(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 102498294 B
(45)授权公告日 2015.08.12

(21)申请号 201080039849.X
(22)申请日 2010.09.01
(30)优先权数据
61/240,399 2009.09.08 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2012.03.07
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2010/047477 2010.09.01
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2011/031603 EN 2011.03.17
(73)专利权人 智能动力股份有限公司
地址 美国佛罗里达州
(72)发明人 约翰·L·拉姆斯登 保罗·H·凯利 瓦桑·文卡塔拉曼
(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 寇英杰 田军锋
(51)Int.Cl.
F04B 49/00(2006.01)
(56)对比文件
US 5362206 A,1994.11.08,
US 4333046 A,1982.06.01,
US 6599095 B1,2003.07.29,
US 7045913 B2,2006.05.16,
US 2276358 A,1942.03.17,
US 2007290645 A1,2007.12.20,
CN 200985879 Y,2007.12.05,
审查员 沈金峰

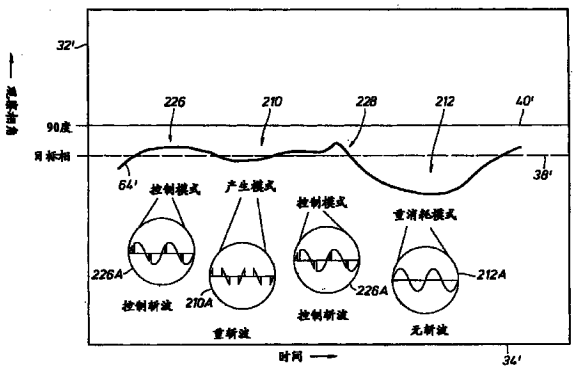
权利要求书4页 说明书13页 附图20页

(54)发明名称

用于带有旋转或往复运动块的装置的节能系统和方法

(57)摘要

提供一种通过当马达在开环模式下产生能量时减小对马达的供给电压来减少由抽油机电动马达消耗的能量的系统和方法。通过大致消除能量产生模式，消除了公用电网的否则将会发生的限制马达和系统的加速的制动作用。马达和系统将加速，使得循环运动的自然动能能够执行部分泵送作用。与马达电连接的闭环控制器从供给至马达的电压和电流之间的观察相角计算必要的信息。通过减小对马达的供给电压，可以将观察相角减小至目标相角。



CN 102498294 B

1. 一种用于电动马达的节能方法，所述电动马达连接至与井一起使用的抽油机，所述方法包括：

向所述电动马达 (3) 供应电压 (37) 和电流 (9)，所述电流 (9) 包括有功分量和无功分量；

观察所述电压与所述电流之间的相角；

获得与多个目标相角相关联的控制线路 (6)，所述多个目标相角对应于置于所述电动马达 (3) 上的负载状态；

将观察相角 (5) 与从所述控制线路 (6) 所获得的相应目标相角 (10) 进行比较；以及

当所述观察相角大于所述目标相角时，减小供给至所述电动马达 (3) 的所述电压，其中包括：将所述电流的有功分量减小为基本上零而保持所述电流的无功分量大于零；并且连续监测所述电压和电流以实时动态地响应于负载的变化。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其中，减小供给至所述电动马达 (3) 的所述电压的步骤通过使用脉宽调制来实施。

3. 如权利要求 2 所述的方法，其中，所述脉宽调制通过使用供应电压的可变斩波来实施。

4. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述电流的无功分量大于零以便观察相角。

5. 如权利要求 1 所述的方法，其中，减小供应至所述电动马达 (3) 的所述电压的步骤在所述电动马达 (3) 被轻度加载时实施。

6. 如权利要求 1 所述的方法，还包括以下步骤：

在与第一时间泵送第一流体相关联的第一负载状态下检测所述电动马达 (3) 的操作；

当在所述第一负载状态下操作时，在所述观察相角 (5) 大于相应目标相角 (10) 时减小供应至所述电动马达 (3) 的所述电压；

在与第二时间泵送第二流体相关联的第二负载状态下检测所述电动马达 (3) 的操作；以及

当在所述第二负载状态下操作时，在所述观察相角 (5) 大于相应目标相角 (10) 时减小供应至所述电动马达 (3) 的所述电压。

7. 如权利要求 1 所述的方法，还包括以下步骤：

使所述观察相角基本保持在所述相应目标相角。

8. 如权利要求 7 所述的方法，还包括以下步骤：

当所述观察相角小于所述相应目标相角时，增大供给至所述电动马达 (3) 的电压。

9. 如权利要求 1 所述的方法，其中，所述目标相角设置为 i) 针对施加于所述电动马达 (3) 的所有负载而言恒定的值，或者 ii) 在任何瞬时施加到所述电动马达 (3) 上的负载的可变函数。

10. 如权利要求 1 所述的方法，其中，比较步骤通过与所述电动马达 (3) 电通信的闭环马达控制器 (4) 执行。

11. 一种用于节能的系统，其中所述能量被供应至用于驱动抽油机的电动马达，所述系统包括：

构造成向所述电动马达 (3) 供给电压 (37) 和电流 (9) 的功率控制装置 (33)，所述电流 (9) 包括有功分量和无功分量；

用于观察供应至所述电动马达 (3) 的所述电压和所述电流之间的相角的装置 ;

用于获得具有多个目标相角的控制线路 (6) 的装置,所述多个目标相角对应于置于所述电动马达 (3) 上的负载状态 ;

用于将观察相角 (5) 与从所述控制线路 (6) 所获得的相应目标相角 (10) 进行比较的装置 ;以及

当所述观察相角 (5) 大于目标相角 (10) 时通过所述功率控制装置 (33) 减小供给至所述电动马达 (3) 的电压的装置,其中,包括 :将所述电流的有功分量减小为基本上零 ;并且连续监测所述电压和电流以实时动态地响应于负载的变化。

12. 如权利要求 11 所述的系统,其中,所述用于减小供应至所述电动马达 (3) 的电压的装置执行脉宽调制。

13. 如权利要求 11 所述的系统,其中,所述电流的无功分量大于零以便观察相角。

14. 如权利要求 11 所述的系统,还包括用于将所述观察相角基本维持在所述相应目标相角的装置。

15. 一种用于电动马达 (3) 的节能方法,所述电动马达 (3) 连接至随井设置的带有配重的抽油机,所述方法包括如下步骤 :

从公用电网向所述电动马达 (3) 供给电压 (37) 和电流 (9) 以便

利用所述电动马达使所述抽油机的配重旋转 ;

观察供给至所述马达的所述电压和所述电流之间的相角 ;

获得与多个目标相角相关联的控制线路 (6),所述多个目标相角对应于置于所述电动马达 (3) 上的负载状态 ;

将所述观察相角 (5) 与从所述控制线路 (6) 所获得的相应目标相角 (10) 进行比较 ;以及

当所述观察相角大于所述目标相角时,减小对所述电动马达 (3) 的供给电压。

16. 如权利要求 15 所述的方法,其中,所述电流包括有功分量和无功分量,所述减小对所述电动马达的供给电压的步骤包括 :将所述电流的所述有功分量减小为基本上零,并保持所述电流的所述无功分量大于零 ;以及连续监测所述电压和电流以实时动态地响应于负载的变化。

17. 如权利要求 16 所述的方法,其中,所述电流的所述无功分量大于零,以观察所述相角。

18. 如权利要求 15 所述的方法,还包括以下步骤 :在能量产生模式期间关闭从所述公用电网供应的电压以减小连接至旋转的所述抽油机的配重的所述电动马达上的制动动作。

19. 如权利要求 18 所述的方法,还包括如下步骤 :

使管状管柱连接至所述抽油机以沿基本上竖直的方向运动 ;

其中,在所述能量产生模式期间关闭从所述公用电网供应的电压的所述步骤减小了所述电动马达上的制动动作同时使所述管状管柱往复运动。

20. 如权利要求 15 所述的方法,还包括以下步骤 :在能量产生模式期间关闭从所述公用电网供应的电压以减小所述电动马达上的制动动作。

21. 如权利要求 15 所述的方法,还包括如下步骤 :

在与第一时间泵送第一流体相关联的第一负载状态下检测所述电动马达的操作 ;

当在所述第一负载状态下操作时，在所述观察相角大于所述相应目标相角时，减小对所述电动马达的供给电压；

在与第二时间泵送第二流体相关联的第二负载状态下检测所述电动马达的操作；以及

当在所述第二负载状态下操作时，在所述观察相角大于所述相应目标相角时，减小对所述电动马达的供给电压。

22. 如权利要求 15 所述的方法，还包括如下步骤：

将所述观察相角保持在基本上所述相应目标相角。

23. 如权利要求 22 所述的方法，还包括如下步骤：

当所述观察相角小于所述相应目标相角时，增大对所述电动马达的所述供给电压。

24. 如权利要求 15 所述的方法，其中，对于施加至所述电动马达的所有负载，所述目标相角保持恒定。

25. 如权利要求 15 所述的方法，其中，所述目标相角是根据负载的可变函数而调节，所述目标相角在任意瞬时施加至所述电动马达。

26. 如权利要求 15 所述的方法，其中，所述比较的步骤通过与所述电动马达电通信的闭环马达控制器执行。

27. 一种用于节能的系统，所述能量供应至用于驱动具有配重的抽油机的电动马达，所述系统包括：

用于观察供给至所述电动马达 (3) 的电压和电流之间的相角的装置；

用于获得具有多个目标相角的控制线路 (6) 的装置，所述多个目标相角对应于置于所述电动马达 (3) 上的负载状态；

用于比较所述观察相角 (5) 与从所述控制线路 (6) 所获得的相应目标相角 (10) 的装置；以及

当所述观察相角大于所述目标相角时减小供给至所述电动马达 (3) 的电压的装置。

28. 一种用于连接至抽油机的马达的节能方法，所述马达驱动井内的管状管柱，所述方法包括如下步骤：

向与所述抽油机设置在一起的所述马达 (3) 供给电压和电流，所述电流具有有功分量和无功分量，所述马达使所述管状管柱在所述井内往复运动；

观察供给至所述马达 (3) 的所述电压和电流之间的相角；

获得具有多个目标相角的控制线路 (6)，所述多个目标相角对应于置于所述马达 (3) 上的负载状态；

比较所述观察相角与从所述控制线路 (6) 所获得的相应目标相角；以及

当所述观察相角大于所述相应目标相角时，减小对所述马达 (3) 的供给电压，并且将所述电流的有功分量减小为基本上零，同时将所述电流的无功分量保持为大于零的值。

29. 如权利要求 28 所述的方法，其中，将所述电流的无功分量保持为大于零的值，以观察所述相角。

30. 如权利要求 28 所述的方法，还包括：利用所述马达使管状管柱往复运动，以及在能量产生模式期间关闭供应的电压以减小连接至往复运动的所述管状管柱的所述马达上的制动动作。

31. 一种用于电动马达的节能方法，所述电动马达连接至具有配重的抽油机，所述方法

包括如下步骤：

从公用电网向与所述抽油机连接的所述电动马达供给电压和电流，以利用所述电动马达 (3) 使所述配重旋转；

观察供给至所述马达 (3) 的所述电压和所述电流之间的相角；

获得具有多个目标相角的控制线路 (6)，所述多个目标相角对应于置于所述马达 (3) 上的负载状态；

比较所述观察相角与从所述控制线路 (6) 所获得的相应目标相角；

当所述观察相角大于所述相应目标相角时，减小对所述马达 (3) 的供给电压；以及

在能量产生模式期间关闭从所述公用电网供应的所述电压以减小所述马达上的制动动作。

32. 如权利要求 31 所述的方法，其中，所述电流包括有功分量和无功分量，所述减小对所述马达的供给电压的步骤包括将所述电流的有功分量减小为基本上零，并且保持所述电流的无功分量大于零。

33. 一种用于马达的节能方法，所述马达连接至随井设置的具有配重的抽油机，所述方法包括如下步骤：

向与所述抽油机电连接的所述马达 (3) 供给电压和电流；

通过闭环控制器控制所述马达 (3)，以利用所述马达 (3) 使所述配重旋转；

获得具有多个目标相角的控制线路 (6)，所述多个目标相角对应于置于所述马达 (3) 上的负载状态；以及

通过所述闭环控制器减小对所述马达 (3) 的供给电压，所述闭环控制器减小为了将所述马达 (3) 的观察相角驱动为从所述控制线路 (6) 所获得的相应目标相角而供应的电压。

34. 如权利要求 33 所述的方法，其中，所述电流包括有功分量和无功分量，并且所述闭环控制器构造成在能量产生模式期间关闭所述供应电压以通过控制所述电流的所述有功分量基本上为零同时保持所述电流的所述无功分量大于零来减小所述马达上的制动动作。

35. 如权利要求 33 所述的方法，其中，所述电流包括有功分量和无功分量，并且所述方法还包括以下步骤：在能量产生模式期间关闭供给至所述马达的电压以将所述电流的有功分量减小为基本上零，并且保持所述电流的无功分量大于零。

36. 如权利要求 33 所述的方法，还包括如下步骤：

观察供给至所述马达的所述电压和电流之间的相角；以及

保持供给至所述马达的所述电压和电流之间的所述相应目标相角。

37. 如权利要求 36 所述的方法，还包括如下步骤：

当所述观察相角小于所述相应目标相角时，增大对所述马达的供给电压。

用于带有旋转或往复运动块的装置的节能系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2009 年 9 月 8 日提交的美国临时申请 No. 61/240,399 的受益权，该申请的全部内容出于各种目的在此通过参引方式结合。本申请还是 2008 年 9 月 10 日提交的共同待审美国申请 No. 12/207,913 的部分继续申请，共同待审美国申请 No. 12/207,913 要求 2008 年 7 月 21 日提交的美国临时申请 61/135,402 和 2007 年 9 月 14 日提交的美国临时申请 60/993,706 的受益权，上述申请的全部内容出于各种目的在此通过参引方式结合。

[0003] 关于联邦赞助研发的声明

[0004] N/A

[0005] 微缩胶片附录参引

[0006] N/A

技术领域

[0007] 本发明涉及一种用于操作抽油机和其他带有旋转或往复运动块的装置的电动马达。

背景技术

[0008] 抽油机是用于在油井中安装于井下的往复活塞泵的地上驱动装置。当井底压力不足以使液体自行流至地面时，抽油机将液体机械地提升至井外。抽油机通常由从公用电网接收电能的电动马达提供动力。抽油机将马达的旋转机械作用转换为竖直往复运动以驱动井下泵。存在抽油机的许多不同的设计，包括但不限于常规设计、拉夫金·马克 II(LufkinMark II) 设计、游梁平衡设计、气动平衡设计、斜直井眼设计和常规便携式设计。抽油机可以从许多供应商得到，包括拉夫金的拉夫金工业公司 (Lufkin Industries, Inc. of Lufkin)，堪萨斯的科菲维尔的德克萨新和库克泵公司 (Texas and Cook Pump Company of Coffeyville, Kansas)。

[0009] 抽油机电动马达通常使齿轮传动装置或变速器的一组带轮旋转，所述齿轮传动装置或变速器又驱动一对曲柄或曲臂。对于典型的常规抽油机设计，曲柄提升和降低被称为“游梁”的杠杆或梁的端部，杠杆或梁在游梁支柱或 A 形架上枢转。被称为“驴头”的弯曲金属箱位于游梁的另一端上，曲臂从上述另一端与梁连接。曲柄的一端通常附连有配重或往复运动块。游梁拉杆臂通常跨在配重和游梁的与驴头相反的端部之间。缆索将驴头连接至竖直光杆，竖直光杆连接到延伸至井下泵的管件或抽油杆的竖直管柱上。

[0010] 配重辅助马达提升抽油杆或管状管柱的管柱。当马达向上提升配重时，驴头向下运动，向下推动抽油杆或管状管柱。在配重到达其旋转的顶部以后，配重摆转并利用配重的动量和质量（动能）辅助马达沿相反的方向旋转游梁。当配重从其最上部位置向下自由下落时，驴头向上运动，向上提升抽油杆的管柱。美国专利 No. 4,051,736 提出了一种用于使油井泵往复运动的改进的抽油机。

[0011] 尽管存在不同的井下泵设计，但井下泵通常包括在位于生产油管的端部处或附近

的泵筒内往复运动的柱塞或活塞。两个独立的阀通常完成泵送作用。固定止回阀可以在活塞以下紧固在泵筒内，活塞可以包括游动止回阀。活塞的上行行程打开固定阀，并在游动阀保持关闭时将流体抽入泵筒内。活塞的下行行程打开游动阀，并在固定筒保持关闭时从泵筒向上压迫流体。美国专利 No. 3,578,886、No. 4,173,451 和 No. 6,904,973 提出了井下泵。

