

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02P 6/18 (2006.01)

H02P 21/00 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610114929.2

[43] 公开日 2007年2月21日

[11] 公开号 CN 1917356A

[22] 申请日 2006.8.14

[21] 申请号 200610114929.2

[30] 优先权

[32] 2005.8.16 [33] JP [31] 2005-235720

[71] 申请人 三洋电机株式会社

地址 日本国大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

[72] 发明人 富樫仁夫 鹰尾宏

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司  
代理人 李香兰

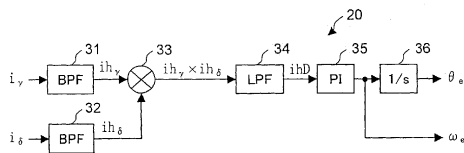
权利要求书3页 说明书22页 附图11页

## [54] 发明名称

电动机的无位置传感器控制装置

## [57] 摘要

本发明提供一种电动机的无位置传感器控制装置，具有：叠加部，其在驱动电动机的驱动电流上叠加与该驱动电流不同频率的叠加电流；叠加成分提取部，其从供给到电动机的电动机电流中提取所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分；和控制部，其以使被提取的所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分乘积的直流成分收敛为零的方式，控制电动机。



1. 一种无位置传感器控制装置,其在将与构成转子的永磁铁所产生的磁通平行的轴设为  $d$  轴、与  $d$  轴对应的控制上的推定轴设为  $\gamma$  轴、从  $\gamma$  轴提前  $90$  度电角的推定轴设为  $\delta$  轴的情况下,以减小  $d$  轴与  $\gamma$  轴的轴误差的方式控制电动机,具有;

叠加部,其在驱动所述电动机的驱动电流上叠加与该驱动电流不同频率的叠加电流;

叠加成分提取部,其从供给到所述电动机的电动机电流中提取所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分; 和

控制部,其通过根据被提取的所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分的乘积,控制所述电动机,来减小所述轴误差。

2. 根据权利要求 1 所述的无位置传感器控制装置,其特征在于,所述叠加部通过在为了流过所述驱动电流而对所述电动机施加的驱动电压上,叠加与所述叠加电流对应的叠加电压,在所述驱动电流上叠加所述叠加电流。

3. 根据权利要求 1 所述的无位置传感器控制装置,其特征在于,所述控制部通过根据所述乘积的直流成分控制所述电动机,来减小所述轴误差。

4. 根据权利要求 3 所述的无位置传感器控制装置,其特征在于,所述控制部通过以使所述直流成分收敛为零的方式控制所述电动机,来减小所述轴误差。

5. 根据权利要求 2 所述的无位置传感器控制装置,其特征在于,所述叠加电压在  $\gamma - \delta$  轴上的电压矢量轨迹,形成以  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴为基准具有对称性的图形。

6. 根据权利要求 2 所述的无位置传感器控制装置,其特征在于,所述叠加电压在  $\gamma - \delta$  轴上的电压矢量轨迹,形成正圆、以  $\gamma$  轴为短轴或长轴的椭圆、或者  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴上的线段。

7. 根据权利要求 2 所述的无位置传感器控制装置,其特征在于,

所述电动机是具有非凸极性的电动机，

所述叠加部，将基于由所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分所引起的磁饱和，使所述电动机的电感的  $d$  轴成分发生变化的电压，作为所述叠加电压而叠加在所述驱动电压上。

8. 一种无位置传感器控制装置，其在将与构成转子的永磁铁所产生的磁通平行的轴设为  $d$  轴、与  $d$  轴对应的控制上的推定轴设为  $\gamma$  轴、从  $\gamma$  轴提前  $90$  度电角的推定轴设为  $\delta$  轴的情况下，以减小  $d$  轴与  $\gamma$  轴的轴误差的方式控制电动机，具有；

叠加部，其在驱动所述电动机的驱动电流上叠加与该驱动电流不同频率的叠加电流；

叠加成分提取部，其为了在所述驱动电流上叠加所述叠加电流，提取向所述电动机施加的叠加电压的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分；和

控制部，其通过根据被提取的所述叠加电压的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分的乘积，控制所述电动机，来减小所述轴误差。

9. 根据权利要求 8 所述的无位置传感器控制装置，其特征在于，所述控制部通过根据所述乘积的直流成分控制所述电动机，来减小所述轴误差。

10. 根据权利要求 9 所述的无位置传感器控制装置，其特征在于，所述控制部通过以使所述直流成分收敛为零的方式控制所述电动机，来减小所述轴误差。

11. 根据权利要求 8 所述的无位置传感器控制装置，其特征在于，所述叠加电流在  $\gamma - \delta$  轴上的电流矢量轨迹，形成以  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴为基准具有对称性的图形。

12. 根据权利要求 8 所述的无位置传感器控制装置，其特征在于，所述叠加电流在  $\gamma - \delta$  轴上的电流矢量轨迹，形成正圆、以  $\gamma$  轴为短轴或长轴的椭圆、或者  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴上的线段。

13. 根据权利要求 8 所述的无位置传感器控制装置，其特征在于，所述电动机是具有非凸极性的电动机，

所述叠加部，将基于由所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分所引起的磁饱和，使所述电动机的电感的  $d$  轴成分发生变化的电流，作为所述叠加电流而叠加

在所述驱动电流上。

14. 一种电动机驱动系统，具有：

电动机；

驱动所述电动机的变频器；和

通过控制所述变频器来控制所述电动机的权利要求 1 所述的无位置传感器控制装置。

15. 一种电动机驱动系统，其特征在于，具有：

电动机；

驱动所述电动机的变频器；和

通过控制所述变频器来控制所述电动机的权利要求 8 所述的无位置传感器控制装置。

## 电动机的无位置传感器控制装置

### 技术领域

本发明涉及不使用转子位置传感器对电动机进行驱动控制的电动机的无位置传感器控制装置。而且，涉及具有该无位置传感器控制装置的电动机驱动系统。

### 背景技术

以往，开发出了一种不使用传感器来检测电动机的转子位置的技术。在这样的技术中，提出了利用高频波旋转电压或高频波旋转电流的注入的技术。

例如，在日本国特开 2003-219682 号公报中公开了向电动机施加高频波旋转电压，根据电流矢量轨迹的椭圆长轴方向来推定转子位置的技术。而且，日本国特开 2004-80986 号公报所记载的技术是，对电动机施加高频波旋转电压，将流入电动机的电流转换成  $\alpha$ - $\beta$  轴上的电流。然后，通过检测出该电流的  $\alpha$  轴成分和  $\beta$  轴成分的峰值和相位，求出从  $\alpha$  轴到椭圆长轴（ $d$  轴）的角度。

另外，日本国特开 2002-51597 号公报所记载的技术是，将高频波的同相磁通矢量与镜相磁通矢量所成角的中间角的余弦和正弦的推定值作为矢量旋转器的旋转信号使用。另外，日本国特开 2003-153582 号公报所记载的技术是，利用正相轴和反相轴的映射来推定转子位置。

但是，上述的各个文献所记载的技术，为了获得可以推定转子位置的信号，都必须对提取的信号进行复杂的处理。即，为了进行无位置传感器控制，必须进行复杂的处理。

### 发明内容

因此，本发明的目的在于，提供一种通过非常简单的处理（运算量）

即可实现无位置传感器控制的电动机的无位置传感器控制装置以及具有该控制装置的电动机驱动系统。

为了实现上述的目的，本发明之 1 提供一种电动机的无位置传感器控制装置，其在将与构成转子的永磁铁所产生的磁通平行的轴设为  $d$  轴、将与  $d$  轴对应的控制上的推定轴设为  $\gamma$  轴、从  $\gamma$  轴提前  $90$  度电角的推定轴设为  $\delta$  轴的情况下，以减小  $d$  轴与  $\gamma$  轴的轴误差的方式控制电动机，其特征在于，具有：叠加部，其在驱动所述电动机的驱动电流上叠加与该驱动电流不同频率的叠加电流；叠加成分提取部，其从供给到所述电动机的电动机电流中提取所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分；和控制部，其通过根据被提取的所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分的乘积，控制所述电动机，来减小所述轴误差。

根据上述的结构，能够通过非常简单的处理（运算量）来减小所述轴误差。

具体而言，例如在上述本发明之 1 的结构中，所述叠加部通过在为了流过所述驱动电流而对所述电动机施加的驱动电压上，叠加与所述叠加电流对应的叠加电压，在所述驱动电流上叠加所述叠加电流。

而且，例如在上述本发明之 1 的结构中，所述控制部通过根据所述乘积的直流成分控制所述电动机，来减小所述轴误差。

并且，例如在上述本发明之 1 的结构中，所述控制部通过以使所述直流成分收敛为零的方式控制所述电动机，来减小所述轴误差。

而且，例如在上述本发明之 1 的结构中，所述叠加电压在  $\gamma - \delta$  轴上的电压矢量轨迹，形成以  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴为基准具有对称性的图形。

并且，例如在上述本发明之 1 的结构中，所述叠加电压在  $\gamma - \delta$  轴上的电压矢量轨迹，形成正圆、以  $\gamma$  轴为短轴或长轴的椭圆、或者  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴上的线段。

而且，例如在上述本发明之 1 的结构中，所述电动机是具有非凸极性的电动机，所述叠加部可以将基于由所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分所引起的磁饱和，使所述电动机的电感的  $d$  轴成分发生变化的电压，作为所述叠加电压而叠加在所述驱动电压上。

这样，上述本发明之 1 的无位置传感器控制装置也可以适用于具有非

凸极性的电动机中。

并且，为了实现上述的目的，本发明之 2 的电动机的无位置传感器控制装置，在将与构成转子的永磁铁所产生的磁通平行的轴设为  $d$  轴、与  $d$  轴对应的控制上的推定轴设为  $\gamma$  轴、从  $\gamma$  轴提前  $90$  度电角的推定轴设为  $\delta$  轴的情况下，以减小  $d$  轴与  $\gamma$  轴的轴误差的方式控制电动机，其特征在于，具有：叠加部，其在驱动所述电动机的驱动电流上叠加与该驱动电流不同频率的叠加电流；叠加成分提取部，其为了在所述驱动电流上叠加所述叠加电流，提取向所述电动机施加的叠加电压的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分；和控制部，其通过根据被提取的所述叠加电压的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分的乘积，控制所述电动机，来减小所述轴误差。

根据上述的结构，能够通过非常简单的处理（运算量）来减小上述轴误差。

而且，例如在上述本发明之 2 的结构中，所述控制部通过根据所述乘积的直流成分控制所述电动机，来减小所述轴误差。

并且，例如在上述本发明之 2 的结构中，所述控制部通过以使所述直流成分收敛为零的方式控制所述电动机，来减小所述轴误差。

而且，例如在上述本发明之 2 的结构中，所述叠加电流在  $\gamma$ - $\delta$  轴上的电流矢量轨迹，形成以  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴为基准具有对称性的图形。

并且，例如在上述本发明之 2 的结构中，所述叠加电流在  $\gamma$ - $\delta$  轴上的电流矢量轨迹，形成正圆、以  $\gamma$  轴为短轴或长轴的椭圆、或者  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴上的线段。

而且，例如在上述本发明之 2 的结构中，所述电动机可以是具有非凸极性的电动机，所述叠加部可以将基于由所述叠加电流的  $\gamma$  轴成分所引起的磁饱和，使所述电动机的电感的  $d$  轴成分发生变化的电流，作为所述叠加电流而叠加在所述驱动电流上。

这样，上述本发明之 2 的无位置传感器控制装置也可以适用于具有非凸极性的电动机中。

并且，为了实现上述目的，本发明的电动机驱动系统具有：电动机；驱动所述电动机的变频器；和通过控制所述变频器来控制所述电动机的本发明之 1 或之 2 的无位置传感器控制装置。

