



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117321904 A

(43) 申请公布日 2023. 12. 29

(21) 申请号 202180097166.8

(22) 申请日 2021.05.11

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2023.10.17

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2021/017836 2021.05.11

(87) PCT国际申请的公布数据
W02022/239098 JA 2022.11.17

(71) 申请人 三菱电机株式会社
地址 日本东京

(72) 发明人 久保田尚孝 久野雄也 古川晃
栢原功 田中雅彦 原田昆寿
名取直矢 秋田健一

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

专利代理师 胡秋瑾 宋俊寅

(51) Int.Cl.
H02P 21/00 (2016.01)

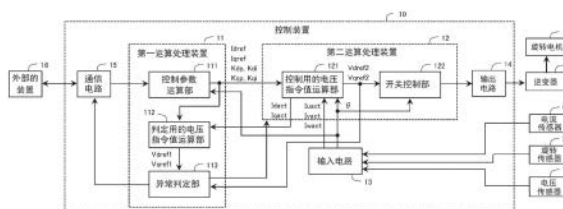
权利要求书3页 说明书17页 附图11页

(54) 发明名称

旋转电机的控制装置

(57) 摘要

本发明提供一种旋转电机的控制装置,其能够在使用多个运算处理装置来控制旋转电机的控制装置中,通过其他运算处理装置来判定运算d轴和q轴的旋转坐标系上的电压指令值的运算部的异常,而不会追加用于检测异常的新的运算处理装置。本发明的旋转电机的控制装置中,第二运算处理装置(12)基于从第一运算处理装置(11)获取的电流指令值计算d轴和q轴的旋转坐标系上的控制用的电压指令值,第一运算处理装置(11)基于电流指令值计算d轴和q轴的旋转坐标系上的判定用的电压指令值,并将从第二运算处理装置(12)获取的控制用的电压指令值与判定用的电压指令值进行比较,从而判定第二运算处理装置(12)是否发生异常。



1. 一种旋转电机的控制装置,通过功率转换器控制具有多相电枢绕组的旋转电机,该旋转电机的控制装置的特征在于,包括:

第一运算处理装置;以及

与所述第一运算处理装置进行通信的第二运算处理装置,

所述第一运算处理装置包括控制参数运算部,该控制参数运算部用于计算与所述旋转电机的转子的电气角上的旋转同步旋转的d轴和q轴的旋转坐标系上的电流指令值,

所述第二运算处理装置包括控制用的电压指令值运算部,该控制用的电压指令值运算部基于通过通信从所述第一运算处理装置获取的所述电流指令值来计算所述d轴和q轴的旋转坐标系上的控制用的电压指令值,

所述第一运算处理装置包括:判定用的电压指令值运算部,该判定用的电压指令值运算部基于所述电流指令值计算所述d轴和q轴的旋转坐标系上的判定用的电压指令值;以及异常判定部,该异常判定部将通过通信从所述第二运算处理装置获取的所述控制用的电压指令值与所述判定用的电压指令值进行比较,从而判定所述控制用的电压指令值运算部是否发生了异常。

2. 如权利要求1所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,

在所述控制用的电压指令值与所述判定用的电压指令值之间的偏差的绝对值超过判定值的状态持续了判定时间以上的情况下,所述异常判定部判定所述控制用的电压指令值运算部发生了异常。

3. 如权利要求2所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,

所述异常判定部基于所述电流指令值的绝对值或所述判定用的电压指令值的绝对值来设定所述判定值。

4. 如权利要求2或3所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,

所述异常判定部随着所述电流指令值的绝对值或所述判定用的电压指令值的绝对值增大,使所述判定值逐渐减小或逐渐增大。

5. 如权利要求2所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,

所述异常判定部将所述判定值设定为固定值。

6. 如权利要求2所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,

所述异常判定部在所述电流指令值的绝对值或所述判定用的电压指令值的绝对值的第一范围内,随着所述电流指令值的绝对值或所述判定用的电压指令值的绝对值增大,使所述判定值逐渐减小或逐渐增大,

在与所述第一范围不同的所述电流指令值的绝对值或所述判定用的电压指令值的绝对值的第二范围内,将所述判定值设定为固定值。

7. 如权利要求2至6中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,

所述异常判定部在所述电流指令值或所述判定用的电压指令值为正值的情况和为负值的情况下,使所述判定值的设定不同。

8. 如权利要求2至7中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,

所述异常判定部基于所述旋转电机的旋转速度来设定所述判定值。

9. 如权利要求2至8中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,

所述异常判定部随着所述控制用的电压指令值与所述判定用的电压指令值之间的偏

差的绝对值增大,使所述判定时间减少。

10. 如权利要求2至8中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述异常判定部基于所述控制用的电压指令值的绝对值或所述判定用的电压指令值的绝对值来设定所述判定时间。

11. 如权利要求2至8中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述异常判定部基于所述控制用的电压指令值的绝对值或所述判定用的电压指令值的绝对值,来使所述判定时间增加或减少,并且随着所述控制用的电压指令值与所述判定用的电压指令值之间的偏差的绝对值增大,使所述判定时间减少。

12. 如权利要求2至11中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述异常判定部在每个运算周期中判定所述偏差的绝对值是否超过所述判定值,在超过所述判定值的情况下,对与持续时间相对应的计数值进行向上计数,在所述偏差的绝对值未超过所述判定值的情况下,对所述计数值进行复位或向下计数,

在所述计数值超过与所述判定时间对应的计数器判定值的情况下,判定为所述控制用的电压指令值运算部发生了异常。

13. 如权利要求2至12中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述异常判定部基于所述旋转电机的旋转速度来设定所述判定时间。

14. 如权利要求1至13中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述第一运算处理装置的运算周期长于所述第二运算处理装置的运算周期。

15. 如权利要求1至14中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述控制用的电压指令值运算部基于流过所述多相电枢绕组的电流的检测值、以及所述转子的电气角上的旋转角度,计算所述d轴和q轴的旋转坐标系上的电流检测值,基于所述电流检测值以及通过通信从所述第一运算处理装置获取的所述电流指令值,计算所述控制用的电压指令值,

所述判定用的电压指令值运算部基于通过通信从所述第二运算处理装置获取的所述电流检测值和所述电流指令值,计算所述判定用的电压指令值。

16. 如权利要求15所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述控制用的电压指令值运算部至少基于通过对所述电流检测值和所述电流指令值之间的偏差进行积分运算而得到的控制用的积分值,来计算所述控制用的电压指令值,

所述判定用的电压指令值运算部至少基于通过对所述电流检测值与所述电流指令值之间的偏差进行积分运算而得到的判定用的积分值、或者通过通信从所述控制用的电压指令值运算部获取的所述控制用的积分值,计算所述判定用的电压指令值。

17. 如权利要求1至16中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述控制参数运算部计算控制增益,所述控制用的电压指令值运算部使用通过通信从所述第一运算处理装置获取的所述控制增益,计算所述控制用的电压指令值,

所述判定用的电压指令值运算部使用所述控制增益,来计算所述判定用的电压指令值。

18. 如权利要求1至17中任一项所述的旋转电机的控制装置,其特征在于,所述第二运算处理装置包括开关控制部,该开关控制部基于所述控制用的电压指令值

来使所述功率转换器所具有的多个开关元件导通和关断。

旋转电机的控制装置

技术领域

[0001] 本申请涉及旋转电机的控制装置。

背景技术

[0002] 近年来,由于社会对低油耗、低废气排放的要求,作为车辆动力源,搭载了旋转电机的电动汽车以及混合动力汽车受到关注。例如,在混合动力汽车中,通过由逆变器等构成的功率转换器连接由二次电池等构成的直流电源和旋转电机,通过逆变器将直流电源的直流电压转换为交流电压,从而驱动旋转电机。

[0003] 在这种混合动力汽车以及电动汽车上搭载的旋转电机的控制装置中,微型计算机等运算处理装置对来自各种传感器的检测数据进行运算处理,进行电流响应性较高的矢量控制。为了实现这种运算处理和矢量控制,需要高性能的微型计算机、多个硬件或软件的组合。

[0004] 另外,在旋转电机的控制装置中,当各种传感器或者微型计算机等发生故障时,可能会对用户造成重大影响,因此需要检测这些故障。

[0005] 针对该问题,在专利文献1中,作为硬件的验证装置与微型计算机分开设置,该验证装置独立于微型计算机并行进行相同运算或简易运算,通过比较微型计算机与验证装置的运算输出,推测内部状态,能够检测出微型计算机的控制运算异常。

[0006] 在专利文献2中,能够在微型计算机内部设置软件监视处理,而不使用其他硬件,监视微型计算机的控制运算是否正常地执行。

现有技术文献

专利文献

[0007] 专利文献1:日本专利第4496205号

专利文献2:日本专利第5652434号

专利文献3:日本专利第5977589号

发明内容

发明所要解决的技术问题

[0008] 专利文献1的问题在于,在实际的电动机控制中,仅仅监视内部状态的推定作为安全设计是不足的,另外,由于通过设置逐次执行控制软件的微型计算机和其他控制用微型计算机导致成本提高。

[0009] 专利文献2的问题在于,虽然在不使用其他的硬件的情况下,就能够检测出微型计算机的控制运算异常,但是由于在一个微型计算机中与控制运算并行地实施同等的控制运算处理来进行监视,所以会提高微型计算机的成本。

[0010] 专利文献3的问题在于,在实际应用时,需要设定用于检测的阈值,会花费根据电动机的电动机规格来实施评价的工时。

[0011] 因此,本发明的目的是提供一种旋转电机的控制装置,其能够在使用多个运算处

理装置来控制旋转电机的控制装置中,通过其他运算处理装置来判定运算d轴和q轴的旋转坐标系上的电压指令值的运算部的异常,而不会追加用于检测异常的新的运算处理装置。

用于解决技术问题的技术手段

[0012] 本申请所涉及的旋转电机的控制装置通过功率转换器控制具有多相电枢绕组的旋转电机,包括:

第一运算处理装置;以及

与所述第一运算处理装置进行通信的第二运算处理装置,

所述第一运算处理装置包括控制参数运算部,该控制参数运算部用于计算与所述旋转电机的转子的电气角上的旋转同步旋转的d轴和q轴的旋转坐标系上的电流指令值,

所述第二运算处理装置包括控制用的电压指令值运算部,该控制用的电压指令值运算部基于通过通信从所述第一运算处理装置获取的所述电流指令值来计算所述d轴和q轴的旋转坐标系上的控制用的电压指令值,

所述第一运算处理装置包括:判定用的电压指令值运算部,该判定用的电压指令值运算部基于所述电流指令值计算所述d轴和q轴的旋转坐标系上的判定用的电压指令值;以及异常判定部,该异常判定部将通过通信从所述第二运算处理装置获取的所述控制用的电压指令值与所述判定用的电压指令值进行比较,从而判定所述控制用的电压指令值运算部是否发生了异常。

发明效果

[0013] 由于在设置有用于计算d轴和q轴的旋转坐标系上的电流指令值的控制参数运算部的第一运算处理装置中设置有判定用的电压指令值运算部和异常判定部,因此能通过其他第一运算处理装置来判定用于运算d轴和q轴的旋转坐标系上的控制用的电压指令值的控制用的电压指令值运算部的异常,而不追加用于检测异常的新的运算处理装置。此外,由于使用作为直流分量的d轴和q轴的旋转坐标系上的电压指令值来判定异常,因此不需要在比交流周期更短的运算周期内判定异常,能在不使第一运算处理装置的运算周期高速化的情况下判定控制用的电压指令值运算部的异常。

附图说明

[0014] 图1是实施方式1的旋转电机、功率转换器、及控制装置的简要结构图。

图2是实施方式1所涉及的控制装置的简要框图。

图3是实施方式1所涉及的控制装置的硬件结构图。

图4是实施方式1所涉及的控制装置的处理的时序图。

图5是实施方式1所涉及的异常判定部的处理的流程图。

图6是用于说明实施方式1所涉及的异常判定动作的时序图。

图7是用于说明实施方式2所涉及的判定值的设定的图。

图8是用于说明实施方式2所涉及的判定值的设定的图。

图9是用于说明实施方式2所涉及的判定值的设定的图。

图10是用于说明实施方式2所涉及的判定值的设定的图。

图11是用于说明实施方式3所涉及的d轴的判定时间的设定的图。

图12是用于说明实施方式3所涉及的q轴的判定时间的设定的图。

图13是用于说明实施方式3所涉及的异常判定动作的时序图。

图14是用于说明实施方式3所涉及的异常判定动作的时序图。

具体实施方式

[0015] 1.实施方式1

参照附图,对实施方式1所涉及的旋转电机的控制装置10(以下简称为控制装置10)进行说明。图1是本实施方式的旋转电机1、功率转换器4、及控制装置10的简要结构图。

[0016] 1-1.旋转电机1

旋转电机1包括定子和配置在定子的径向内侧的转子。在定子中设置有多相电枢绕组(本例为U相、V相、W相三相电枢绕组 C_u 、 C_v 、 C_w)。在转子中设置有永磁体,旋转电机1是永磁体型同步旋转电机。三相电枢绕组可以是星形接线或三角形接线。

[0017] 转子设置有用于检测转子的旋转角度的旋转传感器2。旋转变压器、编码器、MR传感器等被用于旋转传感器2。旋转传感器2的输出信号被输入到控制装置10。如后述那样,可以不包括旋转传感器2,而是采用基于电流信息推定角度的无传感器的结构。

