



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103904980 B

(45)授权公告日 2016.09.21

(21)申请号 201310727149.5

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2013.12.25

H02P 27/06(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 贾贺帅

申请公布号 CN 103904980 A

(43)申请公布日 2014.07.02

(30)优先权数据

2012-280918 2012.12.25 JP

(73)专利权人 丰田自动车株式会社

地址 日本爱知县

专利权人 株式会社电装

(72)发明人 森井秋由 野村哲也 中村诚

山崎干夫

(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 杨晓光 郭晓华

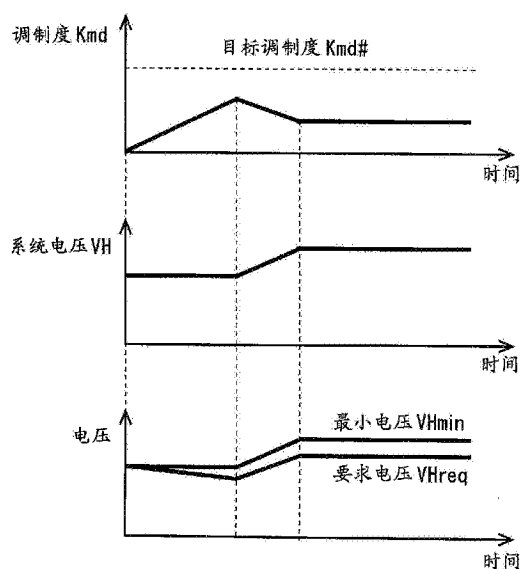
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54)发明名称

车辆和用于车辆的控制装置

(57)摘要

本发明涉及车辆和用于车辆的控制装置。在车辆上,安装有转换并输出电压的转换器、将从所述转换器输出的DC电力转换为AC电力的逆变器、由从所述逆变器提供的AC电力驱动的电动机。控制装置计算要求电压 $V_{Hreq}$ 作为用于使所述逆变器的调制度 $K_{md}$ 更接近预定目标调制度 $K_{md\#}$ 的来自所述转换器的输出电压,根据所述电动机的目标转矩计算最小电压 $V_{Hmin}$ 作为能够实现所述电动机的目标转矩的来自所述转换器的输出电压的最小值,并且控制所述转换器,使得来自所述转换器的输出电压 $V_H$ 更接近所述要求电压 $V_{Hreq}$ 和所述最小电压 $V_{Hmin}$ 中较大一者的值。



1. 一种车辆,包括:

转换器,其转换并输出电压;

逆变器,其将从所述转换器输出的DC电力转换为AC电力;

电动机,其由从所述逆变器提供的AC电力驱动;以及

控制装置,其被配置为控制所述转换器和所述逆变器,

所述控制装置

计算要求电压作为用于使所述逆变器的调制度更接近预定目标调制度的来自所述转换器的输出电压,

根据所述电动机的目标转矩,计算最小电压作为能够实现所述电动机的目标转矩的来自所述转换器的输出电压的最小值,并且

控制所述转换器,使得来自所述转换器的输出电压更接近所述要求电压和所述最小电压中较大一者的值。

2. 根据权利要求1的车辆,其中在应用PWM控制的情况下,所述控制装置被配置为:

通过将用于执行偏差的反馈控制的比例项和积分项加到必要电压,重复地计算所述要求电压,该偏差是通过从目标系统电压减去当前输出电压而获得的,该必要电压是作为实现所述电动机的目标转矩所必需的来自所述转换器的输出电压而根据所述电动机的目标转矩计算出的;以及

通过将所述当前输出电压乘以当前调制度与目标调制度之比来计算所述目标系统电压。

3. 根据权利要求1的车辆,其中在应用矩形波控制的情况下,所述控制装置被配置为:

通过将用于执行电压差的反馈控制的比例项和积分项加到必要电压,重复地计算所述要求电压,该电压差是基于所述电动机的d轴电流和q轴电流而获得的,该必要电压是作为实现所述电动机的目标转矩所必需的来自所述转换器的输出电压而根据所述电动机的目标转矩计算出的;以及

根据在所述d轴电流和所述q轴电流的二维坐标上预先确定的映射来计算所述电压差。

4. 根据权利要求2或3的车辆,其中

所述控制装置被配置为,当所述最小电压大于所述要求电压时,通过使用从所述最小电压减去所述必要电压和所述比例项而获取的值作为所述积分项计算下一个要求电压。

5. 一种用于车辆的控制装置,该车辆包括转换并输出电压的转换器、将从所述转换器输出的DC电力转换为AC电力的逆变器、以及由从所述逆变器提供的AC电力驱动的电动机,该控制装置包括:

第一计算单元,用于计算要求电压作为用于使所述逆变器的调制度更接近预定目标调制度的来自所述转换器的输出电压,

第二计算单元,用于根据所述电动机的目标转矩,计算最小电压作为能够实现所述电动机的目标转矩的来自所述转换器的输出电压的最小值,以及

控制单元,用于控制所述转换器,使得来自所述转换器的输出电压更接近所述要求电压和所述最小电压中较大一者的值。

6. 根据权利要求5的用于车辆的控制装置,其中在应用PWM控制的情况下,所述第一计算单元:

通过将用于执行偏差的反馈控制的比例项和积分项加到必要电压,重复地计算所述要求电压,该偏差是通过从目标系统电压减去当前输出电压而获得的,该必要电压是作为实现所述电动机的目标转矩所必需的来自所述转换器的输出电压而根据所述电动机的目标转矩计算出的;以及

通过将所述当前输出电压乘以当前调制度与目标调制度之比来计算所述目标系统电压。

7.根据权利要求5的用于车辆的控制装置,其中在应用矩形波控制的情况下,所述第一计算单元:

通过将用于执行电压差的反馈控制的比例项和积分项加到必要电压,重复地计算所述要求电压,该电压差是基于所述电动机的d轴电流和q轴电流而获得的,该必要电压是作为实现所述电动机的目标转矩所必需的来自所述转换器的输出电压而根据所述电动机的目标转矩计算出的;以及

根据在所述d轴电流和所述q轴电流的二维坐标上预先确定的映射来计算所述电压差。

8.根据权利要求6或7的用于车辆的控制装置,其中

当所述最小电压大于所述要求电压时,所述第一计算单元通过使用从所述最小电压减去所述必要电压和所述比例项而获取的值作为所述积分项计算下一个要求电压。

## 车辆和用于车辆的控制装置

[0001] 该非临时申请基于2012年12月25日提交给日本专利局的编号为2012-280918的日本专利申请,该申请的全部内容通过引用的方式并入于此。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及用于车辆的控制装置,尤其涉及用于控制车辆中转换器的输出电压的技术,该车辆包括由通过转换器和逆变器提供的电力驱动的电动机。

### 背景技术

[0003] 包括电动机作为驱动源的混合动力汽车、燃料电池汽车和电动汽车是公知的。例如,采用三相AC电动机作为电动机。此类电动机被提供来自逆变器的AC电力。

[0004] 可使用各种技术控制逆变器。以用于控制逆变器的技术为例,公开号为2006-311768的日本专利公开了将逆变器执行的电压转换中的调制度保持为目标值。

### 发明内容

[0005] 逆变器的调制度由将输出电压除以输入电压得到的值表示。因此,如果实际调制度小于目标值,则逆变器的输入电压(即,来自与逆变器相连的转换器的输出电压)可以降低。

[0006] 但是,当所述转换器的输出电压降低时,被提供给电动机的电压也因此降低。这样,所述电动机可输出的转矩的最大值也降低。因此,存在这样一种情况:车辆无法实现加速并且无法满足驾驶员的要求。

[0007] 本发明根据上述问题做出,并且本发明的目的是克服电动机的输出转矩不足。

[0008] 根据本发明的一方面,一种车辆包括:转换器,其转换并输出电压;逆变器,其将从所述转换器输出的DC电力转换为AC电力;电动机,其由从所述逆变器提供的AC电力驱动;以及控制装置,其被配置为控制所述转换器和所述逆变器。所述控制装置计算要求电压作为用于使所述逆变器的调制度更接近预定目标调制度的来自所述转换器的输出电压,根据所述电动机的目标转矩,计算最小电压作为能够实现所述电动机的目标转矩的来自所述转换器的输出电压的最小值,并且控制所述转换器,使得来自所述转换器的输出电压更接近所述要求电压和所述最小电压中较大一者的值。

