



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111201703 B

(45) 授权公告日 2023. 09. 29

(21) 申请号 201880065989.0

R · 维斯塔普

(22) 申请日 2018.10.26

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

务所(普通合伙) 11277

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111201703 A

专利代理师 刘新宇

(43) 申请公布日 2020.05.26

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

102017125317.3 2017.10.27 DE

H02P 5/00 (2016.01)

H02P 6/04 (2016.01)

H02P 21/12 (2016.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.04.09

H02P 21/00 (2016.01)

H02P 5/46 (2006.01)

H02P 27/04 (2016.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2018/079508 2018.10.26

(56) 对比文件

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/081768 DE 2019.05.02

US 2015229245 A1, 2015.08.13

CN 105981289 A, 2016.09.28

JP 2004282849 A, 2004.10.07

CN 104901600 A, 2015.09.09

CN 104143937 A, 2014.11.12

(73) 专利权人 依必安派特穆尔芬根有限两合公  
司

地址 德国穆尔芬根

审查员 贺晓燕

(72) 发明人 T · 克利安 S · 施罗特

M · 维克尔特 G · 维德曼

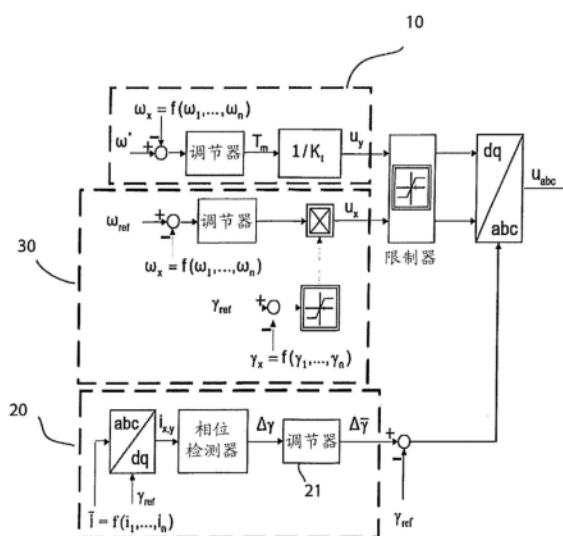
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

多马达运行的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于调节和控制两个或多个EC马达的方法,所述EC马达在共同的变换器上运行,其中,为了调节EC马达的工作点,设置具有至少一个调节器的共同的控制部或者说调节部,其中,设置至少两个调节选项的组合,并且在此调节参量如此调节所述变换器的输出端上的电压设定,使得所述两个或多个EC马达稳定地遵循工作点的确定的顺序。



1. 一种用于对在共同的变换器上运行的两个或更多个EC马达进行调节和控制的方法, 其中, 为了调节EC马达的工作点, 设置具有至少一个调节器的共同的调节部, 其中, 设置用于调节EC马达的工作点的至少一个调节选项和子选项的组合, 并且调节所述变换器的输出端上的电压设定, 使得所述两个或更多个EC马达在运行中占据稳定的工作点或者稳定地遵循确定的一系列工作点,

所述子选项包括从所述两个或更多个EC马达中选择参考马达来调节EC马达的工作点, 以及

所述变换器的输出端上的电压设定借助在所述参考马达和至少一个另外的EC马达之间的角度差评估和转速差评估来实现。

2. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于, 选择所述两个或更多个EC马达中的具有最高转速的马达、具有最低转速的马达、位于马达参考系统中的任何EC马达、由多个EC马达形成的适当加权的组合、或者假设的参考马达作为所述参考马达。

3. 根据权利要求1至2中任一项所述的方法, 其特征在于, 所述调节选项包括改变所述变换器上的输出电压的幅度、改变所述变换器上的输出电压的相位位置、或者改变所述变换器的输出端上的输出电压的幅度和相位位置。

4. 根据权利要求3所述的方法, 其特征在于, 将转速调节、调制度的匹配或者纯粹的电流调节与所述调节选项进行组合。

5. 根据权利要求1至2中任一项所述的方法, 其特征在于, 作为另一子选项, 确保作为EC马达的高效工作点的稳定工作点是通过电流相位调节、数学函数或值分配表来进行的。

6. 根据权利要求1至2中任一项所述的方法, 其特征在于, 借助于转速调节器通过有规律地或连续地比较实际转速和额定转速来负责使EC马达通过调节变换器的输出电压而稳定地跟随任意的一系列工作点。