[0018] 1-2.功率转换器4

逆变器被用作功率转换器4。另外,作为功率转换器4,也可以使用逆变器以外的功率转换器,例如矩阵转换器。

[0019] 逆变器4中,与三的各相相对应地设置有三组串联电路(臂),该串联电路串联连接有被连接到直流电源3的正极侧的正极侧的开关元件SP和被连接到直流电源3的负极侧的负极侧的开关元件SN。各相的串联电路中的两个开关元件的连接点被连接到相对应的相的电枢绕组。

[0020] 具体来说,U相的串联电路中,U相正极侧的开关元件 SP_u 与U相负极侧的开关元件 SN_u 串联连接,2个开关元件的连接点与U相的电枢绕组 C_u 连接。V相串联电路中,V相的正极侧的开关元件 SP_v 与V相的负极侧的开关元件 SN_v 串联连接,2个开关元件的连接点与V相的电枢绕组 C_v 连接。W相的串联电路中,W的正极侧的开关元件 SP_w 和W相的负极侧的开关元件 SN_w 串联连接,2个开关元件的连接点与W相的交流电枢绕组 C_w 连接。平滑电容器5连接在直流电源3的正极侧和负极侧之间。

[0021] 对于开关元件,使用反向并联连接有二极管的IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor:绝缘栅双极型晶体管)、MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor:金属氧化物半导体场效应晶体管)、反向并联连接有二极管的双极型晶体管等。各开关元件的栅极端子经由栅极驱动电路等与控制装置10相连接。各开关元件通过从控制装置10输出的开关信号来导通或断开。

[0022] 直流电源3向逆变器4输出直流电压 V_{dc} 。直流电源3只要是输出直流电压 V_{dc} 的设备,则可以是电池、DC-DC转换器、二极管整流器、PWM整流器等任何设备。设置有电压传感器7,用于检测从直流电源3提供给逆变器4的直流电压 V_{dc} 。电压传感器7与直流电源3并联连接。电压传感器7的输出信号被输入到控制装置10。

[0023] 设置有用于检测流过各相电枢绕组的电流的电流传感器6。电流传感器6是分流电阻或霍尔元件等电流传感器。电流传感器6的输出信号被输入到控制装置10。

[0024] 在本实施方式中,电流传感器6设置在连接各相的两个开关元件的串联电路和各

相的线圈的电线上。另外,电流传感器6可以设置在各相的两个开关元件的串联电路中。或者,电流传感器6可以设置在连接逆变器4和直流电源3的电线上,并通过公知的“母线1分流方式”检测各相的电枢绕组的电流。

[0025] 1-3.控制装置10

控制装置10经由逆变器4控制旋转电机1。如图2所示,控制装置10包括第一运算处理装置11和第二运算处理装置12。第一运算处理装置11和第二运算处理装置12进行通信。在本实施方式中,控制装置10包括输入电路13、输出电路14和通信电路15。输入电路13与第一运算处理装置11和第二运算处理装置12进行通信,输出电路14与第二运算处理装置12进行通信,通信电路15与第一运算处理装置11进行通信。串行外围接口等串行通信或并行通信被用于各个装置和电路之间的通信。

[0026] 第一运算处理装置11包括控制参数运算部111、判定用的电压指令值运算部112、以及异常判定部113等。第二运算处理装置12包括控制用的电压指令值运算部121、以及开关控制部122等。

[0027] 第一运算处理装置11的各个处理部111~113的功能由第一运算处理装置11所具有的处理电路实现。在本实施方式中,如图3所示,第一运算处理装置11作为处理电路具备CPU11a(Central Processing Unit:中央处理器)以及存储装置11b等。作为存储装置11b,设有RAM(Random Access Memory:随机存取存储器)、ROM(Read Only Memory:只读存储器)、EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM:电可擦可编程只读存储器)等。通过CPU 11a执行存储在ROM、EEPROM等存储装置11b中的软件(程序),并与存储装置11b、通信电路15、输入电路13、以及第二运算处理装置12等其他硬件协作,从而实现各个处理部111~113的各个功能。另外,各处理部111~113使用的电流指令值、控制增益、判定值 V_{th} 、判定时间 T_{err} 、计数器判定值 C_{th} 等设定数据作为软件(程序)的一部分存储在ROM、EEPROM等存储装置11b中。

[0028] 第二运算处理装置12的各个处理部121、122的功能由第二运算处理装置12所具有的处理电路实现。在本实施方式中,如图3所示,第二运算处理装置12作为处理电路具备ASIC(Application Specific Integrated Circuit:专用集成电路)、FPGA(Field Programmable Gate Array:现场可编程门阵列)等面向特定用途的集成电路12a。各个处理部121、122的功能是通过由第二运算处理装置12执行硬件处理,并且与输入电路13、输出电路14和第一运算处理装置11等其它硬件协作来实现的。

[0029] 另外,第一运算处理装置11和第二运算处理装置12可以包括各种逻辑电路、各种信号处理电路等作为外围处理电路。

[0030] 输入电路13连接有电流传感器6、旋转传感器2、电压传感器7等各种传感器,并具备用于获取这些传感器的输出信号的A/D转换器、通信电路等。在本实施方式中,输入电路13根据从第二运算处理装置12发送的指令信号获取电流传感器6、旋转传感器2、以及电压传感器7的输出信号,并将获取到的各传感器的输出信号发送到第二运算处理装置12。例如,根据在每个第二运算周期 T_2 从第二运算处理装置12发送的触发信号,对传感器的输出信号进行A/D转换,并将A/D转换值发送到第二运算处理装置12。

[0031] 输出电路14包括用于对开关元件进行导通关断驱动的栅极驱动电路等。从第二运算处理装置12的输出端口等输出的高/低信号被输入到输出电路14,驱动电路被驱动。通信

电路15根据第一运算处理装置11的指令与外部装置16进行通信。在与外部的通信中,使用CAN(Controller Area Network:控制器局域网)、LIN(Local Interconnect Network:本地互连网络)等通信规格。

[0032] 图4示出了第一运算处理装置11和第二运算处理装置12的各个处理的序列图。

[0033] 1-3-1.输入电路13

输入电路13根据从第二运算处理装置12发送的触发信号,获取电流传感器6的输出信号并将其发送到第二运算处理装置12。在本实施方式中,输入电路13根据在每个第二运算周期T2中从第二运算处理装置12发送的触发信号,对表示电流传感器6的各相的电流值的输出信号进行A/D转换,并将各相电流信号的A/D转换值发送到第二运算处理装置12。

[0034] 输入电路13根据从第二运算处理装置12发送的触发信号,获取旋转传感器2的输出信号,并将其发送到第二运算处理装置12。在本实施方式中,输入电路13根据在每个第二运算周期T2中从第二运算处理装置12发送的触发信号,对表示旋转传感器2的旋转角度的输出信号进行A/D转换,并将角度信号的A/D转换值发送到第二运算处理装置12。此外,输入电路13将旋转传感器2的输出信号发送到第一运算处理装置11。

[0035] 输入电路13根据从第二运算处理装置12发送的触发信号,获取电压传感器7的输出信号,并将其发送到第二运算处理装置12。在本实施方式中,输入电路13根据在每个第二运算周期T2中从第二运算处理装置12发送的触发信号,对表示电压传感器7的直流电压Vdc的输出信号进行A/D转换,并将电压信号的A/D转换值发送到第二运算处理装置12。此外,输入电路13将电压传感器7的输出信号发送到第一运算处理装置11。

[0036] 1-3-2.控制参数运算部111

控制参数运算部111计算与旋转电机的转子在电气角上的旋转同步地旋转的d轴和q轴的旋转坐标系上的电流指令值。控制参数运算部111在每个第一运算周期T1计算电流指令值,并将该电流指令值发送到第二运算处理装置12的控制用的电压指令值运算部121。第一运算周期T1长于第二运算周期T2。

[0037] d轴在转子的磁极(N极)的方向上被确定,q轴在电气角比d轴提前90度的方向上被确定。例如,控制参数运算部111基于从外部装置16发送的转矩指令值 T_o 、旋转角速度 ω 、以及直流电压Vdc来计算d轴的电流指令值 I_{dref} 、以及q轴的电流指令值 I_{qref} 。公知的最大转矩电流控制、弱磁通控制被用于计算。另外,使用 $I_d=0$ 控制时,由于d轴的电流指令值 I_{dref} 为0,因此只计算q轴的电流指令值 I_{qref} 。基于从输入电路13发送的旋转角度 θ 计算旋转角速度 ω 。代替转矩指令值 T_o ,可以使用转子转速的指令值、发电电流的指令值等其他指令值。

[0038] 控制参数运算部111计算控制增益。控制参数运算部111在每个第一运算周期T1计算控制增益,并将该控制增益发送到第二运算处理装置12的控制用的电压指令值运算部121。在本实施方式中,控制增益为d轴的比例增益 K_{dp} 、d轴的积分增益 K_{di} 、q轴的比例增益 K_{qp} 、以及q轴的积分增益 K_{qi} 。

[0039] 在控制用的电压指令值运算部121进行用于在公知的d轴和q轴之间进行非干扰化的非干扰控制的情况下,控制参数运算部111在每个第一运算周期T1,基于旋转角速度 ω 等,计算用于非干扰控制的控制增益,并将该控制增益发送到第二运算处理装置12的控制用的电压指令值运算部121。

[0040] 1-3-3.控制用的电压指令值运算部121

控制用的电压指令值运算部121基于通过通信从第一运算处理装置11(控制参数运算部111)获取的电流指令值,计算d轴和q轴的旋转坐标系上的控制用的电压指令值。控制用的电压指令值运算部121在每个第二运算周期T2计算控制用的电压指令值。

[0041] 控制用的电压指令值运算部121在每个第二运算周期T2向输入电路13发送触发信号,从输入电路13获取流过三相电枢绕组的电流的检测值 I_{uact} 、 I_{vact} 、 I_{wact} 、旋转角度 θ 、直流电压 V_{dc} 的信息。然后,控制用的电压指令值运算部121在每个第二运算周期T2基于三相电枢绕组的电流检测值 I_{uact} 、 I_{vact} 、 I_{wact} 以及转子的电气角处的旋转角度 θ ,计算d轴和q轴的旋转坐标系上的电流检测值。具体地,控制用的电压指令值运算部121基于旋转角度 θ 对三相电枢绕组的电流检测值 I_{uact} 、 I_{vact} 、 I_{wact} 进行公知的三相两相转换和旋转坐标转换,从而将三相电枢绕组的电流检测值 I_{uact} 、 I_{vact} 、 I_{wact} 转换为d轴的电流检测值 I_{dact} 和q轴的电流检测值 I_{qact} 。

[0042] 电流传感器6构成为检测两相电枢绕组的电流,可以基于两相电枢绕组的电流检测值计算剩余的一相电枢绕组的电流。例如,电流传感器6可以检测V相和W相电枢绕组的电流 I_{vact} 、 I_{wact} ,通过 $I_{uact} = -I_{vact} - I_{wact}$ 计算U相的电枢绕组的电流 I_{uact} 。

[0043] 控制用的电压指令值运算部121在每个第二运算周期T2(或第一运算周期T1)将计算出的电流检测值发送到第一运算处理装置11(判定用的电压指令值运算部112)。

[0044] 然后,控制用的电压指令值运算部121在每个第二运算周期T2,基于电流检测值和通过通信从第一运算处理装置11(控制参数运算部111)获取的电流指令值,计算控制用的电压指令值。此时,控制用的电压指令值运算部121使用通过通信从第一运算处理装置11(控制参数运算部111)获取的控制增益来计算控制用的电压指令值。在进行公知的d轴和q轴之间的非干扰控制的情况下,控制用的电压指令值运算部121基于通过通信从第一运算处理装置11(控制参数运算部111)获取的非干扰控制用的控制增益和电流检测值,来计算非干扰控制值,通过非干扰控制值校正控制用的电压指令值。另外,电流指令值和控制增益在每个比第二运算周期T2更长的第一运算周期T1中被发送,因此使用最新发送的电流指令值和控制增益。

[0045] 控制用的电压指令值运算部121至少基于通过对电流检测值和电流指令值之间的偏差进行积分运算而获取的控制用的积分值来计算控制用的电压指令值。在本实施方式中,构成为对d轴的电流和q轴的电流分别进行PI控制。

[0046]

具体来说,控制用的电压指令值运算部121如下式所示,计算d轴的电流指令值 I_{dref} 与d轴的电流检测值 I_{dact} 之间的d轴的控制用的电流偏差 ΔI_{d2} ,将d轴的控制用的电流偏差 ΔI_{d2} 乘以d轴的比例增益 K_{dp} ,计算d轴的控制用的比例项 V_{dp2} ,将d轴的控制用的电流偏差 ΔI_{d2} 乘以d轴的积分增益 K_{di} 及第二运算周期T2后得到的值与在上次运算周期(n-1)计算出的d轴的控制用的积分项 $V_{di2}(n-1)$ 相加,计算本次运算周期(n)的d轴的控制用的积分项 $V_{di2}(n)$,将d轴的控制用的比例项 V_{dp2} 和本次运算周期的d轴的控制用的积分项 $V_{di2}(n)$ 相加,计算d轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 。

$$\Delta I_{d2} = I_{dref} - I_{dact}$$

$$V_{dp2} = K_{dp} \times \Delta I_{d2}$$

$$V_{di2}(n) = K_{di} \times T_2 \times \Delta I_{d2} + V_{di2}(n-1) \quad V_{dref2} = V_{dp2} + V_{di2}(n) \cdots (1)$$

