

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4712585号  
(P4712585)

(45) 発行日 平成23年6月29日(2011.6.29)

(24) 登録日 平成23年4月1日(2011.4.1)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>HO2P</b>	<b>6/08</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2P	6/02	351H
<b>HO2K</b>	<b>16/02</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2K	16/02	
<b>HO2P</b>	<b>21/00</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2P	5/408	ZHVC
<b>HO2P</b>	<b>27/04</b>	<b>(2006.01)</b>			

請求項の数 12 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2006-78554 (P2006-78554)	(73) 特許権者	000005326 本田技研工業株式会社 東京都港区南青山二丁目1番1号
(22) 出願日	平成18年3月22日(2006.3.22)	(74) 代理人	100077805 弁理士 佐藤 辰彦
(65) 公開番号	特開2007-259551 (P2007-259551A)	(74) 代理人	100077665 弁理士 千葉 剛宏
(43) 公開日	平成19年10月4日(2007.10.4)	(72) 発明者	新 博文 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社 社本田技術研究所内
審査請求日	平成20年9月9日(2008.9.9)	(72) 発明者	伊勢川 浩行 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社 社本田技術研究所内
		審査官	牧 初

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動機の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

永久磁石による界磁を複数個有する第1ロータ及び第2ロータを、回転軸の周囲に配置した永久磁石界磁型の回転電動機の作動を、該第1ロータと該第2ロータとの位相差であるロータ位相差を変更することによる界磁制御を行って制御する電動機の制御装置であって、

直流電源から供給される直流電力を前記電動機の電機子に供給する多相交流電力に変換するインバータ回路と、

前記ロータ位相差を変更するロータ位相差変更手段と、

前記直流電源の出力電圧を変更する直流電圧変更手段と、

前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが、前記直流電源の出力電圧以下に設定された目標電圧よりも大きくなったときに、前記ロータ位相差変更手段により、前記電動機の界磁の磁束が減少する方向に前記ロータ位相差を変更する「第1の端子間電圧上昇対処処理」と、前記直流電圧変更手段により、前記直流電源の出力電圧を上昇させる「第2の端子間電圧上昇対処処理」とのうちの、少なくともいずれか一方を実行する端子間電圧上昇対処手段とを備えたことを特徴とする電動機の制御装置。

【請求項2】

前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなったときに、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」よりも先に実行し、前記「第1の端子間

電圧上昇対処処理」を実行しても、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きい状態が維持されるときには、前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」を実行することを特徴とする請求項1記載の電動機の制御装置。

【請求項3】

所定のトルク指令値に応じて前記電動機の作動を制御し、

前記端子間電圧上昇対処手段は、前記トルク指令値の変化率に応じて、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」と前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする請求項1記載の電動機の制御装置。

【請求項4】

前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」と前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする請求項1記載の電動機の制御装置。

10

【請求項5】

前記第1ロータの位置を検出するロータ位置検出手段と、

前記第1ロータの位置に基づいて、前記電動機を界磁の磁束方向であるd軸と該d軸に直交するq軸からなる2相直流の回転座標系による等価回路に変換して扱い、該等価回路における各軸の電機子の通電量を制御することにより、前記電動機の通電制御を行う通電制御手段とを備え、

前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなったときに、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」と、前記通電制御におけるd軸側の電機子の通電量を増加させる「第3の端子間電圧上昇対処処理」とのうちの少なくともいずれか一つを実行することを特徴とする請求項1記載の電動機の制御装置。

20

【請求項6】

前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなったときに、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」及び前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」を、前記「第3の端子間電圧上昇対処処理」よりも先に実行し、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」及び前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」を実行しても、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きい状態が維持されるときには、前記「第3の端子間電圧上昇対処処理」を実行することを特徴とする請求項5記載の電動機の制御装置。

30

【請求項7】

所定のトルク指令値に応じて前記電動機の作動を制御し、

前記端子間電圧上昇対処手段は、前記トルク指令値の変化率に応じて、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第3の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする請求項5記載の電動機の制御装置。

【請求項8】

前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の各相の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第3の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする請求項5記載の電動機の制御装置。

40

【請求項9】

永久磁石による界磁を複数個有する第1ロータ及び第2ロータを、回転軸の周囲に配置した永久磁石界磁型の回転電動機の作動を、該第1ロータと該第2ロータとの位相差であるロータ位相差を変更することによる界磁制御を行って制御する電動機の制御装置であって、

直流電源から供給される直流電力を前記電動機の電機子に供給する多相交流電力に変換するインバータ回路と、

50

前記ロータ位相差を変更するロータ位相差変更手段と、

前記直流電源の出力電圧を変更する直流電圧変更手段と、

前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが、前記直流電源の出力電圧以下に設定された目標電圧よりも小さくなったときに、前記ロータ位相差変更手段により、前記電動機の界磁の磁束が増加する方向に前記ロータ位相差を変更する「第1の端子間電圧低下対処処理」と、前記直流電圧変更手段により、前記直流電源の出力電圧を低下させる「第2の端子間電圧低下対処処理」とのうちの、少なくともいずれか一方を実行する端子間電圧低下対処手段とを備えたことを特徴とする電動機の制御装置。

【請求項10】

前記端子間電圧低下対処手段は、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも小さくなったときに、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」を前記「第2の端子間電圧低下対処処理」よりも先に実行し、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」を実行しても、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも小さい状態が維持されるときには、前記「第2の端子間電圧低下対処処理」を実行することを特徴とする請求項9記載の電動機の制御装置。

10

【請求項11】

所定のトルク指令値に応じて前記電動機の作動を制御し、

前記端子間電圧低下対処手段は、前記トルク指令値の変化率に応じて、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」と前記「第2の端子間電圧低下対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする請求項9記載の電動機の制御装置。

20

【請求項12】

前記端子間電圧低下対処手段は、前記電動機の各相の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」と前記「第2の端子間電圧低下対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする請求項9記載の電動機の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石界磁型の回転電動機の界磁弱め制御を、回転軸の周囲に配置された二つのロータ間の位相差を変更することによって行う電動機の制御装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来より、永久磁石界磁型の回転電動機の回転軸の周囲に同心円状に設けた第1ロータ及び第2ロータを備え、回転速度に応じて第1ロータと第2ロータの位相差を変更することで、界磁弱め制御を行うようにした電動機が知られている（例えば、特許文献1参照）。

【0003】

かかる従来の電動機においては、第1ロータと第2ロータが、遠心力の作用により径方向に沿って変位する部材を介して接続されている。また、電動機が停止状態にあるときに、第1ロータに配置された永久磁石の磁極と第2ロータに配置された永久磁極の磁極の向きが同一となって界磁の磁束が最大となり、電動機の回転速度が高くなるに従って遠心力により第1ロータと第2ロータの位相差が拡大して、界磁の磁束が減少するように構成されている。

40

【0004】

ここで、図14は縦軸を出力トルク $T_r$ とし横軸を回転数 $N$ として、電動機の界磁弱めが必要となる領域を示したものであり、図中 $u$ は電動機の直交ライン（界磁弱め制御を行わずに電動機を作動させたときに、回転数と出力トルクの組み合わせにより電動機の相電圧が電源電圧と等しくなる点を結んだもの）である。図中 $X$ は界磁弱めが不要な領域であり、 $Y$ は界磁弱めが必要な領域である。

【0005】

50

図14に示したように、界磁弱めが必要となる領域Yは電動機の回転数Nと出力トルクTrにより決定されるため、従来の回転数のみによる界磁弱め制御では、界磁弱めの制御量が過大又は過小となるという不都合がある。

【0006】

また、本来、界磁弱め制御は、電動機の回転により電機子に生じる逆起電力を減少させて電機子の端子間電圧が電源電圧よりも大きくなることを抑制し、これにより、電動機をより高回転域で使用できるようにするものである。そして、電動機の回転数や遠心力で第1ロータと第2ロータの位相差を変更する場合には、界磁弱めを変更するパラメータが回転数のみであるため、電動機の出力トルクや回転数の制御範囲を柔軟に変更することができないという不都合がある。

10

【0007】

また、発電機としても作動する電動機においては、一般的に駆動時(出力トルクが正)と発電時(出力トルクが負)では同一回転数に対する界磁の制御量を変えた方が運転効率が高くなるが、回転数や遠心力で第1ロータと第2ロータの位相差を変更するときには、このように駆動時と発電時で界磁の制御量を変えることができないという不都合がある。

【特許文献1】特開2002-204541号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は上記背景を鑑みてなされたものであり、回転軸の周囲に配置された二つのロータを有する電動機を作動させる際に、電動機の回転数に依ることなく、電動機の状態に応じた効率の良い通電制御を実行することができる電動機の制御装置を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は上記目的を達成するためになされたものであり、永久磁石による界磁を複数個有する第1ロータ及び第2ロータを、回転軸の周囲に配置した永久磁石界磁型の回転電動機の作動を、該第1ロータと該第2ロータとの位相差であるロータ位相差を変更することによる界磁制御を行って制御する電動機の制御装置に関する。なお、前記界磁制御には、前記電動機の界磁の磁束を減少させる界磁弱め制御と、前記電動機の界磁の磁束を増大させる界磁強め制御とが含まれる。

30

【0010】

そして、本発明の第1の態様は、直流電源から供給される直流電力を前記電動機の電機子に供給する多相交流電力に変換するインバータ回路と、前記ロータ位相差を変更するロータ位相差変更手段と、前記直流電源の出力電圧を変更する直流電圧変更手段と、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが、前記直流電源の出力電圧以下に設定された目標電圧よりも大きくなったときに、前記ロータ位相差変更手段により、前記電動機の界磁の磁束が減少する方向に前記ロータ位相差を変更する「第1の端子間電圧上昇対処処理」と、前記直流電圧変更手段により、前記直流電源の出力電圧を上昇させる「第2の端子間電圧上昇対処処理」とのうちの、少なくともいずれか一方を実行する端子間電圧上昇対処手段とを備えたことを特徴とする。

