(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4542864号
(P4542864)

(45)発行日　平成22年9月15日(2010.9.15)　(24)登録日　平成22年7月2日(2010.7.2)

(51)Int.Cl.		F I		
H02K 3/14	(2006.01)	H02K	3/14	
H02K 1/18	(2006.01)	H02K	1/18	B
H02K 1/20	(2006.01)	H02K	1/20	D

請求項の数 19　(全 28 頁)

(21)出願番号　特願2004-293051 (P2004-293051)
(22)出願日　平成16年10月5日 (2004.10.5)
(65)公開番号　特開2006-109616 (P2006-109616A)
(43)公開日　平成18年4月20日 (2006.4.20)
審査請求日　平成19年7月11日 (2007.7.11)

(73)特許権者　000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目１番１号
(74)代理人　100058479
弁理士　鈴江　武彦
(74)代理人　100091351
弁理士　河野　哲
(74)代理人　100088683
弁理士　中村　誠
(74)代理人　100108855
弁理士　蔵田　昌俊
(74)代理人　100075672
弁理士　峰　隆司
(74)代理人　100109830
弁理士　福原　淑弘

最終頁に続く

(54)【発明の名称】回転電機及び回転電機の電機子巻線

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
回転軸が回転可能に支持された回転子と、
前記回転子の回転軸の軸心に沿うように延在する複数の巻線スロットを設け、かつ軸方向に複数の通風ダクトを設けた固定子鉄心と、前記巻線スロットに格納され、かつ積み重なる多数の素線導体で構成される電機子巻線を有し、
前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る前記電機子巻線の両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機において、
前記固定子鉄心の前記素線導体の転位ピッチ１８０度に相当する長さを１鉄心単位領域とし、前記固定子鉄心の一方の端部から奇数番目の前記鉄心単位領域において選定した任意の２つの素線間における固定子鉄心の端部の端から端までの誘起電圧である第１の素線間電圧の総和が、前記鉄心端部から偶数番目の前記鉄心単位領域での前記２つの素線間における固定子鉄心の端部の端から端までの誘起電圧である第２の素線間電圧の総和と相殺するように、前記鉄心の占積率の異なるサブ鉄心部を設けたことを特徴とする回転電機。
【請求項２】
請求項１に記載の回転電機において、
前記サブ鉄心部は第１のサブ鉄心部と、当該第１のサブ鉄心部から前記素線導体の転位角で１８０ｎ度（但しｎは１以上の整数）の軸方向距離にある第２のサブ鉄心部からなり

、
前記第１のサブ鉄心部の前記素線導体の転位角の任意の軸方向範囲における前記鉄心の占積率が、前記第２のサブ鉄心部の前記素線導体の転位角の前記軸方向範囲における前記鉄心の占積率と等しいことを特徴とする回転電機。
【請求項３】
請求項２に記載の回転電機において、
前記サブ鉄心部の、軸方向長さに亘る前記鉄心の占積率の分布が、前記素線導体の転位角で１８０度毎に、相似形であることを特徴とする回転電機。
【請求項４】
請求項１から３のいずれか一つに記載の回転電機において、
前記鉄心領域に設けた前記サブ鉄心部のうちの何れかが、前記固定子鉄心の端部にあることを特徴とする回転電機。
【請求項５】
請求項４に記載の回転電機において、
前記素線導体の転位角が前記固定子鉄心内において３６０度あるいは前記素線導体間に生じる不平衡電圧を相殺するように３６０度からずらした角度であり、前記サブ鉄心部を前記固定子鉄心の端部と軸方向中央部に設けたことを特徴とする回転電機。
【請求項６】
請求項１または２に記載の回転電機において、
前記鉄心領域に設けた前記サブ鉄心部のうちの何れかが、前記固定子鉄心の端部にあり、かつ
前記素線導体の転位角が前記固定子鉄心内において４５０度あるいは前記素線導体間に生じる不平衡電圧を相殺するように４５０度からずらした角度であり、前記固定子鉄心の端部から固定子鉄心長の１／８の範囲で前記素線導体の転位ピッチが軸方向中央部の転位ピッチの約半分であって、前記サブ鉄心部を前記固定子鉄心の両端部から鉄心長の１／８の範囲と、前記固定子鉄心の中央部に鉄心長の１／４の範囲に亘って設けたことを特徴とする回転電機。
【請求項７】
請求項１から６のいずれか一つに記載の回転電機において、
前記鉄心の占積率の差異を、１鉄心パケットと１通風ダクトからなる軸方向長さの差異で構成したことを特徴とする回転電機。
【請求項８】
請求項１から６のいずれか一つに記載の回転電機において、
前記鉄心の占積率の差異を、前記通風ダクトの軸方向幅の差異で構成したことを特徴とする回転電機。
【請求項９】
請求項１から６のいずれか一つに記載の回転電機において、
前記鉄心の占積率の差異を、前記固定子鉄心を構成する抜板鉄板の磁性体と絶縁皮膜の厚さの比の差異で構成したことを特徴とする回転電機。
【請求項１０】
請求項７から８のいずれか一つに記載の回転電機において、
前記固定子鉄心部を軸方向に複数の冷却空間に分割し、前記固定子鉄心の外周側から内周側に通風ダクトを介して送風する給気セクションと、前記固定子鉄心の内周側から外周側に前記通風ダクトを介して排出する排気セクションとを、軸方向に交互に配置し、前記鉄心の占積率が大きい部分を含む給気セクションを有することを特徴とする回転電機。
【請求項１１】
請求項１０に記載の回転電機において、
前記鉄心の占積率が大きい部分を前記固定子鉄心の軸方向中央部に配置し、通風セクションの数を、ｎを１以上の整数として４ｎ－１としたことを特徴とする回転電機。
【請求項１２】

軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が格納され、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、

前記素線導体の転位ピッチを前記固定子鉄心内で３６０度あるいは前記素線導体間に生じる不平衡電圧を相殺するように３６０度からずらした角度とし、前記固定子鉄心の軸長をＬｓ、前記サブ鉄心部以外の部分の軸方向長さの全鉄心長に対する比をｆ、前記通風ダクトの個数をＮ、前記通風ダクトの軸方向幅をｄ、前記サブ鉄心部を除いた部分の通風ダクト数の全体の通風ダクト数に対する比をｆ’としたときに、前記サブ鉄心部を除いた部分で前記素線導体が捩られる転位角の、前記固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する転位角に対する比Ｆが、

【数１】

$$F = \frac{fL_s - f'Nd}{L_s - Nd}$$

であることを特徴とする回転電機の電機子巻線。

【請求項１３】

軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が収納され、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、

前記固定子鉄心の一部に、鉄心の占積率が異なるサブ鉄心部を設け、

前記サブ鉄心部における前記固定子鉄心の占積率をそれ以外の部分よりも小さくし、

前記素線導体の転位ピッチを前記固定子鉄心内で３６０度あるいは前記素線導体間に生じる不平衡電圧を相殺するように３６０度からずらした角度とし、前記固定子鉄心の軸長をＬｓ、前記サブ鉄心部以外の部分の軸方向長さの全鉄心長に対する比をｆ、前記通風ダクトの個数をＮ、前記通風ダクトの軸方向幅をｄ、前記サブ鉄心部を除いた部分の通風ダクト数の全体の通風ダクト数に対する比をｆ’とし、

【数２】

$$\Delta F = \frac{Nd}{L_s - Nd}(f' - f)$$

としたときに、前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において、前記鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に、鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する転位角に対する、前記素線導体の前記固定子鉄心内での転位角の比Ｆが、

【数３】

$$F = \frac{1}{1 + \Delta F}$$

であることを特徴とする回転電機の電機子巻線。

【請求項１４】

軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が収納され、前記素線導体

は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、

前記固定子鉄心の一部に、占積率が異なるサブ鉄心部を設け、

前記サブ鉄心部における前記固定子鉄心の占積率をそれ以外の部分よりも大きくし、前記素線導体の前記固定子鉄心内での転位角を、前記固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に、前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する転位角よりも、前記サブ鉄心部によって生じる不平衡電圧を相殺するように大きくしたことを特徴とする回転電機の電機子巻線。

【請求項１５】

請求項１４に記載の回転電機の電機子巻線において、

前記素線導体の転位ピッチを前記固定子鉄心内で３６０度あるいは前記素線導体間に生じる不平衡電圧を相殺するように３６０度からずらした角度とし、前記固定子鉄心の軸長をＬｓ、前記サブ鉄心部以外の部分の軸方向長さの全鉄心長に対する比をｆ、前記通風ダクトの個数をＮ、前記通風ダクトの軸方向幅をｄ、前記サブ鉄心部を除いた部分の通風ダクト数の全体の通風ダクト数に対する比をｆ’　とし、

【数４】

$$\Delta F = \frac{Nd}{L_S - Nd}(f' - f)$$

としたときに、前記素線導体の前記固定子鉄心内での転位角の、前記固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に、前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する転位角に対する比Ｆが、

【数５】

$$F = 1 + \Delta F$$

であることを特徴とする回転電機の電機子巻線。

【請求項１６】

軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が格納され、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記素線導体の転位ピッチを、前記素線間の不平衡電圧を極小化するように複数設け、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、

前記固定子鉄心の一部に、前記固定子鉄心の占積率が異なるサブ鉄心部を設け、

前記素線導体の転位ピッチの変曲点を、前記固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に、前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する位置から、前記サブ鉄心部が前記固定子鉄心部の磁気抵抗を増減させることによって前記素線間に生じる不平衡電圧を相殺するようにずらしたことを特徴とする回転電機の電機子巻線。

【請求項１７】

軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が収納され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、

前記固定子鉄心の一部に、前記通風ダクトの占積率が異なるサブ鉄心部を設け、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって捩られて転位する部分と、転位しない部分を設け、前記サブ鉄心部が前記固定子鉄心部の磁気抵抗を増減させることによって前記素線間に生じる不平衡電圧を相殺するようにしたことを特徴とする回転電機の電機子巻線。

【請求項１８】

請求項１２から１７のいずれか一つに記載の回転電機の電機子巻線において、

前記素線導体の巻線スロットの底部側コイルである下コイルにおける転位ピッチを、前記固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する場合と同じくしたことを特徴とする回転電機の電機子巻線。

【請求項１９】

請求項１２から１８のいずれか一つに記載の回転電機の電機子巻線を備えた回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、回転電機及び回転電機の電機子巻線に関する。