[0047] 此外,如下式所示,控制用的电压指令值运算部121计算q轴的电流指令值 I_{qref} 与q轴的电流检测值 I_{dact} 之间的q轴的控制用的电流偏差 ΔI_{q2} ,将q轴的控制用的电流偏差 ΔI_{q2} 乘以q轴的比例增益 K_{qp} ,计算q轴的控制用的比例项 V_{qp2} ,将q轴的控制用的电流偏差 ΔI_{q2} 乘以q轴的积分增益 K_{qi} 及第二运算周期 T_2 后得到的值与在上次运算周期(n-1)计算出的q轴的控制用的积分项 $V_{qi2}(n-1)$ 相加,计算本次运算周期(n)的q轴的控制用的积分项 $V_{qi2}(n)$,将q轴的控制用的比例项 V_{qp2} 和本次演算周期的q轴的控制用的积分项 $V_{qi2}(n)$ 相加,计算q轴的控制用的电压指令值 V_{qref2} 。

$$\Delta I_{q2} = I_{qref} - I_{qact}$$

$$V_{qp2} = K_{qp} \times \Delta I_{q2}$$

$$V_{qi2}(n) = K_{qi} \times T_2 \times \Delta I_{q2} + V_{qi2}(n-1)$$

$$V_{qref2} = V_{qp2} + V_{qi2}(n) \cdots (2)$$

[0048] 控制用的电压指令值运算部121在每个第二运算周期 T_2 (或第一运算周期 T_1)将计算出的控制用的电压指令值发送到第一运算处理装置11(异常判定部113)。另外,如后所述,所发送的控制用的电压指令值中可以包含在上次运算周期中计算出的d轴和q轴的控制用的积分项 $V_{di2}(n-1)$ 、 $V_{qi2}(n-1)$ 。

[0049] 1-3-4. 开关控制部122

开关控制部122基于控制用的电压指令值使逆变器4所具有的多个开关元件导通和关断。

[0050] 在每个第二运算周期 T_2 中,开关控制部122基于旋转角度 θ 将d轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 、和q轴的控制用的电压指令值 V_{qref2} 转换为三相电压指令值 V_{uref} 、 V_{vref} 、 V_{wref} 。具体地,开关控制部122通过基于旋转角度 θ 将d轴和q轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 、 V_{qref2} 进行固定坐标转换和两相三相转换,将其转换为三相电压指令值 V_{uref} 、 V_{vref} 、 V_{wref} 。

[0051] 为了提高电压利用率,开关控制部122可以对三相电压指令值 V_{uref} 、 V_{vref} 、 V_{wref} 施加两相调制、三次谐波叠加等公知调制。

[0052] 开关控制部122基于三相电压指令值 V_{uref} 、 V_{vref} 、 V_{wref} 来使逆变器4所具有的多个开关元件导通和关断。开关控制部122使用已知的载波比较PWM或空间矢量PWM。

[0053] 在使用载波比较PWM的情况下,开关控制部122比较载波与三相电压指令值 V_{uref} 、 V_{vref} 、 V_{wref} 中的每一个,并且基于比较结果使多个开关元件导通和关断。载波形成为在第二运算周期 T_2 以直流电压 V_{dc} 的振动幅度振动的三角波。

[0054] 在使用空间矢量PWM的情况下,开关控制部122根据三相电压指令值 V_{uref} 、 V_{vref} 、 V_{wref} 生成电压指令矢量,基于电压指令矢量决定第二运算周期 T_2 中的七个基本电压矢量的输出时间分配,并基于七个基本电压矢量的输出时间分配生成在第二运算周期 T_2 中使各个开关元件导通和关断的开关信号。

[0055] 1-3-5. 判定用的电压指令值运算部112

判定用的电压指令值运算部112基于由控制参数运算部111计算出的电流指令值,计算d轴和q轴的旋转坐标系上的判定用的电压指令值。

[0056] 在本实施方式中,判定用的电压指令值运算部112在每个第一运算周期 T_1 基于通

过通信从第二运算处理装置12(控制用的电压指令值运算部121)获取的电流检测值和从控制参数运算部111输出的电流指令值,计算判定用的电压指令值。根据该结构,第一运算处理装置11不需要计算电流检测值,因此能减少运算处理负荷。判定用的电压指令值运算部112可以与控制用的电压指令值运算部121同样地,基于从输入电路13获取的三相电枢绕组中流过的电流的检测值 I_{uact} 、 I_{vact} 、 I_{wact} 、旋转角度 θ 来计算d轴和q轴的电流检测值。

[0057] 此外,判定用的电压指令值运算部112使用从控制参数运算部111输出的控制增益来计算判定用的电压指令值。在控制用的电压指令值运算部121中进行d轴和q轴之间的非干扰控制时,判定用的电压指令值运算部112基于从控制参数运算部111输出的非干扰控制用的控制增益、以及电流检测值来计算非干扰控制值,并通过非干扰控制值来校正判定用的电压指令值。另外,由于电流检测值在每个比第一运算周期 T_1 更短的第二运算周期 T_2 中被发送,因此使用最新发送的电流检测值。

[0058] 判定用的电压指令值运算部112至少基于通过对电流检测值和电流指令值之间的偏差进行积分运算而获取的判定用的积分值来计算判定用的电压指令值。在本实施方式中,构成为对d轴的电流和q轴的电流分别进行PI控制。

[0059] 具体来说,控制用的电压指令值运算部112如下式所示,计算d轴的电流指令值 I_{dref} 与d轴的电流检测值 I_{dact} 之间的d轴的判定用的电流偏差 ΔI_{d1} ,将d轴的判定用的电流偏差 ΔI_{d1} 乘以d轴的比例增益 K_{dp} ,计算d轴的判定用的比例项 V_{dp1} ,将d轴的判定用的电流偏差 ΔI_{d1} 乘以d轴的积分增益 K_{di} 及第1运算周期 T_1 后得到的值与在上次运算周期(j-1)计算出的d轴的判定用的积分项 $V_{di1}(j-1)$ 相加,计算本次运算周期(j)的d轴的判定用的积分项 $V_{di1}(j)$,将d轴的判定用的比例项 V_{dp1} 和本次演算周期的d轴的判定用的积分项 $V_{di1}(j)$ 相加,计算d轴的判定用的电压指令值 V_{dref1} 。

$$\Delta I_{d1} = I_{dref} - I_{dact}$$

$$V_{dp1} = K_{dp} \times \Delta I_{d1}$$

$$V_{di1}(j) = K_{di} \times T_1 \times \Delta I_{d1} + V_{di1}(j-1) \quad V_{dref1} = V_{dp1} + V_{di1}(j) \cdots (3)$$

[0060] 此外,如下式所示,判定用的电压指令值运算部112计算q轴的电流指令值 I_{qref} 与q轴的电流检测值 I_{dact} 之间的q轴的判定用的电流偏差 ΔI_{q1} ,将q轴的判定用的电流偏差 ΔI_{q1} 乘以q轴的比例增益 K_{qp} ,计算q轴的判定用的比例项 V_{qp1} ,将q轴的判定用的电流偏差 ΔI_{q1} 乘以q轴的积分增益 K_{qi} 及第一运算周期 T_1 后得到的值与在上次运算周期(j-1)计算出的q轴的判定用的积分项 $V_{qi1}(j-1)$ 相加,计算本次运算周期(j)的q轴的判定用的积分项 $V_{qi1}(j)$,将q轴的判定用的比例项 V_{qp1} 和本次演算周期的q轴的判定用的积分项 $V_{qi1}(j)$ 相加,计算q轴的判定用的电压指令值 V_{qref1} 。

$$\Delta I_{q1} = I_{qref} - I_{qact}$$

$$V_{qp1} = K_{qp} \times \Delta I_{q1}$$

$$V_{qi1}(j) = K_{qi} \times T_1 \times \Delta I_{q1} + V_{qi1}(j-1) \quad V_{qref1} = V_{qp1} + V_{qi1}(j) \cdots (4)$$

[0061] 如式(1)和式(2)所示,在控制用的电压指令值运算部121在每个第二运算周期 T_2 进行的积分运算中,将电流偏差 ΔI_{d2} 、 ΔI_{q2} 乘以积分增益 K_{di} 、 K_{qi} 以及第二运算周期 T_2 。如式(3)和式(4)所示,在判定用的电压指令值运算部112在每个第一运算周期 T_1 进行的积分运算中,将电流偏差 ΔI_{d1} 、 ΔI_{q1} 乘以积分增益 K_{di} 、 K_{qi} 以及第一运算周期 T_1 。由此,在运算周期相互不同的控制用的电压指令值运算部121和判定用的电压指令值运算部112之间,

能够使用相同的积分增益 K_{di} 、 K_{qi} ，进行具有同等响应性的积分运算。由此，能在控制用的电压指令值运算部121和判定用的电压指令值运算部112之间使用相同的控制增益，从而能简化控制系统设计，并且能降低运算处理负荷。

[0062] 或者，在电流变化较大的情况下，由于第一运算周期 T_1 和第二运算周期 T_2 的差，d轴的判定用的积分项 V_{di1} 和d轴的控制用的积分项 V_{di2} 的差异、以及q轴的判定用的积分项 V_{qi1} 和q轴的控制用的积分项 V_{qi2} 的差异变大，有可能被判定为错误地产生了异常。如上所述，因此控制用的电压指令值运算部121可以构成为将在上次运算周期中计算出的d轴和q轴的控制用的积分项 $V_{di2}(n-1)$ 、 $V_{qi2}(n-1)$ 发送到第一运算处理装置11。然后，判定用的电压指令值运算部112可以至少基于从控制用的电压指令值运算部121通过通信获取的控制用的积分值来计算判定用的电压指令值。例如，如下式所示，判定用的电压指令值运算部112可以使用从控制用的电压指令值运算部121发送的上次运算周期的d轴和q轴的控制用的积分项 $V_{di2}(n-1)$ 、 $V_{qi2}(n-1)$ ，代替式(3)和式(4)的上次运算周期的d轴和q轴的判定用的积分项 $V_{di1}(j-1)$ 、 $V_{qi1}(j-1)$ ，使用第二运算周期 T_2 代替式(3)和式(4)的第一运算周期 T_1 ，来计算d轴和q轴的判定用的积分项 $V_{qi1}(j)$ 、 $V_{qi1}(j)$ 。

$$\begin{aligned} V_{di1}(j) &= K_{di} \times T_2 \times \Delta I_{d1} + V_{di2}(n-1) \\ V_{qi1}(j) &= K_{qi} \times T_2 \times \Delta I_{q1} + V_{qi2}(n-1) \\ &\dots (5) \end{aligned}$$

[0063] 另外，在第二运算周期 T_2 充分小于第一运算周期 T_1 时，可以省略式(5)中的第二运算周期 T_2 的项，如下式所示，判定用的电压指令值运算部112可以计算d轴和q轴的判定用的积分项 $V_{qi1}(j)$ 、 $V_{qi1}(j)$ 。

$$\begin{aligned} T_2 &\ll T_1 \\ V_{di1}(j) &= V_{di2}(n-1) \\ V_{qi1}(j) &= V_{qi2}(n-1) \dots (6) \end{aligned}$$

[0064] 1-3-6. 异常判定部113

异常判定部113将通过通信从第二运算处理装置12获取的控制用的电压指令值与判定用的电压指令值进行比较，从而判定控制用的电压指令值运算部121中是否发生异常。

[0065] 在第二运算处理装置12能够正常地从第一运算处理装置11接收电流指令值等，并且第二运算处理装置12(控制用的电压指令值运算部121)的处理电路正常动作时，判定用的电压指令值应该与控制用的电压指令值相一致。另一方面，在判定用的电压指令值偏离控制用的电压指令值时，第二运算处理装置12(控制用的电压指令值运算部121)可能发生异常。根据上述结构，通过比较控制用的电压指令值和判定用的电压指令值，从而能判定控制用的电压指令值运算部121是否发生异常。

[0066] 由于在设置有用用于计算d轴和q轴的旋转坐标系上的电流指令值的控制参数运算部111的第一运算处理装置11中设置有判定用的电压指令值运算部112和异常判定部113，因此能通过其他第一运算处理装置11来判定用于运算d轴和q轴的旋转坐标系上的控制用的电压指令值的控制用的电压指令值运算部121的异常，而不追加用于检测异常的新的运算处理装置。此外，由于使用作为直流分量的d轴和q轴的旋转坐标系上的电压指令值来判定异常，因此不需要在比交流周期更短的运算周期内判定异常，能在不使第一运算处理装置11的第一运算周期 T_1 高速化的情况下判定控制用的电压指令值运算部121的异常。

[0067] 在判定发生异常时,异常判定部113将异常的发生发送到控制参数运算部111、外部的控制装置16、第二运算处理装置12等,并使各单元进行异常发生时的控制。例如,控制参数运算部111将电流指令值设定为0。第二运算处理装置12(开关控制部122)进行关断所有开关元件的全相关断控制,或者进行三相绕组短路控制,该三相绕组短路控制使所有正极侧的开关元件和所有负极侧的开关元件中的一个关断并使另一个导通。

[0068] 在本实施方式中,在控制用的电压指令值与判定用的电压指令值之间的偏差即电压指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值超过判定值 V_{th} 的状态持续了判定时间 T_{err} 以上时,异常判定部113判定为在控制用的电压指令值运算部121中发生了异常。

[0069] 在本实施方式中,异常判定部113将判定值 V_{th} 和判定时间 T_{err} 设定为固定值。

[0070]

