

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7370468号
(P7370468)

(45)発行日 令和5年10月27日(2023.10.27)

(24)登録日 令和5年10月19日(2023.10.19)

(51)国際特許分類

H 0 2 K 3/28 (2006.01)

F I

H 0 2 K

3/28

K

H 0 2 K

3/28

M

請求項の数 9 (全27頁)

(21)出願番号 特願2022-536086(P2022-536086)
 (86)(22)出願日 令和2年7月17日(2020.7.17)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2020/027798
 (87)国際公開番号 WO2022/014031
 (87)国際公開日 令和4年1月20日(2022.1.20)
 審査請求日 令和4年7月4日(2022.7.4)

(73)特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74)代理人 100116964
 弁理士 山形 洋一
 (74)代理人 100120477
 弁理士 佐藤 賢改
 (74)代理人 100135921
 弁理士 篠原 昌彦
 (74)代理人 100083840
 弁理士 前田 実
 (72)発明者 石川 淳史
 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 松岡 篤

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 固定子、電動機、圧縮機、及び空気調和機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

9 × n 個 (n は 1 以上の整数) のスロットを有する固定子鉄心と、
 前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、4 × n 個の磁極を形成する 3 相コイルと

を備え、

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、2 × n 個の U 相コイル、
 2 × n 個の V 相コイル、及び 2 × n 個の W 相コイルを有し、

前記 2 × n 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の U 相コイル、前記 2 × n 個の V 相コイル、及び前記 2 × n 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3
 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N2 とすると、0.928 N1 / N2 < 2、又は 2 < N1 / N2 3.294 を満

たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい
固定子。

【請求項 2】

9 × n 個 (n は 1 以上の整数) のスロットを有する固定子鉄心と、
前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、4 × n 個の磁極を形成する 3 相コイルと

を備え、

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、2 × n 個の U 相コイル、
2 × n 個の V 相コイル、及び 2 × n 個の W 相コイルを有し、

前記 2 × n 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の U 相コイル、前記 2 × n 個の V 相コイル、及び前記 2 × n 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3
スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N2 とすると、1.117 N1 / N2 1.634、又は 2.244 N1 / N2
2.876 を満たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい
固定子。

【請求項 3】

9 × n 個 (n は 1 以上の整数) のスロットを有する固定子鉄心と、
前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、4 × n 個の磁極を形成する 3 相コイルと

を備え、

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、2 × n 個の U 相コイル、
2 × n 個の V 相コイル、及び 2 × n 個の W 相コイルを有し、

前記 2 × n 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の U 相コイル、前記 2 × n 個の V 相コイル、及び前記 2 × n 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3
スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N2 とすると、0.928 N1 / N2 < 2 を満たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい
固定子。

【請求項 4】

9 × n 個 (n は 1 以上の整数) のスロットを有する固定子鉄心と、
前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、4 × n 個の磁極を形成する 3 相コイルと

10

20

30

40

50

を備え、

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、 $2 \times n$ 個の U 相コイル、 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び $2 \times n$ 個の W 相コイルを有し、

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイル、前記 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N2 とすると、 $2 < N1 / N2 = 3.294$ を満たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい

固定子。

【請求項 5】

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイル、前記 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルは、Y 結線で接続されている請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の固定子。

【請求項 6】

前記固定子の分布巻係数は、1 である請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の固定子。

【請求項 7】

請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の固定子と、

前記固定子の内側に配置された回転子と

を備えた電動機。

【請求項 8】

密閉容器と、

前記密閉容器内に配置された圧縮装置と、

前記圧縮装置を駆動する請求項 7 に記載の電動機と

を備えた圧縮機。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の圧縮機と、

熱交換器と

を備えた空気調和機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、電動機用の固定子に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、3 相コイルを有する固定子が知られている（例えば、特許文献 1）。特許文献 1 に開示された固定子鉄心は、24 個のスロットを持ち、3 相コイルは 8 磁極を形成し、1 磁極に対するスロット数は、3 である。この固定子では、各相のコイルが 3 スロット毎に配置されており、重ね巻きで固定子鉄心に取り付けられており、各スロットに同じ相の 2 つのコイルが配置されている。この場合、この固定子は、回転子からの磁束を 100 % 利用できるという利点がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

20

30

40

50

【文献】実開昭 53 - 114012号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一般に、基本波の巻線係数及び高調波の巻線係数が大きくなるにつれて、電動機における振動が増加する。従来の技術では、高調波の巻線係数を減らすことができても、同時に基本波の巻線係数も減り、その結果、固定子における有効磁束量が十分に得られず、電動機の効率（電動機効率とも称する）が低下する。

【0005】

本開示の目的は、固定子における基本波の巻線係数を大きく損ねることなく、高調波の巻線係数を低減することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示の一態様に係る固定子は、

9 × n 個（n は 1 以上の整数）のスロットを有する固定子鉄心と、

前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、4 × n 個の磁極を形成する 3 相コイルと

を備え、

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、2 × n 個の U 相コイル、

2 × n 個の V 相コイル、及び 2 × n 個の W 相コイルを有し、

20

前記 2 × n 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の U 相コイル、前記 2 × n 個の V 相コイル、及び前記 2 × n 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

30

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N2 とすると、0.928 N1 / N2 < 2、又は 2 < N1 / N2 3.294 を満たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい。

本開示の他の態様に係る固定子は、

9 × n 個（n は 1 以上の整数）のスロットを有する固定子鉄心と、

前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、4 × n 個の磁極を形成する 3 相コイルと

を備え、

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、2 × n 個の U 相コイル、

2 × n 個の V 相コイル、及び 2 × n 個の W 相コイルを有し、

40

前記 2 × n 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 2 × n 個の U 相コイル、前記 2 × n 個の V 相コイル、及び前記 2 × n 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に 360 / n 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に 360 / n 度ご

50

とに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N_1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N_2 とすると、 $1 \cdot 117 \quad N_1 / N_2 \quad 1 \cdot 634$ 、又は $2 \cdot 244 \quad N_1 / N_2 \quad 2 \cdot 876$ を満たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい。

本開示の他の態様に係る固定子は、

$9 \times n$ 個 (n は 1 以上の整数) のスロットを有する固定子鉄心と、

前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、 $4 \times n$ 個の磁極を形成する 3 相コイルと

を備え、

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、 $2 \times n$ 個の U 相コイル、 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び $2 \times n$ 個の W 相コイルを有し、

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイル、前記 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N_1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N_2 とすると、 $1 \cdot 347 \quad N_1 / N_2 \quad 2 \cdot 532$ を満たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい。

本開示の他の態様に係る固定子は、

$9 \times n$ 個 (n は 1 以上の整数) のスロットを有する固定子鉄心と、

前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、 $4 \times n$ 個の磁極を形成する 3 相コイルと

を備え、

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、 $2 \times n$ 個の U 相コイル、 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び $2 \times n$ 個の W 相コイルを有し、

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイル、前記 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N_1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N_2 とすると、 $0 \cdot 928 \quad N_1 / N_2 < 2$ を満たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい。

本開示の他の態様に係る固定子は、

$9 \times n$ 個 (n は 1 以上の整数) のスロットを有する固定子鉄心と、

前記固定子鉄心に分布巻きで取り付けられており、 $4 \times n$ 個の磁極を形成する 3 相コイルと

を備え、

10

20

30

40

50

前記 3 相コイルは、前記 3 相コイルのコイルエンドにおいて、 $2 \times n$ 個の U 相コイル、 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び $2 \times n$ 個の W 相コイルを有し、

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の V 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルは直列に接続されており、

前記 $2 \times n$ 個の U 相コイル、前記 $2 \times n$ 個の V 相コイル、及び前記 $2 \times n$ 個の W 相コイルの各々は、2 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 1 のコイルと、3 スロットピッチで前記固定子鉄心に配置された n 個の第 2 のコイルとを含み、

前記 n 個の第 1 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 2 のコイルは、前記コイルエンドにおいて、前記周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されており、

前記 n 個の第 1 のコイルの各々の巻数を N_1 とし、前記 n 個の第 2 のコイルの各々の巻数を N_2 とすると、 $2 < N_1 / N_2 = 3.294$ を満たし、

基本波及び高調波に対する巻線係数と短節巻係数とが等しい。

本開示の他の態様に係る電動機は、

前記固定子と、

前記固定子の内側に配置された回転子と

を備える。

本開示の他の態様に係る圧縮機は、

密閉容器と、

前記密閉容器内に配置された圧縮装置と、

前記圧縮装置を駆動する前記電動機と

を備える。

本開示の他の態様に係る空気調和機は、

前記圧縮機と、

熱交換器と

を備える。

【発明の効果】

【0007】

本開示によれば、固定子における基本波の巻線係数を大きく損ねることなく、高調波の巻線係数を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図 1】実施の形態 1 に係る電動機の構造を概略的に示す上面図である。

【図 2】固定子の構造を概略的に示す上面図である。

【図 3】3 相コイルを概略的に示す図である。

【図 4】3 相コイルを固定子鉄心内に挿入するための挿入器具の例を示す図である。

【図 5】3 相コイルを固定子鉄心内に挿入する工程の例を示す図である。

【図 6】3 相コイルを固定子鉄心内に挿入する工程の例を示す図である。

【図 7】比較例に係る電動機を示す上面図である。

【図 8】図 7 に示される固定子のスロット内の 3 相コイルの配置を示す図である。

【図 9】基本波の巻線係数を示すグラフである。

【図 10】3 次の巻線係数を示すグラフである。

【図 11】5 次の巻線係数の絶対値を示すグラフである。

【図 12】7 次の巻線係数の絶対値を示すグラフである。

【図 13】基本波に対する高調波（具体的には、5 次、7 次）の巻線係数の含有率を示すグラフである。

【図 14】3 次の巻線係数、5 次の巻線係数、及び 7 次の巻線係数を示すグラフである。

【図 15】変形例に係る電動機の構造を概略的に示す上面図である。

10

20

30

40

50

【図16】変形例に係る電動機の回転子の構造を概略的に示す断面図である。

【図17】変形例に係る電動機の固定子の構造を概略的に示す上面図である。

【図18】変形例に係る電動機のスロット内の3相コイルの配置を示す図である。

【図19】変形例に係る電動機の3相コイルを概略的に示す図である。

【図20】実施の形態2に係る圧縮機の構造を概略的に示す断面図である。

【図21】実施の形態3に係る冷凍空調装置の構成を概略的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

実施の形態1.

