在第一半周期A1中发生脉冲,则瞬时振荡频率在随后的振荡周期期间的瞬时阶段中进行,使得该第一半周期的两个结束位置中的一个(机械谐振器的运动方向反转的位置)逐渐接近制动脉冲。这同样适用于第二半周期A2。

[0087] 图13示出了对应于在上述瞬态阶段之后发生的最终稳定状态的同步阶段。如上所述,一旦在制动脉冲期间发生通过结束位置,该结束位置将与制动脉冲对准,前提是这些制动脉冲配置(力偶和持续时间)成能够充分校正自由机械振荡器的时间漂移,至少根据情况恰好在结束位置之前或之后完全发生制动脉冲。因此,在同步阶段,如果在第一半周期A1中发生第一脉冲,则振荡的结束位置A_{m-1}与脉冲Imp1a对准,或者振荡的结束位置A_m与脉冲Imp1b对准。在基本恒定的力偶的情况下,脉冲Imp1a和Imp1b各自具有第一部分,其中第一部分的持续时间短于其第二部分的持续时间,以便精确地校正从动主振荡器的太高的自然频率与由主辅助振荡器设定的设定点频率之间的差异。类似地,在同步阶段中,如果在第二半周期A2中发生第一脉冲,则振荡的结束位置A_m与脉冲Imp2a对准,或者振荡的结束位置A_{m+1}与脉冲Imp2b对准。

[0088] 应注意,脉冲Imp1a和Imp1b、Imp2a和Imp2b分别占据相对稳定的时间位置。实际上,由于外部干扰,这些脉冲之一左侧或右侧的轻微偏差将具有使后续脉冲返回到初始相对时间位置的效果。然后,如果机械振荡器的时间漂移在同步阶段期间变化,则振荡将自动维持轻微的相移,使得脉冲Imp1a和Imp1b、Imp2a和Imp2b的第一部分和第二部分之间的比率以使由制动脉冲引起的校正适应新的频率差的程度变化。根据本发明的钟表的这种行为确实非常出色。

[0089] 图14和15类似于图12和13,但是针对于振荡器的自然频率小于设定点频率的情形。因此,对应于由制动脉冲进行的校正中的不稳定平衡情形的脉冲Imp3和Imp4分别位于第二和第四个四分之一周期(时刻t_3和t_4)中,其中脉冲引起振荡频率的升高。这里将不再详细解释,因为系统的行为源于前面的考虑。在瞬时阶段(图14)中,如果在区域Z3a中的脉冲Imp3左侧的半周期A3中发生脉冲,则前一个结束位置(t_{m-1},A_{m-1})将逐渐接近后续脉冲。另一方面,如果在区域Z3b中的脉冲Imp3的右侧发生脉冲,则后续结束位置(t_m,A_m)将逐渐接近后续脉冲。类似地,如果在区域Z4a中的脉冲Imp4左侧的半周期A4中发生脉冲,则前一个结束位置(t_m,A_m)将逐渐接近后续脉冲。最后,如果在区域Z4b中的脉冲Imp4的右侧发生脉冲,则后续结束位置(t_{m+1},A_{m+1})将在过渡阶段期间逐渐接近后续脉冲。

[0090] 在同步阶段(图15)中,如果在第一半周期A3中发生第一脉冲,则振荡的结束位置A_{m-1}与脉冲Imp3a对准,或者振荡的结束位置A_m与脉冲Imp3b对准。在基本上恒定的力偶的情

况下，脉冲Imp3a和Imp3b各自具有第一部分，其中持续时间长于其第二部分的持续时间，以便精确地校正从动主振荡器的太低的自然频率与由主辅助振荡器设定的设定点频率之间的差异。类似地，在同步阶段中，如果在第二半周期A4中发生第一脉冲，则振荡的结束位置A_m与脉冲Imp4a对准，或者振荡的结束位置A_{m+1}与脉冲Imp4b对准。在上面参考图12和13描述的情形的范围内进行的其它考虑通过类比应用于图14和15的情形。总之，无论自由机械振荡器的自然频率是太高还是太低，并且无论在振荡周期内施加第一制动脉冲的时间如何，根据本发明的校正装置都是有效的并且快速使为机械机芯的运行定时的机械振荡器的频率与由主控辅助振荡器的基准频率决定的设定点频率同步，该辅助振荡器控制制动脉冲施加到机械振荡器的谐振器的制动频率。如果机械振荡器的自然频率变化并且即使在某些时间段内大于设定点频率，而在其它时间段中它小于该设定点频率，则仍然如此。

[0091] 上面给出的教导和借助于根据本发明的钟表的特征获得的同步也适用于施加制动脉冲的制动频率不等于设定点频率的情形。在每个振荡周期施加一个脉冲的情况下，在不稳定位置(t_1，Imp1；t_2，Imp2；t_3，Imp3；t_4，Imp4)发生的脉冲对应于用于补偿单个振荡周期期间的时间漂移的校正。另一方面，如果设想的制动脉冲具有足够的效果来校正多个振荡周期期间的时间漂移，则可以在每个等于多个振荡周期的时间区间施加单个脉冲。然后将观察到与每个振荡周期产生一个脉冲的情形相同的行为。考虑到发生脉冲的振荡周期，存在与上述情形中相同的瞬时阶段和相同的同步阶段。此外，如果在每个制动脉冲之间存在整数个的半周期，则这些考虑也是正确的。在奇数个半周期的情况下，根据情况，替代地做出从半周期A1或A3到图12到15中的半周期A2或A4的转换。由半周期偏移的两个脉冲的影响相同，所以可以理解的是，对两个连续制动脉冲之间的偶数个半周期执行同步。总之，如已经陈述的，一旦制动频率F_{FR}等于$2F0_C/N$，就观察到参考图12至15描述的系统的行为，$F0_C$是振荡频率的设定点频率，N是正整数。

[0092] 虽然意义不大，但应该注意的是，对于大于设定点频率(2F0)的两倍的制动频率FFR，也就是对于等于N乘以F0的值，其中N>2，也获得同步。在其中$F_{FR}=4F0$的替代实施例中，系统中仅存在对同步阶段没有影响的能量损耗，因为每两个脉冲中有一个发生在机械谐振器的中性点处。对于较高的制动频率F_{FR}，同步阶段中不在结束位置处发生的脉冲成对地抵消其影响。因此可以理解，这些是没有重大实际意义的理论情形。

[0093] 图16和17示出了替代实施例的同步阶段，其中制动频率F_{FR}等于设定点频率的四分之一，因此每四个振荡周期发生一个制动脉冲。图18和19分别是图16和17的局部放大图。图16涉及主振荡器的自然频率大于设定点频率$F0_C=4Hz$的情形，而图17涉及主振荡器的自然频率大于该设定点频率的情形。观察到仅发生制动脉冲Imp1b或Imp2a、Imp3b或Imp4a的振荡周期T1*和T2*表现出相对于固有时间段T0*的变化。制动脉冲仅在相应的周期中引起相移。因此，这里瞬时周期围绕等于设定点周期的平均值振荡。应当注意，在图16至19中，瞬时周期是从在振荡信号的上升边缘上经过零到这样的后续通过测定的。因此，在结束位置处发生的同步脉冲完全包括在振荡周期中。为了全面理解，图20显示了自然频率等于设定点频率的特定情形。在这种情况下，振荡周期T0*全都保持相等，制动脉冲Imp5恰好发生在自由振荡的结束位置，这些脉冲的第一和第二部分具有相同的持续时间(恒定制动转矩的情况)，使得第一部分的效果被第二部分的相反效果抵消。

[0094] 图21显示了设定点频率$F0_C=3Hz$的振荡周期的变化以及在机械振荡器的每三个

振荡周期发生的合适的制动脉冲，该机械振荡器调节时间指示机构的运行，该时间指示机构呈现出每天550秒——即每天约9分钟——的日误差。该误差非常显著，但机械制动装置配置成能够校正这种误差。这里制动效果必须相对显著，瞬时周期有很大的变化，但是平均周期基本上等于校正装置接合在根据本发明的钟表中之后的设定点周期和短的瞬时阶段。当校正装置不起作用时，如所预期的那样观察到总时间误差随着时间线性增加，而在校正装置接合之后该误差迅速稳定。因此，如果在校正装置和瞬时阶段的这种接合之后设定时间，则总误差(也称为“累积误差”)保持较低，使得钟表随后以与结合在该钟表中并与制动装置相关联的主控振荡器的精度一致的精度指示时间。

[0095] 图22示出了在根据本发明的校正装置接合之后从动机械振荡器的振幅的变化。在瞬时阶段中，在接近零位置(中性位置)发生第一脉冲的情形中观察到振幅的相对明显的减小。特别是在该瞬时阶段的第一部分中发生的多种制动脉冲引起相对显著的能量损耗，如在图8C中的曲线图所见。随后，能量损耗相对快速地减少，最终对于同步阶段中的给定校正变为最小。因此，观察到该振幅一旦脉冲包括通过机械谐振器的结束位置便增大并且在同步阶段的开始时继续增大，尽管耗散的制动能量然后稳定在其最小值，对机械振荡器的振幅变化假设相对较大的时间。因此，根据本发明的钟表还具有稳定在同步阶段中的优点，由于所设想的制动脉冲，振荡器消耗的能量在该同步阶段中最小。实际上，振荡器在其振幅稳定之后表现出所设想的制动脉冲的振幅的最小可能的减小。这是一个优点，因为当维持主振荡器的主发条被释放时，在确保精确运行的同时尽可能晚地实现执行机械机芯的操作的最小振荡幅度。因此，根据本发明产生同步的用于校正机械机芯的运行的装置对动力储备的影响最小。

[0096] 为了最小化由制动频率产生的干扰，特别是钟表机芯的能量损耗，优选地选择短脉冲持续时间，或甚至非常短的脉冲持续时间。因此，在一个通用的替代实施例中，制动脉冲的持续时间各自在设定点周期的1/400到1/10之间。在一优选的替代实施例中，制动脉冲的持续时间各自在所述设定点周期的1/400与1/50之间。在后一种情况下，对于等于5Hz的设定点频率，脉冲的持续时间在0.5ms与4ms之间。

[0097] 参考图1至图5，描述了具有机械谐振器的钟表，该机械谐振器具有圆形制动表面，从而使得制动装置基本上在由机械谐振器形成的机械振荡器的可用操作范围内的振荡周期的任何时间将机械制动脉冲施加到机械谐振器。这是一个优选的替代实施例。由于钟表机芯通常具有带有圆形外轮的摆轮，该外轮具有有利的连续外表面，所以上述优选的替代实施例可以容易地在这种机芯中实现，而不需要改造其机械振荡器。可以理解，该优选的替代实施例使得可以最小化瞬时阶段的持续时间并在最佳时间内执行所需的同步。