分别对d轴和q轴的控制用的电压指令值进行异常判定。具体地说,如下式所示,在d轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 与d轴的判定用的电压指令值 V_{dref1} 之间的偏差即d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值超过d轴的判定值 V_{dth} 的状态持续了判定时间 T_{err} 以上时,异常判定部113判定为控制用的电压指令值运算部121发生了异常。另外,在q轴的控制用的电压指令值 V_{qref2} 与q轴的判定用的电压指令值 V_{qref1} 之间的偏差即q轴的电压指令值的偏差 ΔV_{qref} 的绝对值超过q轴的判定值 V_{qth} 的状态持续了判定时间 T_{err} 以上时,异常判定部113判定为控制用的电压指令值运算部121发生了异常。由此,在判定为d轴和q轴的控制用的电压指令值中的任意一个发生了异常时,判定为控制用的电压指令值运算部121发生了异常,在判定为d轴和q轴的控制用的电压指令值双方都没有发生异常时,判定为控制用的电压指令值运算部121没有发生异常。可以对d轴和q轴的控制用的电压指令值中的一个进行异常判定。另外,可以针对d轴和q轴分别单独地设定判定时间 T_{err} 。

$$|\Delta V_{dref}| = |V_{dref2} - V_{dref1}|$$

$$|\Delta V_{qref}| = |V_{qref2} - V_{qref1}| \cdots (7)$$

[0071] 对于d轴和q轴的电压指令值中的每一个,异常判定部113在每个第一运算周期 T_1 中判定电压指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值是否超过判定值 V_{th} ,在超过判定值 V_{th} 时,使与持续时间对应的计数值 C_{out} 向上计数,在电压指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值未超过判定值 V_{th} 时,使计数值 C_{out} 复位或向下计数,在计数值 C_{out} 超过了与判定时间 T_{err} 对应的计数判定值 C_{th} 时,判定为控制用的电压指令值运算部121中发生了异常。

[0072] 根据旋转电机1的动作环境或周围环境,会产生暂态噪声,若噪声累积,则可能错误地被判定为异常。根据上述结构,由于计数值 C_{out} 被复位或向下计数,因此能够抑制由于噪声而使计数值 C_{out} 向上计数,从而错误地判定为异常的情况。另一方面,有时即使发生异常,电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值由于噪声而不超过判定值 V_{th} ,计数值 C_{out} 会被无意地复位。在这种情况下,通过向下计数能防止计数值 C_{out} 由于噪声分量被复位,从而提高异常判定的精度。

[0073] <流程图>

参照图5所示的流程图,说明异常判定部113的处理。在每个第一运算周期 T_1 中执行图5的流程图中的处理。在步骤S01中,异常判定部113从第二运算处理装置12(控制用的电压指令值运算部121)获取d轴和q轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 、 V_{qref2} 。获取在最新的第一运算周期 T_1 中运算的控制用的电压指令值。

[0074] 在步骤S02中,异常判定部113从判定用的电压指令值运算部112获取d轴和q轴的判定用的电压指令值Vdref1、Vqref1。获取紧接在之前运算的判定用的电压指令值。

[0075] 在步骤S03中,如式(7)所示,异常判定部113计算d轴的控制用的电压指令值Vdref2与d轴的判定用的电压指令值Vdref1之间的偏差即d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值、以及q轴的控制用的电压指令值Vqref2与q轴的判定用的电压指令值Vqref1之间的偏差即q轴的电压指令值的偏差 ΔV_{qref} 的绝对值。

[0076] 在步骤S04中,异常判定部113设定判定值Vth(在本示例中,d轴的判定值Vdth和q轴的判定值Vqth)和判定时间Terr(在本示例中,计数器判定值Cth)。在本实施方式中,判定值Vth和判定时间Terr被设定为固定值。

[0077] 在步骤S05中,异常判定部113判定d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值是否超过d轴的判定值Vdth,在未超过的情况下,前进到步骤S06,在超过的情况下,前进到步骤S07。

[0078] 在步骤S06中,异常判定部113将d轴的计数值Coutd复位为0。另外,异常判定部113可以对d轴的计数值Coutd进行向下计数($Coutd=Coutd-1$)。

[0079] 另一方面,在步骤S07中,异常判定部113使d轴的计数值Coutd向上计数($Coutd=Coutd+1$)。之后,在步骤S08中,异常判定部113判定d轴的计数值Coutd是否超过了计数判定值Cth,在超过的情况下,前进到步骤S13,在未超过的情况下,前进到步骤S09。

[0080] 在步骤S09中,异常判定部113判定q轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值是否超过q轴的判定值Vqth,在未超过的情况下,前进到步骤S10,在超过的情况下,前进到步骤S11。

[0081] 在步骤S10中,异常判定部113将q轴的计数值Coutq复位为0。另外,异常判定部113可以对q轴的计数值Coutq进行向下计数($Coutq=Coutq-1$)。

[0082] 另一方面,在步骤S11中,异常判定部113使q轴的计数值Coutq向上计数($Coutq=Coutq+1$)。之后,在步骤S12中,异常判定部113判定q轴的计数值Coutq是否超过了计数判定值Cth,在超过的情况下,前进到步骤S13,在未超过的情况下,结束处理。

[0083] 在步骤S13中,异常判定部113判定为发生了异常。然后,异常判定部113将异常的发生发送给控制参数运算部111、外部的控制装置16、第二运算处理装置12等,并使各单元进行异常发生时的控制。

[0084] <控制动作>

使用图6的时序图来说明控制动作的示例。图6中代表地示出d轴的电压指令值。在时刻t1之前,转矩指令值To为0,d轴的判定用及控制用的电压指令值Vdref1、Vdref2被设定为0。在时刻t1,转矩指令值增加到规定值,电流指令值增加到规定值。从时刻t1到时刻t2之间,通过电流反馈控制,d轴的判定用及控制用的电压指令值Vdref1、Vdref2逐渐增加到规定值。从时刻t1到时刻t2,处于电流增加的过渡状态,由于第一运算周期T1和第二运算周期T2之间运算周期的偏差、通信引起的延迟,导致产生d轴电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 。但是,d轴电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值低于d轴的判定值Vdth,正常地判定为未发生异常。

[0085] 在时刻t3,在控制用的电压指令值运算部121中发生异常,并且d轴的控制用的电压指令值Vdref2阶跃地增大到规定值。因此,在时刻t3,d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值阶跃地增大,超过d轴的判定值Vdth。然后,在时刻t4,超过d轴的判定值Vdth的状态

持续了判定时间 T_{err} 以上,因此,异常判定部113判定为发生了异常,并进行发生异常时的处理。

[0086] <第一运算周期T1和第二运算周期T2>

如上所述,第一运算周期T1长于第二运算周期T2。第二运算处理装置12需要以比交流周期更短的PWM周期进行运算,因此需要以高速进行动作。另一方面,由于第一运算处理装置11对作为直流分量的d轴和q轴的旋转坐标系上的电流指令值进行运算,因此不需要以比交流周期更短的周期进行运算,并且可以将运算周期设定得较长。

[0087] 在本实施方式中,由于使用作为直流分量的d轴和q轴的旋转坐标系上的电压指令值来判定异常,因此不需要在比交流周期更短的第二运算周期T2中判定异常,而可以使用在比第二运算周期T2更长的第一运算周期T1中进行运算的第一运算处理装置11来判定异常。也就是说,可以使用以低速进行动作的第一运算处理装置11来判定以高速进行动作的第二运算处理装置12的异常。另外,不需要使第一运算处理装置11的运算周期高速化,并能抑制第一运算处理装置11的高成本化。

[0088] 在本实施方式中,虽然没有记载第一运算处理装置11的异常判定单元,但是可以使用公知的各种技术,例如微型计算机的双核锁定步骤等。另外,作为输入电路13的异常判定单元,可以使用已知的各种技术,例如利用电流传感器的电流总和的方法。另外,作为开关控制部122的异常判定单元,可以使用已知的各种技术,例如前置驱动器的击穿电流防止功能等。

[0089] 2.实施方式2

对实施方式2所涉及的控制装置10进行说明。与上述实施方式1相同的结构部分省略说明。本实施方式的旋转电机1、功率转换器4以及控制装置10的基本结构与实施方式1相同,但判定值 V_{th} 的设定方法与实施方式1不同。

[0090] 在本实施方式中,异常判定部113使用以下说明的多个设定方法中的一个或多个,将判定值 V_{th} 设定为可变。

[0091] 异常判定部113基于电流指令值的绝对值设定判定值 V_{th} 。根据该结构,能基于电流指令值的绝对值设定适当的判定值 V_{th} ,从而提高判定精度。或者,异常判定部113可以基于判定用的电压指令值的绝对值而不是电流指令值的绝对值,来设定判定值 V_{th} 。

[0092] 例如,异常判定部113参照预先设定了电流指令值 I_{ref} 的绝对值和判定值 V_{th} 之间的关系的判定值设定映射数据,并计算与当前电流指令值 I_{ref} 的绝对值对应的判定值 V_{th} 。或者,可以使用预先设定的数学式,基于电流指令值的绝对值来计算判定值 V_{th} 。

[0093] <单调减小设定>

如图7所示,异常判定部113随着电流指令值 I_{ref} 的绝对值增大而使判定值 V_{th} 逐渐减小。

[0094] 在电流指令值的绝对值较大时,流过电枢绕组的电流变大,输出转矩也变大。在这种状态下,在控制用的电压指令值运算部121中发生异常时,产生较大的异常转矩。根据上述结构,随着电流指令值的绝对值增大,判定值 V_{th} 逐渐减小,因此容易检测出异常,能够抑制较大的异常转矩的产生。

[0095] 如图8所示,异常判定部113可以在电流指令值的绝对值的第一范围中随着电流指令值 I_{ref} 的绝对值增大而使判定值 V_{th} 逐渐减小,并且在与第一范围不同的电流指令值的

绝对值的第二范围中,将判定值 V_{th} 设定为固定值。第二范围被设定为高于第一范围的范围。第二范围被设定为低于第一范围的范围。

[0096] 在电流指令值的绝对值较大的范围内,由于单调减小,判定值 V_{th} 被设定为过小的值,由于电压指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值中包含的噪声分量,有可能被错误地判定为异常。根据上述结构,在第二范围中将判定值 V_{th} 设定为固定值,因此能够防止由于单调减小而将判定值 V_{th} 设定为过小的值的情况,并能够抑制由于噪声分量而产生误判定。

[0097] <单调增大设定>

或者,如图9所示,异常判定部113随着电流指令值 I_{ref} 的绝对值增大而使判定值 V_{th} 逐渐增大。

[0098] 在电流传感器6中存在增益误差的情况下,电流越大,电流检测误差越大,即使没有发生异常,电压指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值也有变大的趋势,容易被判定为异常。根据上述结构,随着电流指令值的绝对值增大,判定值 V_{th} 逐渐增大,因此即使在电流传感器6中存在增益误差的情况下没有产生异常,也能够抑制错误地判定异常。

[0099] 如图10所示,异常判定部113可以在电流指令值的绝对值的第一范围中随着电流指令值的绝对值增大而使判定值 V_{th} 逐渐增大,并且在与第一范围不同的电流指令值的绝对值的第二范围中,将判定值 V_{th} 设定为固定值。第二范围被设定为低于第一范围的范围。第二范围被设定为高于第一范围的范围。

[0100] 在电流指令值的绝对值较小的范围内,由于单调增大,判定值 V_{th} 被设定为过小的值,由于电压指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值中包含的噪声分量,有可能被错误地判定为异常。根据上述结构,在第二范围中将判定值 V_{th} 设定为固定值,因此能够防止由于单调增大而将判定值 V_{th} 设定为过小的值的情况,并能够抑制由于噪声分量而产生误判定。

[0101] <d轴的判定值和q轴的判定值的设定>

在本实施方式中,基于电流指令值的绝对值来分别设定d轴的判定值 V_{dth} 和q轴的判定值 V_{qth} 。具体地,异常判定部113基于d轴的电流指令值 I_{dref} 的绝对值来设定d轴的判定值 V_{dth} ,基于q轴的电流指令值 I_{qref} 的绝对值来设定q轴的判定值 V_{qth} 。设定方法使用上述方法中的任意一种,因此省略说明。该运算在实施方式1的图5的流程图的步骤S04中进行。或者,异常判定部113可以基于d轴的判定用的电压指令值 V_{dref1} 的绝对值以代替d轴的电流指令值 I_{dref} 的绝对值,设定d轴的判定值 V_{dth} ,也可以基于q轴的判定用的电压指令值 V_{qref1} 的绝对值以代替q轴的电流指令值 I_{qref} 的绝对值,设定q轴的判定值 V_{qth} 。

[0102] <与电流指令值的正或负相对应的判定值的变化>

异常判定部113可以在电流指令值为正值的情况和为负值的情况下,使判定值 V_{th} 的设定不同。或者,在使用判定用的电压指令值来代替电流指令值的情况下,异常判定部113可以在判定用的电压指令值为正值的情况和为负值的情况下,使判定值 V_{th} 的设定不同。

[0103] 例如,由于在d轴电流为正的区,容易出现磁饱和的状况,因此电感降低且施加异常的电压时的电流变化、转矩变化变大。另一方面,d轴电流为负的区域很难发生磁饱和,施加异常电压时的电流变化、转矩变化与正的区域相比要小。在这种情况下,通过将正的区域的d轴的判定值 V_{dth} 设定得比负的区域d轴的判定值 V_{dth} 更低,从而能优化到异常转矩的余量。

[0104] 即使在向同一方向旋转的情况下,在q轴电流处于作为功率运行侧的正区域,基于转矩指令值或q轴的电流指令值 I_{qref} 设定q轴的判定值 V_{qth} ,在作为再生侧的负区域,基于发电电流设定q轴的判定值 V_{qth} ,使q轴的判定值 V_{qth} 的设定不同,从而提高异常判定的精度。

[0105] <与旋转速度相对应的判定值的变化>

稳定时的电压方程式由下式表示。

$$V_d = R_a \times I_d - \omega \times L_q \times I_q$$

$$V_q = R_a \times I_q + \omega \times (L_d \times I_d + \psi) \quad \cdot \cdot \cdot \quad (8)$$

