

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-215021

(P2013-215021A)

(43) 公開日 平成25年10月17日(2013.10.17)

(51) Int.Cl.  
H02K 41/03 (2006.01)

F I  
H02K 41/03

テーマコード(参考)  
5H641

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2012-83282(P2012-83282)  
(22) 出願日 平成24年3月30日(2012.3.30)

(71) 出願人 501241645  
学校法人 工学院大学  
東京都新宿区西新宿1丁目24番2号  
(74) 代理人 100079049  
弁理士 中島 淳  
(74) 代理人 100084995  
弁理士 加藤 和詳  
(74) 代理人 100099025  
弁理士 福田 浩志  
(72) 発明者 横山 修一  
東京都新宿区西新宿1-24-2 学校法  
人工学院大学内  
(72) 発明者 森下 明平  
東京都新宿区西新宿1-24-2 学校法  
人工学院大学内  
Fターム(参考) 5H641 BB06 GG03 HH02 HH03 JA09

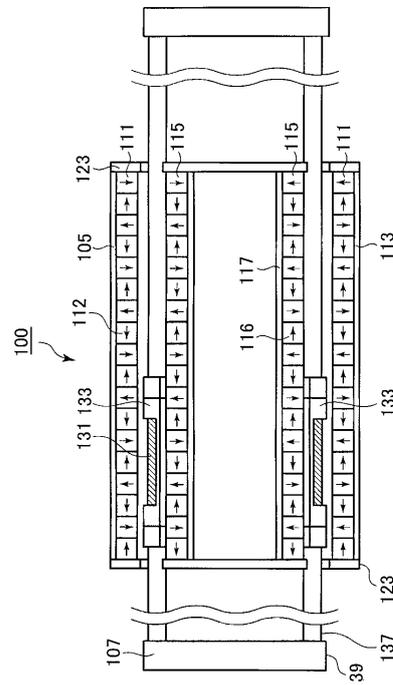
(54) 【発明の名称】 電磁誘導装置

(57) 【要約】

【課題】電機子コイルに鎖交する磁束数を大きくできるようにする。

【解決手段】90°ずつ磁極の方向が変化するように永久磁石112がハルバツハ配列された永久磁石配列111と、90°ずつ磁極の方向が変化するように永久磁石116がハルバツハ配列された永久磁石配列115との間を、永久磁石112、116の断面積の平方根の1.2倍以上1.5以下とし、永久磁石配列111と永久磁石配列115との間に電機子コイル131を配置する。

【選択図】 図8



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

互いに対向して配置された第 1 の永久磁石列と第 2 の永久磁石列であって、前記第 1 の永久磁石列は、所定の方向に 2 の整数等分ずつ磁極の方向が変化し、前記第 2 の永久磁石列側の磁場が強めあい前記第 2 の永久磁石列側と反対側の磁場が弱めあうように前記所定の方向に配列された複数の第 1 の永久磁石を有し、前記第 2 の永久磁石列は、前記所定の方向に 2 の整数等分ずつ磁極の方向が変化し、前記第 1 の永久磁石列側の磁場が強めあい前記第 1 の永久磁石列側と反対側の磁場が弱めあうように前記所定の方向に配列された複数の第 2 の永久磁石を有する前記第 1 の永久磁石列と第 2 の永久磁石列と、

前記第 1 の永久磁石列と前記第 2 の永久磁石列との間に配置された電機子コイルと、を備え、

前記第 1 の永久磁石と前記第 2 の永久磁石は、前記第 1 の永久磁石および前記第 2 の永久磁石の着磁方向に平行な面内において同じ断面積を有し、

前記第 1 の永久磁石列と前記第 2 の永久磁石列との間隔が、前記断面積の平方根の 1 . 2 倍以上 1 . 5 以下である電磁誘導装置。

## 【請求項 2】

前記複数の第 1 の永久磁石の磁極の方向が前記所定の方向に 90 度ずつ回転するように前記複数の第 1 の永久磁石が前記所定の方向に配列され、

前記複数の第 2 の永久磁石の磁極の方向が前記所定の方向に 90 度ずつ回転するように前記複数の第 2 の永久磁石が前記所定の方向に配列され、

前記複数の第 1 の永久磁石の磁極の方向と前記複数の第 2 の永久磁石の磁極の方向が、前記所定の方向と垂直な方向については同じ方向であり、前記所定の方向の磁極の方向については反対方向である請求項 1 記載の電磁誘導装置。

## 【請求項 3】

前記所定の方向が直線方向である請求項 1 または 2 記載の電磁誘導装置。

## 【請求項 4】

前記所定の方向が周方向である請求項 1 または 2 記載の電磁誘導装置。

## 【請求項 5】

前記電磁誘導装置が電動機または発電機である請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の電磁誘導装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は電磁誘導装置に関し、特に、電動機または発電機として使用される電磁誘導装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

電動機（モータ）または発電機の磁場を高めるのに、ハルバッハ配列という永久磁石の配列方法がある。永久磁石を N 極と S 極とが交互になるように配置した構造だと、磁場が磁石配列の表側と裏側の両方に発生してしまい、磁場を有効に利用できない。これに対して、ハルバッハ配列では、永久磁石の磁極を 90° ずつ回転させながら配列しているので、磁石配列の一方の側の磁場が弱まり、その磁石配列の他方の側では、その分磁場が強くなって、永久磁石の配列の片側に強い磁場を発生させることができる。それぞれハルバッハ配列された 2 列の永久磁石配列（デュアルハルバッハ配列）の間に電機子コイルを配置した永久磁石回転電機（特許文献 1 参照）やリニア電動機（特許文献 2 参照）が提案されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献 1】特開 2009 - 201343 号公報