[0098] 然而，在一段时间之后，可以利用由机械谐振器和机械制动装置形成的系统获得稳定的同步，该机械系统配置成使得机械制动装置能够通过从动振荡器针对其可用操作范围的振幅范围在机械谐振器的中性位置的两侧中的第一侧限定的机械谐振器仅在该谐振器的连续或准连续位置范围内的任何位置处开始周期性制动脉冲。有利地，该位置范围在最小振幅侧至少增加与制动脉冲的持续时间基本上对应的角距离，以便通过动态干摩擦实现制动脉冲的最小振幅。因此，该位置可以在所有半周期中起作用，而不仅仅在每个振荡周期中起一次作用，于是有必要将该系统配置成使机械制动装置也能够在机械振荡器针对其可用操作范围的振幅范围内在所述中性位置的两侧中的第二侧在机械谐振器的任何位置

开始周期性制动脉冲。有利地，位置范围在最小振幅侧也至少增加与制动脉冲的持续时间基本对应的角距离。

[0099] 因此，在第一通用替代实施例中，机械谐振器的位置的上述连续或准连续范围在其中性位置的两侧中的第一侧至少在从动机械振荡器倾向于在该第一侧针对该机械振荡器的可用操作范围具有的振幅范围上并且此外有利地在振幅范围的最小振幅侧至少在与制动脉冲的持续时间基本上对应的角距离上延伸。在第二通用替代实施例中，除了上文在第一通用替代实施例中定义的连续或准连续范围(其是第一连续或准连续范围)之外，上述系统配置成使得机械制动装置也能够在其中性位置的两侧中的第二侧在机械谐振器的任何位置处开始周期性制动脉冲，至少在机械谐振器的第二连续或准连续位置范围中，所述位置范围在从动机械振荡器适于在该第二侧针对所述可用操作范围具有的振幅范围上并且此外有利地在后一振幅范围的最小振幅侧至少在所述第一角距离上延伸。

[0100] 在一个增强的替代实施例中，校正装置设置成使得制动频率可以采用多个值，优选地在校正装置的操作的初始阶段中的第一值和在初始阶段之后的正常操作阶段中的小于第一值的第二值。特别地，初始阶段的持续时间将被选择为使得正常操作阶段在同步阶段可能已经开始时发生。更一般地，初始阶段至少包括在校正装置接合之后的第一制动脉冲，并且优选地包括大部分瞬时阶段。通过升高制动脉冲的频率，减少了暂时阶段的持续时间。此外，该替代实施例一方面可以在初始阶段期间优化制动效率以执行引起同步的物理过程，并且另一方面可以最大限度地减少制动能量和因此主振荡器在同步阶段期间的能量损耗，所述能量损耗在校正装置未被停用且机械机芯正在运行时仍然存在。第一制动脉冲可以在谐振器的中性位置附近发生，其中制动效果在主振荡器的振荡引起的时间相移上较小。另一方面，一旦建立了同步，制动脉冲就发生在其中制动效果最大的该振荡的结束位置附近。

[0101] 在同步阶段中，因此该情形是稳健的并且已经以相对低的制动频率获得了同步的保持。因此，可以在同步阶段降低制动频率，同时保持同步具有令人满意的稳健性，特别是在钟表易于受到干扰或冲击的情况下。应该注意的是，所选择的制动频率也可以根据从动机械振荡外部的各种参数而变化，这些参数可以通过合适的传感器测量，特别是环境磁场的值、钟表中的温度或通过加速度计检测冲击。

[0102] 最后，在本发明的范围内，可以相对于施加到机械谐振器的机械力偶的强度和周期性制动脉冲的持续时间来区分两个周期性制动脉冲类别。关于第一类别，对于机械振荡器的可用操作范围，制动转矩和制动脉冲的持续时间，至少上述瞬时阶段的大多数时间内在周期性制动脉冲期间不会瞬时地锁定机械谐振器。在这种情况下，系统设置成使得机械制动力矩在每个制动脉冲期间至少在任何瞬时阶段的所述大多数时间内施加到从动机械谐振器。

[0103] 在一有利的替代实施例中，振荡构件和制动构件设置成使得周期性制动脉冲可以至少在任何瞬时阶段的所述大多数时间内基本上通过制动构件与振荡构件的制动表面之间的动态干摩擦施加。关于第二类别，对于机械振荡器的可用操作范围并且在上述同步阶段中，机械制动力矩和周期性制动脉冲的持续时间，以便在周期性制动脉冲期间至少在其结束部分中锁定机械谐振器。

