

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7446552号
(P7446552)

(45)発行日 令和6年3月8日(2024.3.8)

(24)登録日 令和6年2月29日(2024.2.29)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 K 3/26 (2006.01)

H 0 2 K 3/26 E

請求項の数 12 (全29頁)

(21)出願番号	特願2023-579130(P2023-579130)	(73)特許権者	000006013
(86)(22)出願日	令和5年7月19日(2023.7.19)		三菱電機株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/026448		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
審査請求日	令和5年12月22日(2023.12.22)	(74)代理人	100118762
早期審査対象出願			弁理士 高村 順
		(72)発明者	細野 淳
			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
		(72)発明者	中村 雄一郎
			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
		(72)発明者	森本 朔
			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
		(72)発明者	元吉 研太
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電動機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

円筒形状のプリント基板を備え、前記プリント基板の複数の層が前記円筒形状の径方向に積層された電機子と、

前記電機子に対し前記円筒形状の中心軸の方に配置されている界磁と、を備え、
前記プリント基板は、前記円筒形状の周方向に並べられた複数のコイルを有し、
複数の前記コイルの各々は、線状の導体からなり、

前記プリント基板の上における前記導体の幅を x 、および前記径方向における前記導体の厚さを y 、として、

前記電機子において前記径方向に積層される前記層の数には、あらかじめ設定された範囲に前記 y の値が包含されるときの前記層の数が決定され、

前記電機子における前記コイルが配置される領域であるスロットのうち前記周方向に垂直な断面における、前記導体の断面積を S として、

決定された数の前記層が積層されてなる前記電機子において、前記 x および前記 y の組には、前記 S の値を最大にさせる、前記 x である x_{opt} および前記 y である y_{opt} の組が設定される

ことを特徴とする電動機。

【請求項2】

前記プリント基板は、複数の前記コイルが形成されているコア基板と、複数の前記層においてコイル同士の間に設けられている絶縁層と、を備え、

10

20

前記プリント基板の上の前記コイルにおける導体同士の間隔を c 、前記プリント基板の層ごとに形成されている前記導体の数を f 、前記径方向における前記コア基板の厚さを h 、前記径方向における前記絶縁層の厚さを m 、前記電機子における前記コイルが配置される領域であるスロットの数を n 、スロット 1 つ当たりの前記コイルの巻数を T 、前記電機子において前記径方向に積層されている前記プリント基板の層の数を N 、前記電機子の外径を D 、前記電機子の内径を d 、および前記コイルの中心のスペースである内周部の、前記径方向における幅を a 、として、

前記 x_{opt} は、次の式 (1) を満足し、

前記 y_{opt} は、次の式 (2) を満足する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電動機。

10

【数 1】

$$x_{opt} = \frac{fN}{T} \left\{ \frac{\pi(D+d)}{2n} - \frac{a}{2} - \left(\frac{T}{fN} - 1 \right) c \right\} \quad \dots (1)$$

【数 2】

$$y_{opt} = \frac{D - d - 2hN - 2m(N+1)}{2fN} \quad \dots (2)$$

20

【請求項 3】

前記界磁に備わる磁極と前記電機子における前記コイルが配置される領域であるスロットとの組であって一定数の前記磁極と一定数の前記スロットとの組を前記電動機の単位構造として、前記電動機は、1 つ以上の前記単位構造からなり、

前記プリント基板は、複数の前記コイルが形成されているコア基板と、複数の前記層においてコイル同士の間設けられている絶縁層と、を備え、

前記プリント基板の上の前記コイルにおける導体同士の間隔を c 、前記プリント基板の層ごとに形成されている前記導体の数を f 、前記径方向における前記コア基板の厚さを h 、前記径方向における前記絶縁層の厚さを m 、前記単位構造における前記スロットの数を n 、スロット 1 つ当たりの前記コイルの巻数を T 、前記電機子において前記径方向に積層されている前記プリント基板の層の数を N 、前記電機子のうち前記単位構造を構成する部分の、前記周方向における長さを L 、前記径方向における前記スロットの長さを H 、および前記コイルの中心のスペースである内周部の、前記径方向における幅を a 、として、

30

前記 x_{opt} は、次の式 (3) を満足し、

前記 y_{opt} は、次の式 (4) を満足する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の電動機。

【数 3】

$$x_{opt} = \frac{fN}{T} \left\{ \frac{L}{n'} - \frac{a}{2} - \left(\frac{T}{fN} - 1 \right) c \right\} \quad \dots (3)$$

40

【数 4】

$$y_{opt} = \frac{H - hN - m(N+1)}{fN} \quad \dots (4)$$

【請求項 4】

前記 y_{opt} は、0.03 mm から 0.12 mm までに包含される厚さである

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 つに記載の電動機。

【請求項 5】

50

複数の前記コイルは集中巻により配置されており、

前記コイルの中心のスペースである内周部の、前記径方向における幅を a 、および互いに隣り合うコイル同士の間隔を b 、として、

前記 a および前記 b の組には、前記コイルの巻線係数を最大にさせる、前記 a である a_{opt} および前記 b である b_{opt} の組が設定される

ことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の電動機。

【請求項 6】

前記電動機に適用される磁極の数を p 、および複数の前記磁極が配置されるピッチを τ_p として、

前記 a_{opt} は、次の式 (5) を満足し、

前記 b_{opt} は、次の式 (6) を満足する

ことを特徴とする請求項 5 に記載の電動機。

【数 5】

$$0 < a'_{opt} < \frac{\tau_p}{2} \quad \dots (5)$$

【数 6】

$$0 < b'_{opt} < \left(\frac{p}{n} - \frac{1}{2} \right) \tau_p \quad \dots (6)$$

【請求項 7】

複数の前記コイルは集中巻により配置されており、

M を 1 以上かつ前記 N 未満の整数として、前記プリント基板の複数の前記層のうち前記円筒形状の前記中心軸の方から M 番目の前記層のうち前記円筒形状の巻き終わりに最も近い前記コイルと、前記プリント基板の複数の前記層のうち前記円筒形状の前記中心軸の方から $M + 1$ 番目の前記層のうち前記円筒形状の巻き始めに最も近い前記コイルとの間の距離を b 、前記プリント基板の複数の前記層の各々におけるコイル同士の間隔を b 、および前記周方向における前記スロットの幅を W 、として、

前記 b は、次の式 (7) を満足する

ことを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の電動機。

【数 7】

$$b \leq b'' < \sqrt{b^2 + (h + yf + 2m)^2 - 2b(h + yf + 2m) \cos \left(\frac{(2-n)\pi}{2n} - \frac{NW}{MD + d \left\{ N - \left(M - \frac{1}{2} \right) \right\}} \right)} \quad \dots (7)$$

【請求項 8】

前記層における前記コイルが形成されている領域であるコイル部のうち前記中心軸の方の端の、前記周方向における幅を W_1 、および前記コイル部のうち前記中心軸とは逆の方の端の、前記周方向における幅を W_2 、として、

前記 W_1 および前記 W_2 は、次の式 (8) を満足する

ことを特徴とする請求項 7 に記載の電動機。

【数 8】

$$1 < \frac{W_2}{W_1} < 1.05 \quad \dots (8)$$

【請求項 9】

前記層における前記コイルが形成されている領域であるコイル部のうち前記中心軸の方の端の、前記周方向における幅をW1、前記コイル部のうち前記中心軸とは逆の方の端の、前記周方向における幅をW2、および前記コイル部のうち前記径方向における中心の、前記周方向における幅をW3として、

前記W1および前記W3は、次の式(9)を満足し、

前記W2および前記W3は、次の式(10)を満足する

ことを特徴とする請求項7に記載の電動機。

【数9】

$$1 < \frac{W3}{W1} < 1.025 \quad \dots (9)$$

10

【数10】

$$1 < \frac{W2}{W3} < 1.025 \quad \dots (10)$$

【請求項10】

前記プリント基板は、複数の前記コイルが形成されているコア基板を備え、

前記コア基板の一方の面には、前記径方向に立てられたピンが設けられており、

前記コア基板の他方の面には、前記ピンを嵌め合わせ可能な形状の孔が形成されている

ことを特徴とする請求項1から3のいずれか1つに記載の電動機。

20

【請求項11】

前記プリント基板は、複数の前記コイルが形成されているコア基板を備え、

複数の前記コイルは、前記コア基板の一方の面に設けられており、

前記コア基板の他方の面には、前記コイルを嵌め合わせ可能な形状の凹部が形成されている

ことを特徴とする請求項1から3のいずれか1つに記載の電動機。

【請求項12】

複数の前記層において、前記周方向における前記コイルの位置が層ごとにずれている

ことを特徴とする請求項1から3のいずれか1つに記載の電動機。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、電機子にプリント基板が用いられている電動機に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、円筒形状のプリント基板が電機子に用いられている電動機が知られている。特許文献1には、円筒形状に巻かれたプリント基板が電機子に用いられており、プリント基板には導体のパターンからなる複数のコイルが形成されている電動機が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2020-89207号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

円筒形状に巻かれたプリント基板が用いられている電機子は、鉄心と鉄心の周囲に巻き付けられたマグネットワイヤとを備える電機子に比べて、コイルの占積率が小さくなり易いことが知られている。コイルの占積率が小さいほど銅損が高くなるため、電機子にプリ

50

ント基板が用いられている電動機では、銅損に起因する発熱による温度上昇が課題となる。

【 0 0 0 5 】

本開示は、上記に鑑みてなされたものであって、銅損に起因する発熱を低減可能とする電動機を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示にかかる電動機は、円筒形状のプリント基板を備え、プリント基板の複数の層が円筒形状の径方向に積層された電機子と、電機子に対し円筒形状の中心軸の方に配置されている界磁と、を備える。プリント基板は、円筒形状の周方向に並べられた複数のコイルを有する。複数のコイルの各々は、線状の導体からなる。プリント基板の上における導体の幅を x 、および径方向における導体の厚さを y 、として、電機子において径方向に積層される層の数には、あらかじめ設定された範囲に y の値が包含されるとき、層の数決定される。電機子におけるコイルが配置される領域であるスロットのうち周方向に垂直な断面における、導体の断面積を S として、決定された数の層が積層されてなる電機子において、 x および y の組には、 S の値を最大にさせる、 x である x_{opt} および y である y_{opt} の組が設定される。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

