



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101300733 B

(45) 授权公告日 2010. 10. 06

(21) 申请号 200680037698. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2006. 08. 14

H02P 21/00 (2006. 01)

## (30) 优先权数据

60/708, 066 2005. 08. 12 US

H02M 7/48 (2007. 01)

11/503, 327 2006. 08. 11 US

## (85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 04. 10

## (56) 对比文件

## (86) PCT申请的申请数据

PCT/US2006/031800 2006. 08. 14

CN 1076168 A, 1993. 09. 15, 全文.  
US 4349772, 1982. 09. 14, 说明书第 6 栏第  
23 行至第 7 样第 2 行、附图 3.

## (87) PCT申请的公布数据

W02007/022164 EN 2007. 04. 12

US 6107774 A, 2000. 08. 22, 说明书第 8 样第  
58 行至第 9 样第 49 行、附图 1, 7, 8.

审查员 张剑云

## (73) 专利权人 西门子工业公司

地址 美国乔治亚州

## (72) 发明人 小拉尔夫·弗洛格 福田雄介

R·盖洛 M·拉斯托吉

A·C·施奈德

## (74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

72001

代理人 卢江 刘春元

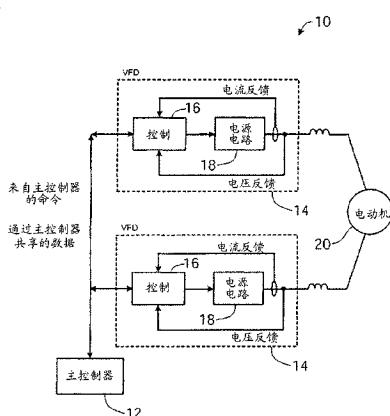
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

## (54) 发明名称

并行控制变频驱动器的系统和方法

## (57) 摘要

一种用于控制并联连接的至少两个变频驱动器的方法。该方法包括：对于每个变频驱动器，将磁化电流分量值传送给主控制器，并且从主控制器接收速度要求、磁通要求和平均磁化电流分量值。该方法还包括：基于耦合到变频驱动器的电动机的定子电压和电流的测量结果来确定电动机转速和电动机磁通，基于转矩电流分量值确定速度基准，并且基于磁化电流分量值和平均磁化电流分量值确定磁通基准。该方法还包括基于速度基准调整转矩电流分量和 / 或基于磁通基准调整磁化电流分量。



1. 一种系统,其包括 :

主控制器 (12) ;和

与主控制器进行通信的至少两个独立的变频驱动器 (14),其中每个变频驱动器包括 :  
电源电路 (18) ;和

与电源电路进行通信的控制器 (16),其中控制器包括 :

速度降低模块 (26),该速度降低模块 (26) 被结构化并被设置来调节变频驱动器中的  
转矩电流分量以及基于转矩电流分量确定速度基准信号 ;和

磁通共享模块 (28),该磁通共享模块 (28) 被结构化并被设置来调节变频驱动器中的  
磁化电流分量以及基于磁化电流分量确定磁通基准信号 ;和

其中每个控制器 (16) 还包括电动机模型 (34) 模块,该电动机模型 (34) 模块被结构化  
并被设置来基于定子电压和定子电流测量结果而确定电动机转速估计和电动机磁通估计。

2. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,主控制器 (12) 被结构化并被设置来以低于变频  
驱动器内的任何计算速率的数据速率与每个变频驱动器 (14) 进行通信。

3. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,主控制器 (12) 包括可编程逻辑控制器。

4. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,每个电源电路 (18) 包括 :

整流器 (22) ;和连接到整流器的逆变器 (24) 。

5. 根据权利要求 4 所述的系统,其中,逆变器 (24) 包括以下开关设备中的至少一个 :  
绝缘栅双极晶体管 ;

集成门极换向晶闸管 ;和

MOSFET。

6. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,所述转矩电流分量基本上等于系统的其它变频  
驱动器 (14) 中的转矩电流分量。

7. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,所述磁化电流分量基本上等于系统的其它变频  
驱动器 (14) 中的磁化电流分量。

8. 根据权利要求 1 所述的系统,其中,每个变频驱动器 (14) 还包括耦合到控制器 (16)  
的场电源。

9. 一种用于控制并联连接的至少两个变频驱动器 (14) 的方法,该方法包括 :