如上所述，根据本发明的电动机的无位置传感器控制装置以及具有该控制装置的电动机驱动系统，能够通过非常简单的处理（运算量）来实现无位置传感器控制。

## 附图说明

图 1 是表示本发明的电动机驱动系统的全体结构的框图。

图 2 是图 1 的电动机的解析模型图。

图 3 是本发明第 1 实施方式的电动机驱动系统的结构框图。

图 4 是表示从图 3 的叠加电压生成部输出的叠加电压的电压矢量轨迹的一例的图（正圆的电压矢量轨迹）。

图 5 是表示对应图 4 所示的叠加电压而流过的叠加电流的电流矢量轨迹的图。

图 6 是表示叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分的积、和该积的直流成分的波形图（轴误差为零的情况）。

图 7 是表示叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分的积、和该积的直流成分的波形图（轴误差不为零的情况）。

图 8 是表示图 3 的位置/速度推定器的内部结构的一例的框图。

图 9 是表示图 3 的位置/速度推定器的内部结构的其他例的框图。

图 10 是表示图 3 的位置/速度推定器的内部结构的其他例的框图。

图 11 是表示从图 3 的叠加电压生成部输出的叠加电压的电压矢量轨迹的其他例的图（椭圆的电压矢量轨迹）。

图 12 是对应图 11 所示的叠加电压而流过的叠加电流的电流矢量轨迹的图。

图 13 是表示从图 3 的叠加电压生成部输出的叠加电压为 1 相的交变电压的情况下的叠加电流的电流矢量轨迹的图。

图 14 是表示从图 3 的叠加电压生成部输出的叠加电压的波形图（矩形波）的一例的图。

图 15 是表示与图 14 的波形图对应的电压矢量轨迹的图。

图 16 是表示对应于图 15 所示的叠加电压而流过的叠加电流的电流矢量轨迹的图。



图 17 是表示在图 3 的电动机为非凸极机情况下的叠加电流的电流矢量轨迹的图。

图 18 是表示本发明第 2 实施方式的电动机驱动系统的结构框图。

图 19 是表示从图 18 的叠加电流生成部输出的叠加电流的电流矢量轨迹的一例的图（正圆的电流矢量轨迹）

图 20 是表示对应于图 19 所示的叠加电流而被施加的叠加电压的电压矢量轨迹的图。

图 21 是表示图 18 的位置/速度推定器的内部结构的一例的框图。

## 具体实施方式

### 〈第 1 实施方式〉

下面，对本发明的第 1 实施方式进行详细说明。图 1 是应用了本发明的电动机驱动系统的框图。1 是在转子（未图示）中设置了永磁铁，在定子（未图示）中设置了电枢绕线的三相永磁铁同步电动机 1（以下，有时简单标记为“电动机 1”）。作为电动机 1，可采用凸极机（具有凸极性的电动机）和非凸极机（具有非凸极性的电动机）的任意一种。在后面虽然也说明采用了非凸极机情况下的动作，但主要以采用凸极机（例如嵌入磁铁式同步电动机）的电动机 1 为例进行说明。

2 是 PWM（Pulse Width Modulation）变频器，其根据电动机 1 的转子位置，向电动机 1 供给由 U 相、V 相和 W 相构成的三相交流电压。将供给电动机 1 的电压设为电动机电压（电枢电压） $V_a$ ，将从变频器 2 供给到电动机 1 的电流设为电动机电流（电枢电流） $I_a$ 。

3 是无位置传感器控制装置，其使用电动机电流  $I_a$  推定电动机 1 的转子位置等，并将用于使电动机 1 以所希望的转速旋转的信号提供给 PWM 变频器 2。该所希望的转速作为电动机速度指令值  $\omega^*$ ，从未图示的 CPU（中央处理器：Central Processing Unit）等提供给无位置传感器控制装置 3。

图 2 是电动机 1 的解析模型图。在以下的说明中，电枢绕线是指被设置在电动机 1 中的绕线。在图 2 中，图示出 U 相、V 相以及 W 相的电枢绕线固定轴。1a 是构成电动机 1 的转子的永磁铁。在与永磁铁 1a 产生的磁通相同速度旋转的旋转坐标系中，将由永磁铁 1a 产生的磁通方向设为 d

轴，与 d 轴对应的控制上的推定轴设为  $\gamma$  轴。另外，虽然未图示，但将从 d 轴超前 90 度电角的相位设为 q 轴，从  $\gamma$  轴超前 90 度电角的相位设为推定轴，即  $\delta$  轴。旋转坐标系是将 d 轴和 q 轴选择为坐标轴的坐标系，将该坐标轴称为 d-q 轴。控制上的旋转坐标系（推定旋转坐标系）是将  $\gamma$  轴和  $\delta$  轴选择为坐标轴的坐标系，将该坐标轴称为  $\gamma$ - $\delta$  轴。

d-q 轴旋转，将其旋转速度称为实际电动机速度  $\omega$ 。 $\gamma$ - $\delta$  轴也旋转，将其旋转速度称为推定电动机速度  $\omega_e$ 。另外，在某一瞬间旋转的 d-q 轴上，以 U 相的电枢绕线固定轴为基准，用  $\theta$ （实际转子位置  $\theta$ ）表示 d 轴的相位。同样，在某一瞬间旋转的  $\gamma$ - $\delta$  轴上，以 U 相的电枢绕线固定轴为基准，用  $\theta_e$ （推定转子位置  $\theta_e$ ）表示  $\gamma$  轴的相位。这样，d 轴与  $\gamma$  轴的轴误差  $\Delta\theta$ （d-q 轴与  $\gamma$ - $\delta$  轴的轴误差  $\Delta\theta$ ）被表示为  $\Delta\theta = \theta - \theta_e$ 。

在以下的说明中，将电动机电压  $V_a$  的  $\gamma$  轴成分、 $\delta$  轴成分、d 轴成分以及 q 轴成分，分别用  $\gamma$  轴电压  $v_\gamma$ 、 $\delta$  轴电压  $v_\delta$ 、d 轴电压  $v_d$  和 q 轴电压  $v_q$  表示，将电动机电流  $I_a$  的  $\gamma$  轴成分、 $\delta$  轴成分、d 轴成分以及 q 轴成分，分别用  $\gamma$  轴电流  $i_\gamma$ 、 $\delta$  轴电流  $i_\delta$ 、d 轴电流  $i_d$  和 q 轴电流  $i_q$  表示。

而且，在以下的说明中， $R_a$  是电动机阻抗（电动机 1 的电枢绕线的阻抗值）， $L_d$ 、 $L_q$  分别是 d 轴电感（电动机 1 的电枢绕线的电感的 d 轴成分）、和 q 轴电感（电动机 1 的电枢绕线的电感的 q 轴成分）， $\Phi_a$  是永磁铁 1a 的电枢交链磁通。另外， $L_d$ 、 $L_q$ 、 $R_a$  以及  $\Phi_a$  是在电动机驱动系统的设计时预先设定的值。并且，在后面所示的各式中，s 表示拉普拉斯算子。

图 3 是详细表示图 1 的无位置传感器控制装置 3 的内部结构的电动机驱动系统的结构框图。无位置传感器控制装置 3 具有：电流检测器 11、坐标转换器 12、减法器 13、减法器 14、电流控制部 15、磁通控制部 16、速度控制部 17、坐标转换器 18、减法器 19、位置/速度推定器（以下简称“推定器”）20、叠加电压生成部 21、和加法器 22 及 23。构成无位置传感器控制装置 3 的各个部分可根据需要，自由地利用无位置传感器控制装置 3 内所生成的全部值。

电流检测器 11 由例如霍尔元件等构成，其检测从 PWM 变频器 2 向电动机 1 供给的电动机电流  $I_a$  的 U 相电流  $i_u$  和 V 相电流  $i_v$ 。坐标转换器 12 接受来自电流检测器 11 的 U 相电流  $i_u$  和 V 相电流  $i_v$  的检测结果，使用

推定器 20 所提供的推定转子位置  $\theta_e$  将这些转换为  $\gamma$  轴电流  $i_\gamma$  和  $\delta$  轴电流  $i_\delta$ 。在该转换中，使用下面的式 (1)。

$$\begin{bmatrix} i_\gamma \\ i_\delta \end{bmatrix} = \sqrt{2} \begin{bmatrix} \sin(\theta_e + \pi/3) & \sin \theta_e \\ \cos(\theta_e + \pi/3) & \cos \theta_e \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

推定器 20 推定并输出推定转子位置  $\theta_e$  和推定电动机速度  $\omega_e$ 。关于推定转子位置  $\theta_e$  和推定电动机速度  $\omega_e$  的推定方法，将在后面说明。

减法器 19 从电动机速度指令值  $\omega^*$  中减去从推定器 20 提供的推定电动机速度  $\omega_e$ ，并输出减去后的结果（速度误差）。速度控制部 17 根据减法器 19 的减法结果 ( $\omega^* - \omega_e$ )，生成  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$ 。该  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$  表示作为电动机电流  $I_a$  的  $\delta$  轴成分的  $\delta$  轴电流  $i_\delta$  应该跟踪的电流值。磁通控制部 16 使用从推定器 20 提供的推定电动机速度  $\omega_e$ 、和从速度控制部 17 提供的  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$ ，生成  $\gamma$  轴电流指令值  $i_\gamma^*$ 。该  $\gamma$  轴电流指令值  $i_\gamma^*$  表示作为电动机电流  $I_a$  的  $\gamma$  轴成分的  $\gamma$  轴电流  $i_\gamma$  应该跟踪的电流值。

减法器 13 从磁通控制部 16 输出的  $\gamma$  轴电流指令值  $i_\gamma^*$  减去由坐标转换器 12 输出的  $\gamma$  轴电流  $i_\gamma$ ，计算出电流误差 ( $i_\gamma^* - i_\gamma$ )。减法器 14 从由速度控制部 17 输出的  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$  减去由坐标转换器 12 输出的  $\delta$  轴电流  $i_\delta$ ，计算出电流误差 ( $i_\delta^* - i_\delta$ )。

电流控制部 15 接收由减法器 13 和 14 计算出的各个电流误差、来自坐标转换器 12 的  $\gamma$  轴电流  $i_\gamma$  和  $\delta$  轴电流  $i_\delta$ 、以及来自推定器 20 的推定电动机速度  $\omega_e$ ，以使  $\gamma$  轴电流  $i_\gamma$  跟踪  $\gamma$  轴电流指令值  $i_\gamma^*$ 、且使  $\delta$  轴电流  $i_\delta$  跟踪  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$  的方式，输出  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$ 。

叠加电压生成部 21 输出用于叠加在  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  上的叠加电压。叠加电压由  $\gamma$  轴成分的  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  和  $\delta$  轴成分的  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  构成。对于该叠加电压将在后面说明。

加法器 22 计算来自电流控制部 15 的  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  与来自叠加电压生成部 21 的  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  之和 ( $v_\gamma^* + vh_\gamma$ )。加法器 23 计算来自电流控制部 15 的  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  与来自叠加电压生成部 21 的