[0104] 在一特定的替代实施例中，在同步阶段中，通过周期性制动脉冲对从动机械谐振

器的瞬时锁定,同时至少在任何瞬时阶段的初始部分中,其中周期性制动脉冲发生在机械谐振器的结束位置之外,机械谐振器不会被这些周期性制动脉冲锁定。

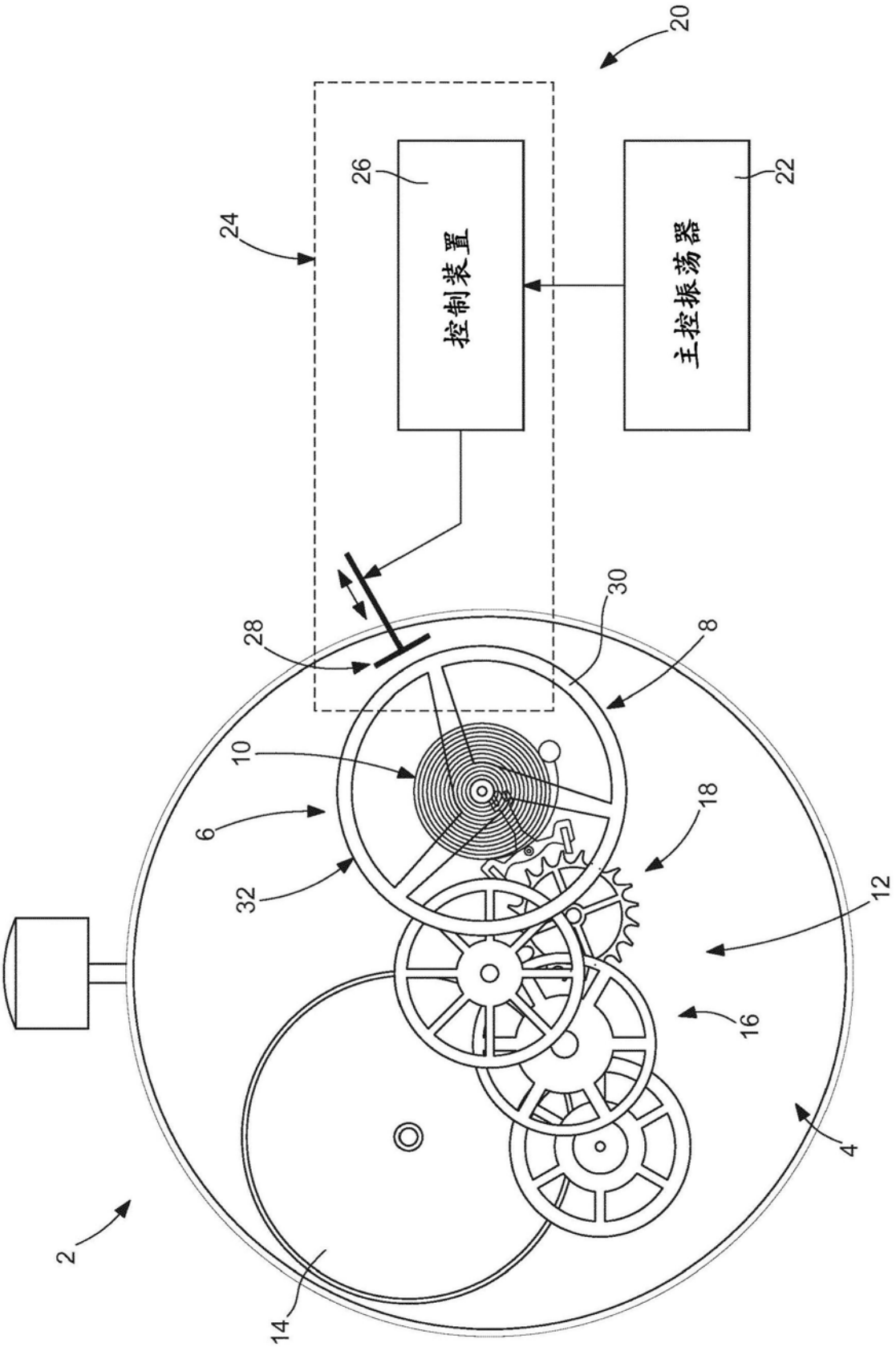


图1

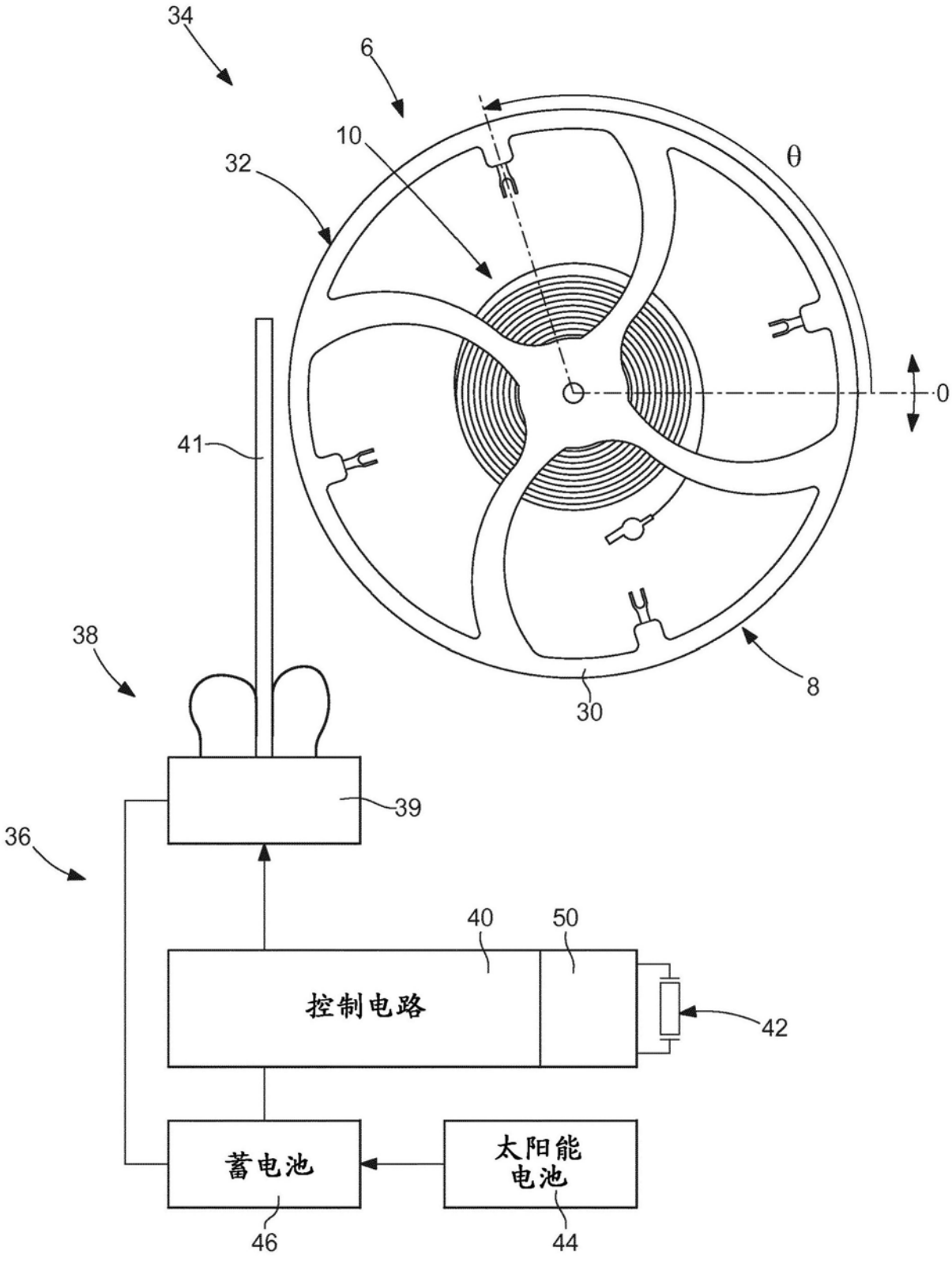


图2

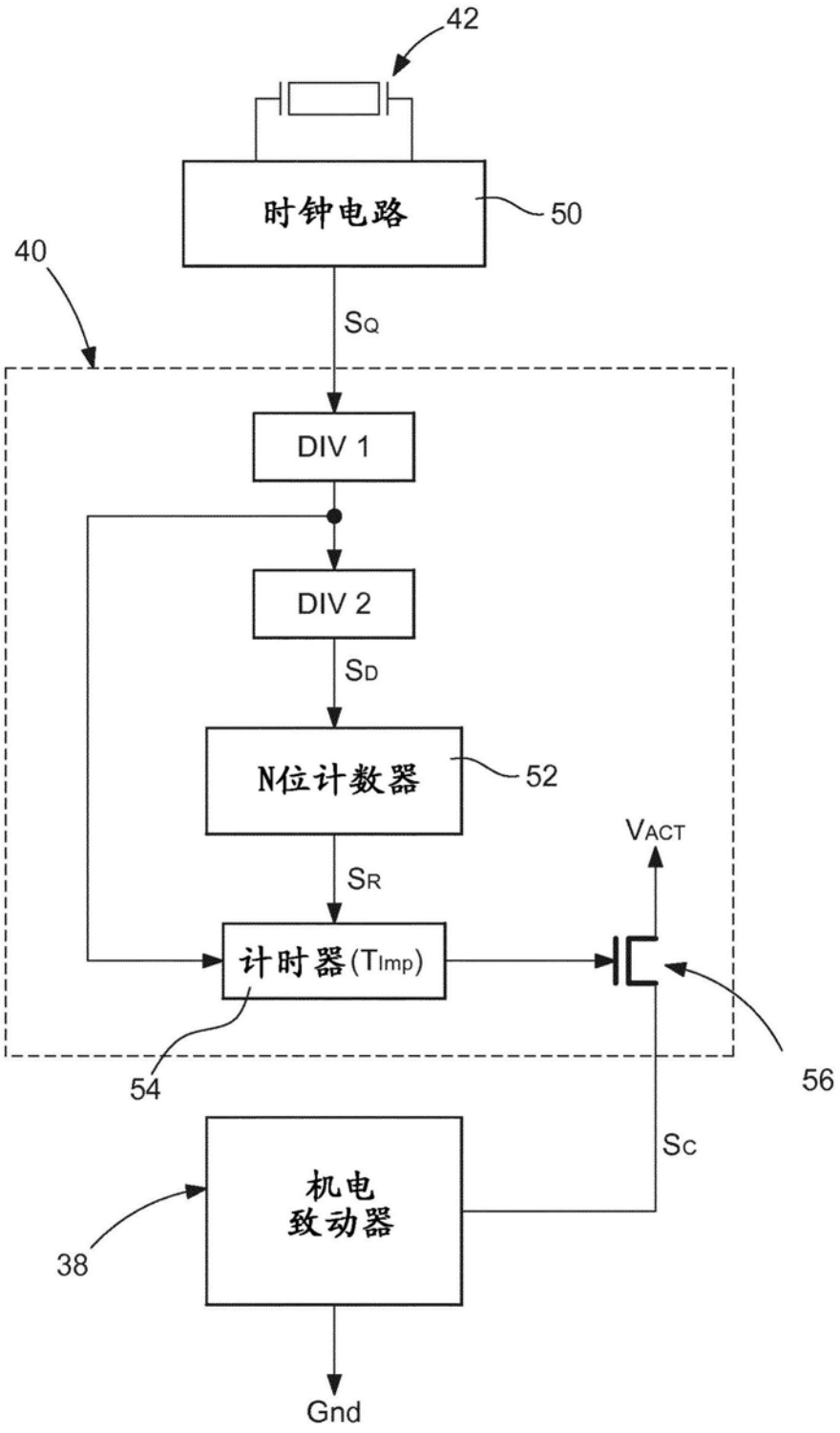

42
时钟电路
50
40
SQ
DIV 1
DIV 2
SD
N位计数器
52
VACT
SR
计时器(TImp)
54
56
SC
机电
致动器
38
Gnd