[0009] 根据本发明的另一方面,一种车辆包括转换并输出电压的转换器、将从所述转换器输出的DC电力转换为AC电力的逆变器、以及由从所述逆变器提供的AC电力驱动的电动机。用于该车辆的控制装置包括第一计算单元,用于计算要求电压作为用于使所述逆变器的调制度更接近预定目标调制度的来自所述转换器的输出电压,第二计算单元,用于根据所述电动机的目标转矩,计算最小电压作为能够实现所述电动机的目标转矩的来自所述转换器的输出电压的最小值,以及控制单元,用于控制所述转换器,使得来自所述转换器的输出电压更接近所述要求电压和所述最小电压中较大一者的值。

[0010] 当作为能够实现所述电动机的目标转矩的来自所述转换器的输出电压的最小值

的最小电压大于作为用于使所述逆变器的调制度更接近目标调制度的来自所述转换器的输出电压的要求电压时,使得来自所述转换器的输出电压更接近所述最小电压,而非更接近所述要求电压。因此,可防止来自所述转换器的输出电压降低到无法实现所述电动机的目标转矩的值。这样,可克服所述电动机的输出转矩不足。

[0011] 通过将反馈控制的比例项和积分项加到必要电压,可重复地计算要求电压作为用于使所述逆变器的调制度保持为预定调制度的来自所述转换器的输出电压,该必要电压是作为实现所述电动机的目标转矩所必需的来自所述转换器的输出电压而根据所述电动机的目标转矩计算出的。此时,当所述要求电压大于所述最小电压时,可通过使用根据所述最小电压计算出的值作为所述积分项计算下一个要求电压。即,当来自所述转换器的输出电压更接近所述最小电压而非更接近所述要求电压时,用于计算所述要求电压的反馈控制的积分项可通过使用所述最小电压来确定。更具体地说,可通过使用从所述最小电压减去所述必要电压和所述比例项而获取的值作为所述积分项来计算下一个要求电压。这样,即使所述要求电压不用作所述目标值,所述要求电压也可在考虑实际用作所述目标值的电压时被计算。

[0012] 当结合附图阅读下面的本发明具体实施方式时,本发明的上述及其它目的、特征、方面和优点将变得更加显而易见。

## 附图说明

[0013] 图1是电动机驱动系统的整体配置的图。

[0014] 图2是示出在电动机驱动系统中采用的控制方式的图。

[0015] 图3是示出采用正弦波PWM控制、过调制PWM控制和矩形波控制中的每一种的操作区域的图。

[0016] 图4是示出AC电动机的电流矢量的图。

[0017] 图5是示出与电动机条件对应的控制方式切换的图。

[0018] 图6A到6C是示出整个电动机驱动系统中的损耗特性的图。

[0019] 图7是正弦波PWM控制方式和过调制PWM控制方式中的控制框图。

[0020] 图8是示出当仅采用调制度的反馈控制时的逆变器的调制度和系统电压(转换器的输出电压)VH的图。

[0021] 图9是示出根据本发明的实施例的控制装置所控制的逆变器的调制度和系统电压VH的图。

[0022] 图10是在执行矩形波控制方式期间的控制框图。

[0023] 图11是图10中的电流相位反馈部的控制框图。

[0024] 图12是示出用于由图10中的电流相位反馈部计算电压差 $\Delta VH$ 的映射(map)的图。

## 具体实施方式

[0025] 下面参考附图详细地描述本发明的实施例。需要指出,下面图形中的相同或相应的部件被分配相同的附图标记,并且原则上不再重复对它们的描述。

[0026] 图1是被安装在车辆上作为驱动源的AC电动机的控制系统100的整体配置图。控制系统100包括DC电压产生部10#、平滑电容器C0、逆变器14、AC电动机M1和控制装置30。

[0027] AC电动机M1例如是被配置为在电动车辆(综合表示能够通过电能产生车辆驱动力的汽车,例如,混合动力汽车、电动汽车和燃料电池汽车)的驱动轮中产生转矩的行驶用牵引电动机。备选地,该AC电动机M1可被配置为具有由引擎驱动的发电机的功能,并且可被配置为既充当电动机又充当发电机。即,在本实施例中,AC电动机包括电动发电机。此外,AC电动机M1例如可被并入在混合动力汽车中作为能够启动引擎的组件。

[0028] DC电压产生部10#包括DC电源B、系统继电器SR1、SR2、平滑电容器C1和升压转换器12。

[0029] DC电源B代表性地由比如作为二次电池(例如,镍金属氢化物电池或锂离子电池)和双电层电容器的可再充电蓄电装置实现。从DC电源B输出的DC电压Vb以及输入和输出DC电流Ib分别由电压传感器10和电流传感器11进行感测。

[0030] 系统继电器SR1连接在DC电源B的正极端子与电力线6之间,系统继电器SR2连接在DC电源B的负极端子与电力线5之间。系统继电器SR1、SR2根据来自控制装置30的信号SE而接通/关断。

[0031] 升压转换器12包括电抗器L1、功率半导体开关元件Q1、Q2和二极管D1、D2。功率半导体开关元件Q1和Q2串联连接在电力线7与电力线5之间。功率半导体开关元件Q1和Q2的接通和关断由来自控制装置30的开关控制信号S1和S2控制。

[0032] 在本发明的该实施例中,IGBT(绝缘栅双极型晶体管)、功率MOS(金属氧化物半导体)晶体管、功率双极型晶体管等可被用作功率半导体开关元件(下文简称为“开关元件”)。反并联二极管D1、D2分别针对开关元件Q1、Q2设置。电抗器L1连接在开关元件Q1和Q2的连接节点与电力线6之间。此外,平滑电容器C0连接在电力线7与电力线5之间。

[0033] 平滑电容器C0对电力线7的DC电压平滑化。电压传感器13检测跨平滑电容器C0的相对两端的电压,即电力线7上的DC电压VH。对应于逆变器14的DC链电压的DC电压VH在下文中也称为“系统电压VH”。另一方面,电力线6的DC电压VL由电压传感器19检测。分别由电压传感器13、19检测到的DC电压VH、VL被输入到控制装置30。

[0034] 逆变器14由在电力线7与电力线5之间并联设置的U相上下臂15、V相上下臂16以及W相上下臂17构成。各相的上下臂由电力线7与电力线5之间串联连接的开关元件构成。例如,U相上下臂15由开关元件Q3、Q4构成,V相上下臂16由开关元件Q5、Q6构成,W相上下臂17由开关元件Q7、Q8构成。此外,反并联二极管D3至D8分别连接到开关元件Q3至Q8。开关元件Q3至Q8的接通和关断分别由来自控制装置30的开关控制信号S3至S8控制。

[0035] 典型地,AC电动机M1是三相永磁体型同步电动机,其被构成为使得U、V和W相的三个线圈的一端共同连接到中性点。此外,各相线圈的另一端连接到各相上下臂15至17的开关元件的中间点。

[0036] 升压转换器12基本上被控制为使得开关元件Q1和Q2在与用于PWM控制的一个载波周期对应的每个开关周期中互补地和交替地接通和关断。升压转换器12可通过控制开关元件Q1、Q2的接通期间之比(占空比)来控制升压比(VH/VL)。因此,开关元件Q1、Q2的接通和关断基于根据DC电压VL、VH的检测值以及电压指令值VH#而运算的占空比而被控制。

[0037] 通过互补地接通和关断开关元件Q1和开关元件Q2,可实现DC电源B的充电和放电,而无需根据通过电抗器L的电流方向切换控制。即,通过根据电压指令值VH#控制系统电压VH,升压转换器12可实现再生和动力运行(power running)。

[0038] 需要指出,当AC电动机M1的输出较低时,AC电动机M1可在不通过升压转换器12升压的情况下,在 $VH=VL$ (升压比=1.0)的状态下被控制。在这种情况下(下文也称为“非升压模式”),开关元件Q1和Q2分别固定在接通和关断上,以便减少升压转换器12中的电力损耗。

