(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 104428990 A
(43)申请公布日 2015.03.18

(21)申请号 201380037573.5
(22)申请日 2013.07.01
(30)优先权数据
13/551,973 2012.07.18 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.01.14
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/048854 2013.07.01
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/014642 EN 2014.01.23
(71)申请人 伊顿公司
地址 美国俄亥俄州
(72)发明人 E·J·奥尔森 B·陆 T·闫
S·J·弗雷德特 C·J·卢布克
(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所 11247
代理人 杨晓光 于静
(51)Int.Cl.
H02P 23/14(2006.01)
H02P 27/04(2006.01)

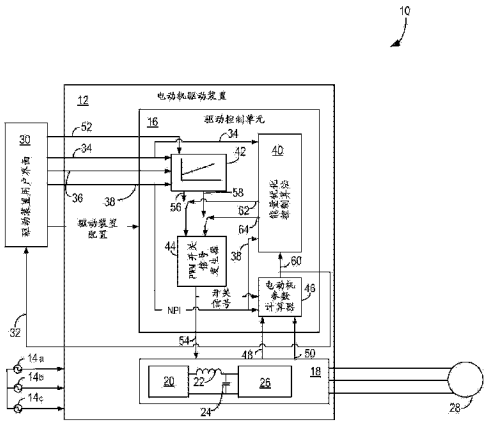
权利要求书2页 说明书16页 附图12页

(54)发明名称

动态调整到负载的实际功率的系统和方法

(57)摘要

一种用于控制AC电动机驱动装置的系统和方法包括使用算法设计的控制系统，所述算法被配置为优化所述电动机驱动装置的操作。具体地说，所述控制系统被设计为将初始电压－频率指令输入到所述驱动装置。所述初始电压－频率指令包括对应于初始电压/频率(V/Hz)曲线的操作点的参考电压和参考频率。所述控制系统监视所述驱动装置的实时输出，根据所述驱动装置的所述实时输出修改所述参考电压，并且将修改的电压－频率指令发送到所述驱动装置。所述修改的电压－频率指令对应于由所述修改的参考电压和所述初始V/Hz曲线定义的修改的V/Hz曲线的操作点。



CN 104428990 A

1. 一种用于控制 AC 电动机的驱动装置的控制系统，所述控制系统被设计为：

将初始电压 - 频率指令输入到所述驱动装置，所述初始电压 - 频率指令包括对应于初始电压 / 频率 (V/Hz) 曲线的操作点的参考电压和参考频率；

监视所述驱动装置的实时输出；

根据所述驱动装置的实时输出修改所述参考电压；以及

将修改的电压 - 频率指令发送到所述驱动装置，所述修改的电压 - 频率指令对应于由所述修改的参考电压和所述初始 V/Hz 曲线定义的修改的 V/Hz 曲线的操作点。

2. 根据权利要求 1 所述的控制系统，被进一步设计为将所述修改的 V/Hz 曲线定义为所述修改的电压 - 频率指令的操作点与所述初始 V/Hz 曲线的磁场减弱点之间的线性路径。

3. 根据权利要求 1 所述的控制系统，被进一步设计为将所述修改的 V/Hz 曲线定义为所述修改的电压 - 频率指令的操作点与所述初始 V/Hz 曲线的原点之间的线性路径。

4. 根据权利要求 1 所述的控制系统，被进一步设计为：

根据所述驱动装置的实时输出检测电动机状况；以及

如果检测到所述电动机状况，则调整所述修改的电压 - 频率指令的参考电压。

5. 根据权利要求 4 所述的控制系统，被进一步设计为：

根据所调整的参考电压定义第二修改的 V/Hz 曲线；以及

将第二修改的电压 - 频率指令发送到对应于所述第二修改的 V/Hz 曲线上的操作点的所述驱动装置。

6. 根据权利要求 5 所述的控制系统，被进一步设计为根据所述初始 V/Hz 曲线的原点与所述初始 V/Hz 曲线的磁场减弱点之一定义所述第二修改的 V/Hz 曲线。

7. 根据权利要求 4 所述的控制系统，被进一步设计为如果检测到所述电动机状况，则将所述修改的电压 - 频率指令重置为所述初始 V/Hz 曲线的操作点。

8. 根据权利要求 1 所述的控制系统，其中所述 AC 电动机的实时输出包括以下各项之一：电动机 rms 电压、电动机 rms 电流、电动机输入功率、电动机速度、电动机转差率、电动机功率因数、电动机效率和电动机温度。

9. 根据权利要求 1 所述的控制系统，被进一步设计为根据所述驱动装置的实时输出确定电动机参数的值，所述电动机参数包括以下各项的至少一个：电动机电压、电动机电流、电动机转矩、电动机速度、电动机转差率、电动机功率因数、电动机效率和电动机温度。

10. 根据权利要求 1 所述的控制系统，被进一步设计为发送多个增量式修改的电压 - 频率指令，以便修改所述 AC 电动机的操作速度。

11. 一种用于控制电动机驱动装置的输出的方法，包括：

根据静态电压 - 频率分布操作所述电动机驱动装置，以便产生输出功率以驱动电动机；

确定对应于所述静态电压 - 频率分布的指定电动机参数的初始值；

在所述电动机驱动装置的操作期间修改参考电压指令，以便产生减少的电动机输入功率；

根据所修改的参考电压指令和所述静态电压 - 频率分布的操作点定义修改的电压 - 频率分布；以及

根据所述修改的电压 - 频率分布操作所述电动机驱动装置。

12. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括根据所述静态电压 - 频率分布的原点和所述静态电压 - 频率分布的磁场减弱点的至少之一定义所述修改的电压 - 频率分布。

13. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括 ：

确定所述指定电动机参数的公差带 ；以及

在所述电动机驱动装置的操作期间选择性地修改所述参考电压指令，以便将所述指定电动机参数保持在所述公差带内。

14. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括针对所述参考电压指令的每次修改，确定所述指定电动机参数的值。

15. 根据权利要求 11 所述的方法，其中确定所述指定电动机参数的值包括确定以下各项之一的值 ：电动机 rms 电压、电动机 rms 电流、电动机输入功率、电动机速度、电动机转差率、电动机功率因数、电动机效率和电动机温度。

16. 根据权利要求 11 所述的方法，进一步包括 ：

监视所述指定电动机参数，以便检测不理想的电动机状况 ；以及

如果检测到所述不理想的电动机状况，则逐渐增加所述参考电压指令。

17. 一种被配置为向负载提供电力的电动机驱动装置，所述电动机驱动装置包括 ：

逆变器，其被设计为向所述负载提供电力 ；以及

控制器，其可操作地连接以便控制所述逆变器的操作，所述控制器被配置为 ：

在所述电动机驱动装置的操作期间监视电动机参数的实时值 ；

根据所述电动机参数的实时值，在所述电动机驱动装置的操作期间逐渐调整参考电压以使所述逆变器在修改的操作点处执行操作，其中所述修改的操作点包括与初始 V/Hz 曲线的偏差 ；

根据所述修改的操作点和所述初始 V/Hz 曲线的操作点定义修改的 V/Hz 曲线 ；以及

根据所述修改的 V/Hz 曲线逐渐调整电压 - 频率指令。

18. 根据权利要求 17 所述的电动机驱动装置，其中所述控制器被进一步配置为根据所述初始 V/Hz 曲线的原点和所述初始 V/Hz 曲线的磁场减弱点的至少之一定义所述修改的 V/Hz 曲线。

19. 根据权利要求 17 所述的电动机驱动装置，其中所述控制器被进一步配置为 ：

确定所述电动机参数的公差带 ；以及

在所述电动机驱动装置的操作期间逐渐调整所述参考电压，以便将所述电动机参数保持在所述公差带内。

20. 根据权利要求 17 所述的电动机驱动装置，其中所监视的实时电动机参数包括以下各项之一 ：电动机电压、电动机电流、电动机转矩、电动机速度、电动机转差率、电动机功率因数、电动机效率和电动机温度。

动态调整到负载的实际功率的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本发明是2009年8月14日提交的序列号为12/541,320的美国非临时申请的部分继续申请案并且要求其权益，而该美国非临时申请要求2009年6月11日提交的序列号为61/186,287的美国临时申请的权益，上述非临时申请和临时申请的内容通过引用的方式在此纳入。

技术领域

[0003] 本发明一般地涉及AC电动机，更具体地说，本发明涉及用于减少开环AC电动机驱动系统（该系统可至少包括电动机驱动装置、电动机和连接的负载）的实际功率使用的系统和方法。

背景技术

[0004] 开环AC电动机驱动装置通常被设计为基于电压/频率(V/Hz)操作曲线执行操作。由于开环电动机驱动装置的V/Hz设置通常只在驱动装置不执行操作和/或在驱动装置试运行时不了解实际电动机负载情况时可调整，因此，V/Hz操作曲线通常是在驱动装置的初始安装和设置期间设计的预设的静态曲线。电动机驱动装置可被设计为具有一阶或线性V/Hz操作曲线，以便在被施加到电动机的电压与频率之间保持恒定比率。此类操作曲线在气隙中保持恒定通量(flux)，因此，在电动机中产生恒定转矩。备选地，可选择二阶V/Hz曲线，其中输出转矩近似地与电动机速度的平方成比例。有些电动机驱动装置还提供预设的用户可编程V/Hz设置以满足特殊应用的要求。一经设计，电动机驱动装置通常在驱动装置的生命周期中基于预设的操作曲线执行操作，除非操作员在后来的时间更改驱动装置设置。

[0005] 当今的某些驱动装置具有节能选项，例如“通量最小化”或“通量优化”。这些选项一般被设计为动态地查找电动机中的最小电流或通量，而不是全部电动机输入功率。这些选项通常选择介于线性V/Hz设置与二次V/Hz设置之间的电动机电压。

[0006] 通常，一般被称为恒定V/Hz曲线的线性V/Hz曲线是大多数开环电动机驱动装置的默认设置。尽管给定电动机驱动装置的线性V/Hz曲线设置通常被设计为给负载提供恒定转矩，但是对于许多可变转矩应用而言，不需要此类恒定转矩输出。因此，V/Hz曲线设置经常导致电动机驱动系统的能量浪费以及操作效率降低，尤其是对于电动机及其连接的负载而言。

[0007] 而且，由于V/Hz曲线设置为静态的，因此电动机驱动装置独立于操作状况的任何变化执行操作。尽管有些电动机驱动装置允许用户例如通过调整V/Hz曲线的起点、中间点和/或终点来修改V/Hz曲线，但是此类设定无法由驱动装置本身自动执行，而只能在电动机关闭时完成。这通常需要彻底了解特定电动机和负载应用的电动机驱动装置和加载分布(profile)的技术人员。

[0008] 试运行驱动装置的操作员通常选择线性V/Hz曲线的另一原因是线性V/Hz曲线提

供恒定转矩，并且最小化了使用非线性 V/Hz 曲线（例如，二阶曲线）的实际转矩不足以满足可变转矩应用的负载转矩需求的风险。如果试运行驱动装置的操作员不完全了解安装有驱动装置的电动机应用的负载分布，则情况更是如此。例如，在废水处理厂中，经常将泵电动机设计为在夏天出现大雨时满足峰值需求。但是，在一年的大部分时间内，泵电动机的负载百分比可能极低。在该应用中使用二阶 V/Hz 曲线可能有风险，因为二阶 V/Hz 曲线可能在出现大雨时无法提供足够的转矩。另外，试运行驱动装置的操作员通常与工厂中负责监视和控制节能的人员不是同一人。这样，试运行驱动装置的操作员几乎没有动机来相对于标准线性 V/Hz 曲线设置选择用于节能的不同 V/Hz 曲线设置。

[0009] 因此，理想的情况是设计一种在电动机操作期间动态地调整 AC 电动机驱动装置的 V/Hz 操作曲线的系统和方法，以便最小化电动机输入实际功率并实现额外节能。进一步理想的情况是，此系统和方法能够在保持稳定的电动机操作状况的同时，对电动机驱动装置的参考速度变化做出响应。

发明内容

[0010] 本发明提供一种能够克服上述缺陷的用于控制与负载相连的 AC 电动机驱动装置的系统和方法。

[0011] 根据本发明的一方面，一种用于控制 AC 电动机的驱动装置的控制系统被设计为：将初始电压 - 频率指令输入到所述驱动装置，所述初始电压 - 频率指令包括对应于初始电压 / 频率 (V/Hz) 曲线的操作点的参考电压和参考频率；监视所述驱动装置的实时输出；根据所述驱动装置的所述实时输出修改所述参考电压；以及将修改的电压 - 频率指令发送到所述驱动装置，所述修改的电压 - 频率指令对应于由所修改的参考电压和所述初始 V/Hz 曲线定义的修改的 V/Hz 曲线的操作点。

[0012] 根据本发明的另一方面，一种用于控制电动机驱动装置的输出的方法包括：根据静态电压 - 频率分布操作所述电动机驱动装置，以便产生输出功率以驱动电动机；并且确定对应于所述静态电压 - 频率分布的指定电动机参数的初始值。所述方法还包括：在所述电动机驱动装置的操作期间修改参考电压指令以便产生减少的电动机输入功率；根据所修改的参考电压指令和所述静态电压 - 频率分布的操作点定义修改的电压 - 频率分布；以及根据所述修改的电压 - 频率分布操作所述电动机驱动装置。

[0013] 根据本发明的又一方面，一种被配置为向负载提供电力的电动机驱动装置包括：逆变器，其被设计为向所述负载提供电力；以及控制器，其可操作地连接以便控制所述逆变器的操作。所述控制器被配置为在所述电动机驱动装置的操作期间监视电动机参数的实时值；并且根据所述电动机参数的所述实时值，在所述电动机驱动装置的操作期间逐渐调整参考电压以使所述逆变器在修改的操作点处执行操作，其中所述修改的操作点包括与初始 V/Hz 曲线的偏差。所述控制器进一步被配置为根据所述修改的操作点和所述初始 V/Hz 曲线的操作点定义修改的 V/Hz 曲线；以及根据所述修改的 V/Hz 曲线逐渐调整电压 - 频率指令。