[0012] 众所周知，电动马达可以进入操作的能量产生模式。对于与抽油机一起使用的电动马达，根据配重与管件或抽油杆柱之间的平衡的状态，在配重旋转期间的任意时刻均可能发生能量产生模式。根据每个行程中由抽油杆柱提升的流体的量和组分，平衡的状态可能从泵送行程到另一个行程地波动。在能量产生模式下，光杆及附连的抽油杆或管状管柱可以向上或向下运动。

[0013] 油井所有者必须基于抽油机马达所消耗的电力的量来支付其用电账单。消耗的电能的量通过电表测量。过去，消耗的功率的量通过模拟电表测量。现在则使用许多数字电表。无论是模拟设计或数字设计，由公共事业公司自行决定，电表均可以构造为允许或防止用户赊购供给回到电力网的产生的电能。抽油机系统是如此低效的发电机，以至于产生任何发电所需的耗能的量显著地超过所产生的电能。因此，无论公共事业公司是否赊购产生的电能，对于用户而言，避免能量产生总是有利的。

[0014] 在发电期间，马达将试图获得超过设施线路电压的电压，由此导致电流沿相反的方向流动。由公用电网提供的负载用作制动，限制了否则将会发生的马达的加速。马达的这种制动动作防止抽油机的下落重量产生可能辅助泵送作用的另外的动能。该转换的动能可以用作对来自公用电网的电能的替代。

[0015] 过去，有工程师已试图通过在可能包括一段发电时间的抽油机循环的一部分过程中关闭抽油机电动马达，以节省相当大量的能量，但未成功。这些尝试通过各种机械开关和继电器来实施。但是，井下泵和井的参数随时间而变化，所以这些机械解决方案并无效果。

[0016] 井内的流体流可能在井注满时变化，随后“抽空”。在一些情况下，泵送的流体的体积可能从一个行程到下一个行程而变化。诸如气、油、水和泥浆的泵送的材料和 / 或流体的变化的体积、密度、粘度、重量和其他性质可能在很大程度上改变抽油管柱和流体柱的组合重量，由此影响系统的平衡以及对马达的需求。在某些井中，管状管柱可能长达数千英尺。不同流体随着时间流入井内将显著地影响马达的操作。

[0017] 通过引入微处理器，使得通过观察电流和电压来关闭电动马达变得可能。然而，问题是获知何时再次打开马达。过去曾不成功地进行了各种开环时间延迟的尝试。由于井下泵和井的参数随时间而变化，因此也使得微处理器解决方案失败。

[0018] 美国专利 No. 6,489,742 提出了一种马达控制器，其包括用数字信号处理器向感应马达传送电力，该数字信号处理器根据电源和主电压通过控制元件计算并优化用于现有马达负载的电流的供给。

[0019] 公开 No. U. S. 2009/0046490 提出了一种基于 IGBT/FET 的节能装置、系统和方法，其中，节省了额定线路电压以下和 / 或额定电器电压以下的预定量的电压。公开 No. U. S. 2009/0051344 提出了一种基于 TRIAC/SCR 的节能装置、系统和方法，其中，节省了额定线路电压以下和 / 或额定电器电压以下的预定量的电压。公开 No. U. S. 2009/0200981 提出了一种用于提供交流电应用中的恒定负载的系统和方法，其中，确定了调制正弦波的至少一个半循环的至少一个开启点，确定了调制正弦波的至少一个半循环的至少一个关

闭点，并且去除了位于至少一个开启点与至少一个关闭点之间的至少一个小部分。公开No.U.S.2010/0033155提出了一种用于IGBT/FET驱动器的电源，其为每个IGBT/FET驱动器提供独立的、隔离的电力。

[0020] 比例－积分－微分(PID)控制是应用于控制算法和反馈机制的广泛使用的技术。PID控制器如其大致所指的那样基于“误差”计算值。通常，“误差”计算为测量的处理变量与所需设定点或目标值之间的差值。PID控制器试图通过调整处理控制变量来使误差最小化。实质上，PID控制器是具有比例、积分和微分参数的数字滤波器。比例值确定对电流误差的反应，积分值基于最近误差的和确定反应，微分值基于误差变化的速率确定反应。

[0021] 上文所讨论的美国专利No.3,578,886、No.4,051,736、No.4,173,451、No.6,489,742和No.6,904,973以及公开No.U.S.2009/0046490、No.U.S.2009/0051344、No.U.S.2009/0200981和No.U.S.2010/0033155的全部内容出于各种目的通过参引结合在本文中。

[0022] 存在特别是在能量产生模式期间，有效地管理抽油机电动马达的能量使用的需要。

发明内容

[0023] 当电压和电流之间的相角大于90度时，在马达处于开环模式下产生能量时，闭环马达控制器系统减小对抽油机电动马达的供给电压。通过减小对马达的供给电压，可以将电压和电流之间的观察相角减小至90度以下的值。在这些情况下，马达仍不消耗能量。通过脉宽调制技术，可以将有功功率分量几乎减小至零，保特无功分量大于零。通过允许主要为无功性质的一些电流流动，可以将可观察的反馈参数在闭环控制系统中用作马达负载状况的指示，马达控制器可以对该指示作出反应，当需要时允许供给功率。类似地，当马达轻度加载并且消耗能量时，通过减小对马达的供给电压，闭环马达控制器系统可以实现进一步的节能。通过最小化或消除否则将由系统消耗的能量，可以通过减小对马达的供给电压以及最小化或消除来自公用电网的对马达的制动作用而产生节能。

[0024] 目标相角可被供给作为对于所有马达负载的恒定值或作为在任意瞬时马达负载的可变函数。目标相角可以等于或小于90度，但也可以设想，目标相角大于90度。当马达产生或消耗能量并且开环模式下的观察相角大于目标相角时，系统可以减小供给电压，直至观察相角大致为目标相角。目标相角以下的观察相角的任何进一步的减小均可以解释为例如在能量消耗模式期间的马达负载的增大，系统可以通过增大供给电压响应于马达负载的增大，直至再次达到目标相角。可以从由马达消耗的电压与电流之间的观察相角来计算必要的信息。

附图说明

[0025] 通过下文对附图中的各种公开的实施方式的详细描述，可以获得对本发明的更好的和进一步的理解，图中相同的部分具有相同的附图标记，在图中：

[0026] 图1是具有硬件输入和输出的数字信号处理器(DSP)的框图；

[0027] 图2是基于DSP的马达控制器的框图；

[0028] 图3是示出相旋转检测方法的图示；

[0029] 图 4 是示出相旋转检测方法的流程图；

[0030] 图 5 是示出用于正相旋转的功率控制装置输出的曲线图；

[0031] 图 6 是示出用于负相旋转的功率控制装置输出的曲线图；

[0032] 图 7 是窗口比较器的框图；

[0033] 图 8 是窗口比较器的示意图；

[0034] 图 9 是电流波形和过零信号的曲线图；

[0035] 图 10 是虚拟中性电路的示意图；

[0036] 图 11 是示出用于单相应用的功率控制装置输出的曲线图；

[0037] 图 12 是示出三维控制线路的三维曲线图；

[0038] 图 13 是示出投影到一个平面上的控制线路的三维曲线图；

[0039] 图 14 是示出二维绘制控制线路的曲线图；

[0040] 图 15 是示出半自动校准中的扫描触发角 / 占空因数的曲线图；

[0041] 图 16 是示出触发角 / 占空因数的导控扫描的曲线图；

[0042] 图 17 是示出绘制的半自动校准数据的曲线图；

[0043] 图 18 是示出绘制的半自动校准数据的曲线图；

[0044] 图 19 是示出绘制半的自动校准数据的曲线图；

[0045] 图 20 是半自动高电平校准的流程图；

[0046] 图 21 是半自动高电平校准的流程图；

[0047] 图 22 是手动校准的流程图；

[0048] 图 23 是固定电压钳位的流程图；

[0049] 图 24 是示出 RMS 马达电压钳位的曲线图；

[0050] 图 25 是示出 RMS 马达电压钳位的曲线图；

[0051] 图 26 是失速减轻技术的流程图；

[0052] 图 27 是示出失速减轻技术的曲线图；

[0053] 图 28 是与井内的管状管柱一起定位的抽油机的一个实施方式的正视图；

[0054] 图 29 是在开环模式中用于抽油机马达的观察相角相对时间的标绘图；

[0055] 图 30 是与马达相连的系统框图；

[0056] 图 31 是在闭环模式中用于抽油机马达的观察相角相对时间的标绘图，其中马达电压减小以在一个完整的泵送周期内获得目标相角。

[0057] 图 32 是输入线路电压的单相位波形标绘图；

[0058] 图 32A 是在应用脉宽调制 (PWM) 技术以后供给至马达的电压的重斩波的单相波形标绘图；

[0059] 图 32B 是在应用 PWM 技术以后供给至马达的电压的轻斩波的单相波形标绘图；

[0060] 图 32C 是在应用 PWM 技术以后供给至马达的电压的可变斩波的单相波形标绘图；

[0061] 图 32D 是图 31 的标绘图，其示出在重斩波、轻斩波和无斩波可能发生时的时期。

具体实施方式

[0062] 参照图 1，示出了数字信号处理器 (DSP)1 以及硬件输入端和输出端的框图。DSP 1 可以观察马达的工作特性，并且对正在运行以及处于闭环控制下的马达的均方根 (RMS) 电

压进行修正。硬件输入端 2 对相过零输入 36、相线路电压 37、相马达电压 38 和电流 9 进行采集，经过 DSP 1 进行处理，然后通过功率控制装置输出端 14 至功率控制装置上。

[0063] 现在参照图 2，示出基于 DSP 的马达控制器 4 的系统和方法的框图。首先，马达控制器 4 读取每相 A、B 和 C 的电压 37 以及电流 9 以采集过零输入 36。此时，可以利用转换器 62 将电压 13 和电流 9 从模拟量转换成数字量。接下来对每相的马达相角的计算 63 进行运算，以产生观察相角 5。下一步，将已由预编程的控制线路 6 得出的目标相角 10 与观察相角 5 进行比较。目标相角 10 与观察相角 5 之间的差产生结果相位误差信号 (11、28)，该结果相位误差信号 (11、28) 由具有比例、积分和微分部件的 PID 控制器 12 处理。从 PID 控制器 12 的输出是至马达 3 的新的控制电压 (13、29)，该新的控制电压 (13、29) 可以通过使用诸如 TRIAC、SCR、IGBT 或 MOSFET 的功率控制装置 33 获得，以便为了最大节能而对于每相在供给有线路电压 50 的情况下产生 RMS 马达电压 13 的功率控制装置输出 14。

[0064] 在该闭环系统中，马达 3 的每个相的电压 13 和电流被连续地监控。马达控制器 4 将观察相角 5 驱动至校准控制线路 6 上的对应于马达上的负载的点。在该点，因为控制线路 6 基于来自马达 3 的已知校准数据，因此将实现最大地节能。马达控制器 4 可以恰如技师手动设定电压 13 那样控制马达 3。区别在于，DSP 1 可以动态地响应于负载的实时变化，并且在逐个周期的基础上进行这些调整。

[0065] 现在参照图 3，在三相系统中，马达控制器 4 用于自动确定相旋转。关于线路电压的过零检测器精确测量相 A 的线路电压过零 15 与相 B 的线路电压过零 16 之间的角度。对于正相旋转 18，该角度标称地为 120°，对于负相旋转 19，该角度标称地为 60°。

[0066] 参照图 4，示出用于相位旋转检测的流程图。在上电复位 (POR)20 以后，确定正相位旋转 18 和负相位旋转 19 对于马达控制器 4 而言是容易的。首先，在 39，测量从相 A 的线路电压过零到相 B 的线路电压过零的时间。接下来，在 40，确定该时间大于还是小于 90 度。如果该时间大于 90 度，则为 ACB 旋转 42。如果该时间小于 90 度，则为 ABC 旋转 41。马达控制器 4 可以用相同的基本软件和硬件结构控制三相或单相马达。对于三相的情况，根据相旋转，马达控制器 4 可以驱动功率控制装置输出端 14。

[0067] 现在参照示出正驱动旋转的功率控制装置输出的图 5，如由椭圆 22a 指示的那样，在相 A 的线路电压过零 15 开启时间期间，马达控制器将相 A 的功率控制装置输出端 14 和相 B 的功率控制装置输出端 14 一起驱动。类似地，如由椭圆 22b 指示那样，在相 B 的开启时间期间，马达控制器将相 B 的功率控制装置 16 和相 C 的功率控制装置输出端 14 一起驱动。最后，如由椭圆 22c 指示那样，在相 C 的功率控制装置输出端 14 开启时间期间，马达控制器 4 将相 C 17 和相 A 的功率控制装置输出端 14 一起驱动。注意，图 5 和图 6 中示出的示例描述了 90° 的触发角 / 占空因数 23。

[0068] 现在参照示出用于负相旋转的 TRIAC（双向三极管开关）驱动输出的图 6，如由椭圆 22c 指示那样，在相位 A 的线路电压过零 15 开启时间期间，马达控制器 4 将相位 A 的功率控制装置输出端 14 和相位 C 的功率控制装置输出端 14 一起驱动。类似地，如由椭圆 22a 指示那样，在相位 B 的线路电压过零 16 开启时间期间，马达控制器 4 将相位 B 16 和相位 A 的功率控制装置输出端 14 一起驱动。最后，如由椭圆 22b 指示那样，在相位 C 的线路电压过零 17 开启时间期间，马达控制器将相位 C 的功率控制装置输出端 14 和相位 B 的功率控制装置输出端 14 一起驱动。

[0069] 现在参照示出窗口比较器的框图的图 7。基于 DSP 的马达控制器将窗口比较器 88 用于检测电流波形的正半部和负半部两者的过零。当 RMS 马达电压被马达控制器减小时，由于对于两个半周期的相当大部分的电流为零，因此难以检测电流波形的过零。首先，提供马达电流 89，提供作为用于正半周期的基准的正电压 90，以及提供作为基准的负电压 91。接下来，将电流、正电压和负电压递送至两个比较器 92，然后经过运算 (OR) 门 93 以产生复合过零数字信号 94。

[0070] 如图 8 中进一步所示，示出窗口比较器 88 的示意图。提供马达电流 89，提供作为用于正半周期的基准的正电压 90，以及提供作为基准的负电压 91。接下来，表现为正电压和负电压的电流由两个比较器 92 处理，然后通过 OR 门 93 以产生复合过零数字信号 94。

[0071] 此外，图 9 示出电流波形 95、正电压半周期 96、负电压半周期 97 和 OR 函数 98 的曲线图。

[0072] 现在参照图 10，示出虚拟中性电路的示意图。在三相电仅在三角形模式下可用而不存在用作基准的中性点的情形下，可以将虚拟中性电路用作基准。该虚拟中性电路包括三个差分转单端 (differential-to-single-ended) 放大器 77。因为相位至相位电压高，所以输入电阻器 78 用于与反馈电阻器 80 和接地基准电阻器 81 一起形成适当的衰减器 79。因为存在断相的危险，故而将保护二极管 82 用于保护该差分转单端放大器 77。差分转单端放大器 77 通过隔直电容器 84 和加和电阻器 85 以及反馈电阻器 80 耦合至加和放大器 83。加和放大器 83 的输出由放大器 27 升压，由此提供在中性电势处的低阻抗输出。额外的电阻器划分供电轨，由此允许加和放大器 83 处理交替变化的正信号和负信号。在中性点 86 以及用于交替中性连接 87 的跳线接块可用的情形下，交替连接是可用的。

[0073] 现在参照图 11，图 11 示出了用于单相应用的功率控制装置输出端 14，对于相 A，输出端 14 在以根据电压过零输入 15 获得的功率控制装置输出 14 为基础的每个半周期开启。用于相 B 的线路电压过零和相 C 的线路电压过零的功率控制装置输出端 14 在 DSP 1 中被禁用，并且硬件可以不出现。功率控制装置输出端 14 不像它们在三相情况下那样配对。

[0074] 现在参照图 12，图 12 图示了马达的马达工作空间的三维控制线路，其在 y 轴上以观察相角 5 为边界。在 x 轴上示出了表示电压的减小的受控触发角 / 占空因数 23，而在 z 轴上示出了马达上的百分比负载 24。

[0075] 每个马达均在其工作空间内沿着参数控制线路 25 工作。例如，当给定的马达被加载 50％，并且触发角 / 占空因数 23 被设定为 100° 时，则观察到约 55° 的相角 5。