对于每个变频驱动器,

将磁化电流分量值传送给主控制器 (12) ;

从主控制器接收速度要求、磁通要求和平均磁化电流分量值 ;

基于耦合到变频驱动器 (14) 的电动机 (20) 的定子电压和电流的测量结果来确定电动  
机转速和电动机磁通 ;

基于转矩电流分量值确定速度基准 ;

基于磁化电流分量值和平均磁化电流分量值确定磁通基准 ;以及

调整以下量中的至少一个 :

基于速度基准调整转矩电流分量 ;和

基于磁通基准调整磁化电流分量。

10. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,传送磁化电流分量值包括以低于变频驱动器  
(14) 内的任何计算速率的数据速率传送磁化电流分量值。

11. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,接收速度要求、磁通要求和平均磁化电流分量值包括以低于变频驱动器 (14) 内的任何计算速率的数据速率接收速度要求、磁通要求和平均磁化电流分量值。

12. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,确定速度基准包括:

按比例缩放转矩电流分量值;以及

从速度斜坡的输出中减去按比例缩放过的转矩电流分量值。

13. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,确定磁通基准包括:

确定磁化电流分量值和平均磁化电流分量值之间的差;

按比例缩放该差;以及

将按比例缩放过的值添加到磁通斜坡的输出。

14. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,调整转矩电流分量包括调整变频驱动器 (14) 的输出电压和连接到该变频驱动器 (14) 的电动机 (20) 的反电动势之间的相移。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,其中,调整相移包括调整变频驱动器的输出频率。

16. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,调整转矩电流分量包括将转矩电流分量调整为基本上等于并联连接的其它变频驱动器 (14) 中的转矩电流分量。

17. 根据权利要求 9 所述的方法,其中,调整磁化电流分量包括将磁化电流分量调整为基本上等于并联连接的其它变频驱动器 (14) 中的磁化电流分量。

## 并行控制变频驱动器的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于 2005 年 8 月 12 日提交的美国临时专利申请 No. 60/708,066 的优先权权益。

### 背景技术

[0003] 本申请公开了通常并且在各个实施例中涉及用于并行控制变频驱动器的系统和方法的发明。

[0004] 变频驱动器在本领域是公知的。变频驱动器通常包括控制电路和电源电路。对于同步电动机应用，变频驱动器还可以包括场电源 (field supply)。控制电路控制电源电路的操作，并且对于同步电动机应用还使能 / 禁用相关联的场电源。电源电路包括整流器和逆变器 (inverter)，并且给连接到变频驱动器的电动机绕组供电。对于同步电动机应用，场电源给电动机励磁电路的激励器供电。

[0005] 控制电路通常包括速度调节器、磁通调节器 (flux regulator)、磁化电流调节器、转矩电流调节器、DQ-3 $\Phi$  变换、脉宽调制器和电动机模型。速度调节器提供磁化电流基准，并且磁通调节器提供转矩电流基准。控制电路将磁化电流基准与所测量的磁化电流相比较，并且磁化电流调节器确定 Q 轴电压基准。控制电路还将转矩电流基准与所测量的转矩电流相比较，并且转矩电流调节器确定 D 轴电压基准。附加的前馈信号可以被添加到 D 轴电压基准和 Q 轴电压基准，以提供较高的动态响应。DQ-3 $\Phi$  变换将 Q 轴电压基准和 D 轴电压基准从两相信息变换为三相值。脉宽调制器将三相值转换为被发送到电源电路的切换命令。电动机模型通常利用所测量的电压和 / 或电流信号来确定电动机参数，诸如确定电动机转速、电动机磁通 (motor flux)、电动机磁通角 (motor flux angle)。对于低成本是商业要求的应用，电动机模型可以仅利用变频驱动器输出电流或电动机电流来确定电动机参数。电动机模型还将所测量的电流转换为磁化电流分量和转矩电流分量，以分别供磁化电流调节器和转矩电流调节器使用。

[0006] 控制电路执行的许多功能用软件来实施。软件被编写来使得以两个或多个不同的速率完成计算，以便节省处理器执行时间。一般来说，脉宽调制器以最快的速率工作并且通常用硬件来实施。磁化电流调节器、转矩电流调节器和 DQ-3 $\Phi$  变换块通常以 1-10 千赫的数据率被执行，使得通过在负载或输出电路突然变化的情况下限制变频驱动器的输出电流来实现控制的快速响应。速度调节器和磁通调节器通常以 100-1000 赫兹的较低速率工作，因为电动机转速和电动机磁通以比磁化电流和转矩电流的变化速率低得多的速率变化。电动机模型也通常以这个速率被计算。从控制电路到外界的通信通常是以 1-10 赫兹的速率，其包括（从客户）到外部设备的通信。

