



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03138676.8

[45] 授权公告日 2006年11月8日

[11] 授权公告号 CN 1284294C

[22] 申请日 2003.5.26 [21] 申请号 03138676.8
 [30] 优先权
 [32] 2002.5.27 [33] JP [31] 2002-152848
 [71] 专利权人 松下电器产业株式会社
 地址 日本大阪府
 [72] 发明人 松井敬三
 审查员 李伟波

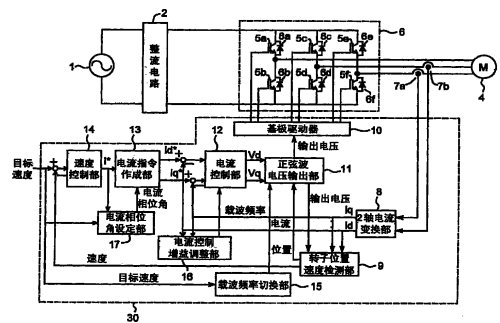
[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司
 代理人 汪惠民

权利要求书 4 页 说明书 12 页 附图 7 页

[54] 发明名称
电动机驱动装置

[57] 摘要

一种电动机的驱动装置，包括检测负载要素的电动机(4)的电流的电流检测器(7a、7b)、将所检测的电流控制成给定值的电流控制部(12)、在电流控制部(12)中按照电动机(4)的电流振幅变更控制增益的电流控制增益调节部(16)。从而即使是负载变动大的电动机，也可以可靠进行电流控制、启动，实现可靠性高的电动机的驱动。



1. 一种电动机驱动装置，其特征是包括：
检测流入电动机的电流的电流检测装置、
根据目标速度与电动机的检测速度之差，生成第 1 电流指令值的速度控制装置、
根据目标速度及所述第 1 电流指令值，输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、
根据由所述速度控制装置生成的第 1 电流指令值和由所述电流相位角设定装置设定的电流相位角，算出第 2 电流指令值并输出的电流指令作成装置、
根据所检测出的电流值与所述第 2 电流指令值之差、将流入电动机的电流控制成给定值的电流控制装置、以及
根据流入电动机的电流振幅，改变在该电流控制装置中的控制增益的电流控制增益调节装置，
所述电流控制增益调节装置，根据表示增益值相对于电流振幅值的关系的给定近似式来计算控制增益。
2. 根据权利要求 1 所述的电动机驱动装置，其特征是所述电流控制增益调节装置，是当电流振幅越大时使控制增益越小，而当电流振幅越小时使控制增益越大。
3. 根据权利要求 1 所述的电动机驱动装置，其特征是还包括：产生用于驱动电动机的电压的多个开关元件、
驱动所述多个开关元件的基极驱动器、
向基极驱动器输出用于驱动所述开关元件的 ON/OFF 信号的电压输出装置、以及
向所述电压输出装置输出用于切换所述开关元件的 ON/OFF 的载波频率的载波频率切换装置，
所述载波频率切换装置，在所述电动机启动后、在给定时间的期间内将载波频率设定成第 1 频率，在经过给定时间之后，将载波频率设定成

不同的第 2 频率。

4. 根据权利要求 3 所述的电动机驱动装置，其特征是由所述载波频率切换装置设定的载波频率的第 1 频率比第 2 频率小。

5. 一种电动机驱动装置，其特征是包括：

检测流入电动机的电流的电流检测装置、

根据目标速度与电动机的检测速度之差，生成第 1 电流指令值的速度控制装置、

根据目标速度及所述第 1 电流指令值，输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、

根据由所述速度控制装置生成的第 1 电流指令值和由所述电流相位角设定装置设定的电流相位角，算出第 2 电流指令值并输出的电流指令作成装置、

根据所检测出的电流值与所述第 2 电流指令值之差，将流入电动机的电流控制成给定值的电流控制装置、以及

根据流入电动机的电流振幅，变更所述电流控制装置的控制增益的电流控制增益调整装置，

所述电流相位角设定装置，在所述电动机启动后、给定时间的期间内将电流相位角固定在给定值上。

6. 一种电动机驱动装置，其特征是包括：

检测流入电动机的电流的电流检测装置、

根据目标速度与电动机的检测速度，生成第 1 电流指令值的速度控制装置、

根据目标速度及所述第 1 电流指令值，输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、

根据由所述速度控制装置生成的第 1 电流指令值和由所述电流相位角设定装置设定的电流相位角，算出第 2 电流指令值并输出的电流指令作成装置、

根据所检测出的电流值与所述第 2 电流指令值之差、将流入电动机的电流控制成给定值的电流控制装置、以及

根据流入电动机的电流振幅，变更所述电流控制装置的控制增益的

电流控制增益调整装置，

所述电流相位角设定装置，根据所述电动机的转速设定电流相位角的设定值，并且相应转速的变化连续平滑地进行变更。

7. 根据权利要求 6 所述的电动机驱动装置，其特征是所述电流相位角设定装置将电流相位角的设定值设定成与所述电动机的转速对应的、使电动机效率成为最大的电流相位角。

8. 一种电动机驱动装置，其特征是包括：

检测流入电动机的电流的电流检测装置、

根据目标速度与电动机的检测速度之差，生成第 1 电流指令值的速度控制装置、

根据目标速度及所述第 1 电流指令值，输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、

根据由所述速度控制装置生成的第 1 电流指令值和由所述电流相位角设定装置设定的电流相位角，算出第 2 电流指令值并输出的电流指令作成装置、

根据所检测出的电流值与所述第 2 电流指令值之差，将流入电动机的电流控制成给定值的电流控制装置、以及

根据流入电动机的电流振幅，变更所述电流控制装置的控制增益的电流控制增益调整装置，

所述电流相位角设定装置，根据所述电动机的负载电流设定电流相位角的设定值，并且相应负载电流的变化连续平滑地进行变更。

9. 根据权利要求 8 所述的电动机驱动装置，其特征是所述电流相位角设定装置将电流相位角的设定值设定成与所述电动机的负载电流对应的、使电动机效率成为最大的电流相位角。

