



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107078674 B

(45)授权公告日 2019.09.17

(21)申请号 201680003392.4

(22)申请日 2016.01.26

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107078674 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(30)优先权数据  
2015-014722 2015.01.28 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.04.26

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2016/052161 2016.01.26

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02016/121751 JA 2016.08.04

(73)专利权人 株式会社东芝  
地址 日本东京

(72)发明人 谷口峻 结城和明 铃木健太郎  
茂田智秋

(74)专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327

代理人 温剑 陈英俊

(51)Int.Cl.  
H02P 21/24(2016.01)  
H02P 21/18(2016.01)  
H02P 25/089(2016.01)  
H02P 27/04(2016.01)

(56)对比文件  
JP 2010136586 A, 2010.06.17,  
JP 2009261103 A, 2009.11.05,  
US 2011175558 A1, 2011.07.21,  
CN 1522487 A, 2004.08.18,  
US 2013049656 A1, 2013.02.28,  
JP 2000037099 A, 2000.02.02,  
CN 1392664 A, 2003.01.22,

审查员 贺晓燕

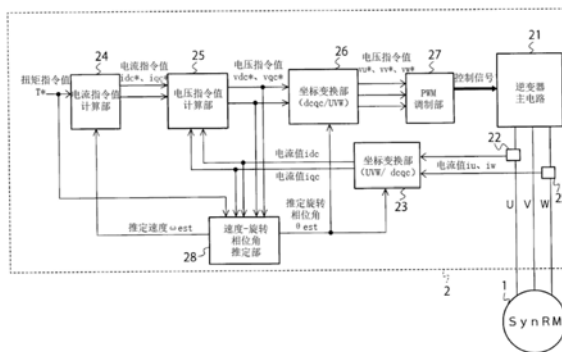
权利要求书2页 说明书12页 附图13页

(54)发明名称

逆变器控制装置以及电机驱动系统

(57)摘要

本发明提供一种逆变器控制装置以及驱动系统,其能够高精度地推定高速且低负载的状态下的电机的旋转相位角。一个实施方式所涉及的逆变器控制装置具备逆变器主电路、电流检测器、电流指令值计算部、电压指令值计算部以及推定部。逆变器主电路能够与规定的旋转驱动对象电连接。电流检测器检测从逆变器主电路输出的电流值。电流指令值计算部计算出使从逆变器主电路输出的输出电压大于等于规定的目标值的电流指令值。电压指令值计算部计算出使电流值等于电流指令值的电压指令值。推定部根据电压指令值以及电流值,计算出旋转驱动对象的推定旋转相位角。



1. 一种逆变器控制装置,具备:  
逆变器主电路,驱动旋转对象;  
电流检测器,检测从所述逆变器主电路输出的电流值;  
电流指令值计算部,计算出使在所述旋转对象中由从所述逆变器主电路输出的电流产生的感应电压大于等于规定值的电流指令值;  
电压指令值计算部,以使所述电流值等于所述电流指令值的方式计算出电压指令值;  
以及  
推定部,根据所述电压指令值以及所述电流值,计算出所述旋转对象的推定旋转相位角,  
所述电流指令值计算部分别根据扭矩指令值计算出第一电流指令值,根据所述扭矩指令值以及推定速度计算出第二电流指令值,并且判定与所述第一电流指令值相应的输出电压是否低于所述规定值,根据该判定的判定结果选择所述第一电流指令值以及所述第二电流指令值中的一者,并作为所述电流指令值输出。
2. 根据权利要求1所述的逆变器控制装置,其特征在于,  
所述电流指令值计算部在与所述第一电流指令值相应的输出电压大于等于所述规定值时,作为所述电流指令值输出所述第一电流指令值,在与所述第一电流指令值相应的输出电压低于所述规定值时,作为所述电流指令值输出所述第二电流指令值。
3. 根据权利要求2所述的逆变器控制装置,其特征在于,  
与所述第二电流指令值相应的输出电压为所述规定值。
4. 根据权利要求1所述的逆变器控制装置,其特征在于,  
所述电流指令值计算部分别根据扭矩指令值计算出第一电流指令值,根据所述扭矩指令值以及推定速度计算出第二电流指令值,并且输出所述第一电流指令值以及所述第二电流指令值中电流相位角靠近q轴的一者,以作为所述电流指令值。
5. 根据权利要求1所述的逆变器控制装置,其特征在于,  
所述电流指令值计算部通过比较所述第一电流指令值的d轴成分与所述第二电流指令值的d轴成分,从而进行所述判定。
6. 根据权利要求1所述的逆变器控制装置,其特征在于,  
所述电流指令值计算部在输出电压低于所述规定值时,根据输出电压与所述规定值之间的误差计算出修正值,并在所述电流指令值上加上所述修正值。
7. 根据权利要求1至6中任一项所述的逆变器控制装置,其特征在于,  
进一步具备扭矩指令值计算部,所述扭矩指令值计算部根据速度指令值以及推定速度计算出所述扭矩指令值。
8. 根据权利要求1所述的逆变器控制装置,其特征在于,  
所述电流指令值计算部具备下限限幅器,所述下限限幅器对所述电流指令值的下限进行限制。
9. 根据权利要求8所述的逆变器控制装置,其特征在于,  
所述下限限幅器被设定为,使最低速度时的输出电压为所述规定值。
10. 一种电机驱动系统,具备:  
电机;

逆变器主电路,驱动所述电机;

电流检测器,检测从所述逆变器主电路输出的电流值;

电流指令值计算部,计算出使在所述电机中由从所述逆变器主电路输出的电流产生的感应电压大于等于规定值的电流指令值;

电压指令值计算部,以使所述电流值等于所述电流指令值的方式计算出电压指令值;  
以及

推定部,根据所述电压指令值以及所述电流值,计算出所述电机的推定旋转相位角,

所述电流指令值计算部分别根据扭矩指令值计算出第一电流指令值,根据所述扭矩指令值以及推定速度计算出第二电流指令值,并且判定与所述第一电流指令值相应的输出电压是否低于所述规定值,根据该判定的判定结果选择所述第一电流指令值以及所述第二电流指令值中的一者,并作为所述电流指令值输出。

## 逆变器控制装置以及电机驱动系统

### 技术领域

[0001] 本发明的实施方式涉及逆变器控制装置以及电机驱动系统。

### 背景技术

[0002] 以往,在永磁同步电机(PMSM)和同步磁阻电机(SynRM)的无旋转相位角传感器控制装置中,使用了在高速区域中利用感应电压的旋转相位角的推定方法。然而,在SynRM和磁铁磁通较小的PMSM中,即使是高速区域,在低负载的状态下感应电压也较小,因此存在旋转相位角的推定精度不良的问题。

[0003] 在先技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2003-250293号公报

[0006] 专利文献2:日本特开2006-74902号公报

### 发明内容

[0007] 发明所要解决的技术问题

[0008] 本发明提供一种逆变器控制装置以及电机驱动系统,其能够高精度地推定高速且低负载的状态下的电机的旋转相位角。

[0009] 用于解决技术问题的方案

[0010] 一个实施方式所涉及的逆变器控制装置具备逆变器主电路、电流检测器、电流指令值计算部、电压指令值计算部以及推定部。逆变器主电路能够与规定的旋转驱动对象电连接。电流检测器检测从逆变器主电路输出的电流值。电流指令值计算部计算出使从逆变器主电路输出的输出电压大于等于规定的目标值的电流指令值。电压指令值计算部计算出使电流值等于电流指令值的电压指令值。推定部根据电压指令值以及电流值,计算出旋转驱动对象的推定旋转相位角。

### 附图说明

[0011] 图1是示出第一实施方式所涉及的电机驱动系统的结构的图。

[0012] 图2是说明三相固定坐标系以及dq轴旋转坐标系的图。

[0013] 图3是示出图1的速度-旋转相位角推定部的结构的图。

[0014] 图4是示出图1的电流指令值计算部的结构的图。

[0015] 图5是说明电流指令值的计算方法的图。

[0016] 图6是示出图1的控制装置的扭矩指令值 $T^*$ 与输出电压之间的关系图。

[0017] 图7是示出电流指令值计算部的变形例1的结构的图。

[0018] 图8是示出电流指令值计算部的变形例2的结构的图。

[0019] 图9是说明变形例2中的电流指令值的计算方法的图。

[0020] 图10是说明变形例2中的电流指令值的计算方法的图。

- [0021] 图11是示出电流指令值计算部的变形例3的结构图。
- [0022] 图12是示出修正部的结构图。
- [0023] 图13是示出电流指令值计算部的变形例4的结构图。
- [0024] 图14是示出第二实施方式所涉及的电机驱动系统的结构图。
- [0025] 图15是示出图14的扭矩指令值计算部的结构图。
- [0026] 图16是示出图14的电流指令值计算部的结构图。

### 具体实施方式

[0027] 下面,参照附图,对本发明的实施方式进行说明。

[0028] (第一实施方式)

[0029] 参照图1至图13,对第一实施方式所涉及的电机驱动系统(以下称为“系统”)进行说明。图1是示出本实施方式所涉及的系统的结构图。如图1所示,本实施方式所涉及的系统具备电机1和逆变器控制装置2。

[0030] 电机1是控制装置2的旋转驱动对象,连接于控制装置2。下面,以电机1为同步磁阻电机(以下称为“SynRM1”)的情况为例进行说明。SynRM1具备定子和转子。定子具有三个励磁相(U相、V相以及W相)。定子通过流向各励磁相的三相交流电流产生磁场。转子不具有永磁体。转子通过与定子产生的磁场之间的磁相互作用而旋转。

[0031] 逆变器控制装置2(以下称为“控制装置2”)以无传感器的方式控制SynRM1的旋转相位角。如图1所示,本实施方式所涉及的控制装置2具备逆变器21、电流检测器22、坐标变换部23、电流指令值计算部24、电压指令值计算部25、坐标变换部26、PWM调制部27以及速度-旋转相位角推定部28。

[0032] 逆变器21是具备开关元件(晶体管)的电路。逆变器21通过切换开关元件的通/断,从而将来自电源(省略图示)的电力转换为交流,并供给至SynRM1。逆变器21从PWM调制部22被输入控制各开关元件的通/断的控制信号。

[0033] 电流检测器22检测流向SynRM1的定子的三相交流电流中的、两相或者三相的电流值。图1示出了检测两相(U相以及W相)的电流值 $i_u$ 、 $i_w$ 的结构。

[0034] 坐标变换部23将电流检测器22检测出的电流值 $i_u$ 、 $i_w$ 从三相固定坐标系变换到dcqc轴旋转坐标系。在此,参照图2,对三相固定坐标系以及dcqc轴旋转坐标系进行说明。

[0035] 如图2所示,三相固定坐标系是由 $\alpha$ 轴和 $\beta$ 轴构成的固定坐标系。在图2中, $\alpha$ 轴设定为U相方向, $\beta$ 轴设定为与 $\alpha$ 轴垂直的方向。由电流检测器22检测出的电流值 $i_u$ 、 $i_w$ 表示在这种三相固定坐标上。

[0036] 与此相对地,dcqc轴旋转坐标系是由dc轴和qc轴构成的旋转坐标系。dc轴设定成由控制装置2推定为d轴方向(转子的电感最小的方向)的方向,qc轴设定成由控制装置2推定为q轴方向(转子的电感最大的方向)的方向。图2的电感椭圆表示转子的电感。