10

20

30

40

50

【特許文献2】特開2010-154688号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

永久磁石デュアルハルバッハ配列界磁を用いたコアレスモータやコアレス発電機では、電機子コイルに鎖交する磁束数をできるだけ大きくすることが望ましいが、従来の構造では、鎖交磁束数が最適化されておらず、さらに大きくすることが望まれている。

【0005】

本発明の主な目的は、電機子コイルに鎖交する磁束数を大きくできる電磁誘導装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明によれば、

互いに対向して配置された第1の永久磁石列と第2の永久磁石列であって、前記第1の永久磁石列は、所定の方向に2の整数等分ずつ磁極の方向が変化し、前記第2の永久磁石列側の磁場が強めあい前記第2の永久磁石列側と反対側の磁場が弱めあうように前記所定の方向に配列された複数の第1の永久磁石を有し、前記第2の永久磁石列は、前記所定の方向に2の整数等分ずつ磁極の方向が変化し、前記第1の永久磁石列側の磁場が強めあい前記第1の永久磁石列側と反対側の磁場が弱めあうように前記所定の方向に配列された複数の第2の永久磁石を有する前記第1の永久磁石列と第2の永久磁石列と、

前記第1の永久磁石列と前記第2の永久磁石列との間に配置された電機子コイルと、を備え、

前記第1の永久磁石と前記第2の永久磁石は、前記第1の永久磁石および前記第2の永久磁石の着磁方向に平行な面内において同じ断面積を有し、

前記第1の永久磁石列と前記第2の永久磁石列との間隔が、前記断面積の平方根の1.2倍以上1.5以下である電磁誘導装置が提供される。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、電機子コイルに鎖交する磁束数を大きくできる電磁誘導装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】図1は、等価磁気回路法を適用するデュアルハルバッハ配列界磁の断面図である。

【図2】図2は、図1の等価磁気回路を説明するための図である。

【図3】図3は、等価磁気回路法を適用する他のデュアルハルバッハ配列界磁の断面図である。

【図4】図4は、ギャップ長と鎖交磁束数との関係を示す図である。

【図5】図5は、ギャップ長と鎖交磁束数との関係を示す図である。

【図6】図6は、本発明の好ましい第1の実施の形態の円筒型3相リニア同期モータ100を説明するための概略斜視図である。

【図7】図7は、図6のA-A線断面図である。

【図8】図8は、図6のB-B線断面図である。

【図9】図9は、図6のC-C線断面図である。

【図10】図10は、本発明の好ましい第2の実施の形態の三相同期発電機200を説明するための概略斜視図である。

【図11】図11(A)は、着磁方向に平行な面内における三相同期発電機200の概略断面図であり、図11(B)は、電機子コイルの配線を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

10

20

30

40

50

以下、図面を参照して、本発明の好ましい実施の形態を説明する。

【0010】

本発明者達は、磁極を90度ずつ回転して構成されるデュアルハルパツハ界磁について、磁極間ギャップ中央部の平均磁束密度を等価磁気回路を用いて求めた。デュアルハルパツハ配列界磁では永久磁石列の外側で磁束密度が極端に低くなる。また、永久磁石の比透磁率はほぼ空気と同じである。鉄などの強磁性材料を使用しなければ、磁束集中や磁気飽和も発生しない。このため、等価磁気回路で必要な磁束密度を得ることができる。

【0011】

図1は、等価磁気回路法を適用するデュアルハルパツハ配列界磁10の断面図である。デュアルハルパツハ配列界磁10は、永久磁石13の磁極を第1の直線方向に90度ずつ回転してハルパツハ配列された永久磁石配列12と、永久磁石17の磁極を第1の直線と平行な第2の直線方向に90度ずつ回転してハルパツハ配列された永久磁石配列16とを備えている。

10

【0012】

永久磁石配列12では、永久磁石配列16側の磁場が強めあい、永久磁石配列16側と反対側の磁場が弱めあうように永久磁石13が配列されている。永久磁石配列16では、永久磁石配列12側の磁場が強めあい、永久磁石配列12側と反対側の磁場が弱めあうように永久磁石17が配列されている。

【0013】

図1は、永久磁石13、17の着磁方向に平行な面での断面図である。永久磁石13、17は、永久磁石13、17の着磁方向に平行な面（紙面に平行な面）内において、共に正方形の形状を有し、同じ断面積を有している。

20

【0014】

永久磁石13、17の着磁方向に平行な面（紙面に平行な面）内における永久磁石13、17の断面積の平方根を1として規格化する。断面積の平方根が1なので、永久磁石13、17の断面積も1である。また、永久磁石13、17は、永久磁石13、17の着磁方向に平行な面内において、共に正方形の形状を有しているため、永久磁石13、17の一辺の長さも1となる。永久磁石配列12と永久磁石配列16との間14の間隔（ギャップ長）をaとする。

【0015】

図1に示す閉曲線は磁束線である。磁束線の形状から極ピッチ毎に同一の磁束経路が存在することがわかる。この磁束経路を点線で示している。

30

【0016】

図1に示すデュアルハルパツハ界磁の等価磁気回路の主磁束は図1の磁束経路を通る。また、磁気回路は磁極中心線XXについて対称に存在するので、一つの経路に係る磁気回路は磁極ごとに線対称に連続する。今、一つの磁気回路を図2のように定義する。図2中、Rは永久磁石13、17の磁気抵抗であり、磁極に垂直な永久磁石の断面積をS、永久磁石の磁極方向の長さを $l_m$ 、真空の透磁率を $\mu_0$ として次式で表される。

【数1】

$$R = \frac{l_m}{\mu_0 S} \dots \dots \dots (1)$$

40

ここで、永久磁石の比透磁率は1に近似されている。また、図2中、 $l_v$ は磁石の磁極面から縦方向経路までの距離、 $l_r$ は磁極面からギャップ中の最寄りの横方向経路までの距離のギャップ長に対する比率である。縦方向経路の断面積 $S_v$ 、ギャップ中の横方向経路の断面積 $S_r$ は、