$\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  之和 ( $v_\delta^*+vh_\delta$ )。坐标转换器 18 根据推定器 20 提供的推定转子位置  $\theta_e$ ，进行叠加了  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  的  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$ 、和叠加了  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  的  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  的逆变换，生成由表示电动机电压  $V_a$  的 U 相成分、V 相成分和 W 相成分的 U 相电压指令值  $v_u^*$ 、V 相电压指令值  $v_v^*$ 、和 W 相电压指令值  $v_w^*$  构成的三相电压指令值，并将这些输出到 PWM 变频器 2。在该逆变换中使用包括以下 2 个式的式(2)。

$$\begin{bmatrix} v_u^* \\ v_v^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta_e & -\sin \theta_e \\ \cos(\theta_e - 2\pi/3) & -\sin(\theta_e - 2\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\gamma^* + v h_\gamma \\ v_\delta^* + v h_\delta \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

$$v_w^* = -(v_u^* + v_v^*)$$

PWM 变频器 2 根据表示应该施加给电动机 1 的电压的三相电压指令值 ( $v_u^*$ 、 $v_v^*$  和  $v_w^*$ )，生成被脉冲宽度调制的信号，向电动机 1 供给对应于该三相电压指令值的电动机电流  $I_a$ ，驱动电动机 1。 $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  原本是表示各个电动机电压  $V_a$  的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分、即  $\gamma$  轴电压  $v_\gamma$  和  $\delta$  轴电压  $v_\delta$  应跟踪的电压值，但通过上述叠加电压的叠加， $\gamma$  轴电压  $v_\gamma$  和  $\delta$  轴电压  $v_\delta$  分别跟踪 ( $v_\gamma^*+vh_\gamma$ ) 和 ( $v_\delta^*+vh_\delta$ )。

在  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  都为零的情况下，电动机电流  $I_a$  只追随  $\gamma$  电流指令值  $i_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$ 。由该  $\gamma$  电流指令值  $i_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$  所表示的电流是驱动电动机 1 的驱动电流。另外， $\gamma$  电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  是为了以所希望的转速 ( $\omega^*$ ) 驱动电动机 1，而跟踪  $\gamma$  电流指令值  $i_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$  所生成的电压指令值。因此，由  $\gamma$  电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  所表示的电压，是为了在电动机 1 中流过上述驱动电流而施加于电动机 1 的驱动电压。

在  $\gamma$  电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  上叠加不为零的叠加电压 ( $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$ )，相当于在上述驱动电压上叠加上上述叠加电压。通过该叠加电压的叠加，在上述驱动电流上叠加了与上述叠加电压对应的叠加电流。

由叠加电压生成部 21 而生成的叠加电压是高频旋转电压。这里，所谓“高频”是指叠加电压的频率充分大于驱动电压的频率。因此，基于该叠加电压而被叠加的上述叠加电流的频率，充分大于上述驱动电流的频

率。另外，所谓“旋转电压”是指，如图 4 和图 11 所示，使电压矢量的轨迹在  $\gamma$ - $\delta$  轴上（ $\gamma$ - $\delta$  坐标上）形成圆的电压。例如，上述旋转电压在三相的情况下是三相平衡电压，在三相平衡电压的情况下，其电压矢量轨迹成为如图 4 的电压矢量轨迹那样，在  $\gamma$ - $\delta$  轴上以原点为中心的正圆。由于该旋转电压是与电动机 1 不同步的高频电压，所以通过该旋转电压的施加，电动机 1 不会旋转。

另外，在电动机 1 为磁铁嵌入式同步电动机等、 $L_d < L_q$  成立时，根据成为电压矢量轨迹 70 的叠加电压而流过电动机 1 的叠加电流的电流矢量轨迹如图 5 的电流矢量轨迹 71 所示，成为在  $\gamma$ - $\delta$  轴（ $\gamma$ - $\delta$  坐标）上，以原点为中心，以  $\gamma$  轴方向为长轴方向、且以  $\delta$  轴方向为短轴方向的椭圆。其中，电流矢量轨迹 71 是轴误差  $\Delta\theta$  为零时的电流矢量轨迹。轴误差  $\Delta\theta$  不为零时的叠加电流的电流矢量轨迹为电流矢量轨迹 72 所表示的椭圆，其长轴方向（或短轴方向）与  $\gamma$  轴方向（或  $\delta$  轴方向）不一致。即，在轴误差  $\Delta\theta$  不为零的情况下，电流矢量轨迹 71 以  $\gamma$ - $\delta$  轴（ $\gamma$ - $\delta$  坐标）上的原点为中心倾斜，描绘成电流矢量轨迹 72。

如果把叠加电流的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分分别作为  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_\gamma$  和  $\delta$  轴叠加电流  $ih_\delta$ ，则在二者的乘积（ $ih_\gamma \times ih_\delta$ ）中，存在与电流矢量轨迹 72 所表示的椭圆的倾斜相关的直流成分。由于乘积（ $ih_\gamma \times ih_\delta$ ）在电流矢量轨迹的第 1 和第 3 象限中为正值，在第 2 和第 4 象限中为负值，所以在椭圆未倾斜时，（电流矢量轨迹 71 的情况）不包含直流成分，但在椭圆倾斜时（电流矢量轨迹 72 的情况）包含直流成分。另外，图 5 等的 I、II、III 以及 IV 表示  $\gamma$ - $\delta$  轴（ $\gamma$ - $\delta$  轴坐标）上的第 1、第 2、第 3 和第 4 象限。

在图 6 中，以横轴为时间轴，分别用曲线 60 和 61 表示轴误差  $\Delta\theta$  为零的情况下的乘积（ $ih_\gamma \times ih_\delta$ ）和该乘积的直流成分。在图 7 中，以横轴为时间轴，分别用曲线 62 和 63 表示轴误差  $\Delta\theta$  不为零的情况下的乘积（ $ih_\gamma \times ih_\delta$ ）和该乘积的直流成分。从图 6 和图 7 中可看出，乘积（ $ih_\gamma \times ih_\delta$ ）的直流成分在  $\Delta\theta = 0^\circ$  时成为零，在  $\Delta\theta \neq 0^\circ$  时不为零。而且，该直流成分随着轴误差  $\Delta\theta$  的大小而增大（与轴误差  $\Delta\theta$  大致成比例）。因此，只要将该直流成分控制为接近于 0，即可使轴误差  $\Delta\theta$  收敛为零附近。

推定器 20 着眼于这一点，对  $\gamma$ - $\delta$  轴进行修正，并推定转子位置  $\theta$ 。

和推定电动机速度  $\omega_e$ ，以使乘积 ( $ih_v \times ih_s$ ) 的直流成分收敛为零。图 8 是表示推定器 20 的内部结构的一例的框图。图 8 的推定器 20 具有：带通滤波器（以下表示为“BPF”）31 和 32、乘法器 33、低通滤波器（以下表示为“LPF”）34、比例积分运算器 35 和积分器 36。

BPF31 从由坐标转换器 12 输出的  $\gamma$  轴电流  $i_\gamma$  值中提取叠加成分即  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_\gamma$ 。同样，BPF32 从由坐标转换器 12 输出的  $\delta$  轴电流  $i_\delta$  值中提取叠加成分即  $\delta$  轴叠加电流  $ih_\delta$ 。乘法器 33 计算出由 BPF31、33 提取的  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_\gamma$  与  $\delta$  轴叠加电流  $ih_\delta$  的乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ )。LPF34 从该乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 中除去高频成分，提取乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 的直流成分  $ihD$ 。

比例积分运算器 35 为了实现 PLL (Phase Locked Loop)，在与构成无位置传感器控制装置 3 的各个部分配合动作的同时，进行比例积分控制，计算出推定电动机速度  $\omega_e$ ，以使从 LPF34 输出的直流成分  $ihD$  收敛为零（即，使轴误差  $\Delta \theta$  收敛为零）。积分器 36 通过对从比例积分运算器 35 输出的推定电动机速度  $\omega_e$  进行积分，计算出推定转子位置  $\theta_e$ 。由比例积分运算器 35 输出的推定电动机速度  $\omega_e$  和由积分器 36 输出的推定转子位置  $\theta_e$ ，一同作为推定器 20 的输出值，提供给需要该值的无位置传感器控制装置 3 的各个部分。

如果构成为如图 3 和图 8 所示的结构，则能够使轴误差  $\Delta \theta$  收敛为零。而且，与以往的技术相比，用于推定转子位置的处理（运算量）简单，并可容易实现，因此，实用性高。特别是在电动机 1 的停止状态和低速旋转状态时，可良好地推定转子位置。当然，能够从该电动机驱动系统中省略位置传感器（未图示），从而可实现低成本化。

另外，如图 9 所示，也可以取代 LPF34，而使用对叠加电压的  $n$  个周期（其中  $n$  是 1 以上的整数）的乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 进行积分的  $n$  周期积分器 37，来提取直流成分  $ihD$ 。并且，还可以把  $n$  周期积分器 37 置换为根据叠加电压的  $n$  个周期的乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 的移动平均计算出直流成分  $ihD$  的移动平均部（未图示）。另外，作为从乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 提取直流成分  $ihD$  的方法，也可以采用将 LPF、积分（ $n$  周期积分）以及移动平均等中的多种方法进行组合的方法。例如，如图 10 所示，将图 8 中的 LPF34 置换为 LPF38 和移动平均部 39。LPF38 是与 LPF34 同样的滤波器。移动平

均部 39 通过计算出由 LPF38 除去了高频成分的乘积 ( $ih_{\gamma} \times ih_{\delta}$ ) 的移动平均 (叠加电压的  $n$  个周期的移动平均), 来计算出直流成分  $ih_D$ 。另外, 在图 9 和图 10 中, 对于与图 8 中的相同部分标记相同的符号, 并省略重复部分的说明。

另外, 关于叠加电压的电压矢量轨迹, 说明了如图 4 的电压矢量轨迹 70 那样, 在  $\gamma - \delta$  轴上形成以原点为中心的正圆的示例, 但在作为叠加电压而叠加 2 相的旋转电压的情况下, 该旋转电压中的  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_{\gamma}$  的振幅与  $\delta$  轴叠加电压  $vh_{\delta}$  的振幅即使不同也无妨。图 11 表示在相对  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_{\gamma}$  的振幅而增大了  $\delta$  轴叠加电压  $vh_{\delta}$  的振幅的情况下, 作为叠加电压的 2 相旋转电压的电压矢量轨迹 73。电压矢量轨迹 73 在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上, 形成以原点为中心, 以  $\gamma$  轴方向为短轴方向, 且以  $\delta$  轴方向为长轴方向的椭圆。

在叠加了由电压矢量轨迹 73 所表示的叠加电压的情况下, 对应流过的叠加电流的电流矢量轨迹成为图 12 所示的向  $\delta$  轴方向伸长的椭圆。在这种情况下, 也是只要轴误差  $\Delta \theta$  为零, 叠加电流的电流矢量轨迹便可如电流矢量轨迹 74 那样在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上, 形成以原点为中心, 且以  $\gamma$  轴方向为短轴方向或长轴方向的椭圆 (有时也可成为正圆), 因此, 乘积 ( $ih_{\gamma} \times ih_{\delta}$ ) 不具有直流成分。另一方面, 如果轴误差  $\Delta \theta$  不为零, 则叠加电流的电流矢量轨迹从电流矢量轨迹 74 如电流矢量轨迹 75 那样以原点为中心倾斜, 因此, 乘积 ( $ih_{\gamma} \times ih_{\delta}$ ) 具有直流成分 (但叠加电流的电流矢量轨迹成为正圆的情况除外)。因此, 由图 8 等所示的推定器 20 可推定出转子位置。

另外, 作为叠加电压也可以采用单相的交变电压。例如, 在  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_{\gamma}$  和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_{\delta}$  中, 如果只使  $\delta$  轴叠加电压  $vh_{\delta}$  为零, 则只具有  $\gamma$  轴电压成分的单相高频电压 ( $\gamma$  相的高频交变电压) 成为叠加电压, 如果只使  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_{\gamma}$  为零, 则只具有  $\delta$  轴电压成分的单相高频电压 ( $\delta$  相的高频交变电压) 成为叠加电压。由于该单相交变电压也是与电动机 1 不同步的高频电压, 所以通过该交变电压的施加, 电动机 1 不会旋转。

例如, 在  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_{\gamma}$  和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_{\delta}$  中, 只使  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_{\gamma}$  为零的情况下, 叠加电压的电压矢量轨迹成为  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标)

