



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I385898B1

(45) 公告日：中華民國 102 (2013) 年 02 月 11 日

(21) 申請案號：098111714

(22) 申請日：中華民國 98 (2009) 年 04 月 08 日

(51) Int. Cl. : **H02K1/06 (2006.01)**

(30) 優先權：2008/04/14 日本 2008-105058

(71) 申請人：本田技研工業股份有限公司 (日本) HONDA MOTOR CO., LTD. (JP)  
日本(72) 發明人：大矢聰義 OYA, SATOYOSHI (JP)；笠岡廣太 KASAOKA, KOTA (JP)；阿部典行  
ABE, NORIYUKI (JP)；土下重光 AKUTSU, SHIGEMITSU (JP)

(74) 代理人：陳長文

(56) 參考文獻：

JP 2006-288012A

JP 2008-17543A

JP 2008-43138A

JP 2008-67592A

審查人員：彭極富

申請專利範圍項數：6 項 圖式數：19 共 0 頁

(54) 名稱

電動馬達

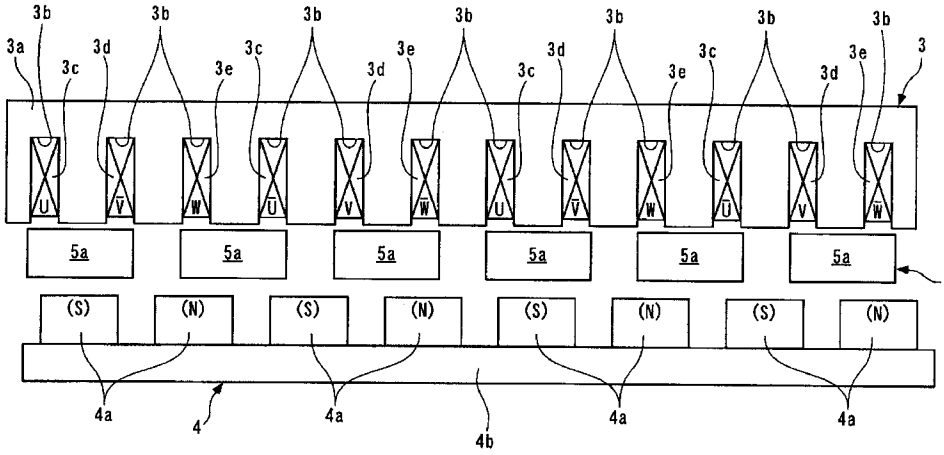
ELECTRIC MOTOR

(57) 摘要

本發明提供一種能夠減小尺寸及其製造成本並增強其設計自由度之電動馬達。一電動馬達 1 係由如下組成：一第一結構 4，其包含一磁極列，該磁極列係由沿一預定方向配置之預定的複數個磁極 4a 形成，且使每兩個相鄰磁極 4a 設置成彼此具有不同之極性；一第二結構 3，其包含一電樞列，該電樞列係以一與該磁極列相對之方式設置，以便藉由在電樞 3c 至 3e 處根據所供應之電力而產生之預定的複數個電樞磁極，在該電樞列與該磁極列之間產生沿該預定方向移動之移動磁場；及一第三結構 5，其包含一軟磁性材料元件列，該軟磁性材料元件列係由沿該預定方向以一彼此間隔開之方式配置之預定的複數個軟磁性材料元件 5a 形成，且設置為使得該軟磁性材料元件列位於該磁極列與該電樞列之間。該等電樞磁極之數量、該等磁極 4a 之數量及該等軟磁性材料元件 5a 之數量之間的一比率係設定為  $1 : m : (1+m)/2 (m \neq 1.0)$ 。

To provide an electric motor which is capable of reducing the size and manufacturing costs thereof, and enhancing the degree of freedom in design thereof. An electric motor 1 is comprised a first structure 4 including a magnetic pole row which is formed by a predetermined plurality of magnetic poles 4a arranged in a predetermined direction and having each two adjacent magnetic poles 4a so disposed as to have polarities different from each other, a second structure 3 including an armature row which is disposed in a manner opposed to the magnetic pole row, for generating moving magnetic fields moving in the predetermined direction between the armature row and the magnetic pole row by a predetermined plurality of armature magnetic poles generated at the armatures 3c to 3e in accordance with supply of electric power thereto, and a third structure 5 including a soft magnetic material element row which is formed by a predetermined plurality of soft magnetic material elements 5a arranged in the predetermined direction in a manner spaced

from each other, and is disposed such that the soft magnetic material element row is positioned between the magnetic pole row and the armature row. A ratio between the number of the armature magnetic poles, the number of the magnetic poles 4a, and the number of the soft magnetic material elements 5a is set to  $1 : m : (1+m) / 2$  ( $m \neq 1.0$ ).



- 3 . . . 定子
- 3a . . . 鐵芯部
- 3c . . . U相線圈
- 3b . . . 槽
- 3d . . . V相線圈
- 3e . . . W相線圈
- 4 . . . 第一轉子
- 4a . . . 永久磁鐵
- 4b . . . 環形固定部分
- 5 . . . 第二轉子
- 5a . . . 芯部

圖 3

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：98111714

※申請日：98.4.8

※IPC分類：H02K1/06 (2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

電動馬達

ELECTRIC MOTOR

## 二、中文發明摘要：

本發明提供一種能夠減小尺寸及其製造成本並增強其設計自由度之電動馬達。一電動馬達1係由如下組成：一第一結構4，其包含一磁極列，該磁極列係由沿一預定方向配置之預定的複數個磁極4a形成，且使每兩個相鄰磁極4a設置成彼此具有不同之極性；一第二結構3，其包含一電樞列，該電樞列係以一與該磁極列相對之方式設置，以便藉由在電樞3c至3e處根據所供應之電力而產生之預定的複數個電樞磁極，在該電樞列與該磁極列之間產生沿該預定方向移動之移動磁場；及一第三結構5，其包含一軟磁性材料元件列，該軟磁性材料元件列係由沿該預定方向以一彼此間隔開之方式配置之預定的複數個軟磁性材料元件5a形成，且設置為使得該軟磁性材料元件列位於該磁極列與該電樞列之間。該等電樞磁極之數量、該等磁極4a之數量及該等軟磁性材料元件5a之數量之間的一比率係設定為 $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1.0$ )。

### 三、英文發明摘要：

To provide an electric motor which is capable of reducing the size and manufacturing costs thereof, and enhancing the degree of freedom in design thereof. An electric motor 1 is comprised a first structure 4 including a magnetic pole row which is formed by a predetermined plurality of magnetic poles 4a arranged in a predetermined direction and having each two adjacent magnetic poles 4a so disposed as to have polarities different from each other, a second structure 3 including an armature row which is disposed in a manner opposed to the magnetic pole row, for generating moving magnetic fields moving in the predetermined direction between the armature row and the magnetic pole row by a predetermined plurality of armature magnetic poles generated at the armatures 3c to 3e in accordance with supply of electric power thereto, and a third structure 5 including a soft magnetic material element row which is formed by a predetermined plurality of soft magnetic material elements 5a arranged in the predetermined direction in a manner spaced from each other, and is disposed such that the soft magnetic material element row is positioned between the magnetic pole row and the armature row. A ratio between the number of the armature magnetic poles, the number of the magnetic poles 4a, and the number of the soft magnetic material elements 5a is set to  $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1.0$ ).

#### 四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 ( 3 ) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

3	定子
3a	鐵芯部
3c	U相線圈
3b	槽
3d	V相線圈
3e	W相線圈
4	第一轉子
4a	永久磁鐵
4b	環形固定部分
5	第二轉子
5a	芯部

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)

## 六、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種電動馬達，其包含複數個可移動元件或定子並將所供應之電力轉換為功率以供自該等可移動元件輸出該功率。

### 【先前技術】

在習用上，已知專利文獻1中所揭示之一個電動馬達作為一個此種類型之電動馬達。該電動馬達係一所謂的旋轉電機，且包含分別連接至一第一旋轉軸及一第二旋轉軸之一第一轉子及一第二轉子以及一單個定子。該第一及第二旋轉軸係彼此同芯部地配置，而該第一轉子、該第二轉子及該定子係沿該第一旋轉軸之半徑方向自內部按所述次序配置。

該第一轉子包含分別沿圓周方向配置之複數個第一永久磁鐵及第二永久磁鐵。該等第一及第二永久磁鐵係彼此平行地沿該第一轉子之軸方向配置。該定子經組態以產生沿圓周方向旋轉之一第一旋轉磁場及一第二旋轉磁場。該第一旋轉磁場係產生於該定子與該第一轉子之一朝向該等第一永久磁鐵之部分之間，且該第二旋轉磁場係產生於該定子與該第一轉子之一朝向該等第二永久磁鐵之部分之間。該第二轉子包含分別沿圓周方向配置之複數個第一芯部及第二芯部。該等第一及第二芯部係由若干軟磁性材料元件組成。該等第一芯部係配置於該第一轉子之一朝向該等第一永久磁鐵之部分與該定子之間，且該等第二芯部係配置

於該第一轉子之一朝向該等第二永久磁鐵之部分與該定子之間。該等第一及第二永久磁鐵之該等磁極之數量、該第一及第二旋轉磁場之該等磁極之數量及該等第一及第二芯部之數量係分別設定為彼此相等。

在如上所述配置之電動馬達中，由於該第一及第二旋轉磁場係由至該定子之電力供應產生，因此該等第一及第二芯部係由該第一及第二旋轉磁場之該等磁極及該等第一及第二永久磁鐵之該等磁極磁化，藉此在該等元件之間產生磁力線。此外，該第一及第二轉子係由該等磁力線之磁力所導致之作用驅動，且又功率係自該第一及第二旋轉軸輸出。

在上述習用電動馬達中，因其配置而致使該等磁力線之磁力適當地作用以將供應至該定子之電力轉換為功率並自該第一及第二旋轉軸輸出該功率，不僅一由該複數個第一芯部組成之第一軟磁性材料元件列且亦一由該複數個第二芯部組成之第二軟磁性材料元件列係不可缺少，且不可避免地導致該電動馬達之大小一增加及其製造成本之一增加。此外，因其配置，該電動馬達僅在使其中該第一及第二旋轉磁場之旋轉速度與該第二轉子之旋轉速度之間的差及該第二轉子之旋轉速度與該第一轉子之旋轉速度之間的差變成彼此相等之速度關係成立時可行。此降格該電動馬達之設計自由度。

已作出本發明以為上述問題提供一解決方案，且其一目標係提供一種能夠減小尺寸及其製造成本同時增強其設計

自由度之電動馬達。

[專利文獻1]

日本特許專利公開案(Kokai)第2008-67592號。

**【發明內容】**

為達成該目標，如技術方案1所主張之本發明提供一種電動馬達1、31，其包括：一第一結構(第一轉子4、第一旋轉軸6、第二定子34)，其包含一磁極列，該磁極列係由沿一預定方向配置之預定的複數個磁極(永久磁鐵4a、34a)形成，且使每兩個相鄰磁極設置成彼此具有不同之極性；一第二結構(定子3、第一定子33)，其包含一電樞列，該電樞列係由沿該預定方向配置之複數個電樞(鐵芯部3a、U相至W相線圈3c至3e、鐵芯部33a、U相至W相線圈33c至33e)形成，且係以一與該磁極列相對之方式設置，以便藉由在該複數個電樞處根據所供應之電力而產生之預定的複數個電樞磁極，在該電樞列與該磁極列之間產生沿該預定方向移動之移動磁場；及一第三結構(第二轉子5、第二旋轉軸7、可移動元件35)，其包含一軟磁性材料元件列，該軟磁性材料元件列係由沿該預定方向以一彼此間隔開之方式配置之預定的複數個軟磁性材料元件(芯部5a、芯部35b)形成，且經配置使得該軟磁性材料元件列位於該磁極列與該電樞列之間，其中在沿該預定方向之一預定區段內，該等電樞磁極之一數量、該等磁極之一數量及該等軟磁性材料元件之一數量之間的一比率係設定為 $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1.0$ )。

根據此電動馬達，該第一結構之該磁極列及該第二結構之該電樞列係以一彼此相對之方式配置，且該第三結構之該軟磁性材料元件列係設置成使其位於該磁極列與該電樞列之間。分別形成該磁極列、該電樞列及該軟磁性材料元件列之複數個磁極、電樞及軟磁性材料元件係沿該預定方向配置。此外，該複數個電樞磁極係根據至該電樞列之電力供應產生，且該等移動磁場係由該等電樞磁極產生於該電樞列與該磁極列之間，並沿預定方向移動。此外，每兩個相鄰磁極彼此具有不同之極性，且每兩個相鄰軟磁性材料元件係彼此間隔開。如上所述，在該磁極列與該電樞列之間，由該複數個電樞磁極產生該等移動磁場，且設置該軟磁性材料元件列，藉此該等軟磁性材料元件係由該等電樞磁極及該等磁極磁化。由於此及每兩個相鄰軟磁性材料元件係彼此間隔開之事實，以一在該等磁極、該等軟磁性材料元件與該等電樞磁極之間連接之方式產生若干磁力線。此外，由該等磁力線所導致之磁力用於將供應至該等電樞之電力轉換為功率，並自該第一結構、該第二結構及該第三結構輸出該功率。

在此情形下，舉例而言，在根據本發明之電動馬達係在以下條件(a)及(b)下構造時，如下所述表示該等移動磁場與該第一及第三結構ST1、ST3之間的速度關係及該第一至第三結構ST1~ST3之間的扭矩關係。此外，一對應於該電動馬達之等效電路係如圖19中所示表達。

(a) 該電動馬達係一旋轉電機，且該等電樞AR具有U

相、V相及W相三相線圈。

(b) 該等電樞磁極之數量為2，且該等磁極MP之數量為4，亦即，該等電樞磁極之一極對數量(其中一N極及一S極形成一個對)具有一1值，該等磁極MP之一極對數量(其中一N極及一S極形成一個對)具有一2值，且該等軟磁性材料元件SM之數量為3。

應注意，如上所述，在該說明書之通篇中，術語「極對」旨在意指一對一N極及一S極。

在此情形下，一磁極MP之一通過該等軟磁性材料元件SM之一第一軟磁性材料元件SM1之磁通量 $\Psi_{k1}$ 係由以下方程式(1)表達：

$$\Psi_{k1} = \psi_f \cdot \cos[2(\theta_2 - \theta_1)] \quad \dots\dots (1)$$

其中 $\Psi_f$ 表示該磁極MP之該磁通量之最大值，且 $\theta_1$ 及 $\theta_2$ 表示該磁極MP相對於U相線圈CU之一旋轉角位置及該軟磁性材料元件SM相對於U相線圈CU之一旋轉角位置。此外，在此情形下，由於該等磁極MP之極對數量與該等電樞磁極之極對數量之比率為2.0，因此該磁極MP之該磁通量以一係該等移動磁場之重複週期兩倍之重複週期旋轉(改變)，以便在上述方程式(1)中指示以2.0乘 $(\theta_2 - \theta_1)$ 之此事實。

因此，一磁極MP之一經由該第一軟磁性材料元件SM1通過U相線圈CU之磁通量 $\Psi_{u1}$ 係由以下藉由將方程式(1)乘以 $\cos\theta_2$ 所獲得之方程式(2)表達。

$$\Psi_{u1} = \psi_f \cdot \cos[2(\theta_2 - \theta_1)] \cos\theta_2 \quad \dots\dots (2)$$

類似地，一磁極MP之一通過該等軟磁性材料元件SM之

一 第二軟磁性材料元件SM2之磁通量 $\Psi_{k2}$ 係由以下方程式

(3)表達：

$$\Psi_{k2} = \psi f \cdot \cos\left[2\left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} - \theta_1\right)\right] \quad \dots\dots (3)$$

該第二軟磁性材料元件SM2相對於該電樞AR之旋轉角位置以 $2\pi/3$ 領先該第一軟磁性材料元件SM1之旋轉角位置，以便在上述方程式(3)中指示將 $2\pi/3$ 添加至 $\theta_2$ 之此事實。

因此，一磁極MP之一經由該第二軟磁性材料元件SM2通過U相線圈CU之磁通量 $\Psi_{u2}$ 係由以下藉由將方程式(3)乘以 $\cos(\theta_2 + 2\pi/3)$ 所獲得之方程式(4)表達。

$$\Psi_{u2} = \psi f \cdot \cos\left[2\left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} - \theta_1\right)\right] \cos\left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3}\right) \quad \dots\dots (4)$$

類似地，一磁極MP之一經由該等軟磁性材料元件SM之一第三軟磁性材料元件SM3通過U相線圈CU之磁通量 $\Psi_{u3}$ 係由以下方程式(5)表達：

$$\Psi_{u3} = \psi f \cdot \cos\left[2\left(\theta_2 + \frac{4\pi}{3} - \theta_1\right)\right] \cos\left(\theta_2 + \frac{4\pi}{3}\right) \quad \dots\dots (5)$$

在圖19中所示之電動馬達中，該磁極MP之一經由該等軟磁性材料元件SM通過U相線圈CU之磁通量 $\Psi_u$ 係藉由添加由上述方程式(2)、(4)及(5)表達之 $\Psi_{u1}$ 至 $\Psi_u$

3來獲得，且因此該磁通量 $\Psi_u$ 係由以下方程式表達：

$$\begin{aligned} \Psi_u = & \psi f \cdot \cos\left[2(\theta_2 - \theta_1)\right] \cos\theta_2 + \psi f \cdot \cos\left[2\left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3} - \theta_1\right)\right] \cos\left(\theta_2 + \frac{2\pi}{3}\right) \\ & + \psi f \cdot \cos\left[2\left(\theta_2 + \frac{4\pi}{3} - \theta_1\right)\right] \cos\left(\theta_2 + \frac{4\pi}{3}\right) \quad \dots\dots (6) \end{aligned}$$

此外，在此方程式(6)為廣義方程式時，該磁極MP之該經由該等軟磁性材料元件SM通過U相線圈CU之磁通量 $\Psi_u$ 係由以下方程式表達：

$$\Psi u = \sum_{i=1}^b \psi f \cdot \cos \left\{ a \left[ \theta_2 + (i-1) \frac{2\pi}{b} - \theta_1 \right] \right\} \cos \left\{ c \left[ \theta_2 + (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] \right\} \dots\dots (7)$$

其中 a、b 及 c 表示該等磁極 MP 之極對數量、該等軟磁性材料元件 SM 之數量及該等電樞磁極之極對數量。

此外，在以上方程式(7)基於總和及三角函數之乘積之公式改變時，獲得以下方程式：

$$\Psi u = \sum_{i=1}^b \frac{1}{2} \cdot \psi f \left\{ \cos \left[ (a+c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 + (a+c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] + \cos \left[ (a-c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 + (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] \right\} \dots\dots (8)$$

