

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4600860号
(P4600860)

(45) 発行日 平成22年12月22日 (2010.12.22)

(24) 登録日 平成22年10月8日 (2010.10.8)

(51) Int. Cl.		F I	
HO2K	29/00 (2006.01)	HO2K	29/00 Z
HO2K	1/06 (2006.01)	HO2K	1/06 Z
HO2K	1/14 (2006.01)	HO2K	1/14 Z
HO2K	21/14 (2006.01)	HO2K	21/14 M
HO2K	1/16 (2006.01)	HO2K	1/16 B

請求項の数 2 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2001-148708 (P2001-148708)	(73) 特許権者	000006622 株式会社安川電機
(22) 出願日	平成13年5月18日 (2001.5.18)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(65) 公開番号	特開2002-345224 (P2002-345224A)	(72) 発明者	鹿山 透
(43) 公開日	平成14年11月29日 (2002.11.29)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
審査請求日	平成20年4月11日 (2008.4.11)		株式会社 安川電機内
		(72) 発明者	官本 恭祐
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
			株式会社 安川電機内
		審査官	大山 広人
		(56) 参考文献	特開2000-278931 (JP, A)
			特開平10-234144 (JP, A)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 永久磁石形同期電動機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電機子コアのスロットに電機子巻線を巻装して構成された固定子と、極数 $P a$ ($P a$ は偶数) の磁極を有する回転子から成る3相の永久磁石形同期電動機において、前記固定子は、前記電機子コアを周方向に 120° 間隔に分割すると共にスロット数 S から成る電機子ユニットを3個配置して構成してあり、前記電機子ユニットの毎極毎相のスロット数 q を、

$q = 1/2、1/4、2/5、2/7、3/8、3/10$ のいずれかに設定し、かつ、スロット数 S 、毎極毎相のスロット数 q 、極数 $P a$ の関係を

$$S / q = 2 n \quad \text{および} \quad P a = (S / q) + 2 \quad (\text{但し、} n \text{ は自然数})$$

の式で表したことを特徴とする永久磁石形同期電動機。

【請求項2】

電機子コアのスロットに電機子巻線を巻装して構成された固定子と、極数 $P a$ ($P a$ は偶数) の磁極を有する回転子から成る3相の永久磁石形同期電動機において、前記固定子は、前記電機子コアを周方向に 120° 間隔に分割すると共にスロット数 S から成る電機子ユニットを3個配置して構成してあり、前記電機子ユニットの毎極毎相のスロット数 q を、

$$q = 2/5、2/7$$

のいずれかに設定し、かつ、スロット数 S 、毎極毎相のスロット数 q 、極数 $P a$ の関係を

、
 $S / q = 2n + 1$ および $Pa = (S / q) + 1$ (但し、 n は自然数)

の式で表したことを特徴とする永久磁石形同期電動機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、コギングトルク、速度リップルの小さいことが要求されるダイレクトドライブモータとして好適な、コギングトルク低減を講じた永久磁石形同期電動機に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、コギングトルク、速度リップルの小さいことが要求されるダイレクトドライブモータとして好適な、コギングトルク低減を講じた永久磁石形同期電動機は、図11、図12のようになっている(例えば、特表平10-511837号公報、特開平06-070524号公報)。

図11は、第1の従来技術を示す永久磁石形同期電動機の正面図である。

この永久磁石形同期電動機は、毎極毎相のスロット数 $q = 1/2$ 、スロット数 $S = 30$ 、極数 $Pa = 20$ で構成されたものである。

固定子21は、電機子コア22、電機子コア22に形成されたスロット23に巻装された電機子巻線24、電機子コア22の外周を覆うフレーム25によって構成されている。

電機子コア22は、そこに発生するヒステリシス損、渦電流損を低減する目的で、主に薄板の珪素鋼板を積層して円筒状に構成される。スロット23の形状は、予め高密度に巻装した電機子巻線4を挿入できるように、その開口部が開いた凹状に形成されている。回転子10は、 $Pa = 20$ の磁極を構成する20個の永久磁石11、永久磁石11の磁束を通すためのヨーク12、ヨーク12の内周に設けた負荷(図示せず)と連結されるシャフト13から構成されている。20個の永久磁石11は $Pa = 20$ の磁極を作るために、回転子10表面の磁極がN、S、N、S...となるように、つまり隣と異極になるように配置されている。また、スロットピッチ e (電気角)と m (機械角)は、次のような関係式から求められる。

$$\begin{aligned} \tau_e &= 180^\circ / q / 3 \\ &= 180^\circ / (1/2) / 3 = 120^\circ \\ \tau_m &= \tau_e \times 2 / Pa \\ &= 120^\circ \times 2 / 20 = 12^\circ \end{aligned}$$