7. 根据权利要求1至2中任一项所述的方法, 其特征在于, 借助于预定变换器的固定的调制度或者说占空比来实现EC马达的期望的工作点的调节。

8. 根据权利要求1至2中任一项所述的方法, 其特征在于, 用于在使用电流相位调节的情况下确保所述工作点, 其中, 在所述电流相位调节时所得到的电流包括在dq坐标系中的为此所需的d电流分量, 其中, 用于所述电流相位调节的电流相位调节器为此在其输出端上调节相位角  $\Delta \gamma$ , 该相位角在马达的振动稳定状态下等于由于参考马达的负载得到的相移  $\phi$ 。

## 多马达运行的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于在唯一的变换器上运行多个电子换向马达(EC马达)的方法。

### 背景技术

[0002] 在现有技术中,为了运行电子换向的马达,典型地将各一个变换器、例如逆变器或变频器用于运行马达。如果对于一个应用需要多个马达,则通过使用仅一个共同的变换器可以节省成本。在现有技术中已经存在如何将多个马达作为主从系统来操控的方案。在Lee Yongjae Lee和J.I.Ha的出版物“用于单逆变器双并联PMSM驱动系统的定子电流的最小化”,2014年国际电力电子会议(IPEC-Hiroshima 2014-ECCE ASIA)第3140-3144页中描述了一种控制方法以及调节两个并联的机器的方式和方法。在此,电流调节器被用于在相应的d/q系统中产生d电流分量。

[0003] 在D.Bidart,M.Pietrzak-David,P.Maussion和M.Fadel的出版物“单逆变器多并联永磁同步马达:结构和控制策略”中,IET电力应用,第5卷第3号第288-294页,2011年3月,描述了用于运行多个PMSM的调节解决方案,其中,使用参考马达进行调节,并且在运行时间动态地确定对于调节所需的参考马达的方式和方法。作为参考马达,选择多个PMSM中的被加载有最高转矩的马达。

[0004] 存在的需要是,进一步优化两个或更多EC马达的调节,以便降低所需电子设备的成本并且优化马达的运行方式。

### 发明内容

[0005] 因此,本发明的任务是提供一种方法,以便能够在在一个变换器上运行两个或更多个马达,由此应当实现参与的马达的可靠和稳定的调节特性。

[0006] 该任务利用根据下文所述的方法来解决。

[0007] 本发明的一个方面在于,这样设计调节方法,使得借助于角度差评估和转速差评估如此调节在变换器的输出端上的电压设定,使得两个或多个EC马达在运行中占据稳定的工作点或者遵循工作点的确定的顺序。

[0008] 这可以通过使用以下三个调节选项中的一个调节选项来实现。调节选项1:改变变换器的输出电压的幅度,调节选项2:改变该变换器的输出电压的相位位置,以及调节选项3:改变所述变换器的输出电压的幅度和相位位置,与优选以下子选项中的各一个子选项相组合。

[0009] 在本发明的意义中,调节选项1、2和3理解为初级调节选项,而子选项在次级选项的意义中被理解。由此首先选择三个初级调节选项中的一个初级调节选项以及与其连接的次级选项、以下称为“子选项”。

[0010] 作为子选项,根据本发明提出,使用马达参考系统用于调节,通过转速调节器、调制或纯粹的电流调节来进行工作点和/或通过电流相位调节、数学的调节函数或值分配表来进行对一个或优选的工作点的确保。因此得到以下子选项:子选项1:选择参考马达/参

考系统,子选项2:选择工作点,和子选项3:确保一个或优选的工作点。

[0011] 关于子选项1,作为马达参考系统,可选地,使用具有最高转速的马达、具有最低转速的马达、多个EC马达中的任何位于系统内的马达,或者备选地,假设的参考马达。在控制或调节系统中参考马达的选择基本上影响系统的静态和动态稳定性以及影响能够用来运行马达或整个系统的效率。

[0012] 在本发明的一个有利的设计方案中可以规定,在相位位置方面最靠前的马达(该马达同时也是负载最弱的马达)用作控制马达系统的参考马达。该马达同时是在磁场中经历最大的场加强的马达。与此同时,所有其他的马达经历较小的场加强或场减弱,并且由此形成比在前的马达更高的转矩。