[0014] 通过下面的详细描述和附图，本发明的多种其它特征和优点将变得显而易见。

附图说明

[0015] 附图示出目前为了执行本发明而构想的优选实施例。

[0016] 在附图中：

[0017] 图 1 是根据本发明的一方面的包括电动机驱动系统的控制系统的示意图。

[0018] 图 2 是根据本发明的另一方面的包括电动机驱动系统的控制系统的示意图。

[0019] 图 3 是根据本发明的又一方面的包括电动机驱动系统的控制系统的示意图。

[0020] 图 4 是根据本发明的实施例的列出可以在图 1-3 中的任一电动机驱动系统中实现的电动机驱动控制技术的示例性步骤的流程图。

[0021] 图 5 是图 4 的电动机驱动控制技术的实时电动机参数的一系列示例性图形。

[0022] 图 6 是示出根据本发明的实施例的根据图 4 的电动机驱动控制技术执行操作的给定电动机驱动装置的节能的示例性图形。

[0023] 图 7 是示出根据本发明的实施例的根据图 4 的电动机驱动控制技术执行操作的给定电动机驱动装置的节能的示例性图形。

[0024] 图 8-10 是示出多种电动机驱动控制技术的比较的一系列示例性图形。

[0025] 图 11 是示出根据本发明的实施例的根据图 4 的电动机驱动控制技术执行操作的给定电动机驱动装置的示例性初始线性电压 - 频率曲线和沿着修改的电压 - 频率曲线的电动机驱动装置操作的示例性图形。

[0026] 图 12 是根据本发明的实施例的列出可以在图 1-3 中的任一电动机驱动系统中实现的备选电动机驱动控制技术的示例性步骤的流程图。

[0027] 图 13 是根据本发明的实施例的图 12 的电动机驱动控制技术的子例程的流程图。

[0028] 图 14 是示出根据本发明的实施例的根据图 12 的电动机驱动控制技术执行操作的给定电动机驱动装置的示例性初始线性电压 - 频率曲线和沿着修改的电压 - 频率曲线的电动机驱动装置操作的示例性图形。

[0029] 图 15 是示出根据本发明的实施例的根据图 12 的电动机驱动控制技术执行操作的给定电动机驱动装置的示例性初始线性电压 - 频率曲线和沿着修改的电压 - 频率曲线的电动机驱动装置操作的示例性图形。

具体实施方式

[0030] 列出本发明的多个实施例，这些实施例涉及一种能够克服上述缺陷的用于控制与负载相连的 AC 电动机驱动装置的系统和方法。本发明的这些实施例涉及一种用于包含多种结构和控制方案的开环电动机驱动装置的能量优化控制系统。

[0031] 图 1 示出电动机驱动系统 10 及其关联的 AC 电动机驱动装置 12 的一般结构。电动机驱动装置 12 例如可被配置为可调速驱动装置，该驱动装置被设计为接收三相 AC 电力输入 14a-14c，对 AC 输入进行整流，并且对经过整流的段执行 DC/AC 转换，以转换为被提供给负载的具有可变频率和振幅的三相交流电压。根据一个实施例，驱动控制单元 16 可被集成在电动机驱动装置 12 内，并且作为电动机驱动装置 12 的部分内部逻辑工作。备选地，驱动控制单元 16 可被体现为与电动机驱动装置 12 不同的外部模块，并且从中接收数据（例如，电压和 / 或电流信号），如参考图 2 和 3 更详细地描述的那样。

[0032] 参考图 1，在示例性实施例中，电动机驱动装置 12 包括驱动电力块单元 18，该单元例如可以包含不可控的和可控的整流单元 20（不受控的 AC 到 DC）、滤波电感器 22、DC 母线

(bus) 电容器 24 和脉宽调制 (PWM) 逆变器 26(DC 到受控的 AC)。备选地，驱动电力块单元 18 可被提供为没有此类整流单元，以使 DC 母线直接连接到逆变器。例如，当被应用于不间断电源 (UPS) 时，驱动电力块单元可被设置为没有此类整流单元。

[0033] 电动机驱动装置 12 接收被馈入整流单元 20 的三相 AC 输入 14a-14c。整流单元 20 将 AC 电力输入转换为 DC 电力，以便 DC 母线电压存在于整流单元 20 与 PWM 逆变器 26 之间，逆变器 26 将 DC 电力逆变 (invert) 和调节为用于传输到 AC 电动机 28 的受控的 AC 电力。PWM 逆变器 26 包括多个开关（未示出）并且被配置为根据诸如空间矢量调制 (SVM) 控制方案或正弦三角 PWM 控制方案之类的 PWM 控制方案执行操作，以控制多个开关，从而产生受控的 AC 电力输出。根据示例性实施例，PWM 逆变器 26 被配置为根据 SVM 控制方案执行操作。

[0034] 驱动控制单元 16 执行操作以产生用于 PWM 逆变器 26 的 SVM 控制方案。更具体地说，用于 PWM 逆变器 26 的 SVM 控制方案由电动机驱动系统 10 根据用于操作电动机驱动装置 12 的电压 - 频率 (V/Hz) 设置或指令（即，V/Hz 分布或曲线）产生。根据本发明的示例性实施例，电动机驱动系统 10 被设计为根据电动机或负载需求动态地调整被施加到电动机 28 的电压和频率，这实际上是动态地调整电动机驱动装置 12 内部的预设 V/Hz 曲线（及其关联的 SVM 控制方案）的形状或分布。

[0035] 电动机驱动装置 12 进一步包括驱动装置用户界面 30 或驱动装置控制面板，其被配置为输入电动机参数 32 并输出参考频率 34、被用于产生起始转矩以从零速度加速电动机的升压电压 36、电动机铭牌信息 (NPI)38。用户界面 30 还被用于向用户显示电动机操作参数列表，例如电动机输出电压 (rms)、电动机电流 (rms)、电动机输入功率、速度、转矩等，从而实现监视目的。

[0036] 如图 1 所示，驱动控制单元 16 包括控制算法模块 40、现有或预设的 V/Hz 曲线 42、用于产生 SVM 控制的信号发生器 44、以及电动机参数计算器 46。驱动控制单元 16 用于从驱动电力块单元 18 接收输出，判定和监视一个或多个电动机参数，以及根据所确定的一个或多个电动机参数确定最佳电压和频率以产生用于操作电动机驱动装置 12 的 SVM 控制方案。

[0037] 根据本发明的实施例，驱动控制单元 16 从驱动电力块单元 18 接收 DC 母线电压信号 48 和电动机输入电流信号 50。电动机输入电压使用 DC 母线电压信号 48 和 PWM 开关信号 56 来计算。信号 50 和电动机输入电压信号可从电动机驱动装置 12 的 AC 电力输出获取，例如借助向其发送实时电压信号 48 和实时电流信号 50 的有线或无线传感器。备选地，电动机参数计算器 46 可从集成在电动机驱动装置 12 中的速度传感器或估算器接收指示电动机速度的信号。驱动控制单元 16 还可接收被用于产生起始转矩以从零速度加速 AC 电动机 28 的升压电压信号 36，以及参考速度信号 52。根据所接收的信号 36、48、50，驱动控制单元 16 将一系列开关信号或开关指令 54 发送到 PWM 逆变器 26，从而形成 SVM 控制方案。

[0038] 在操作中，电动机驱动系统 10 的驱动控制单元 16 在启动或重置电动机驱动装置 12 时以默认模式 / 设置执行操作。在以默认设置执行操作时，驱动控制单元 16 监视来自传感器的 DC 母线电压信号 48 和电流信号 50，根据 DC 母线电压信号 48 和电流信号 50 确定现有 V/Hz 曲线块 42 的操作点，并且根据预设操作点将默认开关指令 54 发送到 PWM 逆变器 26。根据一个实施例，驱动控制单元 16 从输入设备（未示出）接收频率（或速度）指令，

以便产生频率指令和电压幅值指令。电压幅值指令通过频率指令的函数（通常被称为V/Hz曲线）给出。驱动控制单元16根据频率指令产生三相电压指令，其被用于控制PWM逆变器26中开关阵列的切换。具体而言，信号发生器44从现有V/Hz曲线42接收电压指令56和频率指令58，并产生六个PWM信号以控制PWM逆变器26中的六个对应的开关。换言之，电动机驱动系统10在默认模式下根据静态的预设V/Hz分布发送电压-频率指令。

[0039] 在执行默认模式的初始操作时，驱动控制单元16然后转换到能量优化模式的操作，其中控制算法模块40绕开现有V/Hz曲线块42，并且从驱动装置用户界面30接收参考频率34、升压电压信号36和NPI 38作为输入。控制算法模块40还从电动机参数计算器46接收估算的或计算的电动机参数60。在能量优化模式中，控制算法模块40使用所接收的DC母线电压信号48和/或电流信号50和NPI 38来计算或估算选定的参考实时电动机参数。在本发明的一个实施例中，实时电动机参数可以是平均电动机rms电压、平均电动机rms电流、瞬时电动机输入功率因数、电动机效率或电动机转差率(motor slip)(或速度)。控制算法模块40然后通过判定所确定的实时电动机参数中的任一者是否达到其预定义的公差带，来判定是否实现最佳操作，如参考图4更详细地描述的那样。如果未达到最佳操作，则该算法使用固定的或可变的步长(step)调整电压指令，并且保持相同的频率指令。否则，该算法保持相同的电压和频率指令，直到检测到新的参考频率，或者检测到不理想的操作或不稳定的电动机操作。控制算法模块40将所确定的电压指令62和频率指令64发送到信号发生器44。使用从控制算法模块40接收的电压和频率指令62、64，信号发生器44将开关信号54发送到驱动电力块单元18。对此做出响应，驱动电力块单元18将AC电压波形与固定频率和振幅进行合成以发送到AC电动机28。

[0040] 在能量优化模式中，驱动控制单元16被配置为持续监视电动机驱动系统10，并将一系列修改的开关指令54发送到PWM逆变器26。具体而言，驱动控制单元16使用DC母线电压信号48和PWM开关信号56计算电动机输入电压，并且从传感器接收电流信号50。驱动控制单元16根据计算出的电动机输入电压、电流信号50和NPI 38计算或估算一个或多个实时电动机参数。控制模块40还判定是否检测到系统不稳定、负载突然变化或不理想的操作，如下面详细描述地那样。控制模块40进一步根据一个或多个实时电动机参数判定是否已达到最佳操作状况。如果控制模块40未检测到最佳操作状况、系统不稳定、负载突然变化或不理想的操作，则控制模块40随后针对每个执行期产生递增（或递减）的频率指令64和/或递增的电压（或递减的）指令62，并将递增的电压-频率指令62、64发送到信号发生器44。例如，控制模块40可以仅递增（或递减）一个指令62、64，例如频率指令64，同时保持之前的电压指令62，并且将递增的频率指令64和非递增的电压指令62发送到信号发生器。备选地，控制模块40可递增（或递减）频率指令64和电压指令62这两者，并将这两个递增的指令62、64发送到信号发生器44。使用递增的（或递减的）电压-频率指令，信号发生器44修改被发送到PWM逆变器26的开关指令54，以便能量优化模式中AC电动机28的实际功率输入低于默认模式中使用原始静态V/Hz曲线设置的实际功率输入。

[0041] 根据示例性实施例，电动机参考参数的预定义公差带被定义为预定义值周围的小范围，例如，其最大和最小值，其额定或标称值，或者用户定义的任何特定值。该实时电动机参数的趋势被监视以判定该电动机参考参数的实时值是否落在预定义的公差带内，例如，该电动机参数的实时值是否足够地接近最大或最小值。如果该算法判定电动机参数位于其

公差带内，则实现最佳操作。该算法保持相同的电压和频率指令，直到检测到新的参考频率或不稳定的电动机操作或不理想的操作。根据该最佳保持的电压－频率指令，使信号发生器 44 产生对应的开关指令 54（即，SVM 控制指令），从而使得电动机驱动装置在最佳操作点上执行操作，在该操作点上，对 AC 电动机 28 的实际功率输入被最有效地利用。

[0042] 在能量优化模式中，驱动控制单元 16 还被配置为持续监视负载突然变化、系统不稳定和／或不理想的操作。如果确认系统不稳定和／或不理想的操作，则驱动控制单元 16 将一系列修改的开关指令 54 发送到 PWM 逆变器 26。在能量优化模式期间，例如，由于负载突然变化，或者电动机转差率（或速度）超出转差率（或速度）边界，系统可能变得不稳定。系统不稳定状况可通过监视电动机电流、功率因数或速度（或转差率）信号的值或变化率的突然变化，或者通过监视一个或多个实时电动机参数的趋势来判定，将在下面对此详细介绍。通过将一个或多个实时电动机参数和一个或多个实时电动机参数的确定趋势与其预定义的边界进行比较，控制模块 40 判定是否检测到系统不稳定或不理想的操作。如果检测到此类系统不稳定或不理想的操作，则控制模块 40 可将修改的电压－频率指令发送到信号发生器 44 以尝试重新获取系统稳定性。备选地，控制模块 40 可在一个或多个执行期内进入“主重置例程”以将电动机驱动装置的控制重置为默认模式，并且将电压指令递增（或递减）到原始的预设 V/Hz 曲线或线性 V/Hz 曲线，同时将相同的频率指令 64 发送到信号发生器 44 以重新获取并保持系统稳定性，直到认为负载的操作点稳定。根据一个实施例，频率指令 64 可被保持恒定，直到用户或外部进程控制器要求参考频率 34 变化。

[0043] 驱动控制单元 16 还可针对特定于应用的边界条件监视实时电动机参数，该边界条件可以由操作员预设以指示实时系统状况，该实时系统状况可能不指示不稳定或不理想的系统状况，但是对特定应用而言并不理想。例如，驱动控制单元 16 可监视最小电压边界、最大电压边界、最大电流边界、最大转差率（最小速度）边界、最小功率因数边界、最大转矩边界或最大电动机温度边界。

[0044] 但是在能量优化模式期间，降低的电压指令可能导致电动机速度降低。因此，驱动控制单元 16 可进一步被设计为监视电动机速度并增加频率指令 64，以使电动机在根据“转差率补偿模式”以能量优化模式操作的同时，以所需的速度执行操作，从而使得电动机轴速度被保持固定在具有参考频率 f_{ref} 34 的同步速度上。因此，有利地，与其中所形成的转矩保持恒定的预设 V/Hz 曲线相比，V/Hz 曲线（线性、二次或其它类似的设置（例如，通量最小化设置））可被调整以优化 V/Hz 比率，以便在电动机中形成最小转矩以满足负载转矩要求。

[0045] 假设实际电动机基频 f_1 与驱动频率指令 f_{cmd} 64 紧密匹配（即 $f_1 = f_{cmd}$），则电动机同步速度 ω_{syn} 可根据以下等式计算：

[0046] $$\omega_{syn} = \frac{120 \times f_1}{p} = \frac{120 \times f_{cmd}}{p}, \quad \text{（等式 1）}$$

