

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2009年10月22日(22.10.2009)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2009/128287 A1

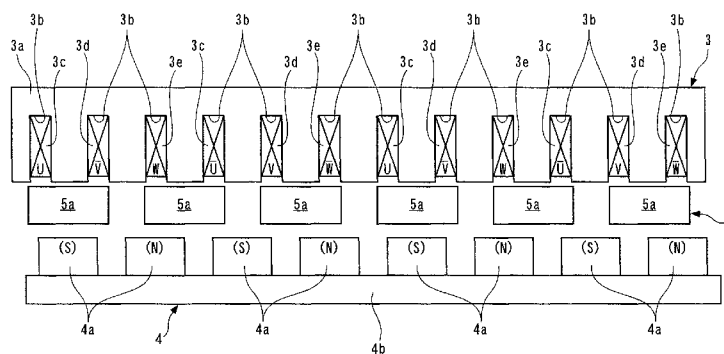
- (51) 国際特許分類:  
H02K 16/02 (2006.01) H02K 41/03 (2006.01)  
H02K 21/12 (2006.01) H02P 25/06 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/052780
- (22) 国際出願日: 2009年2月18日(18.02.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2008-105058 2008年4月14日(14.04.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 本田技研工業株式会社(HONDA MOTOR CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1078556 東京都港区南青山二丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大矢 聡義 (OYA, Satoyoshi) [JP/JP]; 〒3510193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 笠岡 広太 (KASAOKA, Kota) [JP/JP]; 〒3510193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 阿部 典行 (ABE, Noriyuki) [JP/JP]; 〒3510193 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP). 坏 重光 (AKUTSU, Shigemitsu) [JP/JP]; 〒3510193 埼玉県和光市中央
- 1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 高橋 友雄 (TAKAHASHI, Tomoo); 〒1080014 東京都港区芝4丁目11番5号 MSビル5階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ELECTRIC MOTOR

(54) 発明の名称: 電動機

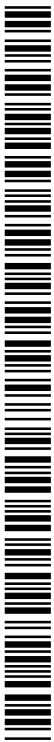
[図3]



(57) Abstract: Provided is an electric motor which achieves reductions in size and manufacturing cost and an increase in design flexibility. An electric motor (1) is provided with a first structure (4) provided with a magnetic pole row which is composed of predetermined plural magnetic poles (4a) arranged in a predetermined direction and is disposed such that respective two adjacent magnetic poles (4a) are polarized differently from each other, a second structure (3) provided with an armature row which is disposed so as to face the magnetic pole row and generates a shifting magnetic field that shifts in a predetermined direction in a space between the magnetic pole row and the armature row by predetermined plural armature magnetic poles generated in plural armatures (3c-3e) accompanying the supply of power, and a third structure (5) provided with a soft magnetic substance row which is composed of predetermined plural soft magnetic substances (5a) arranged apart from each other in a predetermined direction and is disposed so as to be located between the magnetic pole row and the armature row. The ratio of the number of armature magnetic poles to the number of magnetic poles (4a) to the number of soft magnetic substances (5a) is set to 1:m:(1+m)/2(m≠1.0).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2009/128287 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

小型化および製造コストの削減を図れるとともに、設計の自由度を高められる電動機を提供する。電動機 1 は、所定方向に並んだ所定の複数の磁極 4 a で構成され、隣り合う各 2 つの磁極 4 a が互いに異なる極性を有するように配置された磁極列を有する第 1 構造体 4 と、磁極列に対向するように配置され、電力の供給に伴って複数の電機子 3 c ~ 3 e に発生する所定の複数の電機子磁極により、所定方向に移動する移動磁界を磁極列との間に発生させる電機子列を有する第 2 構造体 3 と、互いに間隔を隔てて所定方向に並んだ所定の複数の軟磁性体 5 a で構成され、磁極列と電機子列の間に位置するように配置された軟磁性体列を有する第 3 構造体 5 と、を備え、電機子磁極の数と磁極 4 a の数と軟磁性体 5 a の数との比が、 $1 : m : (1 + m) / 2$  ( $m \neq 1, 0$ ) に設定されている。

## 明 細 書

### 電動機

### 技術分野

[0001] 本発明は、複数の可動子または固定子を有し、供給された電力を動力に変換して可動子から出力する電動機に関する。

### 背景技術

[0002] 従来この種の電動機として、例えば特許文献1に開示されたものが知られている。この電動機は、いわゆる回転機であり、第1回転軸および第2回転軸にそれぞれ連結された第1ロータおよび第2ロータと、単一のステータを備えている。第1および第2の回転軸は互いに同心状に配置されており、第1ロータ、第2ロータおよびステータは、第1回転軸の径方向に、内側からこの順で並んでいる。

[0003] 第1ロータは、各々が周方向に並んだ複数の第1永久磁石および第2永久磁石を有しており、第1および第2の永久磁石は、第1ロータの軸線方向に互いに並列に並んでいる。ステータは、電力の供給により、周方向に回転する第1回転磁界および第2回転磁界を発生させるように構成されており、この第1回転磁界は、第1ロータの第1永久磁石側の部分との間に発生し、この第2回転磁界は、第1ロータの第2永久磁石側の部分との間に発生する。第2ロータは、各々が周方向に並んだ複数の第1コアおよび第2コアを有している。これらの第1および第2のコアは、軟磁性体で構成されており、第1コアは、第1ロータの第1永久磁石側の部分とステータの間に配置され、第2コアは、第1ロータの第2永久磁石側の部分とステータの間に配置されている。第1および第2の永久磁石の磁極、第1および第2の回転磁界の磁極、ならびに、第1および第2のコアの数、互いに同じに設定されている。

[0004] 以上の構成の電動機では、ステータへの電力供給による第1および第2の回転磁界の発生に伴い、第1および第2の回転磁界の磁極と第1および第2の永久磁石の磁極により、第1および第2のコアが磁化されることによって、これらの要素の間に磁力線が発生する。また、この磁力線の磁力による作用により、第1および第2のロータが駆動され、ひいては、第1および第2の回転軸から動力が出力される。

[0005] 上述した従来の電動機では、その構成上、ステータに供給した電力を動力に変換して第1回転軸や第2回転軸から出力すべく、上記の磁力線による磁力を適切に作用させるためには、複数の第1コアから成る第1軟磁性体列だけでなく、複数の第2コアから成る第2軟磁性体列が必要不可欠であり、電動機の大型化や製造コストの増大を招くことは避けられない。また、電動機は、その構成上、第1および第2の回転磁界の回転数と第2ロータの回転数との差と、第2ロータの回転数と第1ロータの回転数との差が同じになるような速度関係でしか成立しないため、その設計の自由度が低い。

[0006] 本発明は、以上のような課題を解決するためになされたものであり、小型化および製造コストの削減を図ることができるとともに、設計の自由度を高めることができる電動機を提供することを目的とする。

[0007] 特許文献1:特開2008-67592号公報

#### 発明の開示

[0008] 上記の目的を達成するため、請求項1に係る電動機1、31は、所定方向に並んだ所定の複数の磁極(永久磁石4a、34a)で構成され、隣り合う各2つの磁極が互いに異なる極性を有するように配置された磁極列を有する第1構造体(第1ロータ4、第1回転軸6、第2ステータ34)と、所定方向に並んだ複数の電機子(鉄芯3a、U相~W相のコイル3c~3e、鉄芯33a、U相~W相のコイル33c~33e)で構成されるとともに、磁極列に対向するように配置され、電力の供給に伴って複数の電機子に発生する所定の複数の電機子磁極により、所定方向に移動する移動磁界を磁極列との間に発生させる電機子列を有する第2構造体(ステータ3、第1ステータ33)と、互いに間隔を隔てて所定方向に並んだ所定の複数の軟磁性体(コア5a、コア35b)で構成され、磁極列と電機子列の間に位置するように配置された軟磁性体列を有する第3構造体(第2ロータ5、第2回転軸7、可動子35)と、を備え、所定方向に沿う所定の区間における電機子磁極の数と磁極の数と軟磁性体の数との比が、 $1:m:(1+m)/2$  ( $m \neq 1, 0$ )に設定されていることを特徴とする。

[0009] この電動機によれば、互に対向する第1構造体の磁極列と第2構造体の電機子列の間に位置するように、第3構造体の軟磁性体列が配置されており、これらの磁極

列、電機子列および軟磁性体列をそれぞれ構成する複数の磁極、電機子および軟磁性体は、所定方向に並んでいる。また、電機子列への電力の供給に伴い、複数の電機子磁極が発生し、これらの電機子磁極による移動磁界が、磁極列との間に発生するとともに、所定方向に移動する。さらに、隣り合う各2つの磁極が互いに異なる極性を有しており、隣り合う各2つの軟磁性体間には、間隔が空いている。上記のように、磁極列と電機子列の間において、複数の電機子磁極による移動磁界が発生するとともに軟磁性体列が配置されていることから、軟磁性体は、電機子磁極と磁極によって磁化される。このことと、上記のように隣り合う各2つの軟磁性体間に間隔が空いていることによって、磁極と軟磁性体と電機子磁極を結ぶような磁力線が発生する。また、この磁力線による磁力の作用により、電機子に供給された電力が動力に変換され、第1構造体や、第2構造体、第3構造体から出力される。

[0010] この場合、例えば、本発明の電動機を次の条件(a)および(b)の下に構成したときには、移動磁界、第1および第3の構造体間の速度の関係と、第1～第3の構造体間のトルクの関係は、次のように表される。また、電動機に相当する等価回路は、図19のように示される。

(a) 電動機が回転機であり、電機子がU相、V相およびW相の3相コイルを有する

(b) 電機子磁極が2個、磁極が4個、すなわち、電機子磁極のN極およびS極を1組とする極対数が値1、磁極のN極およびS極を1組とする極対数が値2であり、軟磁性体が3個である

なお、このように、本明細書で用いる「極対」は、N極およびS極の1組をいう。

[0011] この場合、軟磁性体のうちの第1軟磁性体を通過する磁極の磁束 $\Psi_{k1}$ は、次式(1)で表される。

[数1]

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

ここで、 $\psi_f$ は磁極の磁束の最大値、 $\theta_1$ および $\theta_2$ は、U相コイルに対する磁極の回転角度位置および軟磁性体の回転角度位置である。また、この場合、電機子磁極の極対数に対する磁極の極対数の比が値2.0であるため、磁極の磁束が移動磁界に対して2倍の周期で回転(変化)するので、上記の式(1)では、そのことを表すため

に、 $(\theta_2 - \theta_1)$ に値2. 0が乗算されている。

[0012] したがって、第1軟磁性体を介してU相コイルを通過する磁極の磁束 $\Psi_{u1}$ は、式(1)に $\cos \theta_2$ を乗算することで得られた次式(2)で表される。

[数2]

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

[0013] 同様に、軟磁性体のうちの第2軟磁性体を通過する磁極の磁束 $\Psi_{k2}$ は、次式(3)で表される。

[数3]

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

電機子に対する第2軟磁性体の回転角度位置が、第1軟磁性体に対して $2\pi/3$ だけ進んでいるため、上記の式(3)では、そのことを表すために、 $\theta_2$ に $2\pi/3$ が加算されている。

[0014] したがって、第2軟磁性体を介してU相コイルを通過する磁極の磁束 $\Psi_{u2}$ は、式(3)に $\cos(\theta_2 + 2\pi/3)$ を乗算することで得られた次式(4)で表される。

[数4]

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

[0015] 同様に、軟磁性体のうちの第3軟磁性体を介してU相コイルを通過する磁極の磁束 $\Psi_{u3}$ は、次式(5)で表される。

[数5]

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

[0016] 図19に示すような電動機では、軟磁性体を介してU相コイルを通過する磁極の磁束 $\Psi_u$ は、上記の式(2)、(4)および(5)で表される磁束 $\Psi_{u1} \sim \Psi_{u3}$ を足し合わせたものになるので、次式(6)で表される。

[数6]

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

[0017] また、この式(6)を一般化すると、軟磁性体を介してU相コイルを通過する磁極の磁束 $\Psi_u$ は、次式(7)で表される。

[数7]

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

ここで、a、bおよびcはそれぞれ、磁極の極対数、軟磁性体の数および電機子磁極の極対数である。

また、この式(7)を、三角関数の和と積の公式に基づいて変形すると、次式(8)が得られる。

[数8]

$$\begin{aligned} \Psi_u = & \sum_{i=1}^b \frac{1}{2} \cdot \psi f \{ \cos [(a+c)\theta_2 - a\cdot\theta_1 + (a+c)(i-1)\frac{2\pi}{b}] \\ & + \cos [(a-c)\theta_2 - a\cdot\theta_1 + (a-c)(i-1)\frac{2\pi}{b}] \} \quad \dots\dots (8) \end{aligned}$$

[0018] この式(8)において、 $b=a+c$ とするとともに、 $\cos(\theta + 2\pi) = \cos \theta$ に基づいて整理すると、次式(9)が得られる。

[数9]

$$\begin{aligned} \Psi_u = & \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos [(a+c)\theta_2 - a\cdot\theta_1] \\ & + \sum_{i=1}^b \frac{1}{2} \cdot \psi f \{ \cos [(a-c)\theta_2 - a\cdot\theta_1 + (a-c)(i-1)\frac{2\pi}{b}] \} \quad \dots\dots (9) \end{aligned}$$

この式(9)を三角関数の加法定理に基づいて整理すると、次式(10)が得られる。

[数10]

$$\begin{aligned} \Psi_u &= \frac{b}{2} \cdot \psi f \cdot \cos[(a+c)\theta_2 - a \cdot \theta_1] \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \psi f \cdot \cos[(a-c)\theta_2 - a \cdot \theta_1] \sum_{i=1}^b \cos[(a-c)(i-1) \frac{2\pi}{b}] \\ &- \frac{1}{2} \cdot \psi f \cdot \sin[(a-c)\theta_2 - a \cdot \theta_1] \sum_{i=1}^b \sin[(a-c)(i-1) \frac{2\pi}{b}] \dots\dots (10) \end{aligned}$$

[0019] この式(10)の右辺の第2項は、 $a-c \neq 0$ を条件として、級数の総和やオイラーの公式に基づいて整理すると、次式(11)に示すように値0になる。

[数11]

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

[0020] また、上記の式(10)の右辺の第3項も、 $a-c \neq 0$ を条件として、級数の総和やオイラーの公式に基づいて整理すると、次式(12)に示すように値0になる。

[数12]

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

[0021] 以上により、 $a-c \neq 0$ のときには、軟磁性体を介してU相コイルを通過する磁極の磁束  $\Psi_u$ は、次式(13)で表される。

[数13]

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

また、この式(13)において、 $a/c = \alpha$ とすると、次式(14)が得られる。

[数14]

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

[0022] さらに、この式(14)において、 $c \cdot \theta_2 = \theta_{e2}$ とするとともに、 $c \cdot \theta_1 = \theta_{e1}$ とすると、次式(15)が得られる。

[数15]

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

ここで、 $\theta_{e2}$ は、U相コイルに対する軟磁性体の回転角度位置  $\theta_2$ に電機子磁極の極対数 $c$ を乗算していることから明らかなように、U相コイルに対する軟磁性体の電気角度位置を表す。また、 $\theta_{e1}$ は、U相コイルに対する磁極の回転角度位置  $\theta_1$ に電機子磁極の極対数 $c$ を乗算していることから明らかなように、U相コイルに対する磁極の電気角度位置を表す。

[0023] 同様に、軟磁性体を介してV相コイルを通過する磁極の磁束 $\Psi_v$ は、V相コイルの電気角度位置がU相コイルに対して電気角 $2\pi/3$ だけ進んでいることから、次式(16)で表される。また、軟磁性体を介してW相コイルを通過する磁極の磁束 $\Psi_w$ は、W相コイルの電気角度位置がU相コイルに対して電気角 $2\pi/3$ だけ遅れていることから、次式(17)で表される。

[数16]

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

[数17]

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

[0024] また、上記の式(15)～(17)でそれぞれ表される磁束 $\Psi_u \sim \Psi_w$ を時間微分すると、次式(18)～(20)がそれぞれ得られる。

[数18]

$$\frac{d\Psi_u}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{ [(\alpha+1)\omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1}] \sin [(\alpha+1) \theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1}] \} \quad \dots\dots (18)$$

[数19]

$$\frac{d\Psi_v}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{ [(\alpha+1)\omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1}] \sin \left[ (\alpha+1) \theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} - \frac{2\pi}{3} \right] \} \quad \dots\dots (19)$$