[0037] 如图2所示,dcqc轴和dq轴未必一定一致。用从 $\alpha$ 轴到 $\beta$ 轴的角度表示转子实际的旋转相位角 $\theta$ 。另外,用从 $\alpha$ 轴到dc轴的角度表示控制装置2推定出的转子的推定旋转相位角 $\theta_{est}$ 。旋转相位角 $\theta$ 与推定旋转相位角 $\theta_{est}$ 的角度越接近,意味着旋转相位角的推定精度越高。

[0038] 坐标变换部23通过使用速度旋转相位角推定部28输出的推定旋转相位角 $\theta_{est}$ ,能

够将三相固定坐标系变换为dcqc轴旋转坐标系。下面,将由坐标变换部23进行了坐标变换的电流值 $i_u$ 、 $i_w$ 称为电流值 $i_{dc}$ 、 $i_{qc}$ 。电流值 $i_{dc}$ 为流向定子的电流的dc轴成分,电流值 $i_{qc}$ 为流向定子的电流的qc轴成分。

[0039] 电流指令值计算部24根据扭矩指令值 $T^*$ 以及推定速度 $\omega_{est}$ ,计算出电流指令值 $i_{dc}^*$ 、 $i_{qc}^*$ 。扭矩指令值 $T^*$ 是指要使转子产生的扭矩值。在本实施方式中,扭矩指令值 $T^*$ 是从外部装置输入的值。推定速度 $\omega_{est}$ 是指控制装置2推定出的转子的角速度。电流指令值 $i_{dc}^*$ 是指流向SynRM1的电流的dc轴成分。电流指令值 $i_{qc}^*$ 是指流向SynRM1的电流的qc轴成分。关于电流指令值计算部24的细节,将在后面进行说明。

[0040] 电压指令值计算部25(电流控制部)计算出使SynRM1的电流值 $i_{dc}$ 、 $i_{qc}$ 等于电流指令值 $i_{dc}^*$ 、 $i_{qc}^*$ 的电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ 。电压指令值 $v_{dc}^*$ 为施加到SynRM1的定子上的电压的dc轴成分。电压指令值 $v_{qc}^*$ 为施加到SynRM1的定子上的电压的qc轴成分。

[0041] 坐标变换部26将电压指令计算部25输出的电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ 从dcqc轴旋转坐标系变换到三相固定坐标系。坐标变换部26与坐标变换部23同样地,通过使用推定旋转相位角 $\theta_{est}$ ,能够将dcqc轴旋转坐标系变换为三相固定坐标系。下面,将由坐标变换部26进行了坐标变换的电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ 称为电压指令值 $v_u^*$ 、 $v_v^*$ 、 $v_w^*$ 。电压指令值 $v_u^*$ 为施加到定子的U相上的电压,电压指令值 $v_v^*$ 为施加到定子的V相上的电压,电压指令值 $v_w^*$ 为施加到定子的W相上的电压。

[0042] PWM调制部27通过使用了三角波的PWM(Pulse-Width Modulation:脉冲宽度调制)对电压指令值 $v_u^*$ 、 $v_v^*$ 、 $v_w^*$ 进行调制,生成与逆变器21的各开关元件的通或者断相对应的二值的控制信号。PWM调制部27将生成的控制信号输入到逆变器21。

[0043] 速度-旋转相位角推定部28(以下称为“推定部28”)根据扭矩指令值 $T^*$ 、电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ 以及电流值 $i_{dc}$ 、 $i_{qc}$ ,推定SynRM1的转子的速度 $\omega$ 以及旋转相位角 $\theta$ ,并计算出推定速度 $\omega_{est}$ 以及推定旋转相位角 $\theta_{est}$ 。

[0044] 图3是示出推定部28的结构图。如图3所示,推定部28具备相位差 $\delta$ 设定部31、 $\gamma$ 电压计算部32、 $\gamma$ 电压推定部33、减法器34、PI控制器35以及积分器36。

[0045] 相位差 $\delta$ 设定部31从预先存储的多个相位差 $\delta$ 中输出与扭矩指令值 $T^*$ 相应的相位差 $\delta$ 。相位差 $\delta$ 是指,基于旋转相位角 $\theta$ 与推定旋转相位角 $\theta_{est}$ 之间的误差 $\Delta\theta$ 的影响的、电压的变化最大的相位差的值或者范围。以扭矩值为单位预先以解析或者实验的方式计算出多个相位差 $\delta$ ,并存储到相位差 $\delta$ 设定部31中。

[0046]  $\gamma$ 电压计算部32根据电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ 和相位差 $\delta$ 设定部31设定(输出)的相位差 $\delta$ ,计算出 $\gamma$ 电压的电压值 $v_\gamma$ 。 $\gamma$ 电压是指根据误差 $\Delta\theta$ 发生变化的特征量。电压值 $v_\gamma$ 例如通过下式计算。

[0047] [数学式1]

$$v_\gamma = v_{dc}^* \cos(\delta) + v_{qc}^* \sin(\delta) \cdots (1)$$

[0049]  $\gamma$ 电压计算部32计算出的电压值 $v_\gamma$ 被输入到减法器34。

[0050]  $\gamma$ 电压推定部33根据电压值 $v_{dcest}$ 、 $v_{qcest}$ 和相位差 $\delta$ 设定部31设定(输出)的相位差 $\delta$ ,计算出 $\gamma$ 电压的推定电压值 $v_{\gamma est}$ 。

[0051] 首先, $\gamma$ 电压推定部33根据电流值 $i_{dc}$ 、 $i_{qc}$ 和推定速度 $\omega_{est}$ ,计算出电压值 $v_{dcest}$ 、 $v_{qcest}$ 。电压值 $v_{dcest}$ 为施加到SynRM1的定子上的电压的dc轴成分的推定值。电压

值 $v_{qcest}$ 为施加到SynRM1的定子上的电压的qc轴成分的推定值。电压值 $v_{dcest}$ 、 $v_{qcest}$ 通过下式计算。

[0052] [数学式2]

$$[0053] \begin{bmatrix} v_{dcest} \\ v_{qcest} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_m + pL_d & -\omega_{est}L_q \\ \omega_{est}L_d & R_m + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dc} \\ i_{qc} \end{bmatrix} \dots (2)$$

[0054] 在式(2)中, $R_m$ 为定子的绕线电阻, $L_d$ 为d轴方向的电感, $L_q$ 为q轴方向的电感, $p$ 为微分算子(d/dt)。 $\gamma$ 电压推定部33预先存储这些值。

[0055] 接下来, $\gamma$ 电压推定部33根据电压值 $v_{dcest}$ 、 $v_{qcest}$ 和相位差 $\delta$ ,计算出 $\gamma$ 电压的推定电压值 $v_{\gamma est}$ 。推定电压值 $v_{\gamma est}$ 例如通过下式计算。

[0056] [数学式3]

$$[0057] v_{\gamma est} = v_{dcest} \cos(\delta) + v_{qcest} \sin(\delta) \dots (3)$$

[0058]  $\gamma$ 电压推定部33计算出的推定电压值 $v_{\gamma est}$ 被输入到减法器34。

[0059] 减法器34从推定电压值 $v_{\gamma est}$ 中减去电压值 $v_{\gamma}$ ,计算出 $\gamma$ 电压的误差 $\Delta v_{\gamma}$ 。由于 $\gamma$ 电压根据误差 $\Delta \theta$ 而发生变化,因此误差 $\Delta v_{\gamma}$ 与误差 $\Delta \theta$ 成比例。减法器34计算出的误差 $\Delta v_{\gamma}$ 被输入到PI控制器35。

[0060] 此外,通过式(1)计算出 $\gamma$ 电压,能够提高误差 $\Delta v_{\gamma}$ 相对于误差 $\Delta \theta$ 的线性度。即、能够扩大误差 $\Delta v_{\gamma}$ 与误差 $\Delta \theta$ 成比例的误差 $\Delta \theta$ 的范围。

[0061] PI控制器35以使误差 $\Delta v_{\gamma}$ 变为0的方式进行PI控制,从而推定转子的速度 $\omega$ ,并计算出推定速度 $\omega_{est}$ 。PI控制器35计算出的推定速度 $\omega_{est}$ 被逐次反馈给 $\gamma$ 电压推定部33,并被输入到积分器36。

[0062] 积分器36对PI控制器35计算出的推定速度 $\omega_{est}$ 进行积分,计算出推定旋转相位角 $\theta_{est}$ 。

[0063] 通过如上的结构,推定部28能够计算出推定速度 $\omega_{est}$ 以及推定旋转相位角 $\theta_{est}$ 。推定部28计算出的推定速度 $\omega_{est}$ 被输入到电流指令值计算部24。另外,推定旋转相位角 $\theta_{est}$ 被输入到坐标变换部23、26,并被用于坐标变换。

[0064] 此外,推定部28推定速度 $\omega$ 以及旋转相位角 $\theta$ 的推定方法并不局限于此,能够从已知的推定方法中任意选择。例如,推定部28可以通过利用由交链磁通产生的电压的其他方法来推定旋转相位角 $\theta$ ,也可以使用交链磁通本身来推定旋转相位角 $\theta$ ,还可以通过以使电流值的q轴成分的偏差变为0的方式进行PI控制,从而推定旋转相位角 $\theta$ 。

[0065] 在此,对电流指令值计算部24进行详细说明。本实施方式所涉及的电流指令值计算部24以使SynRM1的输出电压大于等于规定的目标值 $V_{SET}$ 的方式,计算出电流指令值。目标值 $V_{SET}$ ,是作为能够高精度地推定速度 $\omega$ 以及旋转相位角 $\theta$ 的输出电压而预先以实验或者解析的方式求得的电压值。

[0066] 在此,图4是示出电流指令值计算部24的结构图。如图4所示,电流指令值计算部24具备第一计算部41、第二计算部42以及选择部43。

[0067] 第一计算部41根据扭矩指令值 $T^*$ 生成第一电流指令值 $i_{d1}^*$ 、 $i_{q1}^*$ 。第一电流指令值 $i_{d1}^*$ 是指流向SynRM1的电流的dc轴成分。第一电流指令值 $i_{q1}^*$ 是指流向SynRM1的电流的qc轴成分。第一计算部41以使SynRM1的扭矩变为扭矩指令值 $T^*$ 的方式,计算出第一电流指

令值 $id1^*$ 、 $iq1^*$ 。

[0068] 图5是说明电流指令值的计算方法的图。在图5中,横轴为 $idc$ ,纵轴为 $iqc$ ,箭头51为第一电流矢量,箭头52为第二电流矢量,曲线53为扭矩指令值 $T^*$ 的等扭矩曲线,曲线54为目标值 $V_{SET}$ 的等电压椭圆。

[0069] 第一电流矢量51为与第一电流指令值 $id1^*$ 、 $iq1^*$ 相对应的矢量。在上述说明中,虽然用 $(id1^*, iq1^*)$ 的二值方式表示了第一电流指令值,但是也能够用电流的大小 $(id1^{*2} + iq1^{*2})^{1/2}$ 和电流相位角 $\beta_1$ 表示。这些表示方式能够相互变换。从图5的平面上选择任意的点,与计算(选择)第一电流指令值相对应。

[0070] 如图5所示,第一计算部41选择扭矩指令值 $T^*$ 的等扭矩曲线53上的任意的点作为第一电流指令值。第一计算部41能够采用与希望通过控制装置2实现的控制相应的任意方法,从等扭矩曲线53上选择第一电流指令值。

[0071] 例如,第一计算部41以使流向定子的电流的大小(第一电流矢量的大小)变为最小的方式,选择第一电流指令值。在这种情况下,第一计算部41既可以无视磁饱和而选择使电流相位角 $\beta_1$ 变为135度的第一电流指令值,也可以考虑磁饱和而选择使电流相位角 $\beta_1$ 变为大于135度的角度的第一电流指令值。另外,第一计算部41还可以以使SynRM1的效率和功率因数变为最大的方式,选择第一电流指令值。