40

【0011】

かかる本発明によれば、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなると、前記インバータ回路から前記電動機への通電量が減少して前記電動機の出力トルクが減少する。そこで、この場合に、前記端子間電圧上昇対処手段により、前記ロータ位相差を前記電動機の界磁の磁束が減少する方向に変更する前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を実行することによって、前記電動機の逆起電力が減少するため、前記電動機への通電量を増加させることができる。また、前記端子間電圧上昇対処手段により、前記直流電源の出力電圧を上昇させる前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」を実行することによっても、前記電動機への通電量を増加させることができ

50

る。そして、前記端子間電圧上昇対処手段による前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」と前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」は、前記電動機の回転数ではなく前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさに応じて実行されるため、前記電動機の作動状態に応じて、必要な通電量を確保して前記電動機を効率良く作動させることができる。

【0012】

また、前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなったときに、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」よりも先に実行し、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を実行しても、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きい状態が維持されるときには、前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」を実行することを特徴とする。

10

【0013】

かかる本発明によれば、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなったときに、前記端子間電圧上昇対処手段により、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を先に実行して、前記電動機の界磁の磁束を減少させる。そして、この前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」により、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧以下となれば、前記インバータ回路から前記電動機への通電を維持することができる。一方、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を実行しても、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きいときには、前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」を実行して、前記直流電源の出力電圧を上昇させることによって、前記インバータから前記電動機への通電が可能な前記電動機の作動範囲をさらに拡大することができる。

20

【0014】

また、所定のトルク指令値に応じて前記電動機の作動を制御し、前記端子間電圧上昇対処手段は、前記トルク指令値の変化率に応じて、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」と前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする。

【0015】

かかる本発明によれば、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」において前記ロータ位相差変更手段により前記ロータ位相差を変更する機械的な処理は、前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」において前記直流電圧変更手段により前記直流電源の出力電圧を変更する電気的な処理よりも、変更指令に対する応答時間が長くなる。そこで、前記トルク指令値の変化率に応じて、例えば、該変化率が予め設定された基準値よりも大きいときは、応答時間が短い前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」を先に実行して前記電動機の通電量の維持を優先し、また、該変化率が該基準値以下であるときには、応答時間が長い前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を先に行って電動機の運転効率の維持を優先することができる。

30

【0016】

また、前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」と前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする。

40

【0017】

かかる本発明によれば、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、例えば、該偏差が予め設定された基準値よりも大きいときは、応答時間が短い前記「第2の端子間電圧上昇対処処理」を先に実行して前記電動機の通電量の維持を優先し、また、該偏差が該基準値以下であるときには、応答時間が長い前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を先に行って電動機の運転効率の維持を優先することができる。

【0018】

また、前記第1ロータの位置を検出するロータ位置検出手段と、前記第1ロータの位置

50

に基づいて、前記電動機を界磁の磁束方向である d 軸と該 d 軸に直交する q 軸からなる 2 相直流の回転座標系による等価回路に変換して扱い、該等価回路における各軸の電機子の通電量を制御することにより、前記電動機の通電制御を行う通電制御手段とを備え、前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなったときに、前記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」と、前記通電制御における d 軸側の電機子の通電量を増加させる「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」とのうちの少なくともいずれか一つを実行することを特徴とする。

**【 0 0 1 9 】**

かかる本発明によれば、前記端子間電圧上昇対処手段により、前記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」と前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」に加えて、d 軸側の電機子の通電量を増加させる「前記第 3 の端子間電圧上昇対処処理」を実行することによって、前記電動機に生じる逆起電圧をさらに低下させることができるため、前記電動機をより高回転領域で作動させることができる。

10

**【 0 0 2 0 】**

また、前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなったときに、前記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」及び前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」を、前記「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」よりも先に実行し、前記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」及び前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」を実行しても、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きい状態が維持されるときには、前記「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」を実行することを特徴とする。

20

**【 0 0 2 1 】**

かかる本発明によれば、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも大きくなったときに、前記端子間電圧上昇対処手段により、前記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」及び前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」を前記「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」よりも先に実行することによって、前記「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」による d 軸電機子の通電量の増加によって前記電動機の運転効率が低下することを極力回避することができる。

**【 0 0 2 2 】**

また、所定のトルク指令値に応じて前記電動機の作動を制御し、前記端子間電圧上昇対処手段は、前記トルク指令値の変化率に応じて、前記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする。

30

**【 0 0 2 3 】**

かかる本発明によれば、前記トルク指令値の変化率に応じて、例えば、該変化率が予め設定された基準値よりも大きいときは、電氣的な処理であって応答時間が短い前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」又は前記「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」を先に行って前記電動機の通電量の維持を優先し、また、該変化率が該基準値以下であるときには、機械的な処理であって応答時間が長い前記電動機への通電量が減少する前記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」を先に行って電動機の運転効率の維持を優先することができる。

40

**【 0 0 2 4 】**

また、前記端子間電圧上昇対処手段は、前記電動機の各相の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、前記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」と、前記「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする。

**【 0 0 2 5 】**

かかる本発明によれば、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、例えば、該偏差が予め設定された基準値よりも大きいときは、応答時間が短い前記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」及び前記「第

50

3の端子間電圧上昇対処処理」を先に実行して前記電動機の通電量の維持を優先し、また、該偏差が該基準値以下であるときには、応答時間が長い前記「第1の端子間電圧上昇対処処理」を先に行って電動機の運転効率の維持を優先することができる。

【0026】

また、本発明の第2の態様は、直流電源から供給される直流電力を前記電動機の電機子に供給する多相交流電力に変換するインバータ回路と、前記ロータ位相差を変更するロータ位相差変更手段と、前記直流電源の出力電圧を変更する直流電圧変更手段と、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが、前記直流電源の出力電圧以下に設定された目標電圧よりも小さくなったときに、前記ロータ位相差変更手段により、前記電動機の界磁の磁束が増加する方向に前記ロータ位相差を変更する「第1の端子間電圧低下対処処理」と、前記直流電圧変更手段により、前記直流電源の出力電圧を低下させる「第2の端子間電圧低下対処処理」とのうちの、少なくともいずれか一方を実行する端子間電圧低下対処手段とを備えたことを特徴とする。

10

【0027】

かかる本発明によれば、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも小さくなると、前記インバータ回路における前記直流電力から前記多相の交流電力への変換の際に生じる電力損失が増大する。そこで、この場合に、前記端子間電圧低下対処手段により、前記ロータ位相差の変更による「前記第1の端子間電圧低下対処処理」を実行することによって、前記電動機の界磁の磁束を増加させて前記電動機の各相の電機子の端子間電圧を上昇させることができる。そして、これにより、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差を減少させて、前記インバータ回路における電力損失を低減することができる。

20

【0028】

また、前記端子間電圧低下対処手段により、前記直流電源の出力電圧の変更による前記「第2の端子間電圧低下対処処理」を実行することによって、前記直流電源の出力電圧を低下させることができる。そして、これにより、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記インバータ回路に入力される直流電力の電圧との偏差を減少させて、前記インバータ回路における電力損失を低減することができる。そして、前記端子間電圧低下対処手段による前記「第1の端子間電圧低下対処処理」と前記「第2の端子間電圧低下対処処理」は、前記電動機の回転数ではなく前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさに応じて実行されるため、前記電動機の作動状態に応じて前記電動機の運転効率の低下を抑制することができる。

30

【0029】

また、前記端子間電圧低下対処手段は、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも小さくなったときに、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」を前記「第2の端子間電圧低下対処処理」よりも先に実行し、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」を実行しても、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも小さい状態が維持されるときには、前記「第2の端子間電圧低下対処処理」を実行することを特徴とする。

【0030】

かかる本発明によれば、前記電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさが前記目標電圧よりも小さくなったときに、前記端子間電圧低下対処手段により、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」を先に実行して、前記電動機の界磁の磁束を増加させる。そして、この前記「第1の端子間電圧低下対処処理」により、前記電動機の端子間電圧の合成ベクトルの大きさを前記目標電圧に近づけて、前記インバータ回路における電力損失を低減できると共に、前記電動機の通電量を減少させることができる。

40

【0031】

また、所定のトルク指令値に応じて前記電動機の作動を制御し、前記端子間電圧低下対処手段は、前記トルク指令値の変化率に応じて、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」と前記「第2の端子間電圧低下対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする。

50

## 【 0 0 3 2 】

かかる本発明によれば、前記トルク指令値の変化率に応じて、例えば、該変化率が予め設定された基準値よりも大きいときは、電氣的な処理であって応答時間が短い前記「第2の端子間電圧低下対処処理」を先に実行して、前記電動機の出出力トルクの変化に応じて前記インバータ回路の作動状態を速やかに変更することができる。また、該変化率が該基準値以下であるときには、機械的な処理であって応答時間が長い、前記電動機への通電量を減少させることができる前記「第1の端子間電圧低下対処処理」を先に行って、前記インバータ回路の作動状態を変更することができる。

## 【 0 0 3 3 】

また、前記端子間電圧低下対処手段は、前記電動機の各相の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、前記「第1の端子間電圧低下対処処理」と前記「第2の端子間電圧低下対処処理」の実行順序を決定することを特徴とする。

10

## 【 0 0 3 4 】

かかる本発明によれば、前記電動機の各相の端子間電圧の合成ベクトルの大きさと前記目標電圧との偏差の大きさに応じて、例えば該偏差が予め設定された基準値よりも大きいときは、応答時間が短い前記「第2の端子間電圧低下対処処理」を先に実行して、前記電動機の出出力トルクの変化に応じて前記インバータ回路の作動状態を速やかに変更することができる。また、該偏差が該基準値以下であるときには、応答時間が長い前記電動機への通電量を減少させることができる前記「第1の端子間電圧低下対処処理」を先に行なって、前記インバータ回路の作動状態を変更することができる。

