

(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
2017年5月4日(04.05.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/073092 A1

- (51) 国際特許分類:
H02K 3/28 (2006.01) H02K 21/16 (2006.01)
H02K 3/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/055896
- (22) 国際出願日: 2016年2月26日(26.02.2016)
- (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 2015-211874 2015年10月28日(28.10.2015) JP
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 岡崎 広大(OKAZAKI, Kodai); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 中野 正嗣(NAKANO, Masatsugu); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 伊藤 一将(ITO, Kazumasa); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 廣谷 迪(HIROTANI, Yu); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 池田 紘子(IKEDA,

Hiroko); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 川村 浩司(KAWAMURA, Koji); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 曾我 道治, 外(SOGA, Michiharu et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号 国際ビルディング 8階 曾我特許事務所 Tokyo (JP).

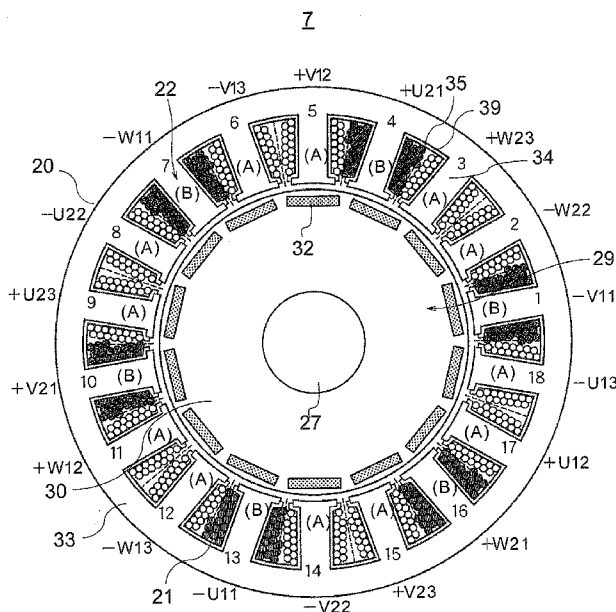
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) Title: ROTARY ELECTRIC MACHINE

(54) 発明の名称: 回転電機



(57) Abstract: The present invention attains a rotary electric machine capable of suppressing increase in locally generated heat when the number of turns or wire diameter of a conductive wire of a part of coil parts is changed. In an armature winding of this rotary electric machine, when: the largest one of electrical angle phase differences between two coil parts, among a serially-connected coil part group, is θ_m ; the electrical angle phase difference in one of the coil parts between which the electrical angle phase difference is the largest is $\theta_1=0^\circ$; and the electrical angle phase differences in the other coil parts with respect to the coil part having θ_1 are $\theta_2, \dots, \theta_m$, in ascending order, the number of turns of the conductive wire of a coil part having an electrical angle phase difference θ_k , which satisfies $\theta_1 < \theta_k < \theta_m$ ($k=2, 3, \dots, m-1$), differs from the number of turns of the conductive wire of the coil part having θ_1 or θ_m , and further differs from the number of turns of the conductive wire of each of the coil parts adjacent to both sides, in the circumferential direction, of the coil part having θ_k . In addition, the phase of the coil part having θ_k differs from the phase of each of the coil parts adjacent to both sides, in the circumferential direction, of the coil part having θ_k .

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/073092 A1



ロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

この発明は、一部のコイル部の導線のターン数または線径を変えた場合に、局所的な発熱の増大を抑制できる回転電機を得る。この回転電機の電機子巻線では、直列コイル部群の内、二つのコイル部間の電気角位相差が最も大きいものを θ_m とおき、電気角位相差が最も大きいコイル部の内の一方の電気角位相差を $\theta_1 = 0^\circ$ とし、 θ_1 のコイル部に対する残りのコイル部の電気角各位相差をそれぞれ小さいものから順に、 $\theta_2, \dots, \theta_m$ とした場合に、 $\theta_1 < \theta_k < \theta_m$ ($k = 2, 3, \dots, m-1$) を満たす θ_k の電気角位相差を有するコイル部の導線のターン数は、 θ_1, θ_m のコイル部の導線のターン数と異なり、かつ θ_k のコイル部の固定子鉄心の周方向の両側に隣接するコイル部の導線のターン数とも異なり、また θ_k のコイル部の相は、 θ_k のコイル部の周方向の両側に隣接するそれぞれのコイル部の相と異なる。

明 細 書

発明の名称： 回転電機

技術分野

[0001] この発明は、回転電機の構造に関するものであり、例えば車両用の電動パワーステアリング装置等に用いられる回転電機に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、固定子鉄心に形成された複数のスロットに納められ複数のティースに導線を集中して巻回されたコイル部からなる電機子巻線に3相の電流をインバータから供給する電動機において、隣接するティースのコイル部の導線のターン数を異ならせることで、スロットに対するコイル部の占積率を向上させる電動機が知られている（例えば、特許文献1、特許文献2参照）。

[0003] また、上記特許文献1、上記特許文献2では、回転子の界磁極の数を $12n \pm 2n$ (n は自然数)個、スロット数を $12n$ 個とすることを特徴とする回転電機、ならびに回転子の界磁極の数を $18n \pm 2n$ (n は自然数)個、スロット数を $18n$ 個とすることを特徴とする電動機が開示されており、電動機の低振動、低騒音化を図っている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2014-68497号公報

特許文献2：特開2009-213257号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1、特許文献2に記載されているように、回転子の界磁極の数を $12n \pm 2n$ (n は自然数)個、スロット数を $12n$ 個とすることを特徴とする電動機、並びに電動機の界磁極の数を $18n \pm 2n$ (n は自然数)個、スロット数を $18n$ 個とすることを特徴とする電動機においては、少なくとも一つの同相のコイル部が周方向において隣接する構造となる。

その結果、導線のターン数が大きいコイル部、すなわち多巻コイル部と隣接するコイル部が同相となり、局所的に発熱が集中する。

例えば、車両用の電動パワーステアリング装置に用いられる電動機においては、一般的にバッテリー電圧が12V程度と小さく、出力を高めるために電流を増加させる必要があるため、ターン数が少なく、径が大きい導線を用いてコイル部を形成する。

このとき、電動パワーステアリングのハンドル操作時にハンドル位置が一定位置に保持され、3相の電流が変動せず固定された場合などに、同相のコイル部が隣接する同相のコイル部との間で局所的な発熱が増大するという課題があった。

[0006] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、一部のコイル部の導線のターン数または線径を変えた場合に、局所的な発熱の増大を抑制できる回転電機を得ることを目的としている。

課題を解決するための手段

[0007] この発明に係る回転電機は、円環状のコアバックから周方向に間隔を空けて径内側方向に延びた複数のティースにより複数のスロットが形成された固定子鉄心、この固定子鉄心の前記ティースに巻装された複数のコイル部を有する電機子巻線を含む固定子と、

この固定子の内側に磁気的空隙部を介して設けられ回転軸を中心に回転する回転子と、を備え、

前記電機子巻線では、前記コイル部のうち同相のコイル部の数が n 個 ($n \geq 3$) であって、 m 個 ($m \leq n$) の直列接続された同相の前記コイル部からなる直列コイル部群の内、二つの前記コイル部間の電気角位相差が最も大きいものを θ_m とおき、電気角位相差が最も大きい前記コイル部の内の一方の電気角位相差を $\theta_1 = 0^\circ$ とし、電気角位相差が前記 θ_1 の前記コイル部に対する残りの前記コイル部の電気角各位相差をそれぞれ小さいものから順に、 $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_m$ とした場合において、

$\theta_1 < \theta_k < \theta_m$ ($k = 2, 3, \dots, m-1$) を満たす θ_k の電気角位相差

を有する前記コイル部の導線のターン数は、電気角位相差が θ_1 , θ_m の前記コイル部の導線のターン数と異なり、かつ電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の前記固定子鉄心の周方向の両側に隣接する前記コイル部の導線のターン数とも異なり、さらに、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の相は、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の前記周方向の両側に隣接するそれぞれの前記コイル部の相と異なる、

または、

$\theta_1 < \theta_k < \theta_m$ ($k = 2, 3, \dots, m-1$) を満たす θ_k の電気角位相差を有する前記コイル部の導線の線径は、電気角位相差が θ_1 , θ_m の前記コイル部の導線の線径と異なり、かつ電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の前記固定子鉄心の周方向の両側に隣接する前記コイル部の導線の線径とも異なり、さらに、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の相は、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の前記周方向の両側に隣接するそれぞれの前記コイル部の相と異なる。

発明の効果

[0008] この発明に係る回転電機によれば、一部のコイル部の導線のターン数または線径を変えた場合に、特定のコイル部における局所的な発熱の増大を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]この発明の実施の形態1の電動機が搭載された車両用の電動パワーステアリング装置を示す構成図である。

[図2]図1の電動駆動装置を示す断面図である。

[図3]図2の電動機を示す正断面図である。

[図4]図3の電動機の電機子巻線が Δ 結線されたときの結線図である。

[図5]図3の電動機の電機子巻線がY結線されたときの結線図である。

[図6]図4の変形例を示す結線図である。

[図7]図5の変形例を示す結線図である。

[図8]実施の形態1の電動機の変形例を示す正断面図である。

- [図9]実施の形態1の電動機の変形例を示す正断面図である。
- [図10]実施の形態1の電動機のさらに他の変形例を示す正断面図である。
- [図11]実施の形態1の電動機のさらに他の変形例を示す正断面図である。
- [図12]図11の固定子鉄心の部分斜視図である。
- [図13]図1のインバータを示す回路図である。
- [図14]第1の参考例の電動機を示す正断面図である。
- [図15]図14の固定子鉄心の組立手順を説明する図である。
- [図16]第2の参考例の電動機を示す正断面図である。
- [図17A]実施の形態1の電動機の直列コイル部群の起磁力ベクトルを示す図である。
- [図17B]第1の参考例の電動機の直列コイル部群の起磁力ベクトルを示す図である。
- [図18A]実施の形態1の電動機の直列コイル部群の起磁力ベクトルを示す図である。
- [図18B]導線の総ターン数が実施の形態1の電動機と等しい電動機の直列コイル部群の起磁力ベクトルを示す図である。
- [図19A]実施の形態1の電動機の直列コイル部群の合成起磁力ベクトルを示す図である。
- [図19B]導線の総ターン数が実施の形態1の電動機と等しい電動機の直列コイル部群の合成起磁力ベクトルを示す図である。
- [図20]図3の固定子のティースの機械角位相を示す図である。
- [図21]実施の形態1の電動機の変形例の固定子のティースの機械角位相を示す図である。
- [図22]図21の電動機の電機子巻線が Δ 結線されたときの結線図である。
- [図23]図21の電動機の電機子巻線がY結線されたときの結線図である。
- [図24]図22及び図23に示した電機子巻線におけるU相の直列コイル部群の各コイル部の電気角位相のベクトル図である。
- [図25]実施の形態1の電動機の変形例の固定子のティースの機械角位相

を示す図である。

[図26]図 2 5 の電動機の電機子巻線が Δ 結線されたときの結線図である。

[図27]図 2 5 の電動機の電機子巻線がY結線されたときの結線図である。

[図28]図 2 6 及び図 2 7 で示した結線方法における第 1 の電機子巻線部のU相を構成するコイル部の電気角位相のベクトル図である。

[図29]実施の形態 1 の電動機の別の変形例を示す正断面図である。

[図30]実施の形態 1 の電動機の電磁加振力を示す棒グラフである。

[図31]実施の形態 1 の電動機の別の変形例を示す正断面図である。

[図32]図 3 の固定子鉄心を示す正断面図である。

[図33]実施の形態 1 の電動機におけるターン数を変化させた際のターン数比率を示す図である。

[図34]実施の形態 1 の電動機におけるターン数を変化させた際のターン数比率に対する平均トルクとトルクリプルの変化を示す折れ線グラフである。

[図35]実施の形態 2 の電動機を示す正断面図である。

[図36]実施の形態 3 の電動機を示す正断面図である。

[図37]実施の形態 3 の変形例を示す正断面図である。

[図38]実施の形態 4 の電動機を示す正断面図である。

[図39]実施の形態 5 の電動機を示す正断面図である。

[図40]実施の形態 6 の電動機を示す正断面図である。

[図41]実施の形態 6 の電動機の変形例を示す正断面図である。

[図42]実施の形態 7 の電動機及び ECU の回路図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、この発明の各実施の形態の電動機について図に基づいて説明するが、各図において同一、または相当部材、部位については、同一符号を付して説明する。

[0011] 実施の形態 1 .

図 1 は、この発明の実施の形態 1 の電動機 7 が搭載された自動車の電動パワーステアリング装置 1 を示す構成図、図 2 は、図 1 の電動駆動装置 1 3 を

示す断面図である。

この電動パワーステアリング装置は、回転電機である電動機 7 と、この電動機 7 と一体の ECU (Electric Control Unit) 6 とからなる電動駆動装置 13 を備えている。

なお、上記電動駆動装置 13 では、電動機 7 と ECU 6 が電動機 7 の軸線方向に一体になって配置されているが、この限りではなく、ECU 6 が電動機 7 の径方向に配置されていてもよく、また電動機 7 と ECU 6 とが別体となっていてよい。

[0012] この電動パワーステアリング装置 1 では、運転者はステアリングホイール（図示しない）を操舵し、そのトルクがステアリングシャフト（図示せず）を介してシャフト 2 に伝達される。このときトルクセンサ 3 が検出したトルクは、電気信号に変換されケーブル（図示しない）を通じて第 1 のコネクタ 4 を介して ECU 6 に伝達される。

一方、車速などの自動車の情報が電気信号に変換されて第 2 のコネクタ 5 を通じて ECU 6 に伝達される。ECU 6 は、上記トルクと車速などの自動車の情報から、必要なアシストトルクを演算し、インバータを通じてハウジング 10 と平行に配置された電動機 7 に電流を供給する。

また、ECU 6 への電源供給は、バッテリーやオルタネータから電源コネクタ 8 を介して送られる。

電動機 7 で発生したトルクは、ベルト（図示せず）とボールネジ（図示せず）が内蔵されたギヤボックス 9 を介してハウジング 10 内のラック軸（図示せず）を矢印 X の方向に動かす推力を発生させ、運転者の操舵力をアシストする。

これにより、タイロッド 11 が動き、タイヤが転舵して車両を旋回させることができる。

この結果、運転者は、電動機 7 のトルクによってアシストされ、少ない操舵力で車両を旋回させることができる。

なお、ラックブーツ 12 は、異物が装置内に侵入しないように設けられて

いる。

[0013] 電動機 7 は、固定子 22 と、この固定子 22 が内壁面に固定された円筒形状のフレーム 24 と、フレーム 24 の片側開口部を複数本のボルト 60 で固定して覆ったハウジング 23 と、固定子 22 の内側に回転自在に設けられた回転子 29 と、を備えている。

[0014] 固定子 22 は、電磁鋼板等の磁性体のコアシートを積層して構成された固定子鉄心 20 と、この固定子鉄心 20 に収められた電機子巻線 38 と、を有している。

[0015] 回転子 29 は、ハウジング 23 に嵌着された第 1 の軸受 25 と壁部 28 に嵌着された第 2 の軸受 26 とにより両端部が支持された回転軸であるシャフト 27 と、このシャフト 27 が貫通した回転子鉄心 30 と、この回転子鉄心 30 の内部に周方向に沿って等間隔で 14 個埋め込まれた貼り付けられた永久磁石 32 と、シャフト 27 の一端部に固定されたプーリ 61 と、シャフト 27 の他端部に固定され、基板 19 に設けられた回転角度センサである磁気センサ 14 と対向したセンサ用永久磁石 31 と、を有している。

[0016] 図 3 は、図 2 の電動機 7 を示す正断面図である。

固定子 22 の固定子鉄心 20 は、円環状のコアバック 33 と、コアバック 33 から磁氣的空隙長の方向である内径方向に延びた計 18 個のティース 34 と、を有し、隣接したティース 34 間にはスロット 35 が形成されている。

固定子 22 の電機子巻線 38 は、18 個のティース 34 にインシュレータ 39 を介してそれぞれ導線 21 が集中巻で巻回されてスロット 35 に収容された複数のコイル部から構成されている。

[0017] 各コイル部は、反時計回りに 1、2、3、・・・、18 の番号が付された各ティース 34 に巻装されており、また U 相、V 相、W 相の電源と接続されている。

V 相に含まれるコイル部は、 $-V11$ 、 $+V12$ 、 $-V13$ 、 $+V21$ 、 $-V22$ 、 $+V23$ の 6 個、W 相に含まれるコイル部は、 $-W11$ 、 $+W1$

2、 $-W13$ 、 $+W21$ 、 $-W22$ 、 $+W23$ の6個、U相に含まれるコイル部は、 $-U11$ 、 $+U12$ 、 $-U13$ 、 $+U21$ 、 $-U22$ 、 $+U23$ の6個あり、外部でそれぞれ接続される。

また、図3に示すように、各コイル部は、ティース34の番号1~18のそれぞれに対応して、 $-V11$ 、 $-W22$ 、 $+W23$ 、 $+U21$ 、 $+V12$ 、 $-V13$ 、 $-W11$ 、 $-U22$ 、 $+U23$ 、 $+V21$ 、 $+W12$ 、 $-W13$ 、 $-U11$ 、 $-V22$ 、 $+V23$ 、 $+W21$ 、 $+U12$ 、 $-U13$ の順に並んで配置されている。なお、「+」、「-」はコイル部の巻極性を示しており、「+」と「-」は巻極性が逆となる。

[0018] 図4は、電機子巻線38の結線説明図であり、電機子巻線38は、第1の電機子巻線部36と第2の電機子巻線部37とから構成されている。

第1の電機子巻線部36は、 $-U11$ 、 $+U12$ 及び $-U13$ の各コイルが直列に接続されており、 $-V11$ 、 $+V12$ 及び $-V13$ の各コイル部が直列に接続されており、 $-W11$ 、 $+W12$ 及び $-W13$ が直列に接続されており、これらの各第1の同相巻線部の接続部A1、B1、C1を接続して△結線を構成されている。

第2の電機子巻線部37は、 $+U21$ 、 $-U22$ 及び $+U23$ の各コイル部が直列に接続されており、 $+V21$ 、 $-V22$ 及び $+V23$ の各コイル部が直列に接続されており、 $+W21$ 、 $-W22$ 及び $+W23$ が直列に接続されており、これらの各第2の同相巻線部の接続部A2、B2、C2を接続して△結線を構成されている。

なお、各相の並列数が2の回路を構成する電機子巻線38は、図5に示すように、第1の電機子巻線部36及び第2の電機子巻線部37をY結線で構成してもよい。

なお、今後、同相のコイル部が複数直列に接続されたものを直列コイル部群と呼ぶことにする。

[0019] また、電機子巻線38は、図6に示すように、同相の各コイル部を全て直列に接続した各相の直列コイル部群の両端部の接続部であるA、B、Cを接

続いて1組の3相の Δ 結線構成としてもよい。

また、電機子巻線38、図7に示すように、同相の各コイル部を全て直列に接続した各相の直列コイル部群の両端部の接続部であるA、B、Cを接続して1組の3相のY結線構成としてもよい。

[0020] 図3において、各スロット35では、コイル部を構成する導線21の断面が示されている。同図において、各ティース34の径方向に延びた両側壁に隣接した導線21の数が、各コイル部の導線21のターン数を示している。

同図において、ティース34の番号2、3、5、6、8、9、11、12、14、15、17、18を纏めてティースAと呼び、ティース34の番号1、4、7、10、13、16を纏めてティースBと呼ぶこととすると、ティースBに巻装されたコイル部の導線21のターン数及び線径は、ティースAに巻装されたコイル部の導線21のターン数及び線径より、多くまた大きい。

なお、同図では、ティースBに巻装されたコイル部の断面にはハッチングを加えて示している。

[0021] なお、回転子29の界磁極が14個、固定子22のスロット35の数、及びティース34の数が18個の電動機7であれば、回転子29の構成、並びに固定子22の構造が図3のものとも異なる場合でもよい。

図8は、この実施の形態1の電動機7の変形例を示す縦断面図であり、この電動機7では、14個の永久磁石32の径方向長さが周方向長さに比べて長い形状となるように回転子鉄心30に14個埋め込まれ、隣り合う永久磁石32の向かい合う面が互いに同じ極になるように着磁されている。

[0022] 図9は、この実施の形態1の電動機7の他の変形例を示す縦断面図であり、この電動機7では、回転子鉄心30の外周側に永久磁石32が周方向に等間隔に14個貼り付けられている。

なお、この例の場合、永久磁石32の外側に、永久磁石32の保護と飛散防止用にステンレスやアルミニウムなどの非磁性材料を円筒状にしたカバーで覆う場合がある。

[0023] さらに、図10は、この実施の形態1の電動機7のさらに他の変形例を示す縦断面図であり、この電動機7では、固定子22の各ティース34の先端部が周方向の端面で当接している。

[0024] さらに、図11は、この実施の形態1の電動機7のさらに他の変形例を示す縦断面図であり、この電動機7では、固定子鉄心20は、周方向に1/6の固定子鉄心20の部位を示す図12から分かるように、隣接した各ティース34の回転子29側の先端部が開口した開口コアブロック41と、この開口コアブロック41の上側及び下側に配置され、隣接した各ティース34の回転子29側の先端部同士が連結された連結コアブロック40とから構成されている。

なお、連結コアブロック40は、隣接した各ティース34の回転子29側の先端部の両端面が当接したものを含む。

[0025] 図13は、電動機7及びECU6の回路図である。

電動機7では、詳細は省略し、電機子巻線のみ示している。

ECU6も簡単のため詳細は省略し、インバータ42のパワー回路部のみを示す。

ECU6は1台のインバータ42の回路から構成されていて、このインバータ42から電機子巻線38に3相の電流を供給する。

電機子巻線38では、図5に示す、Y結線の第1の電機子巻線部36の接続部A1、B1、C1と、Y結線の第2の電機子巻線部37の接続部A2、B2、C2において、接続部A1とA2、接続部B1とB2、接続部C1とC2とをそれぞれ接続部A、B、Cで接続され、各相が2並列である回路が構成されている。

なお、インバータ42を接続される電機子巻線38に関しては、図4に示す△結線された、第1の電機子巻線部36及び第2の電機子巻線部37を用いてもよい。

また、図6及び図7に示す、同相のコイル部がそれぞれ直列に接続された電機子巻線38でもよい。

[0026] ECU 6にはバッテリー等の電源43から直流電源が供給されており、ノイズ除去用のコイル44を介して、電源リレー45に接続されている。

なお、図13では電源43がECU 6の内部にあるかのように描かれているが、実際はバッテリー等の外部の電源からコネクタを介して、電力が供給される。

電源リレー45は、1個設けられていて、2個のMOS-FETで構成され故障時などは電源リレー45を開放して、過大な電流が流れないように動作する。

また、同図では、電源43、コイル44、電源リレー45の順に接続されているが、電源リレー45は、コイル44よりも電源43に近い位置に設けられてもよいことは言うまでもない。

なお、コンデンサ46は平滑コンデンサである。

また、同図では1個のコンデンサ46で構成されているが、複数のコンデンサを並列に接続して構成してもよいことは言うまでもない。

[0027] インバータ42は、6個のMOS-FETを用いたブリッジで構成され、第1のMOS-FET47、第2のMOS-FET48が直列接続され、第3のMOS-FET49、第4のMOS-FET50が直列接続され、第5のMOS-FET51、第6のMOS-FET52が直列接続されて、さらにこの3組のMOS-FETが並列に接続されている。さらに、下側の3つの第2のMOS-FET48、第4のMOS-FET50、第6のMOS-FET52のGND（グラウンド）側にはそれぞれ、電流値の検出に用いられる、第1のシャント53、第2のシャント54及び第3のシャント55がそれぞれ接続されている。なお、シャント53、54、55は3個の例を示したが、2個のシャントであってもよいし、1個のシャントであっても電流検出は可能であるため、そのような構成であってもよいことは言うまでもない。