[0076] 图 12 中示出的参数控制线路 25 由从左上角的加载情况 44 至右下角的卸载情况 45 的范围内变动的五个参数工作点 26 来限定。此外，参数控制线路 25 具有特殊意义，因为该线路是马达使用可能的最小能量的线路。如果触发角 / 占空因数 23 增大而马达电压 13 减小，则马达将减速，并且可能失速。如果马达 3 上的负载增大，则将看到类似结果。

[0077] 如图 13 中图示的，参数控制线路 25 可以被参数化并且投影至一个平面上，该平面由沿着竖直方向的相角 5 和沿着水平方向的触发角 / 占空因数 23 描述。

[0078] 此外，如图 14 中示出的，参数控制线路 25 可以显示在二维曲线图上。在 x 轴上，增大触发角 / 占空因数 23 可以等同于减小马达电压。这是因为小的触发角 / 占空因数产生高电压，而大的触发角 / 占空因数产生低电压。马达控制器将把观察相角 5 驱动至控制线路 25 上对应于马达上当前的负载的点。为了做到这一点，DSP 计算电压和电流之间的相

角。

[0079] 再参照图 2 的框图，随后，基于 RMS 电压 13 的当前值，或者等效地，基于触发角 / 占空因数的当前值，DSP 1 计算下一个目标相角 5。观察相角与目标相角 10 之间的差导致相角误差，该相角误差通过 PID 控制器 12 或者类似装置进行处理以产生新的控制目标。此控制目标以使相角误差最小的方式改变电压。目标相角 10 是动态的，其根据触发角 / 占空因数来改变。

[0080] 如上所述，马达控制器 4 将把观察相角 5 驱动至控制线路 25 上对应于马达 3 上的当前负载的点。因为控制线路 25 直接根据受控的马达 3 来校准，故而此工作点 26 提供可能的最大节能。

[0081] 此校准方法被称为半自动校准。此半自动校准以扫描马达的控制空间的 DSP 1 为基础。如图 15 中示出的，扫描控制空间的意思是 DSP 增大触发角 / 占空因数 23，沿途在离散的点记录每个相位的电流 9 和触发角 / 占空因数 23。因此，以此方式，有可能看到马达的失速点 21 的开始。用于确定控制线路 6 上的点的、通过扫描控制空间 7 获得的观察数据曲线的良好限定的线性部分具有在低触发角 / 占空因数 23 处的恒定的负斜率。随后，当触发角 / 占空因数 23 继续增大时，随着马达 3 开始滑动并且开始失速，电流 9 开始变平并且实际上开始增大，其被称为“膝部 (knee)”31。

[0082] 如图 16 中示出的，随后的扫描可以在马达电压的较小范围被导控为在膝部“放大”。马达控制器 4 需要多次扫描以获取在统计学意义上精确的数据。扫描的数量与校准控制线路 25 所需的时间之间存在权衡。可以使用已知统计处理通过 DSP 1 来维持对准品质的程度 (measure) 并且必要时可以进行额外的扫描。由于 DSP 1 已经从第一次扫描得知膝部 31 的近似位置，故而这是可信的。

[0083] 由于装备的受控环境，故而在半自动扫描过程中，几乎不存在失速的危险。技师或者工作员帮助确保在进行半自动校准的同时，正接受测试的马达 3 上不会被突然施加负载。

[0084] 可以在任意固定负载下进行扫描控制空间的过程。例如，该过程可以在马达 3 完全加载的情况下进行一次，并且可以在马达 3 卸载的情况下进行一次。这两个点成为限定控制线路 25 的两个点。没有必要精确地在这两个点处进行校准。如果需要，DSP 1 将把控制线路 25 延伸超过这两个点。

[0085] 存在许多方法可以用于在电流马达电压 23 的绘制图中寻找失速点 23。如图 17 中示出的，一种方法使用“最小二乘法”方法计算最佳地拟合由最初五个马达电压 23 列表显示的积累的数据的直线。

[0086] 图 18 中示出了此方法的延续。可以使用之前的数据点预测电流 9 的值。以图形的方式，DSP 1 检查从预测的直线沿正方向偏离的一个或多个点。

[0087] 如图 19 中示出的，DSP 1 寻找曲线中膝部的开始。从预测控制线路偏离的第一点可以是或者可以不是膝部 31 的开始。带有正误差的第一点可以仅仅是噪声数据点。核实通过扫描控制空间 7 获得的观察校准数据曲线正在转弯的唯一方式是观察通过额外的扫描获得的数据。

[0088] 半自动校准可以在现场进行。现在参照图 20，图 20 示出了示出如何进行半自动校准的流程图。首先，将马达 3 置于重载配置 44 中。理想地，此配置大于完全额定负载的

50％。接下来，按压马达控制器 4 上的校准按钮 32，告知 DSP 1 进行完全加载测量。DSP 1 运行校准 46，这需要数秒钟时间研究马达 3 的工作空间以确定完全加载点。借助于开启 LED，马达控制器 4 指示其已经完成此步骤。

[0089] 接下来，将马达 3 置于卸载配置 45。理想地，此配置小于额定负载的 25％。随后，按压 47 马达控制器 4 上的校准按钮 32，以告知 DSP 1 进行卸载测量。DSP 1 运行校准 46 以确定卸载点。借助于开启发光二极管 (LED)，马达控制器 4 指示其已经完成校准控制线路 25 的两端 47。随后，DSP 1 使用两个测量确定控制线路 48，并且当 DSP 1 管理马达 3 时应用此控制线路。控制线路 25 的值存储在非易失存储器 49。

[0090] 图 21 示出了半自动校准的更详细的流程图。首先，根据其是否为第一次扫描或者之前已经运行过扫描 106，在马达电压设定在一定度数 51 的情况下，运行第一次校准扫描 46，其中马达控制器测量马达 52，直至马达控制器检测到膝部 53。如果检测到膝部 53，触发角 / 占空因数减小两度 54，并且将相角和马达电压记录至存储器 55。重复此过程以获得至少四次扫描 56，从而获得相角和触发角 / 占空因数的计算平均值 57。如果在校准扫描时的任意步骤期间，未检测到膝部，则触发角 / 占空因数增大至少一度 58 并且测量下一步骤 59。

[0091] 一种用于校准的替代性方法被称为手动校准。图 22 示出了手动校准的流程图。首先，将马达放置在测功计 70。接下来，将马达连接至计算机进行手动控制 71，这允许使马达在开环模式下运行，并且将交流感应马达的触发角 / 占空因数手动地设定为任何工作点。随后，将马达置于完全卸载配置 45。接下来，增大触发角 / 占空因数并且减少 RMS 马达电压 72，直至马达即将失速。记录触发角 / 占空因数和相角，其变为被记录的校准点 73。随后，在驱动元件完全开启的情况下，起动马达 74。随后，将马达置于完全加载配置 44。接下来，增大或减小触发角 / 占空因数，直至 RMS 马达电压由马达控制器 75 斩波至马达即将失速。记录触发角 / 占空因数，其变为被记录的另一校准点 73。最后，使用两个校准点形成控制线路 76。

[0092] 当 RMS 线路电压大于已编程的固定电压时，DSP 控制器将 RMS 马达电压钳位为即使在完全负载下也可能节能的固定电压。例如，如果在单一相位的情况下电源电压在 115V 的马达铭牌电压以上，则将马达电压钳位在 115V。即使当在单一相位或者三相应用中马达完全加载时，钳位马达电压的此工作允许马达控制器节能。

[0093] 图 23 示出了固定电压钳位的流程图。首先，计算相位误差 64。接下来，计算电压误差 65。随后，确定交流感应马达的 RMS 马达电压，并且将其与固定电压阈值比较 66。如果 RMS 马达电压大于固定电压阈值，则确定控制目标是否为正 67。如果控制目标为正，则运行电压控制循环 68。如果交流感应马达的 RMS 马达电压小于固定电压阈值，则运行控制线路闭环 69，并重复整个过程。如果控制目标被确定为不为正，则运行控制线路循环 69，并再次重复整个过程。

[0094] 在某些情况下，在校准过程期间，可能有可能使马达 3 完全加载。在现场安装马达的同时，可能 50％就是可能获得的最大负载。相反地，可能没有可能使马达完全卸载；可能 40％就是可能获得的最低负载。

[0095] 图 24 示出了两负载点均在工作范围的中心附近的示例。在控制线路 25 的右侧的卸载端 45 上，DSP 1 将电压的固定电压钳位 60 设定为最小电压 35。当马达上的负载增大

时，DSP 1 将依循控制线路向左上移动达到控制段 61。此实施例是保守方法，保护马达 3 不在未校准空间内运行。

[0096] 如图 25 中进一步示出的，在左侧的完全加载端 44 上，DSP 1 将使控制段 61 与大的负斜率合成。此实施是保守方法，并且将电压驱动至完全开启。

[0097] 现在参照图 26，基于 DSP 的马达控制器使用特殊技术保护马达不失速。首先，DSP 主动监控电流中的显著增大，这指示马达上的负载已经增大。接下来，如果观察到显著的增大 100，则 DSP 将马达电压转为全开状态 101。接下来，DSP 将试图减少马达电压，以返回控制 102，而 DSP 返回对电流中的显著增大的主动监控 99。此技术是保守的以及对试图追踪该时刻未知的功率需求的 DSP 的安全替代。

[0098] 如图 27 中进一步示出的，图 27 是失速减轻技术的曲线图，x 轴上表示马达上的负载，y 轴上表示时间。底部线 103 表示马达上的负载 103，而顶部线表示由 DSP 施加至马达的功率 104。在点 a 105 以前，DSP 在固定负载的情况下动态地控制马达。在点 a 105 与点 b 30 之间，马达上的负载突然增大，DSP 将马达电压变为完全开启。在点 c 34，DSP 将马达电压减少至点 d 43。

[0099] 在图 28 中，抽油机 30’与井 W 邻近地设置在地面上。原动机或马达 6’用传动带 18’驱动齿轮传动装置或变速器 8’。马达 6’可以与用于供给电力的公用电网连接。配重臂或曲臂 10’的一端与齿轮传动装置 8’设置在一起，配重臂 10’的另一端与配重或旋转块 12’设置在一起。优选地，存在两个配重臂 10’，配重 12’设置在两个配重臂 10’之间。杠杆或游梁 2’在游梁支柱或 A 形架 14’上枢转。游梁拉杆臂或梁臂 16’与梁 2’的一端旋转地附连，梁臂 16’的另一端与旋转块 12’和配重臂 10’的端部旋转地附连。梁伸出部或头部 4’与井 W 邻近地设置在游梁 2’的端部。现在可以理解，抽油机 30’具有常规设计。

[0100] 缆索 20’的一端与游梁头部 4’附连，缆索 20’的另一端与光杆或杆 22’附连。杆 22’设置有大致竖直的管状管柱或抽油杆 26’，管状管柱或抽油杆 26’在井 W 内通过生产油管延伸至井下泵 28’。管状管柱可以包括抽油杆、管、管件、或者与抽油机或辅助从井中泵送或提升流体的其他类似装置一起使用的其他部件。马达 6’可以通过使配重臂 10’的端部围绕水平轴线旋转来驱动抽油机 30’。当配重 12’向上运动时，梁 2’在 A 形架 14’上围绕水平轴线枢转，并且使游梁头部 4’向下运动。当配重 12’运动经过其最上方位置时，配重 12’由于重力及其动量而向下自由降落，梁 2’围绕 A 形架 14’枢转并使游梁头部 4’向上运动。游梁头部 4’对管件 26’的管柱的推动和拉动操作井下泵 28’内的活塞。管状管柱 26’在井 W 内大致竖直地运动和往复。

[0101] 马达 6’通常为能量消耗模式。然而，当降落块（配重 12’或者杆或管状管柱 26’）自由降落时，马达 6’可以处于能量产生模式，由此将马达 6’加速至超过其同步速度，其中该速度由所产生的电流限制。尽管图 28 中示出了示例性常规抽油机 30’，但可以设想，本发明的实施方式可以采用所有抽油机设计，包括但不局限于不同的常规设计、拉夫金·马克 II 设计、游梁平衡设计和常规便携式设计。尽管上述实施方式以抽油机示出，但也可以设想，所有实施方式均可以用于具有旋转或往复运动块的任何装置。

[0102] 转到图 29，图 29 示出了用于在开环模式下附连至抽油机的电动马达、例如图 28 中示出的马达 6’和抽油机 30’的标绘图 36’，该图的纵轴 32’上示出了观察相角，横轴 34’上是时间。下文通过图 30 至图 32D 描述的本发明的实施方式尚未附连至电动马达；因此，马

达处于开环模式。在纵轴 32’上的 90 度观察相角处，画出了第二水平线 40’。当绘制图 36’在第二水平线 40’上方的绘制图第一节段 42’超过 90 度的观察相角时，则马达处于能量产生模式。在马达产生能量而非消耗能量时，电流以超出 90 度的相角落后于电压。在产生能量过程中相角越大，产生的功率越大。在第一水平线 38’下方的绘制图第二节段 44’中，马达处于重耗能模式。在纵轴 32’上小于 90 度的目标相角处，画出第一水平线 38’。下文通过图 30 和图 31 详细讨论目标相角。

[0103] 在图 30 中，闭环马达控制器 50’示意性地示出为连接至可以与诸如图 28 中的抽油机 30’的抽油机连接的诸如图 28 中的马达 6’的电动马达 62’。也可以设想其他抽油机设计用于图 30。马达控制器 50’可以是 PID 控制器。然而，也可以设想其他闭环马达控制器。设想了诸如图 1 和图 2 中的基于 DSP 的马达控制器的基于数字信号处理器 (DSP) 的马达控制器，但是也可以设想其他类型的基于 DSP 的马达控制器。以与图 1 和图 2 中示出的相同的方式，闭环马达控制器 50’可以与马达 (6’、62’) 连接。也可以设想基于微型处理器的控制器。在一个实施方式中，闭环控制器系统可以具有 PID 控制器作为部件。在闭环控制系统或者伺服系统 48’中，控制器 50’可以根据供给至马达 62’的电压和电流计算 52’观察相角。

[0104] 有利地，马达 (6’、62’)、抽油机 30’或者井下泵 28’无需设置传感器。此外，闭环系统 48’可以适用于每个单独的井下泵 28’，并且适用于随着时间改变泵 28’和井 W 的参数和要求，包括但不局限于改变诸如气、油、水和泥浆的泵送的材料和 / 或流体的体积、密度、粘度、重量和其他性质。由系统 48’监控的电压和电流用作井状态的指示，使得系统能够适应于变化的井参数。在大致连续的基础上监控电压和电流使得能够大致连续地读取井状态。当用具有不同特性的其他部件替代抽油机系统的现有部件，例如用具有不同重量的不同管状管柱来替代管状管柱、或者用不同尺寸的配重来替代配重时，假定更换部件后机械系统重新平衡，则闭环系统 48’也适用。在机械系统重新平衡以后，本发明的实施方式允许重新开始节能。

[0105] 输入控制器 50’的目标相角 58’可以与通过控制器 50’确定的两个值之间的差或误差 60’以及所计算的观察相角 52’相比较。可以设想，目标相角 58’可以大致为 90 度，或者目标相角 58’可以大于或者小于 90 度。在安装时，目标相角 58’可以选择为为使用中的马达产生最佳结果。对于例如 65 度的所有马达负载，目标相角 58’均可以是恒定的，但也可以设想其他恒定的目标相角 58’。目标相角 58’也可以是任何瞬时的马达负载的可变函数。对目标相角 58’的设定可以是如下最低的可能目标相角，其在所有时刻维持足够的可观察电流同时提供足以满足马达在所有负载情况下的需求的功率。

[0106] 基于误差信号 60’，马达控制器 50’可以控制施加至马达 62’的供给电压 54’。当因为观察相角过大、例如在开环能量产生模式期间误差 60’相当大时，控制器 50’可以将对马达 62’的供给电压减少至更低值，例如将观察相角 52’减少至目标相角 58’。当因为观察相角过小、例如在重载能量消耗模式期间误差 60’相当大时，控制器 50’可以将对马达 62’的供给电压 54’增大至更高的值，以便使观察相角 52’移动至目标相角 58’。在此闭环系统 48’中，可以连续监控电压和电流，并且由马达控制器 50’控制。也可以设想，如图 2 中示出的，供给电压 54’可以通过使用诸如 TRIAC、SCR、IGBT 或者 MOSFET 的功率控制装置来控制。此外，控制器 50’使用计时器和脉冲宽度调制 (PWM) 技术来控制供给电压，这将在下