[0072] 第一计算部41既可以参照存储有每个扭矩值的第一电流指令值的数据表来选择如上所述的第一电流指令值,也可以通过计算求得。由第一计算部41计算出的第一电流指令值被输入到选择部43。

[0073] 第二计算部42根据扭矩指令值 $T^*$ 以及推定速度 $\omega_{est}$ ,计算出第二电流指令值 $id2^*$ 、 $iq2^*$ 。第二电流指令值 $id2^*$ 是指流向SynRM1的电流的dc轴成分。电流指令值 $iq2^*$ 是指流向SynRM1的电流的qc轴成分。第二计算部42以使SynRM1的扭矩变为扭矩指令值 $T^*$ 、并且SynRM1的输出电压变为目标值 $V_{SET}$ 的方式,计算出第二电流指令值 $id2^*$ 、 $iq2^*$ 。

[0074] 图5的第二电流矢量52为与第二电流指令值 $id2^*$ 、 $iq2^*$ 相对应的矢量。在上述说明中,虽然用 $(id2^*, iq2^*)$ 的二值方式表示了第二电流指令值,但是也能够用电流的大小 $(id2^{*2} + iq2^{*2})^{1/2}$ 和电流相位角 $\beta_2$ 表示。这些表示方式能够相互变换。从图5的平面上选择任意的点,与计算(选择)第二电流指令值相对应。

[0075] 如图5所示,第二计算部42选择扭矩指令值 $T^*$ 的等扭矩曲线53与目标值 $V_{SET}$ 的等电压椭圆54的交点中的任意一个交点作为第二电流指令值。如图5所示,在存在两个交点A、B的情况下,第二计算部42优选选择交点A。

[0076] 交点A是指两个交点中的 $iqc$ 轴侧(q轴侧)的交点。一般而言,由于等电压椭圆54在d轴方向上宽而在q轴方向上窄,因此,与选择d轴侧的交点B相比,当选择q轴侧的交点A时,流向定子的电流的大小(第二电流矢量的大小)会变小。因此,通过第二计算部42选择交点A,能够使控制装置2省电。下面,假设第二电流指令值为交点A。

[0077] 此外,第二计算部42既可以参照存储有每个扭矩值的第二电流指令值的数据表来选择如上所述的第二电流指令值,也可以通过求解下式求得。

[0078] [数学式4]

$$[0079] \quad V_{SET} = \omega_{est} \sqrt{L_q^2 i_{q2}^2 + L_d^2 i_{d2}^2} \cdots (4)$$



[0080] 由第二计算部42计算出的第二电流指令值被输入到选择部43。

[0081] 选择部43输出第一电流指令值 $i_{d1}^*$ 、 $i_{q1}^*$ 或者第二电流指令值 $i_{d2}^*$ 、 $i_{q2}^*$ ，以作为电流指令值 $i_{dc}^*$ 、 $i_{qc}^*$ 。首先，选择部43判断与第一电流指令值 $i_{d1}^*$ 、 $i_{q1}^*$ 相应的输出电压 $V_1$ 是否低于目标值 $V_{SET}$ 。输出电压 $V_1$ 是指作为电流指令值而输出了第一电流指令值的情况下的SynRM1的输出电压。关于判定方法，将在后面进行说明。

[0082] 接下来，选择部43根据判定结果选择第一电流指令值 $i_{d1}^*$ 、 $i_{q1}^*$ 以及第二电流指令值 $i_{d2}^*$ 、 $i_{q2}^*$ 中的一者，并作为电流指令值 $i_{dc}^*$ 、 $i_{qc}^*$ 输出。

[0083] 在输出电压 $V_1$ 低于目标值 $V_{SET}$ 的情况下 ( $V_1 < V_{SET}$ )，选择部43选择第二电流指令值 $i_{d2}^*$ 、 $i_{q2}^*$ 作为电流指令值 $i_{dc}^*$ 、 $i_{qc}^*$ 。如图5所示，输出电压 $V_1$ 低于目标值 $V_{SET}$ 的情况是指第一电流指令值包含在等电压椭圆54中的情况。

[0084] 此时，第二电流指令值比第一电流指令值更靠近 $i_{qc}$ 轴(q轴)。即、第二电流指令值的电流相位角 $\beta_2$ 比第一电流指令值的电流相位角 $\beta_1$ 更位于 $i_{qc}$ 轴(q轴)侧。另外，第二电流指令值的q轴成分 $i_{q2}^*$ 比第一电流指令值的q轴成分 $i_{q1}^*$ 大，第二电流指令值的d轴成分 $i_{d2}^*$ 比第一电流指令值的d轴成分 $i_{d1}^*$ 小。

[0085] 另一方面，在输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 的情况下 ( $V_1 \geq V_{SET}$ )，选择部43选择第一电流指令值 $i_{d1}^*$ 、 $i_{q1}^*$ 为电流指令值 $i_{dc}^*$ 、 $i_{qc}^*$ 。输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 的情况是指第二电流指令值位于等电压椭圆54上或者等电压椭圆54的外侧的情况。

[0086] 此时，第一电流指令值比第二电流指令值更靠近 $i_{qc}$ 轴(q轴)。即、第一电流指令值的电流相位角 $\beta_1$ 比第二电流指令值的电流相位角 $\beta_2$ 更位于 $i_{qc}$ 轴(q轴)侧。另外，第一电流指令值的q轴成分 $i_{q1}^*$ 比第二电流指令值的q轴成分 $i_{q2}^*$ 大，第一电流指令值的d轴成分 $i_{d1}^*$ 比第二电流指令值的d轴成分 $i_{d2}^*$ 小。

[0087] 选择部43输出选择出的第一电流指令值或者第二电流指令值，以作为电流指令值。由选择部43输出的电流指令值被输入到电压指令计算部25。

[0088] 接下来，对选择部43判定输出电压 $V_1$ 是否低于目标值 $V_{SET}$ 的判定方法进行说明。

[0089] 选择部43例如通过取得输出电压 $V_1$ 并与目标值 $V_{SET}$ 进行比较，从而进行判定。选择部43既可以参照存储有每个第一电流指令值的输出电压的数据表来选择输出电压 $V_1$ ，也可以通过下式计算。

[0090] [数学式5]

$$[0091] \quad V_1 = \omega_{est} \sqrt{L_q^2 i_{q1}^2 + L_d^2 i_{d1}^2} \cdots (5)$$

[0092] 另外，选择部43可以通过比较第一电流指令值的电流相位角 $\beta_1$ 与第二电流指令值的电流相位角 $\beta_2$ ，从而进行判定。选择部43在电流相位角 $\beta_2$ 比电流相位角 $\beta_1$ 更位于q轴侧的情况下，判定为输出电压 $V_1$ 低于目标值 $V_{SET}$ 。

[0093] 进一步，选择部43可以通过比较第一电流指令值的q轴成分 $i_{q1}^*$ 与第二电流指令值的q轴成分 $i_{q2}^*$ ，从而进行判定。选择部43在q轴成分 $i_{q1}^*$ 比q轴成分 $i_{q2}^*$ 小的情况下，判定为输出电压 $V_1$ 低于目标值 $V_{SET}$ 。

[0094] 另外，进一步，选择部43可以通过比较第一电流指令值的d轴成分 $i_{d1}^*$ 与第二电流指令值的d轴成分 $i_{d2}^*$ ，从而进行判定。选择部43在d轴成分 $i_{d1}^*$ 比d轴成分 $i_{d2}^*$ 大的情况下，判定为输出电压 $V_1$ 低于目标值 $V_{SET}$ 。

[0095] 如图6中实线所示,通过电流指令值计算部24这样计算出电流指令值 $i_{dc}^*$ 、 $i_{qc}^*$ ,能够相对于任意的扭矩指令值 $T^*$ 使SynRM1的输出电压大于等于目标值 $V_{SET}$ 。

[0096] 在以往的控制装置中,如图6中虚线所示,即使SynRM1在高速区域中动作,在扭矩指令值 $T^*$ 较小的低负载的状态下,SynRM1的输出电压(感应电压)也会变小。因此,难以利用感应电压高精度地推定速度 $\omega$ 和旋转相位角 $\theta$ 。

[0097] 然而,本实施方式所涉及的控制装置2即使在低负载的情况下,也能够使输出电压大于等于目标值 $V_{SET}$ ,因此,能够根据SynRM1的输出电压高精度地推定SynRM1的速度 $\omega$ 和旋转相位角 $\theta$ 。

[0098] 此外,在上述说明中,虽然对控制装置2控制SynRM1的动作的情况进行了说明,但是该控制装置2也能够用作磁铁磁通较小的PMSM的控制装置。磁铁磁通较小的PMSM与SynRM1同样地,低负载时的感应电压较小。通过将本实施方式所涉及的控制装置2应用于这种PMSM,能够提高PMSM的速度 $\omega$ 和旋转相位角 $\theta$ 在低负载时的推定精度。

[0099] (第一实施方式的变形例1)

[0100] 参照图7,对本实施方式所涉及的电流指令值计算部24的变形例1进行说明。图7是示出电流指令值计算部24的变形例1的结构的图。如图7所示,第二计算部42具备q轴成分计算部44和d轴成分计算部45。电流指令值计算部24的其他结构与图4相同。

[0101] q轴成分计算部44根据推定速度 $\omega_{est}$ 计算出第二电流指令值的q轴成分 $i_{q2}^*$ 。具体而言,q轴成分计算部44以使电流值 $i_{q2}^*$ 与推定速度 $\omega_{est}$ 成反比的方式,计算出q轴成分 $i_{q2}^*$ 。q轴成分 $i_{q2}^*$ 例如通过下式计算。

[0102] [数学式6]

$$[0103] \quad i_{q2}^* = \frac{V_{SET}}{\omega_{est} L_q} \cdot \cdot \cdot (6)$$

[0104] d轴成分计算部45根据扭矩指令值 $T^*$ 以及q轴成分 $i_{q2}^*$ ,计算出第二电流指令值的d轴成分 $i_{d2}^*$ 。d轴成分 $i_{d2}^*$ 例如通过下式计算。

[0105] [数学式7]

$$[0106] \quad i_{d2}^* = \frac{(L_d - L_q) T^*}{i_{q2}^*} \cdot \cdot \cdot (7)$$

[0107] 通过这样的结构,控制装置2能够使低负载时的输出电压大于等于目标值 $V_{SET}$ 。另外,能够抑制高速区域中的电流损耗。

[0108] (第一实施方式的变形例2)

[0109] 参照图8至图10,对本实施方式所涉及的电流指令值计算部24的变形例2进行说明。图8是示出电流指令值计算部24的变形例2的结构的图。如图8所示,该电流指令值计算部24根据扭矩指令值 $T^*$ 以及推定速度 $\omega_{est}$ ,计算出电流指令值 $i_{qc}^*$ 、 $i_{dc}^*$ 。

[0110] 在本变形例中,如图9所示,电流指令值计算部24以使电流指令值的q轴成分 $i_{qc}^*$ 大于等于规定的目标值 $I_{qSET}$ 的方式,计算出q轴成分 $i_{qc}^*$ 。另外,如图10所示,电流指令值计算部24以使推定速度 $\omega_{est}$ 越大目标值 $I_{qSET}$ 越小的方式,生成q轴成分 $i_{qc}^*$ 。

[0111] 通过这样的结构,能够使低负载时的电机输出电压大于等于目标值 $V_{SET}$ 。另外,能

够抑制高速区域中的电流损耗。

[0112] (第一实施方式的变形例3)

