

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020年4月2日 (02.04.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/063331 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02P 21/28 (2016.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/105160
- (22) 国际申请日: 2019年9月10日 (10.09.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811114754.4 2018年9月25日 (25.09.2018) CN
- (71) 申请人: 欧姆龙株式会社 (OMRON CORPORATION) [JP/JP]; 日本京都府京都市下京区塩小路通堀川东入南不动堂町801番地, Kyoto 千600-8530 (JP)。
- (71) 申请人 (仅对ZW): 欧姆龙(上海)有限公司 (OMRON (SHANGHAI) CO., LTD) [CN/CN]; 中国上海市浦东新区金桥出口加工区金吉路789号, Shanghai 201201 (CN)。
- (72) 发明人: 汪宇涛 (WANG, Yutao); 中国上海市浦东新区金桥出口加工区金吉路789号, Shanghai 201201 (CN)。 刘少枫 (LIU, Shaofeng); 中国上海市浦东新区金桥出口加工区金吉路789号, Shanghai 201201 (CN)。
- (74) 代理人: 北京三友知识产权代理有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市金融街35号国际企业大厦A座16层, Beijing 100033 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: CONTROL DEVICE AND CONTROL METHOD FOR INDUCTION MOTOR

(54) 发明名称: 感应电机的控制装置和控制方法

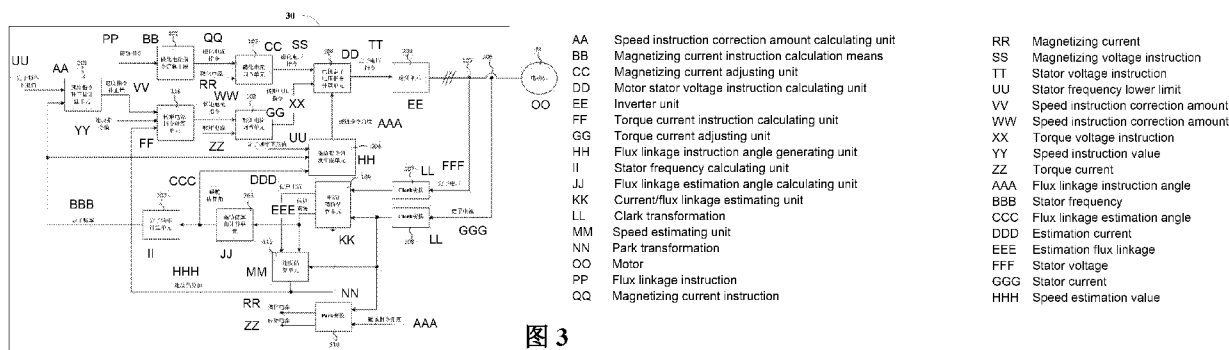


图 3

(57) Abstract: A control device and a control method for an induction motor. The control device comprises: a magnetizing current adjusting unit used for calculating a magnetizing voltage instruction; a torque current adjusting unit used for calculating a torque voltage instruction; a flux linkage instruction angle generating unit calculating a flux linkage instruction angle according to a lower limit ω_{1th} of a preset stator frequency, a stator frequency ω_1 , and a flux linkage estimation angle; and a motor stator voltage instruction calculating unit calculating, according to the magnetizing voltage instruction, the torque voltage instruction, and the flux linkage estimation angle, a stator voltage instruction for controlling a stator of the motor. The control system can be run outside an unstable area, and the stability of control by the control device is improved.

(57) 摘要: 一种感应电机的控制装置和控制方法, 该控制装置包括: 磁化电流调节单元, 用于计算磁化电压指令; 转矩电流调节单元, 用于计算转矩电压指令; 磁链指令角度生成单元, 其根据预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 、定子频率 ω_1 、以及磁链估算角, 计算磁链指令角度; 以及电机定子电压指令计算单元, 其根据所述磁化电压指令, 所述转矩电压指令和所述磁链指令角度, 计算用于对电机的定子进行控制的定子电压指令。能够使控制系统运行在不稳定区外, 提高控制装置进行控制的稳定性。

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM,
AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

感应电机的控制装置和控制方法

5 技术领域

本申请涉及电机技术领域，尤其涉及一种感应电机的控制装置和控制方法。

背景技术

在对电机进行矢量控制时，有时难以在电机中设置用于检测转子速度的传感器，
10 或者为了降低成本而不设置传感器，从而对电机进行无速度传感器的矢量控制。

图 1 是现有技术中对电机进行无速度传感器的矢量控制的一个系统框图。如图 1 所示：

 磁化电流指令演算手段 101 根据输入的磁链指令生成磁化电流指令；

 磁化电流调节手段 103 根据磁化电流指令与 park 变换手段 110 反馈的磁化电流
15 得到磁化电压指令；

 转矩电流指令演算手段 116 根据输入的速度指令值和速度估计手段 111 反馈的速度估算值生成转矩电流指令；

 转矩电流调节手段 102 根据转矩电流指令与 park 变换手段 110 反馈的转矩电流
 得到转矩电压指令；

20 反 Park-Clark 变换手段 104 基于磁链指令角度，对磁化电压指令和转矩电压指令进行反 Park-Clark 变换，得到 U、V、W 三相的定子电压指令；

 逆变单元 200 根据定子电压指令生成用于输入到电机 M 的定子的 U、V、W 三相定子电压，从而对电机 M 进行控制。

 如图 1 所示，速度估算值的生成方式如下：采样实际输出的 U、V、W 三相定子
25 电压、以及流过电机 M 的定子的电流，通过 Clark 变换手段 107、108 得到 α - β 坐标系的定子电压和电流信号；电流、磁链估算手段 109 基于速度估计手段 111 反馈的速度估算值，以及 Clark 变换手段 107、108 输出的 α - β 坐标系的定子电压和电流信号，生成估算电流和估算磁链；速度估计手段 111 根据该估算电流、估算磁链、以及 Clark 变换手段 108 输出的该电流信号，计算出新的速度估算值。

如图 1 所示，磁化电流和转矩电流的生成方式如下：Park 变换手段 110 基于磁链指令角度，对 Clark 变换手段 108 输出的电流信号进行 Park 变换，得到磁化电流和转矩电流。

如图 1 所示，磁链指令角度的生成方式如下：滑差频率演算手段 112 生成滑差频率；定子频率演算手段 113 根据速度估计手段 111 反馈的速度估算值以及滑差频率，计算出定子频率 ω_1 ；积分器 117 对定子频率 ω_1 进行积分，得到磁链指令角度。

根据图 1，通过向该控制系统输入磁链指令和速度指令值，能够控制输入到电机 M 的定子电压，从而对电机 M 进行矢量控制。

在图 1 所示的控制系统中，速度估算手段 111 计算出的速度估算值 ω_1 有可能位于不稳定区，即， $\omega_1 \in (-\omega_{1th}, \omega_{1th})$ 。当速度估算值 ω_1 位于不稳定区时，将导致该控制系统失控。

专利文献 1 公开了一种电机的控制系统，能够使速度估算手段计算出的速度估算值 ω_1 位于不稳定区之外，由此，避免控制系统失控。

图 2 是专利文献 1 记载的电机的控制系统的示意图。如图 2 所示的控制系统与图 1 所示的控制系统相比，区别在于：图 2 的控制系统增加了定子频率下限 limit 实行判别手段 114 以及速度指令补正量演算手段 115。

