

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6894663号  
(P6894663)

(45) 発行日 令和3年6月30日(2021.6.30)

(24) 登録日 令和3年6月8日(2021.6.8)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>HO2K</b>	<b>1/27</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	1/27	5O1M
<b>HO2K</b>	<b>1/22</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	1/27	5O1K
			HO2K	1/22	A
			HO2K	1/22	Z

請求項の数 3 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-213365 (P2015-213365)	(73) 特許権者	000006611
(22) 出願日	平成27年10月29日 (2015.10.29)		株式会社富士通ゼネラル
(65) 公開番号	特開2017-85821 (P2017-85821A)		神奈川県川崎市高津区末長3丁目3番17号
(43) 公開日	平成29年5月18日 (2017.5.18)	(74) 代理人	110002147
審査請求日	平成30年3月30日 (2018.3.30)		特許業務法人酒井国際特許事務所
審判番号	不服2019-15917 (P2019-15917/J1)	(72) 発明者	長谷川 公興
審判請求日	令和1年11月26日 (2019.11.26)		神奈川県川崎市高津区末長3丁目3番17号 株式会社富士通ゼネラル内
		台議体	
		審判長	佐々木 芳枝
		審判官	柿崎 拓
		審判官	山本 健晴

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回転子および永久磁石電動機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

磁性体により円柱状に形成され、板状の永久磁石が埋め込まれる複数の磁石埋め込み孔が周方向に所定間隔を隔てて環状に配置された回転子であって、

前記磁石埋め込み孔の周方向端部から前記回転子の外周に向かうように配置された第1非磁性部と、

前記第1非磁性部と離間し、かつ隣接するように、前記第1非磁性部に対して突極部側に配置された第2非磁性部と、

前記第1非磁性部と径方向に対向する前記回転子の外周に設けられる切欠き部と、

隣り合う前記切欠き部の間における前記回転子の外周面に形成され、前記回転子の径方向に突出する突起部と、

を備え、

前記第2非磁性部は、前記回転子の内径側から外径側に向かって前記第1非磁性部から遠ざかる方向に外径側端部が延びる長孔であり、内径側端部に対して前記外径側端部が前記第1非磁性部から遠ざかる方向に向けて前記回転子の外周に沿って曲げられ、

前記回転子の周方向において前記切欠き部の端部と当該端部に隣り合う前記回転子の外周面とがなす角度と、前記第2非磁性部の前記内径側端部と前記外径側端部との間の曲げ角度とを一致させることを特徴とする回転子。

【請求項2】

前記第1非磁性部の外径側端面と当該外径側端面に対向する前記切欠き部の対向面との

間隔を  $t$  とし、前記第 2 非磁性部の前記外径側端部の外径側端面と当該外径側端面に対向する前記回転子の外周面との間隔を  $T$  とした場合に、次式の関係になることを特徴とする請求項 1 に記載の回転子。

【数 4】

$$1.5t \leq T \leq 2.5t$$

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の回転子と、前記回転子の外径側に配置され、環状のヨークから内径側に延びる複数のティースにそれぞれ導線が巻かれたヨークティース固定子と、を備えることを特徴とする永久磁石電動機。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転子および永久磁石電動機に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、隣り合う突極部の間の外周部に形成された切欠き部と、その切欠き部と非磁性部との間に形成されたブリッジ部と、切欠き部の中央部から外方に突出した第 1 突起部とを有する磁石埋め込み型回転子において、突極部の半径を、突極部中心から切欠き部に向かって漸減させ、第 1 突起部の半径を、突極部中心の半径と同一とした磁石埋め込み型回転子が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2012 - 120326 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記特許文献 1 に記載された磁石埋め込み型回転子は、図 14 - 1 に示すように、回転子 210 の隣り合う突極部 211 と 212 の間の外周部に、切欠き部 217 a、216 b と、その中央部から外方に突出した第 1 突起部 218 a とを形成することで、永久磁石 213、214 から発生する誘起電圧の高調波成分を低減させて、正弦波に近づけることでコギングトルクを低減させて、電動機の振動や騒音を低減させることができる。しかしながら、図 14 - 1 の回転子の回転時における誘起電圧波形を示す図 14 - 2 を見ると、ピークとボトム付近でそれぞれ角が 2 つずつ出ていることから、正弦波に近づいているが、誘起電圧の高調波成分やコギングトルクの低減が未だ不十分であって、電動機の振動や騒音をさらに低減することが求められている。

30

【0005】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、回転子の回転時における誘起電圧の高調波成分やコギングトルクの低減を図って、正弦波に近い誘起電圧波形を得ることにより、回転子の回転時における回転むらを抑制することで、振動や騒音を防止することができる回転子および永久磁石電動機を得ることを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る回転子は、磁性体により円柱状に形成され、板状の永久磁石が埋め込まれる複数の磁石埋め込み孔が周方向に所定間隔を隔てて環状に配置された回転子であって、前記磁石埋め込み孔の周方向端部から前記回転子の外周に向かうように配置された第 1 非磁性部と、前記第 1 非磁性部と離間し、かつ隣接するように、前記第 1 非磁性部に対して突極部側に配置された第 2 非磁性部と、前記第 1 非磁性部と径方向に対向する前記回転子の外周に設けられる切欠き部と、隣り合う前記切欠き部の間における前記回転子の外周面に形成され、前記回転子の径方向に突出

50

する突起部と、を備え、前記第 2 非磁性部は、前記回転子の内径側から外径側に向かって前記第 1 非磁性部から遠ざかる方向に外径側端部が延びる長孔であり、内径側端部に対して前記外径側端部が前記第 1 非磁性部から遠ざかる方向に向けて前記回転子の外周に沿って曲げられ、前記回転子の周方向において前記切欠き部の端部と当該端部に隣り合う前記回転子の外周面とがなす角度と、前記第 2 非磁性部の前記内径側端部と前記外径側端部との間の曲げ角度とを一致させることを特徴とする。

【0009】

また、本発明に係る回転子は、前記第 1 非磁性部と前記切欠き部との間隔を  $t$  とし、前記第 2 非磁性部と前記回転子の外周との間隔を  $T$  とした場合に、次式の関係になることを特徴とする。

【数 1】

$$1.5t \leq T \leq 2.5t$$

【0010】

また、本発明に係る永久磁石電動機は、前記回転子と、前記回転子の外径側に配置され、環状のヨークから内径側に延びる複数のティースにそれぞれ導線が巻かれたヨークティース固定子と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、回転子の回転時における誘起電圧の高調波成分やコギングトルクの低減を図って、正弦波に近い誘起電圧波形を得ることで、回転子の回転時における振動や騒音を防止することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】図 1 は、本実施例に係る永久磁石電動機の構成を示す平面図である。