本開示にかかる電動機は、銅損に起因する発熱を低減できる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】実施の形態 1 にかかる電動機の概略構成を示す図

【図 2】実施の形態 1 にかかる電動機の分解図

【図 3】実施の形態 1 にかかる電機子に備えられるプリント基板を示す図

【図 4】実施の形態 1 にかかる電機子に備えられるコイルの一部を示す図

【図 5】実施の形態 1 にかかる電機子の断面図

【図 6】実施の形態 1 にかかる電機子の一部を示す図

【図 7】実施の形態 1 にかかる電機子を製造する工程の例を示す図

【図 8】実施の形態 1 にかかる電動機の断面図

【図 9】実施の形態 1 にかかる電機子のスロット数について説明するための第 1 の図

【図 10】実施の形態 1 にかかる電機子のスロット数について説明するための第 2 の図

【図 11】実施の形態 1 にかかる電機子における導体の幅とスロットにおける導体の占積率との関係の例を示す図

【図 12】実施の形態 1 にかかる電機子におけるスロットの断面図

【図 13】図 12 に示す断面のうち導体の断面のみを取り出した図

【図 14】実施の形態 1 にかかる電動機の単位構造について説明するための図

【図 15】実施の形態 2 にかかる電機子の断面図

【図 16】実施の形態 2 にかかる電機子におけるコイルの配置と巻線係数との関係について説明するための図

【図 17】実施の形態 2 にかかる電動機について、各コイルにおける内周部の幅と銅損係数との関係の例を示す図

【図 18】実施の形態 3 にかかる電機子の構成について説明するための第 1 の図

【図 19】実施の形態 3 にかかる電機子の構成について説明するための第 2 の図

【図 20】実施の形態 3 にかかる電機子におけるコイルの配置について説明するための第 1 の図

【図 21】実施の形態 3 にかかる電機子におけるコイルの配置について説明するための第 2 の図

【図 22】実施の形態 3 にかかる電機子におけるコイルの配置について説明するための第 3 の図

【図 23】実施の形態 3 にかかる電機子におけるコイルの配置について説明するための第

10

20

30

40

50

4 の図

【図 2 4】実施の形態 3 にかかる電機子におけるコイルの配置について説明するための第 5 の図

【図 2 5】実施の形態 3 にかかる電機子におけるコイルの配置について説明するための第 6 の図

【図 2 6】実施の形態 4 にかかる電機子の一部の断面図

【図 2 7】実施の形態 4 にかかる電機子におけるコイル部の断面図

【図 2 8】実施の形態 5 にかかる電機子におけるコイル部の断面図

【図 2 9】実施の形態 6 にかかる電機子を構成するプリント基板の模式図

【図 3 0】実施の形態 7 にかかる電機子を構成するプリント基板の模式図

10

【図 3 1】実施の形態 8 にかかる電機子を構成するプリント基板の概略構成を示す図

【図 3 2】実施の形態 8 にかかる電機子の一部の断面図

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に、実施の形態にかかる電動機を図面に基づいて詳細に説明する。

【0010】

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 にかかる電動機 1 の概略構成を示す図である。図 2 は、実施の形態 1 にかかる電動機 1 の分解図である。電動機 1 は、固定子である電機子 2 と、回転子である界磁 3 とを備える。

20

【0011】

電機子 2 は、円筒形状である。界磁 3 は、円柱形状である。界磁 3 は、電機子 2 によって囲われている空間に配置されている。電機子 2 である円筒形状の中心軸 A X は、界磁 3 である円柱形状の中心軸でもある。すなわち、電機子 2 と界磁 3 とは、互いに同軸上に配置されている。界磁 3 は、電機子 2 に対し中心軸 A X の方に配置されている。界磁 3 は、中心軸 A X を中心に回転する。界磁 3 には、界磁 3 の動力を電動機 1 の外部へ伝えるシャフト 4 が取り付けられている。

【0012】

電機子 2 は、電機子 2 が有するコイルの通電によって磁界を発生させる。界磁 3 は、電機子 2 が発生させる磁界と界磁 3 が有する磁石との作用によって回転する。以下の説明にて、中心軸 A X の方向を軸方向、中心軸 A X に垂直な方向を径方向、および、中心軸 A X を中心に周回する方向を周方向、と称する。図 1 に示す矢印 A、矢印 B、および矢印 C は、それぞれ、径方向、軸方向、および周方向を表す。周方向は、界磁 3 が回転する方向である回転方向でもある。

30

【0013】

なお、上記説明では、電動機 1 は、固定子である電機子 2 と回転子である界磁 3 とを備えるものとしたが、回転子である電機子 2 と固定子である界磁 3 とを備えるものでも良い。電機子 2 が回転子かつ界磁 3 が固定子である場合、界磁 3 は電磁ブレーキ等により機械的にロックされる。電機子 2 は、電機子 2 が発生させる磁界と界磁 3 が有する磁石との作用によって回転する。図 1 および図 2 では、電機子 2 および界磁 3 の各々の磁気ギャップ面が内径側に配置される構成としたが、電機子 2 および界磁 3 の各々の磁気ギャップ面が外径側に配置される構成でも良い。

40

【0014】

図 3 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 に備えられるプリント基板 5 を示す図である。電機子 2 は、円筒形状に巻かれたプリント基板 5 を備える。プリント基板 5 が巻かれていることにより、電機子 2 では、プリント基板 5 の複数の層が径方向に積層されている。図 3 では、コア基板 6 の面にコイル 7 が設けられている様子を平面的に示している。図 3 における左右方向が周方向に相当し、図 3 における上下方向が軸方向に相当するものとする。円筒形状から平面状にプリント基板 5 が広げられた場合において、プリント基板 5 は、長尺形である。

50

【 0 0 1 5 】

プリント基板 5 は、コア基板 6 と、コア基板 6 に形成されている複数のコイル 7 と、絶縁層とを備える。図 3 には、プリント基板 5 のうち 2 つのコイル 7 が設けられている部分を示している。絶縁層については後述する。平面状にプリント基板 5 が広げられた場合において、複数のコイル 7 は、プリント基板 5 の長手方向に並べられている。円筒形状に巻かれたプリント基板 5 において、複数のコイル 7 は、周方向に並べられている。

【 0 0 1 6 】

図 3 では、周方向において互いに隣り合うコイル 7 同士が渡り配線 8 により接続されている。図 3 では、電機子 2 における複数のコイル 7 の配置方式が、いわゆる集中巻の方式である場合の例を示す。電機子 2 における複数のコイル 7 の配置方式は、いわゆる分布巻

10

【 0 0 1 7 】

図 4 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 に備えられるコイル 7 の一部を示す図である。図 4 では、図 3 に示す枠 I V の部分を拡大して示している。コイル 7 は、線状の導体 1 0 からなる。コイル 7 を構成する導体 1 0 は、コア基板 6 において渦巻き状にパターンニングされている。渦巻きの中心には、導体 1 0 が設けられていない空きスペースが設けられている。以下の説明では、コイル 7 の中心のスペースである空きスペースを、内周部と称する。図 3 に示す例では、内周部は六角形の領域である。導体 1 0 は、内周部に隣接する起点から内周部の周囲を複数回周回させて配置されている。図 3 に示す例では、コイル 7 の外形は六角形である。なお、枠 I V の部分は、コイル 7 のうち軸方向に導体 1 0 が延ばされている部分である。

20

【 0 0 1 8 】

図 4 に示す例では、導体 1 0 は、内周部の周囲を 3 回周回させて配置されている。図 4 には、導体 1 0 のうち互いに平行な 3 つの線状部分を示している。コア基板 6 上において互いに隣り合う線状部分同士の間には、線状部分同士の絶縁のためのスペース 9 が設けられている。なお、コイル 7 の平面構成は、図 3 および図 4 に示す構成に限られず任意であるものとする。コイル 7 の外形は六角形以外でも良く、長円形状などでも良い。導体 1 0 は、内周部の周囲において 3 回よりも多く周回させて配置されても良い。

【 0 0 1 9 】

図 5 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 の断面図である。図 5 に示す断面は、図 3 に示す V - V 線における断面である。図 5 では、円筒形状に巻かれたプリント基板 5 の一部の断面を示している。図 5 における左右方向が周方向に相当し、図 5 における上下方向が径方向に相当するものとする。図 6 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 の一部を示す図である。図 6 では、図 5 に示す枠 V I の部分を拡大して示している。

30

【 0 0 2 0 】

図 5 および図 6 に示す例では、コイル 7 は、コア基板 6 の両面に設けられている。図 5 および図 6 に示すプリント基板 5 は、いわゆる「両面実装基板」に該当する。絶縁層 1 1 は、径方向に配列されているコイル 7 同士の間設けられている。絶縁層 1 1 は、例えば、接着性を備える絶縁シートである。絶縁層 1 1 は、絶縁性を備える接着シート、または、絶縁性を備える接着剤などでも良い。

40

【 0 0 2 1 】

図 5 および図 6 に示す電機子 2 では、2 つのコア基板 6 の間にコイル 7、絶縁層 1 1、およびコイル 7 が挟み込まれてなる層 1 2 が複数積層されている。径方向において積層されているプリント基板 5 の層 1 2 の数を、N とする。N は、正の整数とする。以下の説明では、N を層数とも称する。なお、図 5 に示す例では、プリント基板 5 のうち径方向における両端にはコア基板 6 があるが、当該両端の少なくとも一方には絶縁層 1 1 があっても良い。