[0013] 在本发明的一个替代设计方案中,位于最为靠后的马达,其同时也是受到最强载荷的马达,用作参考马达。该马达同时是在场中经历最大的场减弱的马达。然而,只要使用运行方式场加强,则该马达经历最小的场加强。所有其它的由相同的变换器在系统中调节的马达经历更小的场减弱或场加强并且由此构造出比在后的参考马达更小的力矩。

[0014] 在本发明的另一可选的设计方案中,系统中的任意选择的马达用作参考马达。在这种调节拓扑结构中,由所述变换器控制的EC马达中的一个EC马达可以在其最佳的工作点中进行调节,而其它的马达则相应地关于相位位置提前或者滞后。

[0015] 备选地,在用于控制在变换器上运行的EC马达的调节方法中也可以规定,动态地变换相应的参考马达,从而根据运行特性相应地将另一马达用作参考马达。

[0016] 在调节方法的另一种调节选项中,将一个假设的马达用作参考马达,该马达的角位置例如通过对所有在变换器上运行的马达的角位置进行合适的加权来确定。因此,假设的马达获得理论相移,该理论相移由多个或所有在相同的变换器上处于运行中的EC马达的角位置的总和得出。

[0017] 通过这样加权所参与的马达的角位置可以实现多种设定和调节可能性。由此例如可以相应于加权来调节整个驱动系统的最有效的工作点、确定的马达或整个系统的调节余量。

[0018] 对于调节相关的参考坐标系由参考马达的选择得出。然而,在使用场定向的或转子固定的坐标系的情况下,在将多个EC马达连接在共同的变换器上时没有明确地确定这样的坐标系,因为每个EC马达具有自身的转子固定的坐标系。当EC马达的不同负载和/或不同的马达参数被添加时,坐标系静态地和动态地都不同。根据按照转速调节、调制制度设定或纯电流调节来控制工作点,通过相应地选择参考马达也得到具有其转换角  $\gamma_{ref}$  的相应的参考坐标系。

[0019] 在此,在控制系统中的电参量的描述仅在该与所选择的参考马达相关的参考坐标系中进行。

[0020] 由变换器提供的输出电压指针  $U_{xy}$  由彼此垂直的参量  $U_x$  和  $U_y$  组成。在没有产生场减弱的特殊情况下,从而变换器的电压指针  $u$  和电流指针  $i$  准确地相对彼此移动了负荷角  $\Phi$ , 通过具有角度  $\gamma_{ref} + \Phi$  的电压指针  $U_{xy}$  的 (Clark/Park) 变换和具有角度  $\gamma_{ref}$  的接下来的反变换,在参考坐标系中产生场定向的电压指针  $U_{dq}$ 。

[0021] 关于前面所述的选择工作点的方面,作为子选项2得到下面的设计可能性。在此,可以借助于转速调节器通过有规律地或连续地比较实际转速和额定转速来负责使EC马达

经由在变换器处的输出电压保持在其期望的工作点中。

[0022] 备选地,所希望的工作点也可以通过预定固定的调制度或者说占空比由变换器来实现。然后工作点自动调节。

[0023] 同样有利的是一种调节运行,在该调节运行中借助于电流调节器来实现工作点的选择。该电流调节器将所希望的额定电流施加到马达绕组上。这例如在马达应作为负载机器运行时是需要的。

[0024] 关于确保优选工作点的上述方面,作为子选项3得出下面的设计可能性。作为用于调节方法的预选择,首先参考系统、也就是参考马达的合适的选择是决定性的,以便实现优选的运行,参考马达的运行值(例如转速或相位位置)作为在调节运行中的参考被利用。在使用电流相位调节器时,这个电流相位调节器确保合成的电流正好包含dq系中所需的d电流分量。通过这种措施,在调节运行中达到优选的工作点。为此,电流相位调节器在其输出端上调节相位角 $\Delta \gamma$ 。这个角度 $\Delta \gamma$ 在参考马达的振动稳定状态下精确地相当于由参考马达的负荷所产生的相移 $\Phi$ 。该角度也可以备选地通过合适的数学函数(例如根据马达的负荷和转速)确定,以便达到优选的工作点。

[0025] 备选地,也可以通过以下方式来对所述最佳的工作点进行调节,即使用具有所需要的角度与工作点之间的相应的相关值的值表格,该值表格保证也合适地调节对于优选的工作点来说所需要的角度。