上的以原点为中心的  $\delta$  轴上的线段。在这种情况下，也是只要轴误差  $\Delta \theta$  为零，叠加电流的电流矢量轨迹便可如图 13 的电流矢量轨迹 77 那样在  $\gamma$  -  $\delta$  轴（ $\gamma$  -  $\delta$  坐标）上，形成以原点为中点的线段，因此，乘积（ $ih_\gamma \times ih_\delta$ ）不具有直流成分。另一方面，如果轴误差  $\Delta \theta$  不为零，则叠加电流的电流矢量轨迹从电流矢量轨迹 77 如电流矢量轨迹 78 那样以原点为中心倾斜，因此，乘积（ $ih_\gamma \times ih_\delta$ ）具有直流成分。由此，通过图 8 等所示的推定器 20 可推定出转子位置。

在作为叠加电压而采用了 2 相旋转电压的情况下，关于如何设定  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  的振幅与  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  的振幅的关系、和作为叠加电压而采用哪样的单相交变电压，可根据电动机 1 的特性和电动机驱动系统的适用场合等进行适宜选择。如果相对地增大 2 相旋转电压中的  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  的振幅（如果相对地减小  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  的振幅），则由于影响转矩的电流成分减少，所以可抑制因叠加而造成的转矩脉动的发生，另一方面，由于增加了与转矩无关的电流成分，所以容易出现因叠加而产生的磁饱和的影响。这与采用只具有  $\gamma$  轴电压成分的单相高频电压作为叠加电压的情况相同。

相反，如果相对地增大 2 相旋转电压中的  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  的振幅（如果相对地减小  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  的振幅），则由于与转矩无关的电流成分减少，所以不容易出现因叠加产生的磁饱和的影响，另一方面，由于增加了影响转矩的电流成分，所以容易产生因叠加而造成的转矩脉动。这与采用只具有  $\delta$  轴电压成分的单相高频电压作为叠加电压的情况相同。

另外，如果作为叠加电压采用  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  的振幅与  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  的振幅不同的 2 相旋转电压，或者作为叠加电压而采用单相交变电压，则与采用图 4 所示的成为正圆的旋转电压的情况相比，能够抑制因叠加所导致的消耗功率的增大。虽然为了将轴误差  $\Delta \theta$  高精度地保持为零，需要叠加一定程度大小的叠加电流，但通过根据电动机 1 的特性等适宜地设定  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  的振幅与  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  的振幅的关系，或根据电动机 1 的特性等采用单相交变电压，可抑制因叠加所导致的消耗功率的增大。

而且，虽然为了获得 2 相的旋转电压作为叠加电压，需要使  $\gamma$  轴叠加



电压  $vh_\gamma$  和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  成为正弦波, 但  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  和/或  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  不一定必须成为正弦波。只要在叠加电压的  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上, 电压矢量轨迹描绘出内含原点, 且具有以  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴为基准的对称性的图形, 则作为  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  可以选择任意的波形。其原因是, 如果在叠加电压的  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上, 电压矢量轨迹描绘出内含原点, 且具有以  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴为基准的对称性的图形, 则与采用 2 相旋转电压作为叠加电压的情况相同, 在轴误差  $\Delta\theta = 0^\circ$  时, 乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 不具有直流成分; 随着轴误差  $\Delta\theta$  的大小从 0 增大, 乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 的直流成分以 0 为起点增大。

另外, 所谓“内含原点”是表示在上述“具有对称性图形”的内部存在在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的原点。而且, 所谓“以  $\gamma$  轴为基准具有对称性”是表示在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的电压矢量轨迹, 在第 1 象限和第 2 象限的部分图形与第 3 象限和第 4 象限的部分图形之间成立以  $\gamma$  轴为轴的线对称关系。并且, 所谓“以  $\delta$  轴为基准具有对称性”是表示在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的电压矢量轨迹, 在第 1 象限和第 2 象限的部分图形与第 3 象限和第 4 象限的部分图形之间成立以  $\delta$  轴为轴的线对称关系。

例如, 如图 14 所示,  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  (实线 82) 和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  (虚线 83) 也可以是矩形波。在这种情况下, 该电压矢量轨迹如图 15 的电压矢量轨迹 84 那样, 在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上形成以原点为中心的长方形, 并且对应流过的叠加电流的电流矢量轨迹成为图 16 所示的(大致)菱形。叠加电流的电流矢量轨迹所描绘的该菱形, 如果轴误差  $\Delta\theta$  为零, 则成为电流矢量轨迹 85 那样, 乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 不具有直流成分。然而, 如果轴误差  $\Delta\theta$  不为零, 叠加电流的电流矢量轨迹则从电流矢量轨迹 85 向电流矢量轨迹 86 变化, 使得菱形变形, 乘积 ( $ih_\gamma \times ih_\delta$ ) 具有直流成分。因此, 由图 8 所示的推定器 20 可推定出转子位置。

另外, 作为电动机 1, 可采用作为非凸极机的表面磁铁式同步电动机。但是, 在作为电动机 1 而采用了非凸极机的情况下, 叠加电压的在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的电压矢量轨迹如图 4 的电压矢量轨迹 70 那样成为正圆的情况(即, 旋转电压中的  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  的振幅与  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  的振幅相等的情况)下, 叠加电流的在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的电流矢

量轨迹也如图 17 的电流矢量轨迹 80 那样，成为以原点为中心的正圆（在未形成磁饱和的情况）。在叠加电流的电流矢量轨迹为正圆时，即使由于轴误差  $\Delta \theta$  不为零而使该正圆倾斜，也无法捕捉该倾斜。

在这种情况下，可以通过在使与基于永磁铁 1a 的电枢交链磁通  $\Phi_a$  的方向相同方向的磁通增加的方向，增大叠加电流的  $\gamma$  轴成分，有意地使电动机 1 形成磁饱和。由于如果形成磁饱和，则  $d$  轴电感  $L_d$  减小，使  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  容易流过，因此，即使在叠加了使电压矢量轨迹成为正圆的叠加电压的情况下，叠加电流的电流矢量轨迹也不会成为正圆，该电流矢量轨迹如电流矢量轨迹 81 那样向  $\gamma$  轴方向隆起。于是，由于在  $\Delta \theta \neq 0^\circ$  时，乘积  $(i_{h\gamma} \times i_{h\delta})$  的直流成分具有不等于 0 的值，所以，可使用与上述相同的方法推定转子位置。

具体而言，只要叠加使作为非凸极机的电动机 1 的  $d$  轴电感  $L_d$  基于因  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  所引起的磁饱和而变化的叠加电压即可。另外，在考虑了高频波的叠加电压和叠加电流的情况下， $\gamma$  轴叠加电压  $v_{h\gamma}$  与  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  存在大致比例的关系， $\delta$  轴叠加电压  $v_{h\delta}$  与  $\delta$  轴叠加电流  $i_{h\delta}$  存在大致比例的关系。电动机的电压方程式之所以可满足下式 3(a) 和 (3b)，是由于在高频中，在下面的式 (3a) 和 (3b) 的各自右边，第 2 项成为支配项而其他项可以忽略。式 (3a) 和 (3b) 中的  $p$  是微分算子。

$$v_d = R_a i_d + p L_d i_d - \omega L_q i_q \quad \dots (3a)$$

$$v_q = R_a i_q + p L_q i_q + \omega L_d i_d + \omega \Phi_a \quad \dots (3b)$$

当然，即使在作为电动机 1 而采用了非凸极机的情况下，也可以采用  $\gamma$  轴叠加电压  $v_{h\gamma}$  的振幅与  $\delta$  轴叠加电压  $v_{h\delta}$  的振幅不同的 2 相旋转电压作为叠加电压，还可以采用单相的交变电压作为叠加电压。但是，在为了利用因  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  所引起的磁饱和时， $\gamma$  轴叠加电压  $v_{h\gamma}$ （ $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$ ）不能为零。

而且，电流控制部 15 使用由下面的 2 个等式构成的式 (4a) 和 (4b) 进行必要的运算。并且，磁通控制部 16、速度控制部 17 和比例积分运算器 35 分别使用下式 (5)、(6) 和 (7) 进行必要的运算。

$$v_{\gamma}^* = (K_{c p} + \frac{K_{c i}}{s}) (i_{\gamma}^* - i_{\gamma}) - \omega_e L_q i_{\delta} \quad \dots (4 a)$$

$$v_{\delta}^* = (K_{c p} + \frac{K_{c i}}{s}) (i_{\delta}^* - i_{\delta}) + \omega_e (L_d i_{\gamma} + \Phi_a) \quad \dots (4 b)$$

$$i_{\gamma}^* = \frac{\Phi_a}{2(L_q - L_d)} - \sqrt{\frac{\Phi_a^2}{4(L_q - L_d)^2} + i_{\delta}^{*2}} \quad \dots (5)$$

$$i_{\delta}^* = (K_{s p} + K_{s i}/s) \cdot (\omega^* - \omega_e) \quad \dots (6)$$

$$\omega_e = (K_p + K_i/s) \cdot ihD \quad \dots (7)$$

这里， $K_{cp}$ 、 $K_{sp}$ 和 $K_p$ 是比例系数， $K_{ci}$ 、 $K_{si}$ 和 $K_i$ 是积分系数，这些是在电动机驱动系统的设计时预先设定的值。

另外，在上述的示例中，将叠加电压叠加在坐标转换器 18 的输入侧（即， $v_{\gamma}^*$ 和 $v_{\delta}^*$ ），但也可以将叠加电压叠加在坐标转换器 18 的输出侧（即， $v_u^*$ 、 $v_v^*$ 和 $v_w^*$ ）。在这种情况下，只要将  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_{\gamma}$ 和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_{\delta}$ 转换成三相电压的值，叠加在三相电压指令值（ $v_u^*$ 、 $v_v^*$ 和 $v_w^*$ ）上即可。

## <第 2 实施方式>

下面，对本发明的第 2 实施方式进行详细说明。图 18 是第 2 实施方式的电动机驱动系统的详细结构的框图。第 2 实施方式的电动机驱动系统具有：电动机 1、变频器 2 和无位置传感器控制装置 3a。无位置传感器控制装置 3a 与图 3 的无位置传感器控制装置 3 的不同点是，将图 3 的无位置传感器控制装置 3 中的叠加电压生成部 21、加法器 22 和 23 置换成叠加电流生成部 24、加法器 25 和 26，并且将图 3 的无位置传感器控制装置 3 中的位置/速度推定器 20、电流控制部 15 和坐标转换器 18 分别置换成位置/速度推定器 20a（以下称为“推定器 20a”）、电流控制部 15a 和坐标转换器 18a，关于其他点，基本上与无位置传感器控制装置 3 一致。在图 18 中，对于与图 3 相同的部分标记相同的符号，原则上省略对相同部分的

重复说明。

在第2实施方式中，作为电动机1，可采用凸极机（具有凸极性的电动机）和非凸极机（具有非凸极性的电动机）的任意一种。在此，主要以电动机1为凸极机（例如，磁铁嵌入式同步电动机）的情况为例进行说明。

在第2实施方式中，推定器20a推定并输出推定转子位置 $\theta_e$ 和推定电动机速度 $\omega_e$ 。因此，构成无位置传感器控制装置3a的各个部分会根据需要，使用由推定器20a推定的推定转子位置 $\theta_e$ 和推定电动机速度 $\omega_e$ ，进行必要的运算。构成无位置传感器控制装置3a的各个部分根据需要，可自由地利用在无位置传感器控制装置3a内生成的所有值。

减法器19从电动机速度指令值 $\omega^*$ 中减去由推定器20a提供的推定电动机速度 $\omega_e$ ，并输出其减法运算结果（速度误差）。速度控制部17根据减法器19的减法运算结果（ $\omega^* - \omega_e$ ），生成 $\delta$ 轴电流指令值 $i_\delta^*$ 。磁通控制部16使用由推定器20a提供的推定电动机速度 $\omega_e$ 、和速度控制部17提供的 $\delta$ 轴电流指令值 $i_\delta^*$ ，生成 $\gamma$ 轴电流指令值 $i_\gamma^*$ 。