【 0 0 2 2 】

上記説明では、プリント基板 5 は「両面実装基板」であるものと説明としたが、これに限られない。プリント基板 5 は、「片面実装基板」または「多層実装基板」でも良い。「

50

片面実装基板」に該当するプリント基板 5 では、コア基板 6 の両面のうち的一方のみにコイル 7 が実装される。「多層実装基板」に該当するプリント基板 5 では、コア基板 6 の上においてコイル 7 と絶縁層 11 とが交互に積層される。

【0023】

実施の形態 1 において、導体 10 のうちコイル 7 を構成する部分は、プリント基板 5 の上において一定の幅で形成されている。以下の説明では、プリント基板 5 の上における導体 10 の幅を x とする。径方向における導体 10 の厚さを y とする。コイル 7 のうち図 3 に示す枠 I V の部分の幅を W とする。コイル 7 のうち当該部分の幅とは、周方向における幅である。以下の説明では、コイル 7 のうち当該部分の幅である W を、スロット幅とも称する。周方向におけるスペース 9 の幅を c とする。周方向におけるスペース 9 の幅とは、

10

【0024】

図 7 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 を製造する工程の例を示す図である。図 7 には、平面状に広げられた状態で形成されたプリント基板 5 を巻くことによって、円筒形状のプリント基板 5 からなる電機子 2 が形成される様子を模式的に示している。なお、プリント基板 5 のうち円筒形状内側の面にはコア基板 6 または絶縁層 11 があるが、図 7 では当該面におけるコア基板 6 または絶縁層 11 が省略されているものとする。上記説明ではコイル 7 の外形は六角形であるものとしたが、図 7 ではコイル 7 の外形を長円形状に簡略化している。

20

【0025】

プリント基板 5 の構成要素の各々は、プリント基板 5 が巻かれる際に破壊されないように屈曲性を備えることが求められる。また、プリント基板 5 の構成要素の各々は、プリント基板 5 が巻かれることによって絶縁性能などの電気的特性が大きく変化しないことが求められる。なお、電機子 2 は、プリント基板 5 を巻くことによって形成されるものに限られない。電機子 2 は、あらかじめ円筒形状に成形されたコア基板 6 にコイル 7 が実装されたものであっても良い。

30

【0026】

図 8 は、実施の形態 1 にかかる電動機 1 の断面図である。図 8 に示す断面は、軸方向に垂直な断面であって、軸方向における電機子 2 の中心における断面である。以下の説明では、電機子 2 の外径を D 、および、電機子 2 の内径を d とする。外径である D 、および内径である d は、いずれも直径であるものとする。電機子 2 におけるコイル 7 が配置される領域であるスロットの数を n 、および、スロット 1 つ当たりのコイル 7 の巻数を T とする。電機子 2 のスロット数は、電動機 1 の仕様により決定される。

【0027】

図 9 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 のスロット数について説明するための第 1 の図である。図 10 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 のスロット数について説明するための第 2 の図である。ここでは、複数のコイル 7 の配置方式が集中巻である場合と複数のコイル 7 の配置方式が分布巻である場合とにおいて、スロットの数を統一する。図 9 には、集中巻の場合におけるコイル 7 の配置態様を模式的に示している。図 10 には、分布巻の場合におけるコイル 7 の配置態様を模式的に示している。図 9 および図 10 では、U 相、V 相、および W 相の各々についてのコイル 7 が配置される領域を示す。各領域におけるマークは、コイル 7 の通電方向を表している。互いに同じマークは、互いに同じ通電方向を表す。互いに異なるマークは、互いに逆の通電方向を表す。

40

【0028】

図 9 に示す集中巻の場合、周方向において互いに隣り合う 2 つの領域に、通電方向が互いに逆であるコイル 7 が配置される。集中巻の場合、当該領域の各々をスロットとする。

50

図 9 では、1つのスロットの例である領域 13 を示している。

【0029】

図 10 に示す分布巻の場合、通電方向が互いに同じである領域が周方向において隣り合う。各相について、通電方向が互いに逆である 2 つの領域は、複数の領域を跨いで配置されている。分布巻の場合、当該領域の各々をスロットとする。図 10 では、1つのスロットの例である領域 13 を示している。

【0030】

次に、幅 x と厚さ y とを決定する方法の 1 つである第 1 の方法について説明する。図 11 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 における導体 10 の幅とスロットにおける導体 10 の占積率との関係の例を示す図である。図 11 では、導体 10 の幅 x と導体 10 の占積率との関係を表すグラフを示す。図 11 において、縦軸は占積率を表す。横軸は幅 x を表す。プリント基板 5 の製造上の制約により、導体 10 の厚さ y は、0.03 mm から 0.12 mm までに包含される厚さとする。図 11 には、厚さ y が 0.03 mm 以上かつ 0.12 mm 以下の範囲における幅 x と占積率との関係を表すグラフを示している。

【0031】

x および y の組には、電機子 2 のうち周方向に垂直な断面における導体 10 の占積率を最大にさせる、 x である x_{opt} および y である y_{opt} の組が設定される。図 11 に示すグラフにおいて占積率が最大となるときの x が、 x_{opt} である。 y が 0.03 mm から 0.12 mm までに包含される厚さであることから、 y_{opt} は、0.03 mm から 0.12 mm までに包含される厚さである。

【0032】

ここで、導体 10 の幅 x と導体 10 の占積率との関係を表す理論計算式の詳細について説明する。スロット幅 W が決定されることによって幅 x を導き出すことができる。スロット幅 W は、プリント基板 5 の設計諸元により、次の式 (1) で表される。

【0033】

【数 1】

$$W = \frac{T}{fN}x + \left(\frac{T}{fN} - 1\right)c \quad \dots (1)$$

【0034】

また、スロット幅 W は、電機子 2 の各部寸法により、次の式 (2) で表される。

【0035】

【数 2】

$$W = \frac{\pi(D+d)}{2n} - \frac{a}{2} \quad \dots (2)$$

【0036】

式 (1) と式 (2) との組合せから、幅 x は次の式 (3) で表される。

【0037】

【数 3】

$$x = \frac{fN}{T} \left\{ \frac{\pi(D+d)}{2n} - \frac{a}{2} - \left(\frac{T}{fN} - 1 \right) c \right\} \quad \dots (3)$$

【0038】

内周部の幅 a について、集中巻の場合は $a = a$ が式 (3) に代入され、分布巻の場合は $a = 0$ が式 (3) に代入される。

【0039】

導体 10 の幅 x を求める際には、電機子 2 の層数 N が決定される必要がある。層数 N は、導体 10 の厚さ y が決定されることにより求めることができる。厚さ y は、次の式 (4) で表される。

【 0 0 4 0 】

【数 4】

$$y = \frac{D - d - 2hN - 2m(N + 1)}{2fN} \quad \dots (4)$$

【 0 0 4 1 】

10

上記するように、厚さ y は、プリント基板 5 の製造上の制約により、 0.03 mm 以上かつ 0.12 mm 以下の範囲に包含される厚さである。層数 N は正の整数である。層数 N の値を増減させることで、 y の値が 0.03 mm 以上かつ 0.12 mm 以下の範囲に包含されるときに層数 N を求めることができる。厚さ y と層数 N とが求まることで、式 (3) により幅 x を求めることができる。

【 0 0 4 2 】

図 12 は、実施の形態 1 にかかる電機子 2 におけるスロットの断面図である。図 13 は、図 12 に示す断面のうち導体 10 の断面のみを取り出した図である。図 12 には、1 つのスロットである領域 13 の断面を示している。

【 0 0 4 3 】

20

スロットにおける導体 10 の断面積 S は、次の式 (5) で表される。幅 x と厚さ y とが決定されることによって、断面積 S を導き出すことができる。

【 0 0 4 4 】

【数 5】

$$S = (y \times fN) \times \left(x \times \frac{T}{fN} \right) = xyT \quad \dots (5)$$

【 0 0 4 5 】

式 (3) から式 (5) より、層数 N が決定されることによって断面積 S が決定されることが分かる。

30

【 0 0 4 6 】

断面積 S を最大にさせるときの幅 x と厚さ y とを導体 10 に持たせてプリント基板 5 が形成されることによって、スロットにおける導体 10 の占積率が最大となる。幅 x と厚さ y との組に、導体 10 の占積率を最大にさせる幅 x_{opt} と厚さ y_{opt} との組が設定され、導体 10 の占積率が最大となることによって、導体 10 の電気抵抗が小さくなり、導体 10 の損失が少なくなる。これにより、電動機 1 は、銅損を低減でき、銅損に起因する発熱を低減できる。

【 0 0 4 7 】

ここまで、幅 x と厚さ y とを決定する方法の 1 つである第 1 の方法について説明した。次に、幅 x と厚さ y とを決定する他の方法である第 2 の方法について説明する。第 2 の例では、電動機 1 は、1 つ以上の単位構造からなるものとする。ここでは、界磁 3 に備わる磁極と電機子 2 におけるコイル 7 が配置される領域であるスロットとの組であって一定数の磁極と一定数のスロットとの組を、電動機 1 の単位構造と称する。

40

【 0 0 4 8 】

図 14 は、実施の形態 1 にかかる電動機 1 の単位構造 15 について説明するための図である。図 14 には、電機子 2 のうち 1 つの単位構造 15 を構成する部分と、界磁 3 のうち 1 つの単位構造 15 を構成する部分とを模式的に示している。図 14 における左右方向が周方向に相当し、図 14 における上下方向が径方向に相当するものとする。電機子 2 のうち 1 つの単位構造 15 を構成する部分において、複数のスロットが周方向に並べられてい

50

る。図 1 4 に示す矩形 1 6 は、複数のスロットの 1 つを表している。界磁 3 のうち 1 つの単位構造 1 5 を構成する部分において、複数の磁極が周方向に並べられている。図 1 4 に示す矩形 1 7 は、複数の磁極の 1 つを表している。