【背景技術】

【０００２】

従来の回転電機では、図４２の断面図に示すように、図示していない回転子の回転軸心に沿うように延在する複数の巻線スロット１０を設けた固定子鉄心３と、巻線スロット１０に埋設され、かつ積み重なる多数の素線導体５でそれぞれ構成される上コイル２ｃ、下コイル２ｄからなる電機子巻線２と、固定子鉄心３内の径方向に複数の通風ダクト４から構成されており、素線導体５は、巻線スロット１０内に格納された部分で、巻線スロット１０の延在方向に向かって連続的に捩られて３６０度転位するように形成され、固定子鉄心３の両側面より外側に突き出る電機子巻線２の両側部で素線導体５は短絡されている。

【０００３】

このような構成の多重素線導体に交流電流が流れる場合には、巻線スロット１０を周方向に横切る漏れ磁束が発生し、これによって多重素線導体の長手方向の各部分における素線導体５の間に電圧が誘起される。そして、任意の素線導体対において、巻線導体の全長にわたる各素線導体の誘起電圧に非常に大きな差が生じると、閉ループ状の素線導体対には大きな循環電流が流れ、電流損失が増大するとともに素線導体内部で発生する熱も増大する。

【０００４】

そこで、素線導体の全長にわたって各素線導体間に誘起される電圧をほぼ等しくして循環電流が流れないようにするため、素線導体を各種の方法によって転位することが行われている。

【０００５】

ここで、図４３及び図４４を参照して従来の技術である、素線導体の転位について説明する。この素線導体の転位は、素線導体を巻線スロットの延在方向に向かってねじることにより、各素線導体の位置を順次変更させたもので、素線導体の断面において、ある素線導体が断面中心の周りを円状に移動すると考え、その回転の角度で転位の程度を表す。各素線導体が、素線導体断面において全ての位置を経て巻線スロットの反対端で出発した位置と同じ位置になる転位は、３６０度転位という。

【０００６】

図４３は３６０度転位の素線構成を表す模式図であり、図示していない回転子の回転軸心に沿うように延在する複数の巻線スロットを設けた固定子鉄心３と、前記巻線スロットに埋設され、かつ積み重なる多数の素線導体５で構成される電機子巻線２と、固定子鉄心内の径方向に複数の通風ダクト４から構成されており、素線導体５は、巻線スロット内に

格納された部分で、巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて３６０度転位するように形成され、固定子鉄心の両側面より外側に突き出る電機子巻線２の両側部で素線導体５は短絡されている。

【０００７】

図４３には２つの代表的な素線導体５ａ、５ｂ間に鎖交する磁束を示しており、図では、鉄心部分の鎖交磁束を１６ａ～１６ｃと示しているが、例えば１６ａと１６ｃの和は１６ｂに等しくなり、巻線スロット内で鎖交する磁束による素線導体５ａ、５ｂ間の誘起電圧が相殺されるような構成となっている。

【０００８】

しかし、巻線スロット内では３６０度転位が施されているが、巻線スロット外では転位されていないので、回転電機の端部側の漏れ磁束１６ｘ、１６ｙによって不平衡電圧が発生し、素線導体５ａ、５ｂ内には循環電流が生じている。

【０００９】

上述のようにこうした回転電機の端部には漏れ磁束があるため、これにより巻線導体の端部に電圧が誘起され、素線導体内に循環電流が流れて電流損失が発生する。この損失を低減するためには、素線導体の両端部における素線導体の位置を逆転し、同一素線導体の両端部に誘起される各電圧の方向を互いに逆にしてこれらを相殺すればよい。これは素線導体を巻線スロット内で５４０度転位、すなわち１回転半の転位をすることで実現できる。

【００１０】

図４４は５４０度転位の素線構成を表す模式図であり、図４３と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。図４４において、転位ピッチは両端部から鉄心長の１／４の範囲で中央部の２倍であり、すなわち、両端部から鉄心長の１／４の範囲及び中心部の鉄心長の１／２の範囲で、それぞれ１８０度の転位がなされている。素線導体５ａ、５ｂ間の鎖交磁束１６ａと１６ｅの和は１６ｃに等しく、１６ｂと１６ｆの和は１６ｄに等しくなるので、巻線スロット内の鎖交磁束では素線５ａ、５ｂ間の誘起電圧は相殺される。また、巻線スロット外では１６ｘと１６ｙに鎖交する磁束がそれぞれ相殺しあうので、端部の漏れ磁束による循環電流も低減できることになる。

【００１１】

この他にも４５０度転位により端部側の漏れ磁束による不平衡電圧を低減することも可能であり、原理的にはｎを０以外の整数として、３６０＋９０ｎ度の転位が考えられる。

【００１２】

また、導体素線をスロット内においてわたりの間隔を不均一にし、かつ周方向及び半径方向に位置的に転位した部分と転位しない部分とを設けてスロット内の導体素線に不平衡電圧を発生させ、この不平衡電圧によってスロット外の導体素線に発生する不平衡電圧を補償するようにしたものもある（特許文献１参照）。

【００１３】

特許文献１の発明は、スロット内において転位しない部分を設けているため、転位ピッチが短くなり、素線導体の絶縁を破損し、素線導体が短絡を起こす可能性があった。

【００１４】

更に、第１の例の問題点を改善するために、素線導体は、両端部を除いてスロットの延びる方向に向かって連続的にねじられて転位するように形成され、積み重ね方向の厚みを異ならしめ、素線導体は両端部では回転子の回転中心から放射方向に並ぶ素線導体を回転子に近い方に厚みの厚いものが占めるように配置したものもある（特許文献２参照）。

【００１５】

一方、図４３のような端部側の漏れ磁束を相殺するため、転位角を上述した３６０＋９０ｎ度から少し前後させる場合もある。この場合は、通常、端部側の漏れ磁束による誘起電圧による循環電流損失と、巻線スロット内での鎖交磁束による誘起電圧による循環電流損失の和を小さくするように、転位角を決定する。

【００１６】

次に、機内の冷却ガス通風経路を図４５を用いて説明する。図４５は、タービン発電機等の回転電機における冷却ガス通風経路の基本構成例である。

【００１７】

回転電機の固定子鉄心は鉄心抜板を積層するとともに、内側間隔片を所定の間隔で挿入して放射状の通風ダクトを形成する。通風ダクト４は軸方向に一つ以上のセクションに分割し、鉄心の外径から内径側へ流れる給気セクションと内径から外径側へ流れる排気セクションに区切られる。図４５は固定子鉄心３を２つの給気セクション４ａと３つの排気セクション４ｂに分割した構成例である。

【００１８】

冷却ガスは回転子両端に取り付けた回転子ファン１１から吐出され、回転子１、エアギャップ９および電機子巻線端部２ｂの３方向に分岐する。

【００１９】

固定子への冷却ガスの供給は、ファン１１から直接エアギャップ９に流れ込む通風経路からと、電機子巻線端部２ｂを冷却した後の冷却ガスを固定子鉄心３の給気セクション４ａに導き行う。

【００２０】

給気セクション４ａに供給された冷却ガスは、通風ダクト群を外径側から内径側へと流れ、固定子鉄心３および電機子巻線２を冷却した後、エアギャップ９に排出される。エアギャップ部９では、回転子１からの排気ガスおよびファン１１から直接エアギャップ内に流れ込む冷却ガスと合流し、さらに排気セクション４ｂを内径側から外径側へ流れて、固定子鉄心３および電機子巻線２を冷却し、固定子外径側で合流する。固定子および回転子を冷却して高温となった冷却ガスは水冷式ガスクーラ１２を通過して冷却され、風導を通って再び回転子ファン１１へと循環する。

【００２１】

電機子巻線および界磁巻線はそれらを構成する絶縁物の耐熱性能により厳しく温度上限が制限されており、回転電機の設計においては、これらの温度が規格値以下に保たれるように設計する必要がある。

【００２２】

電機子巻線を効率よく冷却するためには、巻線温度が低い部位には冷却ガスを少なく高い部位に集中的に供給して、巻線温度を平準化することが望ましい。

【００２３】

冷却ガスの供給量を調整する手段の一つとして固定子鉄心ダクトを軸方向に不等ピッチで配置する方法がある。一例として図４６に通風ダクトを不等ピッチに配置した固定子鉄心の構成例を示す。

【００２４】

固定子端部からエアギャップに流入する冷却ガスは、ファンから直接供給されるためその他の部位と比較してガス温度が低く冷却上有利であるため、鉄心端部側の通風ダクト４のピッチをその他の部位と比較して大きくして配置した。

【００２５】

また、給気セクションの冷却ガスは排気セクションと比較して温度が低いため給気セクションのダクトピッチを排気セクションのダクトピッチよりも大きく配置することもある。

【特許文献１】特公昭５８－１４１４１号公報

【特許文献２】特開２００２－７８２６５

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００２６】

上述した回転電機及び回転電機の電機子巻線において、固定子の通風ダクトを軸方向に不均等に分布させた場合、前記鉄心部で生じる漏れ磁束の分布が軸方向に一様で無くなり、素線導体間を鎖交する磁束のバランスが失われ、導体素線間に不平衡電圧が生じ、循環

電流が生ずることによって、導体素線間に損失分布が生じ、導体が局所的に過熱することが課題であった。

【００２７】

本発明は上述した課題を解決するためになされたものであり、固定子の通風ダクトの不均等な分布による導体素線間の循環電流を低減でき、電機子巻線の局部過熱を抑制することのできる回転電機及び回転電機の電機子巻線を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００２８】

前記目的を達成するため、請求項１に対応する発明は、回転軸が回転可能に支持された回転子と、前記回転子の回転軸の軸心に沿うように延在する複数の巻線スロットを設け、かつ軸方向に複数の通風ダクトを設けた固定子鉄心と、前記巻線スロットに格納され、かつ積み重なる多数の素線導体で構成される電機子巻線を有し、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る前記電機子巻線の両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機において、前記固定子鉄心の前記素線導体の転位ピッチ１８０度に相当する長さを１鉄心単位領域とし、前記固定子鉄心の一方の端部から奇数番目の前記鉄心単位領域において選定した任意の２つの素線間における固定子鉄心の端部の端から端までの誘起電圧である第１の素線間電圧の総和が、前記鉄心端部から偶数番目の前記鉄心単位領域での前記２つの素線間における固定子鉄心の端部の端から端までの誘起電圧である第２の素線間電圧の総和と相殺するように、前記鉄心の占積率の異なるサブ鉄心部を設けたことを特徴とする回転電機である。