【数2】

$$S_v = \frac{S}{2}, \quad S_r = \frac{a}{2} S$$

50

となるから、3つの閉回路主磁束  $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、 $\phi_3$  は次の回路方程式を満足する。

【数3】

$$\begin{cases} (4a\delta + 2\gamma + 3)R(\phi_1 + \phi_3) + \\ \quad 4a(1 - 2\delta)R\phi_3 + (4a\delta + 2\gamma + 3)R(\phi_2 + \phi_3) = 4H_m l_m \\ (4a\delta + 2\gamma + 3)R(\phi_1 + \phi_3) + \frac{2(1 + 2\gamma)}{a}R\phi_1 = 2H_m l_m \quad \dots\dots\dots(2) \\ (4a\delta + 2\gamma + 3)R(\phi_2 + \phi_3) + \frac{2(1 + 2\gamma)}{a}R\phi_2 = 2H_m l_m \end{cases}$$

$H_m$  : 永久磁石の保持力,  $l_m$  : 磁極間長さ( $l_m = 1$ ).

10

【0017】

(2)式より を

【数4】

$$\alpha = \frac{2(2\gamma + 1)}{a^2(1 - 2\delta)(4a\delta + 2\gamma + 3) + 2a(2\gamma + 1) + 4\gamma^2 + 8\gamma + 3}$$

として、

【数5】

$$\phi_1 = \phi_2 = \alpha \frac{a^2(1 - 2\delta)H_m l_m}{(2\gamma + 1)R}, \quad \phi_3 = \alpha \frac{H_m l_m}{R} \dots\dots\dots(3)$$

20

となる。

したがって、ギャップ中心線 Y Y 上の N S 磁極間の平均磁束密度  $B_{av}$  は次式となる。

【数6】

$$B_{av} = \frac{\phi_3}{S_v} = \frac{2\alpha H_m l_m}{SR} = 2\alpha B_r \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 $B_r$  は永久磁石の残留磁束密度である。

【0018】

図3は、等価磁気回路法を適用する他のデュアルハルパッハ配列界磁20の断面図である。デュアルハルパッハ配列界磁20は、永久磁石23の磁極を周方向に略90度ずつ回転してハルパッハ配列された永久磁石配列22と、永久磁石27の磁極を周方向に略90度ずつ回転してハルパッハ配列された永久磁石配列26とを備えている。

30

【0019】

永久磁石配列22では、永久磁石配列26側の磁場が強めあい、永久磁石配列26側と反対側の磁場が弱めあうように永久磁石23が配列されている。永久磁石配列26では、永久磁石配列22側の磁場が強めあい、永久磁石配列22側と反対側の磁場が弱めあうように永久磁石27が配列されている。

【0020】

図3は、永久磁石23、27の着磁方向に平行な面での断面図である。永久磁石23、27は、永久磁石23、27の着磁方向に平行な面(紙面に平行な面)内において、共に台形であり、同じ断面積を有している。永久磁石23の数と永久磁石27の数は同じである。永久磁石23の数および永久磁石27の数が、例えば、64個であると、隣り合う永久磁石23同士、または隣り合う永久磁石27同士は、180度に近い略174度の角度で接合することになる。従って、永久磁石23と、永久磁石27は略正方形であるとみなすことができる。

40

【0021】

そこで、図1の場合と同様に、永久磁石23、27の着磁方向に平行な面(紙面に平行な面)内における永久磁石23、27の断面積の平方根を1として規格化する。断面積の平方根が1なので、永久磁石23、27の断面積も1である。また、永久磁石23、27

50

は、永久磁石 23、27 の着磁方向に平行な面内において、共に略正方形の形状を有しているとみなすことができるので、永久磁石 23、27 の一辺の長さも 1 と近似することができる。なる。永久磁石配列 22 と永久磁石配列 26 との間 24 の間隔（ギャップ長）を  $a$  とする。

【0022】

このように、図 3 に示すように、永久磁石 23、27 の磁極を周方向に 90 度ずつそれぞれ回転してハルバッハ配列した永久磁石配列 22、26 を使用した場合も、近似的に図 2 の等価磁気回路となり、上述の議論がそのまま当てはまることになる。

【0023】

ギャップ長  $a$  を 0.25、0.5、1.0、1.5、2.0 とした場合の直線 YY 上の  $y$  方向磁束密度  $B_y$  の磁極間平均値  $B_0$ 、および  $B_{av}$  をパラメータとして (4) 式より得られた  $B_{av}$  の値を表 1 に示す。

【表 1】

a	B <sub>av</sub> (T)		B <sub>0</sub> (T)	B <sub>z</sub> (T)	B <sub>avz</sub> (T)
	γ=0.25 δ=0.25	γ=0.10 δ=0.25			
0.25	1.27	1.37	1.38	0.92	0.92
0.50	1.08	1.13	1.13	0.77	0.77
1.00	0.74	0.75	0.74	0.52	0.52
1.50	0.51	0.49	0.50	0.35	0.35
2.00	0.35	0.33	0.33	0.23	0.23

表 1 中、 $\gamma = 0.25$ 、 $\delta = 0.25$  は幾何学的な中心を磁気回路の経路として選択した場合である。また、 $\gamma = 0.10$ 、 $\delta = 0.25$  は  $B_0$  と  $B_{av}$  の誤差を最小にする値、 $B_0$  は 2 次元有限要素法磁界解析による解析値で  $B_y$  の極ピッチ間平均値である。ここで、極ピッチ間の磁束密度が正弦波状に分布していると仮定すると、その磁束密度平均値  $B_{av}$  は  $B_0$  の  $1/\sqrt{2}$  倍である。 $B_0$  と  $B_{av}$  の誤差は  $\gamma = 0.20$ 、 $\delta = 0.2$  で最小となる。