【図 2 - 1】図 2 - 1 は、図 1 の回転子の極間部の拡大図である。

【図 2 - 2】図 2 - 2 は、回転子のスリットとフラックスバリアを  $T = 2t$  の位置に形成した場合の誘起電圧波形図である。

【図 2 - 3】図 2 - 3 は、回転子のスリットとフラックスバリアを  $T = 2.2t$  の位置に形成した場合の誘起電圧波形図である。

【図 3 - 1】図 3 - 1 は、図 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 3 - 2】図 3 - 2 は、図 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 3 - 3】図 3 - 3 は、図 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 3 - 4】図 3 - 4 は、図 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 4】図 4 は、図 2 - 1 のスリットの第 1 孔部の根元位置とフラックスバリアとの間隔  $L$  の寸法を変えた時の誘起電圧波形の高調波成分とコギングトルクの変化を示す線図である。

【図 5】図 5 は、図 2 - 1 のスリットの第 2 孔部の長さを変えた時の誘起電圧波形の高調波成分とコギングトルクの変化を示す線図である。

【図 6 - 1】図 6 - 1 は、図 2 - 1 のスリットを折り曲げた先端部を長くした比較例としての回転子の平面図である。

【図 6 - 2】図 6 - 2 は、図 6 - 1 の回転子における U 相の誘起電圧波形図である。

【図 7 - 1】図 7 - 1 は、図 6 - 1 のスリットの曲げ部の内周側  $R$  を大きくとった比較例としての回転子の平面図である。

【図 7 - 2】図 7 - 2 は、図 7 - 1 の回転子における U 相の誘起電圧波形図である。

【図 8 - 1】図 8 - 1 は、図 2 - 1 のスリットの先端部を折り曲げずに八の字状に形成し

10

20

30

40

50

た比較例としての回転子の平面図である。

【図 8 - 2】図 8 - 2 は、図 8 - 1 の回転子における U 相の誘起電圧波形図である。

【図 9 - 1】図 9 - 1 は、図 8 - 1 の回転子を固定子内部で回転させる際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 9 - 2】図 9 - 2 は、図 8 - 1 の回転子を固定子内部で回転させる際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 9 - 3】図 9 - 3 は、図 8 - 1 の回転子を固定子内部で回転させる際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 9 - 4】図 9 - 4 は、図 8 - 1 の回転子を固定子内部で回転させる際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 10 - 1】図 10 - 1 は、隣り合う突極部間の外周部に切欠き部と突起部が無く非磁性部の先端部が周方向内側に延び折り曲がったスリットを突極部の両端付近に形成した比較例としての回転子の平面図である。

【図 10 - 2】図 10 - 2 は、図 10 - 1 の回転子における U 相の誘起電圧波形図である。

。

【図 11 - 1】図 11 - 1 は、隣り合う突極部間の外周部に切欠き部と突起部が無く図 2 - 1 と同じ形状のスリットが同じ位置に形成された比較例としての回転子の平面図である。

。

【図 11 - 2】図 11 - 2 は、図 11 - 1 の回転子における U 相の誘起電圧波形図である。

。

【図 12 - 1】図 12 - 1 は、図 2 - 1 のスリットの先端部を内径方向に折り曲げた実施例としての回転子の平面図である。

【図 12 - 2】図 12 - 2 は、図 12 - 1 の回転子における U 相の誘起電圧波形図である。

。

【図 13 - 1】図 13 - 1 は、突極部の両端付近に非磁性部と外周部に平行で三角形のスリットが形成された実施例としての回転子の平面図である。

【図 13 - 2】図 13 - 2 は、図 13 - 1 の回転子における U 相の誘起電圧波形図である。

。

【図 14 - 1】図 14 - 1 は、従来回転子の一構成例を示す平面図である。

【図 14 - 2】図 14 - 2 は、図 14 - 1 の回転子を用いた永久磁石電動機の回転時における U 相の誘起電圧波形図である。

【図 15 - 1】図 15 - 1 は、図 14 - 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 15 - 2】図 15 - 2 は、図 14 - 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 15 - 3】図 15 - 3 は、図 14 - 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【図 15 - 4】図 15 - 4 は、図 14 - 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に、本発明に係る回転子および永久磁石電動機の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施例によりこの発明が限定されるものではない。

【実施例】

【0014】

図 1 は、本実施例に係る永久磁石電動機の構成を示す平面図であり、図 2 - 1 は、図 1 の回転子の極間部の拡大図であり、図 2 - 2 は、回転子のスリットとフラックスバリアを  $T = 2t$  の位置に形成した場合の誘起電圧波形図であり、図 2 - 3 は、回転子のスリットとフラックスバリアを  $T = 2.2t$  の位置に形成した場合の誘起電圧波形図であり、図 3 - 1 ~ 図 3 - 4 は、図 1 の回転子が固定子内部で回転する際の磁束線の変化を示す磁束線

10

20

30

40

50

図である。

【0015】

(本実施例の回転子)

本実施例に係る永久磁石電動機40は、図1に示すように、軟磁性体の鋼板であるけい素鋼板を複数枚積層して円柱状に形成した回転子鉄心22には、その周方向に複数の磁石埋め込み孔12a、12b、12c、12d、12e、12fが環状に所定間隔で形成され、その中心に回転軸21を備えた回転子10と、その外周部を囲う固定子30とを備えている。固定子30は、回転子10の外周部から所定のエアギャップを隔てて配置され、環状のヨーク31から内方に延びる9本のティース32が40deg(機械角)間隔で形成され、ティース32の先端から周方向に先端エッジ33を突出させている。

10

【0016】

本実施例に係る回転子10は、回転子鉄心22に形成された磁石埋め込み孔12a~12fに対し、永久磁石13a、13b、13c、13d、13e、13fが埋め込まれる。その磁石埋め込み孔12a~12fの両端部(回転子鉄心22の周方向に延びる磁石埋め込み孔の両端部)には、第1非磁性部としての空隙、すなわちフラックスバリア14a~14f、15a~15fが形成され、磁束の短絡を防止している。第1非磁性部としてのフラックスバリア14a~14f、15a~15fは、回転子10の外周に向かうように配置される。さらに、第1非磁性部と径方向に対向する回転子10の外周部には、切欠き部16a~16f、17a~17fが形成されている。これにより、磁石埋め込み孔12a~12fの外周側には、突極部11a~11fが形成される。また、本実施例に係る回転子10は、切欠き部17aと16b、17bと16c、17cと16d、17dと16e、17eと16f、17fと16aのそれぞれの間に外方に突出した突起部18a~18fをそれぞれ形成してもよい。回転子10の外周部に切欠き部16a~16f、17a~17fと突起部18a~18fを形成すると、上記特許文献1のように、永久磁石13a~13fによって発生する誘起電圧の高調波成分が低減して、誘起電圧波形が正弦波に近づいて、コギングトルクの低減が可能となるが、図14-2の誘起電圧波形に示すように、ピークとボトム付近に角が出た波形となるため、電動機回転時における振動や騒音を十分に低減することができない。