各図に示されるx y z直交座標系において、z軸方向(z軸)は、電動機1の軸線Axと平行な方向を示し、x軸方向(x軸)は、z軸方向(z軸)に直交する方向を示し、y軸方向(y軸)は、z軸方向及びx軸方向の両方に直交する方向を示す。軸線Axは、固定子3の中心であり、回転子2の回転中心でもある。軸線Axと平行な方向は、「回転子2の軸方向」又は単に「軸方向」ともいう。径方向は、回転子2又は固定子3の半径方向であり、軸線Axと直交する方向である。xy平面は、軸方向と直交する平面である。矢印D1は、軸線Axを中心とする周方向を示す。回転子2又は固定子3の周方向を、単に「周方向」ともいう。

【0010】

電動機1

図1は、実施の形態1に係る電動機1の構造を概略的に示す上面図である。

【0011】

電動機1は、複数の磁極を持つ回転子2と、固定子3と、回転子2に固定されたシャフト4とを有する。電動機1は、例えば、永久磁石同期電動機である。

【0012】

回転子2は、固定子3の内側に回転可能に配置されている。回転子2と固定子3との間には、エアギャップが存在する。回転子2は、軸線Axを中心として回転する。

【0013】

回転子2は、回転子鉄心21と、複数の永久磁石22とを有する。

【0014】

回転子鉄心21は、複数の磁石挿入孔211と、シャフト4が配置されるシャフト孔212とを有する。回転子鉄心21は、各磁石挿入孔211に連通する空間である少なくとも1つのフラックスバリア部をさらに有してもよい。

【0015】

本実施の形態では、回転子2は、複数の永久磁石22を有する。各永久磁石22は、各磁石挿入孔211内に配置されている。

【0016】

1つの永久磁石22が、回転子2の1磁極、すなわち、N極又はS極を形成する。ただし、2以上の永久磁石22が回転子2の1磁極を形成してもよい。

【0017】

本実施の形態では、xy平面において、回転子2の1磁極を形成する1つの永久磁石22は、真っ直ぐに配置されている。ただし、xy平面において、回転子2の1磁極を形成する1組の永久磁石22が、V字形状を持つように配置されていてもよい。

【0018】

回転子2の各磁極の中心は、回転子2のN極又はS極の中心に位置する。回転子2の各磁極(単に「各磁極」又は「磁極」とも称する)とは、回転子2のN極又はS極の役目をする領域を意味する。

【0019】

固定子3

図2は、固定子3の構造を概略的に示す上面図である。

図3は、3相コイル32を概略的に示す図である。

10

20

30

40

50

図1及び図2に示されるように、固定子3は、固定子鉄心31と、固定子鉄心31に分布巻きで取り付けられた3相コイル32とを有する。

【0020】

固定子鉄心31は、3相コイル32が配置される $9 \times n$ 個（nは1以上の整数）のスロット311を有する。本実施の形態では、n=1である。したがって、図1及び図2に示される例では、固定子鉄心31は、9個のスロット311を有する。

【0021】

3相コイル32（すなわち、各相のコイル）は、スロット311内に配置されたコイルサイドと、スロット311内に配置されていないコイルエンド32aとを持つ。各コイルエンド32aは、軸方向における3相コイル32の端部である。

10

【0022】

3相コイル32は、各コイルエンド32aにおいて、 $2 \times n$ 個のU相コイル32U、 $2 \times n$ 個のV相コイル32V、及び $2 \times n$ 個のW相コイル32Wを有する（図1）。すなわち、3相コイル32は、第1相、第2相、及び第3相の3相を持つ。例えば、第1相はU相であり、第2相はV相であり、第3相はW相である。本実施の形態では、3相の各々を、U相、V相、及びW相と称する。 $2 \times n$ 個のU相コイル32Uを「U相コイル群」とも称し、 $2 \times n$ 個のV相コイル32Vを「V相コイル群」とも称し、 $2 \times n$ 個のW相コイル32Wを「W相コイル群」とも称する。U相コイル群、V相コイル群、及びW相コイル群の各々を、「各相のコイル群」とも称する。

20

【0023】

各相のコイル群は、n個の第1のコイルと、n個の第2のコイルとを含む。各第1のコイルは、2スロットピッチで固定子鉄心31に配置されている。各第2のコイルは、3スロットピッチで固定子鉄心31に配置されている。各第1のコイル及び各第2のコイルを単に「コイル」とも称する。

【0024】

2スロットピッチとは、「2スロット毎」を意味する。すなわち、2スロットピッチとは、1つのコイルが2スロット毎にスロット311に配置されることを意味する。言い換えると、2スロットピッチとは、1つのコイルが1スロットおきにスロット311に配置されることを意味する。

30

【0025】

3スロットピッチとは、「3スロット毎」を意味する。すなわち、3スロットピッチとは、1つのコイルが3スロット毎にスロット311に配置されることを意味する。言い換えると、3スロットピッチとは、1つのコイルが2スロットおきにスロット311に配置されることを意味する。

【0026】

本実施の形態では、n=1である。したがって、図1に示される例では、コイルエンド32aにおいて、3相コイル32は、2個のU相コイル32U、2個のV相コイル32V、及び2個のW相コイル32Wを持っている。ただし、各相のコイルの数は、2個に限定されない。本実施の形態では、固定子3は、2つのコイルエンド32aにおいて、図1に示される構造を持っている。ただし、固定子3は、2つのコイルエンド32aの一方において、図1に示される構造を持っていればよい。

40

【0027】

3相コイル32に電流が流れたとき、3相コイル32は、 $4 \times n$ 個の磁極を形成する。本実施の形態では、n=1である。したがって、本実施の形態では、3相コイル32に電流が流れたとき、3相コイル32は、4磁極を形成する。

【0028】

図3に示されるように、 $2 \times n$ 個のU相コイル32U（すなわち、第1のコイルU1及び第2のコイルU2）、 $2 \times n$ 個のV相コイル32V（すなわち、第1のコイルV1及び第2のコイルV2）、及び $2 \times n$ 個のW相コイル32W（すなわち、第1のコイルW1及び第2のコイルW2）は、例えば、Y結線で接続されている。ただし、 $2 \times n$ 個のU相コ

50

イル 3 2 U、 $2 \times n$ 個の V 相コイル 3 2 V、及び $2 \times n$ 個の W 相コイル 3 2 W は、Y 結線以外の結線、例えば、デルタ結線で接続されていてもよい。

【 0 0 2 9 】

各相の n 個の第 1 のコイルは、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。例えば、 $n = 1$ の場合、各相の第 1 のコイルは、各コイルエンド 3 2 a において任意の位置に配置されている。各相の n 個の第 2 のコイルは、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。例えば、 $n = 1$ の場合、各相の第 2 のコイルは、各コイルエンド 3 2 a において任意の位置に配置されている。各第 1 のコイル及び各第 2 のコイルを、単にコイルとも称する。

【 0 0 3 0 】

U 相コイル 3 2 U

図 2 に示されるように、 $2 \times n$ 個の U 相コイル 3 2 U は、 n 個の第 1 のコイル U 1 と、 n 個の第 2 のコイル U 2 を含む。本実施の形態では、2 個の U 相コイル 3 2 U は、1 個の第 1 のコイル U 1 と、1 個の第 2 のコイル U 2 で構成されている。 $2 \times n$ 個の U 相コイル 3 2 U は、直列に接続されている。したがって、本実施の形態では、1 個の第 1 のコイル U 1 及び 1 個の第 2 のコイル U 2 は、直列に接続されている。第 1 のコイル U 1 は、2 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。第 2 のコイル U 2 は、3 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。

【 0 0 3 1 】

図 2 に示されるように、U 相の第 1 のコイル U 1 は、固定子鉄心 3 1 の一端側において、1 スロットおきに 2 つのスロット 3 1 1 に配置されている。言い換えると、U 相の第 1 のコイル U 1 は、固定子鉄心 3 1 の一端側において、1 つのスロット 3 1 1 をはさんで 2 つのスロット 3 1 1 に配置されている。

【 0 0 3 2 】

図 2 に示されるように、U 相の第 2 のコイル U 2 は、固定子鉄心 3 1 の一端側において、2 スロットおきに 2 つのスロット 3 1 1 に配置されている。言い換えると、U 相の第 2 のコイル U 2 は、固定子鉄心 3 1 の一端側において、2 つのスロット 3 1 1 をはさんで 2 つのスロット 3 1 1 に配置されている。

【 0 0 3 3 】

U 相の n 個の第 1 のコイル U 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。ただし、 $n = 1$ の場合、第 1 のコイル U 1 は、各コイルエンド 3 2 a において任意の位置に配置されている。U 相の n 個の第 2 のコイル U 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。ただし、 $n = 1$ の場合、第 2 のコイル U 2 は、各コイルエンド 3 2 a において任意の位置に配置されている。

【 0 0 3 4 】

U 相の n 個の第 1 のコイル U 1 の各々の巻数を N_1 とし、U 相の n 個の第 2 のコイル U 2 の各々の巻数を N_2 とすると、固定子 3 は、例えば、 $0.928 \quad N_1 / N_2 < 2$ 、又は $2 < N_1 / N_2 \quad 3.294$ を満たす。

【 0 0 3 5 】

V 相コイル 3 2 V

図 2 に示されるように、 $2 \times n$ 個の V 相コイル 3 2 V は、 n 個の第 1 のコイル V 1 と、 n 個の第 2 のコイル V 2 を含む。本実施の形態では、2 個の V 相コイル 3 2 V は、1 個の第 1 のコイル V 1 と、1 個の第 2 のコイル V 2 で構成されている。 $2 \times n$ 個の V 相コイル 3 2 V は、直列に接続されている。したがって、本実施の形態では、1 個の第 1 のコイル V 1 及び 1 個の第 2 のコイル V 2 は、直列に接続されている。第 1 のコイル V 1 は、2 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。第 2 のコイル V 2 は、3 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。

【 0 0 3 6 】

図 2 に示されるように、V 相の第 1 のコイル V 1 は、固定子鉄心 3 1 の一端側において

10

20

30

40

50

、1スロットおきに2つのスロット311に配置されている。言い換えると、V相の第1のコイルV1は、固定子鉄心31の一端側において、1つのスロット311をはさんで2つのスロット311に配置されている。

【0037】

図2に示されるように、V相の第2のコイルV2は、固定子鉄心31の一端側において、2スロットおきに2つのスロット311に配置されている。言い換えると、V相の第2のコイルV2は、固定子鉄心31の一端側において、2つのスロット311をはさんで2つのスロット311に配置されている。

【0038】

V相のn個の第1のコイルV1は、各コイルエンド32aにおいて、周方向に360/n度ごとに等間隔に配置されている。ただし、n=1の場合、第1のコイルV1は、各コイルエンド32aにおいて任意の位置に配置されている。V相のn個の第2のコイルV2は、各コイルエンド32aにおいて、周方向に360/n度ごとに等間隔に配置されている。ただし、n=1の場合、第2のコイルV2は、各コイルエンド32aにおいて任意の位置に配置されている。