在藉由設定  $b=a+c$  及  $\cos(\theta+2\pi)=\cos\theta$  配置此方程式(8)時，獲得以下方程式：

$$\Psi u = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos \left[ (a+c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 \right] + \sum_{i=1}^b \frac{1}{2} \cdot \psi f \left\{ \cos \left[ (a-c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 + (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] \right\} \dots\dots (9)$$

在基於三角函數之加法定理配置此方程式時，獲得以下方程式：

$$\Psi u = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos \left[ (a+c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 \right] + \frac{1}{2} \cdot \psi f \cdot \cos \left[ (a-c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 \right] \sum_{i=1}^b \cos \left[ (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] - \frac{1}{2} \cdot \psi f \cdot \sin \left[ (a-c) \theta_2 - a \cdot \theta_1 \right] \sum_{i=1}^b \sin \left[ (a-c) (i-1) \frac{2\pi}{b} \right] \dots\dots (10)$$

在  $a - c \neq 0$  之條件下基於數列總數及歐拉公式配置方程式(10)之右側上之第二項時，該第二項變成等於 0，如由以下方程式(11)表達：

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^b \cos[(a-c)(i-1)\frac{2\pi}{b}] &= \sum_{i=0}^{b-1} \frac{1}{2} \left\{ e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}i]} + e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}i]} \right\} && 101. 11. 02 \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}b]} - 1}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} + \frac{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}b]} - 1}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{e^{j[(a-c)2\pi]} - 1}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} + \frac{e^{-j[(a-c)2\pi]} - 1}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{0}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} + \frac{0}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} \right\} \\ &= 0 && \dots\dots (11) \end{aligned}$$

此外，在  $a-c \neq 0$  之條件下基於數列總數及歐拉公式配置上述方程式(10)之右側上之第三項時，該第三項亦變成等於0，如由以下方程式(12)表達：

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^b \sin[(a-c)(i-1)\frac{2\pi}{b}] &= \sum_{i=0}^{b-1} \frac{1}{2} \left\{ e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}i]} - e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}i]} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}b]} - 1}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} - \frac{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}b]} - 1}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{e^{j[(a-c)2\pi]} - 1}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} - \frac{e^{-j[(a-c)2\pi]} - 1}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{0}{e^{j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} - \frac{0}{e^{-j[(a-c)\frac{2\pi}{b}] - 1}} \right\} \\ &= 0 && \dots\dots (12) \end{aligned}$$

根據上文，在  $a-c \neq 0$  成立時，該磁極MP之該經由該等軟磁性材料元件SM通過U相線圈CU之磁通量  $\Psi_u$  係由以下方程式(13)表達：

$$\Psi_u = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos[(a+c)\theta_2 - a \cdot \theta_1] \quad \dots\dots (13)$$

此外，在此方程式(13)中，若  $a/c = \alpha$  成立，則獲得以下方

程式(14)：

$$\Psi_u = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos[(\alpha+1)c \cdot \theta_2 - \alpha \cdot c \cdot \theta_1] \quad \dots\dots (14)$$

此外，在此方程式(14)中，若  $c \cdot \theta_2 = \theta_{e2}$  且  $c \cdot \theta_1 = \theta_{e1}$  成立，則獲得以下方程式(15)：

$$\Psi_u = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos[(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1}] \quad \dots\dots (15)$$

在此方程式中，如自  $\theta_{e2}$  係藉由將該軟磁性材料元件 SM 相對於 U 相線圈 CU 之旋轉角位置  $\theta_2$  乘以該等電樞磁極之極對數量  $c$  獲得之事實顯而易見， $\theta_{e2}$  表示該軟磁性材料元件 SM 相對於 U 相線圈 CU 之電角位置。此外，如自  $\theta_{e1}$  係藉由將該磁極 MP 相對於 U 相線圈 CU 之旋轉角位置  $\theta_1$  乘以該等電樞磁極之極對數量  $c$  獲得之事實顯而易見， $\theta_{e1}$  表示該磁極 MP 相對於 U 相線圈 CU 之電角位置。

類似地，由於 V 相線圈 CV 之電角位置以電角度  $2\pi/3$  領先 U 相線圈 CU 之電角位置，因此該磁極 MP 之經由該等軟磁性材料元件 SM 通過 V 相線圈 CV 之磁通量  $\Psi_v$  係由以下方程式(16)表達。此外，由於 W 相線圈 CW 之電角位置以電角度  $2\pi/3$  領先 U 相線圈 CU 之電角位置，因此該磁極 MP 之經由該等軟磁性材料元件 SM 通過 W 相線圈 CW 之磁通量  $\Psi_w$  係由以下方程式(17)表達：

$$\Psi_v = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos[(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} - \frac{2\pi}{3}] \quad \dots\dots (16)$$

$$\Psi_w = \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos[(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} + \frac{2\pi}{3}] \quad \dots\dots (17)$$

此外，在將分別由上述方程式(15)至(17)表達之磁通量  $\Psi_u$  至  $\Psi_w$  對時間求導時，獲得以下方程式(18)至(20)：

$$\frac{d\Psi_u}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{ [(\alpha+1)\omega e_2 - \alpha \cdot \omega e_1] \sin [(\alpha+1)\theta e_2 - \alpha \cdot \theta e_1] \} \quad 101.11.02$$

..... (18)

$$\frac{d\Psi_v}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{ [(\alpha+1)\omega e_2 - \alpha \cdot \omega e_1] \sin [(\alpha+1)\theta e_2 - \alpha \cdot \theta e_1 - \frac{2\pi}{3}] \}$$

..... (19)

$$\frac{d\Psi_w}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{ [(\alpha+1)\omega e_2 - \alpha \cdot \omega e_1] \sin [(\alpha+1)\theta e_2 - \alpha \cdot \theta e_1 + \frac{2\pi}{3}] \}$$

..... (20)

其中  $\omega e_1$  表示一藉由將  $\theta e_1$  對時間求導所獲得之值，亦即，一藉由將該第一結構 ST1 相對於該第二結構 ST2 之角速度轉換為一電角速度所獲得之值，且  $\omega e_2$  表示一藉由將  $\theta e_2$  對時間求導所獲得之值，亦即，一藉由將該第三結構 ST3 相對於該第二結構 ST2 之角速度轉換為一電角速度所獲得之值。

此外，直接通過 U 相至 W 相線圈 CU~CW 而不經由該等軟磁性材料元件 SM 之磁通量極小，且因此其影響可忽略。因此，係藉由將該等磁極 MP 之經由該等軟磁性材料元件 SM 通過 U 相至 W 相線圈 CU~CW 之磁通量  $\Psi_u$  至  $\Psi_w$  (方程式 (18) 至 (20)) 對時間求導所獲得之值之  $d\Psi_u/dt$  至  $d\Psi_w/dt$  分別表示在該等磁極 MP 及該等軟磁性材料元件 SM 相對於該電樞列旋轉 (移動) 時於 U 相至 W 相線圈 CU~CW 中產生之反電動勢電壓 (感應電動電壓)。

根據上文，流過 U 相、V 相及 W 相線圈 CU、CV、CW 之電流  $I_u$ 、 $I_v$  及  $I_w$  分別係由以下方程式 (21)、(22) 及 (23) 表達：

$$I_u = I \cdot \sin [(\alpha+1)\theta e_2 - \alpha \cdot \theta e_1] \quad \text{..... (21)}$$

$$I_v = I \cdot \sin[(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} - \frac{2\pi}{3}] \quad \dots (22)$$

$$I_w = I \cdot \sin[(\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} + \frac{2\pi}{3}] \quad \dots (23)$$

其中 I 表示流過 U 相至 W 相線圈 CU~CW 之每一電流之振幅(最大值)。

此外，根據以上方程式(21)至(23)，一移動磁場(旋轉磁場)之向量相對於 U 相線圈 CU 之電角位置  $\theta_{mf}$  係由以下方程式(24)表達，且該移動磁場相對於 U 相線圈 CU 之電角速度  $\omega_{mf}$  係由以下方程式(25)表達：

$$\theta_{mf} = (\alpha+1)\theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} \quad \dots (24)$$

$$\omega_{mf} = (\alpha+1)\omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1} \quad \dots (25)$$

此外，在一其中該電樞列以及該第二結構 ST2 組態為不可移動之情形下，假定一磁阻相關聯部分自此排除，藉由使電流  $I_u$  至  $I_w$  流過 U 相至 W 相線圈 CU~CW 而輸出至該第一及第三結構 ST1、ST3 之機械輸出(功率) W 係由以下方程式(26)表示：

$$W = \frac{d\psi_u}{dt} \cdot I_u + \frac{d\psi_v}{dt} \cdot I_v + \frac{d\psi_w}{dt} \cdot I_w \quad \dots (26)$$

在將方程式(18)至(23)代入此方程式(26)中以便配置，獲得以下方程式(27)：

$$W = -\frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi_f \cdot I [(\alpha+1)\omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1}] \quad \dots (27)$$

此外，此機械輸出 W、經由該等磁極 MP 傳輸至該第一結構 ST1 之扭矩  $T_1$  (在下文中稱為「第一扭矩  $T_1$ 」)、經由該等軟磁性材料元件 SM 傳輸至該第三結構 ST3 之扭矩  $T_2$  (在下文中稱為「第二扭矩  $T_2$ 」)、該第一結構 ST1 之電角速度及

該第三結構ST3之電角速度 $\omega_{e2}$ 之間的關係係由以下方程式<sup>101, 11, 02</sup>  
(28)表達：

$$W = T_1 \cdot \omega_{e1} + T_2 \cdot \omega_{e2} \quad \dots (28)$$

如自以上方程式(27)及(28)顯而易見，該第一及第二扭矩 $T_1$ 及 $T_2$ 係由以下方程式(29)及(30)表達：

$$T_1 = \alpha \cdot \frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi f \cdot I \quad \dots (29)$$

$$T_2 = -(\alpha + 1) \cdot \frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi f \cdot I \quad \dots (30)$$

此外，在扭矩等效於供應至該電樞列之電力且移動磁場之電角速度 $\omega_{mf}$ 界定為驅動等效扭矩 $T_e$ 時，由於該供應至該電樞列之電力及該機械輸出 $W$ 彼此相等(假定忽略損失)，因此根據方程式(28)，該驅動等效扭矩 $T_e$ 係由以下方程式(31)表達：

$$T_e = \frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi f \cdot I \quad \dots (31)$$

此外，藉由使用以上方程式(29)至(31)，獲得以下方程式(32)：

$$T_e = \frac{T_1}{\alpha} = \frac{-T_2}{(\alpha + 1)} \quad \dots (32)$$

由方程式(32)表達之扭矩之間的關係及由上述方程式(25)表達之電角速度之間的關係係與一行星齒輪單元中太陽齒輪、環形齒輪及載體中旋轉速度之間的關係及扭矩之間的關係完全相同。此外，電角速度之間的此關係及扭矩之間的關係不僅在其中該第二結構ST2組態為不可移動之上述情形下且亦在所有關於該第一至第三結構ST1~ST3之可移動性條件下成立。舉例而言，以上關係亦在不將該第

二結構ST2組態為不可移動且在於一其中將功率輸入至該第二結構ST2之狀態下供應電力時、在除該第二結構ST2外將該第一或第三結構ST1、ST3組態為不可移動時且在於一其中將功率輸入至該第一或第三結構ST1、ST3之狀態下將電力供應至該電樞列時成立。此外，該等關係亦在將該第二結構ST2組態為可移動且同時將該第一及/或第三結構ST1、ST3組態為不可移動時或在在一其中將功率輸入至該第一及/或第三結構ST1、ST3之狀態下供應電力時成立。

此外，如上所述，在 $b=a+c$ 且 $a-c \neq 0$ 成立之條件下，由方程式(25)表達之電角速度之間的關係及由方程式(32)表達式之扭矩之間的關係成立。以上條件 $b=a+c$ 係由 $b=(p+q)/2$ 表達，亦即， $b/q=(1+p/q)/2$ ，假定該等磁極MP之數量為 $p$ 且該等電樞磁極之數量為 $q$ 。此處，如自若 $p/q=m$ 成立，則獲得 $b/q=(1+m)/2$ 之事實顯而易見，以上條件 $b=a+c$ 之滿足表示該等電樞磁極之數量、該等磁極MP之數量及該等軟磁性材料元件SM之數量之間的比率為 $1:m:(1+m)/2$ 。此外，以上條件 $a-c \neq 0$ 之滿足表示 $m \neq 1.0$ 成立。根據本發明之電動馬達，在沿該預定方向之該預定區段中，該等電樞磁極之數量、該等磁極MP之數量及該等軟磁性材料元件SM之數量之間的比率係設定為 $1:m:(1+m)/2$  ( $m \neq 1.0$ )，且因此由方程式(25)表達之電角速度之間的關係及由方程式(32)表達之扭矩之間的關係成立，根據此應理解，電動馬達適當地操作。

此外，不同於上述習用情形，可但單獨由單個軟磁性材料元件SM列操作該電動馬達，且因此可減小該電動馬達

之大小及製造成本。此外，如自方程式(25)及(32)顯而易見，藉由設定 $\alpha=a/c$ ，亦即，該等磁極MP之極對數量與該等電樞磁極之極對數量之比率，可自由地設定該等移動磁場及該第二及第三結構ST2、ST3之電角速度之間的關係及該第一至第三結構ST1、ST3之扭矩之間的關係，且因此可增強該電動馬達之設計自由度。亦可在該複數個電樞之線圈之相數量不同於上述3時且亦在該電動馬達非係旋轉電機但一線性馬達時獲得若干相同有利效應。應理解，在該電動馬達係一線性馬達，可自由地設定「推力」之間的關係，但不可自由地設定「扭矩」之間的關係。

如技術方案2所主張之本發明係如技術方案1所主張之電動馬達1、31，其進一步包括：相對位置關係偵測機構(第一旋轉位置感測器21、第二旋轉位置感測器22、電角度轉換器16b、位置感測器41)，其偵測該第一至第三結構之間的一相對位置關係；及控制機構(ECU 16)，其基於所偵測到之該第一至第三結構之間的該相對位置關係來控制移動磁場。

藉助此配置，該相對位置關係偵測機構偵測該第一至第三結構之間的相對位置關係，且該控制機構基於所偵測到之該第一至第三結構之間的該相對位置關係來控制移動磁場。此使得可在該等磁極、該等軟磁性材料元件及該等電樞磁極之間適當地產生磁力線，以藉此致使藉由該等磁力線之磁力作用。因此，可確保該電動馬達之適當操作。

如技術方案3所主張之本發明係如技術方案2所主張之電動馬達1、31，其中該相對位置關係偵測機構(第一旋轉位

置感測器 21、第二旋轉位置感測器 22、電角度轉換器 16b) 偵測該第一結構及該第三結構相對於該第二結構之電角位置分別作為該第一至第三結構之間的相對位置關係，且其中該控制機構基於一將所偵測到之該第三結構之電角位置(第二轉子電角度  $\theta_{ER2}$ ) 乘以  $(1+m)$  所獲得之值與一將所偵測到之該第一結構之電角位置(第一轉子電角度  $\theta_{ER1}$ ) 乘以  $m$  所獲得之值之間的差來控制移動磁場。

藉助此配置，基於將所偵測到之該第三結構相對於該第二結構之電角位置乘以  $(1+m)$  所獲得之值與將所偵測到之該第一結構相對於該第二結構之電角位置乘以  $m$  所獲得之值之間的差來控制移動磁場。如自技術方案 1 顯而易見， $m$  表示該等磁極之數量與該等電樞磁極之數量之比率。此外，如上文所述關於技術方案 1 之操作，在該電動馬達在操作中時，移動該等移動磁場之電角位置及該第二及第三結構之電角位置之間的關係係由方程式 (24) 表達。在方程式 (24) 中， $\alpha$  表示該等磁極之極對數量與該等電樞磁極之極對數量之比率 ( $a/c$ )，亦即，該等磁極之數量與該等電樞磁極之數量之比率，其等於  $m$ 。因此，藉助上述配置，可確保該電動馬達之一更適當操作。

如技術方案 4 所主張之本發明係如技術方案 1 至 3 中任一技術方案所主張之電動馬達 1、31，其中該等磁極係永久磁鐵 4a、34a 之磁極。

藉助此配置，使用該等永久磁鐵之磁極作為磁極，且因此不同於其中使用電磁鐵之磁極之情形，可省卻若干用於

向該等電磁鐵供應電力之電路及線圈。此使得可進一步減小該電動馬達之大小以簡化其構造。此外，舉例而言，在該具有若干磁極之第一結構組態為可旋轉時，在使用電磁鐵之磁極作為磁極時可省卻一用於向該等電磁鐵供應電力之滑動環，藉此使得可減小該電動馬達之大小並增加其效率。

如技術方案5所主張之本發明係如技術方案1所主張之電動馬達1，其中該電動馬達係一旋轉電機。

藉助此配置，可獲得一旋轉電機之若干如關於技術方案1所述之有利效應。

如技術方案6所主張之本發明係如技術方案1所主張之電動馬達31，其中該電動馬達係一線性馬達。

藉助此配置，可獲得一線性馬達之若干如關於技術方案1所述之有利效應。

### 【實施方式】

現將參照顯示本發明之一較佳實施例之圖式詳細描述本發明。圖1顯示一根據本發明之一第一實施例之電動馬達1。電動馬達1組態為一旋轉電機，其操作係由圖2中所示之一ECU 16加以控制。參照圖1，電動馬達1係由如下組成：一不可移動外殼2；一定子3，其設置於外殼2內；一第一轉子4，其以一與定子3相對之方式設置於外殼2內；一第二轉子5，其設置於兩者3與4之間；一第一旋轉軸6及一第二旋轉軸7。應注意，在圖1中，為便於圖解說明而以一骨架式圖示狀方式圖解說明某些元件(例如第一旋轉軸6

及類似元件)。此外，在圖1及在下文中所涉及之其他圖中，省略圖解說明橫截面之部分中之陰影。

外殼2包含一空芯部圓柱形週邊壁2a及一對配置於週邊壁2a之相反端上之盤形側壁2b及2c，其係彼此整合地形成在一起。側壁2b及2c在其相應中芯部中具有裝配孔2d及2e，且軸承8及9分別裝配於裝配孔2d及2e中。