20

【0017】

そこで、本実施例では、上記回転子10の外周部に切欠き部16a~16f、17a~17fと突起部18a~18fを形成すると共に、フラックスバリア14a~14f、15a~15fに隣接するように配置された第2非磁性部としてのスリット19a~19f、20a~20fを突極部11a~11fに形成する。

30

【0018】

具体的には、突極部11a~11fの両端のフラックスバリア14a~14f、15a~15fと隣接するように、突極部11a~11fにスリット19a~19f、20a~20fを形成している。図2-1に示すスリット20fを用いて、その形状および配置を説明する。本実施例に係る回転子10のスリット20fは、磁石埋め込み孔12fの端部付近から回転子外周に向かうように配置された第1孔部20f-1と、その外周側端部を曲げ部20f-3で回転子の外周に沿って曲げ、さらに延ばした第2孔部20f-2とで構成されている。このように構成されたスリット19a~19f、20a~20fを切欠き部16a~16f、17a~17fと突起部18a~18fが形成された回転子に組み合わせることにより、切欠き部と突起部だけでは取り除けなかった、誘起電圧波形のピークとボトム付近で生じる角を取り除いて、より正弦波に近い波形を得ることが可能となる。

40

【0019】

第1孔部20f-1は、磁石埋め込み孔12fの端部付近から回転子外周に向かうように配置(すなわち、回転子の内径から外径に向かうように配置)される際に、外径に向かうにつれてフラックスバリア15fから遠ざかるように傾いて配置される。

【0020】

50

本実施例のスリット20fの第1孔部20f-1の傾きは、図2-1に示すように、切欠き部17fの切欠き面17f-1の傾斜と平行になるように形成し、第2孔部20f-2は、外周部10aと平行になるように形成されている。すなわち、本実施例に係る回転子のスリット20fの曲げ角度（第1孔部20f-1と第2孔部20f-2とのなす角度）は、切欠き部17fの角度（回転子10の外周部10aと切欠き面17f-1とのなす角度）とを一致させるように傾けている。スリット19aの第2孔部19a-2と外周部10aとの間の間隔をT（スリット20fの第2孔部20f-2と外周部10aとの間の間隔も同様にT）とし、スリット19aの第1孔部19a-1と切欠き部16aの切欠き面16a-1の延長線（破線）との間の間隔をT'（スリット20fの第1孔部20f-1と切欠き部17fの切欠き面17f-1の延長線との間の間隔も同様にT'）とし、スリット20fの第1孔部20f-1の根元位置とフラックスバリア15fとの間隔をLとし、隣り合う突極部11fと11aとの間（極間部）の中心線Pからスリット20fの第1孔部20f-1と第2孔部20f-2の間の曲げ部20f-3までの角度を $\alpha_2$ とし、中心線Pからスリット20fの第2孔部20f-2の先端部までの角度 $\alpha_1$ とし、フラックスバリア14aと切欠き部16aとの間のブリッジ部の間隔をt（フラックスバリア15fと切欠き部17fとの間のブリッジ部の間隔も同様）とする。図2-1に示す実施例はベースモデルであり、 $T = 1.0\text{ mm}$ 、 $T' = 1.1\text{ mm}$ 、 $L = 1.1\text{ mm}$ としている。また、 $T = 2.2t$ とし、 $\alpha_1 - \alpha_2 = 8.55\text{ deg}$ （電気角）としている。

10

## 【0021】

図2-2は、回転子のスリットとフラックスバリアを $T = 2t$ の位置に形成した場合の誘起電圧波形である。図2-3は、回転子のスリットとフラックスバリアを $T = 2.2t$ の位置に形成した場合の誘起電圧波形である。何れの波形も図14-2の波形と比較すると正弦波に近い波形が得られているが、特に、図2-3に示す $T = 2.2t$ の方がより正弦波に近い滑らかな波形となっている。これにより、永久磁石によって発生する誘起電圧の高調波成分が低減し、コギングトルクも低減するため、電動機の振動や騒音を低減することができる。

20

## 【0022】

因みに、図2-1のベースモデルでは $T = 2.2t$ であるが、Tとtの間隔を色々変えてシミュレーションした結果、高調波成分とコギングトルクは以下のように変化することがわかった。すなわち、

30

T = tの場合 : 高調波成分 = 3.58%、コギングトルク = 0.06 Nm

T = 1.5tの場合 : 高調波成分 = 2.79%、コギングトルク = 0.10 Nm

T = 2tの場合 : 高調波成分 = 2.42%、コギングトルク = 0.20 Nm

T = 2.2tの場合 : 高調波成分 = 2.31%、コギングトルク = 0.23 Nm

T = 2.5tの場合 : 高調波成分 = 2.62%、コギングトルク = 0.28 Nm

T = 3tの場合 : 高調波成分 = 3.39%、コギングトルク = 0.31 Nm

となる。スリットを設けない図14-1の場合の高調波成分は図14-2に示すように4.06%であるが、上記結果によればスリットを設けることで、高調波成分を抑えることができることがわかる。高調波成分は3%を下回るとスリットを設けない場合に比べて1%以上の低減効果が得られる。高調波成分が3%以下となるTの範囲を求めると、次式のようになる。

40

## 【数2】

$$1.5t \leq T \leq 2.5t$$

従って、Tがこの範囲に納まるようにスリットの形成位置を決めることが好ましいことがわかる。

## 【0023】

また、本実施例に係る回転子が固定子内部で回転する際の磁束線を示す図3-1～図3-4の磁束線と、従来の切欠き部と突起部が形成された回転子が固定子内部で回転する際の磁束線を示す図15-1～図15-4の磁束線とを比較すると、スリットが形成されて

50

いる図3-1～図3-4では、永久磁石から生じる磁束がスリットによって突極部の中央に集中することから、ティース（図1の32参照）側に流れる磁束が突極部の中央で増加する一方、極間部側で減少する。これにより、誘起電圧波形が正弦波状になり、高調波成分が低減化できることがわかった。