文通过图 32 至图 32D 详细讨论。也可以设想其他技术。

[0107] 再参照图 30，控制器 50’读取马达 62’中的电流和每个相位的电压以采集过零点。出版物 U.S.2009/0046490 的图 5 和图 6 分别提出了设想的电压过零点确定装置的示波图和电路图。也可以设想其他类型的电压过零点确定装置。如图 2 中示出的，可以使用一个或多个模数转换器将电压和电流从模拟式转换为数字式，以便进行监控和 / 或控制。控制器 50’可以进行马达相角的计算 52’以获得观察相角。控制器 50’可以将观察相角 52’与目标相角 58’比较，并且作为响应而控制马达供给电压 54’。可以在一个或多个相位中观察相角。控制器 50’可以用于自动地确定相旋转。出版物 No.U.S.2009/0046490 的图 7 中提出了设想的相支承装置和相旋转确定装置的电路图，其中采用了多相工作。

[0108] 此外，可以设想，可以从相位至相位、或者从相位至中性点监控电压。图 10 中是设想的虚拟中性电路的示意图。也可以设想其他虚拟中性电路。在三相功率仅在三角形模式下可用并且不存在用于用作基准的中性点的情形下，虚拟中性电路可以用作基准。也可以设想，可以使用窗口比较器检测电流波形的正半部和负半部两者的过零。图 7 和图 8 中是窗口比较器。也可以设想其他窗口比较器。出版物 No.U.S.2009/0046490 的图 8、图 9 和图 10 分别提出了设想的半周期识别装置的电路图和示波图。

[0109] 转到图 31，该图示出了用于闭环模式下诸如图 28 中的马达 6’和抽油机 30’的与抽油机附连的电动马达的标绘图 64’，纵轴 32’是观察相角，而横轴 34’上是时间。如图 29 中，在第一水平线 38’处，存在小于 90 度的目标相角。与图 29 中不同，图 31 中表示的电动马达输出来自于如图 30 中示出的设置有马达的闭环系统 48’。图 31 中的标绘图第一节段 70’是观察相角超过开环模式下的目标相角处。然而，在闭环模式下在标绘图第一节段 70’中，误差信号 60’借助于控制器 50’产生控制工作以便减少对马达的供给电压 54’以维持目标相角 38’。当开环模式中观察相角超过 90 度时，观察相角的大值产生图 30 中误差信号 60’的大值。

[0110] 在标绘图第一节段 70’期间，使用 PWM 技术有效地关闭马达，而不实际上切断对马达的供电。此时马达中仍有电流流动，这允许控制器 50’知晓何时增大在能量模式消耗期间所需的对马达的供给电压。电流的有功分量可以几乎减少为零，无功分量大于零。借助于当减少电压时实现大部分为无功性质的一些电流，提供了可观察的反馈参数，所述反馈参数在闭环控制系统 48’中用作负载状况的指示标记，控制器 50’可能对所述指示标记产生反应，在能量消耗相位按需供给功率。

[0111] 由于电流为无功性质，故而仅有的功率保留具有表观 (apparent) 性质。电流允许控制器持续观察电流和电压之间的相角。当如图 29 中示出的开环模式下的观察相角不然则在其大于 90 度的最大值时，近似在图 31 中的标绘图第一位置 66’处，出现最大的马达电压减少。

[0112] 当在闭环模式下观察相角超过目标相角时，可以通过 PWM 技术减少供给电压，直至观察相角达到目标相角。在图 31 中的绘制图第一节段 71’的开始处，马达控制器 50’将观察相角从开环模式减少至目标相角。此后，控制器 50’将观察相角大致维持在目标相角。观察相角在目标相角以下的任何进一步减少可以被理解为负载增大，对此控制器 50’可以借助于增大供给电压 54’来响应，直至再次达到目标相角。当观察相角下降至目标相角以下时，在绘制图第二位置 68’处出现对马达的供给电压的最大增大。当配重或者往复块借

助于马达驱动时，观察相角的值将通常小于目标相角，这将产生误差信号，该误差信号产生借助于控制器 50’将供给至马达的电压增大的控制工作。在第一水平线 38’以下的绘制图第二节段 44’中，马达处于重耗能模式。

[0113] 转到图 32，输入线路电压的波形绘制图 200 在单一相位中图示，但也可以设想为三相电压。图 32A 中，已经使用 PWM 技术以斩除或去除电压波形绘制图节段 204，同时保留电压波形绘制图节段 202。图 32A 图示了供给电压的重斩波，其中斩除了电压波形的大节段 204。图 32B 图示了通过 PWM 技术对电压波形的轻斩波，其中，被斩除的电压波形绘制图节段 206 小于图 32A 中示出的斩除节段 204。在图 32B 中，留下的波形绘制图节段 208 大于图 32A 中留下的波形绘制图节段 202。

[0114] 在产生开环能量产生模式期间，例如在图 31 中在绘制图第一位置 66’处，产生图 32A 中的重斩波。在图 32D 中，重斩波 210A 的时期在绘制图节段 210 处图示。图 32A 中示出的电压减少将电流的有功分量几乎减少为零，同时留下大于零的无功分量。这是当马达被有效地美闭、同时仍留下足够的电流以观察相角时的时期。

[0115] 当马达处于例如在图 31 中在绘制图第二节段 44’处所发生的重载耗能模式时，则大致无电压波形节段被消除，而马达供给电压大致如图 32 中所示。在图 32D 中，大致无斩波的时期 212A 在绘制图节段 212 处出现。

[0116] 在图 32D 中，DSP 控制器在绘制图位置 226 和 228 处处于控制模式。在那些时期期间，马达不处于重载耗能模式，并且不在将产生开环能量产生模式时的时期内。在控制模式下，可以产生如图 32B 中示出的轻斩波 226A，或者可以产生如图 32C 中示出的可变斩波以控制马达电压。当马达轻度加载时，这可能发生，在马达仍然耗能的同时节能。图 32C 中的可变斩波使用 PWM 斩除变化尺寸的波形绘制图节段 (214、216、218、220、222、224) 以控制马达电压。图 32C 中斩除的电压波形绘制图节段 (214、216、218、220、222、224) 的尺寸可以均不相同，留下均为不同尺寸的电压波形节段。

[0117] 应当理解，马达控制器可以使用轻斩波、重斩波、可变斩波或者无斩波的任何组合或排列以便将马达供给电压的观察相角控制为目标相角。数字信号处理器 (DSP) 或者马达控制器试图维持大致恒定的观察相角，并且将斩除为达此点所需的量。基于观察相角，DSP 控制马达电压。供给电压的斩波量可以变化。

[0118] 当运行开环的电动马达处于能量产生模式时，由输电系统显示出的负载有效地用作对马达的制动，由此限制马达的速度。这由于产生的电压试图超过由所述公共设施显示出的电压而发生，由此导致显示出的电流沿反方向流动。当如图 30 至图 32D 所示应用闭环控制器系统和方法时，可以有效地最小化或者消除此制动作用，在此期间，马达和系统将通常加速。系统中储存的此额外的动能将用于执行部分泵送作用，而不消耗马达中的能量。最小化或者大致防止能量产生消除了在泵送周期的其他部分中消耗能量的需要，由此节能。

[0119] 现在可以理解，供给至马达的电功率在开环下会发生的能量产生模式期间被有效地“关闭”，同时维持电压和电流的反馈信号以确定当观察相角减弱时何时再次开启电动马达。此系统和方法将始终如一地适配于井中变化的参数，这在过去是无法做到的。举一个例子，所述马达和系统适配于在不同时刻泵送具有不同密度或者重量的两个或更多个流体。由所述系统监控的电压和电流用作井状况的指示标记，允许系统适应于变化的井参数。借助于不进入能量产生模式，可以最小化或者消除由开环能量产生模式产生的制动作用，故

而获得了系统中加速的益处。借助于最小化或者消除不然则被系统消耗的能量，可以从减少对马达的供给电压以及从当在产生模式时最小化或者消除马达的制动作用两方面引起节能。

[0120] 设想电动马达的所有类型和设计，用于与上文描述的本发明的不同实施方式一起使用，这些类型和设计包括但不局限于交流感应马达和交流同步马达。设想抽油机的所有类型和设计，用于与上文描述的本发明的不同实施方式一起使用，这些类型和设计电括但不局限于所有常规设计、拉夫金·马克 II 设计、游梁平衡设计和常规便携式设计。尽管所述实施方式随抽油机示出，但也可以设想，上文描述的所有实施方式也可以用于具有旋转或往复块的任何装置。尽管一些实施方式已经示出为带有单向电压和电流，但也可以设想，本发明的所有实施方式带有单相或多相电压和电流。

[0121] 本发明的上述公开和描述是其示例和说明，在不脱离本发明的精神的情况下，可以对图示的设备和系统、构造和工作的方法的细节进行各种改变。

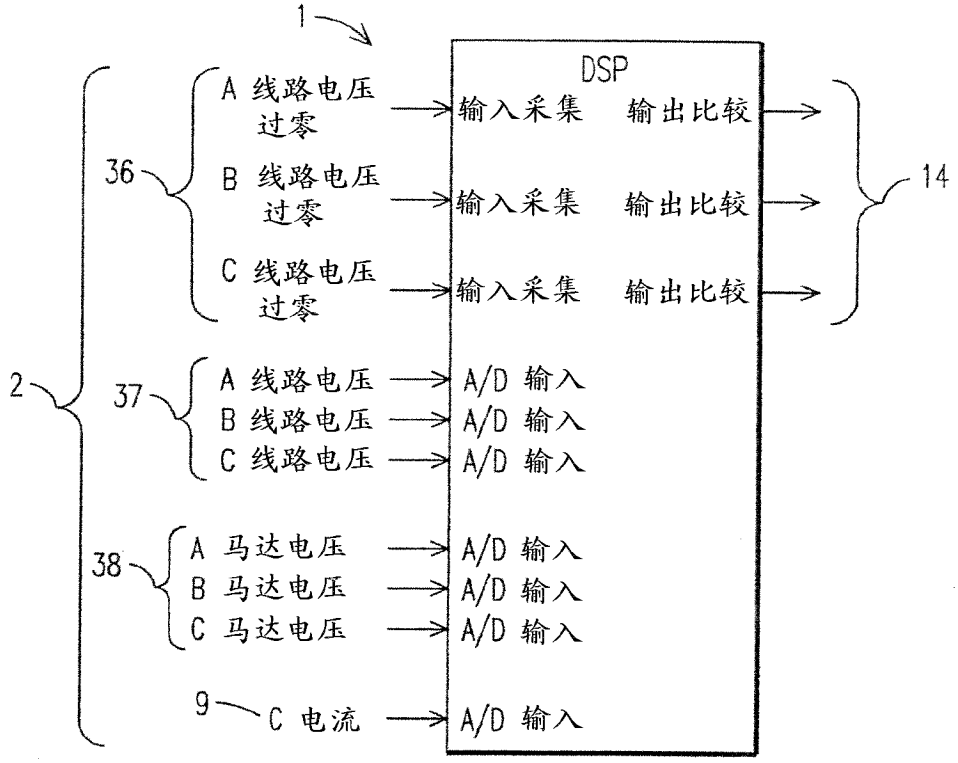

1
DSP
A 线路电压过零
B 线路电压过零
C 线路电压过零
输入采集
输出比较
36
14
2
37
A 线路电压
B 线路电压
C 线路电压
A/D 输入
38
A 马达电压
B 马达电压
C 马达电压
9
C 电流

图 1

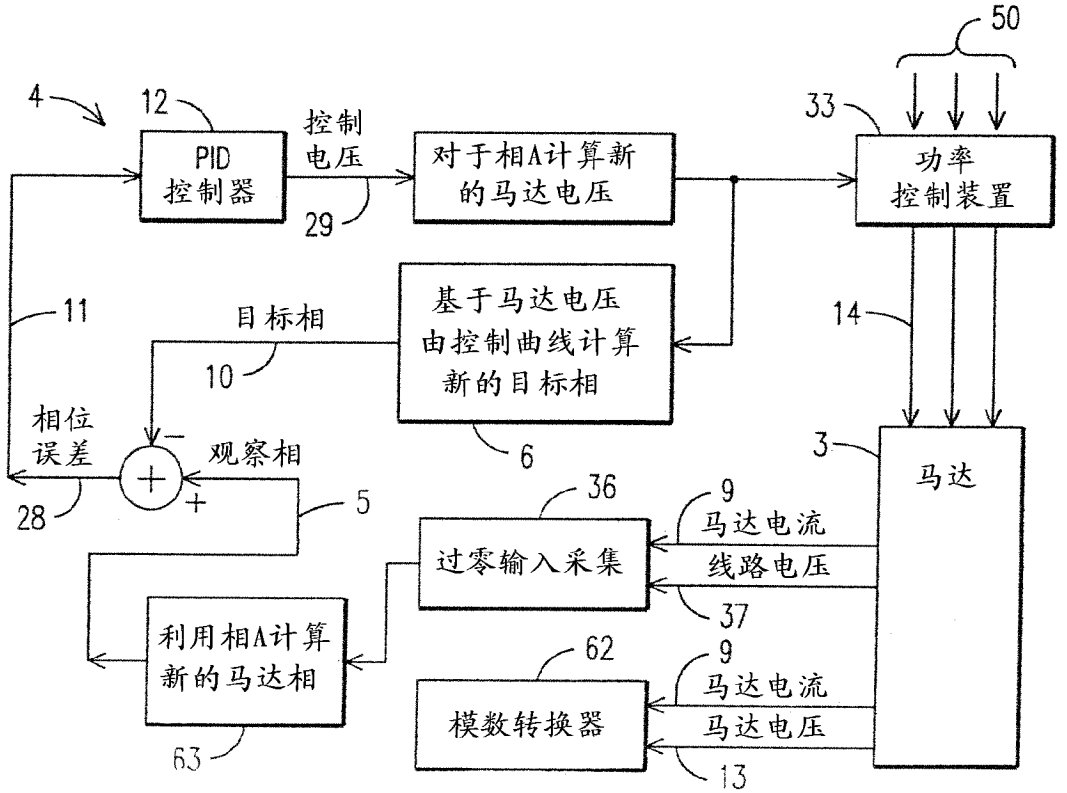

50
4
12
PID 控制器
控制电压
29
对于相A计算新的马达电压
33
功率控制装置
基于马达电压由控制曲线计算新的目标相
11
目标相
10
14
相位误差
观察相
28
5
6
3
马达
36
9
马达电流
过零输入采集
线路电压
37
利用相A计算新的马达相
62
模数转换器
马达电压
63
13