[0007] 当需要被递送给负载的功率超过可从单个变频驱动器得到的功率时，已知并联连接多个变频驱动器，以便满足负载的功率要求。为了控制这种并联装置，经常使用主从装置。在主从配置中，主控制器经常作为外部控制（例如客户控制）和各个变频驱动器之间的接口来工作。相应的控制电路与主控制器进行通信并且还直接相互进行通信。

[0008] 一般来说,对于主从装置,一个变频驱动器被配置为主驱动器,而其它变频驱动器被配置为从驱动器。主驱动器通常执行速度调节器功能和磁通调节器功能,并且给自己和所有从驱动器发布电流命令(转矩电流基准和磁化电流基准)。从驱动器对来自主驱动器的电流命令起作用,并且并不利用其相应的速度调节器或磁通调节器。因此,从驱动器比主驱动器利用更少的调节器操作。从驱动器利用来自主驱动器的电流命令来调节其输出电流的每一个并且产生所要求的电动机电压。除了电流命令以外,主驱动器还必须将电动机磁通角或电动机频率信息发送到从驱动器,以使得从驱动器能够将相应的Q轴电压基准和D轴电压基准转换为正确的3相基准帧(reference frame)。为了提供良好的动态性能,主驱动器和从驱动器之间的所要求的通信速率在100-1000赫兹的范围中。要求主控制器具有主驱动器的知识,使得如果最初的主驱动器需要从系统中被移除,则可以将从驱动器配置为新的主驱动器。

[0009] 为了合适的操作,要求每个变频驱动器知道其在系统中的位置(主或从),并且要求每个变频驱动器基于其位置不同地操作。因为主驱动器比从驱动器执行更多的任务,所以主驱动器的控制比从驱动器的控制更复杂。虽然主从配置适用于多种不同的应用,但是主从配置的实施比较复杂并且比较昂贵。

## 发明内容

[0010] 在一个通常的方面,本申请公开了一种用于并行控制变频驱动器的系统。根据各个实施例,该系统包括主控制器和与主控制器进行通信的至少两个独立的变频驱动器。每个变频驱动器包括电源电路和与电源电路进行通信的控制器。控制器包括速度降低模块(speed droopmodule)和磁通共享模块(flux share module)。速度降低模块被结构化并被设置来调节变频驱动器中的转矩电流分量。磁通共享模块被结构化并被设置来调节变频驱动器中的磁化电流分量。

[0011] 在另一通常的方面,本申请公开了一种用于并行控制变频驱动器的方法。根据各个实施例,该方法包括:对于每个变频驱动器,将磁化电流分量值传送给主控制器,并且从主控制器接收速度要求、磁通要求和平均磁化电流分量值。该方法还包括:基于耦合到变频驱动器的电动机的定子电压和电流的测量结果确定电动机转速和电动机磁通,基于转矩电流分量值确定速度基准,并且基于磁化电流分量值和平均磁化电流分量值确定磁通基准。该方法还包括基于速度基准调整转矩电流分量和/或基于磁通基准调整磁化电流分量。

[0012] 可以通过计算设备和/或存储在计算机可读介质上的计算机程序来实施本发明的方面。计算机可读介质可以包括盘、设备和/或所传播的信号。

## 附图说明

- [0013] 在此例如结合附图来描述本发明的各个实施例。
- [0014] 图1示出了用于并行控制变频驱动器的系统的各个实施例;
- [0015] 图2示出了图1的系统的变频驱动器之一的电源电路的各个实施例;
- [0016] 图3示出了图1的系统的变频驱动器之一的控制器的各个实施例;
- [0017] 图4示出了图3的控制器的速度降低模块的各个实施例;以及
- [0018] 图5示出了图3的控制器的磁通共享模块的各个实施例。

## 具体实施方式

[0019] 应理解，本发明的至少一些附图和说明已经被简化来集中在与本发明的清楚理解相关的元件上，同时为了清楚起见而排除了其它元件，本领域普通技术人员可以认识到，本发明的一部分也可以包括这些其它元件。然而，因为这些元件在本领域中是公知的，并且因为这些元件并不一定会促进更好地理解本发明，所以在此没有提供这些元件的说明。

