



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103107760 B

(45) 授权公告日 2016.05.25

(21) 申请号 201110355846.3

(22) 申请日 2011.11.10

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 李勇 康鹏举 周荣晖 沈祥明

陈骁 蔡自立 赵彤

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 彭久云

(51) Int. Cl.

H02P 21/00(2016.01)

(56) 对比文件

CN 101647192 A, 2010.02.10,

WO 2010073073 A1, 2010.07.01,

Hideo Nakai. Development and Testing of the Torque Control for the Permanent-Magnet

Synchronous Motor. 《IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS》. 2005, 第 52 卷 (第 3 期), 800-806.

审查员 黄文

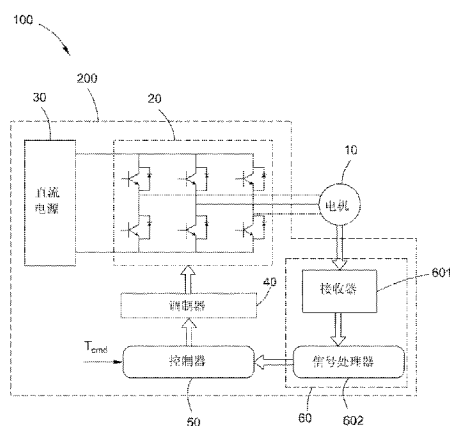
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

电机控制方法及系统

(57) 摘要

本发明揭示一种电机控制方法、控制电机电力矩的方法及控制系统。该电机控制方法包括：通过信号单元获得电机的电信号，电信号包括电机电力矩和角速度；通过计算单元计算电压矢量的电压相角，计算单元的输入包括命令力矩、电机电力矩、角速度及电压矢量的电压幅值，其中电压相角是变量且电压幅值是常量；通过调制器调制由所述电压相角和所述电压幅值形成的所述电压矢量成控制逆变器的开关信号；通过逆变器根据开关信号转换直流电压为电压矢量；以及提供电压矢量给电机；在角速度不变和电压相角的单调区间内电机电力矩相对于电压相角线性变化。



1. 一种电机控制方法,用以控制电机,包括:

通过信号单元获得电机的电信号,所述电信号包括电机力矩和角速度;

通过计算单元计算电压矢量的电压相角,所述计算单元的输入包括命令力矩、所述电机力矩、所述角速度及所述电压矢量的电压幅值,其中所述电压相角是变量且所述电压幅值是常量;

通过调制器调制由所述电压相角和所述电压幅值形成的所述电压矢量成控制逆变器的开关信号;

通过所述逆变器根据开关信号转换直流电压为所述电压矢量;以及

提供所述电压矢量给电机;

其特征在于:在所述角速度不变和所述电压相角的单调区间内所述电机力矩相对于所述电压相角线性变化;

通过计算单元计算电压矢量的电压相角的步骤包括:计算所述命令力矩和所述电机力矩之间的力矩偏差;根据所述力矩偏差计算电压相角相对于时间的导数;并根据所述电压相角相对于时间的导数计算所述电压相角。

2. 如权利要求1所述的电机控制方法,其特征在于:所述电压矢量是方波电压并且所述电压幅值固定为所述方波电压的基波电压的最大值。

3. 如权利要求1所述的电机控制方法,其特征在于:所述电压相角的单调区间随所述角速度的变化而变化。

4. 如权利要求3所述的电机控制方法,其特征在于:所述电压相角的单调区间从所述电机力矩相对于所述电压相角的导数大于等于零的不等式获得。

5. 如权利要求1所述的电机控制方法,其特征在于:所述电压相角是所述电机力矩与所述命令力矩之间的力矩偏差的增益函数倍。

6. 如权利要求5所述的电机控制方法,其特征在于:所述增益函数大于零。

7. 如权利要求1所述的电机控制方法,其特征在于:所述计算步骤包括通过限幅器限制所述命令力矩在电机的最大有效力矩之内。

8. 如权利要求1所述的电机控制方法,其特征在于:所述计算步骤进一步包括将所述命令力矩输入前馈系统。

9. 一种控制方法,用以控制电机产生的电机力矩,包括:

固定从逆变器输出的电压矢量的电压幅值;以及

调节所述电压矢量的电压相角来控制电机力矩;

其特征在于:在电机的角速度不变和所述电压相角的单调区间内所述电机力矩相对于所述电压相角线性变化;