[0028] 電動機7側への電流の供給は、図13に示すように第1のMOS-FET47、第2のMOS-FET48の間からバスバー62を通じて電動機7の

第1の電機子巻線部36の直列コイル部群である第1のU相巻線部U1と、第2の電機子巻線部37の直列コイル部群である第2のU相巻線部U2へ、第3のMOS-FET49、第4のMOS-FET50の間からバスバー62を通じて電動機7の第1の電機子巻線部36の直列コイル部群である第1のV相巻線部V1と、第2の電機子巻線部37の直列コイル部群である第2のV相巻線部V2へ、第5のMOS-FET51、第6のMOS-FET52の間からバスバー62を通じて電動機7の第1の電機子巻線部36の直列コイル部群である第1のW相巻線部W1と、第2の電機子巻線部37の直列コイル部群である第2のW相巻線部W2へそれぞれ供給される。

電動機7とECU6の電氣的接続箇所は、3相分で計3箇所であるが、電動機7の内部で、第1の電機子巻線部36と第2の電機子巻線部37とに別れるように接続されている。

[0029] 同相のコイル部が全て直列で接続された図6及び図7に結線の場合は、第1のMOS-FET47、第2のMOS-FET48の間からバスバー62を通じて電動機7の電機子巻線38の直列コイル部群であるU相巻線部Uへ、第3のMOS-FET49、第4のMOS-FET50の間からバスバー62を通じて電動機7の電機子巻線38の直列コイル部群であるである第1のV相巻線部Vへ、第5のMOS-FET51、第6のMOS-FET52の間からバスバー62を通じて電動機7の電機子巻線38の直列コイル部群であるであるW相巻線部Wへそれぞれ供給される。

[0030] 次に、この実施の形態の効果を説明するための比較例として、第1の参考例を示す電動機について図に基づいて説明する。

図14は、この参考例である電動機を示す縦断面図であり、図3に示す実施の形態1の電動機との違いは、導線21のターン数及び線径が異なるだけで、固定子22の構造、即ち電機子巻線38、その構成要素である各コイル部の配置は図3のものと同じである。

[0031] 図15は、図14に示した電動機の固定子鉄心20の製造方法を示す図である。

この固定子鉄心 20 は、隣接したティース 34 の先端部同士が連結されており、ティース 34 を含みコアバック 33 を含まない内コア 57 と、コアバック 33 を含みティース 34 を含まない外コア 56 とから構成され、外コア 56 に内コア 57 を圧入して製造される。

圧入前の内コア 57 のティース 34 は、コアバック 33 がない状態であり、径外側方向からコイル部を挿入することができる。そこで、コイル部をインシュレータ 39 が装着された内コア 57 に挿入した後、外コア 56 を圧入することで、固定子 22 が製造される。

この第 1 の参考例の場合、全ティース 34 の各コイル部の導線 21 のターン数が等しい。

図 14 には、各スロット 35 の内部に、スロット 35 を固定子 22 の周方向に対称的に二等分する破線を示しており、スロット 35 内に示す破線に対しスロット 35 内のコイル部の導線 21 の配置がティース 34 を中心に対称となる。

[0032] この第 1 の参考例のものでは、各スロット 35 内において、固定子鉄心 20 の径方向の外側に行く程隙間が大きくなっており、スロット 35 内のコイル部が占める占積率が低下し、スロット 35 の平断面積に対するコイル部が占める平断面積の割合が小さく、コイル部の抵抗が増大し発熱量が増大するという課題があった。

[0033] 図 16 は、第 2 の参考例を示す電動機の正断面図である。

この電動機は、回転子 29 の界磁極が 10 個、固定子 22 のスロット 35 の数及びティース 34 の数が 12 個であり、固定子 22 の内側に回転自在の回転子 29 が設けられている。

回転子 29 は、回転軸となるシャフト 27 とシャフト 27 外側に回転子鉄心 30 が設けられ、さらに回転子鉄心 30 の内部に永久磁石 32 が周方向に等間隔に 10 個埋め込まれている。

固定子 22 は、コアバック 33、等間隔に配置されコアバック 33 から磁気的空隙長の方向に突出した 12 個のティース 34 及びティース 34 間に設

けられた12個のスロット35が形成された磁性体からなる固定子鉄心20と、この固定子鉄心20の12個のティース34にそれぞれ集中巻で巻装され、スロット35に収容された複数のコイル部を有する。

コイル部を巻装するティース34の番号を、反時計回りに1、2、3、・・・、12とし、それぞれのティース34に巻装されたコイル部は、U相、V相、W相の電源と接続されており、V相に含まれるものは+V11、-V12、-V21、+V22の4個、W相に含まれるものは+W11、-W12、-W21、+W22の4個、U相に含まれるものは+U11、-U12、-U21、+U22の4個、を有し、外部でそれぞれ接続されて構成される。

また、図16に示すように、各相のコイル部は、ティース34の番号1～12のそれぞれに対応して、-U21、+U22、+V11、-V12、-W21、+W22、+U11、-U12、-V21、+V22、+W11、-W12の順に並んでいる。

なお、「+」、「-」はコイル部の巻極性を示しており、「+」と「-」は巻極性が逆となる。

[0034] 同図において、ティース34の番号2、4、6、8、10、12に巻装されたコイル部の導線21のターン数は、ティース34の番号1、3、5、7、9、11に巻装されたコイル部の導線21のターン数より大きい多巻コイル部である。多巻コイル部の断面を、図16ではスロット35においてハッチングで示している。

同図では、多巻コイル部に隣接するコイル部が同相となる個所が6つある。

これにより、各相のコイル部が収められたスロット35が6つ存在する。ティース34の番号2、4、6、8、10、12に巻装された多巻コイル部が収納されたスロット35の占積率が向上するため、全ティース34のコイル部の導線21のターン数が等しい場合と比較し、発熱量を低減することができる。

しかし、すべてのコイル部に対しそれぞれ同相のコイル部が隣接して配置されているため、電流による発熱が隣接した同相のコイル部間に集中し、局所的な発熱が増大する。

このことは、電動パワーステアリングのハンドルが固定され、電流が変動せず固定された場合において、単一の相のコイル部が配置されたスロット 35 における局所的な発熱量が増大するため、永久磁石 32 の磁気特性の低下によるトルクの低下や、基板 19 への加熱による性能の低下などを招くという課題があった。

[0035] 図 17A はこの実施の形態 1 の U 相の第 2 の電機子巻線部 37 (図 4、図 5 参照) における直列接続されたコイル部 +U21、-U22、+U23 の電気角位相をベクトル図で示したものであり、ベクトルの長さが各ティース 34 に巻装されたコイル部が発生する起磁力の強さを示し、ベクトルの角度が各ティース 34 に巻装されたコイル部の電気角位相を示している。コイル部の起磁力はターン数と電流の大きさの積に比例するため、同図のベクトルの長さはターン数に比例する。

ここで電気角位相とは、電動機 7 の回転子 29 上で隣り合う 1 つの N 極と 1 つの S 極がなす角度を 180° に変換したときの角度である。また、コイル部の巻極性が異なる場合、電気角位相は 180° 反転する。

これらを踏まえると、例えば、図 3 に示す界磁極が 14、固定子 22 のスロット 35 の数が 18 の電動機 7 において、隣接する N 極と S 極がなす角度は $360^\circ / 14 = 25.71^\circ$ なのでこの角度を 180° に変換する。

この電動機 7 において、隣接する 2 本のティース 34 がなす角度は $360^\circ / 18 = 20^\circ$ なので、この角度を電気角位相に変換すると $20^\circ \times 180 / 25.71 = 140^\circ$ となる。

なお、電気角位相に対し、回転子 29 が 1 周回転するときの角度を 360° とする場合の角度を機械角または機械角位相、あるいは単に角度と呼ぶこととする。

[0036] 図 17A に示すコイル部 +U21、-U22、+U23 の電気角位相は、

コイル部+U 2 1を基準としたとき、それぞれ 0° 、 20° 、 40° となる。電気角位相差は、ベクトルの長さをコイルの起磁力、ベクトルの角度を電気角位相としたベクトル図において、2つのベクトルがなす角度と定義する。

よって、最も電気角位相差が大きいのは-U 2 2と+U 2 3の電気角位相差 40° である。ここで、+U 2 3を基準として電気角位相を $\theta_1=0^\circ$ とおくと、コイル部+U 2 1の電気角位相は 20° であり $\theta_2=20^\circ$ となり、コイル部-U 2 2の電気角位相は 40° であり $\theta_3=40^\circ$ となる。このベクトル図を示したものが図17Aであり、 $\theta_1<\theta_2<\theta_3$ であることがわかる。

この実施の形態の例では、+U 2 1のコイル部、即ち電気角位相が θ_2 であるコイル部の導線21のターン数が、直列接続された他の同相のコイル部より大きい多巻コイルであり、発生する起磁力が-U 2 2、+U 2 3より強いため、ベクトル長さが他に比べて大きく示されている。

[0037] 比較例として、すべてのコイル部のターン数が等しい、第1の参考例で示した図14のU相の第2の電機子巻線部37におけるコイル部に発生する起磁力ベクトルを図17Bに示す。U相が発生する起磁力は、合成ベクトルの長さで表される。

この比較例では、コイル部+U 2 1、-U 2 2、+U 2 3の発生する起磁力は等しい。

従って、すべてのコイル部の導線21のターン数が等しい場合と比較して、電気角位相が中央に位置するベクトルが大きくなるこの実施の形態1のものでは、合成ベクトル長さが増加し、起磁力を増加させることができる。

これにより、電動機7の固定子22と回転子29の磁気的空隙部間における磁束密度を増加させ、トルクを向上することができる。

[0038] また、図18Bは、各ティース34に巻装された全てのコイル部の導線21のターン数の和が図18Aに示す実施の形態1のものと同しくかつ全てのコイル部のターン数が等しい場合の第2の電機子巻線部37の第2のU相巻線部U 2におけるコイル部+U 2 1、-U 2 2、+U 2 3の電気角位相をベ

クトル図で示したものである。

各ティース34に巻装された全てのコイル部の導線21のターン数の和を総ターン数と呼ぶこととする。ベクトルの長さをターン数で表すとすると、実施の形態1のものの起磁力は、図19Aに示すように、合成ベクトルの長さを求めることにより $17 + 2 \times 14 \cos 20^\circ$ となる。

一方、総ターン数が実施の形態1のものと等しく、かつ全てのコイル部の導線21のターン数が等しい場合の起磁力は、図19Bに示すように、 $15 + 2 \times 15 \cos 20^\circ$ となる。起磁力の差は $2(1 - \cos 20^\circ) \div 0.1206$ であり、実施の形態1のものの方が大きくなる。

つまり、総ターン数を一定とした場合に、第1の参考例と同様に、全てのコイル部の導線21のターン数を等しくした構成と比較して、実施の形態1のものは、起磁力を増大させ、トルクを向上する効果がある。

[0039] 即ち、目標値とするトルクを出力する電動機を設計する場合に、コイル部の導線21の総ターン数を低減することができるため、コイル部を構成する導線21を短くでき、コイル部の抵抗が低減され、発熱量を低減することができる。

また、目標値とするトルクを出力する電動機を設計する場合に、コイル部+U21の導線21のターン数を調整し多巻コイルとする、もしくは他のコイル部よりターン数が少ない少巻コイルとすることにより、起磁力を示す合成ベクトルの長さをより細かい値の幅で調整できる。

電動機のトルクは、起磁力に比例するため、トルクをより細かい値の幅で指定することができ、電動機のトルク設計の自由度を向上する効果がある。

[0040] なお、図6及び図7に示す結線の場合、直列接続されたU相のコイル部-U11、+U12、-U13、+U21、-U22、+U23の電気角位相をベクトル図で表すと、コイル部-U11と+U21のベクトルが一致し、コイル部+U12と-U22のベクトルが一致し、コイル部-U13と+U23のベクトルが一致しているため、図18Aと同様のベクトルの配置となり、同様の効果が得られる。

この例では、同相のコイル部の数が6個であり、直列接続されたコイル部の数が3個または6個の場合に、直列コイル部群の電気角位相を $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$ とおけて、電気角位相が θ_2 であるコイル部のターン数を異ならせることによる効果を得ることができる。

[0041] このことを一般化し、コイル部のうち同相のコイル部の数が n 個 ($n \geq 3$) であって、 m 個 ($m \leq n$) の直列接続された同相の前記コイル部からなる直列コイル部群の内、二つの前記コイル部間の電気角位相差が最も大きいものを θ_m とおき、電気角位相差が最も大きい前記コイル部の内の一方の電気角位相差を $\theta_1 = 0^\circ$ とし、電気角位相差が前記 θ_1 の前記コイル部に対する残りの前記コイル部の電気角各位相差をそれぞれ小さいものから順に、 $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_m$ とした場合において、 $\theta_1 < \theta_k < \theta_m$ ($k = 2, 3, \dots, m-1$) を満たす θ_k の電気角位相差が存在し、この場合電気角位相が θ_k であるコイル部のターン数を異ならせても、同等の効果が得られることは言うまでもない。

[0042] 図20は、図3に示した実施の形態1の電動機7における、直列コイル部群である第2のU相巻線部U2の機械角位相を示したものである。

同図では、コイル部+U21、-U22、+U23が直列接続された場合を示している。コイル部+U21が巻装されたティース34の機械角位相を基準とし $\phi_1 = 0^\circ$ とする。番号4のティース34から反時計回りを見た機械角位相が最も大きいのは、番号9のコイル部+U23が巻装されたティース34であり、番号4のティース34から $\phi_3 = 100^\circ$ の位置にある。コイル部-U22が巻装された番号8のティース34は、番号4と番号9のティース34との間に配置されており、番号4のティース34から $\phi_2 = 80^\circ$ の位置にある。

このとき、コイル部+U21が巻装された番号4のティース34は、異相であるコイル部+W23、コイル部+V12が巻装されたティース34に隣接している。

コイル部+U21は、コイル部-U22、+U23、+W23、+V12

よりも多巻コイルであるため、コイル部を構成する導線 2 1 が他のコイル部より長く、抵抗が増大し局所的な発熱が集中し易い。

しかしながら、このコイル部+U 2 1 では、固定子 2 2 の周方向の両側に隣接するコイル部がV相、W相であることにより、同相の電流が集中することによる局所的な発熱が抑制され、発熱を分散させることができる。

[0043] また、図 3 に示した実施の形態 1 の電動機 7 に限らず、コイル部+U 2 1 がコイル部-U 2 2、+U 2 3、+W 2 3、+V 1 2 よりも少巻コイルである場合や、コイル部+U 2 1 の線径がコイル部-U 2 2、+U 2 3、+W 2 3、+V 1 2 よりも小さく、抵抗が増大する場合でも、コイル部+U 2 1 の周方向の両側に隣接するコイル部が異相であるため、回転子 2 9 の界磁極の数を $12n \pm 2n$ (n は自然数) 個、スロット 3 5 の数を $12n$ 個とする電動機 7、並びに回転子 2 9 の界磁極の数を $18n \pm 2n$ (n は自然数) 個、スロット 3 5 の数を $18n$ 個とする電動機 7 の場合のように、同相のコイル部が隣接する場合よりも、発熱が分散され、局所的な発熱を抑制できる。

さらに、このように同相のコイル部が固定子 2 2 上で分散して配置されることにより、回転子 2 9 に偏芯があった場合に、固定子 2 2 と回転子 2 9 間の磁気的空隙部に発生する磁界の強さが 3 つの各相の巻線部コイル部で不均一となることを抑制する効果がある。

[0044] また、U相の各コイル部の結線方法が異なる第 1 の例として、番号 4、8、18 のティース 3 4 のコイル部が直列接続された場合の機械角位相を図 2 1 に示す。

このときの電機子巻線 3 8 の結線図を図 2 2 及び図 2 3 に示す。

図 2 2 は Δ 結線の場合を示しており、図 2 3 は Y 結線の場合を示している。

U相では-U 1 3、+U 2 1、-U 2 2 の各コイル部が直列に接続された直列コイル部群を構成している。

図 2 4 は、図 2 2 及び図 2 3 に示した電機子巻線における U 相の直列コイル部群の各コイル部の電気角位相のベクトル図を示す。

同図に示すように、接続される各コイル部のティース34の番号が図20と異なる以外は、図17A、図18Aと同様であるため、発生する起磁力は、図20のものと同様である。

このとき、コイル部-U13が巻装された番号18のティース34の機械角位相を基準とし $\phi_1=0^\circ$ とする。番号18のティース34から反時計回りを見た機械角位相が最も大きいのは、コイル部-U22が巻装された番号8のティース34であり、 $\phi_3=160^\circ$ とする。基準である番号18のティース34から番号8のティース34を視たとき、番号4のティース34は、番号18と番号8のティース34との間に配置されており、番号4のティース34の機械角は $\phi_2=80^\circ$ である。

この場合についても、多巻コイル部+U21が巻装された番号4のティース34は、異相であるコイル部+W23、コイル部+V12が巻装されたティース34に隣接しており、図20のものと同様の効果が得られる。

[0045] さらに、U相コイル部の結線方法が異なる第2の例として、番号4、9、17のティース34のコイル部が直列接続された場合の機械角位相を図25に示す。

このときの電機子巻線38の結線図を図26及び図27に示す。

図26は Δ 結線の場合を示しており、図27はY結線の場合を示している。

U相では+U12、+U21、+U23の各コイル部が直列に接続された直列コイル部群を構成している。

図28に、図26及び図27で示した結線方法における第1の電機子巻線部36のU相を構成するコイル部の電気角位相のベクトル図を示す。

同図に示すように、接続される各コイル部のティース34の番号が図20と異なる以外は、図17A、図18Aと同様であるため、発生する起磁力は、図20のものと同様である。

[0046] このとき、コイル部+U12が巻装された番号17のティース34の機械

角位相を基準とし $\phi_1=0^\circ$ とする。番号17のティース34から反時計回りに見た機械角位相が最も大きいのは、コイル部+U23が巻装された番号9のティース34であり、 $\phi_3=200^\circ$ とする。基準である番号ティース34から番号9のティース34を視たとき、番号4のティース34は、番号17と番号9のティース34の間に配置されており、番号4のティース34の機械角は $\phi_2=100^\circ$ である。

この場合についても、多巻コイル部+U21が巻装された番号4のティース34は、異相であるコイル部+W23、コイル部+V12が巻装されたティース34に隣接しており、図20のものと同様の効果が得られる。

[0047] 上記ではコイル部+U21がコイル部-U22、+U23よりも多巻コイル部または少巻コイル部である場合について述べたが、コイル部-U22及びコイル部+U23をコイル部+U21よりも多巻コイルまたは少巻コイルとしてもよい。

総ターン数をさらに細かく指定することができるため、電動機7のトルクをさらに細かく指定可能とし、トルク的设计の自由度を向上できる。

[0048] また、図3に示すように、この実施の形態の電動機7では、同相のコイル部-U22とコイル部+U23は隣接している。コイル部-U22とコイル部+U23をコイル部+U21よりも少巻コイルとすることによって抵抗を低減し、同相が隣接する個所における発熱量を減らし、発熱の集中を抑制することができる。

[0049] また、図3に示すように多巻コイル部を有するティースBのそれぞれに隣接するコイル部のターン数は、ティースBのターン数と異なっている。これにより、全てのコイル部のターン数を等しくした図14のものと比較し、スロット35の隙間を低減しコイル部の占積率を向上できている。したがって、占積率を向上することにより、スロット35の面積に対するコイル部の断面積を大きくし、発熱量を低減することができる。

なお、ターン数が1つの固定子22の構造内で異なるこの実施の形態の例では、第1の参考例で述べた製造方法を採用する場合、ティースAに巻装す

るボビンを先に内コア57に挿入し、ティースBに巻装するインシュレータを後から挿入することで製造可能である。

この場合、図3に示すように、スロット35の中心の破線から片側のコイル部がはみ出す構造となる。

以上より、多巻コイル部を有するティースBを採用することでスロット35の隙間を低減する上記構造は、製造可能であり、発熱量の低減を図ることができる。

[0050] また、図3に示すように、多巻コイル部を有するティースBに巻装されたコイル部の線径は、それぞれのコイル部と直列接続された他の同相のコイル部の線径と比較して大きい。

例えば、番号1のティース34に巻装されたコイル部-V11に直列接続されたコイル部は、番号5のティース34に巻装されたコイル部+V12、番号6のティース34に巻装されたコイル部-V13であるが、コイル部-V11の線径は、コイル部+V12、-V13と比較して大きい。

このように、線径を異ならせることにより、スロット35の隙間をより少なくし、スロット35のコイル部に対する占積率を向上しコイル部の抵抗を低減し、発熱量を低減することが可能となる。

[0051] また、図3に示すように、固定子22における各相のコイル部の配置は、固定子22をその中心に対し180°回転させてもその配置が同じとなる。

また、固定子22における導線21の各ターン数の配置も、固定子22をその中心に対し180°回転させてもその配置が同じとなっている。

即ち、番号1～9のティース34を含む固定子22の上半分の各相のコイル部及びターン数の配置を、固定子22中心に対し180°回転させると、番号10～18のティース34を含む固定子22の下半分における各相のコイル部及びターン数の配置と等しくなっている。

このとき、固定子22の各コイル部が発生する起磁力は、それぞれのターン数と電流の積で表されるため、固定子22における起磁力の分布が、同じく180°固定子22を中心に対し回転させてもその分布が同じとなる。

このことを、起磁力が 180° で回転対称である、即ち2回回転対称であるということとする。

この実施の形態の例は 180° 回転対称であるが、一般化し P を整数として固定子22を中心に対し P° 回転させたとき、相とターン数の配置が回転前と同じとなる場合は P° で回転対称である、即ち $360/P$ 回回転対称であるとする。

[0052] この起磁力は、固定子22の径方向に生じる電磁加振力の発生要因のひとつであり、電磁加振力は、この電機子巻線の起磁力に比例することが知られている。

固定子22の径方向に生じる電磁加振力は、電動機の騒音・振動の要因であり、特に空間1次の電磁加振力は電動機のベアリングのたたき音を生じ、大きな騒音源となるため低減することが望ましい。

そこで前述のように、固定子22の各コイル部が発生する起磁力が 180° で回転対称であることにより、大きな騒音源である空間1次の電磁加振力の発生を抑制することが可能となる。

[0053] 図29は、番号1、3、5、7、9、11、13、15、17の各ティース34に巻装されたコイル部の導線21のターン数を大きくした構成を示す電動機7の正断面図である。

図29に示す構成は、図3に示す実施の形態1のものと比較し、全てのスロット35にターン数が異なるコイル部が配置されており、スロット35の隙間がより少なくなり、スロット35の占積率がより向上している。

しかし、図29に示す構成では、ターン数の配置、即ち起磁力の分布が 180° 回転対称でない。よって同図の構成を、起磁力非対称の構成と呼ぶことにする。

ここで、起磁力非対称の構成における空間1次の電磁加振力を1としたときの、第1の参考例と実施の形態1の電動機7における空間1次の電磁加振力の値を比較した結果を図30に示す。

同図より、起磁力非対称の構成では空間1次の電磁加振力が発生している

のに対し、実施の形態1では第1の参考例とほぼ同等に抑えられている。

従って、ターン数を異ならせるコイル部の配置を、固定子22に対し180°回転対称にすることで、前述のターン数を異ならせる効果を有しながら、騒音源である空間1次の電磁加振力の増大を抑えることが可能である。

この実施の形態の例では、 $180^\circ = 360^\circ / 2$ で回転対称、即ち2回回転対称であり、起磁力に含まれる空間次数成分が2次以上であるため、空間1次の電磁加振力が発生しないが、このことを一般化してLを2以上の自然数としターン数の分布が $360^\circ / L$ で回転対称、即ちL回回転対称である場合は、起磁力に含まれる空間次数成分がL次以上であるため、空間1次の電磁加振力が発生しないことはいうまでもない。