【００２９】

前記目的を達成するため、請求項１２に対応する発明は、軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が格納され、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、前記素線導体の転位ピッチを前記固定子鉄心内で３６０度あるいは前記素線導体間に生じる不平衡電圧を相殺するように３６０度からずらした角度とし、前記固定子鉄心の軸長をＬｓ、前記サブ鉄心部以外の部分の軸方向長さの全鉄心長に対する比をｆ、前記通風ダクトの個数をＮ、前記通風ダクトの軸方向幅をｄ、前記サブ鉄心部を除いた部分の通風ダクト数の全体の通風ダクト数に対する比をｆ’としたときに、前記サブ鉄心部を除いた部分で前記素線導体が捩られる転位角の、前記固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する転位角に対する比Ｆが、

【数１】

$$F = \frac{fL_S - fNd}{L_S - Nd}$$

であることを特徴とする回転電機の電機子巻線である。

【００３０】

前記目的を達成するため、請求項１３に対応する発明は、軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が収納され、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、前記固定子鉄心の一部に、鉄心の占積率が異なるサブ鉄心部を設け、前記サブ鉄心部における前記固定子鉄心の占積率をそれ以外の部分

よりも小さくし、前記素線導体の転位ピッチを前記固定子鉄心内で３６０度あるいは前記素線導体間に生じる不平衡電圧を相殺するように３６０度からずらした角度とし、前記固定子鉄心の軸長をＬｓ、前記サブ鉄心部以外の部分の軸方向長さの全鉄心長に対する比をｆ、前記通風ダクトの個数をＮ、前記通風ダクトの軸方向幅をｄ、前記サブ鉄心部を除いた部分の通風ダクト数の全体の通風ダクト数に対する比をｆ’とし、

【数２】

$$\Delta F = \frac{Nd}{L_S - Nd}(f' - f)$$

としたときに、前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において、前記鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に、鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する転位角に対する、前記素線導体の前記固定子鉄心内での転位角の比Ｆが、

【数３】

$$F = \frac{1}{1 + \Delta F}$$

であることを特徴とする回転電機の電機子巻線である。

【００３１】

前記目的を達成するため、請求項１６に対応する発明は、軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が格納され、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて転位するように形成され、前記素線導体の転位ピッチを、前記素線間の不平衡電圧を極小化するように複数設け、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、前記固定子鉄心の一部に、前記固定子鉄心の占積率が異なるサブ鉄心部を設け、前記素線導体の転位ピッチの変曲点を、前記固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様であると仮定した場合に、前記固定子鉄心内の素線間あるいは前記固定子鉄心内の素線間及び前記電機子巻線の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる前記素線間の不平衡電圧を極小化する位置から、前記サブ鉄心部が前記固定子鉄心部の磁気抵抗を増減させることによって前記素線間に生じる不平衡電圧を相殺するようにずらしたことを特徴とする回転電機の電機子巻線である。

【００３２】

前記目的を達成するため、請求項１７に対応する発明は、軸方向に複数の通風ダクトを備え、かつ軸心方向に複数の巻線スロットを備えた固定子鉄心の該各巻線スロットにそれぞれ積み重なる複数の素線導体が収納され、前記固定子鉄心の両側面より外側に突き出る両側部では前記素線導体を短絡させてなる回転電機の電機子巻線において、前記固定子鉄心の一部に、前記通風ダクトの占積率が異なるサブ鉄心部を設け、前記素線導体は、前記巻線スロット内に格納された部分で、前記巻線スロットの延在方向に向かって捩られて転位する部分と、転位しない部分を設け、前記サブ鉄心部が前記固定子鉄心部の磁気抵抗を増減させることによって前記素線間に生じる不平衡電圧を相殺するようにしたことを特徴とする回転電機の電機子巻線である。

【発明の効果】

【００３３】

本発明によれば、固定子の通風ダクトの不均等な分布による導体素線間の循環電流を低減でき、電機子巻線の局部過熱を抑制することのできる回転電機及び回転電機の電機子巻線を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３４】

以下、本発明に係る回転電機及び回転電機の電機子巻線の実施形態について、図面を参照して説明する。始めに図４７～図５１を用いて循環電流による導体素線間の損失分布が生じる原理を説明する。

【００３５】

図４７は転位角３６０度、図４８は転位角５４０度の場合の素線構成と鎖交磁束を表す模式図であり、図４３、図４４と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

【００３６】

図４７において、通風ダクトが固定子鉄心内で均等に分布していれば、鎖交磁束は１６ｂと１６ｇ、１６ｃと１６ｈのように互いに相殺しあうが、図のようにその他の部分よりも鉄心占積率が大きいサブ鉄心部１４が端部に設けられた場合、鎖交磁束は１６ａは１６ｆ、１６ｊは１６ｅよりもそれぞれ大きくなる。そのため１８０度離れた部分での磁束が相殺できなくなり、素線導体５間に不平衡電圧が生じ、循環電流１５が流れることになる。

【００３７】

図４８についても同様に、固定子鉄心端部に設けたサブ鉄心部１４により、鎖交磁束の均衡が崩れ、素線導体５間に不平衡電圧が生じ、循環電流１５が流れることになる。

【００３８】

図４９～図５１は１５０ＭＶＡ級タービン発電機において数値解析によって不等配ダクトによる循環電流損失解析結果を示した例であり、図４９は固定子鉄心の軸方向のダクトピッチの分布を示したものであり、横軸は端部から数えたダクト番号で、縦軸はダクトピッチである。図５０は３６０度転位の場合の損失分布、図５１は５４０度転位の場合の素線の損失分布を示したものであり、縦軸はエアギャップ側から高さ方向に数えた素線番号、横軸は該当素線における損失を示し、図４２における右側の素線と左側の素線における損失を並べて示している。簡単のため、本解析ではコイル内の直流損と不等配ダクトによる循環電流損のみを考慮しており、素線における直流損を１ＰＵとしている。

【００３９】

通風ダクトが固定子鉄心内で均等に分布していれば、素線間の損失分布は均等になるべきであるが、端部のダクトピッチを大きく、鉄心占積率を大きくした場合、転位角３６０度の場合は図５０のように、エアギャップ側の素線が大きくなるような損失分布となる。

【００４０】

また、転位角５４０度の場合は図５１のように、エアギャップ側とスロット底側とは同等であるが中央部で大または小になるような損失分布となっている。このように、不等配な通風ダクトによって導体素線間に損失分布が生じ、冷却条件が同等であればこの分布に応じて導体間に温度分布が生じることになる。なお、本例で示した容量のタービン発電機では素線の５４０度転位は製造上難しいことがあるが、ここでは比較のために３６０度転位と同じ機器を対象として数値解析を行った結果を示したのであり、容量と転位角度の関係を限定するものではない。

（第１の実施形態）（請求項１～５、１０、１１対応）

まず、図１～図６を用いて第１の実施形態を説明する。本実施形態は、図１における回転子１と、回転子の回転軸心に沿うように延在する複数の巻線スロットを設けた固定子鉄心３と、前記巻線スロットに埋設され、かつ積み重なる多数の素線導体で構成される電機子巻線２と、固定子鉄心内の径方向に複数の通風ダクト４から構成されている。

【００４１】

固定子鉄心の軸方向両端部及び中央部に鉄心占積率がその他の固定子鉄心部分よりも大きいサブ鉄心部１４(１４ａ～１４ｄ)を設け、素線導体５は、巻線スロット内に格納された部分で、巻線スロットの延在方向に向かって連続的に捩られて３６０度転位するように形成され、固定子鉄心の両側面より外側に突き出る電機子巻線２の両側部で素線導体５は短絡されている。

【００４２】

ここで、鉄心占積率とは全体の鉄心に対する正味の比であり、ここでの正味は通風ダクト、鉄心を積層構成している鉄板の表面に形成されている絶縁物等を除いた鉄心そのものである。

【００４３】

素線導体は、端部漏れ磁束に起因する不平衡電圧による循環電流損を低減するために、転位角を３６０度から９０度以内の範囲で増減させても構わないが、本発明の説明では、簡単のため３６０度転位として説明する。

【００４４】

図２は、図１に示された固定子の下側半分を模式的に示したものであり、説明のためサブ鉄心部１４を１４ａ～１４ｄの４つの部分に分けて示している。また電機子巻線のうち、固定子内径側に位置する上コイルのみを示している。

【００４５】

このように構成された本実施形態において、負荷運転時には電機子巻線に電流が流れ、各素線導体に電流が分担して流れる。図１、図２には２つの代表的な素線導体５ａ、５ｂ間に鎖交する磁束を示しており、図２では、鉄心部分の鎖交磁束を１６ａ～１６ｊと示しているが、例えば１６ｂと１６ｇのように転位角で１８０度分離れた位置での鎖交磁束は、鎖交面積が同じで、当該部分の鉄心占積率が同じであれば、この部分の鎖交磁束による不平衡電圧は相殺される。従来の回転電機においては、例えば端部の１６ａに相当する部分の鉄心占積率が１８０度離れた１６ｆに相当する部分の鉄心占積率より大きい時に、鎖交面積が等しくても、鎖交磁束１６ａが１６ｆより大きくなるため、この部分の鎖交磁束の差によって素線間に不平衡電圧が生じる。また、同様に鎖交磁束１６ｅと１６ｊに関しても同様に不平衡電圧が生じ、鉄心占積率が大きい１６ａと１６ｊの鎖交磁束が同じ向きになるため、不平衡電圧も強めあうことになる。本実施形態では、１６ｅと１６ｆに相当する部分の鉄心占積率が１６ａ、１６ｊと同じになっているため、１６ａと１６ｆ、１６ｅと１６ｊもそれぞれ相殺しあう。

【００４６】

上述した本発明の特徴を言い換えると、本実施形態では鉄心長の１／２となる、素線導体の転位角１８０度の範囲を１鉄心単位領域と呼ぶとして、各鉄心単位領域での鉄心占積率が素線導体の転位角に対して同様の分布となるように構成してあるともいえる。

【００４７】

図３は、従来例の説明で示したのと同容量の１５０ＭＶＡ級タービン発電機を対象として３６０度転位を施し、図４に示すような通風ダクトピッチの分布の場合の素線導体間の損失分布を数値解析によって求めた一例を示したものである。図３は図５０に比べて素線間の損失分布が平滑化されていることが示されている。

【００４８】

本実施形態によれば、鉄心部分の素線導体全体で不平衡電圧が小さくなり、循環電流の発生を抑え、循環電流損失を低減することができるので、素線間の損失分布を低減し、電機子巻線の導体の局所加熱を抑制することができる。