上述第一及第二旋轉軸6及7分別以可旋轉方式由軸承8及9支撐，且係彼此同芯部地配置。此外，第一及第二旋轉軸6及7各自使其一部分容納於外殼2中，且其剩餘部分自外殼2向外延伸。此外，上述定子3、第二轉子3及第一轉子4係沿第一旋轉軸6之半徑方向(在下文中簡稱為「沿徑向方向或徑向」)自外部按所述次序彼此同芯部地配置。

定子3係用於產生旋轉磁場且如圖3中所示包含一鐵芯部3a及提供於鐵芯部3a上之U相、V相及W相線圈3c、3d及3e。應注意，在圖1中，為便利起見僅顯示U相線圈3c。具有一藉由層壓複數個鋼板形成之空芯部圓柱形形狀之鐵芯部3a沿第一旋轉軸6之軸方向(在下文中簡稱為「沿軸向方向」或「軸向」)延伸，並安裝於外殼2之週邊壁2a之內週邊表面上。此外，鐵芯部3a之內週邊表面形成有十二個槽3b。槽3b沿軸向方向延伸，且沿第一旋轉軸6之圓周方向(在下文中簡稱為「沿圓周方向」或「沿圓周」)以均等間隔開之間隔配置。U相至W相線圈3c至3e藉助分佈繞組(波形繞組)纏繞於槽3b中，並連接至一可變電源15(見圖2)。

可變電源 15 係一由一反相器及一電池組成之電路之一組合，且連接至 ECU 16。

在如上組態之定子 3 中，在自可變電源 15 供應電力時，在鐵芯部 3a 之一端處朝向第一轉子 4 沿圓周方向以均等間隔開之間隔產生四個磁極(見圖 5)，且由該等磁極所導致之旋轉磁場沿圓周方向旋轉。在下文中，將於鐵芯部 3a 上產生之該等磁極稱為「電樞磁極」。此外，沿圓周相鄰於彼此之每兩個電樞磁極彼此具有不同之極性。應注意，在圖 5 及在下文中所涉及之其他圖中，該等電樞磁極係由鐵芯部 3a 及 U 相至 W 相線圈 3c 至 3e 上方之(N)及(S)表示。

如圖 3 中所示，第一轉子 4 包含一由八個永久磁鐵 4a 組成之磁極列。該等永久磁鐵 4a 係沿圓周方向以均等間隔開之間隔配置，且該磁極列係與鐵芯部 3a 相對。每一個永久磁鐵 4a 沿軸向方向延伸，且其沿軸向方向之長度係設定為與定子 3 之鐵芯部 3a 之長度相同之長度。

此外，永久磁鐵 4a 安裝於一環形固定部分 4b 之一外週邊表面上。此環形固定部分 4b 係藉由層壓若干軟磁性材料元件(例如，鐵或複數個銅板)形成，且使其一內週邊表面附接至一與第一旋轉軸 6 整合地同芯部形成在一起之盤形凸緣 4c 之外週邊表面。因此，包含永久磁鐵 4a 之第一轉子 4 可與第一旋轉軸 6 一致地旋轉。此外，如上所述，永久磁鐵 4a 附接至由該等軟磁性材料元件形成之環形固定部分 4b 之外週邊表面，且因此一磁極(N)或(S)朝向定子 3 出現於每一個永久磁鐵 4a 之一端上。應注意，在圖 3 及在下文中所

涉及之其他圖中，永久磁鐵4a之磁極係由(N)及(S)表示。此外，沿圓周相鄰於彼此之每兩個永久磁鐵4a彼此具有不同之極性。

第二轉子5包含一由六個芯部5a組成之軟磁性材料元件列。該等芯部5a係沿圓周方向以均等間隔開之間隔配置，且該軟磁性材料元件列係以預定間隔開之間隔設置與定子3之鐵芯部3a與第一轉子4之間。每一個芯部5a係藉由層壓若干軟磁性材料元件(例如複數個鋼板)形成，且沿軸向方向延伸。此外，類似於永久磁鐵4a，芯部5a沿軸向方向下長度係設定為與定子3之鐵芯部3a之長度相同之長度。此外，芯部5a藉助一稍微沿軸向方向延伸之空芯部圓柱形連接部分5c安裝於一盤形凸緣5b之一外端上。此凸緣5b係與第二旋轉軸7整合地同芯部形成在一起。此配置使得包含芯部5a之第二轉子5可與第二旋轉軸7一致地旋轉。應注意，在圖3中，為便利起見而省略連接部分5c及凸緣5b。

此外，如圖2中所示，電動馬達1具有一第一旋轉位置感測器21及一第二旋轉位置感測器22，其各自具有一電磁感應類型。第一旋轉位置感測器21偵測第一轉子4之一特定永久磁鐵4a相對於定子3之一特定U相線圈3c(在下文中稱為「參考線圈」)之旋轉角度位置(在下文中稱為「第一轉子旋轉角度 $\theta_{R1}$ 」)，並將一指示所感測之第一轉子旋轉角度 $\theta_{R1}$ 之信號遞送至ECU 16。上述第二旋轉位置感測器22偵測第二轉子5之一特定芯部5a相對於該參考線圈之旋轉角度位置(在下文中稱為「第二轉子旋轉角度 $\theta_{R2}$ 」)，並

將一指示所感測之第二轉子旋轉角度 $\theta_{R2}$ 之信號遞送至ECU 16。

此外，電動馬達1具有一第一電流感測器23及一第二電流感測器24。第一及第二電流感測器23及24偵測流過相應U相及V相線圈3c及3d之電流(在下文中稱為「U相電流 $I_u$ 」及「V相電流 $I_v$ 」)，並分別將指示所感測之U相電流 $I_u$ 及V相電流 $I_v$ 之信號遞送至ECU 16。

ECU 16係由一由一I/O介面、一CPU、一RAM及一ROM組成之微電腦構建，並基於來自上述感測器21至24之偵測信號控制電動馬達1之操作。

應注意，在本實施例中，永久磁鐵4a對應於本發明中之磁極，且第一轉子4及第一旋轉軸6對應於本發明中之一第一結構。此外，鐵芯部3a及U相至W相線圈3c至3e對應於本發明中之電樞，且定子3對應於本發明中之一第二結構。此外，芯部5a對應於本發明中之軟磁性材料元件，且第二轉子5及第二旋轉軸7對應於本發明中之一第三結構。此外，ECU 16對應於本發明中之控制機構，且第一及第二旋轉位置感測器21及22對應於本發明中之相對位置關係偵測機構。

如上文所述，電動馬達1包含四個電樞磁極、永久磁鐵4a之八個磁極(在下文中稱為「磁鐵磁極」)及六個芯部5a。亦即，該等電樞磁極之數量、該等磁鐵磁極之數量及芯部5a之數量之間的比率(在下文中稱為「極數量比」)係設定為 $1 : 2.0 : (1+2.0)/2$ 。如自此設定及上述方程式(18)

至(20)顯而易見，在第一轉子4及第二轉子5相對於定子3旋轉時由U相至W相線圈3c至3e產生之反電動勢電壓(在下文中分別稱為「U相反電動勢電壓 $V_{cu}$ 」、「V相反電動勢電壓 $V_{cv}$ 」及「W相反電動勢電壓 $V_{cw}$ 」)係由以下方程式(33)、(34)及(35)表達。

$$V_{cu} = -3 \cdot \psi F [(3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1}) \sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1})] \quad \dots\dots (33)$$

$$V_{cv} = -3 \cdot \psi F [(3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1}) \sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2\pi}{3})] \quad \dots\dots (34)$$

$$V_{cw} = -3 \cdot \psi F [(3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1}) \sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2\pi}{3})] \quad \dots\dots (35)$$

在該等方程式中， $I$ 表示流過U相至W相線圈3c至3e之電流之振幅(最大值)，且 $\Psi F$ 表示該等磁鐵磁極之磁通量之最大值。 $\theta_{ER1}$ 表示一將作為一所謂的機械角度之第一轉子旋轉角度 $\theta_{R1}$ 轉換為一電角位置(在下文中稱為「第一轉子電角度」)所獲得之值，亦即，一藉由將該第一轉子旋轉角度 $\theta_{R1}$ 乘以該等電樞磁極之一極對數量(亦即，2值)所獲得之值。 $\theta_{ER2}$ 表示一藉由將作為一機械角度之第二轉子旋轉角度 $\theta_{R2}$ 轉換為一電角位置(在下文中稱為「第二轉子電角度」)所獲得之值，更具體而言，一藉由將該第二轉子旋轉角度 $\theta_{R2}$ 乘以該等電樞磁極之一極對數量(亦即，2值)所獲得之值。此外， $\omega_{ER1}$ 表示一藉由將 $\theta_{ER1}$ 對時間求導所獲得之值，亦即，一藉由將第一轉子4相對於定子3之一角速度轉換為一電角速度(在下文中稱為「第一轉子電角速度」)所獲得之值。此外， $\omega_{ER2}$ 表示一藉由將 $\theta_{ER2}$ 對時

間求導所獲得之值，亦即，一藉由將第二轉子5相對於定子3之一角速度轉換為一電角速度(在下文中稱為「第二轉子電角速度」)所獲得之值。

此外，如自上述極數量比及上述方程式(21)至(23)顯而易見，U相電流 $I_u$ 、V相電流 $I_v$ 及流過W相線圈3e之電流(在下文中稱為「W相電流 $I_w$ 」)係分別由以下方程式(36)、(37)及(38)表達。

$$I_u = I \cdot \sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) \quad \dots\dots (36)$$

$$I_v = I \cdot \sin\left(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2\pi}{3}\right) \quad \dots\dots (37)$$

$$I_w = I \cdot \sin\left(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2\pi}{3}\right) \quad \dots\dots (38)$$

此外，如自上述極數量比及上述方程式(24)及(25)顯而易見，定子3之旋轉磁場之一向量相對於參考線圈之電角位置(在下文中稱為「磁場電角位置 $\theta_{MFR}$ 」)係由以下方程式(39)表達，且該等旋轉磁場相對於定子3之電角速度(在下文中稱為「磁場電角速度 $\omega_{MFR}$ 」)係由以下方程式(40)表達：

$$\theta_{MFR} = 3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} \quad \dots\dots (39)$$

$$\omega_{MFR} = 3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1} \quad \dots\dots (40)$$

因此，在磁場電角速度 $\omega_{MFR}$ 、第一轉子電角速度 $\omega_{ER1}$ 及第二轉子電角速度 $\omega_{ER2}$ 之間的關係係由一所謂的共線圖表達時，例如，可如圖4中所示。

此外，假定扭矩等效於供應至定子3之電力且磁場電角速度 $\omega_{MFR}$ 係一驅動等效扭矩 $T_{SE}$ ，如自上述極數量比及

上述方程式(32)顯而易見，驅動等效扭矩TSE、傳輸至第一轉子4之扭矩TR1(在下文中稱為「第一轉子傳輸扭矩TR1」)及傳輸至第二轉子5之扭矩TR2(在下文中稱為「第二轉子傳輸扭矩TR2」)之間的關係係由以下方程式(41)表達：

$$TSE = \frac{TR1}{2} = \frac{-TR2}{3} \quad \dots\dots (41)$$

由方程式(40)表達之電角速度之關係及由方程式(41)表達之扭矩之間的關係係與一太陽齒輪及與環形齒輪之間具有一設定為1：2之齒輪比之行星齒輪單元之太陽齒輪之旋轉速度、環形齒輪之旋轉速度及載體之旋轉速度之間的關係及其扭矩之間的關係完全相同。

ECU 16基於上述方程式(39)控制對U相至W相線圈3c至3e之激勵以藉此控制旋轉磁場。更具體而言，如圖2中所示，ECU 16包含一目標電流計算區段16a、一電角度轉換器16b、一電流坐標轉換器16c、一差計算區段16d、一電流控制器16e及一電壓坐標轉換器16f，並藉助所謂的向量控制控制U相至W相之電流I<sub>u</sub>、I<sub>v</sub>及I<sub>w</sub>以藉此控制旋轉磁場。應注意，在本實施例中，電角度轉換器16b對應於相對位置關係偵測機構。

目標電流計算區段16a計算在下文中所涉及之d軸電流I<sub>d</sub>及q軸電流I<sub>q</sub>之相應目標值(在下文中稱為「目標d軸電流I<sub>d\_tar</sub>」及「目標q軸電流I<sub>q\_tar</sub>」)，並將所計算之目標d軸電流I<sub>d</sub>及目標q軸電流I<sub>q</sub>遞送至差計算區段16d。應注

意，該等目標 d 軸電流  $I_{d\_tar}$  及目標 q 軸電流  $I_{q\_tar}$  係 (例如) 根據電動馬達 1 上之負載計算。

藉助第一及第二旋轉位置感測器 21 及 22 偵測之第一及第二轉子旋轉角度  $\theta_{R1}$  及  $\theta_{R2}$  輸入至電角度轉換器 16b。電角度轉換器 16b 藉由將輸入第一及第二轉子旋轉角度  $\theta_{R1}$  及  $\theta_{R2}$  乘以電樞磁極之極對數量 (值 2) 來計算第一及第二轉子電角度  $\theta_{ER1}$  及  $\theta_{ER2}$ ，並將所計算之第一及第二轉子電角度  $\theta_{ER1}$  及  $\theta_{ER2}$  遞送至電流坐標轉換器 16c 及電壓坐標轉換器 16f。

除第一及第二轉子電角度  $\theta_{ER1}$  及  $\theta_{ER2}$  之外，藉助第一及第二電流感測器 23 及 24 偵測之 U 相及 V 相電流  $I_u$  及  $I_v$  分別輸入至電流坐標轉換器 16c。電流坐標轉換器 16c 基於輸入 U 相及 V 相電流  $I_u$  及  $I_v$  以及第一及第二轉子電角度  $\theta_{e1}$  及  $\theta_{e2}$  將一三相 AC 坐標系上之當前 U 相至 W 相電流  $I_u$  至  $I_w$  轉換為一 dq 坐標系上之 d 軸電流  $I_d$  及 q 軸電流  $I_q$ 。該 dq 坐標系以  $(3 \cdot \omega_{ER2} - 2 \cdot \omega_{ER1})$  旋轉，其中  $(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1})$  作為 d 軸，且一正交於 d 軸之軸作為 q 軸。更具體而言，d 軸電流  $I_d$  及 q 軸電流  $I_q$  係根據以下方程式 (42) 計算：

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) & \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2}{3} \pi) & \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2}{3} \pi) \\ -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2}{3} \pi) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2}{3} \pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_u \\ I_v \\ I_w \end{bmatrix} \dots\dots (42)$$

此外，電流坐標轉換器 16c 將所計算之 d 軸電流  $I_d$  及 q 軸電流  $I_q$  遞送至差計算區段 16d。

差計算區段 16d 計算輸入目標 d 軸電流  $I_{d\_tar}$  與 d 軸電流  $I_d$  之間的差(在下文中稱為「d 軸電流差  $dI_d$ 」)，並計算輸入目標 q 軸電流  $I_{q\_tar}$  與 q 軸電流  $I_q$  之間的差(在下文中稱為「q 軸電流差  $dI_q$ 」)。此外，差計算區段 16d 將所計算之 d 軸電流差  $dI_d$  及 q 軸電流差  $dI_q$  遞送至電流控制器 16e。

電流控制器 16e 基於輸入 d 軸電流差  $dI_d$  及 q 軸電流差  $dI_q$  藉助一預定回饋控制演算法(例如，一 PI 控制演算法)來計算一 d 軸電壓  $V_d$  及一 q 軸電壓  $V_q$ 。此致使將該 d 軸電壓  $V_d$  計算為使得該 d 軸電流  $I_d$  變成等於目標 d 軸電流  $I_{d\_tar}$ ，且將該 q 軸電壓  $V_q$  計算為使得該 q 軸電流  $I_q$  變成等於目標 q 軸電流  $I_{q\_tar}$ 。此外，電流控制器 16e 將所計算之 d 軸及 q 軸電壓  $V_d$  及  $V_q$  遞送至電壓坐標轉換器 16f。

電壓坐標轉換器 16f 基於輸入第一及第二轉子電角度  $\theta_{ER1}$  及  $\theta_{ER2}$  將輸入 d 軸電壓  $V_d$  及 q 軸電壓  $V_q$  轉換為三相 AC 坐標系上 U 相至 W 相電壓  $V_u$ 、 $V_v$  及  $V_w$  之命令值(在下文中稱為「U 相電壓命令值  $V_{u\_cmd}$ 」、「V 相電壓命令值  $V_{v\_cmd}$ 」及「W 相電壓命令值  $V_{w\_cmd}$ 」)。更具體而言，該等 U 相至 W 相電壓命令值  $V_{u\_cmd}$  至  $V_{w\_cmd}$  係根據以下方程式(43)計算：

$$\begin{bmatrix} V_{u\_cmd} \\ V_{v\_cmd} \\ V_{w\_cmd} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1}) \\ \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2}{3}\pi) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} - \frac{2}{3}\pi) \\ \cos(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2}{3}\pi) & -\sin(3 \cdot \theta_{ER2} - 2 \cdot \theta_{ER1} + \frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} \quad \dots\dots (43)$$

此外，電壓坐標轉換器 16f 將所計算之 U 相至 W 相電壓命

令值  $V_u\_cmd$  至  $V_w\_cmd$  遞送至上述可變電源 15。

據此，可變電源 15 將 U 相至 W 相電壓  $V_u$  至  $V_w$  供應至電動馬達 1 以使得該等 U 相至 W 相電壓  $V_u$  至  $V_w$  分別變成等於相應 U 相至 W 相電壓命令值  $V_u\_cmd$  至  $V_w\_cmd$ ，藉此控制 U 相至 W 相電流  $I_u$  至  $I_w$ 。在此情形下，該等電流  $I_u$  至  $I_w$  係分別由上述方程式 (36) 至 (38) 表示。此外，電流之振幅  $I$  係基於目標 d 軸電流  $I_{d\_tar}$  及目標 q 軸電流  $I_{q\_tar}$  確定。

藉助由 ECU 16 之上述控制，控制磁場電角位置  $\theta_{MFR}$  以使上述方程式 (39) 成立，且控制磁場電角速度  $\omega_{MFR}$  以使上述方程式 (40) 成立。

例如如下使用如上組態之電動馬達 1：在一其中第一及第二轉子 4 及 5 中之一者固定或將功率輸入至其中之一者之狀態下，將供應至定子 3 之電力轉換為功率並自其中之另一者輸出。此外，在自第一及第二轉子 4 及 5 兩者同時輸出功率時，使用該功率作為一裝置（例如，反向旋轉螺旋槳）之一驅動源，其中滿足方程式 (41) 之負扭矩同時作用於第一及第二轉子 4 及 5。