20

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 3 5 】

本発明の実施の形態について、図1～図13を参照して説明する。図1は2重ロータを備えたDCブラシレスモータの構成図、図2は図1に示したDCブラシレスモータの外側ロータと内側ロータの位相差を変更する機構の構成図及び作動説明図、図3及び図4は外側ロータと内側ロータの位相差を変更することによる効果の説明図、図5は電動機の制御装置の制御ブロック図、図6はd-q座標系における電圧ベクトル図、図7は誘起電圧定数からロータ位相差を決定するマップ及び誘起電圧定数とq軸電機子のインダクタンスからロータ位相差を決定するマップの説明図、図8は界磁弱め及び電源電圧の上昇による効果の説明図、図9は界磁強め及び電源電圧の低下による効果の説明図、図10は電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルを目標電圧円に近づける処理の実行順序を決定する処理のフローチャート、図11は電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルを目標電圧円に近づける処理のフローチャート、図12は誘起電圧定数からロータ位相差を決定するマップの説明図、図13はアクチュエータによりロータ位相差を変更する処理のフローチャートである。

30

## 【 0 0 3 6 】

図1を参照して、本実施の形態における電動機1は、永久磁石11a、11bの界磁が周方向に沿って等間隔に配設された内側ロータ11（本発明の第2ロータに相当する）と、永久磁石12a、12bの界磁が周方向に沿って等間隔に配設された外側ロータ12（本発明の第1ロータに相当する）と、内側ロータ11及び外側ロータ12に対する回転磁界を発生させるための電機子10aを有するステータ10とを備えたDCブラシレスモータである。電動機1は、例えばハイブリッド車両や電動車両の駆動源として使用され、ハイブリッド車両に搭載されたときは、電動機及び発電機として動作する。

40

## 【 0 0 3 7 】

内側ロータ11と外側ロータ12は、共に回転軸が電動機1の回転軸2と同軸となるように同心円状に配置されている。そして、内側ロータ11においては、N極を回転軸2側とする永久磁石11aとS極を回転軸2側とする永久磁石11bが交互に配設されている。同様に、外側ロータ12においても、N極を回転軸2側とする永久磁石12aとS極を回転軸2側とする永久磁石12bが交互に配設されている。

## 【 0 0 3 8 】

50

次に、電動機 1 は、外側ロータ 1 2 と内側ロータ 1 1 の位相差であるロータ位相差を変更するために、図 2 ( a ) に示した遊星歯車機構 3 0 を備えている。図 2 ( a ) を参照して、遊星歯車機構 3 0 は、内側ロータ 1 1 の内周側の中空部に配置されたシングルピニオン型の遊星歯車機構であり、外側ロータ 1 2 と同軸且つ一体に形成された第 1 リングギア R 1、内側ロータ 1 1 と同軸且つ一体に形成された第 2 リングギア R 2、第 1 リングギア R 1 と噛合する第 1 プラネタリギア 3 1、第 2 リングギア R 2 に噛合する第 2 プラネタリギア 3 2、第 1 プラネタリギア 3 1 及び第 2 プラネタリギア 3 2 と噛合するアイドルギアであるサンギア S、第 1 プラネタリギア 3 1 を回転自在に支持すると共に回転軸 2 に回転可能に軸支された第 1 プラネタリキャリア C 1、及び第 2 プラネタリギア 3 2 を回転自在に支持すると共にステータ 1 0 に固定された第 2 プラネタリキャリア C 2 を備えている。

10

【 0 0 3 9 】

遊星歯車機構 3 0 において、第 1 リングギア R 1 と第 2 リングギア R 2 は略同等のギア形状とされ、第 1 プラネタリギア 3 1 と第 2 プラネタリギア 3 2 も略同等のギア形状とされている。また、サンギア S の回転軸 3 3 は電動機 1 の回転軸 2 と同軸に配置されると共に、軸受け 3 4 により回転可能に軸支されている。そして、これにより、第 1 プラネタリギア 3 1 と第 2 プラネタリギア 3 2 がサンギア S と噛合し、外側ロータ 1 2 と内側ロータ 1 1 が同期して回転するように構成されている。

【 0 0 4 0 】

さらに、第 1 プラネタリキャリア C 1 の回転軸 3 5 は、電動機 1 の回転軸 2 と同軸に配置されると共にアクチュエータ 2 5 に接続されており、第 2 プラネタリキャリア C 2 はステータ 1 0 に固定されている。

20

【 0 0 4 1 】

アクチュエータ 2 5 は、外部から入力される制御信号に応じて、油圧により第 1 プラネタリキャリア C 1 を正転方向又は逆転方向に回転させ、或いは回転軸 2 回りの第 1 プラネタリキャリア C 1 の回転を規制する。そして、アクチュエータ 2 5 によって第 1 プラネタリキャリア C 1 が回転すると、外側ロータ 1 2 と内側ロータ 1 1 間の相対的な位置関係 ( 位相差 ) が変化する。なお、遊星歯車機構 3 0 とアクチュエータ 2 5 により、本発明のロータ位相差変更手段が構成される。また、油圧ではなく電動により第 1 プラネタリキャリア C 1 を回転させるアクチュエータを用いてもよい。

【 0 0 4 2 】

30

図 2 ( b ) は、遊星歯車機構 3 0 における第 1 リングギア R 1 と、第 1 プラネタリキャリア C 1 と、サンギア S と、第 2 プラネタリキャリア C 2 と、第 2 リングギア R 2 の回転速度の関係を示した図であり、縦軸が各ギアの回転速度  $V_r$  に設定されている。

【 0 0 4 3 】

図 2 ( b ) において、ステータ 1 0 に固定された第 2 プラネタリキャリア C 2 の速度はゼロである。そのため、第 2 リングギア R 2 及び内側ロータ 1 1 は、例えば逆転方向 (  $V_r < 0$  ) に回転するサンギア S に対して、第 2 リングギア R 2 に対する サンギア S のギア比  $g_2$  に応じた速度で正転方向 (  $V_r > 0$  ) に回転することになる。

【 0 0 4 4 】

ここで、アクチュエータ 2 5 が非作動状態 ( アクチュエータ 2 5 による第 1 プラネタリキャリア C 1 の回転がなされていない状態 ) にあるときは、第 1 プラネタリキャリア C 1 の回転速度はゼロである。そのため、第 1 リングギア R 1 及び外側ロータ 1 2 は、回転するサンギア S に対して、第 1 リングギア R 1 に対するサンギア S のギア比  $g_1$  に応じた速度で逆方向に回転する。そして、ギヤ比  $g_1$  とギヤ比  $g_2$  は略同等 (  $g_1 = g_2$  ) に設定されているので、内側ロータ 1 1 と外側ロータ 1 2 は同期して回転し、内側ロータ 1 1 と外側ロータ 1 2 間の位相差が一定に維持される。

40

【 0 0 4 5 】

一方、アクチュエータ 2 5 が作動状態 ( アクチュエータ 2 5 により第 1 プラネタリキャリア C 1 が回転している状態 ) にあるときは、第 1 リングギア R 1 及び外側ロータ 1 2 は、回転するサンギア S に対して、第 1 リングギア R 1 に対するサンギア S のギア比  $g_1$  に

50

応じた速度に対して、第1プラネタリキャリアC1の回動分だけ増速又は減速されて、逆方向に回転する。そして、これにより、外側ロータ12と内側ロータ11の位相差が変化する。

【0046】

また、アクチュエータ25は、第1リングギアR1に対するサンギアSのギア比 $g_1$ と電動機1の極対数Pに対して、少なくとも、機械角度(度) =  $(180/P) \times g_1 / (1 + g_1)$ だけ、第1プラネタリキャリアC1を正転方向又は逆転方向に回動可能に構成されている。

【0047】

そのため、外側ロータ12と内側ロータ11の位相差は、少なくとも電気角で180度の範囲で進角側又は遅角側に変更することができ、電動機1の状態は、外側ロータ12の永久磁石12a, 12bと内側ロータ11の永久磁石11a, 11bが同極同士を対向して配置された界磁弱め状態と、外側ロータ12の永久磁石12a, 12bと内側ロータ11の永久磁石11a, 11bが異極同士を対向して配置された界磁強め状態との間で、適宜設定可能である。

【0048】

図3(a)は界磁強め状態を示しており、外側ロータ12の永久磁石12a, 12bの磁束Q2と内側ロータ11の永久磁石11a, 11bの磁束Q1の向きが同一であるため、合成された磁束Q3が大きくなる。一方、図3(b)は界磁弱め状態を示しており、外側ロータ12の永久磁石12a, 12bの磁束Q2と内側ロータ11の永久磁石11a, 11bの磁束Q1の向きが逆であるため、合成された磁束Q3が小さくなる。

【0049】

図4は、図3(a)の状態と図3(b)の状態において、電動機1を所定回転数で作動させた場合にステータ10の電機子に生じる誘起電圧を比較したグラフであり、縦軸が誘起電圧(V)に設定され、横軸が電気角(度)に設定されている。図中aが図3(a)の状態(界磁強め状態)であり、bが図3(b)の状態(界磁弱め状態)である。図4から、外側ロータ12と内側ロータ11の位相差を変更することで、生じる誘起電圧のレベルが大幅に変化していることがわかる。

【0050】

そして、このように、外側ロータ12と内側ロータ11の位相差を変更して、界磁の磁束を増減させることにより、電動機1の誘起電圧定数 $K_e$ を変化させることができる。これにより、誘起電圧定数 $K_e$ が一定である場合に比べて、電動機1の出力及び回転数に対する運転可能領域を拡大することができる。また、電動機の制御として一般的なdq座標変換により、d軸(界磁軸)側の電機子に通電して界磁弱め制御を行う場合に比べて、電動機1の銅損が減少するため、電動機1の運転効率を高めることができる。

【0051】

次に、図5～図13を参照して、本発明の電動機の制御装置について説明する。図5に示した電動機の制御装置(以下、単に制御装置という)は、電動機1を界磁方向をd軸としてd軸と直交する方向をq軸とした2相直流の回転座標系による等価回路に変換して扱い、外部から与えられるトルク指令値 $T_{r\_c}$ に応じたトルクが電動機1から出力されるように、電動機1に対する通電量を制御するものである。