【 0 0 4 9 】

例えば、電動機 1 の全体における磁極の数が 6、かつ、電動機 1 の全体におけるスロットの数が 9 とする。この場合、電動機 1 の単位構造 1 5 は 2 個の磁極と 3 個のスロットとの組であって、電動機 1 は 3 個の単位構造 1 5 からなる。なお、単位構造 1 5 における磁極の数とスロットの数とは任意であるものとする。また、電動機 1 が有する単位構造 1 5 の数は任意であるものとする。以下の説明では、単位構造 1 5 におけるスロットの数を n 、電機子 2 のうち単位構造 1 5 を構成する部分の、周方向における長さを L 、および径方向におけるスロットの長さを H とする。

10

【 0 0 5 0 】

第 2 の方法においても、第 1 の方法と同様に、スロット幅 W が決定されることによって幅 x_{opt} と厚さ y_{opt} との組が導き出される。また、第 2 の方法においても、式 (1) は成立する。

【 0 0 5 1 】

スロット幅 W は、電機子 2 の各部寸法により、次の式 (6) で表される。

【 0 0 5 2 】

【数 6】

$$W = \frac{L}{n'} - \frac{a}{2} \quad \dots (6)$$

20

【 0 0 5 3 】

式 (1) と式 (6) との組合せから、幅 x は次の式 (7) で表される。

【 0 0 5 4 】

【数 7】

$$x = \frac{fN}{T} \left\{ \frac{L}{n'} - \frac{a}{2} - \left(\frac{T}{fN} - 1 \right) c \right\} \quad \dots (7)$$

30

【 0 0 5 5 】

内周部の幅 a について、集中巻の場合は $a = a$ が式 (7) に代入され、分布巻の場合は $a = 0$ が式 (7) に代入される。

【 0 0 5 6 】

厚さ y は、次の式 (8) で表される。

【 0 0 5 7 】

【数 8】

$$y = \frac{H - hN - m(N + 1)}{fN} \quad \dots (8)$$

40

【 0 0 5 8 】

層数 N の値を増減させることで、 y の値が 0 . 0 3 mm 以上かつ 0 . 1 2 mm 以下の範囲に包含されるときに層数 N を求めることができる。厚さ y と層数 N とが求まることで、式 (7) により幅 x を求めることができる。幅 x と厚さ y とが決定されることによって、断面積 S を導き出すことができる。

【 0 0 5 9 】

断面積 S を最大にさせるときの幅 x と厚さ y とを導体 1 0 に持たせてプリント基板 5 が形成されることによって、スロットにおける導体 1 0 の占積率が最大となる。幅 x と厚さ

50

y との組に、導体 10 の占積率を最大にさせる幅 x_{opt} と厚さ y_{opt} との組が設定され、導体 10 の占積率が最大となることによって、導体 10 の電気抵抗が小さくなり、導体 10 の損失が少なくなる。これにより、電動機 1 は、銅損を低減でき、銅損に起因する発熱を低減できる。

【0060】

実施の形態 2 .

図 15 は、実施の形態 2 にかかる電機子 2 の断面図である。実施の形態 2 では、実施の形態 1 とは異なる構成について主に説明する。図 15 では、円筒形状に巻かれたプリント基板 5 の一部における断面を示している。図 15 における左右方向が周方向に相当し、図 15 における上下方向が径方向に相当するものとする。図 15 に示す構成は、図 5 に示す構成と同様である。電機子 2 のうちスロットである領域の断面は、図 6 に示す断面と同様である。実施の形態 2 では、複数のコイル 7 は、集中巻により配置されているものとする。

【0061】

図 15 に示す構成において、各コイル 7 における内周部の幅を a 、および、互いに隣り合うコイル 7 同士の間の距離を b とする。内周部の幅とは、周方向における幅である。コイル 7 同士の間の距離とは、周方向における距離である。実施の形態 2 では、 a および b の組には、コイル 7 の巻線係数を最大にさせる、 a である a_{opt} および b である b_{opt} の組が設定される。

【0062】

電動機 1 にて発生する銅損は、基本的に、巻線係数 k_w に反比例することが知られている。巻線係数 k_w は、電動機 1 の磁極数と電動機 1 のスロット数との組合せ、または、電動機 1 における複数のコイル 7 の配置方式などによって決定される係数である。三相電動機である電動機 1 の銅損は、相抵抗 R_p と相電流の 2 乗とに比例する。巻線係数 k_w が大きいほど、電動機 1 の誘起電圧は大きい。このため、巻線係数 k_w が大きいほど、同じトルクを出力するために必要な相電流は小さくなる。

【0063】

ここで、巻線係数 k_w の逆数の 2 乗に比例する成分を抽出し、抽出された成分を銅損係数 k_{Cu} と称する。銅損係数 k_{Cu} は、次の式 (9) で表される。

【0064】

【数 9】

$$k_{Cu} = 3 \times R_p \times \frac{1}{k_w^2} \quad \dots (9)$$

【0065】

さらに、巻線係数 k_w は、短節巻係数 k_p と比例関係にあることが知られている。短節巻係数 k_p は、スロットのピッチと磁極のピッチとが互いに異なる場合において鎖交磁束が減少する比率を示す係数である。なお、分布巻係数なども巻線係数 k_w と比例関係にあるが、ここでは詳細を省略する。

【0066】

図 16 は、実施の形態 2 にかかる電機子 2 におけるコイル 7 の配置と巻線係数との関係について説明するための図である。図 16 に示すグラフにおいて、縦軸は巻線係数 k_w を表し、横軸はコイル 7 の電気角 と導体 10 の幅 x とを表す。図 16 におけるグラフの上には、コイル 7 の構成を模式的に示している。

【0067】

図 15 に示す電機子 2 を有する電動機 1 の短節巻係数 k_p は、コイル 7 の内周位置 P1 とコイル 7 の外周位置 P2 との各々における、コイル 7 と鎖交する磁束の磁束量から導き出すことができる。内周位置 P1 とは、コイル 7 の内周上の位置であって内周部に接する位置とする。外周位置 P2 とは、コイル 7 の外周上の位置とする。コイル 7 における鎖交磁束の磁束量は、内周位置 P1 と外周位置 P2 との各々では少なく、内周位置 P1 と外周位

10

20

30

40

50

置 P 2 との中間で最大となる。磁石が発生する磁束の磁束量と鎖交磁束の磁束量との比が、短節巻係数 k_p に相当する。各磁石の磁束量を Φ_{magnet} 、各スロットにおける鎖交磁束の磁束量の最大値を Φ_{n_max} 、各相のコイル 7 の内周位置 P 1 における電気角を θ_1 、および各相のコイル 7 の外周位置 P 2 における電気角を θ_2 、として、短節巻係数 k_p は、次の式 (10) で表される。

【 0 0 6 8 】

【数 1 0 】

$$k_p = \frac{\frac{1}{n} \int_1^n \Phi_{n_max} dn}{\Phi_{magnet}} = \frac{(\cos \theta_1 - \cos \theta_2)}{\theta_2 - \theta_1} \quad \dots (10)$$

10

【 0 0 6 9 】

電気角 θ_1 は、図 1 5 に示す構成より、次の式 (1 1) で表される。電気角 θ_2 は、図 1 5 に示す構成より、次の式 (1 2) で表される。電動機 1 に適用される磁極の数を p 、および複数の磁極が配置されるピッチを τ_p とする。

【 0 0 7 0 】

【数 1 1 】

$$\theta_1 = \frac{a'}{2\tau_p} \times 180 \quad \dots (11)$$

20

【 0 0 7 1 】

【数 1 2 】

$$\theta_2 = \frac{\frac{p}{n} \tau_p - b'}{2\tau_p} \times 180 \quad \dots (12)$$

【 0 0 7 2 】

式 (9) から式 (1 2) より、幅 a および距離 b は、それぞれ、銅損係数 k_{Cu} に関係することが分かる。

【 0 0 7 3 】

図 1 7 は、実施の形態 2 にかかる電動機 1 について、各コイル 7 における内周部の幅と銅損係数との関係の例を示す図である。図 1 7 に示すグラフの縦軸は銅損係数 k_{Cu} を表す。グラフの横軸は内周部の幅 a を表す。図 1 7 には、互いに隣り合うコイル 7 間の距離 b の値が、0、1、2、および 3 の各々である場合について、幅 a と銅損係数 k_{Cu} との関係を表すグラフを示している。

【 0 0 7 4 】

図 1 7 によると、距離 b の値が小さいほど、銅損係数 k_{Cu} は小さい。銅損係数 k_{Cu} が小さいとは、銅損が少ないことを示す。また、図 1 7 によると、距離 b が 0、1、2、および 3 のいずれの値である場合も、銅損係数 k_{Cu} を極小値とさせる幅 a の値が存在する。銅損係数 k_{Cu} が極小値であるときにおける幅 a と距離 b との組が、コイル 7 の巻線係数 k_w を最大にさせる a_{opt} および b_{opt} の組である。

40

【 0 0 7 5 】

図 1 7 によると、幅 a が 0 に近づくほど、コイル 7 のうち磁石に対向する部分の面積が増えて、コイル 7 の鎖交磁束量が増加する。コイル 7 の鎖交磁束量が増加すると、短節巻係数 k_p が大きくなり、銅損係数 k_{Cu} は小さくなる。幅 a が $p/2$ 程度にまで大きくなると、磁石による磁束の密度が最大である位置にコイル 7 が存在しなくなるため、短節巻係数 k_p が大幅に減少することとなる。よって、幅 a_{opt} は、次の式 (1 3) を満足す

50

ることが望ましい。

【 0 0 7 6 】

【 数 1 3 】

$$0 < a'_{opt} < \frac{\tau_p}{2} \quad \dots (13)$$

【 0 0 7 7 】

幅 a_{opt} についての上記説明は、距離 b_{opt} の場合においても同様といえる。式 (1 2) において電気角 α_2 の値が取り得る範囲を考慮し、距離 b_{opt} は、次の式 (1 4) を満足することが望ましい。

【 0 0 7 8 】

【 数 1 4 】

$$0 < b'_{opt} < \left(\frac{p}{n} - \frac{1}{2} \right) \tau_p \quad \dots (14)$$

【 0 0 7 9 】

コイル 7 の巻線係数 k_w を最大にさせるときの幅 a_{opt} および距離 b_{opt} を満足するように複数のコイル 7 が形成されることによって、電動機 1 の銅損が少なくなる。さらに、幅 a_{opt} が式 (1 3) を満足し、かつ距離 b_{opt} が式 (1 4) を満足することにより、銅損係数 k_{cu} を小さくすることができ、電動機 1 の銅損がさらに少なくなる。これにより、電動機 1 は、銅損を低減でき、銅損に起因する発熱を低減できる。

【 0 0 8 0 】

実施の形態 3 .

