



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112292811 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 06

(21) 申请号 201980039570.2

松本泰明 安藤彰修

(22) 申请日 2019.01.04

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112292811 A

专利代理师 戚宏梅

(43) 申请公布日 2021.01.29

(51) Int.Cl.

H02P 27/06 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.12.11

(56) 对比文件

CN 101432957 A, 2009.05.13

JP 2005039924 A, 2005.02.10

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2019/000009 2019.01.04

审查员 石二微

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/141569 JA 2020.07.09

(73) 专利权人 株式会社TMEIC
地址 日本东京

(72) 发明人 太田大博 川口裕敬 荻野宏之

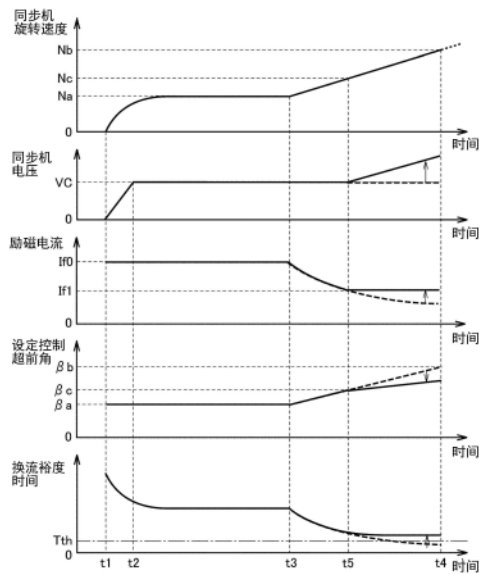
权利要求书1页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

晶闸管起动装置

(57) 摘要

在晶闸管起动装置中,逆变器将从转换器经由直流电抗器提供的直流电力转换为可变频率的交流电力并向同步机供给。控制部构成为基于相位控制角控制逆变器。电压调整装置构成为通过向同步机供给励磁电流来调整同步机的感应电压。当在同步机的加速中同步机的旋转速度超过基准旋转速度时,电压调整装置控制励磁电流,以使得随着同步机的旋转速度的上升而使感应电压增加。控制部使得与同步机的旋转速度低于基准旋转速度时相比减少相对于同步机的旋转速度而言的相位控制角的增加率。



1. 一种晶闸管起动装置,使同步机起动,具备:
 - 转换器,将交流电力转换为直流电力;
 - 直流电抗器,使所述直流电力平滑化;
 - 逆变器,将从所述转换器经由所述直流电抗器提供的所述直流电力,转换为可变频率的交流电力并向所述同步机供给;
 - 控制部,构成为基于相位控制角控制所述逆变器;以及
 - 电压调整装置,构成为通过向所述同步机供给励磁电流来调整所述同步机的感应电压,当在所述同步机的加速中所述同步机的旋转速度超过基准旋转速度时,
 - 所述电压调整装置控制所述励磁电流,以使得随着所述同步机的旋转速度的上升而所述感应电压增加,而且,
 - 所述控制部使得与所述同步机的旋转速度低于所述基准旋转速度时相比减少相对于所述同步机的旋转速度而言的所述相位控制角的增加率,
 - 所述控制部进而与所述同步机的旋转速度相应地设定所述相位控制角,以使得即使所述同步机的旋转速度发生了变化,在所述逆变器的输入端子出现的直流电压也恒定,
 - 当在所述同步机的加速中所述同步机的旋转速度超过所述基准旋转速度时,
 - 所述控制部与所述同步机的旋转速度相应地设定所述相位控制角,以使得即使所述同步机的旋转速度发生了变化,所述逆变器中的晶闸管的换流裕度时间也比所述晶闸管的关断时间长。
2. 如权利要求1所述的晶闸管起动装置,其中,
 - 当在所述同步机的加速中所述同步机的旋转速度超过所述基准旋转速度时,
 - 所述控制部基于所述同步机的端子电压设定所述相位控制角,以使得所述同步机的端子电压与所述同步机的实际相位控制超前角的余弦函数(\cos)之积成为恒定值。

晶闸管起动装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种晶闸管起动装置。

背景技术

[0002] 正在开发用于使发电机以及电动机等同步机起动的晶闸管起动装置(例如参照国际公开第2014/033849号(专利文献1))。晶闸管起动装置具备将交流电力转换为直流电力的转换器、使直流电力平滑化的直流电抗器、以及将从转换器经由直流电抗器提供的直流电力转换为可变频率的交流电力并向同步机供给的逆变器。通过控制向同步机供给的交流电力,能够使停止状态的同步机起动并使其以规定的旋转速度驱动。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:国际公开第2014/033849号

发明内容

[0006] 发明将要解决的课题

[0007] 在上述晶闸管起动装置中,逆变器至少具有六个晶闸管。通过与同步机的旋转同步地使六个晶闸管每次两个地依次良好地点火,使得逆变器能够向同步机供给三相交流电力而使同步机的旋转速度上升。

[0008] 然而,实际上,由于同步机的电感,晶闸管的换流不是瞬时地进行,而是存在电流的重叠期间。因此,晶闸管的反向偏置期间成为控制超前角与换流重叠角之差。为了使换流可靠地进行,晶闸管的反向偏置期间需要比与晶闸管的关断时间相当的角度长。控制超前角与换流重叠角之差也被称作换流裕度角,与换流裕度角对应的期间也被称作换流裕度时间。

[0009] 在上述晶闸管起动装置中,随着同步机的旋转速度上升,换流裕度时间变短。因此,在同步机的高旋转速度区域中,晶闸管的换流可能会失败。

[0010] 本发明为了解决上述那样的课题而做出,其目的在于在使同步机起动的晶闸管起动装置中使同步机的高旋转速度区域中的晶闸管的换流可靠地进行。

[0011] 用于解决课题的手段

[0012] 根据本发明的某个方面,使同步机起动的晶闸管起动装置具备转换器,直流电抗器、逆变器、控制部以及电压调整装置。转换器将交流电力转换为直流电力。直流电抗器使直流电力平滑化。逆变器将从转换器经由直流电抗器提供的直流电力转换为可变频率的交流电力并向同步机供给。控制部构成为基于相位控制角控制逆变器。电压调整装置构成为通过向同步机供给励磁电流来调整同步机的感应电压。当在同步机的加速中同步机的旋转速度超过基准旋转速度时,电压调整装置控制励磁电流,以使得随着同步机的旋转速度的上升而感应电压增加。控制部使得与同步机的旋转速度低于基准旋转速度时相比减少相对于同步机的旋转速度而言的相位控制角的增加率。

[0013] 发明效果

[0014] 根据本发明,在使同步机起动的晶闸管起动装置中能够使同步机的高旋转速度区域中的晶闸管的换流可靠地进行。

附图说明

[0015] 图1是表示本发明的实施方式所涉及的晶闸管起动装置的概略结构图。

[0016] 图2是示意地表示逆变器的换流动作的时序图。

[0017] 图3是表示晶闸管起动装置的基本动作的时序图。

[0018] 图4是逆变器以及同步机的主电路构成图。

[0019] 图5是晶闸管起动装置以及同步机的矢量图。

[0020] 图6是表示本实施方式的晶闸管起动装置的动作的时序图。

[0021] 图7是表示同步机的旋转速度与励磁电流之间的关系的图。

[0022] 图8是表示同步机的旋转速度与设定控制超前角之间的关系的图。

具体实施方式

[0023] 以下,参照附图来详细地说明本发明的实施方式。另外,对于图中的相同或者相当部分,赋予相同附图标记,不重复进行说明。

[0024] 图1是本发明的实施方式所涉及的晶闸管起动装置的概略结构图。

[0025] 参照图1,晶闸管起动装置100使处于停止的同步机20加速到同步速度,判定同步机电压与同步机20所连接的系统的电压之间的同步状态,将同步机20并入电力系统。与并入同时地,晶闸管起动装置100从同步机20切离。晶闸管起动装置100也被称作静止型频率转换装置(SFC:Static Frequency Converter)。加速中的晶闸管起动装置100作为基于利用同步机20的反电动势对晶闸管中流动的电流进行换流的分激式逆变器的可变速驱动装置进行动作。