【００４９】

図５は図の下半分に本実施形態における冷却ガス通風経路の基本構成を示したもので、図の上半分にサブ鉄心部１４(１４ａ～１４ｄ)の構成を示している。図４５と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。図５は固定子鉄心３を３つの給気セクション４ｃと４つの排気セクション４ｄに分割した構成例である。

【００５０】

固定子端部からエアギャップに流入する冷却ガスは、ファンから直接供給されるためその他の部位と比較してガス温度が低く冷却上有利であるため、鉄心端部側の通風ダクトピッチがその他の部位と比較して大きく鉄心占積率が大きいサブ鉄心部１４ａ、１４ｄを設け、更に軸方向中央部に設けたサブ鉄心部１４ｂ、１４ｃも、その他の部位と比較してガス温度が低く冷却上有利である給気セクション内となるように配置して、軸方向の電機子巻線の温度分布が平準化されるようにしている。

【００５１】
このような効果は、鉄心３の軸方向中央部が給気セクションとなる場合に有効であり、通風セクションの数が、ｎを１以上の整数として４ｎ－１、すなわち、３、７、１１といった数の場合に、循環電流損失を抑え、より良好に固定子及び電機子巻線を冷却できる回転電機を提供できる。
【００５２】
ところで、本実施形態では図６に示すように、鉄心占積率の差異をダクトピッチの差異で構成したもの、つまりダクト相互間の積層鉄板の積厚を変えたものである。このようにすることで、ダクト幅を一定にできるので、内側間隔片は同一のもので構成できると同時に、通風ダクト間の通風抵抗を同等にでき、通風セクション内の風量分布の制御が容易になるので、より良好に鉄心やコイルを冷却できる。
【００５３】
一方、図７を用いて本発明の第１の実施形態の変形例を説明する。図７は固定子端部近傍のサブ鉄心部と通風ダクトの構成を示したものである。鉄心占積率がその他の部分に比べて大きいサブ鉄心部１４ａにおいては、通風ダクト４の幅が狭くなっている。このような構成であるので、通風ダクト間の鉄心部分の厚みを大きくすることなく積層できるので、鉄心を効率的に冷却することができる。
【００５４】
また、図８～図９を用いて本発明の第２の実施形態の変形例を説明する。図８は固定子端部近傍のサブ鉄心部１４ａと通風ダクト４の構成を示したものであり、図９は鉄心部の拡大図を示したものである。固定子鉄心は通常図９に示すように、抜板鉄板である磁性体の表面に絶縁ワニス等の絶縁皮膜を施したものであるが、本発明の第２の実施形態の変形例では鉄心占積率の差異を、前記固定子鉄心３を構成する抜板鉄板の磁性体と絶縁皮膜の厚さの比の差異で構成している。
【００５５】
このような構成の回転電機とすれば、通風ダクトの構成を変えることなくサブ鉄心部を形成することができるので、通風設計の自由度が増し、より効率的な通風が可能となると同時に、絶縁皮膜の厚さを一定とすれば、鉄心占積率が小さい部分を、より薄い抜板で構成することになり、この部分の抜板面内磁束による渦電流損失を相対的に小さくできるので、温度上昇を抑えることができる。
【００５６】
（第２の実施形態）（請求項１～４対応）
次に、本発明に係る回転電機の第２の実施形態を図１０～図１２を用いて説明する。なお第１の実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本実施形態は、図１０における電機子巻線２を構成する素線導体が５４０度転位されており、転位ピッチは両端部から鉄心長の１／４の範囲で中央部の２倍であり、すなわち、両端部から鉄心長の１／４の範囲及び中心部の鉄心長の１／２の範囲で、それぞれ１８０度の転位がなされている。固定子鉄心の軸方向両端部には鉄心占積率がその他の固定子鉄心部分よりも大きいサブ鉄心部１４ａ、１４ｆが設けられ、更に、上記転位各１８０度の範囲毎にサブ鉄心部１４の形状が相似形になるように、サブ鉄心部１４が、１４ａに対しては１４ｃと１４ｅ、１４ｆに対しては１４ｄと１４ｂと示した位置に設けられている。
【００５７】
このように構成された本実施形態において、負荷運転時には電機子巻線に電流が流れ、各素線導体に電流が分担して流れる。図１０には２つの代表的な素線導体間に鎖交する磁束を鉄心部分で１６ａ～１６ｏと示しているが、サブ鉄心部以外では、例えば１６ｂ、１６ｇ及び１６ｌのように転位角で１８０度分離れた位置での鎖交磁束に関して、１６ｂと１６ｌの和が１６ｇと等しくなるため、この部分の鎖交磁束による不平衡電圧は相殺される。
【００５８】
本実施形態では、鉄心占積率の大きいサブ鉄心部についても、鎖交磁束１６ａと１６ｋ

の和が１６ｆに等しく、また、１６ｅと１６ｏの和が１６ｊに等しいので、誘起電圧は相殺され、循環電流の発生が抑制される。

【００５９】

図１１は、図３～図４で示したのと同容量のタービン発電機を対象として５４０度転位を施し、図１２に示すような通風ダクトピッチの分布の場合の素線導体間の損失分布を数値解析によって求めた一例を示したものである。図３～図４と同様の点については説明を省略する。素線導体の転位角１８０度毎に固定子鉄心を分けた各領域において、サブ鉄心部１４の形状が相似形になるように、サブ鉄心部１４を設けたことにより、素線間の損失分布が平滑化されていることが示されている。

【００６０】

本実施形態によれば、鉄心部分の素線導体全体で不平衡電圧が小さくなり、循環電流の発生を抑え、循環電流損失を低減することができるので、素線間の損失分布を低減し、電機子巻線の導体の局所加熱を抑制することができる。

【００６１】

ところで、図１３は図の下半分に本実施形態における冷却ガス通風経路の基本構成を示したもので、図の上半分にサブ鉄心部１４ａ、１４ｂ、１４ｃ、１４ｄの構成を示している。図４４と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。図５は図４４と同様固定子鉄心３を２つの給気セクションと３つの排気セクションに分割した構成例である。

【００６２】

鉄心占積率がその他の部分より大きいサブ鉄心部に関して、鉄心端部以外のサブ鉄心部は、その他の部位と比較してガス温度が低く冷却上有利である給気セクション内となるように配置して、軸方向の電機子巻線の温度分布が平準化されるようにしている。

【００６３】

（第３の実施形態）（請求項１～４対応）

次に、本発明に係る回転電機の第３の実施形態を図１４～図１６を用いて説明する。なお、前述した第１及び第２の実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本実施形態３は、図１４における電機子巻線２を構成する素線導体が図１０と同様に５４０度転位されており、固定子鉄心３の軸方向両端部には鉄心占積率がその他の固定子鉄心部分よりも大きいサブ鉄心部１４ａ、１４ｆが設けられ、更に、上記転位各１８０度の範囲毎にサブ鉄心部１４がその範囲の両端に配置するようにして、サブ鉄心部１４が、１４ａに対しては１４ｃと１４ｅ、１４ｆに対しては１４ｄと１４ｂと示した位置に設けられており、サブ鉄心部１４ｂ～１４ｅの鉄心占積率ｆ２は、サブ鉄心部１４ａ乃至１４ｆの鉄心占積率ｆ１と、サブ鉄心部以外の部分の鉄心占積率ｆ０とのほぼ中間値、すなわち、

$$f2 \sim 1/2(f0 + f1)$$

であり、サブ鉄心部１４の鉄心パケット数は、１４ａ及び１４ｆでＮｐとすると、１４ｂ及び１４ｅでは２Ｎｐ、１４ｃ及び１４ｄでは４Ｎｐとしている。

【００６４】

こうして、軸方向両端部の鉄心長の１／４の範囲の鉄心単位領域ではパケット数２Ｎｐ、軸方向中央部の鉄心長の１／２の範囲の鉄心単位領域ではパケット数４Ｎｐをサブ鉄心部の軸方向長さとすれば、各サブ鉄心部での平均の鉄心占積率が、ほぼ等しくなるような構成となっている。

【００６５】

このように構成された本実施形態において、負荷運転時には電機子巻線に電流が流れ、各素線導体に電流が分担して流れる。本実施形態では、鉄心占積率の大きいサブ鉄心部についても、鎖交磁束１６ａと１６ｋの和が１６ｆを相殺し、また、１６ｅと１６ｏの和が１６ｊを相殺するように働くので、誘起電圧は低減され、循環電流の発生が抑制される。本実施形態では第２の実施形態のように、対応するサブ鉄心部が全く相似形ではないが、互いに相応するサブ鉄心部の平均の鉄心占積率を同等にすることによって、不平衡電圧を

相殺するような効果を得ようとするものである。

【００６６】

図１５は、第１及び第２の実施形態で示したのと同容量のタービン発電機を対象として５４０度転位を施し、図１６に示すような通風ダクトピッチの分布の場合の素線導体間の損失分布を数値解析によって求めた一例を示したものである。図３～図４、図１１～図１２と同様の点については説明を省略する。サブ鉄心部１４以外のダクトピッチを１とした時、図１４の１４ａ及び１４ｆに相当する固定子鉄心端部のサブ鉄心部のダクトピッチは１．８６で鉄心パケット数はそれぞれ３、図１４の１４ｂ及び１４ｅに相当するサブ鉄心部のダクトピッチは１．４３で鉄心パケット数は６、図１４の１４ｃ及び１４ｄに相当するサブ鉄心部のダクトピッチは１．４３でパケット数は１２としている。図１５に示すように、素線間の損失分布が平滑化されていることが示されている。

【００６７】

本実施形態によれば、鉄心部分の素線導体全体で不平衡電圧が小さくなり、循環電流の発生を抑え、循環電流損失を低減することができるので、素線間の損失分布を低減し、電機子巻線の導体の局所加熱を抑制することができる。

【００６８】

（第４の実施形態）（請求項１対応）

次に、本発明に係る回転電機の第４の実施形態を図１７～図１９を用いて説明する。なお、第１～３の実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本実施形態４は、図１７における電機子巻線２を構成する素線導体が図１０と同様に５４０度転位されており、固定子鉄心の軸方向両端部には鉄心占積率がその他の固定子鉄心部分よりも大きいサブ鉄心部１４ａ、１４ｃが設けられ、軸方向中央部にサブ鉄心部１４ｂが設けられており、夫々のサブ鉄心部の鉄心パケット数は同じとしている。図１８に実施形態１～３で示したのと同様の数値解析による素線間の損失分布を示し、図１９にその時のダクトピッチの分布を示している。