其中, V_d 是d轴电压, R_a 是电枢绕组的电阻值, I_d 是d轴电流, ω 是转子在电气角处的旋转角速度, L_q 是q轴电感, I_q 是q轴电流, V_q 是q轴电压, L_d 是d轴电感, ψ 是转子磁体的交链磁通。

[0106] 旋转角速度 ω 较大时,电压方程式为下式。

$$V_d \doteq -\omega \times L_q \times I_q \rightarrow I_q \doteq -V_d / (\omega \times L_q)$$

$$V_q \doteq \omega (L_d \times I_d + \psi) \rightarrow I_d \doteq (V_q / \omega - \psi) / L_d$$

... (9)

[0107] 因此,在d轴或q轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 、 V_{qref2} 发生同样的异常偏差时,在旋转角速度 ω 较大的区域,电流变化较小,而在旋转角速度 ω 较小的区域,电流变化较大,产生较大的异常转矩。

[0108] 因此,异常判定部113基于旋转电机1的旋转速度来设定判定值 V_{th} 。根据该结构,能针对旋转角速度 ω 的变化,使异常判定时的输出转矩的变动优化。

[0109] 例如,异常判定部113随着旋转角速度 ω 减小而使判定值 V_{th} 减小。如果这样设定,则在旋转角速度 ω 较小的区域,使用较小的判定值 V_{th} ,因此能够抑制异常判定时的输出转矩的变动过大。

[0110] 例如,异常判定部113参照预先设定了旋转角速度 ω 、电流指令值 I_{ref} 的绝对值、以及判定值 V_{th} 之间的关系的判定值设定映射数据,计算与当前的旋转角速度 ω 、以及当前的电流指令值 I_{ref} 的绝对值对应的判定值 V_{th} 。或者,也可以使用预先设定的数学式来设定判定值 V_{th} 。

[0111] 或者,异常判定部113可以根据针对多个旋转角速度的区域中的每一个预先设定电流指令值 I_{ref} 的绝对值和判定值 V_{th} 之间的关系的判定值设定映射数据,参照与当前的旋转角速度 ω 对应的旋转角速度区域的判定值设定映射数据,计算与当前的电流指令值 I_{ref} 的绝对值对应的判定值 V_{th} 。或者,也可以使用针对多个旋转角速度的每个区域预先设定的数学式来设定判定值 V_{th} 。

[0112] 或者,异常判定部113基于旋转电机1的旋转速度来改变判定值 V_{th} ,但不基于电流指令值 I_{ref} 的绝对值来改变判定值 V_{th} 。

[0113] 3.实施方式3

对实施方式3所涉及的控制装置10进行说明。对与上述实施方式1或2相同的结构部分省略说明。本实施方式的旋转电机1、功率转换器4以及控制装置10的基本结构与实施方式1或2相同,但判定时间 T_{err} 的设定方法与实施方式1或2不同。

[0114] 在本实施方式中,异常判定部113使用以下说明的多个设定方法中的一个或多个,

将判定时间Terr设定为可变。

[0115] <与电压指令值的偏差相对应的设定>

异常判定部113根据电压指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值的增大,减小判定时间Terr(本例中为计数器判定值Cth)。

[0116] 随着电压指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值的增大,输出转矩的变动量变大。根据上述结构,在输出转矩的变动量较大时,能够尽早判定异常,并进行判定异常时的处理。

[0117] 在本实施方式中,针对d轴和q轴单独地设定判定时间Terr。也就是说,在d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值超过d轴的判定值Vdth的状态持续d轴的判定时间Terrd以上的情况下,异常判定部113判定为控制用的电压指令值运算部121发生异常。在q轴的电压指令值的偏差 ΔV_{qref} 的绝对值超过q轴的判定值Vqth的状态持续q轴的判定时间Terrq以上的情况下,异常判定部113判定为控制用的电压指令值运算部121发生异常。

[0118] 然后,如图11所示,异常判定部113根据d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值增大,使d轴的判定时间Terrd(在本例中,d轴的计数器判定值Cthd)减小。如图12所示,异常判定部113根据q轴的电压指令值的偏差 ΔV_{qref} 的绝对值增大,使q轴的判定时间Terrq(在本例中,q轴的计数器判定值Cthq)减小。该运算在实施方式1的图5的流程图的步骤S04中进行。

[0119] 例如,异常判定部113使用如下式所示的预先设定的数学式,设定d轴和q轴的判定时间Terrd、Terrq。

$$\begin{aligned} Terrd &= Ad \times (|\Delta V_{dref}| - Vdth) + Tdoff \\ Terrq &= Aq \times (|\Delta V_{qref}| - Vqth) + Tqoff \\ &\dots (10) \end{aligned}$$

其中,Ad、Aq是预先设定的斜率,Tdoff、Tqoff是与判定值Vdth、Vqth相对应的判定时间。此外,也可以使用高阶数学式。

[0120] 或者,异常判定部113可以参照预先设定d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值与d轴的判定时间Terrd之间的关系的d轴判定时间映射数据,计算与当前的d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值对应的d轴的判定时间Terrd。异常判定部113可以参照预先设定了q轴的电压指令值的偏差 ΔV_{qref} 的绝对值与q轴的判定时间Terrq之间的关系的q轴的判定时间映射数据,从而计算与当前q轴的电压指令值的偏差 ΔV_{qref} 的绝对值相对应的q轴的判定时间Terrq。

[0121] 使用图13和图14的时序图来说明控制动作的示例。图13是异常发生时的d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值较小时的示例,图14是异常发生时d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值较大时的示例。

[0122] 对于图13进行说明。在时刻t11之前,未发生异常,d轴的判定用的电压指令值Vdref1与d轴的控制用的电压指令值Vdref2一致,d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值低于d轴的判定值Vdth,d轴的计数值Coutd为0。

[0123] 在时刻t11,在控制用的电压指令值运算部121中发生异常,d轴的控制用的电压指令值Vdref2阶跃地增大,d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值阶跃地增大,并且超过d轴的判定值Vdth。但是,在本例中,由于d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值较小,所以d轴的判定时间Terrd(在本例中,d轴的计数器判定值Cthd)被设定为较大的值。

[0124] 在时刻 t_{11} 之后,d轴的计数值 C_{outd} 向上计数,在时刻 t_{12} ,d轴的计数值 C_{outd} 超过被设定为较大值的d轴的计数器判定值 C_{thd} ,从而判定为发生了异常。

[0125] 对于图14进行说明。在时刻 t_{21} 之前,未发生异常,d轴的判定用的电压指令值 V_{dref1} 与d轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 一致,d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值低于d轴的判定值 V_{dth} ,d轴的计数值 C_{outd} 为0。

[0126] 在时刻 t_{21} ,在控制用的电压指令值运算部121中发生异常,d轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 阶跃地增大,d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值阶跃地增大,并且超过d轴的判定值 V_{dth} 。在本例中,d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值大于图13,因此d轴的判定时间 T_{errd} (在本例中,d轴的计数器判定值 C_{thd})被设定为小于图13的值。

[0127] 在时刻 t_{21} 之后,d轴的计数值 C_{outd} 向上计数,在比图13中的时刻 t_{12} 更早的时刻 t_{22} ,d轴的计数值 C_{outd} 超过被设定为较小值的d轴的计数器判定值 C_{thd} ,从而判定为发生了异常。这样,在d轴的电压指令值的偏差 ΔV_{dref} 的绝对值较大,且输出转矩的变动量较大时,能尽早判定异常,并进行判定异常时的处理。

[0128] <与电压指令值的绝对值相对应的判定时间的设定>

异常判定部113可以基于控制用的电压指令值的绝对值或判定用的电压指令值的绝对值来设定判定时间 T_{err} 。例如,异常判定部113根据控制用的电压指令值的绝对值或判定用的电压指令值的绝对值增大,使判定时间 T_{err} 减少或增大。

[0129] 在本实施方式中,异常判定部113基于d轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 的绝对值或d轴的判定用的电压指令值 V_{dref1} 的绝对值,设定d轴的判定时间 T_{errd} 。另外,异常判定部113基于q轴的控制用的电压指令值 V_{qref2} 的绝对值或q轴的判定用的电压指令值 V_{qref1} 的绝对值,设定q轴的判定时间 T_{errq} 。

[0130] 或者,通过组合两种设定方法,异常判定部113可以基于控制用的电压指令值的绝对值或判定用的电压指令值的绝对值,使判定时间 T_{err} 减少或增大,并且随着控制用的电压指令值与判定用的电压指令值之间的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值增大,使判定时间减少。

[0131] <与旋转速度相对应的判定时间的变化>

如实施方式2中说明的那样,在d轴或q轴的控制用的电压指令值 V_{dref2} 、 V_{qref2} 发生同样的异常偏差时,在旋转角速度 ω 较大的区域,电流变化比较小,而在旋转角速度 ω 较小的区域,电流变化比较大,产生较大的异常转矩。

[0132] 因此,异常判定部113可以基于旋转电机的旋转速度来设定判定时间 T_{err} 。例如,异常判定部113随着旋转角速度 ω 减小而使判定时间 T_{err} 减少。这样设定的话,在旋转角速度 ω 较小的区域,使用较小的判定时间 T_{err} ,因此能够尽早地判定异常,避免长时间产生较大的异常转矩。相反地,在旋转角速度 ω 较大的区域,由于异常转矩的影响较小,因此能设定比较大的判定时间 T_{err} 。

[0133] 例如,异常判定部113参照预先设定了旋转角速度 ω 、电流指令值的偏差 ΔV_{ref} 的绝对值、以及判定时间 T_{err} 之间的关系的判定值设定映射数据,计算与当前的旋转角速度 ω 、以及当前的电流指令值的偏差 ΔV_{ref} 对应的判定时间 T_{err} 。

[0134] 4.变换例

旋转电机1可以是在转子上设置有励磁绕组的励磁绕组式同步旋转电机,或者可以是在转子上设定有笼型电导体的感应旋转电机。即使在这种情况下,由于计算d轴和q轴

的旋转坐标系上的控制用的电压指令值,因此能判定异常。

[0135] 在定子上可以设置三相以外的多相(例如,两相、四相)电枢绕组。

[0136] 在定子上可以设置多组(如两组)三相电枢绕组,与各组三相电枢绕组对应地设置功率转换器和控制装置的各部分。

[0137] 第一运算处理装置11可以是CPU和存储装置以外的处理电路,例如ASIC或FPGA。另外,第二运算处理装置12可以是除ASIC或FPGA以外的处理电路,例如设为CPU和存储装置。第一运算处理装置11和第二运算处理装置12分别可以是设置在具有多个CPU的核心的微型计算机中的第一CPU和存储装置、第二CPU和存储装置,可以通过核心间通信发送和接收数据的系统。

[0138] 在不使用旋转传感器4的情况下,控制用的电压指令值运算部121或控制参数运算部111可构成基于通过将谐波分量叠加到电流指令值而获取的电流信息等来推定转子的旋转角度 θ (磁极位置)(所谓的无传感器系统)。然后,推定的旋转角度 θ 的信息可以通过通信在控制用的电压指令值运算部121和控制参数运算部111之间被发送。

[0139] 虽然本申请记载了各种示例性实施方式和实施例,但是在一个或多个实施方式中记载的各种特征、方式和功能不限于特定实施方式的应用,可以单独地或以各种组合来应用于实施方式。因此,可以认为未例示的无数变形例也包含在本申请说明书所公开的技术范围内。例如,设为包括对至少一个构成要素进行变形、追加或省略的情况,以及提取至少一个构成要素并与其他实施方式的构成要素进行组合的情况。

标号说明

[0140] 1旋转电机,4功率转换器,10旋转电机的控制装置,11第一运算处理装置,12第二运算处理装置,111控制参数运算部,112判定用的电压指令值运算部,113异常判定部,121控制用的电压指令值运算部,122开关控制部,Cout计数值,Cth计数器判定值,Idref d轴的电流指令值,Iqref q轴的电流指令值,T1第一运算周期,T2第二运算周期,Terr判定时间,Vdref1 d轴的判定用的电压指令值,Vqref1q轴的判定用的电压指令值,Vdref2 d轴的控制用的电压指令值,Vqref2 q轴的控制用的电压指令值,Vth判定值, $\Delta Vref$ 电压指令值的偏差。