なお、L回回転対称の配置が、製造誤差の範囲（機械角で±10°程度）でずれた場合でも、図30の電磁加振力は、図29のもの例まで増加しないため問題ない。

[0054] 前記のように界磁極数14個、ティース34、スロット35数が18個の電動機7は、その各直列コイル部群を構成するコイル部の電気角位相が図17A、図18Aに示すように、20°の位相差で起磁力ベクトルが3本並ぶような配置となる。

前記のように、この実施の形態の例は起磁力の分布が180°で回転対称であるため、電動機7の1周360°の間に最大2組の3相を構成することができる。

よって、回路の並列数を1または2とすることにより、同相直列コイル部群を構成するコイルの数を6個または3個とすることができる。

よって、この20°の電気角位相差で並ぶ3本の起磁力ベクトルに対応するコイルを1組とし、同相とすることにより、図17A、図18Aに示すように各同相の直列コイル部群における総ターン数を等しくすることができる。

[0055] この実施の形態の例では、回路の並列数が1または2の場合を示したが、前記のターン数及び起磁力の分布が $360^\circ / L$ で回転対称である場合、電動

機 7 の 1 周 360° の間に最大 L 組の 3 相を構成することができる。

よって、回路の並列数を L とすることにより、各同相直列コイル部群における総ターン数を等しくする構成が可能である。

このとき、各同相直列コイル部群の各直列コイル部群に発生する誘起電圧が等しくなるため、各相の並列回路において循環電流が発生しないという効果がある。

[0056] この実施の形態の電動機 7 は、コイル部をティース 34 に集中的に巻装した所謂集中巻であり、コイルエンドが小さく、小型であり銅損も小さく低発熱、高効率となるという効果も得られる。

また、界磁極を $(18 \pm 4) y$ 個 (y は自然数)、ティース 34、スロット 35 の数を $18 y$ 個としたので、界磁極を $(3 \pm 1) y$ 個、ティース 34 またはスロット 35 の数を $3 y$ 個とした場合よりもトルクを向上できる。

また、界磁極を $(12 \pm 2) y$ 個、ティース 34 またはスロット 35 数を $12 y$ 個とした場合よりも空間次数が 2 次の固定子鉄心 20 に生じる電磁加振力が小さくでき、振動、騒音を低減できるという効果が得られる。

また、高調波、特にトルクリプルの主成分である $6 f$ 成分や $12 f$ 成分の巻線係数が小さいので、トルクリプルが低減できる。

[0057] また、図 31 は、実施の形態 1 における別の極、スロット 35 の構成を示す。

界磁極は、22 個、ティース 34 の数は 18 個となっている。周方向のコイル部の配置は図 3 と同様であるため、前記と同等の効果が得られるのはいうまでもない。

[0058] また、界磁極を永久磁石 32 としたが、永久磁石 32 を用いないリラクタンス型の回転電機とすることや、回転子鉄心に巻線を巻装し、電流を通電することで界磁極としてもよいことはいうまでもない。

[0059] 図 3、図 10、図 11 は、この実施の形態、及びこの実施の形態の変形例を示す電動機 7 の正断面図であるが、特に回転子 29 側のティース 34 の先端部が、隣接したティース 34 の先端部と連結した図 10、図 11 のものは

、ティース34の連結により熱を逃がすことができる。

よって、この変形例の構造により、熱が伝達する経路をつくり、電動機7の温度上昇を低減することができる。

[0060] また、この実施の形態の電動機7は、図3に示すように、コイル部-V11、+U21、-W11、+V21、-U11、+W21は線径が等しい。これらのコイル部はそれぞれ別々の直列コイル部群に属しており、例えばコイル部+U21は、図4及び図5で示すようにコイル部-U22、+U21、+U23で構成される直列コイル部群に属している。

コイル部+U21は、他の2つの同相直列コイル部-U22、+U23の中間の電気角位相に位置している。

同様に、コイル部-V11、-W11、+V21、-U11、+W21も各直列コイル部群の中で、他のコイル部の中間の電気角位相に位置している。

即ち、電機子巻線38が第1の電機子巻線部36と第2の電機子巻線部37とが並列回路で構成される場合において、並列回路を構成する直列コイル部群のなかのコイル部の線径は、別の直列コイル部群で同じ電気角位相を有するコイル部の線径と等しい。

これにより、各直列コイル部群の抵抗値が等しくなるため、各直列コイル部群に等しい電圧が印加された際に、電流が各直列コイル部群でアンバランスにならないという効果がある。

電動機7の回路の各相や、各相を構成する並列回路で電流がアンバランスとなる場合、起磁力分布が乱れるためトルクリプルが増大するという問題があるが、この実施の形態の例ではこの問題が生じない。

[0061] 図32に、この実施の形態における固定子22を示す。

このとき、ティースAに巻装されたコイル部のターン数とティースBに巻装されたコイル部のターン数の比をターン数比率と定義し、(ターン数比率) = (ティースBに巻装されたコイル部のターン数(β)) / (ティースAに巻装されたコイル部のターン数(α)) で求める。

例えば、この実施の形態の図3に示すように、ティースAの巻装されたコイル部のターン数(α)は14、ティースBに巻装されたコイル部のターン数(β)は17であるので、ターン数比率は $(\beta/\alpha) = 17/14 = 1.214$ である。

図33に、ティースAとティースBのコイル部のターン数を異ならせた場合のターン数比率を表で示している。

ターン数の組合せは、固定子22に巻装されたすべてのコイル部のターン数の和、すなわち総ターン数が等しくなるものを選択した。

例えば、同図で $\alpha = 12$ 、 $\beta = 12$ のときの総ターン数は、 $12 \times 6 + 12 \times 12 = 216$ であるのに対し、同図で $\alpha = 11$ 、 $\beta = 14$ のときの総ターン数は $11 \times 12 + 14 \times 6 = 216$ であり、等しい値としている。その他の組合せについても、総ターン数は216となる。

図14に示す第1の参考例のように、全コイル部のターン数が等しい電動機7の発生トルクは、コイル部に印加する電流値と総ターン数の積におおむね比例する。よって、総ターン数を揃え、かつ印加する電流を等しくすることで、電動機7の発生トルクがほぼ同等となるようなターン数の組合せを選択した。

図33で示したターン数の組合せで解析計算を実行し、計算結果をターン数比率に対する平均トルクとトルクリプルの関係として示したものを図34に示した。

平均トルク及びトルクリプルは、ともに $\alpha = 12$ 、 $\beta = 12$ の場合の値を1としたときの比率を示したものである。

同図より、平均トルクはターン数比率1.60で最大となり、トルクリプルはターン数比率1.27で最小となっている。ターン数比率が1.0より大きく2.0以下であれば、第1の参考例に対応するターン数比率1の場合と比較し、平均トルクを向上し、かつトルクリプルを同等以下とする効果が得られる。

[0062] 実施の形態2.

図35は、この発明の実施の形態2の電動機7を示す正断面図である。

この実施の形態の電動機7では、多巻コイル部が巻装されたティースBの周方向の幅 W_B が、ティースAの周方向の幅 W_A に比較し大きくなっている。

他の構成は、図3に示した実施の形態1の電動機7と同じである。

[0063] この電動機7では、多巻コイル部を巻装したティース34での磁気飽和が生じにくくなり、トルク向上、及びトルクリプルの低減を図ることができる。

また、ティースBに少巻コイル部を巻装した場合には、逆に幅 W_B を幅 W_A より小さくすることにより、ティースBに巻装されたコイル部が収納されたスロット35の幅を大きくし、ティースBに巻装されたコイルの線径を大きくすることにより抵抗を低減し、発熱量の低減を図ることができる。

[0064] 実施の形態3.

図36は、この発明の実施の形態3の電動機7を示す正断面図である。

この実施の形態の電動機7では、多巻コイル部を有するティースBの周方向の幅を大きくし $W_B > W_A$ とすることに加え、図35のものと比較してティースBに巻装されたコイル部が収納されたスロット35の周方向幅 W_{S2}' を大きくし、その他のスロット35の幅 W_{S1}' を小さくしている。

他の構成は、図3に示した実施の形態1の電動機7と同じである。

[0065] 図35のものでは、ティースBに巻装されたコイル部が収納されるスロット35の周方向幅が W_{S2} 、その他のスロット35の周方向幅が W_{S1} であるが、図36のものでは、それぞれの幅の値 W_{S1}' 、 W_{S2}' と比較し $W_{S1}' < W_{S1}$ 、 $W_{S2}' > W_{S2}$ となっている。

これにより、ティース34の周方向の幅のみ変更した場合である図35のものと比較して、多巻コイル部の $-V11$ 、 $+U21$ 、 $-W11$ 、 $+V21$ 、 $-U11$ 、 $+W21$ が収納されたスロット35の隙間が増え、より多くの導線21のターン数をティース34に巻回できるようになり、ターン数を選択する自由度が向上する。

さらに、多巻コイル部が収納されていないその他のスロット35の隙間が

小さくなり、占積率が向上するという効果がある。

[0066] 図37は、実施の形態3の電動機7の変形例を示す正断面図である。

この変形例では、図36に示すティース34の幅の変更とスロット35の幅の変更に加え、多巻コイル部が巻装されたティースBに、導線21のターン数を1ターン増加させた例を示している。同図では、スロット35の内部において増加させた1ターンの導線21の断面をハッチングしている。

このように、スロット35の周方向幅を異ならせることで、スロット35の面積を有効に利用し、ターン数の選択の自由度を高め、トルク性能の向上を図ることができる。

[0067] 実施の形態4.

図38は、実施の形態4の電動機7を示す正断面図である。

この実施の形態では、ティースBに巻装されたコイル部の導線21の線径が、ティースAの導線21の線径と等しい。

他の構成は、図3に示した実施の形態1の電動機7と同じである。

この実施の形態では、各ティース34に巻装するコイル部を1種類の線径の導線21で構成できるため、製造性を高めながらも実施の形態1と同様の効果が得られる。

[0068] 実施の形態5.

図39は、実施の形態5の電動機7を示す正断面図である。

この実施の形態では、ティースBに巻装されたコイル部の導線21のターン数が、ティースAのコイル部の導線21のターン数と等しく、かつティースBに巻装されたコイル部の導線21の線径が、ティースAの導線21の線径と異なる。

同図において、導線21の線径が異なるコイル部が巻装されたティース34のコイル部の断面をハッチングしている。

他の構成は、図3に示した実施の形態1の電動機7と同じである。

[0069] この実施の形態の電動機7のように、すべてのコイル部のターン数が等しく、かつ導線21の線径が異なるコイル部を有する構成においても、スロッ

ト 3 5 におけるコイル部の占積率を向上させ、発熱量を低減する効果が得られる。

[0070] 実施の形態 6.

図 4 0 は、実施の形態 6 の電動機 7 を示す正断面図である。

この実施の形態では、コイル部の構成要素である導線に断面が矩形上の平角線を用いている。

同図において、ティース B に巻装されたコイル部の導線 2 1 a のターン数は、ティース A に巻装されたコイル部の導線 2 1 a のターン数より大きい。同図では、多巻コイル部の断面にハッチングしている。

他の構成は、図 3 に示した実施の形態 1 の電動機 7 と同じである。

[0071] この実施の形態では、平角線の導線 2 1 a を用いることにより、丸線の導線 2 1 を用いたコイル部と比較してよりスロット 3 5 の隙間を小さくし、占積率を向上できる。

同図に示すように、丸線と同様にターン数を異なる構成とすることができ、今までに述べた効果に加え、スロット 3 5 の占積率の更なる向上を図ることが可能である。

また、図 4 1 はこの実施の形態 6 の変形例であり、ティース B に巻装されたコイル部の導線 2 1 a のターン数及び断面積が、その他のコイル部より大きい。

この変形例では、断面積が異なることは、丸線では線径が異なることに対応する。

よって、実施の形態 1 の電動機 7 において線径を異ならせることと同様に、平角線の断面積を異ならせることにより、スロット 3 5 の占積率をさらに向上することが可能である。

[0072] 実施の形態 7.

図 4 2 は、この実施の形態 7 における電動機 7 及び E C U 6 の回路図である。

この実施の形態では、電動機 7 を駆動するインバータ 4 2 を 2 台とし、図

3の電機子巻線38の第1の電機子巻線部36の接続部A1、B1、C1に、第1のインバータ42Aが接続され、第2の電機子巻線部37の接続部A2、B2、C2に、第2のインバータ42Bが接続される。

図42では、簡単のため電動機7では電機子巻線のみを示している。

この電動機巻線は、第1のU相巻線部U1、第1のV相巻線部V1、第1のW相巻線部W1によって構成される第1の電機子巻線部36と、第2のU相巻線部U2、第2のV相巻線部V2、第2のW相巻線部W2によって構成される第2の電機子巻線部37とから構成されている。

ECU6も簡単のため詳細は省略し、第1のインバータ42A、第2のインバータ42Bのパワー回路部のみを示す。

ECU6は、2台のインバータ42A、42Bの回路から構成されていて、それぞれのインバータ42A、42Bから第1および第2の電機子巻線部36、37に3相の電流を供給する。ECU6にはバッテリー等の電源43から直流電源が供給されており、ノイズ除去用のコイル44を介して、電源リレー45Aが接続されている。

なお、図42では電源43がECU6の内部にあるかのように描かれているが、実際はバッテリー等の外部の電源からコネクタを介して、電力が供給される。

電源リレー45A、45Bは、2個あり、それぞれ2個のMOS-FETで構成され故障時などは電源リレー45A、45Bを開放して、過大な電流が流れないようにする。

なお、図では、電源リレー45A、45Bは、電源43、コイル44の後に接続されているが、コイル44よりも電源43に近い位置に設けられてもよいことは言うまでもない。第1のコンデンサ46A、第2のコンデンサ46Bは、平滑コンデンサである。

図ではそれぞれ、1個のコンデンサで構成されているが、複数のコンデンサを並列に接続されて構成してもよいことは言うまでもない。

[0073] 第1のインバータ42Aは、6個のMOS-FETを用いたブリッジで構

成される。具体的には、第1のインバータ42Aは、第1のMOS-FET 47A、第2のMOS-FET 48Aが直列接続され、第3のMOS-FET 49A、第4のMOS-FET 50Aが直列接続され、第5のMOS-FET 51A、第6のMOS-FET 52Aが直列接続されて、さらにこの3組のMOS-FETが並列に接続されている。

さらに、下側の3つの第2のMOS-FET 48A、第4のMOS-FET 50A、第6のMOS-FET 52AのGND（グラウンド）側にはそれぞれシャント抵抗が1つずつ接続されており、シャント53A、54A、55Aとしている。これらシャント抵抗は電流値の検出に用いられる。

なお、シャント53A、54A、55Aは3個の例を示したが、2個のシャントであってもよいし、1個のシャントであっても電流検出は可能であるため、そのような構成であってもよいことは言うまでもない。

[0074] 電動機7側への電流の供給は、第1のMOS-FET 47A、第2のMOS-FET 48Aの間からバスバー62等を通じて電動機7の第1のU相巻線部U1へ、第3のMOS-FET 49A、第4のMOS-FET 50Aの間からバスバー62等を通じて電動機7の第1のV相巻線部V1へ、第5のMOS-FET 51A、第6のMOS-FET 52Aの間からバスバー62などを通じて電動機7の第1のW相巻線部W1へそれぞれ供給される。

[0075] 第2のインバータ42Bも第1のインバータ42Aと同様に、6個のMOS-FETを用いたブリッジで構成される。具体的には、第2のインバータ42Bは、第1のMOS-FET 47B、第2のMOS-FET 48Bが直列接続され、第3のMOS-FET 49B、第4のMOS-FET 50Bが直列接続され、第5のMOS-FET 51B、第6のMOS-FET 52Bが直列接続されて、さらにこの3組のMOS-FETが並列に接続されている。

さらに、下側の3つの第2のMOS-FET 47B、第4のMOS-FET 50B、第6のMOS-FET 52BのGND（グラウンド）側にはそれぞれシャント抵抗が1つずつ接続されており、シャント53B、54B、55

Bとしている。これらシャント抵抗は電流値の検出に用いられる。

なお、シャント53B, 54B, 55Bは3個の例を示したが、2個のシャントであってもよいし、1個のシャントであっても電流検出は可能であるため、そのような構成であってもよいことは言うまでもない。

[0076] 電動機7側への電流の供給は、第1のMOS-FET47B、第2のMOS-FET48Bの間からバスバー62等を通じて電動機7の第2のU相巻線部U2へ、第3のMOS-FET49B、第4のMOS-FET50Bの間からバスバー62等を通じて電動機7の第2のV相巻線部V2へ、第5のMOS-FET51B、第6のMOS-FET52Bの間からバスバー62などを通じて電動機7の第2のW相巻線部W2へそれぞれ供給される。

2台のインバータ42A, 42Bは、回転角度センサである磁気センサ14によって検出した回転角度に応じた制御回路（図示せず）から上記各MOS-FETに信号を送ることでスイッチングし、第1の電機子巻線部36及び第2の電機子巻線部37に所望の3相電流を供給する。

なお、磁気センサ14の代わりに、レゾルバやGMRセンサ等を用いてシャフト27の回転角度を検出してもよい。

[0077] このように、2台のインバータ42A, 42Bで駆動する場合は、2台のインバータ42A, 42Bが供給する電流位相を変化させることでトルクリプルを大幅に低減することができる。2台のインバータ42A, 42B42の電流位相を電気角位相30度ずらすことで、互いの電気角位相6次のトルクリプルを相殺し、トルクリプルのP-P値を大幅に低減するという効果が得られる。

電動パワーステアリング装置1ではトルクリプルは振動・騒音の原因となるほか、運転者がトルクリプルを感じて操舵感覚が悪化することがある。

しかしながら、この実施の形態の構成により、トルクリプルを大幅に低減できるため振動騒音が小さく、良好な操舵感覚を得ることができるという効果がある。

さらに、それぞれ3相で構成される第1の電機子巻線部36、第2の電機

子巻線部 37 は異なるインバータ 42 A, 42 B に接続されているため、インバータ 42 A, 42 B の片方の故障や、片方の結線の断線等が生じた場合も、もう片方の 3 相の入力が継続されるため、電動機 7 を駆動し続ける冗長性が得られるという効果がある。

また、インバータ 42 A, 42 B を 2 台とすることにより、インバータ 42 A, 42 B が供給する電流をインバータ 42 が 1 台の場合の半分に低減できるため、回路における損失を低減し、発熱量を低減する効果がある。

なお、この実施の形態の効果は、上記各実施の形態の電動機の構成と両立することが可能であるため、上記各実施の形態に述べた効果に加え、発熱量の低減効果、トルクリプルの低減効果、冗長性を持たせる効果を追加することができる。

[0078] なお、上記各実施の形態では、回転電機として、三相の電機子巻線を有する電動機について説明したが、これは一例であり、三相以外の多相の電機子巻線を有する電動機であってもよい。

また、電動パワーステアリング装置に搭載される電動機は一例であり、工作用、運搬用等に利用される電動機であってもよい。

また、発電機にもこの発明は適用できる。

請求の範囲

[請求項1]

円環状のコアバックから周方向に間隔を空けて径内側方向に延びた複数のティースにより複数のスロットが形成された固定子鉄心、この固定子鉄心の前記ティースに巻装された複数のコイル部を有する電機子巻線を含む固定子と、

この固定子の内側に磁気的空隙部を介して設けられ回転軸を中心に回転する回転子と、を備え、

前記電機子巻線では、前記コイル部のうち同相のコイル部の数が n 個 ($n \geq 3$) であって、 m 個 ($m \leq n$) の直列接続された同相の前記コイル部からなる直列コイル部群の内、二つの前記コイル部間の電気角位相差が最も大きいものを θ_m とおき、電気角位相差が最も大きい前記コイル部の内の一方の電気角位相差を $\theta_1 = 0^\circ$ とし、電気角位相差が前記 θ_1 の前記コイル部に対する残りの前記コイル部の電気角位相差をそれぞれ小さいものから順に、 $\theta_2, \theta_3, \dots, \theta_m$ とした場合において、

$\theta_1 < \theta_k < \theta_m$ ($k = 2, 3, \dots, m-1$) を満たす θ_k の電気角位相差を有する前記コイル部の導線のターン数は、電気角位相差が θ_1, θ_m の前記コイル部の導線のターン数と異なり、かつ電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の前記固定子鉄心の周方向の両側に隣接する前記コイル部の導線のターン数とも異なり、さらに、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の相は、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の前記周方向の両側に隣接するそれぞれの前記コイル部の相と異なる、

または、

$\theta_1 < \theta_k < \theta_m$ ($k = 2, 3, \dots, m-1$) を満たす θ_k の電気角位相差を有する前記コイル部の導線の線径は、電気角位相差が θ_1, θ_m の前記コイル部の導線の線径と異なり、かつ電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の前記固定子鉄心の周方向の両側に隣接する前

記コイル部の導線の線径とも異なり、さらに、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の相は、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の前記周方向の両側に隣接するそれぞれの前記コイル部の相と異なる回転電機。

[請求項2] 電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部の線径は、同じ前記直列コイル部群の他の前記コイル部と異なる請求項1に記載の回転電機。

[請求項3] L を2以上の整数としたとき、各前記コイル部の相とターン数の配置が、前記回転軸の中心に機械角で L 回回転対称である請求項1又は請求項2記載の回転電機。

[請求項4] 前記直列コイル部群は、並列回路を構成し、前記並列回路の並列数が前記 L である請求項3に記載の回転電機。

[請求項5] 電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部が巻装された前記ティースの前記周方向の幅は、他の前記ティースの前記周方向の幅より大きい請求項1～4の何れか1項に記載の回転電機。

[請求項6] 電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部が収納された前記スロットの周方向の幅は、他の前記スロットの前記周方向の幅より大きい請求項1～5の何れか1項に記載の回転電機。

[請求項7] y を自然数とし、 $(18 \pm 4)y$ 極、 $18y$ スロットで構成されている請求項1～6の何れか1項に記載の回転電機。

[請求項8] 直列コイル部群は、並列回路を構成し、各前記直列コイル部群は、同じ電気角位相差の前記コイル部同士の線径が等しい請求項1～7の何れか1項に記載の回転電機。

[請求項9] 前記直列コイル部群を構成する m 個 ($m \leq n$) の前記コイル部の内、電気角位相差が前記 θ_k の前記コイル部のターン数を分子とし、残りの前記コイル部のターン数を分母として求めた比率をターン数比率と定義したとき、ターン数比率が1.0より大きく2.0以下である請求項7に記載の回転電機。

[請求項10] 前記固定子鉄心の前記ティースの前記回転子側の先端部は、前記周

方向の両隣の前記ティースの先端部と連結している請求項 1～9 の何れか 1 項に記載の回転電機。

[請求項11]