#### 【0024】

（第2孔部の長さを変化させた場合）

図4は、図2-1のスリットの第1孔部の根元位置とフラックスバリアとの間隔Lの寸法だけを変えた時の誘起電圧波形の高調波成分とコギングトルクの変化を示す線図であり、図5は、図2-1のスリットの第2孔部の長さを変えた時の誘起電圧波形の高調波成分とコギングトルクの変化を示す線図である。

10

#### 【0025】

図4の場合は、図2-1のベースモデルに対して、スリット20fの第1孔部20f-1の根元位置とフラックスバリア15fとの間隔Lの寸法をだけ0.6mm～2.4mm付近まで変化させた時の誘起電圧波形の高調波成分（EMF高調波[%]）とコギングトルク[Nm]の変化を示したものである。なお、T'は固定されるため、Lの変化に伴って切欠き面16a-1の位置も変化する。図4の実線はEMF高調波であり、破線はコギングトルクである。図4の線図で見ると、コギングトルクが0.3Nm以下となるのはLが1mm以上で、EMF高調波が全ての範囲で3%以下であり、EMF高調波が2.5%以下となるのはLが0.75mm～1.7mmの範囲となる。このため、Lが1mm～1.7mmが好ましく、特にEMF高調波が低く、コギングトルクの線と交差するL=1.1mm付近がより好ましい。

20

#### 【0026】

図5の場合は、図2-1のベースモデルに対して、 $\theta$ （電気角）[deg]だけを0deg～20deg付近まで変化させた時の誘起電圧波形の高調波成分（EMF高調波[%]）とコギングトルク[Nm]の変化を示したものである。図5の場合も、実線はEMF高調波であり、破線はコギングトルクである。図5の線図で見ると、EMF高調波が3%以下となるのは $\theta$ の電気角が2.5deg～15degの範囲で、コギングトルクが0.3Nm以下となるのも $\theta$ の電気角が2.5deg以上の場合となる。このため、 $\theta$ の電気角が2.5deg～15degの範囲が好ましい範囲となる。つまり、図6-1に示すように、図2-1のスリット20f, 19aを曲げた先端部をさらに長く延ばす場合には、上記図4で示したLの好ましい範囲と、上記図5で示した $\theta$ の電気角の範囲でスリットを構成することが好ましい。

30

#### 【0027】

（図6-1のスリットの曲げ部の内周側Rを大きくとった実施例）

図7-1のスリット形状は、図6-1の形状とほぼ同じであるが、曲げ部79a-3、80a-3の内周側を円弧状に形成した点が異なっている。得られる誘起電圧波形は、図7-2のようになり、高調波成分は2.88%、コギングトルクは0.33Nmとなり、図6-1とほぼ同じ効果が得られた。つまり、折り曲げた内周側のスリット面積の変化は、誘起電圧波形や特性に影響を与えにくいことがわかった。

#### 【0028】

（スリットを曲げずに八の字状に形成した実施例）

図8-1に示す回転子90のスリット90a、100aは、本実施例に係る図2-1のように、スリットの先端部を折り曲げずに八の字状に形成した実施例としての回転子である。本実施例に係る回転子のスリットのように、折り曲がっていない場合の誘起電圧波形は、図8-2に示す波形になる。誘起電圧波形図8-1の回転子90の場合は、切欠き部97a、96bとその中央に突起部98aが形成されているが、これと組み合わせられるスリット90a、100aの形状が八の字状であるため、高調波成分は3.22%、コギングトルクは0.31Nmとなる。

40

#### 【0029】

また、本実施例に係る回転子が固定子内部で回転する際の磁束線を示す図3-1～図3

50

- 4の磁束線と、切欠き部と突起部と八の字状スリットとを組み合わせた回転子が固定子内部で回転する際の磁束線を示す図9-1～図9-4の磁束線とを比較する。曲げられたスリットが形成された図3-1～図3-4では、永久磁石から生じる磁束の発散がスリットの曲げられた部分でより抑制されるため、ティース側に流れる磁束が均一化して、誘起電圧波形の高調波成分が低減化できる。これに対して、曲げられていない八の字状スリットでは、永久磁石から生じる磁束の発散がスリット部分で抑制されるため、ティース側に流れる磁束をある程度均一化することはできるが、曲げられたスリットの方が、誘起電圧波形の高調波成分を低減できることがわかる。

#### 【0030】

(切欠き部と突起部が無くフラックスバリアの先端部を周方向内側に延ばすと共に曲がったスリットを突極部の両端付近に形成した比較例)

10

図10-1に示すように、回転子110の外周に切欠き部と突起部が無く真円状とした場合は、コギングトルクの特性が悪くなる傾向が見られる。図10-1の回転子110の特性を見ると、高調波成分は3.23%、コギングトルクは0.57Nmとなる。また、図10-1の回転子110では、フラックスバリア114a、115aの先端部を周方向内側に延ばし、曲げたスリット119a、120aを形成しているが、図10-2の誘起電圧波形に見られるように、ピークとボトム付近でそれぞれ角が2つずつ出ていて、正弦波に近い波形が得られていないことがわかる。

#### 【0031】

(切欠き部と突起部が無く本実施例と同じ形状のスリットを形成した比較例)

20

図11-1の回転子130は、本実施例の回転子10のスリットと同じ形状で、同じ位置に形成し、外周に切欠き部と突起部が無い場合の特性を確認するものである。外周に切欠き部が無い場合は、図11-2の誘起電圧波形に見られるように、波形が正弦波からかけ離れている。また、図11-1の回転子130の特性は、高調波成分が10.62%、コギングトルクは0.58Nmのように著しく悪化する。このように、回転子の外周に切欠き部と突起部が無い場合は、本実施例と同じスリットを形成したとしても、スリットの効果が得られないことがわかる。

#### 【0032】

(スリットの先端部を内径方向に曲げた実施例)

図12-1の回転子170は、外周に切欠き部177a、176bと突起部178aが形成され、スリット179a、180aの第1孔部179a-1、180a-1までは本実施例のスリットと同じであるが、曲げ部179a-3、180a-3からスリットの先端部を内径方向に折り曲げて延ばすことで、第2孔部179a-2、180a-2が形成されている点が異なっている。つまり、スリット179a、180aの第2孔部179a-2、180a-2の折り曲げ角度を変えたものである。この場合の誘起電圧波形は、図12-2に見られように、ピークとボトム付近でそれぞれ角が2つずつ出ていて、正弦波に近い波形が得られていないことがわかる。また、特性は高調波成分が3.18%、コギングトルクが0.30Nmとなる。このように、図2-1に示す本実施例のスリットの第2孔部179a-2、180a-2の折り曲げ角度を変えただけで、特性が変化することがわかる。