【0039】

V相のn個の第1のコイルV1の各々の巻数をN1とし、V相のn個の第2のコイルV2の各々の巻数をN2とすると、固定子3は、例えば、0.928 N1/N2 < 2、又は2 < N1/N2 3.294を満たす。

【0040】

W相コイル32W

図2に示されるように、2×n個のW相コイル32Wは、n個の第1のコイルW1と、n個の第2のコイルW2とを含む。本実施の形態では、2個のW相コイル32Wは、1個の第1のコイルW1と、1個の第2のコイルW2とで構成されている。2×n個のW相コイル32Wは、直列に接続されている。したがって、本実施の形態では、1個の第1のコイルW1及び1個の第2のコイルW2は、直列に接続されている。第1のコイルW1は、2スロットピッチで固定子鉄心31に配置されている。第2のコイルW2は、3スロットピッチで固定子鉄心31に配置されている。

【0041】

図2に示されるように、W相の第1のコイルW1は、固定子鉄心31の一端側において、1スロットおきに2つのスロット311に配置されている。言い換えると、W相の第1のコイルW1は、固定子鉄心31の一端側において、1つのスロット311をはさんで2つのスロット311に配置されている。

【0042】

図2に示されるように、W相の第2のコイルW2は、固定子鉄心31の一端側において、2スロットおきに2つのスロット311に配置されている。言い換えると、W相の第2のコイルW2は、固定子鉄心31の一端側において、2つのスロット311をはさんで2つのスロット311に配置されている。

【0043】

W相のn個の第1のコイルW1は、各コイルエンド32aにおいて、周方向に360/n度ごとに等間隔に配置されている。ただし、n=1の場合、第1のコイルW1は、各コイルエンド32aにおいて任意の位置に配置されている。W相のn個の第2のコイルW2は、各コイルエンド32aにおいて、周方向に360/n度ごとに等間隔に配置されている。ただし、n=1の場合、第2のコイルW2は、各コイルエンド32aにおいて任意の位置に配置されている。

【0044】

W相のn個の第1のコイルW1の各々の巻数をN1とし、W相のn個の第2のコイルW2の各々の巻数をN2とすると、固定子3は、例えば、0.928 N1/N2 < 2、又は2 < N1/N2 3.294を満たす。

【0045】

10

20

30

40

50

挿入器具

図4は、3相コイル32を固定子鉄心31内に挿入するための挿入器具9の例を示す図である。

図5及び図6は、3相コイルを固定子鉄心31内に挿入する工程の例を示す図である。

3相コイル32は、例えば、予め作製された固定子鉄心31に挿入器具9で取り付けられる。本実施の形態では、3相コイル32を、分布巻きで固定子鉄心31に取り付ける。図4に示される挿入器具9で3相コイル32を固定子鉄心31に挿入する場合、図5及び図6に示されるように、挿入器具9のブレード91間に3相コイル32を配置し、3相コイル32と共にブレード91を固定子鉄心31の内側に挿入する。次に、3相コイル32を軸方向にスライドさせ、スロット311内に配置する。

10

【0046】

比較例

図7は、比較例に係る電動機1aを示す上面図である。

図8は、図7に示される固定子3aのスロット内の3相コイル32の配置を示す図である。図8は、図7に示される固定子3aの展開図である。

比較例では、3相コイル32が重ね巻きで固定子鉄心31に取り付けられている。この場合、各コイルエンド32aにおいて、各コイルの片側がスロット311の外層に配置され、そのコイルの他方側が他のスロット311の内層に配置されている。

【0047】

したがって、3相コイル32を重ね巻きで固定子鉄心31に取り付ける場合、挿入器具（例えば、図4に示される挿入器具9）を用いて、3相コイル32を固定子鉄心31に取り付けることが難しい。そのため、通常、比較例のような重ね巻きで3相コイル32を固定子鉄心31に取り付ける場合、手で3相コイル32を固定子鉄心に取り付ける。この場合、固定子3の生産性が下がる。

20

【0048】

各スロットに2つのコイルを配置する場合、各スロット内の2つのコイル間にインダクタンスの差が生じる。この場合、電動機の駆動中に3相コイルに流れる電流のばらつきが相間に生じ、インダクタンスの大きい相に電流が流れにくく、インダクタンスの小さい相に電流が流れやすい。その結果として、トルクリップルが生じる。

【0049】

30

巻線係数

本実施の形態では、各相の第1のコイルの巻線係数及び各相の第2のコイルの巻線係数は、互いに異なる。そこで、電動機1の固定子3の巻線係数を算出するために、各相の第1のコイルの巻線係数及び各相の第2のコイルの巻線係数を算出する。

【0050】

電動機1の固定子3の分布巻係数は、基本波及び高調波に関わらず1である。巻線係数は、分布巻係数と短節巻係数との積で求められる。電動機1の固定子3の分布巻係数は1であるため、本実施の形態では、巻線係数と短節巻係数は等しい。

【0051】

m次の短節巻係数Kp_m（mは次数を示す）は、次の式（1）のように求められる。

$$Kp_m = \cos \{ (m \times \text{ }) / 2 \} \times (1 - \text{ }) \quad \dots (1)$$

40

は、短節度であり、「コイルピッチ／毎極のスロット数」で定義される。本実施の形態では、毎極のスロット数は、 $9n / 4n = 9 / 4 = 2.25$ である。よって、各相の第1のコイルの短節度1及び各相の第2のコイルの短節度2は、次の式（2），（3）でそれぞれ求められる。

$$1 = 2 / (9 / 4) = 8 / 9 \quad \dots (2)$$

$$2 = 3 / (9 / 4) = 4 / 3 \quad \dots (3)$$

【0052】

各相の第1のコイルの巻数をN1、各相の第2のコイルの巻数をN2、各相の第1のコイルの短節巻係数をKp1、各相の第2のコイルの短節巻係数をKp2とすると、電動機

50

1 の固定子 3 の短節巻係数 K_p は、次の式(4)で求められる。

$$\begin{aligned}
 K_p &= K_p 1 \times \{ N_1 / (N_1 + N_2) \} + K_p 2 \times \{ N_2 / (N_1 + N_2) \} \\
 &= K_p 1 \times [(N_1 / N_2) / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] + K_p 2 \times [1 / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] \\
 &= [1 / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] \times \{ (N_1 / N_2) \times K_p 1 + K_p 2 \} \\
 &\cdots (4)
 \end{aligned}$$

【0053】

各相の第1のコイルの基本波の巻線係数 $K_p 1_1$ 、各相の第2のコイルの基本波の巻線係数 $K_p 2_1$ 、及び電動機1の固定子3の基本波の巻線係数 K_p_1 は、式(1)及び(4)を用いて、次の式(5)、(6)、及び(7)で求められる。

$$\begin{aligned}
 K_p 1_1 &= \cos \{ (/ 2) \times (1 - 1) \} \\
 &= \cos \{ (/ 2) \times (1 - (8 / 9)) \} \\
 &= \cos (/ 18) \\
 &= \cos 10^\circ \quad \cdots \cdots (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_p 2_1 &= \cos \{ (/ 2) \times (1 - 2) \} \\
 &= \cos \{ (/ 2) \times (1 - (4 / 3)) \} \\
 &= \cos (/ 6) \\
 &= \cos 30^\circ \quad \cdots \cdots (6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_p_1 &= [1 / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] \times \{ (N_1 / N_2) \times K_p 1_1 + K_p 2_1 \} \\
 &= [1 / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] \times \{ (N_1 / N_2) \times \cos 10^\circ + \cos 30^\circ \} \quad \cdots \cdots (7)
 \end{aligned}$$

【0054】

図9は、基本波の巻線係数を示すグラフである。

図10は、3次の巻線係数を示すグラフである。

図11は、5次の巻線係数の絶対値を示すグラフである。

図12は、7次の巻線係数の絶対値を示すグラフである。

【0055】

図9に示されるように、例えば、 $N_1 / N_2 = 2$ の場合、 K_p_1 は、式(8)より、0.945である。

$$\begin{aligned}
 K_p_1 &= \{ 1 / (2 + 1) \} \times (2 \times K_p 1_1 + K_p 2_1) \\
 &= (1 / 3) \times (2 \times \cos 10^\circ + \cos 30^\circ) \\
 &= 0.945 \quad \cdots \cdots (8)
 \end{aligned}$$

【0056】

電動機1における振動の主要因であるトルクリップルを低減するために考慮すべき高調波成分について説明する。電動機1のトルクは、3相コイル32に発生する誘起電圧とモータ電流との積に比例する。例えば、誘起電圧及びモータ電流の両方が理想的な正弦波で表される場合、高調波に起因するトルクリップルは電動機1に生じない。しかしながら、誘起電圧及びモータ電流に高調波が重畠されると、電動機1のトルクが脈動し、トルクリップルが発生する。

【0057】

トルクリップルでは、電気次数で6次成分が支配的である。極対数をPとすると、電気次数での6次成分は、機械次数で $6 \times P$ 次成分として現れる。

【0058】

上述のように、電動機1のトルクは、3相コイル32に発生する誘起電圧とモータ電流との積に比例する。そのため、電気次数で6次のトルクリップルの主な発生要因として、鎖交磁束の高調波成分又はモータ電流の高調波成分が挙げられる。6次のトルクリップルの発生条件として、次の4つの条件がある。

- (A) 1次磁束 × 5次電流
- (B) 1次磁束 × 7次電流

10

20

30

40

50

(C) 5 次磁束 × 1 次電流

(D) 7 次磁束 × 1 次電流

【 0 0 5 9 】

高調波を含む磁束又は高調波を含む電流では、低い次数の高調波の含有率が高い傾向にある。そのため、7次の巻線係数に比べて、5次の巻線係数を低減することが望ましい。したがって、トルクリブルの主要因である高い次数の高調波（具体的には、5次、7次）を低減するための N_1 / N_2 を算出する。

【 0 0 6 0 】

各相の第1のコイルの5次の巻線係数 K_{p1_5} 、各相の第2のコイルの5次の巻線係数 K_{p2_5} 、及び電動機1の固定子3の5次の巻線係数 K_{p_5} は、式(1)及び(4)を用いて、次の式(9)、(10)、及び(11)で求められる。

$$\begin{aligned} K_{p1_5} &= \cos \{ (5 / 2) \times (1 - 1) \} \\ &= \cos \{ (5 / 2) \times (1 - (8 / 9)) \} \\ &= \cos (5 / 18) \\ &= \cos 50^\circ \end{aligned} \quad \cdots \quad (9)$$

$$\begin{aligned} K_{p2_5} &= \cos \{ (5 / 2) \times (1 - 2) \} \\ &= \cos \{ (5 / 2) \times (1 - (4 / 3)) \} \\ &= \cos (5 / 6) \\ &= \cos 150^\circ \end{aligned} \quad \cdots \quad (10)$$

$$\begin{aligned} K_{p_5} &= [1 / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] \times \{ (N_1 / N_2) \times K_{p1_5} + K_{p2_5} \} \\ &= [1 / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] \times \{ (N_1 / N_2) \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ \} \end{aligned} \quad \cdots \quad (11)$$