所述控制方法进一步包括:计算命令力矩和电机力矩之间的力矩偏差;根据所述力矩偏差计算电压相角相对于时间的导数;并根据所述电压相角相对于时间的导数计算所述电压相角。

10. 如权利要求9所述的控制方法,其特征在于:所述电压相角的单调区间随所述角速度的变化而变化。

11. 如权利要求10所述的控制方法,其特征在于:所述电压相角的单调区间从所述电机力矩相对于所述电压相角的导数大于等于零的不等式获得。

12. 如权利要求9所述的控制方法,其特征在于:所述电压矢量是方波电压并且所述电压幅值固定为所述方波电压的基波电压的最大值。

13. 一种控制系统,用以控制电机,包括:

信号单元,用以输出电机的电信号,所述电信号包括电机力矩和角速度;

控制器,与所述信号单元连接并设有计算单元,所述计算单元用以计算电压矢量的电压相角,所述计算单元的输入包括命令力矩、所述电机力矩、所述角速度及所述电压矢量的电压幅值,所述电压相角是变量且所述电压幅值是常量;

其特征在于:在所述角速度不变和所述电压相角的单调区间内所述电机力矩相对于所述电压相角线性变化;

所述计算单元用来计算所述命令力矩和所述电机力矩之间的力矩偏差;根据所述力矩偏差计算电压相角相对于时间的导数;并根据所述电压相角相对于时间的导数计算所述电压相角。

14. 如权利要求13所述的控制系统,其特征在于:所述电压相角的单调区间随所述角速度的变化而变化。

15. 如权利要求14所述的控制系统,其特征在于:所述电压相角的单调区间从所述电机力矩相对于所述电压相角的导数大于等于零的不等式获得。

16. 如权利要求13所述的控制系统,其特征在于:所述控制系统进一步包括与所述控制器连接的调制器和与所述调制器连接的逆变器,所述调制器用以调制由所述电压相角和所述电压幅值形成的所述电压矢量成控制所述逆变器的开关信号,所述逆变器根据所述开关信号用以转换直流电压为所述电压矢量。

17. 如权利要求16所述的控制系统,其特征在于:所述电压矢量是方波电压并且所述电压幅值固定为所述方波电压的基波电压的最大值。

18. 如权利要求13所述的控制系统,其特征在于:所述计算单元包括:

加法器,用以计算所述命令力矩和所述电机力矩之间的力矩偏差;

函数模块,用以输入所述角速度、所述电压幅值和所述电压相角来计算增益函数的值;

乘法器,与所述加法器和所述函数模块连接,用以相乘所述力矩偏差与所述增益函数的值得到所述电压相角相对于时间的导数;以及

积分器,与所述乘法器连接,用以积分所述电压相角相对于时间的导数得到所述电压相角。

19. 如权利要求18所述的控制系统,其特征在于:所述计算单元进一步包括与所述积分器连接的比例积分控制器,用以加速积分的收敛速度。

20. 如权利要求19所述的控制系统,其特征在于:所述计算单元进一步包括与所述加法器、所述乘法器、所述积分器和所述比例积分控制器并行的前馈系统。

电机控制方法及系统

技术领域

[0001] 本发明有关一种用以控制电机的方法和系统,尤其涉及一种用以控制交流电机的方法和系统。

背景技术

[0002] 交流电机由控制系统输出的电压矢量控制并且产生电机力矩来驱动混合动力汽车或电动汽车的车轮。电压矢量是由直流电压转变而来。电机力矩随着电压幅值和电压相角的改变而改变。目前,电机力矩通过同时调节电压幅值和电压相角来控制。然而这样很难确定一个电压幅值和电压相角的组合来保证电机力矩尽可能大从而保证直流电压利用率尽可能高。

[0003] 现有一种方法用来提高电机力矩和直流电压利用率,该方法通过固定电压幅值并改变电压相角来实现,如此仅通过改变电压相角来控制电机力矩。例如,IEEE工业电子学汇刊2005年6月52卷第3号(IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.52, No.3, June 2005)中的“永磁同步电机的力矩控制的开发和测试(Development and testing of the torque control for the permanent-magnet synchronous motor)”。然而这种方法在推导过程中假设了很多近似,做了大量的简化,难以保证电机力矩相对于电压相角线性变化。这一方法的缺点是不能快速连续地计算和控制电机力矩。