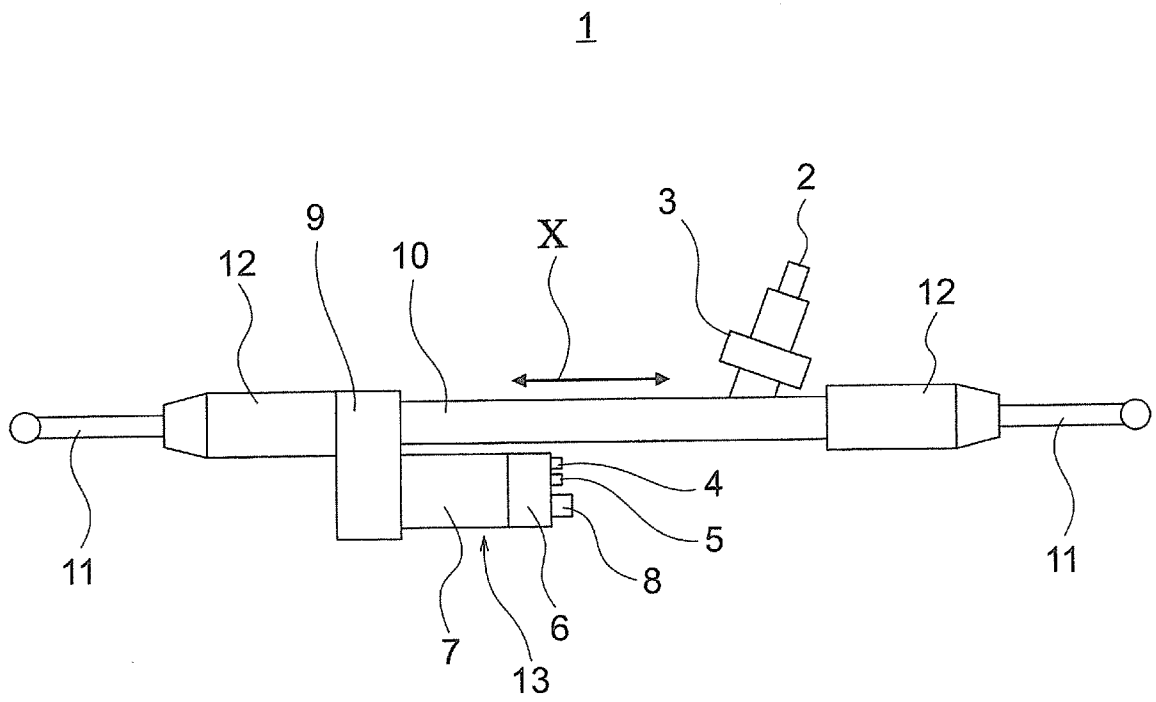
前記回転電機は、電動機であり、

前記電機子巻線は、第 1 の電機子巻線部と第 2 の電機子巻線部とから構成され、前記第 1 の電機子巻線部及び前記第 2 の電機子巻線部は、それぞれ個別のインバータに接続されている請求項 1～10 の何れか 1 項に記載の回転電機。

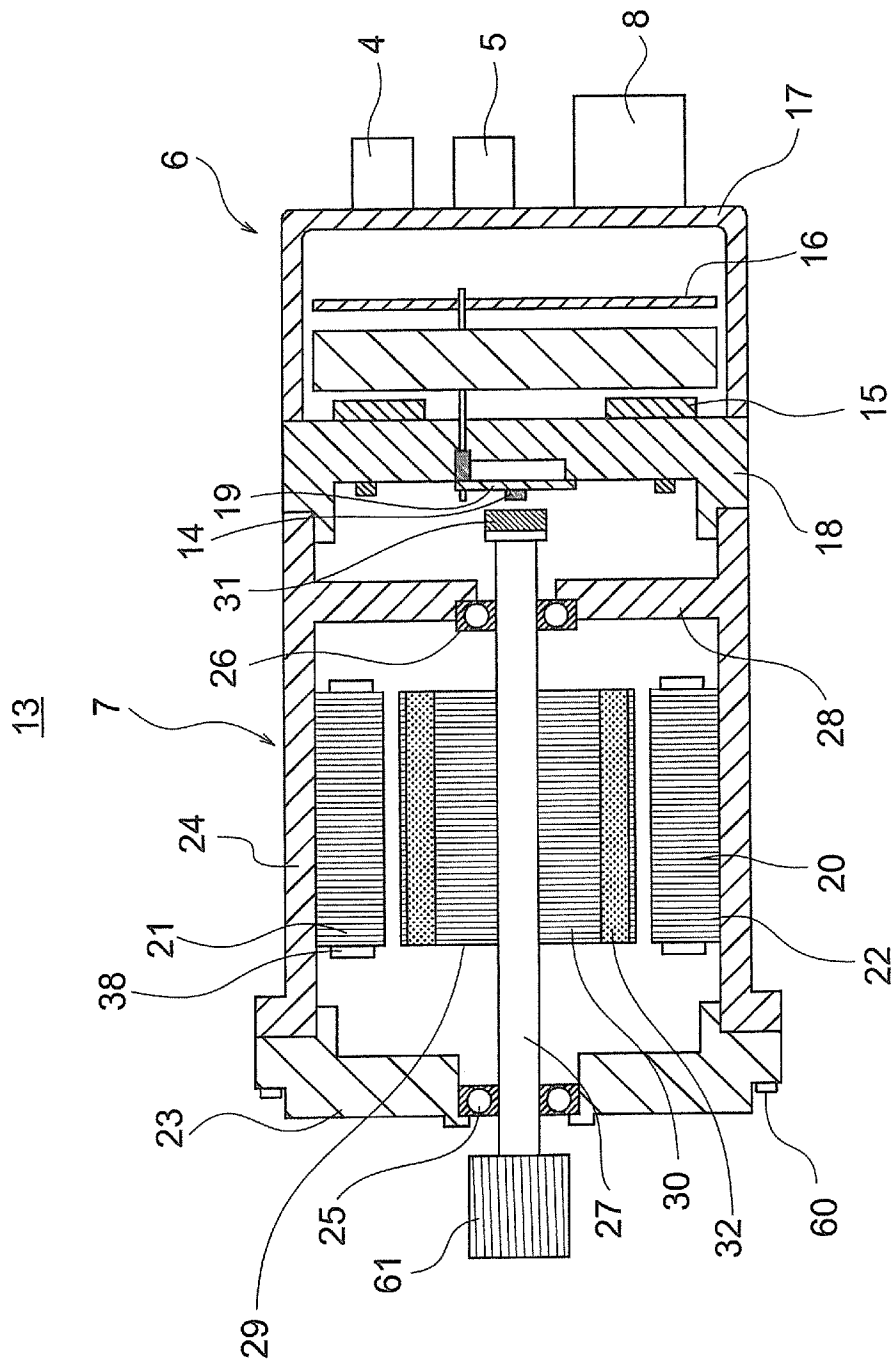
[請求項12]

前記電動機は、電動パワーステアリング装置に搭載される請求項 1 に記載の回転電機。

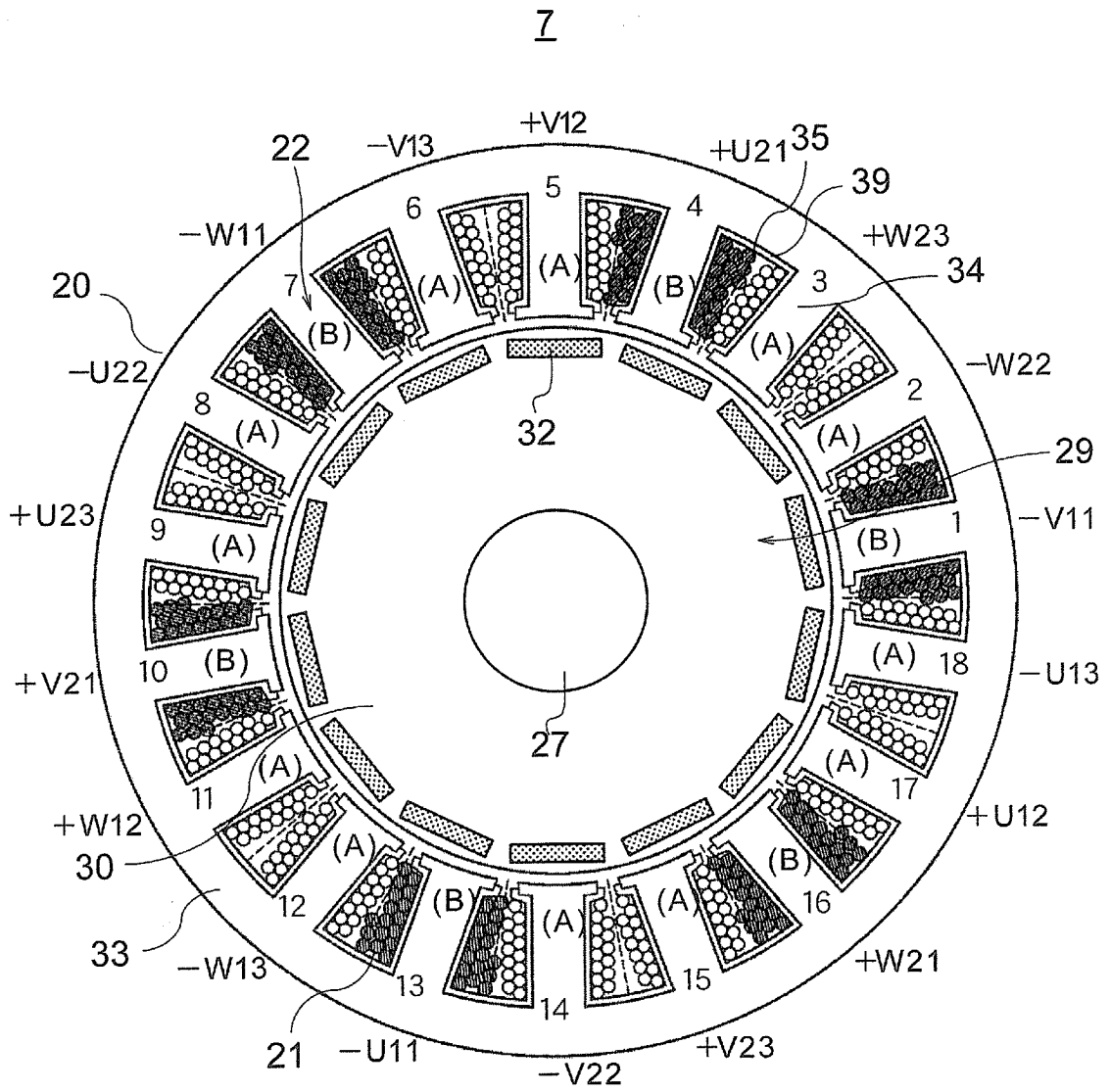
[図1]



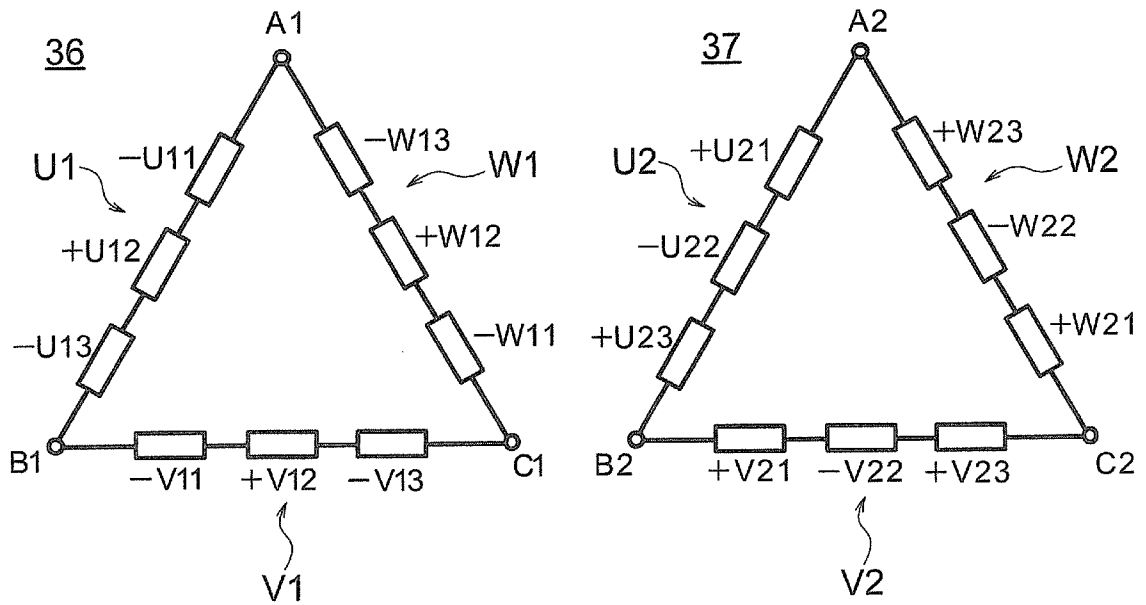
[図2]



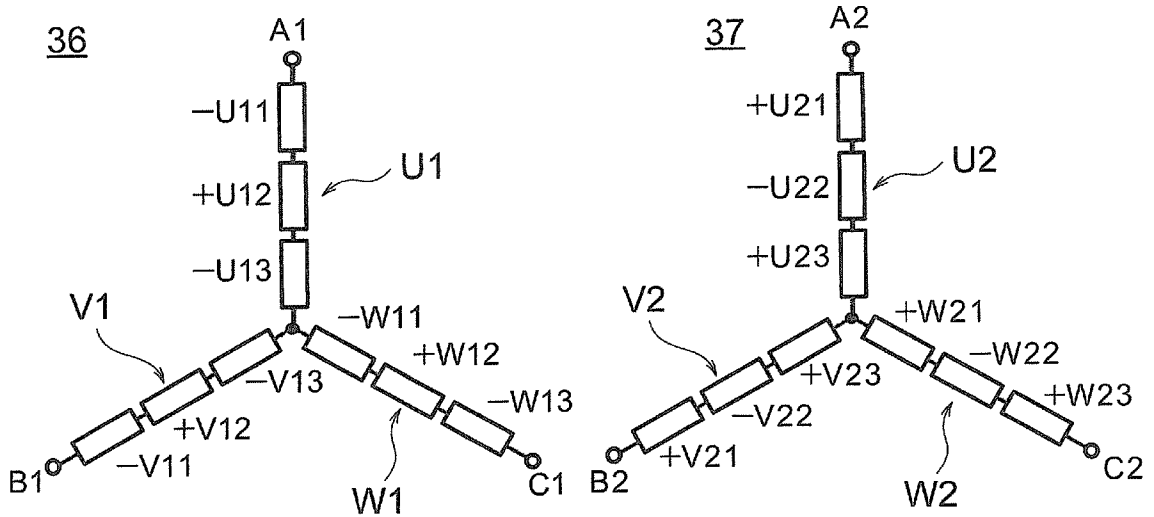
[図3]



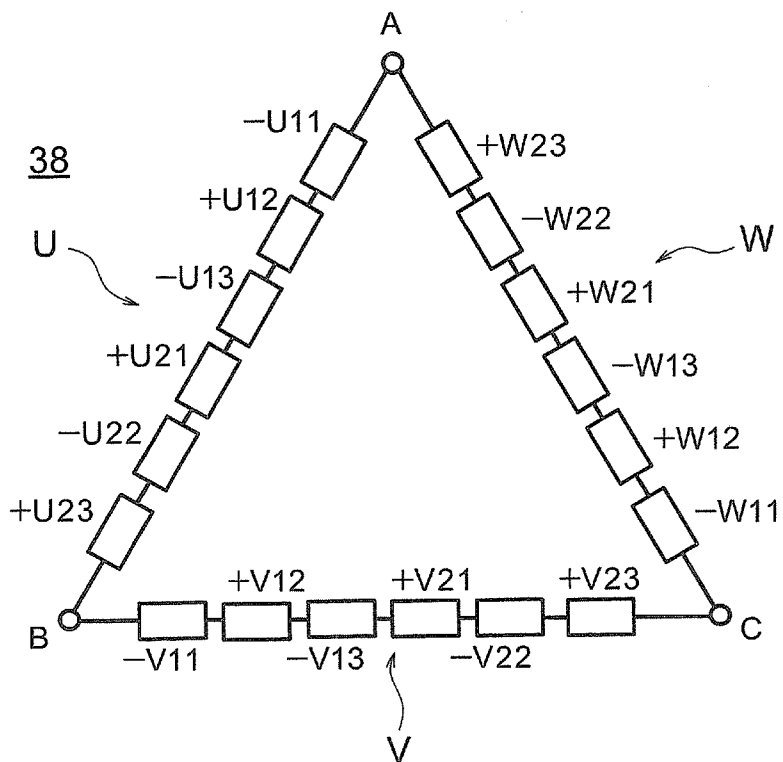
[図4]



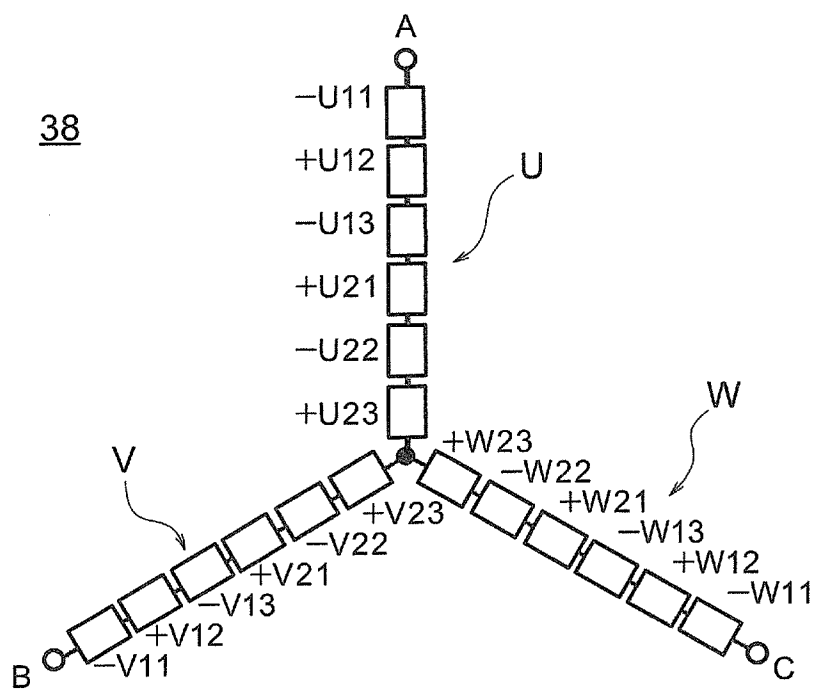
[図5]



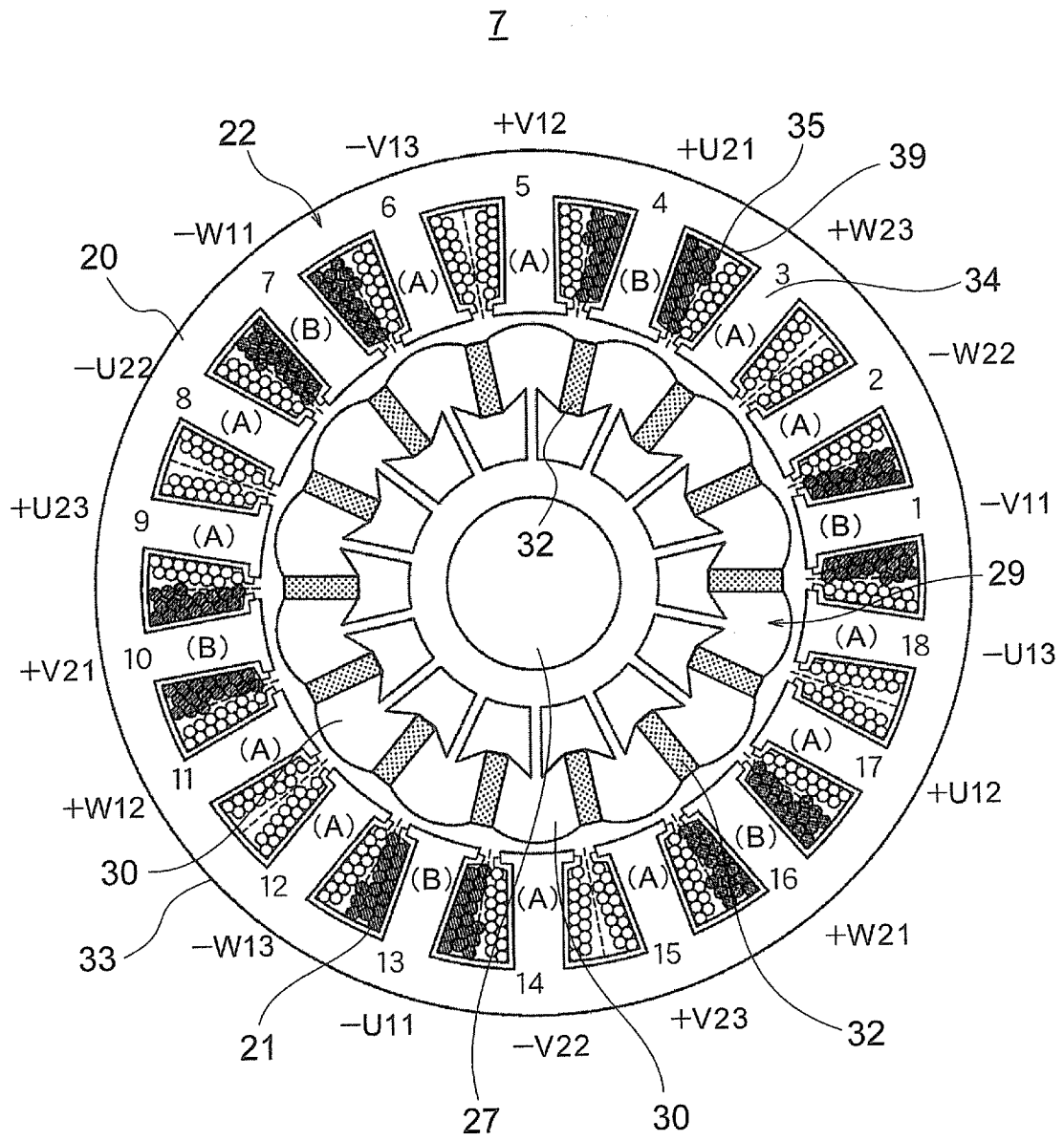
[図6]



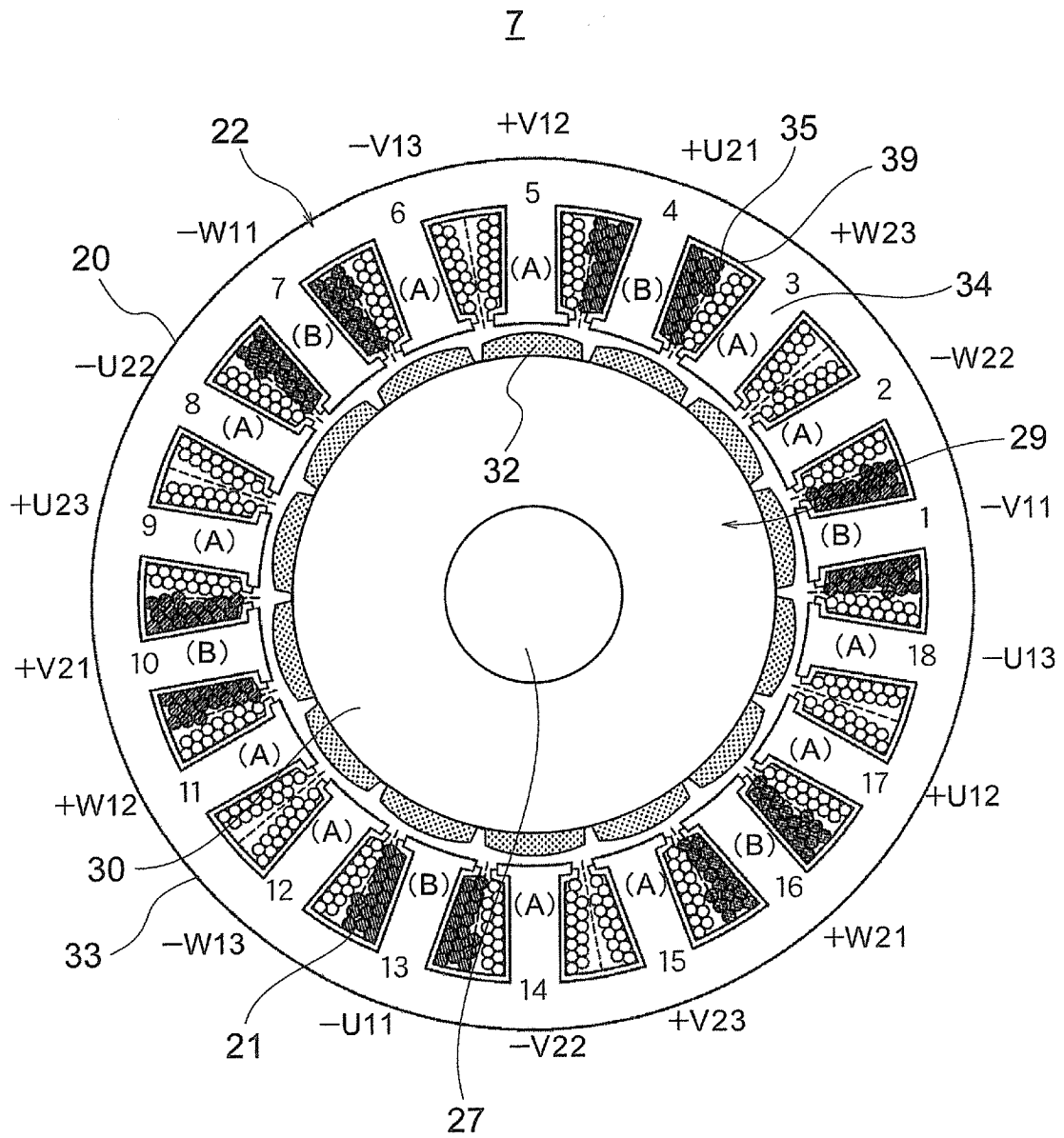
[図7]