【 0 0 6 1 】

例えば、 $N_1 / N_2 = 2$ の場合、 K_{p_5} は、式(12)より、0.14 である。

$$\begin{aligned} K_{p_5} &= \{ 1 / (2 + 1) \} \times (2 \times K_{p1_5} + K_{p2_5}) \\ &= (1 / 3) \times (2 \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) \\ &= 0.14 \end{aligned} \quad \cdots \quad (12)$$

【 0 0 6 2 】

各相の第1のコイルの7次の巻線係数 K_{p1_7} 、各相の第2のコイルの7次の巻線係数 K_{p2_7} 、及び電動機1の固定子3の7次の巻線係数 K_{p_7} は、式(1)及び(4)を用いて、次の式(13)、(14)、及び(15)で求められる。

【 0 0 6 3 】

$$\begin{aligned} K_{p1_7} &= \cos \{ (7 / 2) \times (1 - 1) \} \\ &= \cos \{ (7 / 2) \times (1 - (8 / 9)) \} \\ &= \cos (7 / 18) \\ &= \cos 70^\circ \end{aligned} \quad \cdots \quad (13)$$

$$\begin{aligned} K_{p2_7} &= \cos \{ (7 / 2) \times (1 - 2) \} \\ &= \cos \{ (7 / 2) \times (1 - (4 / 3)) \} \\ &= \cos (7 / 6) \\ &= \cos 210^\circ \end{aligned} \quad \cdots \quad (14)$$

$$\begin{aligned} K_{p_7} &= [1 / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] \times \{ (N_1 / N_2) \times K_{p1_7} + K_{p2_7} \} \\ &= [1 / \{ (N_1 / N_2) + 1 \}] \times \{ (N_1 / N_2) \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ \} \end{aligned} \quad \cdots \quad (15)$$

【 0 0 6 4 】

例えば、 $N_1 / N_2 = 2$ の場合、 K_{p_7} は、式(16)より、-0.061 である。

$$\begin{aligned} K_{p_7} &= \{ 1 / (2 + 1) \} \times (2 \times K_{p1_7} + K_{p2_7}) \\ &= (1 / 3) \times (2 \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) \\ &= -0.061 \end{aligned} \quad \cdots \quad (16)$$

10

20

30

40

50

【0065】

5次の巻線係数及び7次の巻線係数を低減するための比率 N_1 / N_2 を算出する。

巻線係数 K_p を、 N_1 / N_2 の関数とみなし、 $K_p(N_1 / N_2)$ と表現する。この場合、 $N_1 / N_2 = 2$ の場合における5次の巻線係数 $K_p_5(2)$ よりも小さい5次の巻線係数が得られる比率 N_1 / N_2 は、次の式(17), (18), 及び(19)で求められる。 $N_1 / N_2 = 2$ の場合における5次の巻線係数 $K_p_5(2)$ よりも小さい5次の巻線係数が得られる比率 N_1 / N_2 の下限を 5とする。

$$- K_p_5(5) \quad K_p_5(2) \quad \cdots \quad (17)$$

$$- \{1 / (5 + 1)\} \times (5 \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) = \{1 / (2 + 1) \\ \} \times (2 \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) \quad \cdots \quad (18)$$

$$5 = (2 \times \cos 50^\circ + 4 \times \cos 150^\circ) / (-5 \times \cos 50^\circ - \cos 150^\circ) = 0.928 \quad \cdots \quad (19)$$

次の式(17), (18), 及び(19)より、 $N_1 / N_2 = 2$ の場合における5次の巻線係数 $K_p_5(2)$ よりも小さい5次の巻線係数が得られる比率 N_1 / N_2 の条件は、 $0.928 \quad N_1 / N_2 < 2$ である。

【0066】

したがって、比率 N_1 / N_2 が、 $0.928 \quad N_1 / N_2 < 2$ を満たすとき、固定子3における基本波の巻線係数を大きく損ねることなく、比較例(例えば、 $N_1 / N_2 = 2$)に比べて、5次の巻線係数を低減することができる。その結果、電動機1におけるトルクリップルを低減することができ、電動機1の効率の低下を防ぐことができる。

【0067】

$N_1 / N_2 = 2$ の場合における7次の巻線係数 $K_p_7(2)$ よりも小さい7次の巻線係数が得られる比率 N_1 / N_2 は、次の式(20), (21), 及び(22)で求められる。 $N_1 / N_2 = 2$ の場合における7次の巻線係数 $K_p_7(2)$ よりも小さい7次の巻線係数が得られる比率 N_1 / N_2 の上限を 7とする。

$$- K_p_7(7) \quad K_p_7(2) \quad \cdots \quad (20)$$

$$- \{1 / (7 + 1)\} \times (7 \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) = \{1 / (2 + 1) \\ \} \times (2 \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) \quad \cdots \quad (21)$$

$$7 = (2 \times \cos 70^\circ + 4 \times \cos 210^\circ) / (-5 \times \cos 70^\circ - \cos 210^\circ) = 3.294 \quad \cdots \quad (22)$$

式(20), (21), 及び(22)より、 $N_1 / N_2 = 2$ の場合における7次の巻線係数 $K_p_7(2)$ よりも小さい7次の巻線係数が得られる比率 N_1 / N_2 の条件は、 $2 < N_1 / N_2 \quad 3.294$ である。

【0068】

したがって、比率 N_1 / N_2 が、 $2 < N_1 / N_2 \quad 3.294$ を満たすとき、固定子3における基本波の巻線係数を大きく損ねることなく、比較例(例えば、 $N_1 / N_2 = 2$)に比べて、7次の巻線係数を低減することができる。その結果、電動機1におけるトルクリップルを低減することができ、電動機1の効率の低下を防ぐことができる。

【0069】

以上に説明したように、比率 N_1 / N_2 が、 $0.928 \quad N_1 / N_2 < 2$ 、又は $2 < N_1 / N_2 \quad 3.294$ を満たすとき、固定子3における基本波の巻線係数を大きく損ねることなく、比較例(例えば、 $N_1 / N_2 = 2$)に比べて、高調波の巻線係数を低減することができる。この場合、少なくとも5次の巻線係数又は7次の巻線係数を低減することができる。その結果、電動機1におけるトルクリップルを低減することができ、電動機1の効率の低下を防ぐことができる。

【0070】

一般に、3次高調波は、デルタ結線で接続された3相コイルに循環電流を発生させる要因となる。そのため、3次高調波は、できるだけ低いことが望ましい。図10に示されるように、 $N_1 / N_2 < 2$ のとき、3次の巻線係数を十分に低減することができる。よって、比率 N_1 / N_2 が $0.928 \quad N_1 / N_2 < 2$ を満たすとき、デルタ結線で接続された

10

20

30

40

50

3相コイルにおける循環電流を低減することができる。

【0071】

5aを算出

5次の巻線係数をさらに低減するための比率N1/N2を算出する。一例として、N1/N2=2の場合における5次の巻線係数Kp_5(2)の半分以下となる5次の巻線係数が得られる比率N1/N2の範囲を算出する。

【0072】

巻線係数Kpを、N1/N2の関数とみなし、Kp(N1/N2)と表現する。この場合、N1/N2=2の場合における5次の巻線係数Kp_5(2)の半分以下となる5次の巻線係数が得られる比率N1/N2の範囲は、次の式(23)から(28)で求められる。N1/N2=2の場合における5次の巻線係数Kp_5(2)の半分以下となる5次の巻線係数が得られる比率N1/N2の下限を5aとする。

$$\begin{aligned} Kp_5(5a) - (1/2) \times Kp_5(2) \cdots (23) \\ \{1/(5a+1)\} \times (5a \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) = - (1/2) \\ \times \{1/(2+1)\} \times (2 \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) \cdots (24) \\ 5a = (-2 \times \cos 50^\circ - 7 \times \cos 150^\circ) / (8 \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) = 1.117 \cdots (25) \end{aligned}$$

【0073】

Kp_5(N1/N2) - (1/2) × Kp_5(2)が成立するN1/N2を5bとする。

$$\begin{aligned} Kp_5(5b) - (1/2) \times Kp_5(2) \cdots (26) \\ \{1/(5b+1)\} \times (5b \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) = (1/2) \times \\ \{1/(2+1)\} \times (2 \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) \cdots (27) \\ 5b = (2 \times \cos 50^\circ - 5 \times \cos 150^\circ) / (4 \times \cos 50^\circ - \cos 150^\circ) = 1.634 \cdots (28) \end{aligned}$$

【0074】

図11に示されるように、N1/N2=2の場合における5次の巻線係数Kp_5(2)の半分以下となる5次の巻線係数が得られる比率N1/N2の範囲は、1.117 N1/N2 1.634である。

【0075】

7aを算出

7次の巻線係数をさらに低減するための比率N1/N2を算出する。一例として、N1/N2=2の場合における7次の巻線係数Kp_7(2)の半分以下となる比率N1/N2の範囲を算出する。

【0076】

巻線係数Kpを、N1/N2の関数とみなし、Kp(N1/N2)と表現する。この場合、N1/N2=2の場合における7次の巻線係数Kp_7(2)の半分以下となる7次の巻線係数が得られる比率N1/N2の範囲は、次の式(29)から(34)で求められる。N1/N2=2の場合における7次の巻線係数Kp_7(2)の半分以下となる7次の巻線係数が得られる比率N1/N2の下限を7aとする。

$$\begin{aligned} Kp_7(7a) - (1/2) \times Kp_7(2) \cdots (29) \\ \{1/(7a+1)\} \times (7a \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) = (1/2) \times \\ \{1/(2+1)\} \times (2 \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) \cdots (30) \\ 7a = (2 \times \cos 70^\circ - 5 \times \cos 210^\circ) / (4 \times \cos 70^\circ - \cos 210^\circ) = 2.244 \cdots (31) \end{aligned}$$

【0077】

N1/N2=2の場合における7次の巻線係数Kp_7(2)の半分以下となる7次の巻線係数が得られる比率N1/N2の上限を7bとする。

$$\begin{aligned} Kp_7(7b) - (1/2) \times Kp_7(2) \cdots (32) \\ \{1/(7b+1)\} \times (7b \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) = - (1/2) \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

$$\times \{ 1 / (2 + 1) \} \times (2 \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) \quad \dots \quad (33)$$

$$7b = (-2 \times \cos 70^\circ - 7 \times \cos 210^\circ) / (8 \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) = 2.876 \quad \dots \quad (34)$$

【0078】

図12に示されるように、 $N_1 / N_2 = 2$ の場合における7次の巻線係数 $K_{p_7}(2)$ の半分以下となる7次の巻線係数が得られる比率 N_1 / N_2 の範囲は、2.244 N_1 / N_2 2.876である。