【００６９】

本実施形態では、転位ピッチ１８０度に相当する１鉄心単位領域内のサブ鉄心部が必ずしも同形状で無くても、サブ鉄心部１４ｂが１４ａと１４ｃで生じる不平衡電圧を相殺して循環電流を抑制する効果があることを示しており、サブ鉄心部を少なくして、製作が容易になると共に、通風バランス設計の自由度を増すことができる。

【００７０】

（第５の実施形態）（請求項６対応）

次に、本発明に係る回転電機の第５の実施形態を図２０を用いて説明する。なお、第１～４と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本実施形態は、図２０における電機子巻線２を構成する素線導体が４５０度転位されており、固定子鉄心の軸方向両端部の鉄心長の１／８の範囲のサブ鉄心部で、転位ピッチが半分になっていると同時に、固定子鉄心占積率がその他の固定子鉄心部分よりも大または小になっており、更に軸方向中央部の鉄心長の１／４の範囲のサブ鉄心部で、端部と同様の鉄心占積率となっている。

【００７１】

このように構成された本実施形態においては、鎖交磁束１６ａと１６ｍの和が１６ｇと相殺し合い、同様に、１６ｂと１６ｎの和が１６ｈと、１６ｃと１６ｏの和が１６ｉと相殺し合うので、不平衡電圧が低減され、循環電流の発生が抑制できると同時に、全体の転位角が４５０度の場合にも、サブ鉄心部が端部と中央部のみで構成できるので、実施形態２で示したようにサブ鉄心部が４箇所以上に亘る場合に比べて、通風設計が容易になり、しかも抜板鉄板の積層時にダクト占積率の切り替え回数が少なくて済むため、製作性も増すことができる。

【００７２】

（第６の実施形態）（請求項１２～１３対応）

次に、本発明に係る回転電機の第６の実施形態を図２１～図２５を用いて説明する。な

お、第１～５の実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本実施形態は、図２１における電機子巻線２を構成する素線導体が、固定子鉄心内において３６０度転位され、鉄心端部には鉄心占積率がその他の部分と異なるサブ鉄心部１４を設けてある。図２１には２つの代表的な素線導体５ａ、５ｂ間に鎖交する磁束を鉄心部分で１６ａ～１６ｅと示しているが、１６ａから１６ｅまでの鎖交磁束が共に打ち消し合い、サブ鉄心部によって生じる不平衡電圧を相殺するように、サブ鉄心部１４ａ、１４ｄにおける素線導体の転位ピッチを変えたものである。

【００７３】

ここで、サブ鉄心部１４ａ、１４ｄにおける素線導体の最適な転位ピッチに関して図２２、図２３を用いて説明する。図２２、図２３は電機子巻線での素線導体の１つを示した模式図で、図２２は従来の転位ピッチが一様な場合、図２３は本実施形態の場合を示している。転位により破線で示した素線導体５が転位角１８０度の範囲でコイル高さｈだけ位置を変える。図２２では端部のサブ鉄心部の鉄心占積率が他の部分より大きいとして、それにより鎖交磁束が増えた分素線電圧に不平衡が生じる。これに対して、図２３のようにサブ鉄心部と他の部分との境界で素線が高さｈＦになるように素線のピッチを変えることで、不平衡電圧を低減するものである。

【００７４】

いま、上コイルにおいて下コイルの電流による鎖交磁束を考えると、図に示すように、サブ鉄心部以外の部分の軸方向の固定子鉄心長Ｌｓに対する比をｆ、サブ鉄心部を除いた部分の通風ダクト数の全通風ダクト数Ｎに対する比をｆ’　とし、通風ダクトの軸方向幅をｄとしたときに、サブ鉄心部を除いた部分で素線導体が捩られる転位角の、固定子鉄心占積率が固定子鉄心内で一様である場合に前記鉄心内の素線間あるいは前記鉄心内の素線間及び鉄心の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる素線間の不平衡電圧を極小化する転位角（ここでは３６０度とする）に対する比が、

【数６】

$$F = \frac{fL_S - f'Nd}{L_S - Nd}$$

【００７５】

となるようにすれば、図のような構成の素線では不平衡電圧を抑えることができる。上下コイルの位相差や上コイル電流を考えると全ての素線での不平衡電圧を相殺することは難しいが、誘起電圧の大きい素線に対して不平衡電圧を低減することで、全体の循環電流損を抑えることはできる。実際の回転電機では、転位角は素線本数によって不連続的に決まるため、ここで示したＦの近傍の値を取ることになる。

【００７６】

このように構成された本実施形態においては、鉄心占積率がその他の部分と異なるサブ鉄心部において、素線間に鎖交する磁束が、鉄心占積率が均一に配置された場合の磁束とほぼ等量になるため、素線間の不平衡電圧が低減され、循環電流の発生が抑制できる。

【００７７】

図２４は、第１～第４の実施形態で示したのと同容量のタービン発電機を対象として３６０度転位を施し、図２５に示すような通風ダクトピッチの分布の場合の素線導体間の損失分布を数値解析によって求めた一例を示したものである。既に述べた実施形態と同様の点については説明を省略する。図２４に示すように、素線間の損失分布が平滑化されていることが示されている。

【００７８】

また、本実施形態によれば、サブ鉄心部が端部のみで構成できるので、実施形態６までに示したようにサブ鉄心部が３箇所以上に亘る場合に比べて、通風設計が容易になり、しかも抜板鉄板の積層時にダクト占積率の切り替え回数が少なくて済むことや、転位の傾きを緩やかにできるなど、製作上も容易性を増すことができる。

【００７９】
さらに、本実施形態の変形例の１つとして、本実施形態で述べた転位角の変更を上コイルのみに適用しても良い。これは、不平衡電圧による循環電流は、下コイルよりも上コイルの方が大きいためであり、下コイルは従来例に従った転位を施すことで、容易に製作できるようになる。
【００８０】
（第７の実施形態）（請求項１４～１６対応）
次に、本発明に係る回転電機の第７の実施形態を図２６～図３０を用いて説明する。なお、第１～第６の実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本実施形態は、その他の部分よりも鉄心占積率が大きいサブ鉄心部１４によって生じる不平衡電圧を相殺するように、図２６における電機子巻線２を構成する素線導体の転位角を以下のように変えたものである。
【００８１】
図２７に電機子巻線での素線導体の１つを示した模式図を示すが、固定子鉄心の軸長をＬｓ、サブ鉄心部以外の部分の軸方向長さの全鉄心長に対する比をｆ、通風ダクトの個数をＮ、通風ダクトの軸方向幅をｄ、サブ鉄心部を除いた部分の通風ダクト数の全体の通風ダクト数に対する比をｆ’とし、
【数７】

$$\Delta F = \frac{Nd}{L_S - Nd}(f' - f)$$

【００８２】
としたときに、素線導体の固定子鉄心内での転位角の、固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様である場合に素線間の不平衡電圧を前記鉄心内の素線間あるいは前記鉄心内の素線間及び鉄心の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる転位角（ここでは簡単のため３６０度とする）に対する比が、
【数８】

$$F = \frac{1}{1 + \Delta F}$$

【００８３】
となるようにしている。実際の回転電機では、転位角は素線本数によって不連続的に決まるため、ここで示したＦの近傍の値を取ることになる。
【００８４】
このように構成された本実施形態においては、鉄心占積率がその他の部分と異なるサブ鉄心部において生じる素線間不平衡電圧を相殺するように、素線間に電圧が誘起されるので、不平衡電圧が低減され、循環電流の発生が抑制できる。
【００８５】
図２８は、第１～第４の実施形態で示したのと同容量のタービン発電機を対象として３６０度転位を施し、図２９に示すような通風ダクトピッチの分布の場合の素線導体間の損失分布を数値解析によって求めた一例を示したものである。既に述べた実施形態と同様の点については説明を省略する。図２８に示すように、素線間の損失分布が平滑化されていることが示されている。また、図３０には転位角度と素線における損失との関係を示したものであり、本解析例の場合は、３５０度程度で損失が最小になっている。本例では、素線は横２列、縦４３段であり、転位ピッチは３６０／（２＊４３）より約４度ずつ不連続になるため、２段減らしたピッチの３５１．６度において損失最小となる。
【００８６】
また、本実施形態によれば、サブ鉄心部の構成を特に変更することなくできるので、実施形態６までに示したようにサブ鉄心部が３箇所以上に亘る場合に比べて、通風設計が容易になり、しかも抜板鉄板の積層時にダクト占積率の切り替え回数が少なくて済むため、

製作上も容易性を増すことができる。

【００８７】

さらに、本実施形態の変形例の１つとして、本実施形態で述べた転位角の変更を上コイルのみに適用しても良い。これは、不平衡電圧による循環電流は、下コイルよりも上コイルの方が大きいためであり、下コイルは従来例に従った転位を施すことで、容易に製作できるようになる。

【００８８】

（第８の実施形態）（請求項１７～１８対応）

次に、本発明に係る回転電機の第８の実施形態を図３１～図３５を用いて説明する。なお第１～６の実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本実施形態は、その他の部分よりも鉄心占積率が小さいサブ鉄心部１４によって生じる不平衡電圧を相殺するように、図３１における電機子巻線２を構成する素線導体の転位角を以下のように変えたものである。

【００８９】

図３２に電機子巻線での素線導体の１つを示した模式図を示すが、固定子鉄心の軸長をＬｓ、サブ鉄心部以外の部分の軸方向長さの全鉄心長に対する比をｆ、通風ダクトの個数をＮ、通風ダクトの軸方向幅をｄ、サブ鉄心部を除いた部分の通風ダクト数の全体の通風ダクト数に対する比をｆ’とし、

【数９】

$$\Delta F = \frac{Nd}{L_S - Nd}(f' - f)$$

【００９０】

としたときに、素線導体の固定子鉄心内での転位角の、固定子鉄心の占積率が前記固定子鉄心内で一様である場合に前記鉄心内の素線間あるいは前記鉄心内の素線間及び鉄心の端部の素線間において鎖交する磁束によって生じる素線間の不平衡電圧を極小化する転位角（ここでは簡単のため３６０度とする）に対する比が、

【数１０】

$$F = 1 + \Delta F$$

【００９１】

となるようにしている。実際の回転電機では、転位角は素線本数によって不連続的に決まるため、ここで示したＦの近傍の値を取ることになる。

【００９２】

このように構成された本実施形態においては、鉄心占積率がその他の部分と異なるサブ鉄心部において生じる素線間不平衡電圧を相殺するように、素線間に電圧が誘起されるので、不平衡電圧が低減され、循環電流の発生が抑制できる。