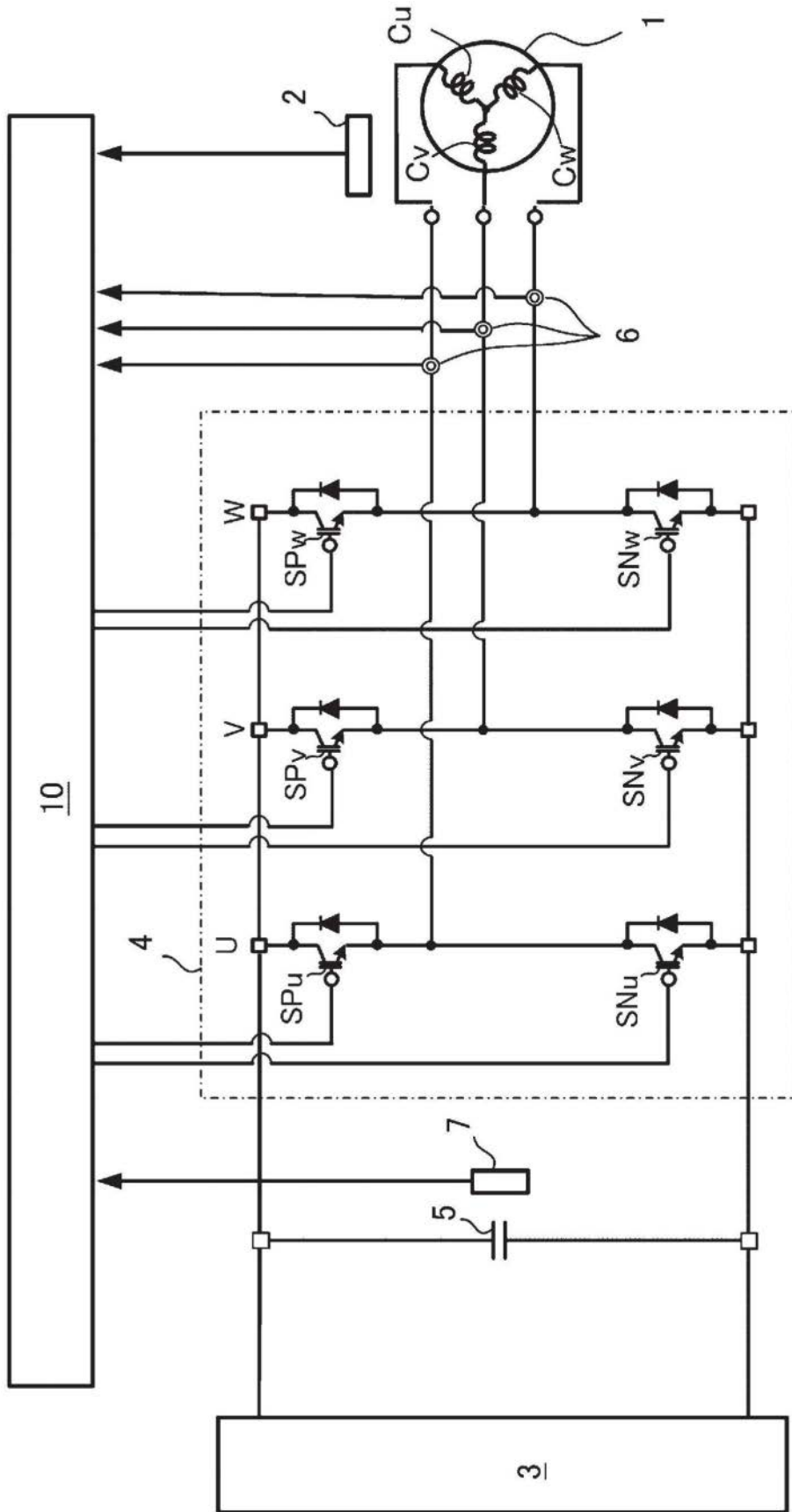


图1

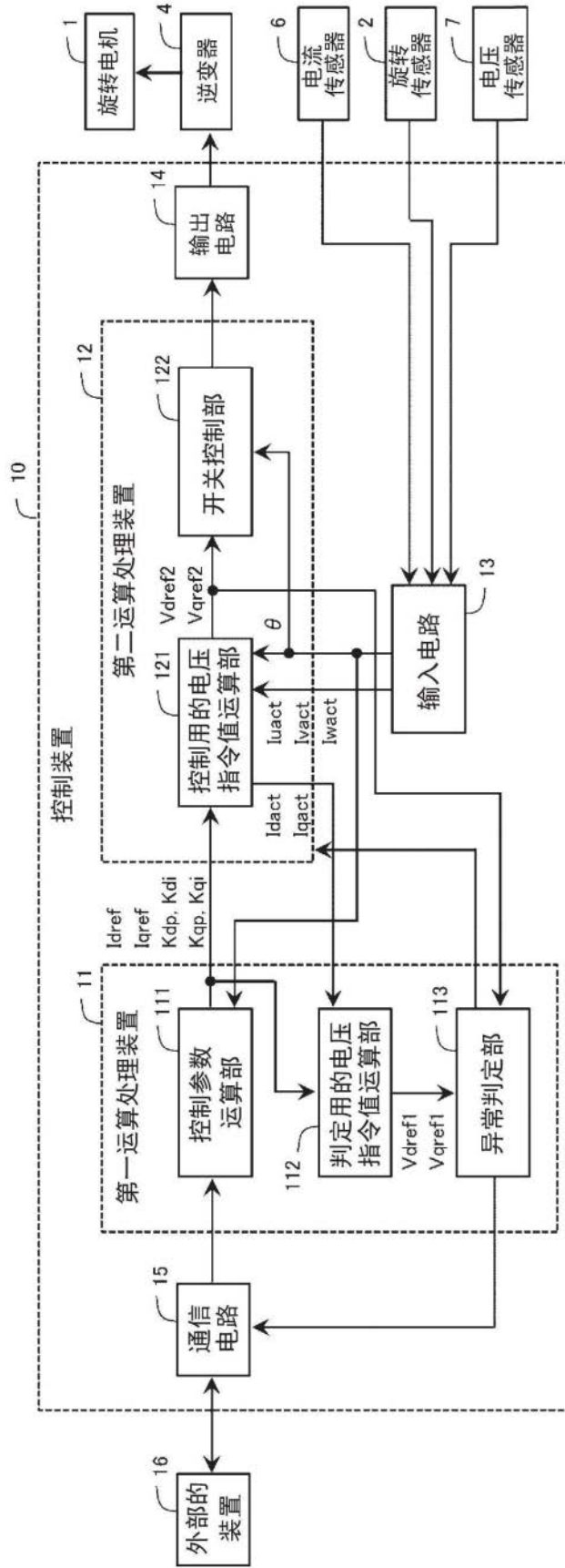


图2

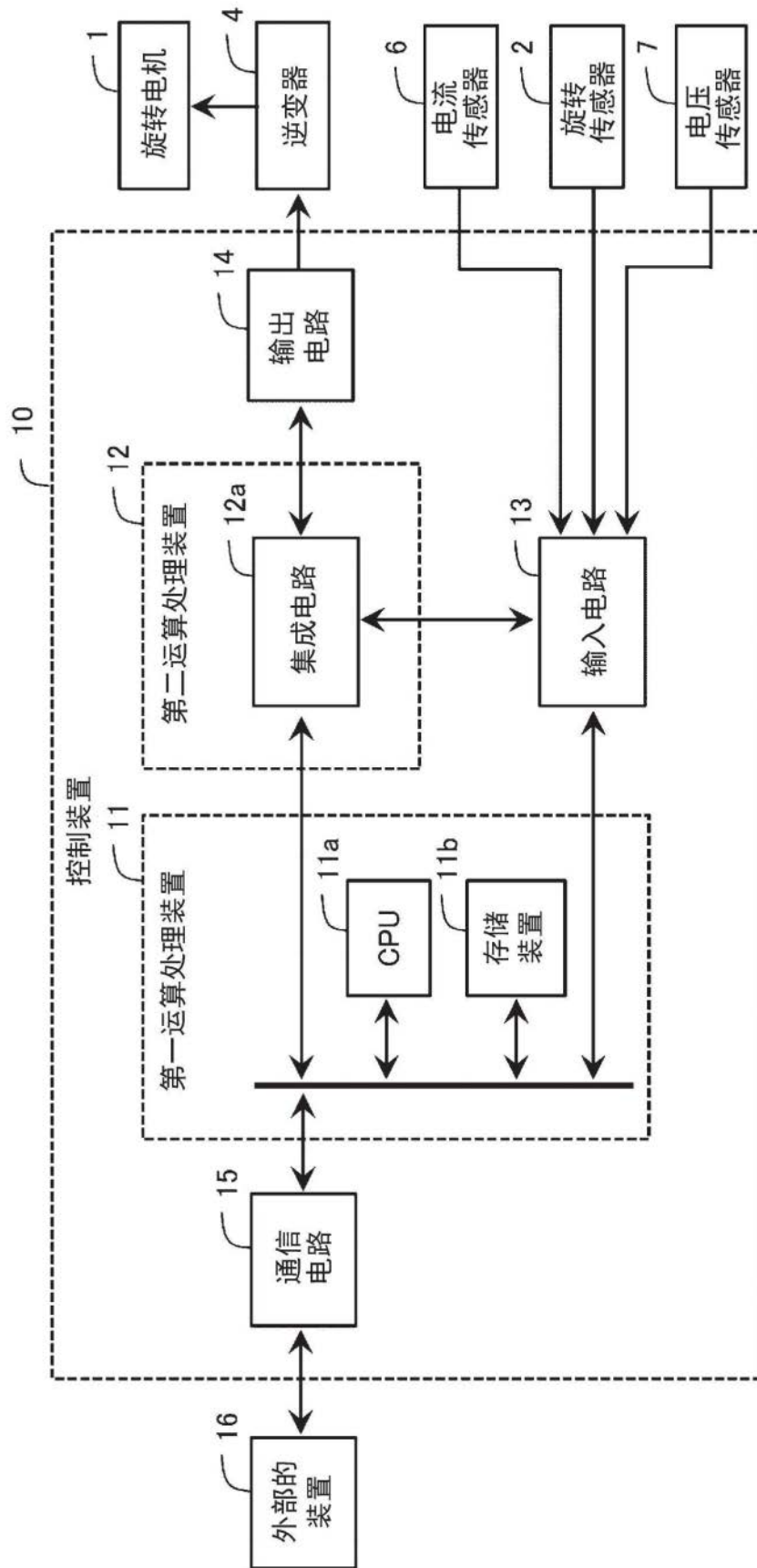


图3

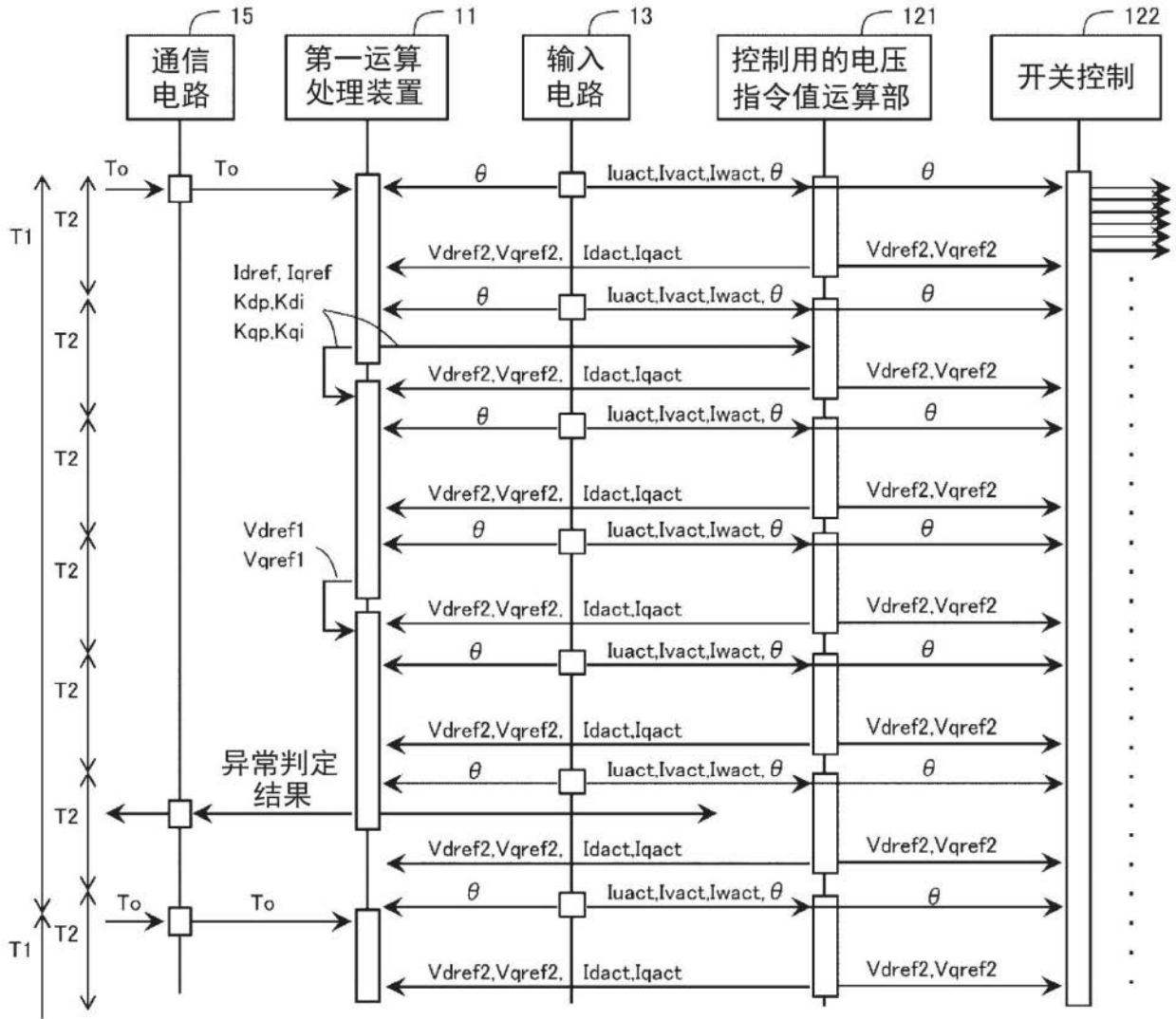


图4

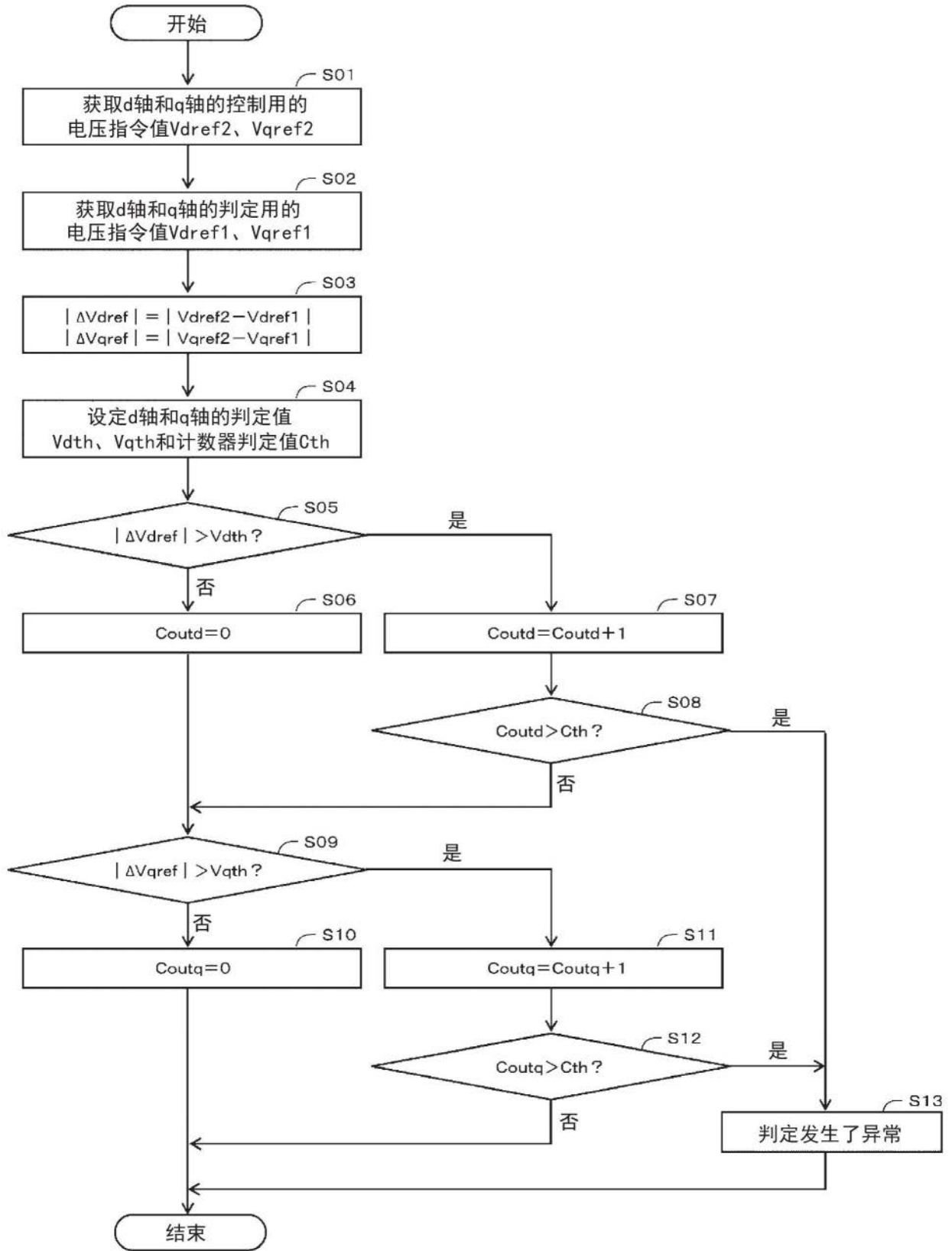