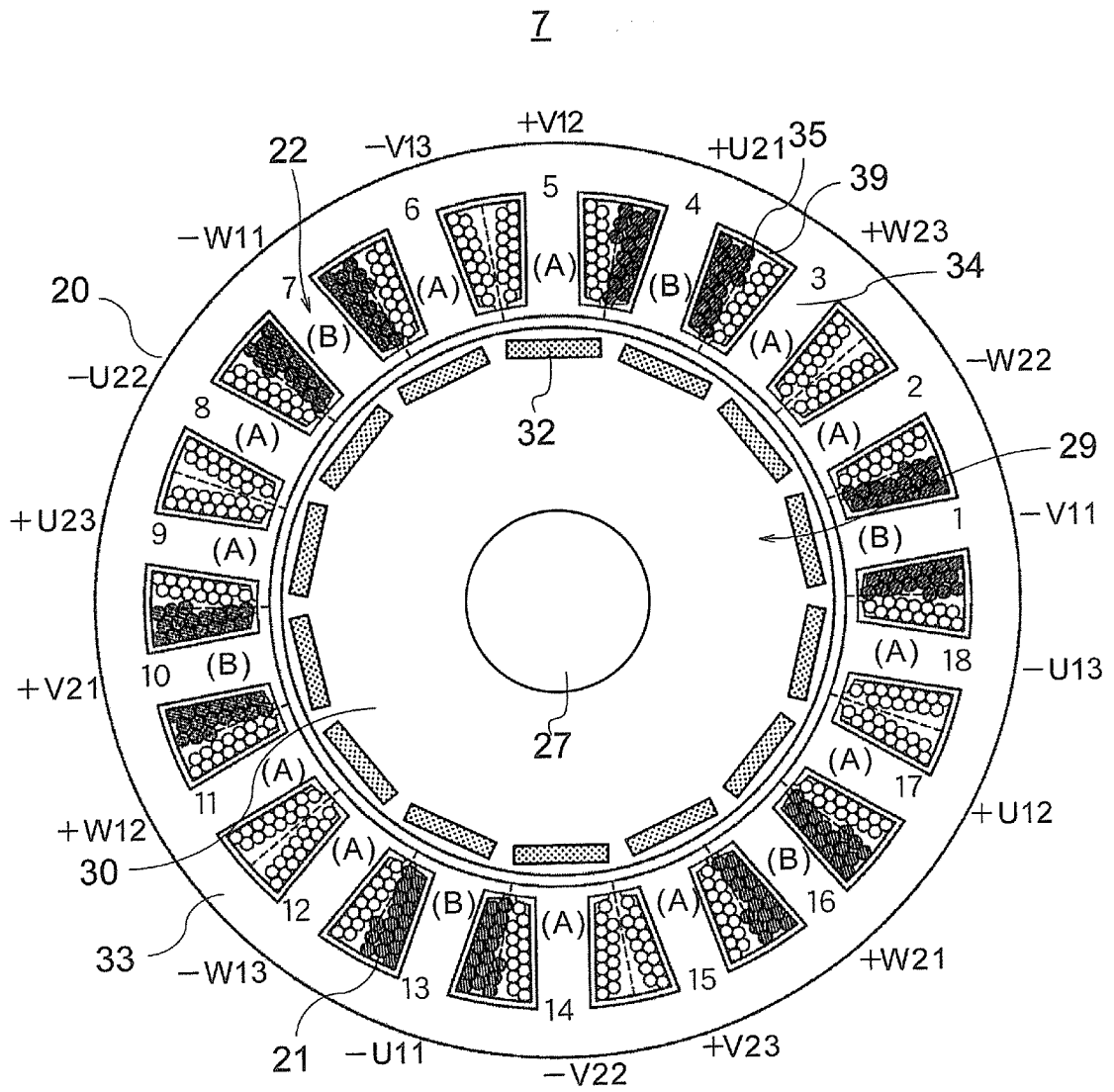
[図8]



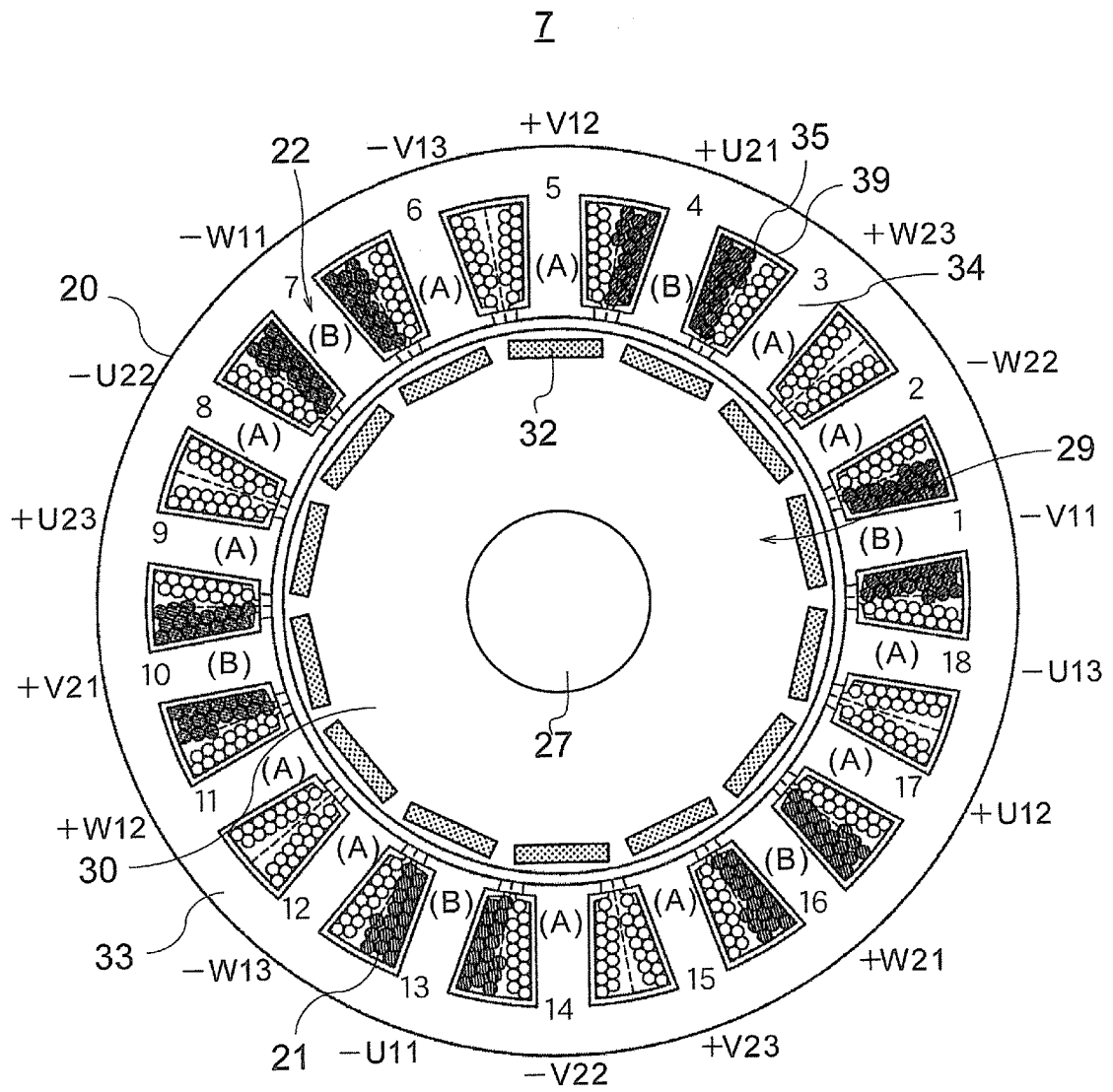
[図9]



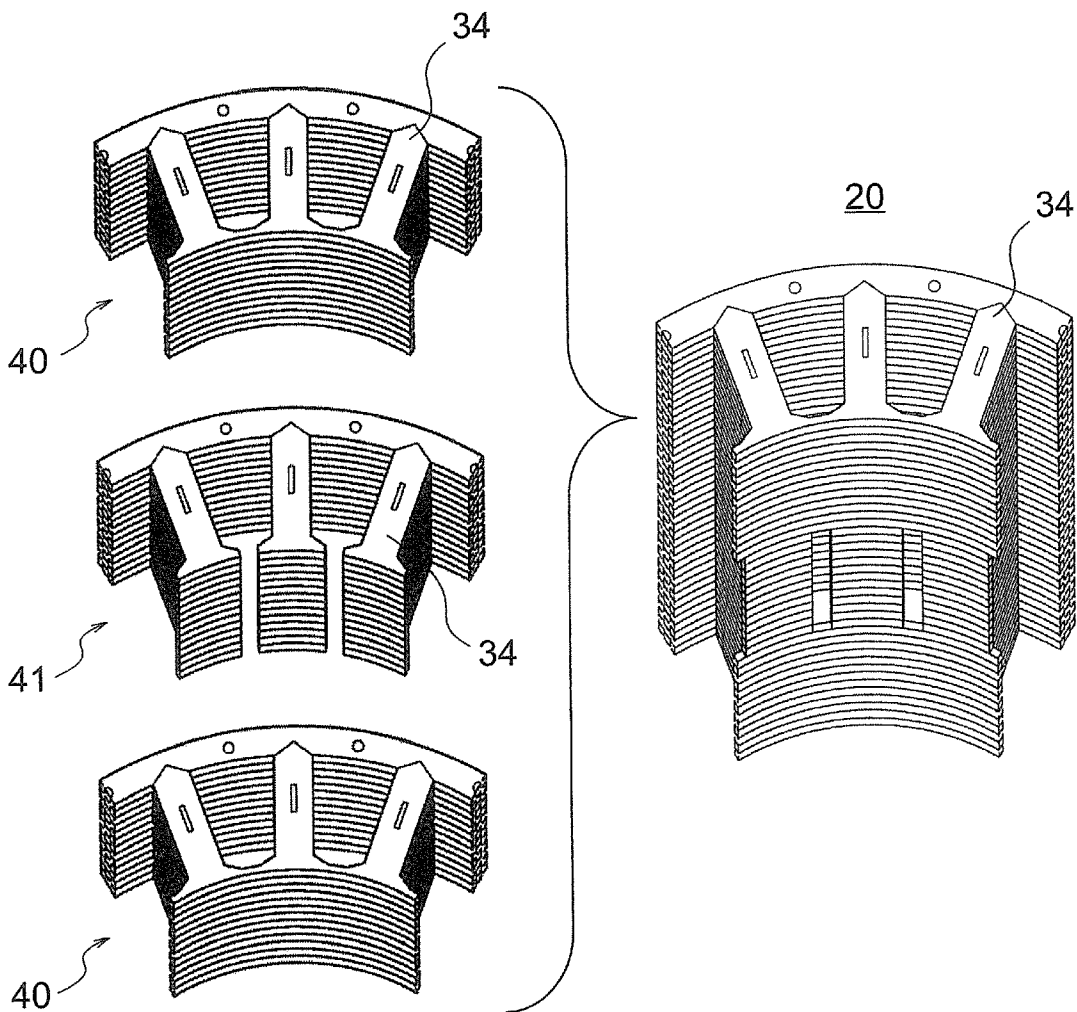
[図10]



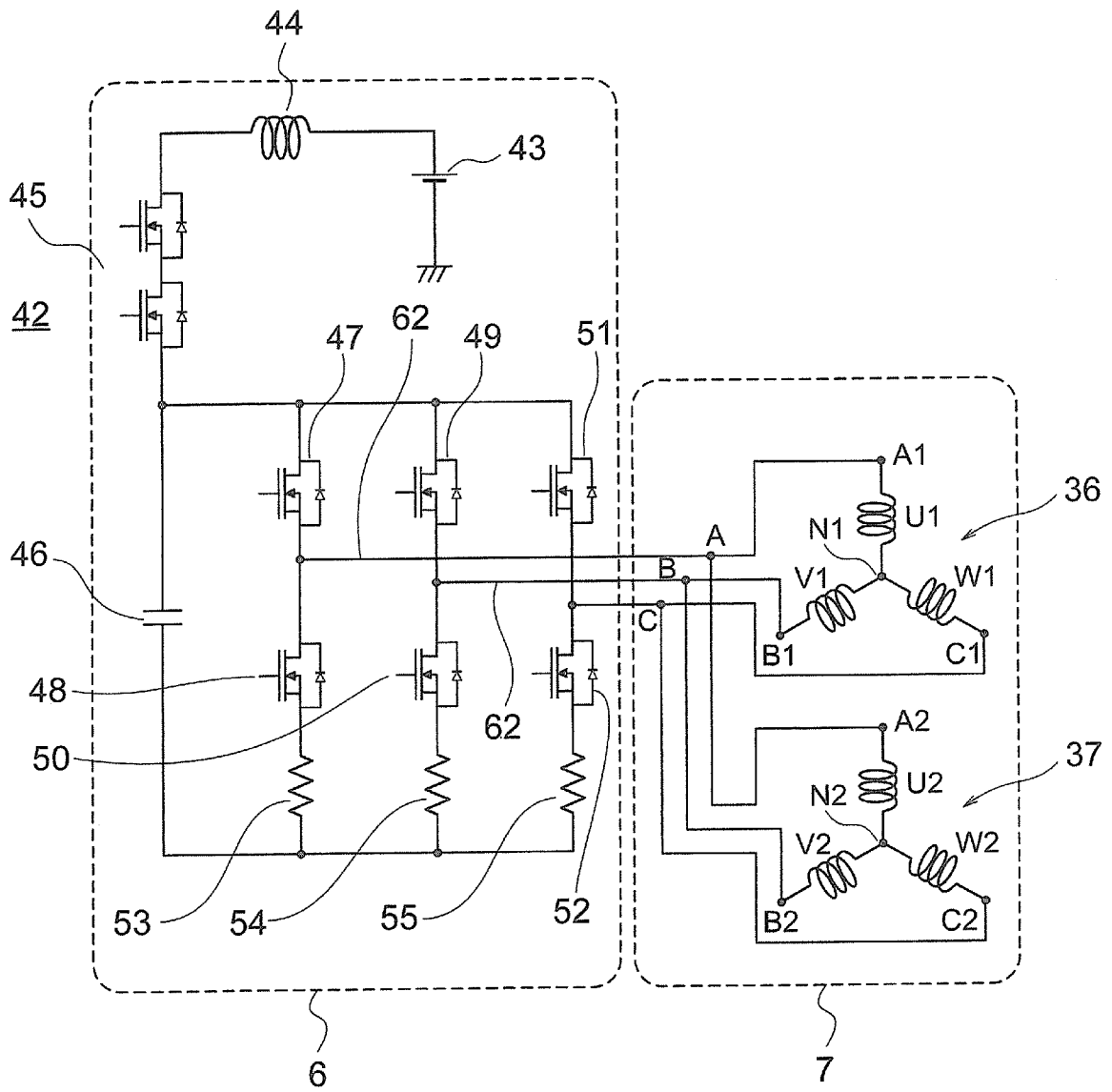
[図11]



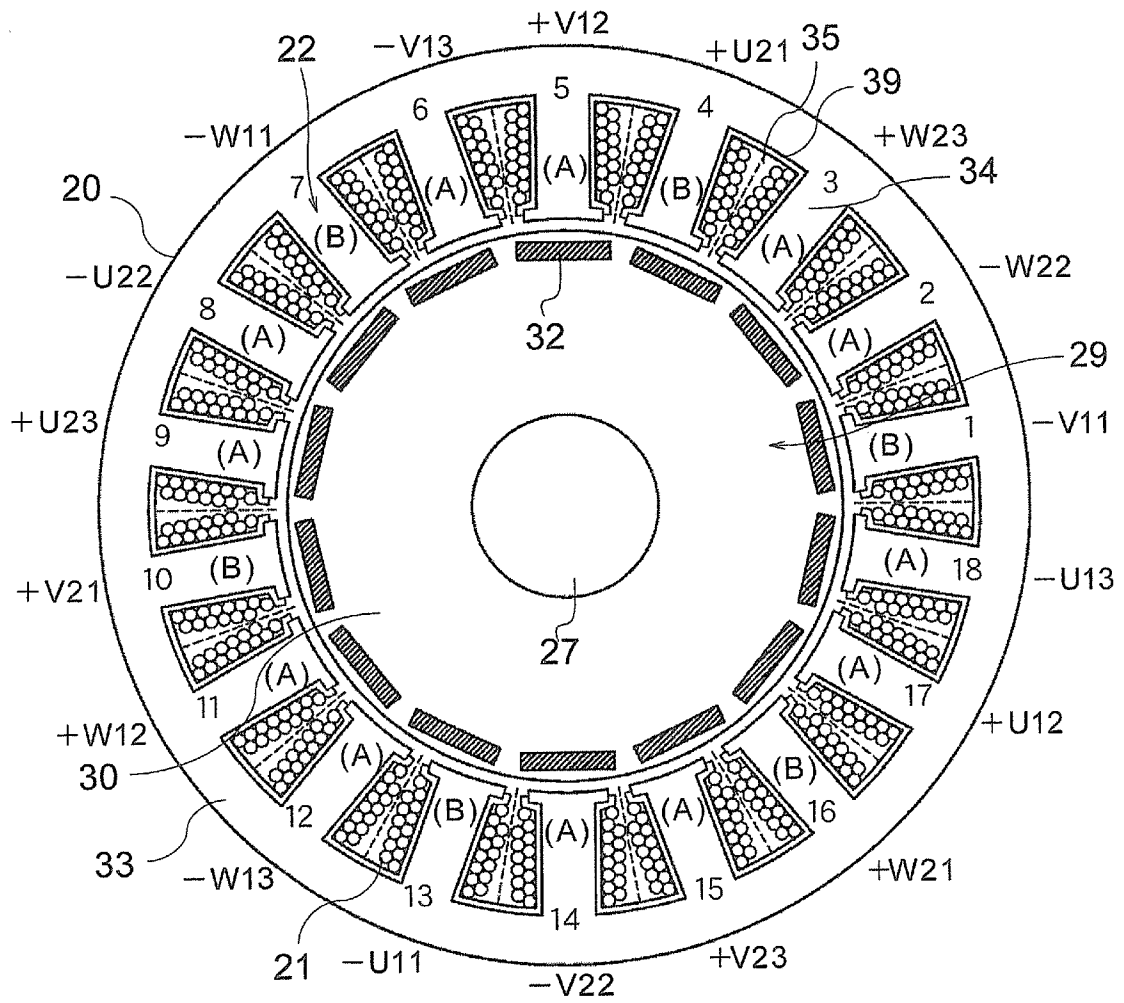
[図12]



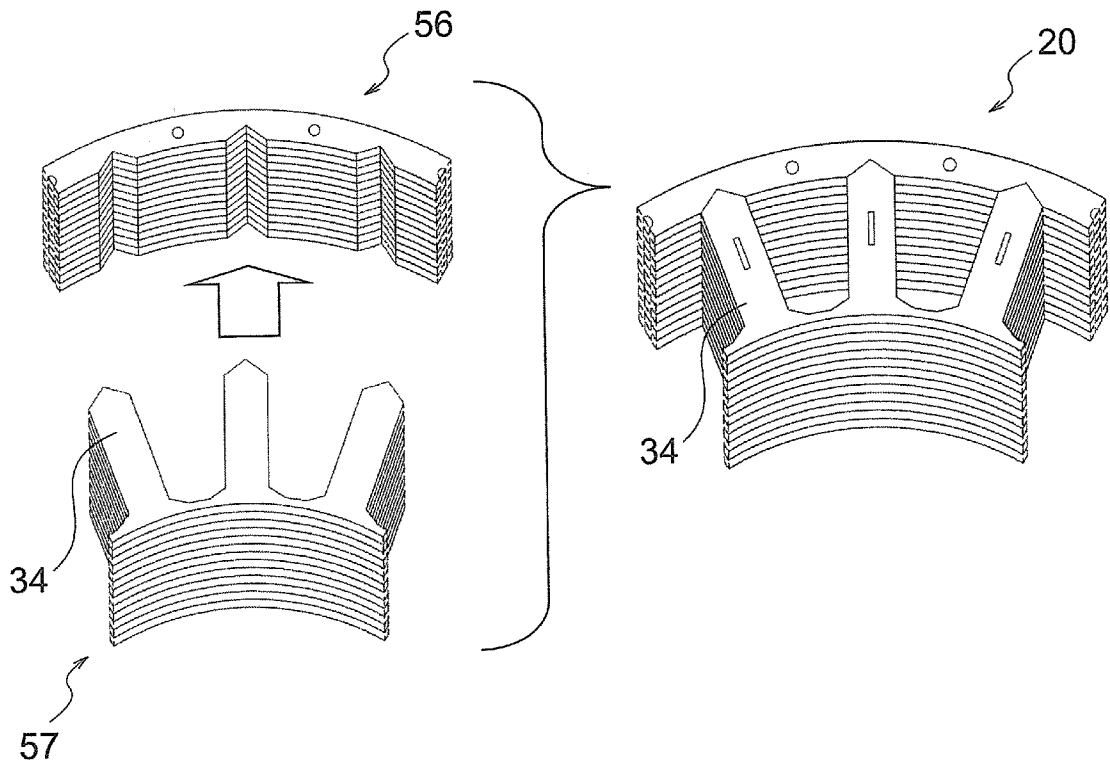
[図13]