图3

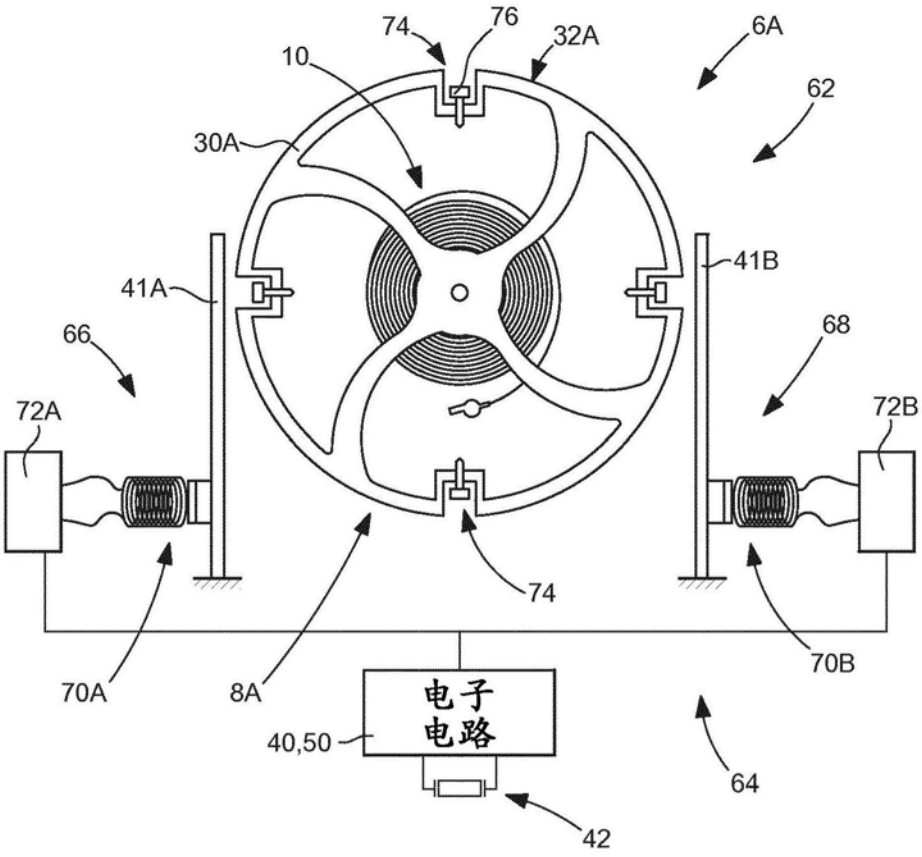

74
76
32A
6A
10
62
30A
41B
41A
66
68
72A
72B
74
70B
70A
8A
电子
电路
40,50
64
42

图4

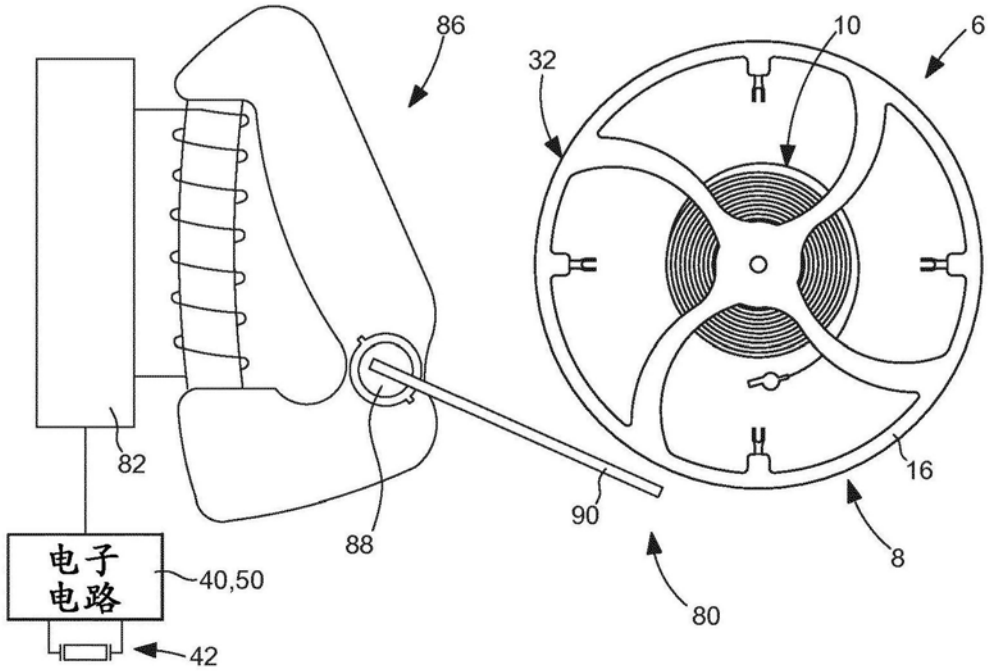

86
10
6
32
82
16
90
88
8
80
电子
电路
40,50
42

图5

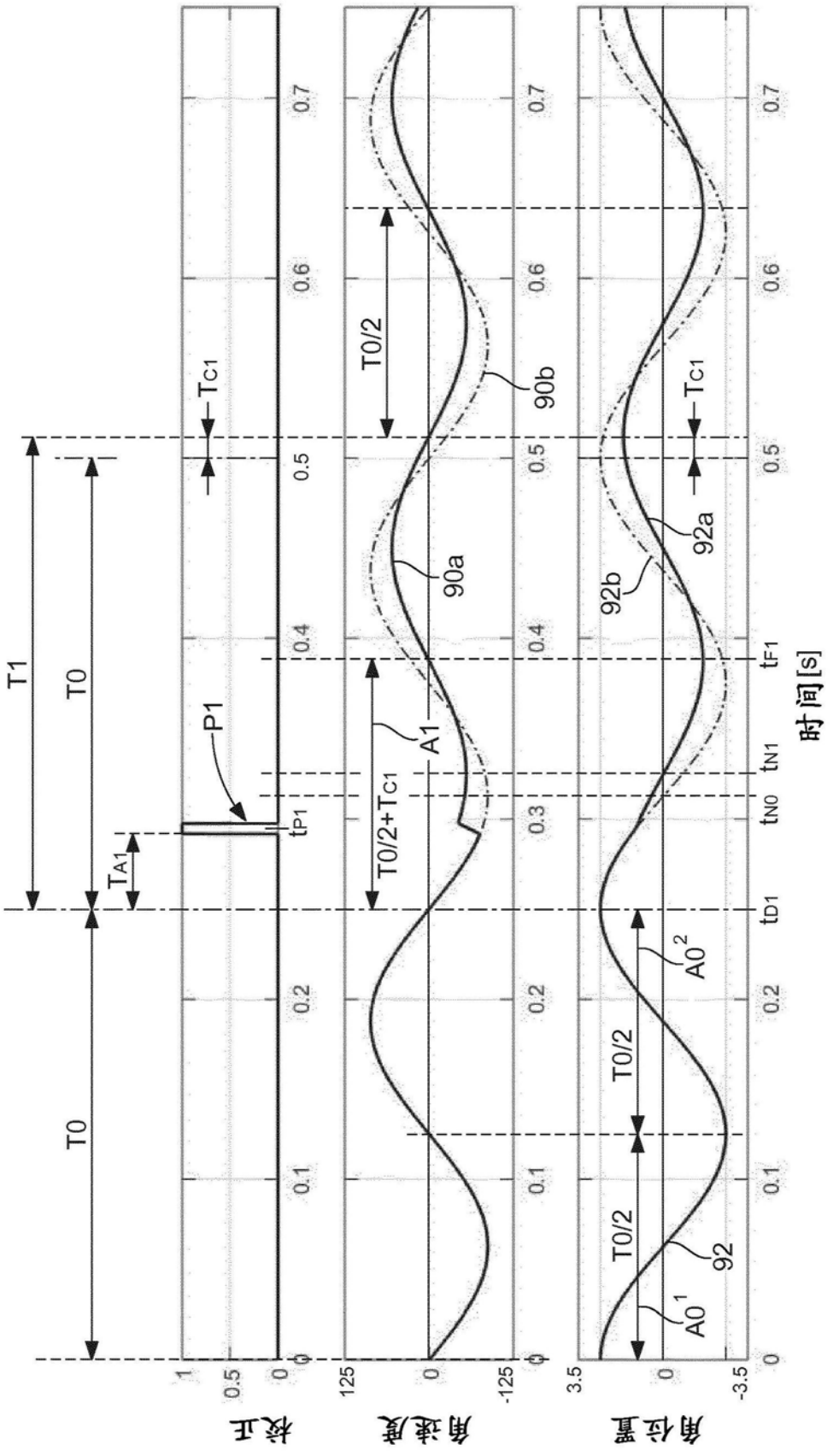

校正
角速度
角位置
时间[s]
T1
T0
T0
TA1
P1
tP1
TC1
T0/2
T0/2+TC1
A1
90a
90b
92a
92b
92
A0 1
A0 2
tD1
tN0
tN1
tF1
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
1
0.5
125
-125
3.5
-3.5

图6

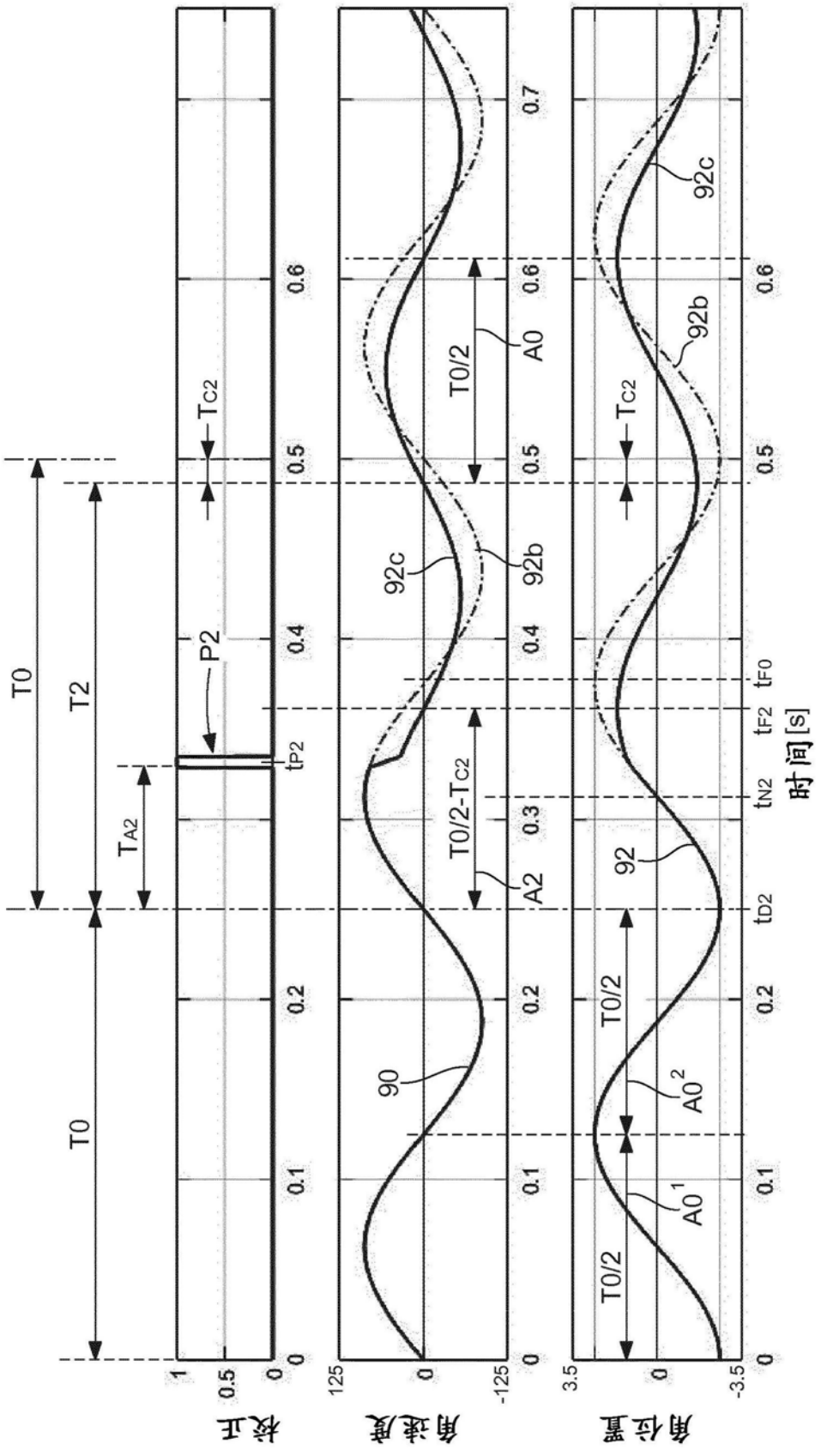

校正
角速度
角位置
时间[s]
T0
T2
TA2
TC2
P2
tP2
T0/2
A0
92c
92b
T0/2-TC2
A2
90
92
A0 1
A0 2
tN2
tF2
tF0
tD2

图7

图8A

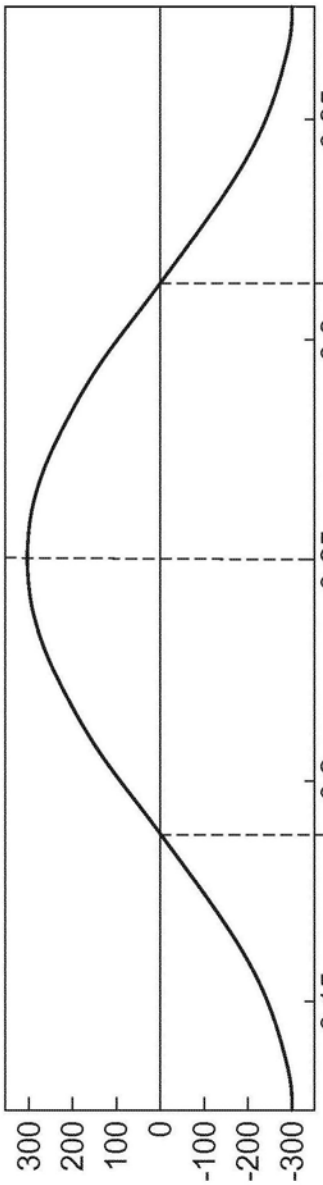

角位置[°]
300
200
100
0
-100
-200
-300
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35