[0113] 参照图11以及图12,对本实施方式所涉及的电流指令值计算部24的变形例3进行说明。上述说明的电流指令值计算部24通过从两个电流指令值中选择一个,从而计算出使输出电压大于等于目标值 $V_{SET}$ 的电流指令值。与此相对地,在本变形例中,通过修正一个电流指令值,从而计算出使输出电压大于等于目标值 $V_{SET}$ 的电流指令值。

[0114] 图11是示出电流指令值计算部24的变形例3的结构图。如图11所示,电流指令值计算部24具备q轴成分计算部46、修正部47、加法器48以及d轴成分计算部49。

[0115] q轴成分计算部46根据扭矩指令值 $T^*$ ,计算出电流指令值 $i_{q3}^*$ 。电流指令值 $i_{q3}^*$ 是电流指令值的q轴成分的修正前的值。本变形例中的电流指令值计算部24通过修正电流指令值 $i_{q3}^*$ 来计算电流指令值的q轴成分。采用与希望通过控制装置实现的控制相应的任意方法,以使SynRM1的扭矩变为扭矩指令值 $T^*$ 的方式,计算出电流指令值 $i_{q3}^*$ 。

[0116] 例如,q轴成分计算部46以使流向定子的电流的大小变为最小的方式,计算出电流指令值 $i_{q3}^*$ 。在这种情况下,q轴成分计算部46既可以无视磁饱和而计算出使电流相位角 $\beta$ 变为135度的电流指令值 $i_{q3}^*$ ,也可以考虑磁饱和而计算出使电流相位角 $\beta$ 变为大于135度的角度的电流指令值 $i_{q3}^*$ 。另外,q轴成分计算部46还可以以使SynRM1的效率和功率因数变为最大的方式,计算出电流指令值 $i_{q3}^*$ 。

[0117] q轴成分计算部46计算出的电流指令值 $i_{q3}^*$ 被输入到加法器48。

[0118] 修正部47从电压指令值计算部25被输入电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ 。修正部47根据电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ ,计算出修正值 $\Delta i_{q}^*$ 。修正值 $\Delta i_{q}^*$ 是用于修正电流指令值 $i_{q3}^*$ 以计算出电流指令值的q轴成分 $i_{qc}^*$ 的电流指令值。关于修正部47的细节,将在后面进行说明。修正部47计算出的修正值 $\Delta i_{q}^*$ 被输入到加法器48。

[0119] 加法器48在电流指令值 $i_{q3}^*$ 上加上修正值 $\Delta i_{q}^*$ ,计算出电流指令值 $i_{qc}^*$ 。加法器48计算出的电流指令值 $i_{qc}^*$ 被输入到d轴成分计算部49。

[0120] d轴成分计算部49根据扭矩指令值 $T^*$ 和电流指令值 $i_{qc}^*$ ,以使SynRM1的扭矩变为扭矩指令值 $T^*$ 的方式,计算出电流指令值的d轴成分 $i_{dc}^*$ 。d轴成分 $i_{dc}^*$ 例如通过下式计算。

[0121] [数学式8]

$$[0122] \quad i_{dc}^* = \frac{(L_d - L_q)T^*}{i_{qc}^*} \dots (8)$$

[0123] 在此,参照图12,对修正部47进行说明。图12是示出修正部47的结构图。如图12所示,修正部47具备输出电压计算部61、减法器62、限幅器63以及PI控制器64。

[0124] 输出电压计算部61被输入电压指令值计算部25计算出的电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ 。输出电压计算部61根据电压指令值 $v_{dc}^*$ 、 $v_{qc}^*$ ,计算出SynRM1的输出电压 $V_1$ 。输出电压 $V_1$ 例如通过下式计算。

[0125] [数学式9]

$$[0126] \quad V_1 = \sqrt{v_{dc}^{*2} + v_{qc}^{*2}} \dots (9)$$

[0127] 输出电压计算部61计算出的输出电压 $V_1$ 被输入到减法器62。

[0128] 减法器62从输出电压的目标值 $V_{SET}$ 中减去输出电压 $V_1$ ,计算出输出电压的误差 $\Delta V$ 。减法器62计算出的误差 $\Delta V$ 被输入到限幅器63。

[0129] 限幅器63将误差 $\Delta V$ 限制为0以上。即、仅输出0以上的误差 $\Delta V$ 。限幅器63输出的误差 $\Delta V$ 被输入到PI控制器64。

[0130] PI控制器64根据被限制为0以上的误差 $\Delta V$ 进行PI控制,并计算出使SynRM1的输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 的修正值 $\Delta i_{q*}$ 。PI控制器64计算出的修正值 $\Delta i_{q*}$ 被输入到加法器48。

[0131] 通过这样的结构,在与电流指令值相应的输出电压 $V_1$ 低于目标值 $V_{SET}$ 的情况下、即 $\Delta V$ 大于等于0的情况下,将修正值 $\Delta i_{q*}$ 作为补偿(offset)电流追加到电流指令值中,从而使输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 。由此,能够使低负载时的输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 。

[0132] (第一实施方式的变形例4)

[0133] 参照图16,对本实施方式所涉及的电流指令值计算部24的变形例4进行说明。在本变形例中,与变形例3同样地通过修正一个电流指令值来计算出使输出电压大于等于目标值 $V_{SET}$ 的电流指令值。在变形例3中,通过修正部47生成修正值 $\Delta i_{q*}$ ,并由加法器48在电流指令值 $i_{q3*}$ 上加上该修正值 $\Delta i_{q*}$ ,从而生成了电流指令值 $i_{qc*}$ 。与此相对地,在本变形例中,通过下限限幅器91对电流指令值 $i_{q3*}$ 的下限进行限制,从而生成电流指令值 $i_{qc*}$ 。

[0134] 如图9所示,下限限幅器91以使 $i_{qc*}$ 大于等于 $i_{qSET}$ 的方式,修正(限制) $i_{q3*}$ 。 $i_{qSET}$ 例如根据本实施方式所使用的最小速度 $\omega_{MIN}$ 和输出电压的目标值 $V_{SET}$ ,通过下式计算。

[0135] [数学式10]

$$[0136] \quad i_{qSET} = \frac{V_{SET}}{L_q \omega_{MIN}} \cdot \cdot \cdot (10)$$

[0137] 通过这样的结构,即使在低负载时,也能够使输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 。在本变形例中,相对于第一实施方式以及变形例1至3,通过仅追加下限限幅器91这一简单的结构,便能够使输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 。

[0138] (第二实施方式)

[0139] 接下来,参照图14至图16,对第二实施方式所涉及的控制装置2进行说明。图14是示出本实施方式所涉及的系统的结构的图。如图14所示,本实施方式所涉及的控制装置2进一步具备扭矩指令值计算部29。其他的结构与第一实施方式相同。

[0140] 扭矩指令值计算部(速度控制器)29根据速度指令值 $\omega^*$ 以及推定速度 $\omega_{est}$ ,计算出扭矩指令值 $T^*$ 。速度指令值 $\omega^*$ 是指使SynRM1的转子旋转的角速度。在本实施方式中,向电流指令值计算部24输入扭矩指令值计算部29计算出的扭矩指令值 $T^*$ 。此外,在本实施方式中,速度指令值 $\omega^*$ 为从外部装置输入的值。

[0141] 图15是示出扭矩指令值计算部29的结构的图。如图15所示,扭矩指令值计算部29具备减法器71和PI控制器72。

[0142] 减法器71被输入速度指令值 $\omega^*$ 和推定速度 $\omega_{est}$ 。减法器71从速度指令值 $\omega^*$ 中减去推定速度 $\omega_{est}$ ,计算出转子的角速度的误差 $\Delta \omega$ 。减法器71计算出的误差 $\Delta \omega$ 被输入到PI控制器72。

[0143] PI控制器72根据误差  $\Delta \omega$  进行PI控制,计算出使误差  $\Delta \omega$  变为0的扭矩指令值 $T^*$ 。PI控制器72计算出的扭矩指令值 $T^*$ 被输入到电流指令值计算部24。

[0144] 如上所述,电流指令值计算部24既可以设置成第一实施方式中说明的结构,也能够设置成其他结构。图16是示出电流指令值计算部24的其他结构的图。该电流指令值计算部24根据扭矩指令值 $T^*$ 以及相位角指令值 $\beta^*$ ,计算出电流指令值 $idc^*$ 、 $iqc^*$ 。

[0145] 如图16所示,该电流指令值计算部24具备输出电压计算部81、减法器82、限幅器83、PI控制器84、相位角指令值计算部85、减法器86以及电流指令值取得部87。

[0146] 输出电压计算部81被输入电压指令值计算部25计算出的电压指令值 $vdc^*$ 、 $vqc^*$ 。输出电压计算部81根据电压指令值 $vdc^*$ 、 $vqc^*$ ,计算出SynRM1的输出电压 $V_1$ 。输出电压计算部81计算出的输出电压 $V_1$ 被输入到减法器82。

[0147] 减法器82从输出电压的目标值 $V_{SET}$ 中减去输出电压 $V_1$ ,计算出输出电压的误差  $\Delta V$ 。减法器82计算出的误差  $\Delta V$ 被输入到限幅器83。

[0148] 限幅器83将误差  $\Delta V$ 限制为0以上。即、仅输出0以上的误差  $\Delta V$ 。限幅器83输出的误差  $\Delta V$ 被输入到PI控制器84。

[0149] PI控制器84根据被限制为0以上的误差  $\Delta V$ 进行PI控制,计算出使SynRM1的输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 的修正值  $\Delta \beta^*$ 。修正值  $\Delta \beta^*$ 是用于修正相位角指令值 $\beta_1^*$ 以计算出相位角指令值 $\beta^*$ 的相位角指令值。PI控制器84计算出的修正值  $\Delta \beta^*$ 被输入到减法器86。

[0150] 相位角指令值计算部85根据扭矩指令值 $T^*$ ,计算出相位角指令值 $\beta_1^*$ 。相位角指令值 $\beta_1^*$ 是相位角指令值 $\beta^*$ 的修正前的值。采用与希望通过控制装置实现的控制相应的任意方法,以使SynRM1的扭矩变为扭矩指令值 $T^*$ 的方式,计算出相位角指令值 $\beta_1^*$ 。

[0151] 例如,相位角指令值计算部85以使流向定子的电流的大小变为最小的方式,计算出相位角指令值 $\beta_1^*$ 。在这种情况下,相位角指令值计算部85既可以无视磁饱和而将相位角指令值 $\beta_1^*$ 设为135度,也可以考虑磁饱和而将相位角指令值 $\beta_1^*$ 设为大于135度的角度。另外,相位角指令值计算部85还可以以使SynRM1的效率和功率因数变为最大的方式,计算出相位角指令值 $\beta_1^*$ 。

[0152] 相位角指令值计算部85计算出的相位角指令值 $\beta_1^*$ 被输入到减法器86。

[0153] 减法器86从相位角指令值 $\beta_1^*$ 中减去修正值  $\Delta \beta^*$ ,计算出相位角指令值 $\beta^*$ 。减法器86计算出的相位角指令值 $\beta^*$ 被输入到电流指令值取得部87。

[0154] 电流指令值取得部87根据扭矩指令值 $T^*$ 以及相位角指令值 $\beta^*$ ,计算出电流指令值 $idc^*$ 、 $iqc^*$ 。具体而言,电流指令值取得部87只要取得扭矩指令值 $T^*$ 的等扭矩曲线上的、电流相位角变为相位角指令值 $\beta^*$ 的点的坐标即可。由电流指令值取得部87取得的电流指令值 $idc^*$ 、 $iqc^*$ 被输入到电压指令值计算部25。