[数20]

$$\frac{d\Psi_w}{dt} = -\frac{b}{2} \cdot \psi f \{ [(\alpha+1)\omega_{e2} - \alpha \cdot \omega_{e1}] \sin \left[ (\alpha+1) \theta_{e2} - \alpha \cdot \theta_{e1} + \frac{2\pi}{3} \right] \} \quad \dots\dots (20)$$

ここで、 $\omega_{e1}$ は、 $\theta_{e1}$ の時間微分値、すなわち、第2構造体に対する第1構造体の角速度を電気角速度に換算した値であり、 $\omega_{e2}$ は、 $\theta_{e2}$ の時間微分値、すなわち、第2構造体に対する第3構造体の角速度を電気角速度に換算した値である。

[0025] さらに、軟磁性体を介さずにU相～W相のコイルを直接、通過する磁束は、極めて小さく、その影響は無視できる。このため、軟磁性体を介してU相～W相のコイルをそ

れぞれ通過する磁極の磁束 $\Psi_u \sim \Psi_w$ (式(18)～(20))の時間微分値 $d\Psi_u/dt \sim d\Psi_w/dt$ は、電機子列に対して磁極や軟磁性体が回転(移動)するのに伴ってU相～W相のコイルに発生する逆起電圧(誘導起電圧)をそれぞれ表す。

[0026] このことから、U相、V相およびW相のコイルをそれぞれ流れる電流 $I_u$ 、 $I_v$ および $I_w$ は、次式(21)、(22)および(23)で表される。

[数21]

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

[数22]

$$I_v = I \cdot \sin[(\alpha+1)\theta e_2 - \alpha \cdot \theta e_1 - \frac{2\pi}{3}] \quad \dots\dots (22)$$

[数23]

$$I_w = I \cdot \sin[(\alpha+1)\theta e_2 - \alpha \cdot \theta e_1 + \frac{2\pi}{3}] \quad \dots\dots (23)$$

ここで、 $I$ は、U相～W相のコイルを流れる電流の振幅(最大値)である。

[0027] また、これらの式(21)～(23)より、U相コイルに対する移動磁界(回転磁界)のベクトルの電気角度位置 $\theta_{mf}$ は、次式(24)で表されるとともに、U相コイルに対する移動磁界の電気角速度 $\omega_{mf}$ は、次式(25)で表される。

[数24]

$$\theta_{mf} = (\alpha+1)\theta e_2 - \alpha \cdot \theta e_1 \quad \dots\dots (24)$$

[数25]

$$\omega_{mf} = (\alpha+1)\omega e_2 - \alpha \cdot \omega e_1 \quad \dots\dots (25)$$

[0028] また、電機子列が第2構造体とともに移動不能に構成されている場合において、U相～W相のコイルに電流 $I_u \sim I_w$ がそれぞれ流れることで第1および第3の構造体に出力される機械的出力(動力) $W$ は、リアクタンス分を除くと、次式(26)で表される。

[数26]

$$W = \frac{d\Psi_u}{dt} \cdot I_u + \frac{d\Psi_v}{dt} \cdot I_v + \frac{d\Psi_w}{dt} \cdot I_w \quad \dots\dots (26)$$

この式(26)に式(18)～(23)を代入し、整理すると、次式(27)が得られる。

[数27]

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

[0029] さらに、この機械的出力Wと、磁極を介して第1構造体に伝達されるトルク(以下「第1トルク」という)T1と、軟磁性体を介して第3構造体に伝達されるトルク(以下「第2トルク」という)T2と、第1構造体の電気角速度  $\omega e1$  および第3構造体の電気角速度  $\omega e2$  との関係は、次式(28)で表される。

[数28]

$$W = T1 \cdot \omega e1 + T2 \cdot \omega e2 \quad \dots\dots (28)$$

これらの式(27)および(28)から明らかなように、第1および第2のトルクT1, T2は、次式(29)および(30)でそれぞれ表される。

[数29]

$$T1 = \alpha \cdot \frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi f \cdot I \quad \dots\dots (29)$$

[数30]

$$T2 = -(\alpha + 1) \cdot \frac{3 \cdot b}{4} \cdot \psi f \cdot I \quad \dots\dots (30)$$

[0030] また、電機子列に供給された電力および移動磁界の電気角速度  $\omega mf$  と等価のトルクを駆動用等価トルクTeとすると、電機子列に供給された電力と機械的出力Wが互いに等しい(ただし、損失は無視)ことと、式(28)から、この駆動用等価トルクTeは、次式(31)で表される。

[数31]

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

さらに、これらの式(29)～(31)より、次式(32)が得られる。

[数32]

$$Te = \frac{T1}{\alpha} = \frac{-T2}{(\alpha + 1)} \quad \dots\dots (32)$$

この式(32)で表されるトルクの関係、および前記式(25)で表される電気角速度の関係は、遊星歯車装置のサンギヤ、リングギヤおよびキャリアにおける回転速度およびトルクの関係とまったく同じである。また、このような電気角速度の関係およびトルク

の関係は、上述した第2構造体を移動不能にした場合だけに限らず、あらゆる第1～第3の構造体の移動の可否の条件において成立する。例えば、第2構造体を移動不能に構成せずに、第2構造体に動力を入力した状態で電力を供給した場合にも成立し、第2構造体に加え、第1または第3の構造体を移動不能に構成した場合や、第1または第3の構造体に動力を入力した状態で電機子列に電力を供給した場合にも成立する。また、第2構造体を移動可能に構成するとともに、第1および／または第3の構造体を移動不能に構成した場合や、第1および／または第3の構造体に動力を入力した状態で電力を供給した場合にも成立する。

[0031] さらに、前述したように、 $b = a + c$  および  $a - c \neq 0$  を条件として、式(25)の電気角速度の関係および式(32)のトルクの関係が成立する。この条件  $b = a + c$  は、磁極の数を  $p$ 、電機子磁極の数を  $q$  とすると、 $b = (p + q) / 2$ 、すなわち、 $b / q = (1 + p / q) / 2$  で表される。ここで、 $p / q = m$  とすると、 $b / q = (1 + m) / 2$  が得られることから明らかのように、上記の  $b = a + c$  という条件が成立していることは、電機子磁極の数と磁極の数と軟磁性体の数との比が、 $1 : m : (1 + m) / 2$  であることを表す。また、上記の  $a - c \neq 0$  という条件が成立していることは、 $m \neq 1.0$  であることを表す。本発明の電動機によれば、所定方向における所定の区間において、電機子磁極の数と磁極の数と軟磁性体の数との比が、 $1 : m : (1 + m) / 2$  ( $m \neq 1.0$ ) に設定されているので、式(25)に示す電気角速度の関係および式(32)に示すトルクの関係が成立し、電動機が適正に作動することが分かる。

[0032] また、前述した従来の場合と異なり、単一の軟磁性体列だけで電動機を作動させることができるので、電動機の小型化および製造コストの削減を図ることができる。さらに、式(25)および(32)から明らかのように、 $\alpha = a / c$ 、すなわち、電機子磁極の極対数に対する磁極の極対数の比を設定することによって、移動磁界、第2および第3の構造体間の電気角速度の関係と、第1～第3の構造体間のトルク関係を自由に設定でき、したがって、電動機の設計の自由度を高めることができる。この効果は、複数の電機子のコイルの相数が前述した値3以外の場合にも同様に得られ、また、電動機が回転機ではなく、リニアモータの場合にも同様に得られる。なお、リニアモータの場合、「トルク」ではなく、「推力」の関係を自由に設定できることはもちろんで

ある。

- [0033] 請求項2に係る発明は、請求項1に記載の電動機1、31において、第1～第3の構造体の相対的な位置関係を検出する相対位置関係検出手段(第1回転位置センサ21, 第2回転位置センサ22, 電気角変換器16b、位置センサ41)と、検出された第1～第3の構造体の相対的な位置関係に基づいて、移動磁界を制御する制御手段(ECU16)と、をさらに備えることを特徴とする。
- [0034] この構成によれば、相対位置関係検出手段によって、第1～第3の構造体の3者の相対的な位置関係が検出されるとともに、検出された第1～第3の構造体の3者の相対的な位置関係に基づき、移動磁界が制御手段によって制御される。これにより、磁極と軟磁性体と電機子磁極の間に磁力線を適切に発生させ、この磁力線による磁力を適切に作用させることができるので、電動機の適正な動作を確保することができる。
- [0035] 請求項3に係る発明は、請求項2に記載の電動機1、31において、相対位置関係検出手段(第1回転位置センサ21, 第2回転位置センサ22, 電気角変換器16b)は、第1～第3の構造体の相対的な位置関係として、第2構造体に対する第1構造体および第3構造体の電気角度位置をそれぞれ検出し、制御手段は、検出された第3構造体の電気角度位置(第2ロータ電気角  $\theta_{ER2}$ )に $(1+m)$ を乗算した値と、検出された第1構造体の電気角度位置(第1ロータ電気角  $\theta_{ER1}$ )に $m$ を乗算した値との差に基づいて、移動磁界を制御することを特徴とする。
- [0036] この構成によれば、第2構造体に対する第3構造体の電気角度位置に $(1+m)$ を乗算した値と、第2構造体に対する第1構造体の電気角度位置に $m$ を乗算した値との差に基づいて、移動磁界が制御される。この $m$ は、請求項1から明らかなように、電機子磁極の数に対する磁極の数の比を表す。また、請求項1の作用で述べたように、電動機の作動中、移動磁界の電気角度位置と第2および第3の構造体の電気角度位置の関係は、式(24)で表される。この式(24)における $\alpha$ は、電機子磁極の極対数に対する磁極の極対数の比( $a/c$ )、すなわち、電機子磁極の数に対する磁極の数の比を表し、 $m$ と等しい。したがって、上述した構成によれば、電動機のより適正な動作を確保することができる。
- [0037] 請求項4に係る発明は、請求項1ないし3のいずれかに記載の電動機1、31におい

て、磁極は永久磁石4a, 34aの磁極であることを特徴とする。

[0038] この構成によれば、磁極として永久磁石の磁極を用いるので、電磁石の磁極を用いた場合と異なり、電磁石に電力を供給するための電気回路やコイルが不要になる。これにより、電動機をさらに小型化できるとともに、構成を単純化することができる。また、例えば、磁極を有する第1構造体を回転可能に構成した場合に、磁極として電磁石の磁極を用いたときの電力供給用のスリップリングが不要になり、その分、電動機を小型化できるとともに、効率を高めることができる。

[0039] 請求項5に係る発明は、請求項1に記載の電動機1において、電動機は回転機であることを特徴とする。

[0040] この構成によれば、請求項1で述べた効果を、回転機において得ることができる。

[0041] 請求項6に係る発明は、請求項1に記載の電動機31において、電動機はリニアモータであることを特徴とする。

[0042] この構成によれば、請求項1で述べた効果を、リニアモータにおいて得ることができる。

#### 図面の簡単な説明

[0043] [図1]本発明の第1実施形態による電動機を概略的に示す断面図である。

[図2]図1の電動機やECUを示すブロック図である。

[図3]図1の電動機のステータ、第1および第2のロータを周方向に展開し、概略的に示す図である。

[図4]図1の電動機における磁界電気角速度、第1および第2のロータ電気角速度の関係の一例を示す共線図である。

[図5]図1の電動機の第1ロータを固定した状態で、ステータに電力を供給した場合における動作を説明するための図である。

[図6]図5の続きの動作を説明するための図である。

[図7]図6の続きの動作を説明するための図である。

[図8]図5に示す状態から、電機子磁極が電気角 $2\pi$ だけ回転したときにおける電機子磁極やコアの位置関係を説明するための図である。

[図9]図1の電動機の第2ロータを固定した状態で、ステータに電力を供給した場合に

おける動作を説明するための図である。

[図10]図9の続きの動作を説明するための図である。

[図11]図10の続きの動作を説明するための図である。

[図12]本発明の電動機の第1ロータを固定した場合におけるU相～W相の逆起電圧の推移の一例を示す図である。

[図13]本発明の電動機の第1ロータを固定した場合における駆動用等価トルク、第1および第2のロータ伝達トルクの推移の一例を示す図である。

[図14]本発明の電動機の第2ロータを固定した場合におけるU相～W相の逆起電圧の推移の一例を示す図である。

[図15]本発明の電動機の第2ロータを固定した場合における駆動用等価トルク、第1および第2のロータ伝達トルクの推移の一例を示す図である。

[図16]本発明の第2実施形態による電動機などを概略的に示す正面図である。

[図17]図16の電動機の一部を概略的に示す平面図である。

[図18]図16の電動機における電機子磁極、コアおよび磁石磁極の数の関係を説明するための図である。

[図19]本発明の電動機の等価回路を示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0044] 以下、図面を参照しながら、本発明の好ましい実施形態について説明する。図1は、本発明の第1実施形態による電動機1を示している。この電動機1は、回転機として構成されており、その動作が、図2に示すECU16によって制御される。図1に示すように、電動機1は、不動のケース2と、ケース2内に設けられたステータ3と、ケース2内にステータ3に対向するように設けられた第1ロータ4と、両者3、4の間に設けられた第2ロータ5と、第1回転軸6および第2回転軸7を備えている。なお、図1では、第1回転軸6などの一部の要素を、図示の便宜上、スケルトン図的に描いている。また、図1および後述する他の図面では、断面を示す部分のハッチングを省略している。

[0045] ケース2は、円筒状の周壁2aと、この周壁2aの両端部に一体に設けられた円板状の一对の側壁2b、2cを有している。これらの側壁2b、2cの中央には、取付孔2d、2eがそれぞれ形成されており、これらの取付孔2d、2eには、軸受け8および9がそれぞれ

れ取り付けられている。

[0046] 上記の第1および第2の回転軸6, 7は、軸受け8, 9に回転自在にそれぞれ支持されており、互いに同心状に配置されている。また、第1および第2の回転軸6, 7はいずれも、その一部がケース2内に收容され、残りがケース2の外方に突出している。さらに、上記のステータ3、第2ロータ5および第1ロータ4は、第1回転軸6の径方向(以下、単に「径方向」という)に、外側からこの順で並んでおり、同心状に配置されている。

[0047] ステータ3は、回転磁界を発生させるものであり、図3に示すように、鉄芯3aと、この鉄芯3aに設けられたU相、V相およびW相のコイル3c, 3d, 3eを有している。なお、図1では、便宜上、U相コイル3cのみを示している。鉄芯3aは、複数の鋼板を積層した円筒状のものであり、第1回転軸6の軸線方向(以下、単に「軸線方向」という)に延びており、ケース2の周壁2aの内周面に取り付けられている。また、鉄芯3aの内周面には、12個のスロット3bが形成されており、これらのスロット3bは、軸線方向に延びるとともに、第1回転軸6の周方向(以下、単に「周方向」という)に等間隔で並んでいる。上記のU相～W相のコイル3c～3eは、スロット3bに分布巻き(波巻き)で巻回されるとともに、可変電源15に接続されている(図2参照)。この可変電源15は、インバータなどからなる電気回路とバッテリーを組み合わせたものであり、ECU16に接続されている。

[0048] 以上の構成のステータ3では、可変電源15から電力が供給されたときに、鉄芯3aの第1ロータ4側の端部に、4個の磁極が周方向に等間隔で発生する(図5参照)とともに、これらの磁極による回転磁界が周方向に回転する。以下、鉄芯3aに発生する磁極を「電機子磁極」という。また、周方向に隣り合う各2つの電機子磁極の極性は、互いに異なっている。なお、図5や後述する他の図面では、電機子磁極を、鉄芯3aやU相～W相のコイル3c～3eの上に、(N)および(S)で表記している。

[0049] 図3に示すように、第1ロータ4は、8個の永久磁石4aから成る磁極列を有している。これらの永久磁石4aは、周方向に等間隔で並んでおり、この磁極列は、ステータ3の鉄芯3aに対向している。各永久磁石4aは、軸線方向に延びており、その軸線方向の長さが、ステータ3の鉄芯3aのそれと同じに設定されている。