[0026] 同步机20包含具有电枢绕组ATU、ATV、ATW的定子、以及励磁绕组22。图1的例子中,同步机20例如与火力发电厂的燃气轮机GT结合,由燃气轮机GT旋转驱动。

[0027] 晶闸管起动装置100连接于变压器TR的二次侧。变压器TR的一次侧连接于交流电源30。变压器TR将从交流电源30供给的三相交流电压转换为规定的电压值的三相交流电压并提供给晶闸管起动装置100。

[0028] 晶闸管起动装置100具备转换器1、直流电抗器3、逆变器2、以及AVR(自动电压调整装置)21。转换器1是至少具有六个晶闸管的三相全波整流器,将来自变压器TR的三相交流电力转换为可变电电压的直流电力。

[0029] 直流电抗器3连接于转换器1的正侧输出端子1a与逆变器2的正侧输入端子2a之间。直流电抗器3使转换器1的直流输出电流 I_d 平滑化。转换器1的负侧输出端子1b与逆变器2的负侧输入端子2b相互连接。另外,也可以在转换器1的负侧输出端子1b与逆变器2的负侧输入端子2b之间连接另一个直流电抗器3。

[0030] 逆变器2的三个输出端子2c、2d、2e与同步机20的三个电枢绕组ATU、ATV、ATW分别连接。逆变器2是具有至少六个晶闸管U、V、W、X、Y、Z的三相分激式逆变器。逆变器2将从转换器1经由直流电抗器3提供的直流电力转换为可变频率的交流电力并向同步机20供给。

[0031] AVR21向同步机20的励磁绕组22供给励磁电流 I_f 。AVR21控制向励磁绕组22供给的励磁电流 I_f ,以使得同步机20所输出的交流电压与燃气轮机的旋转速度无关地被保持为恒定。通过在励磁绕组22被供给有励磁电流 I_f 的状态下从逆变器2向电枢绕组ATU、ATV、ATV供给交流电力,从而同步机20的旋转被加速。AVR21与“电压调整装置”的一实施例对应。

[0032] 晶闸管起动装置100还具备变流器4、5、电压检测器6、位置检测器7、电流检测器9、逆变器控制部10、以及转换器控制部13。

[0033] 变流器4检测从变压器TR流到转换器1的三相交流电流,并将表示检测值的信号提供给电流检测器9。电流检测器9基于来自变流器4的信号,对从转换器1输出的直流电流 I_d 进行运算,并将表示其运算值的信号提供给转换器控制部13。具体而言,电流检测器9具有全波整流型的二极管整流器,将检测到的三相交流电流转换为直流电流 I_d 。

[0034] 变流器5检测从逆变器2流到同步机20的电枢绕组ATU、ATV、ATW的电流,并将表示检测值的信号提供给位置检测器7。

[0035] 电压检测器6检测从逆变器2向同步机20供给的三相交流电压 V_u 、 V_v 、 V_w 的瞬时值,并将表示检测值的信号提供给位置检测器7。具体而言,电压检测器6检测同步机20的电枢绕组ATU、ATV、ATW中的三相交流电压的线间电压中的两个线间电压(在图1中是U相—V相间的交流电压 V_u-v 以及V相—W相间的交流电压 V_v-w)。如此,通过检测U相—V相间的交流电压 V_u-v 、V相—W相间的交流电压 V_v-w 以及W相—U相间的交流电压 V_w-u 中的至少两个线间电压,能够通过计算来求出U相、V相、W相的交流电压。从该线间电压向相电压的转换在电压检测器6或者位置检测器7中进行。

[0036] 位置检测器7基于来自变流器5以及电压检测器6的信号检测同步机20的转子的位置,并将表示检测值的信号提供给逆变器控制部10以及转换器控制部13。

[0037] 逆变器控制部10基于来自位置检测器7的信号,控制逆变器2的点火相位。具体而言,逆变器控制部10包含控制角运算部11和闸门脉冲产生器(gate pulse generator)12。

[0038] 控制角运算部11基于检测出的同步机20的转子的位置运算相位控制角 β_0 ,将运算出的相位控制角 β_0 提供给闸门脉冲产生器12。具体而言,控制角运算部11基于来自位置检测器7的信号运算同步机20的旋转速度后,基于运算出的旋转速度设定相位控制角 β_0 。以相对于同步机20内部的感应电压而言逆变器2的输出相电流的相位超前的方式设定相位控制角 β_0 。

[0039] 另外,实际的超前角 β 随着相电流的增加,变得比相位控制角 β_0 小。在以下的说明中,将相位控制角 β_0 也称作“设定控制超前角 β_0 ”,将实际的超前角 β 也称作“实际控制超前角 β ”。另外,控制角运算部11也可以代替位置检测器7,基于来自电压检测器6的信号运算同步机20的旋转速度。

[0040] 闸门脉冲产生器12基于从控制角运算部11接收到的设定控制超前角 β_0 生成向逆变器2的晶闸管的闸门提供的闸门脉冲(点火指令)。逆变器控制部10与“控制部”的一实施例对应。

[0041] 转换器控制部13基于来自位置检测器7的信号以及来自电流检测器9的信号,控制转换器1的点火相位。具体而言,转换器控制部13控制转换器1的点火相位,以使从转换器1输出的直流电流 I_d 与电流指令值 I_d^* 一致。

[0042] 转换器控制部13包含速度控制部14、电流控制部15、控制角运算部16、以及闸门脉

冲产生器17。速度控制部14基于检测出的同步机20的转子的位置,对同步机20的旋转速度进行运算。速度控制部14基于运算出的旋转速度,生成作为直流电流 I_d 的目标值的电流指令值 I_d^* 。

[0043] 电流控制部15对电流指令值 I_d^* 与直流电流 I_d 的偏差 ΔI_d 进行运算,基于运算出的偏差 ΔI_d 生成电压指令值 V_{DC1}^* 。具体而言,电流控制部15包含比例要素(P:proportional element)、积分要素(I:integral element)以及加法部。比例要素将偏差 ΔI_d 乘以规定的比例增益并向加法部输出,积分要素以规定的积分增益将偏差 ΔI_d 积分并向加法部输出。加法部将来自比例要素以及积分要素的输出相加,生成电压指令值 V_{DC1}^* 。电压指令值 V_{DC1}^* 相当于对转换器1应输出的直流电压 V_{DC1} 进行规定的控制指令。

[0044] 另外,转换器1控制直流电压 V_{DC1} ,以使其比逆变器2的输入端子侧的直流电压 V_{DC2} 大出由直流电抗器3引起的电压下降量的量。由此,直流电流 I_d 得以控制。

[0045] 控制角运算部16基于从电流控制部15提供的电压指令值 V_{DC1}^* ,对相位控制角 α 进行运算。控制角运算部16将运算出的相位控制角 α 提供给闸门脉冲产生器17。

[0046] 闸门脉冲产生器17基于从控制角运算部16接收到的相位控制角 α 生成向转换器1的晶闸管的闸门提供的闸门脉冲(点火指令)。按照由闸门脉冲产生器17生成的闸门脉冲对转换器1进行开关控制,从而从转换器1输出遵循电流指令值 I_d^* 的直流电流 I_d 。