10. 一种电动机驱动装置，其特征是包括：

检测流入电动机的电流的电流检测装置、

根据目标速度与电动机的检测速度之差，生成第 1 电流指令值的速度控制装置、

根据目标速度及所述第 1 电流指令值，输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、

根据由所述速度控制装置生成的第 1 电流指令值和由所述电流相位角设定装置设定的电流相位角，算出第 2 电流指令值并输出的电流指令作成装置、

根据所检测出的电流值与所述第 2 电流指令值之差，将流入电动机的电流控制成给定值的电流控制装置，以及

根据流入电动机的电流振幅，变更所述电流控制装置的控制增益的电流控制增益调整装置，

所述电流相位角设定装置，根据经过的时间切换电流相位角的设定值，并且对设定值所进行的变更应使切换直线平滑。

11. 根据权利要求 1~10 中任一项所述的电动机驱动装置，其特征是所述电动机是无刷 DC 电动机。

电动机驱动装置

技术领域

本发明涉及一种以任意转速驱动无刷 DC 电动机等电动机的电动机驱动装置。

背景技术

近年，在空气调节机中的驱动压缩机等电动机的装置中，从地球环境保护的观点出发降低耗电的必要性已经增大。作为其中的节电技术之一，以任意频率驱动无刷 DC 电动机那样的高效率电动机的逆变器等已经被广泛使用。

作为这样的驱动技术，已经开发出用电流传感器检测在电动机绕组中流动的电流，利用所检测的电流值推测电动机转子的位置（转子位置的推测有利用推测电动机的感应电压的方法（参见特開 2000—350489 号公报）），的正弦波驱动的技术。在这样的方法中，可以进行高效低噪声驱动。另外，为了高速并可靠控制电动机的输出转矩，具有采用所检测的电流值控制电动机中流动的电流的电流控制环的驱动技术也已经实用化。

在利用电流控制环对这样的无刷 DC 电动机的电动机进行控制的电动机驱动系统中，对于电动机的负载变化，使得在电动机绕组中流动的电流值很大变化，造成埋入在无刷 DC 电动机的转子中的磁铁特性改变，存在不能稳定进行电流控制的问题。例如，当负载低时虽然稳定，随着负载的增大，会出现电流处于振荡状态的情况，当负载高时虽然稳定，随着负载的减少，会出现电流控制精度变差的情况。

这种现象，是由无刷 DC 电动机的磁力线增大造成磁场饱和，引起电动机的动态特性变化所产生的。图 2、图 3 表示电感值相对于无刷 DC 电动机的负载电流变化的一例。分别是电感值相对于电动机的磁铁的磁

力线方向的 q 轴、和与其垂直的 d 轴方向上的电流变化的实测值。这样由于负载电流引起无刷 DC 电动机的特性变化，而且负载电流越大特性量的变化越大。由于该特性量的变化，使得电流控制的特性受到影响。

另外，在推测电动机转子位置、进行同步运行的无位置传感器驱动方式中，在启动时如果载波频率太高，输出脉冲幅度变小，存在不能得到足够的启动转矩的问题。特别是，当称为「空载时间」的、旨在避免上下臂上的开关元件同时导通的情况而使上下开关元件均关断的时间越大时，由于载波频率增大而这种影响增大，降低启动转矩。另外，在无传感器的位置推测中，由于脉冲幅度小会出现不能良好进行位置推测的问题。即，如果将载波频率设置得较大，会存在降低启动性能的问题。

另外，在无刷 DC 电动机的驱动中，在控制电流相位角时将该电流相位角设定成使电动机效率最大的最佳相位角上的方式被提出，并且已经实用化。例如，在特開 2001-119978 号公报所示方式中，对于电动机的绕组电流，计算效率最大化的电流相位角，实现最优化。但是，在启动时由于负载电流变动很大，通过选择最佳电流相位角方式改变电流相位角，会引起启动时的不稳定。另外，在将电流相位角设定成最佳值时如果其电流相位角变化大，转矩变动增大，会出现驱动不稳定的情况。

发明内容

本发明正是解决上述课题的发明，其目的在于提供一种即使在电动机负载变动大的情况下也可以稳定控制电动机的转矩、并且即使想将通常运行时的载波频率设定成比较高或使效率最优化时也可以稳定进行启动的电动机驱动装置。

有关本发明的第 1 电动机驱动装置，包括检测在电动机中流动的电流的电流检测装置、参照所检测出的电流、将电动机中流动的电流控制成给定值的电流控制装置、以及根据电动机中流动的电流的振幅改变在该电流控制装置中的控制增益的电流控制增益调节装置。这样，即使在负载电流变动大时，也可以实现稳定的电动机的电流控制。

有关本发明的第 2 电动机驱动装置，包括产生用于驱动电动机的电压的多个开关元件、驱动所述多个开关元件的基极驱动器、向基极驱动

器输出用于驱动所述开关元件的 ON/OFF 信号的电压输出装置、以及向所述电压输出装置输出用于切换所述开关元件的 ON/OFF 的载波频率的载波频率切换装置，所述载波频率切换装置，在所述电动机启动后、在给定时间的期间内将载波频率设定成第 1 频率，在经过给定时间之后，将载波频率设定成不同的第 2 频率。这样，即使通常运行时的载波频率高的情况下，也可以实现稳定的启动。

有关本发明的第 3 电动机驱动装置，包括检测电动机的电流的电流检测装置、输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、为了实现对应来自该电流相位角设定装置的设定值的电流相位角而对电动机的电流指令值进行计算并输出的电流指令作成装置、以及参照所检测出的电流、将电动机的电流控制成由所述电流指令作成装置计算的指令值的电流控制装置，所述电流相位角设定装置，在所述电动机启动后、给定时间的期间内将电流相位角固定在给定值上。这样，可以使效率成为最大，并且实现稳定的启动。

有关本发明的第 4 电动机驱动装置，包括检测电动机的电流的电流检测装置、输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、为了实现对应来自该电流相位角设定装置的设定值的电流相位角而对电动机的电流指令值进行计算并输出的电流指令作成装置、以及参照所检测出的电流、将电动机的电流控制成由所述电流指令作成装置计算的指令值的电流控制装置，所述电流相位角设定装置，根据所述电动机的转速设定电流相位角的设定值，并且相应转速的变化连续平滑地进行变更。这样，即使转速变动时，也可以实现稳定的驱动。

有关本发明的第 5 电动机驱动装置，包括检测电动机的电流的电流检测装置、输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、为了实现对应来自该电流相位角设定装置的设定值的电流相位角而对电动机的电流指令值进行计算并输出的电流指令作成装置、以及参照所检测出的电流、将电动机的电流控制成由所述电流指令作成装置计算的指令值的电流控制装置，所述电流相位角设定装置，根据所述电动机的负载电流设定电流相位角的设定值，并且相应负载电流的变化连续平滑地进行变更。这样，即使电动机的负载变动时，也可以实现稳定的驱动。