接著，將給出對供應至定子 3 之電力怎樣轉換為功率並自第一轉子 4 及第二轉子 5 輸出之一更具體描述。首先，將參照圖 5 至 7 描述一其中電力在一其中第一轉子 4 固定之狀態下供應至定子 3 之情形。應注意，在圖 5 至 7 中，為便利起見而省略指示複數個組成元件之參考編號。此亦可應用於在下文中所涉及之其他圖。此外，在圖 5 至 7 中，為清楚起見，用陰影指示一個相同電樞磁極及一個相同芯部 5a。

首先，如圖5(a)中所示，根據一其中一某一芯部5a之中芯部與一某一永久磁鐵4a之中芯部沿圓周彼此重合且自該某一芯部5a開始每三個芯部5a之中芯部與自該某一永久磁鐵4a開始每四個永久磁鐵4a之中芯部沿圓周彼此重合之狀態，旋轉磁場產生成使其向右旋轉，如圖5(a)中所觀察。在旋轉磁場產生之開始，致使具有相同極性之每兩個電樞磁極之位置沿圓周與永久磁鐵4a之中芯部重合，永久磁鐵4a之中芯部係與芯部5a之中芯部重合，且使得該等電樞磁極之極性不同於永久磁鐵4a之該等磁鐵磁極之極性。

如上文所述，旋轉磁場係由定子3產生於定子3與第一轉子4之間，且具有芯部5a之第二轉子5係設置於定子3與第一轉子4之間，以使得芯部5a藉由該等電樞磁極及該等磁鐵磁極而磁化。由於此事實及相鄰於間隔之芯部5a彼此間隔開之事實，以一連接該等電樞磁極、芯部5a及該等磁鐵磁極之方式產生若干磁力線ML。應注意，在圖5至7中，為便利起見而省略鐵芯部3a及固定部分4b之磁力線ML。此亦應用於在下文中所涉及之其他圖。

在圖5(a)中所示之狀態中，該等磁力線ML經產生成使其各自連接其圓周位置彼此重合之一電樞磁極、一芯部5a及一磁鐵磁極，且同時其連接沿圓周相鄰於以上電樞磁極、芯部5a及磁鐵磁極之相反側之若干電樞磁極、若干芯部5a及若干磁鐵磁極。此外，在此狀態下，由於該等磁力線ML筆直，因此無用於沿圓周旋轉芯部5a之磁力作用於芯部5a。

在電樞磁極根據旋轉磁場之旋轉自圖5(a)中所示之位置

旋轉至圖 5(b)中所示之相應位置時，該等磁力線 ML 彎曲，且因此磁力作用於芯部 5a，以使該等磁力線 ML 變成筆直。在此情形下，該等磁力線 ML 在芯部 5a 處以一沿與旋轉磁場之旋轉方向(在下文中稱為「磁場旋轉方向」)相反之方向相對於各自連接藉由該等磁力線 ML 中之一相關聯者彼此連接之一電樞磁極及一磁鐵磁極之直線凸出成曲線之方式彎曲。因此，上述磁力作用於芯部 5a 以沿磁場旋轉方向驅動芯部 5a。芯部 5a 係藉助由該等磁力線 ML 所導致之磁力之此作用沿磁場旋轉方向驅動，以旋轉至圖 5(c)中所示之相應位置，且第二轉子 5 具有芯部 5a，且第二旋轉軸 7 亦沿磁場旋轉方向旋轉。應注意，圖 (5b) 及 5(c) 中之虛線指示該等磁力線 ML 之磁通量數量極小，且電樞磁極、芯部 5a 及磁鐵磁極之間的磁性連接頗弱。此亦可應用於在下文中所涉及之其他圖。

隨著旋轉磁場進一步旋轉，上述操作之一順序，亦即，「該等磁力線 ML 在芯部 5a 處以一沿與磁場旋轉方向相反之方向凸出成曲線之方式彎曲→磁力作用於芯部 5a 以使該等磁力線 ML 變成直線→芯部 5a、第二轉子 5 及第二旋轉軸 7 沿磁場旋轉方向旋轉」之操作係如圖 6(a) 至 6(d) 及圖 7(a) 及 7(b) 中所示重複實施。如上所述，由該等磁力線 ML 所導致之磁力之作用將供應至定子 3 之電力轉換為功率，並自第二旋轉軸 7 輸出該功率。

圖 8 顯示一其中電樞磁極自圖 5(a) 狀態旋轉一電角度  $2\pi$  之狀態。如自圖 8 與圖 5(a) 之間的比較顯而易見，應理解，

芯部 5a 沿相同方向相對於電樞磁極旋轉該旋轉角度之  $1/3$ 。此符合藉由將  $\omega_{ER1}=0$  代入上述方程式 (40) 中獲得  $\omega_{ER2}=\omega_{MFR}/3$  之事實。

接著，將參照圖 9 至 11 描述在其中電力在一其中第二轉子 5 固定之狀態下供應至定子 3 之情形中一操作。應注意，在圖 9 至 11 中，為清楚起見，用陰影指示一個相同電樞磁極及一個相同永久磁鐵 4a。首先，如圖 9(a) 中所示，類似於圖 5(a) 中所示之情形，根據一其中一某一芯部 5a 之中芯部與一某一永久磁鐵 4a 之中芯部沿圓周彼此重合且自該芯部 5a 開始每三個芯部 5a 之中芯部與自該永久磁鐵 4a 開始每四個永久磁鐵 4a 之中芯部沿圓周彼此重合之狀態，旋轉磁場產生成使其向右旋轉，如圖 5(a) 中所觀察。在旋轉磁場產生之開始，致使具有相同極性之每兩個電樞磁極之位置沿圓周與永久磁鐵 4a 之中芯部重合，永久磁鐵 4a 之中芯部係與芯部 5a 之中芯部重合，且使得該等電樞磁極之極性不同於永久磁鐵 4a 之該等磁鐵磁極之極性。

在圖 9(a) 中所示之狀態中，類似於圖 5(a) 中所示之情形，該等磁力線 ML 產生成使其各自連接其圓周位置彼此重合之一電樞磁極、一芯部 5a 及一磁鐵磁極，且同時其連接沿圓周相鄰於以上電樞磁極、芯部 5a 及磁鐵磁極之相反側之若干電樞磁極、若干芯部 5a 及若干磁鐵磁極。此外，在此狀態下，由於該等磁力線 ML 筆直，因此無用於沿圓周旋轉芯部 4a 之磁力作用於芯部 4a。

在電樞磁極根據旋轉磁場之旋轉自圖 9(a) 中所示之位置

旋轉至圖 9(b)中所示之相應位置時，該等磁力線 ML 彎曲，且因此磁力作用於永久磁鐵 4a 以使該等磁力線 ML 變成筆直。在此情形下，永久磁鐵 4a 沿磁場旋轉方向各自位於自藉由該等磁力線 ML 之一相關聯者彼此連接之一電樞磁極及一芯部 5a 延伸之一線前方，且因此磁力作用於永久磁鐵 4a 以致使每一個永久磁鐵 4a 位於該延伸線上，亦即，使得沿一與磁場旋轉方向相反之方向驅動永久磁鐵 4a。藉助由該等磁力線 ML 所導致之磁力之此作用沿一與磁場旋轉方向相反之方向驅動永久磁鐵 4a，並使其旋轉至圖 9(c)中所示之相應位置。第一轉子 4 具有永久磁鐵 4a，且第一旋轉軸 6 亦沿與磁場旋轉方向相反之方向旋轉。

隨著旋轉磁場進一步旋轉，上述操作之一順序，亦即，「該等磁力線 ML 彎曲 → 永久磁鐵 4a 沿磁場旋轉方向各自位於自藉由該等磁力線 ML 中之一相關聯者彼此連接之一電樞磁極及一芯部 5a 延伸之一線前方 → 磁力作用於永久磁鐵 4a 以使該等磁力線 ML 變成筆直 → 永久磁鐵 4a、第一轉子 4 及第一旋轉軸 6 沿與磁場旋轉方向相反之方向旋轉」之操作係如圖 10(a)至 10(d)及圖 11(a)及 11(b)中所示重複實施。如上所述，由該等磁力線 ML 所導致之磁力之作用將供應至定子 3 之電力轉換為功率，並自第一旋轉軸 6 輸出該功率。

圖 11(b)顯示一其中電樞磁極自圖 9(a)狀態旋轉電角度  $2\pi$  之狀態。如自圖 11(b)與圖 9(a)之間的比較顯而易見，應理解，永久磁鐵 4a 沿相反方向相對於電樞磁極旋轉該旋轉角

度之  $1/2$ 。此符合藉由將  $\omega_{ER2}=0$  代入上述方程式 (40) 中獲得  $-\omega_{ER1}=\omega_{MFR}/2$  之事實。

圖 12 及圖 13 顯示對其中電樞磁極、芯部 5a 及永久磁鐵 4a 之數量係分別設定為 16、18 及 20、第一轉子 4 固定且藉由向定子 3 供應電力而自第二轉子 5 輸出功率之控制之模擬結果。圖 12 顯示 U 相至 W 相反電動勢電壓  $V_{cu}$  至  $V_{cw}$  在其中第二轉子電角度  $\theta_{ER2}$  自 0 改變為  $2\pi$  之一時間週期期間之改變之一實例。

在此情形下，由於第一轉子 4 係固定，電樞磁極及磁鐵磁極之極對數量分別等於 8 及 10，且應用上述方程式 (25)，因此磁場電角速度  $\omega_{MFR}$  與第一及第二轉子電角速度  $\omega_{ER1}$  及  $\omega_{ER2}$  之間的關係係由  $\omega_{MFR}=2.25 \cdot \omega_{ER2}$  表達。如圖 12 中所示，在其中第二轉子電角度  $\theta_{ER2}$  自 0 改變為  $2\pi$  之一時間週期期間，U 相至 W 相反電動勢電壓  $V_{cu}$  至  $V_{cw}$  係由約 2.25 個週期產生。此外，圖 12 顯示 U 相至 W 相反電動勢電壓  $V_{cu}$  至  $V_{cw}$  改變之改變，如自第二轉子 5 觀察。如該圖中所示，以第二轉子電角度  $\theta_{ER2}$  作為水平軸，反電動勢電壓係以 W 相反電動勢電壓  $V_{cw}$ 、V 相反電動勢電壓  $V_{cv}$  及 U 相反電動勢電壓  $V_{cu}$  之次序配置。此表示第二轉子 5 沿磁場旋轉方向旋轉。如上所述，亦根據圖 12 中所示之模擬結果可證實  $\omega_{MFR}=2.25 \cdot \omega_{ER2}$  成立。

此外，圖 13 顯示驅動等效扭矩  $T_{SE}$  及第一及第二轉子傳輸扭矩  $T_{R1}$  及  $T_{R2}$  之改變之一實例。在此情形下，根據電樞磁極及磁鐵磁極之極對數量分別等於 8 及 10 之事實，且

根據上述方程式(32)，驅動等效扭矩TSE及第一及第二轉子傳輸扭矩TR1及TR2之間的關係此由 $TSE=TR1/1.25=-TR2/2.25$ 表示。如圖13中所示，驅動等效扭矩TSE係約等於-TREF，第一轉子傳輸扭矩TR1係約等於 $1.25 \cdot (-TREF)$ ，且第二轉子傳輸扭矩TR2係約等於 $2.25 \cdot TREF$ 。此TREF表示一預定扭矩值(例如，200 Nm)。如上所述，亦根據圖13中所示之模擬結果可證實 $TSE=TR1/1.25=-TR2/2.25$ 成立。

圖14及15顯示對其中電樞磁極、芯部5a及永久磁鐵4a之數量類似於圖12及13中所圖解說明之情形設定，第二轉子5替代第一轉子4固定，且藉由向定子3供應電力而自第一轉子4輸出功率之控制之模擬結果。圖14顯示U相至W相反電動勢電壓Vcu至Vcw在其中第一轉子電角度 $\theta_{ER1}$ 自0改變為 $2\pi$ 之一時間週期期間之改變之一實例。

在此情形下，由於第二轉子5固定，電樞磁極及磁鐵磁極之極對數量分別等於8及10，且應用上述方程式(25)，因此磁場電角速度 $\omega_{MFR}$ 與第一及第二轉子電角速度 $\omega_{ER1}$ 及 $\omega_{ER2}$ 之間的關係係由 $\omega_{MFR}=-1.25 \cdot \omega_{ER1}$ 表達。如圖14中所示，U相至W相反電動勢電壓Vcu至Vcw係在其中第一轉子電角度 $\theta_{ER1}$ 自0改變為 $2\pi$ 之一時間週期期間由約1.25個週期產生。此外，圖14顯示U相至W相反電動勢電壓Vcu至Vcw改變之改變，如自第一轉子4觀察。如該圖中所示，以第一轉子電角度 $\theta_{ER1}$ 作為水平軸，反電動勢電壓係以U相反電動勢電壓Vcu、V相反電動勢電壓Vcv及W相反電動勢電壓Vcw之次序配置。此表示第一轉子4沿與磁場旋轉

方向相反之方向旋轉。如上所述，亦根據圖 14 中所示之模擬結果可證實  $\omega_{MFR} = -1.25 \cdot \omega_{ER1}$  成立。

此外，圖 15 顯示驅動等效扭矩 TSE 及第一及第二轉子傳輸扭矩 TR1 及 TR2 之改變之一實例。亦在此情形下，類似於圖 13 情形，根據上述方程式 (32)，驅動等效扭矩 TSE 與第一及第二轉子傳輸扭矩 TR1 及 TR2 之間的關係係由  $TSE = TR1/1.25 = -TR2/2.25$  表達。如圖 15 中所示，驅動等效扭矩 TSE 係約等於 TREF，第一轉子傳輸扭矩 TR1 係約等於  $1.25 \cdot TREF$ ，且第二轉子傳輸扭矩 TR2 係約等於  $-2.25 \cdot TREF$ 。如上所述，亦根據圖 15 中所示之模擬結果可證實  $TSE = TR1/1.25 = -TR2/2.25$  成立。

如至此所述，根據本實施例，可藉由使用由芯部 5a 形成之單個軟磁性材料元件列來簡單地操作電動馬達 1，以便可減小電動馬達 1 之大小及製造成本。此外，藉由設定磁鐵磁極之極對數量與電樞磁極之極對數量與之比率，可自由地設定磁場電角速度  $\omega_{MFR}$  與第一及第二轉子電角速度  $\omega_{ER1}$  及  $\omega_{ER2}$  之間的關係及驅動等效扭矩 TSE 與第一及第二轉子傳輸扭矩 TR1 及 TR2 之間的關係，此使得可增強電動馬達 1 之設計自由度。

此外，由於控制磁場電角位置  $\theta_{MFR}$  以使得上述方程式 (40) 成立，因此可確保電動馬達 1 之適當操作。此外，使用永久磁鐵 4a 之磁極，且因此不同於其中使用電磁鐵之磁極之情形，可省卻若干用於向該等電磁鐵供應電力之電路及線圈。此使得可進一步減小電動馬達 1 之大小並簡化其構

造。此外，在使用電磁鐵之磁極作為磁極時可省卻一用於向該等電磁鐵供應電力之滑動環，藉此使得可減小電動馬達1之大小並增加其效率。

雖然在該上述第一實施例中，第一及第二轉子4及5組態為可旋轉，但此並不具有限制性，而是兩個4及5中之一者可組態為不可旋轉且僅另一者組態為可旋轉以便自該另一者輸出功率。在此情形下，由於第一及第二轉子4及5中之一者組態為不可旋轉，因此僅需要藉助一感測器或類似裝置偵測兩個4及5中之另一者之電角位置並根據所偵測到之該另一者之電角位置來控制旋轉磁場，如自上述方程式(39)中之事實顯而易見，兩個4及5中之一者之電角位置變成等於0。此外，定子3可組態為可旋轉。在此情形下，例如如下使用該電動馬達：在一其中將功率輸入至第一及第二轉子4及5以及定子3中之一者之狀態下，將電力供應至定子3以將該電力轉換為功率藉此自兩個4及5中之另一者輸出該功率。另一選擇為，在於一其中第一及第二轉子4及5中之一者固定(或功率輸入至兩個4及5中之一者)，自定子3及兩個4及5中之另一者同時輸出功率之狀態下，使用該電動馬達作為一裝置(例如，反向旋轉螺旋槳)之一驅動源，其中滿足方程式(41)之負扭矩同時作用於定子3及該另一者。

此外，雖然在該第一實施例中，偵測一特定永久磁鐵4a相對於一參考線圈(亦即，一特定U相線圈3c)之旋轉角度位置及一特定芯部5a相對於該參考線圈之旋轉角度位置分

別作為第一及第二轉子旋轉角度 $\theta_{R1}$ 及 $\theta_{R2}$ ，但亦可偵測其他組成部分之旋轉角度位置，只要其表示第一及第二轉子4及5相對於定子3之旋轉角度位置。舉例而言，可偵測固定部分4b或第一旋轉軸6之一特定部分相對於一特定V相線圈3d、一特定W相線圈3e或外殼2之一特定部分之旋轉角度位置及凸緣5b或第二旋轉軸7之一特定部分相對於一特定V相線圈3d、一特定W相線圈3e或外殼2之一特定部分之旋轉角度位置分別作為第一轉子旋轉角度 $\theta_{R1}$ 及第二轉子旋轉角度 $\theta_{R2}$ 。

此外，雖然在該第一實施例中，用於控制旋轉磁場之磁場電角位置 $\theta_{MFR}$ 係使用藉助第一及第二旋轉位置感測器21及22偵測之第一及第二轉子旋轉角度 $\theta_{R1}$ 及 $\theta_{R2}$ 根據方程式(39)計算，但亦可根據日本專利申請案第2007-280916號中所提出之一方法來計算磁場電角位置 $\theta_{MFR}$ 。更具體而言，製備一其中一太陽齒輪之齒數量與一環形齒輪之齒數量之間的比率等於電樞磁極之數量與磁鐵磁極之數量之間的比率之行星齒輪單元及一單個旋轉位置感測器。該太陽齒輪及該環形齒輪中之一者連接至第一轉子4，且一載體連接至第二轉子5，隨後藉助該旋轉位置感測器偵測該太陽齒輪及該環形齒輪中之另一者相對於特定U相線圈3c之旋轉角度位置。在此情形下，在該等電樞磁極之數量大於該等磁鐵磁極之數量時，該太陽齒輪連接至第一轉子4。