图8B

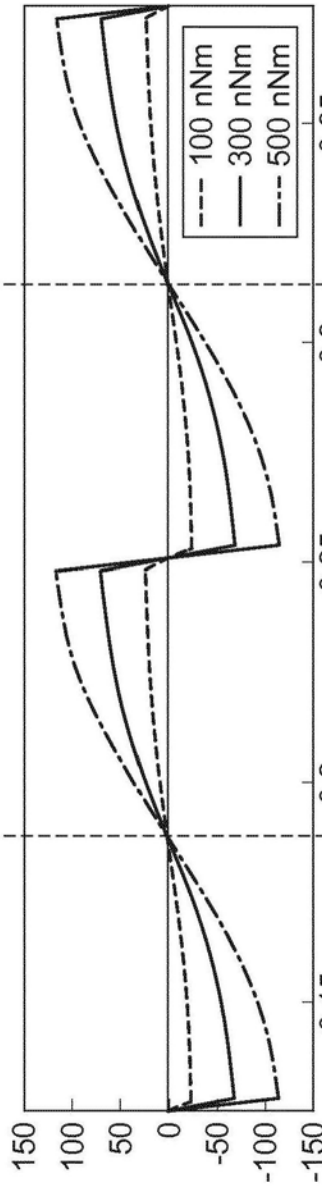
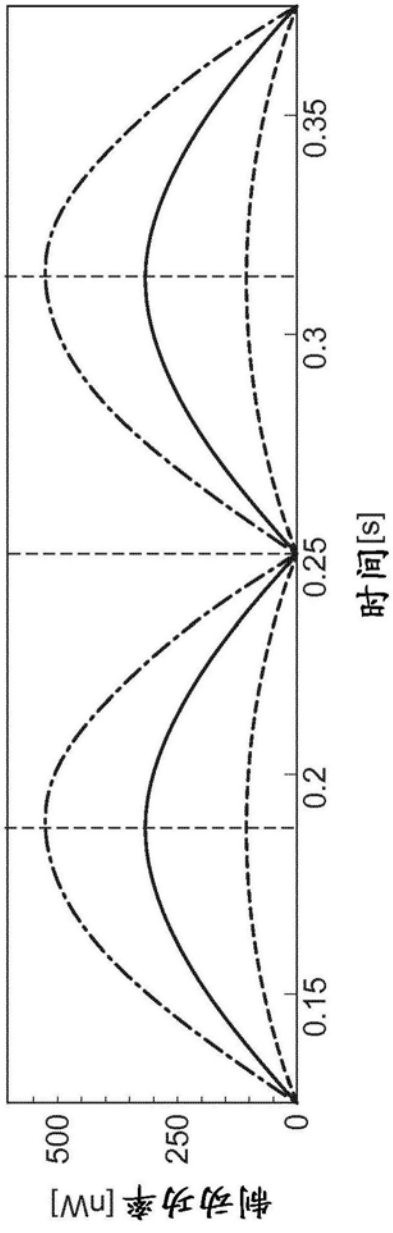

日误差[s]
150
100
50
0
-50
-100
-150
100 nNm
300 nNm
500 nNm
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35

图8C


制动功率[nW]
500
250
0
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
时间[s]

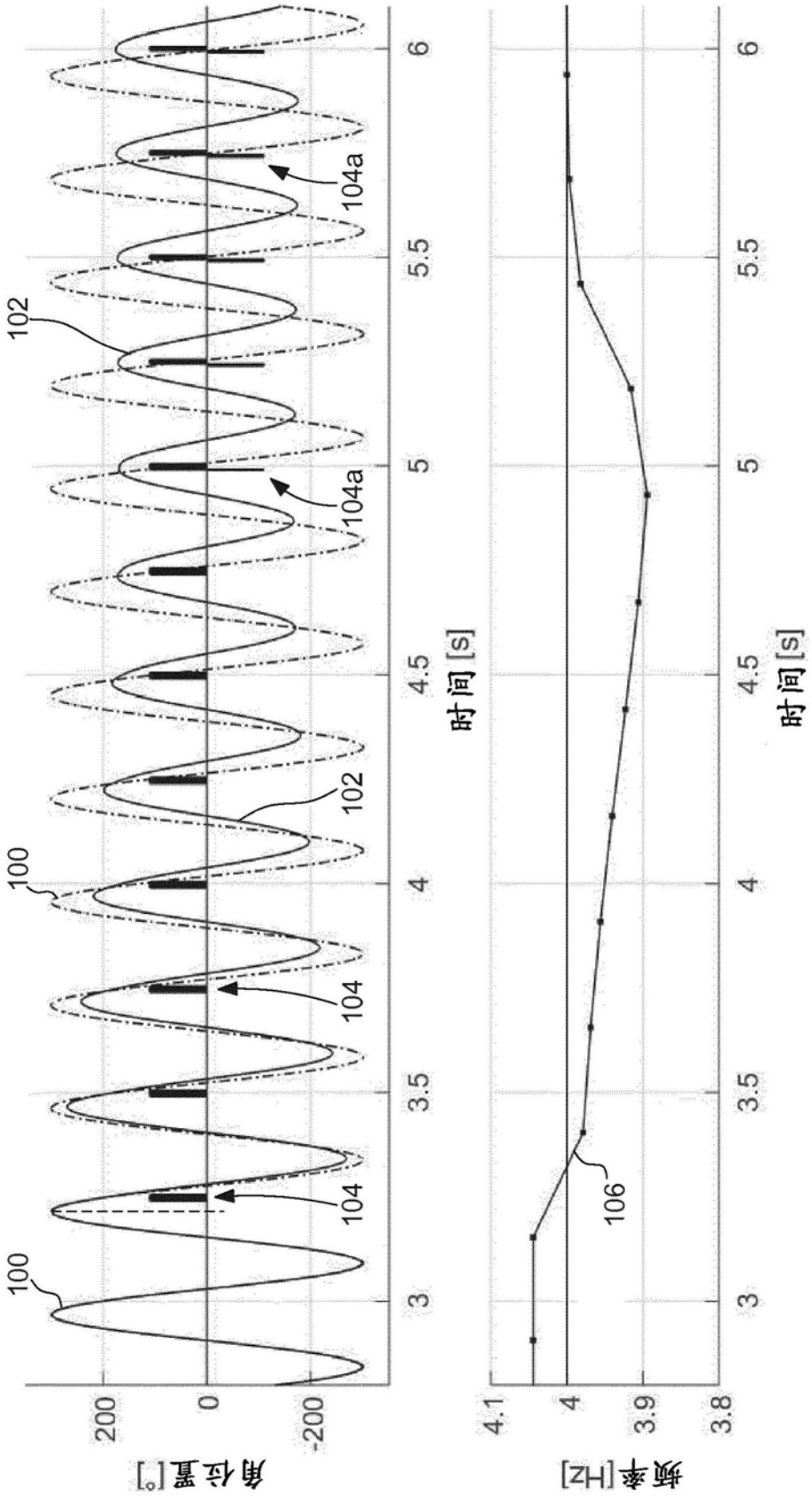

角位置[°]
200
0
-200
100
102
104
104a
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6
时间[s]
频率[Hz]
4.1
4
3.9
3.8
106