- [0050] また、永久磁石4aは、リング状の固定部4bの外周面に取り付けられている。この固定部4bは、軟磁性体、例えば鉄または複数の鋼板を積層したもので構成されており、その内周面が、第1回転軸6に一体に同心状に設けられた円板状のフランジ4cの外周面に取り付けられている。これにより、永久磁石4aを含む第1ロータ4は、第1回転軸6と一体に回転自在になっている。さらに、上記のように軟磁性体で構成された固定部4bの外周面に永久磁石4aが取り付けられているので、各永久磁石4aには、ステータ3側の端部に、(N)または(S)の1つの磁極が現れる。なお、図3や後述する他の図面では、永久磁石4aの磁極を(N)および(S)で表記している。また、周方向に隣り合う各2つの永久磁石4aの極性は、互いに異なっている。
- [0051] 第2ロータ5は、6個のコア5aから成る軟磁性体列を有している。これらのコア5aは、周方向に等間隔で並んでおり、この軟磁性体列は、ステータ3の鉄芯3aと第1ロータ4の磁極列との間に、それぞれ所定の間隔を隔てて配置されている。各コア5aは、軟磁性体、例えば複数の鋼板を積層したものであり、軸線方向に延びている。また、コア5aの軸線方向の長さは、永久磁石4aと同様、ステータ3の鉄芯3aのそれと同じに設定されている。さらに、コア5aは、円板状のフランジ5bの外端部に、軸線方向に若干延びる筒状の連結部5cを介して取り付けられている。このフランジ5bは、第2回転軸7に一体に同心状に設けられている。これにより、コア5aを含む第2ロータ5は、第2回転軸7と一体に回転自在になっている。なお、図3では、便宜上、連結部5cおよびフランジ5bを省略している。
- [0052] また、図2に示すように、電動機1には、電磁誘導式の第1回転位置センサ21および第2回転位置センサ22が設けられている。この第1回転位置センサ21は、ステータ3の特定のU相コイル3c(以下「基準コイル」という)に対する第1ロータ4の特定の永久磁石4aの回転角度位置(以下「第1ロータ回転角 $\theta R1$ 」という)を表す検出信号を、ECU16に出力する。上記の第2回転位置センサ22は、基準コイルに対する第2ロータ5の特定のコア5aの回転角度位置(以下「第2ロータ回転角 $\theta R2$ 」という)を表す検出信号を、ECU16に出力する。
- [0053] さらに、電動機1には、第1電流センサ23および第2電流センサ24が設けられている。これらの第1および第2の電流センサ23, 24はそれぞれ、U相およびV相のコイ

ル3c, 3dをそれぞれ流れる電流(以下、それぞれ「U相電流 $I_u$ 」「V相電流 $I_v$ 」という)を表す検出信号をECU16に出力する。

[0054] ECU16は、I/Oインターフェース、CPU、RAMおよびROMなどからなるマイクロコンピュータで構成されており、上述した各種のセンサ21～24からの検出信号に応じて、電動機1の動作を制御する。

[0055] なお、本実施形態では、永久磁石4aが本発明における磁極に相当するとともに、第1ロータ4および第1回転軸6が、本発明における第1構造体に相当する。また、鉄芯3aおよびU相～W相のコイル3c～3eが、本発明における電機子に相当するとともに、ステータ3が、本発明における第2構造体に相当する。さらに、コア5aが本発明における軟磁性体に相当するとともに、第2ロータ5および第2回転軸7が、本発明における第3構造体に相当する。また、ECU16が、本発明における制御手段に相当するとともに、第1および第2の回転位置センサ21, 22が、本発明における相対位置関係検出手段に相当する。

[0056] 前述したように、電動機1では、電機子磁極が4個、永久磁石4aの磁極(以下「磁石磁極」という)が8個、コア5aが6個である。すなわち、電機子磁極の数と磁石磁極の数とコア5aの数との比(以下「極数比」という)は、 $1:2.0:(1+2.0)/2$ に設定されている。このことと、前述した式(18)～(20)から明らかなように、ステータ3に対して第1ロータ4や第2ロータ5が回転するのに伴ってU相～W相のコイル3c～3eにそれぞれ発生する逆起電圧(以下、それぞれ「U相逆起電圧 $V_{cu}$ 」「V相逆起電圧 $V_{cv}$ 」「W相逆起電圧 $V_{cw}$ 」という)は、次式(33)、(34)および(35)で表される。

[数33]

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

[数34]

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

[数35]

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

[0057] ここで、Iは、U相～W相のコイル3c～3eを流れる電流の振幅(最大値)、 $\psi F$ は、磁石磁極の磁束の最大値である。 $\theta_{ER1}$ は、いわゆる機械角である第1ロータ回転角 $\theta_{R1}$ を電気角度位置に換算した値(以下「第1ロータ電気角」という)であり、具体的には、第1ロータ回転角 $\theta_{R1}$ に電機子磁極の極対数、すなわち値2を乗算した値である。 $\theta_{ER2}$ は、機械角である第2ロータ回転角 $\theta_{R2}$ を電気角度位置に換算した値(以下「第2ロータ電気角」という)であり、具体的には、第2ロータ回転角 $\theta_{R2}$ に電機子磁極の極対数(値2)を乗算した値である。また、 $\omega_{ER1}$ は、 $\theta_{ER1}$ の時間微分値、すなわち、ステータ3に対する第1ロータ4の角速度を電気角速度に換算した値(以下「第1ロータ電気角速度」という)である。さらに、 $\omega_{ER2}$ は、第2ロータ電気角速度であり、 $\theta_{ER2}$ の時間微分値、すなわち、ステータ3に対する第2ロータ5の角速度を電気角速度に換算した値(以下「第2ロータ電気角速度」という)である。

[0058] また、前述した極数比と前記式(21)～(23)から明らかなように、U相電流 $I_u$ 、V相電流 $I_v$ 、およびW相のコイル3eを流れる電流(以下「W相電流 $I_w$ 」という)は、次式(36)、(37)および(38)でそれぞれ表される。

[数36]

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

[数37]

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

[数38]

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

[0059] さらに、極数比と前記式(24)および(25)から明らかなように、基準コイルに対するステータ3の回転磁界のベクトルの電気角度位置(以下「磁界電気角度位置 $\theta_{MFR}$ 」という)は、次式(39)で表され、ステータ3に対する回転磁界の電気角速度(以下「磁界電気角速度 $\omega_{MFR}$ 」という)は、次式(40)で表される。

[数39]

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

[数40]

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

[0060] このため、磁界電気角速度  $\omega_{MFR}$  と第1ロータ電気角速度  $\omega_{ER1}$  と第2ロータ電気角速度  $\omega_{ER2}$  の関係を、いわゆる共線図で表すと、例えば図4のように示される。

[0061] また、ステータ3に供給された電力および磁界電気角速度  $\omega_{MFR}$  と等価のトルクを駆動用等価トルク  $T_{SE}$  とすると、この駆動用等価トルク  $T_{SE}$  と、第1ロータ4に伝達されるトルク(以下「第1ロータ伝達トルク」という)  $TR1$  と、第2ロータ5に伝達されるトルク(以下「第2ロータ伝達トルク」という)  $TR2$  との関係は、極数比と前記式(32)から明らかのように、次式(41)で表される。

[数41]

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

[0062] 上記の式(40)で表される電気角速度の関係、および上記の式(41)で表されるトルクの関係は、サンギヤおよびリングギヤのギヤ比が1:2の遊星歯車装置のサンギヤ、リングギヤおよびキャリアにおける回転速度およびトルクの関係とまったく同じである。

[0063] ECU16は、上記式(39)に基づき、U相～W相のコイル3c～3eへの通電を制御し、それにより、回転磁界を制御する。具体的には、図2に示すように、ECU16は、目標電流算出部16a、電気角変換器16b、電流座標変換器16c、偏差算出部16d、電流制御器16e、および電圧座標変換器16fを有しており、いわゆるベクトル制御によりU相～W相の電流  $I_u$ ,  $I_v$ ,  $I_w$  を制御することによって、回転磁界を制御する。なお、本実施形態では、電気角変換器16bが相対位置関係検出手段に相当する。

[0064] 上記の目標電流算出部16aは、後述するd軸電流  $I_d$  およびq軸電流  $I_q$  の目標値(以下、それぞれ「目標d軸電流  $I_{d\_tar}$ 」「目標q軸電流  $I_{q\_tar}$ 」という)を算出するとともに、算出した目標d軸電流  $I_{d\_tar}$  および目標q軸電流  $I_{q\_tar}$  を、偏差算出部16dに出力する。なお、これらの目標d軸電流  $I_{d\_tar}$  および目標q軸電流  $I_{q\_tar}$  は、例えば電動機1の負荷などに応じて算出される。

[0065] 電気角変換器16bには、第1および第2の回転位置センサ21, 22でそれぞれ検出された第1および第2のロータ回転角  $\theta R1$ ,  $\theta R2$ が入力される。電気角変換器16bは、入力された第1および第2のロータ回転角  $\theta R1$ ,  $\theta R2$ に、電機子磁極の極対数(値2)を乗算することによって、前述した第1および第2のロータ電気角  $\theta ER1$ ,  $\theta ER2$ を算出する。また、算出した第1および第2のロータ電気角  $\theta ER1$ ,  $\theta ER2$ を、電流座標変換器16cおよび電圧座標変換器16fに出力する。

[0066] 電流座標変換器16cには、第1および第2のロータ電気角  $\theta ER1$ ,  $\theta ER2$ に加え、第1および第2の電流センサ23, 24でそれぞれ検出されたU相およびV相の電流  $Iu$ ,  $Iv$ が入力される。電流座標変換器16cは、入力されたU相およびV相の電流  $Iu$ ,  $Iv$ と第1および第2のロータ電気角  $\theta e1$ ,  $\theta e2$ に基づいて、そのときどきの3相交流座標上でのU相~W相の電流  $Iu \sim Iw$ を、dq座標上でのd軸電流  $Id$ およびq軸電流  $Iq$ に変換する。このdq座標は、 $(3 \cdot \theta ER2 - 2 \cdot \theta ER1)$ をd軸とし、このd軸に直交する軸をq軸として、 $(3 \cdot \omega ER2 - 2 \cdot \omega ER1)$ で回転するものである。具体的には、d軸電流  $Id$ およびq軸電流  $Iq$ は、次式(42)によって算出される。

[数42]

$$\begin{bmatrix} Id \\ Iq \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(3 \cdot \theta ER2 - 2 \cdot \theta ER1) & \cos(3 \cdot \theta ER2 - 2 \cdot \theta ER1 - \frac{2}{3} \pi) & \cos(3 \cdot \theta ER2 - 2 \cdot \theta ER1 + \frac{2}{3} \pi) \\ -\sin(3 \cdot \theta ER2 - 2 \cdot \theta ER1) & -\sin(3 \cdot \theta ER2 - 2 \cdot \theta ER1 - \frac{2}{3} \pi) & -\sin(3 \cdot \theta ER2 - 2 \cdot \theta ER1 + \frac{2}{3} \pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Iu \\ Iv \\ Iw \end{bmatrix} \dots\dots (42)$$

また、電流座標変換器16cは、算出したd軸電流  $Id$ およびq軸電流  $Iq$ を偏差算出部16dに出力する。

[0067] 偏差算出部16dは、入力された目標d軸電流  $Id\_tar$ とd軸電流  $Id$ との偏差(以下「d軸電流偏差  $dId$ 」という)を算出するとともに、入力された目標q軸電流  $Iq\_tar$ とq軸電流  $Iq$ との偏差(以下「q軸電流偏差  $dIq$ 」という)を算出する。また、算出したd軸電流偏差  $dId$ およびq軸電流偏差  $dIq$ を、電流制御器16eに出力する。

[0068] 電流制御器16eは、入力されたd軸電流偏差  $dId$ およびq軸電流偏差  $dIq$ に基づき、所定のフィードバック制御アルゴリズム、例えばPI制御アルゴリズムによって、d軸電

圧Vdおよびq軸電圧Vqを算出する。これにより、d軸電圧Vdは、d軸電流Idが目標d軸電流Id\_tarになるように算出され、q軸電圧Vqは、q軸電流Iqが目標q軸電流Iq\_tarになるように算出される。また、算出したd軸およびq軸の電圧Vd、Vqを、電圧座標変換器16fに出力する。

[0069] 電圧座標変換器16fは、入力されたd軸電圧Vdおよびq軸電圧Vqを、入力された第1および第2のロータ電気角  $\theta_{ER1}$ 、 $\theta_{ER2}$ に基づいて、3相交流座標上でのU相～W相の電圧Vu、Vv、Vwの指令値(以下、それぞれ「U相電圧指令値Vu\_cmd」「V相電圧指令値Vv\_cmd」「W相電圧指令値Vw\_cmd」という)に変換する。具体的には、U相～W相の電圧指令値Vu\_cmd～Vw\_cmdは、次式(43)によって算出される。

[数43]

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

また、電圧座標変換器16fは、算出したU相～W相の電圧指令値Vu\_cmd～Vw\_cmdを前述した可変電源15に出力する。

[0070] これに伴い、可変電源15は、U相～W相の電圧Vu～Vwを、U相～W相の電圧指令値Vu\_cmd～Vw\_cmdにそれぞれなるように電動機1に印可する。これにより、U相～W相の電流Iu～Iwが制御され、この場合、これらの電流Iu～Iwは、前記式(36)～(38)でそれぞれ表される。また、電流の振幅Iは、目標d軸電流Id\_tarおよび目標q軸電流Iq\_tarに基づいて定まる。

[0071] 以上のようなECU16による制御によって、磁界電気角度位置  $\theta_{MFR}$ は、前記式(39)が成立するように制御され、磁界電気角速度  $\omega_{MFR}$ は、前記式(40)が成立するように制御される。

[0072] 以上の構成の電動機1は、例えば次のようにして用いられる。すなわち、第1および第2のロータ4、5の一方を固定し、あるいは、これらの一方に動力を入力した状態で

、ステータ3に供給した電力を動力に変換し、これらの他方から出力する。また、第1および第2のロータ4、5の双方から動力を同時に出力する場合には、式(41)を満たすような負荷トルクが第1および第2のロータ4、5に同時に作用するようなもの、例えば二重反転プロペラの動力源として用いる。

[0073] 次に、ステータ3に供給された電力が、具体的にどのようにして動力に変換され、第1ロータ4や第2ロータ5から出力されるかについて説明する。まず、図5～図7を参照しながら、第1ロータ4を固定した状態でステータ3に電力を供給した場合について説明する。なお、図5～図7では、便宜上、複数の構成要素の符号を省略している。このことは、後述する他の図面においても同様である。また、理解の容易化のために、図5～図7に示される同じ1つの電機子磁極およびコア5aに、ハッチングを付している。

[0074] まず、図5(a)に示すように、ある1つのコア5aの中心と、ある1つの永久磁石4aの中心が、周方向に互いに一致するとともに、そのコア5aから3つ目のコア5aの中心と、その永久磁石4aから4つ目の永久磁石4aの中心が、周方向に互いに一致した状態から、回転磁界を、同図の左方に回転するように発生させる。その発生の開始時においては、互いに同じ極性を有する1つおきの電機子磁極の位置を、中心がコア5aと一致している各永久磁石4aの中心と周方向に一致させるとともに、この電機子磁極の極性をこの永久磁石4aの磁石磁極の極性と異ならせる。

[0075] 前述したようにステータ3による回転磁界が第1ロータ4との間に発生することと、コア5aを有する第2ロータ5がステータ3と第1ロータ4の間に配置されていることから、電機子磁極および磁石磁極により、各コア5aは磁化される。このことと、隣り合う各コア5aの間に間隔が空いていることから、電機子磁極とコア5aと磁石磁極を結ぶような磁力線MLが発生する。なお、図5～図7では、便宜上、鉄芯3aや固定部4bにおける磁力線MLを省略している。このことは、後述する他の図面においても同様である。

[0076] 図5(a)に示す状態では、磁力線MLは、周方向の位置が互いに一致している電機子磁極、コア5aおよび磁石磁極を結び、かつ、これらの電機子磁極、コア5aおよび磁石磁極のそれぞれの周方向の各両側に隣り合う電機子磁極、コア5aおよび磁石磁極を結ぶように発生する。また、この状態では、磁力線MLが直線状であることによ

り、コア5aには、周方向に回転させるような磁力は作用しない。

[0077] そして、回転磁界の回転に伴って電機子磁極が図5(a)に示す位置から図5(b)に示す位置に回転すると、磁力線MLが曲がった状態になり、それに伴い、磁力線MLが直線状になるように、コア5aに磁力が作用する。この場合、磁力線MLで互いに結ばれた電機子磁極および磁石磁極を結ぶ直線に対して、磁力線MLが、このコア5aにおいて回転磁界の回転方向(以下「磁界回転方向」という)と逆方向に凸に曲がった状態になるため、上記の磁力は、コア5aを磁界回転方向に駆動するように作用する。このような磁力線MLによる磁力の作用により、コア5aは、磁界回転方向に駆動され、図5(c)に示す位置に回転し、コア5aが設けられた第2ロータ5および第2回転軸7も、磁界回転方向に回転する。なお、図5(b)および(c)における破線は、磁力線MLの磁束量が極めて小さく、電機子磁極とコア5aと磁石磁極の間の磁氣的なつながりが弱いことを表している。このことは、後述する他の図面においても同様である。