## 【0024】

図 1 に示すように、永久磁石 13 の磁極を第 1 の直線方向に 90 度ずつ回転してハルバッハ配列された永久磁石配列 12 と、永久磁石 17 の磁極を第 1 の直線と平行な第 2 の直線方向に 90 度ずつ回転してハルバッハ配列された永久磁石配列 16 とを備え、永久磁石

10

20

30

40

50

13と永久磁石17は正方形の形状を有し、同じ断面積を有しているデュアルハルバッハ配列界磁10および、図3に示すように、永久磁石23の磁極を周方向に90度ずつ回転してハルバッハ配列された永久磁石配列22と、永久磁石27の磁極を周方向に90度ずつ回転してハルバッハ配列された永久磁石配列26とを備え、永久磁石23と永久磁石27は略正方形の形状を有し、同じ断面積を有しているデュアルハルバッハ配列界磁20では、上述のように、ギャップ中心線YY上のNS極ピッチ間の平均磁束密度 $B_{av}$ は、

【数7】

$$B_{av} = \sqrt{2\alpha}B_r \dots\dots\dots(4')$$

となる。ここで、 $B_r$ は永久磁石の残留磁束密度であり、

【数8】

$$\alpha = \frac{2(2\gamma+1)}{a^2(1-2\delta)(4a\delta+2\gamma+3)+2a(2\gamma+1)+4\gamma^2+8\gamma+3} \dots\dots\dots(5)$$

である。

【0025】

デュアルハルバッハ界磁のギャップ中に配置される電機子コイルの鎖交磁束数は極ピッチあたりの磁路断面積を $S$ 、コイル巻回数を $N$ とすれば

【数9】

$$\Phi = NSB_{av} \dots\dots\dots(6)$$

となる。

【0026】

ギャップ中に配置される電機子コイルは極ピッチの幅でギャップを満たすように製作すると最大の巻回数が得られるので、着磁方向に平行な面内における永久磁石の断面の面積の平方根を1とし、永久磁石が正方形の場合には、正方形の一辺の長さを1とし、永久磁石が略正方形であり、正方形であると近似できる場合には、近似した正方形の一辺の長さを1とした場合、 $S$ は界磁の奥行(正方形断面に直行する方向の永久磁石の長さ)1に比例し、 $N$ は奥行1とギャップ長 $a$ に比例する。今、比例定数を $k$ として、

【数10】

$$N = kal \dots\dots\dots(7)$$

とすれば、

【数11】

$$S = 2l \dots\dots\dots(8)$$

であるから、式(7)、式(8)を式(6)に代入して鎖交磁束数は次式で表せる。

【数12】

$$\Phi = kl^2 a B_{av} = \sqrt{2} kl^2 \alpha B_r \dots\dots\dots(9)$$

【0027】

一方、上述のように、式(5)中、 $\gamma = 0.20$ 、 $\delta = 0.22$ のとき、式(4')の $B_{av}$ は実際の磁極ピッチ間平均磁束密度を表す計算式となる。したがって、実際の鎖交磁束は、 $\gamma = 0.20$ 、 $\delta = 0.22$ としたときの式(9)で計算できる。ここで、同式中の $k$ と $l$ は所定の定数であるから、

【数13】

$$f(a) = \alpha \alpha = \frac{2(2\gamma+1)a}{a^2(1-2\delta)(4a\delta+2\gamma+3)+2a(2\gamma+1)+4\gamma^2+8\gamma+3} \quad (\because \gamma = 0.20, \delta = 0.22)$$

……………(10)

で定義される関数  $f(a)$  が最大となるギャップ長  $a$  の値が存在すれば、そのギャップ長でデュアルハルパツ八配列界磁を構成すると最大の鎖交磁束数を得ることができる。

【0028】

$f(a)$  をグラフ化すると図4のようになる。最大値が存在するので、

【数14】

$$\frac{df(a)}{da} = 0$$

より  $a$  を求めると、 $a = 1.2$  となる。すなわち、着磁方向に平行な面内における永久磁石の断面の面積の平方根の  $1.2$  倍、永久磁石が正方形の場合には、正方形の一辺の長さの  $1.2$  倍、永久磁石が略正方形であり、正方形であると近似できる場合には、近似した正方形の一辺の長さの  $1.2$  倍、のギャップ長とすれば、所定の巻回数に対して最大の鎖交磁束を得ることができる。

10

【0029】

ハルパツ八配列界磁と電機子コイルは互いに相対運動するので、界磁の永久磁石と電機子コイルが接触しないよう、実際に電機子コイルを界磁ギャップ中に配置する場合にはある程度の隙間を必要とする。また、電機子コイルは電線をボビンに装巻したり、装巻した電線をモールドにより固着して形成される。このため、コイルの厚みのすべてが導体で占められることはなく、永久磁石の正方形断面の一辺の長さを  $1\text{ cm}$  とすれば、界磁とコイル導体間には界磁と対向する面で  $1\text{ mm}$  程度の非導電体が存在することになる。

20

【0030】

この場合、着磁方向に平行な面内における永久磁石の断面の面積の平方根を  $1$  とし、永久磁石が正方形の場合には、正方形の一辺の長さを  $1$  とし、永久磁石が略正方形であり、正方形であると近似できる場合には、近似した正方形の一辺の長さを  $1$  とした場合、界磁のギャップ中に配置される電機子コイルの巻回数  $N$  は、式(7)の場合と同様にして、