有关本发明的第 6 电动机驱动装置，包括检测电动机的电流的电流检测装置、输出电动机的电流相位角的设定值的电流相位角设定装置、为了实现对应来自该电流相位角设定装置的设定值的电流相位角而对电动机的电流指令值进行计算并输出的电流指令作成装置、以及将所检测出的电流、控制成由所述电流指令作成装置计算的指令值的电流控制装置，所述电流相位角设定装置，根据经过的时间切换电流相位角的设定值，并且对设定值所进行的变更应使切换直线平滑。这样，即使电动机的转速、负载变动时，也可以实现稳定的驱动。

附图说明

图 1 表示本发明的电动机驱动装置的一实施例的构成方框图。

图 2 表示电感值（q 轴）相对于无刷 DC 电动机的负载电流的变化的一例。

图 3 表示电感值（d 轴）相对于无刷 DC 电动机的负载电流的变化的一例。

图 4 表示本发明的电流控制增益调节装置中电流控制增益的设定方法的一例的特性图。

图 5 表示本发明的载波频率切换装置中载波频率的设定方法的一例的特性图。

图 6 表示电动机效率相对于无刷 DC 电动机的电流相位角的变化的一例。

图 7 表示本发明的电流相位角设定装置中电流相位角相对于运行转速的设定方法的一例的特性图。

图 8 表示本发明的电流相位角设定装置中电流相位角相对于负载电流的设定方法的一例的特性图。

图 9 表示输出转矩相对于无刷 DC 电动机的电流相位角的变化的一例。

图 10 表示现有技术的电流相位角相对于转速的设定方法的一例的特性图。

图 11 表示本发明的电流相位角设定装置中电流相位角的设定方法

的一例的特性图。

其中：1—交流电源、2—整流电路、3—电动机驱动装置、4—电动机、5a~5f—开关元件、6a~6f—环流二极管、7a~7b—电流检测器、8—2轴电流变换部、9—转子位置速度检测部、10—基极驱动器、11—正弦波电压输出部、12—电流控制部、13—电流指令作成部、14—速度控制部、15—载波频率切换部、16—电流控制增益调整部、17—电流相位角设定部。

具体实施方式

以下参照附图说明本发明的电动机驱动装置的实施方案。

〈电动机驱动装置的构成〉

图1表示本发明的电动机驱动装置的构成方框图。电动机驱动装置由将交流电源1的交流电压变化成直流电压的整流电路2、将整流电路2输出的直流电压变换成所希望的交流电压作为电动机4的驱动电压输出的逆变器电路6、以及控制逆变器电路6的控制电路30所构成。

逆变器电路6由开关元件5a~5f和环流二极管6a~6f成对构成。

控制电路30包括基极驱动器10、正弦波电压输出部11、电流控制部12、电流指令作成部13、速度控制部14、载波频率切换部15、电流控制增益调节部16、电流相位角设定部17、2轴电流变换装置18以及转子位置速度检测部9。

〈电动机驱动装置的动作概要〉

对以上那样构成的电动机驱动装置的动作进行说明。

交流电源1输出的交流电压由整流电路2整流成直流电压。整流后的直流电压由逆变器电路6变换成3相交流电压，向无刷DC电动机即电动机4输出。

控制电路30的动作概要如下。

从外部向控制电路30输入电动机的控制中的目标速度。用于实现所输入的目标速度的电流指令由电流指令作成部13生成。这时，电流相位角由电流相位角设定部17设定，该设定信息被传送给电流指令部13。电流控制部12根据由电流指令作成部13作成的电流指令 I_d^* 、 I_q^* 、和

电流控制增益调节部 16 的控制信号生成输出电压值 V_d 、 V_q 。根据该输出电压值 V_d 、 V_q 、和转子位置检测部 9 输出的位置信息，正弦波电压输出部 11 生成输出电压信息，向基极驱动器 10 输出。基极驱动器 10 根据正弦波电压输出部 11 所输出的输出电压信息，生成用于获得所希望的输出电压而对逆变器电路 6 的开关元件 5a~5f 进行 ON/OFF 控制的控制信号。

〈电动机驱动装置的各部的详细动作〉

以下对电动机驱动装置的各部的动作进行详细说明。

速度控制部 14 从外部输入电动机 4 的控制中的目标速度，为了实现该目标速度，根据目标速度和当前速度之间的误差通过下式算出电流指令值 I^* 。计算方法根据一般的 PI 控制方式。

$$I^* = G_p \omega \times (\omega^* - \omega) + G_i \omega \times \Sigma (\omega^* - \omega) \quad \dots (1)$$

式中， ω^* 表示目标速度， ω 表示当前速度， $G_p \omega$ 表示速度控制比例增益， $G_i \omega$ 表示积分增益。

电流指令作成部 13 根据由速度控制部 14 计算的电流指令值 I^* 、和由电流相位角设定部 17 设定的电流相位角 β ，分别采用下式计算 d 轴电流指令 I_d^* 、q 轴电流指令 I_q^* 。

$$I_d^* = I^* \times \sin(\beta) \quad \dots (2)$$

$$I_q^* = I^* \times \cos(\beta) \quad \dots (3)$$

式中， β 表示电流相位角。

电流检测部 7a、7b 根据所检测的电流检测电动机 4 的各相绕组中流动的相电流 (i_u 、 i_v)。2 轴电流变换部 8，将由电流检测部 7a、7b 所检测的电动机 4 的相电流 i_u 、 i_v ，采用下式 (4) 变换成对电动机 4 的磁转矩有贡献的 q 轴电流 I_q 、和对磁力线有贡献的 d 轴电流 I_d 的 2 轴电流。

$$i_a = \sqrt{\frac{3}{2}} \times i_u$$

$$i_b = \sqrt{\frac{1}{2}} \times (i_u + 2 \times i_v)$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

电流控制部 12，采用电流指令 I_d^* 、 I_q^* 、和 2 轴电流变换部输出的检测电流值 I_d 、 I_q ，输出为实现电流指令的按照下式进行控制运算的输出电压 V_d 、 V_q 。

$$V_d = G_{pd} \times (I_d^* - I_d) + G_{id} \times \Sigma(I_d^* - I_d) \quad \dots (5)$$

$$V_q = G_{pq} \times (I_q^* - I_q) + G_{iq} \times \Sigma(I_q^* - I_q) \quad \dots (6)$$