图9

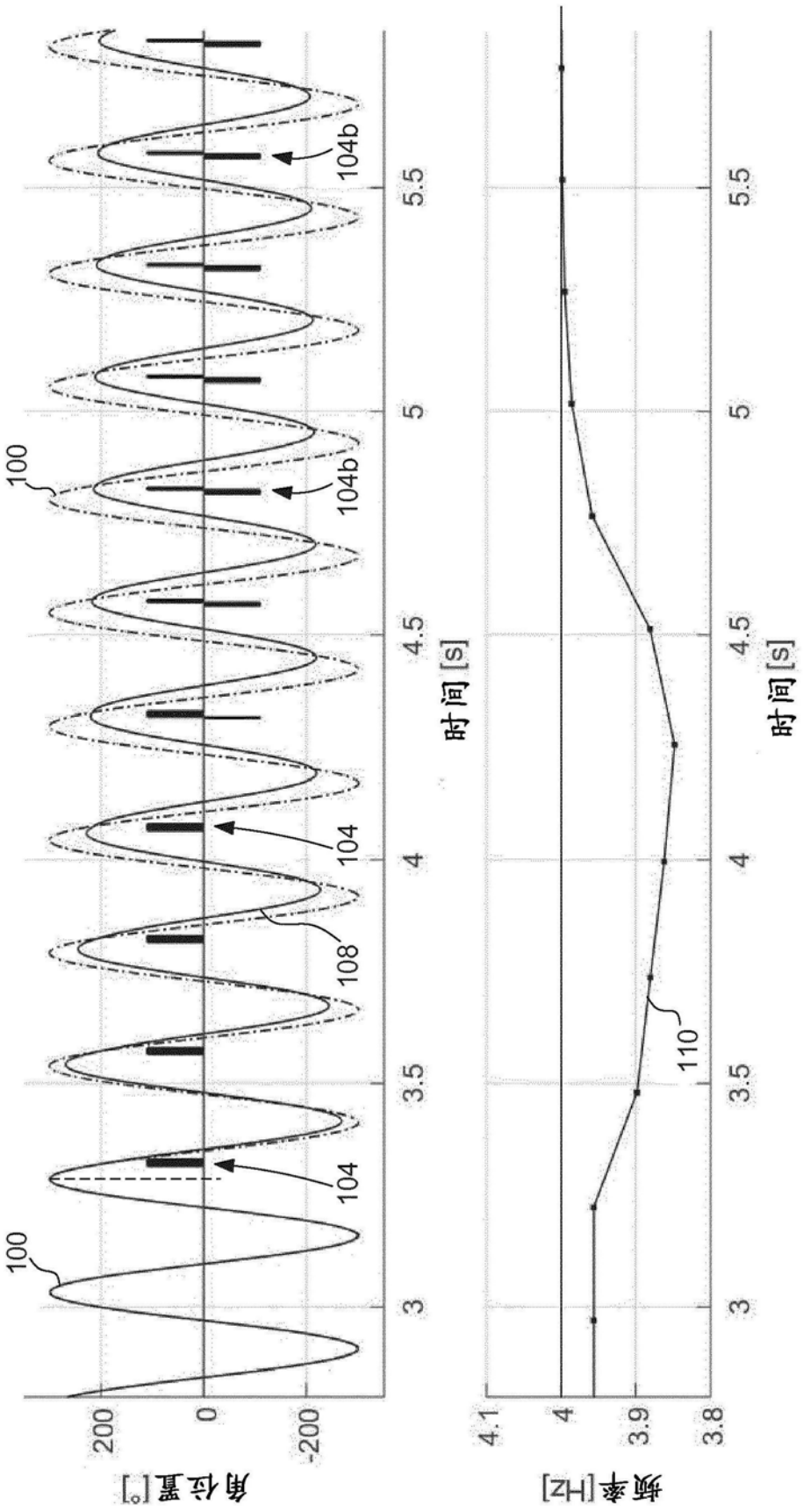


图10

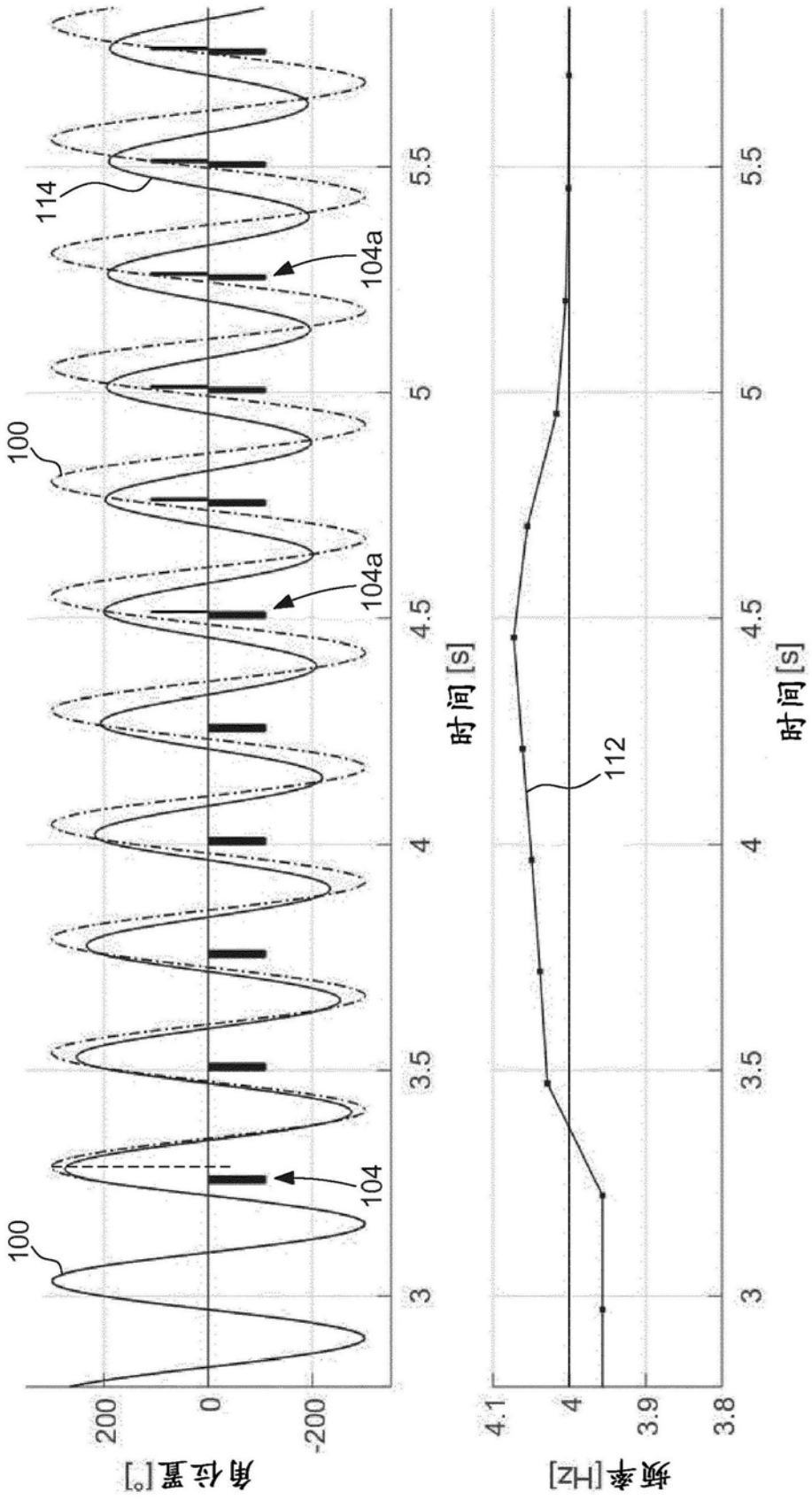


图11

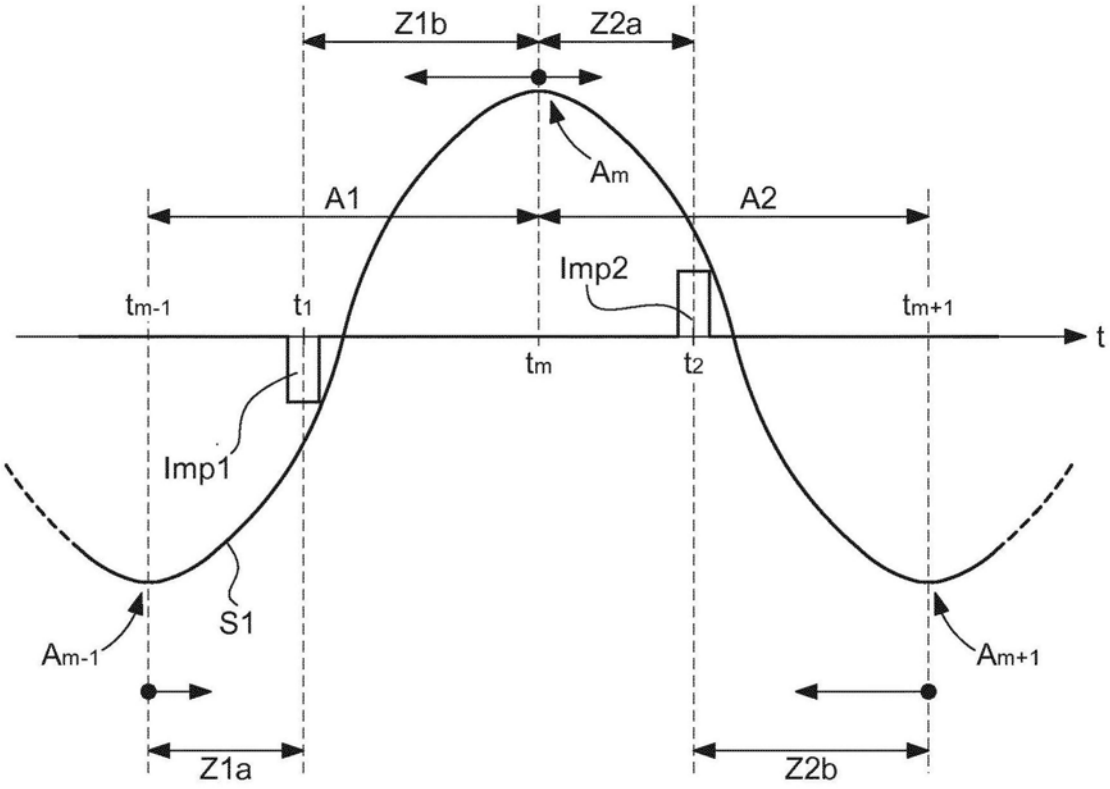

Z1b
Z2a
Am
A1
A2
Imp2
tm-1
t1
tm+1
t
tm
t2
Imp1
S1
Am-1
Am+1
Z1a
Z2b

图12

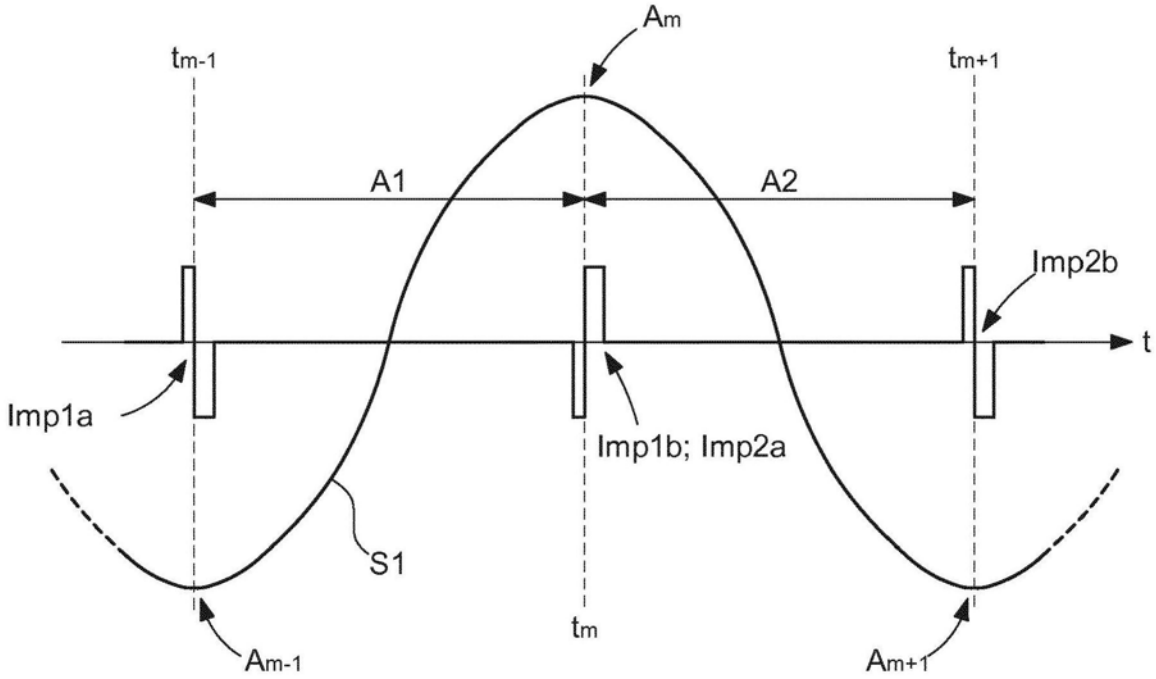

Am
tm-1
tm+1
A1
A2
Imp2b
t
Imp1a
Imp1b; Imp2a
S1
tm
Am-1
Am+1

图13

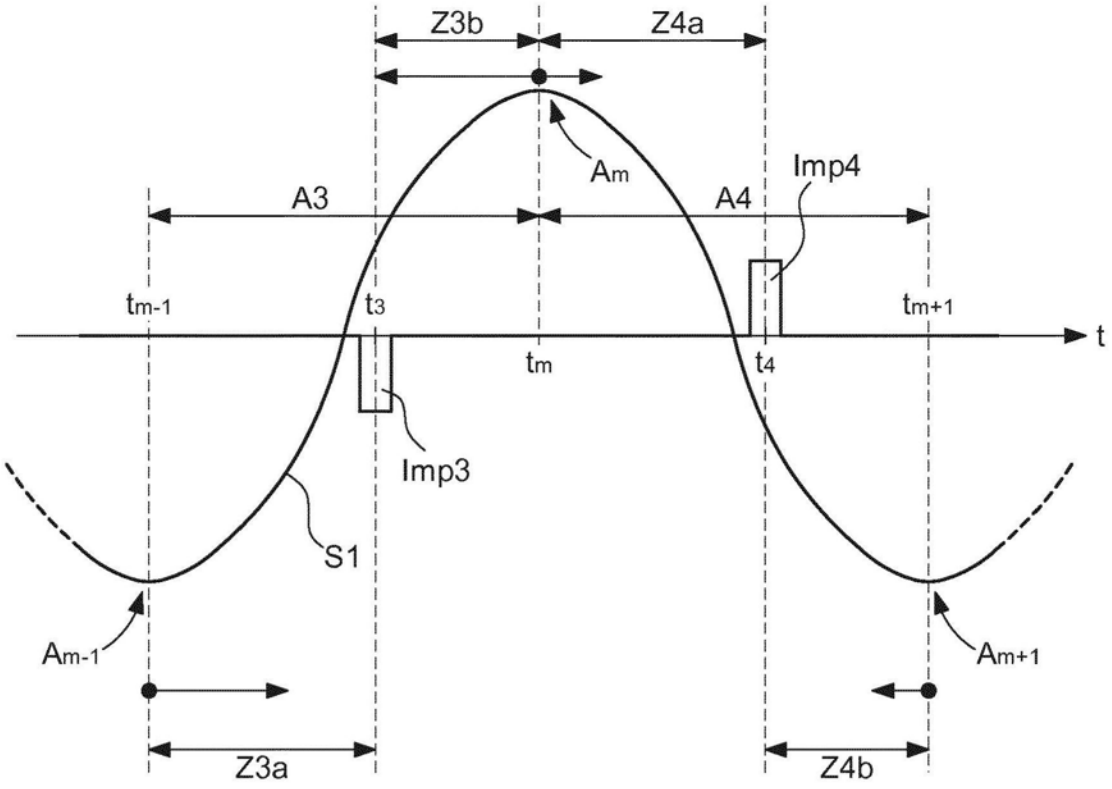

Z3b
Z4a
Am
Imp4
A3
A4
tm-1
t3
tm+1
t
tm
t4
Imp3
S1
Am-1
Am+1
Z3a
Z4b

图14