图 2

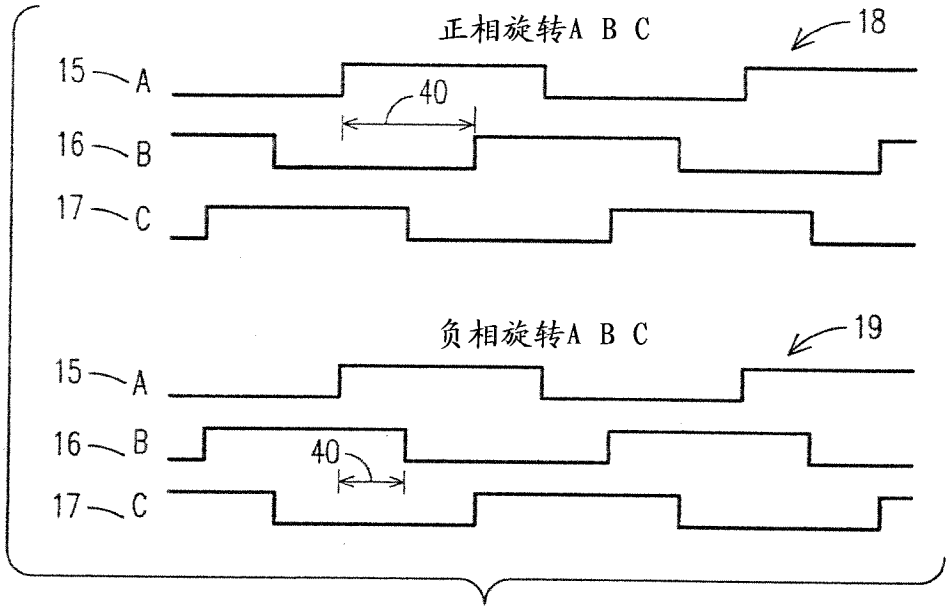

正相旋转A B C
18
15
A
40
16
B
17
C
负相旋转A B C
19
15
A
16
B
40
17
C

图 3

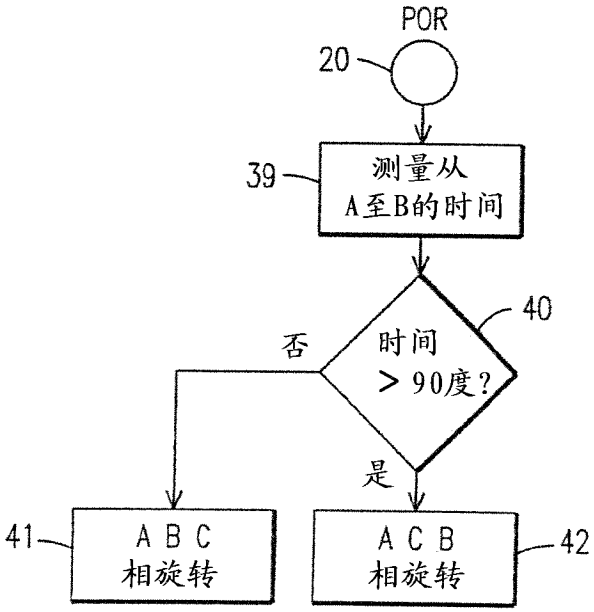

POR
20
39
测量从
A至B的时间
40
否
时间
> 90度?
是
41
A B C
相旋转
A C B
相旋转
42

图 4

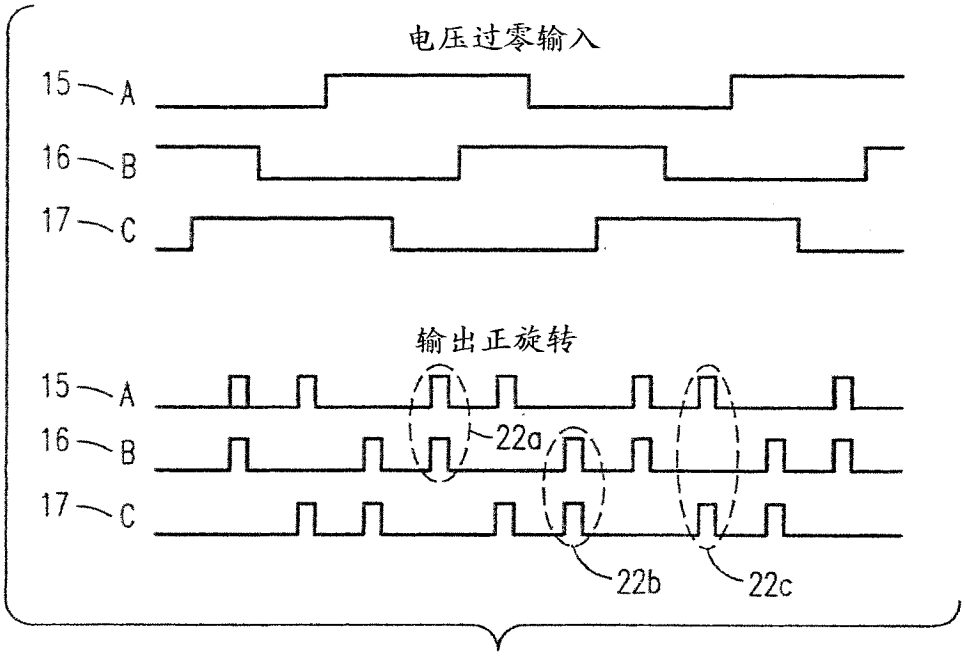

电压过零输入
15
A
16
B
17
C
输出正旋转
15
A
16
B
17
C
22a
22b
22c

图 5

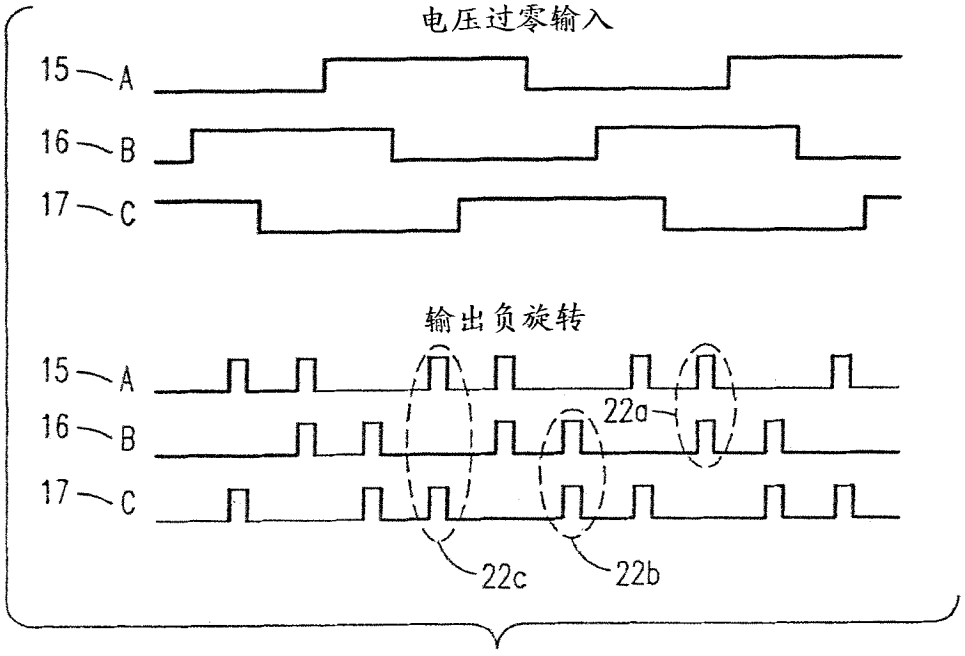

电压过零输入
15
A
16
B
17
C
输出负旋转
15
A
16
B
17
C
22a
22c
22b

图 6

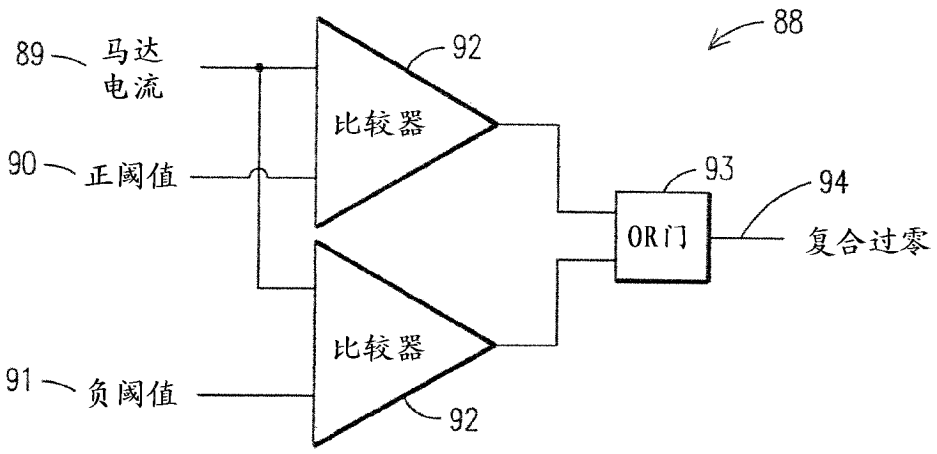

88
89
马达
电流
92
比较器
90
正阈值
93
94
OR门
复合过零
比较器
91
负阈值
92

图 7

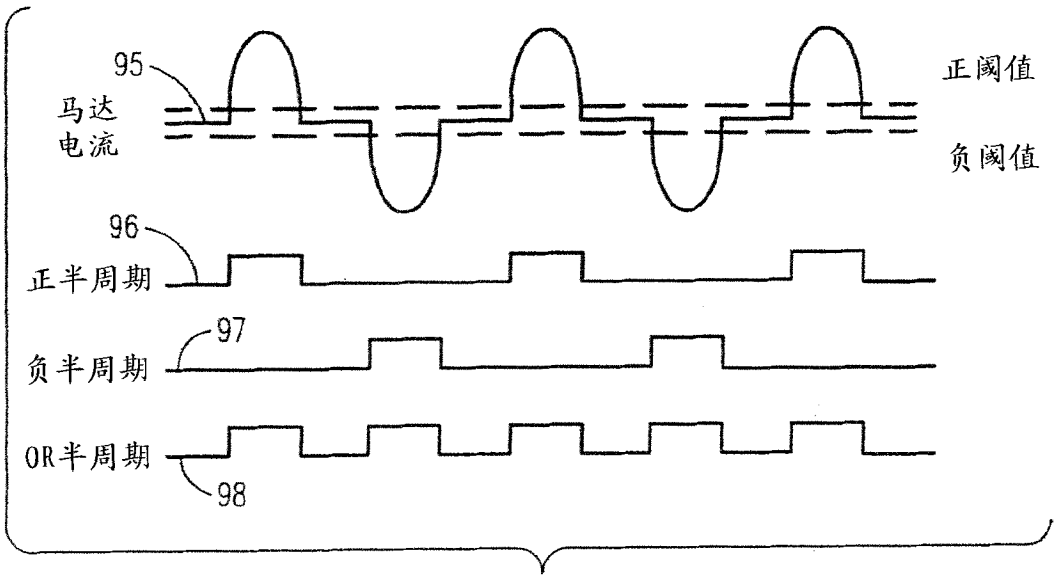

95
马达
电流
正阈值
负阈值
96
正半周期
97
负半周期
OR半周期
98

图 9

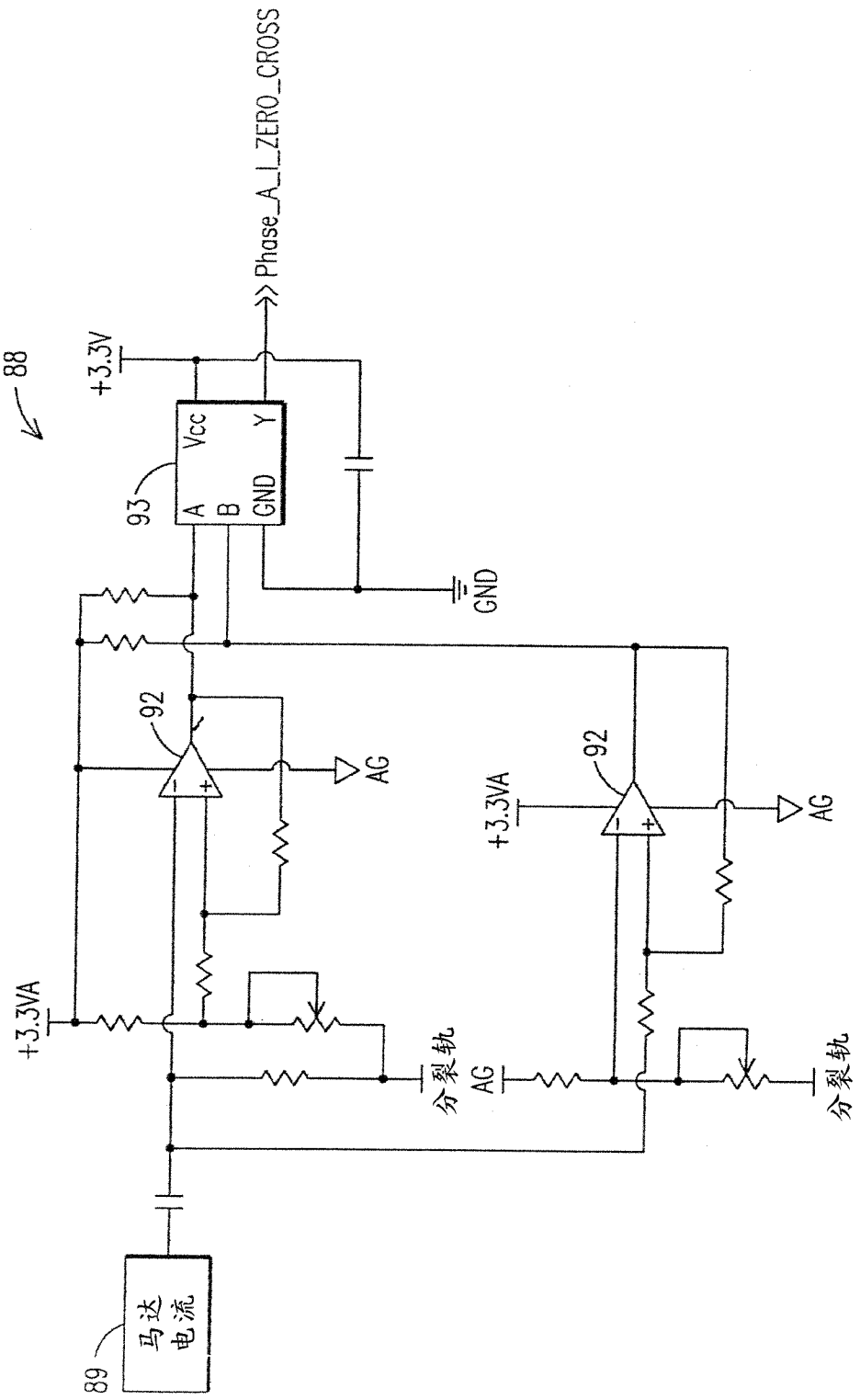

88
+3.3V
Phase_A_I_ZERO_CROSS
93
Vcc
Y
A
B
GND
GND
92
AG
+3.3VA
92
+3.3VA
AG
+3.3VA
分裂轨
AG
分裂轨
89
马达
电流

图 8

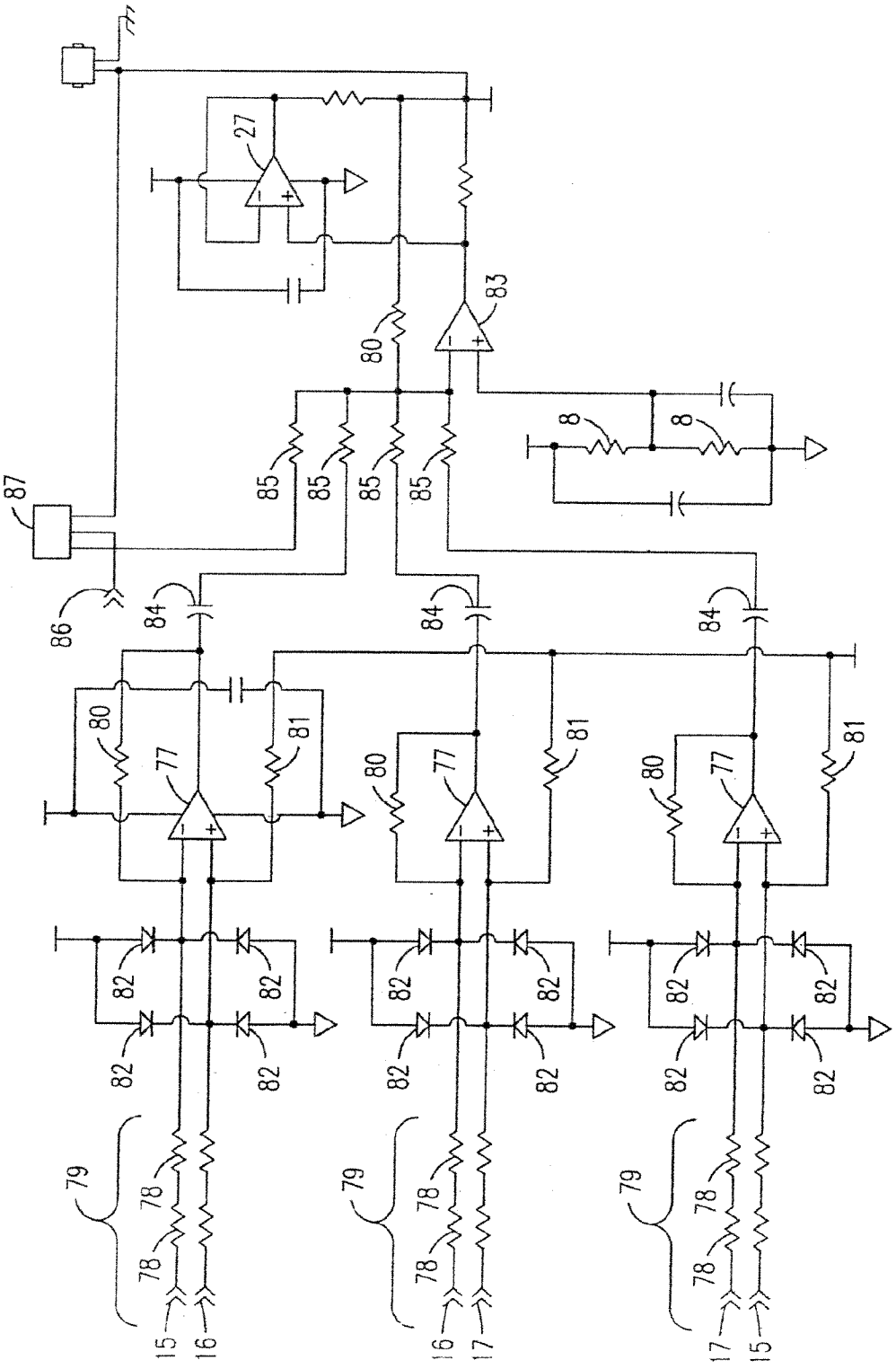

27
83
80
85
85
85
85
8
8
87
86
84
84
84
80
81
77
80
81
77
80
81
77
82
82
82
82
82
82
82
82
82
82
82
82
79
78
78
15
16
79
78
78
16
17
79
78
78
17
15