叠加电流生成部24输出用于叠加在 $\gamma$ 轴电流指令值 $i_\gamma^*$ 和 $\delta$ 轴电流指令值 $i_\delta^*$ 上的叠加电流。叠加电流由 $\gamma$ 轴成分的 $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 和 $\delta$ 轴成分的 $\delta$ 轴叠加电流 $ih_\delta$ 构成。对于该叠加电流将在后面进行详细说明。

加法器25计算出来自磁通控制部16的 $\gamma$ 轴电流指令值 $i_\gamma^*$ 、和来自叠加电流生成部24的 $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 之和（ $i_\gamma^* + ih_\gamma$ ）。加法器26计算出来自磁通控制部17的 $\delta$ 轴电流指令值 $i_\delta^*$ 、和来自叠加电流生成部24的 $\delta$ 轴叠加电流 $ih_\delta$ 之和（ $i_\delta^* + ih_\delta$ ）。

减法器13从加法器25的计算结果（ $i_\gamma^* + ih_\gamma$ ）中减去由坐标转换器12输出的 $\gamma$ 轴电流 $i_\gamma$ ，计算出电流误差（ $i_\gamma^* + ih_\gamma - i_\gamma$ ）。减法器14从加法器26的计算结果（ $i_\delta^* + ih_\delta$ ）中减去由坐标转换器12输出的 $\delta$ 轴电流 $i_\delta$ ，计算出电流误差（ $i_\delta^* + ih_\delta - i_\delta$ ）。

电流控制部15a接收通过减法器13、14计算出的各个电流误差、来自坐标转换器12的 $\gamma$ 轴电流 $i_\gamma$ 和 $\delta$ 轴电流 $i_\delta$ 、以及来自推定器20a的推定电动机速度 $\omega_e$ ，输出 $\gamma$ 轴电压指令值 $v_\gamma^*$ 和 $\delta$ 轴电压指令值 $v_\delta^*$ ，以使 $\gamma$ 轴电流 $i_\gamma$ 跟踪叠加了 $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 的 $\gamma$ 轴电流指令值（即，（ $i_\gamma^* + ih_\gamma$ ）），且使 $\delta$ 轴电流 $i_\delta$ 跟踪叠加了 $\delta$ 轴叠加电流 $ih_\delta$ 的 $\delta$ 轴电流指令值

(即,  $(I_\delta^* + ih_\delta)$ )。因此, 在这些  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  中包含与叠加电流对应的叠加电压(叠加成分)。将该叠加电压的  $\gamma$  轴成分和  $\delta$  轴成分分别设为  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$ 、和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$ 。 $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  具有与  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_\gamma$  对应的值,  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  具有与  $\delta$  轴叠加电流  $ih_\delta$  对应的值。

坐标转换器 18a 根据由推定器 20a 提供的推定转子位置  $\theta_e$ , 进行包含叠加电压的  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  的逆变换, 生成由表示电动机电压  $V_a$  的 U 相成分、V 相成分和 W 相成分的 U 相电压指令值  $v_u^*$ 、V 相电压指令值  $v_v^*$  和 W 相电压指令值  $v_w^*$  构成的三相电压指令值, 并将这些输出到 PWM 变频器 2。在该逆变换中, 使用由下面的 2 个等式构成的式 (8)。当然, 式 (8) 中的  $v_\gamma^*$  和  $v_\delta^*$  是电流控制部 15a 输出的值(与图 3 中的  $v_\gamma^*$  和  $v_\delta^*$  不同)。

$$\begin{bmatrix} v_u^* \\ v_v^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta_e & -\sin \theta_e \\ \cos(\theta_e - 2\pi/3) & -\sin(\theta_e - 2\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\gamma^* \\ v_\delta^* \end{bmatrix} \quad \dots (8)$$

$$v_w^* = -(v_u^* + v_v^*)$$

PWM 变频器 2 根据表示应施加于电动机 1 的电压的三相电压指令值 ( $v_u^*$ 、 $v_v^*$ 、 $v_w^*$ ) 生成脉冲宽度被调制的信号, 通过向电动机 1 供给与该三相电压指令值对应的电动机电流  $I_a$ , 来驱动电动机 1。

与第 1 实施方式同样, 在本实施方式中, 利用  $\gamma$  轴电流指令值  $i_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电流指令值  $i_\delta^*$  所表示的电流也是驱动电动机 1 的驱动电流。但是, 在本实施方式中, 利用  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  所表示的电压是在“为了在电动机 1 中流过上述驱动电流而对电动机 1 施加的驱动电压”上, 叠加了“为了在电动机 1 中流过由叠加电流生成部 24 所生成的叠加电流而对电动机 1 施加的叠加电压”的电压。

由叠加电流生成部 24 生成的叠加电流是高频旋转电流。这里, 所谓“高频”是指该叠加电流的频率充分大于驱动电流的频率。而且, 所谓“旋转电流”是指如图 19 所示那样的电流矢量轨迹在  $\gamma$ - $\delta$  轴上 ( $\gamma$ - $\delta$  坐标上) 形成圆的电流。由于该旋转电流是与电动机 1 不同步的高频电流, 所以通过该旋转电流的叠加, 电动机 1 不会旋转。另外, 由叠加电流生成部 24

生成的  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_\gamma$  和  $\delta$  轴叠加电流  $ih_\delta$  分别被设定为, 与在第 1 实施方式中被期待叠加的  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_\gamma$  和  $\delta$  轴叠加电流  $ih_\delta$  同样(或相同)。

在电动机 1 是磁铁嵌入式同步电动机等, 并且  $L_d < L_q$  成立的情况下, 当叠加电流的电流矢量轨迹如图 19 的电流矢量轨迹 90 那样, 在  $\gamma - \delta$  轴上成为以原点为中心的正圆时, 在  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  和  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  中所包含的叠加电压的电压矢量轨迹, 如图 20 的电压矢量轨迹 91 所示, 在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上成为以原点为中心, 以  $\gamma$  轴方向为短轴方向、且以  $\delta$  轴方向为长轴方向的椭圆。其中, 电压矢量轨迹 91 是在轴误差  $\Delta\theta$  为零时的电压矢量轨迹。轴误差  $\Delta\theta$  不为零的情况下的叠加电压的电压矢量轨迹, 成为由电压矢量轨迹 92 所表示的椭圆, 其短轴方向(或长轴方向)与  $\gamma$  轴方向(或  $\delta$  轴方向)不一致。即, 在轴误差  $\Delta\theta$  不为零的情况下, 电压矢量轨迹 91 在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上以原点为中心倾斜, 描绘成电压矢量轨迹 92。

因此, 能够采用与第 1 实施方式类似的方法进行转子位置的推定。即, 推定器 20a 只要以使乘积 ( $vh_\gamma \times vh_\delta$ ) 的直流成分收敛为零的方式, 对  $\gamma - \delta$  轴进行修正, 并进行推定转子位置  $\theta_e$  和推定电动机速度  $\omega_e$  的推定即可。在图 21 中, 表示推定器 20a 的内部结构的一例的框图。图 21 的推定器 20a 具有: BPF (带通滤波器) 31a 和 32a、乘法器 33a、LPF (低通滤波器) 34a、比例积分运算器 35a 和积分器 36a。

BPF31a 从由电流控制部 15a 输出的  $\gamma$  轴电压指令值  $v_\gamma^*$  的值中, 提取作为叠加成分的  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$ 。同样, BPF32a 从由电流控制部 15a 输出的  $\delta$  轴电压指令值  $v_\delta^*$  的值中, 提取作为叠加成分的  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$ 。乘法器 33a 计算出由 BPF31a 和 32a 提取的  $\gamma$  轴叠加电压  $vh_\gamma$  和  $\delta$  轴叠加电压  $vh_\delta$  的乘积 ( $vh_\gamma \times vh_\delta$ )。LPF34a 从该乘积 ( $vh_\gamma \times vh_\delta$ ) 中除去高频成分, 并提取乘积 ( $vh_\gamma \times vh_\delta$ ) 的直流成分  $vhD$ 。

比例积分运算器 35a 为了实现 PLL (Phase Locked Loop), 在与构成无位置传感器控制装置 3a 的各个部分配合动作的同时, 进行比例积分控制, 计算出推定电动机速度  $\omega_e$ , 以使从 LPF34a 输出的直流成分  $vhD$  收敛为零(即, 使轴误差  $\Delta\theta$  收敛为零)。积分器 36a 通过对从比例积分运算器 35a 输出的推定电动机速度  $\omega_e$  进行积分, 来计算出推定转子位置  $\theta_e$ 。

由比例积分运算器 35a 输出的推定电动机速度  $\omega_e$ 、和由积分器 36a 输出的推定转子位置  $\theta_e$  一同被作为推定器 20a 的输出值，提供给需要该值的无位置传感器控制装置 3a 的各个部分。

如果构成如图 18 和图 21 所示的结构，则轴误差  $\Delta \theta$  可收敛为零。而且，与以往的技术相比，用于推定转子位置的处理（运算量）简单，并可容易实现，因此，实用性高。特别是在电动机 1 的停止状态和低速旋转状态时，可良好地推定转子位置。当然，能够从该电动机驱动系统中省略位置传感器（未图示），从而可实现低成本化。

另外，与第 1 实施方式同样，也可以将 LPF34 置换成对叠加电压的  $n$  个周期（其中， $n$  是 1 以上的整数）的乘积（ $vh_v \times vh_s$ ）进行积分，来计算出直流成分  $vhD$  的  $n$  周期积分器（未图示），还可以置换成根据叠加电压的  $n$  个周期的乘积（ $vh_v \times vh_s$ ）的移动平均计算出直流成分  $vhD$  的移动平均部（未图示）。而且，与第 1 实施方式同样，作为从乘积（ $vh_v \times vh_s$ ）提取直流成分  $vhD$  的方法，也可以采用将 LPF、积分（ $n$  周期积分）以及移动平均等中的多种方法进行组合的方法。

另外，在作为叠加电流而叠加 2 相旋转电流的情况下，只要与该叠加电流对应的叠加电压的电压矢量轨迹，在  $\gamma - \delta$  轴（ $\gamma - \delta$  坐标）上形成以原点为中心的椭圆，即使该旋转电流中的  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_v$  的振幅与  $\delta$  轴叠加电流  $ih_s$  的振幅不同也无妨。因为即使使这些振幅不同，乘积（ $vh_v \times vh_s$ ）的直流成分也随着轴误差  $\Delta \theta$  变化。在  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_v$  的振幅相对大于  $\delta$  轴叠加电流  $ih_s$  的振幅的情况下，叠加电流的电流矢量轨迹在  $\gamma - \delta$  轴（ $\gamma - \delta$  坐标）上，形成以原点为中心，且以  $\gamma$  轴方向为长轴方向、以  $\delta$  轴方向为短轴方向的椭圆。相反，在  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_v$  的振幅相对小于  $\delta$  轴叠加电流  $ih_s$  的振幅的情况下，叠加电流的电流矢量轨迹在  $\gamma - \delta$  轴（ $\gamma - \delta$  坐标）上，形成以原点为中心，且以  $\gamma$  轴方向为短轴方向、以  $\delta$  轴方向为长轴方向的椭圆。

并且，作为叠加电流也可以采用单相的交变电流。因为，在这种情况下，乘积（ $vh_v \times vh_s$ ）的直流成分也随着轴误差  $\Delta \theta$  变化。例如，在  $\gamma$  轴叠加电流  $ih_v$  和  $\delta$  轴叠加电流  $ih_s$  中，如果只使  $\delta$  轴叠加电流  $ih_s$  为零，则只具有  $\gamma$  轴电流成分的单相高频电流（ $\gamma$  相的高频交变电流）成为叠加电