【0052】

制御装置はCPU、メモリ等により構成される電子ユニットであり、トルク指令値 $T_{r\_c}$ と電動機1の外側ロータ12と内側ロータ11の位相差(ロータ位相差)の推定値 $d_e$ とに基づいて、d軸側の電機子(以下、d軸電機子という)に流れる電流(以下、d軸電流という)の指令値 $I_{d\_c}$ とq軸側の電機子(以下、q軸電機子という)に流れる電流(以下、q軸電流という)の指令値 $I_{q\_c}$ とを決定する電流指令値決定部60、電流センサ70, 71により検出されてバンドパスフィルタ72により不要成分が除去された電流検出信号と、レゾルバ73(本発明のロータ位置検出手段に相当する)により検出された外側ロータ12のロータ角度 $r$ とに基づいて、3相/dq変換によりd軸電流の検出値 $I_d$

10

20

30

40

50

$i_s$ とq軸電流の検出値  $I_{q_s}$ とを算出する3相/dq変換部75、d軸電流の指令値  $I_{d_c}$ と検出値  $I_{d_s}$ の偏差  $I_d$ 及びq軸電流の指令値  $I_{q_c}$ と検出値  $I_{q_s}$ の偏差  $I_q$ を減少させるように、d軸電機子の端子間電圧(以下、d軸電圧という)の指令値  $V_{d_c}$ とq軸電機子の端子間電圧(以下、q軸電圧という)の指令値  $V_{q_c}$ とを決定する通電制御部50(本発明の通電制御手段に相当する)、d軸電圧の指令値  $V_{d_c}$ とq軸電圧の指令値  $V_{q_c}$ を大きさV1と角度  $\theta$ の成分に変換するr変換部61、及び該大きさV1と角度  $\theta$ の成分をPWM制御により3相(U, V, W)の交流電圧に変換するPWM演算部62(本発明のインバータ回路の機能を含む)を備えている。

#### 【0053】

また、制御装置は、d軸電圧の指令値  $V_{d_c}$ 及びq軸電圧の指令値  $V_{q_c}$ とd軸電流の検出値  $I_{d_s}$ 及びq軸電流の検出値  $I_{q_s}$ と電動機1の角速度の検出値  $\omega$ (図示しない角速度検出手段により検出される)とに基づいて、電動機1の誘起電圧定数  $K_e$ とq軸電機子のインダクタンス  $L_q$ とを算出する定数算出部63、誘起電圧定数  $K_e$ とq軸電機子のインダクタンス  $L_q$ とに基づいてロータ位相差の推定値  $d_e$ を求めるロータ位相差推定部64、PWM演算部62に直流電力を供給する直流電源100の出力電圧  $V_{dc}$ から後述する目標電圧円の半径  $V_{p\_target}$ を算出する目標電圧円算出部90、d軸電圧の指令値  $V_{d_c}$ とq軸電圧の指令値  $V_{q_c}$ から後述する実電圧円の半径  $V_p$ を算出する実電圧円算出部92、 $V_{p\_target}$ と  $V_p$ との偏差  $\Delta V_p$ に基づいて誘起電圧定数の指令値  $K_{e_c}$ を決定する誘起電圧定数指令値決定部93、誘起電圧定数の指令値  $K_{e_c}$ に対応したロータ位相差  $d_{c1}$ を取得するロータ位相差取得部95、該  $d_{c1}$ とロータ位相差の推定値  $d_e$ との偏差  $\Delta d$ に基づいてロータ位相差の指令値  $d_{c2}$ を決定するロータ位相差指令値決定部97を備えている。

#### 【0054】

さらに、制御装置は、 $V_{p\_target}$ と  $V_p$ との偏差  $\Delta V_p$ と誘起電圧定数の指令値  $K_{e_c}$ とに基づいて直流電源100の出力電圧の指令値  $V_{dc_c}$ を決定する直流電圧指令値決定部120、該出力電圧の指令値  $V_{dc_c}$ 及び減算器125により算出される  $V_{dc_c}$ と電圧センサ103により検出される直流電源100の出力電圧  $V_{dc}$ との偏差に応じて界磁弱め電流の補正值  $I_{d\_vol}$ を算出する界磁弱め電流補正值算出部121、及びトルク指令値  $T_{r_c}$ と  $V_{p\_target}$ と  $V_p$ との偏差  $\Delta V_p$ とに応じて、誘起電圧定数指令値決定部93と直流電圧指令値決定部120と界磁弱め電流補正值算出部121の作動タイミングを決定するトルク応答判定部110を備えている。

#### 【0055】

なお、直流電源100はバッテリー102とDC/DCコンバータ101とにより構成され、DC/DCコンバータ101が本発明の直流電圧変更手段に相当する。また、電圧センサ103、目標電圧円算出部90、実電圧円算出部92、減算器91、トルク応答判定部110、誘起電圧定数指令値決定部93、直流電圧指令値決定部120、界磁弱め電流補正值算出部121、加算器51、ロータ位相差取得部95、減算器96、及びロータ位相差指令値決定部97により、本発明の端子間電圧上昇対処手段と端子間電圧低下対処手段が構成される。

#### 【0056】

また、通電制御部50は、d軸電流の指令値  $I_{d_c}$ に補正值  $I_{d\_vol}$ を加算する加算器51、該補正值  $I_{d\_vol}$ が加算されたd軸電流の指令値  $I_{d_{ca}}$ とd軸電流の検出値  $I_{d_s}$ との偏差  $I_d$ を算出する減算器52、該偏差  $I_d$ を生じさせるためのd軸偏差電圧  $V_d$ を算出するd軸電流制御部53、d軸電流の指令値  $I_{d_c}$ とq軸電流の指令値  $I_{q_c}$ とに基づいて、d軸とq軸間で干渉し合う速度起電力の影響を打ち消すための成分(非干渉成分)を算出する非干渉制御部56、d軸偏差電圧  $V_d$ から非干渉制御部56により算出された非干渉成分を減じる減算器54、q軸電流の指令値  $I_{q_c}$ と検出値  $I_{q_s}$ との偏差  $I_q$ を算出する減算器55、該偏差  $I_q$ を生じさせるためのq軸偏差電圧  $V_q$ を算出するq軸電流制御部57、及びq軸偏差電圧  $V_q$ に非干渉成分を加える加算器58を備えている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 7 】

次に、図 6 は d q 座標系における電流と電圧の関係を示したものであり、縦軸が q 軸（トルク軸）に設定され、横軸が d 軸（界磁軸）に設定されている。図中 C は目標電圧円算出部 9 0 によってその半径  $V_{p\_target}$ （本発明の目標電圧に相当する）が算出される目標電圧円である。 $V_{p\_target}$  は例えば  $V_{dc} \times 0.5$  に設定され、或いは正弦波変調に対応した  $V_{dc} / 6^{1/2}$  に設定される。

## 【 0 0 5 8 】

そして、制御装置は、d 軸電機子の端子間電圧  $V_d$  と q 軸電機子の端子間電圧  $V_q$  の合成ベクトル  $V$ （その大きさが実電圧円の半径となる）が、目標電圧円 C の円周上をトレースするように、電動機 1 のロータ位相差と直流電源 1 0 0 の出力電圧と d 軸電流とを制御する。なお、図中 E は電動機 1 の回転により q 軸電機子に生じる逆起電力、 $\omega$  は電動機 1 の角速度、R は d 軸電機子及び q 軸電機子の抵抗、 $L_q$  は q 軸電機子のインダクタンス、 $L_d$  は d 軸電機子のインダクタンス、 $V_d$  は d 軸電圧、 $V_q$  は q 軸電圧、 $I_d$  は d 軸電流、 $I_q$  は q 軸電流である。

## 【 0 0 5 9 】

ここで、図 6 の q 軸側の成分について、以下の式（1）の関係が成立するため、以下の式（2）から電動機 1 の誘起電圧定数  $K_e$  を算出することができる。

## 【 0 0 6 0 】

## 【数 1】

$$K_e \cdot \omega + R \cdot I_q = V_q - \omega \cdot L_d \cdot I_d \quad \dots\dots(1)$$

## 【 0 0 6 1 】

但し、 $K_e$ ：誘起電圧定数、 $\omega$ ：電動機の角速度、R：q 軸電機子及び d 軸電機子の抵抗、 $I_q$ ：q 軸電流、 $V_q$ ：q 軸電機子の端子間電圧、 $L_d$ ：d 軸電機子のインダクタンス、 $I_d$ ：d 軸電流。

## 【 0 0 6 2 】

## 【数 2】

$$K_e = \frac{V_q - \omega \cdot L_d \cdot I_d - R \cdot I_q}{\omega} \quad \dots\dots(2)$$

## 【 0 0 6 3 】

また、図 6 の d 軸側の成分について、以下の式（3）の関係が成立するため、以下の式（4）から q 軸電機子のインダクタンス  $L_q$  を算出することができる。

## 【 0 0 6 4 】

## 【数 3】

$$V_d = R \cdot I_d - \omega \cdot L_q \cdot I_q \quad \dots\dots(3)$$

## 【 0 0 6 5 】

## 【数 4】

$$L_q = \frac{R \cdot I_d - V_d}{\omega \cdot I_q} \quad \dots\dots(4)$$

## 【 0 0 6 6 】

そこで、定数算出部 6 3 は、q 軸指令電圧  $V_{q\_c}$ 、電動機 1 の角速度の検出値  $\omega_s$ 、d 軸電流の検出値  $I_{d\_s}$ 、及び q 軸電流の検出値  $I_{q\_s}$  を、上記式（2）の  $V_q$ 、 $\omega$ 、 $I_d$ 、及び  $I_q$  にそれぞれ代入して、誘起電圧定数  $K_e$  を算出する。また、定数検出部 6 3 は、d 軸