【数15】

$$N = k(a - 0.2) \dots \dots \dots (11)$$

で表せる。したがって、鎖交磁束を最大にするギャップ長は

【数16】

$$g(a) = (a - 0.2)\alpha = \frac{2(2\gamma + 1)(a - 0.2)}{a^2(1 - 2\delta)(4a\delta + 2\gamma + 3) + 2a(2\gamma + 1) + 4\gamma^2 + 8\gamma + 3} \quad (\because \gamma = 0.20, \delta = 0.22) \dots \dots \dots (12)$$

30

で定義される関数  $g(a)$  を最大にするギャップ長となる。

【0031】

$g(a)$  をグラフ化すると図5のようになる。最大値が存在するので、

【数17】

$$\frac{dg(a)}{da} = 0$$

40

より  $a$  を求めると、 $a = 1.5$  となる。すなわち、着磁方向に平行な面内における永久磁石の断面の面積の平方根の  $1.5$  倍、永久磁石が正方形の場合には、正方形の一辺の長さの  $1.5$  倍、永久磁石が略正方形であり、正方形であると近似できる場合には、近似した正方形の一辺の長さの  $1.5$  倍、のギャップ長とすれば、所定の巻回数に対して最大の鎖交磁束を得ることができる。

【0032】

このように、デュアルハルパツ八配列界磁のギャップ長を、着磁方向に平行な面内における永久磁石の断面の面積の平方根の  $1.2 \sim 1.5$  倍、永久磁石が正方形の場合には、

50

正方形の一辺の長さの1.2～1.5倍、永久磁石が略正方形であり、正方形であると近似できる場合には、近似した正方形の一辺の長さの1.2～1.5倍に設定すると、電機子コイルにおいて大きな鎖交磁束数を得ることができる。

【0033】

(第1の実施の形態)

本発明の好適な第1の実施の形態は、円筒型3相リニア同期モータである。図6は、本発明の好ましい第1の実施の形態の円筒型3相リニア同期モータ100を説明するための概略斜視図である。図7は、図6のA-A線断面図であり、図8は、図6のB-B線断面図であり、図9は、図6のC-C線断面図である。

【0034】

円筒型3相リニア同期モータ100は、円筒状の固定子105と、固定子105の軸方向に可動し、切欠き部を有する円筒状の可動子107と、可動子107に外部の電源108からの電力を供給する駆動装置109とを備えている。

【0035】

固定子105は、リング状の永久磁石112の磁極がその中心軸を含む断面において90度ずつ回転するように永久磁石112を隣接させて構成される第1の永久磁石列としての外側永久磁石列111と、リング状の永久磁石116の磁極がその中心軸を含む断面において90度ずつ回転するように永久磁石116を隣接させて構成される第2の永久磁石列としての内側永久磁石列115と、内側内面に第1の永久磁石列111が固定される第1の円環状固定部材としての外側パイプ113と、外側面に内側永久磁石列115が固定される第2の円環状固定部材としての内側パイプ117と、可動子107と干渉しないように切欠きが設けられ外側パイプ113と内側パイプ117を固定する固定板123とを備えている。

【0036】

さらに、固定子105では、外側パイプ113の外側上部および外側下部に、ガイド棒121がガイド棒支持部材211、213を介して取り付けられている。ガイド棒121の表面にはガイド棒支持部材211側の端部から当該ガイド棒支持部材211までの範囲で上下に2分割された電極203、205、207、209が固着されており、各電極からの引出し線141は束ねられてガイド棒支持部材211に設けられた導出路143を経由して駆動装置109に導入されている。

【0037】

可動子107は、三相コイル131が巻装された巻装環133と、巻装環133の両端に固定され切欠き部を有する出力環137と、出力環137の切欠き部を固定する切欠き固定板139と、出力環137の端部に取付けられ巻装環133をガイド棒121に沿って案内するリニアブッシュ135とを備えている。リニアブッシュ135はガイド棒121の表面に設けられた電極203、205、207、209のそれぞれに接触する摺動電極201を具備しており、片端が三相コイル131に接続された引出し線141が出力環137およびリニアブッシュ135に設けられた導出路143を介して摺動電極201に接続されている。これにより、三相コイル131は固定子105側の各電極203、205、207、209を介して駆動装置109と電氣的に接続される。ここで、各電極203、205、207、209のそれぞれには、駆動装置109の発生する三相交流電圧に応じた三相交流電流のU相、V相、W相および中性点電流が流れ、三相コイル131が励磁されて所定の推力で可動子107が軸方向に移動する。

【0038】

外側永久磁石配列111の永久磁石112の数と内側永久磁石配列115の永久磁石116の数は同じである、外側永久磁石配列111の永久磁石112のうち径方向に着磁した永久磁石112の磁極方向と、永久磁石配列115の永久磁石116のうち径方向に着磁した永久磁石116の磁極方向は、同じ半径上に配置されているもの同士は同じである。外側永久磁石配列111の永久磁石112のうち軸方向に着磁した永久磁石112の磁極方向と、内側永久磁石配列115の永久磁石116のうち軸方向に着磁した永久磁石1

10

20

30

40

50

16の磁極方向は、同じ半径上に配置されているもの同士は反対である。

【0039】

外側永久磁石配列111では、永久磁石112の磁極を軸方向に90度ずつ回転させながら配列しているので、配列の一方の側（本実施の形態では外側）の磁場が弱まり、その配列の他方の側（本実施の形態では内側、内側永久磁石配列115側）では、その分磁場が強くなって、外側永久磁石配列111の片側（本実施の形態では内側）に強い磁場を発生させることができる。また、内側永久磁石配列115では、永久磁石116の磁極を軸方向に90度ずつ回転させながら配列しているので、配列の一方の側（本実施の形態では内側）の磁場が弱まり、その配列の他方の側（本実施の形態では外側、外側永久磁石配列111側）では、その分磁場が強くなって、内側永久磁石配列115の片側（本実施の形態では外側）に強い磁場を発生させることができる。