このように構成された永久磁石形同期電動機は、スロット33内の導体の占積率が非常に高いため、小さな電流で大きなトルクを得ることができるものである。しかし、一般にはスロット開口部の大きいものは、パーミアンス変化が大きいため、コギングトルクが大きくなることで知られている。そこで、スロット23の幅を特表平10-511837号に開示される適当な幅で設定することにより、コギングトルクを低減する方策が採られている。よって、従来技術でもダイレクトドライブに必要な滑らかな回転が可能となっている。

また、図12は第2の従来技術を示す永久磁石形同期電動機の正面図である。

この永久磁石形同期電動機が、毎極毎相のスロット数 $q = 1/2$ 、スロット数 $S = 30$ 、極数 $Pa = 20$ で構成される点は、第1の従来技術と同じである。第1の従来技術と異なる点は、電機子コアを、周方向に複数分割してなる電機子コア26に替えた点である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところが、従来技術では、次のような問題があった。

第1の従来技術における永久磁石形電動機の問題は、電機子コア22の歩留まりが非常に悪いことであった。つまり、多極のダイレクトドライブモータとして構成した場合、一般

10

20

30

40

50

に回転子10の外径(電機子コア22の内径)が大きいため、中空状の電機子コア22内側の珪素鋼板が大量に無駄になってしまった。

この問題を解決するものとして第2の従来技術を示したが、分割された電機子コア26間における周方向のクリアランスのばらつきにより、特表平10-511837号に開示される最適なスロット3の幅に設定したとしても、大きなコギングトルクが発生した。回転子10の回転角とコギングトルクとの関係を図13に示す。この原因によって起こるコギングトルクは、極数Paに依存し、回転子1回転あたり20周期(1周期を機械角18°、電気角180°)である。クリアランスのばらつきを抑えるため、電機子コア2の寸法精度を向上させたり組み立て精度を向上すると、かえって大きなコスト高を招いた。

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、電機子コアの歩留まりを向上させると共に、コギングトルクを低減することができる永久磁石形同期電動機を提供することを目的とする。

【0004】

【課題を解決するための手段】

上記問題を解決するため、請求項1の本発明は、電機子コアのスロットに電機子巻線を巻装して構成された固定子と、極数Pa(Paは偶数)の磁極を有する回転子から成る3相の永久磁石形同期電動機において、前記固定子は、前記電機子コアを周方向に120°間隔に分割すると共にスロット数Sから成る電機子ユニットを3個配置して構成してあり、前記電機子ユニットの毎極毎相のスロット数qを、 $q = 1/2$ 、 $1/4$ 、 $2/5$ 、 $2/7$ 、 $3/8$ 、 $3/10$ のいずれかに設定し、かつ、スロット数S、毎極毎相のスロット数q、極数Paの関係を、 $S/q = 2n$ および $Pa = (S/q) + 2$ (但し、nは自然数)の式に設定したものである。

請求項2の本発明は、電機子コアのスロットに電機子巻線を巻装して構成された固定子と、極数Pa(Paは偶数)の磁極を有する回転子から成る3相の永久磁石形同期電動機において、前記固定子は、前記電機子コアを周方向に120°間隔に分割すると共にスロット数Sから成る電機子ユニットを3個配置して構成してあり、前記電機子ユニットの毎極毎相のスロット数qを、 $q = 2/5$ 、 $2/7$ のいずれかに設定し、かつ、スロット数S、毎極毎相のスロット数q、極数Paの関係を、 $S/q = 2n + 1$ および $Pa = (S/q) + 1$ (但し、nは自然数)の式で表したものである。