[0020] 图 1 示出了用于并行控制变频驱动器的系统 10 的各个实施例。系统 10 包括主控制器 12 和与主控制器 12 进行通信的独立的变频驱动器 14。虽然在图 1 中仅示出了两个变频驱动器 14，但是本领域技术人员应理解，系统 10 可以包括任何数目的变频驱动器 14。

[0021] 主控制器 12 可以被实现为一个或多个可编程逻辑控制器，并且可以用作其它控制（例如客户控制）和变频驱动器 14 之间的接口。主控制器 12 被结构化并被设置来以基本上低于变频驱动器 14 内的任何计算速率的数据速率而与变频驱动器 14 进行通信。如下面将更详细描述的那样，变频驱动器 14 之间的令人满意的电流共享可以用大约为 1-10 赫兹数量级的数据通信速率来实现，该数据通信速率基本上低于变频驱动器 14 内的任何计算速率。主控制器 12 可以将诸如速度和磁通要求以及开始或停止请求的命令发送到每个变频驱动器 14。响应于此，每个变频驱动器 14 可以将状态信息（例如正常的或有故障的）和反馈信息（例如输出电流、电压和频率）发送到主控制器 12。

[0022] 每个变频驱动器 14 包括与主控制器 12 进行通信的控制器 16 和与控制器 16 进行通信的电源电路 18。每个电源电路 18 被耦合到电动机 20 的绕组。根据各个实施例，每个电源电路 18 可以被耦合到多绕组交流电动机的不同绕组，被耦合到单绕组交流电动机的相同绕组或其任意组合。本领域技术人员将理解，系统 10 可以与任何类型的交流电动机（诸如同步电动机、感应电动机或永磁电动机）一起使用。对于同步电动机应用，每个变频驱动器 14 还可以包括由控制器 16 使能 / 禁用的场电源，并且每个场电源可以被连接到如本领域中公知的、电动机励磁电路的激励器。如图 1 中所示，对于每个变频驱动器 14，由相关联的电源电路 18 输出的电压被馈送回相关联的控制器 16，并且由相关联的电源电路 18 输出的电流也被馈送回相关联的控制器 16。

[0023] 变频驱动器 14 并不是直接相互通信。每个变频驱动器 14 被结构化并被设置来以基本上低于变频驱动器 14 内的任何计算速率的数据速率（例如大约 1 到 10 赫兹）与主控制器 12 进行通信。相对低的数据速率允许系统 10 比利用主 / 从装置的系统更简单和更便宜。系统 10 可以与任何类型的交流电动机一起使用。

[0024] 图 2 示出了系统 10 的电源电路 18 的各个实施例。电源电路 18 代表每个变频驱动器 14 的电源电路 18。电源电路 18 包括整流器 22 和连接到整流器 22 的逆变器 24。整流器 22 被连接到控制器 16，并且逆变器 24 被连接到电动机 20 的绕组。根据各个实施例，逆变器 24 可以包括任何数目的开关设备，诸如包括绝缘栅双极晶体管、集成门极换向晶闸管、MOSFET 等。

[0025] 图 3 示出了系统 10 的控制器 16 的各个实施例。控制器 16 代表每个变频驱动器 14 的控制器 16。控制器 16 包括速度降低模块 26 和磁通共享模块 28。控制器 16 还包括 DQ-3Φ 变换 30、脉宽调制器 32 和电动机模型 34。根据各个实施例，电动机模型 34 被结构化并被设置来基于定子电压和定子电流测量结果确定电动机转速估计和电动机磁通估计。

电动机模型 34 还可以提供磁化电流分量的值、转矩电流分量的值和电动机磁通角的值。

[0026] 图 4 示出了系统 10 的速度降低模块 26 的各个实施例。速度降低模块 26 代表每个变频驱动器 14 的速度降低模块 26。速度降低模块 26 被结构化并被设置来调节相关联的变频驱动器 14 中的转矩电流分量。速度降低模块 28 包括速度斜坡 (speed ramp) 36、速度降低增益 38、速度调节器 40 和转矩电流调节器 42。在工作时，速度斜坡 36 接收来自主控制器 12 的速度要求，并且使速度要求中的任何变化线性化为可由用户调整的速率。速度降低增益 38 对转矩电流分量值按比例进行缩放，并且从速度斜坡 36 的输出中减去按比例缩放过的转矩电流分量值，以形成速度调节器 40 的速度基准。因此，速度降低模块 26 也被结构化并被设置来基于转矩电流分量值确定速度基准。将转矩电流引入到速度基准中促进了变频驱动器 14 的转矩电流共享。