【0079】

したがって、電動機1の固定子3が、1.117 N_1 / N_2 1.634、又は2.244 N_1 / N_2 2.876を満たすとき、少なくとも5次の巻線係数又は7次の巻線係数を、比較例（例えば、 $N_1 / N_2 = 2$ ）に比べて半分以下にすることができる。

10

【0080】

5, 7を算出

5次の巻線係数及び7次の巻線係数の両方を適切に低減するための比率 N_1 / N_2 の範囲を算出する。

【0081】

図13は、基本波に対する高調波（具体的には、5次、7次）の巻線係数の含有率を示すグラフである。

含有率は、次の式（35）で求められる。

$$= [\{ (K_{p_5})^2 + (K_{p_7})^2 \} / K_{p_1}] \quad \dots \quad (35)$$

20

【0082】

5次の巻線係数が0である N_1 / N_2 を5とする。すなわち、 $K_{p_5}(N_1 / N_2) = 0$ が成立する N_1 / N_2 を5とする。この場合、式（11）は、次の式（36）に変換される。

$$\{ 1 / (5 + 1) \} \times (5 \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ) = 0 \quad \dots \quad (36)$$

5 > 0より、式（36）は、次の式（37），（38）に変換される。

$$5 \times \cos 50^\circ + \cos 150^\circ = 0 \quad \dots \quad (37)$$

$$5 = -\cos 150^\circ / \cos 50^\circ = 1.347 \quad \dots \quad (38)$$

【0083】

30

したがって、 $K_{p_5}(N_1 / N_2) = 0$ が成立する比率 N_1 / N_2 は、1.347である。

【0084】

7次の巻線係数が0である N_1 / N_2 を7とする。すなわち、 $K_{p_7}(N_1 / N_2) = 0$ が成立する N_1 / N_2 を7とする。この場合、式（15）は、次の式（39）に変換される。

$$\{ 1 / (7 + 1) \} \times (7 \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ) = 0 \quad \dots \quad (39)$$

7 > 0より、式（39）は、次の式（40），（41）に変換される。

$$7 \times \cos 70^\circ + \cos 210^\circ = 0 \quad \dots \quad (40)$$

$$7 = -\cos 210^\circ / \cos 70^\circ = 2.532 \quad \dots \quad (41)$$

40

【0085】

したがって、 $K_{p_7}(N_1 / N_2) = 0$ が成立する比率 N_1 / N_2 は、2.532である。

【0086】

図14は、3次の巻線係数、5次の巻線係数、及び7次の巻線係数を示すグラフである。

図14に示されるように、電動機1の固定子3が、1.347 N_1 / N_2 2.532を満たすとき、5次の巻線係数及び7次の巻線係数の両方を低減することができ、基本波に対する高調波（具体的には、5次、7次）の巻線係数の含有率を低減することができる。

【0087】

50

変形例。

電動機 1

図 1 5 は、変形例に係る電動機 1 の構造を概略的に示す上面図である。

変形例では、「 n 」の値が、実施の形態 1 で説明した「 n 」の値と異なる。変形例では、 $n = 2$ である。変形例では、実施の形態 1 と異なる構成について説明する。変形例において説明されない詳細は、実施の形態 1 と同じ詳細とすることができる。

【0088】

図 1 6 は、変形例に係る電動機 1 の回転子 2 の構造を概略的に示す断面図である。

回転子 2 は、回転子鉄心 2 1 と、少なくとも 1 つの永久磁石 2 2 を有する。回転子 2 は、 $4 \times n$ 個 (n は 1 以上の整数) の磁極を持つ。変形例では、回転子 2 は、8 個の磁極を持つ。

【0089】

固定子 3

図 1 7 は、変形例に係る電動機 1 の固定子 3 の構造を概略的に示す上面図である。

図 1 8 は、変形例に係る電動機 1 のスロット 3 1 1 内の 3 相コイル 3 2 の配置を示す図である。

図 1 9 は、変形例に係る電動機 1 の 3 相コイル 3 2 を概略的に示す図である。

【0090】

固定子鉄心 3 1 は、3 相コイル 3 2 が配置される $9 \times n$ 個のスロット 3 1 1 を有する。

変形例では、 $n = 2$ である。したがって、変形例では、固定子鉄心 3 1 は、18 個のスロット 3 1 1 を有する。

【0091】

変形例では、 $n = 2$ である。したがって、図 1 5 に示される例では、コイルエンド 3 2 a において、3 相コイル 3 2 は、4 個の U 相コイル 3 2 U、4 個の V 相コイル 3 2 V、及び 4 個の W 相コイル 3 2 W を持っている。

【0092】

3 相コイル 3 2 に電流が流れたとき、3 相コイル 3 2 は、 $4 \times n$ 個の磁極を形成する。変形例では、 $n = 2$ である。したがって、変形例では、3 相コイル 3 2 に電流が流れたとき、3 相コイル 3 2 は、8 磁極を形成する。

【0093】

変形例では、各相のコイル群は、2 個の第 1 のコイルと、2 個の第 2 のコイルとを含む。各第 1 のコイルは、2 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。各第 2 のコイルは、3 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。

【0094】

図 1 9 に示されるように、 $2 \times n$ 個の U 相コイル 3 2 U (すなわち、2 個の第 1 のコイル U 1 及び 2 個の第 2 のコイル U 2)、 $2 \times n$ 個の V 相コイル 3 2 V (すなわち、2 個の第 1 のコイル V 1 及び 2 個の第 2 のコイル V 2)、及び $2 \times n$ 個の W 相コイル 3 2 W (すなわち、2 個の第 1 のコイル W 1 及び 2 個の第 2 のコイル W 2) は、例えば、Y 結線で接続される。ただし、 $2 \times n$ 個の U 相コイル 3 2 U、 $2 \times n$ 個の V 相コイル 3 2 V、及び $2 \times n$ 個の W 相コイル 3 2 W は、Y 結線以外の結線、例えば、デルタ結線で接続されていてもよい。

【0095】

U 相コイル 3 2 U

$2 \times n$ 個の U 相コイル 3 2 U は、 n 個の第 1 のコイル U 1 と、 n 個の第 2 のコイル U 2 とを含む。変形例では、4 個の U 相コイル 3 2 U は、2 個の第 1 のコイル U 1 と、2 個の第 2 のコイル U 2 とで構成されている。 $2 \times n$ 個の U 相コイル 3 2 U は、直列に接続されている。したがって、変形例では、2 個の第 1 のコイル U 1 及び 2 個の第 2 のコイル U 2 は、直列に接続されている。各第 1 のコイル U 1 は、2 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。各第 2 のコイル U 2 は、3 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。

10

20

30

40

50

【0096】

$n = 2$ の場合、 n 個の第 1 のコイル U 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。変形例では、U 相の 2 個の第 1 のコイル U 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に 180 度ごとに等間隔に配置されている。言い換えると、 n 個の第 1 のコイル U 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、互いに $360 / n$ 度ずれて等間隔に配置されている。変形例では、U 相の 2 個の第 1 のコイル U 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、互いに 180 度ずれて等間隔に配置されている。

【0097】

$n = 2$ の場合、 n 個の第 2 のコイル U 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。変形例では、U 相の 2 個の第 2 のコイル U 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に 180 度ごとに等間隔に配置されている。言い換えると、 n 個の第 2 のコイル U 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、互いに $360 / n$ 度ずれて等間隔に配置されている。変形例では、U 相の 2 個の第 2 のコイル U 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、互いに 180 度ずれて等間隔に配置されている。

10

【0098】

V 相コイル 3 2 V

$2 \times n$ 個の V 相コイル 3 2 V は、 n 個の第 1 のコイル V 1 と、 n 個の第 2 のコイル V 2 とを含む。変形例では、4 個の V 相コイル 3 2 V は、2 個の第 1 のコイル V 1 と、2 個の第 2 のコイル V 2 とで構成されている。 $2 \times n$ 個の V 相コイル 3 2 V は、直列に接続されている。したがって、変形例では、2 個の第 1 のコイル V 1 及び 2 個の第 2 のコイル V 2 は、直列に接続されている。各第 1 のコイル V 1 は、2 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。各第 2 のコイル V 2 は、3 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。

20

【0099】

$n = 2$ の場合、 n 個の第 1 のコイル V 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。変形例では、V 相の 2 個の第 1 のコイル V 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に 180 度ごとに等間隔に配置されている。言い換えると、 n 個の第 1 のコイル V 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、互いに $360 / n$ 度ずれて等間隔に配置されている。変形例では、V 相の 2 個の第 1 のコイル V 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、互いに 180 度ずれて等間隔に配置されている。

30

【0100】

$n = 2$ の場合、 n 個の第 2 のコイル V 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。変形例では、V 相の 2 個の第 2 のコイル V 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に 180 度ごとに等間隔に配置されている。言い換えると、 n 個の第 2 のコイル V 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、互いに $360 / n$ 度ずれて等間隔に配置されている。変形例では、V 相の 2 個の第 2 のコイル V 2 は、各コイルエンド 3 2 a において、互いに 180 度ずれて等間隔に配置されている。

【0101】

W 相コイル 3 2 W

$2 \times n$ 個の W 相コイル 3 2 W は、 n 個の第 1 のコイル W 1 と、 n 個の第 2 のコイル W 2 とを含む。変形例では、4 個の W 相コイル 3 2 W は、2 個の第 1 のコイル W 1 と、2 個の第 2 のコイル W 2 とで構成されている。 $2 \times n$ 個の W 相コイル 3 2 W は、直列に接続されている。したがって、変形例では、2 個の第 1 のコイル W 1 及び 2 個の第 2 のコイル W 2 は、直列に接続されている。各第 1 のコイル W 1 は、2 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。各第 2 のコイル W 2 は、3 スロットピッチで固定子鉄心 3 1 に配置されている。

40

【0102】

$n = 2$ の場合、 n 個の第 1 のコイル W 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に $360 / n$ 度ごとに等間隔に配置されている。変形例では、W 相の 2 個の第 1 のコイル W 1 は、各コイルエンド 3 2 a において、周方向に 180 度ごとに等間隔に配置されている

50

。言い換えると、 n 個の第 1 のコイル W_1 は、各コイルエンド $3_2 a$ において、互いに $360/n$ 度ずれて等間隔に配置されている。変形例では、 W 相の 2 個の第 1 のコイル W_1 は、各コイルエンド $3_2 a$ において、互いに 180 度ずれて等間隔に配置されている。

【0103】

$n = 2$ の場合、 n 個の第 2 のコイル W_2 は、各コイルエンド $3_2 a$ において、周方向に $360/n$ 度ごとに等間隔に配置されている。変形例では、 W 相の 2 個の第 2 のコイル W_2 は、各コイルエンド $3_2 a$ において、周方向に 180 度ごとに等間隔に配置されている。言い換えると、 n 個の第 2 のコイル W_2 は、各コイルエンド $3_2 a$ において、互いに $360/n$ 度ずれて等間隔に配置されている。変形例では、 W 相の 2 個の第 2 のコイル W_2 は、各コイルエンド $3_2 a$ において、互いに 180 度ずれて等間隔に配置されている。 10

【0104】

巻線係数

実施の形態 1 で説明した比率 N_1 / N_2 は、変形例に係る電動機 1 の固定子 3 にも適用できる。

【0105】

実施の形態 2 .