[0039] 在AC电动机M1的转矩指令值为正( $T_{qcom}>0$ )的情况下,当从平滑电容器C0提供DC电压时,逆变器14通过开关元件Q3至Q8响应于来自控制装置30的开关控制信号S3至S8的开关操作转换DC电压,并驱动AC电动机M1以便输出正转矩。备选地,在AC电动机M1的转矩指令值为0( $T_{qcom}=0$ )的情况下,逆变器14通过响应于开关控制信号S3至S8的开关操作将DC电压转换为AC电压,并且驱动AC电动机M1以使转矩为零。因此,AC电动机M1被驱动为产生转矩指令值 $T_{qcom}$ 指定的零转矩或正转矩。

[0040] 此外,在包括控制系统100的电动车辆的再生制动期间,AC电动机M1的转矩指令值 $T_{qcom}$ 被设为负值( $T_{qcom}<0$ )。此时,逆变器14通过响应于开关控制信号S3至S8的开关操作,将AC电动机M1产生的AC电压转换为DC电压,并通过平滑电容器C0将获取的DC电压(系统电压VH)提供给升压转换器12。

[0041] 需要指出,此处的再生制动包括在驾驶电动车辆的驾驶员操作脚刹时伴随再生发电的制动,以及在执行再生发电时车辆的减速(或者停止加速),其中即使不操作脚刹,在行驶期间加速踏板处于关断状态。

[0042] 电流传感器24检测流过AC电动机M1的电流(相电流),并将检测值输出到控制装置30。需要指出,由于三相电流 $i_u$ 、 $i_v$ 和 $i_w$ 的瞬间值之和等于零,因此,电流传感器可被设置为检测两相的电动机电流(例如,V相电流 $i_v$ 和W相电流 $i_w$ ),如图1所示。

[0043] 旋转角传感器(解角器(resolver))25检测AC电动机M1的转子的旋转角 $\theta$ ,并将检测到的旋转角 $\theta$ 发送到控制装置30。控制装置30能够基于旋转角 $\theta$ 计算AC电动机M1的转速 $N_{mt}$ 和旋转角速度 $\omega$ 。需要指出,旋转角传感器25不必被设置为通过基于控制装置30中的电动机电压或电流直接运算旋转角 $\theta$ 。

[0044] 控制装置30被配置电子控制单元(ECU),并且借助未示出的CPU(中央处理单元)通过执行预先存储的程序而实现的软件处理和/或使用专用电子电路的硬件处理对控制系统100的操作进行控制。

[0045] 作为典型功能,控制装置30基于输入转矩指令值 $T_{qcom}$ 、电压传感器10检测到的DC电压 $V_b$ 、电流传感器11检测到的DC电流 $I_b$ 、电压传感器13检测到的系统电压VH、电流传感器24检测到的电动机电流 $i_v$ 和 $i_w$ 、来自旋转角传感器25的旋转角 $\theta$ 等控制升压转换器12和逆变器14的操作,以便AC电动机M1通过下面将描述的控制方式根据转矩指令值 $T_{qcom}$ 输出转矩。

[0046] 即,如上所述,为了根据电压指令值VH#控制DC电压VH,控制装置30针对升压转换器12产生开关控制信号S1、S2。此外,控制装置30还产生开关控制信号S3至S8,以根据转矩指令值 $T_{qcom}$ 控制AC电动机M1的输出转矩。控制信号S1至S8被输入到升压转换器12和逆变器14。

[0047] 根据具有加速器位置、车辆速度等作为参数的映射计算转矩指令值 $T_{qcom}$ 。

[0048] 图2是示出用于控制AC电动机的逆变器控制方式的图。如图2所示,在根据本发明的实施例的AC电动机的控制系统中,切换三种控制方式以用于通过逆变器14控制AC电动机。

[0049] 正弦波PWM控制被用作一般的PWM控制,其中各相臂中开关元件的接通和关断基于正弦电压指令值与载波(代表性地为三角波)之间的电压比较而被控制。因此,针对与上臂元件的接通期对应的高电平期间和与下臂元件的接通期对应的低电平期间的集合,控制占空比,以使其基本波成分在特定期间内为正弦波。

[0050] 在下文中,在逆变器执行的DC-AC电压转换中,施加到AC电动机M1的电压(线电压的有效值)与系统电压 $V_H$ 的比在此被定义为“调制度”。正弦波PWM控制的应用基本限定在其中各相的AC电压振幅(相电压)等于系统电压 $V_H$ 的状态。即,在正弦波PWM控制中,只能将调制度增加到0.61。

[0051] 另一方面,在矩形波电压控制中,逆变器输出一个矩形波脉冲,在对应于电动机的360度电气角的期间内,其高电平期间与低电平期间之间的比为1:1。因此,调制度可增加到0.78。

[0052] 过调制PWM控制是指这样一种控制:其执行与上述正弦波PWM控制相同的PWM控制,电压指令值(正弦)与载波相比振幅更大,其中振幅增加。结果,通过扭曲基本波成分,可使调制度增加到从0.61到0.78的范围。

[0053] 在根据本实施例的AC电动机M1的控制系统100中,根据AC电动机M1的状态,选择性地应用上述的正弦波PWM控制、过调制PWM控制、以及矩形波电压控制。

[0054] 一般而言,如图3所示,在低速旋转区域到中速旋转区域中选择正弦波PWM控制,在中速旋转区域到高速旋转区域中选择过调制控制,在高速旋转区域中选择矩形波电压控制。下面将描述用于选择控制方式的具体方法。

[0055] 如图4所示,在正弦波PWM控制和过调制PWM控制中,执行通过逆变器14实现的电动机电流控制,从而使得AC电动机M1的电流相位 $\phi_i$ 位于最佳电流提前线42上。图4中的横坐标表示d轴电流 $I_d$ ,图4中的纵坐标表示q轴电流 $I_q$ 。

[0056] 最佳电流提前线42被绘制为电流相位点的集合,在这些电流相位点处, $I_d$ - $I_q$ 平面上等转矩线上的AC电动机M1中的损耗充当参考。因此,d轴和q轴上的电流指令值 $I_{dcom}$ 、 $I_{qcom}$ 被产生为对应于等转矩线与最佳电流提前线42之间的交叉点,该等转矩线对应于AC电动机M1的转矩指令值 $T_{qcom}$ ,其根据具有加速器位置、车辆速度等作为参数的映射而确定。最佳电流提前线可预先通过实验或模拟获取。因此,确定最佳电流提前线42上与每个转矩指令值对应的电流指令值 $I_{dcom}$ 、 $I_{qcom}$ 组合的映射可被预先创建并存储在控制装置30中。

[0057] 图4通过箭头示出一条轨迹,在这条轨迹上,从具有零点位置作为原点的 $I_d$ 、 $I_q$ 组合得到的电流矢量的末端位置(电流相位)随着输出转矩增加而变化。随着输出转矩增加,电流大小(对应于 $I_d$ - $I_q$ 平面上电流矢量的大小)也增加。如上所述,在正弦波PWM控制和过调制PWM控制中,通过设定电流指令值 $I_{dcom}$ 、 $I_{qcom}$ ,将电流相位控制为位于最佳电流提前线42上。

[0058] 当转矩指令值进一步增加,并且调制度达到0.78时,应用矩形波电压控制。

[0059] 在矩形波电压控制中,逆变器14无法直接控制AC电动机M1的电流相位。由于在矩形波电压控制中执行磁场弱化控制,因此输出转矩在电压相位 $\phi_v$ 增大时增加。因此,作为磁场电流的d轴电流 $I_d$ 的绝对值增加。这样,电流矢量的末端位置(电流相位)向图左侧(朝着提前侧)远离最佳电流提前线42。由于电流矢量不在最佳电流提前线42上,因此AC电动机

M1中的损耗在矩形波电压控制中增加。

[0060] 与之相反,当在矩形波电压控制期间电流相位 $\phi_i$ 小于预定的 $\phi_{th}$ (基准值)时,指示从矩形波电压控制到PWM控制的转换。

[0061] 将参考图5描述PWM控制与矩形波电压控制之间的模式切换。在应用正弦波PWM或过调制PWM控制期间,通过以下方程式1,从下面将介绍的d轴和q轴上的电压指令值 $V_{d\#}$ 、 $V_{q\#}$ 和系统电压 $V_H$ 计算调制度 $K_{md}$ 。