上記手段により、電機子コア2を構成する珪素鋼板の歩留まりを大幅に向上することができる。しかもこの構造では、120度位相をずらすことが可能となるので、120度位相の3つの電機子コア2両端で発生するコギングトルクが相殺でき、全体で発生するコギングトルクを無くすることができる。

【0005】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施例を図に基づいて説明する。

図1は、本発明の第1の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図である。なお、回転子10の構成については、従来技術と基本的に同じなので説明を省略し、本発明の構成要素が従来技術と異なる点のみ説明する。

図において、1は固定子、2は電機子コア、3はスロット、4は電機子巻線、5はフレーム、6、7、9は電機子ユニットである。

すなわち、固定子1は、従来の円筒状に積層された電機子コアを、周方向に機械角 $m = 120^\circ$ 間隔に分割すると共にスロット数Sから成る電機子ユニット6、7、8を3個配置して構成してあり、各電機子ユニット6、7、8をフレーム5の内面に沿って固定している。

さらに具体的には、この電機子ユニット6、7、8は、それぞれ毎極毎相のスロット数 $q = 1/2$ となるように、電機子コア2にスロット数 $S = 9$ のスロット3が施されている。そして、このように構成された電機子ユニットにおいて、スロット数S、毎極毎相のスロット数q、極数Paの関係は、

$$S/q = 9 / (1/2) = 18、$$

10

20

30

40

50

$P a = (S / q) + 2 = (9 / (1 / 2)) + 2 = 20$ 、
に設定されている。ここで、電機子ユニット6、7、8の周方向ずれ角 e (電気角)は、

$$e = P a \times 180^\circ \times (120^\circ / 360^\circ) = 1200^\circ = 120^\circ$$

となる。つまり、3つの電機子ユニット6、7、8は機械的にも電気的にも 120° ずれている。3つの電機子ユニット6、7、8が互いに電気角 120° ずれているため、各電機子ユニット6、7、8の電機子巻線4も 120° ずらして巻装されている。つまり、第1の電機子ユニット6に巻装された電機子巻線4を構成するコイルがU、V、W相の順に並んでいるとすれば、第2、第3の電機子ユニット7、8に巻装される電機子巻線4のコイルはV、W、U相の順、W、U、V相の順に並べられている。

10

【0006】

また、スロットピッチ e (電気角)と m (機械角)、電機子ユニット6、7、8間の隙間 e (電気角)と m (機械角)は次のような関係式から求められる。

$$\begin{aligned} \tau e &= 180^\circ / q / 3 \\ &= 180^\circ / (1 / 2) / 3 = 120^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau m &= \tau e \times 2 / P a \\ &= 120^\circ \times 2 / 20 = 12^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta e &= (P a \times 180^\circ - 3 \times S \times \tau e) / 3 \\ &= (20 \times 180^\circ - 3 \times 9 \times 120^\circ) = 120^\circ \end{aligned}$$

20

$$\begin{aligned} \delta m &= \delta e \times 2 / P a \\ &= 120^\circ \times 2 / 20 = 12^\circ \end{aligned}$$

【0007】

このように構成された永久磁石形同期電動機における回転子の回転角とコギングトルクとの関係を図2示す。

第1の電機子ユニット6と回転子10によって引き起こるコギングトルク T_1 は、回転子1回転あたり20周期(1周期を機械角 18° 、電気角 180°)とする振幅の大きなものである。この発生原因は、電機子ユニット6両端の大きなパーミアンス変化によるものである。しかし、第2、第3の電機子ユニット7、8と電気的に 120° ずれているので、各々に発生するコギングトルク T_2 、 T_3 も 120° ずれていることになる。その結果、全体で発生するコギングトルク T は相殺され、ほとんどゼロになる。

30

また、電機子コア2の形状は、電機子コア2内側の珪素鋼板を大量に無駄にしていた従来の中空状と違い、円弧状で構成されるため、この円弧状の型によって同一方向に珪素鋼板をプレスしていくことにより、従来無駄にしていた中空部分の珪素鋼板を無くすることができるため、電機子コア2を構成する珪素鋼板の歩留まりを大幅に向上することができる。