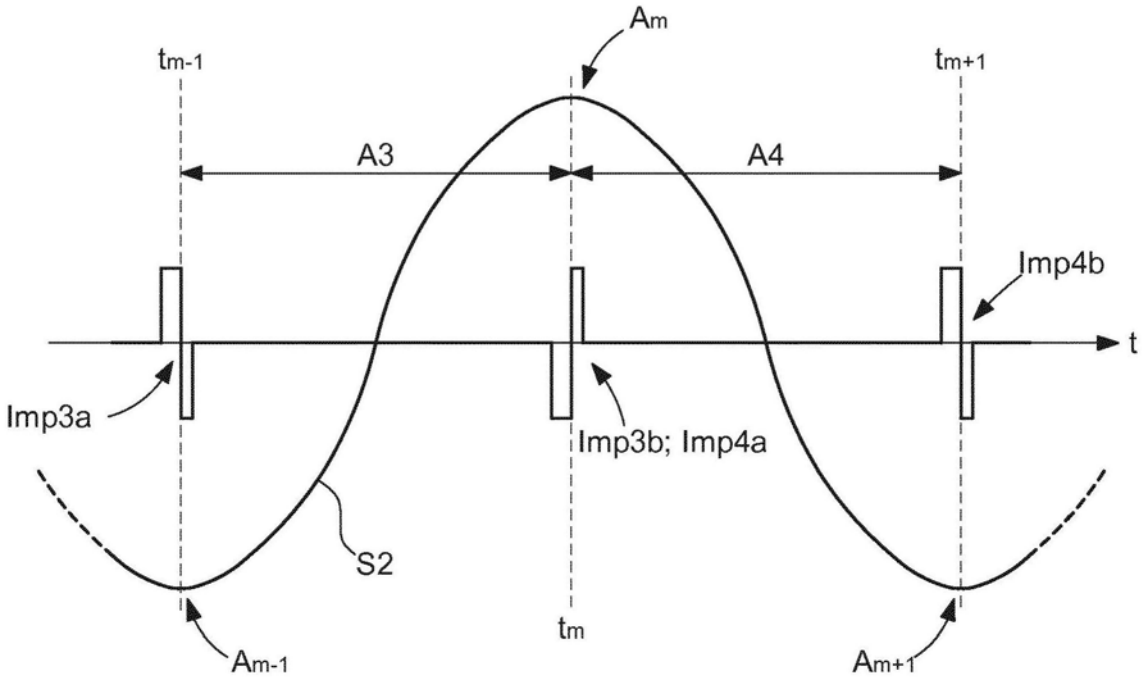

Am
tm-1
tm+1
A3
A4
Imp4b
t
Imp3a
Imp3b; Imp4a
S2
tm
Am-1
Am+1

图15

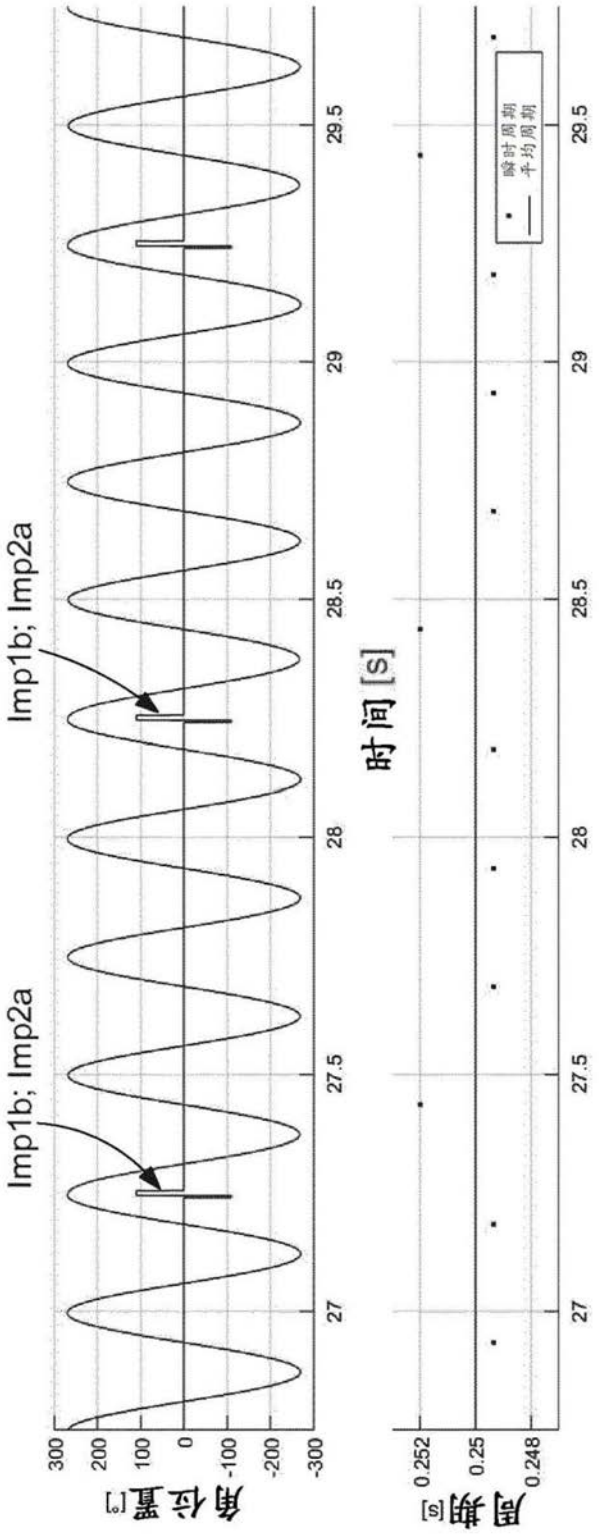

Imp1b; Imp2a
Imp1b; Imp2a
角位置[°]
300
200
100
0
-100
-200
-300
27
27.5
28
28.5
29
29.5
时间 [s]
周期[s]
0.252
0.25
0.248
瞬时周期
平均周期

图16

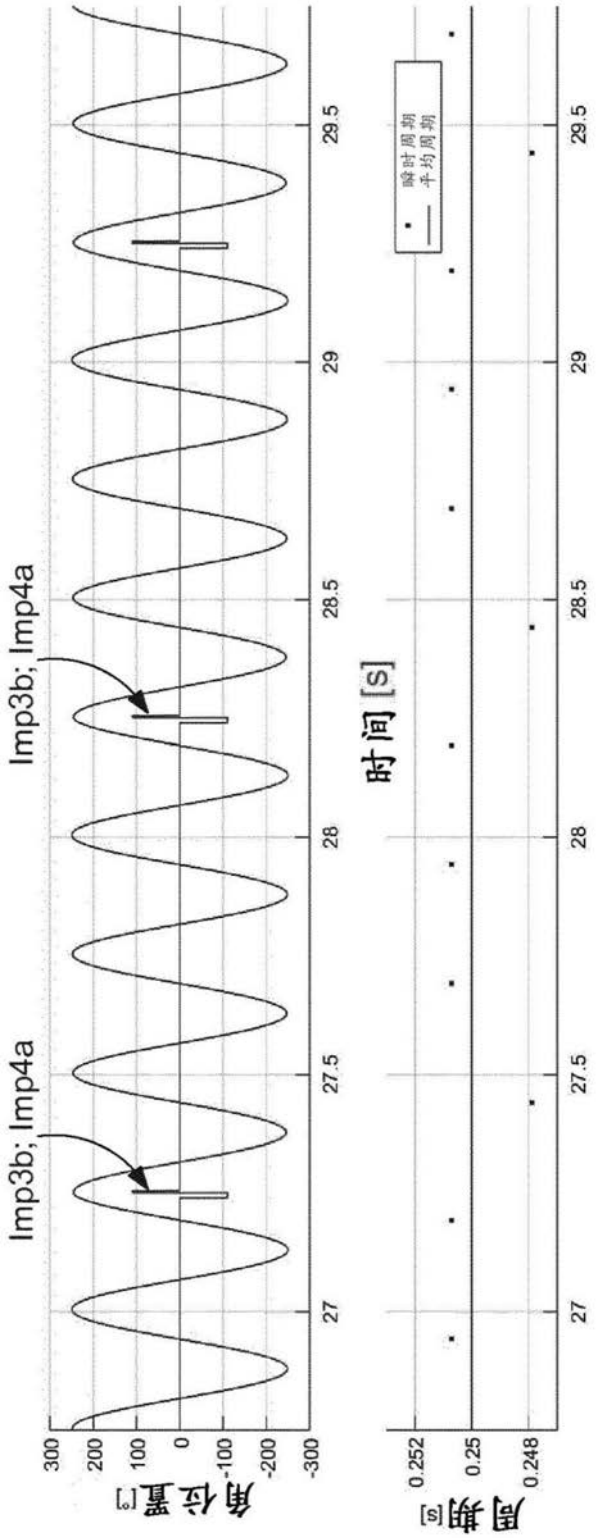

Imp3b; Imp4a
Imp3b; Imp4a
角位置[°]
300
200
100
0
-100
-200
-300
27
27.5
28
28.5
29
29.5
时间 [s]
瞬时周期
平均周期
周期[s]
0.252
0.25
0.248
27
27.5
28
28.5
29
29.5