[0004] 因此,有必要提供一种电机控制方法和系统来解决上面提及的技术问题。

发明内容

[0005] 本发明的一个方面在于提供一种电机控制方法。该方法包括:通过信号单元获得电机的电信号,电信号包括电机力矩和角速度;通过计算单元计算电压矢量的电压相角,计算单元的输入包括命令力矩、电机力矩、角速度及电压矢量的电压幅值,其中电压相角是变量且电压幅值是常量;通过调制器调制由所述电压相角和所述电压幅值形成的所述电压矢量成控制逆变器的开关信号;通过逆变器根据开关信号转换直流电压为电压矢量;以及提供电压矢量给电机;在角速度不变和电压相角的单调区间内电机力矩相对于电压相角线性变化。

[0006] 本发明的另一个方面在于提供一种控制方法,用以控制电机产生的电机力矩。该控制方法包括:固定从逆变器输出的电压矢量的电压幅值;以及调节电压矢量的电压相角来控制电机力矩;在电机的角速度不变和电压相角的单调区间内电机力矩相对于电压相角线性变化。

[0007] 本发明的再一个方面在于提供一种控制系统,用以控制电机。该控制系统包括:信号单元,用以输出电机的电信号,电信号包括电机力矩和角速度;控制器,与信号单元连接并设有计算单元,计算单元用以计算电压矢量的电压相角,计算单元的输入包括命令力矩、电机力矩、角速度及电压矢量的电压幅值,电压相角是变量且电压幅值是常量;在角速度不变和电压相角的单调区间内电机力矩相对于电压相角线性变化。

[0008] 本发明的控制方法和系统中通过改变电压相角来控制电机力矩,且电机力矩与电压相角成线性变化,从而可快速连续地控制电机力矩。

附图说明

[0009] 通过结合附图对于本发明的实施方式进行了描述,可以更好地理解本发明,在附图中:

[0010] 图1所示为本发明电机系统的一实施例的模块图。

[0011] 图2所示为用于图1所示的电机系统中的控制器的计算单元的一实施例的模块图。

[0012] 图3所示为用于图1所示的电机系统中的控制器的计算单元的另一实施例的模块图。

具体实施方式

[0013] 除非另作定义,此处使用的技术术语或者科学术语应当为本发明所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本发明专利申请说明书以及权利要求书中使用的“第一”“第二”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性,而只是用来区分不同的组成部分。同样,“一个”或者“一”等类似词语也不表示数量限制,而是表示存在至少一个。除非另行指出,“前部”“后部”“下部”和/或“上部”等类似词语只是为了便于说明,而并非限于一个位置或者一种空间定向。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现在“包括”或者“包含”前面的元件或者物件涵盖出现在“包括”或者“包含”后面列举的元件或者物件及其等同,并不排除其他元件或者物件。“连接”或者“相连”等类似的词语并非限定于物理的或者机械的连接,而是可以包括电性的连接,不管是直接的还是间接的。

[0014] 图1是本发明一种实施例的电机系统100的模块图。在图1所示的实施例中,电机系统100包括电机10和控制电机10的控制系统200。控制系统200包括与电机连接的逆变器20、与逆变器20连接的直流电源30、与逆变器20连接的调制器40、与调制器40连接的控制器50及与控制器50连接的信号单元60。

[0015] 信号单元60用以获得电机10的电信号。电信号包括电机的电机力矩 T_{em} 、角速度 ω 及其他电信号,如电机10的电流、电压等。一些电信号如电机10的电流和电压仅能通过探测获得,一些电信号如电机力矩 T_{em} 和角速度 ω 可通过探测或计算获得。在一实施例中,控制系统200包括至少一个连接于电机10的传感器(未图示),且信号单元60设有与传感器连接的接收器601。传感器用以探测电机10的电信号。接收器601用以接收电机10的电信号、转换电信号为控制器50可以处理的数据并将数据提供给控制器50。电机力矩 T_{em} 和角速度 ω 通过探测获得。

[0016] 另一实施例中,信号单元60进一步包括位于接收器601与控制器50之间且与接收器601和控制器50连接的信号处理器602,用以根据电机10的参数如磁极对数、电感、磁链等来计算电信号。传感器探测电机10的电流、电压等电信号。接收器601将该些电信号转换为信号处理器602可以处理的数据并提供给信号处理器602。信号处理器602根据该些数据计算电机力矩 T_{em} 和角速度 ω 并提供给控制器50。