図 1 8 は、実施の形態 3 にかかる電機子 2 の構成について説明するための第 1 の図である。図 1 9 は、実施の形態 3 にかかる電機子 2 の構成について説明するための第 2 の図である。実施の形態 3 では、実施の形態 1 または 2 とは異なる構成について主に説明する。

【 0 0 8 1 】

図 1 8 および図 1 9 には、平面状のプリント基板 5 が円筒形状に巻かれるときの様子を模式的に示している。図 1 8 および図 1 9 において、コイル部 1 4 は、層 1 2 のうち絶縁層 1 1 を介して積層された 2 つのコイル 7 を有する部分を表す。コイル部 1 4 は、層 1 2 のうちコイル 7 が形成されている領域であって、スロットを構成する領域といえる。図 1 8 および図 1 9 では、コア基板 6 を簡略化して示している。図 1 8 および図 1 9 では、絶縁層 1 1 の図示を省略する。実施の形態 3 では、複数のコイル 7 は、集中巻により配置されているものとする。

【 0 0 8 2 】

プリント基板 5 を円筒形状に巻くことによって、N 個の層 1 2 を有する電機子 2 が形成される。実施の形態 3 では、N は 2 以上の整数とする。電機子 2 の各スロットでは、複数のコイル部 1 4 が径方向に配列されていることが望ましい。ただし、コア基板 6 の上における複数のコイル 7 の全てが一定の距離 b で配置されていると、各スロットでは、周方向におけるコイル部 1 4 の位置にずれが生じることとなる。コイル部 1 4 の位置にずれが生じることで、スロットが、理想とする形状とは異なる形状となる。スロットの理想とする形状とは、スロットにおける各層 1 2 のコイル 7 が径方向に配列されているときの形状である。

【 0 0 8 3 】

ここで、M を、1 以上かつ N 未満の整数とする。プリント基板 5 の複数の層 1 2 のうち円筒形状の中心軸 A X の方から M 番目の層 1 2 のうち円筒形状の巻き終わりに最も近いコイル 7 と、プリント基板 5 の複数の層 1 2 のうち円筒形状の中心軸 A X の方から (M + 1) 番目の層 1 2 のうち円筒形状の巻き始めに最も近いコイル 7 との間の距離を b とする。図 1 8 および図 1 9 では、M 番目の層 1 2 のうち円筒形状の巻き終わりに最も近いコ

10

20

30

40

50

イル部 1 4 と、(M + 1) 番目の層 1 2 のうち円筒形状の巻き始めに最も近いコイル部 1 4 との間の距離が b であるものとする。距離 b の長さが、プリント基板 5 の複数の層 1 2 の各々におけるコイル 7 同士の間の距離 b の長さと同じであると、理論上、(M + 1) 番目の層 1 2 のコイル 7 の位置は、M 番目の層 1 2 のコイル 7 に対して周方向にずれた位置となる。

【 0 0 8 4 】

実施の形態 3 では、図 1 8 に示すように、距離 b が距離 b よりも長くなるようにコア基板 6 におけるコイル 7 の位置が決定される。距離 b が距離 b よりも長いことにより、(M + 1) 番目の層 1 2 のコイル 7 について、M 番目の層 1 2 のコイル 7 に対するずれを無くすることができる。すなわち、(M + 1) 番目の層 1 2 のコイル 7 と、M 番目の層 1 2 のコイル 7 とを、径方向に配列させることができる。図 1 9 には、図 1 8 に示す状態から、コア基板 6 のうち距離 b の部分を撓ませることによって、M 番目の層 1 2 のコイル部 1 4 と、(M + 1) 番目の層 1 2 のコイル部 1 4 とを径方向に配列させる様子を示している。このように、距離 b が距離 b よりも長くされて、周方向におけるコイル部 1 4 の位置が調整されることによって、1 つの層 1 2 のコイル部 1 4 と、当該層 1 2 の外周側の層 1 2 のコイル部 1 4 とを径方向に配列させることができる。径方向において互いに隣り合う層 1 2 同士においてコイル部 1 4 を径方向に配列させることによって、理想とする形状のスロットを得ることが可能となる。

10

【 0 0 8 5 】

実施の形態 3 において、距離 b は、次の式 (1 5) を満足する。

20

【 0 0 8 6 】

【数 1 5 】

$$b \leq b''$$

$$< \sqrt{b^2 + (h + yf + 2m)^2 - 2b(h + yf + 2m) \cos \left(\frac{(2-n)\pi}{2n} - \frac{NW}{MD + d \left\{ N - \left(M - \frac{1}{2} \right) \right\}} \right)} \quad \cdots (15)$$

【 0 0 8 7 】

ここで、式 (1 5) を導出する過程について説明する。図 2 0 は、実施の形態 3 にかかる電機子 2 におけるコイル 7 の配置について説明するための第 1 の図である。図 2 1 は、実施の形態 3 にかかる電機子 2 におけるコイル 7 の配置について説明するための第 2 の図である。

30

【 0 0 8 8 】

図 2 0 および図 2 1 において、コイル部 1 4_{nM} は、プリント基板 5 の巻き始めから n M 番目のコイル部 1 4 である。コイル部 1 4_{nM} は、M 番目の層 1 2 のうち円筒形状の巻き終わりに最も近いコイル部 1 4 である。コイル部 1 4_{nM+1} は、プリント基板 5 の巻き始めから (n M + 1) 番目のコイル部 1 4 である。コイル部 1 4_{nM+1} は、(M + 1) 番目の層 1 2 のうち円筒形状の巻き始めに最も近いコイル部 1 4 である。コイル部 1 4_{n(M-1)+1} は、プリント基板 5 の巻き始めから { n (M - 1) + 1 } 番目のコイル部 1 4 である。コイル部 1 4_{n(M-1)+1} は、(M - 1) 番目の層 1 2 のうち円筒形状の巻き始めに最も近いコイル部 1 4 である。

40

【 0 0 8 9 】

図 2 0 には、距離 b が式 (1 5) を満足する場合であって距離 b の長さが最も短いケース、すなわち距離 b の長さが距離 b の長さと同じであるケースを示している。この場合、コイル部 1 4_{nM+1} とコイル部 1 4_{nM} とは、中心軸 A X を中心とする同じ円の上に配置される。上記説明では、距離 b の長さが距離 b の長さと同じであると、理論上、(M + 1) 番目の層 1 2 のコイル 7 の位置は、M 番目の層 1 2 のコイル 7 に対して周方向にずれた位置となる、とした。ただし、プリント基板 5 が円筒形状に巻かれることで、円筒形状が径方向に膨れること、または、プリント基板 5 にかかる張力によりプリン

50

ト基板 5 が変形することがあり得る。距離 b の長さが距離 b の長さと同じである場合でも、円筒形状の膨れまたはプリント基板 5 の変形によって、 $(M+1)$ 番目の層 12 のコイル 7 と M 番目の層 12 のコイル 7 とが径方向に配列されることがあり得る。このため、式 (15) では、距離 b が距離 b に等しい場合が含まれている。

【0090】

図 21 には、距離 b が式 (15) を満足する場合であって距離 b の長さが最も長いケースを示している。

【0091】

図 22 は、実施の形態 3 にかかる電機子 2 におけるコイル 7 の配置について説明するための第 3 の図である。図 23 は、実施の形態 3 にかかる電機子 2 におけるコイル 7 の配置について説明するための第 4 の図である。図 24 は、実施の形態 3 にかかる電機子 2 におけるコイル 7 の配置について説明するための第 5 の図である。

10

【0092】

図 22 には、距離 b の長さが最も長い場合における、電機子 2 におけるコイル部 $14_{n(M-1)+1}$, 14_{nM} , 14_{nM+1} の配置の態様を模式的に示している。式 (15) のうち「 $<$ 」の右側の式は、コイル部 $14_{n(M-1)+1}$ とコイル部 14_{nM} とが、中心軸 AX を中心とする同じ円の上に配置される場合を表す。

【0093】

図 23 に示す三角形は、図 22 においてコイル部 $14_{n(M-1)+1}$, 14_{nM+1} とコイル部 14_{nM} との間に示す三角形を表す。図 23 に示す三角形は、距離 b の長さの第 1 辺と、距離 b の長さの第 2 辺と、 $h+yf+2m$ の長さの第 3 辺とを有する。図 23 において、角度 θ は、第 2 辺と第 3 辺とがなす角の角度、すなわち、第 1 辺の対角の角度である。

20

【0094】

距離 b は、次の式 (16) で表される。

【0095】

【数 16】

$$b'' = \sqrt{b^2 + (h + yf + 2m)^2 - 2b(h + yf + 2m)\cos\theta} \quad \dots(16)$$

【0096】

30

半径 r は、中心軸 AX を中心とする円の半径であって、各コイル部 $14_{n(M-1)+1}$, 14_{nM} が配置される位置を表す円の半径とする。図 24 に示す角度 θ' は、図 23 に示す三角形の第 3 辺を中心軸 AX の方へ延伸させた場合において現れる角の角度であって、第 2 辺および第 3 辺の間の角の補角である。角度 θ' は、次の式 (17) で表される。