[0027] 根据其它实施例，速度降低模块 26 可以被结构化并被设置来使得速度降低增益 38 按比例缩放转矩电流基准而不是转矩电流分量值。对于这种实施例，速度调节器 40 的速度基准是通过从速度斜坡 36 的输出中减去按比例缩放过的转矩电流基准形成的。

[0028] 当变频驱动器 14 之一比其它变频驱动器 14 递送更多的转矩电流时，速度降低模块 26 运行来从速度斜坡 36 的输出中减去较大的转矩电流分量值。这个动作导致变频驱动器 14 在一段时间内减小其输出频率，直到其输出电压和电动机 20 的反电动势之间的相移被减小到希望的值。因为在转矩电流和变频驱动器 14 的输出电压与电动机 20 的反电动势之间的相位角之间存在直接关系，所以被减小的相位角导致变频驱动器 14 所递送的转矩电流更小。其它变频驱动器 14 具有从其速度斜坡 36 的相应输出中被减去的较小的转矩电流分量值，这些其它变频驱动器 14 能够增加其输出频率，从而允许其递送更多的转矩电流，使得所有变频驱动器 14 基本上递送相同的转矩电流量。

[0029] 图 5 示出了系统 10 的磁通共享模块 28 的各个实施例。该磁通共享模块 28 代表每个变频驱动器 14 的磁通共享模块 28。磁通共享模块 28 被结构化并被设置来调节相关联的变频驱动器 14 中的磁化电流分量。磁通共享模块 28 包括磁通斜坡 (flux ramp) 44、磁通降低增益 46、磁通调节器 48 和磁化电流调节器 50。在工作时，磁通斜坡 44 接收来自主控制器 12 的磁通要求，并且使磁通要求中的任何变化线性化为可由用户调整的速率。磁通降低增益 46 对主控制器 12 所提供的平均磁化电流分量值和磁通调节器 48 的输出之间的误差按比例进行缩放。平均磁化电流分量值是由主控制器 12 基于每个变频驱动器 14 所报告的磁化电流分量值来确定的。磁通调节器 48 的输出是磁化电流基准。按比例缩放过的误差被添加到磁通斜坡 44 的输出，以形成磁通调节器 48 的磁通基准。因此，磁通共享模块 28 也被结构化并被设置来基于磁化电流分量值确定磁通基准。将磁化电流误差引入到磁通基准中用来使变频驱动器 14 以磁化电流分量上的最小误差操作，从而促进了变频驱动器 14 的磁化电流共享。

[0030] 当变频驱动器 14 之一正递送大于主控制器 12 所提供的平均磁化电流分量值的磁化电流时，磁通共享模块 28 操作来将按比例缩放过的误差添加到磁通斜坡 44 的输出，从而有效地减小了磁通基准的值。磁通基准的减小导致磁通调节器 48 降低磁化电流基准，由于磁化电流调节器 50 的动作，这又减小了磁化电流。当变频驱动器 14 之一正递送小于主控制器 12 所提供的平均磁化电流分量值的磁化电流时，相反的情况发生。因此，可以控制所有的变频驱动器 14，以基本上递送相同的磁化电流量。

[0031] 根据其它实施例，磁通共享模块 28 可以被结构化并被设置来使得磁通降低增益 46 对主控制器 12 所提供的平均磁化电流基准和磁通调节器 48 的输出之间的误差按比例进行缩放。平均磁化电流基准可以由主控制器 12 基于每个变频驱动器 14 所报告的相应磁化电流基准来确定。对于这种实施例，磁通调节器 48 的磁通基准通过将按比例缩放过的误差添加到磁通斜坡 44 的输出而被形成。

[0032] 根据其它实施例，磁通共享模块 28 可以被结构化并被设置来使得当电动机 20 是同步电动机时，磁通调节器 48 的输出被用作场电源电流的基准。平均场电源电流和实际场电源电流之间的误差可以被用来实现磁通基准的变化。对于这种实施例，磁化电流基准成为被用在所有变频驱动器 14 中的固定值。该固定值可以是例如零或者等于磁通调节器 48 的比例调节器部分的输出的值。