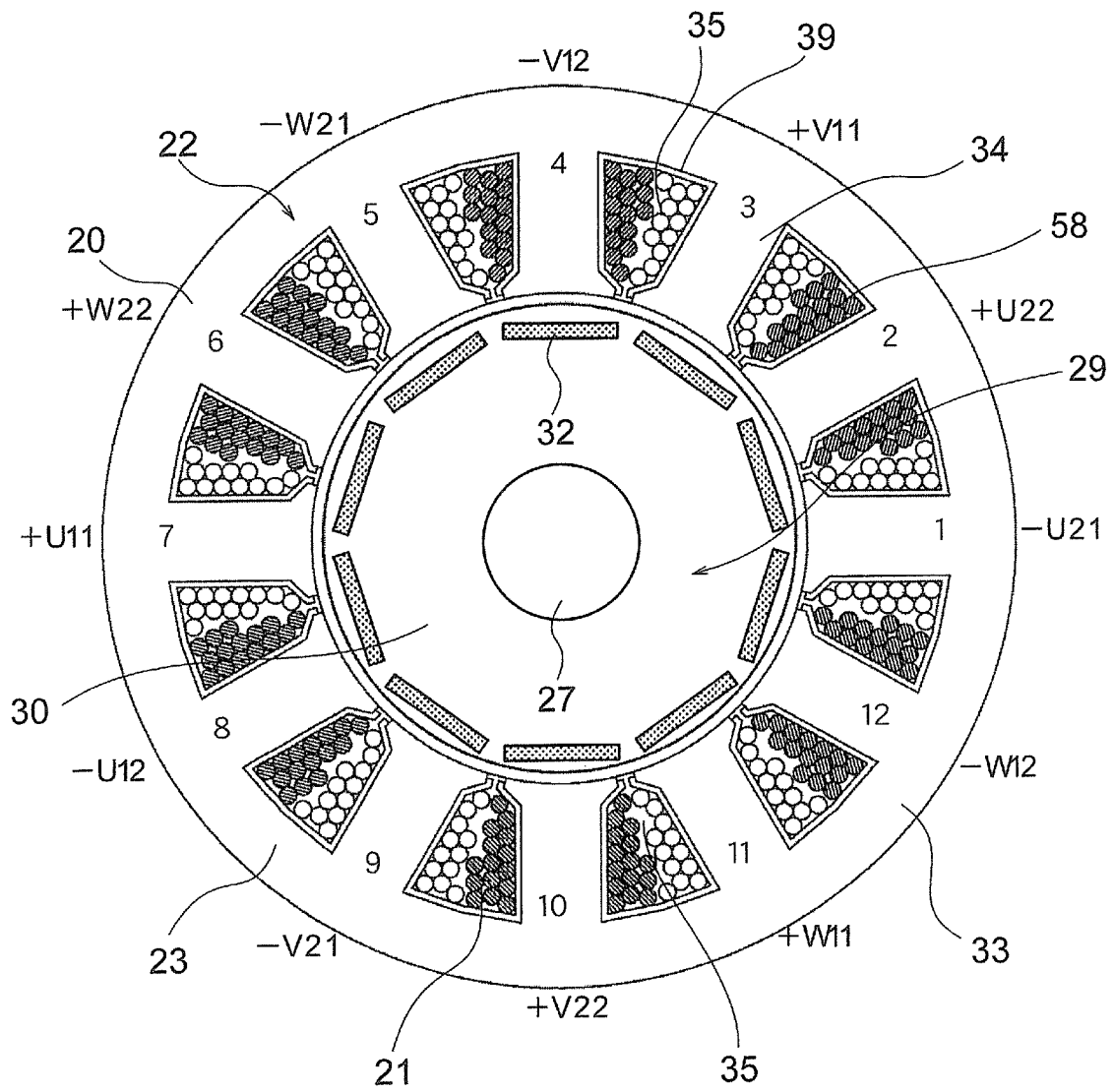
[図14]



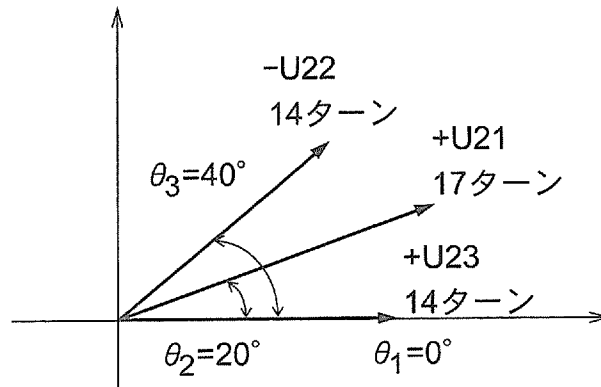
[図15]



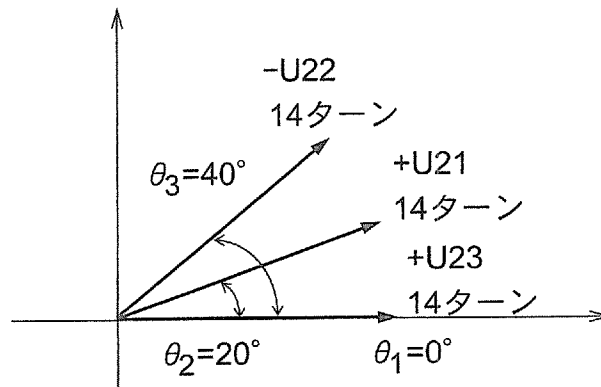
[図16]



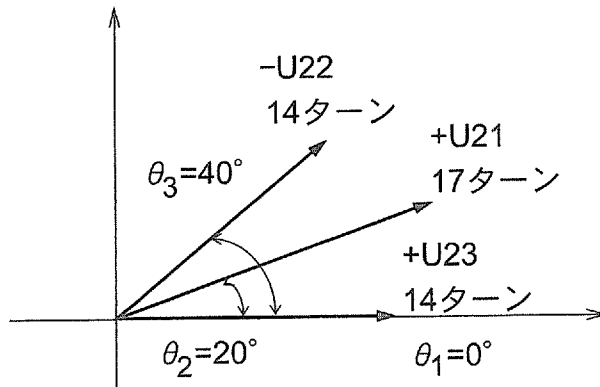
[図17A]



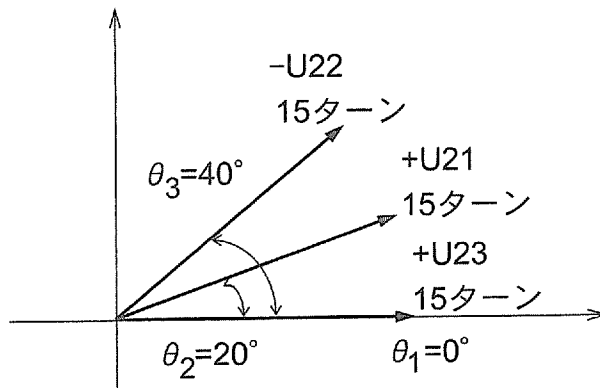
[図17B]



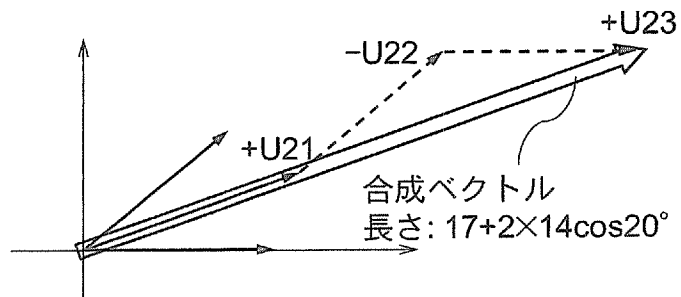
[図18A]



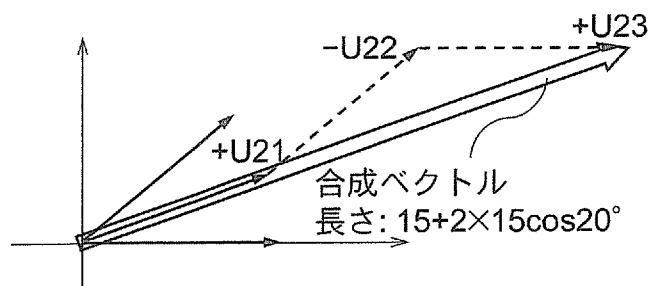
[図18B]



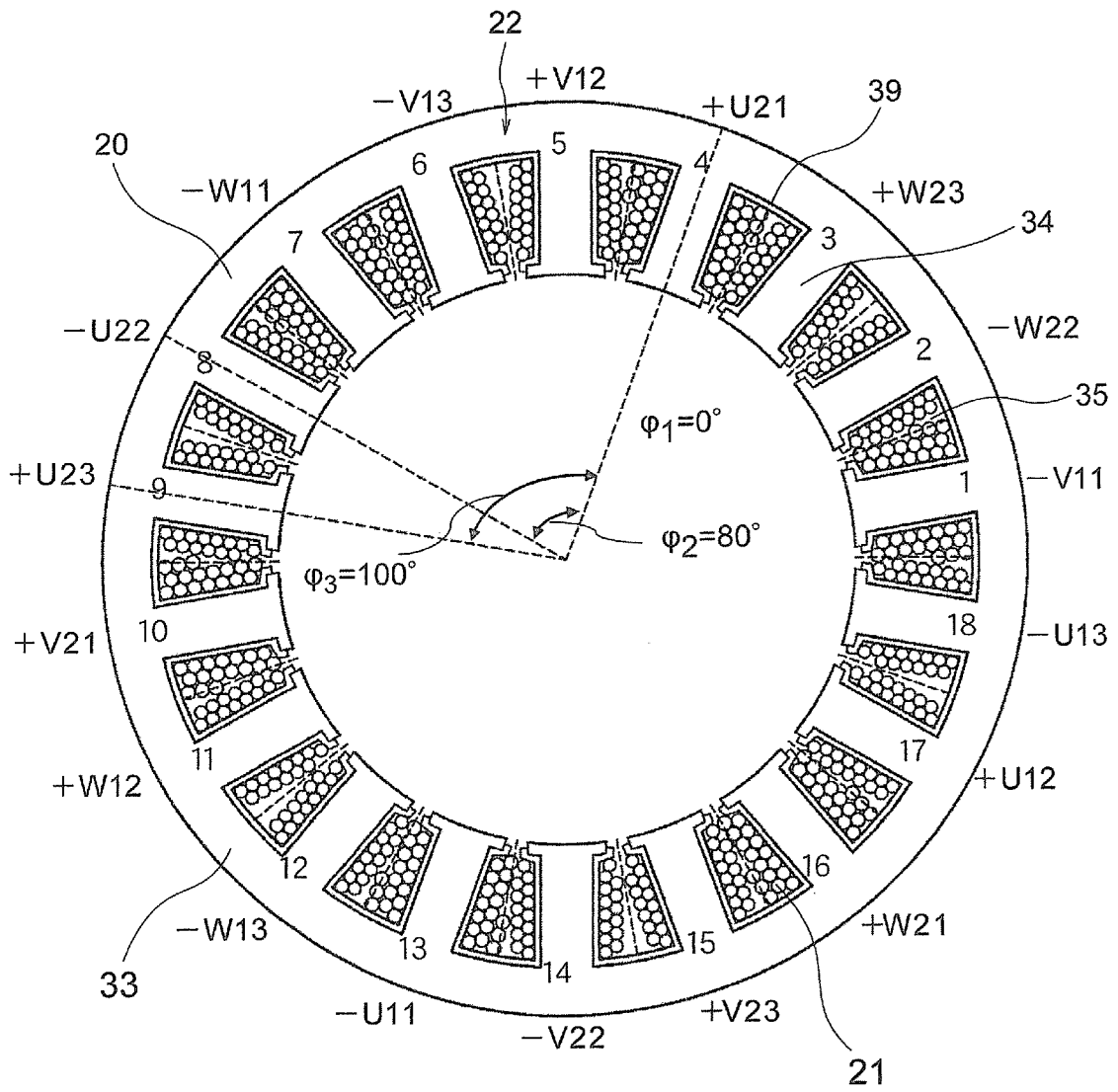
[図19A]



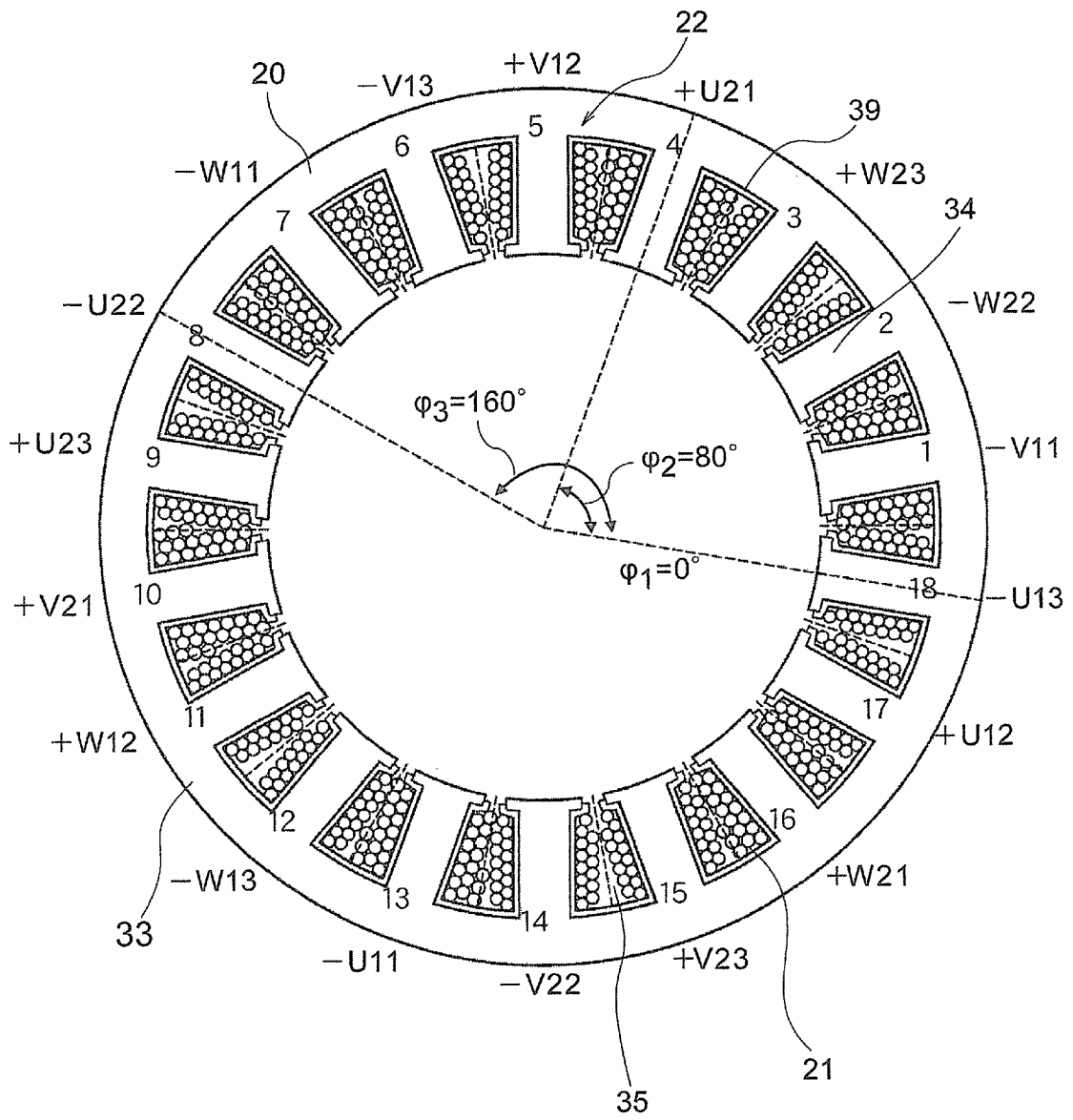
[図19B]



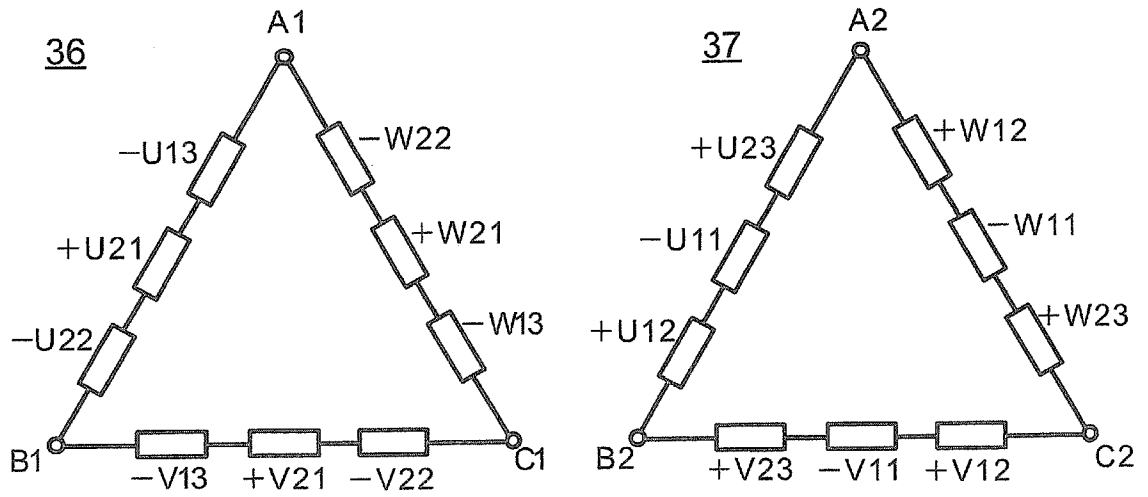
[図20]



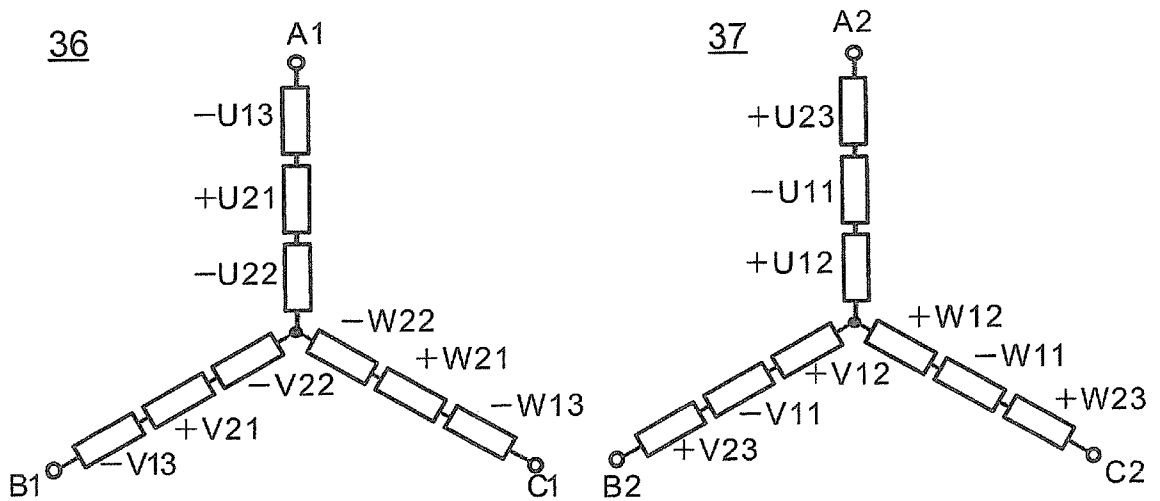
[図21]



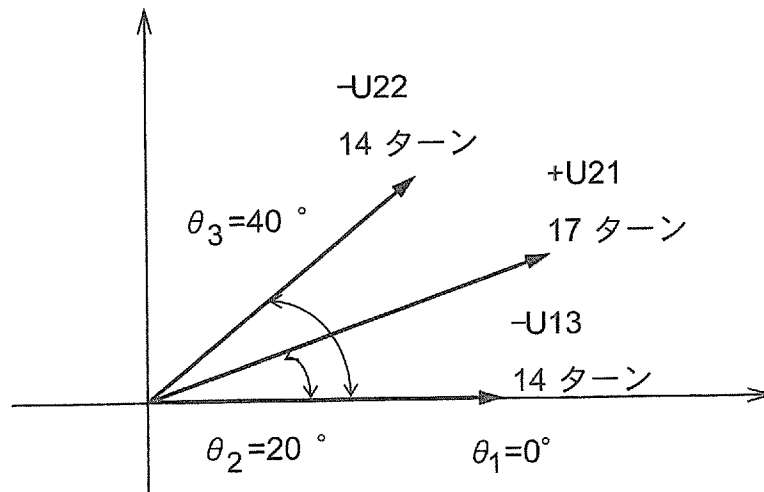
[圖22]



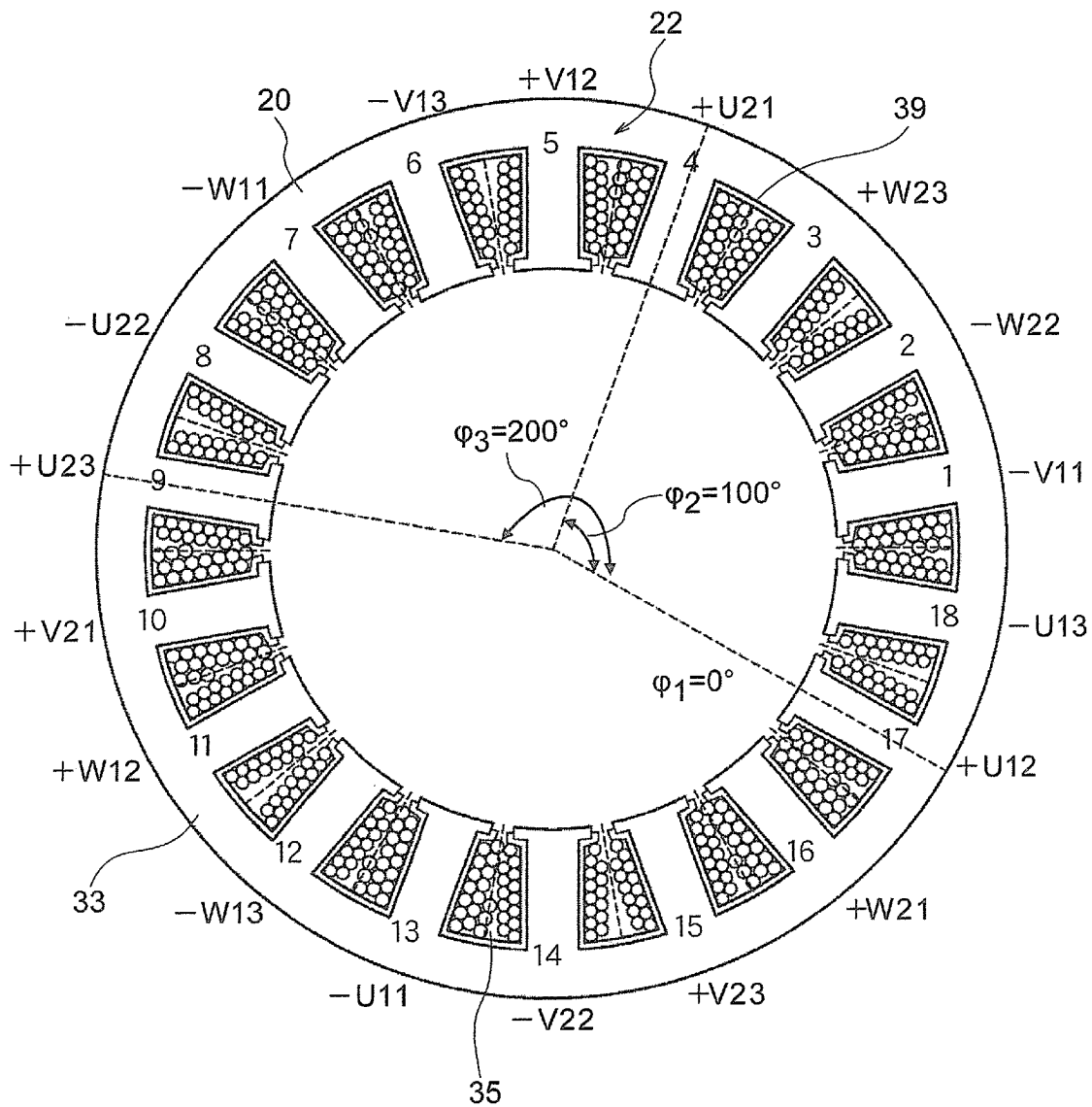
[圖23]