[0078] また、回転磁界がさらに回転するのに伴い、上述した一連の動作、すなわち、「磁力線MLがコア5aにおいて磁界回転方向と逆方向に凸に曲がる→磁力線MLが直線状になるようにコア5aに磁力が作用する→コア5aや第2ロータ5、第2回転軸7が、磁界回転方向に回転する」という動作が、図6(a)～図6(d)、図7(a)および(b)に示すように、繰り返し行われる。以上のような磁力線MLによる磁力の作用により、ステータ3に供給された電力が動力に変換され、第2回転軸7から出力される。

[0079] また、図8は、図5(a)の状態から電機子磁極が電気角 $2\pi$ だけ回転した状態を示しており、図8と図5(a)の比較から明らかなように、コア5aは、電機子磁極に対して $1/3$ の回転角度だけ、同方向に回転していることが分かる。この結果は、前記式(40)において、 $\omega_{ER1}=0$ とすることによって、 $\omega_{ER2}=\omega_{MFR}/3$ が得られることと合致する。

[0080] 次に、図9～図11を参照しながら、第2ロータ5を固定した状態で、ステータ3に電力を供給した場合の動作について説明する。なお、図9～図11では、理解の容易化のために、同じ1つの電機子磁極および永久磁石4aに、ハッチングを付している。まず、図9(a)に示すように、前述した図5(a)の場合と同様、ある1つのコア5aの中心と、ある1つの永久磁石4aの中心が、周方向に互いに一致するとともに、そのコア5aか

ら3つ目のコア5aの中心と、その永久磁石4aから4つ目の永久磁石4aの中心が、周方向に互いに一致した状態から、回転磁界を、同図の左方に回転するように発生させる。その発生の開始時においては、互いに同じ極性を有する1つおきの電機子磁極の位置を、中心がコア5aと一致している各永久磁石4aの中心と周方向に一致させるとともに、この電機子磁極の極性をこの永久磁石4aの磁極の極性と異ならせる。

[0081] 図9(a)に示す状態では、図5(a)の場合と同様、磁力線MLは、周方向の位置が互いに一致している電機子磁極、コア5aおよび磁石磁極を結び、かつ、これらの電機子磁極、コア5aおよび磁石磁極のそれぞれの周方向の各両側に隣り合う電機子磁極、コア5aおよび磁石磁極を結ぶように発生する。また、この状態では、磁力線MLが直線状であることにより、永久磁石4aには、周方向に回転させるような磁力は作用しない。

[0082] そして、回転磁界の回転に伴って電機子磁極が図9(a)に示す位置から図9(b)に示す位置に回転すると、磁力線MLが曲がった状態になり、それに伴い、磁力線MLが直線状になるように、永久磁石4aに磁力が作用する。この場合、この永久磁石4aが、磁力線MLで互いに結ばれた電機子磁極およびコア5aの延長線上よりも磁界回転方向に進んだ位置にあるため、上記の磁力は、この延長線上に永久磁石4aを位置させるように、すなわち、永久磁石4aを磁界回転方向と逆方向に駆動するように作用する。このような磁力線MLによる磁力の作用により、永久磁石4aは、磁界回転方向と逆方向に駆動され、図9(c)に示す位置に回転し、永久磁石4aが設けられた第1ロータ4および第1回転軸6も、磁界回転方向と逆方向に回転する。

[0083] また、回転磁界がさらに回転するのに伴い、上述した一連の動作、すなわち、「磁力線MLが曲がり、磁力線MLで互いに結ばれた電機子磁極およびコア5aの延長線上よりも、永久磁石4aが磁界回転方向に進んだ位置に位置する→磁力線MLが直線状になるように永久磁石4aに磁力が作用する→永久磁石4aや第1ロータ4、第1回転軸6が、磁界回転方向と逆方向に回転する」という動作が、図10(a)～図10(d)、図11(a)および(b)に示すように、繰り返し行われる。以上のような磁力線MLによる磁力の作用により、ステータ3に供給された電力が動力に変換され、第1回転軸6から出力される。

- [0084] また、図11(b)は、図9(a)の状態から電機子磁極が電気角 $2\pi$ だけ回転した状態を示しており、図11(b)と図9(a)の比較から明らかなように、永久磁石4aは、電機子磁極に対して $1/2$ の回転角度だけ、逆方向に回転していることが分かる。この結果は、前記式(40)において、 $\omega_{ER2}=0$ とすることによって、 $-\omega_{ER1}=\omega_{MFR}/2$ が得られることと合致する。
- [0085] また、図12および図13は、電機子磁極、コア5aおよび永久磁石4aの数を、値16、値18および値20にそれぞれ設定し、第1ロータ4を固定するとともに、ステータ3への電力の供給により第2ロータ5から動力を出力した場合におけるシミュレーション結果を示している。図12は、第2ロータ電気角 $\theta_{ER2}$ が値 $0\sim 2\pi$ まで変化する間におけるU相～W相の逆起電圧 $V_{cu}\sim V_{cw}$ の推移の一例を示している。
- [0086] この場合、第1ロータ4が固定されていることと、電機子磁極および磁石磁極の極対数がそれぞれ値8および値10であることと、前記式(25)から、磁界電気角速度 $\omega_{MFR}$ 、第1および第2のロータ電気角速度 $\omega_{ER1}$ 、 $\omega_{ER2}$ の関係は、 $\omega_{MFR}=2.25\cdot\omega_{ER2}$ で表される。図12に示すように、第2ロータ電気角 $\theta_{ER2}$ が値 $0\sim 2\pi$ まで変化する間に、U相～W相の逆起電圧 $V_{cu}\sim V_{cw}$ は、ほぼ2.25周期分、発生している。また、図12は、第2ロータ5から見たU相～W相の逆起電圧 $V_{cu}\sim V_{cw}$ の変化状態を示しており、同図に示すように、これらの逆起電圧は、第2ロータ電気角 $\theta_{ER2}$ を横軸として、W相逆起電圧 $V_{cw}$ 、V相逆起電圧 $V_{cv}$ およびU相逆起電圧 $V_{cu}$ の順に並んでおり、このことは、第2ロータ5が磁界回転方向に回転していることを表す。以上のように、図12に示すシミュレーション結果からも、 $\omega_{MFR}=2.25\cdot\omega_{ER2}$ が成立することが確認できた。
- [0087] さらに、図13は、駆動用等価トルク $T_{SE}$ 、第1および第2のロータ伝達トルク $TR1$ 、 $TR2$ の推移の一例を示している。この場合、電機子磁極および磁石磁極の極対数がそれぞれ値8および値10であることと、前記式(32)から、駆動用等価トルク $T_{SE}$ 、第1および第2のロータ伝達トルク $TR1$ 、 $TR2$ の関係は、 $T_{SE}=TR1/1.25=-TR2/2.25$ で表される。図13に示すように、駆動用等価トルク $T_{SE}$ は、ほぼ $-T_{REF}$ に、第1ロータ伝達トルク $TR1$ は、ほぼ $1.25\cdot(-T_{REF})$ に、第2ロータ伝達トルク $TR2$ は、ほぼ $2.25\cdot T_{REF}$ になっている。この $T_{REF}$ は所定のトルク値(例えば200N

m)である。このように、図13に示すシミュレーション結果からも、 $TSE = TR1 / 1.25 = -TR2 / 2.25$ が成立することが確認できた。

[0088] また、図14および図15は、電機子磁極、コア5aおよび永久磁石4aの数を図12および図13の場合と同様に設定し、第1ロータ4に代えて第2ロータ5を固定するとともに、ステータ3への電力の供給により第1ロータ4から動力を出力した場合におけるシミュレーション結果を示している。図14は、第1ロータ電気角  $\theta_{ER1}$  が値  $0 \sim 2\pi$  まで変化する間におけるU相～W相の逆起電圧  $V_{cu} \sim V_{cw}$  の推移の一例を示している。

[0089] この場合、第2ロータ5が固定されていることと、電機子磁極および磁石磁極の極対数がそれぞれ値8および値10であることと、前記式(25)から、磁界電気角速度  $\omega_{MFR}$ 、第1および第2のロータ電気角速度  $\omega_{ER1}$ 、 $\omega_{ER2}$  の関係は、 $\omega_{MFR} = -1.25 \cdot \omega_{ER1}$  で表される。図14に示すように、第1ロータ電気角  $\theta_{ER1}$  が値  $0 \sim 2\pi$  まで変化する間に、U相～W相の逆起電圧  $V_{cu} \sim V_{cw}$  は、ほぼ1.25周期分、発生している。また、図14は、第1ロータ4から見たU相～W相の逆起電圧  $V_{cu} \sim V_{cw}$  の変化状態を示しており、同図に示すように、これらの逆起電圧は、第1ロータ電気角  $\theta_{ER1}$  を横軸として、U相逆起電圧  $V_{cu}$ 、V相逆起電圧  $V_{cv}$  およびW相逆起電圧  $V_{cw}$  の順に並んでおり、このことは、第1ロータ4が磁界回転方向と逆方向に回転していることを表す。以上のように、図14に示すシミュレーション結果からも、 $\omega_{MFR} = -1.25 \cdot \omega_{ER1}$  が成立することが確認できた。

[0090] さらに、図15は、駆動用等価トルク  $TSE$ 、第1および第2のロータ伝達トルク  $TR1$ 、 $TR2$  の推移の一例を示している。この場合にも、図13の場合と同様、式(32)から、駆動用等価トルク  $TSE$ 、第1および第2のロータ伝達トルク  $TR1$ 、 $TR2$  の関係は、 $TSE = TR1 / 1.25 = -TR2 / 2.25$  で表される。図15に示すように、駆動用等価トルク  $TSE$  は、ほぼ  $T_{REF}$  に、第1ロータ伝達トルク  $TR1$  は、ほぼ  $1.25 \cdot T_{REF}$  に、第2ロータ伝達トルク  $TR2$  は、ほぼ  $-2.25 \cdot T_{REF}$  になっている。このように、図15に示すシミュレーション結果からも、 $TSE = TR1 / 1.25 = -TR2 / 2.25$  が成立することが確認できた。

[0091] 以上のように、本実施形態によれば、コア5aで構成された単一の軟磁性体列だけ

で電動機1を作動させることができるので、電動機1の小型化および製造コストの削減を図ることができる。また、電機子磁極の極対数に対する磁石磁極の極対数の比を設定することによって、磁界電気角速度 $\omega$  MFR、第1および第2のロータ電気角速度 $\omega$  ER1、 $\omega$  ER2の関係と、駆動用等価トルクTSE、第1および第2のロータ伝達トルクTR1、TR2の関係を自由に設定でき、したがって、電動機1の設計の自由度を高めることができる。

[0092] さらに、磁界電気角度位置 $\theta$  MFRを前記式(40)が成立するように制御するので、電動機1の適正な動作を確保することができる。また、永久磁石4aの磁極を用いるので、電磁石の磁極を用いた場合と異なり、電磁石に電力を供給するための電気回路やコイルが不要になる。これにより、電動機1をさらに小型化できるとともに、構成を単純化することができる。また、磁極として電磁石の磁極を用いたときの電力供給用のスリップリングが不要になり、その分、電動機1を小型化できるとともに、効率を高めることができる。

[0093] なお、上述した第1実施形態では、第1および第2のロータ4、5を回転自在に構成しているが、両者4、5の一方を回転不能に構成するとともに、他方のみを回転自在に構成し、他方から動力を出力してもよい。この場合、第1および第2のロータ4、5の一方が回転不能に構成されているため、前記式(39)において、両者4、5の一方の電気角度位置が値0になることから明らかなように、両者4、5の他方の電気角度位置のみをセンサなどで検出するとともに、検出された他方の電気角度位置に応じて、回転磁界を制御すればよい。また、ステータ3を回転自在に構成してもよく、その場合には、電動機は例えば次のように用いられる。すなわち、第1および第2のロータ4、5の一方と、ステータ3に動力を入力した状態で、ステータ3に電力を供給し、この電力を動力に変換して、両ロータ4、5の他方から出力する。あるいは、第1および第2のロータ4、5の一方を固定した状態(または、この一方に動力を入力した状態)で、ステータ3および他方から動力を同時に出力する場合には、式(41)を満たすような負荷トルクがステータ3および他方に同時に作用するようなもの、例えば二重反転プロペラの動力源として用いる。

[0094] さらに、第1実施形態では、第1および第2のロータ回転角 $\theta$  R1、 $\theta$  R2として、基準

コイルすなわち特定のU相コイル3cに対する特定の永久磁石4aおよびコア5aの回転角度位置をそれぞれ検出しているが、ステータ3に対する第1および第2のロータ4, 5の回転角度位置を表すのであれば、他の部位の回転角度位置を検出してもよい。例えば、特定のV相コイル3dや、特定のW相コイル3e、ケース2の特定の部位に対する、固定部4bや第1回転軸6の特定の部位の回転角度位置を第1ロータ回転角  $\theta R1$  として、フランジ5bや第2回転軸7の特定の部位の回転角度位置を第2ロータ回転角  $\theta R2$  として、それぞれ検出してもよい。

[0095] また、第1実施形態では、回転磁界の制御に用いる磁界電気角度位置  $\theta MFR$  を、第1および第2の回転位置センサ21, 22で検出された第1および第2のロータ回転角  $\theta R1$ ,  $\theta R2$  を用い、式(39)によって算出しているが、特願2007-280916号に記載された手法によって求めてもよい。具体的には、サンギヤとリングギヤの歯数の比が電機子磁極および磁石磁極の一方の数に対する他方の数の比と同じ値である遊星歯車装置と、単一の回転位置センサを用意し、サンギヤおよびリングギヤの一方を第1ロータ4に、キャリアを第2ロータ5に、それぞれ連結するとともに、特定のU相コイル3cに対するサンギヤおよびリングギヤの他方の回転角度位置を、回転位置センサで検出する。この場合、電機子磁極の数が磁石磁極の数よりも大きい場合、第1ロータ4には、サンギヤが連結される。

[0096] 以上により、上記の回転位置センサで検出される回転角度位置は、電機子磁極の数に対する磁石磁極の数の比を  $\gamma$  とすると、 $(1 + \gamma) \theta R2 - \gamma \cdot \theta R1$  を表す。このことから明らかなように、第1および第2のロータ4, 5の回転角度位置を2つのセンサで別個に検出することなく、遊星歯車装置と単一の回転位置センサによって、回転磁界の制御に用いる磁界電気角度位置  $\theta MFR$  を求めることができる。

[0097] さらに、第1実施形態では、ステータ3および第1ロータ4を、径方向の外側および内側にそれぞれ配置しているが、これとは逆に、径方向の内側および外側にそれぞれ配置してもよい。また、ステータ3、第1および第2のロータ4, 5を径方向に並ぶように配置し、いわゆるラジアルタイプとして電動機1を構成しているが、ステータ3、第1および第2のロータ4, 5を軸線方向に並ぶように配置し、いわゆるアキシアルタイプとして電動機1を構成してもよい。