图5

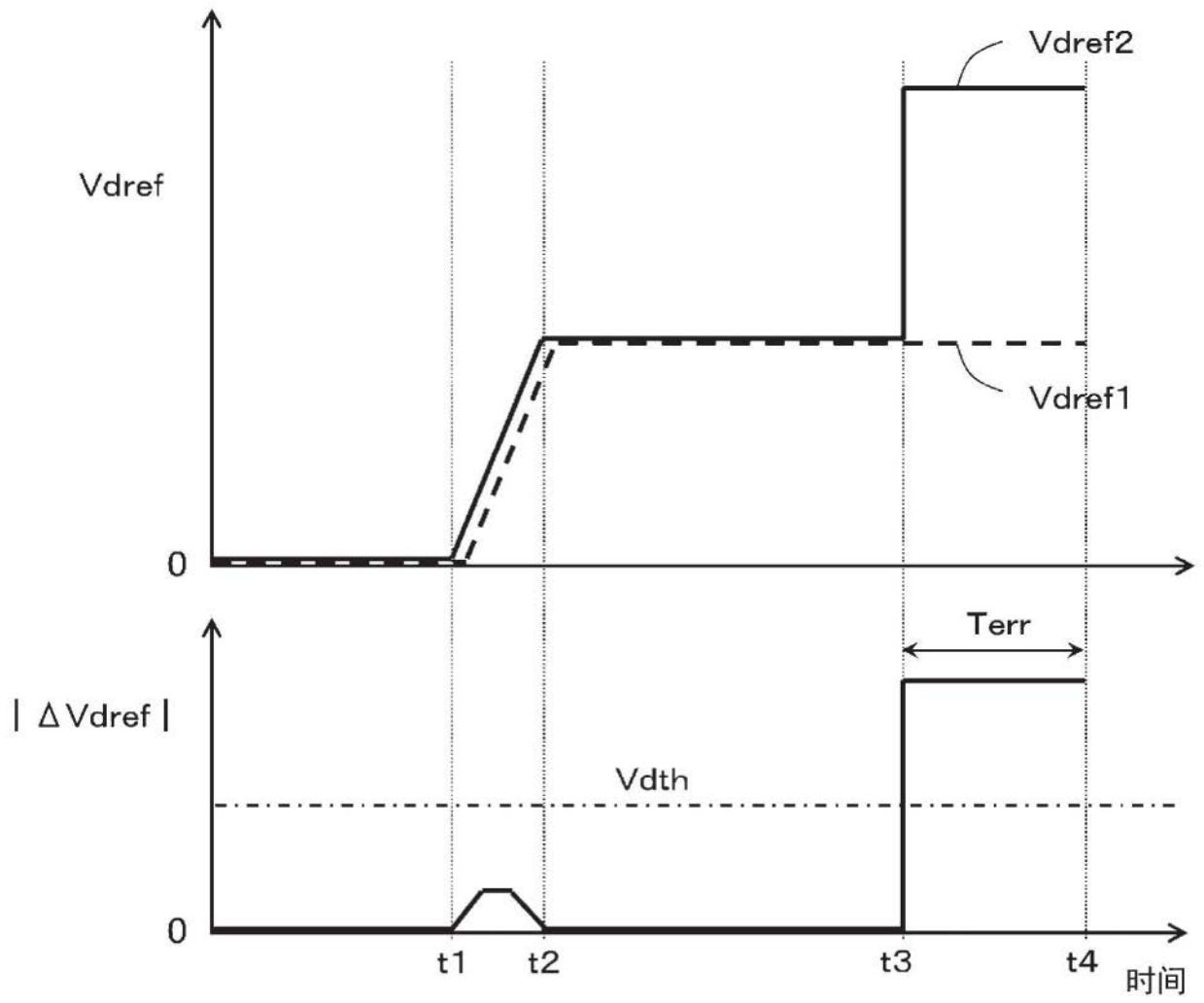


图6

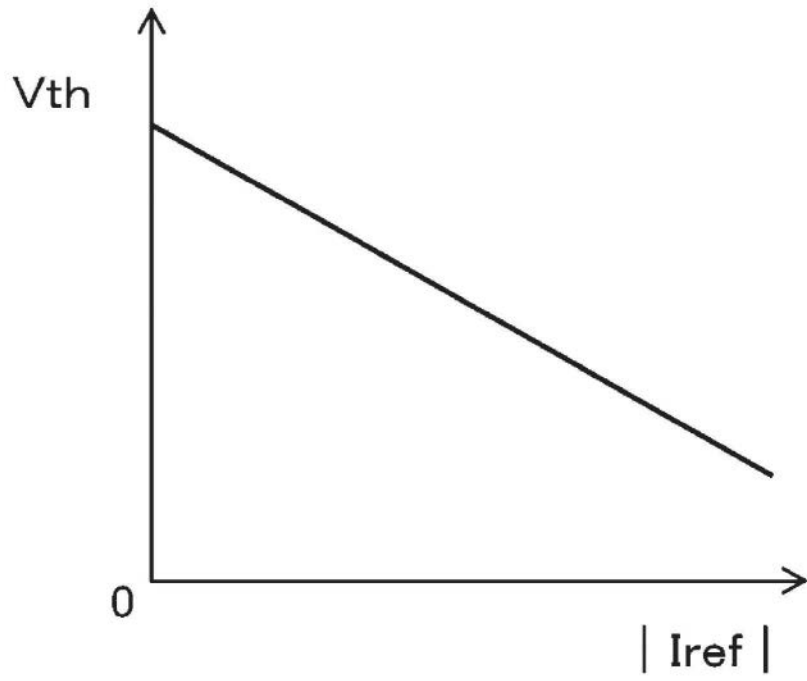


图7

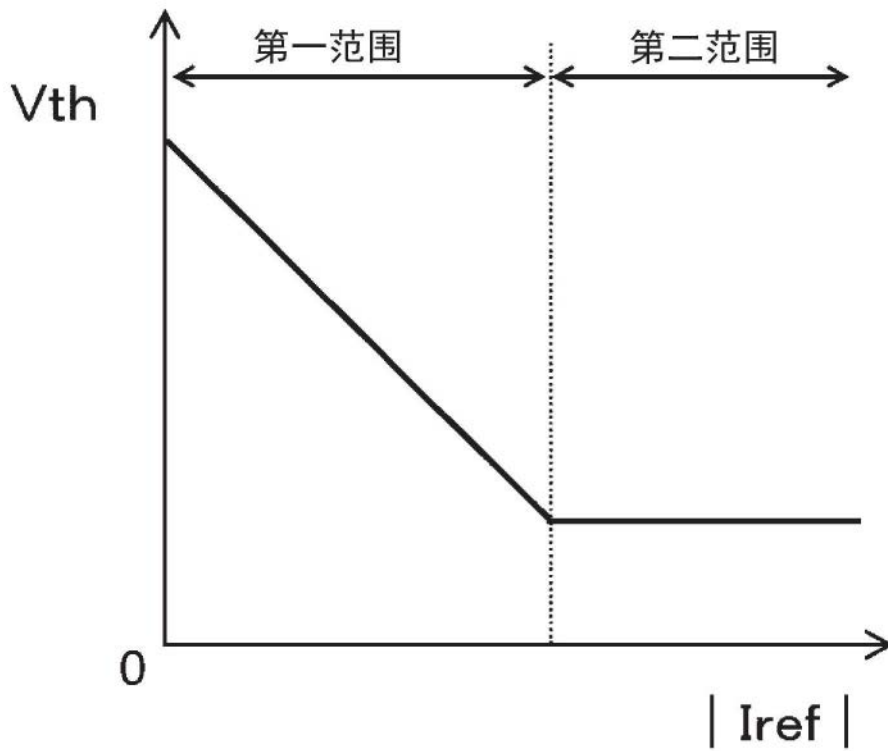


图8

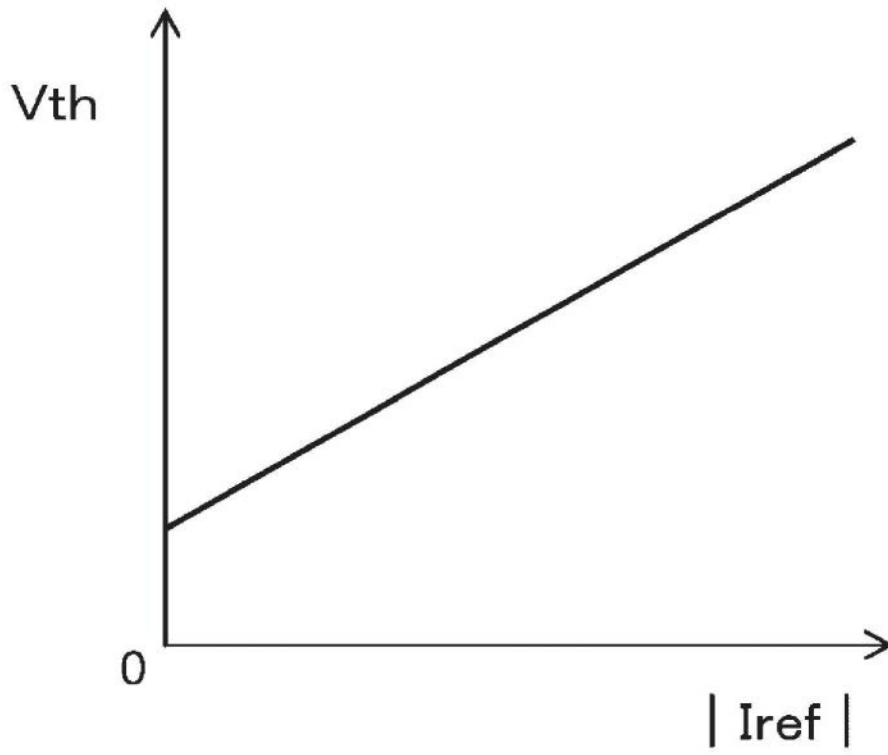


图9