[0047] 接下来,使用图2对逆变器2的换流动作进行说明。

[0048] 图2是示意地表示逆变器2的换流动作的时序图。图2的(A)是表示逆变器2中实际流动的电流的电路图。同步机20具有三相的电感成分 L_u 、 L_v 、 L_w 。图2的(B)示出了同步机20的端子电压(三相交流电压) V_u 、 V_v 、 V_w 、以及逆变器2的输入端子2a、2b间出现的直流电压 V_{DC2} 。图2的(C)示出了逆变器2中流动的电流 i_w 、 i_u 。图2的(D)示出了逆变器2的六个晶闸管U、V、W、X、Y、Z当中的处于导通的晶闸管。

[0049] 在图2的(B)中,线间电压 V_u-v 、 V_v-w 、 V_w-u 成为0V的点是实际控制超前角 β 的基准点,在基准点, $\beta=0^\circ$ 。在从基准点起相位超前了希望的角度 β 的时刻,向晶闸管提供点火指令(闸门脉冲)。例如,在晶闸管U导通的期间,向晶闸管V提供闸门脉冲,接着,在晶闸管V导通的期间,向晶闸管W提供闸门脉冲。同样,在晶闸管Z导通的期间,向晶闸管X提供闸门脉冲,接着,在晶闸管X导通的期间,向晶闸管Y提供闸门脉冲。

[0050] 根据导通的晶闸管的转变,同步机20的线间电压 V_u-v 、 V_v-w 、 V_w-u 在逆变器2的输入端子2a、2b间依次作为直流电压 V_{DC2} 出现。逆变器控制部10能够根据同步机20的旋转使六个晶闸管U、V、W、X、Y、Z每次两个地依次良好地点火,控制流经同步机20的电流的路径。

[0051] 然而,实际上,原本导通着的晶闸管不会响应于闸门脉冲而瞬时地消弧。起因于同步机20的电感成分 L_u 、 L_v 、 L_w ,在有限的期间,产生刚刚处于导通的晶闸管和随后将要导通的晶闸管的双方成为导通状态的期间。将该期间称作“换流重叠时间”,与换流重叠时间对应的角度被称作“换流重叠角 u ”。

[0052] 在图2的(B)中,在 $\omega t < 0$ 时晶闸管W、Y处于导通时,即使在 $\omega t = 0$ 时向晶闸管U提供闸门脉冲,也由于同步机20的电感成分 L_v 、 L_w 的影响,在换流重叠期间中双方的晶闸管W、U继续导通。因此,晶闸管的反向偏置期间如下式(1)所示那样成为实际控制超前角 β 与换流重叠角 u 之差。

[0053] [数1]

[0054] $\gamma = \beta - u$ (1)

[0055] 为了使换流可靠地进行,晶闸管的反向偏置期间需要比与晶闸管的关断时间相当的角度长。该 γ 也被称作“换流裕度角”,与换流裕度角对应的期间也被称作“换流裕度时间”。若将晶闸管的关断时间设为 t_{off} ,则换流裕度角 γ 必须为 ωt_{off} 以上。

[0056] 接下来,使用图3对晶闸管起动装置100的基本动作进行说明。

[0057] 图3是表示晶闸管起动装置100的基本动作的时序图。图3中示出了同步机20的旋转速度、同步机20的端子电压的实际值、励磁电流、设定控制超前角以及逆变器2中的晶闸管的换流裕度时间。

[0058] 若在时刻 t_1 , 闸管起动装置100起动,则晶闸管起动装置100使同步机20从完全的停止状态加速到规定的旋转速度 N_a 。

[0059] 若在时刻 t_1 使停止状态的同步机20起动,则AVR21向励磁绕组22供给恒定的励磁电流 I_f ($I_f = I_{f0}$)。通过恒定的励磁电流 I_f ,在同步机20的转子中产生恒定的励磁磁通。通过该状态下使同步机20加速,从而,在同步机20内部产生的感应电压的大小(实际值)与同步机20的旋转速度一起增加。

[0060] 若在时刻 t_2 ,同步机20的端子电压的实际值达到规定的电压 V_C ,则AVR21在同步机20的旋转速度恒定的期间,将向励磁绕组22供给的励磁电流 I_f 维持为恒定值。

[0061] 另外,设定控制超前角 β_0 在同步机20的旋转速度为0至规定的旋转速度 N_a 的期间,与旋转速度的变化无关地被维持为恒定值 β_a 。同步机20的端子电压的实际值从0V至 V_C 而线性地增大。旋转速度 N_a 例如被设定为燃气轮机GT的额定速度的20%程度。

[0062] 若同步机20的旋转速度达到 N_a ,则在时刻 t_3 ,燃气轮机GT被投入燃料,燃气轮机GT点火。在点火后,晶闸管起动装置100对燃气轮机GT的升速进行辅助。由此,同步机20的旋转速度在时刻 t_3 以后开始加速。

[0063] 在时刻 t_3 以后,AVR21使向励磁绕组22供给的励磁电流 I_f 降低。由此,即使旋转速度变化,同步机20的端子电压的实际值也被保持恒定的电压 V_C 。

[0064] 在同步机20的旋转速度为 N_a 至规定的旋转速度 N_b 的期间,设定控制超前角 β_0 从最小值 β_a 至最大值 β_b ,与旋转速度相应地以恒定的增加率而线性地增大。在本申请说明书中,设定控制超前角 β_0 的增加率表示设定控制超前角 β_0 的增加量 $\Delta \beta_0$ 相对于同步机20的旋转速度 N 的增加量 ΔN 的比率 ($\Delta \beta_0 / \Delta N$)。

[0065] 相比于如专利文献1所记载的那样通过与旋转速度的增加相应地使设定控制超前角 β_0 以恒定的增加率而线性地增加、从而与旋转速度的变化无关地使设定控制超前角 β_0 恒定的构成,能够抑制换流重叠期间内的直流电压 V_{DC2} 的上升。

[0066] 另外,虽然省略了图示,但是若旋转速度超过 N_b ,则设定控制超前角 β_0 被维持为最大值 β_b 。旋转速度 N_b 例如被设定为燃气轮机GT的额定速度的70%程度。若在时刻 t_4 ,同步机20的旋转速度达到 N_b ,则晶闸管起动装置100被从同步机20切离。

[0067] 在晶闸管起动装置100的一系列动作中,在时刻 t_1 以后,换流裕度时间受到换流重叠期间内的上升量的影响,而与同步机20的旋转速度相应地缓缓地变短。特别是,若在时刻 t_3 使同步机20的加速开始,则随着同步机20的旋转速度的上升,换流裕度时间变短。

[0068] 在换流裕度时间中存在有晶闸管不能换流的阈值时间 T_{th} 。该阈值时间 T_{th} 由晶闸管的关断时间 t_{off} 决定。在图3的例子中,在时刻 t_4 之前,换流裕度时间就已变得低于阈值时

间 T_{th} 。因此,担心晶闸管会换流失败。

[0069] 于是,在本实施方式所涉及的晶闸管起动装置100中,提供一种即使在同步机20的旋转速度变高的情况下也能够确保逆变器2的换流裕度时间的晶闸管起动装置100的控制构成。

[0070] 另外,本申请说明书中,说明本实施方式所涉及的晶闸管起动装置100的控制构成时,如图4所示那样定义逆变器2以及同步机20的电压以及电流。图4所示的逆变器2以及同步机20的主电路构成图中, I_d 表示直流电抗器3中流动的电流, E_d 表示逆变器2的输入端子2a、2b间的直流电压(相当于图1的VDC2)。 I_u 表示逆变器2所输出的三相交流电流当中的U相电流, E_u 表示逆变器2所输出的三相交流电压当中的U相电压。 Z 表示同步机20的一相的阻抗, E_a 表示在同步机20内部产生的感应电压。另外,关于 Z ,为了简化说明,视为一相的阻抗中的电阻成分充分小而可忽略,仅具有电抗 X 。