- [0098] 次に、図16および図17を参照しながら、本発明の第2実施形態による電動機31について説明する。同図に示す電動機31は、第1実施形態と異なり、リニアモータとして構成されており、搬送装置に適用されたものである。なお、図16において、第1実施形態と同じ構成要素については、同じ符号を用いて示している。以下、第1実施形態と異なる点を中心に説明する。
- [0099] 図16および図17に示すように、電動機31は、不動のケース32と、ケース32内に設けられた第1ステータ33と、ケース32内に第1ステータ33に対向するように設けられた第2ステータ34と、両ステータ33, 34の間に設けられた可動子35を備えている。
- [0100] ケース32は、前後方向(図16の奥行き方向、図17の上下方向)を長さ方向とする板状の底壁32aと、この底壁32aの両端部からそれぞれ上方に延び、互いに対向する側壁32bおよび32cとを一体に有している。
- [0101] 第1ステータ33は、移動磁界を発生させるものであり、図17に示すように、鉄芯33aと、この鉄芯33aに設けられたU相、V相およびW相のコイル33c, 33d, 33eを有している。鉄芯33aは、複数の鋼板を積層した直方体状のものであり、前後方向に、ケース32の全体に延びており、ケース32の側壁32bに取り付けられている。また、鉄芯33aの第2ステータ34側の面には、多数のスロット33bが形成されており、これらのスロット33bは、上下方向に延びるとともに、前後方向に等間隔に並んでいる。上記のU相～W相のコイル33c～33eは、スロット33bに分布巻き(波巻き)で巻回されるとともに、前述した可変電源15に接続されている。
- [0102] 以上の構成の第1ステータ33では、可変電源15から電力が供給されたときに、鉄芯33aの第2ステータ34側の端部に、多数の磁極が前後方向に等間隔で発生する(図18参照)とともに、これらの磁極による移動磁界が前後方向に移動する。以下、鉄芯33aに発生する磁極を、第1実施形態と同様、「電機子磁極」という。なお、図18では、電機子磁極を、図5と同様、鉄芯33aやU相～W相のコイル33c～33eの上に、(N)および(S)で表記している。この場合、同図に示すように、前後方向に沿う所定の区間INTにおける電機子磁極の数は、値4である。
- [0103] 第2ステータ34は、多数の永久磁石34aから成る磁極列を有している。これらの永久磁石34aは、前後方向に等間隔で並んでおり、この磁極列は、第1ステータ33の

鉄芯33aに対向している。各永久磁石34aは、直方体状に形成されており、その上下方向の長さが、鉄芯33aのそれと同じに設定されている。また、永久磁石34aは、底壁32aの上面の右端部に(図16の右側を「右」)、固定部34bを介して取り付けられるとともに、側壁32cに取り付けられている。この固定部34bは、軟磁性体、例えば鉄で構成されている。このように鉄で構成された固定部34bに永久磁石34aが取り付けられているので、各永久磁石34aには、第1ステータ33側の端部に、(N)または(S)の1つの磁極が現れる。なお、図17および図18では、図3と同様、永久磁石34aの磁極(以下、第1実施形態と同様「磁石磁極」という)を、(N)および(S)で表記している。また、図18に示すように、前後方向に隣り合う各2つの永久磁石34aの極性は、互いに異なっており、所定の区間INTにおける永久磁石34aの数は、値8である。

[0104] 可動子35は、第1および第2のステータ33, 34の上方に設けられた天板35aと、この天板35aに設けられた6個のコア35bから成る軟磁性体列を有している。天板35aの前後方向および左右方向の大きさは、ケース32よりも小さくなっており、第1および第2のステータ33, 34の一部を覆っている。

[0105] 各コア35bは、軟磁性体、例えば複数の鋼板を積層した直方体状のものであり、その上下方向の長さが、鉄芯33aのそれと同じに設定されている。また、6個のコア35bは、それぞれの上端部に設けられた連結部35cを介して、天板35aで連結されており、前後方向に等間隔で並んでいる。さらに、コア35bから成る軟磁性体列は、第1ステータ33の鉄芯33aと第2ステータ34の磁極列との間に、それぞれ所定の間隔を隔てて配置されている。また、各コア35bの底部には、車輪35dが設けられている。コア35bは、この車輪35dを介して底壁32aの上面のレール(図示せず)に載置されており、それにより、コア35bを含む可動子35は、前後方向に移動自在であるとともに、左右方向に移動不能になっている。なお、図17および図18では、便宜上、連結部35cを省略している。

[0106] なお、本実施形態では、第2ステータ34が、本発明における第1構造体に相当するとともに、永久磁石34aが本発明における磁極に相当する。また、第1ステータ33が本発明における第2構造体に相当するとともに、鉄芯33aおよびU相～W相のコイル33c～33eが、本発明における電機子に相当する。さらに、可動子35が本発明にお

ける第3構造体に相当するとともに、コア35bが本発明における軟磁性体に相当する。

[0107] また、電動機31には、光学式の位置センサ41(相対位置関係検出手段)が設けられており、この位置センサ41は、第1ステータ33の特定のU相コイル33cに対する可動子35の特定のコア35bの位置(以下「可動子位置」という)を表す検出信号を、ECU16に出力する。ECU16は、検出された可動子位置に応じ、可動子35と第1および第2のステータ33, 34との相対的な位置関係を求めるとともに、この位置関係に基づいて、U相～W相のコイル33c～33eへの通電を制御し、それにより、移動磁界を制御する。この制御は、より具体的には、以下のようにして行われる。

[0108] 図18に示すように、所定の区間INTでは、第1実施形態と同様、電機子磁極が4個、磁石磁極が8個、コア35bが6個である。すなわち、電機子磁極の数と磁石磁極の数とコア35bの数との比は、 $1:2:(1+2)/2$ に設定されている。本実施形態では、永久磁石34aが移動不能に構成されていることと、前記式(39)から、移動磁界のベクトルの電気角度位置(以下「磁界電気角度位置 $\theta$  MFM」という)は、 $\theta$  MFM =  $3 \cdot \theta$  EMが成立するように制御される。この $\theta$  EMは、可動子位置を電気角度位置に換算した値(以下「可動子電気角度位置」という)であり、具体的には、検出された可動子位置に電機子磁極の極対数、すなわち値2を乗算した値である。なお、この制御は、第1実施形態と同様、ベクトル制御によりU相～W相のコイル33c～33eに流れる電流を制御することによって行われる。

[0109] 以上により、移動磁界の電気角速度(以下「磁界電気角速度 $\omega$  MFM」という)は、 $\omega$  MFM =  $3 \cdot \omega$  EMが成立するように制御される。この $\omega$  EMは、可動子電気角度位置 $\theta$  EMの時間微分値であり、可動子35の移動速度を電気角速度に換算した値(以下「可動子電気角速度」という)である。また、第1ステータ33に供給された電力および磁界電気角速度 $\omega$  MFMと等価の推力を、駆動用等価推力FSEとすると、この駆動用等価推力FSEと、可動子35に伝達される推力(以下「可動子伝達推力」という)FMの関係は、前記式(41)から、 $FSE = -FM/3$ で表される。

[0110] 以上のように、本実施形態によれば、第1実施形態と同様、6個のコア35bから成る単一の軟磁性体列だけで電動機31を作動させることができるので、電動機31の小

型化および製造コストの削減を図ることができる。また、所定の区間INTにおける電機子磁極の極対数に対する磁石磁極の極対数の比を設定することによって、磁界電気角速度 $\omega$  MFMおよび可動子電気角速度 $\omega$  EMの関係と、駆動用等価推力FSEおよび可動子伝達推力FMの関係を自由に設定でき、したがって、電動機31の設計の自由度を高めることができる。

[0111] さらに、磁界電気角度位置 $\theta$  MFMを、 $\theta$  MFM =  $3 \cdot \theta$  EMが成立するように制御するので、電動機31の適正な動作を確保することができる。また、第1実施形態と同様、永久磁石34aの磁極を用いるので、電動機31のさらなる小型化や構成の単純化を図ることができる。

[0112] なお、電動機31を次のようにして構成してもよい。すなわち、第2ステータ34の複数の永久磁石34aを天板35aとは別の天板で連結することで第2可動子を構成するとともに、この第2可動子を、ケース32に対して前後方向に移動自在に設ける。そして、第1実施形態と同様に、可動子35および第2可動子の少なくとも一方から動力を出力するようにしてもよい。それに加え、第1ステータ33の鉄芯33aを天板に取り付けることで第3可動子を構成するとともに、この第3可動子を、ケース32に対して前後方向に移動自在に構成してもよい。そして、第1実施形態で述べたように、可動子35や、第2可動子、第3可動子から動力を出力するようにしてもよい。

[0113] 上記のように第2可動子を設ける場合には、可動子35の可動子位置に加え、特定のU相コイル33cに対する第2可動子の特定の永久磁石34aの位置をセンサなどで検出するとともに、可動子位置と検出された第2可動子の位置に応じ、式(39)に基づいて、磁界電気角度位置 $\theta$  MFMが算出される。そして、算出した磁界電気角度位置 $\theta$  MFMが回動磁界の制御に用いられる。

[0114] また、第2実施形態では、可動子位置として、特定のU相コイル33cに対する特定のコア35aの位置を検出しているが、第1ステータ33に対する可動子35の位置を表すのであれば、他の部位の位置を検出してもよい。例えば、特定のV相コイル33dや、特定のW相コイル33e、ケース32の特定の部位に対する、天板35aなどの特定の部位の位置を可動子位置として検出してもよい。このことは、上述したように第2可動子や、第3可動子を設けた場合にも同様に当てはまる。

[0115] なお、本発明は、説明した実施形態に限定されることなく、種々の態様で実施することができる。例えば、実施形態では、1つの磁極を、単一の永久磁石4a、34aの磁極で構成しているが、複数の永久磁石の磁極で構成してもよい。例えば、2つの永久磁石の磁極がステータ3(第1ステータ33)側で近づき合うように、これらの2つの永久磁石を逆V字状に並べることにより、1つの磁極を構成することによって、磁力線MLの指向性を高めることができる。また、実施形態における永久磁石4a、34aに代えて、電磁石や移動磁界を発生可能な電機子を用いてもよい。さらに、実施形態では、U相～W相のコイル3c～3e、33c～33eをスロット3b、33bに分布巻きで巻回しているが、これに限らず、集中巻きでもよい。また、実施形態では、コイル3c～3e、33c～33eを、U相～W相の3相コイルで構成しているが、移動磁界(回転磁界)を発生できれば、このコイルの相数はこれに限らず、任意である。

[0116] さらに、スロット3b、33bの数として、実施形態で示した以外の任意の数を採用してもよいことはもちろんである。また、実施形態では、スロット3b、33bや、永久磁石4a、34a、コア5b、35bを等間隔に配置しているが、不等間隔に配置してもよい。さらに、実施形態では、電機子磁極が4個、磁石磁極が8個、コア5a、35bが6個であるが、これらの数の比が $1:m:(1+m)/2$  ( $m \neq 1, 0$ )を満たすものであれば、電機子磁極、磁石磁極およびコア5a、35bの数として、任意の数を採用可能である。また、実施形態では、第1回転位置センサ21や、第2回転位置センサ22、位置センサ41は、電磁誘導式のものであるが、光学式のものでもよい。さらに、実施形態では、本発明における制御手段として、ECU16を用いているが、マイクロコンピュータと電気回路を組み合わせたものを用いてもよい。その他、本発明の趣旨の範囲内で、細部の構成を適宜、変更することが可能である。