[0155] 如上所述,图16的电流指令值计算部24以使输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 的方式,修正电流相位角。具体而言,以使电流指令值向q轴侧移动的方式,向延迟方向修正电流相位角。由此,能够使低负载时的输出电压 $V_1$ 大于等于目标值 $V_{SET}$ 。

[0156] 另外,本实施方式所涉及的控制装置2与第一实施方式相比,所要求的扭矩控制的精度较低。这是因为,本实施方式所涉及的控制装置2以使SynRM1的速度  $\omega$  变为速度指令值  $\omega^*$  的方式进行控制。

[0157] 因此,电流指令值计算部24能够计算出电流指令值,不使用用于准确地控制

SynRM1的扭矩的数据表(存储有每个电流指令值的输出电压的数据表等)。

[0158] 此外,本发明并不仅限于上述各实施方式本身,在实施阶段能够在不脱离其宗旨的范围内对构成要素进行变形加以具体化。另外,能够通过对上述各实施方式中公开的多个构成要素进行适当组合来形成各种发明。另外,例如也可以考虑从各实施方式示出的全部构成要素中删除若干个构成要素而得到的结构。进一步,也可以对记载于不同实施方式中的构成要素进行适当组合。

[0159] 附图标记说明

- [0160] 1:同步磁阻电机(SynRM)
- [0161] 2:逆变器控制装置
- [0162] 21:逆变器
- [0163] 22:电流检测器
- [0164] 23:坐标变换部
- [0165] 24:电流指令值计算部
- [0166] 25:电压指令值计算部
- [0167] 26:坐标变换部
- [0168] 27:PWM调制器
- [0169] 28:速度-旋转相位角推定部
- [0170] 29:扭矩指令值计算部
- [0171] 31:相位差 $\delta$ 设定部
- [0172] 32: $\gamma$ 电压计算部
- [0173] 33: $\gamma$ 电压推定部
- [0174] 34:减法器
- [0175] 35:PI控制器
- [0176] 36:积分器
- [0177] 41:第一计算部
- [0178] 42:第二计算部
- [0179] 43:选择部
- [0180] 44:q轴成分计算部
- [0181] 45:d轴成分计算部
- [0182] 46:q轴成分计算部
- [0183] 47:修正部
- [0184] 48:加法器
- [0185] 49:d轴成分计算部
- [0186] 51:第一电流矢量
- [0187] 52:第二电流矢量
- [0188] 53:等扭矩曲线
- [0189] 54:等电压椭圆
- [0190] 61:输出电压计算部
- [0191] 62:减法器

- [0192] 63:限幅器
- [0193] 64:PI控制器
- [0194] 71:减法器
- [0195] 72:PI控制器
- [0196] 81:输出电压计算部
- [0197] 82:减法器
- [0198] 83:限幅器
- [0199] 84:PI控制器
- [0200] 85:相位角指令值计算部
- [0201] 86:减法器
- [0202] 87:电流指令值取得部