10

20

30

40

50

電流の検出値  $I_d$ 、 $d$  軸電圧の指令値  $V_{d\_c}$ 、電動機 1 の角速度の検出値  $\omega_s$ 、及び  $q$  軸電流の検出値  $I_q$  を、上記式 (4) の  $I_d$ 、 $V_d$ 、 $\omega$ 、及び  $I_q$  にそれぞれ代入して、 $q$  軸電機子のインダクタンス  $L_q$  を算出する。

【0067】

なお、上記式 (2)、式 (4) における  $d$  軸電機子及び  $q$  軸電機子の抵抗  $R$  は、予め設定した固定値である。また、上記式 (2) における  $d$  軸電機子のインダクタンス  $L_d$  は、予め設定した固定値としてもよいが、ロータ位相差が大きくなるほど  $d$  軸電機子のインダクタンス  $L_d$  が小さくなるので、ロータ位相差の指令値  $\theta_{d\_c}$  が大きいほどインダクタンス  $L_d$  が小さくなるようにした推定値を用いてもよい。

【0068】

次に、ロータ位相差推定部 64 は、定数算出部 63 により算出された誘起電圧定数  $K_e$  と  $q$  軸電機子のインダクタンス  $L_q$  とに基づいて、ロータ位相差の推定値  $\theta_{d\_e}$  を求める。ここで、ロータ位相差が変化すると、それに応じて電動機 1 の誘起電圧定数  $K_e$  と  $q$  軸電機子のインダクタンス  $L_q$  が変化する。

【0069】

そこで、ロータ位相差推定部 64 は、図 7 (b) に示した  $K_e$ 、 $L_q / \theta$  の対応マップに、定数検出部 63 により算出された誘起電圧定数  $K_e$  と  $q$  軸電機子のインダクタンス  $L_q$  とを適用して対応する位相差  $\theta$  を取得し、該位相差  $\theta$  を外側ロータ 12 と内側ロータ 11 の位相差の推定値  $\theta_{d\_e}$  とする。

【0070】

なお、 $K_e$ 、 $L_q / \theta$  の対応マップは、実験データやコンピュータシミュレーションに基づいて作成され、予めメモリ (図示しない) に記憶されている。また、図 7 (a) に示した  $K_e / \theta$  の対応マップに、定数算出部 63 により算出された誘起電圧定数  $K_e$  を適用して、 $\theta_{d\_e}$  を求めることもできるが、誘起電圧定数  $K_e$  に加えて  $q$  軸電機子のインダクタンス  $L_q$  を用いてロータ位相差の推定値  $\theta_{d\_e}$  を求めることで、ロータ位相差の推定精度を高めることができる。

【0071】

そして、電流指令値決定部 60 は、予めメモリに記憶された  $T_r$ 、 $\theta / I_d$ 、 $I_q$  の対応マップに、トルク指令値  $T_{r\_c}$  と、ロータ位相差の推定値  $\theta_{d\_e}$  を適用して、対応する  $I_d$ 、 $I_q$  を取得し、該取得した  $I_d$ 、 $I_q$  をそれぞれ  $d$  軸電流の指令値  $I_{d\_c}$  及び  $q$  軸電流の指令値  $I_{q\_c}$  として決定する。このように、ロータ位相差の推定値  $\theta_{d\_e}$  を用いることで、実際の電動機 1 の界磁の磁束の変化を反映した  $d$  軸電流の指令値  $I_{d\_c}$  及び  $q$  軸電流の指令値  $I_{q\_c}$  を決定することができる。そのため、トルク指令値  $T_{r\_c}$  に対して電動機 1 の出力トルクを精度良く制御することができる。

【0072】

次に、図 8 を参照して、 $d$  軸電機子の端子間電圧と  $q$  軸電機子の端子間電圧の合成ベクトル  $V$  の大きさ  $V_p$  が  $V_{p\_target}$  よりも大きいとき ( $V_{p\_target} < V_p$ ) に、合成ベクトル  $V$  が  $V_{p\_target}$  を半径とする目標電圧円  $C$  の周上をトレースするように、ロータ位相差と直流電源 100 の出力電圧と  $d$  軸電流を変更することによる効果について説明する。

【0073】

図 8 (a) は、合成ベクトル  $V$  が目標電圧円  $C$  の外側にある場合であり、この場合は、PWM 演算部 62 から電動機 1 への通電量が制限されて、電動機 1 の通電制御が妨げられる。そこで、先ず、ロータ位相差を界磁の磁束を減少させる方向 (ロータ位相差を大きくして界磁を弱める方向) に変更する「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」を実行する。これにより、電動機 1 の誘起電圧定数  $K_e$  が減少し、誘起電圧定数  $K_e$  が減少した分、 $q$  軸電機子で発生する逆起電力  $E$  が小さくなる。その結果、図 8 (b) に示したように、合成ベクトル  $V$  が目標電圧円  $C$  の円周に近づく。

【0074】

次に、直流電源 100 の出力電圧  $V_{dc}$  を上昇させる「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」を実行する。これにより、目標電圧円算出部 90 で算出される  $V_{p\_target}$  が大きくなり、

10

20

30

40

50

その結果、図 8 ( c ) に示したように、目標電圧円 C が拡大されて合成ベクトル V が目標電圧円 C にさらに近づく。

【 0 0 7 5 】

そして、さらに、d 軸電流を増加させる「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」を実行する。これにより、図 8 ( d ) に示したように、合成ベクトル V が目標電圧円 C の円周上に至っている。このように、合成ベクトル V を目標電圧円 C に近づけることにより、P W M 演算部 6 2 から電動機 1 への通電量を増加させることができるため、電動機 1 の通電制御の制限を回避することができる。

【 0 0 7 6 】

次に、図 9 を参照して、d 軸電機子の端子間電圧と q 軸電機子の端子間電圧の合成ベクトル V の大きさ  $V_p$  が  $V_{p\_target}$  よりも小さいとき ( $V_p < V_{p\_target}$ ) に、合成ベクトル V が  $V_{p\_target}$  を半径とする目標電圧円 C の周上をトレースするように、ロータ位相差と直流電源 1 0 0 の出力電圧を変更することによる効果について説明する。

【 0 0 7 7 】

図 9 ( a ) は、合成ベクトルが目標電圧円 C の内側にある場合であり、この場合は、P W M 演算部 6 2 に直流電圧  $V_{dc}$  のスイッチング処理に伴う電力損失が大きくなる。そこで、制御装置は、先ず、ロータ位相差を界磁の磁束を増大させる方向 (ロータ位相差を小さくして界磁を強める方向) に変更する「第 1 の端子間電圧低下対処処理」を実行する。これにより、電動機 1 の誘起電圧定数  $K_e$  が増大し、誘起電圧定数  $K_e$  が増大した分、q 軸電機子で発生する逆起電力 E が大きくなる。その結果、図 9 ( b ) に示したように、合成ベクトル V が目標電圧円 C の円周に近づく。

【 0 0 7 8 】

次に、制御装置は、直流電源 1 0 0 の出力電圧  $V_{dc}$  を低下させる「第 2 の端子間電圧低下対処処理」を実行する。これにより、目標電圧円算出部 9 0 で算出される  $V_{p\_target}$  が小さくなり、その結果、図 9 ( c ) に示したように、目標電圧円 C が縮小されて合成ベクトル V が目標電圧円 C にさらに近づいて、目標電圧円 C の円周上に至っている。

【 0 0 7 9 】

このように、合成ベクトル V を目標電圧円 C に近づけることにより、P W M 演算部 6 2 における直流電圧  $V_{dc}$  のスイッチング処理に伴う電力損失を減少させることができる。また、電動機 1 に供給される電流に重畳するリップル電流が低減して電動機 1 で生じる銅損が減少し、さらに、高次周波数の電流の重畳が低減するため、電動機 1 で生じる鉄損も減少するという効果を得ることができる。

【 0 0 8 0 】

次に、図 1 0 を参照して、トルク応答判定部 1 1 0 により、誘起電圧定数指令値決定部 9 3 と直流電圧指令値決定部 1 2 0 と界磁弱め電流補正值算出部 1 2 1 の作動を制御する処理について説明する。

【 0 0 8 1 】

トルク応答判定部 1 1 0 は、S T E P 1 0 で、トルク指令値  $T_{r\_c}$  の変化率  $T_{r\_c}$  (例えば、制御装置の連続する制御サイクル間における  $T_{r\_c}$  の変化率を算出) が、予め設定された基準値  $T_{r\_limit}$  以下であるか否かを判断する。そして、 $T_{r\_c}$  が  $T_{r\_limit}$  よりも小さかったとき ( $T_{r\_c} < T_{r\_limit}$ ) は、S T E P 2 0 に分岐し、誘起電圧定数指令値決定部 9 3 の作動フラグ F 1 と直流電圧指令値決定部 1 2 0 の作動フラグ F 2 と界磁弱め電流補正值算出部 1 2 1 の作動フラグ F 3 を全て O N (作動許可) して、S T E P 1 3 に進む。

【 0 0 8 2 】

これにより、誘起電圧定数指令値決定部 9 3 の作動による上記「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」が、直流電圧指令値決定部 1 2 0 による上記「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」及び界磁弱め電流補正值算出部 1 2 1 による上記「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」よりも先に実行される。また、誘起電圧定数指令値決定部 9 3 による上記「第 1 の端子間電圧低下対処処理」が、直流電圧指令値決定部 1 2 0 による上記「第 2 の端子間電圧低下対

10

20

30

40

50

処処理」よりも先に実行される。

【0083】

そして、機械的な処理であるために応答速度が遅いが、電動機の運転効率向上の効果が高い「第1の端子間電圧上昇対処処理」と「第1の端子間電圧低下対処処理」により、運転効率を優先させて電動機1の作動を制御することができる。

【0084】

一方、STEP10で、トルク指令値 $Tr_c$ の変化率 $Tr_c$ が基準値 $Tr\_limit$ 以上であったときにはSTEP11に進む。そして、STEP11で、トルク応答判定部110は、d軸電機子の端子間電圧とq軸電機子の端子間電圧の合成ベクトル $V$ の大きさ $Vp$ と目標電圧 $Vp\_target$ との偏差 $Vp$ が、予め設定された基準値 $Vp\_limit$ 以上であるか否かを判断する。 $Vp$ が $Vp\_limit$ よりも大きかったとき、すなわち、トルク指定値の変化率 $Tr_c$ は大きい、 $Vp$ は小さいときにはSTEP20に分岐し、トルク応答判定部110は上述したSTEP20の処理を実行して、STEP13に進む。