式中， V_d 、 V_q 分别表示 d 轴电压、q 轴电压， G_{pd} 、 G_{id} 分别表示 d 轴电流控制比例增益、积分增益， G_{pq} 、 G_{iq} 分别表示 q 轴电流控制比例增益、积分增益。

正弦波电压输出部 11，为了在逆变器电路 6 中将输出电压 V_d 、 V_q ，根据由转子位置速度检测部 9 推测的转子磁极位置的信息，向基极驱动器 10 输出为驱动电动机 4 的驱动信号。基极驱动器 10 按照该驱动信号，向各开关元件 5a~5f 输出驱动开关元件的信号。这样，在目标速度上驱动电动机 4。

转子位置速度检测部 9，推测电动机 4 的转子位置、速度进行检测。根据由电流检测部 7a、7b 检测的电流，获得在电动机 4 的各相绕组中流动的相电流 (i_u 、 i_v 、 i_w)。另外，根据由正弦波电压输出部 11 所输出的电压，求出施加在各相绕组中的相电压 (v_u 、 v_v 、 v_w)。原理上，根据这些值，按照下式 (7)、(8)、(9) 的运算，推算在各相绕组中感应的感应电压值 e_u 、 e_v 、 e_w 。

$$e_u = v_u - R \cdot i_u - L \cdot d/dt (i_u) \quad \dots (7)$$

$$e_v = v_v - R \cdot i_v - L \cdot d/dt (i_v) \quad \dots (8)$$

$$e_w = v_w - R \cdot i_w - L \cdot d/dt (i_w) \quad \dots (9)$$

式中， R 表示电阻， L 表示电感。另外， d/dt 表示对时间微分的运算符。

根据以上那样推算的感应电压值 e_u 、 e_v 、 e_w ，推算转子的位置和速度。这样，通过采用感应电压的误差校正电动机驱动装置识别的推算角度 θ_m ，可以收敛在真值上。另外，根据推算角度 θ_m ，可以获得推算速度 ω_m 。

最初，各相的感应电压基准值 (e_{um} 、 e_{vm} 、 e_{wm}) 按照下式求出。

$$e_{um} = e_m \cdot \sin(\theta_m + \beta T)$$

$$e_{vm} = e_m \cdot \sin(\theta_m + \beta T - 120^\circ) \quad \dots (10)$$

$$e_{wm} = e_m \cdot \sin(\theta_m + \beta T - 240^\circ)$$

式中， e_m (感应电压振幅值) 是通过使其与推测感应电压值 e_u 、 e_v 、

e_w 的振幅值一致而求出的。

对这样求出的感应电压基准值 (e_{um} 、 e_{vm} 、 e_{wm}) 和推测感应电压值 (e_u 、 e_v 、 e_w) 之间的偏差 ε 进行计算。如式 (11) 所示, 从推测感应电压值 e_s 减去感应电压基准值 e_{sm} , 作为偏差 ε 。

$$\varepsilon = e_s - e_{sm} \quad (s: \text{相 } u/v/w) \quad \cdots (11)$$

因该偏差 ε 成为零时, 推算角度 θ_m 成为真值, 所以采用利用偏差进行 PI 运算等对推算角度 θ_m 进行校正使偏差 ε 收敛于零。另外, 通过对推算角度 θ_m 的变动值进行计算, 可以获得推算速度 ω_m 。

以下对电流控制增益调节部 16 的动作进行说明。

对于电流控制部 12 的控制增益 (G_{pd} 、 G_{id} 、 G_{pq} 、 G_{iq}) 的最佳值 (\tilde{G}_{pd} 、 \tilde{G}_{id} 、 \tilde{G}_{pq} 、 \tilde{G}_{iq}), 可以根据电流控制环的响应性、稳定性, 利用电动机 4 的特性值采用下式在理论上进行计算。

$$\tilde{G}_{pd} = 2 \times \omega \times \zeta \times L_d - R \quad \cdots (12)$$

$$\tilde{G}_{id} = L_d \times \omega^2 \quad \cdots (13)$$

$$\tilde{G}_{pq} = 2 \times \omega \times \zeta \times L_q - R \quad \cdots (14)$$

$$\tilde{G}_{iq} = L_q \times \omega^2 \quad \cdots (15)$$

式中, ω 表示电流控制角频率, R 表示电动机电阻, ζ 表示衰减系数。

上述计算的控制增益的最佳值, 可以近似认为与无刷 DC 电动机的电感值 L_d 、 L_q 成正比。另外, 电感值 L_d 、 L_q 相应地在电动机中流动的电流值 I_d 、 I_q 而变化。即, 电感值 L_d 、 L_q , 如图 2、图 3 所示随着电动机电流的增大, 由于磁场饱和而减少。根据以上的情况, 电流控制增益, 如图 2、图 3 所示与电感值 L_d 、 L_q 随电流值 I_d 或者 I_q 的变化对应, 进行同样的变化, 可以将电动机电流控制成大致最佳。电流控制增益调节部 16, 根据该原理, 通过使电流控制增益 G_d 、 G_q 分别相对于电流值 I_d 、 I_q , 按照图 4 所示进行直线变化, 可以在任何负载情况下都保持最佳的电流控制。

此外, 在图 4 中, 表示电流控制增益调整系数 K_d (或者 K_q) 相对于电流值 I_d (或者 I_q) 的变化。在此, 电流控制增益 G_d 和其调节系数 K_d 具有以下关系。对于电流控制增益 G_q 和其调节系数 K_q 也相同。

$$G_d = K_d \times G_{d0} \quad (G_{d0} \text{ 表示 } G_d \text{ 的最大值}) \quad \cdots (16)$$

另外，如果用数式表示图 4 所示的调节系数 K_d ，则如下所示（对于 K_q 也相同）。

$$I \leq I_{ds} \text{ 时} \quad K_d = 1.0 \quad \dots (17a)$$

$$I_{ds} < I \leq I_{de} \text{ 时} \quad K_d = \alpha \cdot I + \beta \quad \dots (17b)$$