流, 如果只使  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  为零, 则只具有  $\delta$  轴电流成分的单相高频电流 ( $\delta$  相的高频交变电流) 成为叠加电流。由于该单相交变电流也是与电动机 1 不同步的高频电流, 所以通过该交变电流的施加, 电动机 1 不会旋转。例如, 在  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  和  $\delta$  轴叠加电流  $i_{h\delta}$  中, 只使  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  为零的情况下, 叠加电流的电流矢量轨迹成为  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的以原点为中心的  $\delta$  轴上的线段。当然, 也可以只使  $\delta$  轴叠加电流  $i_{h\delta}$  为零。

在作为叠加电流而采用了 2 相旋转电流的情况下, 关于如何设定  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  的振幅与  $\delta$  轴叠加电流  $i_{h\delta}$  的振幅的关系、和作为叠加电流而采用哪样的单相交变电流, 可根据电动机 1 的特性和电动机驱动系统的适用场合等进行适宜选择。

而且, 虽然为了获得 2 相的旋转电流作为叠加电流, 需要使  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  和  $\delta$  轴叠加电流  $i_{h\delta}$  成为正弦波, 但  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  和/或  $\delta$  轴叠加电流  $i_{h\delta}$  不是必须成为正弦波。只要在叠加电流的  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上, 电流矢量轨迹描绘出内含原点, 且具有以  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴为基准的对称性的图形, 作为  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  和  $\delta$  轴叠加电流  $i_{h\delta}$  可以是任意波形。其原因是, 如果在叠加电流的  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上, 电流矢量轨迹描绘出内含原点, 且具有以  $\gamma$  轴或  $\delta$  轴为基准的对称性的图形, 则与采用了 2 相旋转电流作为叠加电流的情况相同, 在轴误差  $\Delta\theta = 0^\circ$  时, 乘积 ( $v_{h\gamma} \times v_{h\delta}$ ) 不具有直流成分, 随着轴误差  $\Delta\theta$  的大小从 0 增大, 乘积 ( $v_{h\gamma} \times v_{h\delta}$ ) 的直流成分以 0 为起点增大。例如,  $\gamma$  轴叠加电流  $i_{h\gamma}$  和  $\delta$  轴叠加电流  $i_{h\delta}$  也可以是矩形波。

另外, 所谓“内含原点”是表示在上述“具有对称性的图形”的内部存在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的原点。而且, 所谓“以  $\gamma$  轴为基准具有对称性”是表示在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的电压矢量轨迹, 在第 1 象限和第 2 象限的部分图形与第 3 象限和第 4 象限的部分图形之间, 成立以  $\gamma$  轴为轴的线对称关系。并且, 所谓“以  $\delta$  轴为基准具有对称性”是表示在  $\gamma - \delta$  轴 ( $\gamma - \delta$  坐标) 上的电压矢量轨迹, 在第 1 象限和第 4 象限的部分图形与第 2 象限和第 3 象限的部分图形之间成立以  $\delta$  轴为轴的线对称的关系。



而且,作为电动机1,可采用作为非凸极机的表面磁铁式同步电动机。但是,在采用了非凸极机作为电动机1的情况下,叠加电流的在 $\gamma$ - $\delta$ 轴( $\gamma$ - $\delta$ 坐标)上的电流矢量轨迹如图19的电流矢量轨迹90那样成为正圆的情况(即,旋转电流中的 $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 的振幅与 $\delta$ 轴叠加电流 $ih_\delta$ 的振幅相等的情况)下,叠加电压的在 $\gamma$ - $\delta$ 轴( $\gamma$ - $\delta$ 坐标)上的电压矢量轨迹也成为以原点为中心的正圆(在未形成磁饱和的情况)。在叠加电压的电压矢量轨迹为正圆时,即使由于轴误差 $\Delta\theta$ 不为零而使该正圆倾斜,也无法捕捉该倾斜。

在这种情况下,可以通过在使与基于永磁铁1a的电枢交链磁通 $\Phi_a$ 的朝向相同方向的磁通增加的方向,增大叠加电流的 $\gamma$ 轴成分,有意地使电动机1引起磁饱和。由于如果引起磁饱和,则d轴电感 $L_d$ 减小,使 $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 容易流过,因此,即使在叠加了使电流矢量轨迹成为正圆的叠加电流的情况下,叠加电压的电压矢量轨迹也不会成为正圆。于是,由于在 $\Delta\theta \neq 0^\circ$ 时,乘积( $vh_\gamma \times vh_\delta$ )的直流成分具有不等于0的值,所以,可使用与上述相同的方法推定转子位置。具体而言,只要在驱动电流中叠加使作为非凸极机的电动机1的d轴电感 $L_d$ 基于由 $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 所引起的磁饱和而变化的叠加电流即可。

当然,即使在采用非凸极机作为电动机1的情况下,也可以采用 $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 的振幅与 $\delta$ 轴叠加电流 $ih_\delta$ 的振幅不同的2相旋转电流作为叠加电流,还可以采用单相交变电流作为叠加电流。但是,为了利用因 $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 所引起的磁饱和,很显然, $\gamma$ 轴叠加电流 $ih_\gamma$ 不能为零。

另外,电流控制部15a使用将上述式(4a)右边的( $i_\gamma^* - i_\gamma$ )替换成( $i_\gamma^* + ih_\gamma - i_\gamma$ )的算式、和将上述式(4b)右边的( $i_\delta^* - i_\delta$ )替换成( $i_\delta^* + ih_\delta - i_\delta$ )的算式进行必要的计算。而且,比例积分运算器35a使用将上述式(7)右边的 $ih_D$ 替换成 $vh_D$ 的算式进行必要的计算。

在第1实施方式中,由叠加电压生成部21和加法器22、23构成叠加部(电压叠加部)。在第1实施方式中,由BPF31、32和乘法器33构成叠加成分提取部。在该叠加成分提取部中,也可以考虑包含输出直流成分 $ih_D$ 的部位。即,例如在叠加成分提取部中也可以考虑包含LPF34、n周期积分器37或移动平均部(未图示),还可以考虑包含LPF38和移动平

均部 39。在第 1 实施方式中，从无位置传感器控制装置 3 除去了构成上述叠加部的部位和构成上述叠加成分提取部的部位以外的部分构成控制部。

在第 2 实施方式中，由叠加电流生成部 24 和加法器 25、26 构成了叠加部。在第 2 实施方式中，由 BPF31a、32a 和乘法器 33a 构成了叠加成分提取部。在该叠加成分提取部中，也可以考虑包含输出直流成分  $v_{hD}$  的部位。即，例如在叠加成分提取部中也可以考虑包含 LPF34a、 $n$  周期积分器（未图示）或移动平均部（未图示）。在第 2 实施方式中，无位置传感器控制装置 3a 的除去了构成上述叠加部的部位和构成上述叠加成分提取部的部位以外的部分构成控制部。

另外，第 1 和第 2 实施方式中的电流检测器 11，既可以如图 3 等所示构成为直接检测电动机电流的结构，也可以取而代之，构成为根据电源侧的 DC 电流的瞬间电流再现电动机电流，由此来检测电动机电流的结构。