[0071] 图5的(A)是以晶闸管起动装置100的U相电压 E_u 为基准而描画的矢量图。如图5的(A)所示那样,相对于逆变器2的U相电压 E_u ,逆变器2的U相电流 I_u 超前了相位角 θ 。相位角 θ 是功率因数角。

[0072] 运转中的同步机20内部的感应电压 E_a 相对于U相电压 E_u ,延迟了相位角 δ 。相位角 δ 是负载角。 $Z \cdot I_u$ 具有电抗 X 与U相电流 I_u 之积 $X \cdot I_u$ 的大小,与 I_u 具有 $\pi/2$ 的相位差。

[0073] 在同步机20以设定控制超前角 β_0 运转的情况下,关于同步机20的感应电压 E_a 与U相电流 I_u 之间的相位,能够认为 I_u 被固定为仅超前 β_0 。负载运转时的U相电压 E_u 如下式(2)所示。

[0074] [数2]

$$E_u = E_a + X \times I_u \quad (2)$$

[0076] 但是,实际上,如图2所示那样,通过换流重叠角 u ,使得电流波形成为梯形波,相位方面, I_u 的相位延迟仅 $u/2$ 。

[0077] 从设定控制超前角 β_0 减去负载角 δ 而得的相位角 $\beta_0 - \delta$ 成为实际控制超前角 β 。从实际控制超前角 β 减去 $u/2$ 而得的相位角 $\beta - u/2$ 成为功率因数角 θ 。

[0078] [数3]

$$\beta = \beta_0 - \delta \quad (3)$$

[0080] [数4]

$$\theta = \beta - \frac{1}{2}u \quad (4)$$

[0082] 如式(1)所示那样,从实际控制超前角 β 减去换流重叠角 u 而得的相位角 $\beta - u$ 成为换流裕度角 γ ($\gamma = \beta - u$)。如上述那样,随着同步机20的旋转速度上升,而与换流裕度角 γ 对应的换流裕度时间变短,因此,可能会引起晶闸管的换流失败。

[0083] 在此,运转中的同步机20的感应电压 E_a 以 $E_a = K \Phi \omega$ 而被赋予。其中, K 为常量, Φ 为合成磁通, ω 为角速度。若在AVR22中使励磁电流 I_f 增加,则同步机20中产生的励磁磁通增加。通过该励磁磁通的增加而使 Φ 增大,从而如图5的(B)所示那样,能够增大同步机20的感应电压 E_a 。

[0084] 图5的(B)的矢量图与图5的(A)的矢量图之间同步机20的旋转速度相同。在图5的(B)的矢量图中,与图5的(A)对比,将设定控制超前角 β_0 设为相同大小。进而,相电流 I_u 以及

$Z \cdot I_u$ 也在图5的(A)以及图5的(B)中设为相同大小。

[0085] 在图5的(B)中,通过不改变 $Z \cdot I_u$ 的大小而增大了感应电压 E_a ,从而U相电压 E_u 也变大。另一方面,负载角 δ 与图5的(A)相比变小。设定控制超前角 β_0 彼此相等,因此,结果,图5的(B)中与图5的(A)相比,实际控制超前角 $\beta (= \beta_0 - \delta)$ 变大。

[0086] 在逆变器2中,换流重叠角 u 以下式(5)而被赋予。

[0087] [数5]

$$[0088] \quad u = \beta - \cos^{-1} \left(\cos \beta + \frac{\sqrt{2} X I_d}{E_u} \right) \quad (5)$$

[0089] 根据式(5),随着逆变器2所输出的U相电压 E_u 变大,而换流重叠角 u 变小。因此,在图5的(B)中,与图5的(A)相比,换流重叠角 u 变小。

[0090] 若在这样使设定控制超前角 β_0 固定了的状态下增大同步机20的感应电压 E_a ,则实际控制超前角 β 变大,并且,换流重叠角 u 变小。据此,能够增大换流裕度角 γ ,因此,即使在同步机20的高旋转速度区域中也能够确保换流裕度时间。

[0091] 然而,另一方面,在图5的(B)中,与实际控制超前角 β 的增加一起,功率因数角 θ 变大。功率因数角 θ 的增加会招致晶闸管起动装置100的输出电力的降低。具体而言,直流电压 E_d 以下式(6)而被赋予。

[0092] [数6]

$$[0093] \quad E_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times \sqrt{3} E_u \times \cos \beta \quad (6)$$

[0094] 其中,式(6)能够使用式(4),如下式(7)那样改写。

[0095] [数7]

$$[0096] \quad E_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times \sqrt{3} E_u \times \cos \left(\theta + \frac{1}{2} u \right) \quad (7)$$

[0097] 逆变器2的输出电力根据能量守恒定律,与逆变器2的输入电力相等,因此,能够用直流电压 E_d 以及直流电流 I_d 之积 $E_d \times I_d$ 来表示。根据式(7),随着功率因数角 θ 变大,而直流电压 E_d 变小,因此,逆变器2的输出电力可能会降低。

[0098] 于是,在本实施方式中,如图5的(C)所示那样设为与同步机20的感应电压 E_a 的增加一起、在能够确保换流裕度角 γ 的范围内使设定控制角 β_0 减少的构成。由此,抑制了因功率因数角 θ 的增加而引起的直流电压 E_d 的降低。

[0099] 图5的(C)的矢量图与图5的(A)以及(B)的矢量图之间,同步机20的旋转速度相同。在图5的(C)的矢量图中,与图5的(B)相比,将同步机20的感应电压 E_a 设为相同的大小。此外,逆变器2的U相电流 I_u 以及 $Z \cdot I_u$ 也设为与图5的(B)相同的大小。该状态下,能够使设定控制超前角 β_0 比图5的(B)小。通过减小设定控制超前角 β_0 ,能够减小实际控制超前角 β ,结果能够使功率因数角 θ 也减小。

[0100] 相反,如图5的(C)所示那样,若减小设定控制超前角 β_0 ,则换流裕度角 γ 也变小,增大了同步机20的感应电压 E_a 这一点可能会失去意义。因此,需要在换流裕度角 γ 成为 ωt_{off} 以上(t_{off} 为晶闸管的关断时间)的范围内调整设定控制超前角 β_0 。

[0101] 另外,根据式(6),理想化的情况下,如果能够将U相电压 E_u 与 $\cos \beta$ (实际控制超前

角 β 的余弦函数)之积保持为恒定值,那么就能够将直流电压 E_d 保持为恒定值。因此,优选为,与同步机20的旋转速度相应地调整设定控制角 β_0 ,以使得 $\gamma \geq \omega_{\text{toff}}$, $E_u \times \cos\beta$ 恒定。据此,能够确保换流裕度时间的同时抑制直流电压 E_d 的降低(即,晶闸管起动装置100的输出电力的降低)。

[0102] 图6是表示本实施方式的晶闸管起动装置100的动作的时序图。图6中示出了同步机20的旋转速度、同步机20的端子电压的实际值、励磁电流、设定控制超前角以及换流裕度时间。

[0103] 图6所示的同步机20的旋转速度的波形与图3的基本动作所示的波形相同。图6中,用虚线表示了图3所示的同步机20的端子电压的实际值、励磁电流、设定控制超前角以及换流裕度时间的波形。