图 10

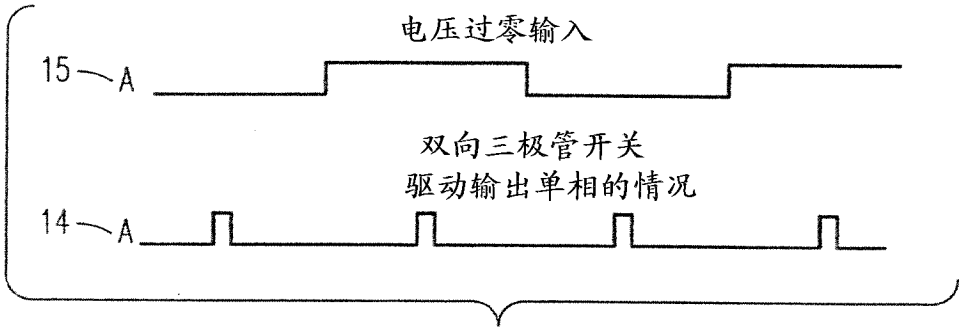

电压过零输入
15
A
双向三极管开关
驱动输出单相的情况
14
A

图 11

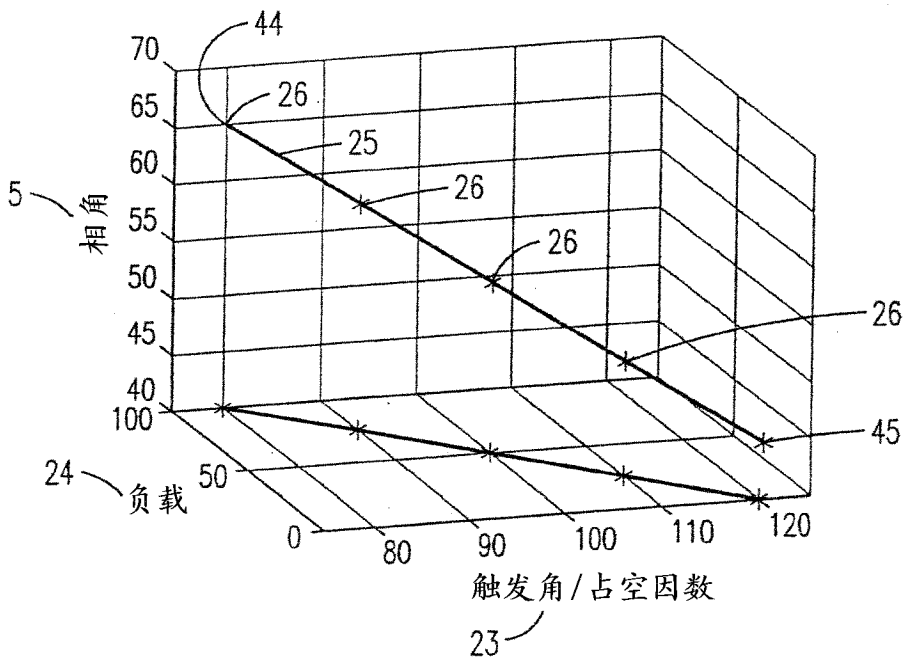

44
70
65
26
60
25
5
相角
55
26
50
45
26
40
45
100
24
负载
50
0
80
90
100
110
120
触发角/占空因数
23

图 12

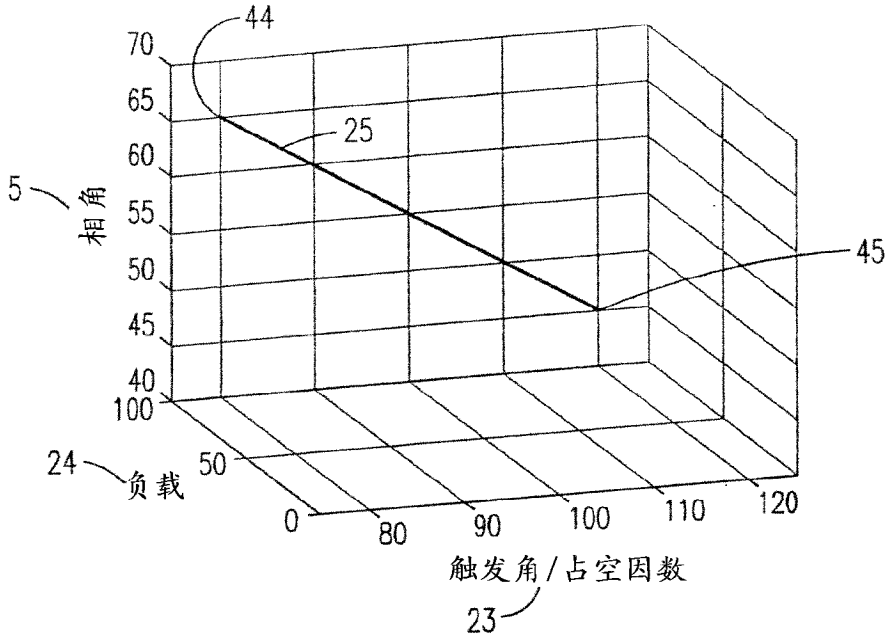

44
70
65
60
55
50
45
40
25
5
相角
45
100
50
0
24
负载
80
90
100
110
120
触发角/占空因数
23

图 13

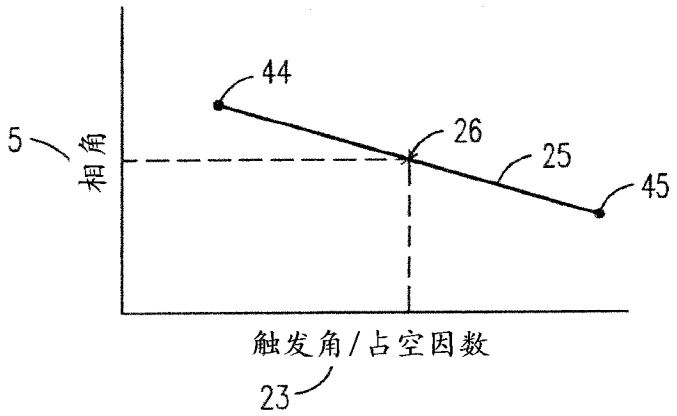

44
26
25
45
5
相角
触发角/占空因数
23

图 14

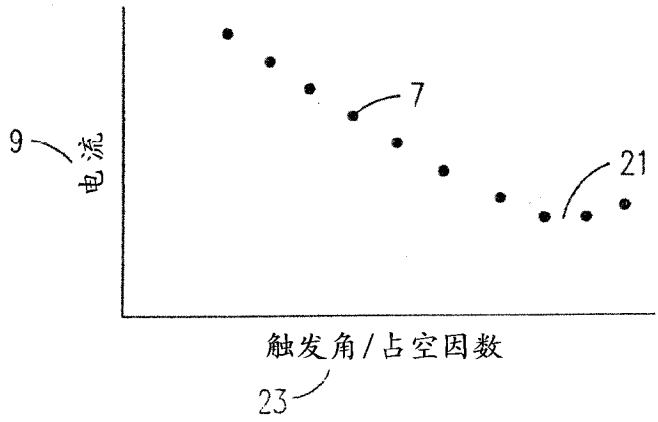


图 15

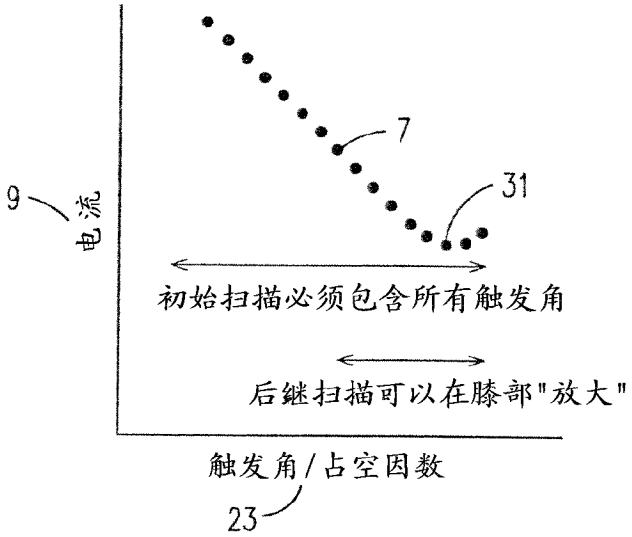
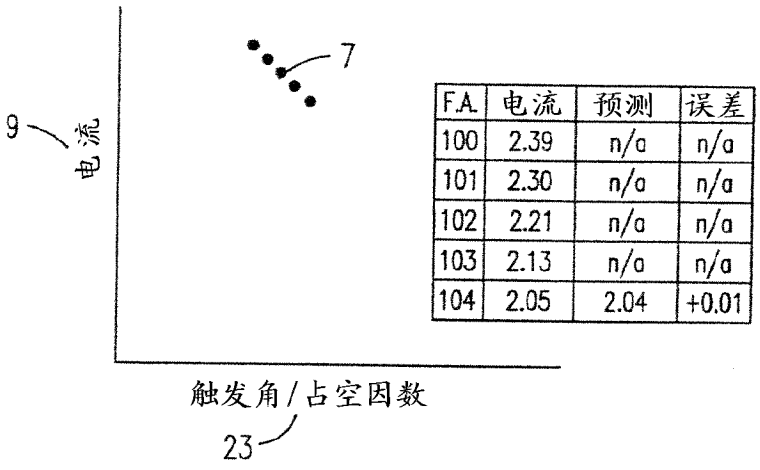
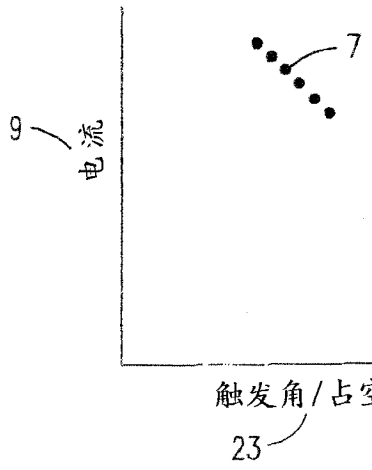


图 16



F.A.	电流	预测	误差
100	2.39	n/a	n/a
101	2.30	n/a	n/a
102	2.21	n/a	n/a
103	2.13	n/a	n/a
104	2.05	2.04	+0.01

图 17



F.A.	电流	预测	误差
100	2.39	n/a	n/a
101	2.30	n/a	n/a
102	2.21	n/a	n/a
103	2.13	n/a	n/a
104	2.05	2.04	+0.01
105	1.95	1.95	0.00

图 18

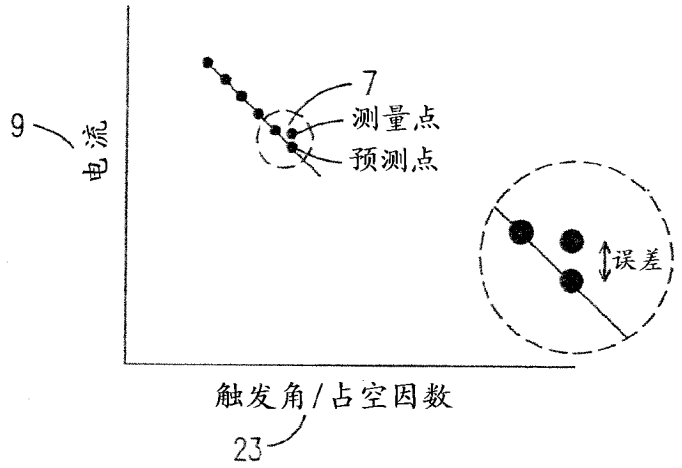


图 19

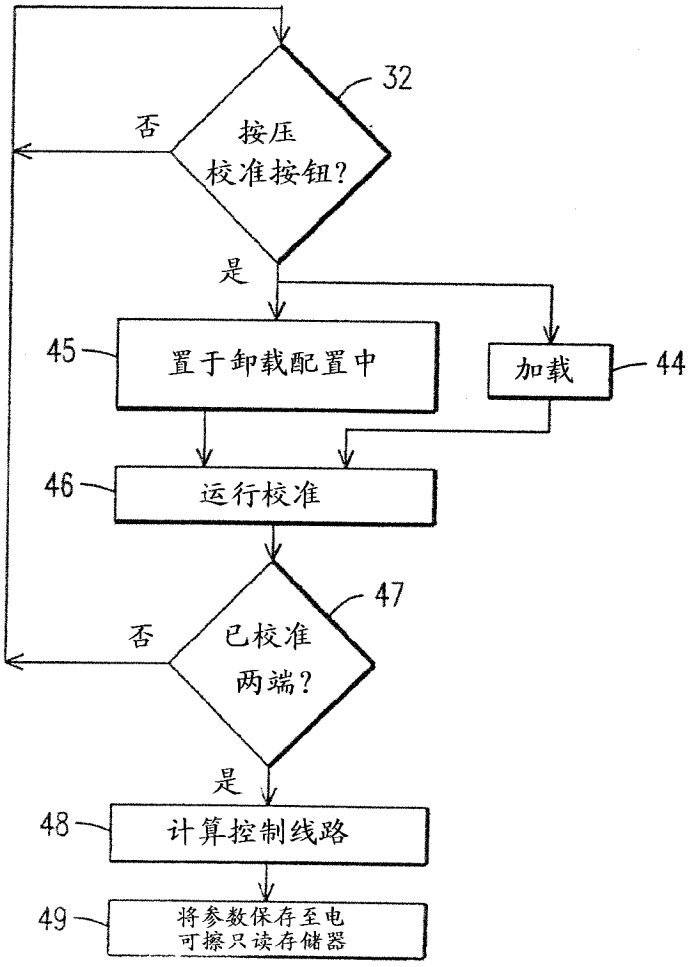

32
按压
校准按钮?
否
是
45
置于卸载配置中
加载
44
46
运行校准
47
已校准
两端?
否
是
48
计算控制线路
49
将参数保存至电
可擦只读存储器

图 20

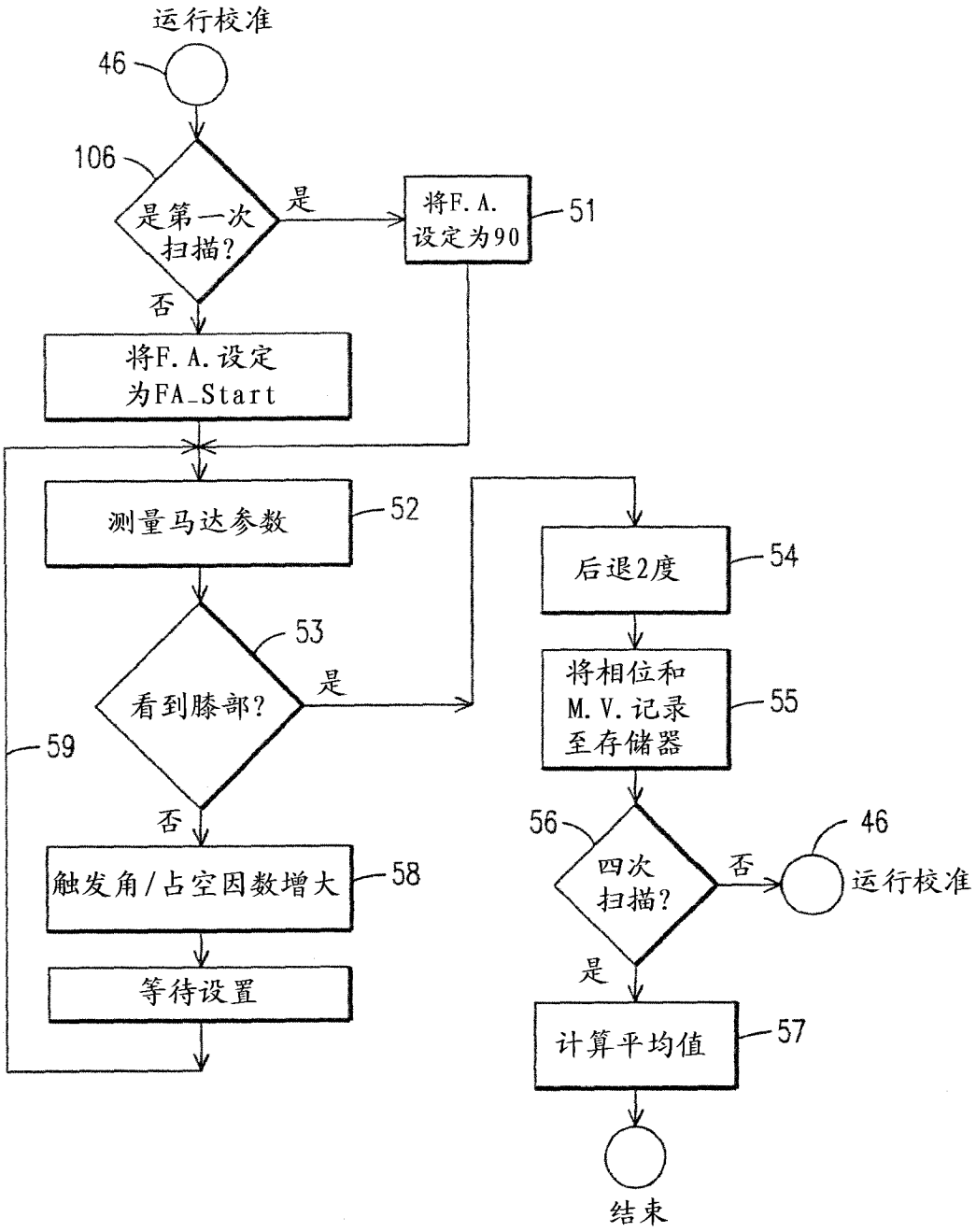

运行校准
46
106
是第一次扫描?
是
将F.A.设定为90
51
否
将F.A.设定为FA_Start
测量马达参数
52
看到膝部?
53
是
59
否
触发角/占空因数增大
58
等待设置
后退2度
54
将相位和M.V.记录至存储器
55
56
四次扫描?
否
46
运行校准
是
计算平均值
57
结束