【0097】

【数 17】

$$\theta' = \pi - \theta \quad \dots(17)$$

【0098】

中心軸 AX と周方向におけるコイル部 $14_{n(M-1)+1}$ の中心を通る直線と、中心軸 AX と周方向におけるコイル部 14_{nM} の中心を通る直線とがなす角度は、 $2\pi/n$ と表される。コイル部 14 の幅、すなわちスロット幅 W は、半径 r を用いて表すことができる。このことから、角度 θ' は、次の式 (18) で表される。

40

【0099】

【数 18】

$$\theta' = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi}{n} - \frac{W}{r} \right) \quad \dots(18)$$

【0100】

50

図 2 5 は、実施の形態 3 にかかる電機子 2 におけるコイル 7 の配置について説明するための第 6 の図である。図 2 5 には、1 つのスロットを構成する N 個のコイル部 1 4_{n1}, 1 4_{n2}, …, 1 4_{nM}, …, 1 4_{nN}を示す。コイル部 1 4_{n1}は、1 番目の層 1 2 のコイル部 1 4 である。コイル部 1 4_{n2}は、2 番目の層 1 2 のコイル部 1 4 である。コイル部 1 4_{nM}は、M 番目の層 1 2 のコイル部 1 4 である。コイル部 1 4_{nN}は、N 番目の層 1 2 のコイル部 1 4 である。1 つの層 1 2 の径方向長さは、(D - d) / 2 N と表される。半径 r は、次の式 (1 9) で表される。

【 0 1 0 1 】

【 数 1 9 】

$$r = \frac{d}{2} + \frac{D - d}{2N} \left(M - \frac{1}{2} \right) \quad \dots (19)$$

10

【 0 1 0 2 】

式 (1 7) から式 (1 9) を式 (1 6) に代入することで、式 (1 5) のうち「 < 」の右側の式が得られる。ただし、プリント基板 5 が円筒形状に巻かれることによる、円筒形状の膨れまたはプリント基板 5 の変形によって、式 (1 5) のうち「 < 」の右側の式に距離 b が等しくなる想定通りの状況とはならないといえる。このため式 (1 5) では、式 (1 5) のうち「 < 」の右側の式に距離 b が等しい場合が除かれている。

【 0 1 0 3 】

20

実施の形態 3 において、距離 b が式 (1 5) を満足することによって、径方向において互いに隣り合う層 1 2 同士においてコイル部 1 4 を径方向に配列させることができる。これにより、理想とする形状のスロットを有する電機子 2 を得ることが可能となる。

【 0 1 0 4 】

実施の形態 4 .

図 2 6 は、実施の形態 4 にかかる電機子 2 の一部の断面図である。図 2 6 には、1 つのスロットの例である領域 1 3 の断面を示している。実施の形態 4 では、実施の形態 1 - 3 とは異なる構成について主に説明する。図 2 6 に示す断面は、中心軸 A X に垂直な断面である。図 2 6 には、N 個のコイル部 1 4 を示している。実施の形態 4 では、N は 2 以上の整数とする。

30

【 0 1 0 5 】

電機子 2 を製造する上で、図 2 6 に示す断面におけるスロットの理想的な形状は、台形に近い形状である。実施の形態 4 では、周方向におけるコイル部 1 4 の長さ、円筒形状の内周側よりも円筒形状の外周側のほうが長いことにより、スロットが理想的な形状に近い形状とされている。

【 0 1 0 6 】

図 2 7 は、実施の形態 4 にかかる電機子 2 におけるコイル部 1 4 の断面図である。図 2 7 に示す断面は、中心軸 A X に垂直な断面である。

【 0 1 0 7 】

層 1 2 におけるコイル 7 が形成されている領域であるコイル部 1 4 のうち中心軸 A X の方の端の、周方向における幅を W 1、およびコイル部 1 4 のうち中心軸 A X とは逆の方の端の、周方向における幅を W 2、とする。W 1 および W 2 は、次の式 (2 0) を満足する。

40

【 0 1 0 8 】

【 数 2 0 】

$$1 < \frac{W2}{W1} < 1.05 \quad \dots (20)$$

【 0 1 0 9 】

スロットを構成する各コイル部 1 4 では、幅 W 2 のほうが幅 W 1 よりも 0 % から 5 % 程

50

度長い。これにより、台形に近い理想的な形状のスロットを得ることができる。スロットを理想的な形状とすることによって、電機子 2 を製造する際における電機子 2 の形状の崩れを低減できる。

【 0 1 1 0 】

実施の形態 5 .

図 2 8 は、実施の形態 5 にかかる電機子 2 におけるコイル部 1 4 の断面図である。図 2 8 に示す断面は、中心軸 A X に垂直な断面である。実施の形態 5 では、実施の形態 1 - 4 とは異なる構成について主に説明する。

【 0 1 1 1 】

層 1 2 におけるコイル 7 が形成されている領域であるコイル部 1 4 のうち中心軸 A X の方の端の、周方向における幅を W 1、コイル部 1 4 のうち中心軸 A X とは逆の方の端の、周方向における幅を W 2、およびコイル部 1 4 のうち径方向における中心の、周方向における幅を W 3 とする。W 1 および W 3 は、次の式 (2 1) を満足する。W 2 および W 3 は、次の式 (2 2) を満足する。

【 0 1 1 2 】

【数 2 1】

$$1 < \frac{W3}{W1} < 1.025 \quad \dots (21)$$

【 0 1 1 3 】

【数 2 2】

$$1 < \frac{W2}{W3} < 1.025 \quad \dots (22)$$

【 0 1 1 4 】

幅 W 3 は、周方向におけるコイル部 1 4 の幅の代表といえる。代表である幅 W 3 よりも幅 W 1 が短く、かつ代表である幅 W 3 よりも幅 W 2 が長いことにより、台形に近い理想的な形状のスロットを得ることができる。スロットを理想的な形状とすることによって、電機子 2 を製造する際における電機子 2 の形状の崩れを低減できる。

【 0 1 1 5 】

実施の形態 6 .

図 2 9 は、実施の形態 6 にかかる電機子 2 を構成するプリント基板 5 の模式図である。実施の形態 6 では、実施の形態 1 - 5 とは異なる構成について主に説明する。実施の形態 6 において、コア基板 6 の一方の面には、径方向に立てられたピン 2 1 が設けられている。コア基板 6 の他方の面には、孔 2 2 が形成されている。孔 2 2 は、ピン 2 1 を嵌め合わせ可能な形状である。図 2 9 には、コア基板 6 のうち 2 つのコイル 7 と 1 つのピン 2 1 と 1 つの孔 2 2 とが設けられている部分を示している。ピン 2 1 と孔 2 2 とは、コア基板 6 のうちコイル 7 が形成されている領域以外の領域に設けられている。

【 0 1 1 6 】

プリント基板 5 が円筒形状に巻かれる際に、スロットを構成するコイル 7 の配置誤差を低減できることで、スロットを理想的な形状に近づけることができる。実施の形態 6 では、プリント基板 5 が巻かれて複数の層 1 2 が積層される際に、孔 2 2 にピン 2 1 が嵌め合わせられる。ピン 2 1 と孔 2 2 との位置関係は、プリント基板 5 が巻かれて複数の層 1 2 が積層される際に、孔 2 2 にピン 2 1 を嵌め合わせ可能に設定されている。コア基板 6 には、コイル 7 が形成される領域に対して軸方向の位置に、ピン 2 1 と孔 2 2 とを設けるための領域が確保されている。これにより、プリント基板 5 が周方向において長くなることが防がれ、占積率を低下させることなくピン 2 1 と孔 2 2 とを設けることができる。

【 0 1 1 7 】

ピン 2 1 の径方向長さは、コイル 7 の厚さ y よりも長い。孔 2 2 の径方向深さは、ピン 2 1 の径方向長さと同長さ y との差分よりも深い。なお、ピン 2 1 の形状は、図 2 9 に示す円柱形状に限られない。ピン 2 1 の形状は、コイル 7 の配置誤差を低減可能な形状であれば良く、軸方向または周方向を長手方向とする長円柱形状などでも良い。孔 2 2 は、ピン 2 1 の形状に合わせた形状とされる。ピン 2 1 と孔 2 2 との位置関係は、コイル 7 の配置誤差を低減可能なものであれば良い。ピン 2 1 の位置に対して、孔 2 2 の位置が軸方向または周方向にずれた位置であっても良い。

【 0 1 1 8 】

ピン 2 1 の材質は、任意とする。ピン 2 1 の材質は、プリント基板 5 の構成部品の 1 つと同じ材質により形成されても良く、プリント基板 5 の構成部品には使用されていない材質により形成されても良い。ピン 2 1 は、プリント基板 5 の構成部品が実装されるときに接合されても良く、プリント基板 5 の構成部品が実装された後に追加されても良い。

【 0 1 1 9 】

電機子 2 が製造される際においてピン 2 1 が孔 2 2 に嵌め合わせられることによって、スロットを構成するコイル 7 の配置誤差を低減できる。これにより、電動機 1 の性能低下を防ぐことができる。

【 0 1 2 0 】

実施の形態 7 .