式中 $\alpha = (K_{dmin} - 1) / (I_{de} - I_{ds})$ ， $\beta = 1 - \alpha \cdot I_{ds}$ 。

$$I > I_{de} \text{ 时} \quad K_d = K_{dmin} \quad \dots (17c)$$

以下，对载波频率切换部 15 的动作进行说明。

载波频率切换部 15，对在开关元件 5a~5f 的 PWM 控制中驱动开关脉冲间隔的频率的「载波频率」 F_c 进行控制。当输出脉冲占空比 D 的脉冲时，其脉冲的宽度 W 用下式表示。

$$W = D / F_c \quad \dots (18)$$

因此，载波频率 F_c 越大，脉冲宽度 W 越小。通过增大载波频率，减小脉冲宽度 W 时，会出现在现有技术中说明的那样引起启动性能降低的问题。

对此，在本实施方案中的载波频率切换部 15，如图 5 所示那样切换载波频率。即，启动后，在一段时间以比较低的载波频率 F_{c1} 进行驱动，在经过给定时间（ T_{st} ）之后，切换成与目标速度对应的比较高的载波频率 F_{c2} 。这样，实现稳定启动，并且在驱动稳定之后可以实现通常运行中所使用的载波频率的运行。

以下对电流相位角设定部 17 的动作进行说明。

电流相位角设定部 17 设定电动机电流的相位角（电流相位角）。通过改变电流相位角，来改变无刷 DC 电动机的电动机效率。图 6 表示无刷 DC 电动机的电动机效率相对于电流相位角 β 的变化的例子，表示了 3 种电动机负载 L_1 、 L_2 、 L_3 （ $L_1 < L_2 < L_3$ ）的情况。该图表明，对于某个负载存在电动机效率成为最大的电流相位角，并且该电动机效率成为最大的电流相位角的值随负载的大小而变化。例如，对于负载 L_1 的情况在电流相位角 β_1 处电动机效率成为最大值 η_1 ，对于负载 L_3 的情况在电流相位角 β_3 处电动机效率成为最大值 η_3 。这样，随着负载的大小，成为最大电动机效率的电流相位角变化。因此，在通常运行时，希望将电流相位角设定成相对于这时的负载获得最大效率的最佳值。

为了实现该目的，本实施方案的电流相位角设定部 17，相对于运行转速 ω （与目标速度对应）以及电动机负载电流 I （与速度指令 I^* 对应），如下那样设定电流相位角 β 。

首先，电流相位角设定部 17，相对于运行转速 ω 按照图 7 设定电流相位角 β 。即，在低速区域，将电流相位角 β 设定成启动时以及低负载时的最佳值的电流相位角 β_1 ，在中速区域，设定成通常负载时的最佳值的电流相位角 β_2 ，在高速区域，设定成通过弱磁控制实现最高转速的电流相位角 β_3 。

然而，相对于转速的变化如果急剧改变电流相位角 β ，则输出转矩将急剧变动。图 9 表示输出转矩相对于电流相位角的变动例。如该图所示由于当电流相位角 β 变化时输出转矩将变动，所以当电流相位角 β 急剧变动时则输出转矩会急剧变动，造成驱动不稳定的问题。图 10 表示现有技术的电流相位角的设定方法。在该方法中，电流相位角虽然按照提高效率、提高最高转速的目的进行设定，但因电流相位角相对于转速是以阶梯方式进行切换的，所以在转速变动时因电流相位角的变动使转矩发生大的变动，从而造成驱动的不稳定。因此，为了避免这样的不稳定现象，本实施方案的电流相位角设定部 17，是使电流相位角的转速的变更按照充分平滑的直线进行，而使在加速时以及减速时转矩不会急剧变化，可以实现稳定的加减速。即，如图 7 所示，在电流相位角从 β_1 切换到 β_2 ，从 β_2 切换到 β_3 时，设置从 ω_1 到 ω_2 ，从 ω_3 到 ω_4 的移动期间，在该移动期间，使相位角连续平滑变化。

进一步，电流相位角设定部 17 设定电流相位追加角 $\Delta\beta$ 。电流相位追加角 $\Delta\beta$ ，如图 8 所示相对于电动机电流（负载电流） I 的变化，按照线性变化进行设定。电流相位追加角 $\Delta\beta$ 和先前求出的电流相位角 β 之间按照下式（17）设定电流相位角 β 。

$$\beta = \beta + \Delta\beta \quad \dots (19)$$

（即， $\beta(\omega, I) = \beta(\omega) + \Delta\beta(I)$ ）

这样，通过相应电动机电流（负载电流） I 设定电流相位追加角 $\Delta\beta$ ，可以将电流相位角 β 设定成与图 6 所示负载对应变化的、形成最大效率的相位角的值。另外，如图 8 所示，通过将电流相位追加角 $\Delta\beta$ 相对于电

动机电流（负载电流）按照直线平滑变化进行设定，即使负载变动时转矩也不会急剧变动，可以实现稳定驱动。

在通常运行时，采用上述方法相应转速以及电动机电流将电流相位角 β 按照电动机效率成为最大那样进行设定。

而在启动时，要使由转子位置速度检测部 9 进行的转子位置推测收敛需要一段时间。因此，转子的位置推测值包含有误差。另外，在启动时，电动机 4 的电流值的变动也大。因此，在启动时，若将电流相位角 β 与通常运行时同样，根据转速 ω 和负载 I 进行设定，则电流相位角 β 变动，驱动转矩无法稳定，而造成启动不稳定的问题。

因此，在依据本实施方案的电动机启动装置中的流相位角设定部 17，为了解决这样的问题，如图 11 所示对电流相位角 β 进行设定。即，在启动后，在给定时间（ T_{st} ）之前，将电流相位角 β 固定设定成给定值（ β_s ）。然后，在经过给定时间（ T_{st} ）之后，根据参照图 7、图 8 说明的原理，将电流相位角 β 依次设定成形成最大效率的相位角的值（最佳值） β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 。这时，为了不使电流相位角急剧变化，缓慢进行切换。即，使电流相位角相对于时间的变化充分平滑、即大致直线变化。例如，将电流相位角从 β_1 切换到 β_2 时，不是一下从 β_1 切换到 β_2 那样阶跃急剧变化，而是从 β_1 到 β_2 连续缓慢变化。这样，可以抑制由电流相位角急剧变化引起的转矩变动，实现稳定驱动。