[0026] 本发明的其它有利的改型方案在上文中被表征或者在下文结合本发明的优选实施方案的说明借助于附图被更详细地展示。

## 附图说明

[0027] 示出:

[0028] 图1示出了用于解释本发明的第一实施方式的调节线路图,

[0029] 图2示出了在根据第一实施例的变换器上的三个EC马达的转速变化曲线,

[0030] 图3示出了根据第一实施例的变换器上的三个EC马达的转矩变化曲线,其中,在时刻 $t=1s$ 时,在所述三个马达中的两个马达中发生示例性的负载突变,

[0031] 图4示出了在根据第一实施例和根据图3的示例性的负载变化曲线的变换器上的三个EC马达的场定向的电流变化曲线,

[0032] 图5示出根据第一实施例的变换器上的三个EC马达的转速变化曲线和根据图3的示例性的负载变化曲线,以及

[0033] 图6示出了用于解释本发明的备选的实施方式的调节线路图。

## 具体实施方式

[0034] 下面借助于图1至6详细解释本发明,其中,相同的附图标记表示相同的结构和/或功能特征。

[0035] 在图1中示出了使用调节选项3来解释本发明的第一实施方式的调节线路图:改变变换器的输出电压的幅度和相位位置。

[0036] 作为第一子选项,使用具有最高转速的马达作为参考马达,作为用于调节工作点的第二子选项,经由在图1中示出的转速调节器10进行转速调节,并且作为第三子选项,使

用电流相位调节,所述电流相位调节在输出端上调节相位角 $\Delta\bar{\gamma}$ ,更确切地说用于利用电流相位调节器20控制dq参考坐标系中的场定向的电压指针。

[0037] 在本实施例中,最快的,即负载最弱的马达用作参考马达。因此,该马达同时也是参考坐标系的参考。将最快的或负载最弱的马达选择为参考马达,保证了调节系统中最高的动态性。

[0038] 在另一步骤中确定,应该如何调节马达的期望的工作点。在当前情况下使用转速调节器。通过预定额定转速 $\omega^*$ ,转速调节器10(在此以PI调节器的形式)通过与所有马达的反馈的加权的转速 $\omega_x$ 进行比较来计算额定电压 $u$ 。该额定电压通过具有相位角 $\gamma_{ref}$ 的变换(即不考虑相位校正)仅导致参考马达上的dq坐标系中的q方向上的电压。如果现在考虑EC马达的等效线路图,则该电压导致在d方向上自身构造的形成场的电流分量以及在q方向上的另外的形成转矩的电流分量。由此,其它马达虽然获得力矩并且达到稳定的工作点,然而该工作点由于未受影响的d分量而一般不是最有效的工作点。为此,还必须合适地匹配变换器上的输出电压的相位位置,进而相位角。

[0039] 为了匹配相位位置并且因此匹配优选的工作点的调节,在本实施方式中使用电流相位调节器20,以便确保电流的期望的相位位置。电流相位调节器20借助于对测量的电流 $i_x$ 的适当加权(在最简单的情况下仅为 $i_{\text{变频器}}$ )确定电流在d方向和q方向上关于dq参考坐标系的当前的场定向的分量。由相位检测器确定的与期望的额定值的偏差被提供给调节器(例如PI调节器)。由调节器21计算的相位角 $\Delta\bar{\gamma}$ 的值现在在振动稳定状态中用于调节从参考系统的角度所期望的d电流。

[0040] 通过EC马达的不同的负载或者相应的EC马达的不同的马达参数,可以得出单个马达的转速中或者说旋转角度中的差。在此,现在使用在图1中示出的稳定调节器30。如果系统在发生偏差之前处于振动稳定状态,则这意味着 $u_y$ 准确地指向 $i_q$ 的方向。根据转速和旋转角度中的差的大小,稳定调节器现在计算电压 $u_x$ ,该电压与由转速调节器确定的电压 $u_y$ 垂直,并且因此也与 $i_q$ 垂直。该电压因此在第一时间产生纯粹形成场的电流。如果EC马达中的一个EC马达现在跟随参考马达运行,则设定负 $u_x = u_d$ 电压指针。这在较快运行的参考马达中产生了纯磁场减弱效应,然而这对参考马达中产生的转矩只有很小的影响。在所述跟随运行的马达中,由于旋转角度差而不仅产生磁场减弱作用而且产生形成转矩的作用,这导致跟随运行的马达中的形成转矩的电流的提高。跟随运行的马达由此被加速并且转速差在调节路段中优选减小至零。这种调节方法以相反的方式自然也对相对于参考马达超前运行的马达起制动作用。