【0008】

次に、第2の実施例～第6の実施例について説明する。

40

表1は、第2の実施例～第6の実施例における電機子ユニットの仕様を比較したものである。

【0009】

【表1】

実施例		第1	第2	第3	第4	第5	第6
図番		図1	図3	図4	図5	図6	図7
電機子ユニットの 每極毎相のスロット数	q	1/2	1/4	2/5	2/7	3/8	3/10
電機子ユニットの スロット数	S	9	6	12	12	9	9
極数	P a	20	26	32	44	26	32
電機子ユニットの ずれ電気角	βe	120° (1200°)	120° (1560°)	120° (1920°)	120° (2640°)	120° (1560°)	120° (1920°)
スロットピッチ電気角	τe	120°	240°	150°	210°	160°	200°
スロットピッチ機械角	τm	12°	18.462°	9.375°	9.545°	12.308°	12.5°
電機子ユニット間の 隙間電気角	δe	120°	120°	120°	120°	120°	120°
電機子ユニット間の 隙間機械角	δm	12°	9.231°	7.5°	5.455°	9.231°	7.5°

10

20

【0010】

図3は本発明の第2の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図、図4は第3の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図、図5は第4の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図、図6は第5の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図、図7は第6の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図である。

各々の実施例において、電機子コア2のスロット3に電機子巻線4を巻装してなる電機子ユニットが周方向に3個配置される構成、スロット3の形状、電機子巻線4の巻装方法などは第1の実施例と基本的に同じである。

30

また、表1に示すように、各々の実施例における極数 P a、電機子ユニットのずれ角（電気角） e、スロットピッチ e（電気角）と m（機械角）、電機子ユニット間の隙間 e（電気角）と m（機械角）は第1の実施例と同様に下式によって設定されているが、各実施例でその計算値となる仕様は異なる。

$$P a = (S / q) + 2$$

$$e = P a \times 180^\circ \times (120^\circ / 360^\circ)$$

$$e = 180^\circ / q / 3$$

$$m = e \times 2 / P a$$

$$e = (P a \times 180^\circ - 3 \times S \times e) / 3$$

$$m = e \times 2 / P a$$

40

このように3つの電機子ユニット6、7、8は、すべての実施例で機械的にも電気的にも120°ずれている。

したがって、第2の実施例～第6の実施例は、第1の実施例と同様、各電機子ユニット6、7、8によって発生するコギングトルクは相殺され、全体で発生するコギングトルクをほぼゼロにすることができる。また、電機子コア2の形状も、第1の実施例同様、円弧状となっている。この円弧状の型によって同一方向に珪素鋼板をプレスしていくことにより、従来無駄にしていた中空部分の珪素鋼板を無くすることができるため、電機子コア2を構成する珪素鋼板の歩留まりを大幅に向上することができる。

50

【 0 0 1 1 】

次に、第 7 の実施例 ~ 第 8 の実施例について説明する。

表 2 は、第 7 の実施例 ~ 第 8 の実施例における電機子ユニットの仕様を比較したものである。

【 0 0 1 2 】

【表 2】

実施例		第 7	第 8
図番		図 8	図 1 0
電機子ユニットの 每極毎相のスロット数	q	2 / 5	2 / 7
電機子ユニットの スロット数	S	6	6
極数	P a	1 6	2 2
電機子ユニットのずれ電気角	βe	240° (960°)	240° (1320°)
スロットピッチ電気角	τe	150°	210°
スロットピッチ機械角	τm	18.75°	19.091°
電機子ユニット間の隙間電気角	δe	60°	60°
電機子ユニット間の隙間機械角	δm	7.5°	5.455°

10

20

30

【 0 0 1 3 】

図 8 は第 7 の実施例における永久磁石形同期電動機の正面図である。

回転子 1 0 は、従来技術と同様にして構成されるので、説明を省略する。固定子 1 は、3 つの電機子ユニット 6、7、8 とそれらを覆うフレーム 5 から構成されている。3 つの電機子ユニット 6、7、8 はフレーム 5 内面に沿って周方向機械角 $m = 120^\circ$ 間隔に配置されている。1 個の電機子ユニットは、スロット数 $S = 6$ 、每極毎相のスロット数 $q = 2 / 5$ となるように、電機子コア 2 にスロット 3 が施され、スロット 3 には電機子巻線 4 が巻装されている。