根據上文，藉助上述旋轉位置感測器偵測之旋轉角度位置係由 $(1+\gamma)\theta_{R2}-\gamma\cdot\theta_{R1}$ 表達，其中 $\gamma$ 表示該等磁鐵磁極之數

量與該等電樞磁極之數量之比率。如自此事實顯而易見，可藉助該行星齒輪單元及該單個旋轉位置感測器確定用於控制旋轉磁場之磁場電角位置 $\theta_{MFR}$ ，而不分別由兩個感測器偵測第一及第二轉子4及5之旋轉角度位置。

此外，雖然在該第一實施例中，定子3及第一轉子4分別沿徑向方向配置於一外部位置及一內部位置處，但此並不具有限制性，而相反地，其可分別沿徑向方向配置於一內部位置及一外部位置處。此外，雖然電動馬達1藉由沿徑向方向配置定子3及第一及第二轉子4及5而構造為一所謂的徑向類型馬達，但電動馬達1亦可藉由沿軸向方向配置定子3及第一及第二轉子4及5而構造為一所謂的軸向類型馬達。

接著，將參照圖16及17描述一根據本發明之一第二實施例之電動馬達31。不同於該第一實施例，該等圖中所示之電動馬達31係構造為一線性馬達，且應用於一運輸設備。應注意，在圖16中，與該第一實施例之組成元件相同之組成元件係由相同參考編號表示。以下描述主要給出與第一實施例之不同點。

如圖16及17中所示，電動馬達31係由如下組成：一不可移動外殼32；一第一定子33，其設置於外殼32內；一第二轉子34，其以一與第一定子33相對之方式設置於外殼32內；及一可移動元件35，其設置於定子33與34之間。

外殼32包含：一板形底壁32a，其中一前後方向(如在圖16中觀察，一遠離觀察者之方向；且如在圖17中觀察一垂

直方向)稱為其一長度方向；及側壁32b及32c，其與底壁32a整合地形成在一起，且以一彼此相對之方式自底壁32a之相反端向上延伸。

第一定子33係用於產生移動磁場，且如圖17中所示包含一鐵芯部33a及提供於鐵芯部33a上之U相、V相及W相線圈33c、33d及33e。呈一藉由層壓複數個鋼板形成之長方體形式之鐵芯部33a沿前後方向沿外殼32之整個長度延伸，並安裝於外殼32之側壁32b上。此外，鐵芯部33a具有許多形成於其一表面中朝向第二定子34之槽33b。槽33b沿垂直方向延伸，且沿前後方向以均等間隔開之間隔配置。U相至W相線圈33c至33e藉助分佈繞組(波形繞組)纏繞於槽33b中，並連接至上述可變電源15。

在如上組態之第一定子33中，在自可變電源15供應電力時，在鐵芯部33a之一端處朝向第二定子34沿前後方向以均等間隔開之間隔產生許多磁極(見圖18)，且由該等磁極所導致之移動磁場沿前後方向移動。在下文中，類似於該第一實施例，將於鐵芯部33a上產生之該等磁極稱為「電樞磁極」。應注意，在圖18中，類似於圖5，該等電樞磁極係由鐵芯部33a及U相至W相線圈33c至33e上方之(N)及(S)表達。在此情形下，如該圖中所示，在沿前後方向之一預定區段INT中之電樞磁極之數量為四。

第二定子34包含一由許多永久磁鐵34a組成之磁極列。該等永久磁鐵34a係沿前後方向以均等間隔開之間隔配置，且該磁極列係以一與第一定子33之鐵芯部33a相對之

方式設置。每一個永久磁鐵34a係呈一長方體形式，且其沿垂直方向之長度係設定為與鐵芯部33a之長度相同之長度。此外，永久磁鐵34a藉助一固定部分34b附接至底壁32a之一上表面之一右端(「右」側，如在圖16中觀察)，同時附接至側壁32c。固定部分34b係由一軟磁性材料元件製成，例如鐵。如上所述，永久磁鐵34a附接至由鐵製成之固定部分34b，且因此一磁極(N)或(S)朝向第一定子33出現於每一個永久磁鐵34a之一端上。應注意，在圖17及18中，類似於圖3，永久磁鐵34a之磁極(在下文中稱為「磁鐵磁極」，類似於第一實施例)係由(N)及(S)表達。此外，如圖18中所示，沿前後方向相鄰於彼此之每兩個永久磁鐵34a彼此具有不同之極性，且預定區段INT內永久磁鐵34a之數量為八。

可移動元件35包含：一頂板35a，其提供於第一及第二定子33及34上方；及一軟磁性材料元件列，其由提供於頂板35a上之六個芯部35b形成。頂板35a沿前後方向及左右方向之大小小於外殼32之大小。頂板35a覆蓋第一及第二定子33及34之一部分。

每一個芯部35b係呈一藉由層壓若干軟磁性材料元件(例如複數個鋼板)形成之長方體形式，且其沿垂直方向之長度係設定為與鐵芯部33a之長度相同。此外，六個芯部35b藉助頂板35a經由形成於其上端上之連接部分35c彼此連接，且係沿前後方向以均等間隔開之間隔配置。此外，由芯部35b形成之該軟磁性材料元件列係以預定間隔開之間

隔設置於第一定子33之鐵芯部33a與第二定子34之磁極列之間。每一個芯部35b具有若干形成於其一底部上之輪35d。芯部35b經由輪35d放置於若干形成於底壁32a之一上表面上之鐵軌(未顯示)上，藉此包含芯部35b之可移動元件35組態為可沿前後方向移動但不可沿左右方向移動。應注意，在圖17及18中，為便利起見而省略連接部分35c。

在本實施例中，定子34對應於本發明中之第一結構，且永久磁鐵34a對應於本發明中之磁極。此外，第一定子33對應於本發明中之第二結構，且鐵芯部33a及U相至W相線圈33c至33e對應於本發明中之電樞。此外，可移動元件35對應於本發明中之第三結構，且芯部35b對應於本發明中之軟磁性材料元件。

此外，電動馬達31具有一光學位置感測器41(相對位置關係偵測機構)，其將一指示可移動元件35之一特定芯部35b相對於第一定子33之一特定U相線圈33c之位置之偵測信號(在下文中稱為「可移動元件位置」)遞送至ECU 16。ECU 16根據所偵測到之可移動元件位置確定可移動元件35與第一及第二定子33及34之間的相對位置關係，並基於該位置關係控制U相至W相線圈33c至33e之激勵，以藉此控制移動磁場。更具體而言，如下實施此控制：

如圖18中所示，在預定區段INT中，類似於該第一實施例，使用四個電樞磁極、八個磁鐵磁極及六個芯部35b。亦即，該等電樞磁極之數量、該等磁鐵磁極之數量及芯部35b之數量之間的比率係設定為 $1:2:(1+2)/2$ 。在本實施

例中，由於永久磁鐵34a組態為不可移動且應用上述方程式(39)，因此控制移動磁場之一向量之電角位置(在下文中稱為「磁場電角位置 $\theta_{MFM}$ 」)以使得 $\theta_{MFM}=3\cdot\theta_{EM}$ 成立。此 $\theta_{EM}$ 自一藉由將可移動元件位置轉換為一電角位置(在下文中稱為「可移動元件電角位置」)所獲得之值。更具體而言， $\theta_{EM}$ 係一藉由將所偵測到之可移動元件位置乘以電樞磁極之極對數量(亦即，一值2)所獲得之值。應注意，類似於該第一實施例，以上控制係藉由藉助向量控制控制流過U相至W相線圈33c至33e之電流來實施。

根據上文，控制移動磁場之電角速度(在下文中稱為「磁場電角速度 $\omega_{MFM}$ 」)以滿足 $\omega_{MFM}=3\cdot\omega_{EM}$ 。此 $\omega_{EM}$ 表示一藉由將可移動元件電角位置 $\theta_{EM}$ 對時間求導所獲得之值，亦即，一藉由將可移動元件35之移動速度轉換為一電角速度(在下文中稱為「可移動元件電角速度」)所獲得之值。此外，若一推力等效於供應至第一定子33之電力且磁場電角速度 $\omega_{MFM}$ 係由一驅動等效推力 $F_{SE}$ 表達，則根據上述方程式(41)，該驅動等效推力 $F_{SE}$ 與一傳輸至可移動元件35之推力 $F_M$ (在下文中稱為「可移動元件傳輸推力 $F_M$ 」)之間的關係係由 $F_{SE}=-F_M/3$ 表達，

如上所述，根據本實施例，類似於該第一實施例，可僅藉助一由六個芯部35b組成之單個軟磁性材料元件列操作電動馬達31，以便可減小電動馬達1之大小及製造成本。此外，藉由設定預定區段INT內磁鐵磁極之極對數量與電樞磁極之極對數量之比率，可自由地設定磁場電角速度

$\omega_{\text{MFM}}$ 與可移動元件電角速度 $\omega_{\text{EM}}$ 之間的關係及驅動等效推力 $F_{\text{SE}}$ 與可移動元件傳輸推力 $F_{\text{M}}$ 之間的關係，且因此可增強電動馬達31之設計自由度。

此外，由於控制磁場電角位置 $\theta_{\text{MFM}}$ 以使得 $\theta_{\text{MFM}}=3\cdot\theta_{\text{EM}}$ 成立，因此可確保電動馬達31之適當操作。此外，類似於該第一實施例，使用永久磁鐵34a之磁極，藉此可進一步減小電動馬達31之大小以簡化其構造。

應注意，可如下組態電動馬達31：一第二可移動元件係藉由藉助一除頂板35a之外之頂板連接第二定子34之複數個永久磁鐵34a形成，並組態為可沿前後方向相對於外殼32移動，以便類似於第一實施例可自可移動元件35及該第二可移動元件中之至少一者輸出功率。另外，一第三可移動元件係藉由將第一定子33之鐵芯部33a安裝於該頂板上形成以便該第三可移動元件可沿前後方向相對於外殼32移動。接著，如至此關於第一實施例所述，功率係自可移動元件35、該第二可移動元件或該第三可移動元件輸出。

在如上所述提供該第二可移動元件時，藉助一感測器偵測不僅可移動元件35上之可移動元件位置且亦該第二可移動元件之特定永久磁鐵34a相對於特定U相線圈33c之位置，並根據該可移動元件位置及所偵測到之該第二可移動元件之位置基於方程式(39)計算磁場電角位置 $\theta_{\text{MFM}}$ 。接著，使用所計算之磁場電角位置 $\theta_{\text{MFM}}$ 來控制旋轉磁場。

雖然在第二實施例中，偵測特定芯部35a相對於特定U相線圈33c之位置作為可移動元件位置，但亦可偵測另一部

分之位置，只要其表示可移動元件35相對於第一定子33之位置。舉例而言，可偵測一特定部分(例如頂板35a)相對於一特定V相線圈33d、一特定W相線圈33e、外殼32之一特定部分之位置作為可移動元件位置。如上所述，此亦應用於其中提供該第二可移動元件或該第三可移動元件之情形。

應注意，本發明並不意欲限於上述實施例，但其可以各種形式實踐。舉例而言，雖然在該等上述實施例中，一磁極係由一單個永久磁鐵4a或34a之磁極形成，但其亦可由複數個永久磁鐵之磁極形成。舉例而言，若一磁極係由藉由按一倒置V形狀配置兩個永久磁鐵以使其磁極朝向定子3(第一定子33)變得更接近於彼此形成，則可改良一磁力線ML之方向性。此外，可使用若干可產生移動磁場之電磁鐵或電樞替代上述實施例中所使用之永久磁鐵4a或34a。此外，雖然在該等上述實施例中，U相至W相線圈3c至3e及33c至33e係藉助分佈繞組纏繞於槽3b及33b中，但此並不具有限制性，而其亦可藉助集中繞組纏繞於該等槽中。此外，雖然在該等上述實施例中，線圈3c至3e及33c至33e係由具有U相至W相之三相線圈形成，但亦可視期望設定相數量，只要該等線圈可產生移動磁場(旋轉磁場)。

此外，應理解，可採用除該等上述實施例中所使用之槽數量之外之一所期望槽數量作為槽3b及33b之數量。此外，雖然在該等上述實施例中，槽3b及33b、永久磁鐵4a及34a以及芯部5b及35b係以均等間隔開之間隔配置，但其

亦可以不均等間隔開之間隔配置。此外，雖然在該等上述實施例中，使用四個電樞磁極、八個磁鐵磁極及六個芯部5a或35b，但亦可採用所期望數量作為該等電樞磁極、該等磁鐵磁極及該等芯部之數量，只要其之間的比率滿足 $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1.0$ )。此外，雖然在該等上述實施例中，第一旋轉位置感測器21、第二旋轉位置感測器22及位置感測器41係電磁感應類型感測器，但其亦可係光學類型感測器。此外，雖然在該等上述實施例中，使用ECU 16作為本發明中之控制機構，但亦可使用一微電腦及若干電路之一組合。此外，可在本發明之精神及範疇內改變該實施例之構造細節。

#### [工業適用性]

根據本發明之電動馬達能夠減小尺寸及其製造成本，且極有益於增強其設計自由度。

#### 【圖式簡單說明】

[圖1] 一根據本發明之一第一實施例之電動馬達之一示意性橫截面圖；

[圖2] 一顯示圖1中之電動馬達及一ECU之方塊圖；

[圖3] 一顯示圖1中之電動馬達之定子及第一及第二轉子在一沿圓周方向展開之狀態下之示意性展開圖；

[圖4] 一圖解說明一磁場電角速度與圖1中之電動馬達之第一及第二轉子電角速度之間的關係之一實例之共線圖；

[圖5(a)-(c)] 一圖解說明圖1電動馬達在一其中在該第

一轉子固定之一狀態下將電力供應至定子之情形下之操作之圖示；

[圖 6(a)-(d)] 一圖解說明圖 5 中之操作之一接續之圖示；

[圖 7(a)、(b)] 一圖解說明圖 6 中之操作之一接續之圖示；

[圖 8] 一圖解說明在一其中該等電樞磁極自圖 5 中所示之狀態旋轉一電角度  $2\pi$  之情形下電樞磁極與芯部之間的位置關係之圖示。

[圖 9(a)-(c)] 一圖解說明圖 1 中之電動馬達在一其中在該第二轉子固定之一狀態下將電力供應至定子之情形下之操作之圖示；

[圖 10(a)-(d)] 一圖解說明圖 9 中之操作之一接續之圖示；

[圖 11(a)、(b)] 一圖解說明圖 10 中之操作之一接續之圖示；

[圖 12] 一圖解說明在一其中根據本發明之電動馬達之第一轉子固定之情形下 U 相至 W 相反電動勢電壓之改變之一實例之圖示；

[圖 13] 一圖解說明在其中根據本發明之電動馬達之第一轉子固定之情形下一驅動等效扭矩及第一及第二轉子傳輸扭矩之改變之一實例之圖示；

[圖 14] 一圖解說明在其中根據本發明之電動馬達之第二轉子固定之情形下 U 相至 W 相反電動勢電壓之改變之一

實例之圖示；

[圖 15] 一圖解說明在其中根據本發明之電動馬達之第二轉子固定之情形下驅動等效扭矩及第一及第二轉子傳輸扭矩之改變之一實例之圖示；

[圖 16] 一根據本發明之一第二實施例之電動馬達及相關聯部分之一示意性正視圖；

[圖 17] 一顯示圖 16 中之電動馬達之一部分之示意性平面圖；

[圖 18] 一圖解說明圖 16 中之電動馬達之電樞磁極、芯部及磁極數量之間的關係之圖示；及

[圖 19] 一顯示根據本發明之電動馬達之一等效電路之圖示。

#### 【主要元件符號說明】

1	電動馬達
2	不可移動外殼
2a	空芯部圓柱形週邊壁
2b	盤形側壁
2c	盤形側壁
2d	裝配孔
2e	裝配孔
3	定子
3a	鐵芯部
3b	槽
3c	U相線圈

3d	V相線圈
3e	W相線圈
4	第一轉子
4a	永久磁鐵
4b	環形固定部分
4c	盤形凸緣
5	第二轉子
5a	芯部
5b	盤形凸緣
5c	空芯部圓柱形連接部分
6	第一旋轉軸
7	第二旋轉軸
8	軸承
9	軸承
15	可變電源
16	ECU
16a	目標電流計算區段
16b	電角度轉換器
16c	電流坐標轉換器
16d	差計算區段
16e	電流控制器
16f	電壓坐標轉換器
21	第一旋轉位置感測器
22	第二旋轉位置感測器

23	第一電流感測器	101. 11. 02
24	第二電流感測器	
31	電動馬達	
32	不可移動外殼	
32a	板形底壁	
32b	側壁	
32c	側壁	
33	第一定子	
33a	鐵芯部	
33b	槽	
33c	U相線圈	
33d	V相線圈	
33e	W相線圈	
34	第二轉子	
34a	永久磁鐵	
34b	固定部分	
35	可移動元件	
35a	頂板	
35b	芯部	
35c	連接部分	
35d	輪	
41	光學位置感測器	
AR	電樞	
CU	U相線圈	

CV	V相線圈
CW	W相線圈
MP	磁極
SM	軟磁性材料元件
SM1	第一軟磁性材料元件
SM2	第二軟磁性材料元件
SM3	第三軟磁性材料元件
ST1	第一結構
ST2	第二結構
ST3	第三結構

## 七、申請專利範圍：

### 1 一種電動馬達，其包括：

一第一結構，其包含一磁極列，該磁極列係由沿一預定方向配置之預定的複數個磁極所形成，且使每兩個相鄰磁極設置成彼此具有不同之極性；

一第二結構，其包含一電樞列，該電樞列係由沿該預定方向配置之複數個電樞所形成，且係以一與該磁極列相對之方式設置，以便藉由在該複數個電樞處根據所供應之電力而產生之預定的複數個電樞磁極，在該電樞列與該磁極列之間產生沿該預定方向移動之移動磁場；及

一第三結構，其包含一軟磁性材料元件列，該軟磁性材料元件列係由沿該預定方向以一彼此間隔開之方式配置之預定的複數個軟磁性材料元件所形成，且設置為使得該軟磁性材料元件列位於該磁極列與該電樞列之間，

其中在沿該預定方向之一預定區段內，該等電樞磁極之一數量、該等磁極之一數量及該等軟磁性材料元件之一數量之間的一比率係設定為 $1 : m : (1+m)/2$  ( $m \neq 1.0$ )。