在图 2 中，定子频率下限 limit 实行判别手段 114 能够基于输入到该控制系统的速度指令值，滑差频率演算手段 112 所计算出的滑差频率，以及定子频率的下限值 ω_{1th} 进行判别并输出判别结果。在图 2 中，定子频率演算手段 113 根据 114 的判别结果进行处理，以使定子频率演算手段 113 输出的速度估算值位于不稳定区之外。

在图 2 中，速度指令补正量演算手段 115 根据定子频率下限值 ω_{1th} ，速度指令值，以及滑差频率计算速度指令补正量，并根据 114 的判别结果输出不同的速度指令补正量。从而，图 2 的转矩电流指令演算手段 116 基于速度指令值、速度估算值、以及速度指令补正量，计算转矩电流指令。

25 专利文献 1：日本特开 2010-22096A

应该注意，上面对技术背景的介绍只是为了方便对本发明的技术方案进行清楚、完整的说明，并方便本领域技术人员的理解而阐述的。不能仅仅因为这些方案在本发明的背景技术部分进行了阐述而认为上述技术方案为本领域技术人员所公知。

发明内容

本申请的发明人发现，在专利文献 1 中，定子频率演算手段 113、定子频率下限 limit 实行判别手段 114、以及速度指令补正量演算手段 115 都需要根据滑差频率进行

5 计算。滑差频率 ω_s 通常采用下式 (1) 来进行计算得到：

$$\omega_s = \frac{R_r L_m}{L_r \psi_r} i_q \quad (1)$$

其中， i_q 为转矩电流， ψ_r 为转子磁链， L_m 为转子和定子的互感， R_r 为转子的电阻。

由上述式 (1) 可知，滑差频率 ω_s 的计算精度受转子电阻 R_r 的影响很大。当电机

10 运行发热时，实际 R_r 的相比于标称值的误差甚至会增大到 20% 以上。 ω_s 的计算偏差会显著增大，因此，定子频率演算手段 113、定子频率下限 limit 实行判别手段 114、以及速度指令补正量演算手段 115 的运算结果都将出现偏差，因此，控制系统仍有可能运行在不稳定区内，从而导致该控制系统失控。

本申请提供一种感应电机的控制装置和控制方法，在利用该控制装置对电机进行

15 无速度传感器矢量控制中，避免使用受电阻变化而产生误差的滑差频率 ω_s 来进行计算，由此，能够使控制系统运行在不稳定区外，提高控制装置进行控制的稳定性。

根据本申请实施例的一个方面，提供一种感应电机的控制装置，包括：

磁化电流调节单元，用于计算磁化电压指令；

转矩电流调节单元，用于计算转矩电压指令；

20 磁链指令角度生成单元，其根据预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 、定子频率 ω_1 、以及磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ ，计算磁链指令角度；以及

电机定子电压指令计算单元，其根据所述磁化电压指令，所述转矩电压指令和所述磁链指令角度，计算用于对电机的定子进行控制的定子电压指令。

根据本申请实施例的另一个方面，其中，所述磁链指令角度生成单元包括：

25 频率差计算单元，其计算所述预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 与所述定子频率 ω_1 的差值；

积分单元，其对该差值进行积分以得到磁链指令角补正量；以及

补正单元，其使用所述磁链指令角补正量对所述磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 进行补正，以得到所述磁链指令角度。

根据本申请实施例的另一个方面，其中，所述磁链指令角补正量的最小值是 0，即，所述积分的下限值为 0。

根据本申请实施例的另一个方面，其中，所述控制装置还包括：

5 磁链估算角计算单元，其针对基于电动机的定子电压信号、定子电流信号和速度估算值所计算的基于 α - β 坐标系的磁链 $\hat{\psi}_{ra}$ 和 $\hat{\psi}_{rb}$ 进行反正切计算，得到所述磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 。

根据本申请实施例的另一个方面，其中，所述控制装置还包括：

定子频率计算单元，其将所述磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 相对于时间求导，得到所述定子频率 ω_1 。

10 根据本申请实施例的另一个方面，其中，所述控制装置还包括：

定子频率计算单元，其对基于流入所述电机的定子电流而得到的基于 α - β 坐标系的电流 I_a 和 I_b 做反正切得到电流矢量角 $\angle I$ ，再对所述电流矢量角 $\angle I$ 进行微分运算得到所述定子频率 ω_1 。

根据本申请实施例的另一个方面，其中，所述控制装置还包括：

15 速度指令补正量计算单元，其用于根据所述预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 和所述定子频率 ω_1 ，计算速度指令补正量，

其中，所述速度指令补正量用于对速度指令值进行调整，从而计算所述转矩电压指令。

根据本申请实施例的另一个方面，其中，速度指令补正量计算单元包括：

20 第一计算单元，用于计算所述预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 和所述定子频率 ω_1 的差值；

第一决定单元，根据所述第一计算单元计算出的差值，决定所述速度指令补正量。还包括：

25 第一 PI 调节单元，其根据所述第一计算单元计算出的差值进行 PI 运算，输出 PI 运算结果；

所述第一决定单元在所述 PI 运算结果小于 0 时，决定所述速度指令补正量为 0，

所述第一决定单元在所述 PI 运算结果大于或等于 0 时，决定所述速度指令补正量为所述 PI 运算结果。

根据本申请实施例的另一个方面，提供一种感应电机的控制方法，包括：

计算磁化电压指令；

计算转矩电压指令；

根据预设的定子频率的下限值、定子频率、以及磁链估算角，计算磁链指令角度；

5 以及

根据所述磁化电压指令，所述转矩电压指令和所述磁链指令角度，计算用于对电机的定子运转进行控制的定子电压指令。

本申请的有益效果在于：避免使用受电阻变化而产生误差的滑差频率 ω_s 来进行计算，由此，能够使控制系统运行在不稳定区外，提高控制装置进行控制的稳定性。

10 参照后文的说明和附图，详细公开了本申请的特定实施方式，指明了本申请的原理可以被采用的方式。应该理解，本申请的实施方式在范围上并不因而受到限制。在所附权利要求的精神和条款的范围内，本申请的实施方式包括许多改变、修改和等同。

附图说明

15 所包括的附图用来提供对本申请实施例的进一步的理解，其构成了说明书的一部分，用于例示本申请的实施方式，并与文字描述一起来阐释本申请的原理。显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。在附图中：

图 1 是现有技术中对电机进行无速度传感器的矢量控制的一个系统框图；

20 图 2 是专利文献 1 记载的电机的控制系统的示意图

图 3 是本申请实施例 1 的控制装置的一个示意图；

图 4 是本申请实施例 1 的控制装置中磁链指令角度生成单元 204 的一个示意图；

图 5 是该定子频率计算单元 202a 的一个示意图；

图 6 是本申请实施例 1 的速度指令补正量计算单元 201 的一个示意图；

25 图 7 是转矩电流指令计算单元 116 的一个示意图；

图 8 是对该实例中的电机进行矢量控制的一个示意图；

图 9 是本申请实施例 2 的感应电机的控制方法的一个示意图。

具体实施方式

参照附图，通过下面的说明书，本申请的前述以及其它特征将变得明显。在说明书和附图中，具体公开了本申请的特定实施方式，其表明了其中可以采用本申请的原则的部分实施方式，应了解的是，本申请不限于所描述的实施方式，相反，本申请包括落入所附权利要求的范围内的全部修改、变型以及等同物。