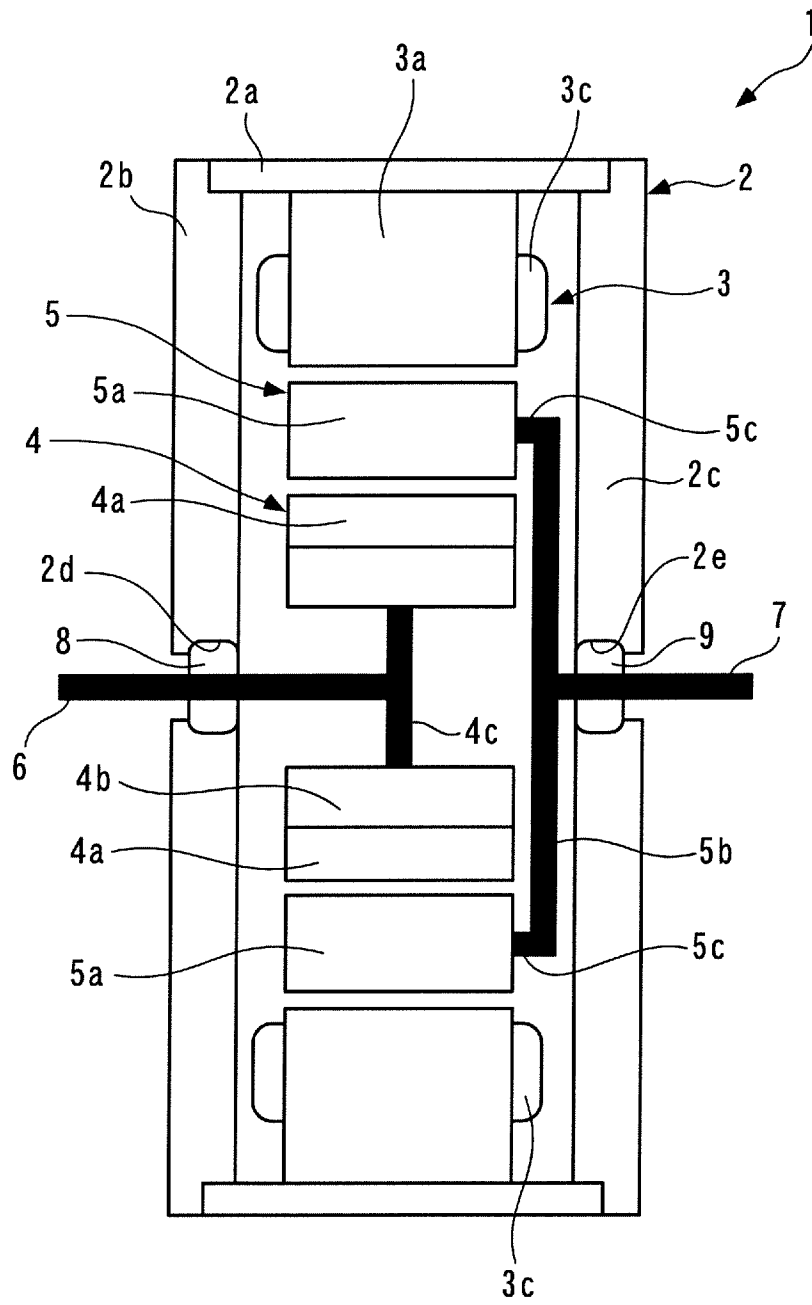
#### 産業上の利用の可能性

[0117] 本発明の電動機は、小型化および製造コストの削減を図ることができるとともに、設計の自由度を高める上で、極めて有用である。

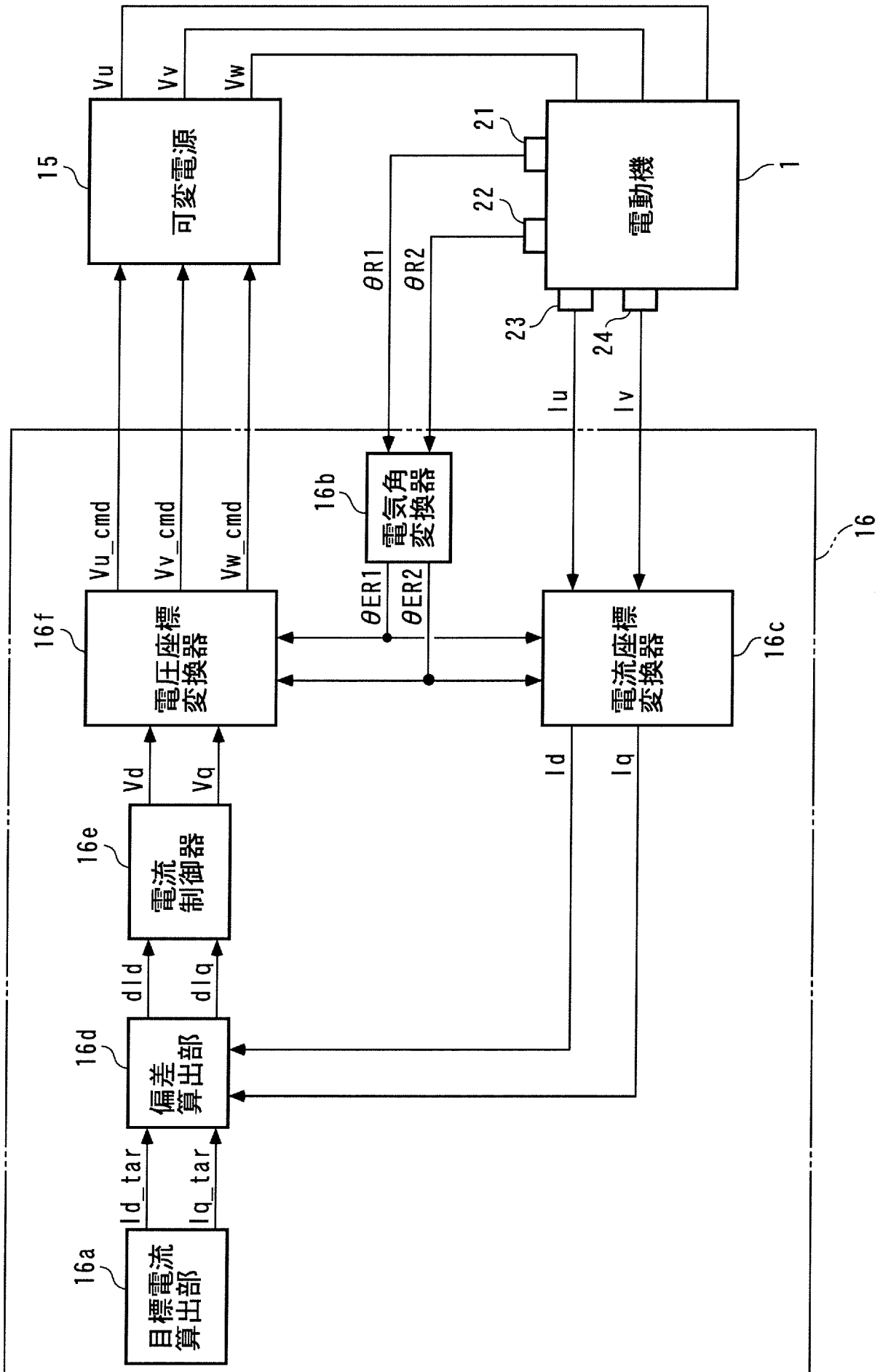
## 請求の範囲

- [1] 所定方向に並んだ所定の複数の磁極で構成され、隣り合う各2つの前記磁極が互いに異なる極性を有するように配置された磁極列を有する第1構造体と、
- 前記所定方向に並んだ複数の電機子で構成されるとともに、前記磁極列に対向するように配置され、電力の供給に伴って前記複数の電機子に発生する所定の複数の電機子磁極により、前記所定方向に移動する移動磁界を前記磁極列との間に発生させる電機子列を有する第2構造体と、
- 互いに間隔を隔てて前記所定方向に並んだ所定の複数の軟磁性体で構成され、前記磁極列と前記電機子列の間に位置するように配置された軟磁性体列を有する第3構造体と、を備え、
- 前記所定方向に沿う所定の区間における前記電機子磁極の数と前記磁極の数と前記軟磁性体の数との比が、 $1:m:(1+m)/2$  ( $m \neq 1.0$ ) に設定されていることを特徴とする電動機。
- [2] 前記第1～第3の構造体の相対的な位置関係を検出する相対位置関係検出手段と、
- 当該検出された第1～第3の構造体の相対的な位置関係に基づいて、前記移動磁界を制御する制御手段と、
- をさらに備えることを特徴とする、請求項1に記載の電動機。
- [3] 前記相対位置関係検出手段は、前記第1～第3の構造体の相対的な位置関係として、前記第2構造体に対する前記第1構造体および第3構造体の電気角度位置をそれぞれ検出し、
- 前記制御手段は、前記検出された第3構造体の電気角度位置に $(1+m)$ を乗算した値と、前記検出された第1構造体の電気角度位置に $m$ を乗算した値との差に基づいて、前記移動磁界を制御することを特徴とする、請求項2に記載の電動機。
- [4] 前記磁極は永久磁石の磁極であることを特徴とする、請求項1ないし3のいずれかに記載の電動機。
- [5] 前記電動機は回転機であることを特徴とする、請求項1に記載の電動機。
- [6] 前記電動機はリニアモータであることを特徴とする、請求項1に記載の電動機。

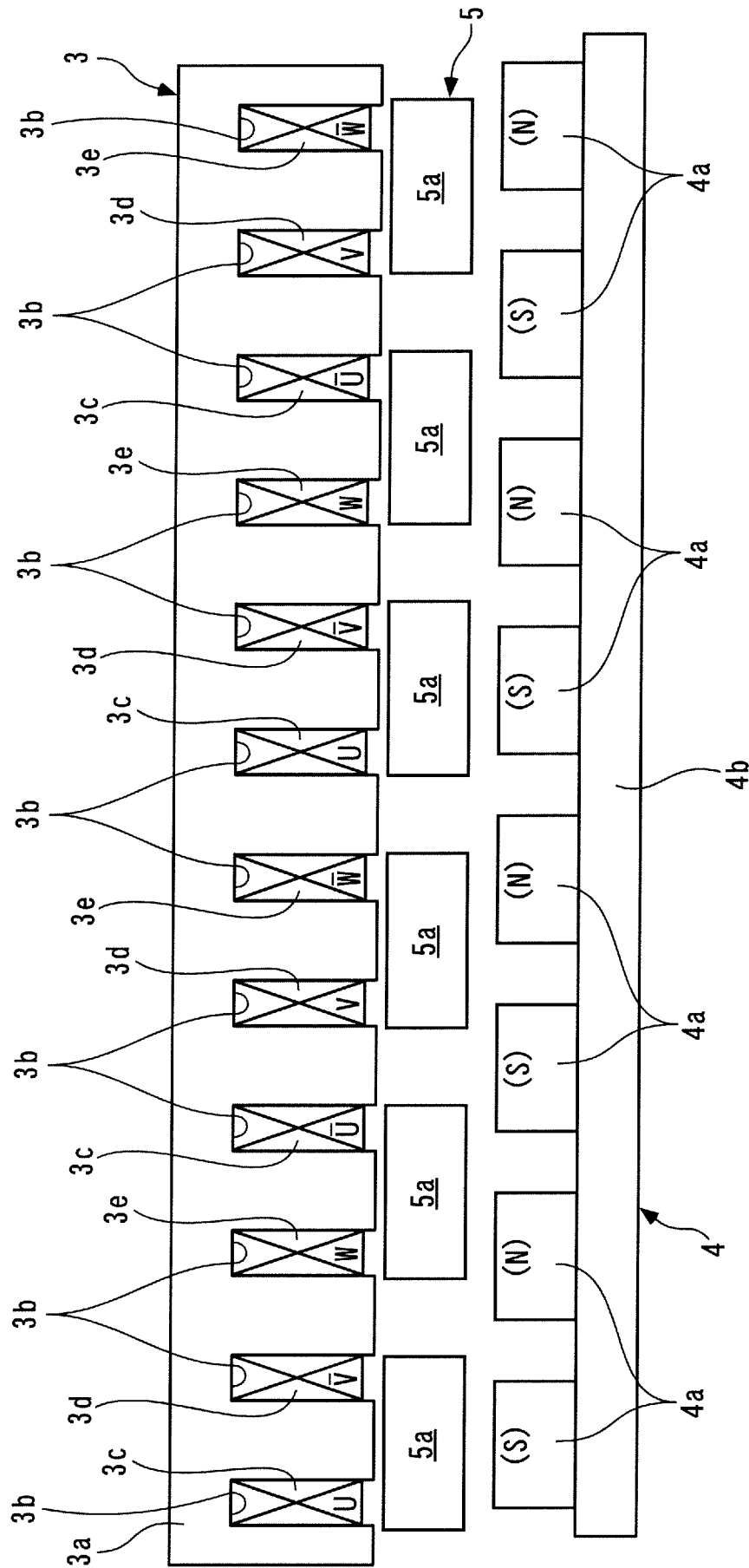
[図1]



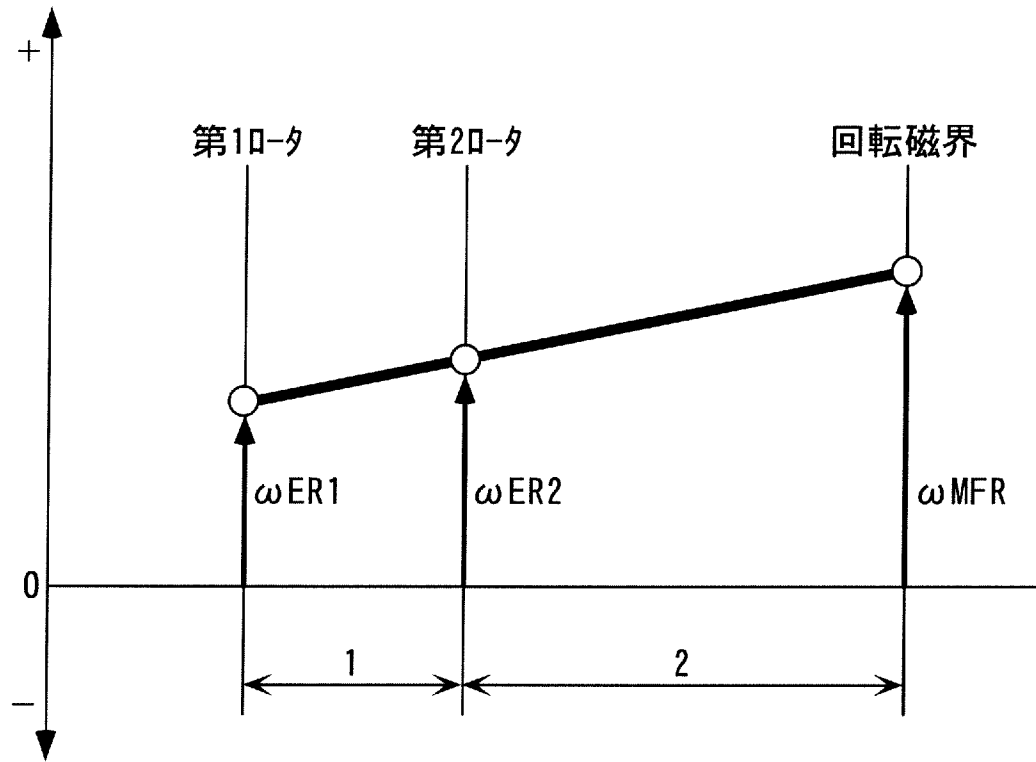
[図2]



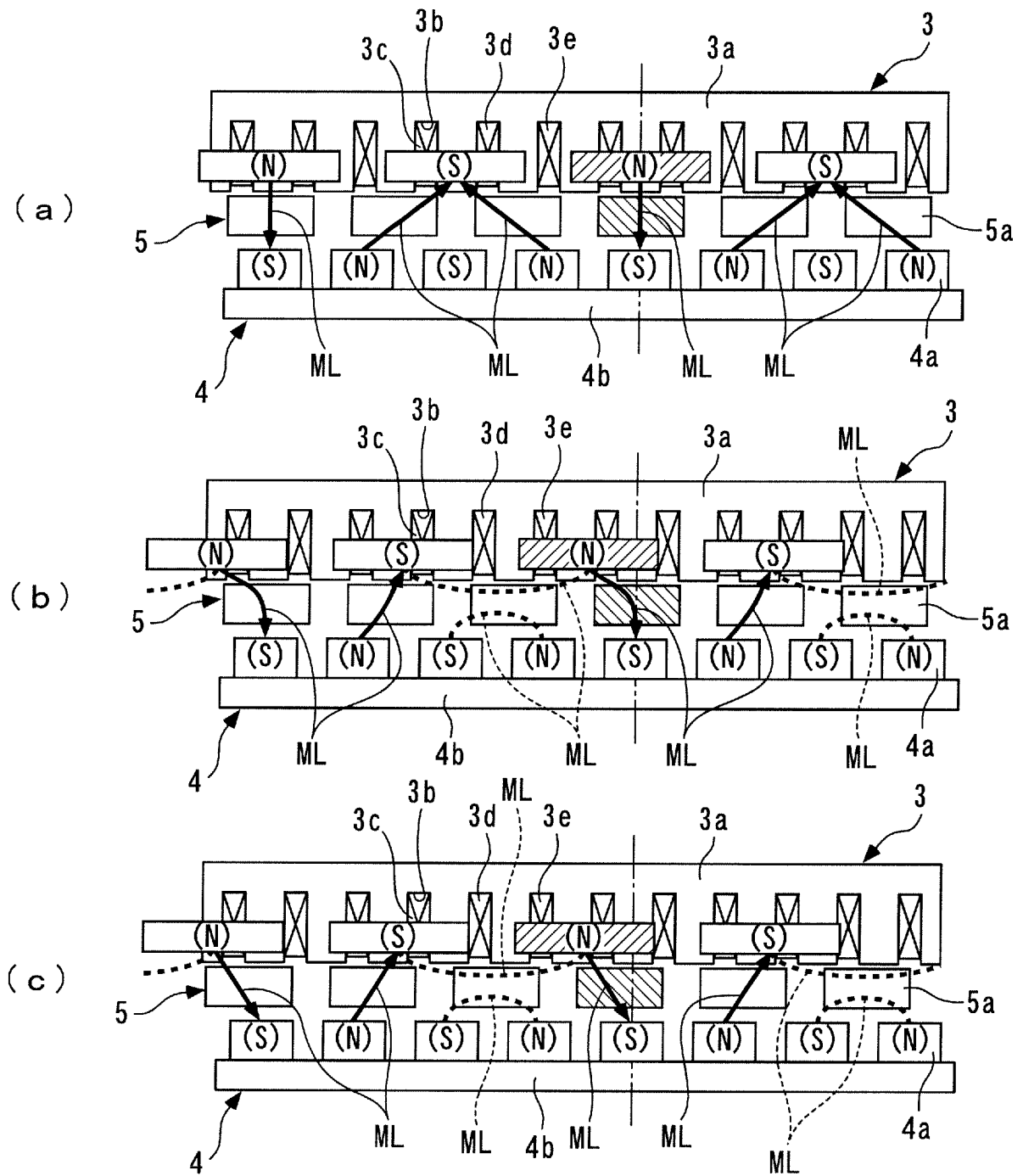
[図3]



[図4]

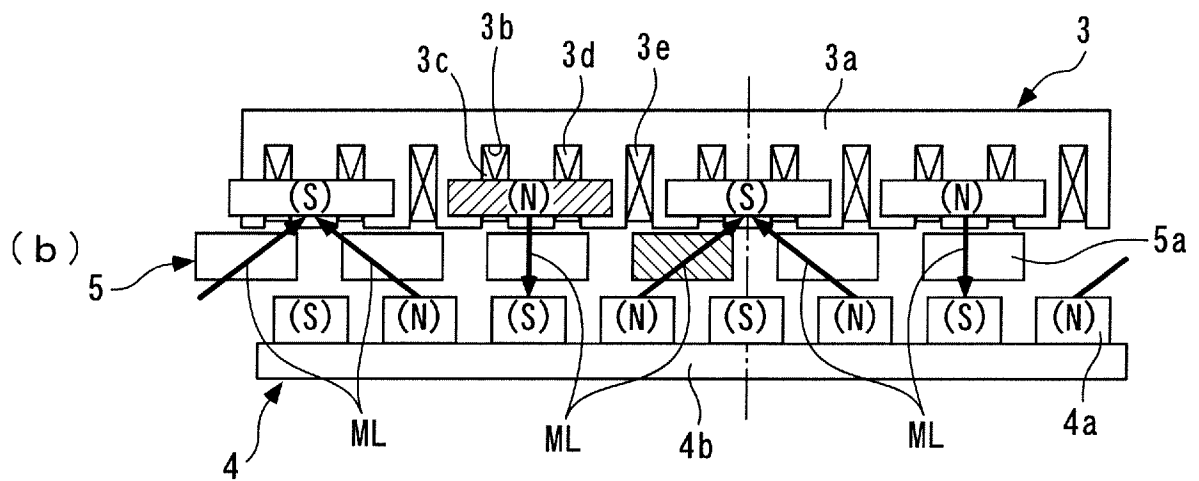
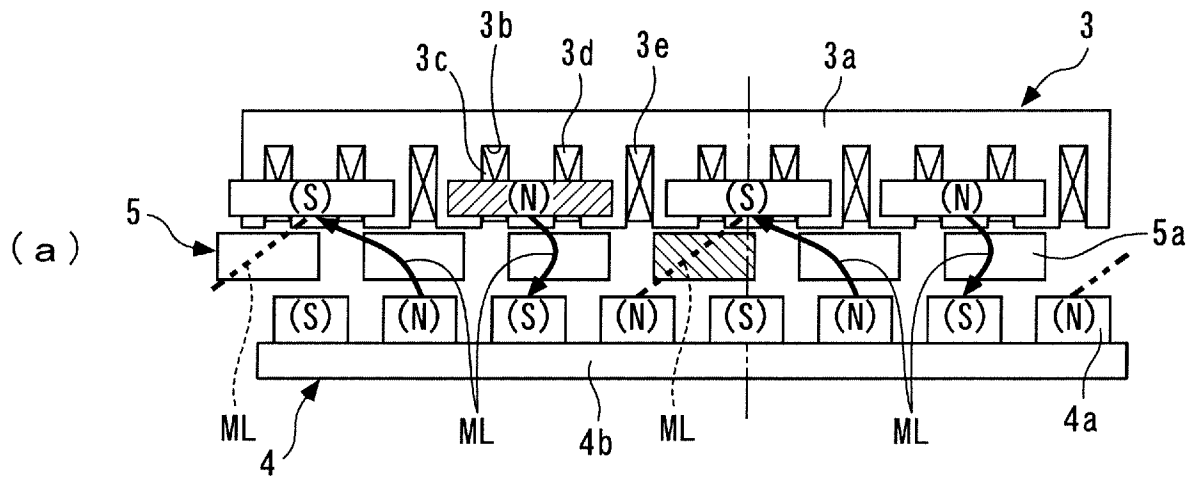