実施の形態 2 に係る圧縮機 300 について説明する。

図 20 は、圧縮機 300 の構造を概略的に示す断面図である。

【0106】

圧縮機 300 は、電動要素としての電動機 1 と、ハウジングとしての密閉容器 307 と、圧縮要素（圧縮装置とも称する）としての圧縮機構 305 とを有する。本実施の形態では、圧縮機 300 は、スクロール圧縮機である。ただし、圧縮機 300 は、スクロール圧縮機に限定されない。圧縮機 300 は、スクロール圧縮機以外の圧縮機、例えば、ロータリーアクション圧縮機でもよい。 20

【0107】

圧縮機 300 内の電動機 1 は、実施の形態 1（変形例を含む）で説明した電動機 1 である。電動機 1 は、圧縮機構 305 を駆動する。

【0108】

圧縮機 300 は、さらに、シャフト 4 の下端部（すなわち、圧縮機構 305 側と反対側の端部）を支持するサブフレーム 308 を備えている。 30

【0109】

圧縮機構 305 は、密閉容器 307 内に配置されている。圧縮機構 305 は、渦巻部分を有する固定スクロール 301 と、固定スクロール 301 の渦巻部分との間に圧縮室を形成する渦巻部分を有する揺動スクロール 302 と、シャフト 4 の上端部を保持するコンプライアンスフレーム 303 と、密閉容器 307 に固定されてコンプライアンスフレーム 303 を保持するガイドフレーム 304 とを備える。

【0110】

固定スクロール 301 には、密閉容器 307 を貫通する吸入管 310 が圧入されている。また、密閉容器 307 には、固定スクロール 301 から吐出される高圧の冷媒ガスを外部に吐出する吐出管 306 が設けられている。この吐出管 306 は、密閉容器 307 の圧縮機構 305 と電動機 1 との間に設けられた開口部に連通している。 40

【0111】

電動機 1 は、固定子 3 を密閉容器 307 に嵌め込むことにより密閉容器 307 に固定されている。電動機 1 の構成は、上述した通りである。密閉容器 307 には、電動機 1 に電力を供給するガラス端子 309 が溶接により固定されている。

【0112】

電動機 1 が回転すると、その回転が揺動スクロール 302 に伝達され、揺動スクロール 302 が揺動する。揺動スクロール 302 が揺動すると、揺動スクロール 302 の渦巻部分と固定スクロール 301 の渦巻部分とで形成される圧縮室の容積が変化する。そして、吸入管 310 から冷媒ガスが吸入され、圧縮されて、吐出管 306 から吐出される。 50

【0113】

圧縮機300は、実施の形態1で説明した電動機1を有するので、実施の形態1で説明した利点を持つ。

【0114】

さらに、圧縮機300は実施の形態1で説明した電動機1を有するので、圧縮機300の性能を改善することができる。

【0115】

実施の形態3。

実施の形態2に係る圧縮機300を有する、空気調和機としての冷凍空調装置7について説明する。

図21は、実施の形態3に係る冷凍空調装置7の構成を概略的に示す図である。

【0116】

冷凍空調装置7は、例えば、冷暖房運転が可能である。図21に示される冷媒回路図は、冷房運転が可能な空気調和機の冷媒回路図の一例である。

【0117】

実施の形態3に係る冷凍空調装置7は、室外機71と、室内機72と、室外機71及び室内機72を接続する冷媒配管73とを有する。

【0118】

室外機71は、圧縮機300と、熱交換器としての凝縮器74と、絞り装置75と、室外送風機76（第1の送風機）とを有する。凝縮器74は、圧縮機300によって圧縮された冷媒を凝縮する。絞り装置75は、凝縮器74によって凝縮された冷媒を減圧し、冷媒の流量を調節する。絞り装置75は、減圧装置とも言う。

【0119】

室内機72は、熱交換器としての蒸発器77と、室内送風機78（第2の送風機）とを有する。蒸発器77は、絞り装置75によって減圧された冷媒を蒸発させ、室内空気を冷却する。

【0120】

冷凍空調装置7における冷房運転の基本的な動作について以下に説明する。冷房運転では、冷媒は、圧縮機300によって圧縮され、凝縮器74に流入する。凝縮器74によって冷媒が凝縮され、凝縮された冷媒が絞り装置75に流入する。絞り装置75によって冷媒が減圧され、減圧された冷媒が蒸発器77に流入する。蒸発器77において冷媒は蒸発し、冷媒（具体的には、冷媒ガス）が再び室外機71の圧縮機300へ流入する。室外送風機76によって空気が凝縮器74に送られると冷媒と空気との間で熱が移動し、同様に、室内送風機78によって空気が蒸発器77に送られると冷媒と空気との間で熱が移動する。

【0121】

以上に説明した冷凍空調装置7の構成及び動作は、一例であり、上述した例に限定されない。

【0122】

実施の形態3に係る冷凍空調装置7によれば、実施の形態1で説明した利点を持つ。

【0123】

さらに、実施の形態3に係る冷凍空調装置7は、実施の形態2に係る圧縮機300を有するので、冷凍空調装置7の性能を改善することができる。

【0124】

以上に説明した各実施の形態における特徴及び各変形例における特徴は、互いに組み合わせることができる。

【符号の説明】**【0125】**

1 電動機、 2 回転子、 3 固定子、 7 冷凍空調装置、 31 固定子鉄心、
32 3相コイル、 32a コイルエンド、 32U U相コイル、 32V V相コイル

10

20

30

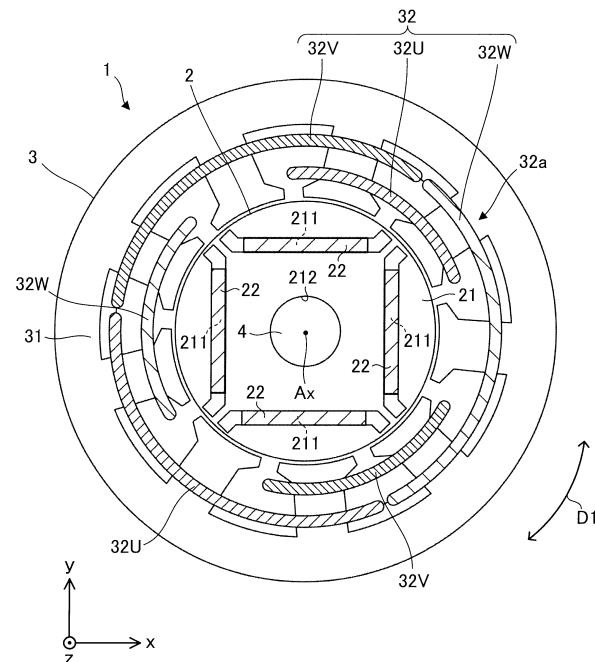
40

50

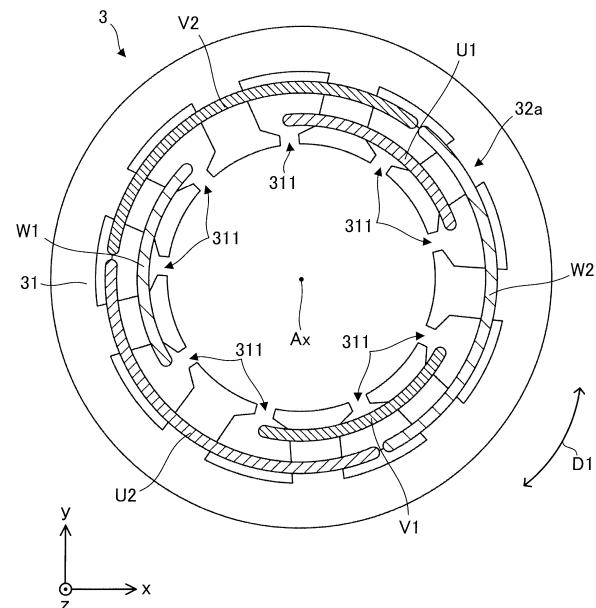
、 3 2 W W相コイル、 7 1 室外機、 7 2 室内機、 7 4 凝縮器、 7 7 蒸発器、 3 0 0 圧縮機、 3 0 5 圧縮機構、 3 0 7 密閉容器、 3 1 1 スロット、 U 1 , V 1 , W 1 第 1 のコイル、 U 2 , V 2 , W 2 第 2 のコイル。