此外，在上述实施方案中，虽然在推测中使用了检测电动机相电流的 2 个电流检测器 7a、7b，但也可以采用检测在直流部中流动的电流等的装置。

另外，在上述实施方案中，虽然是使电动机 4 的速度跟踪从外部给出的目标速度来进行速度控制，但也可以采用对电动机 4 的转矩进行控制的控制方式。

依据本发明的电动机驱动装置，通过相对于负载电流的大小改变电流控制的增益，即使在负载变动大的情况下，也可以稳定地实现电动机的电流控制。

另外，通过将载波频率，在启动后给定时间之前设定成预先给出的

第 1 设定值，然后设定成不同的第 2 设定值，即使在通常运行时的载波频率高的情况下，也可以实现稳定的启动。

另外，通过将电流相位角在启动后的给定时间内设定成预先给定的第 1 设定值，可以实现稳定的启动。

另外，通过将电流相位角设定成与电动机转速对应的最佳设定值，并且相对于转速的变化按照直线平滑变更，即使在转速变动时，也可以实现稳定的驱动。

另外，通过将电流相位角设定成与电动机负载电流对应的最佳设定值，并且相对于负载电流的变化按照直线平滑变更，即使在负载变动时，也可以实现稳定的驱动。

另外，通过将电流相位角设定成相对于给定负载形成最大效率的设定值，并且相对于时间按照直线平滑变更，即使在电动机的转速和负载变动时，也可以实现稳定的驱动。

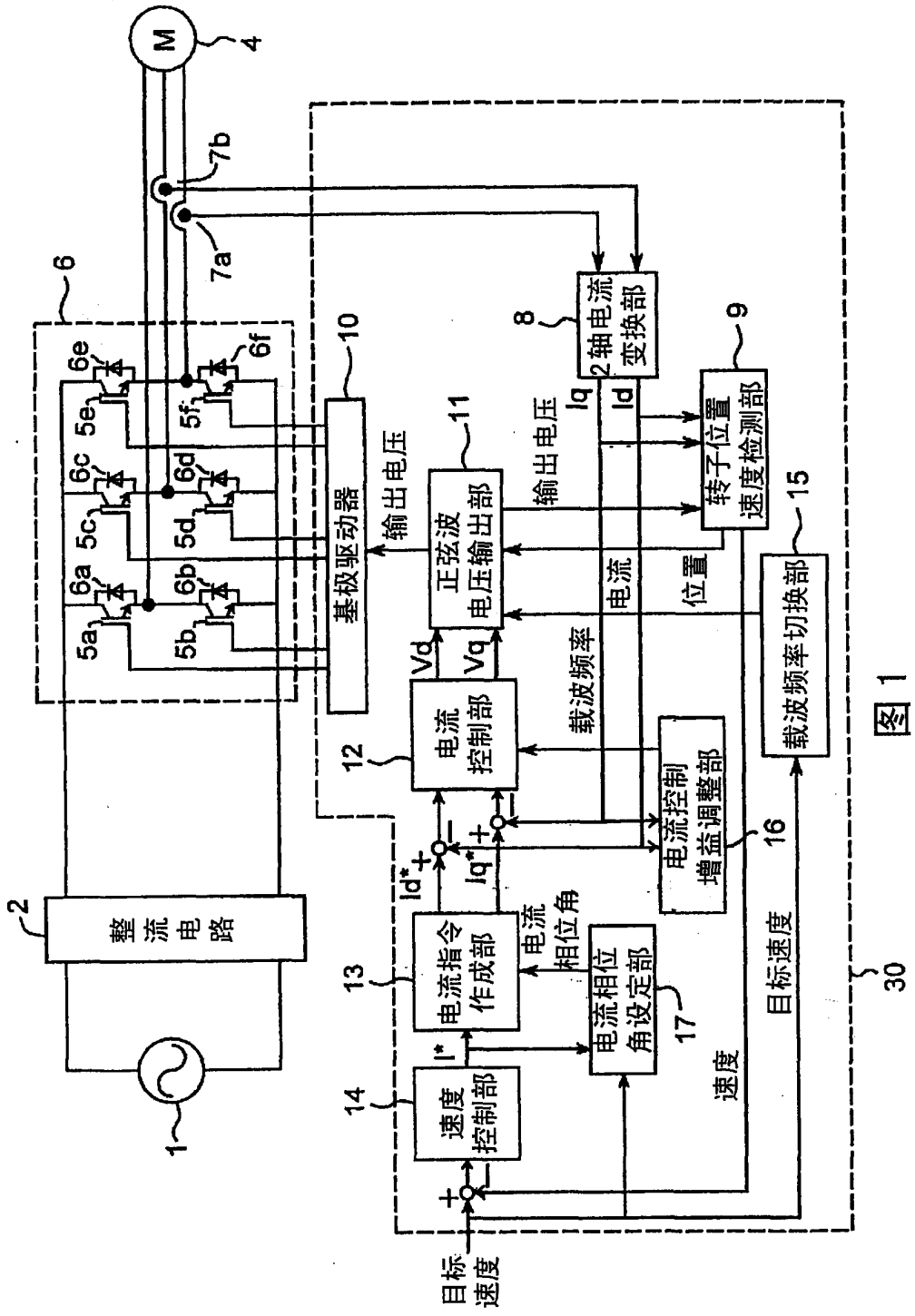


图 1

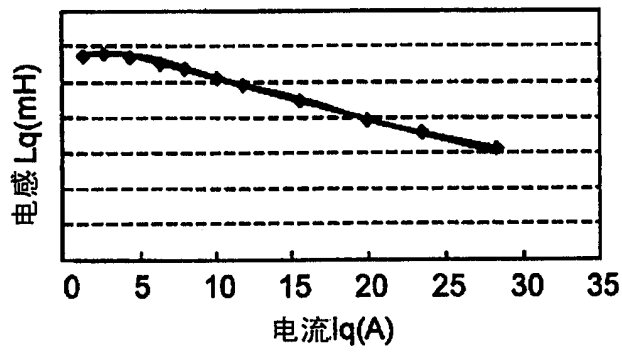


图 2

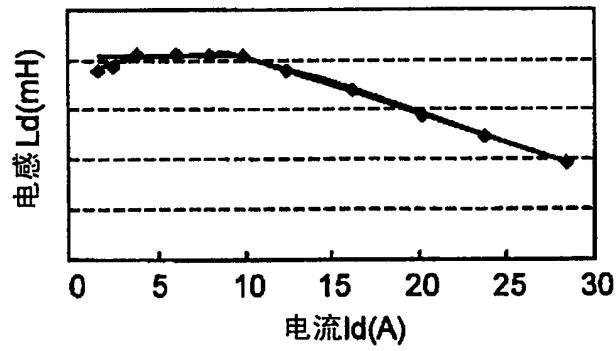


图 3