[0104] 图6的时序图与图3的时序图比较,时刻 t_3 以后的端子电压的实际值、励磁电流、设定控制超前角以及换流裕度时间的波形不同。具体而言,若在时刻 t_3 ,燃气轮机GT点火,则同步机20的加速开始。若在时刻 t_5 ,同步机20的旋转速度达到预先设定的基准旋转速度 N_c ,则AVR21通过控制向同步机20的励磁绕组22供给的励磁电流 I_f ,而使同步机20的感应电压 E_a 的实际值增加。其中, $N_a < N_c < N_b$ 。

[0105] 具体而言,AVR21控制励磁电流 I_f ,以使得随着同步机20的旋转速度的上升而感应电压的实际值增加。在图6的例子中,在时刻 t_5 以后,将励磁电流 I_f 维持为恒定值 I_{f1} 。由此,在时刻 t_5 以后,同步机20的端子电压的实际值从 V_C 缓缓地增加。

[0106] 另外,在一边将同步机20的端子电压的实际值维持为恒定值 V_C 、一边与旋转速度相应地使设定控制超前角 β_0 从 β_a 增加了的情况下,基准旋转速度 N_c 被设定为换流裕度时间比阈值时间 T_{th} 大时的旋转速度。

[0107] 在晶闸管起动装置100中,换流裕度时间在时刻 t_3 以后,随着同步机20的旋转速度的上升而变短。但是,在时刻 t_5 以后,随着同步机20的旋转速度的上升而使同步机20的感应电压增加,从而,实际控制超前角 β 变大,换流裕度时间的减少被抑制。另一方面,如图5的(B)所示,在设定控制超前角 β_0 恒定的情况下,与实际控制超前角 β 一起,功率因数角 θ 也变大,因此,担心晶闸管起动装置100的输出电力会降低。

[0108] 于是,晶闸管起动装置100在时刻 t_5 以后,以换流裕度时间变得比阈值时间 T_{th} 长为条件,使设定控制超前角 β_0 的增加率 $\Delta\beta_0/\Delta N$ 减少。具体而言,在逆变器控制部10中,控制角运算部11使得与同步机20的旋转速度为 N_a 至 N_c 的期间的设定控制超前角 β_0 的增加率 $\Delta\beta_0/\Delta N$ 相比,减小旋转速度为 N_c 至 N_b 的期间的设定控制超前角 β_0 的增加率 $\Delta\beta_0/\Delta N$ 。据此,若着眼于时刻 t_5 以后的设定控制超前角 β_0 的波形,则在图6(实线)中,与图3(虚线)比较,相对于相同旋转速度而言的设定控制超前角 β_0 变小。

[0109] 在图6的例子中,在旋转速度为 N_c 至 N_b 的期间,设定控制超前角 β_0 与旋转速度相应地以恒定的增加率 $\Delta\beta_0/\Delta N$ 而线性地增大。也可以构成为,代替图6的例子,在旋转速度为 N_c 至 N_b 的期间,与旋转速度相应地,使设定控制超前角 β_0 的增加率 $\Delta\beta_0/\Delta N$ 多次变化。例如也可以构成为,在旋转速度为 N_c 至 N_b 的期间,与旋转速度相应地,使设定控制超前角 β_0 的增加率 $\Delta\beta_0/\Delta N$ 阶段性地减小。

[0110] 但是,如图5的(C)所说明的那样,通过基于端子电压设定设定控制角 β_0 以使得同步机20的端子电压(相电压 E_u)与 $\cos\beta$ 之积成为恒定值,从而能够与同步机20的旋转速度无

关地将逆变器2的输入端子2a、2b间出现的直流电压(相当于图1的VDC2)保持为恒定值。结果,能够抑制晶闸管起动装置100的输出电力的降低。

[0111] 另外,在上述的同步机20的感应电压的控制中,能够预先求出同步机20的旋转速度与最佳的感应电压的实际值(励磁电流 I_f)之间的关系,并且,将其对应关系预先作为映射或者关系式存储于AVR21。图7是表示同步机20的旋转速度与励磁电流 I_f 之间的关系的一个例子。图7的纵轴表示励磁电流 I_f ,横轴表示同步机20的旋转速度。图7的例子中,在旋转速度为 N_a 至基准旋转速度 N_c 的期间,励磁电流 I_f 与旋转速度相应地减少。若旋转速度超过基准旋转速度 N_c ,则励磁电流 I_f 被维持为恒定值 I_{f1} 。

[0112] 同样,在设定控制超前角 β_0 的控制中,能够预先求出同步机20的旋转速度与最佳的设定控制超前角 β_0 之间的关系,并且,将其对应关系预先作为映射或者关系式存储于逆变器控制部10。图8是表示同步机20的旋转速度与设定控制超前角 β_0 之间的关系的一个例子的图。另外,图中的虚线是为了进行比较而示出了图3所示的同步机20的旋转速度与设定控制超前角 β_0 之间的关系。

[0113] 在图8的例子中,在旋转速度为 N_a 至基准旋转速度 N_c 的期间,设定控制超前角 β_0 从 β_a 至 β_c ,与旋转速度相应地以第1增加率 $\Delta\beta_0/\Delta N$ 而线性地增大。在旋转速度为基准旋转速度 N_c 至 N_b 的期间,设定控制超前角 β_0 从 β_c 至 β_b ,与旋转速度相应地以第2增加率 $\Delta\beta_0/\Delta N$ 而线性地增大。其中,第2增加率比第1增加率小。

[0114] 据此,AVR21以及逆变器控制部10当同步机20的旋转速度达到基准旋转速度 N_c 时,能够基于同步机20的旋转速度,参照上述映射或者关系式,分别设定励磁电流 I_f 以及设定控制超前角 β_0 。

[0115] 如以上说明的那样,根据本发明的实施方式所涉及的晶闸管起动装置,在同步机的高旋转速度区域中,随着同步机的旋转速度的上升而使同步机的感应电压增加,并且,与低旋转速度区域相比减少逆变器中的设定控制超前角的增加率,从而,能够一边抑制晶闸管起动装置的输出电力的降低,一边确保逆变器中的晶闸管的换流裕度时间。

[0116] 此外,根据本实施方式所涉及的晶闸管起动装置,上述的感应电压以及设定控制超前角的调整仅在换流裕度时间变短的高旋转速度区域中进行,因此,对于事故电流大、晶闸管的过电流耐量被担忧的低旋转速度区域不会带来影响。而且,能够将直流电压 E_d 保持为恒定值,因此能够避免给转换器1带来影响。

[0117] 另外,上述的实施方式中,说明了同步机20是火力发电厂中的通过燃气轮机进行旋转驱动的发电机的情况,但是不限于此,同步机20也可以是一般工业领域中使用的同步机。

[0118] 本次公开的实施方式的全部点都是示例,而不应认为构成限制。本发明的范围不是由上述的说明、而是由权利要求来表示,包含与权利要求等同的含义及范围内的全部变更。

[0119] 附图标记的说明

[0120] 1转换器;2逆变器;3直流电抗器;4、5变流器;6电压检测器;7位置检测器;9电流检测器;10逆变器控制部;11、16控制角运算部;12、17闸门脉冲产生器;13转换器控制部;14速度控制部;15电流控制部;20同步机;21 AVR;22励磁绕组;30交流电源;100晶闸管起动装置;ATU、ATV、ATW电枢绕组;GT燃气轮机;U、V、W、X、Y、Z晶闸管。

