

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6395689号
(P6395689)

(45) 発行日 平成30年9月26日(2018.9.26)

(24) 登録日 平成30年9月7日(2018.9.7)

(51) Int.Cl.
H02P 25/08 (2016.01)

F I
H02P 25/08

請求項の数 14 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2015-210508 (P2015-210508)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22) 出願日	平成27年10月27日(2015.10.27)	(74) 代理人	100073759 弁理士 大岩 増雄
(65) 公開番号	特開2017-85737 (P2017-85737A)	(74) 代理人	100088199 弁理士 竹中 岑生
(43) 公開日	平成29年5月18日(2017.5.18)	(74) 代理人	100094916 弁理士 村上 啓吾
審査請求日	平成29年10月3日(2017.10.3)	(74) 代理人	100127672 弁理士 吉澤 憲治
		(72) 発明者	埴岡 翔太 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スイッチトリラクタンスモータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータに供給されている相電流を検出する電流検出手段と、前記モータの回転子位置を検出する回転子位置検出手段と、平均トルク指令と前記回転子位置検出手段が検出した前記回転子位置に基づいて相磁束指令値を出力する磁束分配手段と、前記電流検出手段が検出した前記相電流と前記回転子位置検出手段より得られる前記回転子位置とに基づいて相磁束を推定し推定相磁束を出力する相磁束推定手段と、前記磁束分配手段の前記相磁束指令値と前記相磁束推定手段の前記推定相磁束とに基づいて電圧指令を出力する電圧指令計算部とを備えたことを特徴とするスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

【請求項2】

前記相磁束推定手段は、前記相電流および前記回転子位置に基づいて前記相磁束の一時値を推定する磁束推定部と、複数の前記相電流と前記回転子位置とに基づいて、前記相磁束の一時値を補正して前記推定相磁束を出力する磁束補正部とを有することを特徴とする請求項1に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

【請求項3】

前記磁束推定部は、前記相電流と前記回転子位置に対して前記相磁束が予め定められたテーブルまたは近似式を用いて前記相磁束の一時値を推定することを特徴とする、請求項2に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

【請求項4】

前記磁束補正部は、複数の前記相電流と前記回転子位置に対して磁束補正係数が予め定

められたテーブルまたは近似式を用いて前記相磁束の一時値を補正して前記推定相磁束を出力することを特徴とする、請求項 2 に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

【請求項 5】

前記相磁束推定手段は、複数の前記相電流と前記回転子位置とに対して前記推定相磁束が予め定められた一つのテーブルまたは近似式を用いて前記相磁束を推定し前記推定相磁束として出力することを特徴とする、請求項 1 に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

【請求項 6】

前記磁束推定部は、相電圧を検出するための相電圧検出手段、または前記電圧指令計算部から得られる相電圧を用いて前記相磁束の一時値を推定することを特徴とする請求項 2 から 4 のいずれか 1 項に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

10

【請求項 7】

モータに供給されている相電流を検出する電流検出手段と、前記モータの回転子位置を検出する回転子位置検出手段と、平均トルク指令より相電流指令を分配する、電流分配手段と、同時に通電され前記電流検出手段より得られる複数の相電流と前記回転子位置検出手段より得られる前記回転子位置とに基づき相インダクタンスを推定し相インダクタンス推定値として出力するインダクタンス推定手段と、同時に通電され前記電流検出手段より得られる複数の相電流と、前記回転子位置検出手段より得られる前記回転子位置に基づき相インダクタンスの微分値を推定し、相インダクタンス微分値として出力するインダクタンス微分値推定手段と、前記相電流指令と前記相インダクタンス推定値と前記相インダクタンス微分値とに基づいて計算される電圧指令に基づいて、前記モータに電圧を印加する電圧印加手段とを備えたスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

20

【請求項 8】

前記インダクタンス推定手段は、前記相電流および前記回転子位置に基づいて前記相インダクタンスの一時値を推定するインダクタンス推定部と、複数の前記相電流と前記回転子位置とに基づいて、前記相インダクタンスの一時値を補正して前記相インダクタンス推定値を出力するインダクタンス補正部とを有し、前記インダクタンス微分値推定手段は、前記相電流および前記回転子位置に基づいて前記相インダクタンス微分値の一時値を推定するインダクタンス微分値推定部と、複数前記相電流と前記回転子位置とに基づいて、前記相インダクタンス微分値の一時値を補正して前記相インダクタンス微分値を出力するインダクタンス微分値補正部を有することを特徴とする請求項 7 に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

30

【請求項 9】

前記インダクタンス推定部は、前記相電流と前記回転子位置に対して前記相インダクタンスが予め定められたテーブルまたは近似式を用いて前記相インダクタンスの一時値を推定することを特徴とする請求項 8 に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

【請求項 10】

前記インダクタンス補正部は、複数の電流と回転子位置に対してインダクタンス補正係数が予め定められたテーブルまたは近似式を用いて前記相インダクタンスの一時値を補正して前記相インダクタンス推定値を出力することを特徴とする請求項 8 に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

40

【請求項 11】

前記インダクタンス推定手段は、複数の前記相電流と前記回転子位置とに対して前記相インダクタンス推定値が予め定められた一つのテーブルまたは近似式を用いて前記相インダクタンスを推定し前記相インダクタンス推定値として出力することを特徴とする請求項 7 に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