图 21

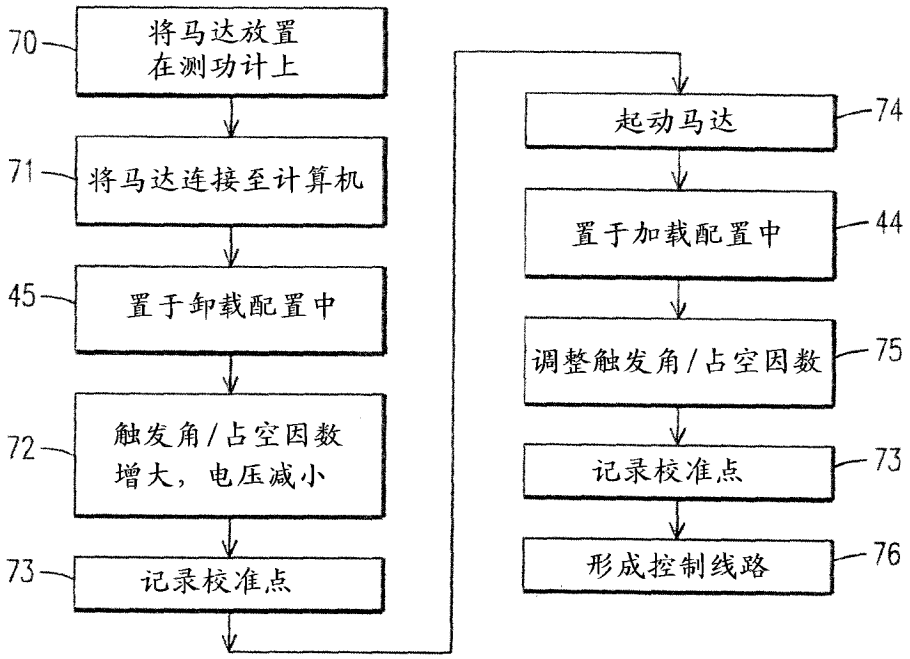

70
将马达放置在测功计上
71
将马达连接至计算机
45
置于卸载配置中
72
触发角/占空因数增大，电压减小
73
记录校准点
74
起动马达
44
置于加载配置中
75
调整触发角/占空因数
73
记录校准点
76
形成控制线路