[0062] 
$$K_{md} = (V_{d\#}^2 + V_{q\#}^2)^{1/2} / V_H \dots (1)$$

[0063] 当调制度 $K_{md}$ 大于0.78时,指示转换到矩形波电压控制模式。

[0064] 另一方面,当在矩形波电压控制期间随着输出转矩减小而电流相位 $\phi_i$ 小于基准值 $\phi_{th}$ 时,指示到PWM控制模式的转换。

[0065] 正弦波PWM控制、过调制PWM控制和矩形波电压控制中的能量损耗可根据系统电压 $V_H$ 变化,如图6A所示。图6A到6C示出在AC电动机M1的输出(转速和转矩的乘积)保持恒定并且仅系统电压 $V_H$ 变化的条件下,控制系统的行为。

[0066] 图6A示出在全部三种控制模式中,系统电压 $V_H$ 与控制系统中总损耗之间的关系。图6B示出系统电压 $V_H$ 与调制度 $K_{md}$ 之间的关系。图6C示出系统电压 $V_H$ 与电动机电流相位之间的关系。

[0067] 现在参考图6A到6C,在应用正弦波PWM控制和过调制PWM控制的区域中,当系统电压 $V_H$ 降低且调制度升高时损耗减少。然后,由于升压转换器12和逆变器14中的损耗在应用矩形波电压控制的操作点44处最小化,因此,整个系统中的损耗也被最小化。

[0068] 由于调制度在应用矩形波电压控制的区域中固定为0.78,因此当系统电压 $V_H$ 降低时用于获取相同输出的电压相位 $\phi_v$ 变大。因此,如上所述,随着磁场弱化电流增加,电流相位远离最佳电流提前线42。因此,由于AC电动机M1中的损耗增加,系统损耗也增加。即,在矩形波电压控制中,当系统电压 $V_H$ 降低时,系统中的总损耗将增加。

[0069] 与之相反,当通过升高系统电压 $V_H$ 应用PWM控制时,AC电动机M1的电流相位可沿着最佳电流提前线42被控制。但是,当AC电动机M1在PWM控制下操作时,AC电动机M1中的损耗可在逆变器14中的损耗由于开关次数增加而增加时降低。

[0070] 因此,当应用矩形波电压控制并且AC电动机M1的电流相位在最佳电流提前线42的附近时,包括AC电动机M1的整个控制系统中的损耗最小化。即,系统电压 $V_H$ 优选地被设定为建立这种状态。

[0071] 将参考图7描述正弦波PWM控制和过调制PWM控制中的具体处理。图7是示出根据本发明的实施例的用于AC电动机的控制系统中的PWM控制的控制配置的功能框图。下面描述并由图7表示的框图中示出的用于电动机控制的每个功能框通过控制装置30执行的硬件或软件处理实现。

[0072] 现在参考图7,PWM控制单元200包括电流指令产生部210、转换部220和电流反馈部230。

[0073] 电流指令产生部210基于预先创建的映射等,根据AC电动机M1的转矩指令值 $T_{qcom}$ 产生d轴电流指令值 $I_{dcom}$ 和q轴电流指令值 $I_{qcom}$ 。

[0074] 转换部220使用转子旋转角 $\theta$ ,通过坐标变换将AC电动机M1中流动的三相电动机电流 $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$ 转换为d轴和q轴上的两相电流 $i_d$ 、 $i_q$ ,并且输出所述两相电流。具体而言,从电

流传感器24检测到的V相电流 $i_v$ 和W相电流 $i_w$ 计算U相电流 $i_u$ ( $i_u = -i_v - i_w$ )。根据旋转角传感器25检测到的旋转角 $\theta$ ,基于这些电流 $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$ 计算实际的d轴电流 $i_d$ 和q轴电流 $i_q$ 。

[0075] 电流反馈部230接收d轴电流指令值 $I_{dcom}$ 与计算出的实际d轴电流 $i_d$ 之间的差 $\Delta I_d$ ( $\Delta I_d = I_{dcom} - i_d$ )以及q轴电流指令值 $I_{qcom}$ 与计算出的实际q轴电流 $i_q$ 之间的差 $\Delta I_q$ ( $\Delta I_q = I_{qcom} - i_q$ )的输入。电流反馈部230通过d轴电流差 $\Delta I_d$ 和q轴电流差 $\Delta I_q$ 中每一者的预定增益执行PI(比例积分)运算来求出控制偏差,并根据该控制偏差产生d轴电压指令值 $V_{d\#}$ 和q轴电压指令值 $V_{q\#}$ 。此外,电流反馈部230使用AC电动机M1的旋转角 $\theta$ ,通过坐标变换(两相 $\rightarrow$ 三相)将d轴电压指令值 $V_{d\#}$ 和q轴电压指令值 $V_{q\#}$ 转换为U相、V相和W相的各相电压指令 $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ ,并且根据各相的电压指令值 $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ 产生开关控制信号S3至S8。通过逆变器14响应于开关控制信号S3至S8的开关操作,在AC电动机M1的各相中产生伪正弦波电压。

[0076] 根据本发明的实施例的电动机驱动系统的控制装置30进一步包括目标调制度计算部310、必要电压计算部320、调制度反馈部330、最小电压计算部340、仲裁部350、以及电压反馈部360。

[0077] 目标调制度计算部310、必要电压计算部320、以及调制度反馈部330是用于计算要求电压 $V_{Hreq}$ 的功能块,该要求电压 $V_{Hreq}$ 作为升压转换器12的输出电压,用于将逆变器14的调制度 $K_{md}$ 保持为目标调制度 $K_{md\#}$ 。

[0078] 更具体地说,目标调制度计算部310根据具有AC电动机M1的目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )和AC电动机M1的转速 $N_{mt}$ 作为参数的映射计算目标调制度 $K_{md\#}$ 。

[0079] 必要电压计算部320从目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )计算必要电压 $t_{VH}$ 作为实现目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )所必需的来自升压转换器12的输出电压。例如,必要电压计算部320根据具有由目标调制度计算部310计算的目标调制度 $K_{md\#}$ 、目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )和AC电动机M1的转速 $N_{mt}$ 作为参数的映射计算必要电压 $t_{VH}$ 。更具体地说,例如,将通过参考映射从转矩指令值 $T_{qcom}$ 和转速 $N_{mt}$ 求出的电压 $V_r$ 除以目标调制度 $K_{md\#}$ 来计算必要电压 $t_{VH}$ 。电压 $V_r$ 是被施加到AC电动机M1的电压(线电压的有效值)。

[0080] 调制度反馈部330通过计算实际调制度 $K_{md}$ 与目标调制度 $K_{md\#}$ 的比( $K_{md}/K_{md\#}$ )并将该比乘以当前系统电压 $V_H$ 来求出目标系统电压。此外,计算从该目标系统电压减去当前系统电压 $V_H$ 得到的值 $\Delta V_H$ 及其积分值 $\int \Delta V_H$ 。通过将值 $\Delta V_H$ 和积分值 $\int \Delta V_H$ 乘以比例增益 $K_p$ 和积分增益 $K_i$ 来计算比例项 $K_p \Delta V_H$ 和积分项 $K_i \int \Delta V_H$ 。调制度反馈部330计算这些比例项 $K_p \Delta V_H$ 与积分项 $K_i \int \Delta V_H$ 之和作为修正电压 $V_{Hhosei}$ 。

[0081] 必要电压 $t_{VH}$ 与修正电压 $V_{Hhosei}$ 之和作为要求电压输入到仲裁部350。

[0082] 最小电压计算部340具有从目标转矩计算最小电压 $V_{Hmin}$ 作为能够实现AC电动机M1的目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )的来自升压转换器12的输出电压的最小值的功能。最小电压计算部340根据具有目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )和AC电动机M1的转速 $N_{mt}$ 作为参数的映射计算上述最小电压 $V_{Hmin}$ 。