[0047] 其中 p 是电动机 28 的极数。如图 6 所示，由于负载的实际加载条件（即，负载特性曲线的形状），当驱动频率指令 64 为 f_{cmd} 时（这样，电动机基频为 $f_1 = f_{cmd}$），实际的电动机轴速度 ω_r 始终略低于同步速度 ω_{syn}。同步速度 ω_{syn} 与电动机轴速度之间的百分比差根据以下等式定义：

[0048] $$s=\frac{\omega_{syn}-\omega_r}{\omega_{syn}},$$ （等式 2）

[0049] 其中 s 是电动机转差率。因此，为了补偿负载导致的速度下降，驱动频率指令 64 可被设定为稍高于参考频率 34，以便实际的电动机轴速度等于原始参考频率 34 的同步速度。这是“转差率补偿模式”。

[0050] 当用户或驱动外环控制器希望电动机轴速度与参考频率 34 的同步速度匹配时（在这种情况下，给出参考频率 34 以在本质上作为“参考速度”），可使用转差率补偿模式。例如，对于 4 极感应电动机，当用户在驱动装置用户界面上将参考频率 34 设定为 40Hz 时，用户经常希望电动机以 40Hz（即，2400rpm）的同步速度执行操作。但是，如果驱动装置发送 40Hz 的频率指令 62，则由于实际加载条件（根据图 6），实际电动机速度将略低于 2400rpm，例如为 2375rpm。使用等式 2，电动机的转差率可被计算为 $\left(\frac{2400-2375}{2400}\right)$。为了以用户希望的 2400rpm 操作电动机，驱动装置发送频率指令 62，该频率指令略大于 40Hz 的参考频率 34，例如，40.2Hz。在此较高的频率下，电动机轴速度为与用户的“参考速度”匹配的 2400rpm。

[0051] 仍参考图 1，在能量优化模式下，现有 V/Hz 曲线块 42 可根据本发明的实施例以多种方式处理。根据一个实施例，控制算法模块 40 可通过驱动应用软件实现，而现有 V/Hz 曲线块 42 可通过驱动固件实现。在该实施例中，现有 V/Hz 曲线块 42 可继续产生电压和频率指令，但是这些指令不会传递到信号发生器 44。备选地，控制算法模块 40 和现有 V/Hz 曲线块 42 都可通过驱动固件实现。在这种情况下，现有 V/Hz 曲线块 42 可被禁用或去除。

[0052] 现在参考图 2，示出根据本发明的实施例的电动机驱动系统 66 的一般结构。电动机驱动系统 66 包括 AC 电动机驱动装置 68、驱动装置用户界面 70、以及独立的外部控制模块 72。被包含在电动机驱动系统 66 中的驱动控制单元 74 包括静态 V/Hz 曲线块 76、信号发生器 78 和电动机参数计算器 80，该电动机参数计算器 80 从驱动电力块单元 86 接收 DC 母线电压信号 82 和电动机电流信号 84。

[0053] 控制模块 72 包括能量控制算法模块 88 作为电动机驱动装置 68 的现有硬件的外部独立硬件模块，并且可被安装在现有电动机驱动装置中，且通过现有的驱动装置通信方式（例如，ModBus、设备网 (Device Net)、以太网等）交换数据。控制模块 72 使用一组电压传感器 90，以测量电动机 92 的三相线间电压。控制模块 72 还包括一组电流传感器 94，以测量电动机 92 的三相电流。在没有中性点的情况下，控制模块 72 包括用于三线系统的至少两个电流传感器。当三相电流相加为零时，可根据另外两个电流值计算第三电流。但是，尽管第三传感器是可选的，但此传感器也能增加整体电流计算的准确性。

[0054] 控制模块 72 还包括内部电动机参数计算器 96，其计算 / 估算一组要被输入到控制算法模块 88 的参考电动机参数 98，例如 rms 电压、rms 电流、转差率（或速度）、功率因数和效率。在控制模块 72 中，电动机铭牌信息 (NPI)100 通过通信从电动机驱动装置 68 获取，或者由用户输入。参考频率 102 也通过驱动装置通信被输入外部控制模块 72。

[0055] 与参考图 1 描述的程序类似，在能量优化模式中，包含在控制算法模块 88 中的逻辑基本取代静态 V/Hz 曲线块 76。控制算法模块 88 从电动机驱动装置 68 接收参考频率 102 和 NPI 100，以及从电动机参数计算器 96 接收计算的 / 估算的参考电动机参数 98 作为输

入。模块 88 使用这些输入产生频率指令 104 和电压指令 106，并且控制模块 72 将这些指令 104、106 发送到信号发生器 78。

[0056] 根据该实施例，由于控制算法模块 88 位于电动机驱动装置 68 的外部，因此静态 V/Hz 曲线块 76 可被保持，从而产生一组预设电压指令 108 和频率指令 110。但是，这些预设指令 108、110 不被传递到信号发生器 78。

[0057] 图 3 示出根据本发明的另一实施例的包括外部控制模块 114 的电动机驱动系统 112。与参考图 2 描述的电动机驱动系统类似，电动机驱动系统 112 包括电动机驱动装置 116、驱动控制单元 118 和驱动装置用户界面 120。但是，与图 2 的电动机驱动系统不同，外部模块 114 没有自己的电压和电流传感器或内部电动机参数计算器。相反，外部模块 114 通过驱动装置通信获取参考频率 122、NPI 124 和计算的和 / 或估算的电动机参数 126。根据一个实施例，外部模块 114 可通过电动机驱动装置 116 的扩展卡槽实现，以便为电动机驱动装置 116 提供能量优化功能。

[0058] 现在参考图 4，列出根据本发明的实施例由控制器实现的能量优化技术 128，此技术用于动态地控制电动机驱动装置，例如图 1 的 AC 电动机驱动装置 12。如下面详细地描述的那样，技术 128 根据电动机或负载需求动态地调整被施加到电动机的电压和频率，这样可有效地调整电动机驱动装置 12 内部的预设 V/Hz 曲线的形状或分布。技术 128 监视一个或多个电动机参数的值，直到一个或多个电动机参数落在预定义的公差带内。在调整电压和频率的同时，技术 128 还监视负载突然变化或电动机不稳定或不理想的操作，这些可能预示潜在的电动机故障或不理想的电动机操作。

[0059] 技术 128 从方框 130 开始，其中获取电动机铭牌参数 (NPI)，例如额定马力 (HP)、满负载安培 (FLA)、额定电压、额定速度 (RPM)、额定频率 (Hz)、额定功率因数和额定效率。在方框 130，还获取用户配置参数，这些参数例如可包括 FLA 的给定百分比、用户定义的转差率边界。在方框 132，技术 128 定义一组用于选定的参考电动机参数的边界，这些参数例如包括电压、电流、速度（转差率）、功率因数和效率。例如，电压边界条件 V_bound 可被定义为二次 V/Hz 曲线的百分比（例如，80％）；电流边界 I_bound 可被定义为 FLA 的百分比；转差率边界 s_bound 可被定义为对应于额定频率上的额定转差率或由用户定义；电流的最大变化 delta_I_bound 可被定义为 FLA 的百分比（例如，20％）。

[0060] 在方框 134，针对用于确定最佳操作的选定电动机参数定义一组公差带。这些公差带例如可包括电压公差带、电流公差带、速度（转差率）公差带、功率因数公差带和 / 或效率公差带。根据本发明的实施例，公差带可根据以下等式，基于已定义的边界条件确定：

[0061] Tolerance_Zone = x*Boundary_Condition （等式 1）

[0062] 其中 x 表示选定的百分比范围。使用等式 1，电压公差带例如可被定义为 V_tol_zone = [100％ -105％]*V_bound。同样，电流公差带 I_tol_zone 和转差率公差带 s_tol_zone 可被分别定义为 I_tol_zone = [95％ -100％]*I_bound 和 s_tol_zone = [95％ -100％]*s_bound。

[0063] 在方框 136，技术 128 将初始的、默认的或启动的电压 - 频率指令集提供给指令发生器。默认或启动电压 - 频率指令集例如可以基于预设或静态 V/Hz 曲线的电压 - 频率指令或者来自先前成功启动事件的已保存电压 - 频率指令。

[0064] 在方框 138，技术 128 从用户或电动机驱动装置的外环过程控制器获取参考频率。

在方框 140，技术 128 判定参考频率的变化是否足够显著以使驱动控制进行响应。具体地说，技术 128 可以比较当前参考频率与先前参考频率值，以便判定当前参考频率是否等于先前参考频率。备选地，技术 128 可以判定这两个值之间的差是否大于预设公差值（例如，0.1Hz）。如果参考频率改变（或者变化大于预设公差值）142，则在方框 144，技术 128 应用新参考频率和来自该频率下的原始 V/Hz 设置、线性 V/Hz 设置或其它预定义值 / 设置的新电压作为频率和电压指令。备选地，如果参考频率已少量改变（例如，<0.1Hz），则电压指令可保持不变而改变频率指令。技术 128 然后继续到方框 146 并且计算或估算一个或多个实时电动机参数，这些参数例如可以对应于电动机电压、电动机电流、电动机速度、电动机功率因数和 / 或电动机效率。

[0065] 返回参考方框 140，如果参考频率未改变（或者变化小于预设公差值）148，则技术 128 直接继续到方框 146，并且使用当前电压和频率指令集计算或估算实时电动机参数。在方框 150，技术 128 监视电动机瞬变状态，例如负载突然变化。如果未检测到瞬变状态 152，则在方框 154，技术 128 监视不理想的电动机操作状况，该状况例如可以是检测到的电动机电流超出电流边界或者检测到的电动机电压超出电压边界。如果未检测到不理想的电动机操作状况 156，则在方框 158，技术 128 监视不稳定的操作状况。为了判定是否存在不稳定的操作状况，技术 128 可以分析监视的实时线电压和电流、参考线电压和 / 或电流与实时线电压和 / 或电流测量结果之间的值变化、一个或多个实时电动机参数值、和 / 或电动机参数趋势，以判定不稳定的操作状况。如果例如电动机转差率（或速度）超出转差率（或速度）边界，则可以检测到不稳定的操作状况。此外，不稳定的操作状况可以由以下各项反映 :线电压或电流的突然变化，电动机参数的突然变化，或者实时电动机参数的值，例如在阈值之外的电动机温度、转矩、转差率、功率因数或效率。

[0066] 如果未检测到不稳定的操作状况 160，则在方框 162，技术 128 通过判定任何一个选定参考参数是否在其定义的公差带（如在方框 136 定义的）内，判定是否达到最佳操作。如果选定参考参数不在其定义的公差带内 164，则在方框 166，技术 128 以固定或可变步长调整电压指令。例如，技术 128 可以使电压指令减少预设脉冲值，从而使修改的开关信号被发送到逆变器。在一个实施例中，技术 128 使电压指令递增 -10 伏特的脉冲值。即，修改的电压指令比默认电压指令低 10 伏特。备选地，如果电动机驱动装置在最佳操作点处操作 168（即，电动机参数在其公差带内），则技术 128 保持当前电压指令和频率指令。在方框 170，技术 128 进入等待步骤，其中技术 128 在返回到方框 138 之前等待算法执行期。技术 128 然后通过方框 138 和 178 继续循环以便监视电动机状态变化。

[0067] 返回参考方框 150、154 和 158，如果技术 128 检测到电动机瞬变状态 172、不理想的电动机操作状况 174 或不稳定的电动机操作状况 176 中的任何一个，则在方框 178，技术 128 进入主重置子例程。在主重置子例程期间，频率指令保持不变并且在几个步长内（即，算法快速执行期），电压指令被增加到线性 V/Hz 设置或原始 V/Hz 设置。备选地，主重置子例程可以通过回溯到上次稳定状况或者尝试通过减少先前使用的电压 - 频率指令的增量或脉冲值来修正过冲，选择性地递增电压 - 频率指令以便达到稳定状况。例如，如果先前的脉冲值为 -10 伏特，则技术 128 可以使先前递增的电压 - 频率指令增加 +5 伏特以便达到电压 - 频率指令的最近两次递增之间的稳定点。一旦达到稳定状况，所述技术就返回到方框 128。

[0068] 根据一个实施例，可以将预设执行期分配给技术 128 的每个步骤。例如，可以将方框 138-178 的每一个分配给以下两项之一：用于监视、保护和主重置的快速执行期 T_fast（例如，0.5 秒），以及用于驱动指令更新期以更新驱动装置和电动机的操作的慢速执行期 T_slow（例如，10 秒）。应该构想，T_fast 和 T_slow 的默认值可以根据电动机和负载的时间常数而变化。

[0069] 图 5 示出针对额定功率约为 125hp（其对应于频率指令为 35Hz 的静态和预设线性 V/Hz 曲线的约为 268.4V 的全电压）的电动机使用控制技术（例如针对图 1-4 描述的控制技术）确定的实时电动机参数的一系列图。图 5 示出电动机功率因数 180、输入实际功率 182、电动机电流 184 和电动机转差率 186 作为电压函数。如图所示，当电压从额定功率减少而频率指令恒定保持在 35Hz 时，输入实际功率 182 遵循近似线性路径。但是，电动机功率因数 180 遵循近似二次曲线。定义公差带 188，其对应于诸如电流之类的电动机参数的所需范围。如图 5 所示，在公差带 188 内的给定操作点 190 处，通过将电压从预设 V/Hz 曲线的全电压减少到对应于操作点 190 的电压 168V，将电动机输入实际功率 182 减少到约为 14kW 的最佳操作功率 192。因此，通过减少电压以达到操作点 190，减少实际功率 182。

[0070] 尽管可能通过将电压减少到公差带 188 之外的操作点而实现额外节能，但如果过多减少电压，则这种减少可能对电动机稳定性具有负面影响。如图 5 所示，在约小于 168V 的电压值处，转差率 186 快速增加。约大于 3％的转差率 186 可能是不理想的，并且可以导致电动机不稳定。因此，公差带 188 可以被选择为最佳操作点，因为它确保转差率 186 保持低于预定义转差率边界 3％。此外，在超出公差带 188 的电压下，电流 182 也增加，可能导致过电流状况。

[0071] 图 6 示出使用针对图 4 列出的动态能量优化控制策略实现的实时节能 194。负载特性曲线 196 是特性转矩 / 速度曲线，其描述诸如泵之类的某一负载。曲线 198 是传统电动机驱动装置的转矩 / 速度曲线，该电动机驱动装置根据静态和预设 V/Hz 曲线在给定频率指令为 f_{cmd} 的操作点处操作。根据一个实施例，频率指令 f_{cmd} 可以等于参考频率 f_{ref}，该参考频率通常由用户或外环控制器提供给驱动装置。驱动装置控制电动机以便具有密切跟踪频率指令 f_{cmd} 的实际基频 f_1。电动机中的实际基频 f_1 通过以下等式确定电动机同步速度 ω_{syn}：