[0033] 虽然在此举例描述了本发明的几个实施例，但是本领域技术人员将意识到，在不脱离由随附的权利要求书所限定的本发明的精神和范围的情况下可以对所描述的实施例做出各种修改、变动和修正。

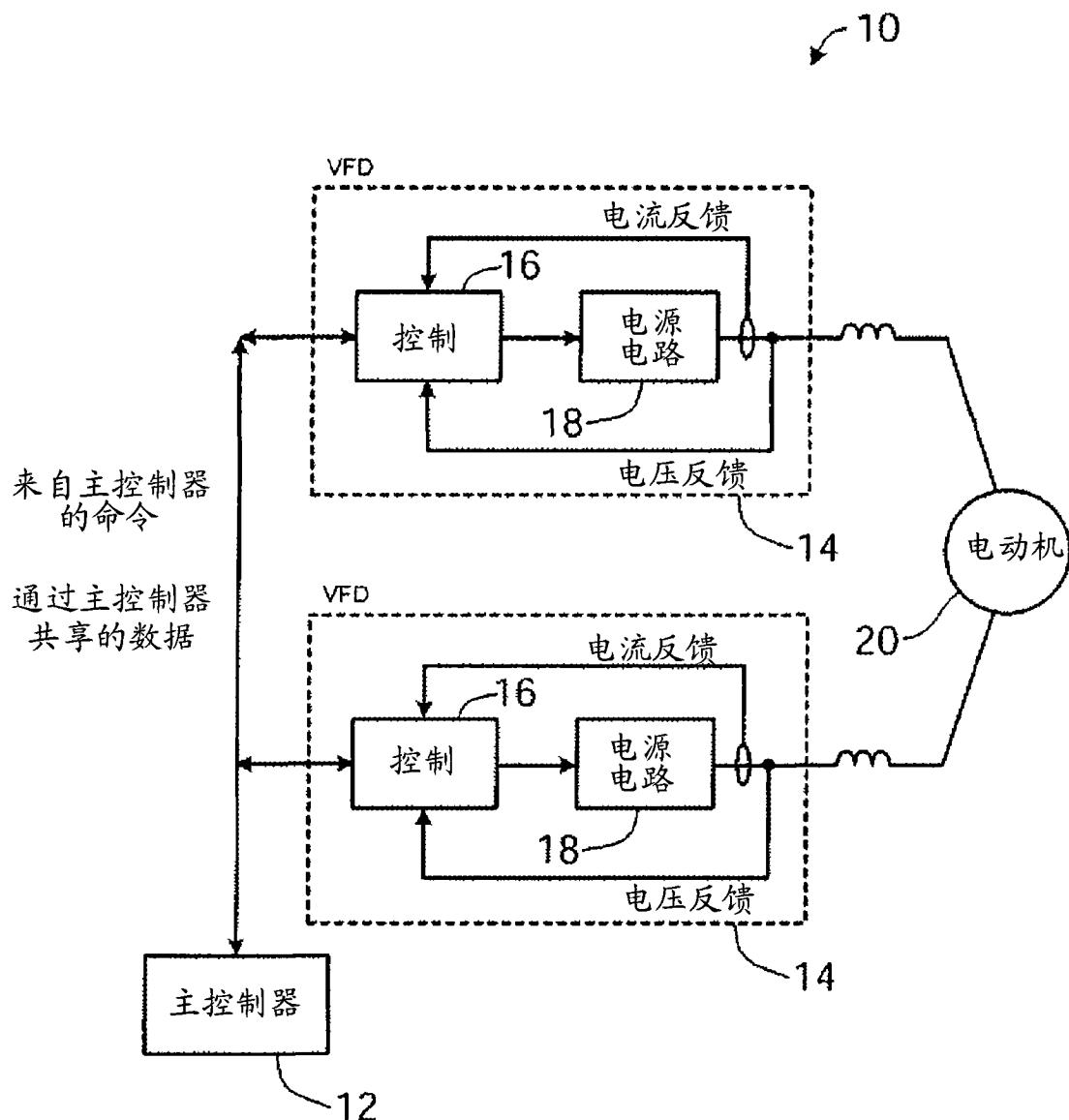


图 1

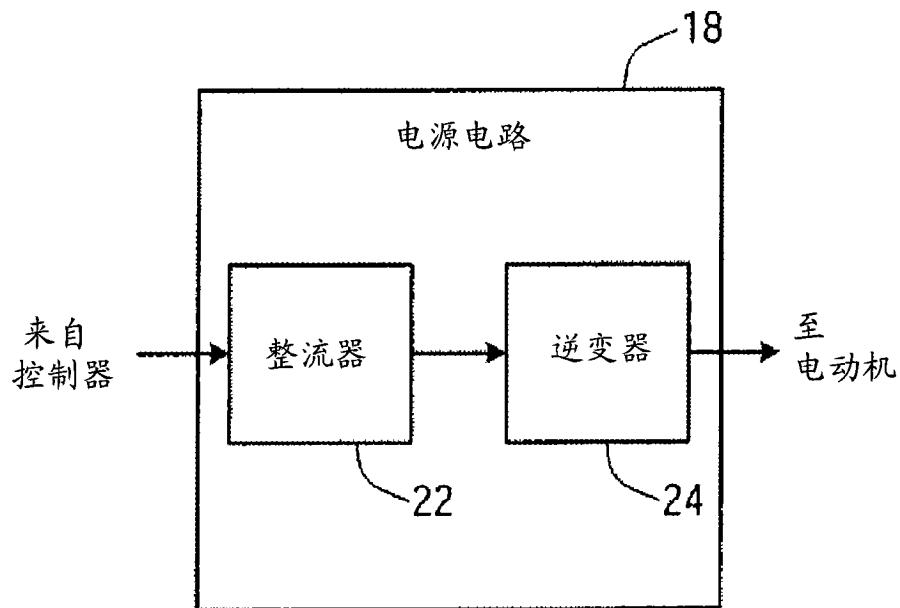


图 2

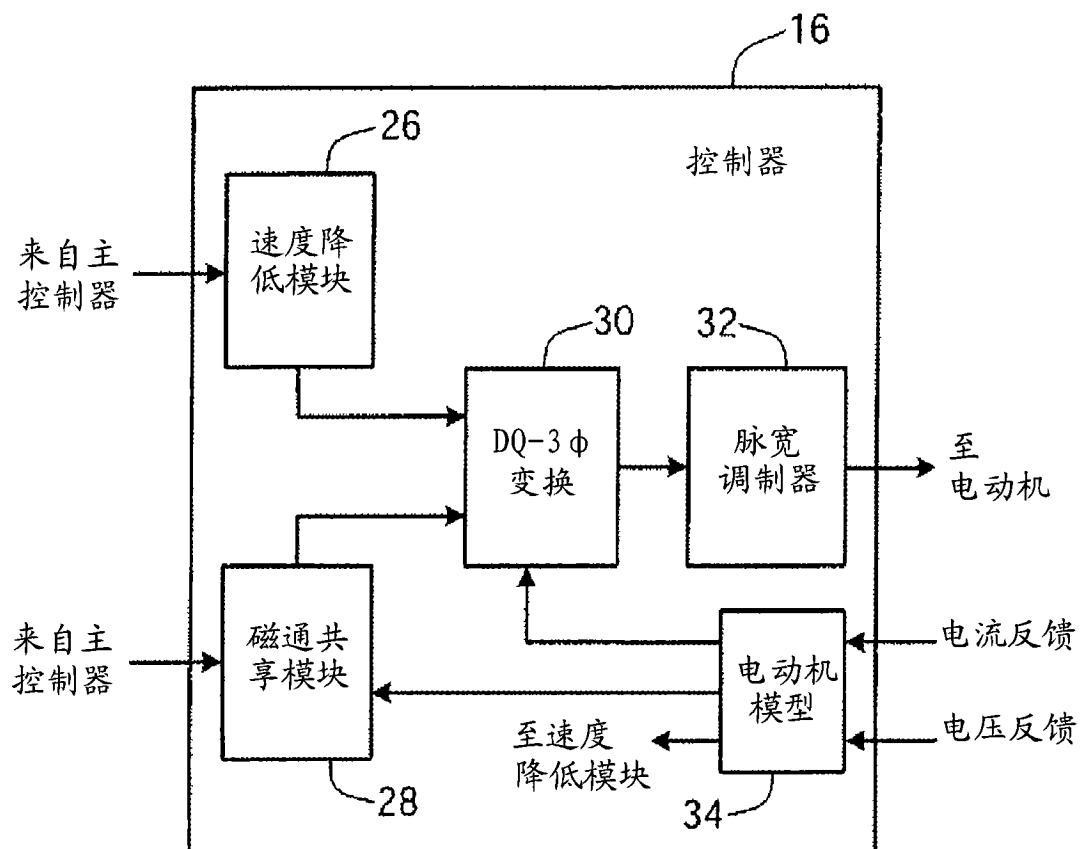