10

【0040】

このように外側磁石配列111と内側永久磁石配列115とを構成しているので、外側永久磁石配列111と内側永久磁石配列115との間の空間の磁場は強くなり、その一方では、外側永久磁石配列111の外側と内側永久磁石配列115の内側には、磁場は殆ど漏れなくなる。そして、外側永久磁石列111と内側永久磁石列115との間の空隙中に半径方向の磁束が極めて多く分布するようになる。半径方向の磁束が極めて多く分布するこの空隙中に三相コイル131が配置されており、磁束の大部分が三相コイル131と直角に鎖交するので、駆動装置109から供給される電力を効率よく推力に変換できる。このように、三相コイル131が配置される領域の磁場が強くなるので、三相コイル131

20

【0041】

外側永久磁石配列111は、半径方向と厚み方向に着磁された断面が正方形のリング状永久磁石112を積み重ねて構成されている。また、内側永久磁石配列115は、半径方向と厚み方向に着磁された断面が正方形のリング状永久磁石116を積み重ねて構成されている。外側永久磁石配列111で構成される外側円筒界磁と、内側永久磁石配列115で構成される内側円筒界磁でデュアルハルバッハ界磁が構成されている。外側円筒界磁と内側円筒界磁、それぞれの円筒界磁の中心軸は重なっている。外側円筒界磁の内面と前記内側円筒界磁の外面との距離がハルバッハ界磁のギャップ長となっており、このギャップ長は、リング永久磁石112、116の着磁方向に平行な面内における正方形断面の面積の平方根（永久磁石112、116の正方形断面の1辺の長さに相当）の1.2倍に設定されている。本実施の形態では、個々の電機子コイル131は所定の厚さで永久磁石112、116の正方形断面の1辺の長さの略1.3倍（4/3倍）の幅の絶縁被膜銅帯をリング状に巻装して構成されている。このような構成では寸法精度と占積率が高く、界磁ギャップ長がほぼ導体で埋まるように構成しても当該界磁と電機子コイルが接触することはない。このため、上述の式（10）に基づいて電機子コイル131の磁束鎖交数を最大にでき、1Aあたりの軸推力が増大する。

30

【0042】

上述の実施の形態では、三相コイル131が、半径方向の磁束が極めて多く分布する空隙中に配置されるので磁束の大部分が三相コイル131と直角に鎖交し、より少ない電流で大きな推力が発生する。外側永久磁石配列111では、永久磁石112の磁極を軸方向に90度ずつ回転させながら配列して、外側永久磁石配列111の外側の磁場が弱まり、外側永久磁石配列111の内側では、その分磁場が強くなって、外側永久磁石配列111の内側に強い磁場を発生させ、また、内側永久磁石配列115では、永久磁石116の磁極を軸方向に90度ずつ回転させながら配列して、内側永久磁石配列115の内側の磁場が弱まり、内側永久磁石配列115の外側では、その分磁場が強くなって、内側永久磁石配列115の外側に強い磁場を発生させたが、磁極を軸方向に90度ずつ回転させなくても、例えば、45度ずつ回転させてもよく、軸方向に2の整数等分ずつ磁極の方向が変

40

50

化するように複数の第1の永久磁石を軸方向に配列して、第1の永久磁石の配列の内側の磁場が強めあい、外側の磁場が弱めあうようにし、軸方向に2の整数等分ずつ磁極の方向が第1の永久磁石の配列とは反対方向に変化するように複数の第2の永久磁石を軸方向に配列して、第1の永久磁石の配列の内側に配置し、第2の永久磁石の配列の外側の磁場が強めあい、内側の磁場が弱めあうように配置してもよい。

**【0043】**

(第2の実施の形態)

本発明の好適な第2の実施の形態は、三相同期発電機である。図10は、本発明の好ましい第2の実施の形態の三相同期発電機200を説明するための概略斜視図である。図11(A)は、着磁方向に平行な面内における断面図であり、図11(B)は、電機子コイルの配線を示す図である。

10

**【0044】**

本実施の形態の発電機200は、回転子250と固定子260とを備えている。回転子250にシャフト240を取り付け、シャフト240を回転させるようにすれば、発電機を構成することができる。回転子250は、永久磁石配列210、220を備えている。固定子260は、コイル配列230を備えている。永久磁石配列210、220はそれぞれリング状に構成され、コイル配列230もそれぞれリング状に構成されている。永久磁石配列210、220およびコイル配列230は同心円状に配置されている。永久磁石配列220は、永久磁石配列20の内側に設けられている。

20

**【0045】**

永久磁石配列210、220は、それぞれ永久磁石211、221の磁極を90°ずつ回転させながら配列したハルパッハ配列となっている。

**【0046】**

永久磁石配列210の永久磁石211の数と永久磁石配列220の永久磁石221の数は同じである、永久磁石配列210の永久磁石211のうち径方向に着磁した永久磁石211の磁極方向と、永久磁石配列220の永久磁石221のうち径方向に着磁した永久磁石221の磁極方向は、同じ半径上に配置されているもの同士は同じである。永久磁石配列210の永久磁石211のうち周方向に着磁した永久磁石211の磁極方向と、永久磁石配列220の永久磁石221のうち周方向に着磁した永久磁石221の磁極方向は、同じ半径上に配置されているもの同士は反対である。