[0083] 仲裁部350选择要求电压 $V_{Hreq}$ 与最小电压 $V_{Hmin}$ 中较大一者作为电压指令值 $V_{H\#}$ 。

[0084] 基于这样设定的电压指令值 $V_{H\#}$ 和当前系统电压 $V_H$ ,电压反馈部360根据预定的PWM控制方式产生开关控制信号S1、S2,使得升压转换器12的输出电压达到电压指令值 $V_{H\#}$ 。

[0085] 如上所述,正弦波PWM和过调制PWM控制包括用于使实际调制度达到目标调制度的反馈控制。因此,在调制度反馈控制中,当实际调制度低于目标调制度时,如图8所示,系统

电压 $V_H$ 可以降低,以便升高实际调制度。因此,AC电动机M1的驱动电压可以降低并且AC电动机M1可输出的最大转矩可以减小。此时,无法实现驾驶员所期望的加速。

[0086] 但是,在本实施例中,如图9所示,当从转矩指令值 $T_{qcom}$ 产生的最小电压 $V_{Hmin}$ 大于在调制度反馈控制期间产生的要求电压 $V_{Hreq}$ 时,系统电压 $V_H$ 可以基于最小电压 $V_{Hmin}$ 而升高。因此,可抑制AC电动机M1的输出转矩不足。

[0087] 当最小电压 $V_{Hmin}$ 大于要求电压 $V_{Hreq}$ 时,实际调制度 $K_{md}$ 必然不同于目标调制度 $K_{md\#}$ ,因此,考虑到这一事实,优选地计算下一个要求电压 $V_{Hreq}$ 。

[0088] 然后,在本实施例中,当最小电压 $V_{Hmin}$ 大于要求电压 $V_{Hreq}$ 时,通过使用从等于电压指令值 $V_{H\#}$ 的最小电压 $V_{Hmin}$ 计算出的值作为积分项 $V_{Hi}$ 计算下一个要求电压 $V_{Hreq}$ 。

[0089] 更具体地说,调制度反馈部330根据下面的方程式2,将通过从作为电压指令值 $V_{H\#}$ 的最小电压 $V_{Hmin}$ 中减去必要电压 $t_{VH}$ 和比例项 $K_p \Delta V_H$ 而获取的值计算为积分项 $V_{Hi}$ 。

[0090]  $V_{Hi} = V_{Hmin} - t_{VH} - K_p \Delta V_H \dots (2)$

[0091] 调制度反馈部330通过使用根据方程式2计算的积分项 $V_{Hi}$ 计算下一个修正电压 $V_{Hhosei}$ 。通过将该修正电压 $V_{Hhosei}$ 加到下一个计算的必要电压 $t_{VH}$ 来计算下一个要求电压 $V_{Hreq}$ 。

[0092] 下面参考图10描述在执行矩形波控制方式期间的控制框图。需要指出,如上所述,在执行矩形波控制方式期间,调制度固定,因此不实施正如PWM控制中所包括的调制度的反馈控制。

[0093] 现在参考图10,矩形波控制框400包括转换部410、转矩估计部420和转矩反馈部430。

[0094] 转换部410使用转子旋转角 $\theta$ ,通过坐标变换将AC电动机M1中流动的三相电动机电流 $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$ 转换为d轴和q轴上的两相电流 $i_d$ 、 $i_q$ ,并且输出所述两相电流。具体而言,从电流传感器24检测到的V相电流 $i_v$ 和W相电流 $i_w$ 计算U相电流 $i_u$ ( $i_u = -i_v - i_w$ )。根据旋转角传感器25检测到的旋转角 $\theta$ ,基于这些电流 $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$ 生成d轴电流 $i_d$ 和q轴电流 $i_q$ 。

[0095] 转矩估计部420根据定义预先确定的转矩与电流之间关系的映射,从d轴电流 $i_d$ 和q轴电流 $i_q$ 估计AC电动机M1的实际转矩 $T_q$ 。

[0096] 转矩反馈部430接收相对于转矩指令值 $T_{qcom}$ 的转矩偏差 $\Delta T_q$ ( $\Delta T_q = T_{qcom} - T_q$ )的输入。转矩反馈部430通过转矩偏差 $\Delta T_q$ 的预定增益执行PI运算来求出控制偏差,并根据所求出的控制偏差设定矩形波电压的相位 $\phi_v$ 。具体而言,在产生正转矩( $T_{qcom} > 0$ )期间,当转矩不足时,电压相位提前,而当转矩过量时,电压相位延迟。在产生负转矩( $T_{qcom} < 0$ )期间,当转矩不足时,电压相位延迟,而当转矩过量时,电压相位提前。

[0097] 此外,转矩反馈部430根据设定的电压相位 $\phi_v$ 产生各相 $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ 的电压指令值(矩形波脉冲),并且根据各相 $V_u$ 、 $V_v$ 、 $V_w$ 的电压指令值产生开关控制信号S3至S8。当逆变器14根据开关控制信号S3至S8执行开关操作时,施加根据电压相位 $\phi_v$ 的矩形波脉冲作为电动机的各相电压。

[0098] 这样,在执行矩形波控制方式期间,可通过转矩(电力)的反馈控制执行电动机转矩控制。

[0099] 根据本发明的实施例的用于电动机驱动系统的控制装置30进一步包括必要电压计算部510、电流相位反馈部520、最小电压计算部530、以及仲裁部540。

[0100] 必要电压计算部510从目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )计算必要电压 $t_{VH}$ 作为实现目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )所必需的来自升压转换器12的输出电压。例如,必要电压计算部510根据具有预定目标调制度 $K_{md\#}$ 、目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )和AC电动机M1的转速 $N_{mt}$ 作为参数的映射计算必要电压 $t_{VH}$ 。更具体地说,例如,通过将电压 $V_r$ 除以目标调制度 $K_{md\#}$ 来计算必要电压 $t_{VH}$ 。电压 $V_r$ 是被施加到AC电动机M1的电压(线电压的有效值)并且通过参考所述映射从转矩指令值 $T_{qcom}$ 和转速 $N_{mt}$ 而求出。

[0101] 电流相位反馈部520根据变换部410生成的d轴电流 $i_d$ 和q轴电流 $i_q$ 计算系统电压 $V_H$ 的修正值 $V_{Hhosei}$ 。电流相位反馈部520包括电压差计算部522和PI控制单元524,如图11所示。电压差计算部522根据具有d轴电流 $i_d$ 和q轴电流 $i_q$ 作为参数的映射计算电压差 $\Delta V_H$ ,如图12所示。

[0102] 现在返回参考图11,PI控制单元524通过将电压差 $\Delta V_H$ 及其积分值 $\int \Delta V_H$ 分别乘以比例增益 $K_p$ 和积分增益 $K_i$ 来计算比例项 $K_p \Delta V_H$ 和积分项 $K_i \int \Delta V_H$ 。PI控制单元524计算这些比例项 $K_p \Delta V_H$ 与积分项 $K_i \int \Delta V_H$ 之和作为修正电压 $V_{Hhosei}$ 。

[0103] 现在返回参考图10,必要电压 $t_{VH}$ 与修正电压 $V_{Hhosei}$ 之和作为要求电压 $V_{Hreq}$ 被输入到仲裁部540。

[0104] 最小电压计算部530具有从目标转矩计算最小电压 $V_{Hmin}$ 作为能够实现AC电动机M1的目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )的来自升压转换器12的输出电压的最小值的功能。最小电压计算部530根据具有目标转矩(转矩指令值 $T_{qcom}$ )和AC电动机M1的转速 $N_{mt}$ 作为参数的映射计算上述最小电压 $V_{Hmin}$ 。

[0105] 仲裁部540选择要求电压 $V_{Hreq}$ 与最小电压 $V_{Hmin}$ 中较大一者作为电压指令值 $V_{H\#}$ 。

[0106] 基于这样设定的电压指令值 $V_{H\#}$ 和当前系统电压 $V_H$ ,电压反馈部550根据预定的PWM控制方式产生开关控制信号S1、S2,使得升压转换器12的输出电压达到电压指令值 $V_{Hcom}$ 。