### 2 如請求項1之電動馬達，其進一步包括：

相對位置關係偵測機構，其偵測該第一至第三結構之間的相對的位置關係；及

控制機構，其基於所偵測到之該第一至第三結構之間的該相對位置關係來控制該等移動磁場。

### 3 如請求項2之電動馬達，其中該相對位置關係偵測機構係偵測該第一結構及該第三結構相對於該第二結構之電

角位置來分別作為該第一至第三結構之間的該相對位置關係，且

其中該控制機構基於一將所偵測到之該第三結構之該電角位置乘以 $(1+m)$ 所獲得之值與一將所偵測到之該第一結構之該電角位置乘以 $m$ 所獲得之值之間的差來控制該等移動磁場。

- 4 如請求項1至3中任一請求項之電動馬達，其中該等磁極係永久磁鐵之磁極。
- 5 如請求項1之電動馬達，其中該電動馬達係一旋轉電機。
- 6 如請求項1之電動馬達，其中該電動馬達係一線性馬達。

八、圖式：

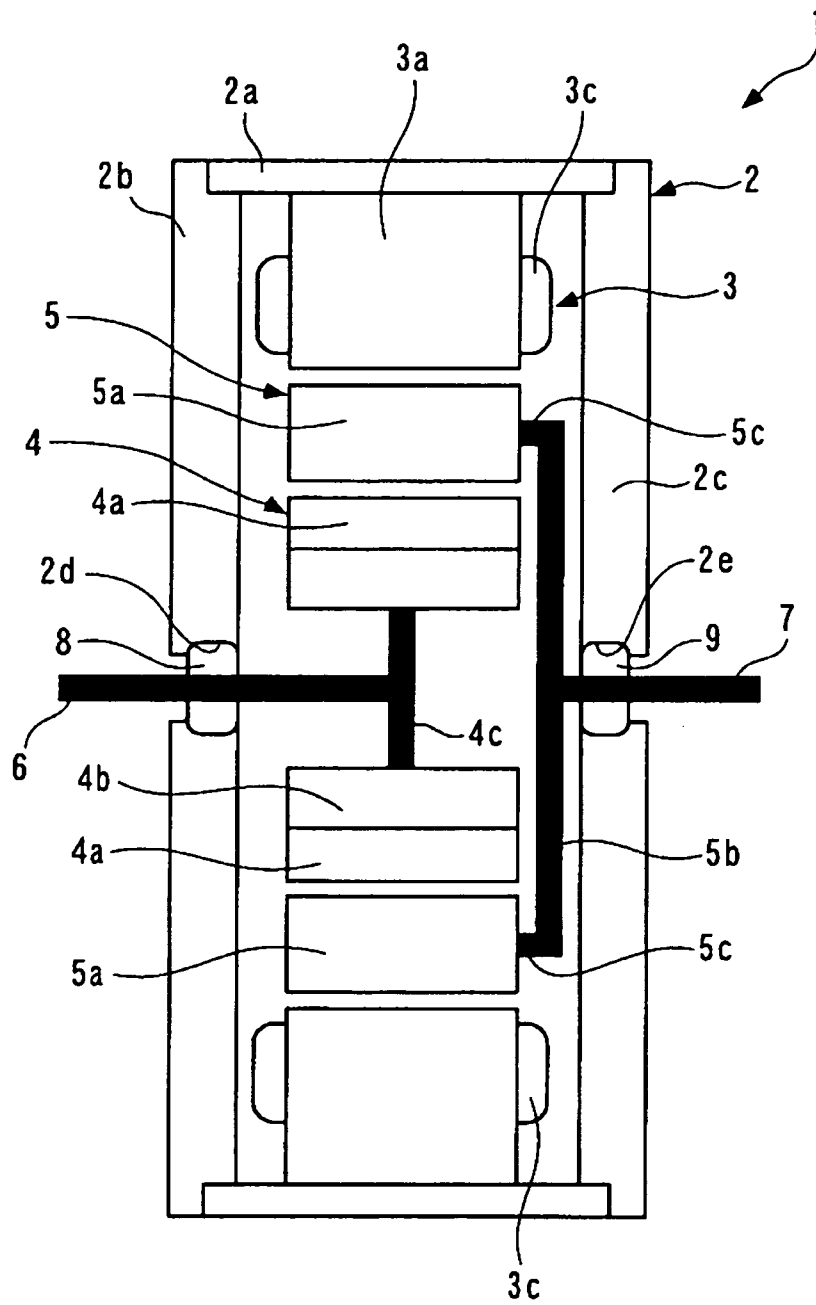


圖 1

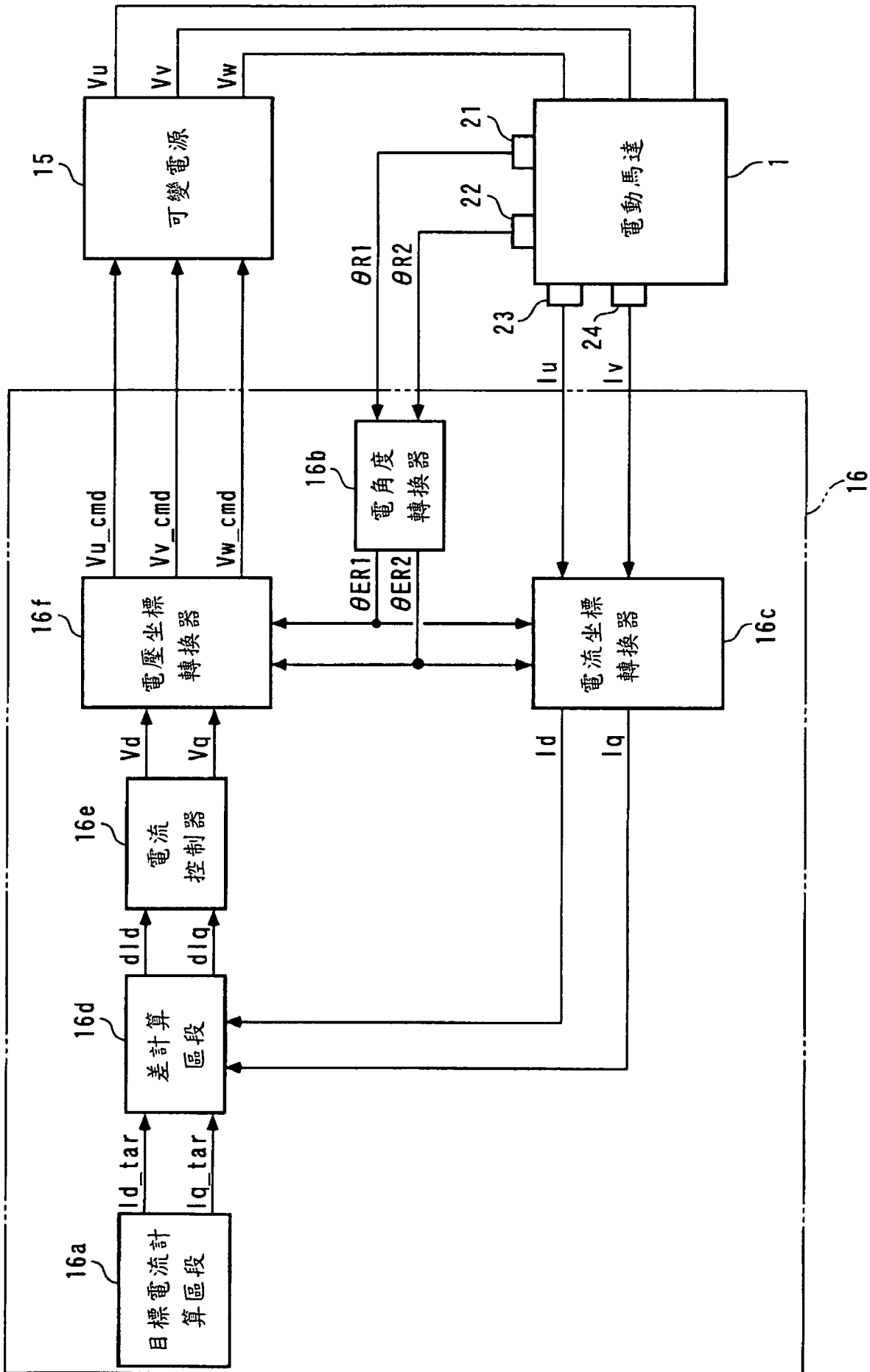


圖 2

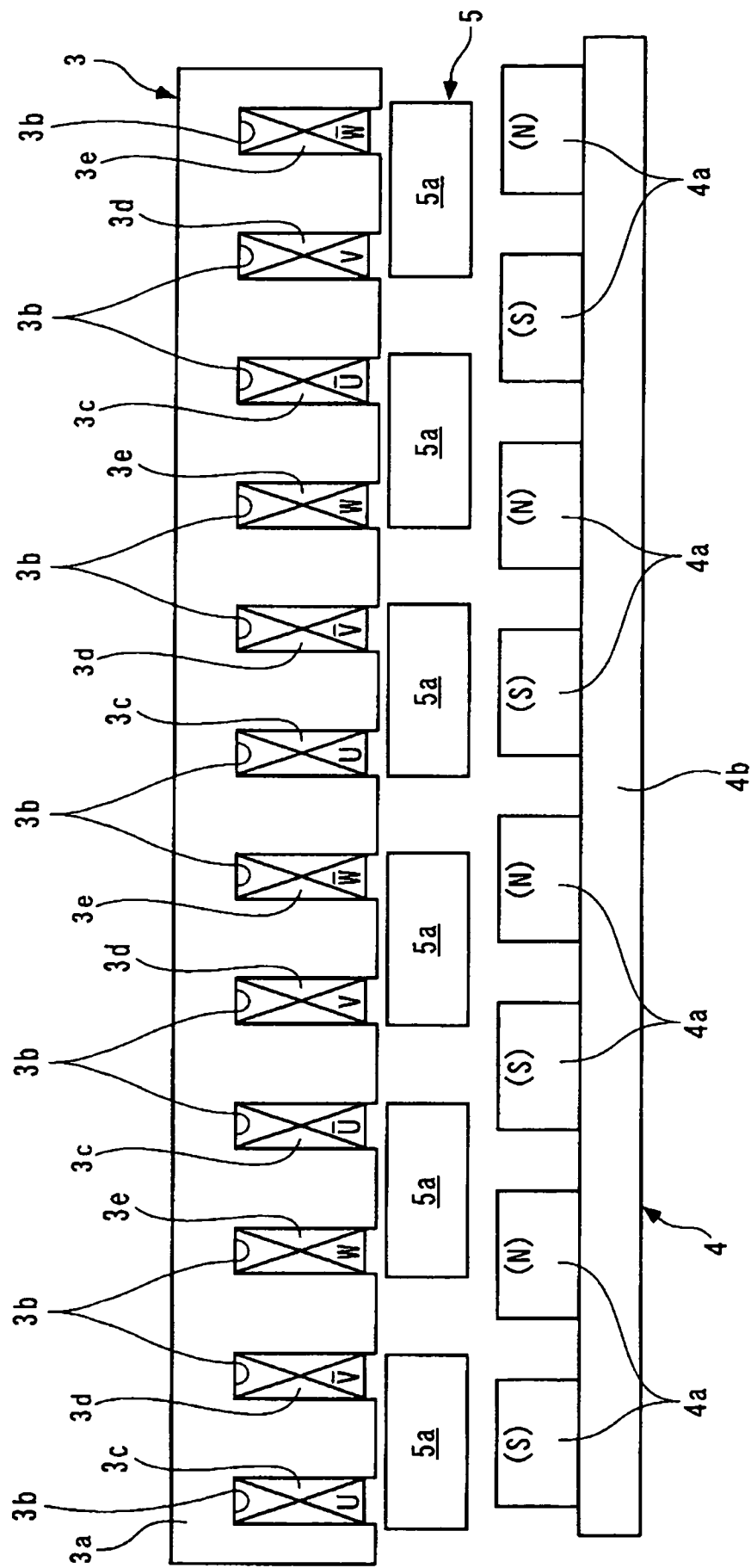


圖 3

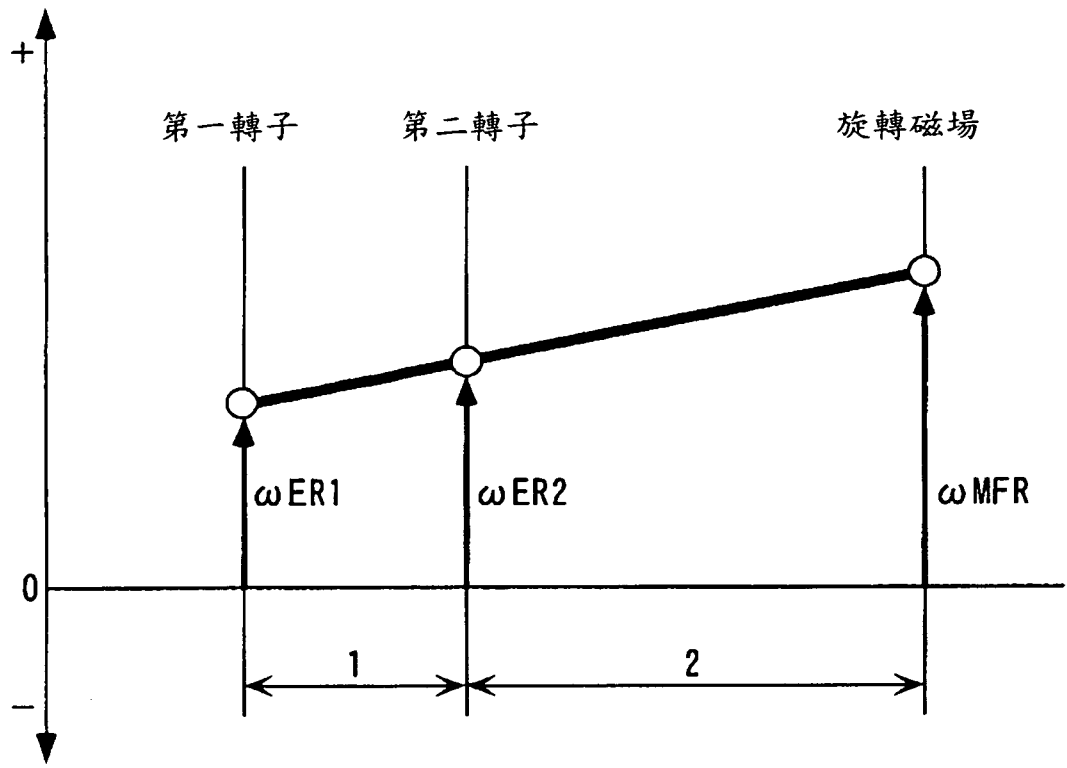


圖 4

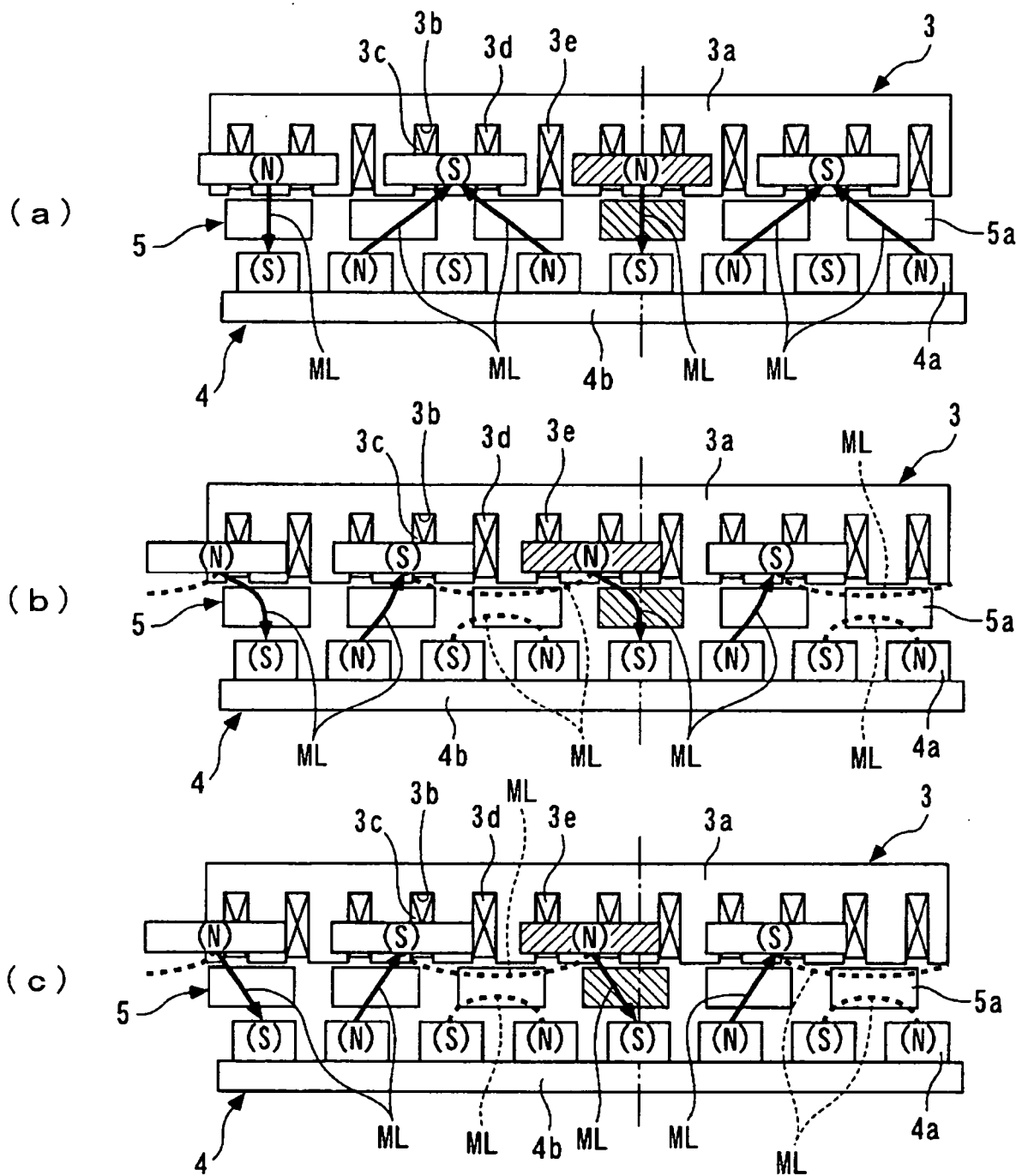


圖 5

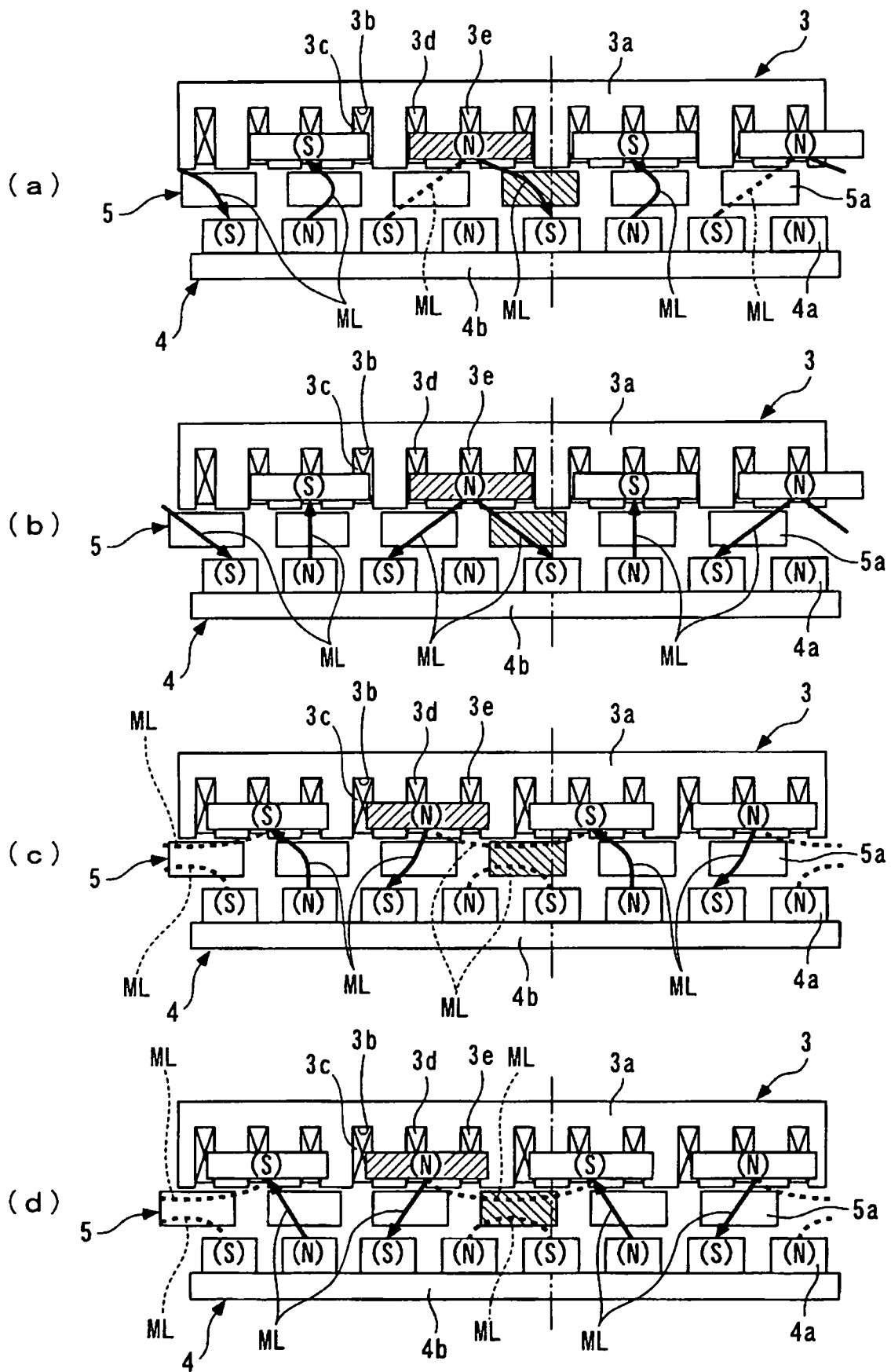


圖 6

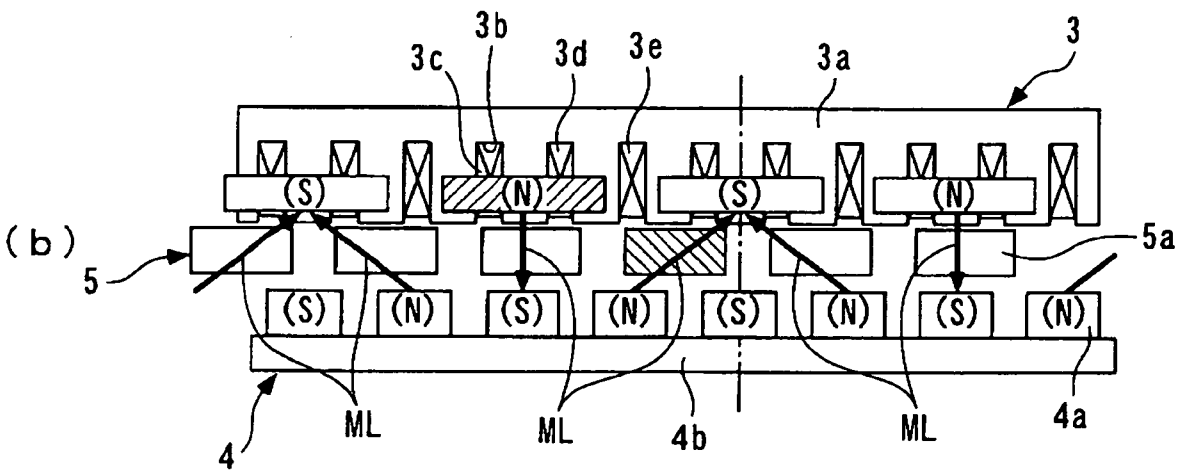
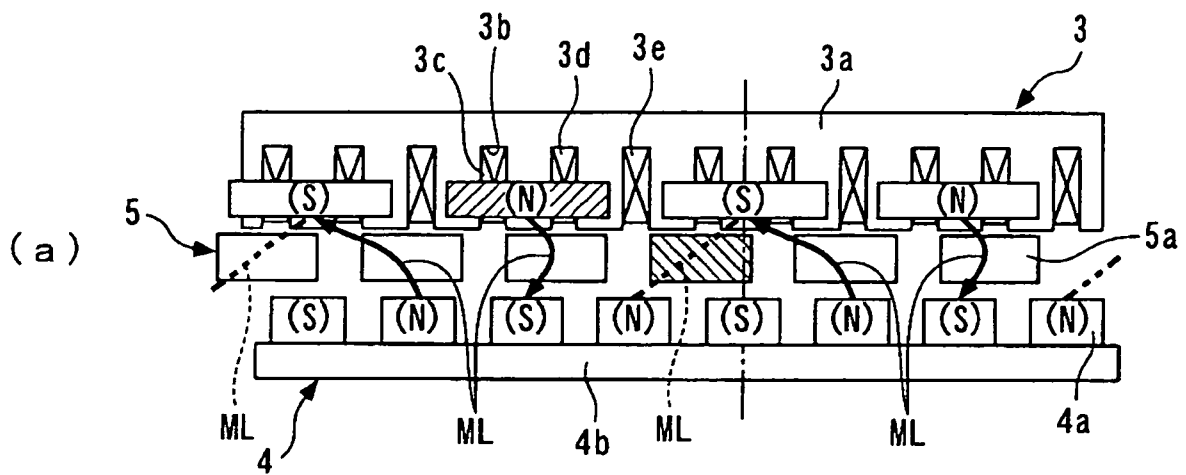