5

实施例 1

本申请实施例提供了一种感应电机的控制装置。图 3 是本实施例的控制装置的一个示意图。

如图 3 所示，感应电机的控制装置 30 根据向该控制装置 30 输入的磁链指令、速度指令值和定子频率下限值，控制输入到电机 M 的定子电压，从而对电机 M 进行矢量控制。

如图 3 所示，感应电机的控制装置 30 包括：磁化电流调节单元 103、转矩电流调节单元 102、磁链指令角度生成单元 204、以及电机定子电压指令计算单元 104。

如图 3 所示，磁化电流调节单元 103 可以根据磁化电流指令和磁化电流，计算磁化电压指令。

转矩电流调节单元 102 可以根据转矩电流和转矩电流指令，计算转矩电压指令；磁链指令角度生成单元 204 可以根据预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 、定子频率 ω_1 、以及磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ ，计算磁链指令角度。

电机定子电压指令计算单元 104 可以根据该磁化电压指令，该转矩电压指令和该磁链指令角度，计算用于对电机的定子进行控制的定子电压指令。在一个实施方式中，电机定子电压指令计算单元 104 可以基于磁链指令角度，对磁化电压指令和该转矩电压指令进行反 Park-Clark 变换，从而得到定子电压指令。

在本实施例中，电机定子电压指令计算单元 104 得到的定子电压指令可以被输入到逆变单元 200，从而形成输出到电动机的 U、V、W 三相定子电压。

在本实施例中，关于磁化电流调节单元 103、转矩电流调节单元 102、电机定子电压指令计算单元 104、以及逆变单元 200 的说明可以参考背景技术中提及的专利文献 1。

根据本实施例，在感应电机的控制装置 30 中，磁链指令角度生成单元 204 在计算磁链指令角度时，可以不基于电机的滑差频率 ω_s 来进行计算，所以，可以避免电

机转子的电阻变化对计算结果的影响，由此，使控制装置运行在不稳定区外，提高控制装置进行控制的稳定性。

图 4 是本申请实施例 1 的控制装置中磁链指令角度生成单元 204 的一个示意图。如图 4 所示，磁链指令角度生成单元 204 包括：频率差计算单元 204a，积分单元 204b，以及补正单元 204c。

如图 4 所示，频率差计算单元 204a 计算预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 与定子频率 ω_1 的差值。在一个实施方式中，频率差计算单元 204a 可以是减法器，其计算的差值是 $\omega_{1th} - \omega_1$ 。

在本实施例中，积分单元 204b 可以对该差值进行积分，以得到磁链指令角补正量。在一个实施方式中，该磁链指令角补正量的最小值是 0，例如，该积分单元 204b 抗饱和和下限值为 0，也就是说，该积分单元 204b 的积分结果大于或等于 0。

在本实施例中，补正单元 204c 使用该磁链指令角补正量对磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 进行补正，以得到该磁链指令角度。在一个实施方式中，补正单元 204c 可以是加法器，其将磁链指令角补正量与磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 相加，得到该磁链指令角度。

在电机的实际运行过程中，实际磁链角与定子频率相对应。通过磁链指令角度生成单元 204 可以准确控制磁链指令角，由此，等效于保证了该磁链指令角控制下的磁链角所对应的定子频率 ω_1 始终大于或等于该下限值 ω_{1th} ，从而避免该控制装置 30 运行在不稳定区。

在本实施例中，如图 3 所示，该控制装置 30 还可以具有磁链估算角计算单元 203。其中，磁链估算角计算单元 203 可以针对基于电机 M 的定子电压信号、定子电流信号和速度估算值所计算的基于 α - β 坐标系的磁链 $\hat{\psi}_{ra}$ 和 $\hat{\psi}_{rb}$ 进行反正切计算，得到该磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 。

例如，磁链估算角计算单元 203 可以根据下式 (2) 得到磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ ：

$$\angle \hat{\psi}_r = \begin{cases} \frac{\pi}{2} & \text{当 } \hat{\psi}_{ra} = 0, \text{ 且 } \hat{\psi}_{rb} \geq 0 \\ \frac{3\pi}{2} & \text{当 } \hat{\psi}_{ra} = 0, \text{ 且 } \hat{\psi}_{rb} < 0 \\ \arctan\left(\frac{\hat{\psi}_{rb}}{\hat{\psi}_{ra}}\right) & \text{当 } \hat{\psi}_{ra} > 0, \text{ 且 } \hat{\psi}_{rb} \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{\hat{\psi}_{rb}}{\hat{\psi}_{ra}}\right) + 2\pi & \text{当 } \hat{\psi}_{ra} > 0, \text{ 且 } \hat{\psi}_{rb} < 0 \\ \arctan\left(\frac{\hat{\psi}_{rb}}{\hat{\psi}_{ra}}\right) + \pi & \text{当 } \hat{\psi}_{ra} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

磁链估算角计算单元 203 得到的该磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 可以被输入到磁链指令角度生成单元 204 进行计算。

- 5 根据本实施例，磁链估算角计算单元 203 在计算磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 时，避免了使用电机的滑差频率 ω_s 来进行计算，所以，可以避免电机转子的电阻变化对计算结果的影响。

在本实施例中，如图 3 所示，控制装置 30 还可以具有电流/磁链估算单元 109，Clark 变换单元 107、108，以及速度估算单元 111。

- 10 电压检测单元 105 对实际输出到电机 M 的 U、V、W 三相定子电压进行检测，得到定子电压信号；电流检测单元 106 对流过电机 M 的定子的电流进行检测，得到定子电流信号。

- Clark 变换手段 107、108 对定子电压信号和定子电流信号进行 Clark 变换，得到 $\alpha - \beta$ 坐标系的定子电压和定子电流。电流/磁链估算单元 109 基于速度估计单元 111 反馈的速度估算值，以及 Clark 变换单元 107、108 输出的 $\alpha - \beta$ 坐标系的定子电压信号和定子电流信号，生成估算电流和估算磁链，该估算磁链被表示为 $\hat{\psi}_{ra}$ 和 $\hat{\psi}_{rb}$ ，其中， $\hat{\psi}_{ra}$ 为 α 轴的估算磁链， $\hat{\psi}_{rb}$ 为 β 轴的估算磁链。在本实施例中，估算磁链被表示为 $\hat{\psi}_{ra}$ 和 $\hat{\psi}_{rb}$ 被输入到磁链估算角计算单元 203，用于计算磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 。

- 此外，速度估算单元 111 可以根据该估算电流、估算磁链 ($\hat{\psi}_{ra}$ 和 $\hat{\psi}_{rb}$)、以及 Clark 变换单元 108 输出的定子电流，计算出新的速度估算值。

在本实施例中，如图 3 所示，控制装置 30 还可以具有：定子频率计算单元 202。

定子频率计算单元 202 可以不基于电机的滑差频率 ω_s 来计算定子频率 ω_1 ，所以，可以避免电机转子的电阻变化对计算结果的影响，由此，使控制装置运行在不稳定区外，提高控制装置进行控制的稳定性。