[0072] $$\omega_{syn}=\frac{120f_1}{p}, \quad \text{（等式 3）}$$

[0073] 其中 p 是极数。对于在固定频率下的某一电动机，同步速度是常数值。它是电动机在绝对无负载状况下或者当转矩为零时可以达到的假想最大可能速度。曲线 196 和曲线 198 之间的交点 200 确定电动机在该状况下（电动机速度为 ω_1 202 并且输出转矩为 T_1 204）的实际操作点。

[0074] 曲线 206 是优化电动机驱动装置的转矩 / 速度曲线，该电动机驱动装置在公差带内具有相同频率指令 f_{cmd}（因此，具有相同实际频率 f_1 和同步速度 ω_{syn}）的操作点（例如图 5 的操作点 188）处操作。曲线 206 和曲线 196 之间的交点 208 确定电动机在该最佳操作状况下（电动机速度为 ω_2 210 并且输出转矩为 T_2 212）的实际操作点。

[0075] 如图 6 所示，在给定频率指令 f_{cmd} 下，传统电动机驱动装置在转矩 204 下操作。另一方面，优化的电动机驱动装置在较低转矩 212 下操作。这种从操作点 200 到操作点 208

的转矩减少将导致减少的输入功率194，因此节省能量。值得注意的是，当应用优化控制时，实际电动机速度通常略微降低，这取决于特定负载的转矩／速度特性曲线。对于不需要精确速度控制的应用（例如泵、压缩机和风扇），这通常是可接受的。

[0076] 根据本发明的一个实施例，可以根据初始电压－频率指令与对应于电动机参数的公差带内的操作的修改的电压－频率指令的比较，计算节能194，并且节能194在电动机驱动装置（例如，图1的电动机驱动装置12）上显示为数字的功率节省值。显示的节能可以指示瞬时节能和／或在预设时间段内或者在驱动装置的使用期限内的累积节能。此外，节能194可以用于计算由于减少的能量使用而产生的碳减排，这可以在电动机驱动装置12上的碳减排计上显示。

[0077] 现在参考图7，示出根据本发明实施例的需要精确速度控制的应用的优化转矩速度曲线。负载特性曲线214是特性转矩／速度曲线，其描述诸如泵之类的某一负载。第一电动机特性曲线216表示传统电动机驱动装置的转矩／速度曲线，该电动机驱动装置根据静态和预设V/Hz曲线218在给定频率指令为f_{cmd}的操作点处操作。第二电动机特性曲线220是优化的电动机驱动装置的转矩／速度曲线。如图7所示，曲线216、220与负载特性曲线214在具有共同速度和转矩的交点222处相交。

[0078] 该交点222是在需要精确速度控制的应用中操作电动机驱动装置的结果。在这种应用中，通常包括外环过程控制器以便调整频率指令，并且与针对图4描述的能量优化控制方法一起，将电动机操作点设定到曲线214和218的交点222。在该实例中，外环控制器将略微增加频率指令f_{cmd}，以便它略微大于参考频率f_{ref}（进而，同步速度从ω_{syn1}到ω_{syn2}），并且最终固定到速度ω_1和输出转矩T_1处的原始操作点。输出功率P2将等于原始输出功率P1。

[0079] 但是，因为第二电动机特性曲线220与被施加到电动机的较低电压关联，所以电动机芯（core）损耗将减少。因此，在减少的电压下，通过电动机芯损耗减少来实现节能。可通过能量优化算法和外部过程控制器之间的交互实现稳定的操作，因为在该系统中，外环过程控制时间常数（以数十秒或分钟为单位）比能量优化算法的时间常数（以秒为单位）至少快10倍。

[0080] 图8-10示出电动机电压（图8）、电动机输入电流（图9）和电动机输入实际功率（图10）的比较，这些参数是使用以40Hz操作的50hp开环电动机驱动装置在四种不同的电动机驱动控制状况下测量的：线性V/Hz设置224；二次V/Hz设置226；通量最小化设置228；以及能量优化设置230，这正如针对图4描述的那样。如图8-10所示，通量最小化设置228提供最小电流，能量优化设置230提供最小输入实际功率，这导致最大节能。

[0081] 现在参考图11，提供图300以便直观示出根据图4的技术128操作的电动机驱动装置，例如图1的电动机驱动装置12。最初，驱动装置在点302处使用在初始电压－频率曲线304上定义的默认电压和频率指令操作。尽管曲线304被示出为线性，但本领域的技术人员应该理解，初始电压－频率曲线304可以是平方曲线或者任何静态、预定义曲线。从点302，参考电压沿着箭头306的方向逐渐减少，直至在点308处达到最佳操作点，如针对技术128的方框138-178描述的那样。

[0082] 如果电动机驱动装置在点308处操作时接收到新速度参考指令以将频率增加到f(2)，则当参考电压沿着箭头310的方向逐渐往回接近初始电压－频率曲线304上的点302

时，参考频率临时保持在 f(1) 处。一旦参考电压达到点 302，参考电压和参考频率都沿着电压 - 频率曲线 304 增加，直至参考频率在点 312 处达到 f(2)。当电动机在 f(2) 处达到稳定速度操作时，响应于负载变化，根据需要沿着箭头 314 的方向逐渐调整参考电压，直至在点 316 处达到最佳操作点，采用的方式类似于上面针对从点 302 移动到点 304 描述的方式。

[0083] 如果需要将速度从 f(2) 减少到 f(3)，则执行类似的过程。在点 316 处开始，在改变对驱动装置的速度请求之前，将参考电压逐渐增加到曲线 304 上的点 312。一旦参考电压达到点 312，遵循曲线 304 减少参考电压和参考频率，直至参考频率在点 318 处达到 f(3)。一旦在点 318 处，响应于负载变化，根据需要沿着箭头 320 的方向递增参考电压，直至在点 322 处达到最佳操作点。

[0084] 现在参考图 12，示出根据本发明备选实施例的用于动态控制电动机驱动装置（例如图 1 的 AC 电动机驱动装置 12）的控制器实现的能量优化技术 324。如下面详细描述的，技术 324 根据电动机或负载需要并且响应于速度或参考频率指令变化，动态调整被应用到电动机的电压和频率。技术 324 实现的动态调整有效地调整电动机驱动装置 12 内部的预设 V/Hz 曲线的形状或分布。

[0085] 类似于技术 128（图 4），在恒定速度操作期间，技术 324 监视一个或多个电动机参数的值，直至一个或多个电动机参数落入预定义公差带内。当调整电压和频率时，技术 324 还监视负载突然变化或电动机不稳定或不理想的操作，它们可以表示潜在的电动机故障或不理想的电动机操作。在改变速度的期间内，技术 324 使驱动装置遵循动态 V/Hz 曲线，直至电动机达到稳定速度操作，如下面详细描述的那样。

[0086] 技术 324 在方框 326 开始，通过获取电动机铭牌参数 (NPI)，例如额定马力 (HP)、满负载安培 (FLA)、额定电压、额定速度 (RPM)、额定频率 (Hz)、额定功率因数和额定效率。在方框 326，还获取用户配置参数，它们例如可以包括 FLA 的给定百分比、用户定义的转差率边界。在方框 328，技术 324 针对选定的参考电动机参数定义一组边界，这些参数例如包括电压、电流、速度（转差率）、功率因数和效率。例如，可以将电压边界条件 V_bound 定义为二次 V/Hz 曲线的百分比（例如，80％）；可以将电流边界 I_bound 定义为 FLA 的百分比；可以将转差率边界 s_bound 定义为对应于额定频率下的额定转差率或者可以是用户定义的；以及可以将最大电流变化 delta_I_bound 定义为 FLA 的百分比（例如，20％）。

[0087] 在方框 330，针对选定的电动机参数定义一组公差带以便确定最佳操作。这些公差带例如可以包括电压公差带、电流公差带、速度（转差率）公差带、功率因数公差带和 / 或效率公差带。根据本发明实施例，可以采用与上面针对方框 134（图 4）描述的类似方式确定公差带。

[0088] 在方框 332，技术 324 将初始、默认或启动的电压 - 频率指令集提供给指令发生器。默认或启动的电压 - 频率指令集例如可以基于预设或静态 V/Hz 曲线的电压 - 频率指令或者来自先前成功启动事件的已保存电压 - 频率指令。

[0089] 在方框 334，技术 324 从用户或电动机驱动装置的外环过程控制器获取参考频率。在方框 336，技术 324 判定参考频率的变化是否足够显著以使驱动控制响应。具体地说，技术 324 可以将当前速度或参考频率与先前参考频率值比较，以便判定当前参考频率是否已从先前参考频率改变。参考频率变化可以由于电动机的所需操作速度变化而发生。备选地，技术 324 可以判定两个值之间的差是否大于预设公差值（例如，0.1Hz）。

[0090] 如果参考频率尚未改变 338（或者变化小于预设公差值），则技术 324 继续到方框 340，并且使用当前电压和频率指令集计算或估算实时电动机参数。在方框 342，技术 324 监视电动机状况。电动机状况可以包括瞬变状态，例如负载突然变化。电动机状况还可以包括不理想的电动机操作状况，该状况例如可以是检测到的超出电流边界的电动机电流或者是检测到的超出电压边界的电动机电压。电动机状况还可以包括不稳定的操作状况，该状况根据分析以下各项确定：监视的实时线电压和电流，参考线电压和 / 或电流与实时线电压和 / 或电流测量之间的值变化，一个或多个实时电动机参数值，和 / 或用于确定不稳定的操作状况的电动机参数趋势。如果例如电动机转差率（或速度）超出转差率（或速度）边界，则可以检测到不稳定的操作状况。此外，不稳定的操作状况可以由以下各项反映：线电压或电流的突然变化，电动机参数的突然变化，或者实时电动机参数的值，例如在阈值之外的电动机温度、转矩、转差率、功率因数或效率。

[0091] 如果未检测到电动机状况 344，则技术 324 继续到方框 350。在方框 350，技术 324 通过判定任何一个选定参考参数是否在其定义的公差带（如在方框 330 定义的）内，判定是否达到最佳操作。如果选定参考参数不在其定义的公差带内 352，则在方框 354，技术 324 以固定或可变步长调整电压指令。例如，技术 324 可以使电压指令减少预设脉冲值，从而使修改的开关信号被发送到逆变器。在一个实施例中，技术 324 使电压指令递增 -10 伏特的脉冲值。即，修改的电压指令比默认电压指令低 10 伏特。备选地，如果电动机驱动装置在最佳操作点处操作 356（即，电动机参数在其公差带内），则技术 324 保持当前电压指令和频率指令。在方框 358，技术 324 进入等待步骤，其中技术 324 在返回到方框 334 之前等待算法执行期。如果没有发生参考频率变化并且没有检测到电动机状况，则技术 324 然后继续通过方框 336-358 循环，如上所述。

[0092] 返回参考方框 342，如果技术 324 检测到电动机状况 360，则在方框 362，技术 324 根据一个或多个监视的电动机参数的当前值，判定状况是否严重。严重的电动机状况例如可以包括即将发生的电动机错误或故障。如果检测到严重的电动机状况 364，则在方框 366，技术 324 进入主重置子例程。在主重置子例程期间，频率指令保持不变并且在几个步长（即，算法快速执行期）内，电压指令被增加到线性 V/Hz 设置或原始 V/Hz 设置。一旦达到稳定状况，技术 324 返回到方框 336。

[0093] 如果技术 324 确定检测到的电动机状况不严重 368，则在方框 354，通过回溯到上次稳定状况或者尝试通过减少先前使用的电压 - 频率指令的增量或脉冲值来更正过冲，选择性地调整电压指令以便达到稳定操作状况。例如，如果先前的脉冲值为 -10 伏特，则技术 324 可以使先前递增的电压 - 频率指令增加 +5 伏特以便达到电压 - 频率指令的两次最近递增之间的稳定点。

[0094] 返回参考方框 336，如果技术 324 确定参考频率自上次算法迭代以来已经改变 370，则技术 324 继续到方框 372，并且进入其中选择性地递增参考电压和 / 或参考频率的子例程，如针对图 13 更详细地描述的那样。

[0095] 现在参考图 13，子例程 372 在方框 374 开始，通过根据当前参考电压和频率指令以及初始 V/Hz 曲线产生修改的 V/Hz 曲线。在一个实施例中，修改的 V/Hz 曲线是在当前电压 - 频率指令与初始 V/Hz 曲线的原点 440 或磁场减弱点 422 之间定义的直线，如针对图 14 更详细地描述的那样。在方框 376，将参考电压和参考频率递增到修改的 V/Hz 曲线上的操

作点。

[0096] 在递增参考频率和参考电压之后，技术 324 在方框 378 计算参考电动机参数，然后在方框 380 判定是否存在电动机状况，以类似于针对方框 340、342（图 12）描述的方式。如果未检测到电动机状况 382，则子例程 372 继续到方框 384，并且判定是否已达到所需参考频率。如果是 386，则子例程 372 在方框 388 结束。

[0097] 返回参考方框 380，如果检测到电动机状况 390，则在方框 392，子例程 372 判定状况是否严重。如果是 394，则在方框 396，进入主重置子例程，类似于方框 366（图 12）。在主重置之后，子例程 372 返回到方框 384 以便判定是否已达到所需参考频率。

[0098] 如果尚未达到所需参考频率 398，则在方框 400，子例程 372 判定是否已达到最佳操作。如果是 402，则子例程 372 返回到方框 376，并且根据修改的 V/Hz 曲线调整参考电压和参考频率。

[0099] 返回参考方框 400，如果尚未达到最佳操作 404，则在方框 406，以固定或可变步长减少参考电压指令。子例程 372 然后返回到方框 374，并且根据调整的参考电压和参考频率重新产生 V/Hz 曲线。

[0100] 返回参考方框 392，如果检测到的电动机状况不严重 408，则在方框 410，递增参考电压指令。子例程 372 然后返回到方框 374，并且根据递增的参考电压指令和当前参考频率指令产生新的修改的 V/Hz 曲线。

[0101] 图 14 以图形方式示出根据技术 324（图 12）的一个实施例操作的示例性电动机驱动装置（例如图 1 的电动机驱动装置 12）的初始 V/Hz 曲线 412 的动态修改。现在一起参考图 12-14（如果适用），驱动装置最初在点 414 处使用在初始 V/Hz 曲线 412 上定义的默认电压和频率指令操作。尽管曲线 412 被示出为线性，但本领域的技术人员应该理解，初始曲线 412 可以是平方曲线或者任何静态、预定义曲线。在其中参考频率保持静态的期间内，参考电压沿着箭头 416 的方向从点 414 逐渐减少到最佳操作的点 418，如针对方框 336、340、342、350 和 354 描述的那样。