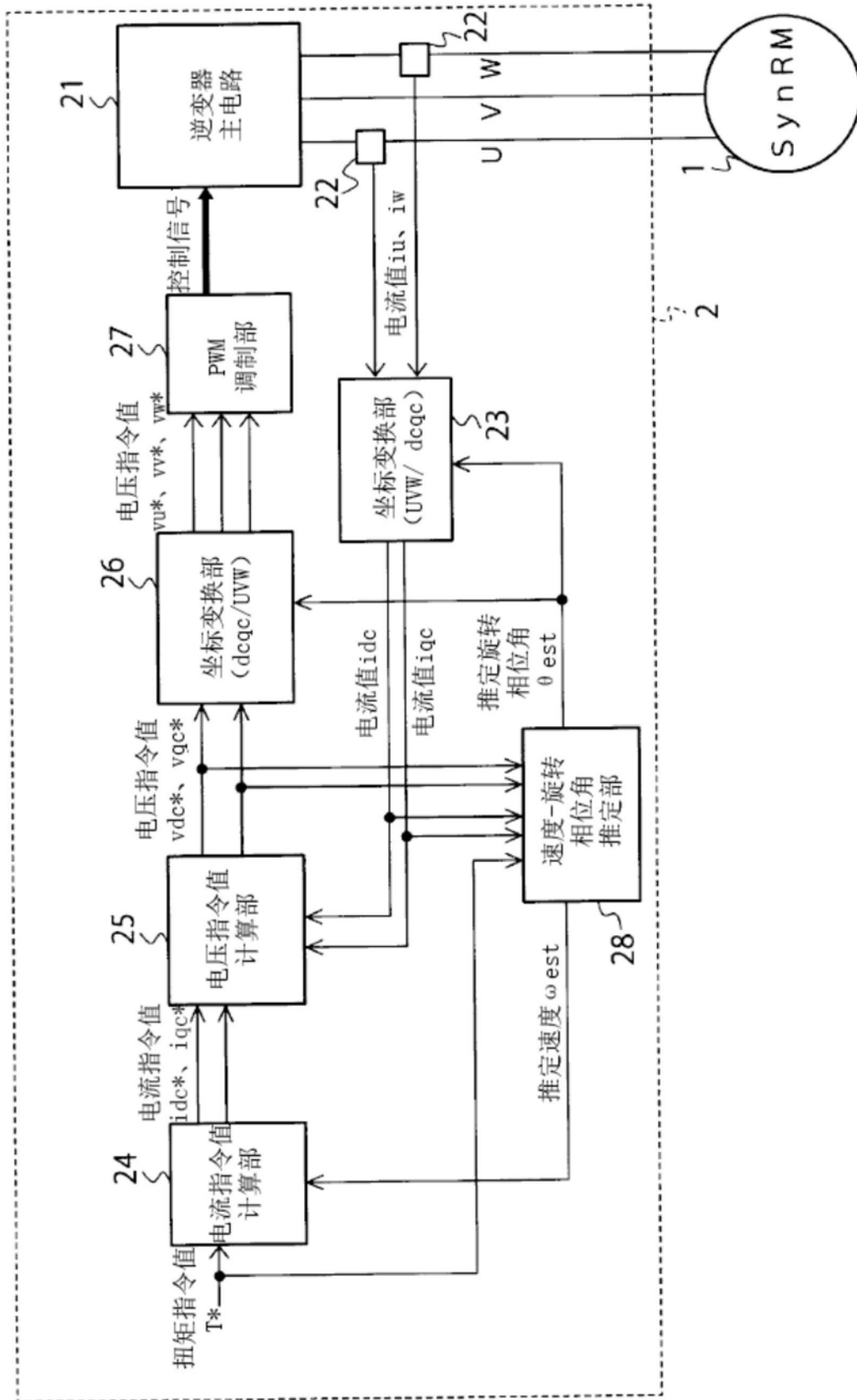


图1



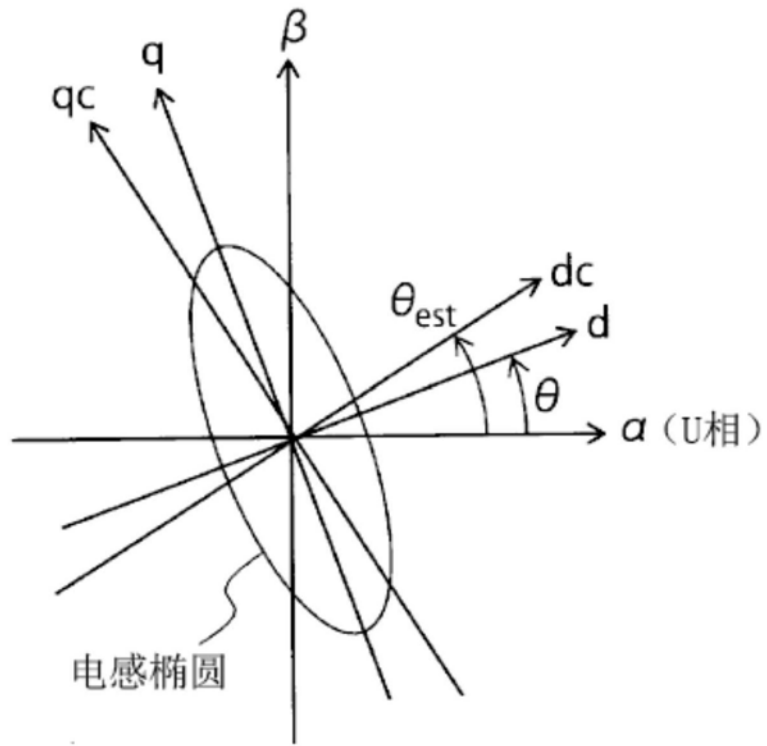


图2

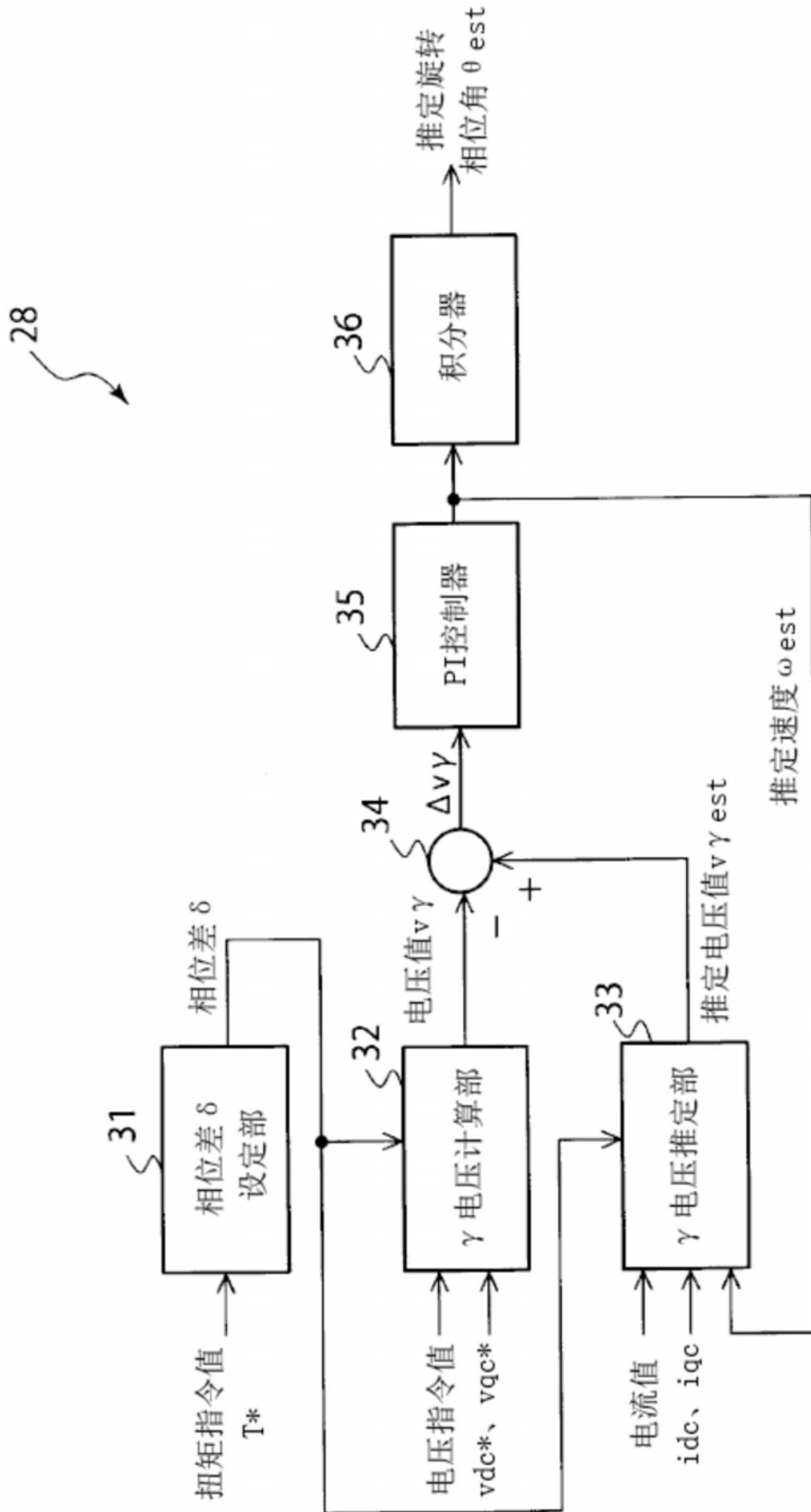


图3

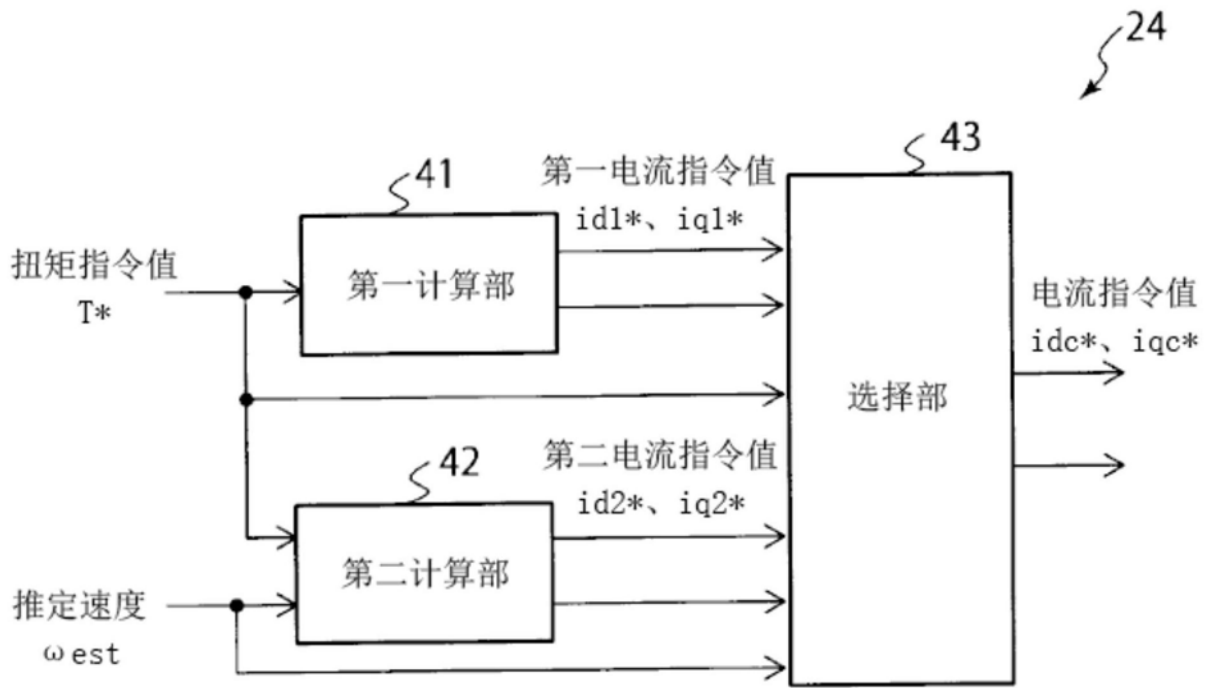


图4

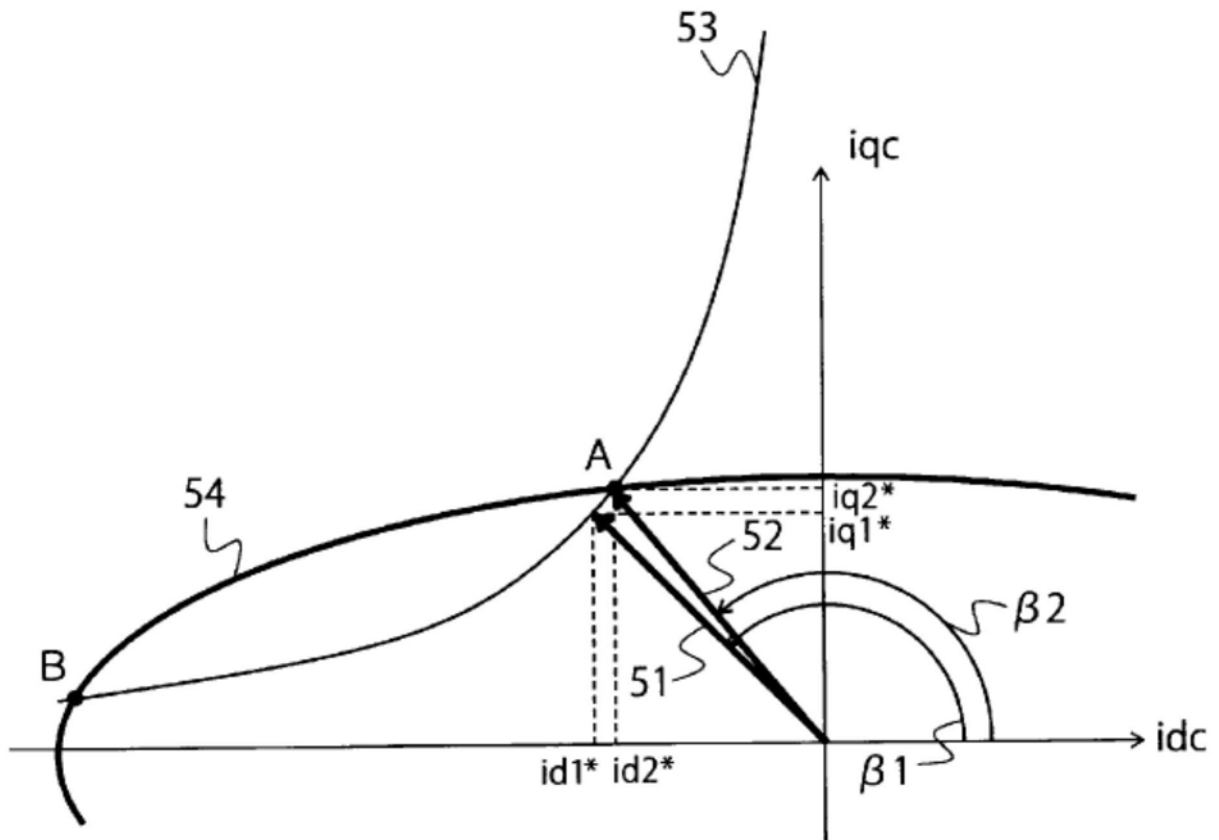


图5