如图 3 所示，在一个实施方式中，定子频率计算单元 202 可以将磁链估算角 $\angle \hat{\psi}_r$ 相对于时间求导，得到定子频率 ω_1 。例如，定子频率计算单元 202 可以根据下式 (3) 计算定子频率 ω_1 ：

$$\omega_1 = \frac{d}{dt} \angle \hat{\psi}_r \quad (3)$$

此外，在本实施例中，定子频率计算单元 202 也可以采用其他方式来计算定子频率 ω_1 。

例如，在另一个实施方式中，定子频率计算单元 202a 可以对基于流入电机 M 的定子电流而得到的基于 α - β 坐标系的电流 I_a 和 I_b 做反正切得到电流矢量角 $\angle I$ ，再对该电流矢量角 $\angle I$ 进行微分运算得到定子频率 ω_1 。

图 5 是该定子频率计算单元 202a 的一个示意图，如图 5 所示，电流检测单元 106 检测到的定子电流 I_U, I_V, I_W 经过 Clark 变换单元 108 变换为基于 α - β 坐标系的电流 I_a 和 I_b ，其中， I_a 为 α 轴的电流， I_b 为 β 轴的电流。

在本实施例中，电流 I_a 和 I_b 被输入到定子频率计算单元 202a。该定子频率计算单元 202a 包括：电流矢量角计算单元 205 和频率计算单元 202a1。

如图 5 所示，电流矢量角计算单元 205 根据电流 I_a 和 I_b 得到电流矢量角 $\angle I$ 。其中，电流矢量角计算单元 205 例如可以通过下式 (4) 计算电流矢量角 $\angle I$ ：

$$\angle I = \begin{cases} \frac{\pi}{2} & \text{当 } I_a = 0, \text{ 且 } I_b \geq 0 \\ \frac{3\pi}{2} & \text{当 } I_a = 0, \text{ 且 } I_b < 0 \\ \arctan\left(\frac{I_b}{I_a}\right) & \text{当 } I_a > 0, \text{ 且 } I_b \geq 0 \\ \arctan\left(\frac{I_b}{I_a}\right) + 2\pi & \text{当 } I_a > 0, \text{ 且 } I_b < 0 \\ \arctan\left(\frac{I_b}{I_a}\right) + \pi & \text{当 } I_a < 0 \end{cases} \quad (4)$$

在本实施例中，频率计算单元 202a1 可以对电流矢量角计算单元 205 计算出的电流矢量角 $\angle I$ 求导，从而计算定子频率 ω_1 ，例如，频率计算单元 202a1 可以根据下式

(5) 计算定子频率 ω_1 。

$$5 \quad \omega_1 = \frac{d}{dt} \angle I \quad (5)$$

在本实施例中，如图 3 所示，控制装置 30 还可以具有速度指令补正量计算单元 201。速度指令补正量计算单元 201 可以根据预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 和定子频率 ω_1 ，计算速度指令补正量。其中，该速度指令补正量用于对输入该控制装置 30 的速
10 度指令值进行调整，从而计算该转矩电压指令。

图 6 是本申请实施例的速度指令补正量计算单元 201 的一个示意图，如图 6 所示，速度指令补正量计算单元 201 包括：第一计算单元 201a 和第一决定单元 201c。

其中，第一计算单元 201a 用于计算所述预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 和定子频率 ω_1 的差值；第一决定单元 201c 根据第一计算单元 201a 计算出的差值，决定速度指令
15 补正量。

如图 6 所示，第一计算单元 201a 可以是减法器，其计算出的差值例如是 $\omega_{1th} - \omega_1$ 。当该差值小于 0 时，说明 ω_1 位于不稳定区之外，此时，第一决定单元 201c 决定输出的速度指令补正量为 0；当该差值大于或等于 0 时，说明 ω_1 位于不稳定区之内，此时，第一决定单元 201c 决定输出该差值作为速度指令补正量。

20 此外，在本实施例中，如图 6 所述，速度指令补正量计算单元 201 还可以包括：

第一 PI 调节单元 201b。该第一 PI 调节单元 201b 能够根据第一计算单元 201a 计算出的差值进行比例积分 (PI) 运算, 输出 PI 运算结果。

其中, 第一决定单元 201c 能够根据 PI 运算结果输出速度指令补正量, 例如: 在该 PI 运算结果小于 0 时, 第一决定单元 201c 决定输出的速度指令补正量为 0; 在 PI 运算结果大于或等于 0 时, 第一决定单元 201c 决定输出的速度指令补正量为该 PI 运算结果。

在图 6 中, 通过设置第一 PI 调节单元 201b, 能够提高输出的速度指令补正量的稳定性。

根据本实施例, 在本申请的速度指令补正量计算单元 201 能够不依赖于电机的滑差频率 ω_s 来计算速度指令补正量, 所以, 可以避免电机转子的电阻变化对计算结果的影响。

在本实施例中, 如图 3 所示, 该控制装置 30 还可以具有转矩电流指令计算单元 116。该转矩电流指令计算单元 116 可以基于输入的速度指令值、速度估算值计算单元 111 输出的速度估算值、以及速度指令补正量计算单元 201 输出的速度指令补正量, 计算转矩电流指令。

图 7 是转矩电流指令计算单元 116 的一个示意图, 如图 7 所示, 该转矩电流指令计算单元 116 包括加法器 116a、减法器 116b 以及第二 PI 调节器 116c, 由此, 在转矩电流指令计算单元 116 中, 速度指令指与速度指令补正量相加, 该相加的结果减去速度估算值从而得到差值, 该差值被第二 PI 调节器 116c 进行比例积分 (PI) 运算, 该第二 PI 调节器 116c 进行 PI 运算的结果被作为转矩电流指令值输出到转矩电流调节单元 102。

在本实施例中, 关于图 3 的其它单元的说明可以参考专利文献 1。

在本实施例中, 在现有技术的基础上, 修改了转矩电流指令计算单元 116, 增加了速度指令补正量调节单元 201, 定子频率计算单元 202, 磁链估算角计算单元 203, 以及磁链指令角计算单元 204。由此, 无需依赖电机的滑差频率 ω_s 就能够将定子频率 ω_1 控制在稳定区以内 (或者, 不稳定区以外), 即, 保证 $\omega_1 \geq \omega_{1th}$, 所以, 提高了控制装置进行控制的稳定性。

下面以一个实例进一步说明本申请的控制装置的效果。在该实例中, 感应电机的额定电压 200V, 额定功率 2.2kW, 电机正转, 负载转矩 (Torque) 为-27.6Nm, 稳定

区边界（即，预设的定子频率的下限值） $\omega_{1th}=0.5\text{Hz}$ 。

图 8 是对该实例中的电机进行矢量控制的一个示意图。在图 8 中，横轴为时间，单位是秒（S），纵轴为频率，单位是赫兹（Hz）。其中，曲线 801 为根据本实施例的控制装置进行控制时电机 M 的转子的实际转速 ω_r ，曲线 802 为根据本实施例的控制装置进行控制时电机 M 的定子频率 ω_1 ，曲线 803 为电机 M 的滑差频率 ω_s ，曲线 804 为根据专利文献 1 的控制装置进行控制时电机 M 的定子频率 ω_1' 。