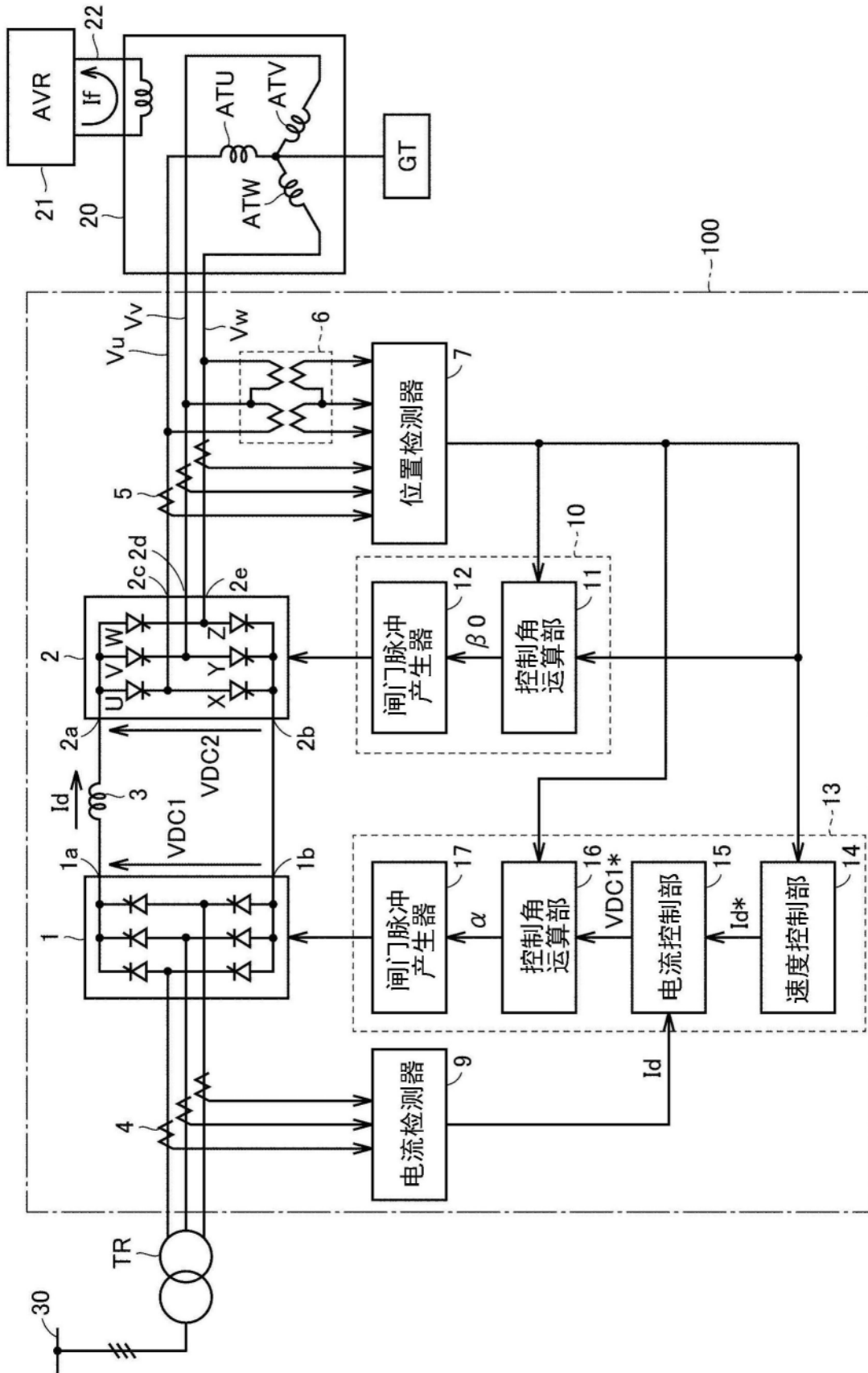


图1

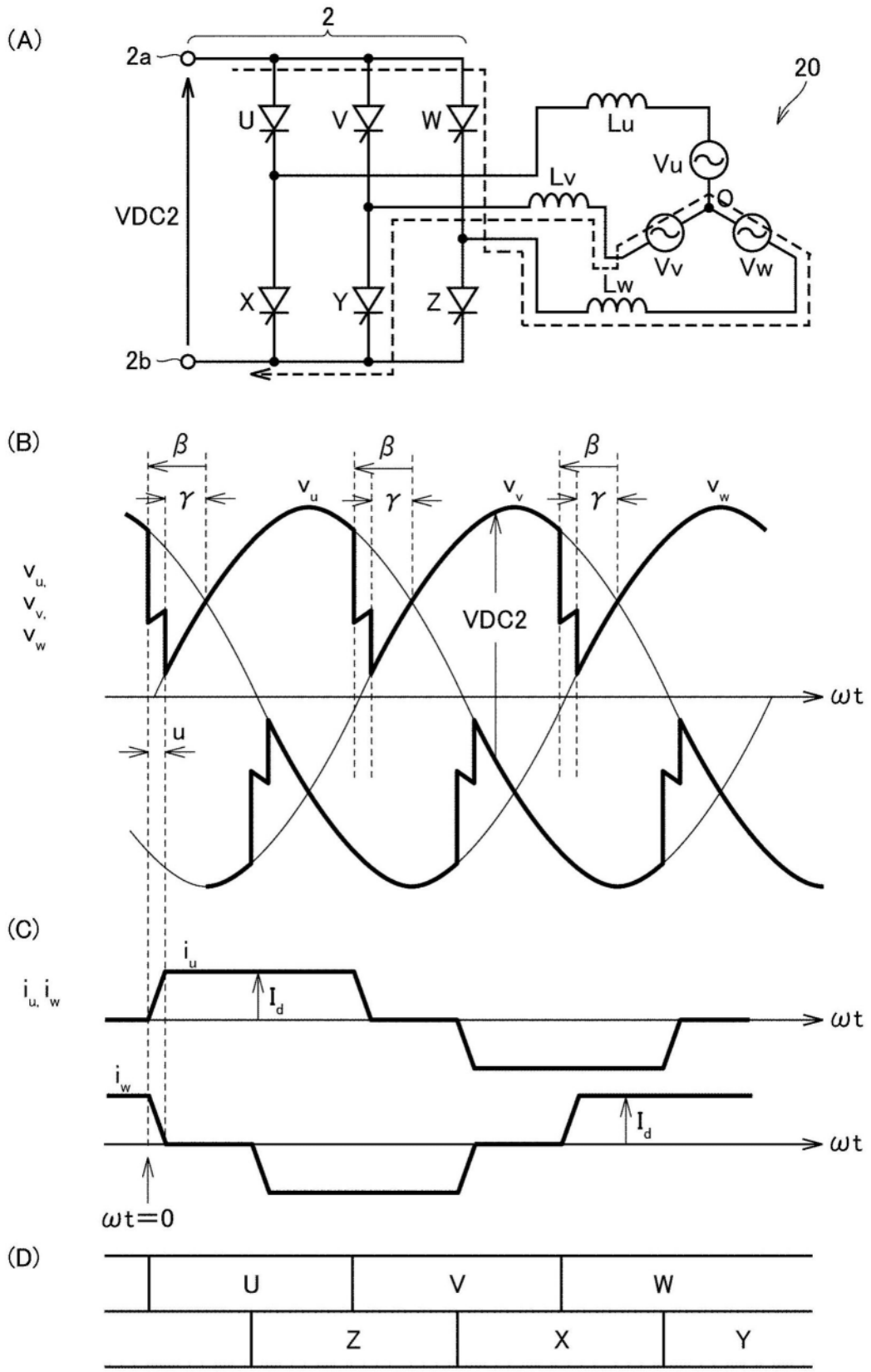


图2

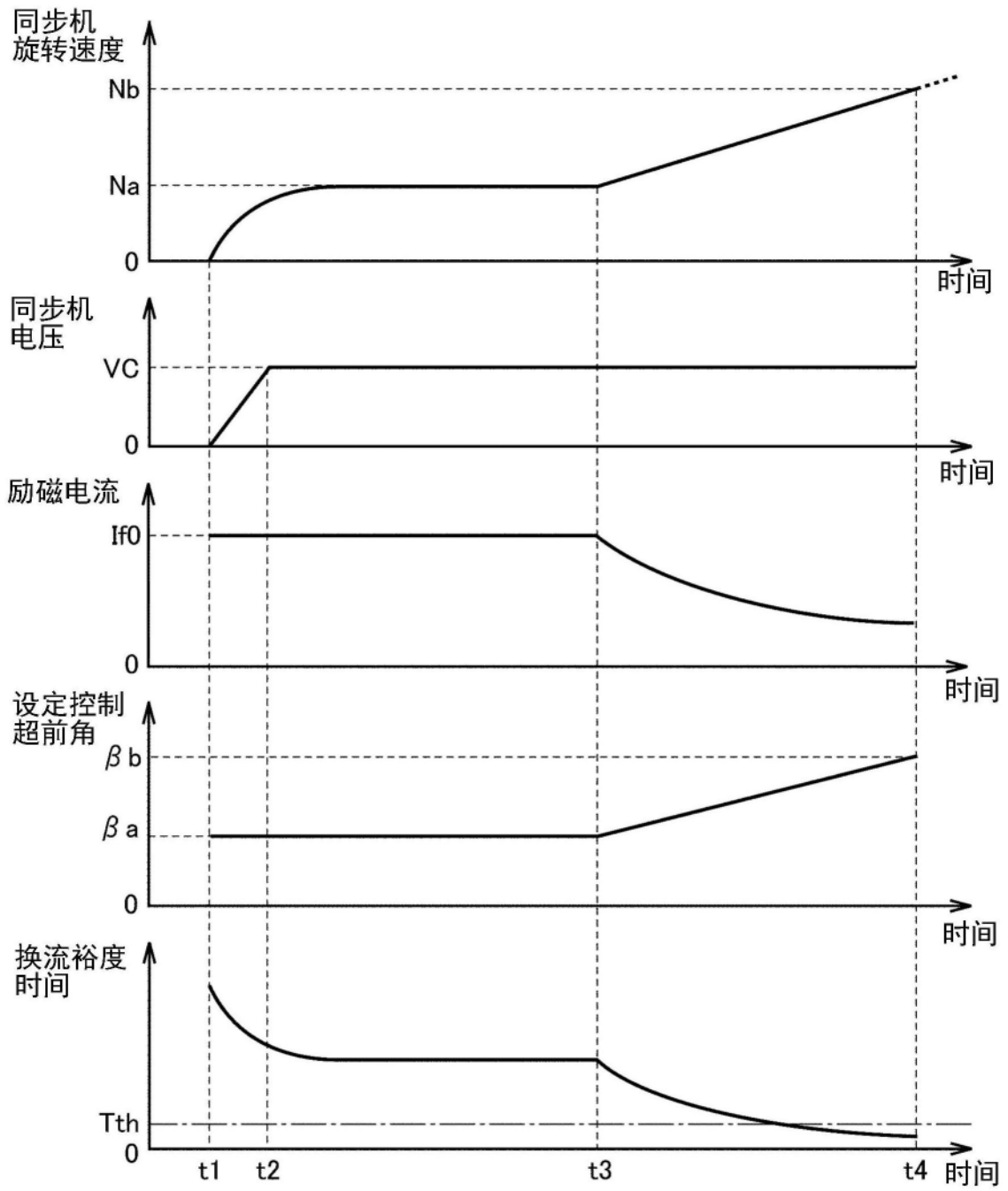