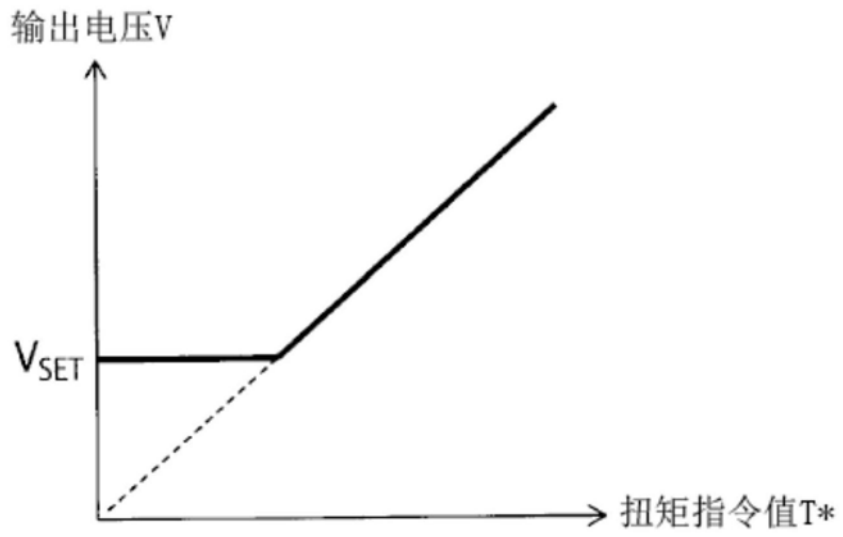


图6

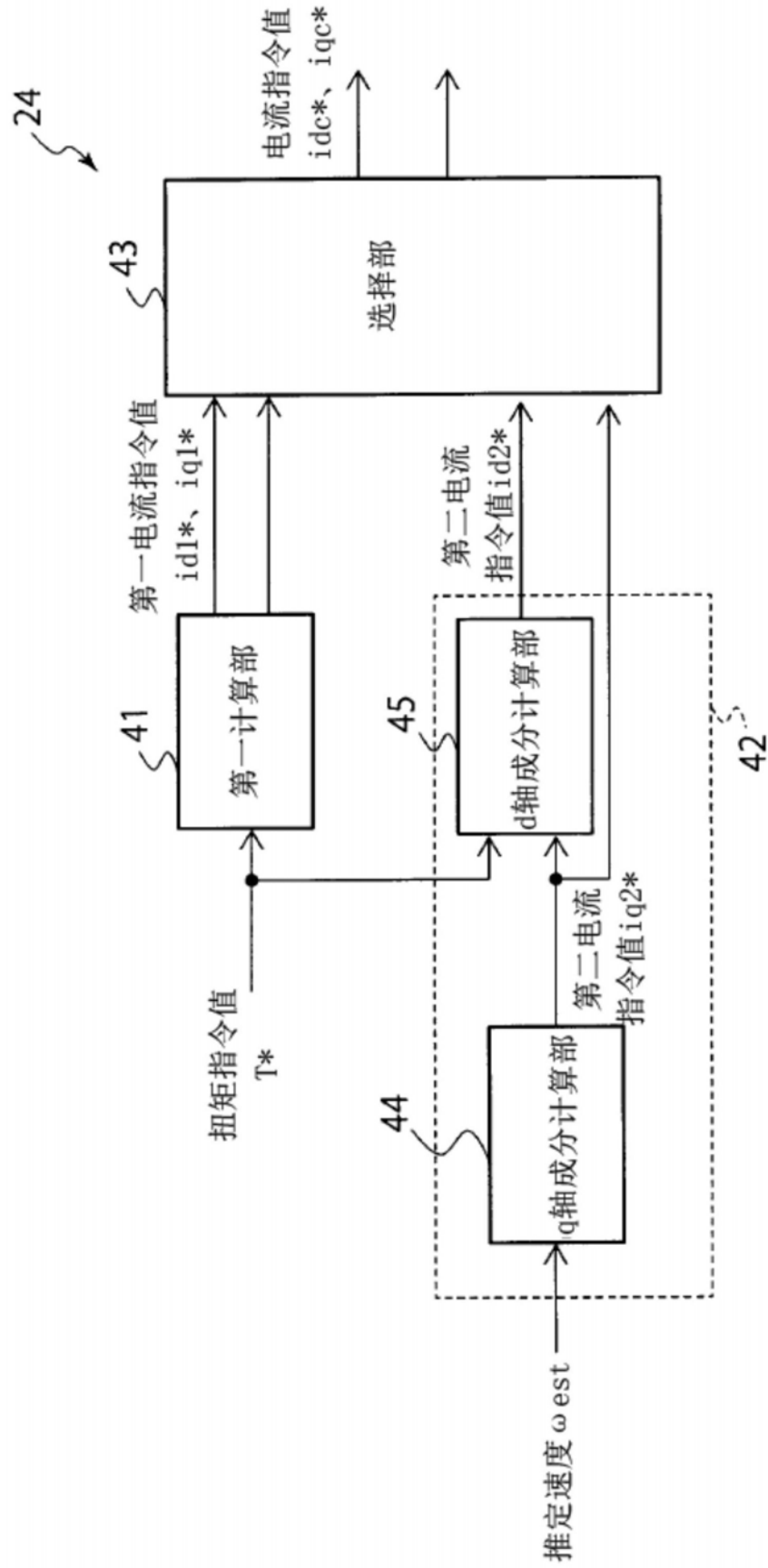


图7

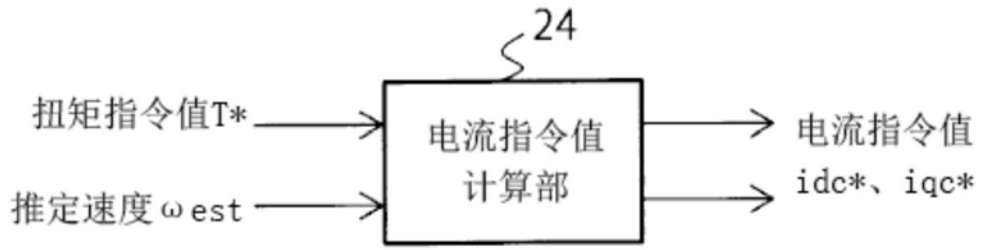


图8

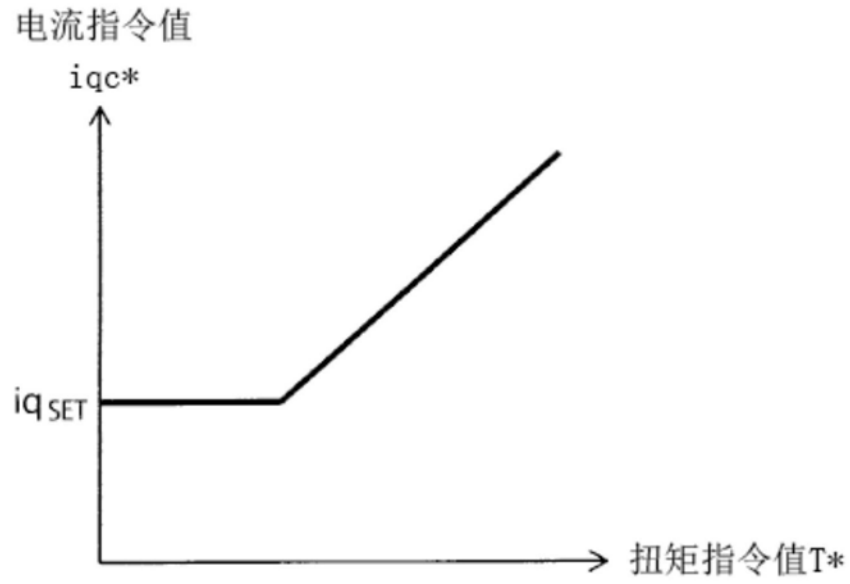


图9

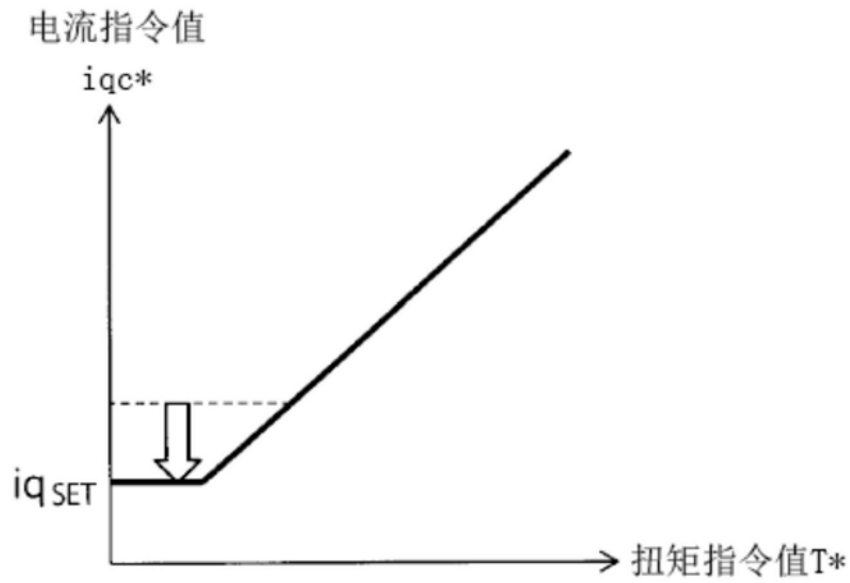


图10

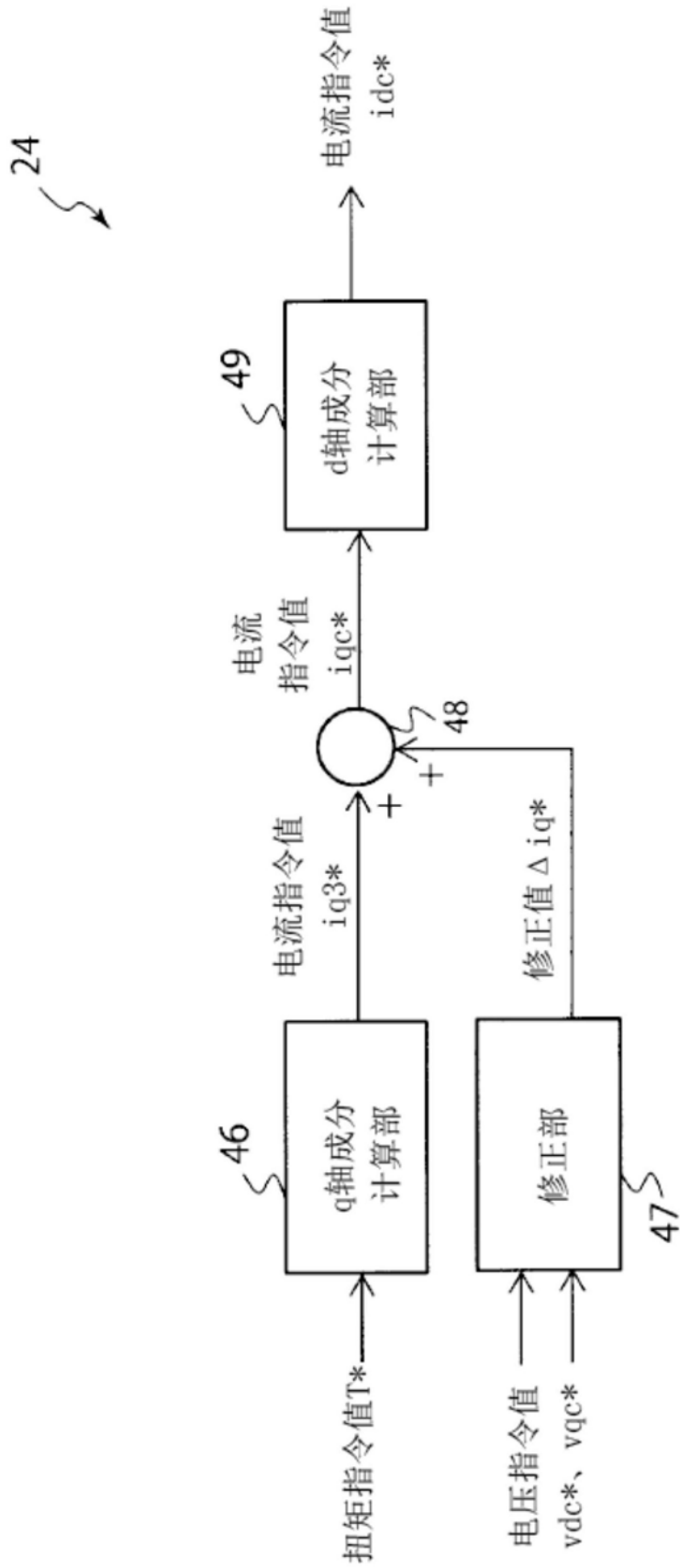