【００９３】

図３３は、第１～第４の実施形態で示したのと同容量のタービン発電機を対象として３６０度転位を施し、図３４に示すような通風ダクトピッチの分布の場合の素線導体間の損失分布を数値解析によって求めた一例を示したものである。既に述べた実施形態と同様の点については説明を省略する。図３３に示すように、素線間の損失分布が平滑化されていることが示されている。また、図３４には転位角度と素線における損失との関係を示したものであり、本解析例の場合は、３６５度程度で損失が最小になっている。本例では、素線は横２列、縦４３段であり、転位ピッチは３６０／（２＊４３）より約４度ずつ不連続になるため、１段分超過したピッチの３６４．３度において損失最小となる。

【００９４】

また、本実施形態によれば、サブ鉄心部の構成を特に変更することなくできるので、第６の実施形態までに示したようにサブ鉄心部が３箇所以上に亘る場合に比べて、通風設計

が容易になり、しかも抜板鉄板の積層時にダクト占積率の切り替え回数が少なくて済むため、製作上も容易性を増すことができる。

【００９５】

さらに、本実施形態の変形例の１つとして、本実施形態で述べた転位角の変更を上コイルのみに適用しても良い。これは、不平衡電圧による循環電流は、下コイルよりも上コイルの方が大きいためであり、下コイルは従来例に従った転位を施すことで、容易に製作できるようになる。

【００９６】

（第９の実施形態）（請求項１９対応）

次に、本発明に係る回転電機の第９の実施形態を図３６～図３９を用いて説明する。なお、第１～第８の実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。第９の本実施形態は、図１９における電機子巻線２を構成する素線導体が５４０度転位されており、固定子鉄心の軸方向両端部で、転位ピッチを変更する変曲点の位置を、従来例の鉄心長の１／４の範囲からずらすことによって、鉄心占積率が異なるサブ鉄心部１４ａ、１４ｄによって生じる不平衡電圧を相殺するように構成したものである。

【００９７】

このように構成された本実施形態においては、素線導体に関して、端部領域のピッチが短い部分の鎖交磁束の和と、中央領域の鎖交磁束の和とのバランスが変わるため、誘起される電圧が、鉄心占積率が均一の場合とは異なるものとなる。この誘起電圧がサブ鉄心部１４ａ、１４ｄの生じる不平衡電圧を打ち消すような位置に、変曲点を設定すれば、素線導体全体での不平衡電圧が低減され、循環電流の発生が抑制できる。

【００９８】

図３７は、第１～第４の実施形態で示したのと同容量のタービン発電機を対象として５４０度転位を施し、図３８に示すような通風ダクトピッチの分布の場合の素線導体間の損失分布を数値解析によって求めた一例を示したものである。既に述べた実施形態と同様の点については説明を省略する。図３７に示すように、素線間の損失分布が平滑化されていることが示されている。また、図３９には変曲点までの鉄心長さと素線における損失との関係を示したものであり、５４０度の従来例の２５％に対して、本解析例の場合は２４％程度で損失最小になっている。

【００９９】

また、転位角５４０度の場合は、全体の転位角度を５４０度から変えると、端部巻線領域での鎖交磁束が打ち消し合わなくなるため、端部磁界に起因する循環電流損失は増加する恐れがある。これに対して、本実施形態によれば、転位角の５４０度を維持できるので、端部磁界に起因する循環電流損失を増加することなく、不等配ダクトによる循環電流損失を低減することができる。

【０１００】

さらに、本実施形態の変形例の１つとして、本実施形態で述べた転位角の変更を上コイルのみに適用しても良い。これは、不平衡電圧による循環電流は、下コイルよりも上コイルの方が大きいためであり、下コイルは従来例に従った転位を施すことで、容易に製作できるようになる。

【０１０１】

（第１０の実施形態）（請求項２０対応）

次に、本発明に係る回転電機の第１０の実施形態を図４０を用いて説明する。なお、第１～９の実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明は省略する。本実施形態１１は、端部に鉄心占積率の異なるサブ鉄心部１４ａ、１４ｄを設け、図４０における電機子巻線２を構成する素線導体が３６０度転位されており、固定子鉄心の軸方向中央部に、転位を行わない部分を設けた構成としている。

【０１０２】

このように構成された本実施形態においては、図４０の両端部の鎖交磁束の和に比べて、中央部の鎖交磁束の方が大きくなり、誘起される電圧が、鉄心占積率が均一の場合とは

異なるものとなる。この誘起電圧がサブ鉄心部の生じる不平衡電圧を打ち消すような範囲に亘って、転位を行わない部分を設ければ、素線導体全体での不平衡電圧が低減され、循環電流の発生が抑制できる。

【０１０３】

また、本実施形態の変形例を図４１に示す。本変形例では、鉄心の両端部に転位しない部分を設けている。これにより、中央部の鎖交磁束の和に比べて、両端部の鎖交磁束の方が大きくなり、この鎖交磁束の差による誘起電圧がサブ鉄心部１４ａ、１４ｄの生じる不平衡電圧を打ち消すような範囲に亘って、転位を行わない部分を設ければ、素線導体全体での不平衡電圧が低減され、循環電流の発生が抑制できる。

【０１０４】

ここでは転位角が３６０度の場合について説明したが、他の転位角についても同様に転位しない部分を設けることで、不平衡電圧を抑え、循環電流の発生を抑制することができ、更に転位角を維持することができることから、例えば５４０度転位のように、端部磁界による循環電流損が小さい場合には、全体の損失を増大させることなく、不等配ダクトに起因する損失を低減することが可能となる。

【０１０５】

（変形例）

本願発明は、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。また、各実施形態は可能な限り適宜組み合わせて実施してもよく、その場合、組み合わされた効果が得られる。さらに、上記各実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば実施形態に示される全構成要件から幾つかの構成要件が省略されることで発明が抽出された場合には、その抽出された発明を実施する場合には省略部分が周知慣用技術で適宜補われるものである。

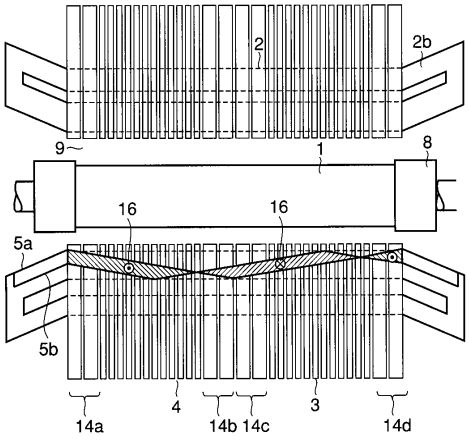
【図面の簡単な説明】

【０１０６】

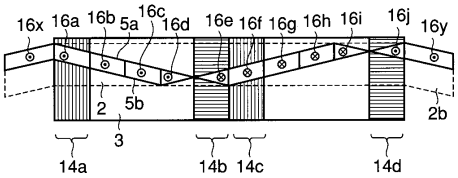
【図１】本発明の第１の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図２】本発明の第１の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図３】本発明の第１の実施形態での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図４】図３の数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図５】本発明の第１の実施形態の回転電機の通風構造を示す基本構成図。
【図６】本発明の第１の実施形態における固定子鉄心示す基本構成図。
【図７】本発明の第１の実施形態の第１の変形例における固定子鉄心を示す基本構成図。
【図８】本発明の第１の実施形態の第２の変形例における固定子鉄心を示す基本構成図。
【図９】本発明の第３の実施形態の第２の変形例における抜板鉄心を示す基本構成図。
【図１０】本発明の第２の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図１１】本発明の第２の実施形態での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図１２】図１１の数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図１３】本発明の第２の実施形態の回転電機の通風構造を示す基本構成図。
【図１４】本発明の第３の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図１５】本発明の第３の実施形態での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図１６】図１５の数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図１７】本発明の第４の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図１８】本発明の第４の実施形態での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図１９】図１８の数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図２０】本発明の第５の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図２１】本発明の第６の実施形態の回転電機を示す基本構成図。

【図２２】従来の回転電機における素線導体の１つを示した模式図。
【図２３】本発明の第６の実施形態における素線導体の１つを示した模式図。
【図２４】本発明の第６の実施形態での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図２５】図２４の数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図２６】本発明の第７の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図２７】本発明の第７の実施形態における素線導体の１つを示した模式図。
【図２８】本発明の第７の実施形態での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図２９】図２８の数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図３０】本発明の第７の実施形態で素線損失と転位角度の関係を示す数値解析結果図。
【図３１】本発明の第８の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図３２】本発明の第８の実施形態における素線導体の１つを示した模式図。
【図３３】本発明の第８の実施形態での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図３４】図３３の数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図３５】本発明の第８の実施形態で素線損失と転位角度の関係を示す数値解析結果図。
【図３６】本発明の第９の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図３７】本発明の第９の実施形態での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図３８】図３７の数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図３９】本発明の第９の実施形態で素線損失と変曲点までの長さの関係を示す数値解析結果図。
【図４０】本発明の第１０の実施形態の回転電機を示す基本構成図。
【図４１】本発明の第１０の実施形態の変形例を示す基本構成図。
【図４２】回転電機の電機子巻線断面図と漏れ磁束を示す基本構成図。
【図４３】従来の回転電機を示す基本構成図。
【図４４】従来の回転電機を示す基本構成図。
【図４５】従来の回転電機を示す基本構成図。
【図４６】従来の回転電機を示す基本構成図。
【図４７】本発明の原理を説明するための回転電機を示す基本構成図。
【図４８】本発明の原理を説明するための回転電機を示す基本構成図。
【図４９】図４７の回転電機での数値解析における通風ダクトピッチの分布図。
【図５０】図４７の回転電機での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【図５１】図４８の回転電機での素線導体における損失分布を示す数値解析結果図。
【符号の説明】
【０１０７】
１…回転子、２…電機子巻線、２ｂ…電機子巻線端部、２ｃ…上コイル、２ｄ…下コイル、３…固定子鉄心、４…通風ダクト、４ａ…給気セクション、４ｂ…排気セクション、４ｃ…給気セクション、４ｄ…排気セクション、５、５ａ、５ｂ…素線導体、９…エアギャップ(エアギャップ部)、１０…巻線スロット、１１…回転子ファン、１２…水冷式ガスクーラ、１４、１４ａ～１４ｅ…サブ鉄心部、１５…循環電流、１６ｘ、１６ｙ…磁束、１６ａ、１６ｅ…鎖交磁束。