圖 7

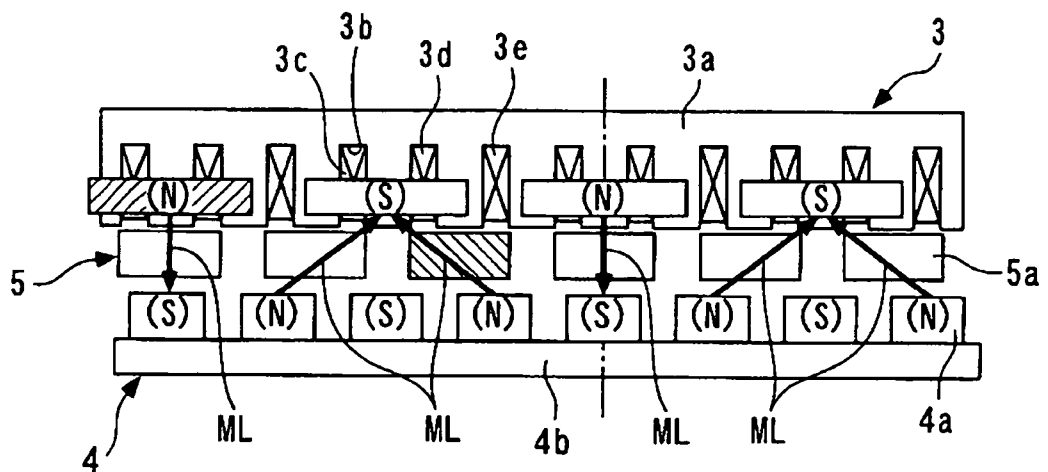


圖 8

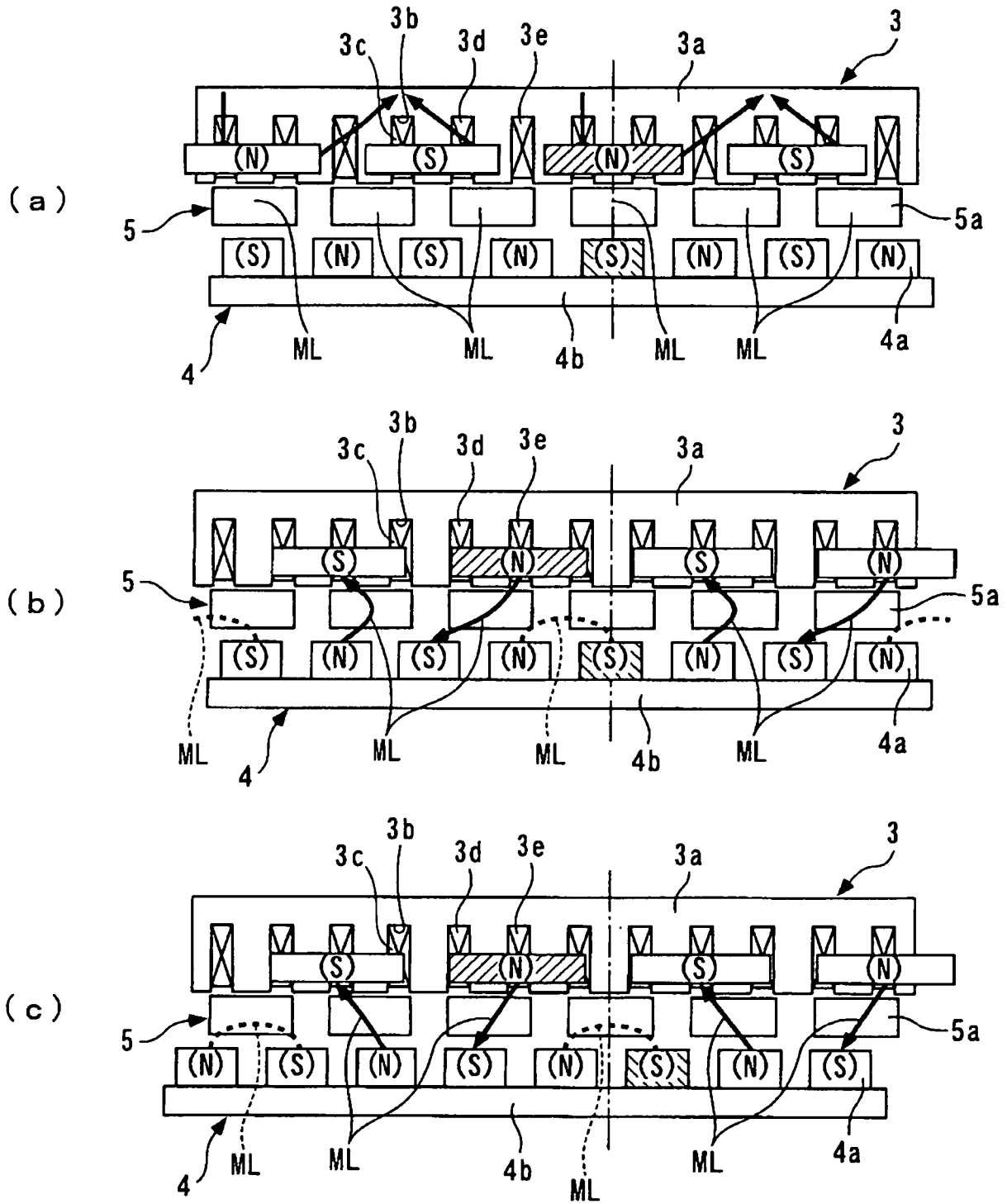


圖 9

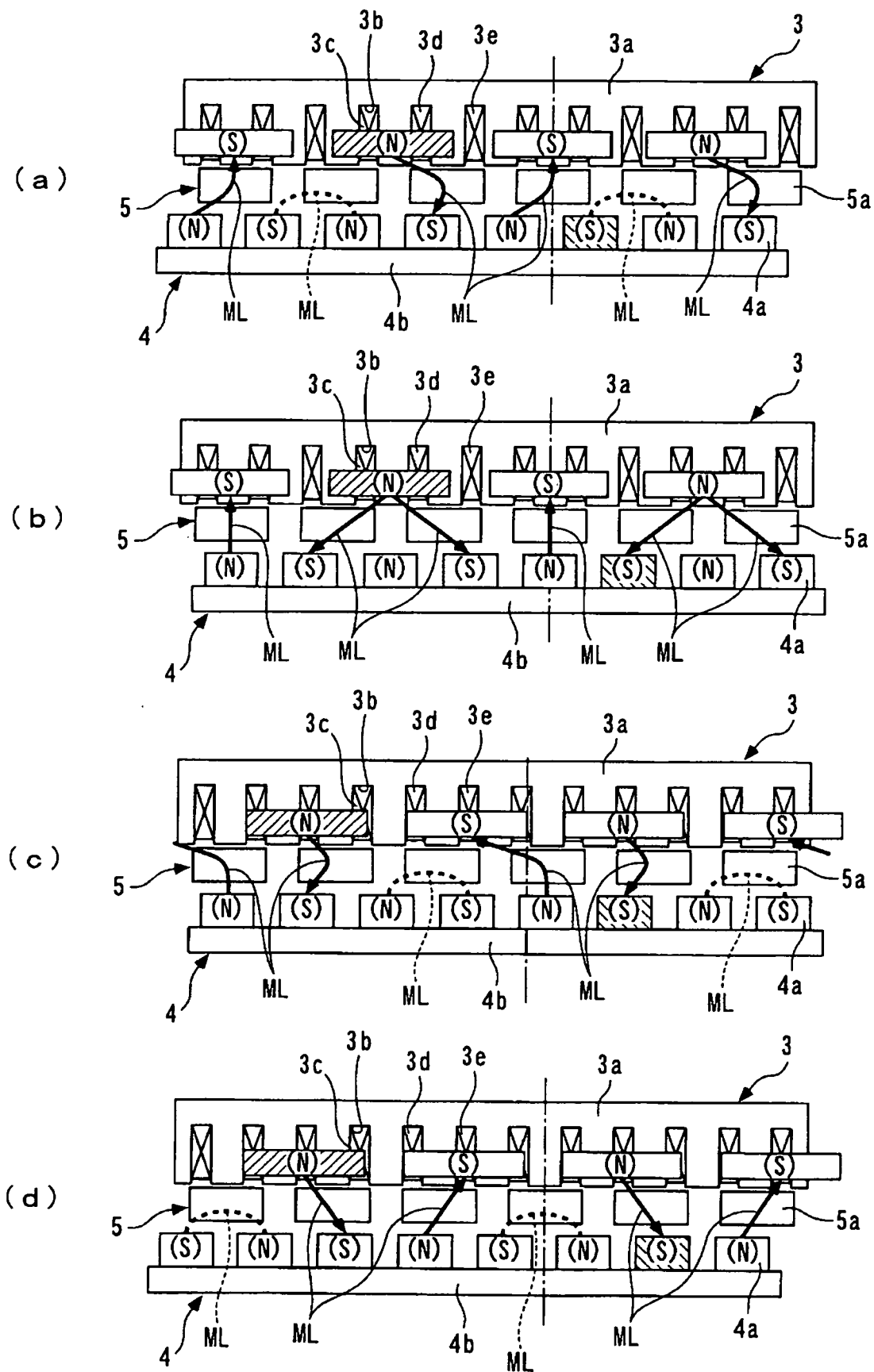


圖 10

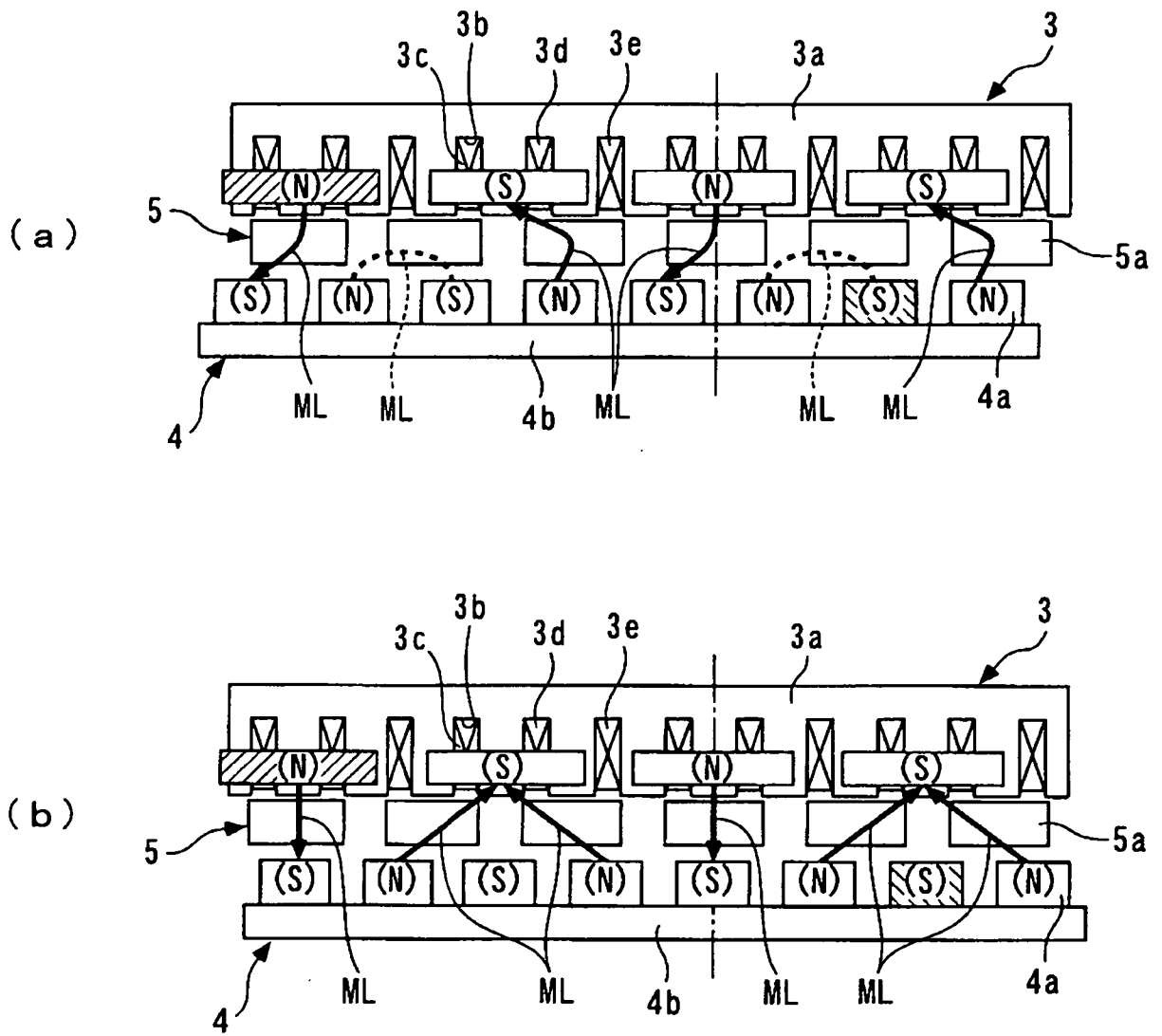


圖 11

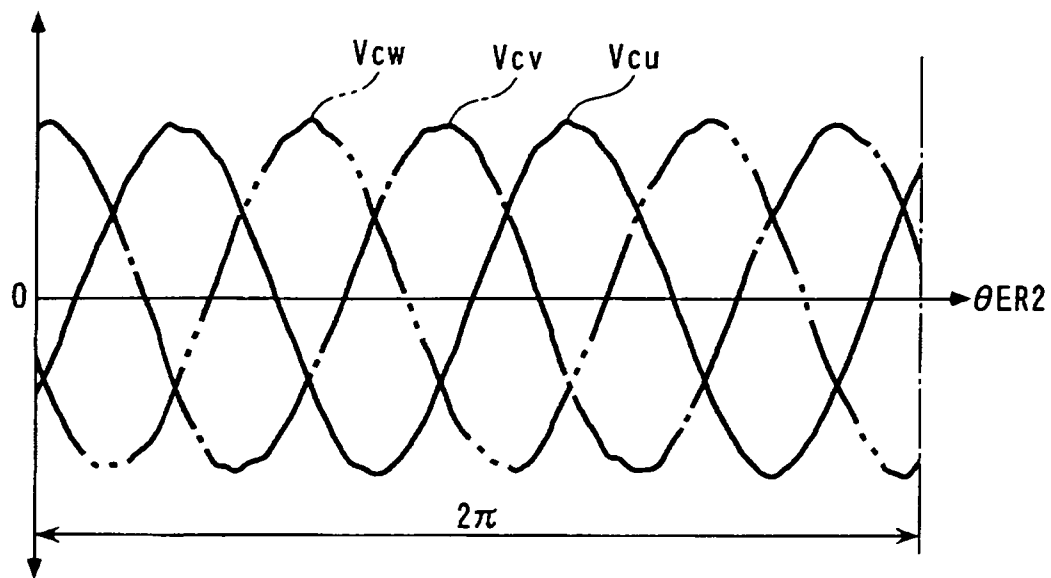


圖 12