如图 8 所示，在负载稳定的情况下，转子电阻 R_r 因为长时间运转温升增大，实际的滑差频率 ω_s 的绝对值随之增大（如曲线 803 所示）。在根据本实施例的控制装置进行控制时，速度指令补正量通过 PI 自动调节，使实际速度 ω_r 自动升高，保证了 ω_1 稳定在 ω_{1th} ，即，曲线 802 并没有下降，由此实现控制系统全程稳定。

与之相对，在使用专利文献 1 的控制装置进行控制时，在 R_r 因温升增大的情况下，由于仍然根据标称的 R_r 的值计算滑差频率，所以计算得到的滑差频率相对于实际的滑差频率偏小，进而，实际得到的 ω_1' 会低于稳定区边界 ω_{1th} （如曲线 804 所示），导致无法对电机进行稳定地控制。

15

实施例 2

本申请实施例 2 提供一种感应电机的控制方法，该控制方法与实施例 1 的控制装置 30 对应。

图 9 是本实施例的感应电机的控制方法的一个示意图，如图 9 所示，该方法包括：

20 步骤 901、计算磁化电压指令；

步骤 902、计算转矩电压指令；

步骤 903、根据预设的定子频率的下限值、定子频率、以及磁链估算角，计算磁链指令角度；以及

25 步骤 904、根据所述磁化电压指令，所述转矩电压指令和所述磁链指令角度，计算用于对电机的定子运转进行控制的定子电压指令。

关于该控制方法的各步骤的说明，可以参考实施例 1 对相应单元的说明。此外，该控制方法还可以包括图 9 所述的步骤之外的步骤，也可以参考实施例 1 对控制装置 30 的各单元的说明。

根据本实施，无需依赖电机的滑差频率 ω_s 就能够将定子频率 ω_1 控制在稳定区以

内（或者，不稳定区以外），即，保证 $\omega_1 \geq \omega_{1th}$ ，所以，提高了控制装置进行控制的稳定性。

结合本申请实施例描述的参数计算装置可直接体现为硬件、由处理器执行的软件模块或二者组合。这些硬件模块例如可利用现场可编程门阵列（FPGA）将这些软件模块固化而实现。

软件模块可以位于 RAM 存储器、闪存、ROM 存储器、EPROM 存储器、EEPROM 存储器、寄存器、硬盘、移动磁盘、CD-ROM 或者本领域已知的任何其它形式的存储介质。可以将一种存储介质耦接至处理器，从而使处理器能够从该存储介质读取信息，且可向该存储介质写入信息；或者该存储介质可以是处理器的组成部分。处理器和存储介质可以位于 ASIC 中。该软件模块可以存储在移动终端的存储器中，也可以存储在可插入移动终端的存储卡中。例如，若电子设备采用的是较大容量的 MEGA-SIM 卡或者大容量的闪存装置，则该软件模块可存储在该 MEGA-SIM 卡或者大容量的闪存装置中。

针对本实施例所描述的参数计算装置，可以实现为用于执行本申请所描述功能的通用处理器、数字信号处理器（DSP）、专用集成电路（ASIC）、现场可编程门阵列（FPGA）或其它可编程逻辑器件、分立门或晶体管逻辑器件、分立硬件组件、或者其任意适当组合。也可以实现为计算设备的组合，例如，DSP 和微处理器的组合、多个微处理器、与 DSP 通信结合的一个或多个微处理器或者任何其它这种配置。

以上结合具体的实施方式对本申请进行了描述，但本领域技术人员应该清楚，这些描述都是示例性的，并不是对本申请保护范围的限制。本领域技术人员可以根据本申请的精神和原理对本申请做出各种变型和修改，这些变型和修改也在本申请的范围

权利要求书

- 1、一种感应电机的控制装置，包括：
磁化电流调节单元，用于计算磁化电压指令；
5 转矩电流调节单元，用于计算转矩电压指令；
磁链指令角度生成单元，其根据预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 、定子频率 ω_1 、以及磁链估算角 $\angle\hat{\psi}_r$ ，计算磁链指令角度；以及
电机定子电压指令计算单元，其根据所述磁化电压指令，所述转矩电压指令和所述磁链指令角度，计算用于对电机的定子进行控制的定子电压指令。
- 10 2、如权利要求1所述的控制装置，其中，所述磁链指令角度生成单元包括：
频率差计算单元，其计算所述预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 与所述定子频率 ω_1 的差值；
积分单元，其对该差值进行积分以得到磁链指令角补正量；以及
补正单元，其使用所述磁链指令角补正量对所述磁链估算角 $\angle\hat{\psi}_r$ 进行补正，以得
15 到所述磁链指令角度。
- 3、如权利要求2所述的控制装置，其中，
所述磁链指令角补正量的最小值是0。
- 4、如权利要求1所述的控制装置，其中，所述控制装置还包括：
磁链估算角计算单元，其针对基于电动机的定子电压信号、定子电流信号和速度
20 估算值所计算的基于 α - β 坐标系的磁链 $\hat{\psi}_{ra}$ 和 $\hat{\psi}_{rb}$ 进行反正切计算，得到所述磁链估算角 $\angle\hat{\psi}_r$ 。
- 5、如权利要求1所述的控制装置，其中，所述控制装置还包括：
定子频率计算单元，其将所述磁链估算角 $\angle\hat{\psi}_r$ 相对于时间求导，得到所述定子频率 ω_1 。
- 25 6、如权利要求1所述的控制装置，其中，所述控制装置还包括：
定子频率计算单元，其对基于流入所述电机的定子电流而得到的基于 α - β 坐标系的电流 I_a 和 I_b 做反正切得到电流矢量角 $\angle I$ ，再对所述电流矢量角 $\angle I$ 进行微分运算得到所述定子频率 ω_1 。

7、如权利要求 1 所述的控制装置，其中，所述控制装置还包括：

速度指令补正量计算单元，其用于根据所述预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 和所述定子频率 ω_1 ，计算速度指令补正量，