【図面】

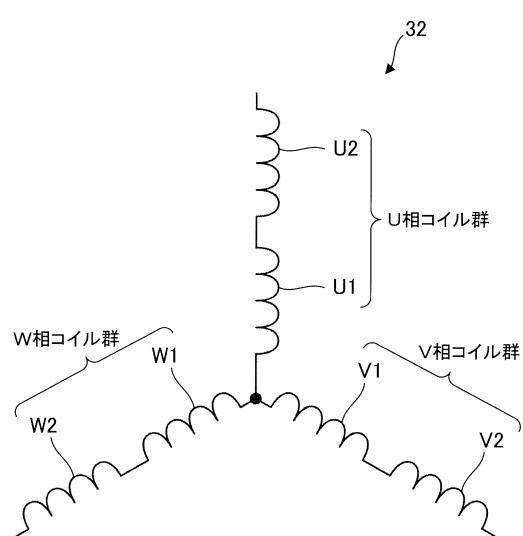
【図 1】



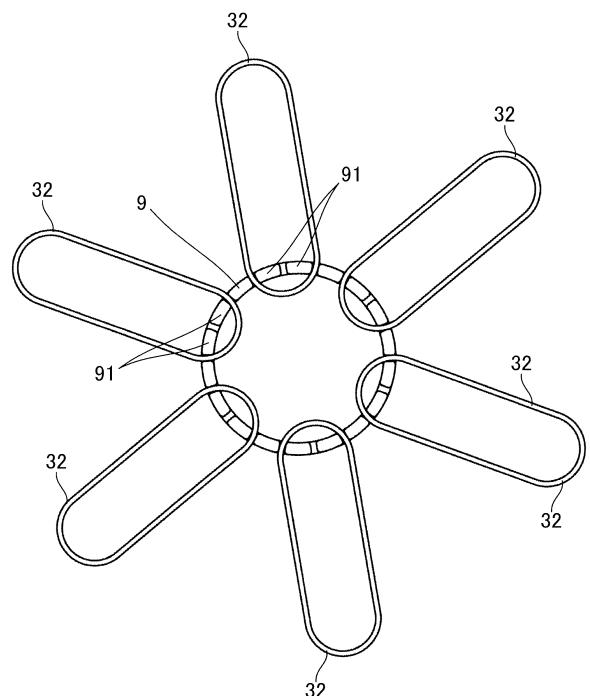
【図 2】



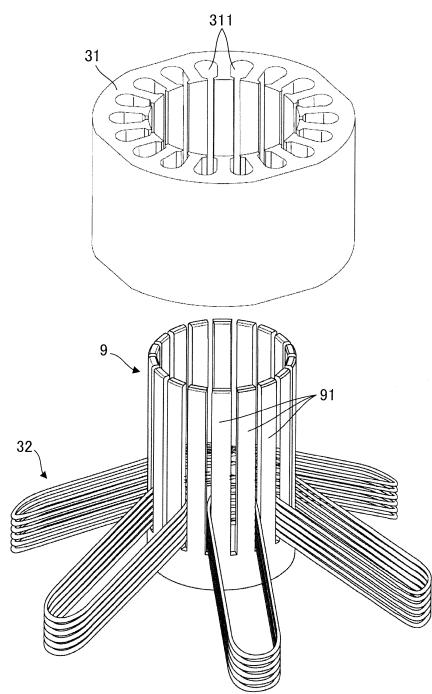
【図 3】



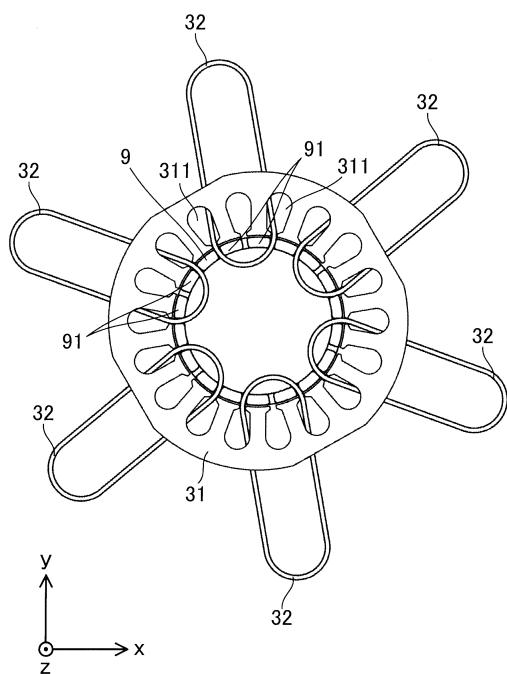
【図 4】



【図 5】



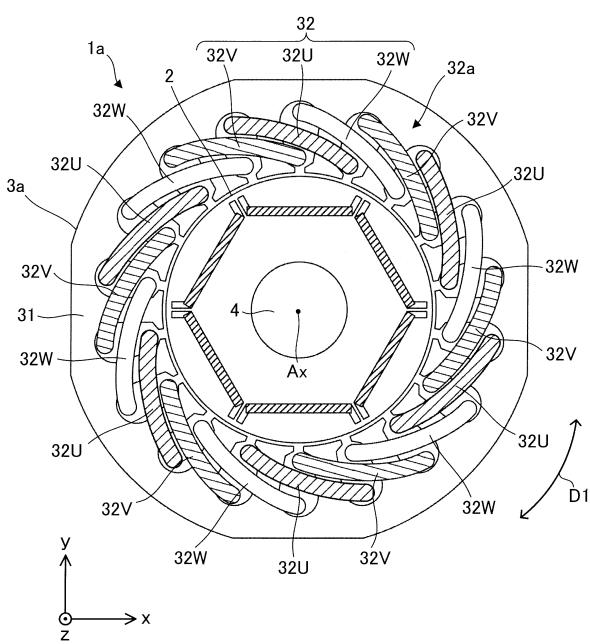
【図 6】



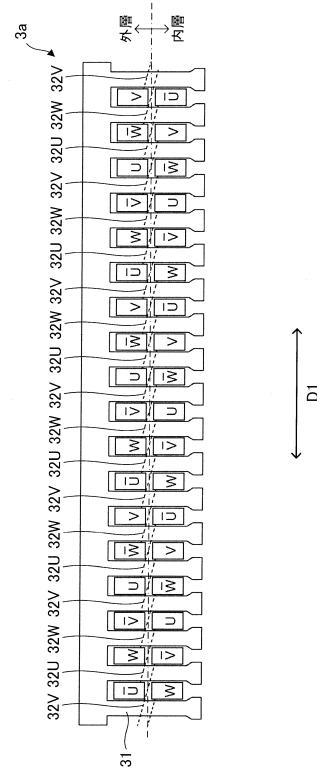
10

20

【図 7】



【図 8】

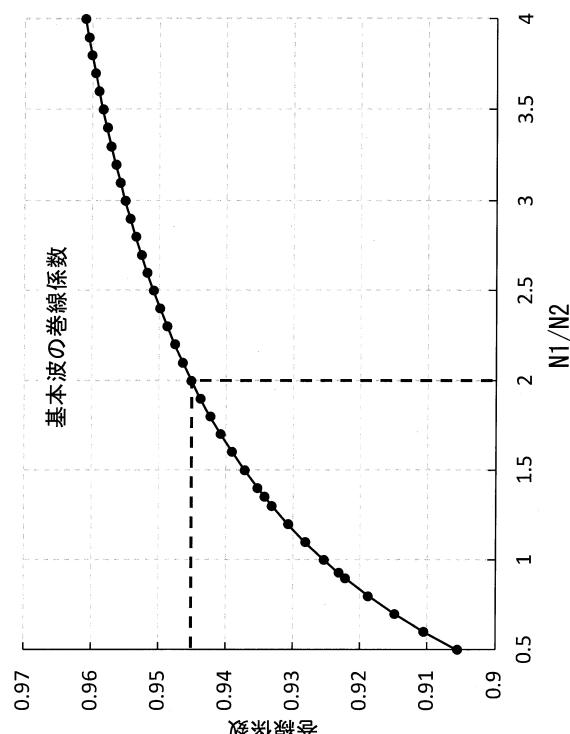


30

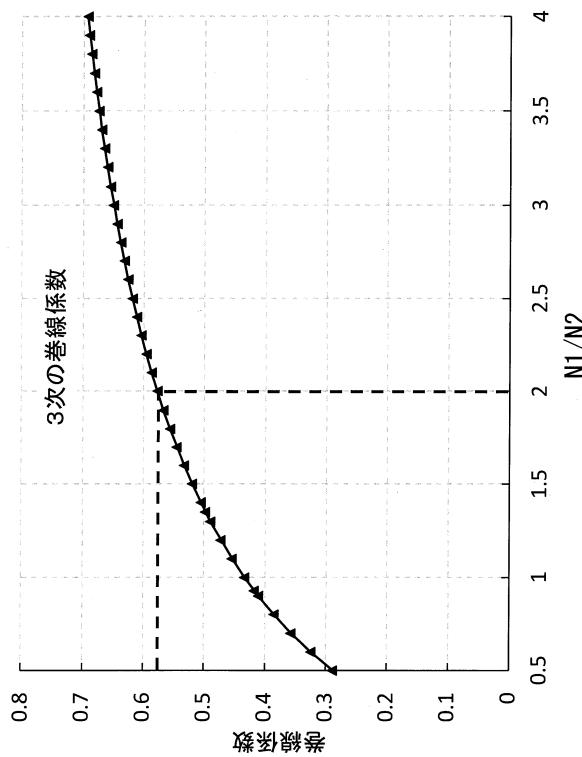
40

50

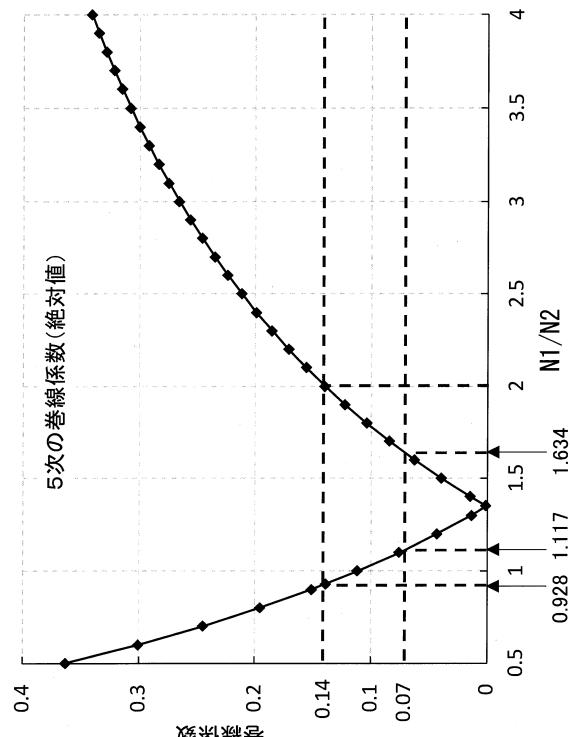
【図 9】



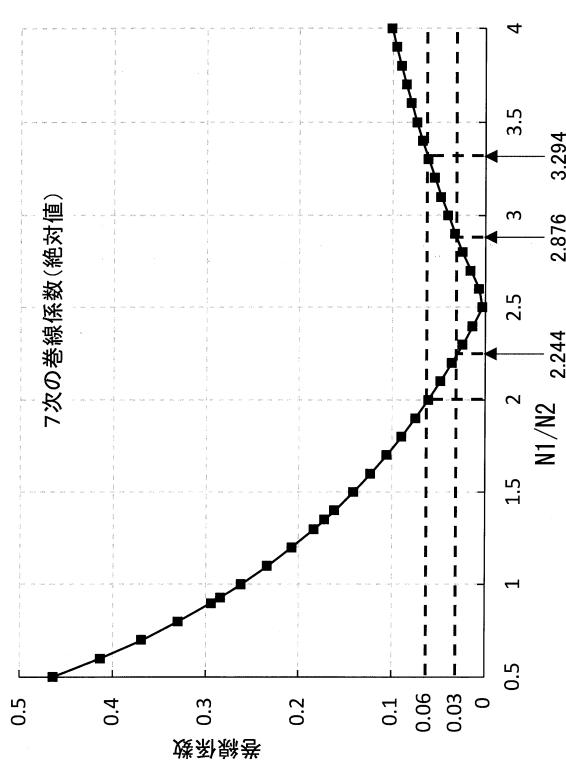
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