[0107] 当最小电压 $V_{Hmin}$ 大于要求电压 $V_{Hreq}$ 时,即使在执行矩形波控制时,电流相位反馈部520也会根据上述方程式2计算修正电压 $V_{Hhosei}$ 的积分项 $V_{Hi}$ ,正如在PWM控制中那样。因此,通过使用从作为电压指令值 $V_{H\#}$ 的最小电压 $V_{Hmin}$ 减去必要电压 $t_{VH}$ 和比例项 $K_p \Delta V_H$ 而获得的值作为积分项 $V_{Hi}$ ,计算下一个要求电压 $V_{Hreq}$ 。

[0108] 尽管详细地描述和示出了本发明,但是显然应该理解,这些仅用于说明和举例,并非旨在作为限制,本发明的范围由所附权利要求的各个权项解释。

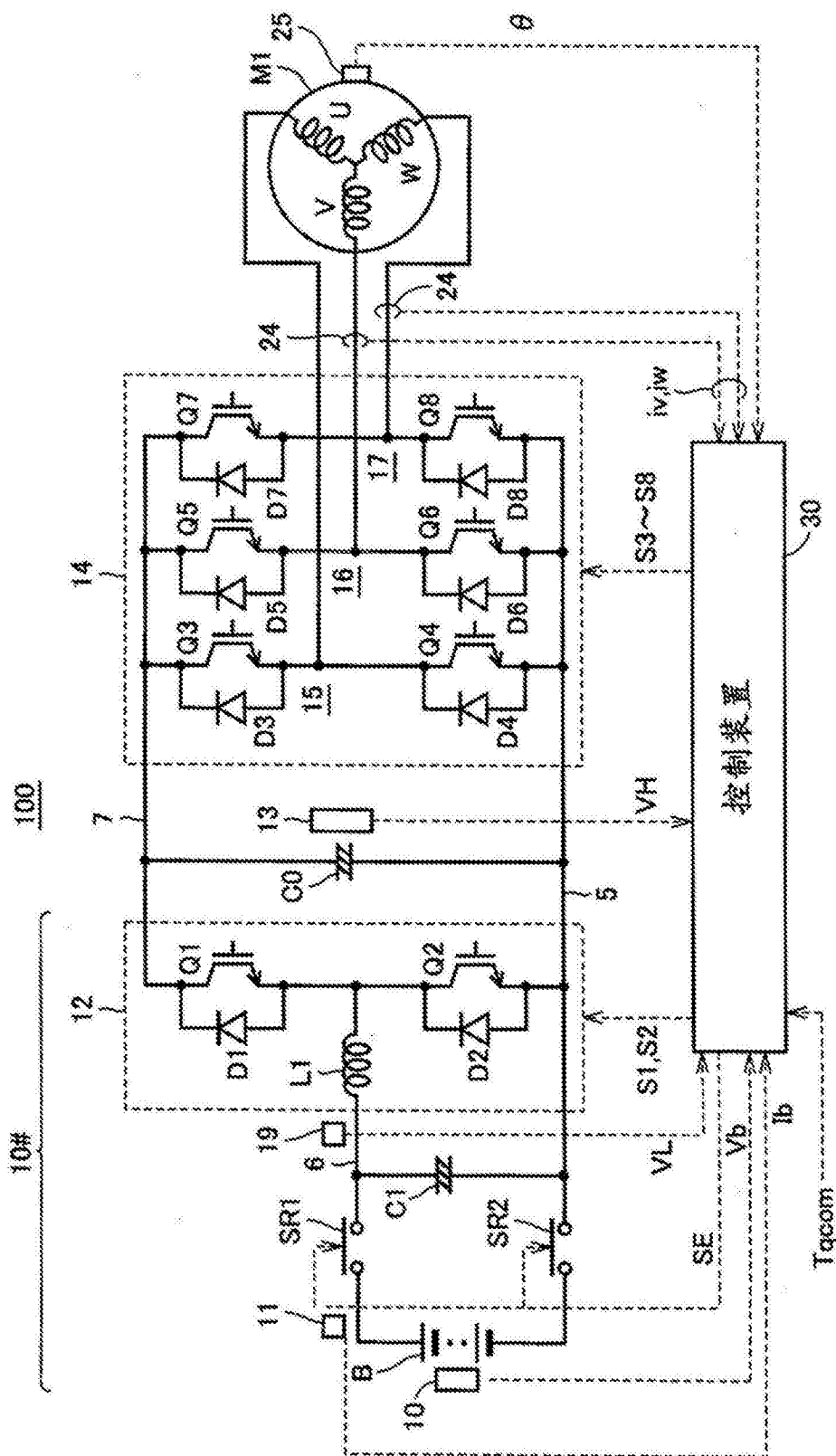


图1

| 控制方式              | 正弦波PWM                                                                                     | 过调制PWM                                                                                      | 矩形波<br>(1个脉冲)                                                                                |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 逆变器的输出<br>电压波形    | 基本波成分<br> | 基本波成分<br> | 基本波成分<br> |
| 调制度               | 0~0.61                                                                                     | 0.61~0.78                                                                                   | 0.78                                                                                         |
| 特性                | 小转矩波动                                                                                      | 中速区域中的<br>输出提高                                                                              | 高速区域中的<br>输出提高                                                                               |
| 相同电压·电流上的<br>开关损耗 | 大                                                                                          | 中                                                                                           | 小                                                                                            |