10

【0085】

一方、 $Vp$ が $Vp\_limit$ 以上であったとき、すなわち、トルク指令値の変化率 $Tr_c$ が大きく、且つ、 $Vp$ も大きいときにはSTEP12に進む。そして、トルク応答判定部110は、誘起電圧定数指令値決定部93の作動フラグF1をOFF（作動禁止）し、直流電圧指令値決定部120の作動フラグF2と界磁弱め電流補正值算出部121の作動フラグF3をON（作動許可）して、STEP13に進む。

【0086】

20

これにより、直流電圧指令値決定部120による上記「第2の端子間電圧上昇対処処理」及び界磁弱め電流補正值算出部121による上記「第3の端子間電圧上昇対処処理」が、誘起電圧定数指令値決定部93の作動による上記「第1の端子間電圧上昇対処処理」よりも先に実行される。また、直流電圧指令値決定部120による上記「第2の端子間電圧低下対処処理」が、誘起電圧定数指令値決定部93による上記「第1の端子間電圧低下対処処理」よりも先に実行される。

【0087】

そして、電気的な処理であって応答速度が速い「第2の端子間電圧上昇対処処理」、「第3の端子間電圧上昇対処処理」及び「第2の端子間電圧低下対処処理」により、トルク指令値 $Tr_c$ の変化に対する応答性を優先させて電動機1の作動を制御することができる。

30

【0088】

なお、本実施の形態では、STEP10で $Tr_c$ のレベルを判断すると共に、STEP11で $Vp$ のレベルを判断して、「第1の端子間電圧上昇対処処理」と「第2の端子間電圧上昇対処処理」と「第3の端子間電圧上昇対処処理」の実行順序と、「第1の端子間電圧低下対処処理」と「第2の端子間電圧低下対処処理」の実行順序を決定したが、 $Tr_c$ のレベルと $Vp$ のいずれかのレベルのみを判断して、これらの実行順序を決定してもよい。

【0089】

次に、図5を参照しつつ、図11に示したフローチャートに従って、上述したフラグF1, F2, F3が全てONであるときの誘起電圧定数指令値決定部93、直流電圧指令値決定部120、及び界磁弱め電流補正值算出部121の作動について説明する。図11において、STEP30～STEP32及びSTEP40～STEP41が誘起電圧定数指令値決定部93による処理であり、STEP32とSTEP50～STEP51が直流電圧指令値決定部120による処理である。また、STEP60は界磁弱め電流補正值算出部121である。

40

【0090】

図11のSTEP30で、誘起電圧定数指令値決定部93は、減算器91（図5参照）で算出された $Vp(Vp\_target - Vp)$ が0以上（ $0 < Vp$ ）であるか否かを判断する。そして、 $Vp$ が0よりも小さいとき（ $Vp < 0$ ）、すなわち、上述した図8（a）の

50

合成ベクトル $V$ が目標電圧円 $C$ の外側にある状態のときは、STEP 40に分岐する。

【0091】

誘起電圧定数指令値決定部93は、STEP 40で、 $V_p$ に対するPI（比例積分）制御によって算出した誘起電圧定数の指令値 $Ke_c$ に対応するロータ位相差の指令値 $d_c$ が、アクチュエータ30による界磁弱め側の限界値 $d_{max}$ （180度）以上であるか否かを判断する。そして、 $d_c$ が $d_{max}$ よりも小さかったとき（ $d_c < d_{max}$ ）は、STEP 41に進み、誘起電圧定数指令値決定部93は、 $Ke_c$ をロータ位相差取得部95に出力する。

【0092】

ロータ位相差取得部95は、図12に示した $Ke/d$ マップに $Ke_c$ を適用して $Ke_c$ に対応したロータ位相差 $d_{c1}$ を取得する。そして、減算器96で算出される $d_{c1}$ と $d_e$ の偏差 $d$ がロータ位相差指令値決定部97に出力される。ロータ位相差指令値決定部97は、 $d$ に対するPI（比例積分）制御により決定したロータ位相差の指令値 $d_{c2}$ をアクチュエータ25に出力する。

【0093】

そして、アクチュエータ25は、図13に示したフローチャートの処理を実行して、電動機1のロータ位相差を変更する。すなわち、アクチュエータ25は、図13のSTEP 1でロータ位相差指令値決定部97からロータ位相差の指令値 $d_{c2}$ を受信すると、STEP 2で $d_{c2}$ を機械角度に変換する。そして、続くSTEP 3で、アクチュエータ25は機械角度を第1プラネタリキャリアC1の動作角度に変換し、STEP 4で該動作角度分だけ、第1プラネタリキャリアC1を回動させる。これにより、ロータ位相差の指令値 $d_{c2}$ に応じた角度分だけロータ位相差が変更されて電動機1の界磁の磁束が変化し、上述した図8（a）から図8（b）に移行する「第1の端子間電圧上昇対処処理」が実行される。

【0094】

そして、 $V_{dc_c}$ が $V_{dc_{max}}$ よりも小さかったときはSTEP 51に進み、直流電圧指令値決定部120は、 $V_p$ に対するPI（比例積分）制御により算出した $V_{dc_c}$ （この場合、 $V_{dc_c}$ は増加する）をDC/DCコンバータ101に出力して、STEP 33に進む。これにより、直流電源100の出力電圧 $V_{dc}$ が上昇し、それに応じて目標電圧円算出部により算出される目標電源電圧円の半径 $V_{p\_target}$ が増加する。そして、上述した図8（b）から図8（c）に移行する「第2の端子間電圧上昇対処処理」が実行される。

【0095】

また、STEP 50で $V_{dc_c}$ が $V_{dc_{max}}$ 以上（ $V_{dc_{max}} < V_{dc_c}$ ）であったときには、STEP 60に分岐する。そして、この場合は直流電源100の出力電圧 $V_{dc}$ をこれ以上上昇させることができない。そこで、界磁弱め電流補正值算出部121は、 $V_{dc_c}$ と $V_{dc_s}$ との偏差 $V_{dc}$ に対するPI（比例積分）制御により算出した界磁弱め電流の補正值 $I_{d\_vol}$ を加算器51に出力する。これにより、d軸電流が増加し、上述した図8（c）から図8（d）に移行する「第3の端子間電圧上昇対処処理」が実行される。

【0096】

このように、STEP 30で $V_p$ が $V_{p\_target}$ よりも大きかったときは、「第1の端子間電圧上昇対処処理」「第2の端子間電圧上昇対処処理」「第3の端子間電圧上昇対処処理」の順で、 $V_p$ を $V_{p\_target}$ に近づける処理が実行される。

【0097】

次に、STEP 30で $V_p$ が $V_{p\_target}$ 以下であったとき（上述した図9（a）の状態）は、STEP 31に進む。そして、STEP 31で、誘起電圧定数指令値決定部93は、 $V_p$ に対するPI（比例積分）制御によって算出した誘起電圧定数の指令値 $Ke_c$ に対応するロータ位相差の指令値 $d_c$ が、アクチュエータ30による界磁強め側の限界値 $d_{min}$ （0度）以下であるか否かを判断する。

【0098】

そして、 $d_c$ が $d_{min}$ よりも大きかったとき（ $d_{min} < d_c$ ）は、STEP 32に

10

20

30

40

50

進み、誘起電圧定数指令値決定部 93 は、 $K_{e_c}$  をロータ位相差取得部 95 に出力する。これにより、上述した STEP 41 の処理と同様にして電動機 1 のロータ位相差が変更され、電動機 1 の界磁の磁束が増大して、上述した図 9 ( a ) から図 9 ( b ) に移行する「第 1 の端子間電圧低下対処処理」が実行される。

【0099】

一方、STEP 31 で  $d_c$  が  $d_{min}$  以下であったとき ( $d_c < d_{min}$ ) には、STEP 70 に分岐する。そして、この場合はこれ以上ロータ位相差を減少させることができない。そこで、直流電圧指定値決定部 120 は、 $V_p$  に対する PI (比例積分) 制御により算出した  $V_{dc_c}$  (この場合、 $V_{dc_c}$  は減少する) を出力して STEP 33 に進む。

【0100】

これにより、直流電源 100 の出力電圧  $V_{dc}$  が減少し、それに応じて目標電圧円算出部により算出される目標電源電圧円の半径  $V_{p\_target}$  が減少する。そして、上述した図 9 ( b ) から図 9 ( c ) に移行する「第 2 の端子間電圧低下対処処理」が実行される。

【0101】

このように、STEP 30 で  $V_p$  が  $V_{p\_target}$  以下であったときは、「第 1 の端子間電圧低下対処処理」「第 2 の端子間電圧低下対処処理」の順序で、 $V_p$  を  $V_{p\_target}$  に近づける処理が実行される。

【0102】

なお、本実施の形態においては、図 11 に示した処理により、 $V_p$  が  $V_{p\_target}$  よりも大きいときに、「第 1 の端子間電圧上昇対処処理」と「第 2 の端子間電圧上昇対処処理」と「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」を実行して  $V_p$  を  $V_{p\_target}$  に近づける制御と、 $V_p$  が  $V_{p\_target}$  以下であるときに、「第 1 の端子間電圧低下対処処理」と「第 2 の端子間電圧低下対処処理」を実行して  $V_p$  を  $V_{p\_target}$  に近づける制御とを行ったが、いずれか一方の制御のみを行う場合にも本発明の効果を得ることができる。

【0103】

また、本実施の形態では、界磁弱め電流補正值算出部 121 を備えて、d 軸電流の増加により電動機 1 の界磁を弱める「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」を実行したが、「第 3 の端子間電圧上昇対処処理」を実行しない場合にも、本発明の効果を得ることができる。