30

40

#### 【0033】

(三角形形状のスリットが形成された実施例)

図13-1の回転子190は、外周に切欠き部197a、196bと突起部198aが形成され、三角形形状のスリット199a、200aが突極部191の両端に形成されている。スリット199a、200aは、第1の辺199a-1、200a-1とフラックスバリア192、193とが平行に形成され、第2の辺199a-2、200a-2と外周部194とが平行に形成され、第3の辺199a-3、200a-3によってスリットが三角形形状に形成されている。図13-1の回転子190の誘起電圧波形は、図13-2に示すように、本実施例の図2-3の誘起電圧波形と同様の効果が得られる。図13-1の回転子190の高調波成分が2.76%、コギングトルクが0.26Nmとなる。

50

## 【0034】

以上述べたように、従来の回転子および永久磁石電動機は、回転子の極間部の外周部に少なくとも切欠き部を設け、さらに突起部を設けた場合は、永久磁石電動機の永久磁石から発生する誘起電圧の高調波成分を低減させて、正弦波に近づけることでコギングトルクを低減させ、電動機の振動や騒音をある程度まで低減させることができる。しかしながら、さらなる改善をしようとする場合に、これまで切欠き部や突起部とスリット形状や配置との組み合わせによって特性を改善することは行われていなかった。特に、上記比較例との対比の中で考察したように、切欠き部や突起部を設けたことによる効果と、スリットを設けたことによる効果は、単純にそれぞれの効果を足し合わせた結果とはならず、スリットの形状や配置によっては特性が悪化することもあるため、本実施例のように特定のスリット形状や配置位置のパターン化は、当業者であっても容易に想到することのできないものである。

10

## 【0035】

本実施例に係る回転子は、回転子の外周方向に向けて第1非磁性部としてのフラックスバリアが配置される極間部の回転子外周に少なくとも切欠き部が設けられ、さらに極間部に突起部が設けられている場合であっても良い。この回転子の永久磁石から発生する誘起電圧の高調波成分を低減させて、正弦波に近づけることでコギングトルクを低減させ、回転子の回転時における回転むらを抑制することで、電動機の振動や騒音を低減させるには、第2非磁性部としてのスリットをフラックスバリアと隣接する位置から回転子の外周方向に向かって延びるように配置する。このスリットは、外周方向に向かって延びる長孔としての第1孔部と、第1孔部の外径側先端部を磁石埋め込み孔の端部から中央に向けて回転子の外周部に沿って折り曲げる曲げ部と、曲げ部からさらに外周部に沿って延ばす第2孔部とで構成されている。

20

## 【0036】

本実施例に係る回転子のスリットは、回転子外周に形成された切欠き部の角度とスリットの第1孔部の曲げ角度とを一致させるように傾ける。また、スリットの第2孔部は、回転子外周と平行に延びるように曲げ部で折り曲げるようにする。

## 【0037】

本実施例に係る回転子のスリットは、フラックスバリアと回転子外周部に形成された切欠き部との距離を  $t$  とし、スリットの第2孔部と回転子外周部との距離を  $T$  とした場合に、次式の関係を満たす位置となるようにフラックスバリアとスリットを配置する。

30

## 【数3】

$$1.5t \leq T \leq 2.5t$$

## 【0038】

本実施例に係る回転子およびこれを用いた永久磁石電動機は、上記のように構成することにより、回転子外周に少なくとも切欠き部が設けられ、さらに極間部に突起部が設けられている場合であっても、永久磁石電動機の永久磁石から発生する誘起電圧の高調波成分を確実に低減させて、正弦波に近づけることが可能となり、コギングトルクを低減させることで、電動機の振動や騒音を低減させることが可能になった。

40

## 【0039】

なお、上記実施例では、回転子10と固定子30を有する6極の埋込磁石型同期モータ (IPMSM: Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) 40 であって、小型で強力なトルクを要するコンプレッサ用モータ等に用いる場合を例にあげて説明したが、必ずしもこれに限定されない。本実施例に係る永久磁石電動機は、4極以上の磁極数からなる埋込磁石型同期モータ40であれば適用することが可能である。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0040】