其中，所述速度指令补正量用于对速度指令值进行调整，从而计算所述转矩电压
5 指令。

8、如权利要求 7 所述的控制装置，其中，速度指令补正量计算单元包括：

第一计算单元，用于计算所述预设的定子频率的下限值 ω_{1th} 和所述定子频率 ω_1 的
差值；

第一决定单元，根据所述第一计算单元计算出的差值，决定所述速度指令补正量。

10 9、如权利要求 8 所述的控制装置，其中，所述速度指令补正量计算单元还包括：

第一 PI 调节单元，其根据所述第一计算单元计算出的差值进行比例积分运算，
输出比例积分运算结果；

所述第一决定单元在所述比例积分运算结果小于 0 时，决定所述速度指令补正量
为 0，

15 所述第一决定单元在所述 PI 运算结果大于或等于 0 时，决定所述速度指令补正
量为所述比例积分运算结果。

10、一种感应电机的控制方法，包括：

计算磁化电压指令；

计算转矩电压指令；

20 根据预设的定子频率的下限值、定子频率、以及磁链估算角，计算磁链指令角度；
以及

根据所述磁化电压指令，所述转矩电压指令和所述磁链指令角度，计算用于对电
机的定子运转进行控制的定子电压指令。

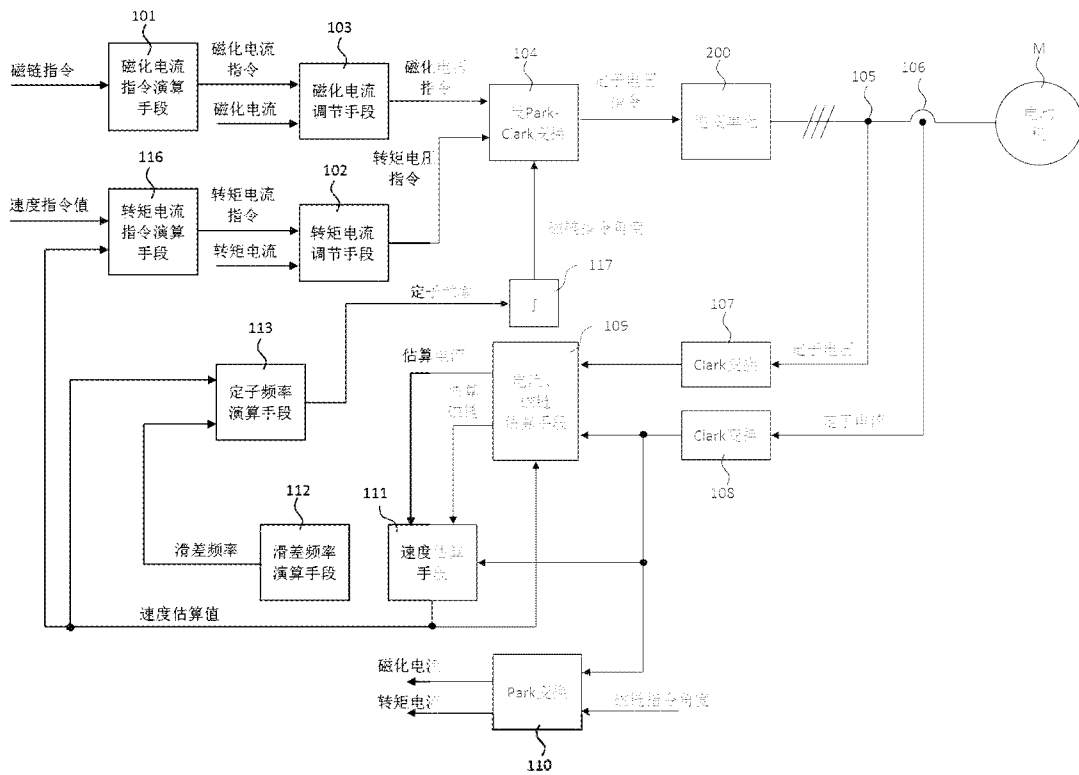


图 1

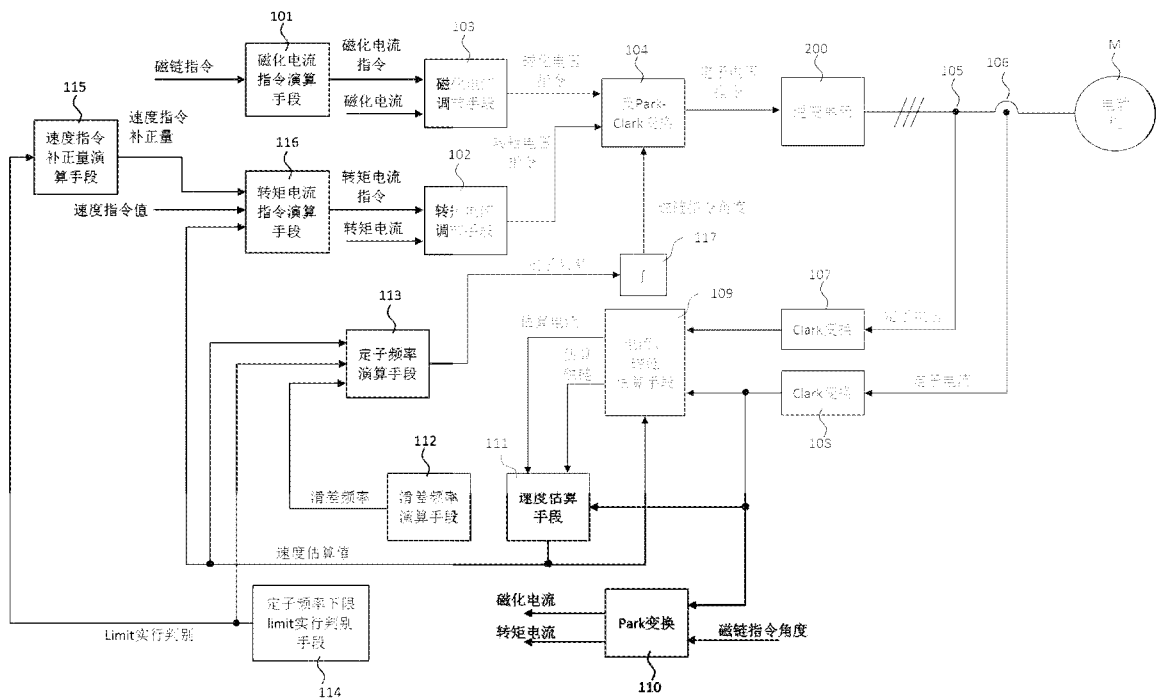


图 2

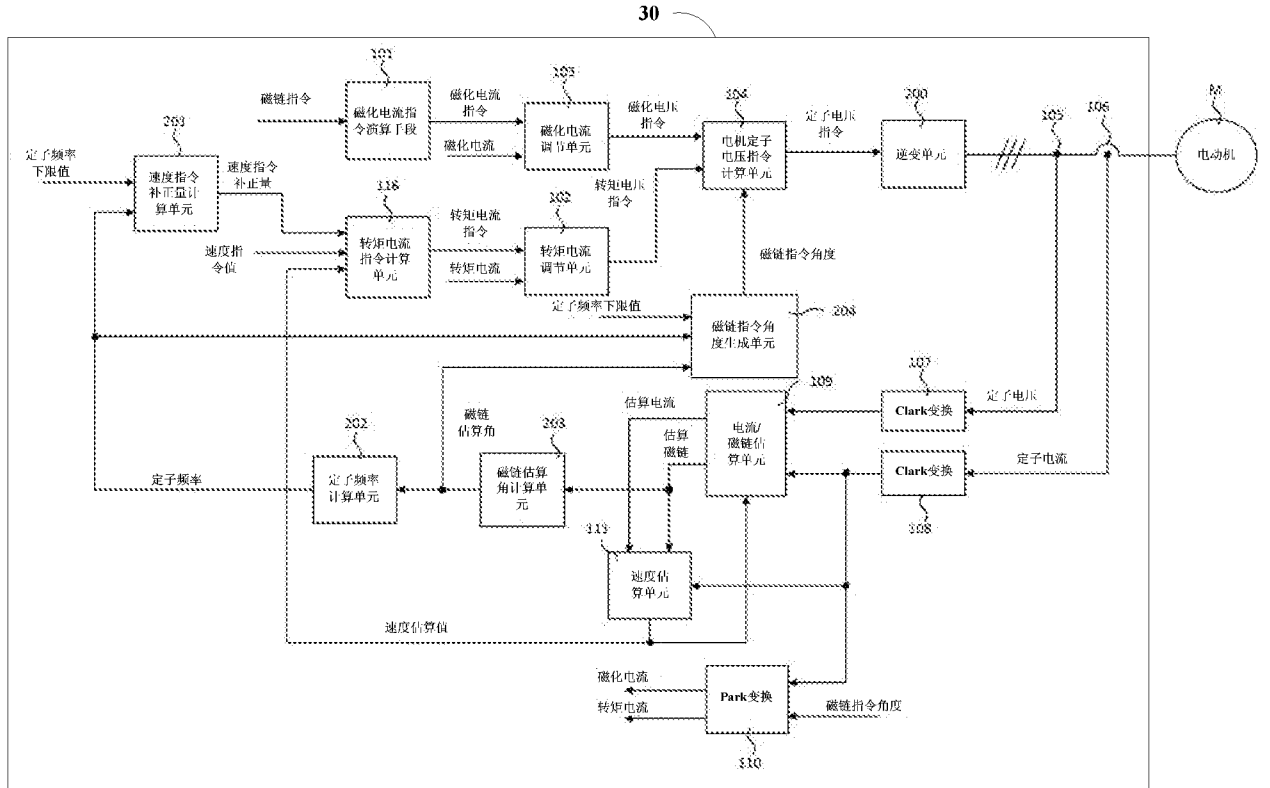


图 3

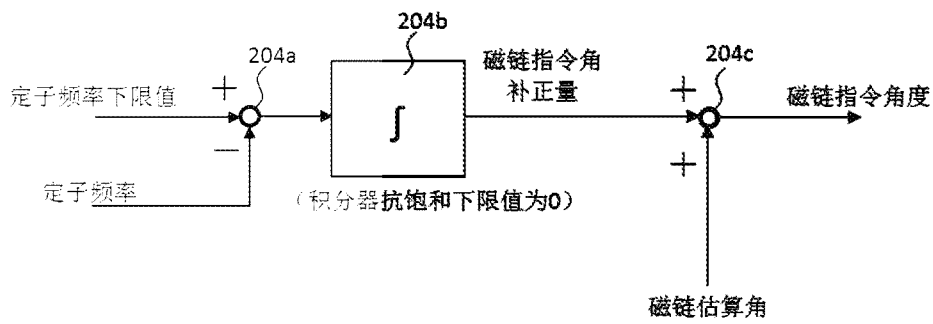


图 4

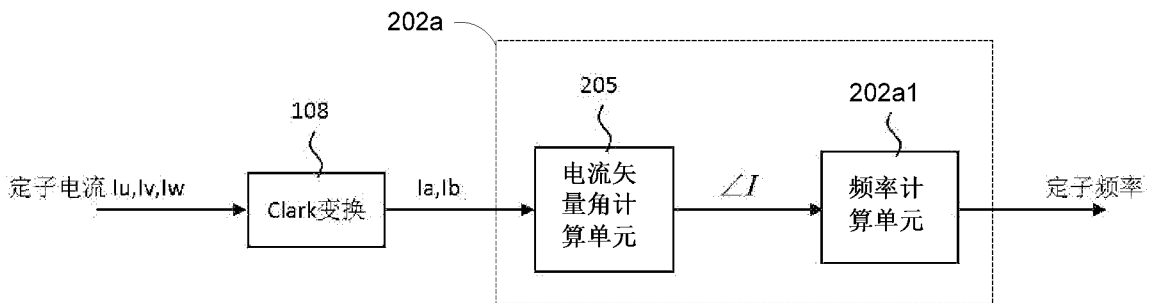


图 5

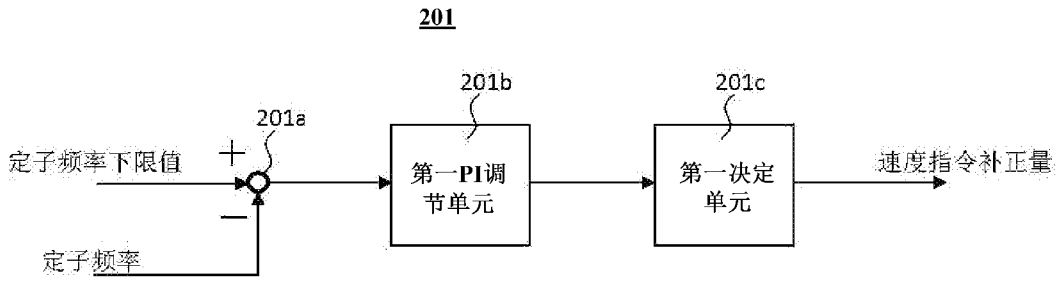


图 6

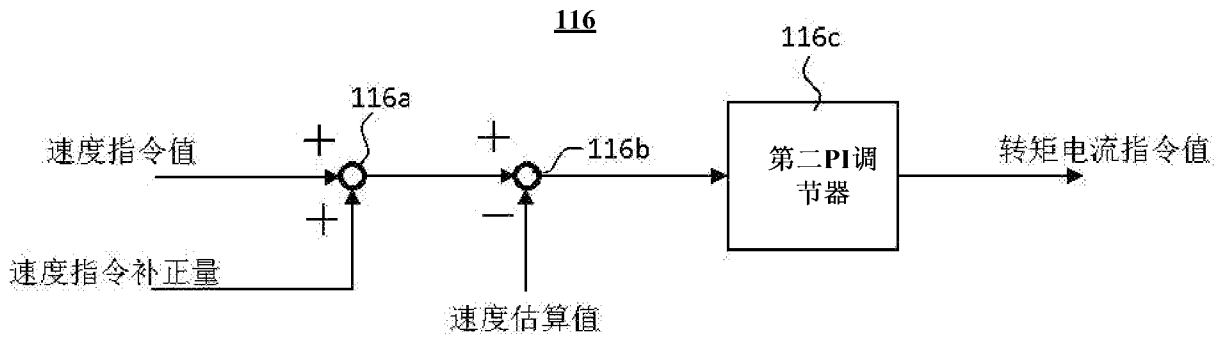


图 7

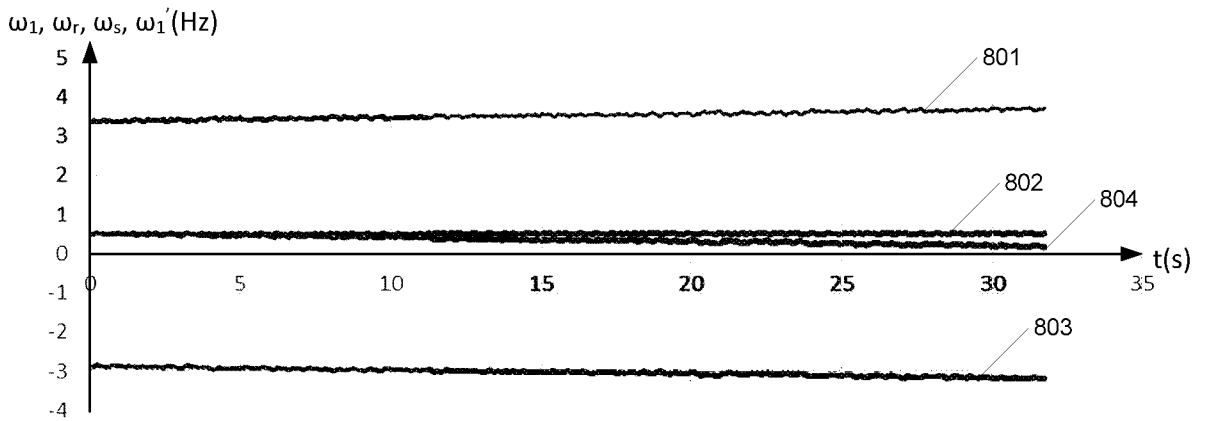


图 8

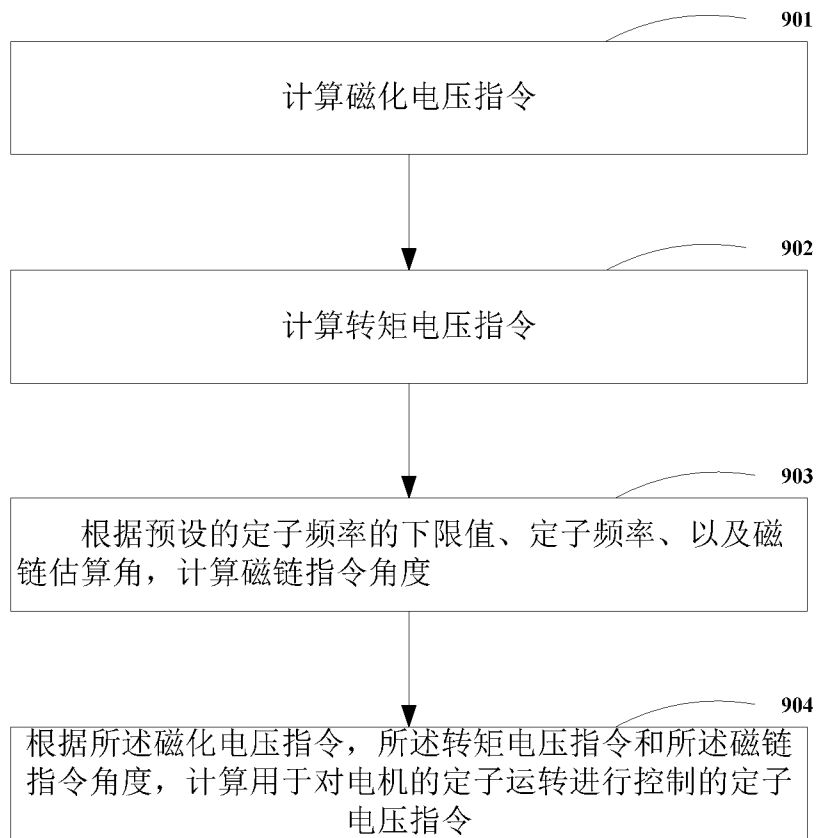


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/105160

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 21/28(2016.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI: 感应, 异步, 电机, 电动机, 马达, 控制, 定子频率, 一次频率, 初始频率, 磁链指令角度, 相位角指令, induction, asynchronous, motor, machine, control, stator, primary, frequency, flux, phase, angle

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103427745 A (FUJI ELECTRIC CO., LTD.) 04 December 2013 (2013-12-04) description, paragraphs [0004]-[0020] and [0093]-[0095], and figure 2	1-10
A	CN 103931098 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 16 July 2014 (2014-07-16) entire document	1-10
A	CN 1825750 A (HITACHI LTD.) 30 August 2006 (2006-08-30) entire document	1-10
A	JP 2010172125 A (NIPPON YUSOKI CO., LTD.) 05 August 2010 (2010-08-05) entire document	1-10