【0104】

また、本実施の形態においては、図 10 の STEP 11 及び図 11 の STEP 30 で、d 軸電圧の指令値  $V_{d_c}$  と q 軸電圧の指令値  $V_{q_c}$  の合成ベクトル  $V$  の大きさ  $V_p$  と、目標電圧円の半径  $V_{p\_target}$  とを比較したが、電動機 1 の電機子の端子間電圧を検出して各相の端子間電圧の合成ベクトルの大きさを算出し、その算出値 (本発明の電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルの大きさに相当する) と目標電圧円の半径  $V_{p\_target}$  とを比較するようにしてもよい。

【0105】

また、本実施の形態では、電動機を d 軸及び q 軸からなる 2 相直流の回転座標系による等価回路に変換して扱う電動機の制御装置を示したが、d 軸及び q 軸からなる 2 相交流の固定座標系による等価回路に変換して扱う電動機の制御装置や、等価回路への変換を行わずに 3 相交流のまま扱う電動機の制御装置においても、本発明の適用が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0106】

【図 1】2 重ロータを備えた DC ブラシレスモータの構成図。

【図 2】図 1 に示した DC ブラシレスモータの外側ロータと内側ロータの位相差を変更する機構の構成図及び作動説明図。

【図 3】外側ロータと内側ロータの位相差を変更することによる効果の説明図。

【図 4】外側ロータと内側ロータの位相差を変更することによる効果の説明図。

【図 5】電動機の制御装置の制御ブロック図。

【図 6】d q 座標系における電圧ベクトル図。

【図 7】誘起電圧定数からロータ位相差を決定するマップ及び誘起電圧定数と q 軸電機子

10

20

30

40

50

のインダクタンスからロータ位相差を決定するマップの説明図。

【図8】界磁弱め及び電源電圧の上昇による効果の説明図。

【図9】界磁強め及び電源電圧の低下による効果の説明図。

【図10】電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルを目標電圧円に近づける処理の実行順序を決定する処理のフローチャート。

【図11】電動機の各相の電機子の端子間電圧の合成ベクトルを目標電圧円に近づける処理のフローチャート。

【図12】誘起電圧定数からロータ位相差を決定するマップの説明図。

【図13】アクチュエータによりロータ位相差を変更する処理のフローチャート。

【図14】電動機の界磁弱めが必要となる領域の説明図。

10

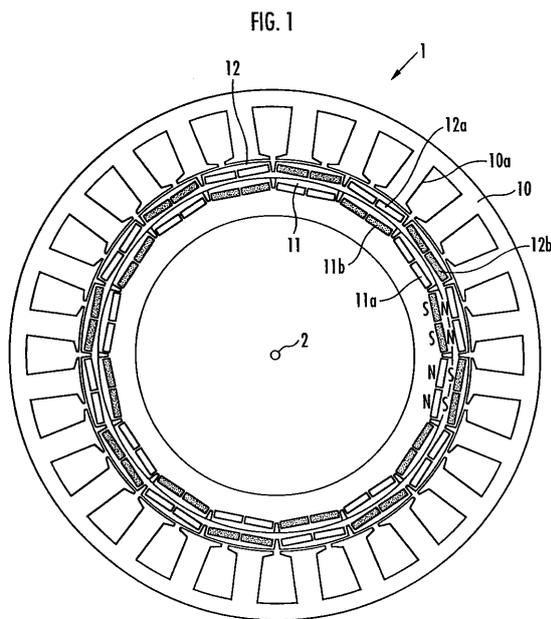
【符号の説明】

【0107】

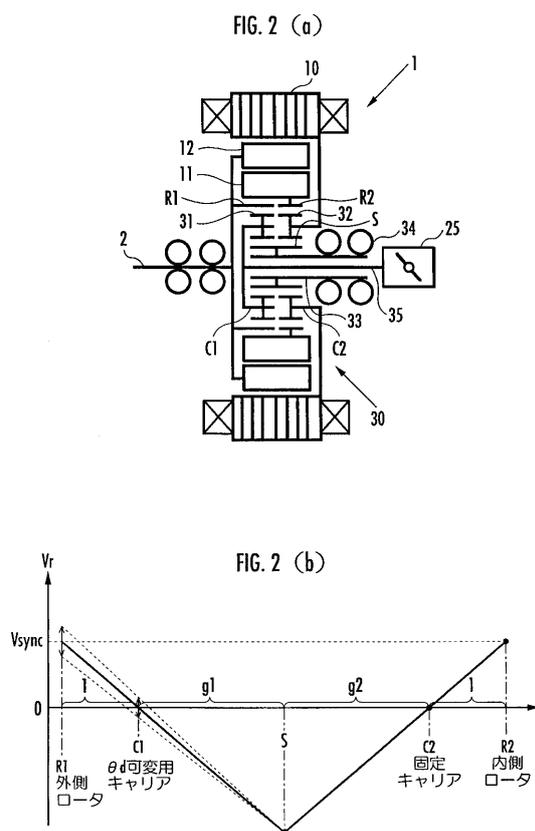
1 ... 電動機、 2 ... 電動機の回転軸、 10 ... ステータ、 11 ... 内側ロータ、 11a, 11b ... 永久磁石、 12 ... 外側ロータ、 12a, 12b ... 永久磁石、 25 ... アクチュエータ、 30 ... 遊星歯車機構、 C1 ... 第1プラネタリキャリア、 C2 ... 第2プラネタリキャリア、 R1 ... 第1リングギア、 R2 ... 第2リングギア、 S ... サンギア、 31 ... 第1プラネタリギア、 32 ... 第2プラネタリギア、 33 ... サンギアの回転軸、 34 ... 軸受け、 35 ... 第1プラネタリキャリアの回転軸、 50 ... 通電制御部、 60 ... 電流指令値決定部、 63 ... 定数算出部、 64 ... ロータ位相差推定部、 90 ... 目標電圧円算出部、 92 ... 実電圧円算出部、 93 ... 誘起電圧定数指令値決定部、 100 ... 直流電源、 101 ... DC/DCコンバータ(直流電圧変更手段)、 110 ... トルク応答判定部、 120 ... 直流電圧指令値決定部、 121 ... 界磁弱め電流補正值算出部

20

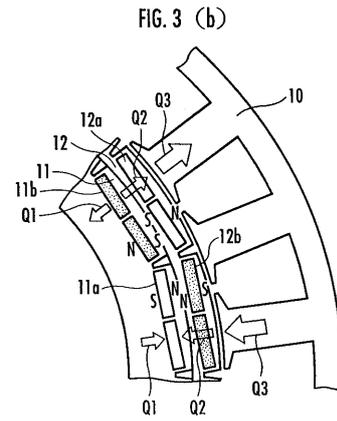
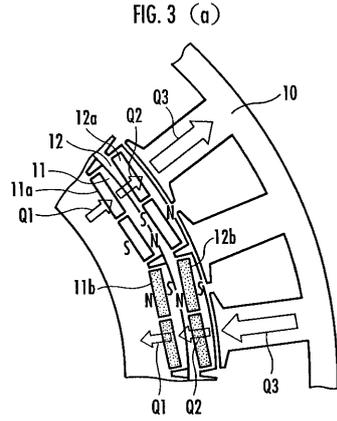
【図1】