図 3 0 は、実施の形態 7 にかかる電機子 2 を構成するプリント基板 5 の模式図である。実施の形態 7 では、実施の形態 1 - 6 とは異なる構成について主に説明する。実施の形態 7 において、複数のコイル 7 は、コア基板 6 の一方の面に設けられている。コア基板 6 の他方の面には、コイル 7 を嵌め合わせ可能な形状の凹部 2 3 が形成されている。図 3 0 には、コア基板 6 のうち 2 つのコイル 7 と 2 つの凹部 2 3 とが設けられている部分を示している。

【 0 1 2 1 】

実施の形態 7 では、プリント基板 5 が巻かれて複数の層 1 2 が積層される際に凹部 2 3 にコイル 7 が嵌め合わせられる。凹部 2 3 は、コイル 7 の形状に合わせた形状とされている。凹部 2 3 の位置は、プリント基板 5 が巻かれて複数の層 1 2 が積層される際に、凹部 2 3 にコイル 7 を嵌め合わせ可能に設定されている。

【 0 1 2 2 】

電機子 2 が製造される際においてコイル 7 が凹部 2 3 に嵌め合わせられることによって、スロットを構成するコイル 7 の配置誤差を低減できる。これにより、電動機 1 の性能低下を防ぐことができる。実施の形態 7 では、実施の形態 6 と比べて、コア基板 6 のうちコイル 7 と接する部分の面積が大きい。このため、実施の形態 7 では、実施の形態 6 と比べて、積層された層 1 2 の間における熱伝達率が向上する。電動機 1 は、積層された層 1 2 の間における熱伝達率が向上することで、通電時におけるコイル 7 の温度上昇を低減させることができる。

【 0 1 2 3 】

実施の形態 8 .

図 3 1 は、実施の形態 8 にかかる電機子 2 を構成するプリント基板 5 の概略構成を示す図である。実施の形態 8 では、実施の形態 1 - 7 とは異なる構成について主に説明する。図 3 1 では、円筒形状のプリント基板 5 を平面状に展開した場合におけるプリント基板 5 の一部を示している。

【 0 1 2 4 】

実施の形態 8 では、複数の層 1 2 において、周方向におけるコイル 7 の位置が層 1 2 ごととずれている。かかる構成により、径方向において互いに隣り合うコイル 7 では、コイル 7 の電気角が互いに異なる。図 3 1 では、1 つの層 1 2 に設けられているコイル 7 を示している。図 3 1 では、参考として、当該 1 つの層 1 2 の紙面奥側に配置される層 1 2 のコイル 7 を破線で示している。

【 0 1 2 5 】

図 3 2 は、実施の形態 8 にかかる電機子 2 の一部の断面図である。図 3 2 には、1 つのスロットの例である領域 1 3 の断面を示している。図 3 2 に示す断面は、中心軸 A X に垂直な断面である。図 3 2 における左右方向が周方向に相当し、図 3 2 における上下方向が軸方向に相当するものとする。図 3 2 に示すように、径方向における位置ごとに、周方向におけるコイル 7 の位置がずれている。プリント基板 5 では、径方向における位置ごとに、周方向におけるコイル 7 の位置がずれるように、複数のコイル 7 が実装されている。

【 0 1 2 6 】

周方向におけるコイル 7 の位置が層 1 2 ごとにずれていることによって、いわゆるスキューが施された電機子 2 を形成可能である。これにより、電動機 1 は、電動機 1 の駆動方向におけるトルクリップル、または電動機 1 の駆動方向における推力リップルを低減させることができる。

10

【 0 1 2 7 】

以上の各実施の形態に示した構成は、本開示の内容の一例を示すものである。各実施の形態の構成は、別の公知の技術と組み合わせることが可能である。各実施の形態の構成同士が適宜組み合わせられても良い。本開示の要旨を逸脱しない範囲で、各実施の形態の構成の一部を省略または変更することが可能である。

【符号の説明】

【 0 1 2 8 】

1 電動機、2 電機子、3 界磁、4 シャフト、5 プリント基板、6 コア基板、7 コイル、8 渡り配線、9 スペース、10 導体、11 絶縁層、12 層、13 領域、14, 14_{n1}, 14_{n2}, 14_{n(M-1)+1}, 14_{nM}, 14_{nM+1}, 14_{nN} コイル部、15 単位構造、16, 17 矩形、21 ピン、22 孔、23 凹部、A X 中心軸。

20

30

40

50

【要約】

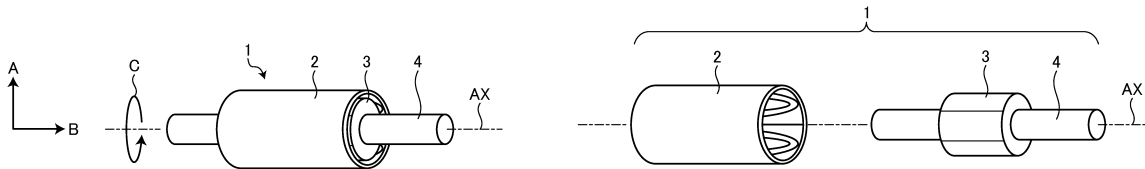
電動機（１）は、円筒形状のプリント基板を備え、プリント基板の複数の層が円筒形状の径方向に積層された電機子（２）と、電機子（２）に対し円筒形状の中心軸（ＡＸ）の方に配置されている界磁（３）と、を備える。プリント基板は、円筒形状の周方向に並べられた複数のコイルを有する。複数のコイルの各々は、線状の導体からなる。プリント基板の上における導体の幅を x 、および径方向における導体の厚さを y 、として、 x および y の組には、電機子（２）のうち周方向に垂直な断面における導体の占積率を最大にさせる、 x である x_{opt} および y である y_{opt} の組が設定される。

【図面】

【図 １】

【図 ２】

10

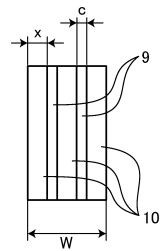
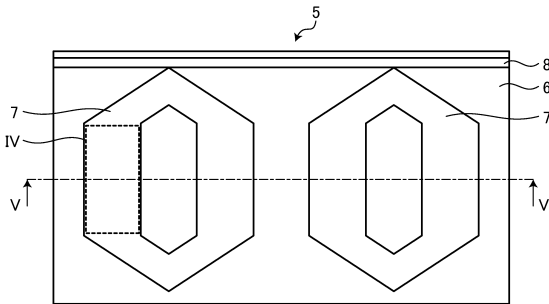