40

このように構成された固定子 1 において、

$$S / q = 6 / (2 / 5) = 15 \quad (2n + 1 = 15 \text{ であるため } n = 7 \text{ に設定})$$

$$P a = (S / q) + 1 = (6 / (2 / 5)) + 1 = 16$$

に設定されている。ここで、電機子ユニットのずれ角 e (電気角) は、

$$e = P a \times 180^\circ \times (120^\circ / 360^\circ) = 960^\circ = 240^\circ$$

となる。つまり、3 つの電機子ユニット 6、7、8 は機械的には 120° 、電気的には 240° ずれていることになる。3 つの電機子ユニット 6、7、8 が互いに電気角 240° ずれていることから、各電機子ユニット 6、7、8 の電機子巻線 4 も 240° ずらして巻装されている。つまり、第 1 の電機子ユニット 6 に巻装される電機子巻線 4 のコイルが U、V、W 相の順に並べられているとすれば、第 7 の実施例では、第 2、第 3 の電機子ユニ

50

ット7、8に巻装される電機子巻線4のコイルはW、U、V相の順、V、W、U相の順に並べられている。

また、スロットピッチ e (電気角)と m (機械角)、電機子ユニットの隙間 e (電気角)と m (機械角)は次のような関係式から求められる。

$$\begin{aligned}\tau e &= 180^\circ / q / 3 \\ &= 180^\circ / (2 / 5) / 3 = 150^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau m &= \tau e \times 2 / P a \\ &= 150^\circ \times 2 / 16 = 18.75^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta e &= (P a \times 180^\circ - 3 \times S \times \tau e) / 3 \\ &= (16 \times 180^\circ - 3 \times 6 \times 150^\circ) = 60^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta m &= \delta e \times 2 / P a \\ &= 60^\circ \times 2 / 16 = 7.5^\circ\end{aligned}$$

このように構成された永久磁石形同期電動機における回転子1の回転角とコギングトルクとの関係を図9に示す。第1の電機子ユニット6と回転子1によって引き起こるコギングトルク T_1 は、回転子1回転あたり16周期(1周期を機械角 22.5° 、電気角 180°)とする振幅の大きなものである。この発生原因は、第1の実施例同様、電機子ユニット両端の大きなパーミアンス変化によるものである。しかし、第2、第3の電機子ユニット7、8と電氣的に 240° ずれているので、各々に発生するコギングトルク T_2 、 T_3 も 240° ずれていることになる。その結果、全体で発生するコギングトルク T は相殺され、ほとんどゼロになるのである。

また、電機子コア2の形状は、電機子コア2内側の珪素鋼板を大量に無駄にしていた中空の従来形状と違い、第1~6の実施例同様円弧状となっている。この円弧状の型によって同一方向に珪素鋼板をプレスしていくことにより、従来無駄にしていた中空部分の珪素鋼板を無くすることができるため、電機子コア2を構成する珪素鋼板の歩留まりを大幅に向上することができる。

【0014】

図10は第8の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面面である。

第8の実施例において、3つの電機子ユニット6、7、8が機械的には 120° 電氣的には 240° ずれている点は第7の実施例と同様であり、1個の電機子ユニットがスロット数 $S = 6$ 、毎極毎相のスロット数 $q = 2 / 7$ で構成されているものである。第7の実施例と合わせて、各部の角度を表2に示す。第8の実施例も第7の実施例同様の効果を得ることができる。

【0015】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明の各々の実施例における永久磁石形同期電動機は、従来技術の電機子コアを 120° 間隔に分割してなる電機子ユニットを3個配置し、電機子ユニットの毎極毎相のスロット数 q を、 $q = 1 / 2$ 、 $1 / 4$ 、 $2 / 5$ 、 $2 / 7$ 、 $3 / 8$ 、 $3 / 10$ のいずれかに設定し、かつ、スロット数 S 、毎極毎相のスロット数 q 、極数 $P a$ の関係を、 $S / q = 2 n$ および $P a = (S / q) + 2$ 、あるいは、電機子ユニットの毎極毎相のスロット数 q を、 $q = 2 / 5$ 、 $2 / 7$ のいずれかに設定し、かつ、スロット数 S 、毎極毎相のスロット数 q 、極数 $P a$ の関係を、 $S / q = 2 n + 1$ および $P a = (S / q) + 1$ (但し、 n は自然数)とした構成にしたため、コギングトルクを相殺し、全体のコギングトルクをほぼゼロにすることができる。