[0017] 电机力矩 T_{em} 和角速度 ω 输入控制器50。控制器50用以提供电压矢量的电压相角 Φ 和电压幅值 V 给调制器40。电压相角 Φ 是变量且电压幅值 V 是常量。控制器50具有计算单元,

用以计算电压相角 Φ 。计算单元的输入包括命令力矩 T_{cmd} 、电机力矩 T_{em} 、角速度 ω 和电压矢量的电压幅值 V 。电压相角 Φ 的一个计算值再输入计算单元中来计算电压相角 Φ 的下一个值。

[0018] 调制器40调制由电压相角 Φ 和电压幅值 V 形成的电压矢量成控制逆变器20的开关信号。逆变器20输出的电压信号可认为是控制器50中的电压矢量。逆变器20根据开关信号转换直流电源30的直流电压为提供给电机10的电压矢量。从逆变器20输出的电压矢量是方波电压。电机10是交流电机,可以是三相或其他多相永磁电机、三相或其他多相感应电机等,产生电机力矩 T_{em} 来驱动混合动力汽车或电动汽车的车轮。

[0019] 图2是计算单元的一实施例的模块图。计算单元计算这样的电压相角 Φ 以致电机10可输出等于或接近于命令力矩 T_{cmd} 的电机力矩 T_{em} 。电压幅值 V 固定,改变电压相角 Φ 来控制电机力矩 T_{em} 。计算单元包括加法器51、函数模块52、乘法器53及积分器54。

[0020] 加法器51计算命令力矩 T_{cmd} 和电机力矩 T_{em} 之间的力矩偏差 ΔT 。函数模块52内输入角速度 ω 、电压幅值 V 和电压相角 Φ 来计算增益函数 $K(\omega, \Phi)$ 的值,增益函数 $K(\omega, \Phi)$ 的表达式如下面的函数式(1)所示:

$$[0021] \quad K(\omega, \Phi) = \frac{C\omega^2}{2B\cos 2\Phi - A\omega \sin \Phi}$$

$$[0022] \quad A = -\frac{3}{2}P_n V \psi_f L_q,$$

$$B = -\frac{3}{2}P_n V^2 (L_d - L_q), \quad C = 2L_d L_q \quad (1)$$

[0023] 其中, P_n 是电机10的磁极对数, ψ_f 是电机10的磁链, L_d 和 L_q 分别是d-q坐标系下的d轴电感和q轴电感。角速度 ω 和电压相角 Φ 是变量。电压幅值 V 固定为方波电压的基波电压的最大值。电压幅值 V 等于 $2V_{dc}/\pi$,其中 V_{dc} 是从直流电源30输出的直流电压。

[0024] 乘法器53与加法器51和函数模块52连接,用以相乘力矩偏差 ΔT 与增益函数 $K(\omega, \Phi)$ 的值得到电压相角相对于时间的导数 $d\Phi(t)/dt$,如下面的表达式(2)所示:

[0025]

$$\frac{d\Phi(t)}{dt} = K(\omega, \Phi) \Delta T \quad (2)$$

[0026] 表达式(2)可变换为表达式(3):

[0027]

$$\frac{d\Phi(t)}{dt} = K(\omega, \Phi) \frac{dT_{em}}{dt} \quad (3)$$

[0028] 积分器54与乘法器53连接,用以积分电压相角相对于时间的导数 $d\Phi(t)/dt$ 得到电压相角 Φ 。电压相角 Φ 是电机力矩 T_{em} 与命令力矩 T_{cmd} 之间的力矩偏差 ΔT 的增益函数 $K(\omega, \Phi)$ 倍。计算单元进一步包括与积分器54连接的比例积分控制器55用以加速积分的收敛速度。

[0029] 电机10产生的电机力矩 T_{em} 在角速度 ω 不变的情况下相对于电压相角 Φ 近似正弦曲线变化。因此,在角速度 ω 不变和某一电压相角 Φ 的单调区间内电机力矩 T_{em} 相对于电压相角 Φ 线性变化。电压相角 Φ 的单调区间随角速度 ω 变化而变化。对于不同的角速度 ω ,电压相角 Φ 的单调区间不同。然而,在较短的时间段内角速度 ω 可被认为是恒定不变的。电压相角 Φ 的单调区间从电机力矩相对于电压相角的导数大于等于零的不等式(4)获得:

[0030]

$$\frac{\partial T_{em}}{\partial \varphi} \geq 0 \quad (4)$$

[0031] 下面的不等式(5)可从不等式(4)导出:

[0032]

$$\frac{\psi_f \omega L_q - \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 8((L_d - L_q)V)^2}}{4(L_d - L_q)V} \leq \sin \varphi \leq \frac{\psi_f \omega L_q + \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 8((L_d - L_q)V)^2}}{4(L_d - L_q)V} \quad (5)$$

[0033] 电压相角 Φ 的单调区间相对于 $\pi/2$ 对称,因此

[0034]

$$\varphi_{\min} = \arcsin \frac{\psi_f \omega L_q - \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 8((L_d - L_q)V)^2}}{4(L_d - L_q)V} \quad (6)$$

[0035] $\varphi_{\max} = \pi - \varphi_{\min}$ [0036] 电压相角 Φ 被限制在电压相角 Φ 的单调区间内以保证电机10输出的电机力矩 T_{em} 的稳定性。[0037] 为了保证电机力矩 T_{em} 的稳定性,增益函数 $K(\omega, \varphi)$ 大于零,所以

[0038]

$$\frac{-\psi_f \omega L_q - \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 32V^2(L_d - L_q)^2}}{8V(L_d - L_q)} < \sin \varphi < \frac{-\psi_f \omega L_q + \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 32V^2(L_d - L_q)^2}}{8V(L_d - L_q)} \quad (7)$$

[0039] 图3是计算单元的另一实施例的模块图。在这一实施例中,计算单元进一步包括三个限幅器56、57和58。在计算力矩偏差 ΔT 之前,命令力矩 T_{cmd} 被第一限幅器56限制在电机10的最大有效力矩 T_M 之内。从比例积分控制器55输出的电压相角 Φ 被第二限幅器57限制在 $\Phi_{\max}$ 和 $\Phi_{\min}$ 之间以保证电压相角 Φ 在单调区间内。在电压相角 Φ 输入函数模块之前,计算电压相角 Φ 的正弦值,并且正弦值被第三限幅器58限制在 $\sin \Phi_{\max}$ 和 $\sin \Phi_{\min}$ 之间,其中 $\sin \Phi_{\max}$ 和 $\sin \Phi_{\min}$ 可从不等式(7)获得,如下面的表达式(8)所示:

$$\sin \varphi_{\max} = \frac{-\psi_f \omega L_q + \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 32V^2(L_d - L_q)^2}}{8V(L_d - L_q)} \quad (8)$$

$$\sin \varphi_{\min} = \frac{-\psi_f \omega L_q - \sqrt{(\psi_f \omega L_q)^2 + 32V^2(L_d - L_q)^2}}{8V(L_d - L_q)}$$

[0042] 因此保证增益函数 $K(\omega, \varphi)$ 大于零。

[0043] 计算单元进一步包括与加法器51、乘法器53、积分器54和比例积分控制器55并行的前馈系统59。命令力矩 T_{cmd} 输入前馈系统59并且前馈系统59的输出与比例积分控制器55的输出相加得到电压相角 Φ 。前馈系统59利用前馈查表来减少计算时间。

[0044] 因为电压幅值 V 固定,电机力矩 T_{em} 仅通过调节电压相角 Φ 来控制,如此较容易控制电机力矩 T_{em} 和驱动电机10。并且电压幅值 V 固定为方波电压的基波电压的最大值 $2V_{dc}/\pi$,如此很容易选择电压相角 Φ 使得电机力矩 T_{em} 最大,从而提高直流电压利用率。另外,在角速度 ω 不变和电压相角 Φ 的单调区间内电机力矩 T_{em} 相对于电压相角 Φ 线性变化,从而可实现快速连续地控制电机力矩 T_{em} 。

[0045] 虽然结合特定的实施方式对本发明进行了说明,但本领域的技术人员可以理解,对本发明可以作出许多修改和变型。因此,要认识到,权利要求书的意图在于涵盖在本发明真正构思和范围内的所有这些修改和变型。