以上のように、本発明に係る回転子および永久磁石電動機は、誘起電圧波形が正弦波化

50

され、コギングトルクが低減されるため、特に圧縮機に内蔵される電動機のように、高い回転数で駆動される永久磁石電動機として有用である。

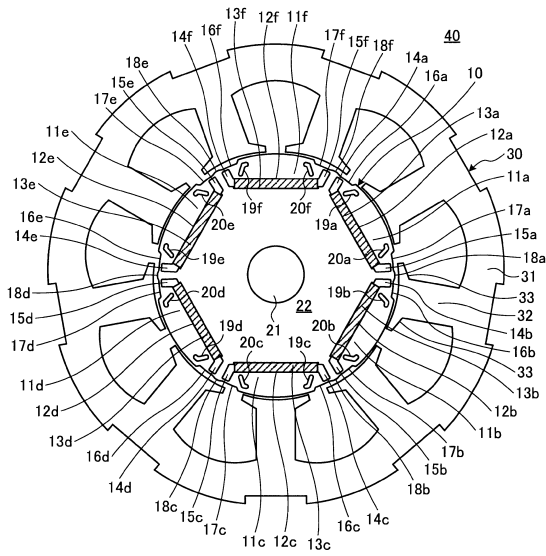
【符号の説明】

【0041】

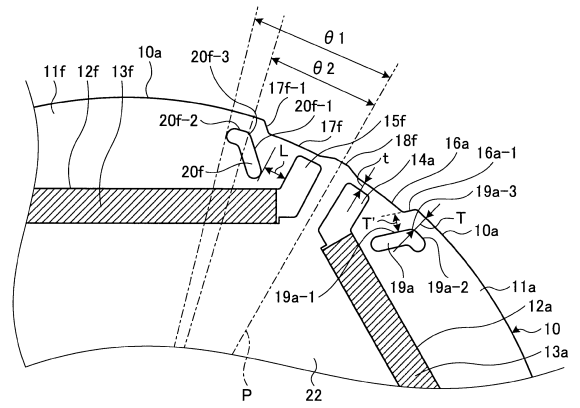
10	回転子	
10a	外周部	
11a ~ 11f	突極部	
12a ~ 12f	磁石埋め込み孔	
13a ~ 13f	永久磁石	
14a ~ 14f、15a ~ 15f	フラックスバリア (第1非磁性部)	10
16a ~ 16f、17a ~ 17f	切欠き部	
16a - 1、17f - 1	切欠き面	
18a ~ 18f	突起部	
19a ~ 19f、20a ~ 20f	スリット (第2非磁性部)	
19a - 1、20f - 1	第1孔部	
19a - 2、20f - 2	第2孔部	
19a - 3、20f - 3	曲げ部	
21	回転軸	
22	回転子鉄心	
30	固定子	20
31	ヨーク	
32	ティース	
33	先端エッジ	
P	中心線	
40	永久磁石電動機 (埋込磁石型同期モータ)	
50	回転子	
51	突極部	
57a、56b	切欠き部	
58a	突起部	
59a、60a	スリット (第2非磁性部)	30
59a - 1、60a - 1	第1孔部	
59a - 2、60a - 2	第2孔部	
59a - 3、60a - 3	曲げ部	
70	回転子	
71	突極部	
77a、76b	切欠き部	
78a	突起部	
79a、80a	スリット (第2非磁性部)	
79a - 1、80a - 1	第1孔部	
79a - 2、80a - 2	第2孔部	40
79a - 3、80a - 3	曲げ部	
90	回転子	
91	突極部	
97a、96b	切欠き部	
98a	突起部	
90a、100a	スリット (第2非磁性部)	
110	回転子	
111	突極部	
114a、115a	フラックスバリア (第1非磁性部)	
119a、120a	スリット (第2非磁性部)	50

1 1 9 a - 1、1 2 0 a - 1	第 1 孔部	
1 1 9 a - 2、1 2 0 a - 2	第 2 孔部	
1 1 9 a - 3、1 2 0 a - 3	曲げ部	
1 3 0	回転子	
1 3 1	突極部	
1 3 9 a、1 4 0 a	スリット (第 2 非磁性部)	
1 3 9 a - 1、1 4 0 a - 1	第 1 孔部	
1 3 9 a - 2、1 4 0 a - 2	第 2 孔部	
1 3 9 a - 3、1 4 0 a - 3	曲げ部	
1 7 0	回転子	10
1 7 1	突極部	
1 7 7 a、1 7 6 b	切欠き部	
1 7 8 a	突起部	
1 7 9 a、1 8 0 a	スリット (第 2 非磁性部)	
1 7 9 a - 1、1 8 0 a - 1	第 1 孔部	
1 7 9 a - 2、1 8 0 a - 2	第 2 孔部	
1 7 9 a - 3、1 8 0 a - 3	曲げ部	
1 9 0	回転子	
1 9 1	突極部	
1 9 2、1 9 3	フラックスバリア (第 1 非磁性部)	20
1 9 4	外周部	
1 9 7 a、1 9 6 b	切欠き部	
1 9 8 a	突起部	
1 9 9 a、2 0 0 a	スリット (第 2 非磁性部)	
1 9 9 a - 1、2 0 0 a - 1	第 1 の辺	
1 9 9 a - 2、2 0 0 a - 2	第 2 の辺	
1 9 9 a - 3、2 0 0 a - 3	第 3 の辺	
2 1 0	回転子	
2 1 1	突極部	
2 1 3、2 1 4	永久磁石	30
2 1 7 a、2 1 6 b	切欠き部	
2 1 8 a	突起部	