また、本発明の電機子ユニットは、電機子コア内側の珪素鋼板を大量に無駄にしていた従来技術とは異なり、円弧状に形成された型によって同一方向に珪素鋼板をプレスしていくことにより、電機子コア2を構成する珪素鋼板の歩留まりを大幅に向上することができる

10

20

30

40

50

。つまり、電機子コアの歩留まりを向上させつつ、コギングトルクを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 2】本発明の第 1 の実施例におけるコギングトルク波形を示す図

【図 3】本発明の第 2 の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 4】本発明の第 3 の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 5】本発明の第 4 の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 6】本発明の第 5 の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 7】本発明の第 6 の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 8】本発明の第 7 の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 9】本発明の第 7 の実施例におけるコギングトルク波形を示す図

【図 10】本発明の第 8 の実施例を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 11】第 1 の従来技術を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 12】第 2 の従来技術を示す永久磁石形同期電動機の正面図

【図 13】第 2 の従来技術におけるコギングトルク波形を示す図

【符号の説明】

1 固定子

2 電機子コア

3 スロット

4 電機子巻線

5 フレーム

6、7、8 電機子ユニット

10 回転子

11 永久磁石

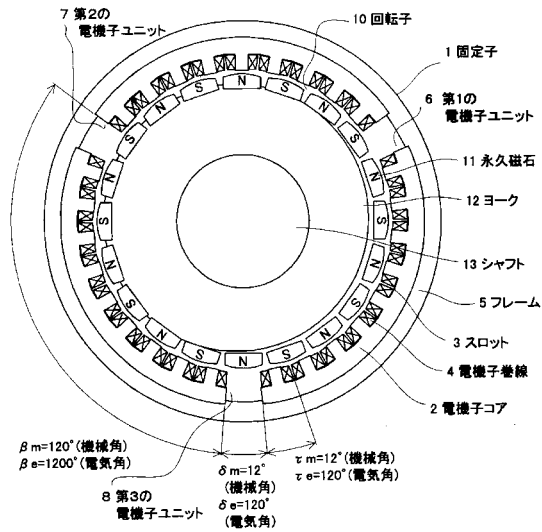
12 ヨーク

13 シャフト

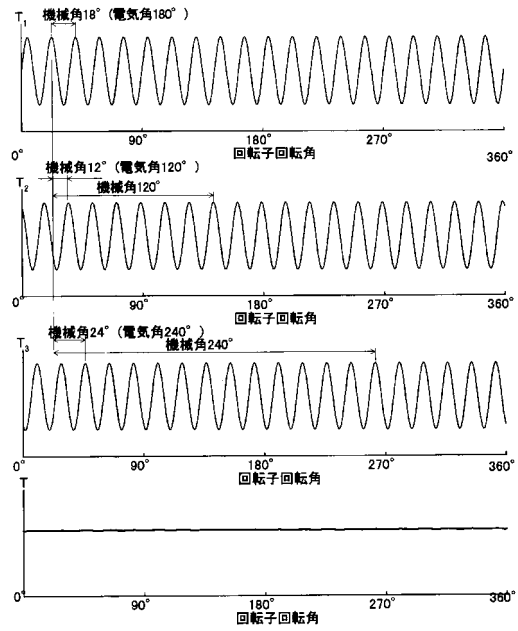
10

20

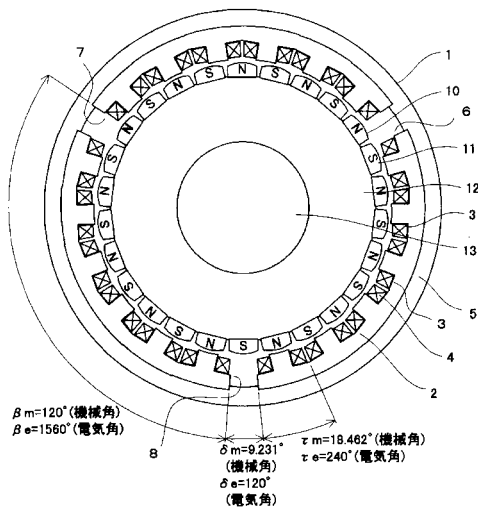
【図1】



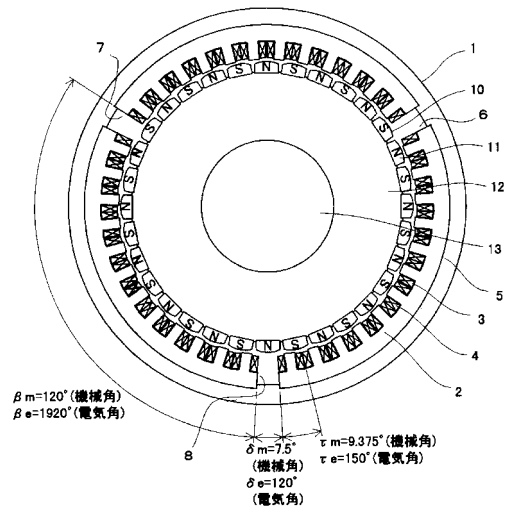