30

**【0047】**

永久磁石配列210では、永久磁石211の磁極を周方向に略90°ずつ回転させながら配列しているので、配列の一方の側(本実施の形態では外側)の磁場が弱まり、その配列の他方の側(本実施の形態では内側)では、その分磁場が強くなって、永久磁石211の配列210の片側(本実施の形態では内側)に強い磁場を発生させることができる。また、永久磁石配列220では、永久磁石221の磁極を周方向に略90°ずつ回転させながら配列しているので、配列の一方の側(本実施の形態では内側)の磁場が弱まり、その配列の他方の側(本実施の形態では外側)では、その分磁場が強くなって、永久磁石221の配列220の片側(本実施例では外側)に強い磁場を発生させることができる。

40

**【0048】**

このように永久磁石配列210と永久磁石配列220とを構成しているので、永久磁石配列210と永久磁石配列220との間の空間の磁場は強くなり、その一方では、永久磁石配列210の外側と永久磁石配列220の内側には、磁場は殆ど漏れなくなる。そして、この永久磁石配列210と永久磁石配列220との間にコイル配列230を配置しているので、高い電圧を発生することができる。このように、コイル配列230が配置される領域の磁場が強くなるので、コイル配列230を構成するコイル231に鉄心を使用しなくても、高い電圧を発生することができるようになる。そして、鉄心を使用しないので、コギングをなくすかまたは小さくできる。なお、図11(B)に示すように、コイル配列230は複数のコイル231がU相-V相-W相の順に巻かれてY結線しており、3相交流を発生する。

50

## 【 0 0 4 9 】

本実施の形態では、回転軸 2 4 0 の周囲に永久磁石 2 1 1、2 2 1 をハルバッハ配列にして構成される内、外の 2 組の磁石列 2 0 1、2 2 0 でデュアルハルバッハ配列界磁が構成されている。個々の永久磁石 2 1 1、2 2 1 は半径方向断面（着磁方向に平行な面内における断面）でその面積が略等しく、外側磁石列 2 1 0 を構成する永久磁石 2 1 1 の内面と内側磁石列 2 2 0 を構成する永久磁石 2 2 1 の外面は互いに対向している。外側磁石列 2 1 0 を構成する永久磁石 2 1 1 および内側磁石列 2 2 0 を構成する永久磁石 2 2 1 の個々の半径方向断面がともに台形であり、それぞれ 6 4 個でデュアルハルバッハ配列界磁を構成している。電機子コイル 2 3 1 はデュアルハルバッハ配列界磁のギャップ中に配置されるが、外側磁石列 2 1 0 と内側磁石列 2 2 0 はともに 6 4 角形であり、隣り合う永久磁石 2 1 1、2 2 1 同士の間には接続角度が存在する。本実施の形態の三相同期発電機 2 0 0 では、電機子コイル 2 3 1 の半径方向断面は外形が長方形であり、その幅が回転軸中心から永久磁石 2 1 1、2 2 1 の 2 つを見込む角度である。また、電機子コイル 2 3 1 は絶縁被膜丸銅線を鍍付ボビンに巻装して構成されている。外側磁石列 2 1 0 を構成する永久磁石 2 1 1 の内面と内側磁石列 2 2 0 を構成する永久磁石 2 2 1 の外面との距離がハルバッハ界磁のギャップ長となっている。このギャップ長は、接続角、ボビンの鍍の厚さ、界磁永久磁石 2 1 1、2 2 1 とボビンの鍍との隙間を勘案し、永久磁石 2 1 1、2 2 1 の着磁方向に平行な面内における台形断面の面積の平方根（永久磁石 2 1 1、2 2 1 の正方形であると近似した場合の正方形の 1 辺の長さに相当）の 1.5 倍に設定されている。すなわち、対向する永久磁石 2 1 1、2 2 1 同士の対向面で囲まれる界磁ギャップの半径方向断面の台形面積を個々の永久磁石の半径方向断面の台形面積の 1.5 倍となるように界磁ギャップ長が設定されている。本実施の形態では界磁が 6 4 角形となるため、上述の接続角は略 1 7 4 ° となり、永久磁石 2 1 1、2 2 1 の半径方向断面の形状は略正方形とみなすことができる。したがって、式 ( 1 2 ) に基づき、本実施の形態における同期発電機において電機子コイルの磁束鎖交数を最大にでき、所定の定格回転数における発電電圧が増大する。

10

20

## 【 0 0 5 0 】

上述の実施の形態では、発電機 2 0 0 の永久磁石配列 2 1 0 では、永久磁石 2 1 1 の磁極を周方向に略 9 0 ° ずつ回転させながら配列して、配列の外側の磁場が弱まり、その配列の内側では、その分磁場が強くなって、永久磁石 2 1 1 の配列 2 1 0 の内側に強い磁場を発生させ、また、永久磁石配列 2 2 0 では、永久磁石 2 2 1 の磁極を周方向に略 9 0 ° ずつ回転させながら配列して、配列の内側の磁場が弱まり、その配列の外側では、その分磁場が強くなって、永久磁石 2 2 1 の配列 2 2 0 の外側に強い磁場を発生させたが、磁極を周方向に略 9 0 ° ずつ回転させなくても、例えば、略 4 5 ° ずつ回転させてもよく、周方向に 2 の整数等分ずつ磁極の方向が変化するように複数の第 1 の永久磁石を周方向に配列して、第 1 の永久磁石の配列の内側の磁場が強めあい、外側の磁場が弱めあうようにし、周方向に 2 の整数等分ずつ磁極の方向が第 1 の永久磁石とは反対方向に変化するように複数の第 2 の永久磁石を周方向に配列して、第 1 の永久磁石の配列の内側に配置し、第 2 の永久磁石の配列の外側の磁場が強めあい、内側の磁場が弱めあうように配置してもよい。