A	JP 2010022096 A (FUJI ELECTRIC SYSTEMS CO., LTD.) 28 January 2010 (2010-01-28) entire document	1-10

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 November 2019

Date of mailing of the international search report

09 December 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Authorized officer

Facsimile No. (86-10)62019451

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/105160

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	103427745	A	04 December 2013	JP	2013243876	A	05 December 2013
CN	103931098	A	16 July 2014	US	2014247003	A1	04 September 2014
				JP	5156149	B1	06 March 2013
				WO	2013108374	A1	25 July 2013
CN	1825750	A	30 August 2006	JP	2006238605	A	07 September 2006
				US	2006192521	A1	31 August 2006
JP	2010172125	A	05 August 2010	None			
JP	2010022096	A	28 January 2010	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/105160

<p>A. 主题的分类</p> <p>H02P 21/28(2016.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																				
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H02P</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI:感应, 异步, 电机, 电动机, 马达, 控制, 定子频率, 一次频率, 初始频率, 磁链指令角度, 相位角指令, induction, asynchronous, motor, machine, control, stator, primary, frequency, flux, phase, angle</p>																				
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 103427745 A (富士电机株式会社) 2013年 12月 4日 (2013 - 12 - 04) 说明书第0004-0020、0093-0095段, 附图2</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103931098 A (三菱电机株式会社) 2014年 7月 16日 (2014 - 07 - 16) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 1825750 A (株式会社日立制作所) 2006年 8月 30日 (2006 - 08 - 30) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2010172125 A (NIPPON YUSOKI CO., LTD.) 2010年 8月 5日 (2010 - 08 - 05) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2010022096 