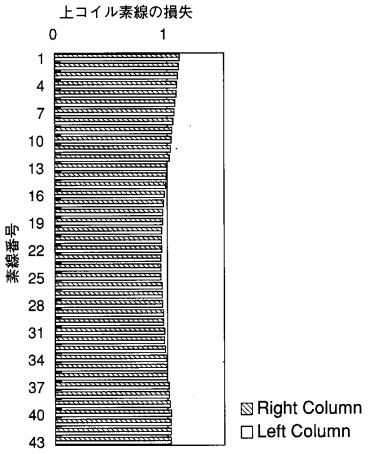
【図１】



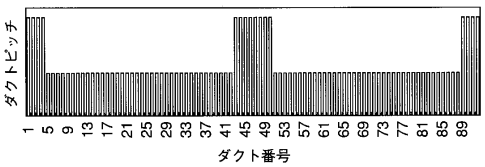
【図２】



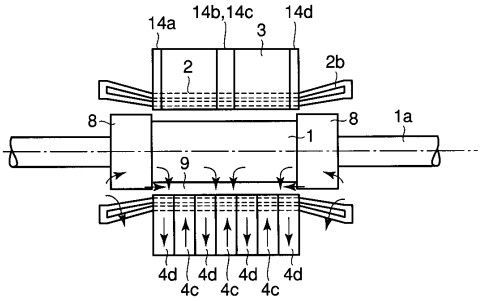
【図３】



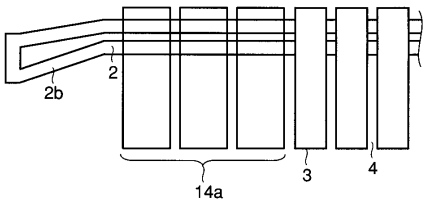
【図４】



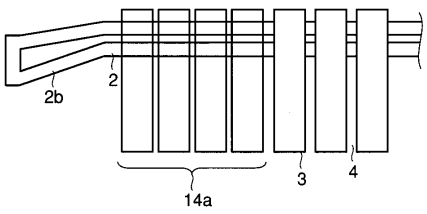
【図５】



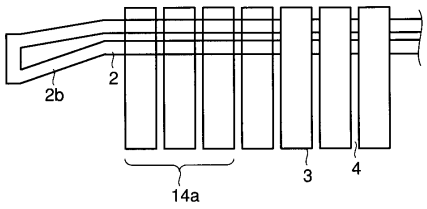
【図６】



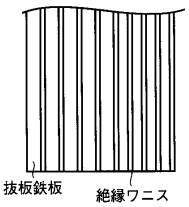
【図７】



【図８】

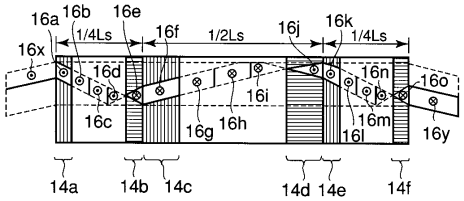


【図９】

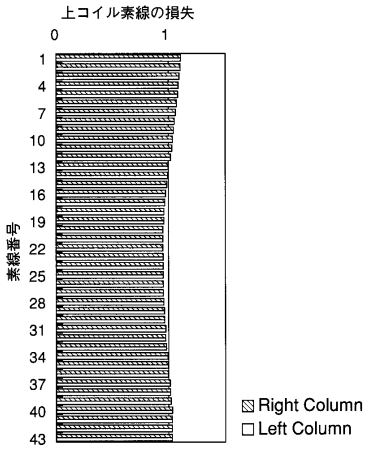


【図１０】

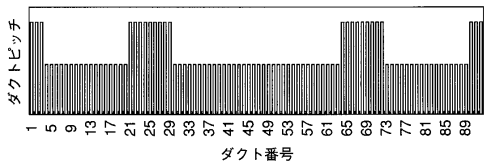
図 10



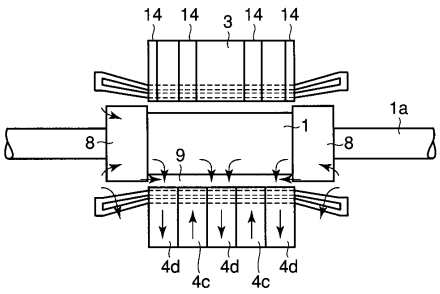
【図１１】



【図１２】

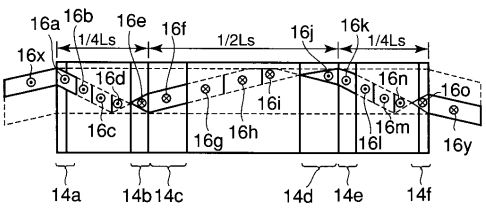


【図１３】

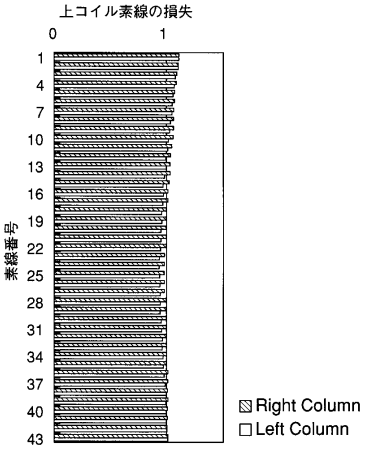


【図１４】

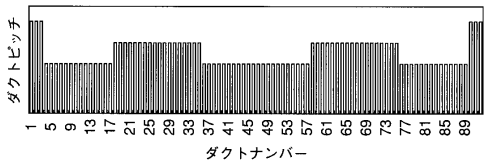
図 14



【図１５】

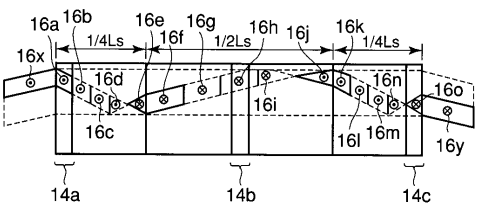


【図１６】

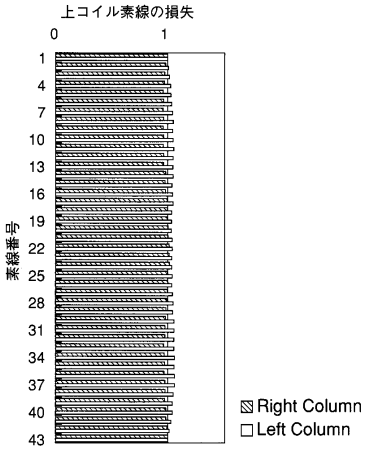


【図１７】

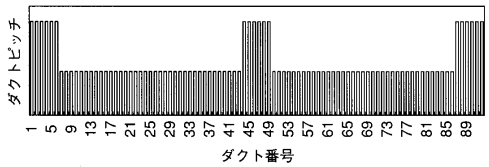
図17



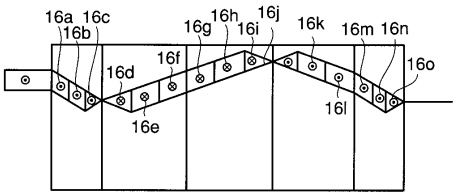
【図１８】



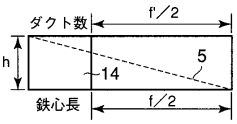
【図１９】



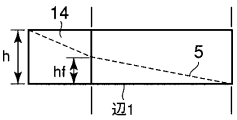
【図２０】



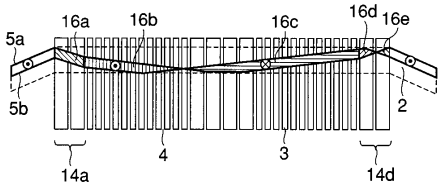
【図２２】



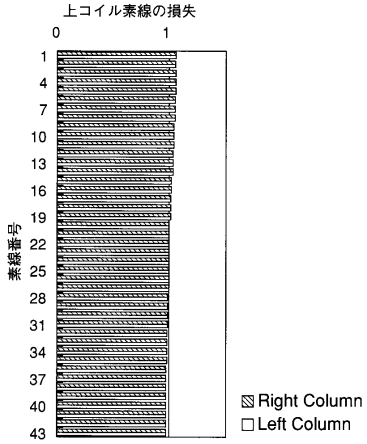
【図２３】



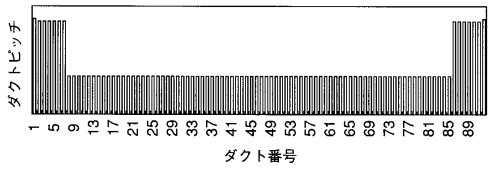
【図２１】



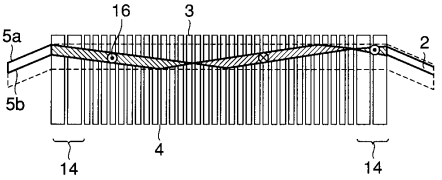
【図２４】



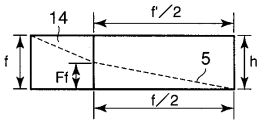
【図２５】



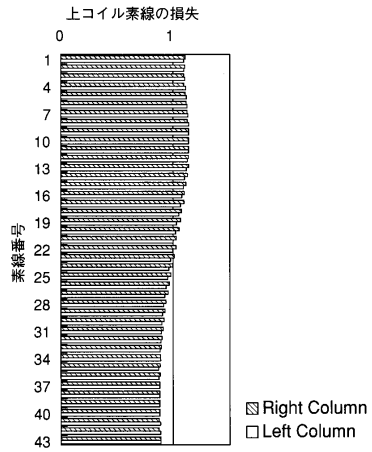
【図２６】



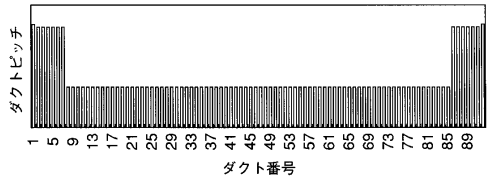
【図２７】



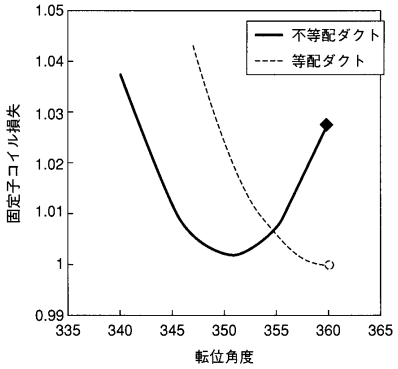
【図２８】



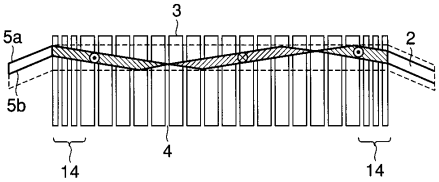
【図２９】



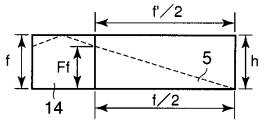
【図３０】



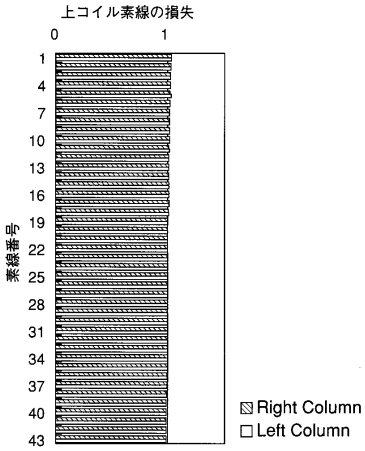
【図３１】



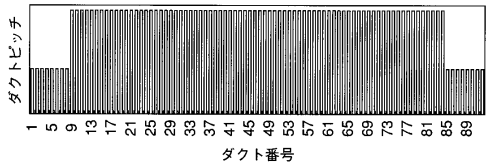
【図３２】



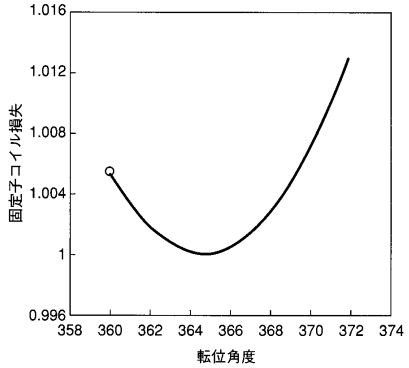
【図３３】