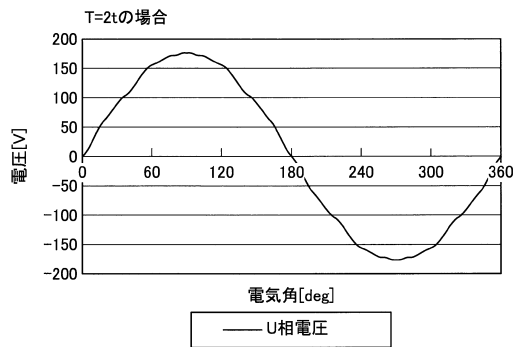
【図1】



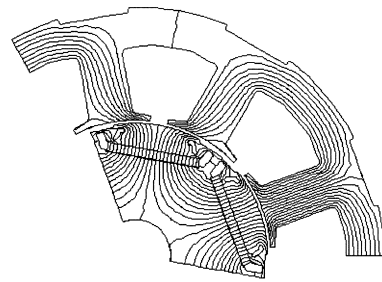
【図2-1】



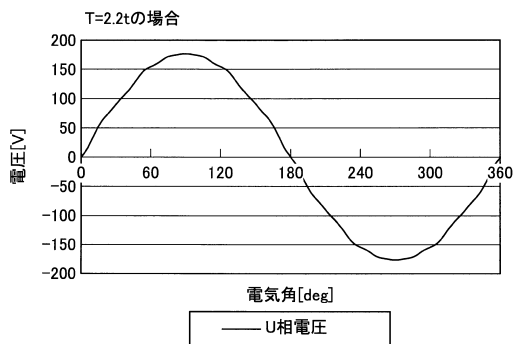
【図2-2】



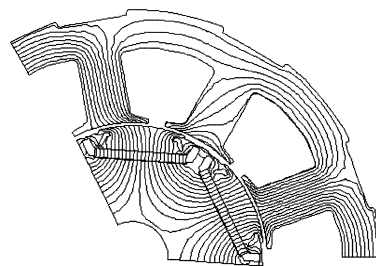
【図3-1】



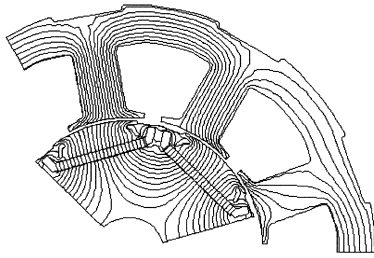
【図2-3】



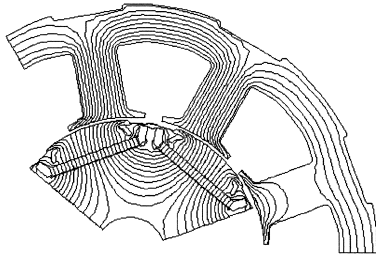
【図3-2】



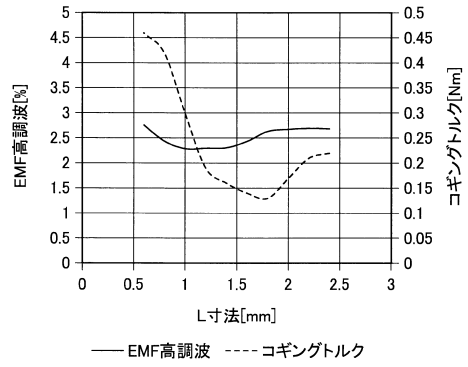
【図3-3】



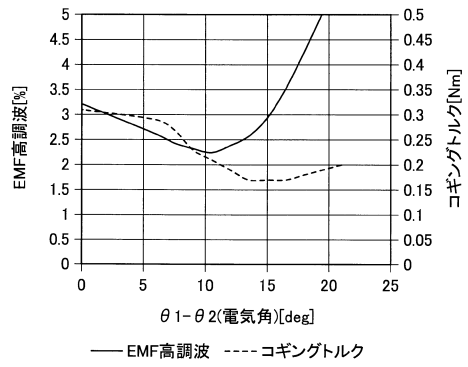
【図3-4】



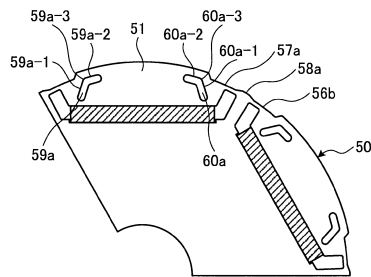
【図4】



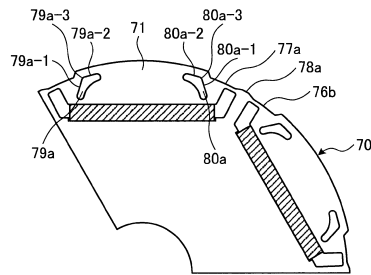
【図5】



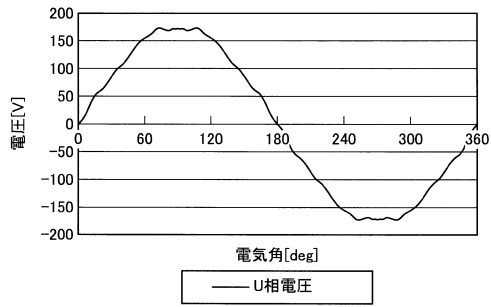
【図6-1】



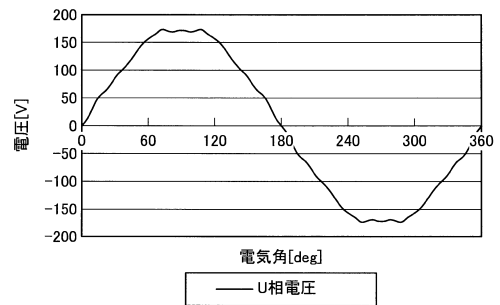
【図7-1】



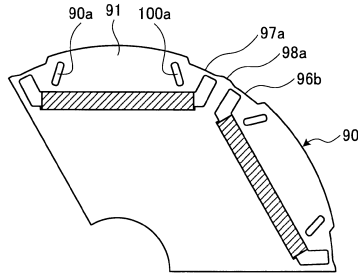
【図6-2】



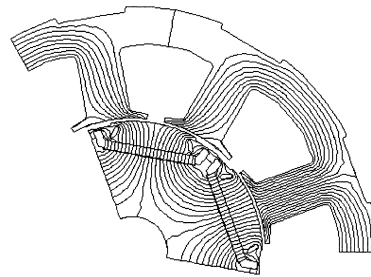
【図7-2】



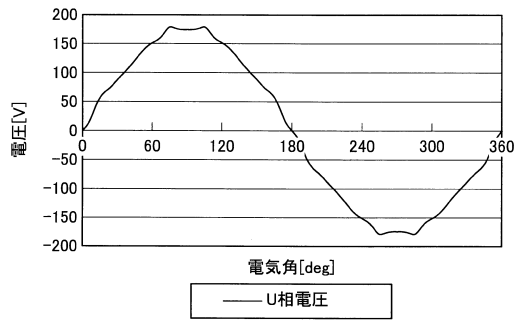
【図8-1】



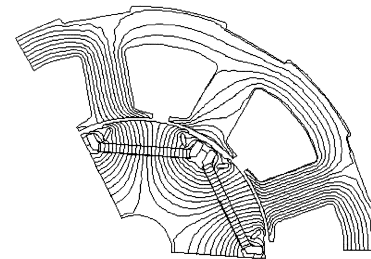
【図9-1】



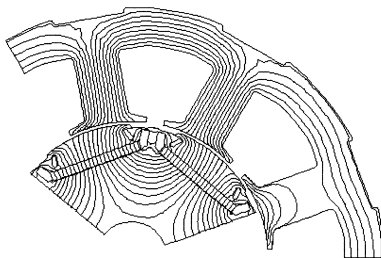
【図8-2】



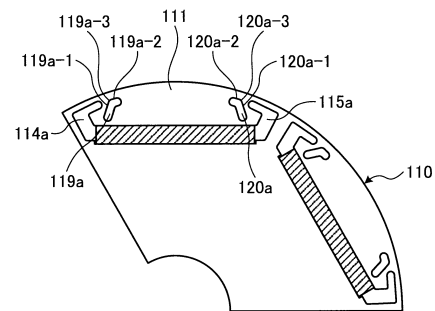
【図9-2】



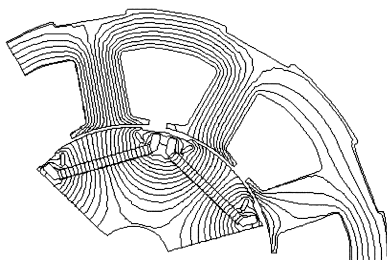
【図9-3】



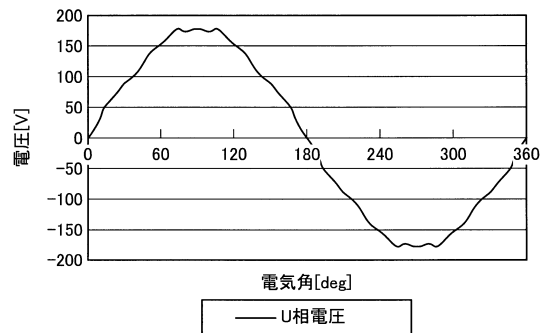