[0041] 因此,如果EC马达中的一个EC马达现在跟随所选择的参考马达运行,那么所求得的修正角度就引起所提供的电压指针的额外的旋转。这导致,在所有跟随运行的马达中由此得到d电流分量的负的变化并且这些马达比在之前的未校正的工作点中构造更大的转矩。这些马达因此加速或增大其转速。

[0042] 同样,在所有超前的EC马达中,d电流分量产生正的变化,由此这些EC马达构造比在之前的工作点中更少的力矩并且由此被制动。

[0043] 在根据图2、3和4的图示中,示出了在根据第一实施例的调节运行中在变换器上的三个示例性的并联的EC马达的转矩变化曲线、转速变化曲线和场定向的电流变化曲线。

[0044] 在此,如在图2中所示,EC马达从静止状态起动到600U/min的转速,在起动之后的时刻 $t=0.4\text{s}$ 时达到该转速。参考马达是最快的EC马达。在时刻 $t=1\text{s}$ 时,另外两个EC马达经历不同的负荷跳跃,如图3所示,这导致了如图5中所示的转速偏差。这种负荷跳跃通过在图1中示出的稳定调节器来截获。相位调节器然后负责所得到的d电流的最小化。关于场定向的电流变化曲线参照图4。

[0045] 在图6中示出了用于阐述本发明的具有另一调节拓扑结构的第二实施方式的调节线路图,其中调节选项2:应用该变换器的输出电压的相位位置的改变。作为子选项,如在第一实施例中那样,使用带有最高转速的马达作为参考马达,为了调节工作点而使用转速调节并且为了调节优选的工作点而使用电流相位调节。此外,该实施方式包括用于电压的限制器。

[0046] 如已经在第一实施例中阐述的那样,通过马达的不同负载或不同的马达参数,可以得出EC马达的转速中或旋转角度中的差。稳定调节器根据转速和旋转角度中的差计算修正角度 $\gamma_{\text{stab}}$ (EC马达中的一个EC马达现在跟随所选择的参考马达运行),所确定的校正角度负责所提供的电压指针的附加的转动。这导致,在所有跟随运行的马达中由此得到d电流分量的负的变化并且这些马达比在之前的未校正的工作点中构造更大的转矩。这些马达因此加速或增大其转速。同样,在所有超前的EC马达中,d电流分量产生正的变化,由此这些EC马达构造比在之前的工作点中更少的力矩并且由此被制动。