图3

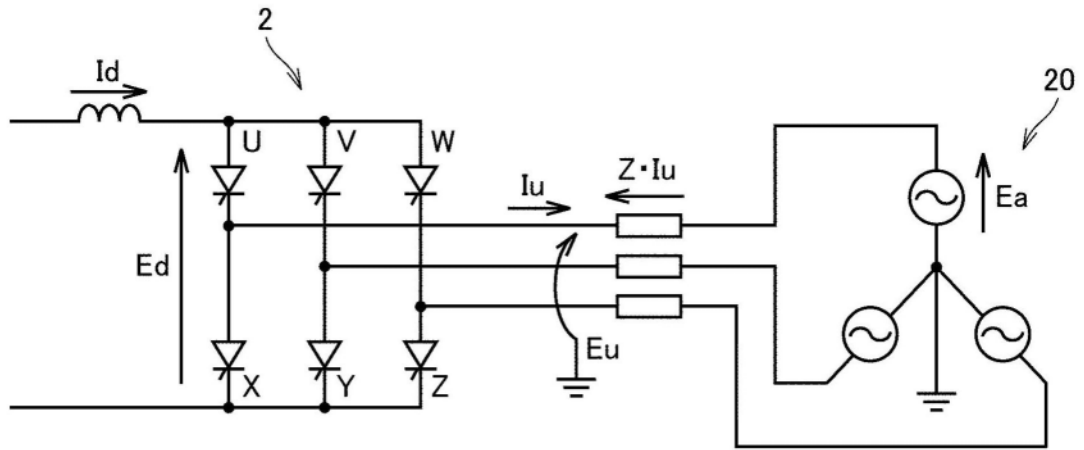


图4

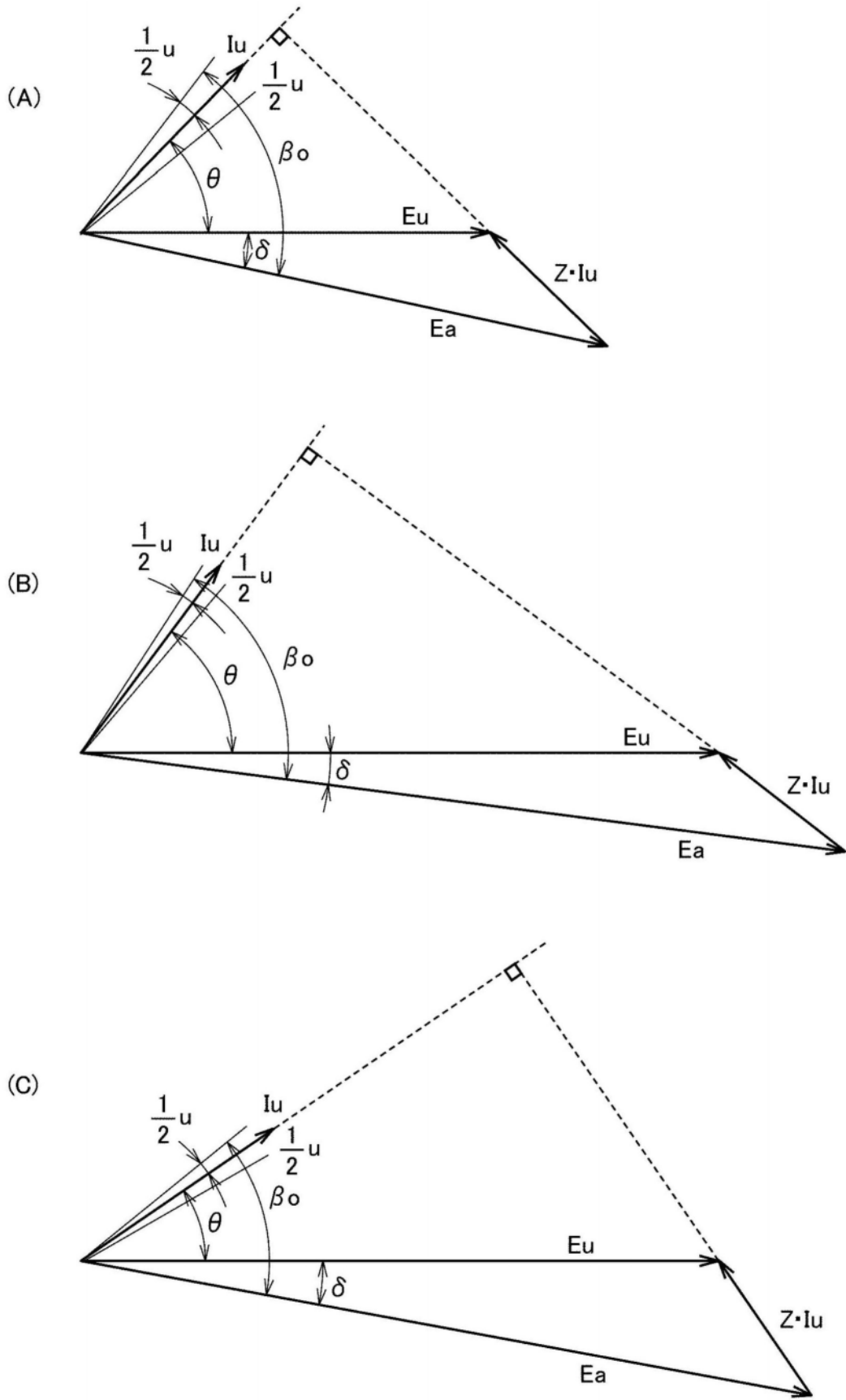


图5