【図2】



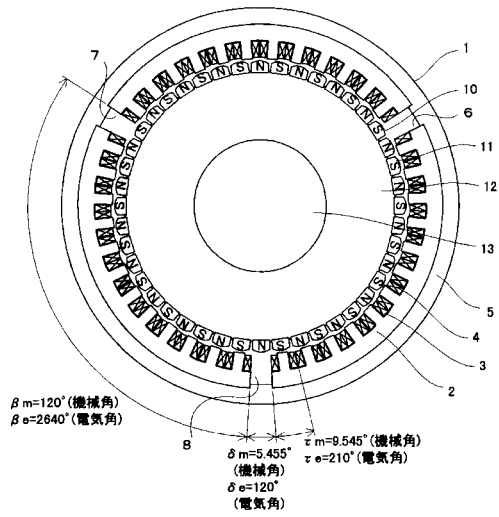
【図3】



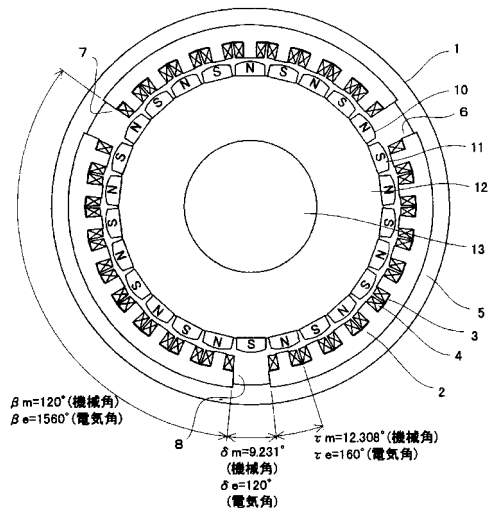
【図4】



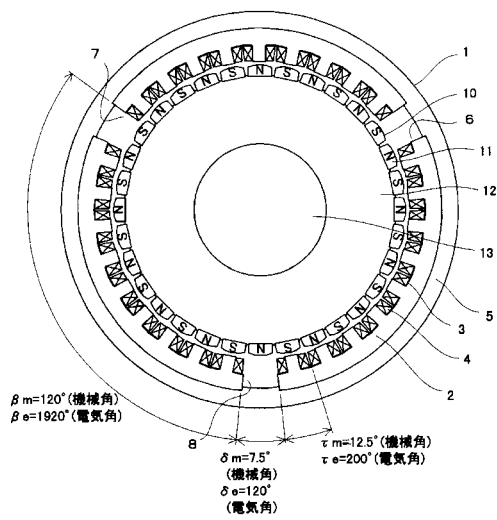
【 図 5 】



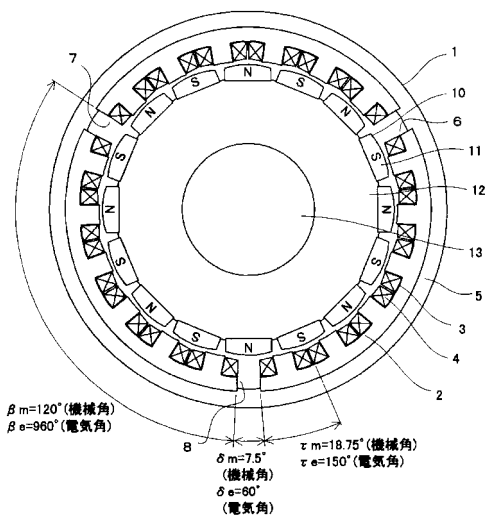
【 図 6 】



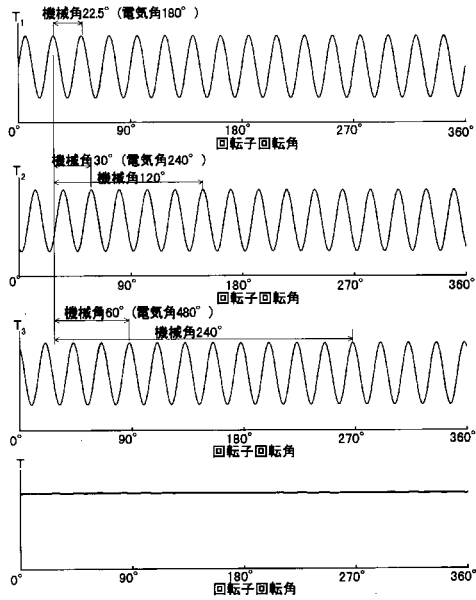
【 図 7 】



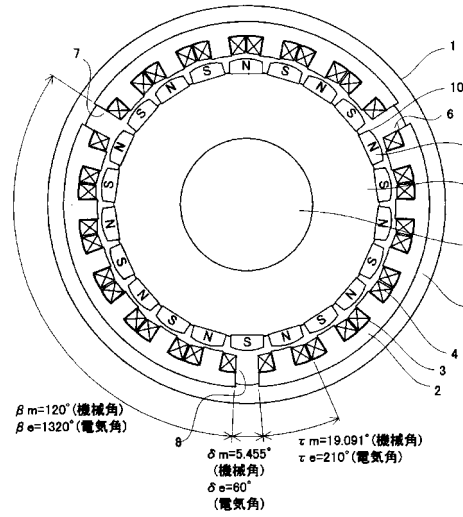
【 図 8 】



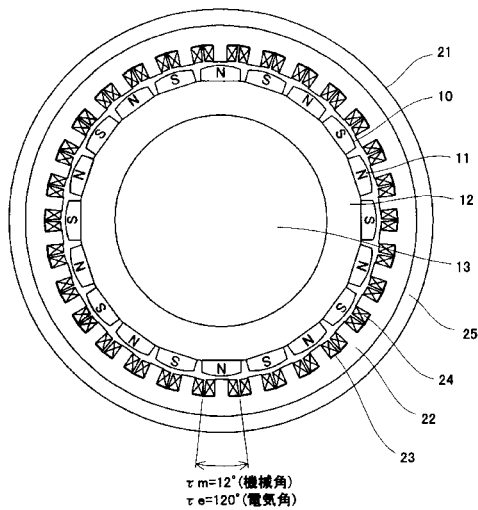
【図 9】



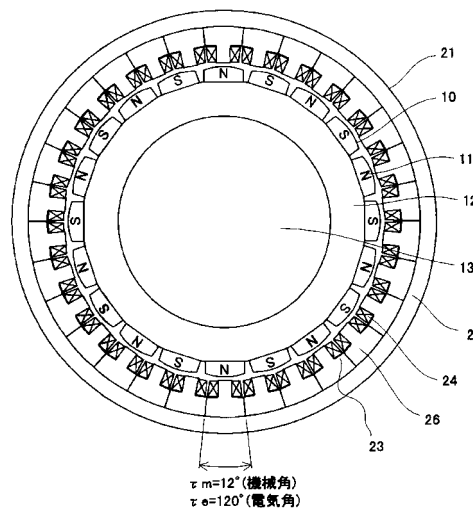
【図 10】



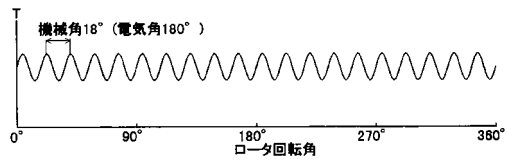
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

H02K 29/00

H02K 1/06

H02K 1/14

H02K 21/14

H02K 1/16