20

【図 ３】

【図 ４】

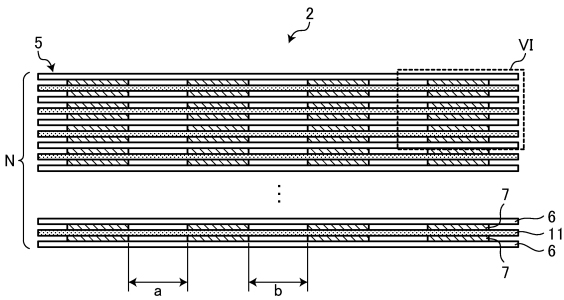
30



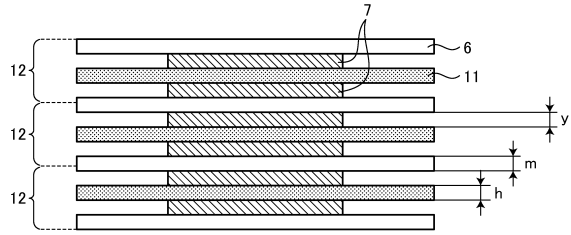
40

50

【図 5】

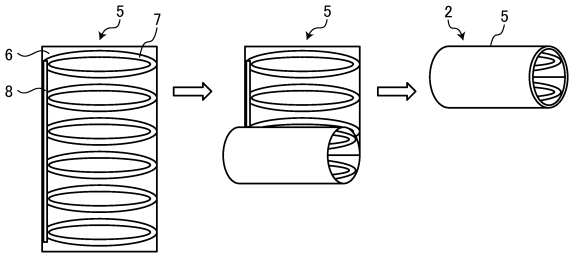


【図 6】

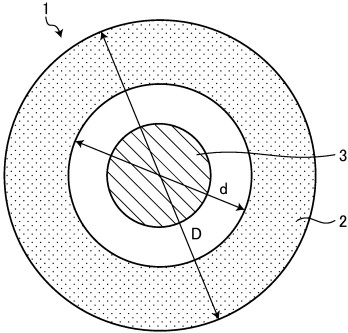


10

【図 7】



【図 8】



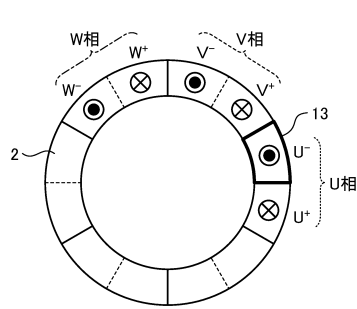
20

30

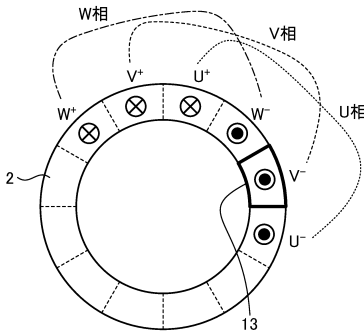
40

50

【図 9】

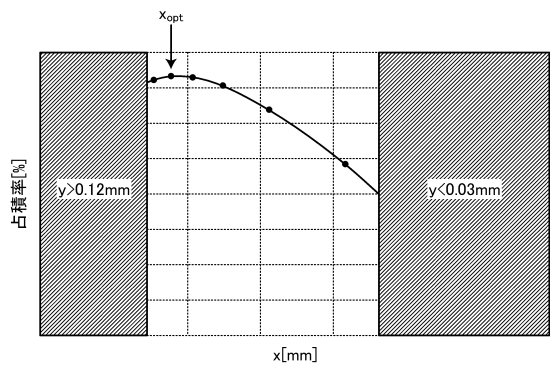


【図 10】

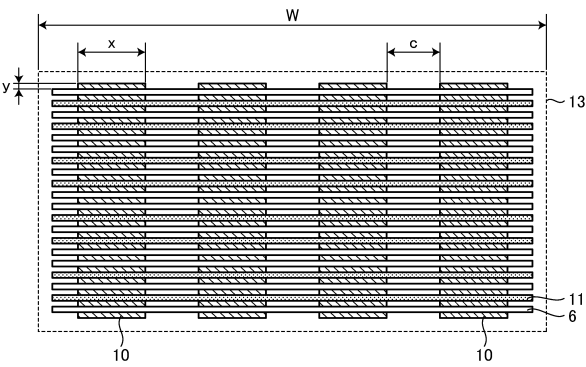


10

【図 11】



【図 12】



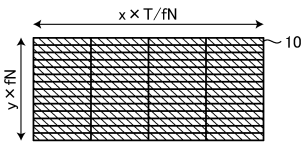
20

30

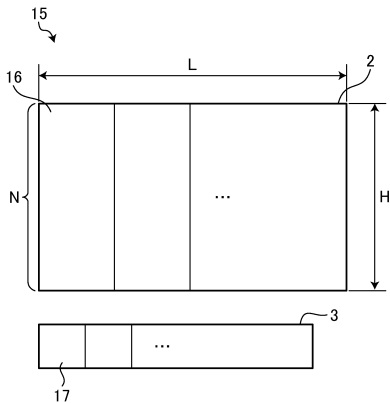
40

50

【図 1 3】

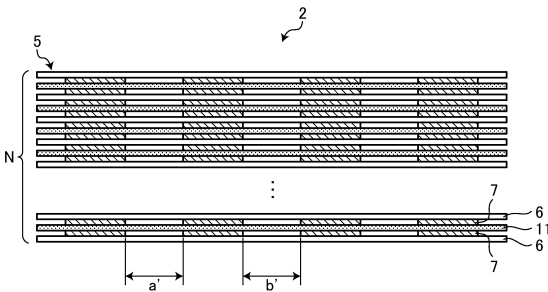


【図 1 4】

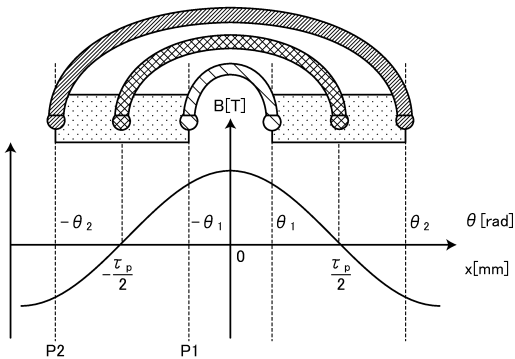


10

【図 1 5】



【図 1 6】



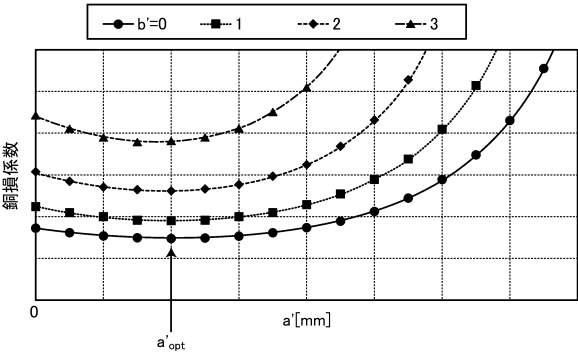
20

30

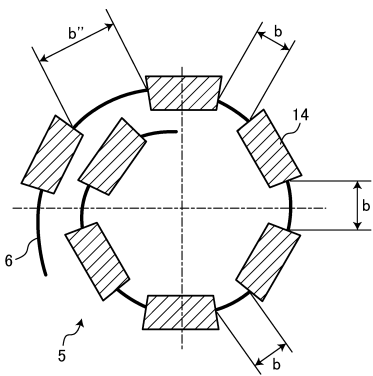
40

50

【図 17】

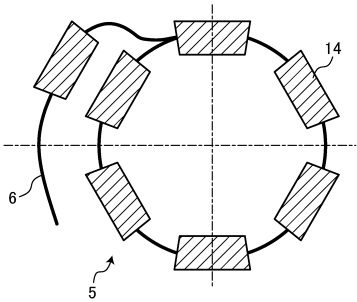


【図 18】

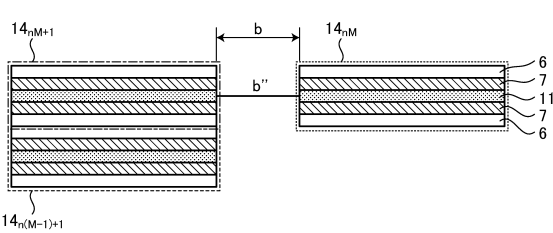


10

【図 19】



【図 20】



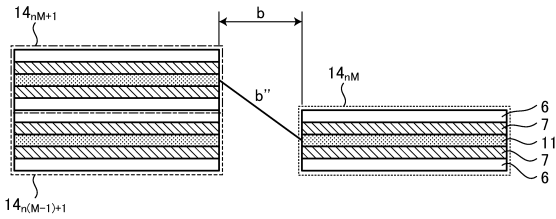
20

30

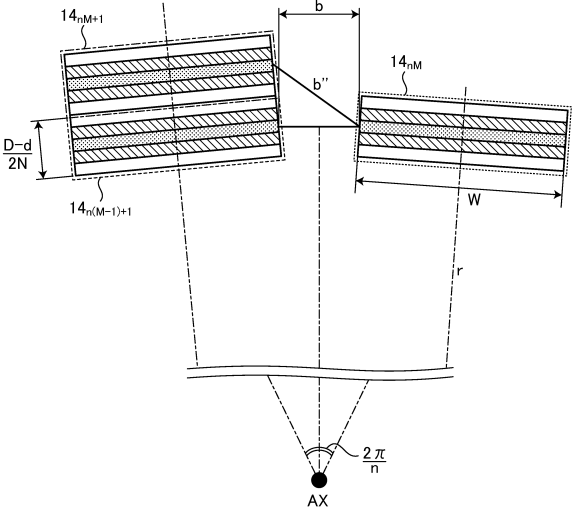
40

50

【 2 1 】

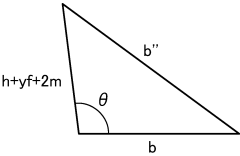


【 2 2 】

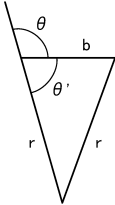


10

【 2 3 】



【 2 4 】



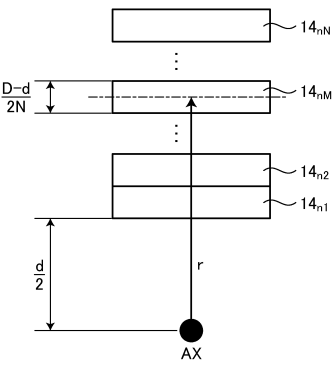
20

30

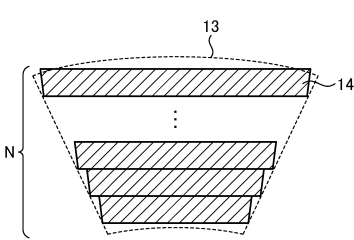
40

50

【 図 2 5 】

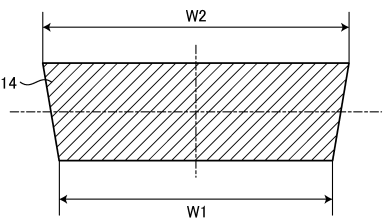


【 図 2 6 】

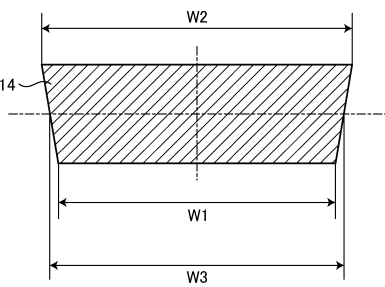


10

【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



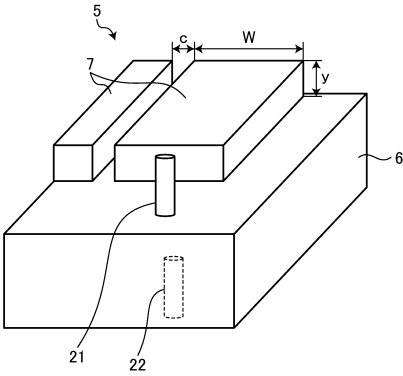
20

30

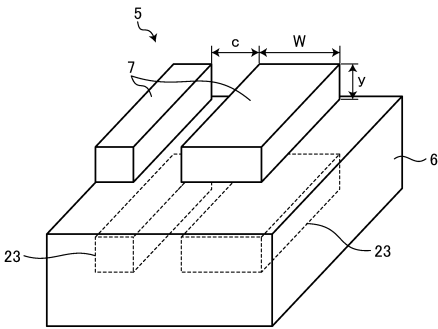
40

50

【図 29】

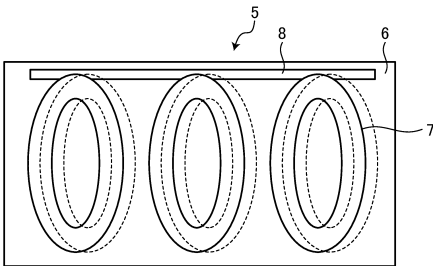


【図 30】

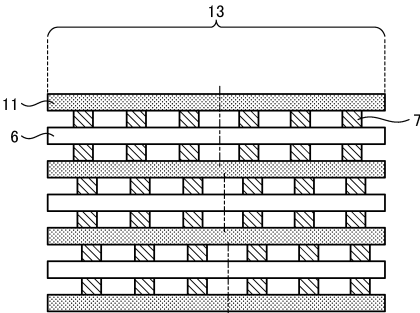


10

【図 31】



【図 32】



20

30

40

50

フロントページの続き

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
(72)発明者 大平 貴哉
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
審査官 服部 俊樹
(56)参考文献 特開 2 0 2 3 - 0 2 2 4 1 6 (J P , A)
国際公開第 2 0 1 8 / 1 9 3 6 1 8 (W O , A 1)
特開 2 0 2 0 - 1 1 4 1 0 0 (J P , A)
特開昭 6 0 - 0 3 2 5 3 3 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
H 0 2 K 3 / 2 6
H 0 2 K 3 / 4 7