30

40

## 【 0 0 5 1 】

以上説明したように、デュアルハルバッハ配列界磁のギャップ長を、着磁方向に平行な面内における永久磁石の断面の面積の平方根の 1.2 ~ 1.5 倍、永久磁石が正方形の場合には、正方形の一辺の長さの 1.2 ~ 1.5 倍、永久磁石が略正方形であり、正方形であると近似できる場合には、近似した正方形の一辺の長さの 1.2 ~ 1.5 倍に設定することにより、電機子コイルにおいて大きな鎖交磁束数を得ることができる。その結果、発電機の場合、最小の磁石量で最大の電圧を発生する。また、モータでは最小の磁石量で最大のトルクが発生する。また、デュアルハルバッハ配列界磁の永久磁石量を最小化できるので装置の低コスト化および省資源化に貢献できる。

## 【 0 0 5 2 】

50

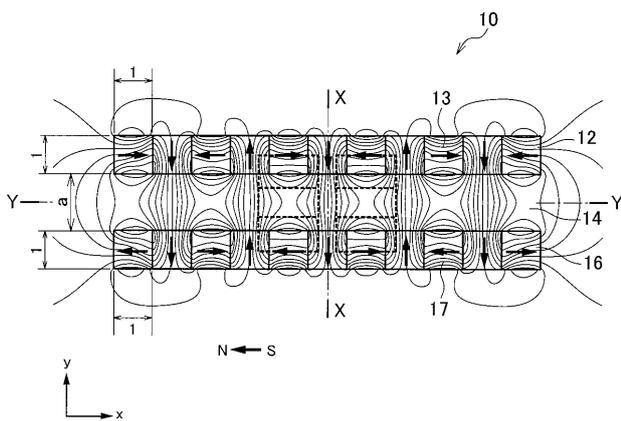
以上、本発明の種々の典型的な実施の形態を説明してきたが、本発明はそれらの実施の形態に限定されない。従って、本発明の範囲は、次の特許請求の範囲によってのみ限定されるものである。

【符号の説明】

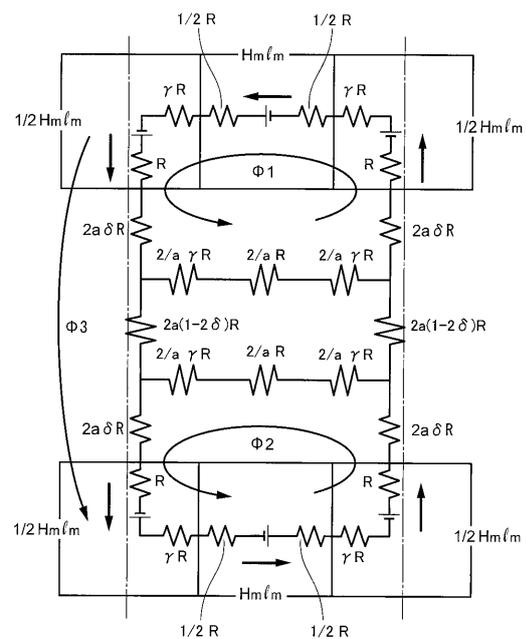
【 0 0 5 3 】

- 1 1 2 永久磁石
- 1 1 1 永久磁石配列
- 1 1 6 永久磁石
- 1 1 5 永久磁石配列
- 1 3 1 電機子コイル

【 図 1 】

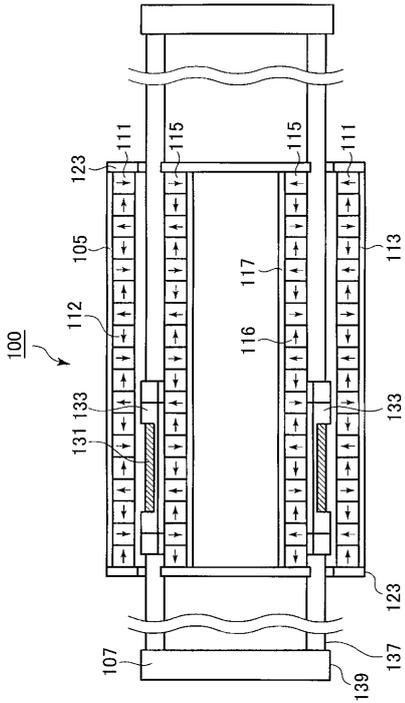


【 図 2 】

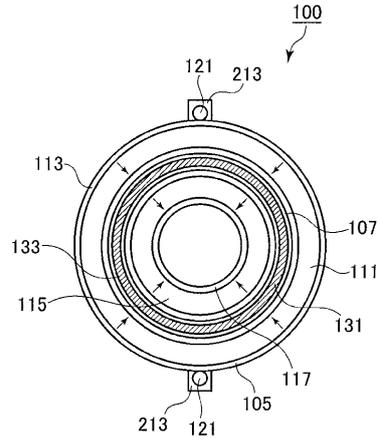




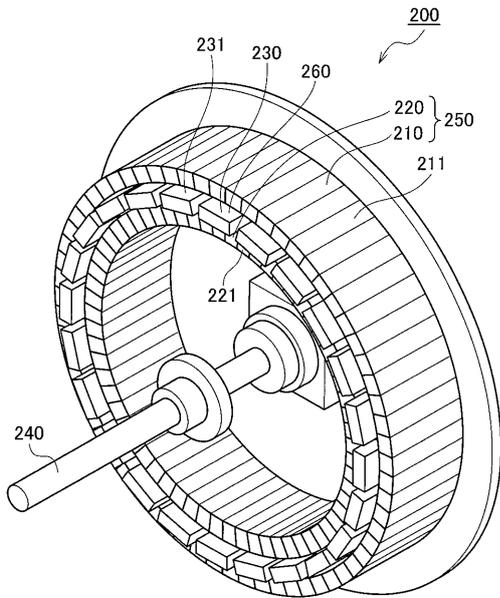
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】