[0102] 如果驱动装置在点 418（速度 A）处操作时接收指令以在不同参考频率（速度 B）下操作，则根据子例程 372 逐渐增加参考频率和电压。最初沿着在初始 V/Hz 曲线 412 的点 418 与磁场减弱点 422 之间定义的线性路径 420，逐渐增加参考频率和参考电压（方框 374、376），而不是如先前针对图 11 描述的那样将操作重置为初始 V/Hz 曲线 412。当参考电压和参考频率增加时，监视参考电动机参数以便检测任何不利的电动机状况（例如潜在的电动机错误或故障），并且判定是否达到最佳操作，如在方框 378、380、384 和 400 示出的那样。

[0103] 作为示例性实例，在点 424 处检测到不利的电动机状况（方框 380）。确定该状况不严重（方框 392、408），因此驱动装置接收指令以便将参考电压递增到点 426 以稳定电动机操作（方框 410）。一旦稳定了电动机操作，再次朝向速度 B 逐渐增加参考频率和电压。增量增加遵循在点 426 与磁场减弱点 422 之间定义的新线性路径 428（方框 374、376）。当参考频率和参考电压增加时，监视参考电动机参数以便判定是否已达到最佳操作（方框 378、380、384、400）。如果已达到最佳操作 356，则继续沿着路径 428 增加参考频率和参考电压（方框 376）。在点 430 处，如果尚未达到最佳操作 404，则按照点 432 的指示调整参考电压（方框 406）。然后沿着在点 432 与磁场减弱点 422 之间定义的新线性路径，继续增加参考电压和参考频率，直至参考频率在点 436 处达到所需速度 B（方框 374、376）。

[0104] 返回参考点418(速度A),如果驱动装置接收到指令以在减少的参考频率(例如速度C)下操作,则采用类似于如上所述的方式,逐渐减少参考频率和参考电压。例如,最初沿着点418与原点440之间的线性路径438,减少参考频率和电压指令。根据任何不利的电动机状况,并且为了达到如上解释的最佳操作,进行对参考频率和参考电压的增量式调整,直至在速度C下达到所需操作。

[0105] 图15示出在驱动装置在点436(速度B)处操作时接收到指令以在减少的参考频率下操作的情况下,对参考电压和频率指令的调整。最初,沿着在点436与原点440之间定义的线性路径442,逐渐减少参考频率和电压(方框374、376)。继续逐渐减少参考电压和/或频率,如图15所示,直至达到所需参考频率(速度C)。

[0106] 如果例如在点444处确定尚未达到最佳操作(方框400、404),则将参考电压减少到点446(方框406)。然后沿着在点446与原点440之间定义的线性路径448,逐渐减少参考电压和参考频率(方框374、376)。在点450处,例如由于负载变化或者为了达到最佳操作,可以将参考电压再次减少到点452(方框406)。接下来遵循在点452与原点440之间定义的线性路径454,逐渐减少参考电压和参考频率(方框374、376)。

[0107] 如果在点456处检测到严重的电动机状况(方框360、392、394),则遵循主重置子例程,将参考电压重置为初始V/Hz曲线412(方框396)。如果尚未达到所需参考频率(方框384、398),则可以沿着初始V/Hz曲线412逐渐减少参考电压和参考频率,直至参考频率在点458处达到速度C,如图15所示,或者沿着修改的V/Hz曲线逐渐减少参考电压和参考频率。当在速度C下操作时,响应于负载变化或者为了达到最佳操作,可以逐渐减少参考电压。

[0108] 如本领域的技术人员很容易理解的,尽管图14和15示出在参考频率变化之后发生的对参考电压和/或频率的数个示例性调整系列,但可以以任意数量的选择性组合进行对参考电压和/或频率的增量式调整,以便响应监视的负载变化,达到最佳操作,稳定电动机操作,并且实现所需操作速度。

[0109] 尽管针对AC电动机和AC电动机驱动装置描述了本发明的数个实施例,但应该构想在此提供的能量优化技术可以应用于各种应用。例如,能量优化技术可以用于混合动力车辆以便最小化从电池系统输出或汲取的功率,或者用于具有可变负载的不间断电源(UPS),例如用于照明系统。所述技术还可以用于使用PWM逆变器的任何应用,例如具有PWM功率转换器的半导体应用,或者用于一般逆变器应用以便改变切换算法。所述技术可以用于各种电压电平,包括低电压、中电压和高电压应用。

[0110] 用于控制AC电动机驱动装置的控制系统可以被视为具有用于执行或进行上述处理器操作的单元(虚拟)。例如,控制系统包括用于根据初始电压/频率(V/Hz)曲线将初始电压-频率指令输入到AC电动机驱动装置的单元,以及用于接收根据初始电压-频率指令产生的AC电动机驱动装置实时输出的单元。控制系统还包括用于将多个修改的电压-频率指令反馈到AC电动机驱动装置的单元,多个修改的电压-频率指令的每一个包括与初始V/Hz曲线的偏差;用于确定与多个修改的电压-频率指令中的每一个对应的电动机参数实时值的单元;以及用于将修改的电压-频率指令反馈到AC电动机驱动装置,以使电动机参数的实时值在电动机参数公差范围内的单元。

[0111] 所公开的方法和装置的技术贡献是它提供一种控制单元实现的技术,用于修改AC

电动机驱动装置的电压－频率指令。根据修改的电压－频率指令，所述技术控制电动机控制装置中的一系列开关的开关时间，以便减少电动机转矩和电动机输入功率。

[0112] 因此，根据本发明的一个实施例，一种用于控制 AC 电动机的驱动装置的控制系统被设计为将初始电压－频率指令输入到驱动装置，初始电压－频率指令包括对应于初始电压／频率 (V/Hz) 曲线的操作点的参考电压和参考频率，监视驱动装置的实时输出，根据驱动装置的实时输出修改参考电压，并且将修改的电压－频率指令发送到驱动装置，修改的电压－频率指令对应于由修改的参考电压和初始 V/Hz 曲线定义的修改的 V/Hz 曲线的操作点。

[0113] 根据本发明的另一个实施例，一种用于控制电动机驱动装置的输出的方法包括：根据静态电压－频率分布操作电动机驱动装置，以便产生输出功率以驱动电动机，并且确定对应于静态电压－频率分布的指定电动机参数的初始值。所述方法还包括：在电动机驱动装置的操作期间修改参考电压指令以便产生减少的电动机输入功率，根据修改的参考电压指令和静态电压－频率分布的操作点定义修改的电压－频率分布，并且根据修改的电压－频率分布操作电动机驱动装置。

[0114] 根据本发明的另一个实施例，一种电动机驱动装置被配置为向负载提供电力，并且包括被设计为向负载提供电力的逆变器，以及可操作地连接以便控制逆变器的操作的控制器。控制器被配置为在电动机驱动装置的操作期间监视电动机参数的实时值，并且根据电动机参数的实时值，在电动机驱动装置的操作期间逐渐调整参考电压以使逆变器在修改的操作点处操作，其中修改的操作点包括与初始 V/Hz 曲线的偏差。控制器被进一步配置为根据修改的操作点和初始 V/Hz 曲线的操作点定义修改的 V/Hz 曲线，并且根据修改的 V/Hz 曲线逐渐调整电压－频率指令。

[0115] 根据优选实施例描述了本发明，并且理解，除了明确说明的这些实施例之外，等同物、替代和变型也是可能的并且在所附权利要求的范围内。

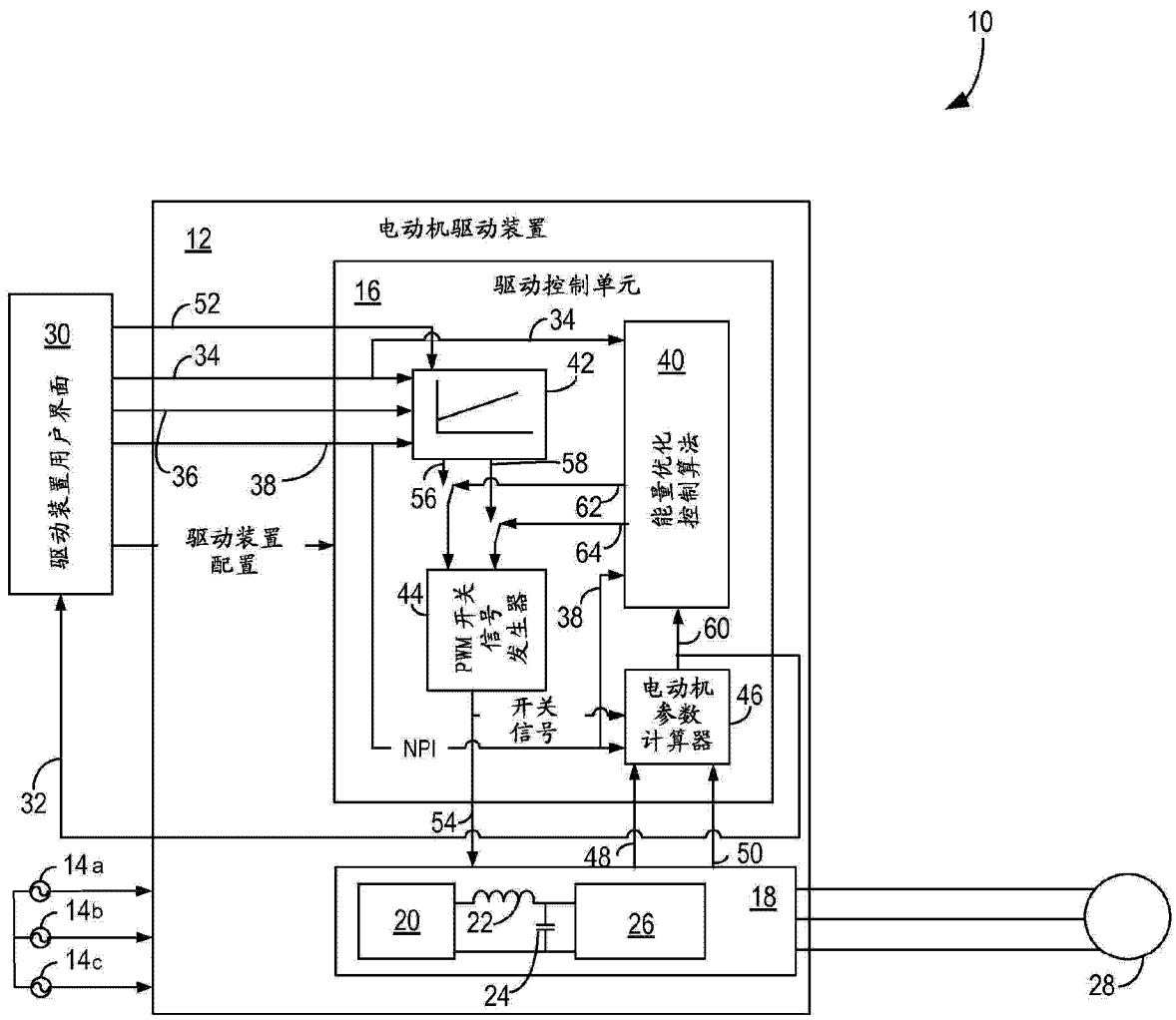

10
12
电动机驱动装置
16
驱动控制单元
30
驱动装置用户界面
52
34
36
38
驱动装置配置
32
42
40
能量优化控制算法
58
56
62
64
44
PWM 开关信号发生器
38
60
电动机参数计算器
46
开关信号
NPI
54
48
50
14a
14b
14c
20
22
26
18
24
28

图 1

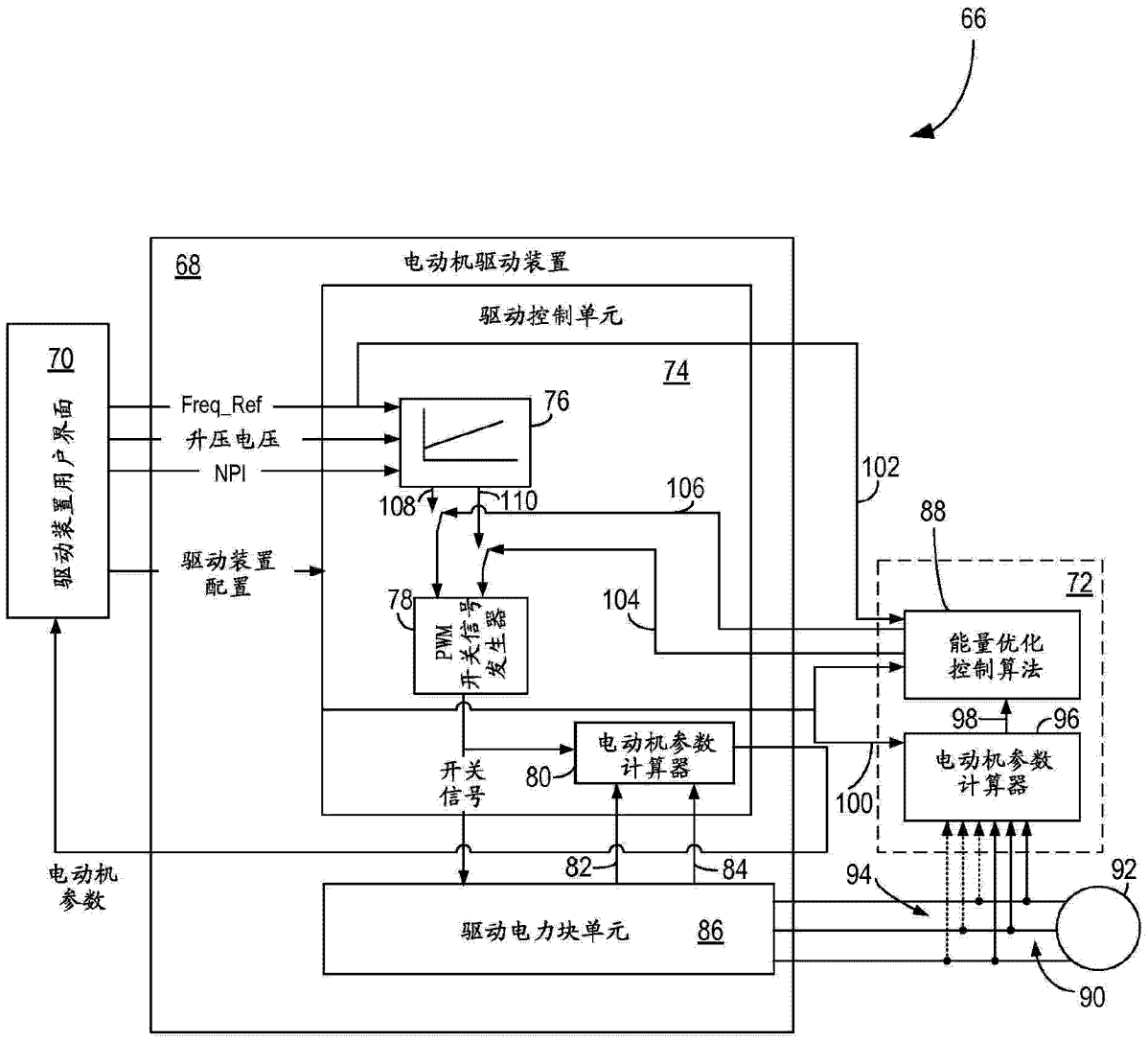

66
68
电动机驱动装置
驱动控制单元
74
70
驱动装置用户界面
Freq_Ref
升压电压
NPI
驱动装置配置
76
108
110
106
102
88
72
78
PWM开关信号发生器
104
能量优化控制算法
98
96
电动机参数计算器
开关信号
80
电动机参数计算器
100
电动机参数
82
84
94
92
驱动电力块单元
86
90