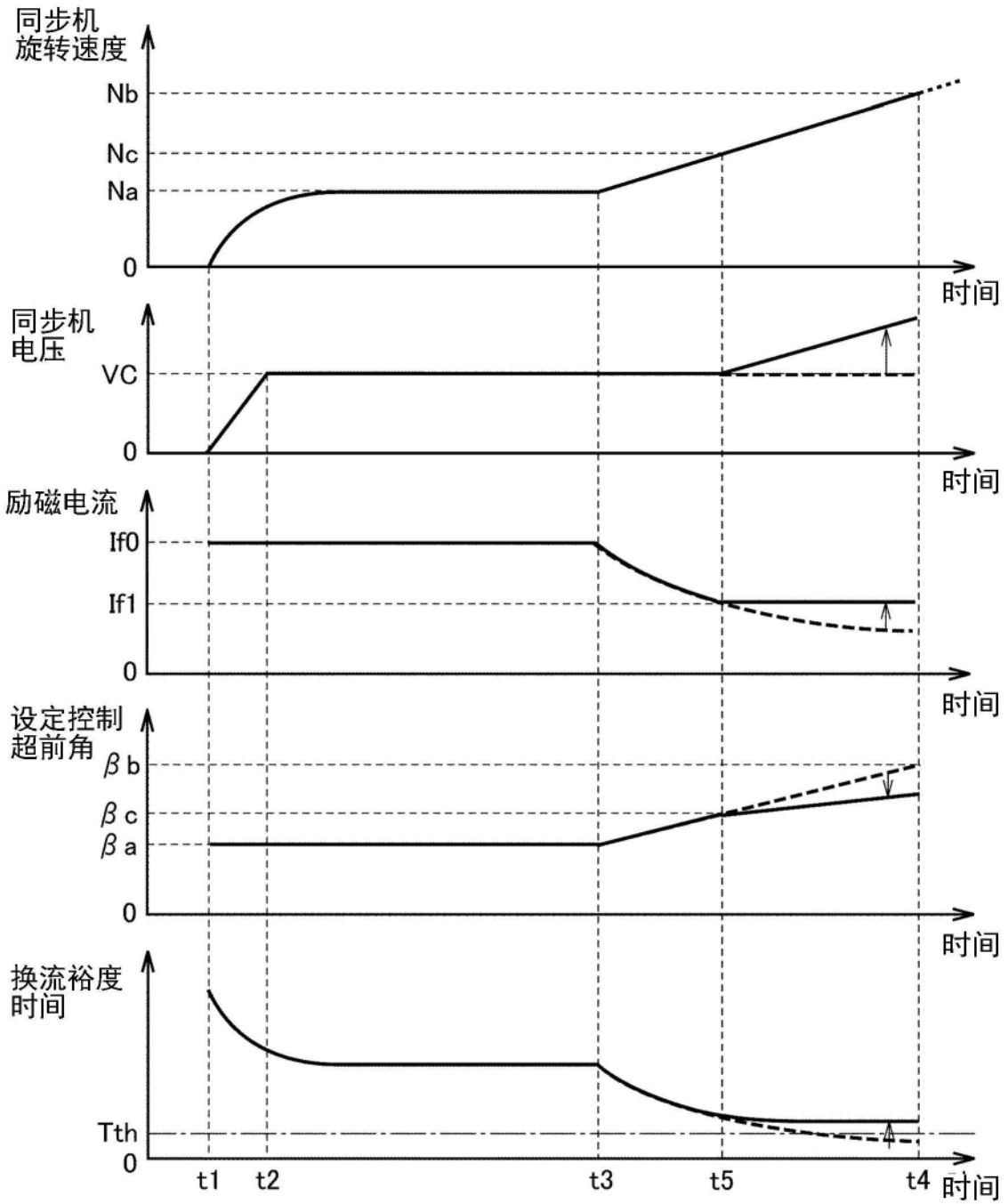


图6

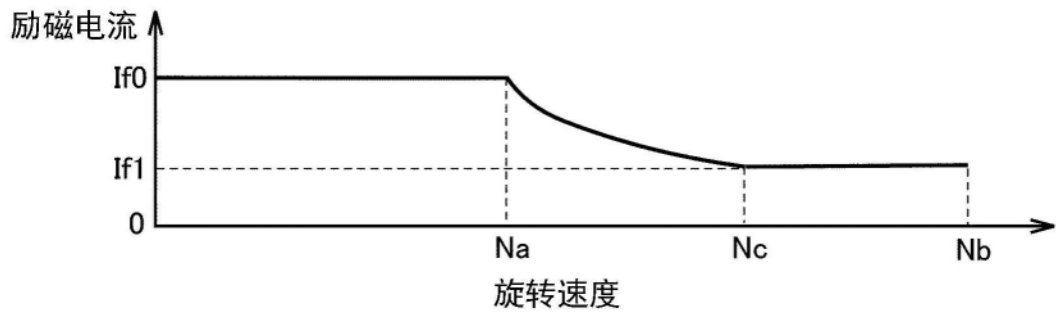


图7

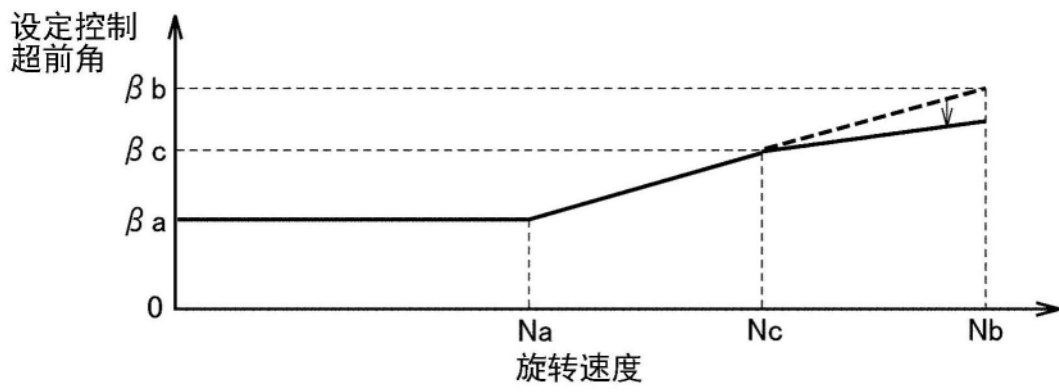


图8