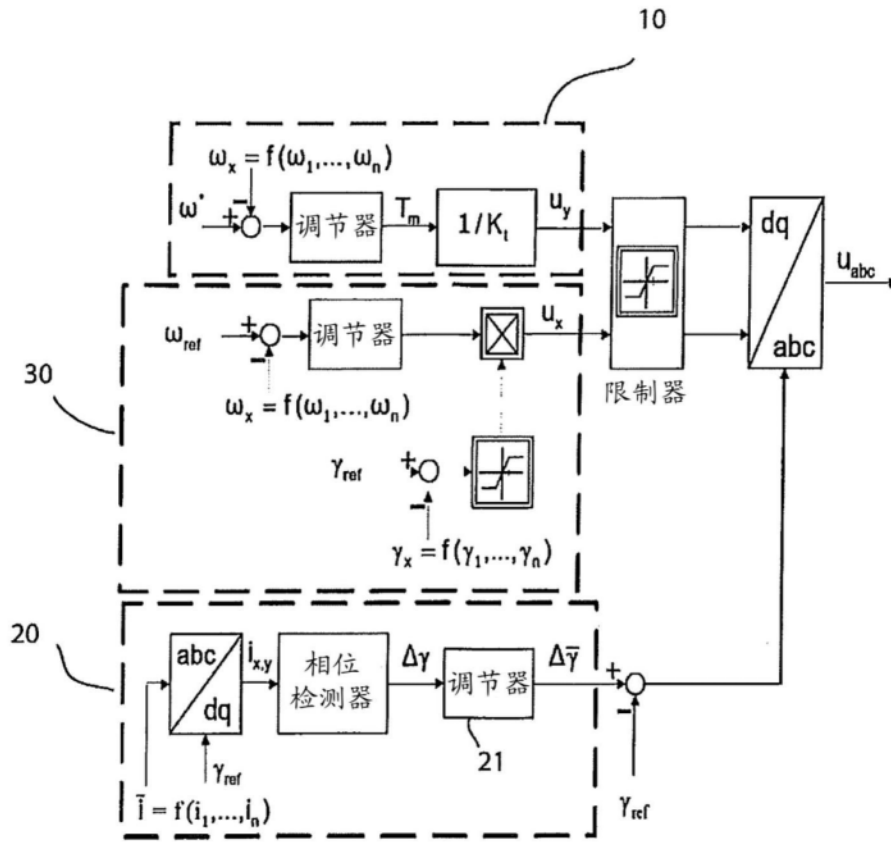


图1

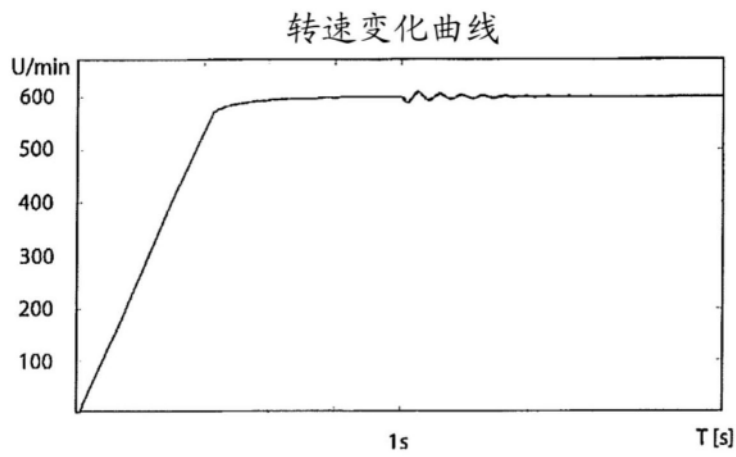


图2

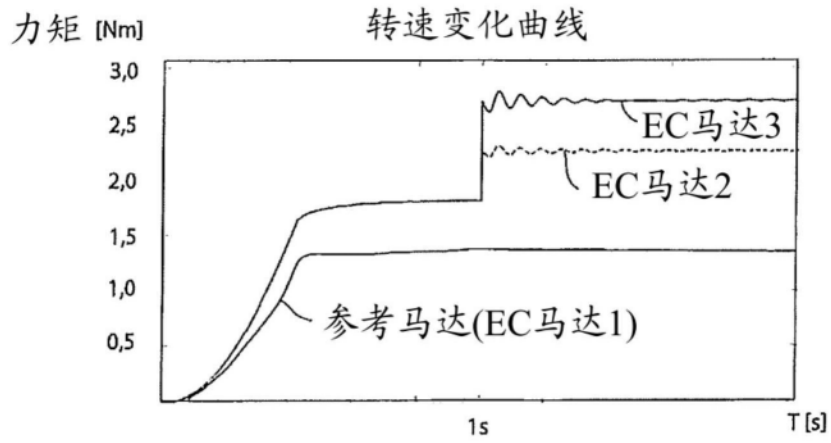


图3