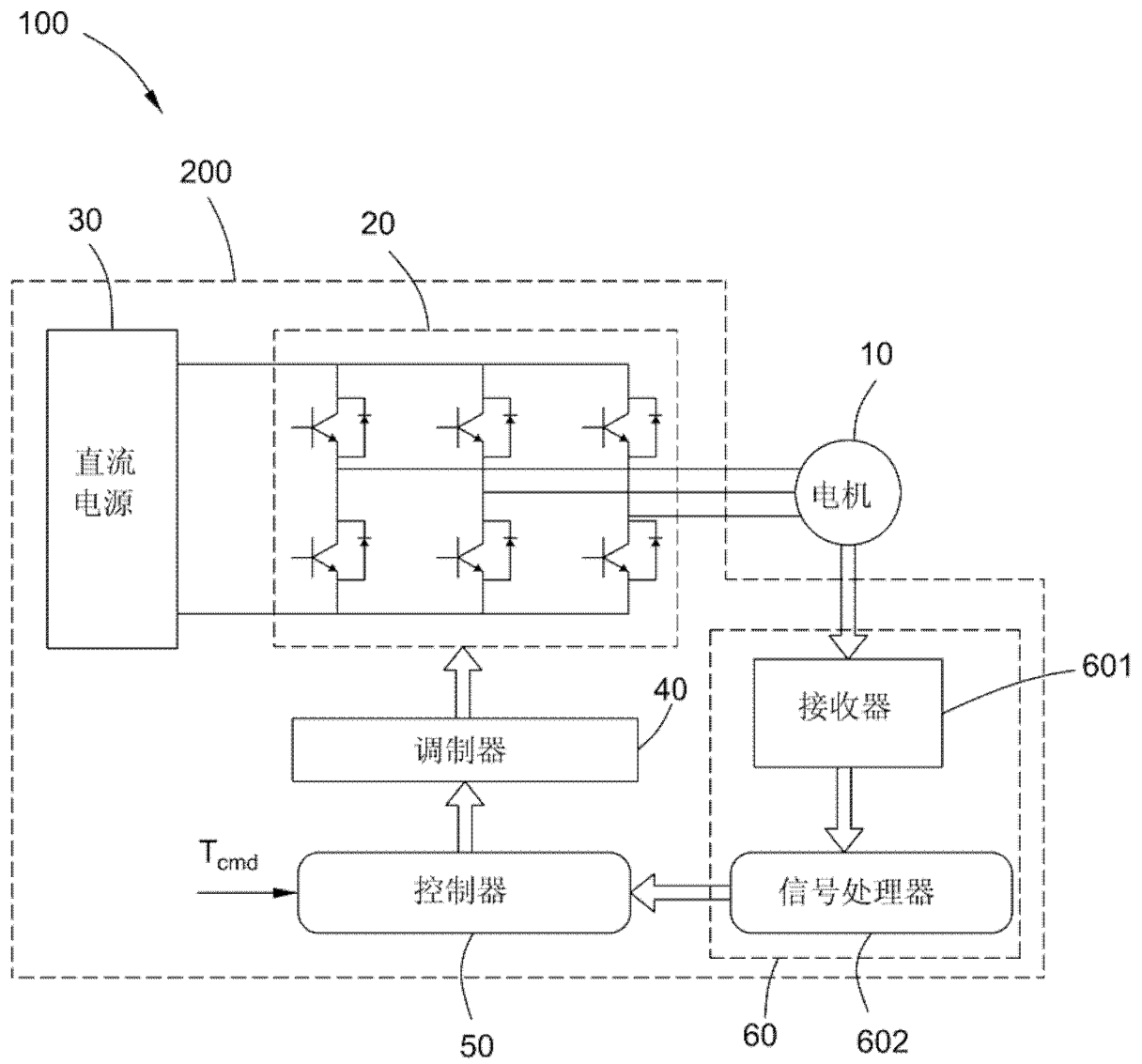


图1

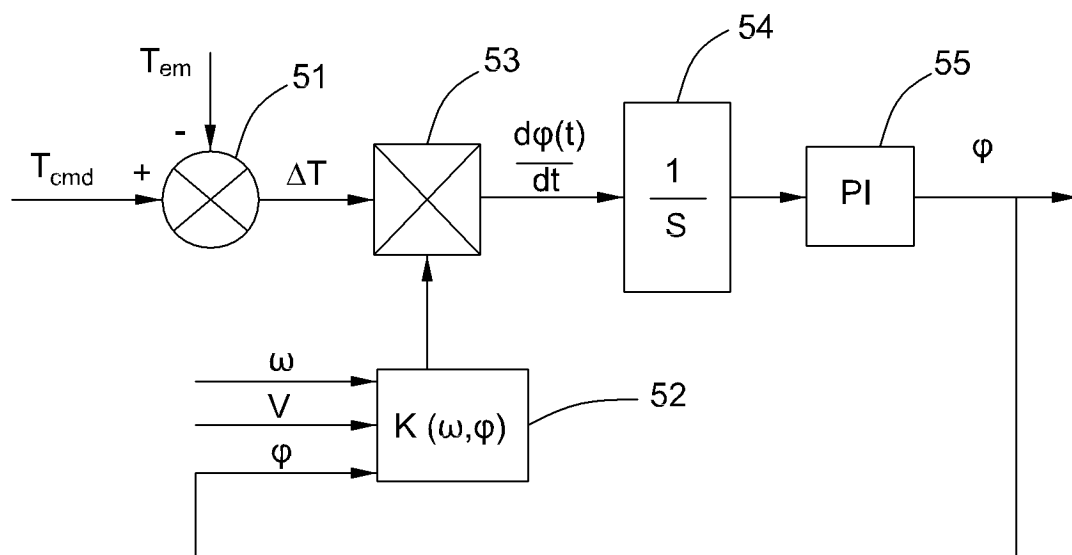