图 2

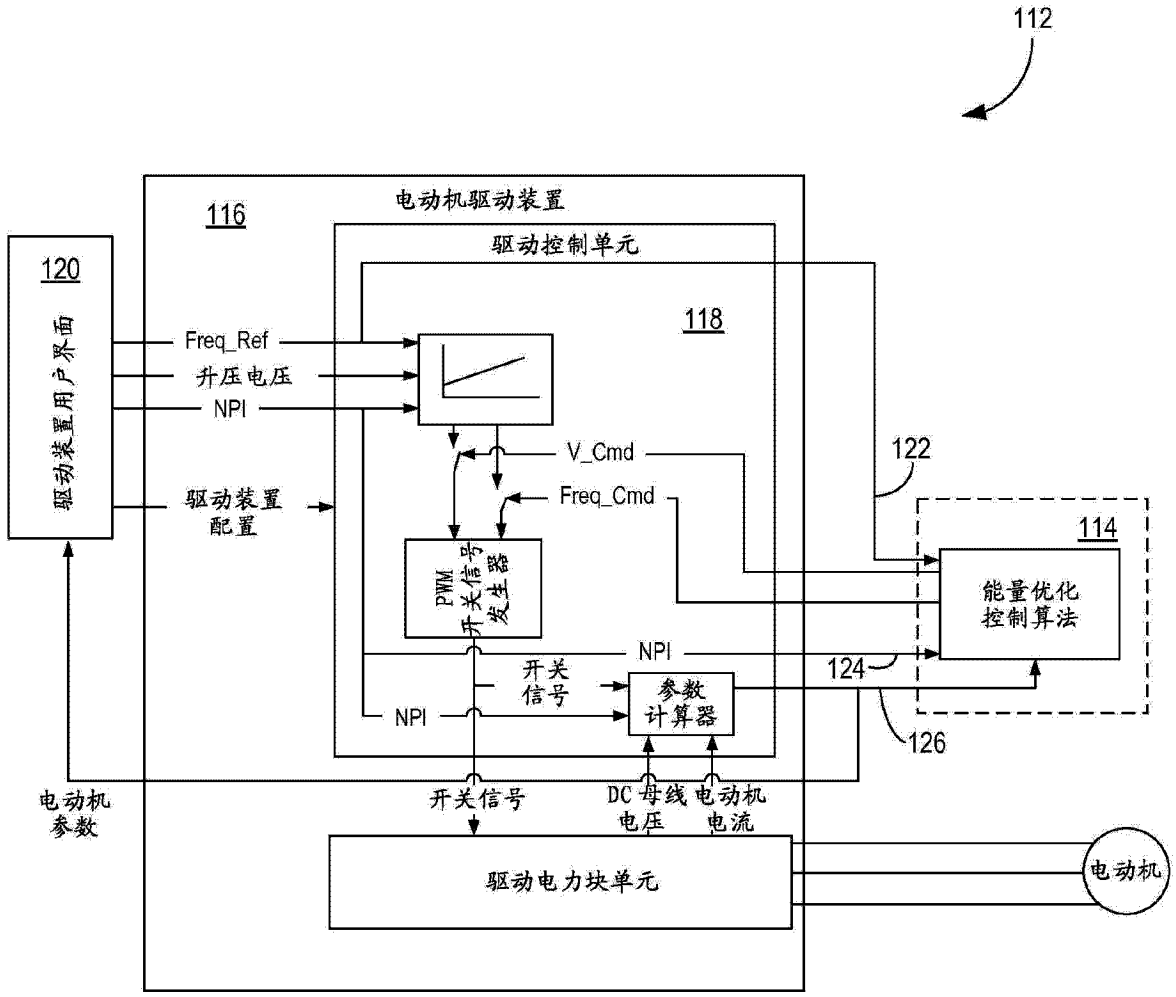

112
电动机驱动装置
116
驱动控制单元
120
驱动装置用户界面
118
Freq_Ref
升压电压
NPI
V_Cmd
Freq_Cmd
122
114
驱动装置配置
PWM开关信号发生器
能量优化控制算法
NPI
开关信号
参数计算器
124
NPI
126
电动机参数
开关信号
DC母线电压
电动机电流
驱动电力块单元
电动机

图 3

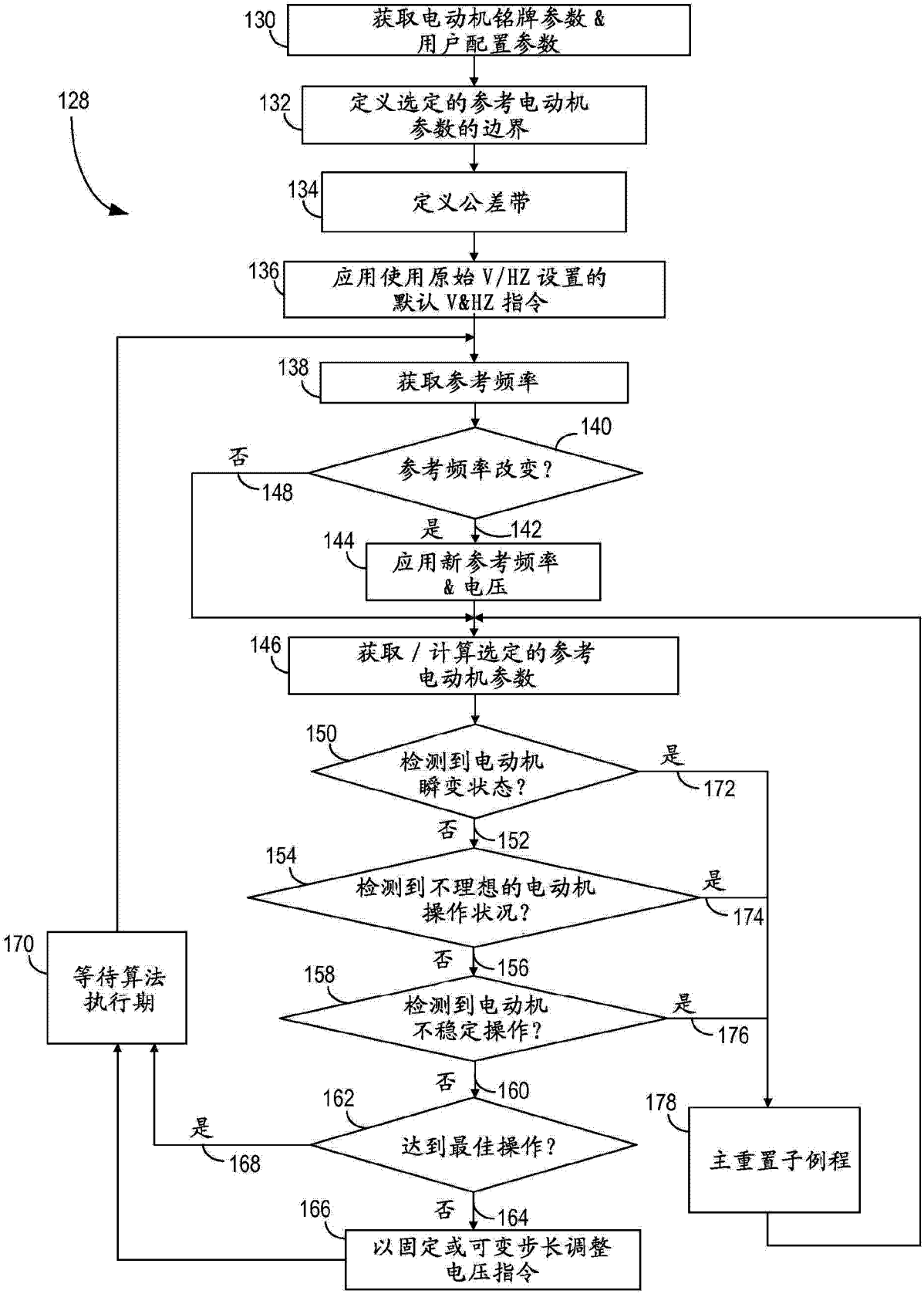

128
130
获取电动机铭牌参数 & 用户配置参数
132
定义选定的参考电动机参数的边界
134
定义公差带
136
应用使用原始 V/HZ 设置的默认 V&HZ 指令
138
获取参考频率
140
参考频率改变？
否
148
是
142
144
应用新参考频率 & 电压
146
获取 / 计算选定的参考电动机参数
150
检测到电动机瞬变状态？
是
172
否
152
154
检测到不理想的电动机操作状况？
是
174
否
156
158
检测到电动机不稳定操作？
是
176
否
160
162
达到最佳操作？
是
168
否
164
166
以固定或可变步长调整电压指令
170
等待算法执行期
178
主重置子例程

图 4

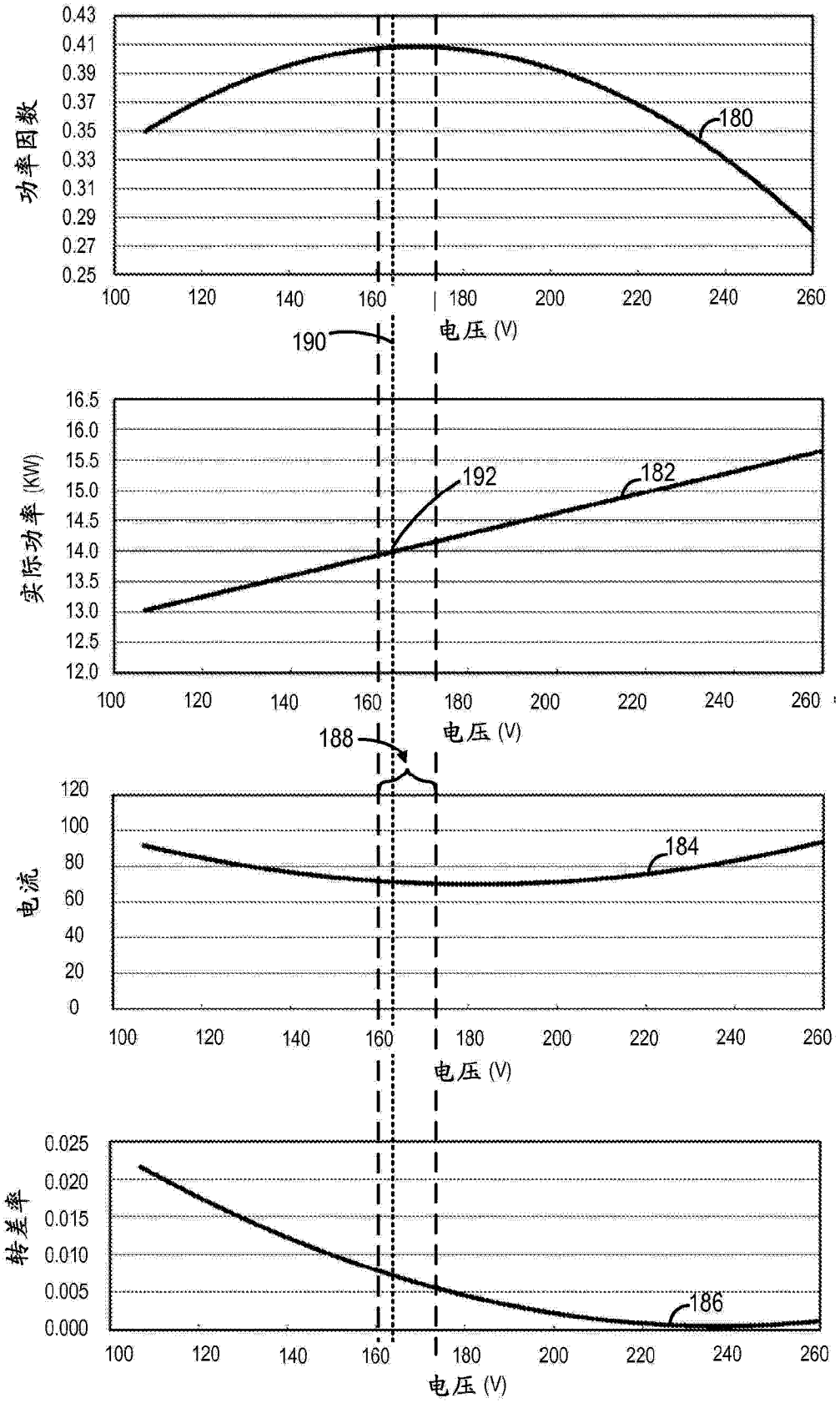

功率因数
0.43
0.41
0.39
0.37
0.35
0.33
0.31
0.29
0.27
0.25
180
100 120 140 160 180 200 220 240 260
电压 (V)
190
实际功率 (KW)
16.5
16.0
15.5
15.0
14.5
14.0
13.5
13.0
12.5
12.0
192
182
100 120 140 160 180 200 220 240 260
电压 (V)
188
电流
120
100
80
60
40
20
0
184
100 120 140 160 180 200 220 240 260
电压 (V)
转差率
0.025
0.020
0.015
0.010
0.005
0.000
186
100 120 140 160 180 200 220 240 260
电压 (V)