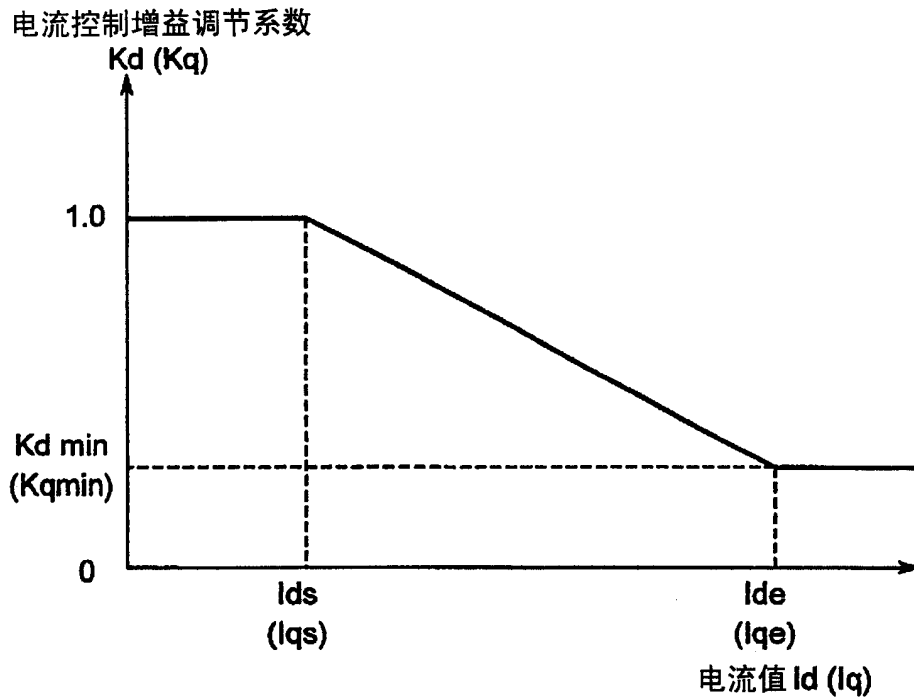


图 4

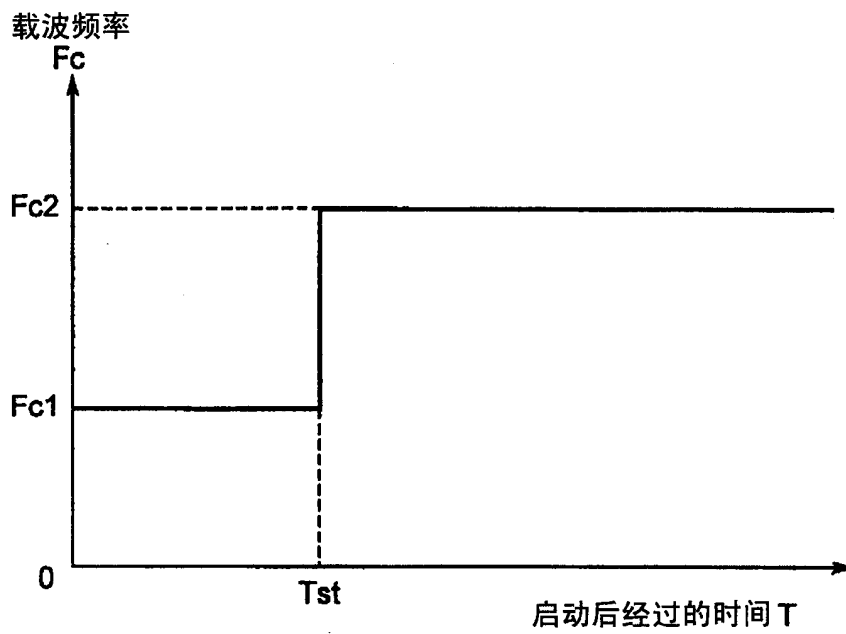


图 5

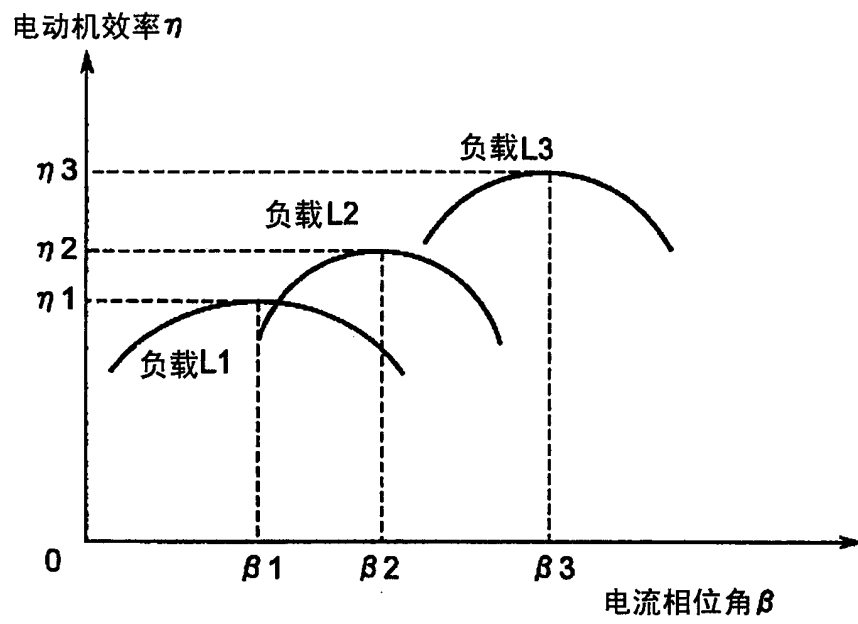


图 6

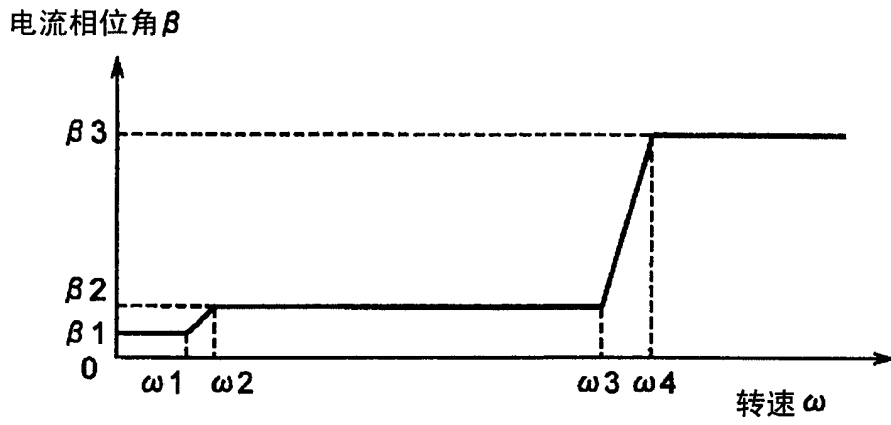


图 7

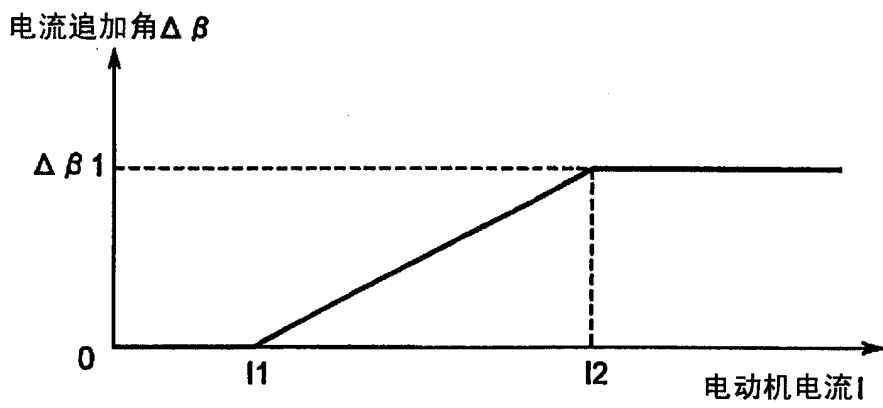


图 8

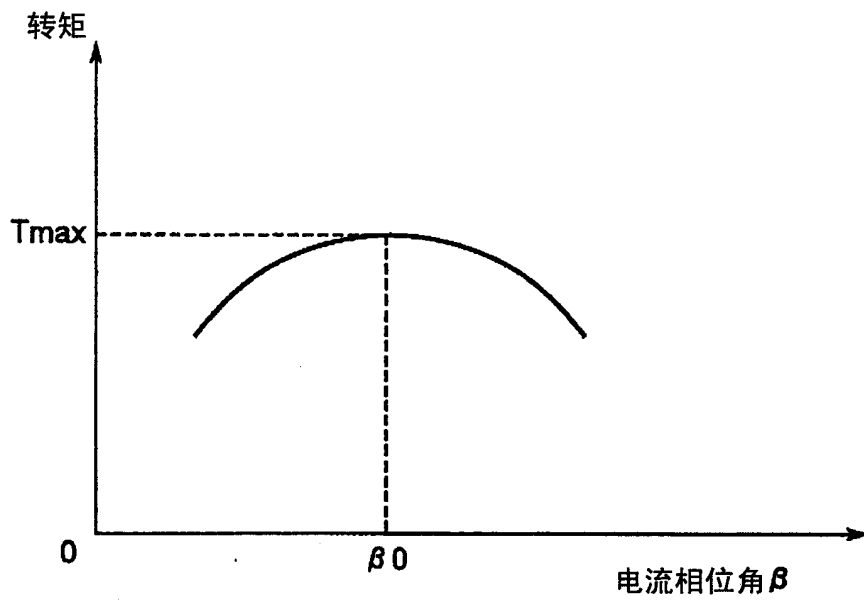


图 9

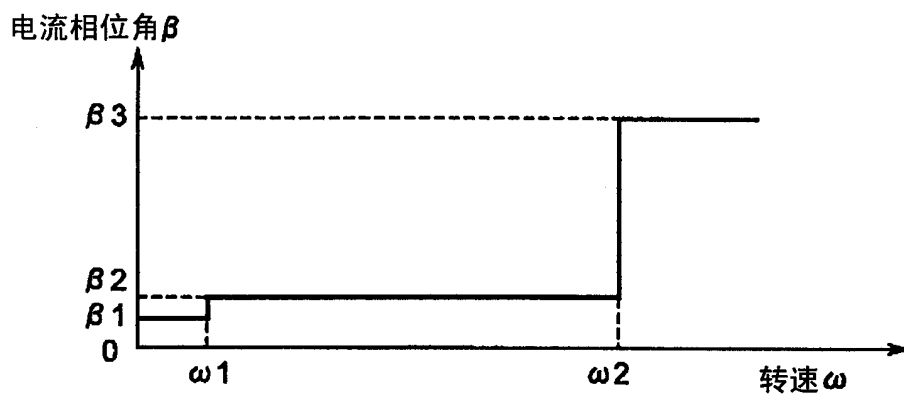


图 10

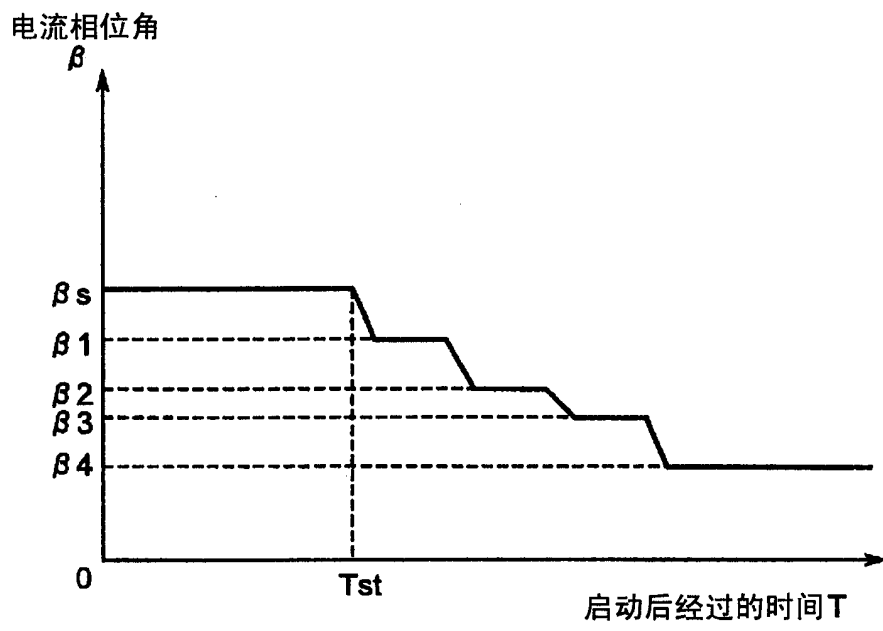


图 11