图11

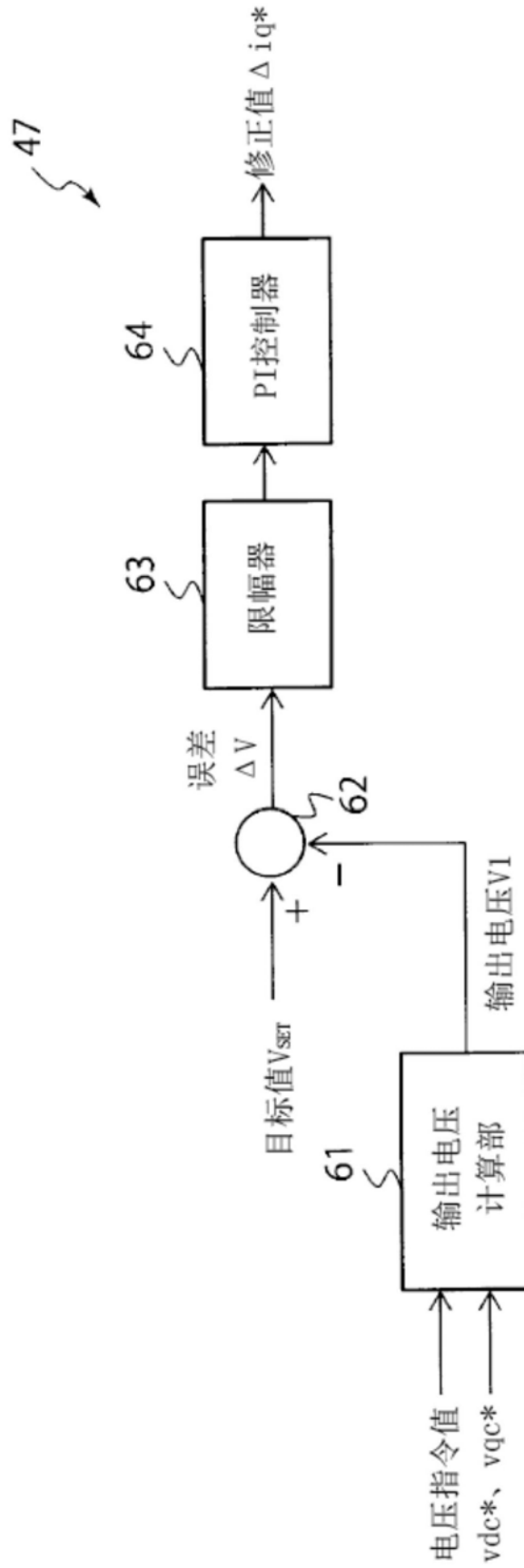


图12



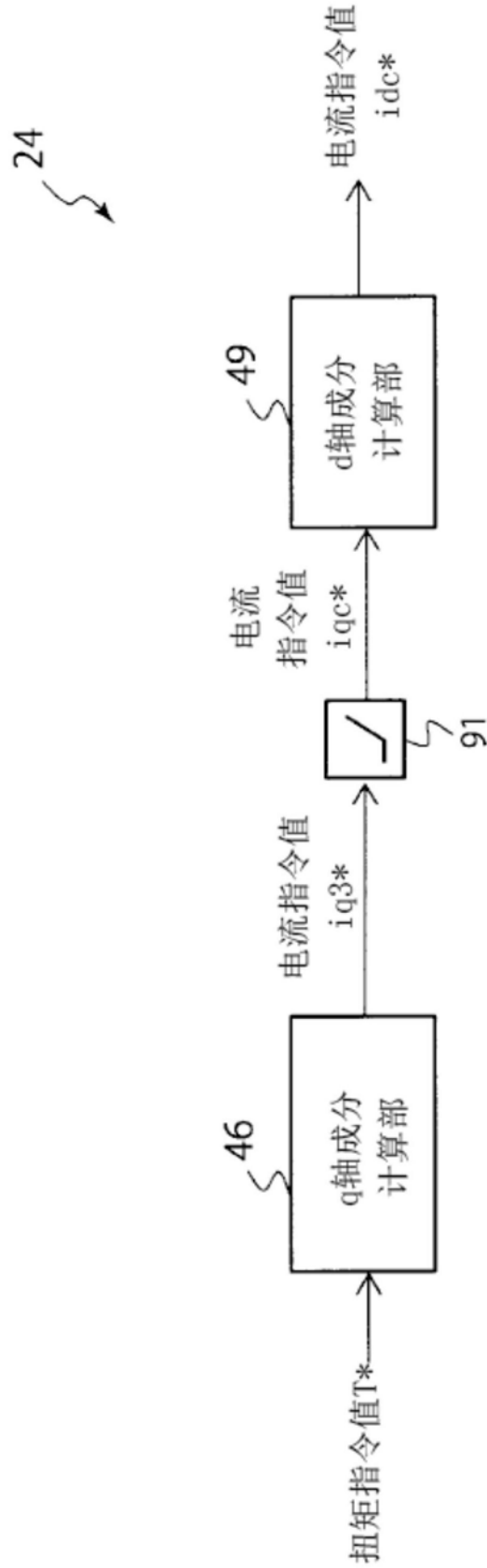


图13

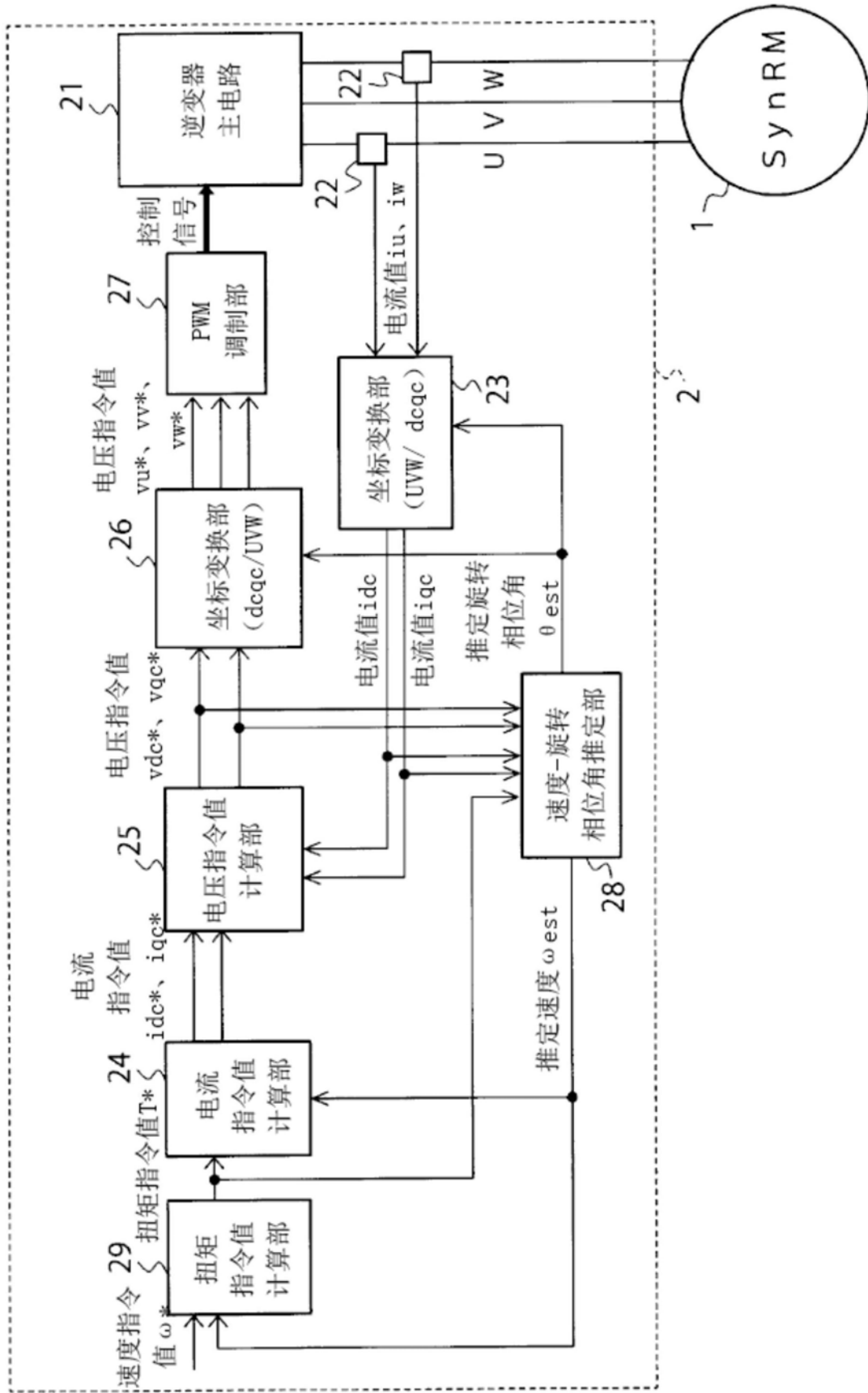


图14

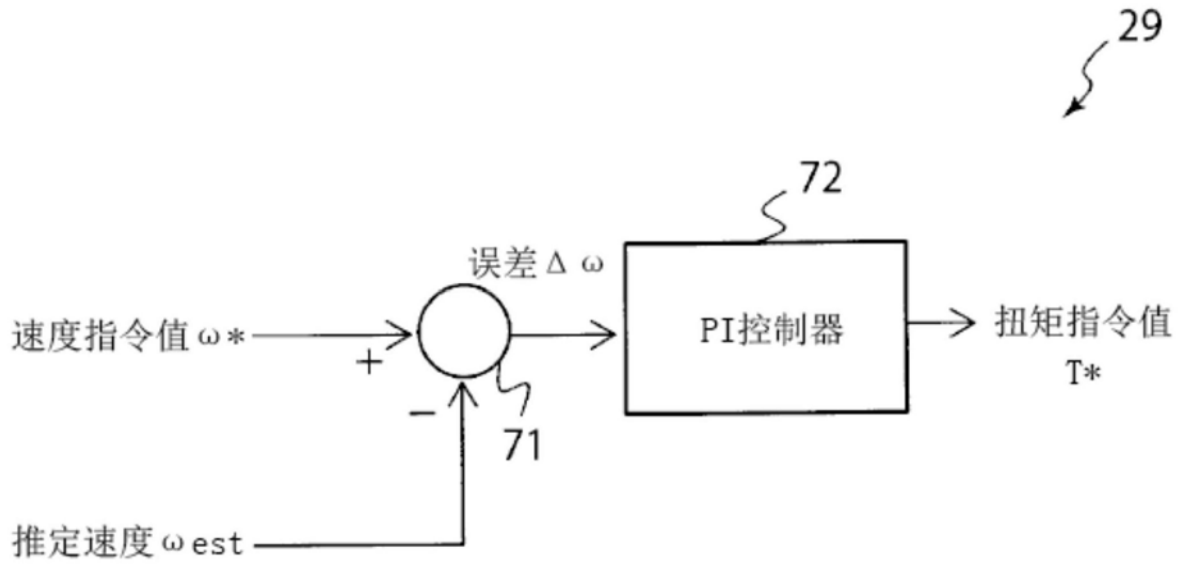


图15

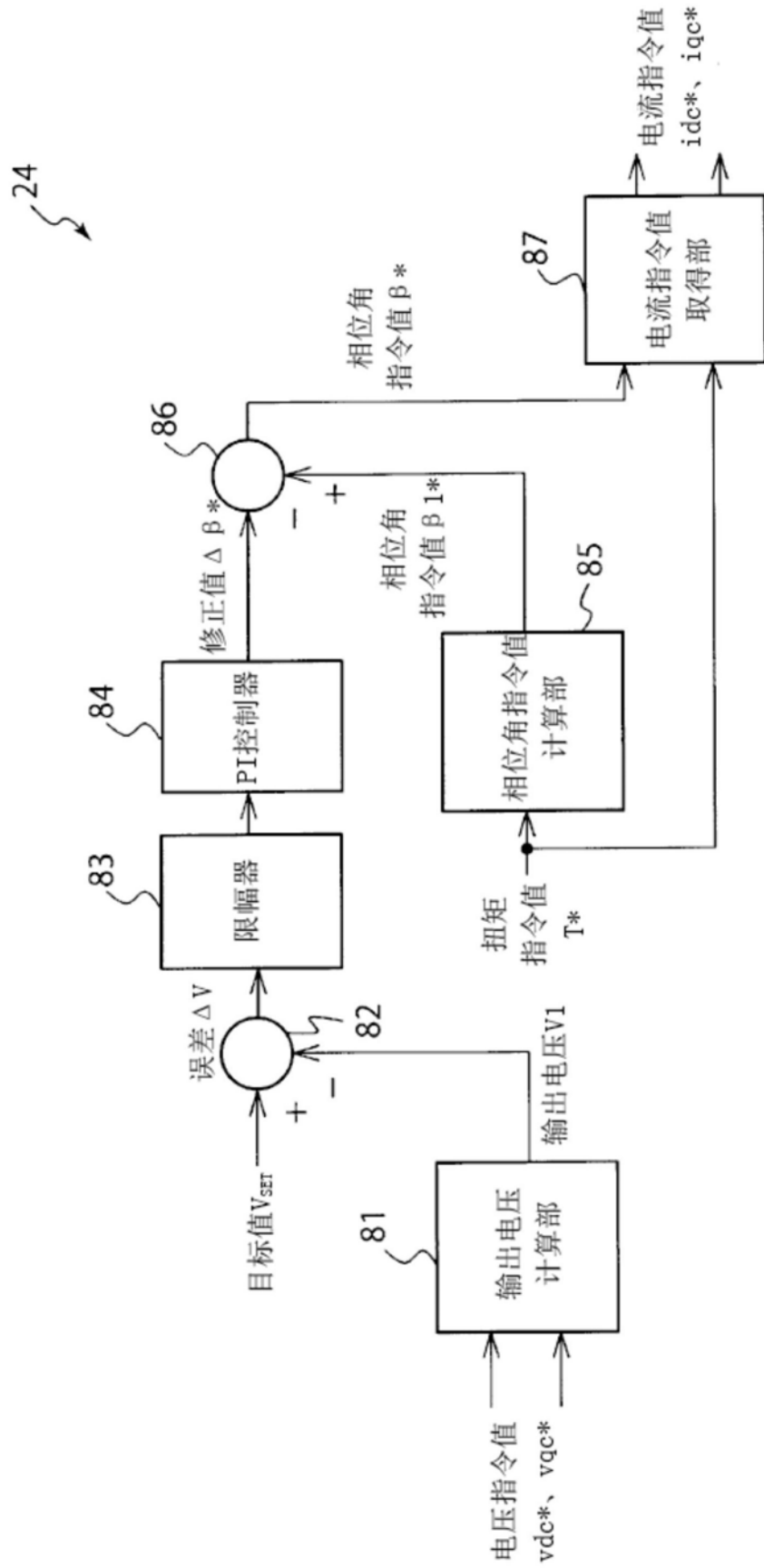


图16