A (FUJI ELECTRIC SYSTEMS CO., LTD.) 2010年 1月 28日 (2010 - 01 - 28) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 103427745 A (富士电机株式会社) 2013年 12月 4日 (2013 - 12 - 04) 说明书第0004-0020、0093-0095段, 附图2	1-10	A	CN 103931098 A (三菱电机株式会社) 2014年 7月 16日 (2014 - 07 - 16) 全文	1-10	A	CN 1825750 A (株式会社日立制作所) 2006年 8月 30日 (2006 - 08 - 30) 全文	1-10	A	JP 2010172125 A (NIPPON YUSOKI CO., LTD.) 2010年 8月 5日 (2010 - 08 - 05) 全文	1-10	A	JP 2010022096 A (FUJI ELECTRIC SYSTEMS CO., LTD.) 2010年 1月 28日 (2010 - 01 - 28) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
A	CN 103427745 A (富士电机株式会社) 2013年 12月 4日 (2013 - 12 - 04) 说明书第0004-0020、0093-0095段, 附图2	1-10																		
A	CN 103931098 A (三菱电机株式会社) 2014年 7月 16日 (2014 - 07 - 16) 全文	1-10																		
A	CN 1825750 A (株式会社日立制作所) 2006年 8月 30日 (2006 - 08 - 30) 全文	1-10																		
A	JP 2010172125 A (NIPPON YUSOKI CO., LTD.) 2010年 8月 5日 (2010 - 08 - 05) 全文	1-10																		
A	JP 2010022096 A (FUJI ELECTRIC SYSTEMS CO., LTD.) 2010年 1月 28日 (2010 - 01 - 28) 全文	1-10																		
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																			
2019年 11月 27日	2019年 12月 9日																			
ISA/CN的名称和邮寄地址	授权官员																			
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	查洁立																			
传真号 (86-10)62019451	电话号码 86-(10)-53961488																			

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/105160

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103427745	A	2013年 12月 4日	JP	2013243876	A	2013年 12月 5日
CN	103931098	A	2014年 7月 16日	US	2014247003	A1	2014年 9月 4日
				JP	5156149	B1	2013年 3月 6日
				WO	2013108374	A1	2013年 7月 25日
CN	1825750	A	2006年 8月 30日	JP	2006238605	A	2006年 9月 7日
				US	2006192521	A1	2006年 8月 31日
JP	2010172125	A	2010年 8月 5日	无			
JP	2010022096	A	2010年 1月 28日	无			