【図10-1】



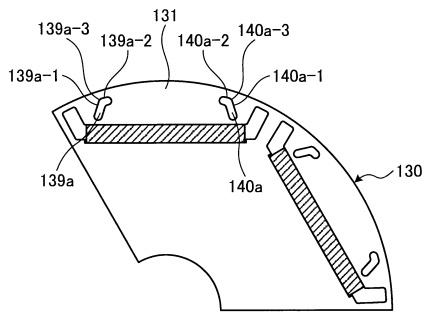
【図9-4】



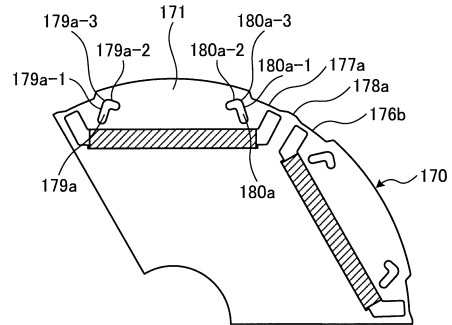
【図10-2】



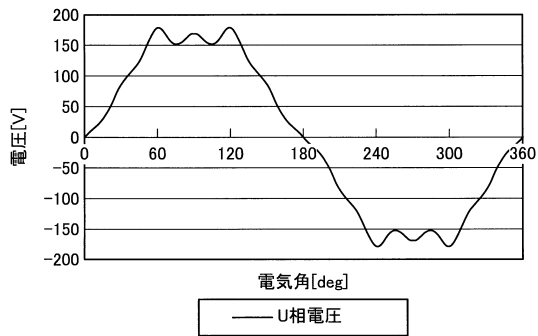
【図 1 1 - 1】



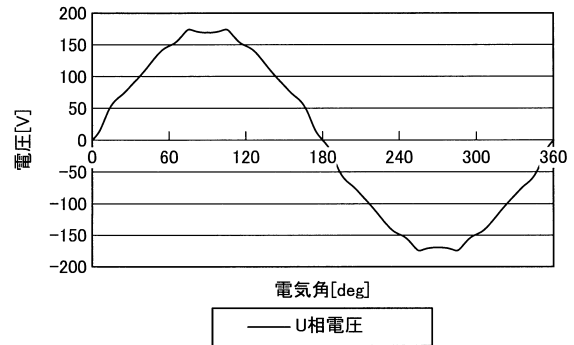
【図 1 2 - 1】



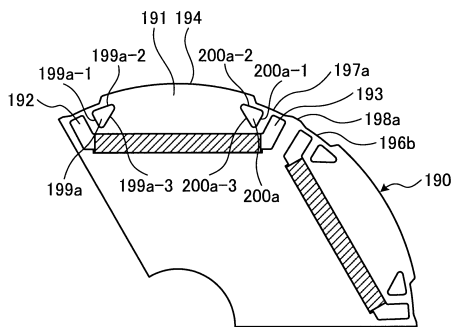
【図 1 1 - 2】



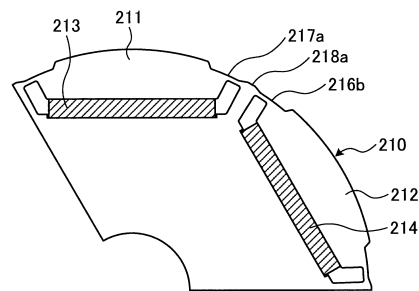
【図 1 2 - 2】



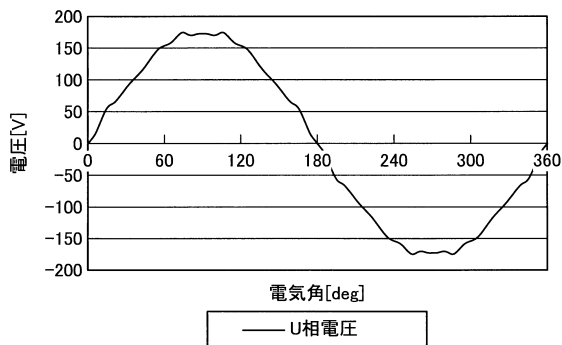
【図 1 3 - 1】



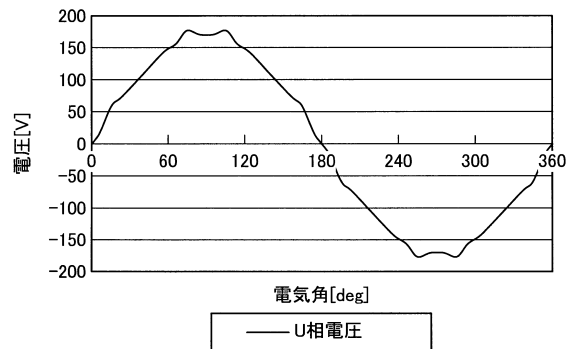
【図 1 4 - 1】




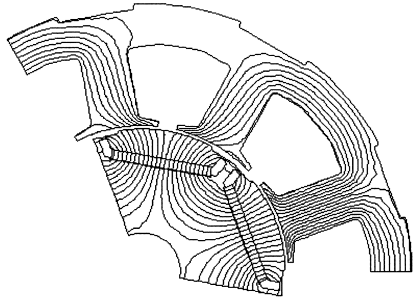
【図 1 3 - 2】




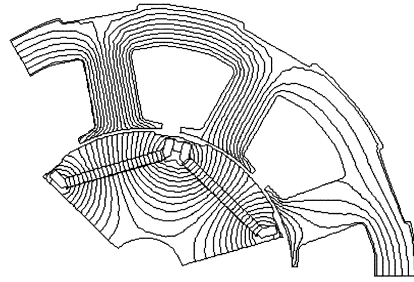
【図 1 4 - 2】




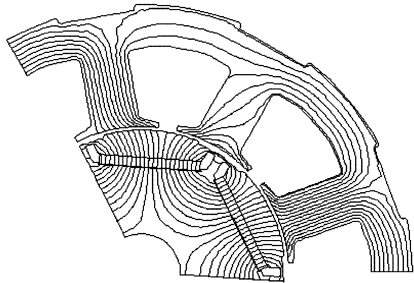
【 15 - 1】




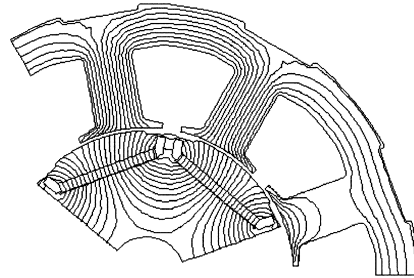
【 15 - 3】



【 15 - 2】



【 15 - 4】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2011-097754(JP,A)  
特開2010-158085(JP,A)  
特開2007-174738(JP,A)  
特開2012-217251(JP,A)  
特開2012-217249(JP,A)  
特開2012-120326(JP,A)  
特開2014-217189(JP,A)  
特開2011-188579(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02K1/27