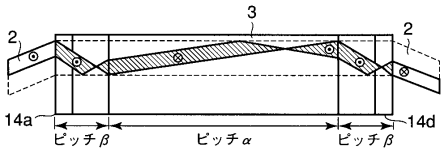
【図３４】



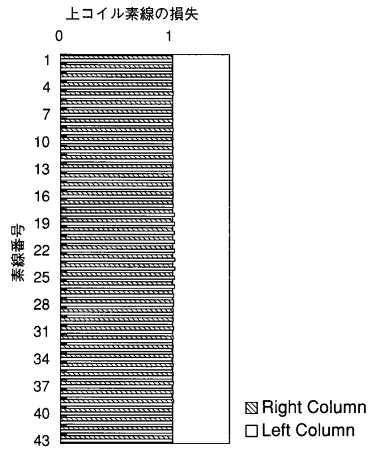
【図３５】



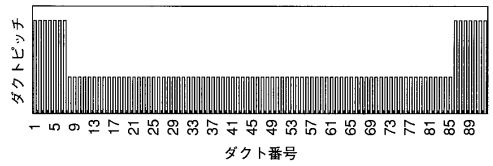
【図３６】



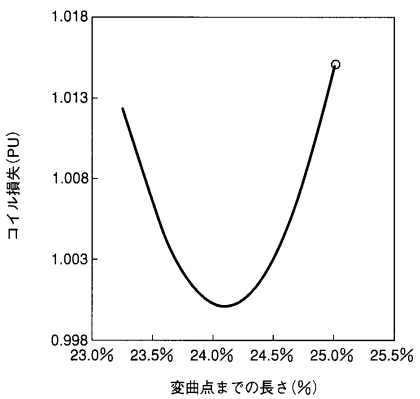
【図３７】



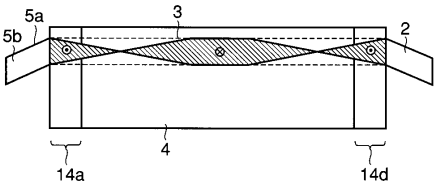
【図３８】



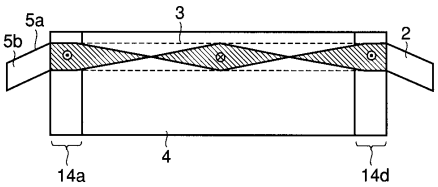
【図３９】



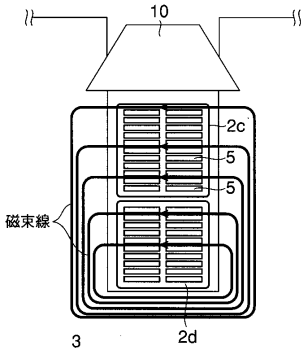
【図４０】



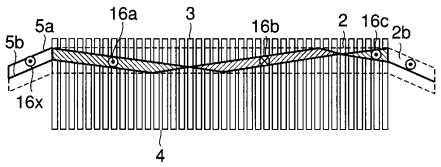
【図４１】



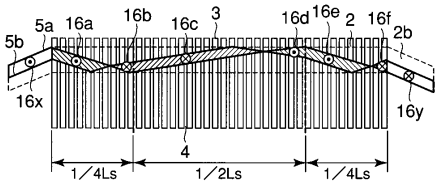
【図４２】



【図４３】

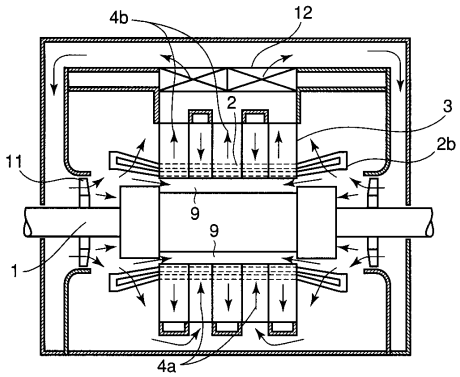


【図４４】

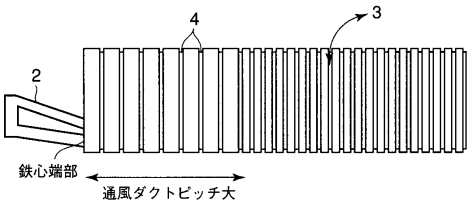


Ls：鉄心長

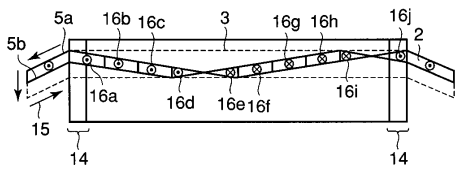
【図４５】



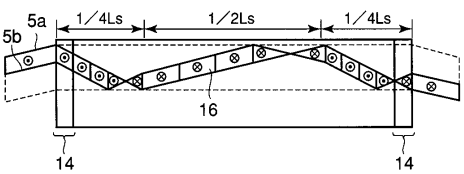
【図４６】



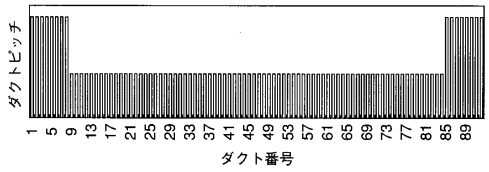
【図４７】



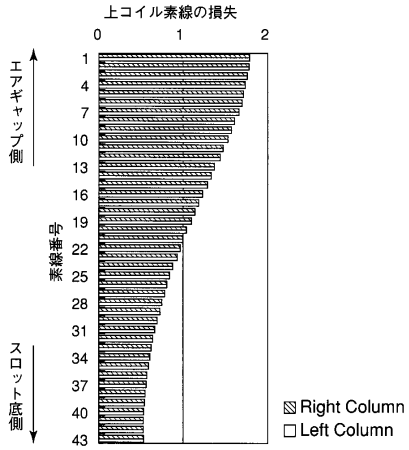
【図４８】



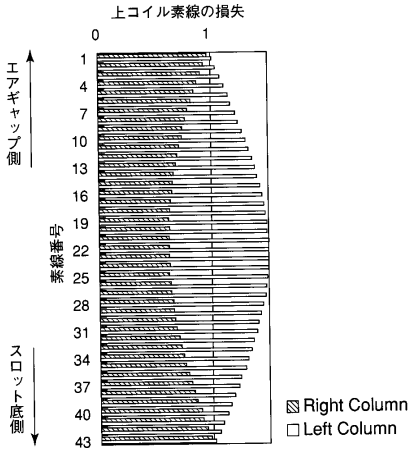
【図４９】


ダクトピッチ
1 5 9 13 17 21 25 29 33 37 41 45 49 53 57 61 65 69 73 77 81 85 89
ダクト番号

【図５０】


上コイル素線の損失
0 1 2
エアギャップ側
素線番号
スロット底側
1 4 7 10 13 16 19 22 25 28 31 34 37 40 43
Right Column
Left Column

【図５１】


上コイル素線の損失
0 1
エアギャップ側
素線番号
スロット底側
1 4 7 10 13 16 19 22 25 28 31 34 37 40 43
Right Column
Left Column

フロントページの続き

(74)代理人 100084618
弁理士 村松 貞男
(74)代理人 100092196
弁理士 橋本 良郎
(72)発明者 藤田 真史
神奈川県横浜市鶴見区末広町２丁目４番地 株式会社東芝京浜事業所内
(72)発明者 徳増 正
神奈川県横浜市鶴見区末広町２丁目４番地 東芝テクノコンサルティング株式会社内
(72)発明者 加幡 安雄
神奈川県横浜市鶴見区末広町２丁目４番地 株式会社東芝京浜事業所内
(72)発明者 新 政憲
神奈川県横浜市鶴見区末広町２丁目４番地 株式会社東芝京浜事業所内
(72)発明者 長野 進
神奈川県横浜市鶴見区末広町２丁目４番地 東芝テクノコンサルティング株式会社内
(72)発明者 垣内 幹雄
神奈川県横浜市鶴見区末広町２丁目４番地 株式会社東芝京浜事業所内

審査官 松本 泰典

(56)参考文献 特開昭５７－０６８６３５（ＪＰ，Ａ）
特開昭４６－００３７７５（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－０７８２６５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｋ 3／１４
Ｈ０２Ｋ 1／１８
Ｈ０２Ｋ 1／２０