图2

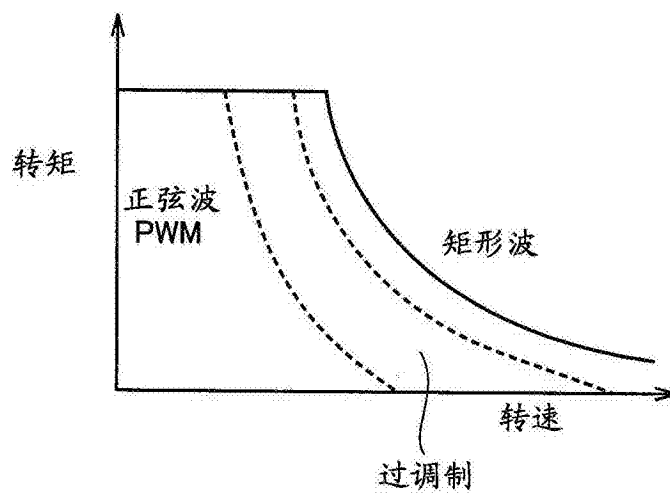


图3

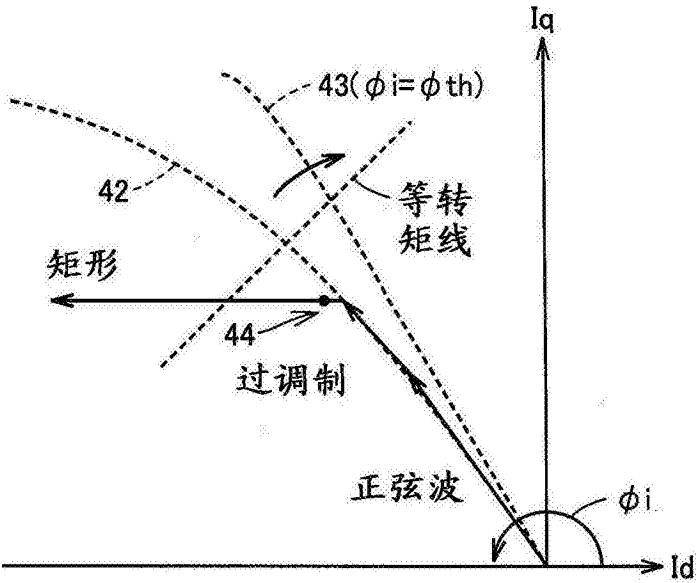


图4

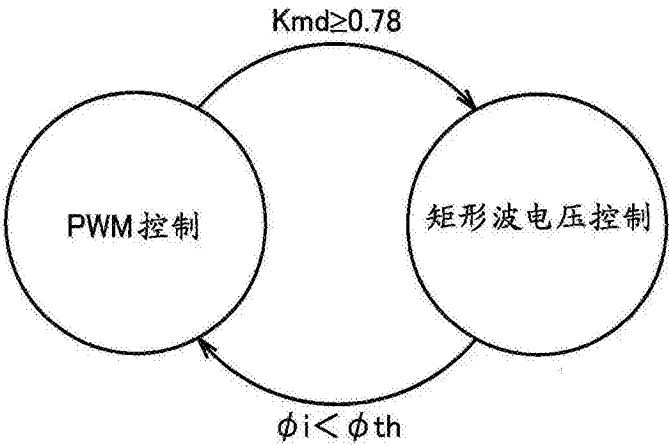
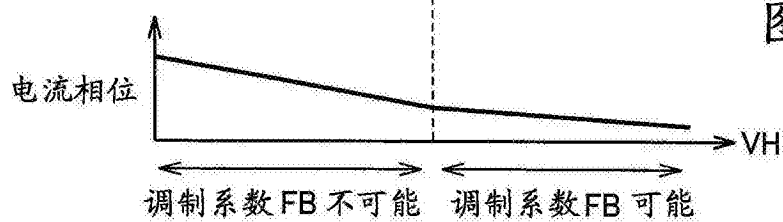
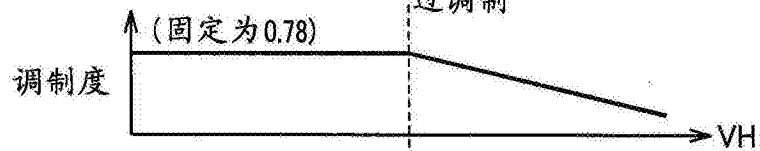
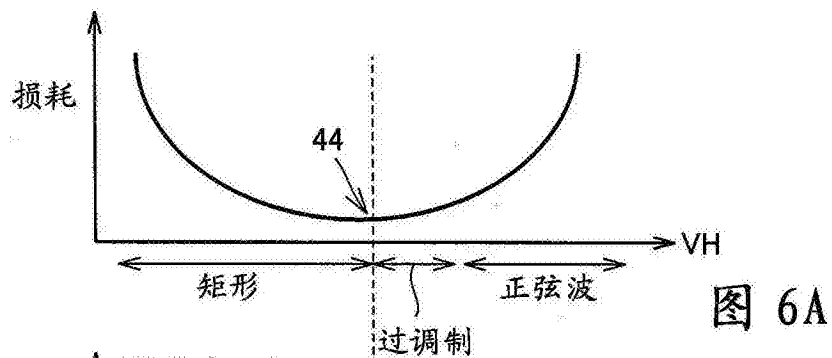