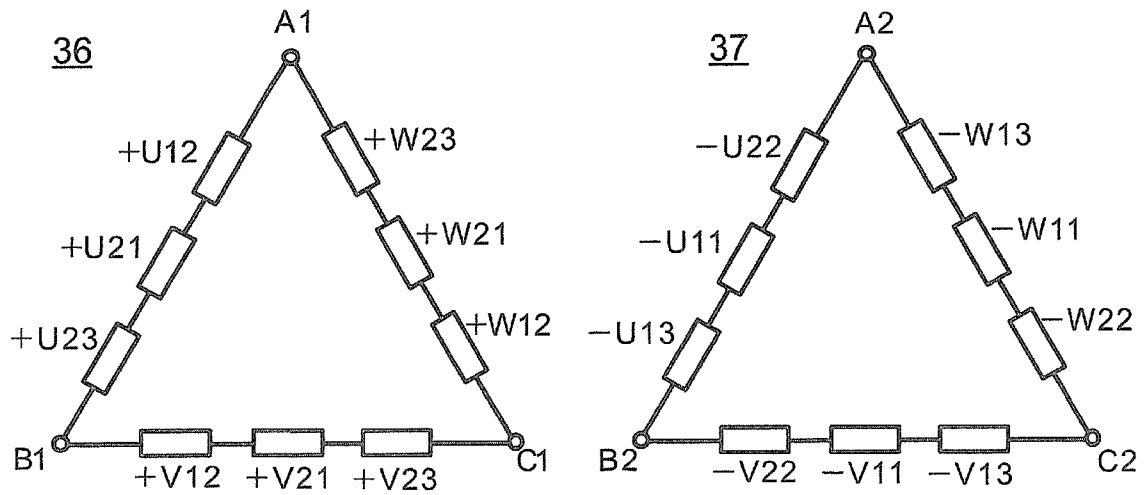
[図24]



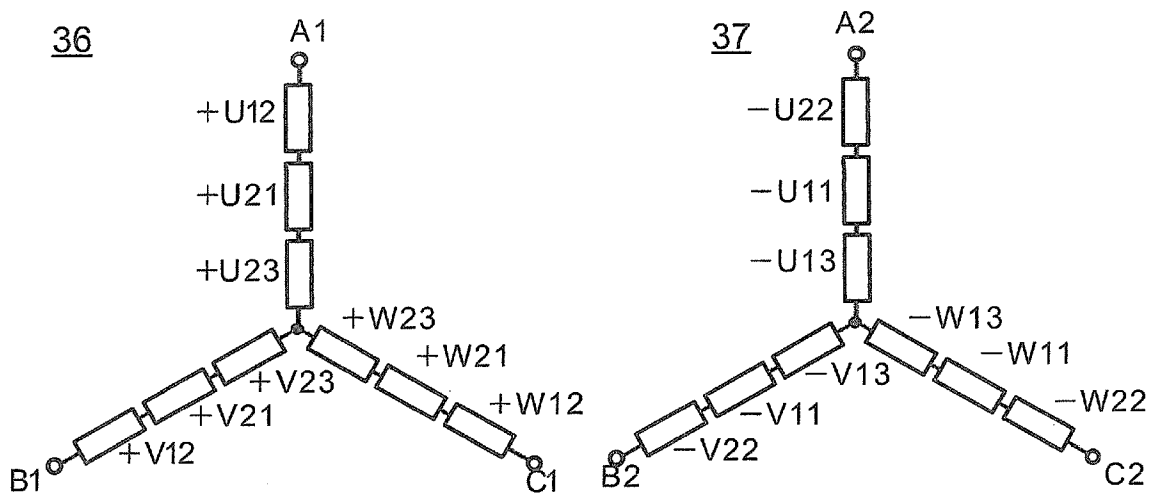
[図25]



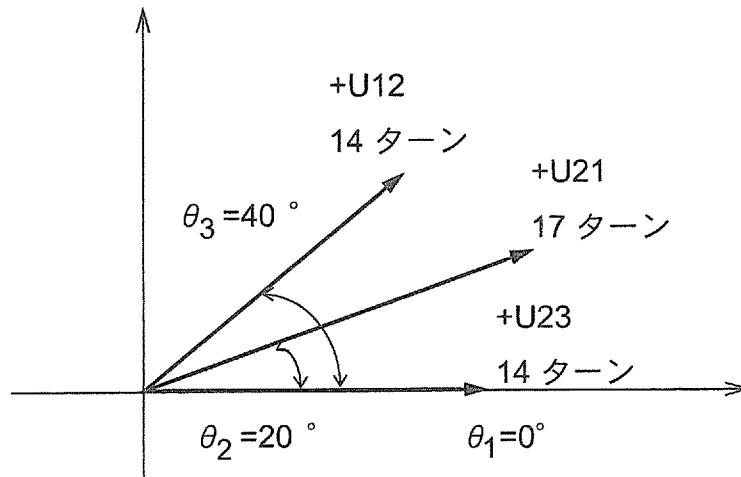
[圖26]



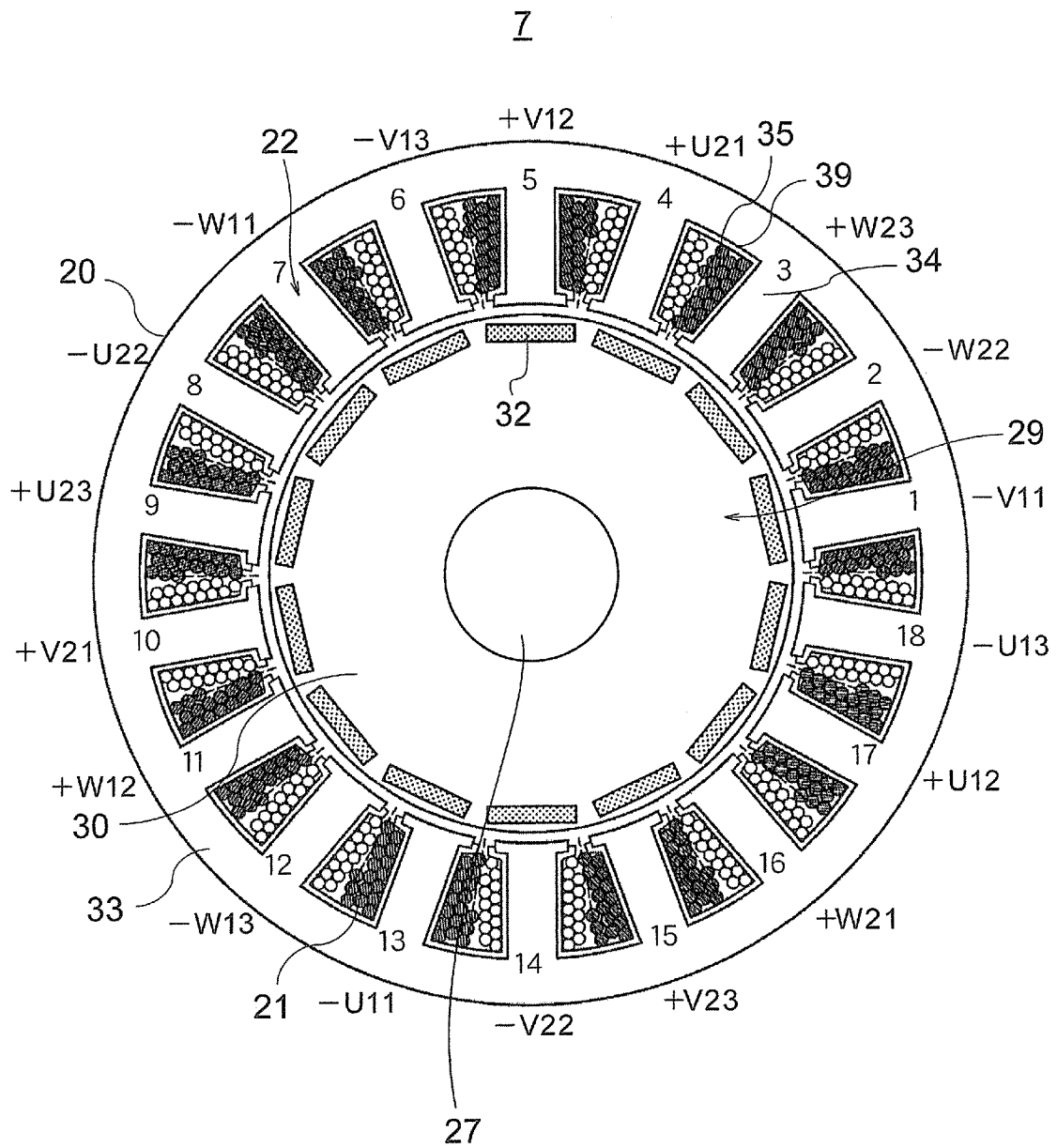
[圖27]



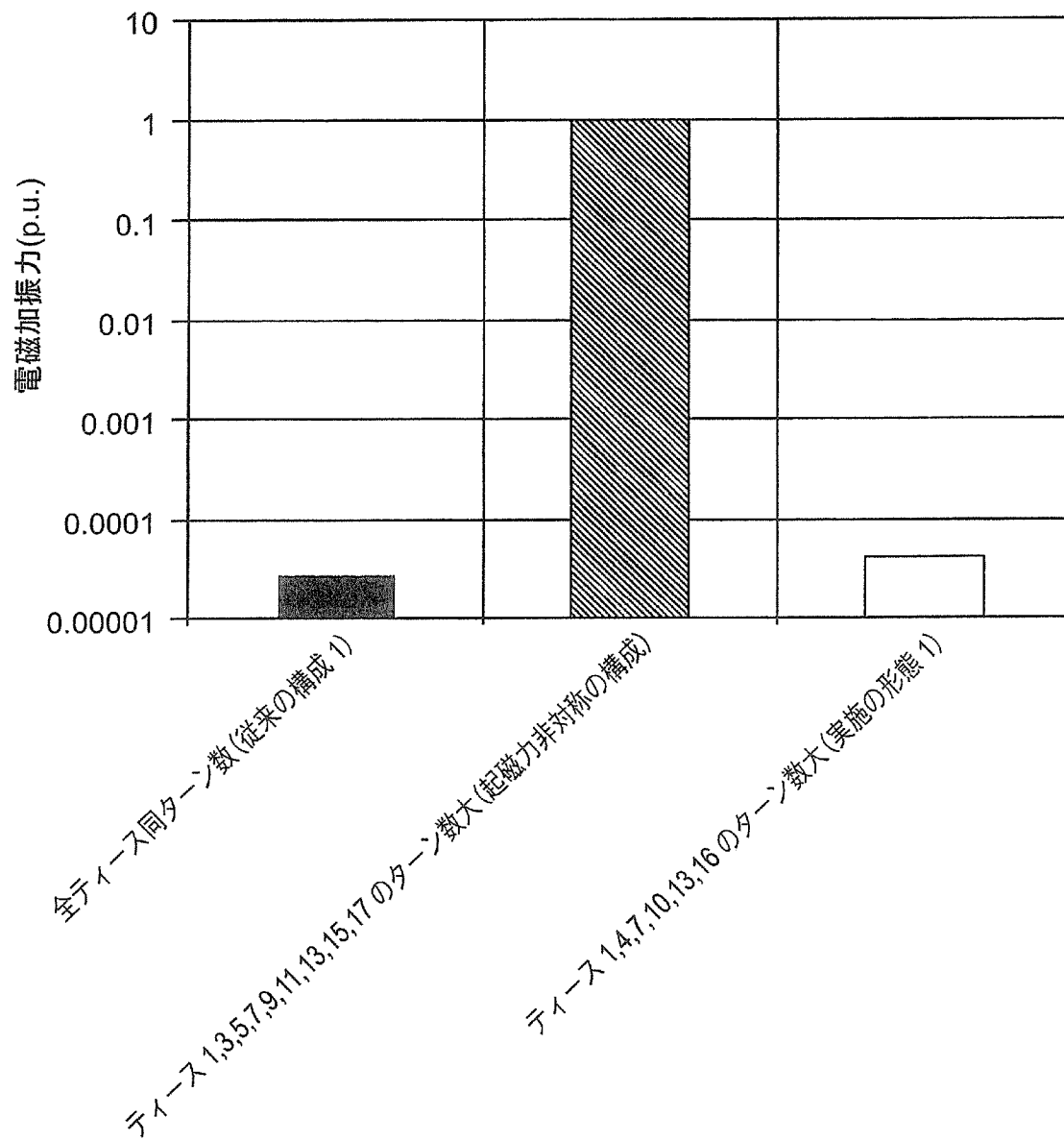
[図28]



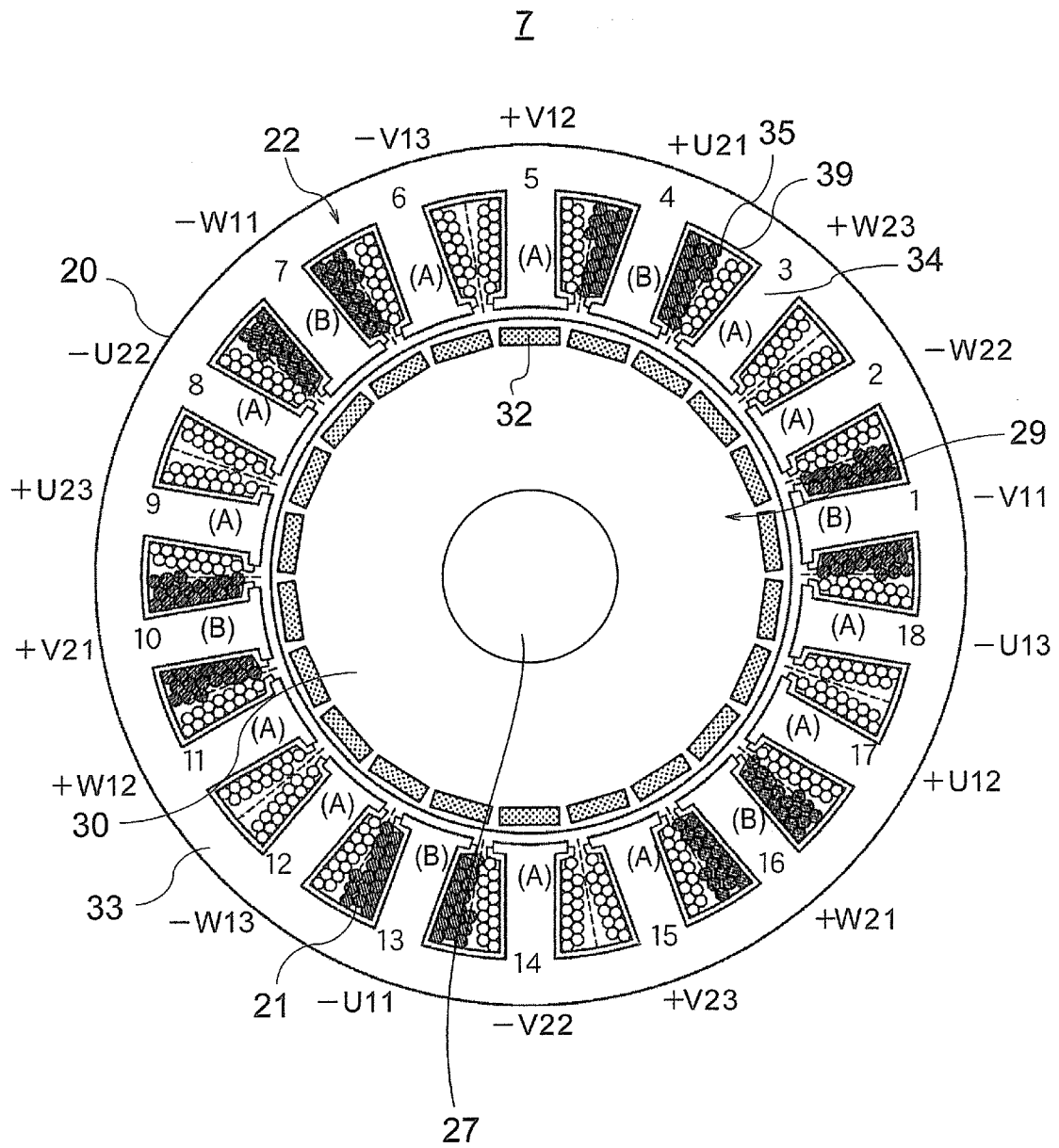
[図29]



[図30]



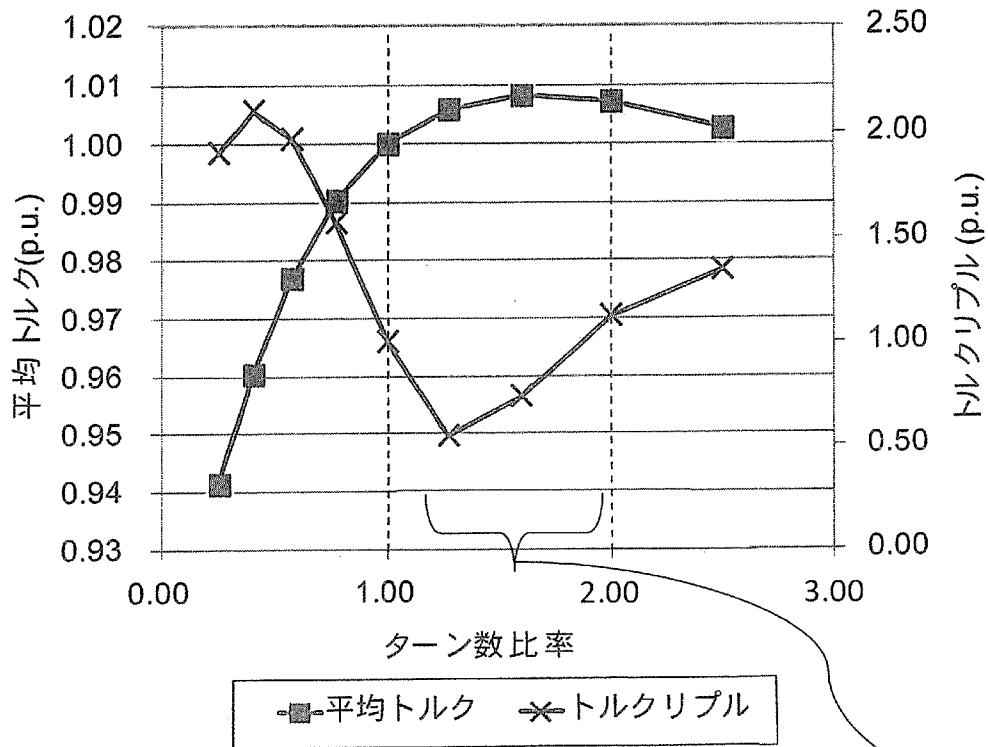
[図31]



[図33]

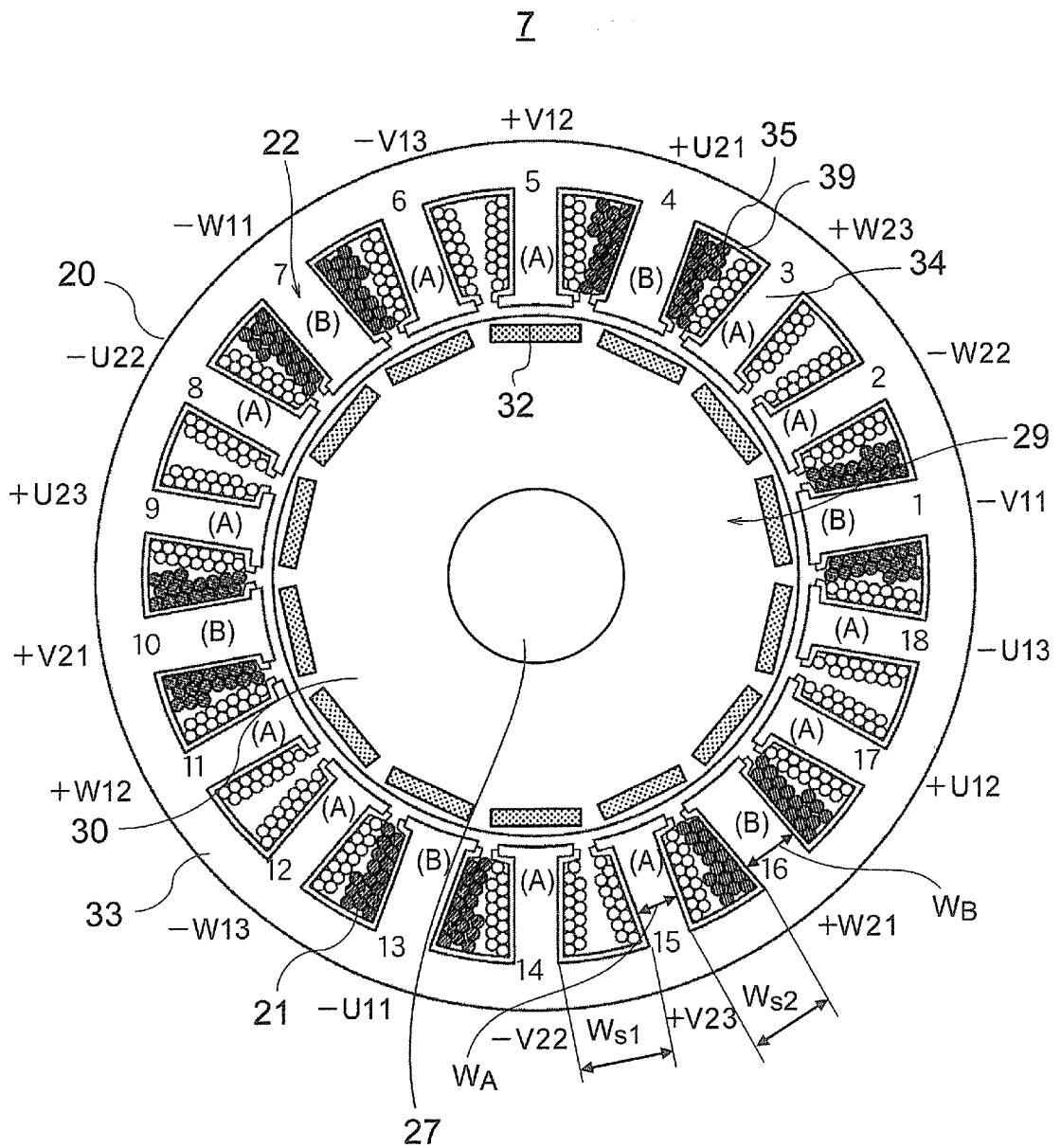
(イ)テイスAの コイル部ターン数	16	15	14	13	12	11	10	9	8
(ロ)テイスBの コイル部ターン数	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ターン数比率 (ロ)/(イ)	0.25	0.40	0.57	0.77	1.00	1.27	1.60	2.00	2.50

[図34]