[図5]

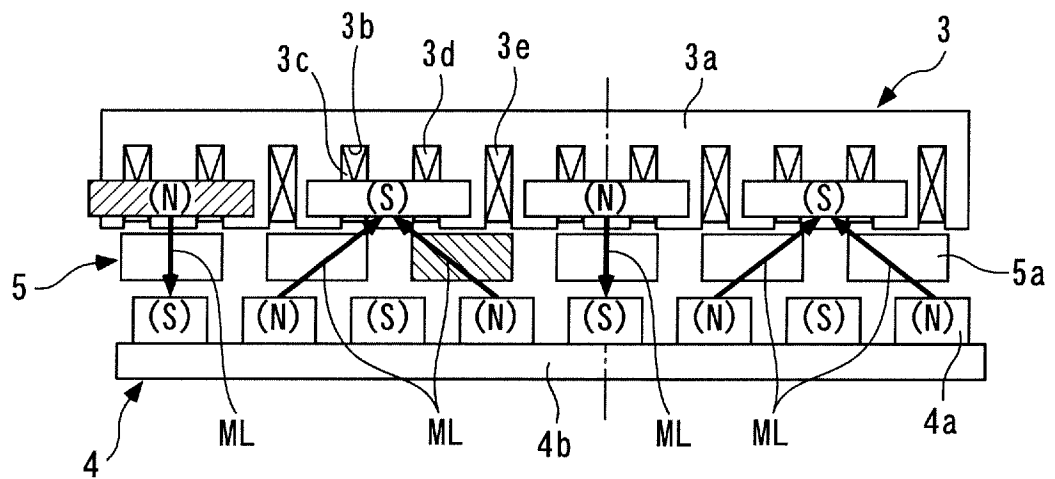




[図7]

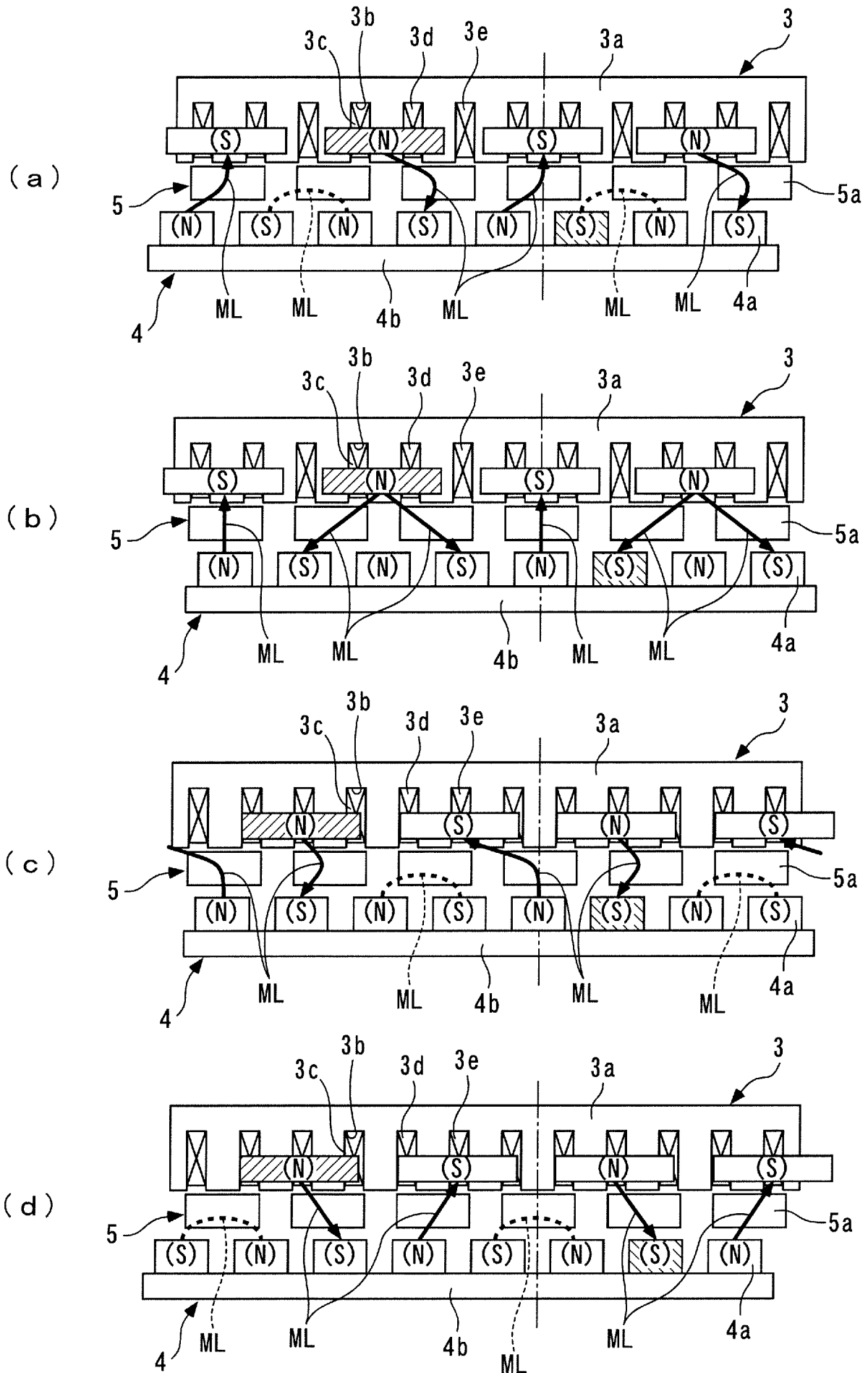


[図8]

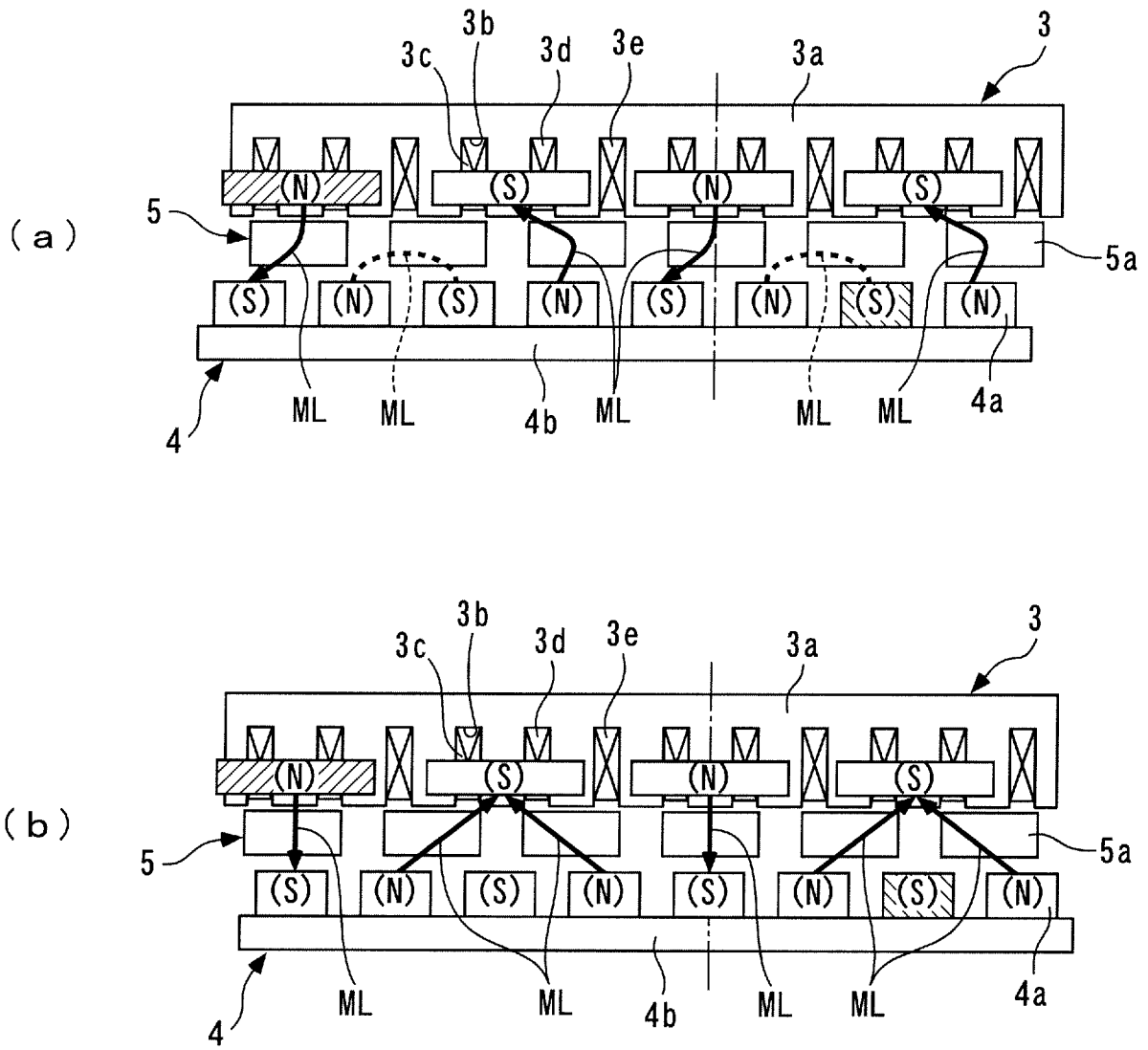




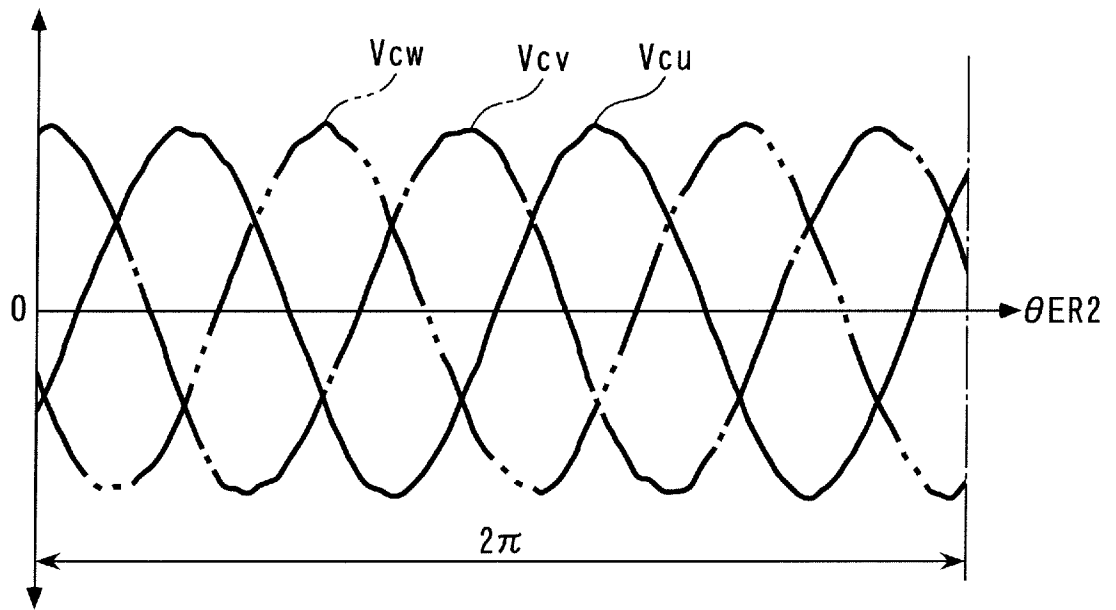
[図10]



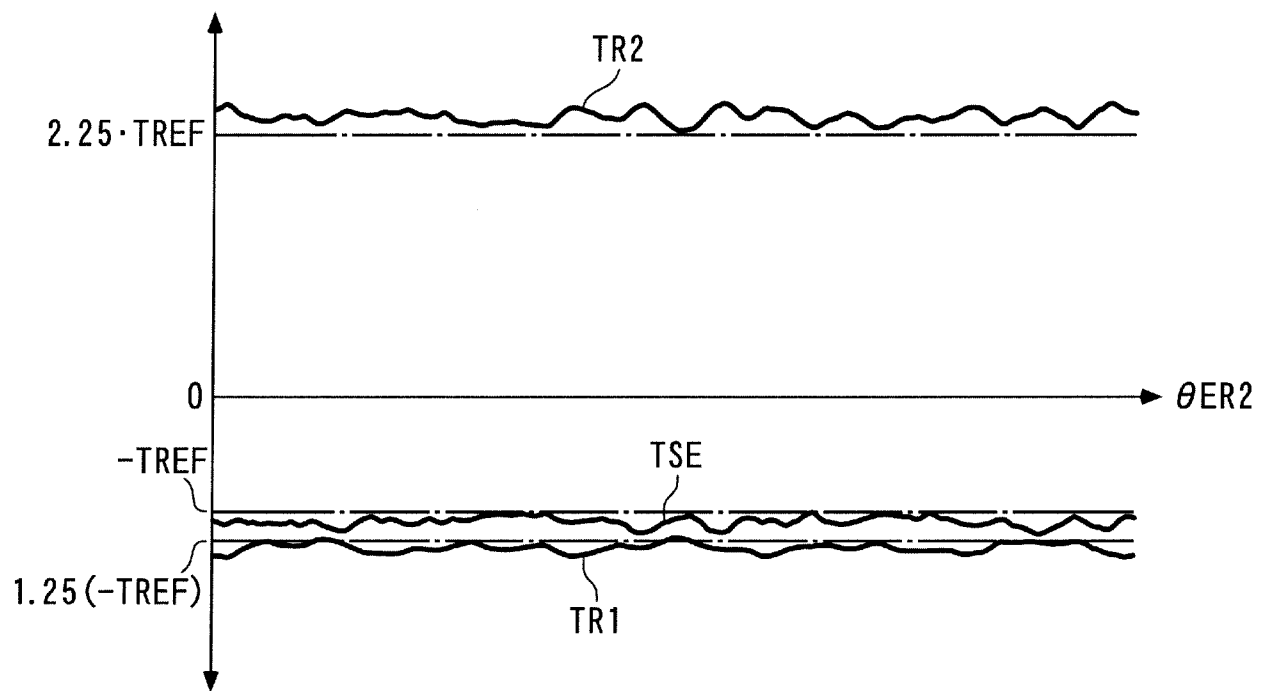
[図11]



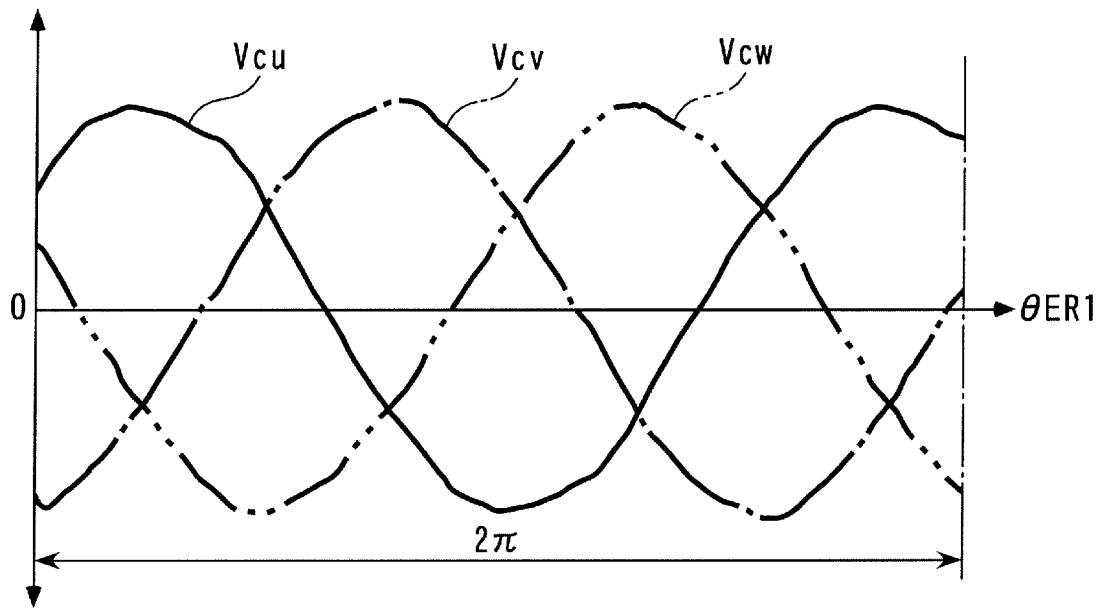
[図12]