图5



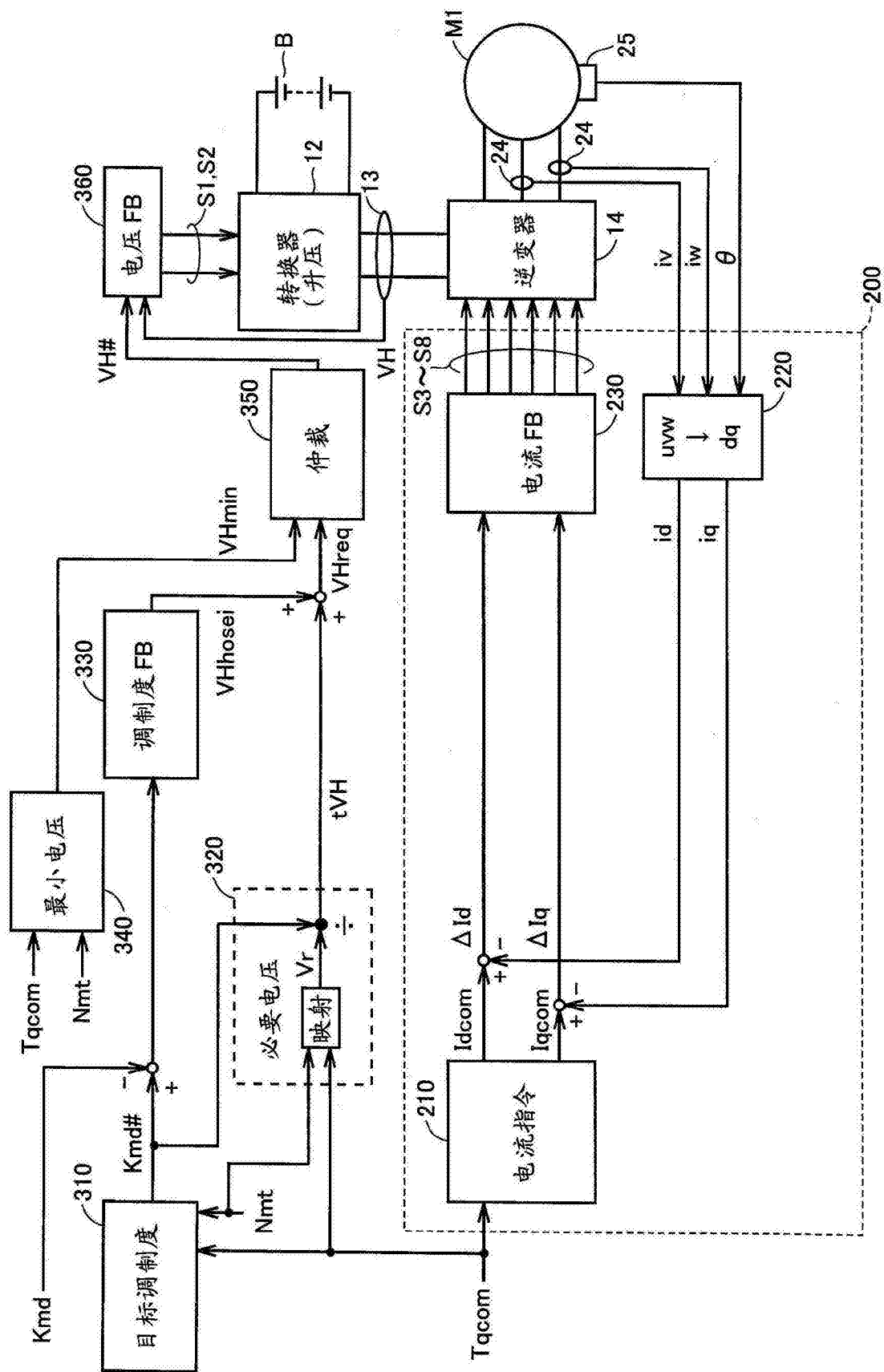


图7

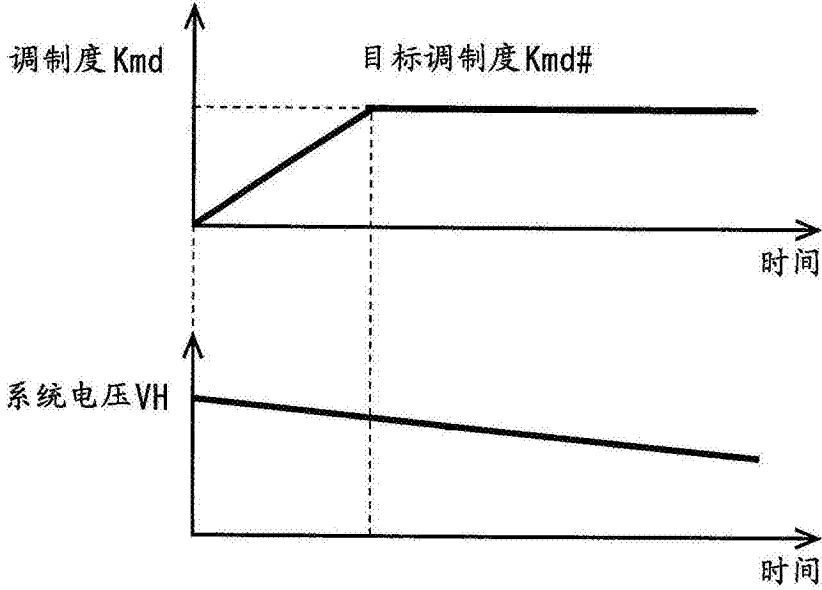


图8

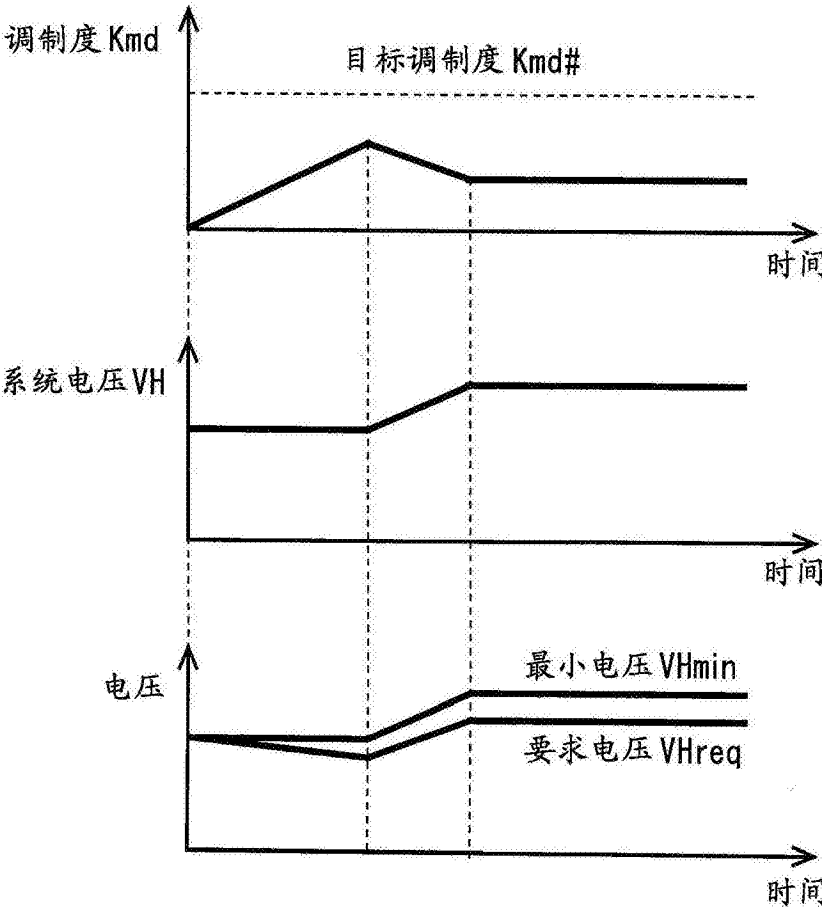


图9

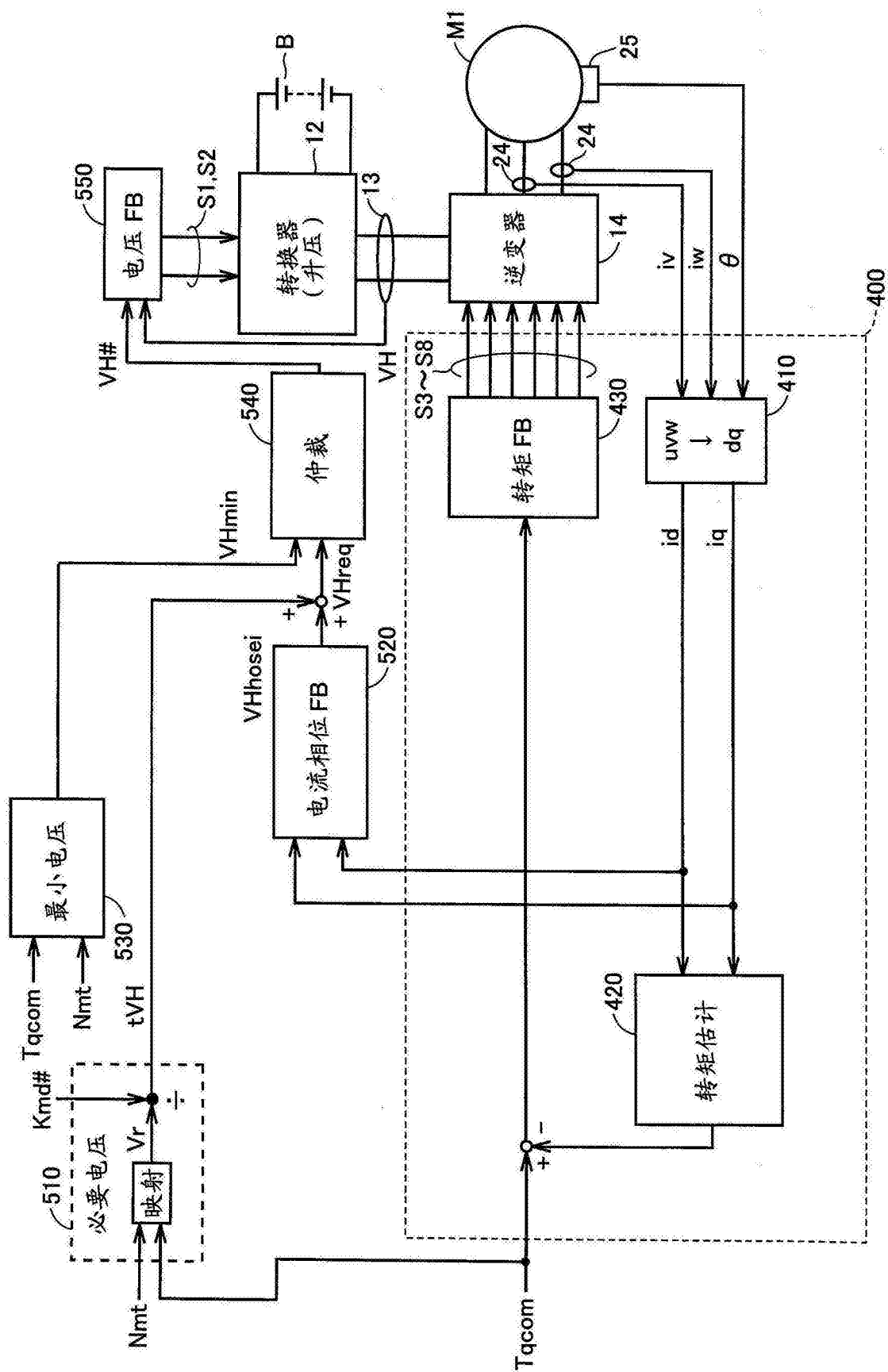


图10

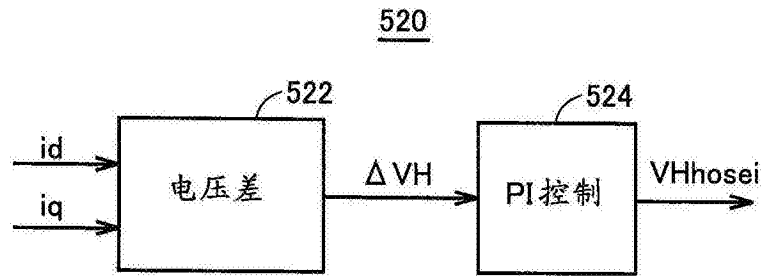


图11

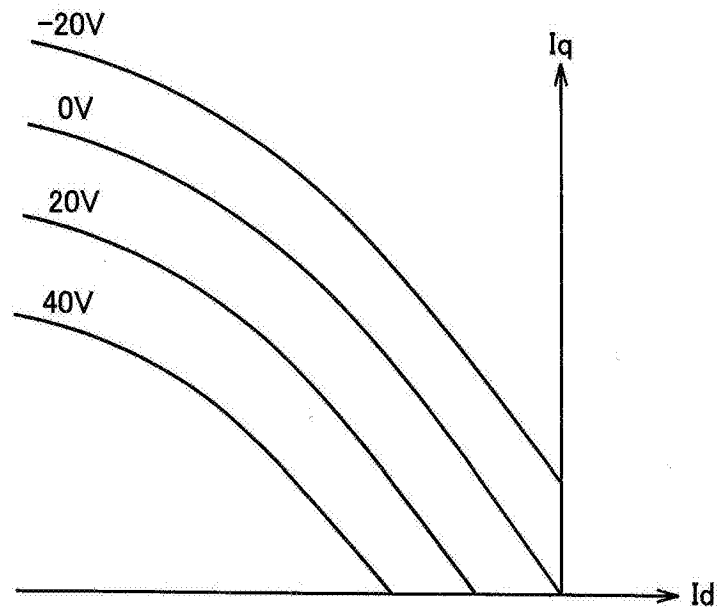


图12