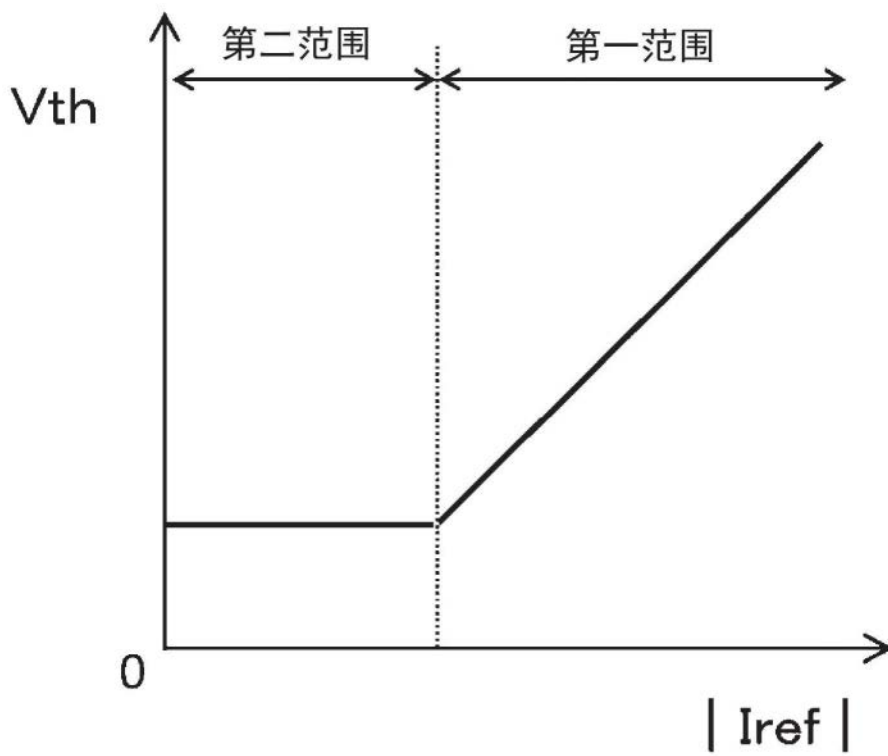


图10

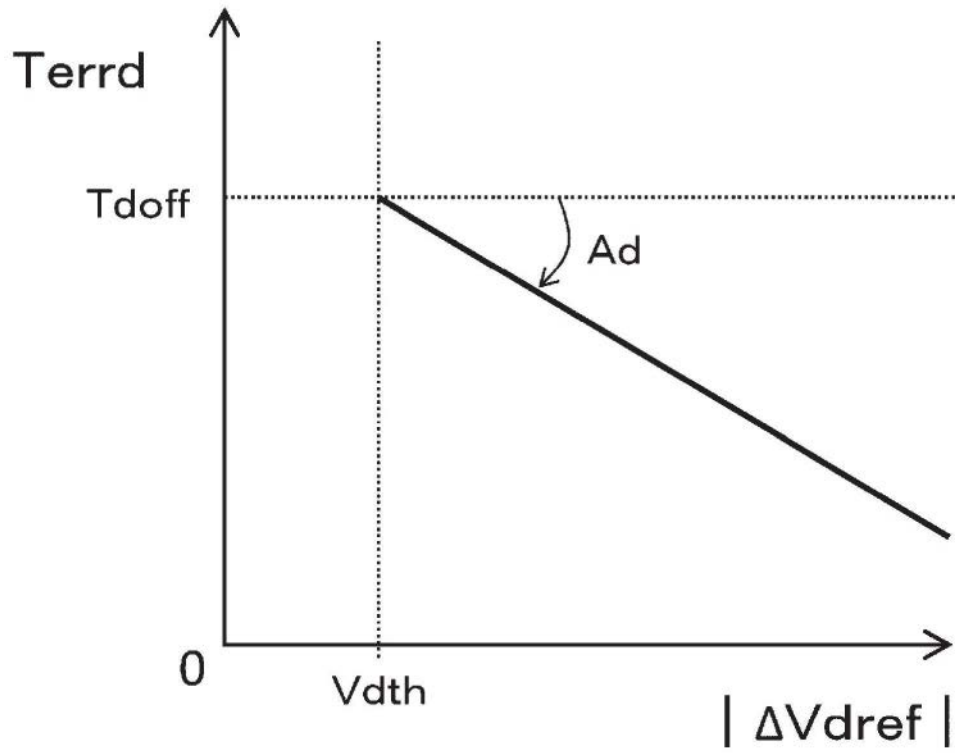


图11

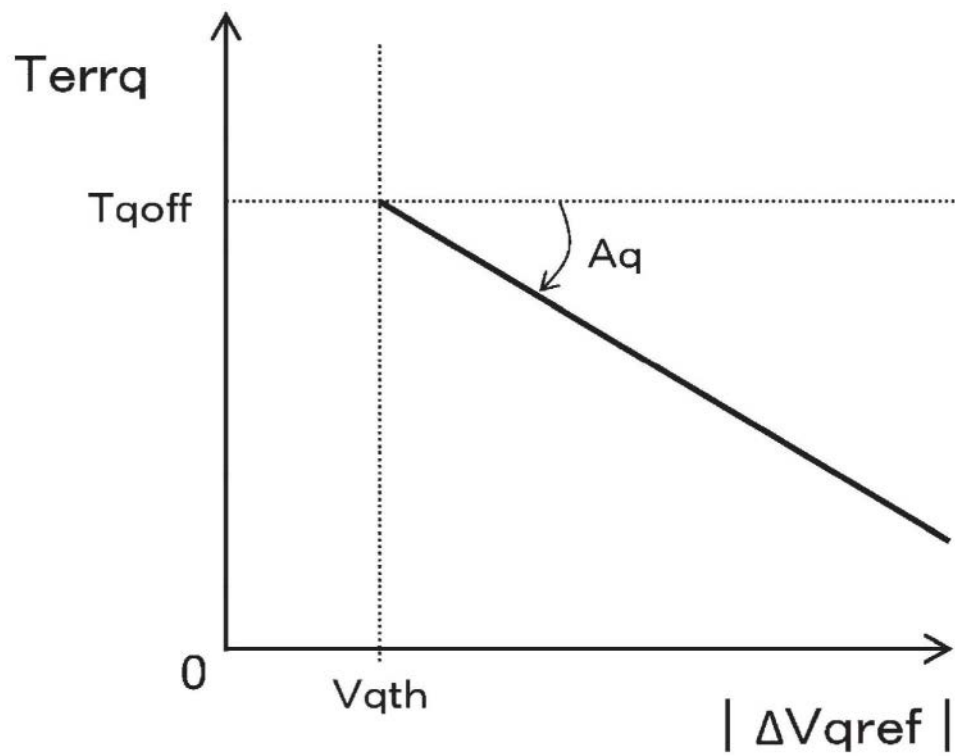


图12

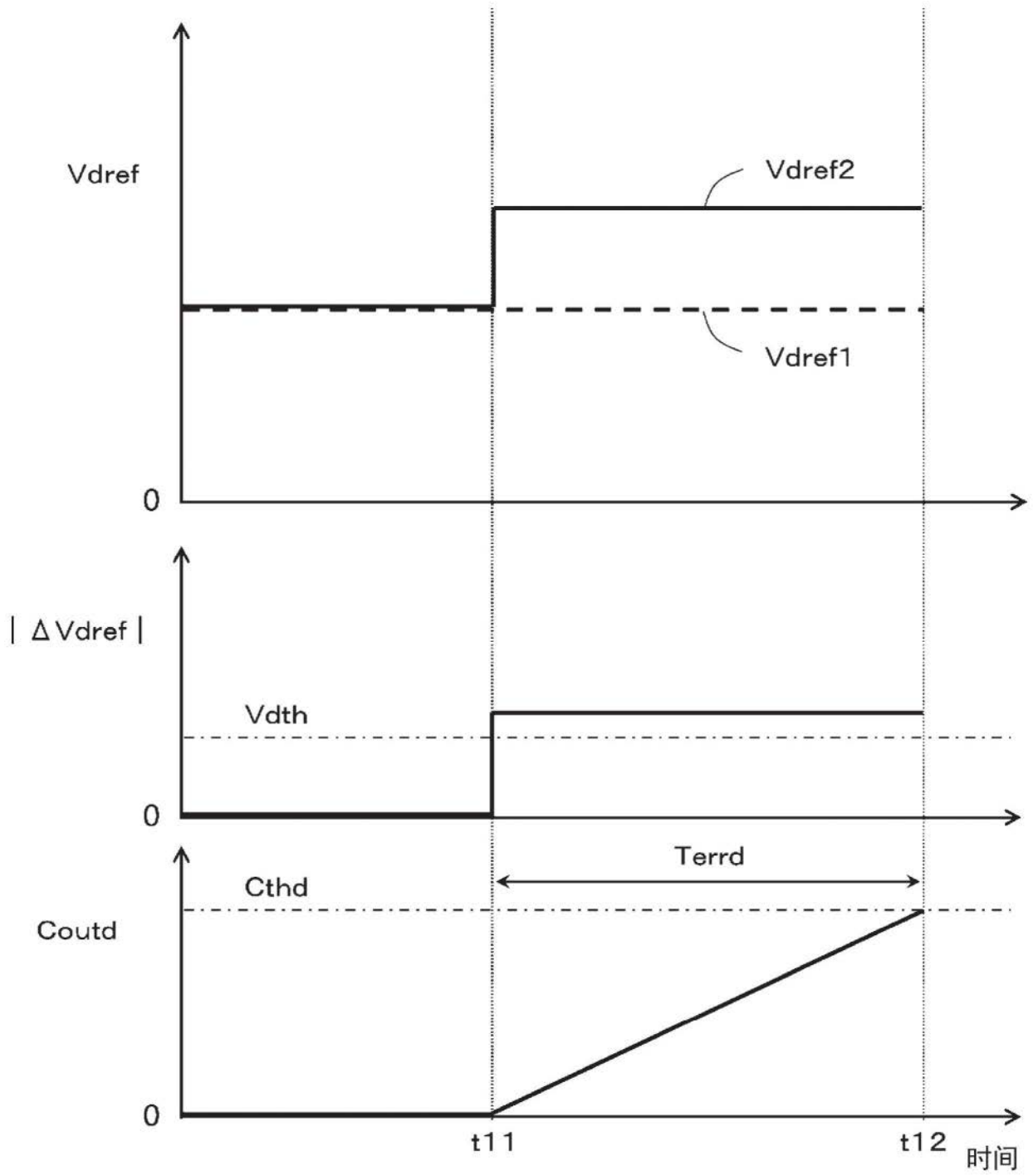


图13

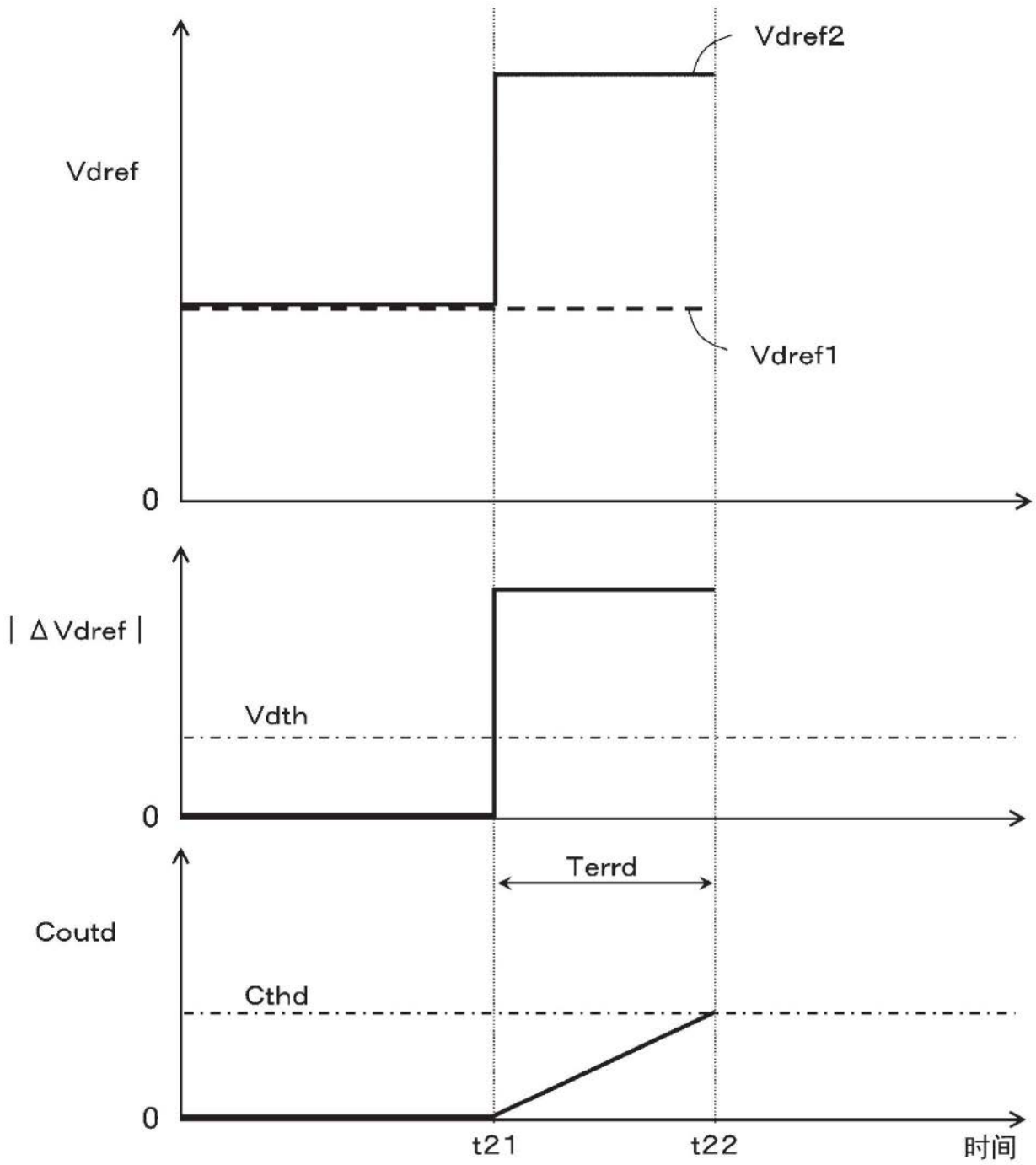


图14