图 5

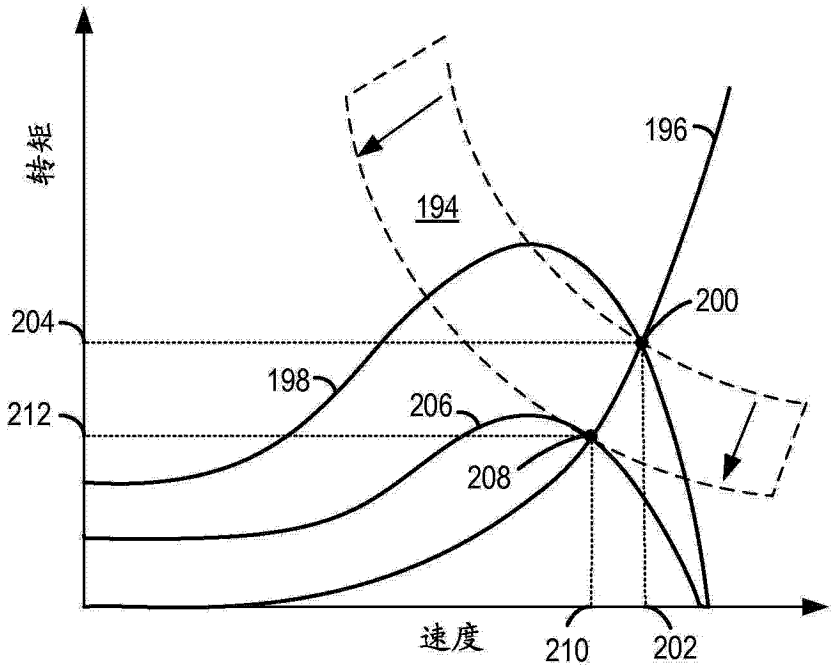

转矩
196
194
200
204
198
212
206
208
速度
210
202

图 6

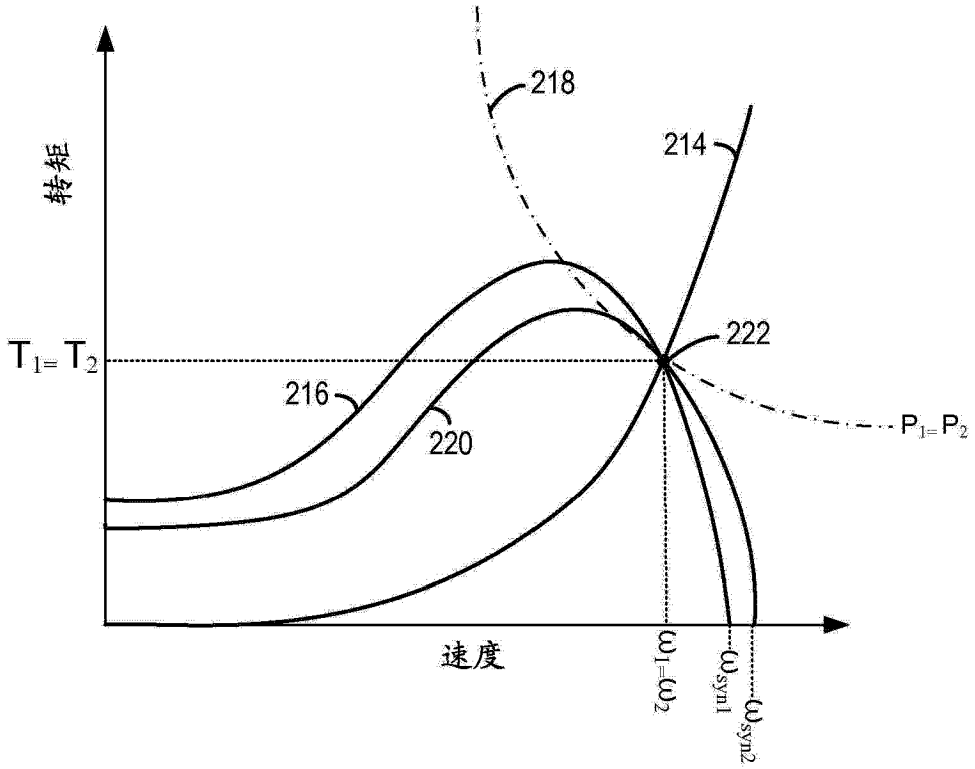

218
214
转矩
222
T1= T2
216
220
P1= P2
速度
ω1=ω2
ωsyn1
ωsyn2

图 7

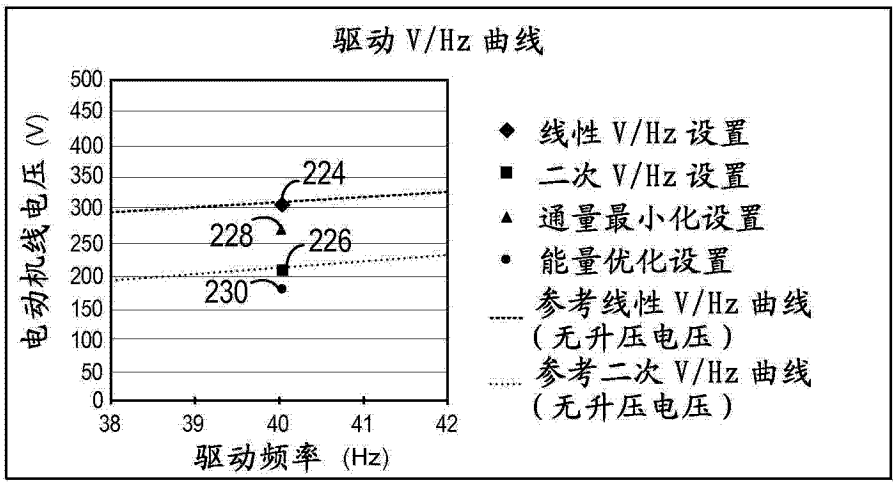

驱动 V/Hz 曲线
电动机线电压 (V)
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
38
39
40
41
42
驱动频率 (Hz)
224
228
226
230
线性 V/Hz 设置
二次 V/Hz 设置
通量最小化设置
能量优化设置
参考线性 V/Hz 曲线
(无升压电压)
参考二次 V/Hz 曲线
(无升压电压)

图 8

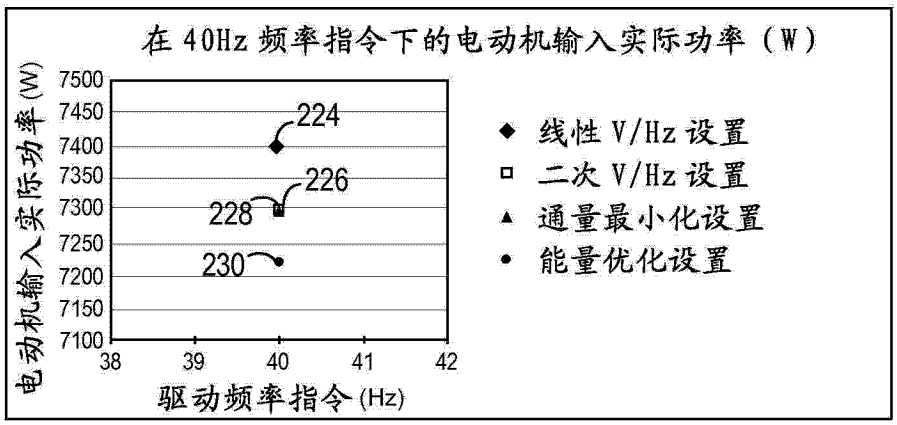

在 40Hz 频率指令下的电动机输入实际功率 (W)
电动机输入实际功率 (W)
7500
7450
7400
7350
7300
7250
7200
7150
7100
38
39
40
41
42
驱动频率指令 (Hz)
224
226
228
230
线性 V/Hz 设置
二次 V/Hz 设置
通量最小化设置
能量优化设置

图 9

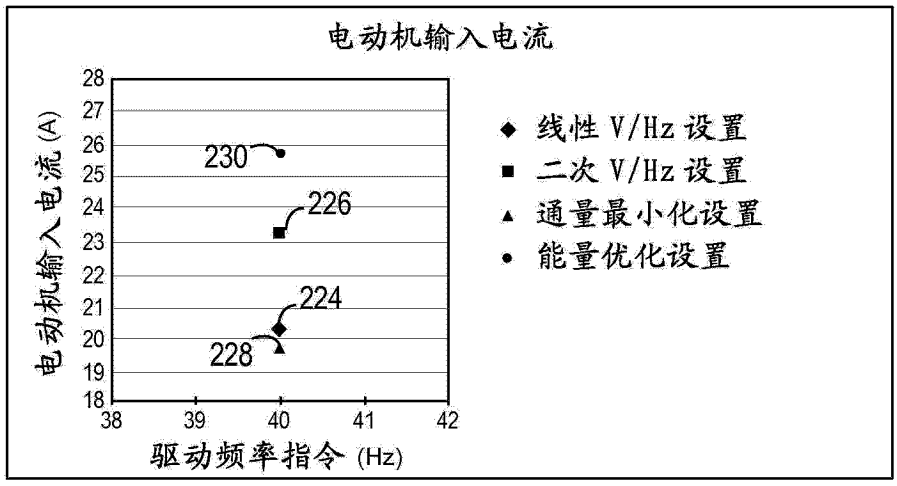

电动机输入电流
电动机输入电流 (A)
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
38
39
40
41
42
驱动频率指令 (Hz)
230
226
224
228
线性 V/Hz 设置
二次 V/Hz 设置
通量最小化设置
能量优化设置