图 22

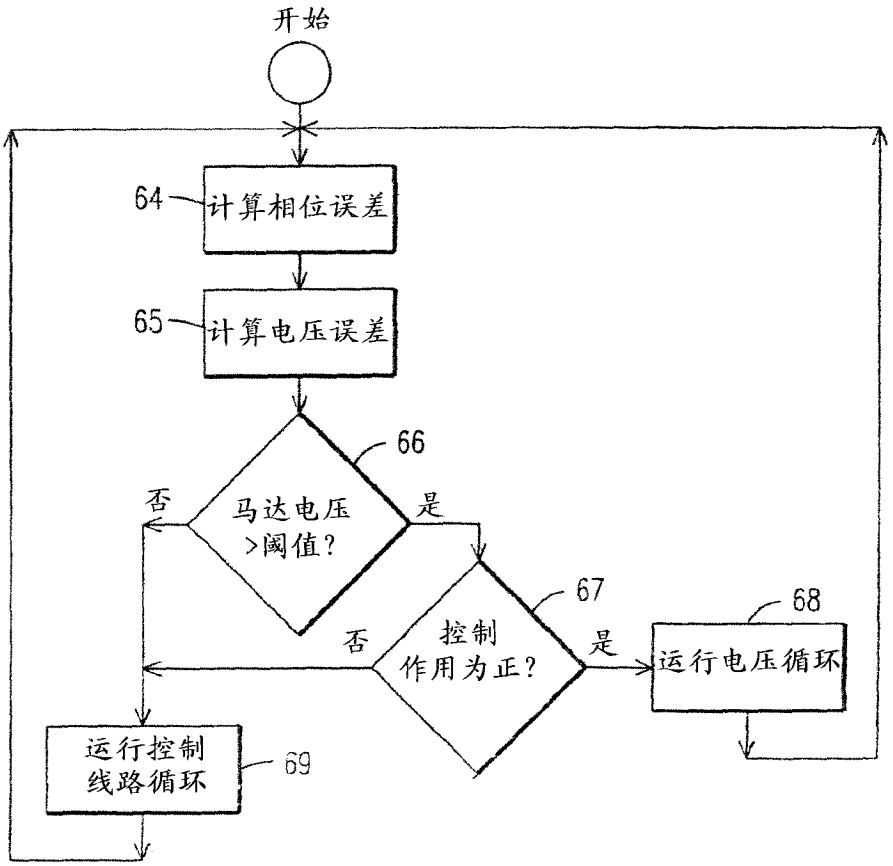

开始
64
计算相位误差
65
计算电压误差
66
马达电压>阈值?
否
是
67
控制作用为正?
否
是
68
运行电压循环
运行控制线路循环
69

图 23

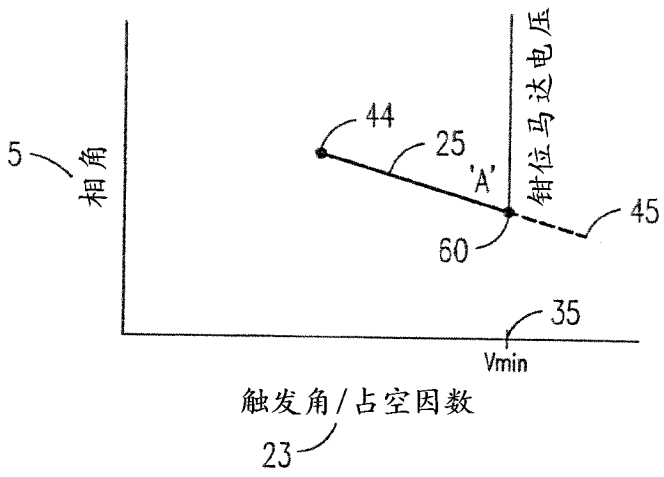


图 24

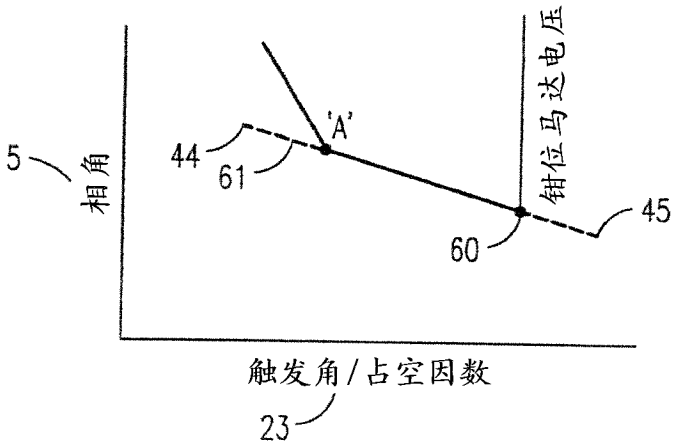


图 25

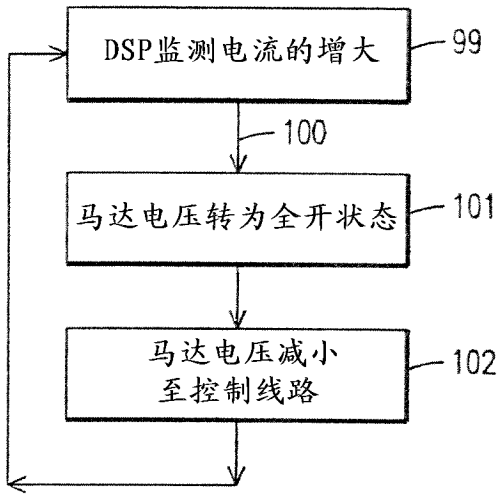


图 26

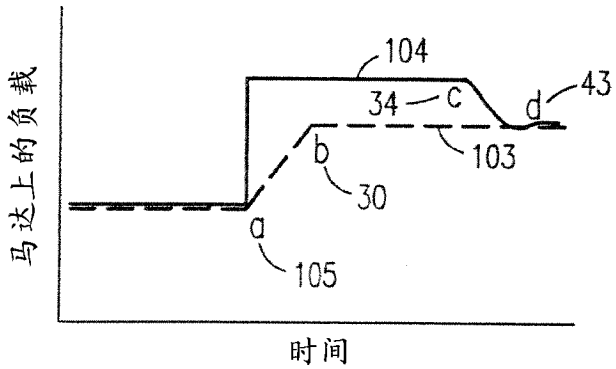


图 27

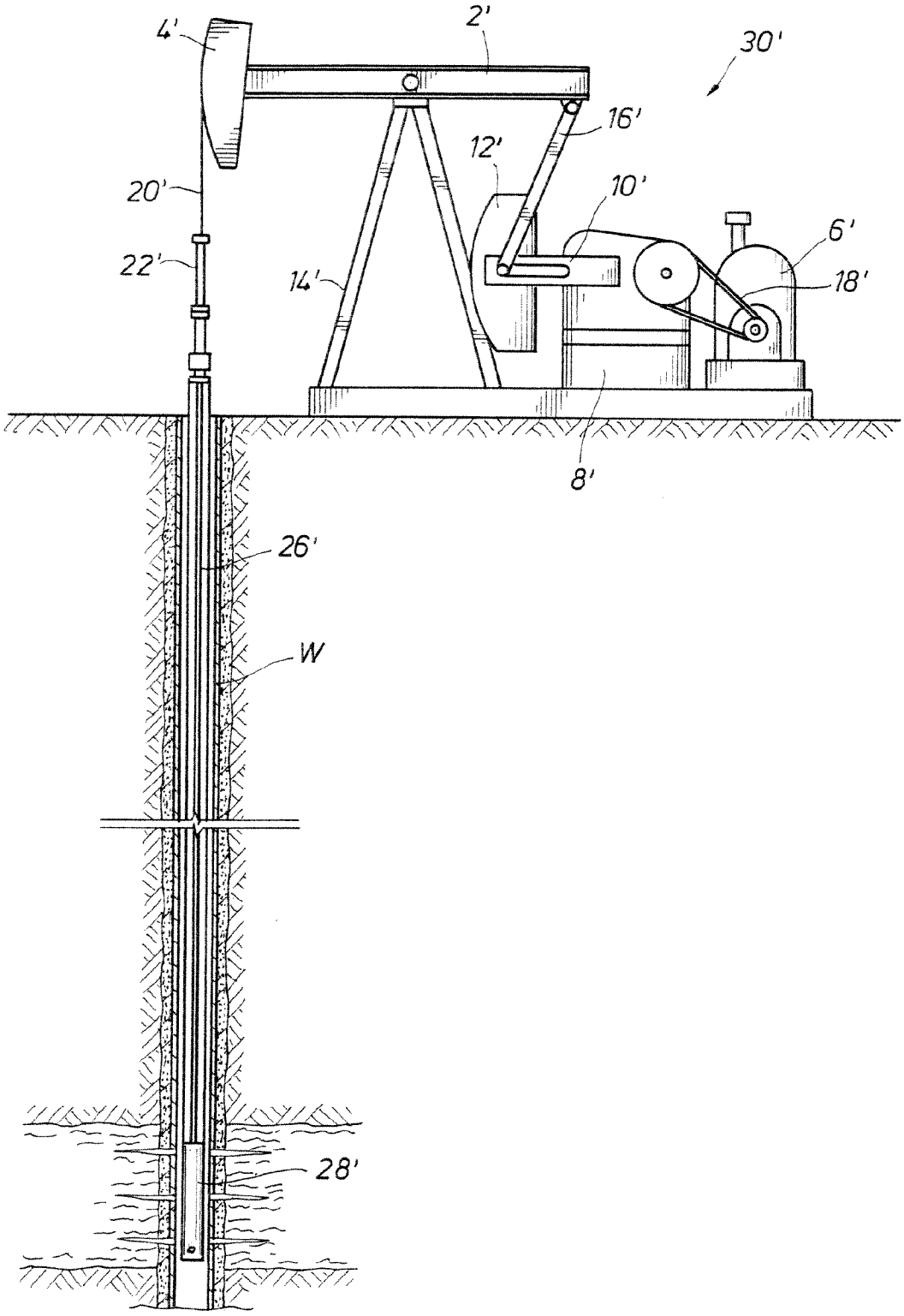


图 28

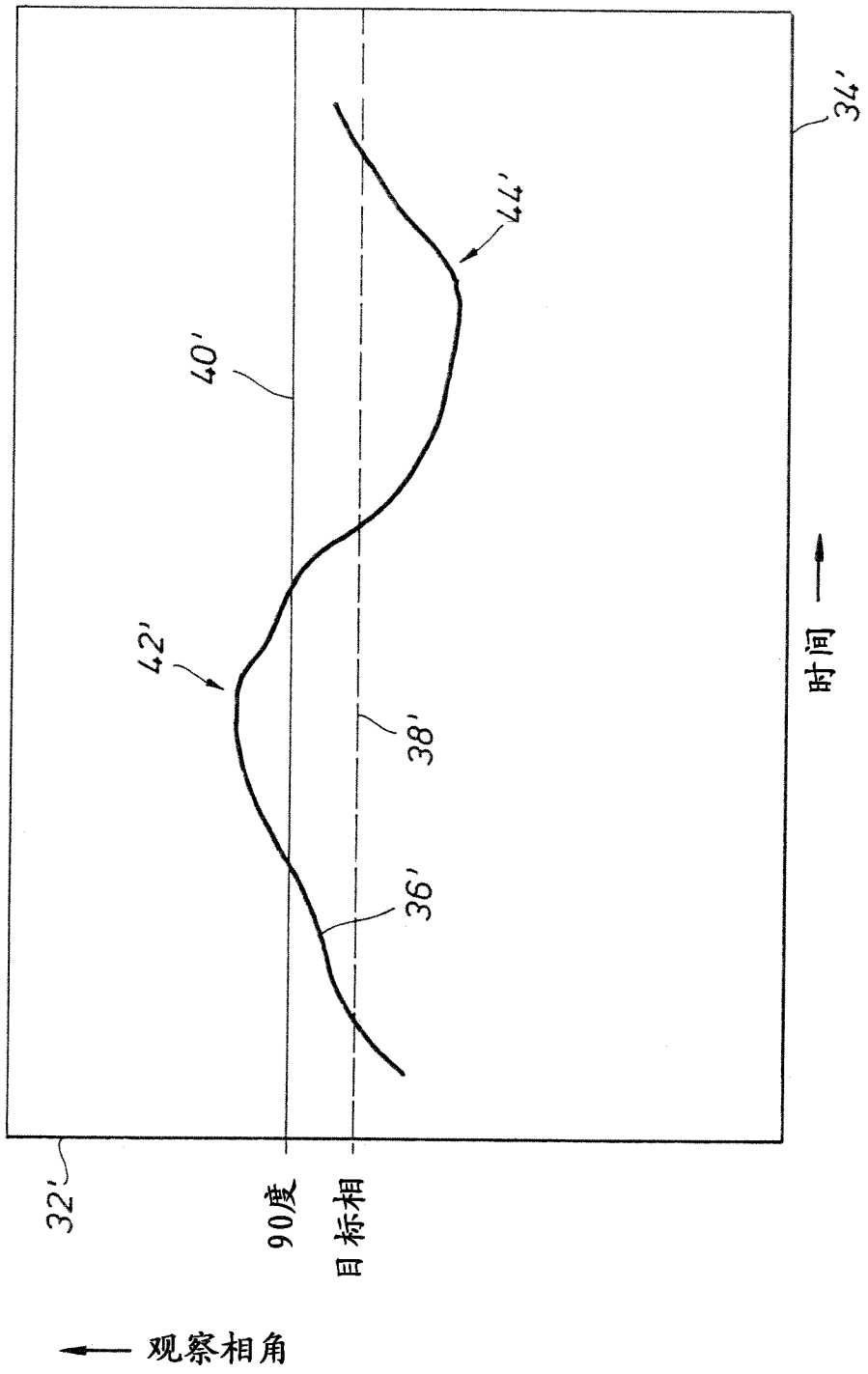


图 29

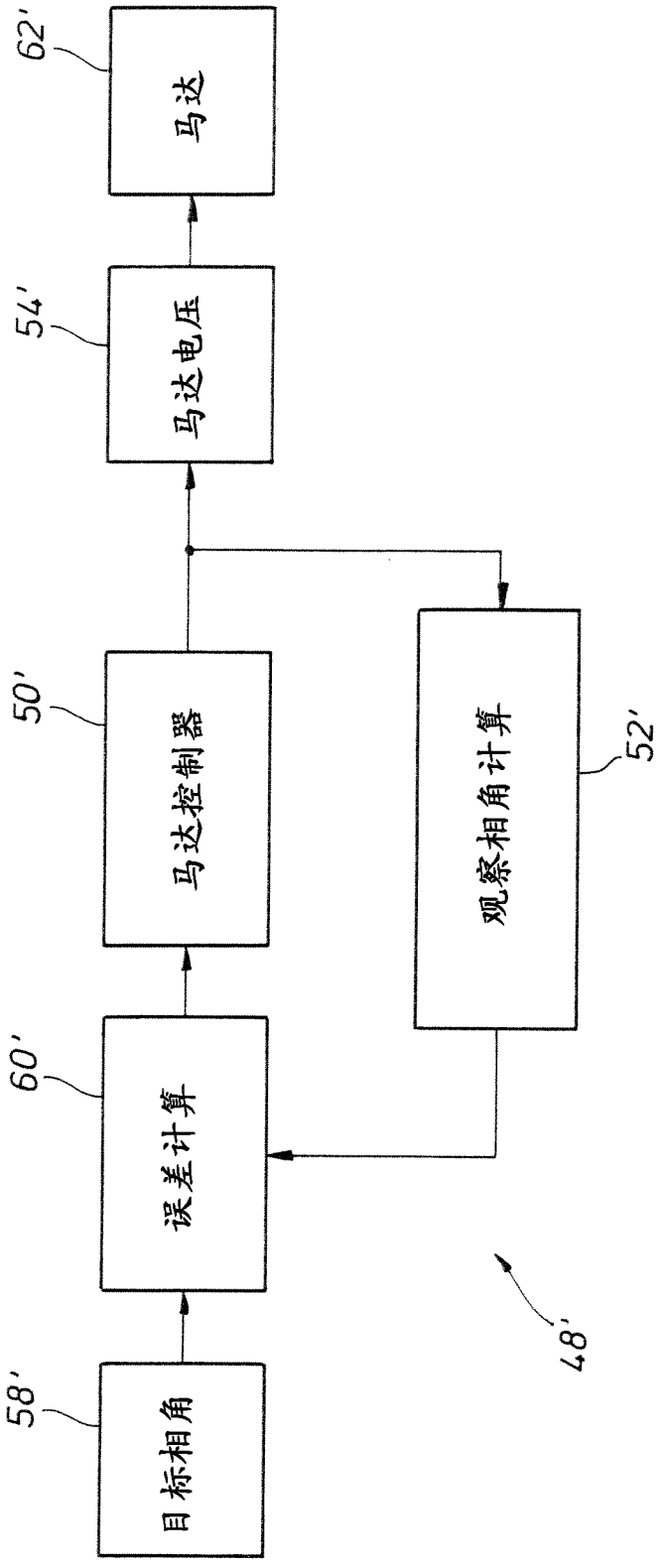


图 30

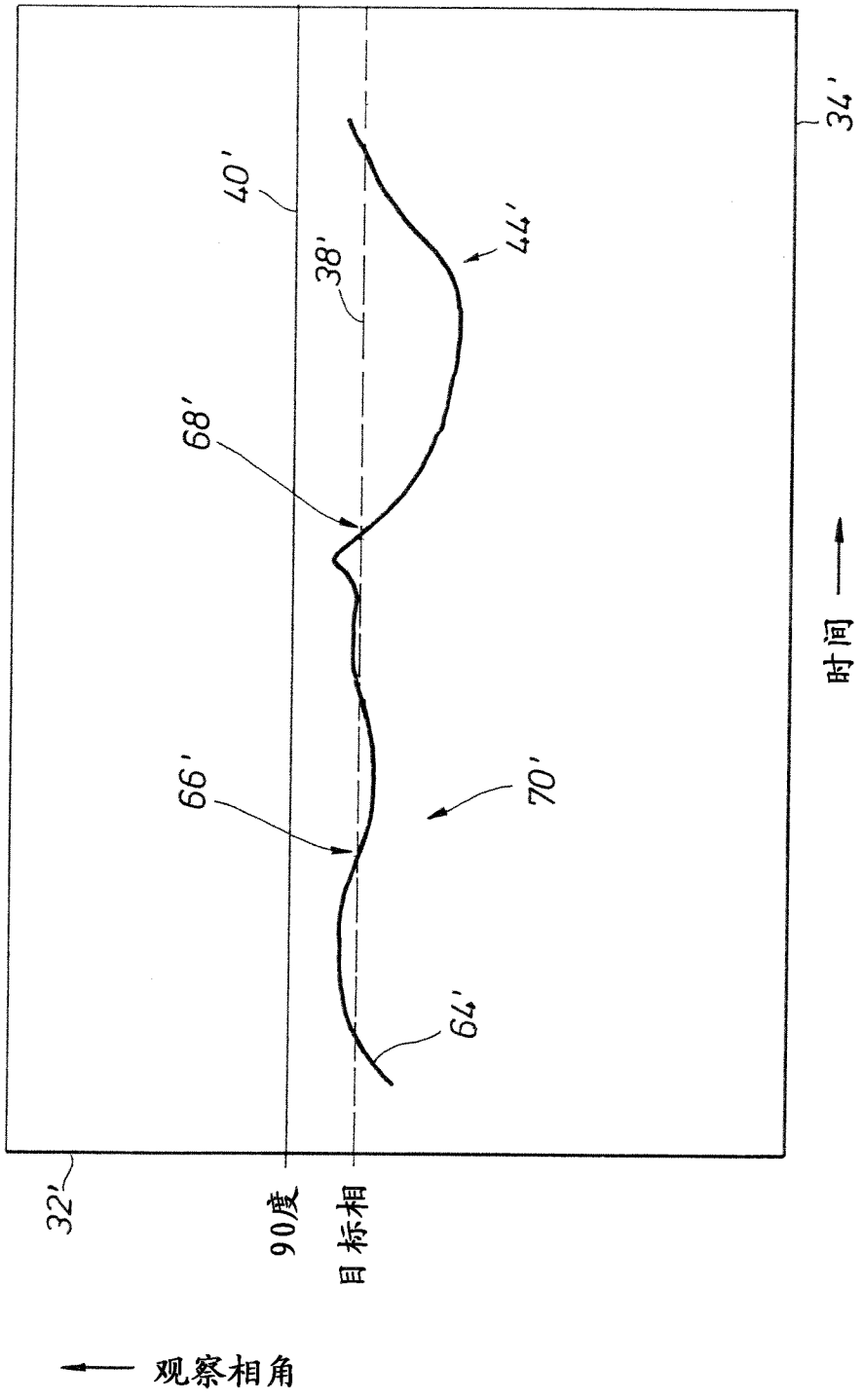


图 31

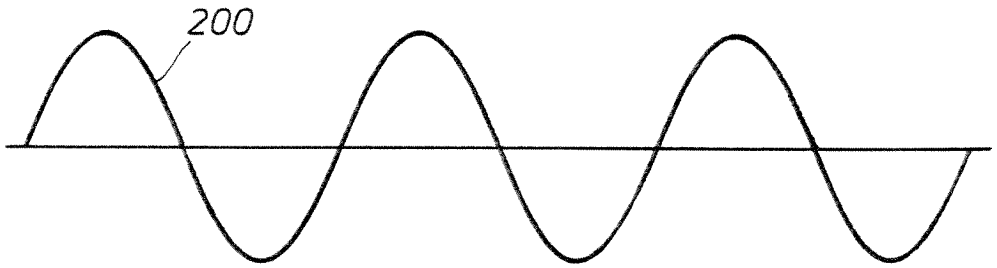


图 32

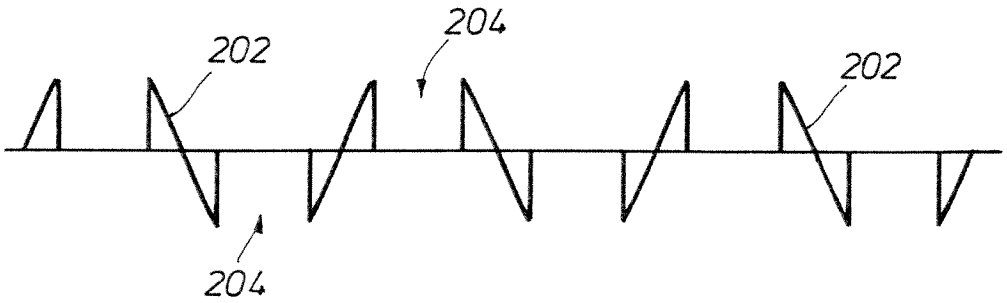


图 32A

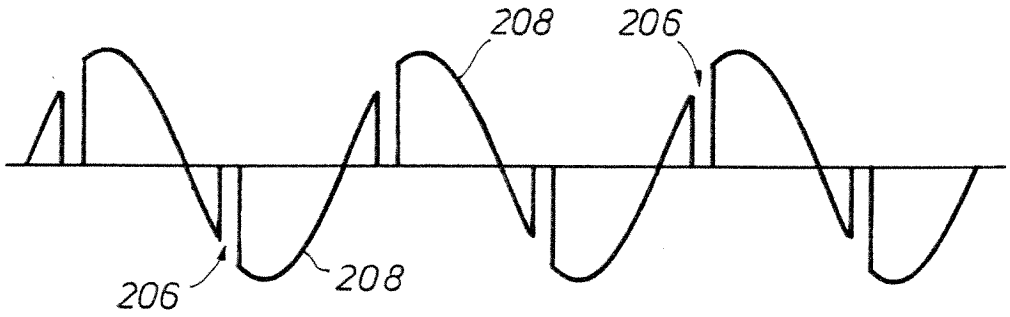


图 32B

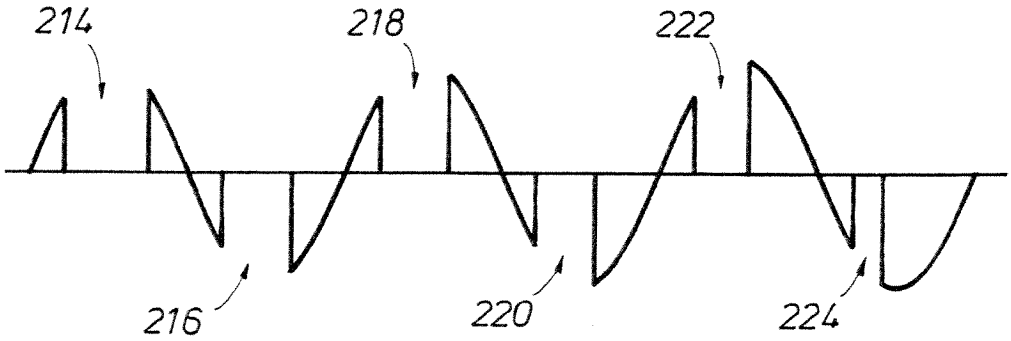


图 32C

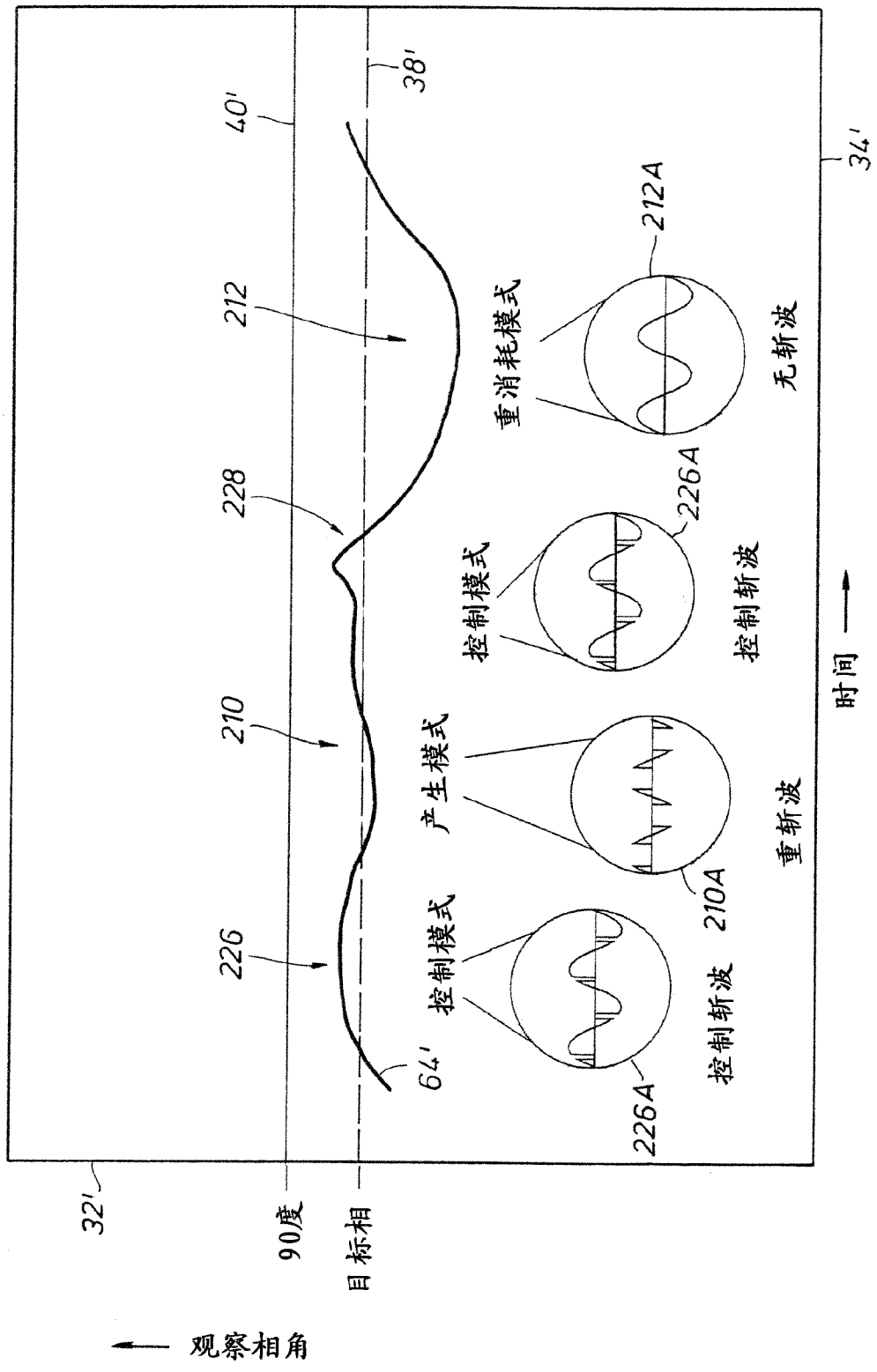

观察相角
32'
90度
目标相
64'
226
210
228
212
40'
38'
34'
时间
控制模式
产生模式
控制斩波
重斩波
226A
210A
控制模式
226A
控制斩波
重消耗模式
212A
无斩波

图 32D