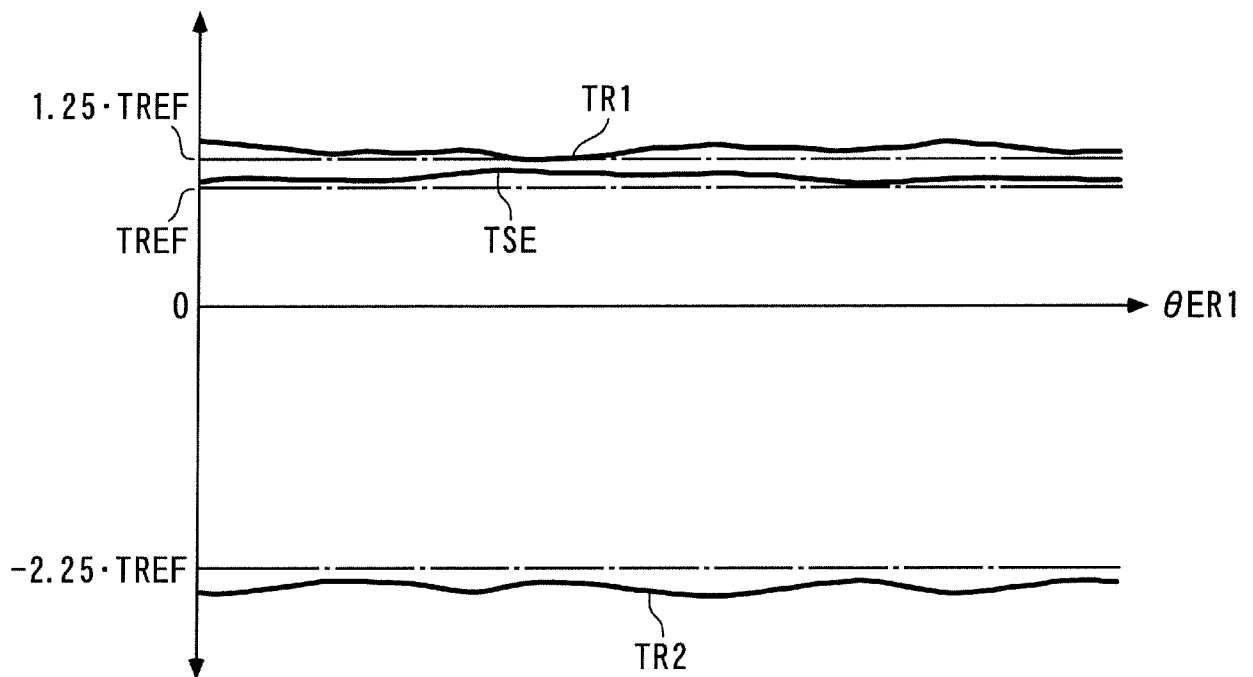
[図13]



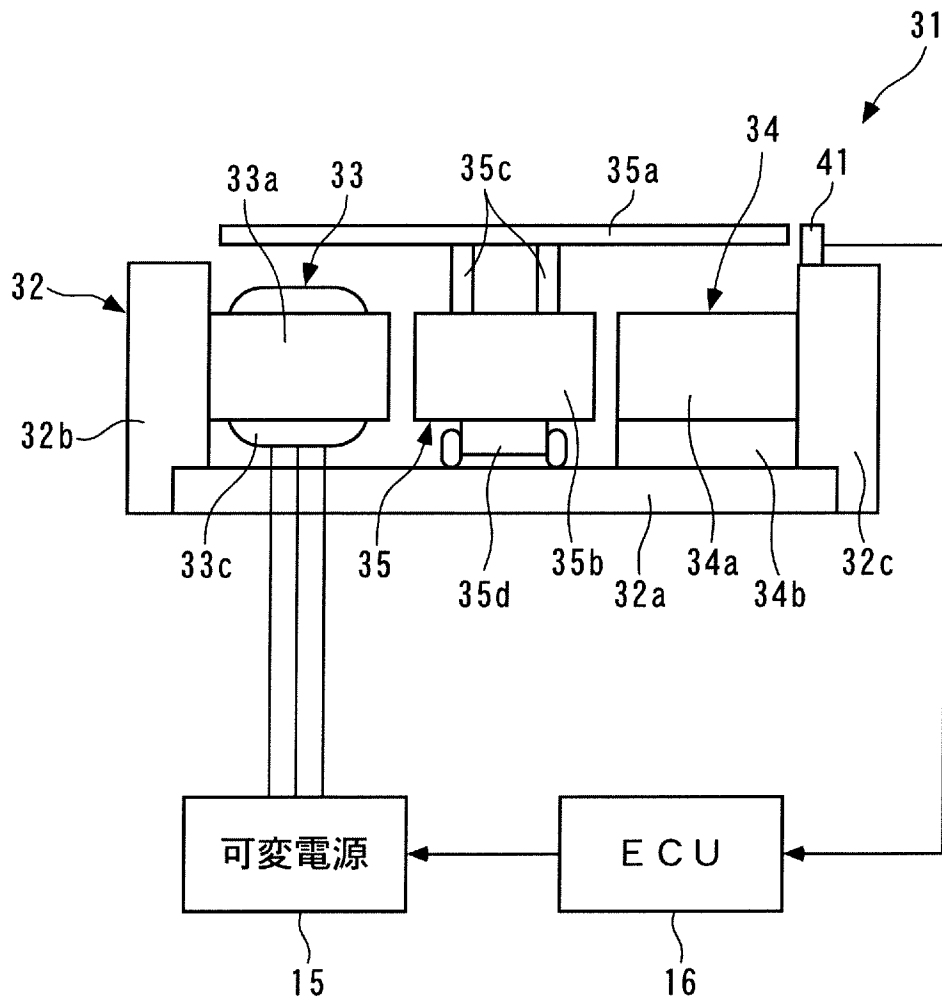
[図14]



[図15]

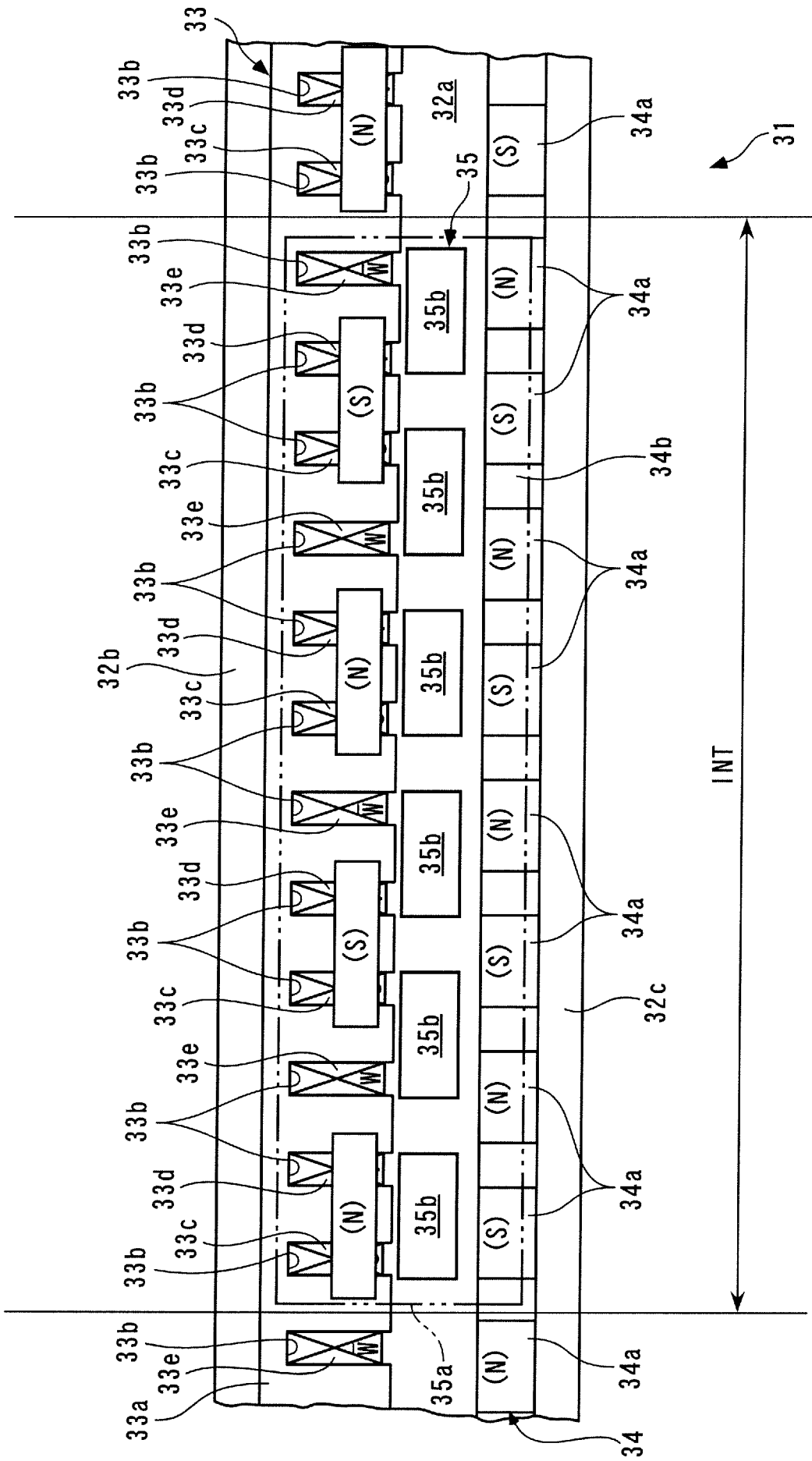


[図16]

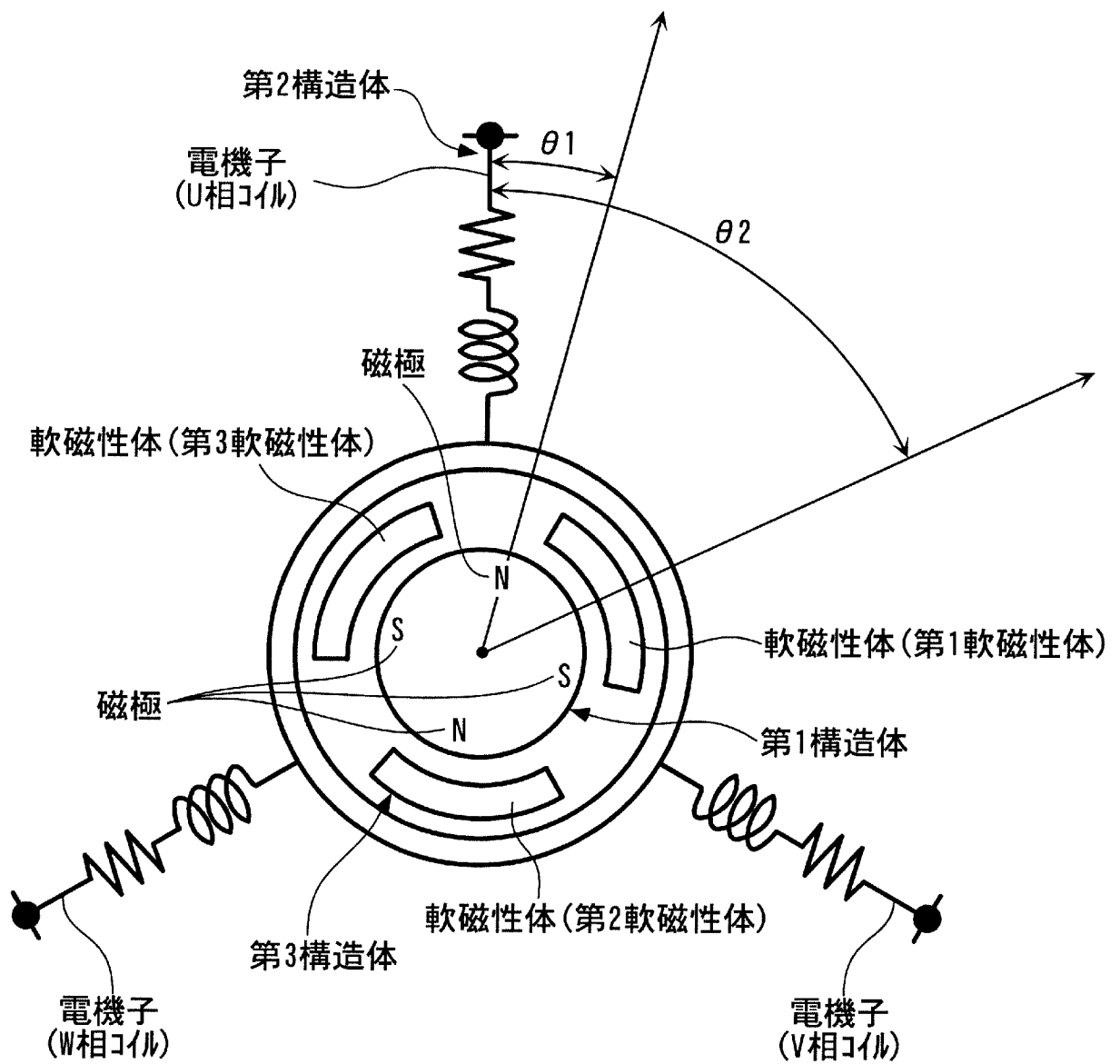




[図18]



[図19]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.  
PCT/JP2009/052780

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
H02K16/02(2006.01)i, H02K21/12(2006.01)i, H02K41/03(2006.01)i, H02P25/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H02K16/02, H02K21/12, H02K41/03, H02P25/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-43138 A (Honda Motor Co., Ltd.), 21 February, 2008 (21.02.08), Claims; Par. Nos. [0034] to [0044], [0047] to [0059]; Figs. 2 to 6 & US 2008/0211335 A1 & EP 2015429 A & WO 2008/018376 A1	1-6
A	JP 2008-67592 A (Honda Motor Co., Ltd.), 21 March, 2008 (21.03.08), Full text; Figs. 1 to 6 & US 2008/0036330 A1 & EP 2015428 A & WO 2008/018375 A1	1-6
A	JP 2008-17543 A (Daikin Industries, Ltd.), 24 January, 2008 (24.01.08), Full text; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C.       See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 30 April, 2009 (30.04.09)	Date of mailing of the international search report 19 May, 2009 (19.05.09)
----------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2009/052780

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-288012 A (Fujitsu General Ltd.), 19 October, 2006 (19.10.06), Par. Nos. [0041] to [0060]; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. H02K16/02(2006.01)i, H02K21/12(2006.01)i, H02K41/03(2006.01)i, H02P25/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int.Cl. H02K16/02, H02K21/12, H02K41/03, H02P25/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2009年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2009年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-43138 A (本田技研工業株式会社) 2008.02.21, 特許請求の 範囲の欄、段落【0034】-【0044】、【0047】-【00 59】、図2-6 & US 2008/0211335 A1 & EP 2015429 A & WO 2008/018376 A1	1-6
A	JP 2008-67592 A (本田技研工業株式会社) 2008.03.21, 全文、図1 -6 & US 2008/0036330 A1 & EP 2015428 A & WO 2008/018375 A1	1-6

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 30.04.2009	国際調査報告の発送日 19.05.2009
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 仲村 靖 電話番号 03-3581-1101 内線 3358
	3V 9239

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-17543 A (ダイキン工業株式会社) 2008.01.24, 全文、図1, 2 (ファミリーなし)	1-6
A	JP 2006-288012 A (株式会社富士通ゼネラル) 2006.10.19, 段落【0041】-【0060】, 図1, 2 (ファミリーなし)	1-6