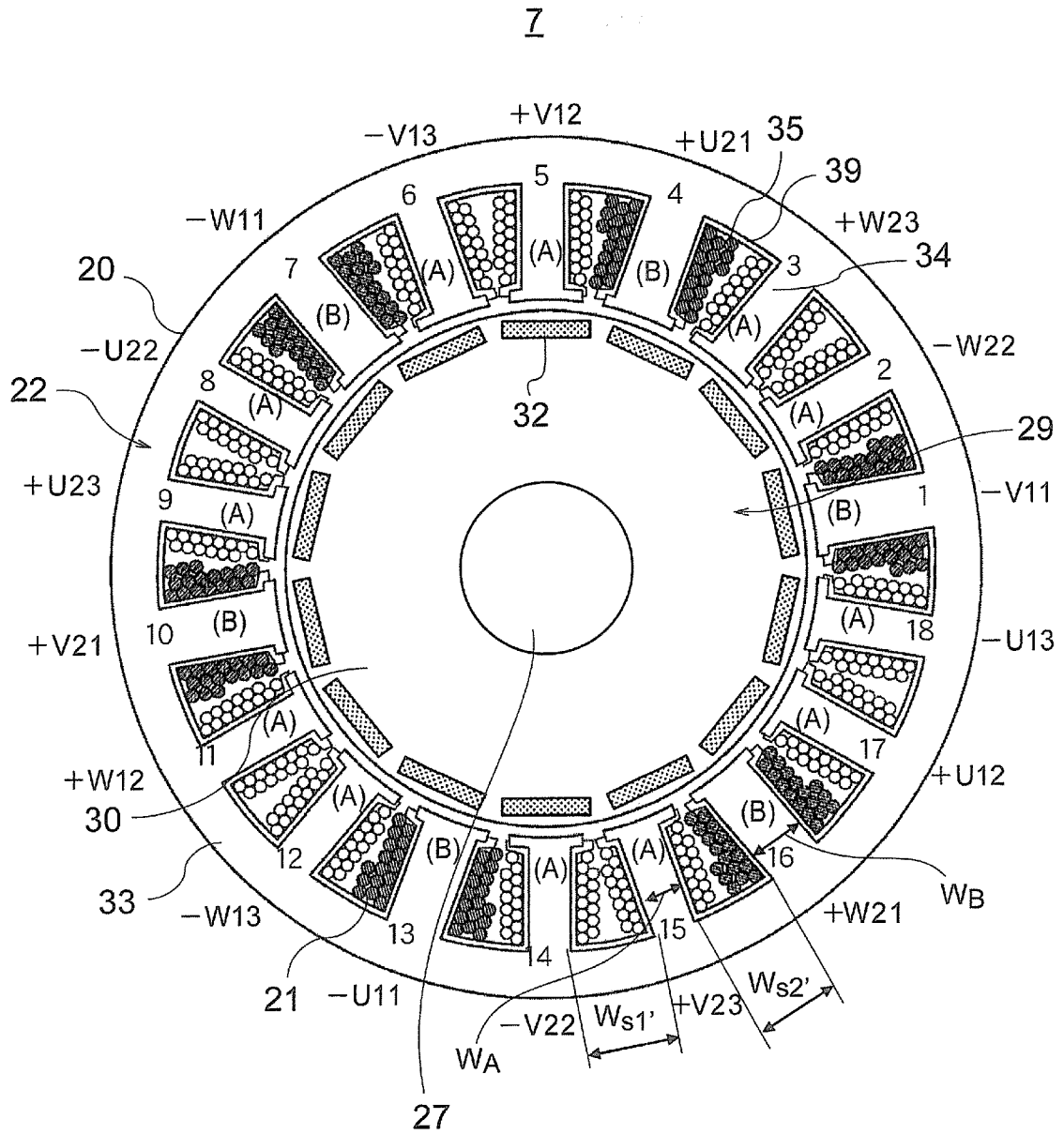


従来（ターン数比率 1）より
平均トルク大・トルクリプル小
の領域

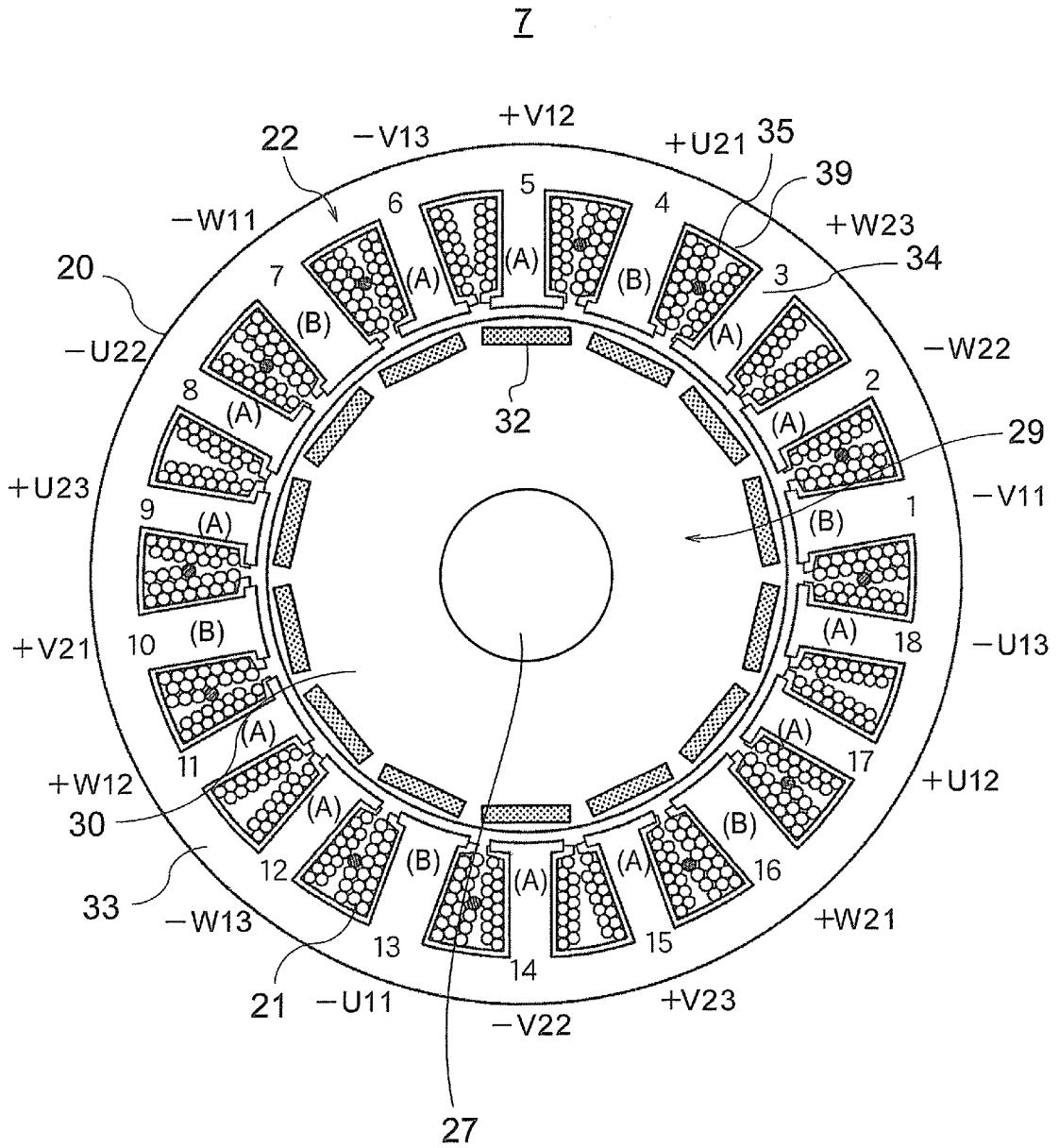
[図35]



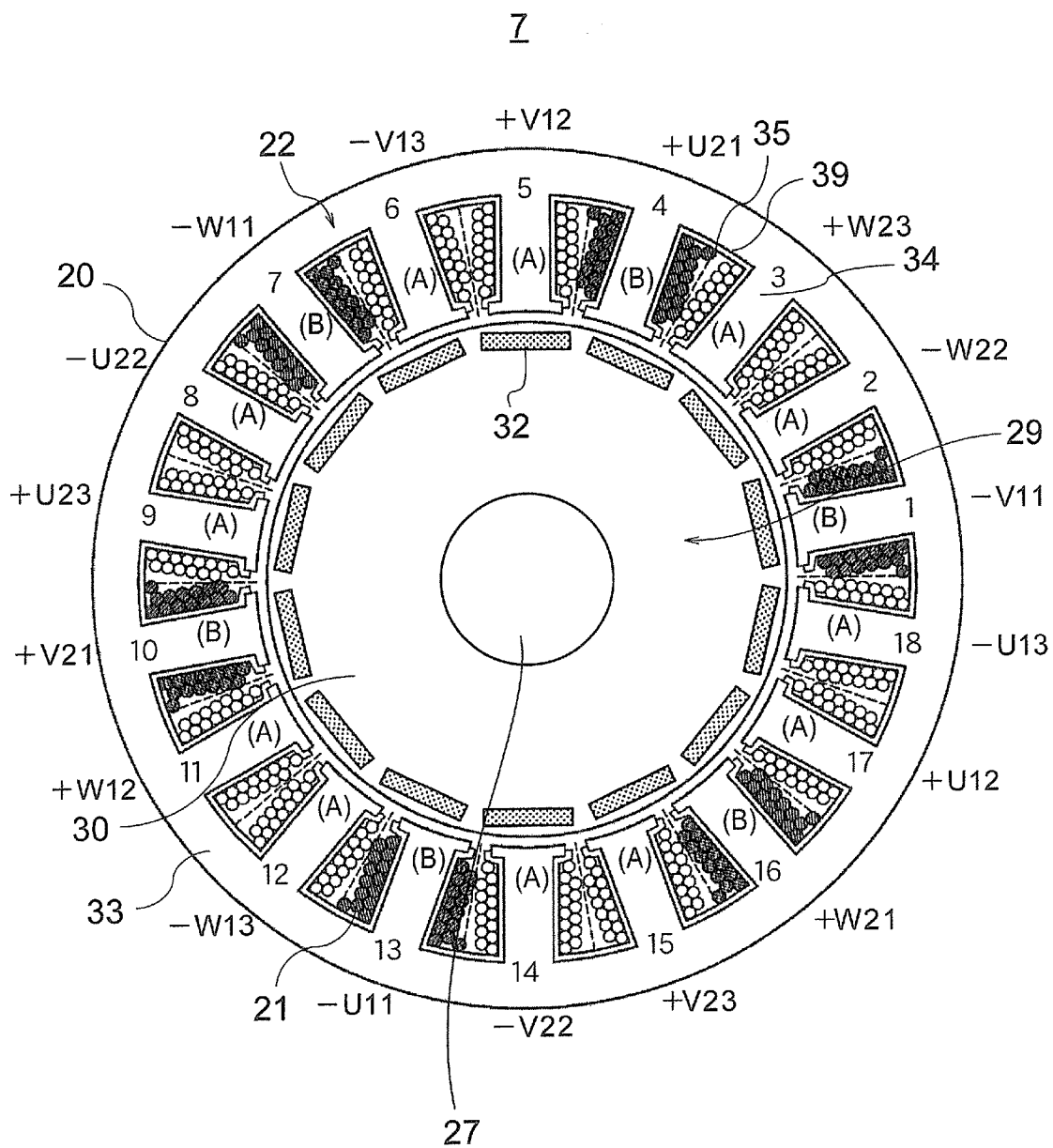
[図36]



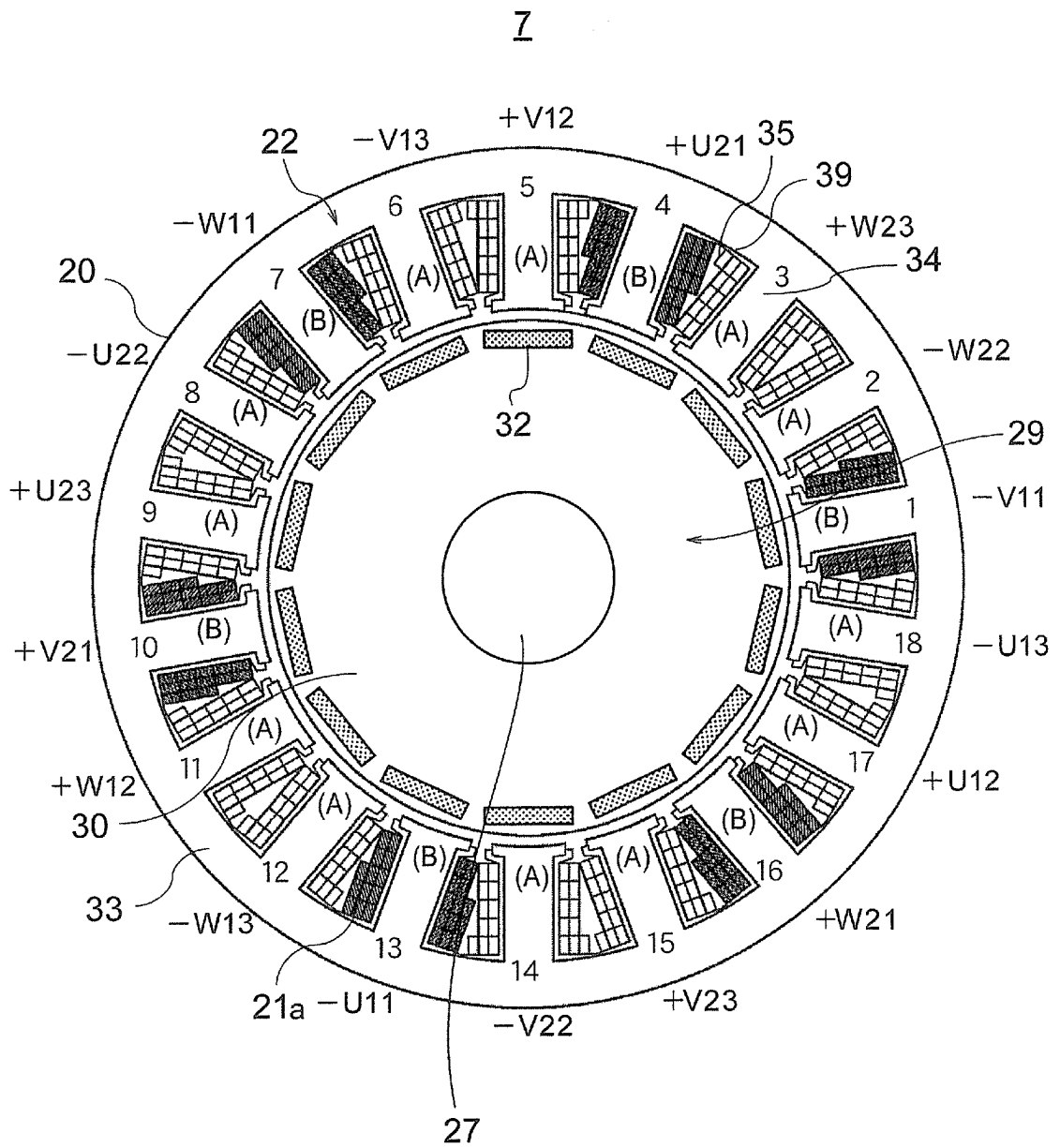
[図37]



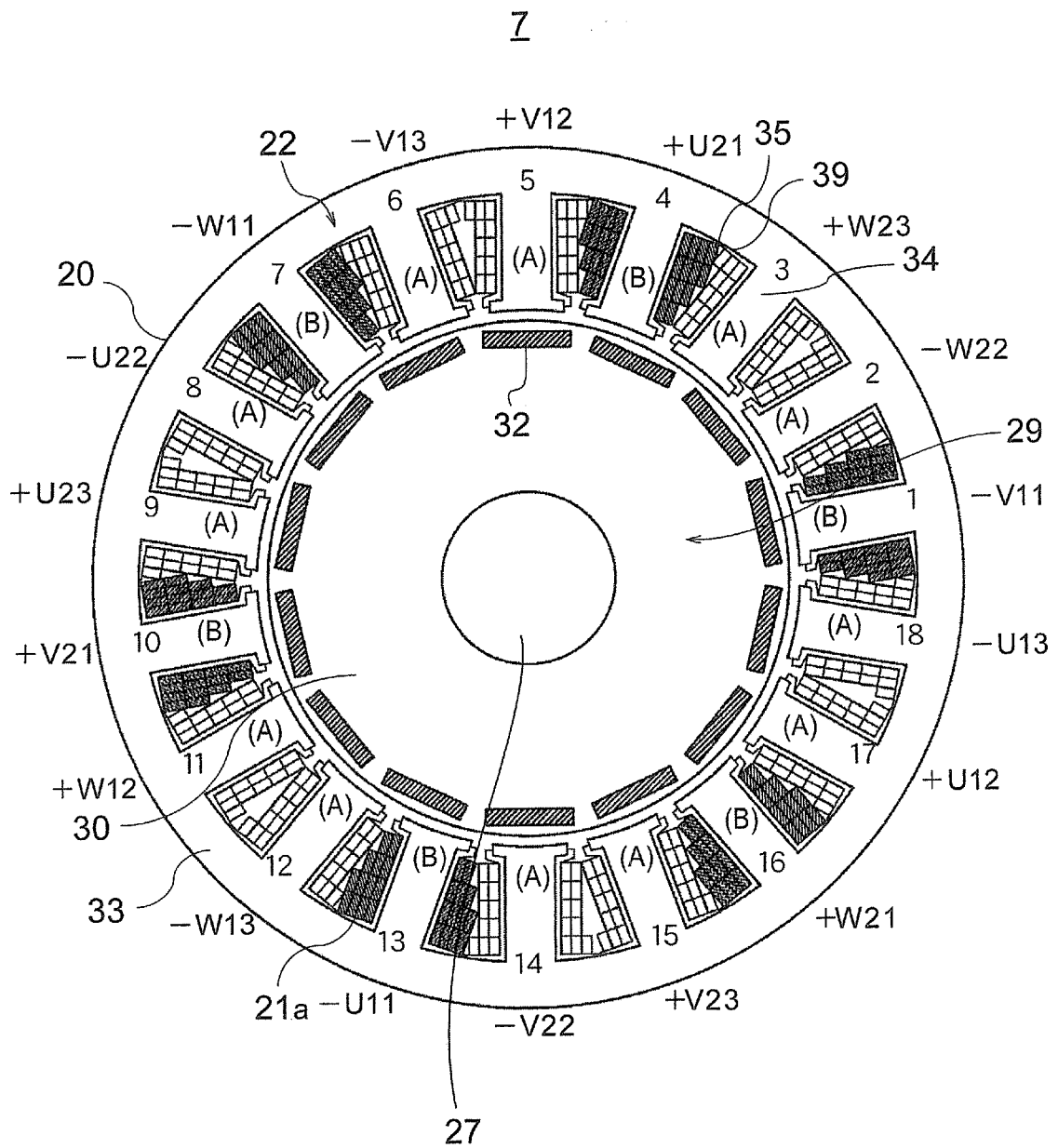
[図39]



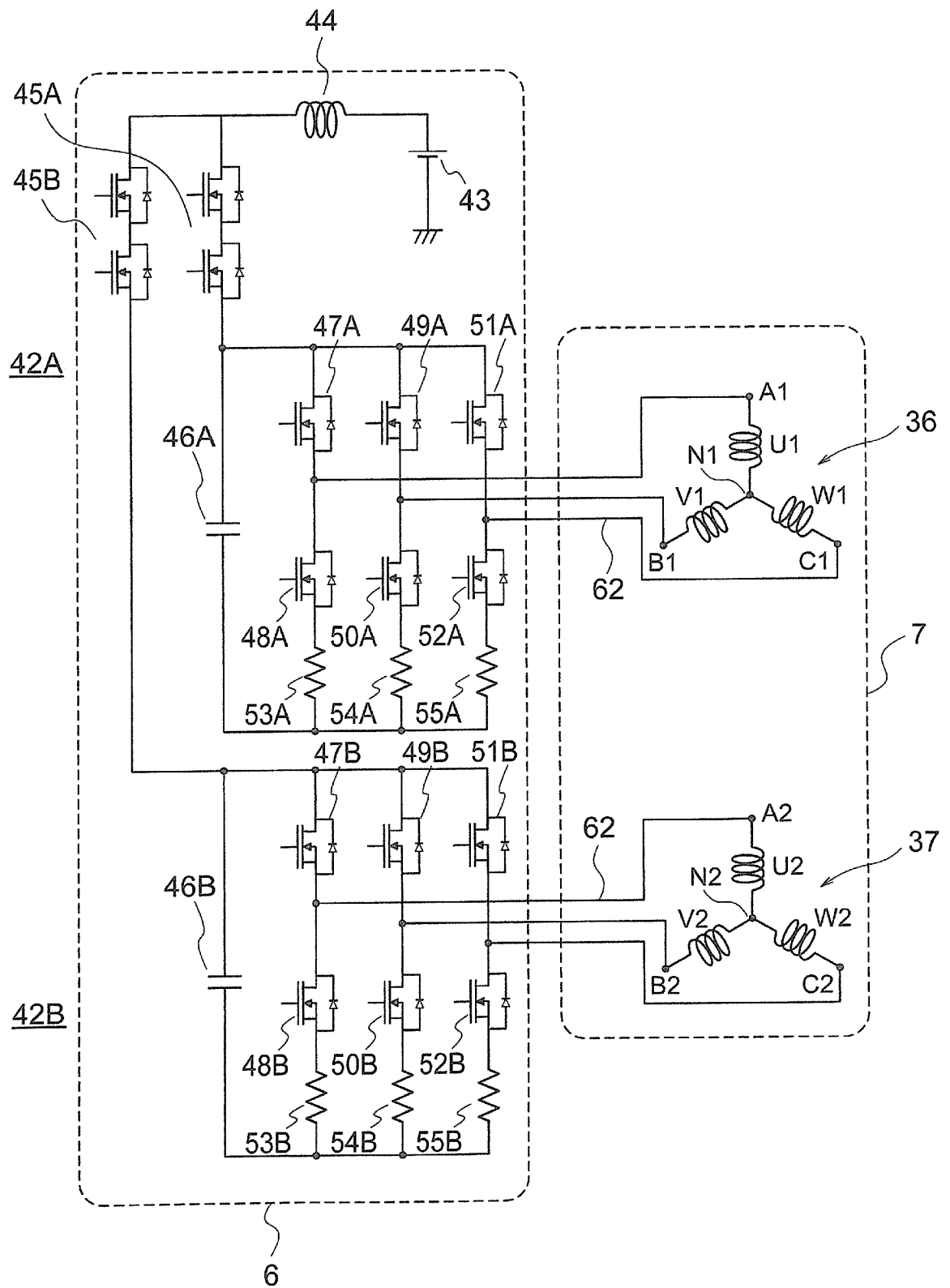
[図40]



[図41]



[図42]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/055896

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02K3/28(2006.01)i, H02K3/18(2006.01)i, H02K21/16(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)
H02K3/28, H02K3/18, H02K21/16

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 2014-68497 A (Hitachi Automotive Systems, Ltd.), 17 April 2014 (17.04.2014), claim 1; paragraphs [0025] to [0026]; fig. 5 to 6 & US 2014/0084728 A1 claim 1; paragraphs [0042] to [0043]; fig. 5 to 6 & DE 102013215641 A1 & CN 103701289 A	1-12
A	JP 2011-223676 A (Mitsubishi Electric Corp.), 04 November 2011 (04.11.2011), claims 1 to 6; fig. 1 to 7, 12 to 15 (Family: none)	1-12

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 13 May 2016 (13.05.16)	Date of mailing of the international search report 24 May 2016 (24.05.16)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/055896

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2013/080374 A1 (Mitsubishi Electric Corp.), 06 June 2013 (06.06.2013), paragraphs [0009] to [0027], [0047] to [0055], [0098] to [0102]; fig. 1 to 11, 19 & US 2014/0346910 A1 paragraphs [0028] to [0064], [0091] to [0105], [0171] to [0176]; fig. 1 to 11, 19 & EP 2787611 A1	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. H02K3/28(2006.01)i, H02K3/18(2006.01)i, H02K21/16(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. H02K3/28, H02K3/18, H02K21/16

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 2014-68497 A（日立オートモティブシステムズ株式会社） 2014.04.17, [請求項1], 段落[0025]-[0026], 図5-6 & US 2014/0084728 A1, [請求項1], 段落[0042]-[0043], 図5-6 & DE 102013215641 A1 & CN 103701289 A	1-12
A	JP 2011-223676 A（三菱電機株式会社）2011.11.04, [請求項1]-[請求項6], 図1-7, 12-15（ファミリーなし）	1-12

☑ 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 13.05.2016	国際調査報告の発送日 24.05.2016
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） 安池 一貴 電話番号 03-3581-1101 内線 3357
	3V 9150

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	WO 2013/080374 A1 (三菱電機株式会社) 2013.06.06, 段落 [0009]-[0027], [0047]-[0055], [0098]-[0102], 図 1-11, 19 & US 2014/0346910 A1, 段落 [0028]-[0064], [0091]-[0105], [0171]-[0176], 図 1-11, 19 & EP 2787611 A1	1-12