本发明适用于使用电动机的所有电气设备。例如，优选适用于利用电动机的旋转进行驱动的电动车、空调机等中所使用的压缩机等。

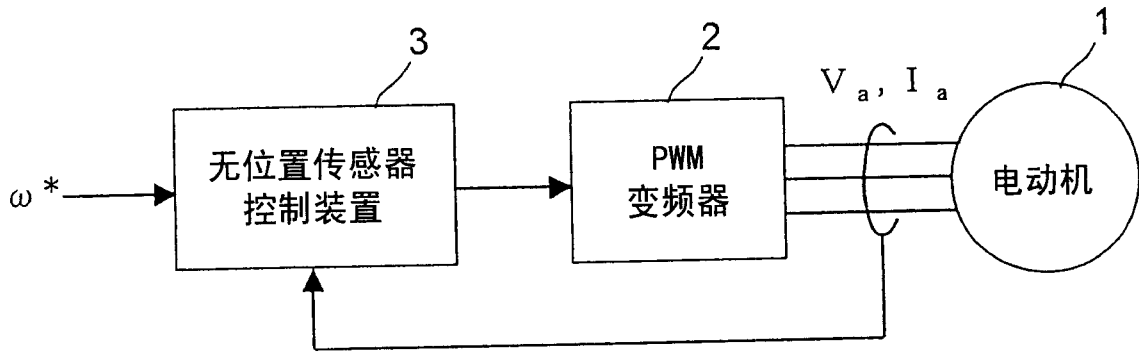


图 1

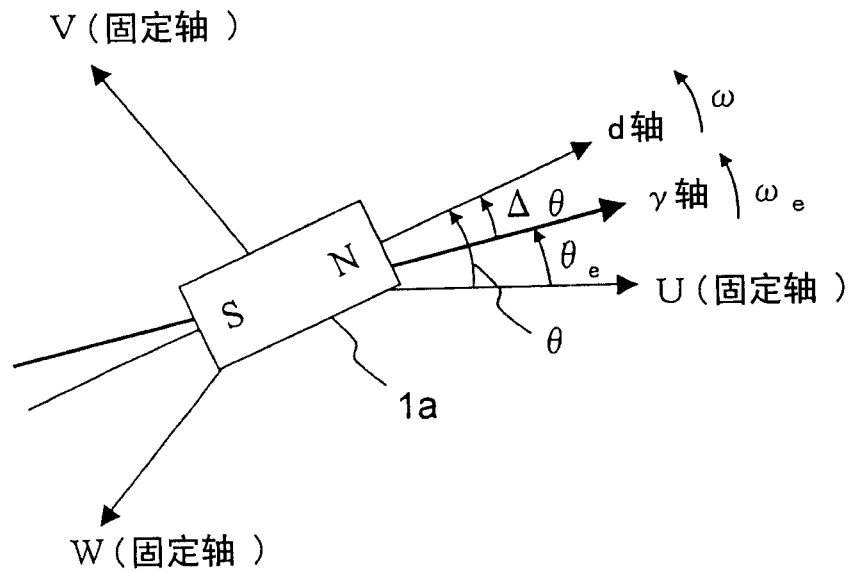


图 2

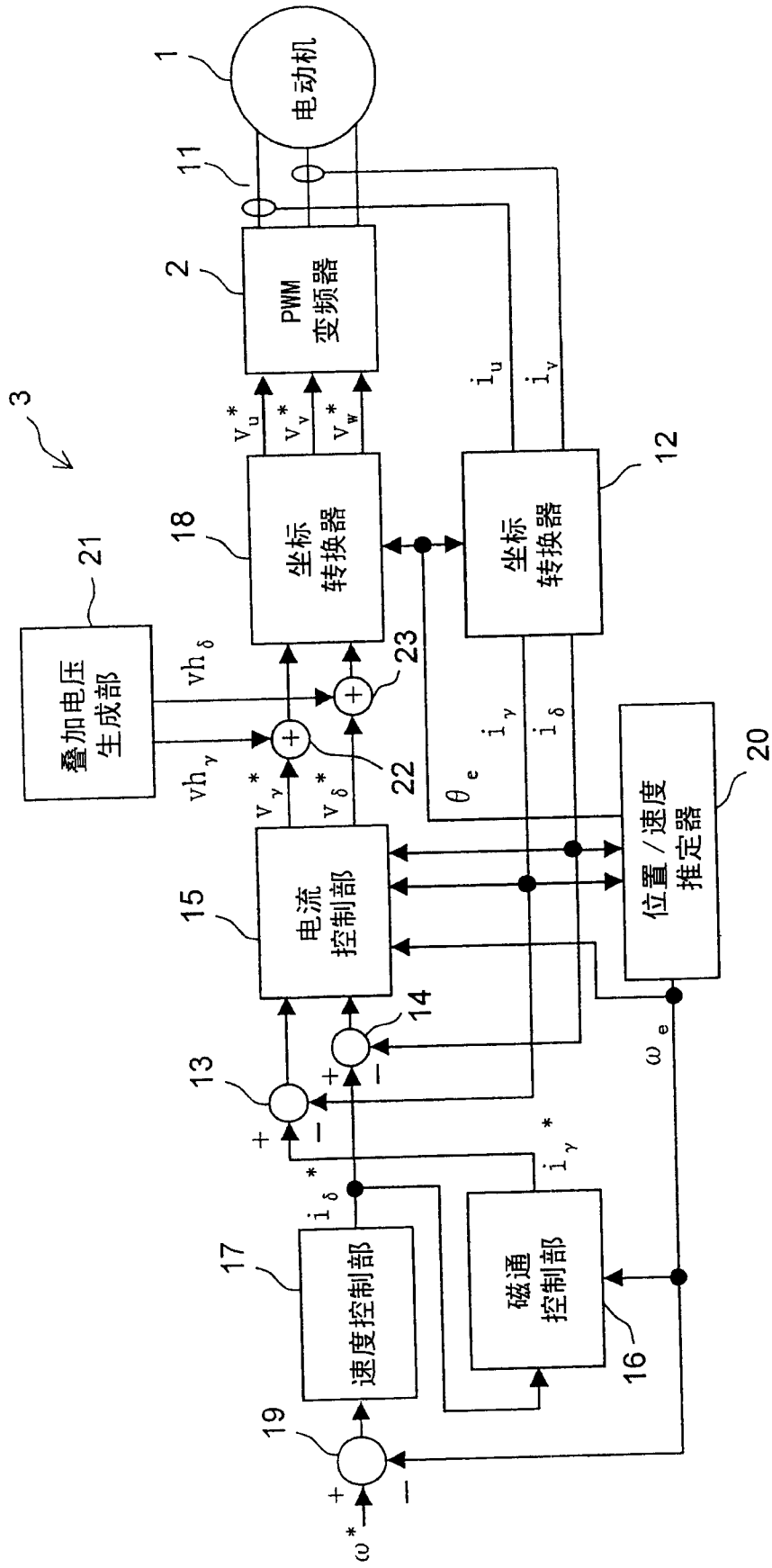


图 3

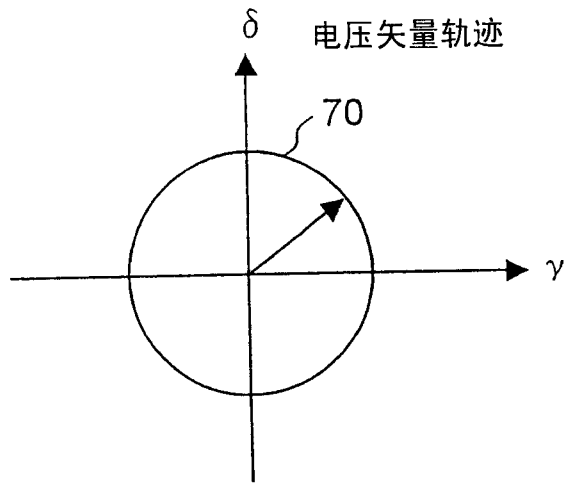


图 4

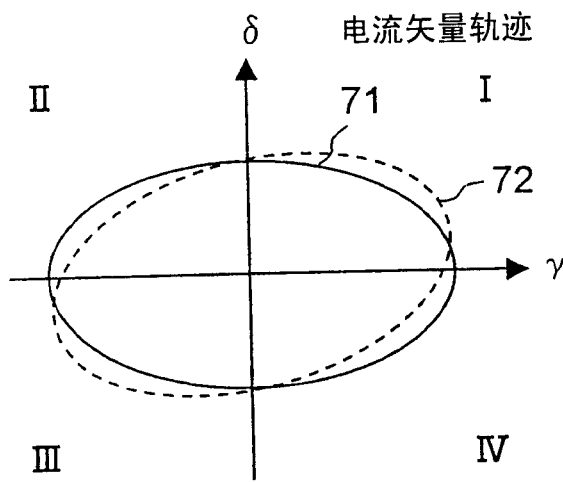


图 5

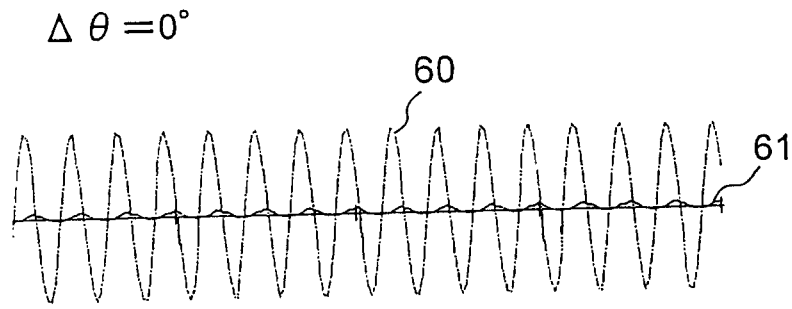


图 6

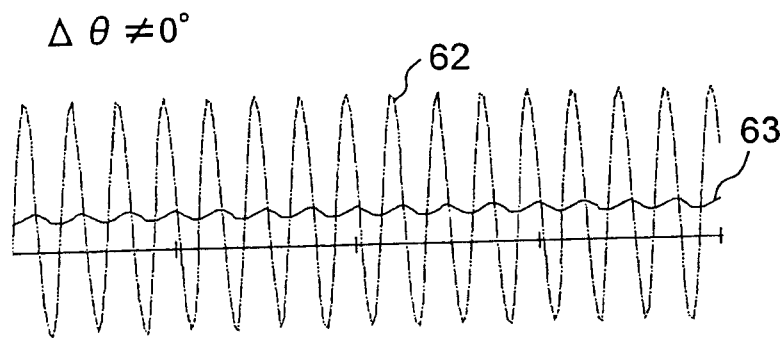


图 7

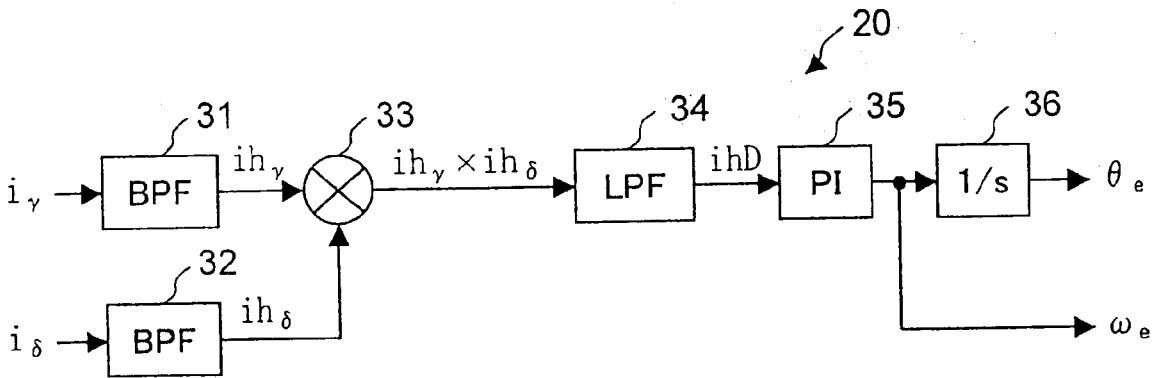


图 8

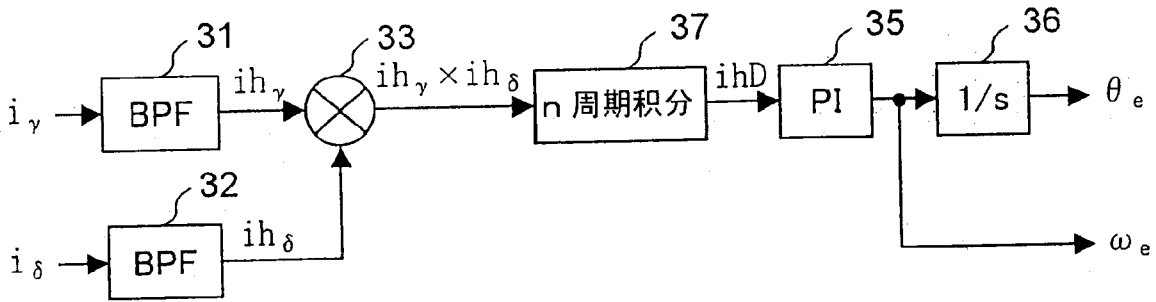


图 9

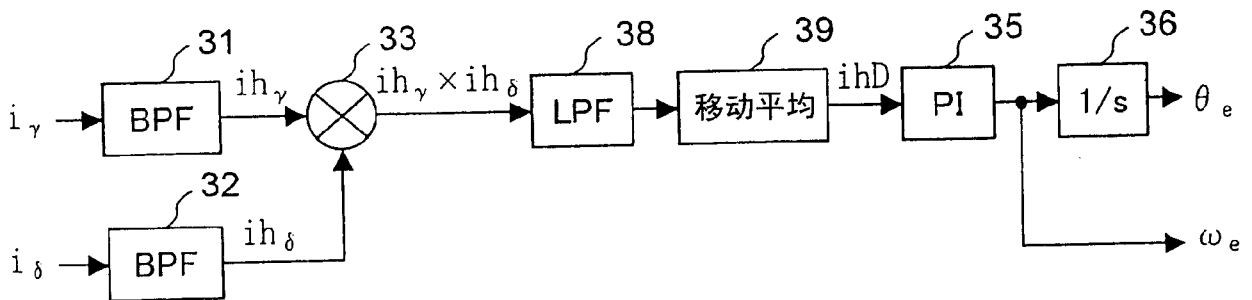


图 10