图2

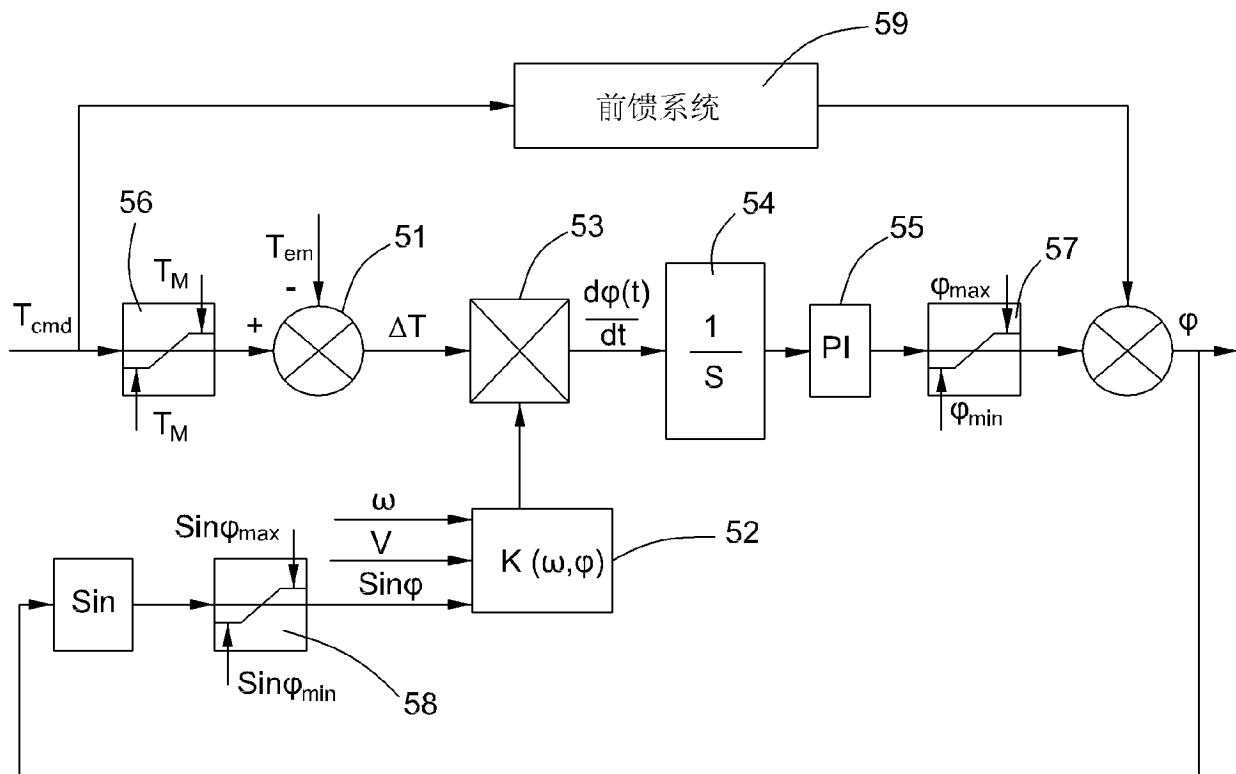


图3