图17

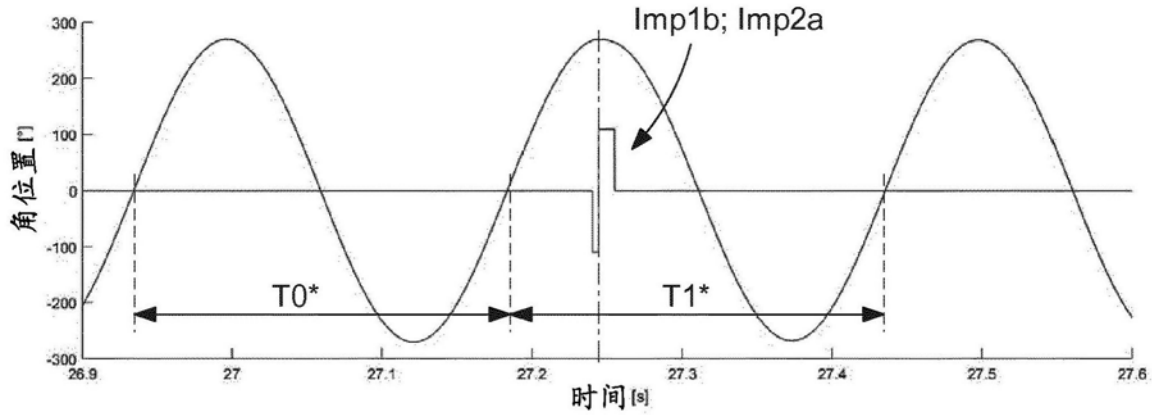

Imp1b; Imp2a
T0*
T1*
角位置[°]
时间[s]
300
200
100
0
-100
-200
-300
26.9
27
27.1
27.2
27.3
27.4
27.5
27.6

图18

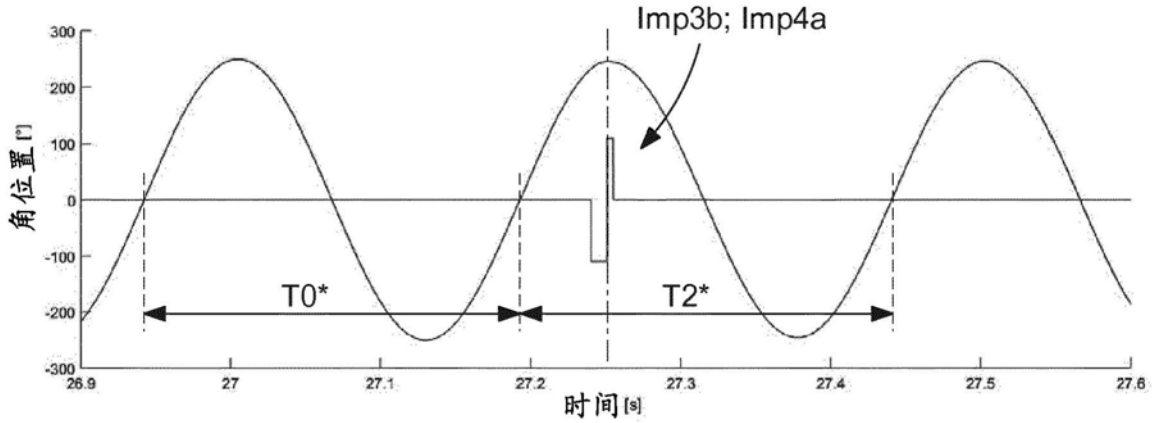

Imp3b; Imp4a
T0*
T2*
角位置[°]
时间[s]
300
200
100
0
-100
-200
-300
26.9
27
27.1
27.2
27.3
27.4
27.5
27.6

图19

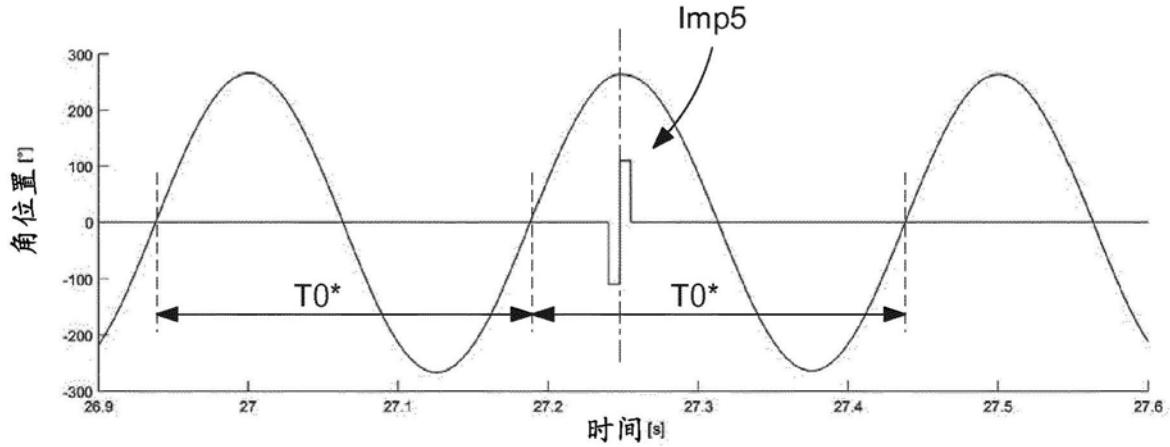

Imp5
T0*
T0*
角位置[°]
时间[s]
300
200
100
0
-100
-200
-300
26.9
27
27.1
27.2
27.3
27.4
27.5
27.6

图20

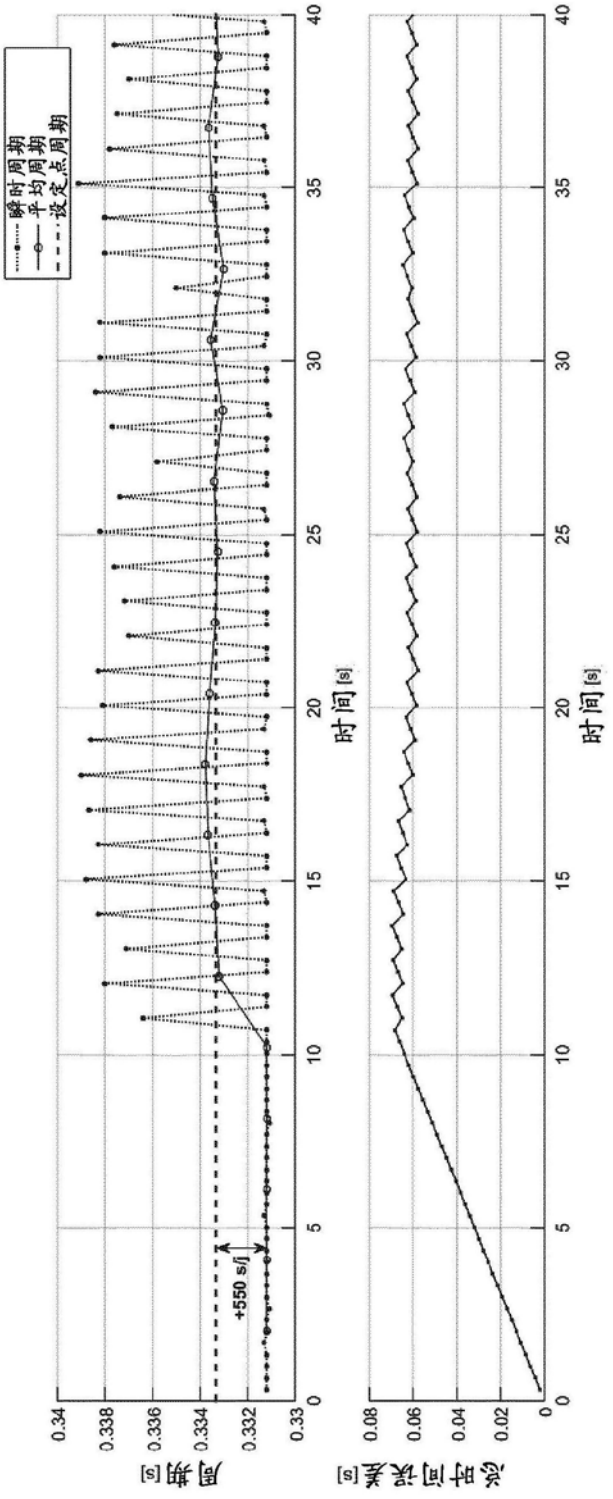


图21

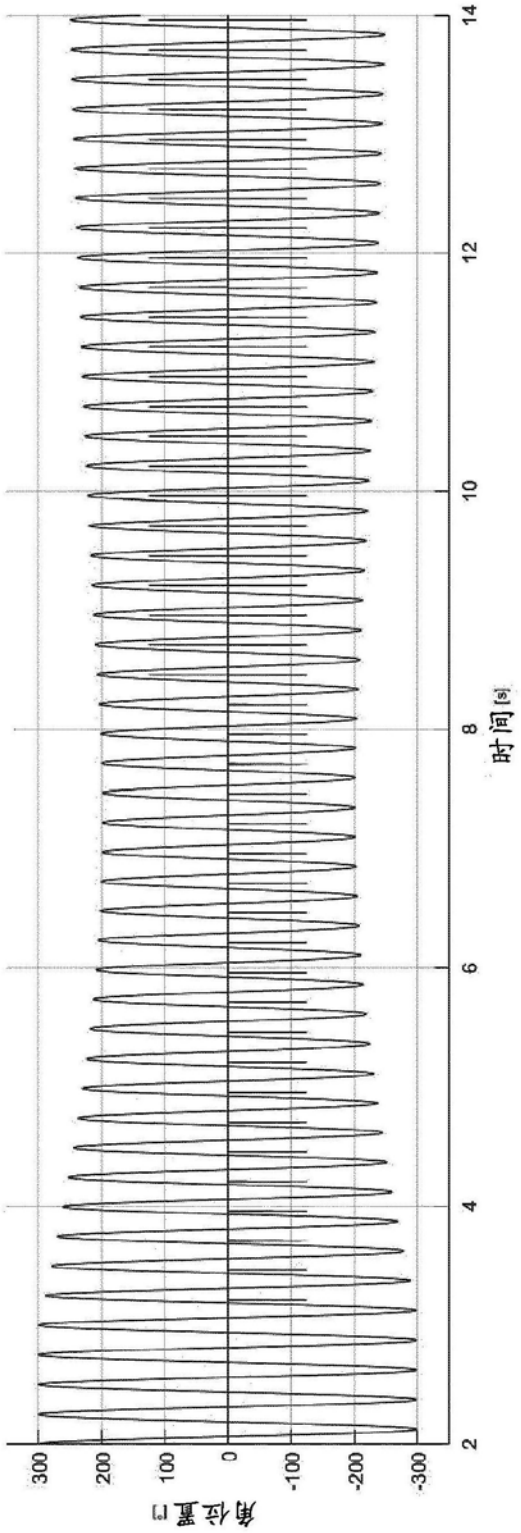


图22