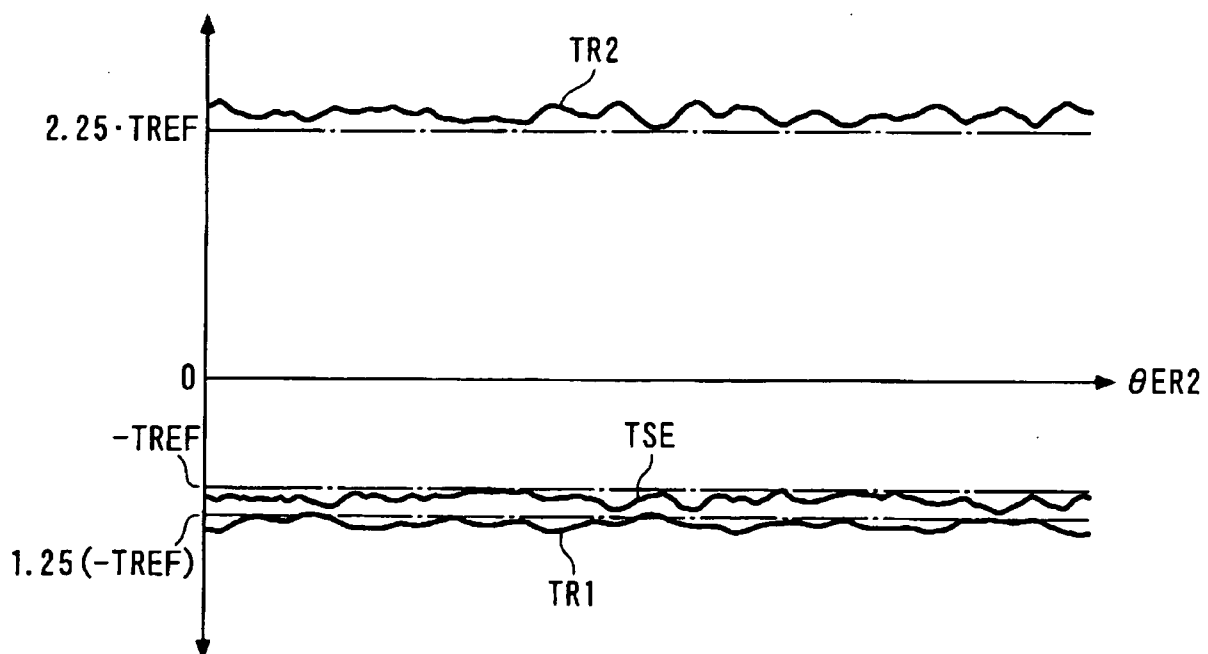


圖 13

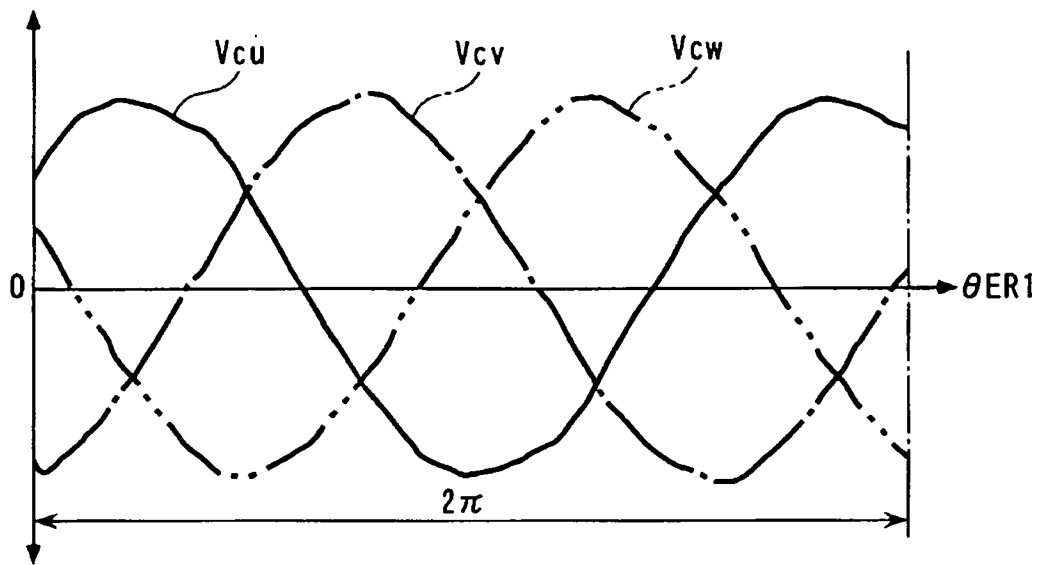


圖 14

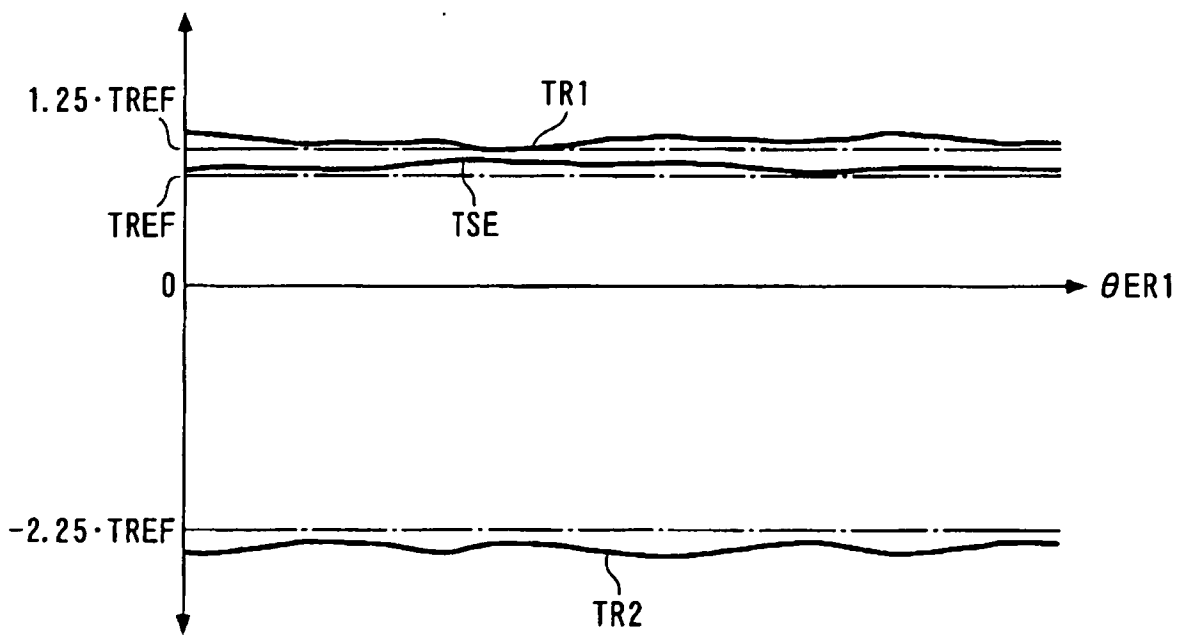


圖 15



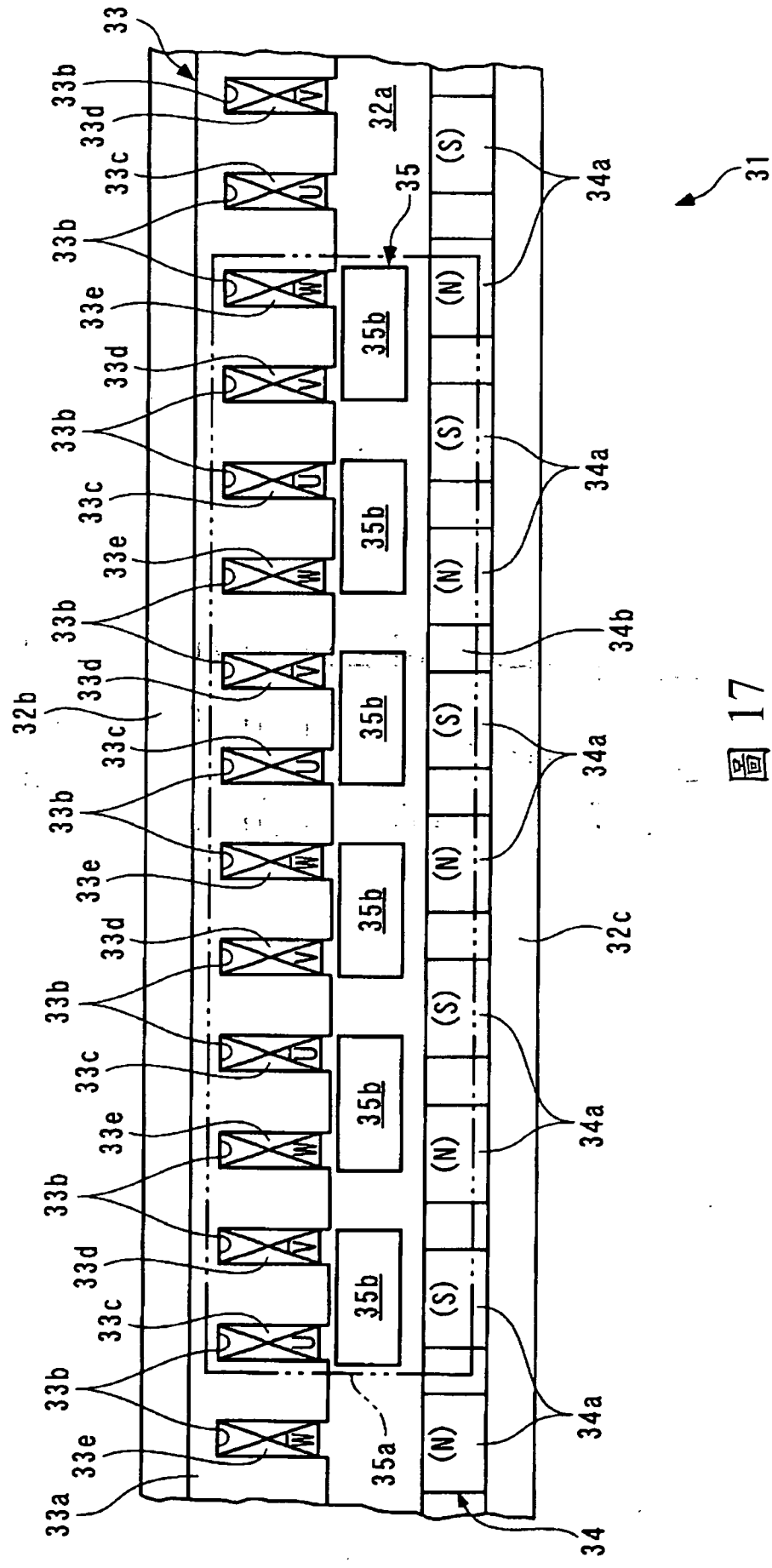


圖 17



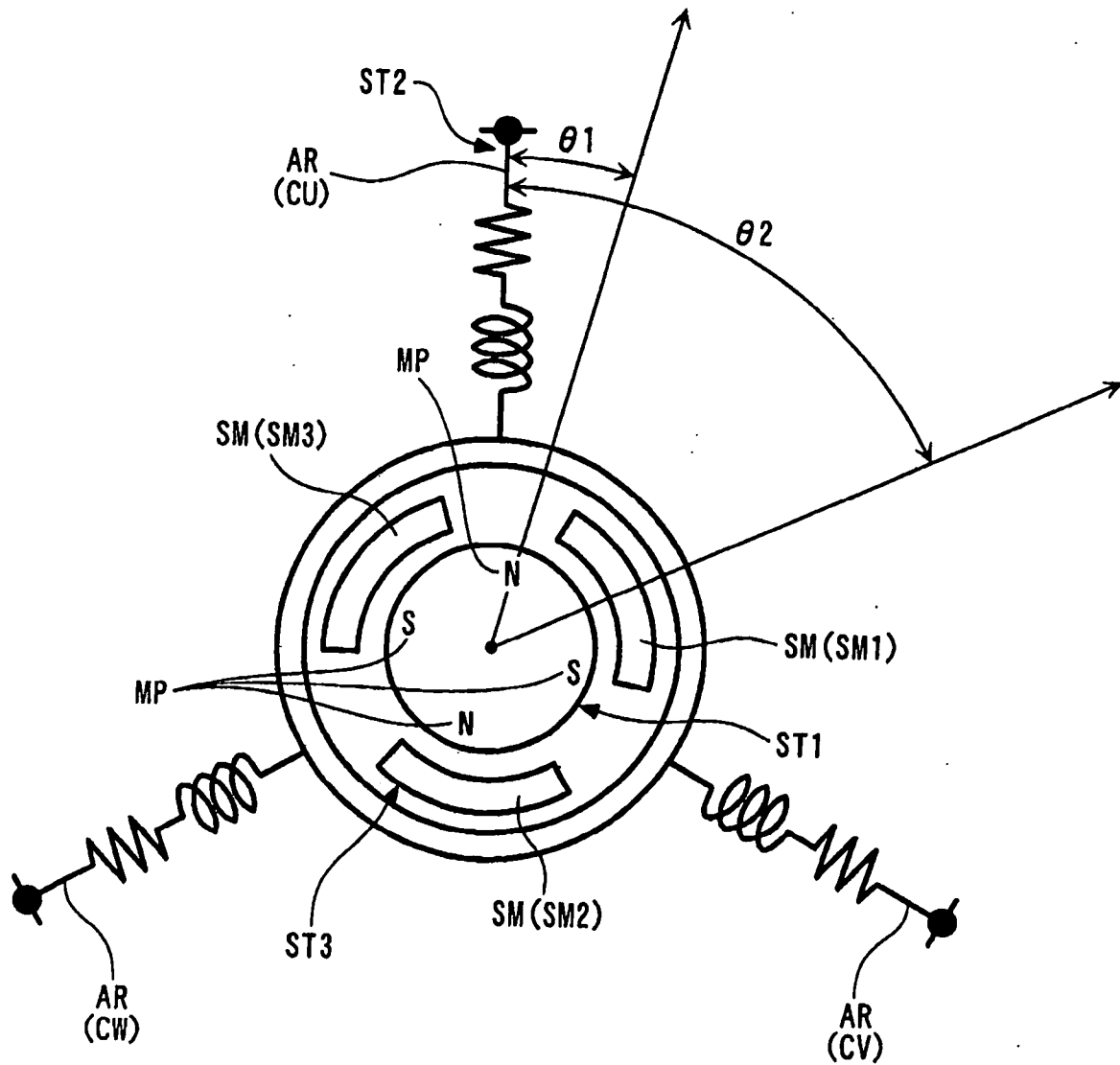


圖 19