图 3

26

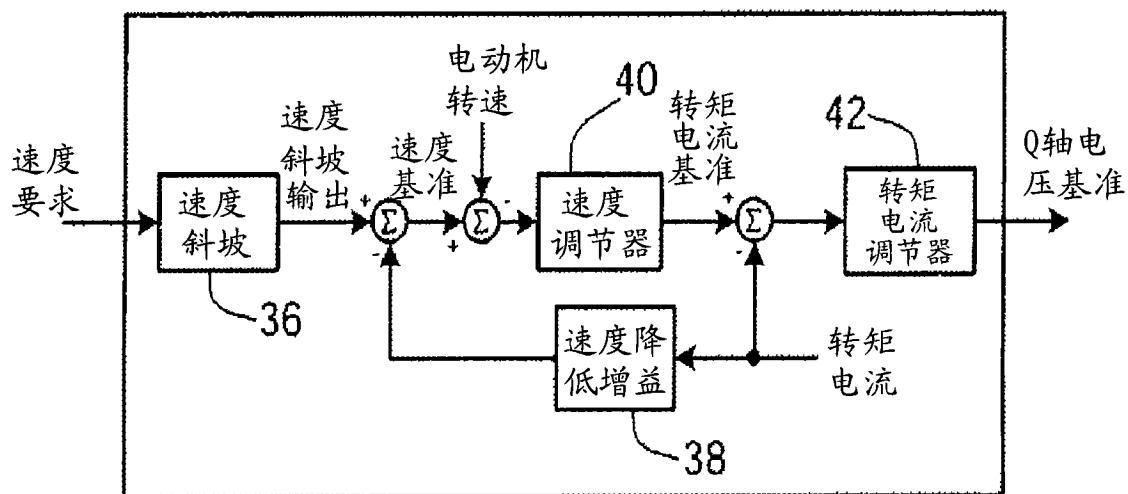


图 4

28

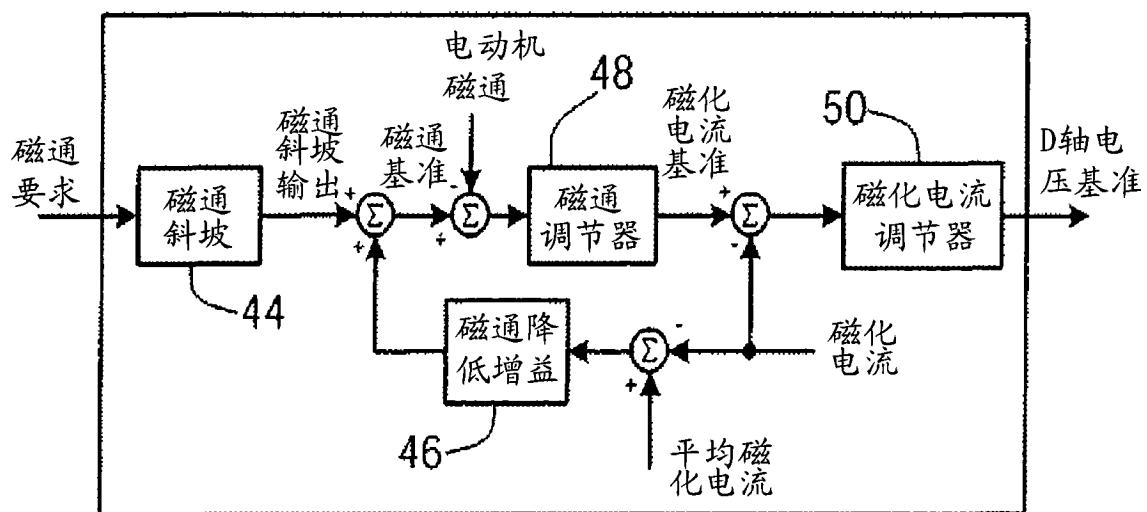


图 5