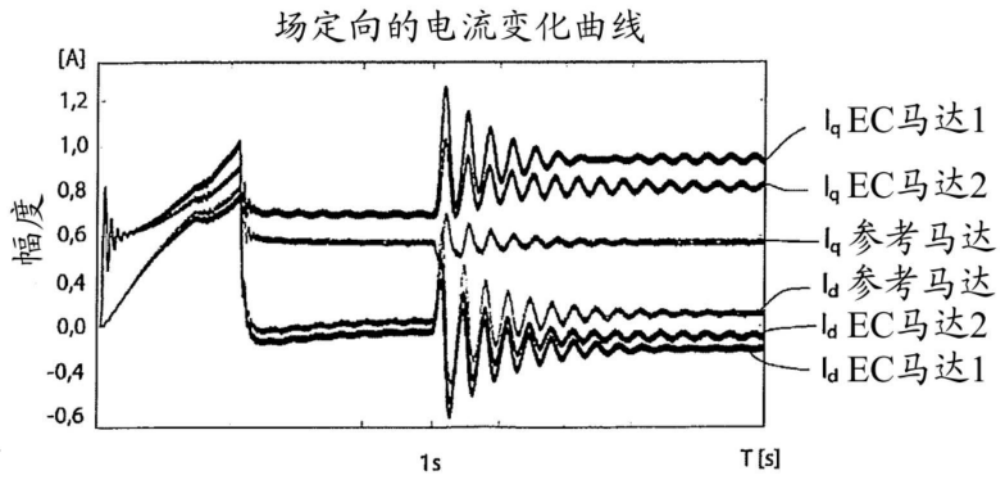


图4

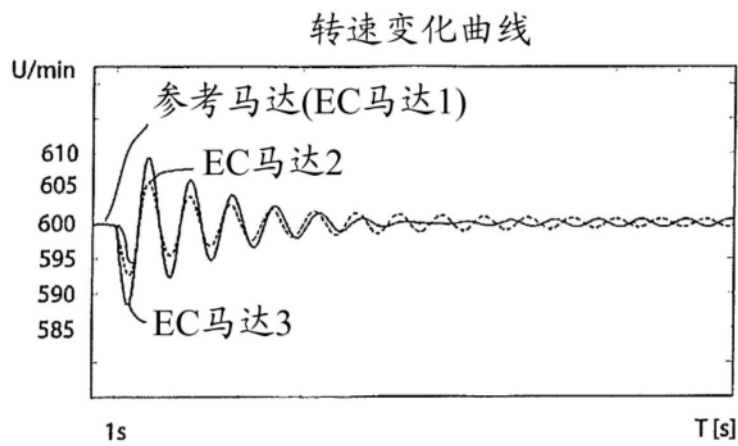


图5

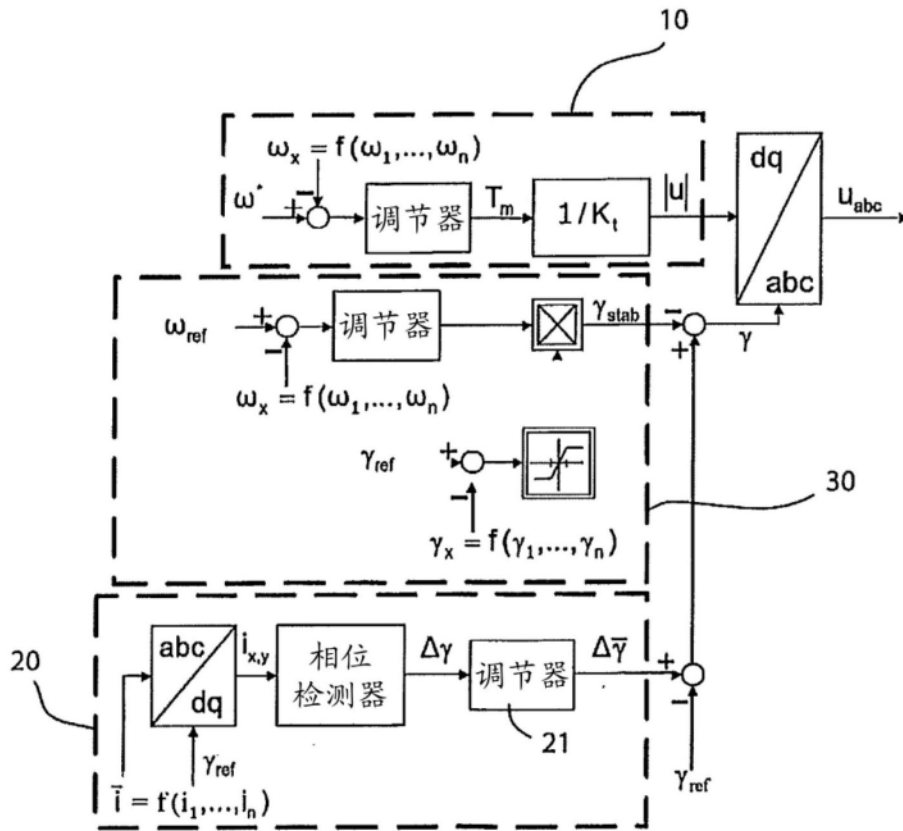


图6