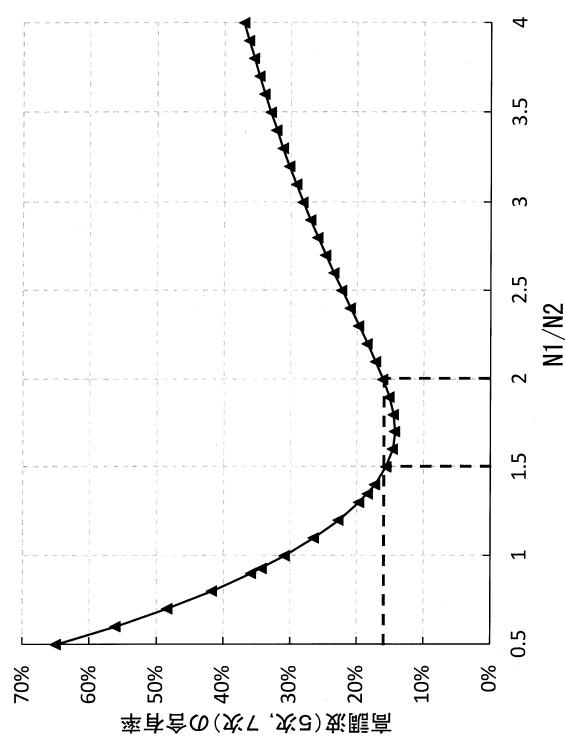
20

30

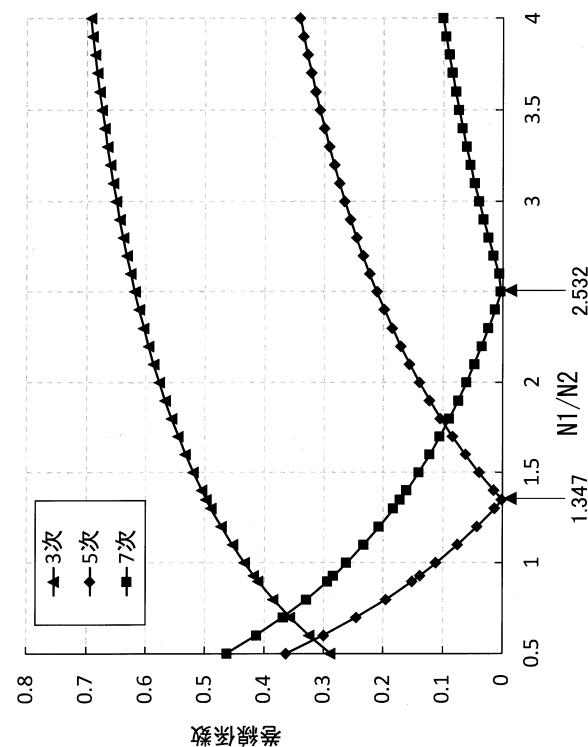
40

50

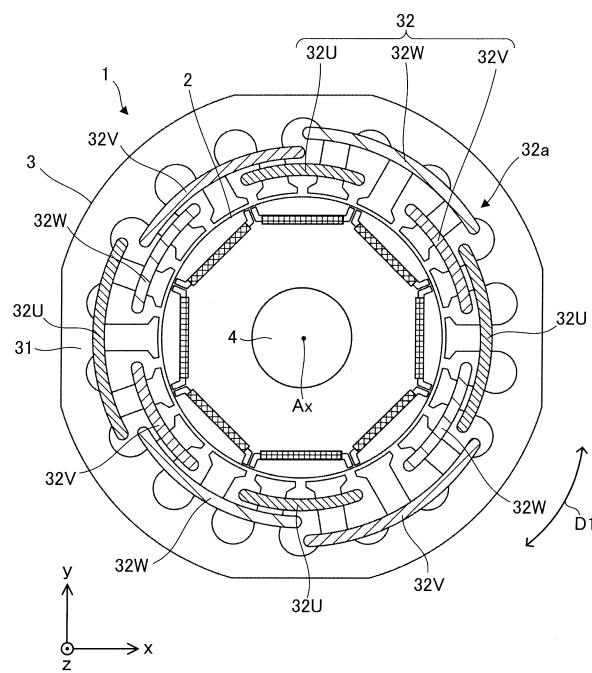
【図 1 3】



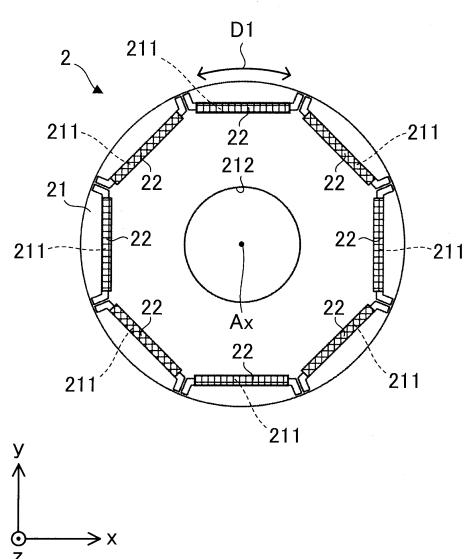
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

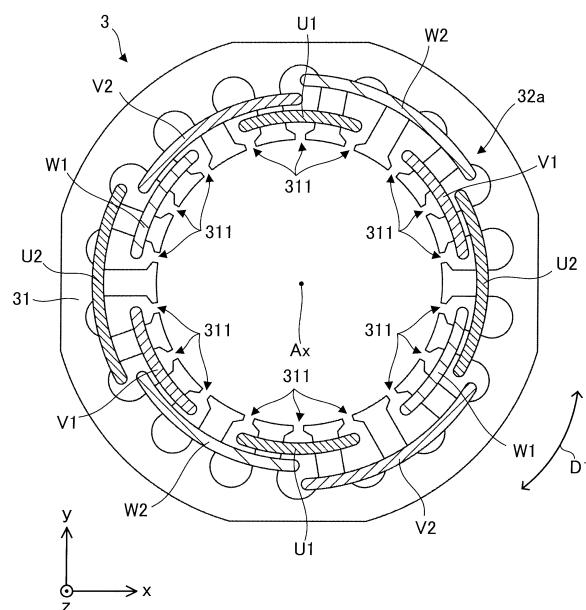
20

30

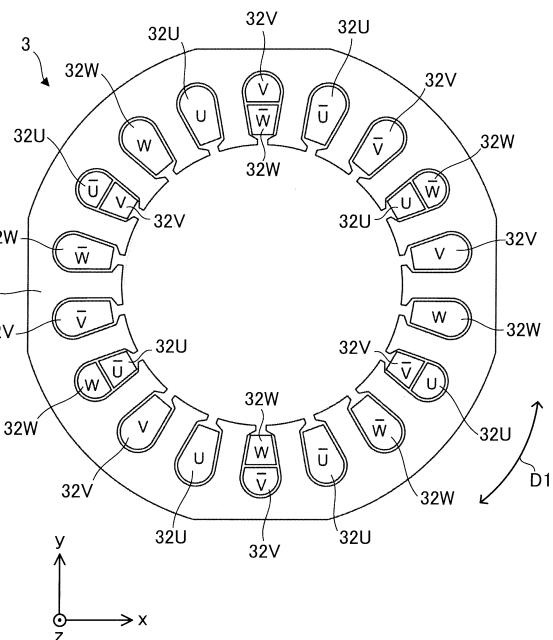
40

50

【図17】



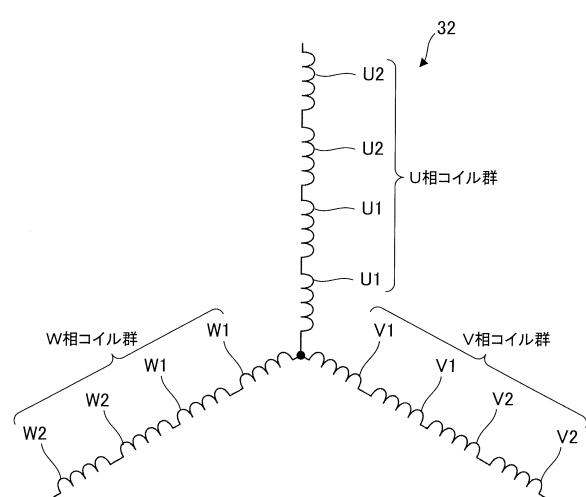
【 図 1 8 】



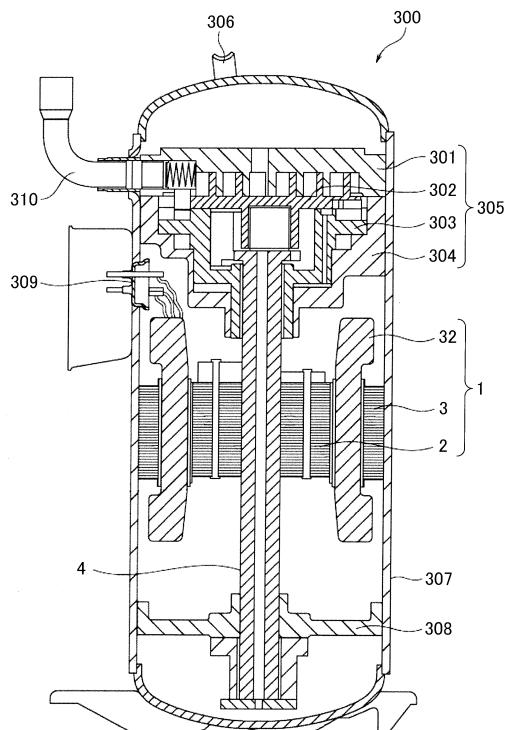
10

20

【図19】



【 図 2 0 】

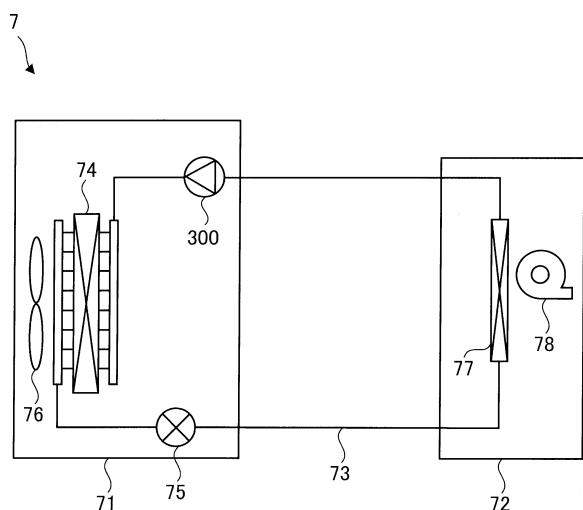


30

40

50

【図 2 1】



10

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

審査官 安池 一貴

(56)参考文献 実開昭62-178757 (JP, U)

特開昭54-086714 (JP, A)

国際公開第2017/130288 (WO, A1)

特開2009-171799 (JP, A)

実開昭54-071605 (JP, U)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H02K 3/28