图 10

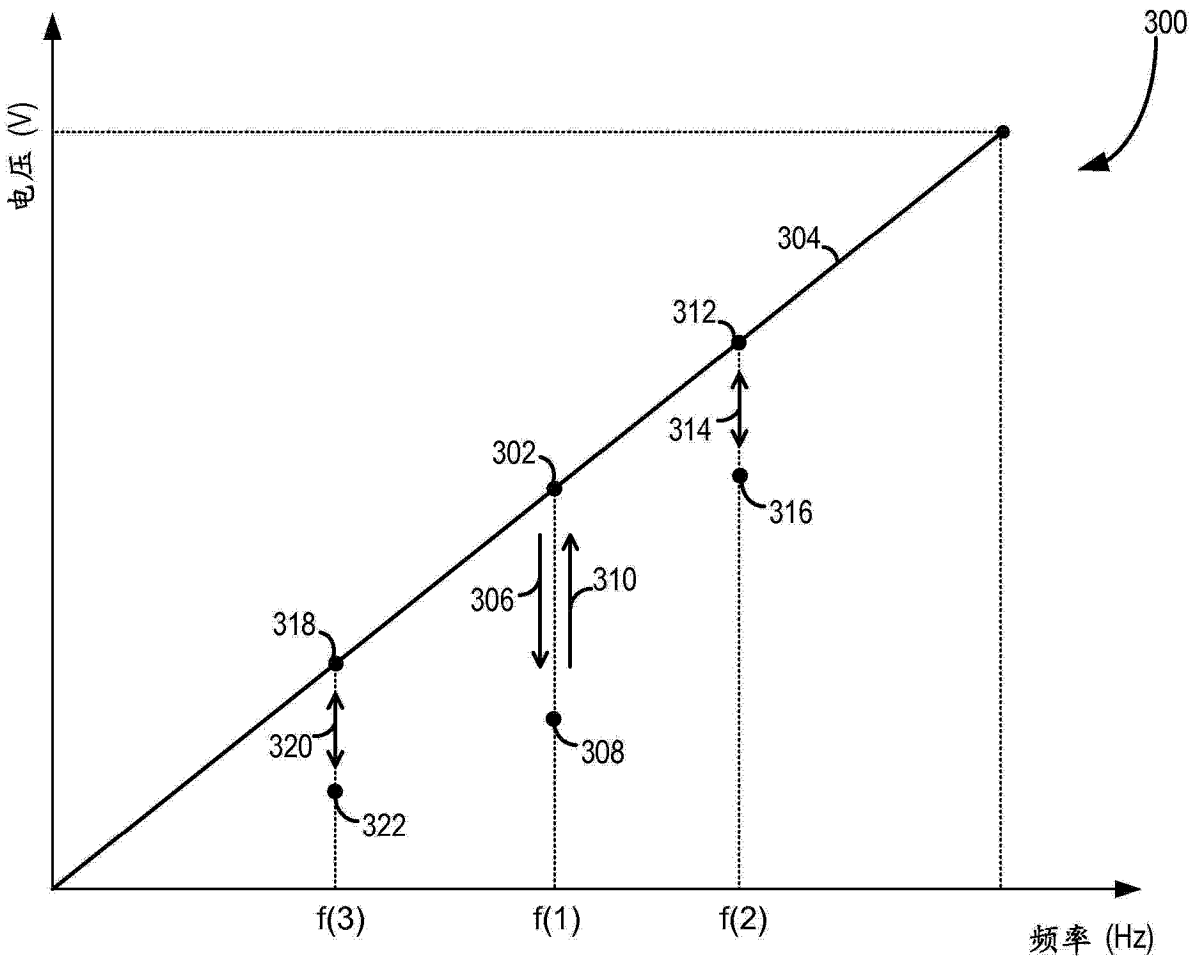


图 11

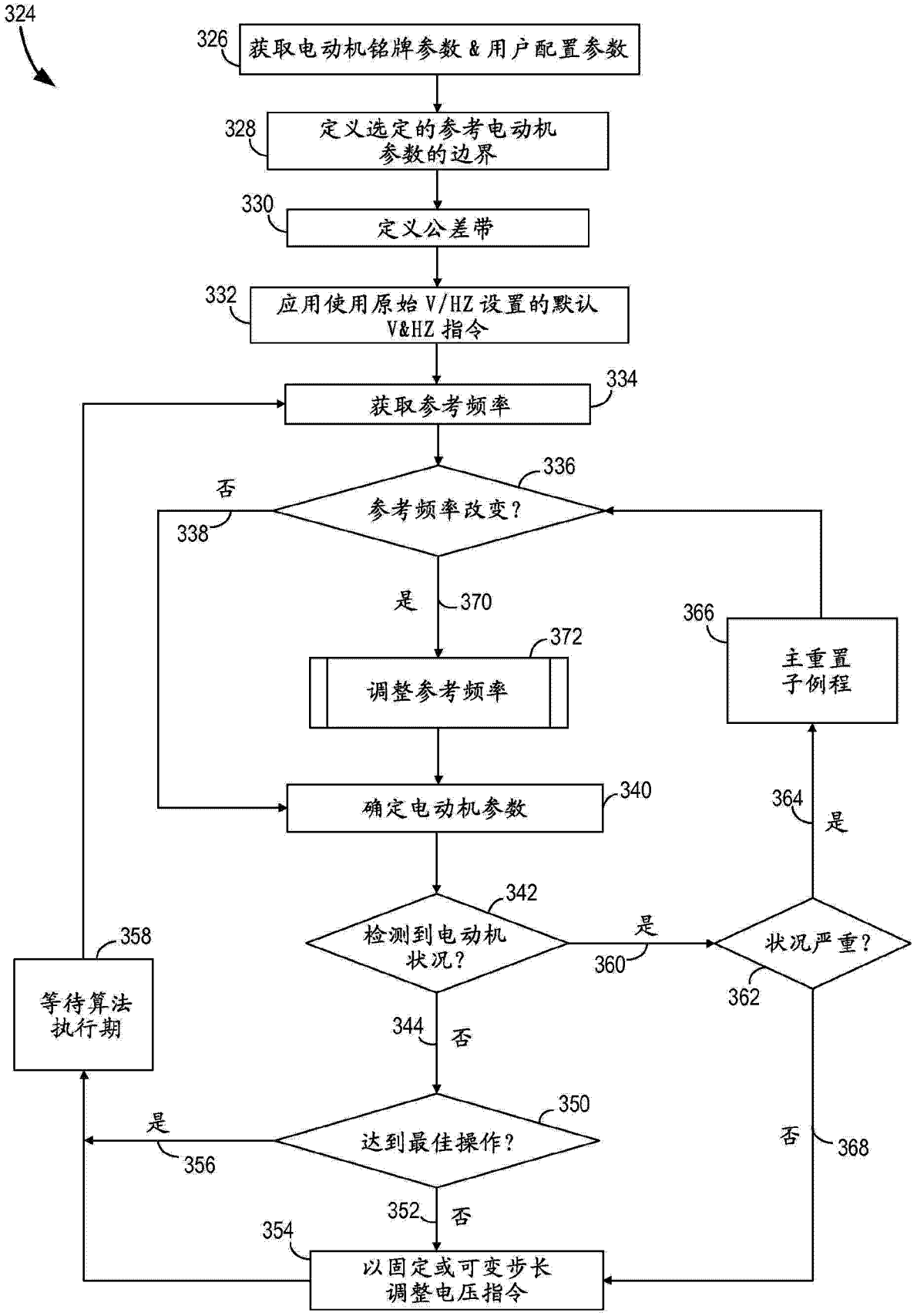

324
326
获取电动机铭牌参数 & 用户配置参数
328
定义选定的参考电动机参数的边界
330
定义公差带
332
应用使用原始 V/HZ 设置的默认 V&HZ 指令
334
获取参考频率
336
参考频率改变?
否
338
是
370
372
调整参考频率
366
主重置子例程
340
确定电动机参数
364
是
342
检测到电动机状况?
是
360
状况严重?
362
358
等待算法执行期
344
否
350
达到最佳操作?
是
356
否
368
352
否
354
以固定或可变步长调整电压指令

图 12

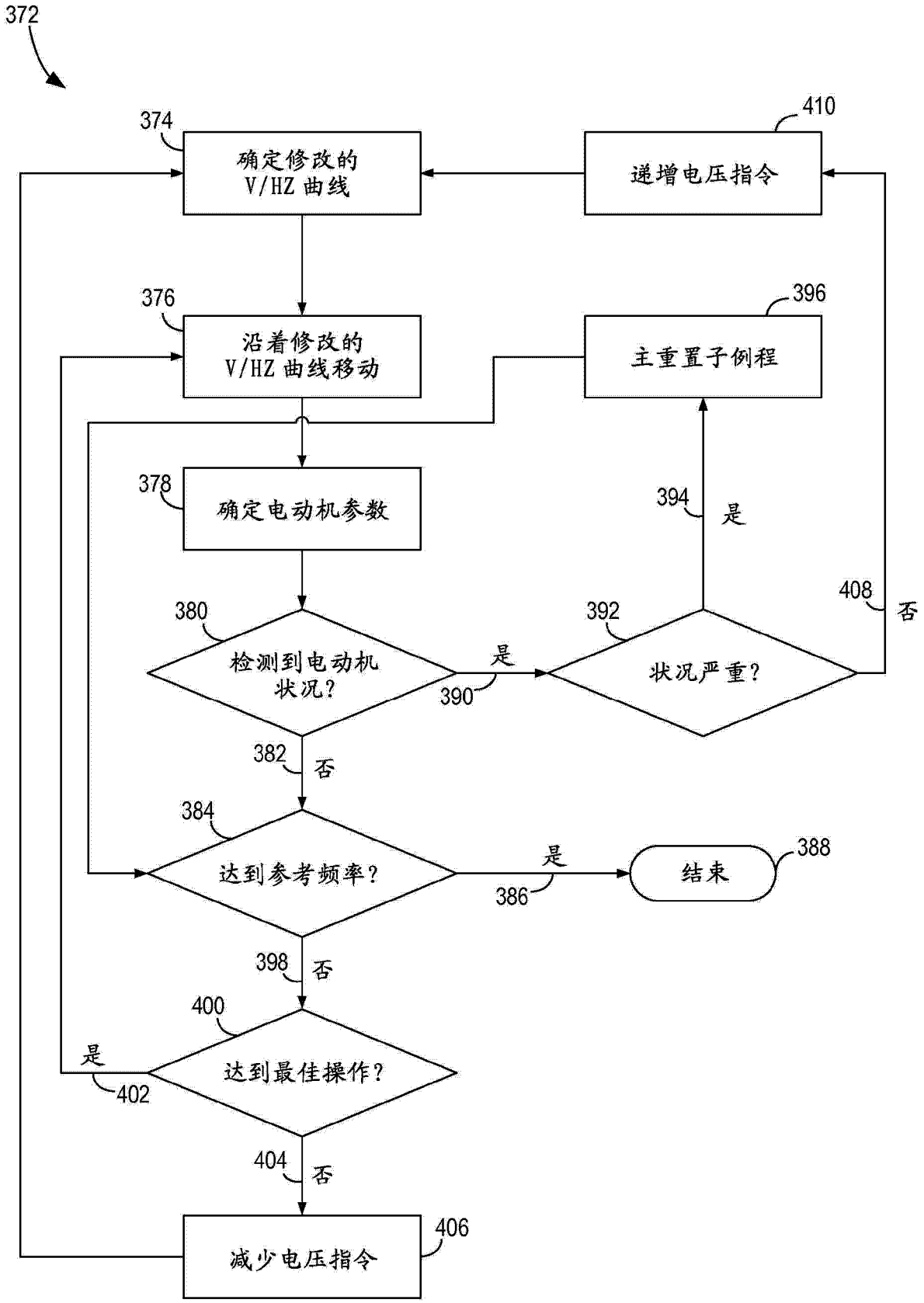

372
374
确定修改的 V/HZ 曲线
410
递增电压指令
376
沿着修改的 V/HZ 曲线移动
396
主重置子例程
378
确定电动机参数
394
是
380
检测到电动机状况?
是
390
392
状况严重?
408
否
382
否
384
达到参考频率?
是
386
结束
388
398
否
400
达到最佳操作?
是
402
404
否
406
减少电压指令

图 13

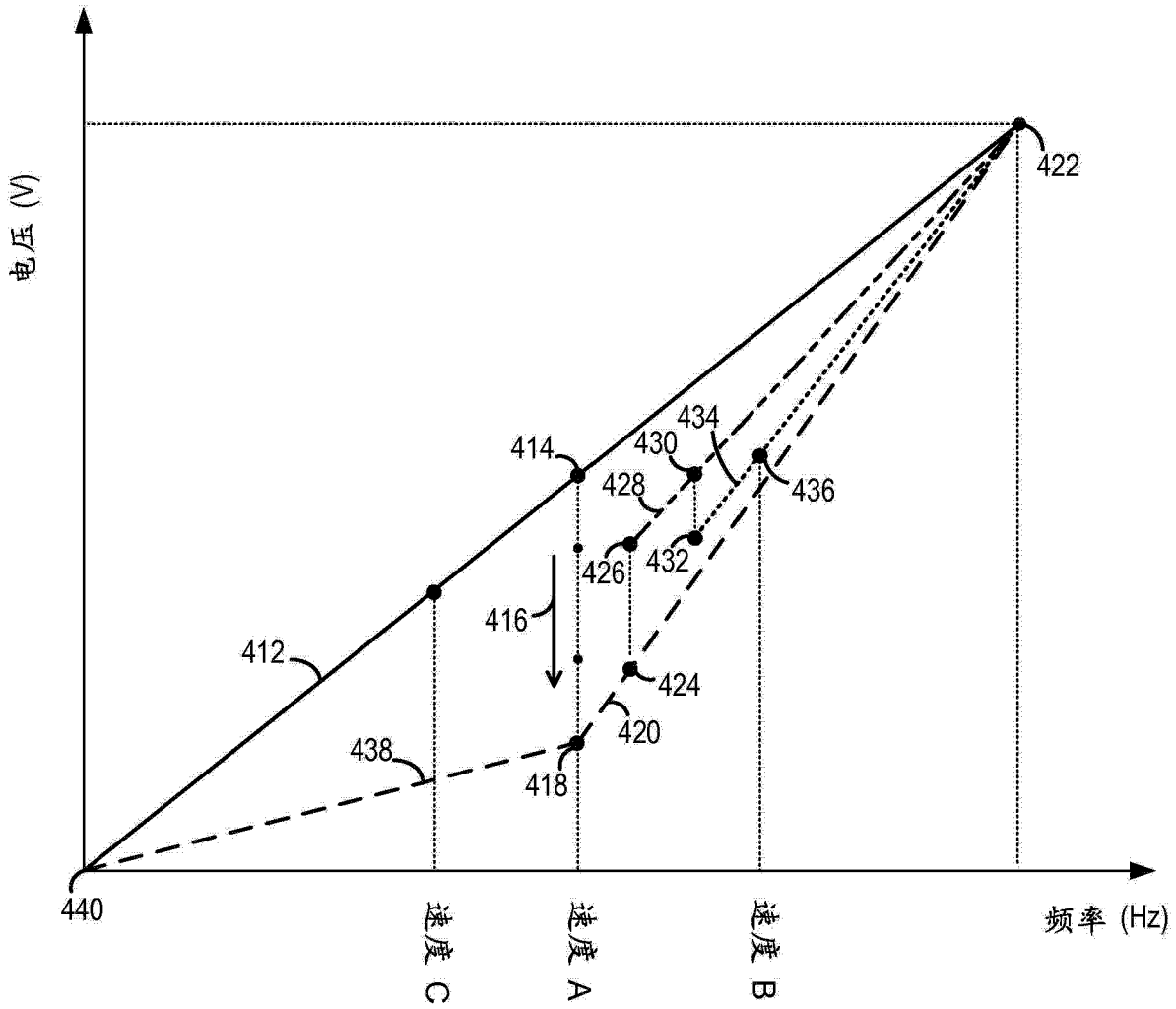

电压 (V)
422
414
434
430
428
436
426
432
416
412
424
420
438
418
440
速度 C
速度 A
速度 B
频率 (Hz)

图 14

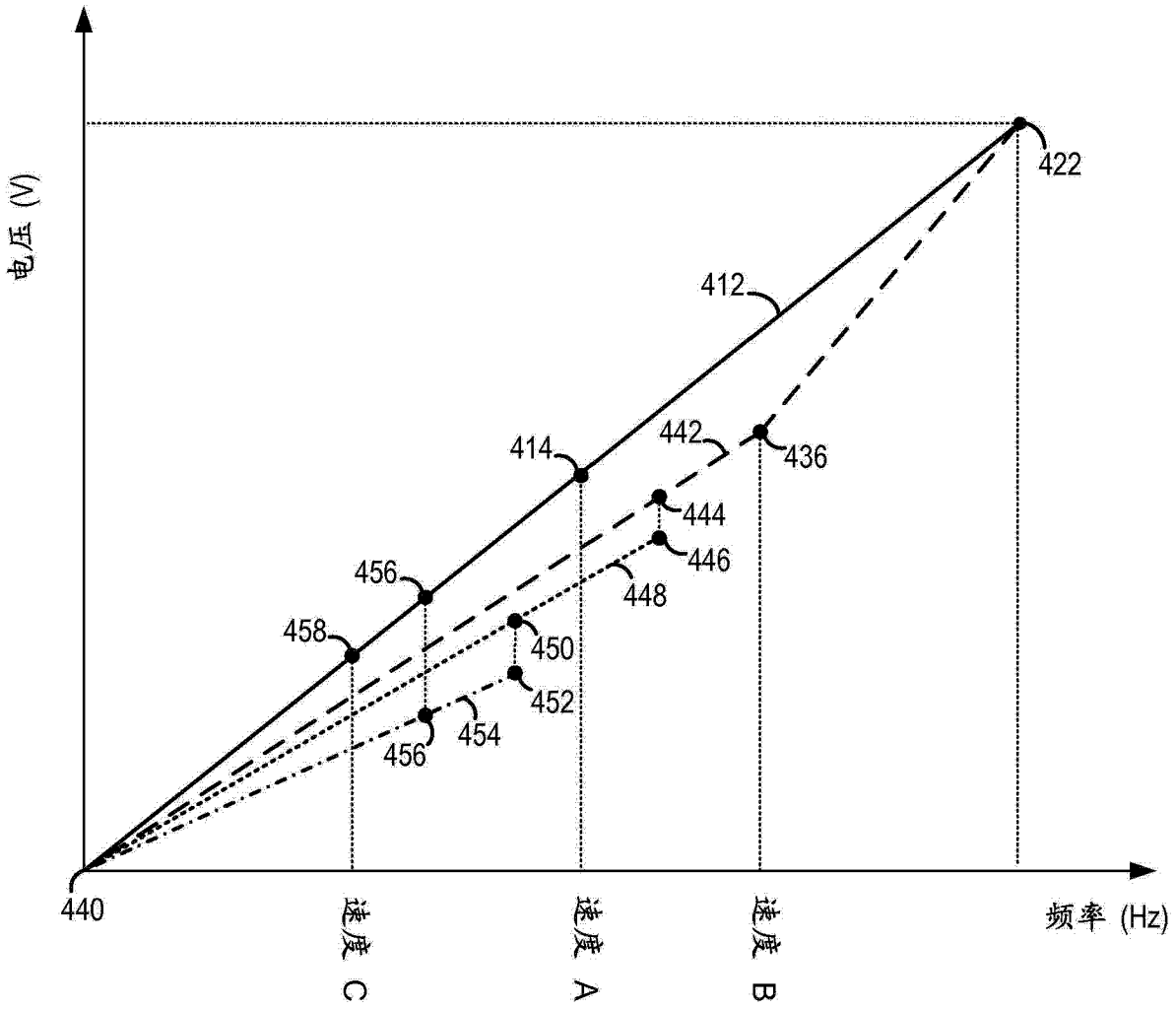

电压 (V)
422
412
414
442
436
444
446
448
456
458
450
452
454
456
440
速度 C
速度 A
速度 B
频率 (Hz)

图 15