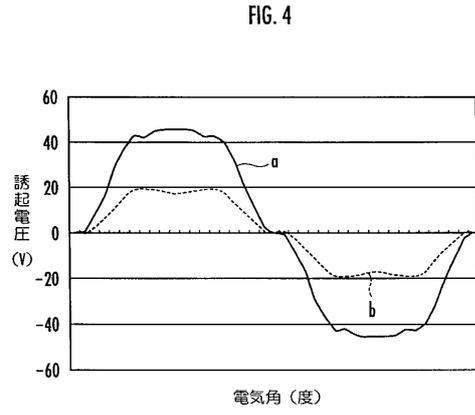
【図2】



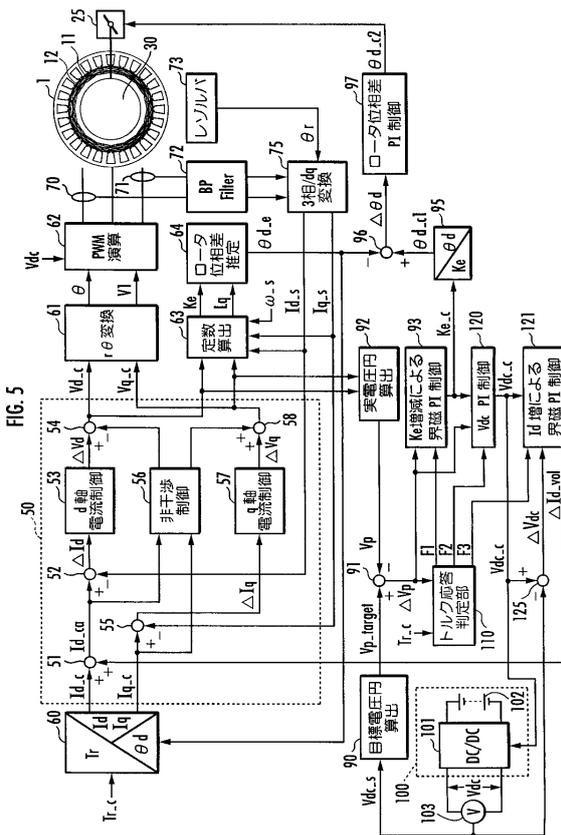
【 図 3 】



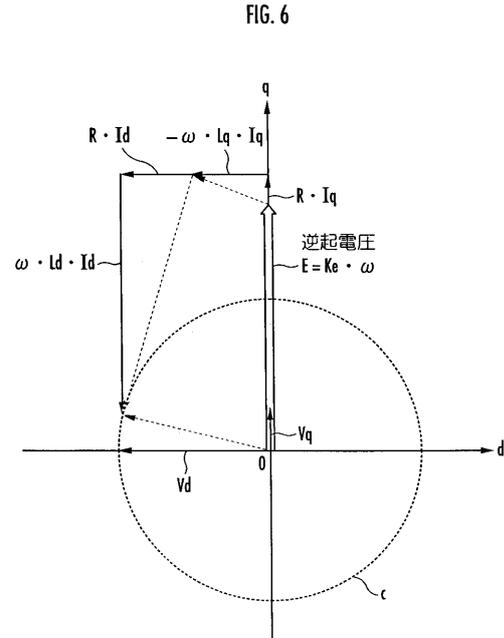
【 図 4 】



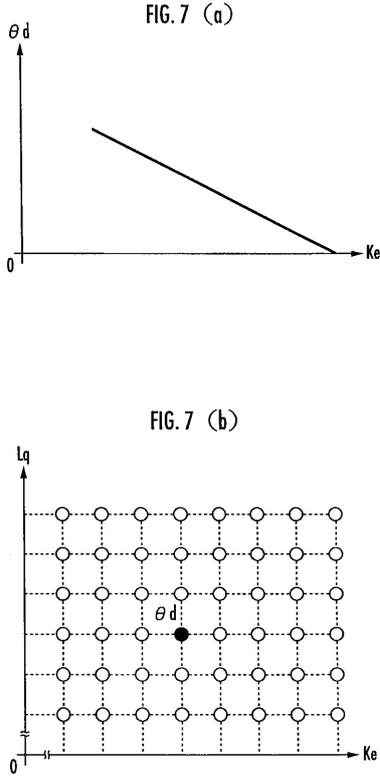
【 図 5 】



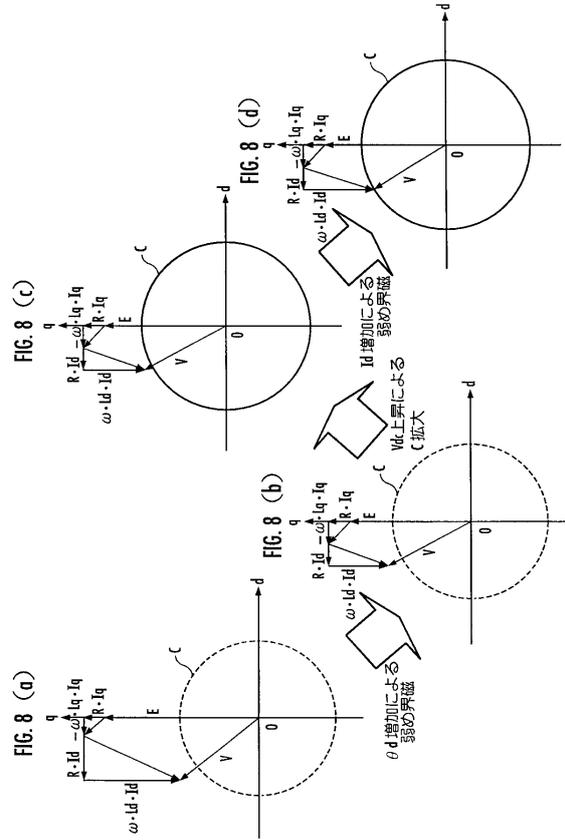
【 図 6 】



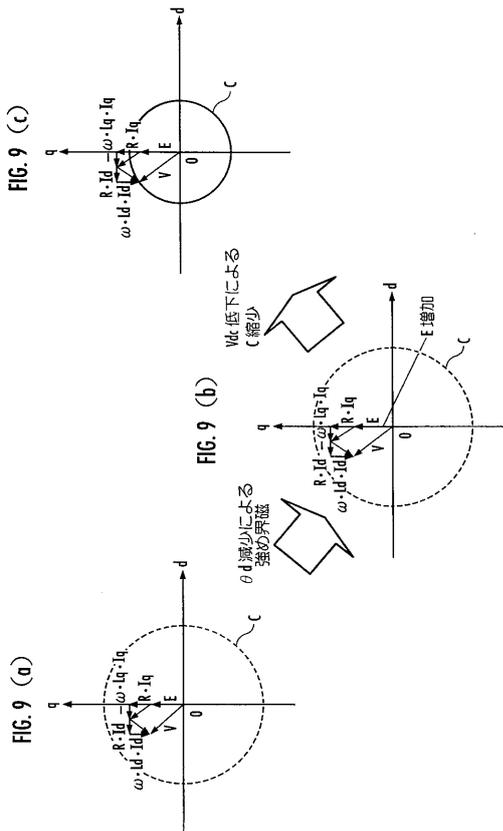
【 図 7 】



【 図 8 】

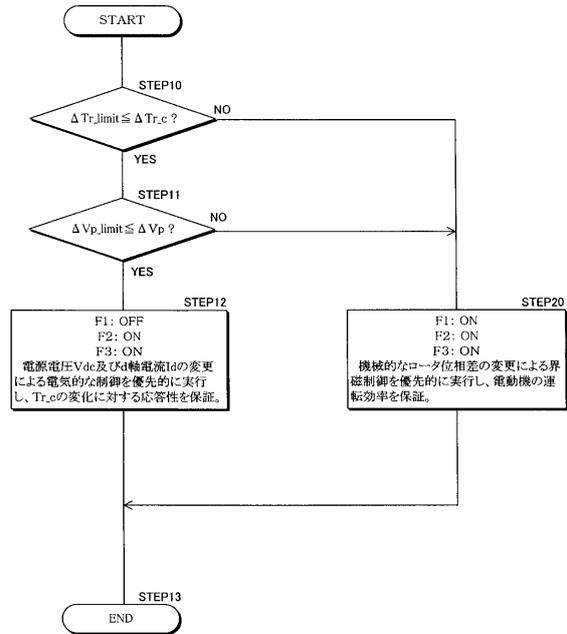


【 図 9 】



【 図 10 】

FIG.10



【 図 1 1 】

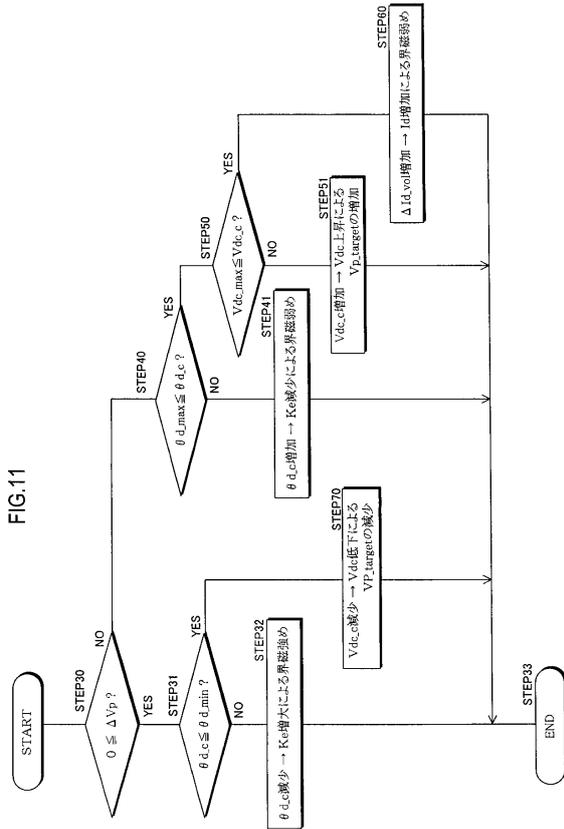


FIG. 11

【 図 1 2 】

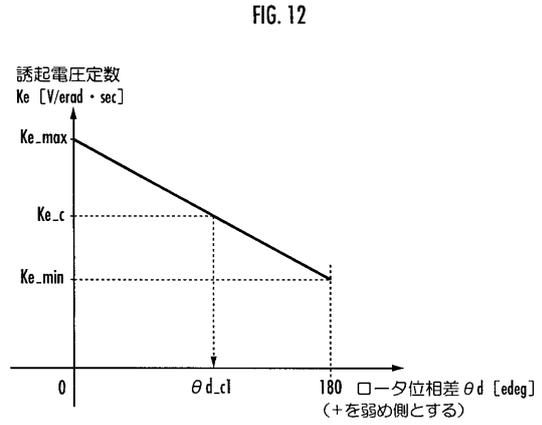


FIG. 12

【 図 1 3 】

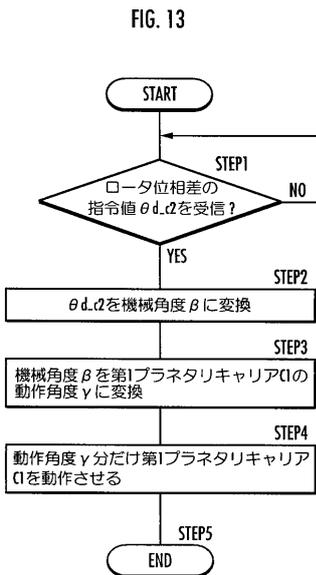


FIG. 13

【 図 1 4 】

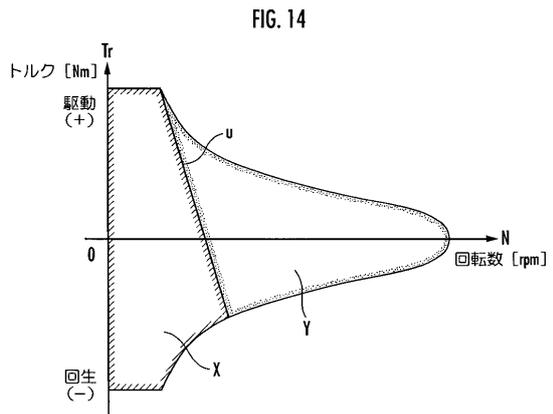


FIG. 14

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-50705(JP,A)  
特開2001-314068(JP,A)  
特開2006-20399(JP,A)  
特開2003-209999(JP,A)  
特開2004-101151(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 21/00 - 27/18  
H02P 6/00 - 6/24  
H02K 21/00 - 21/48  
H02K 1/17  
H02K 1/27  
H02K 15/03