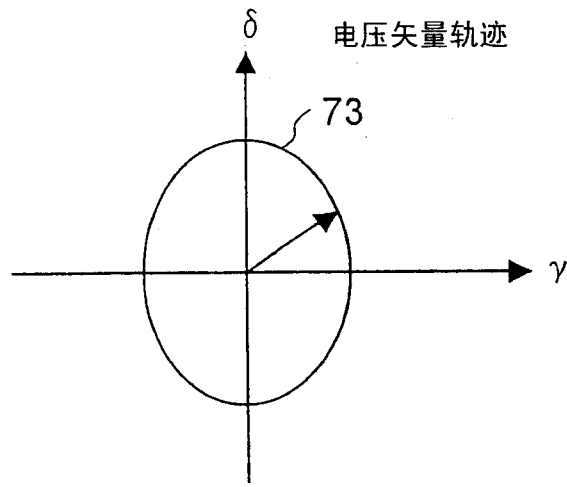


图 11

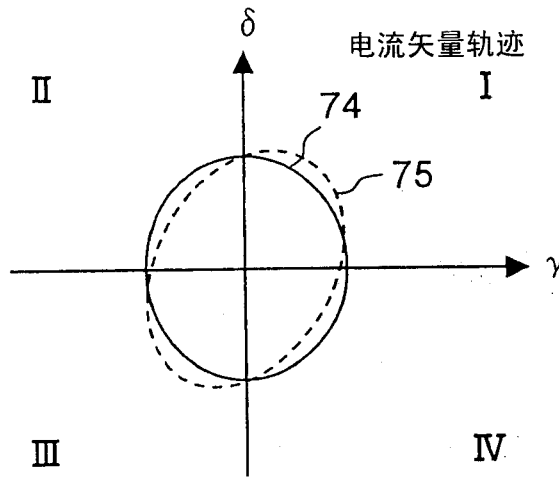


图 12

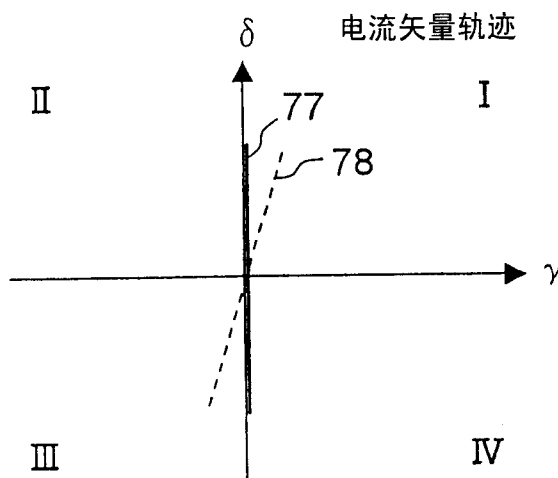


图 13



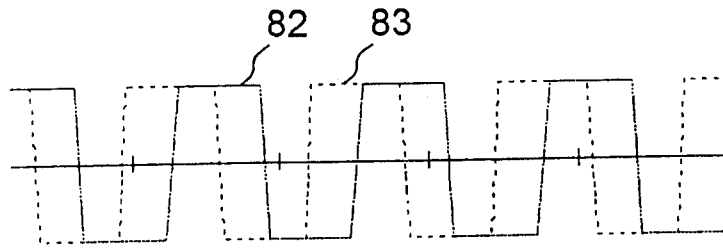


图 14

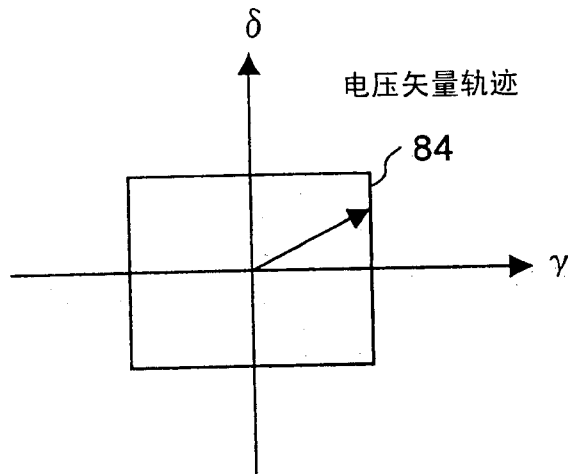


图 15

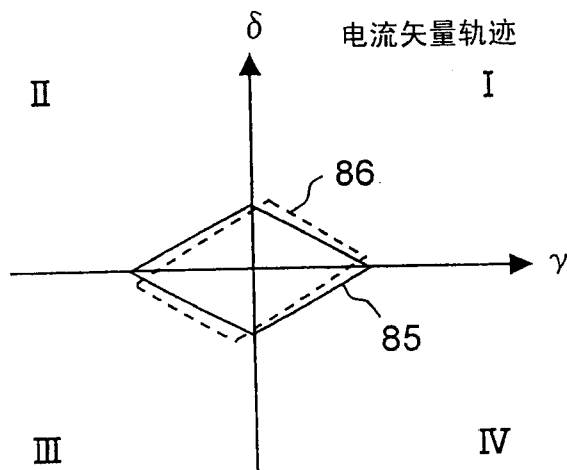


图 16

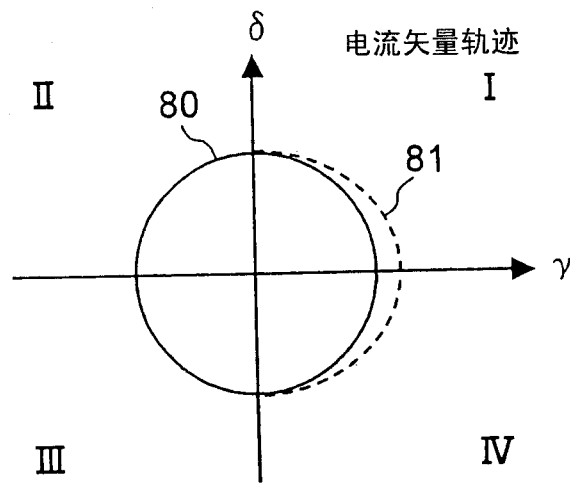


图 17

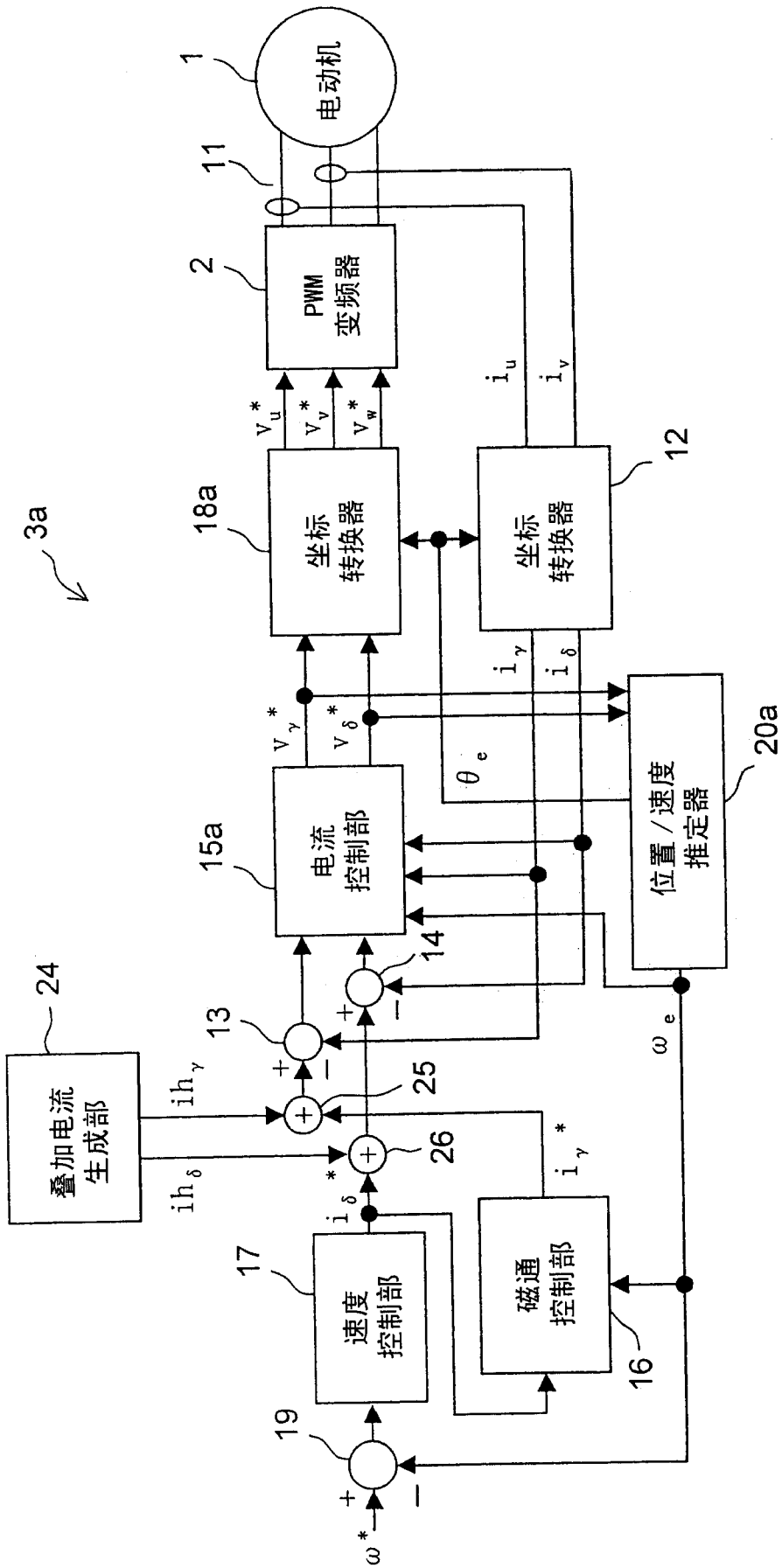


图 18

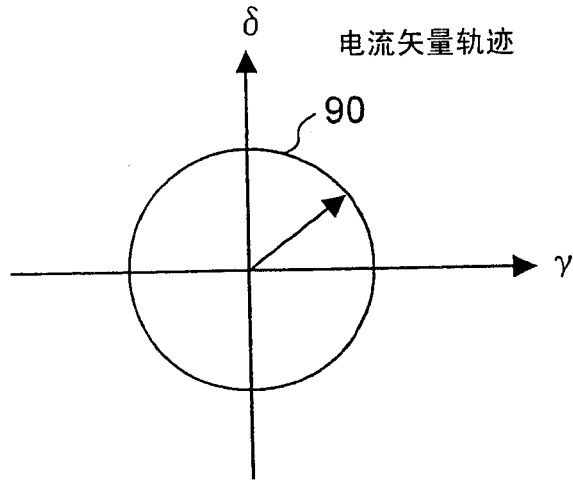


图 19

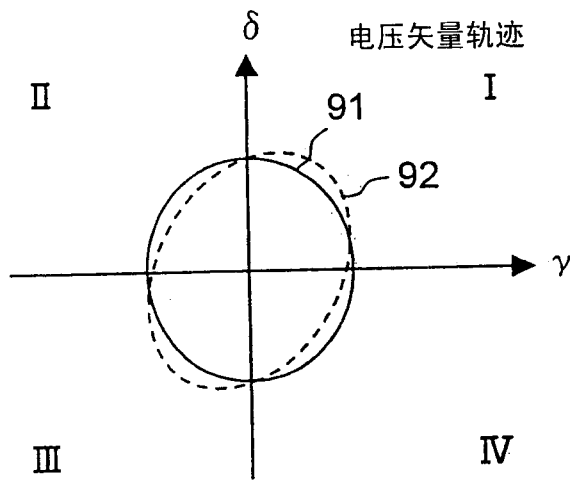


图 20

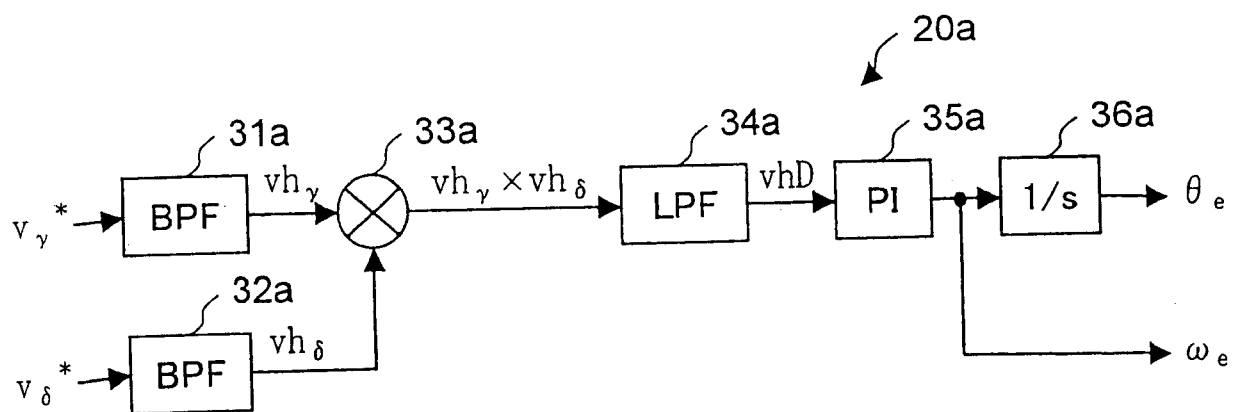


图 21