【請求項 12】

前記インダクタンス微分値推定部は、前記相電流と前記回転子位置に対して前記相インダクタンス微分値が予め定められたテーブルまたは近似式を用いて前記相インダクタンス微分値の一時値を推定することを特徴とする請求項 8 に記載のスイッチトリラクタンスモ

50

ータ制御装置。

【請求項 13】

前記インダクタンス微分値補正部は、複数の電流と回転子位置に対してインダクタンス微分値補正係数が予め定められたテーブルまたは近似式を用いて前記相インダクタンス微分値の一時値を補正して前記相インダクタンス微分値を出力することを特徴とする請求項 8 に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

【請求項 14】

前記インダクタンス微分値推定手段は、複数の前記相電流と、回転子位置とに対して前記相インダクタンス微分値が予め定められた一つのテーブルまたは近似式を用いて前記相インダクタンスの微分値を推定し前記相インダクタンス微分値として出力することを特徴とする請求項 7 に記載のスイッチトリラクタンスモータ制御装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、スイッチトリラクタンスモータの駆動を制御するスイッチトリラクタンスモータ制御装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

スイッチトリラクタンスモータ（以下、SRモータという）は、固定子および回転子を突極構造として、固定子に集中巻固定子を、回転子に突極型ケイ素鋼板回転子をそれぞれ使用している。そして、SRモータの駆動を制御するSRモータ制御装置は、SRモータに位置センサを取り付け、平均トルクが最大となるように固定子に供給される電流値を制御することによって励磁位置を切り替えて駆動するものである。

20

【0003】

このモータの制御の方法としては、SRモータを目標回転速度で運転するために必要なトルクの大きさに比例して平均電流を増減制御することによって、SRモータの回転速度を目標速度に制御する電流制御系による制御方法と、トルクを磁束の制御によって制御する直接トルク制御と呼ばれる方法が知られている。電流制御系による制御装置の例が特許文献 1 に示され、直接トルク制御を用いたモータ制御装置の例が特許文献 2 に示されている。

30

【0004】

特許文献 1 では、SRモータの相巻線に供給される電流を所定の大きさに平均するように通電しているのでは発生トルクに変動が生じるので、相巻線電流と発生トルクとの非線形な相関特性に近い形で総巻線電流を制御することによってトルク変動を抑制することが提案されている。

【0005】

また、特許文献 2 では、SRモータの相巻線に供給される電流と電圧に基づいて、巻線の鎖交磁束と、SRモータの発生トルクを推定し、鎖交磁束が目標値に追従するように磁束制御を行う場合において、電圧と電流の検出に 1 シャント電流検出方式を適用する場合には、磁束の推定に用いる電圧値に補正を加える必要があり、補正を加えた電圧値によって鎖交磁束の推定を行うことが提案されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開平 2 - 87997 号公報

【特許文献 2】特開 2009 - 33876 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

50

特許文献 1 および特許文献 2 において示されているように、電流制御系による制御方法を実施する制御装置においても、また直接トルク制御を用いた制御装置においても、トルクリプルの低減と、制御に対する応答の改善は究極の目的である。いずれの制御装置においても、それぞれの相巻線を対象として、それぞれの相巻線の電流あるいは磁束に基づいて電圧指令を与えてトルク制御を行っている。

しかし、SR モータにおいては、固定子の各相巻線に供給される電流は、1 相ずつ順次通電されるのではなく、隣の相に切り替えられる際には複数相が同時に通電されることになり、この複数相に同時に通電する際に生じる、各相電流による他の相への磁気飽和の影響を考慮する必要がある。

したがって、この発明は、複数相が同時に通電される際のトルクおよび電流の追従性を改善することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明は、モータに供給されている相電流を検出する電流検出手段と、前記モータの回転子位置を検出する回転子位置検出手段と、平均トルク指令と前記回転子位置検出手段が検出した前記回転子位置に基づいて相磁束指令値を出力する磁束分配手段と、前記電流検出手段が検出した前記相電流と前記回転子位置検出手段より得られる前記回転子位置とに基づいて相磁束を推定し推定相磁束を出力する相磁束推定手段と、前記磁束分配手段の前記相磁束指令値と前記推定手段の前記推定相磁束とに基づいて電圧指令を出力する電圧指令計算部とを備え、モータの回転子位置に基づいて平均トルク指令の磁束を相毎に分配して相磁束指令値を出力し、この相磁束指令値を、モータの相電流と回転子位置に基づいて推定した推定相磁束によって通電されている相の磁束を補正するようにしてモータを制御するようにしたものである。

【発明の効果】

【0009】

この発明の構成によれば、複数相が同時に通電されている際でも、各相の磁束を正確に推定することが可能になるため、トルク指令や電流指令に対する追従性能が改善される

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図 1】この発明の実施の形態 1 に係る SR モータ制御装置のブロック図である。

【図 2】平均トルク指令と回転子位置に対する、通電相のトルク指令テーブルを示す図である。

【図 3】三相 SR モータの通電電流の例を示す図である。

【図 4】三相 8 極 1 2 スロット構造の SR モータの回転子と固定子との関係を示す図である。

【図 5】単相通電時および二相通電時の整列、非整列時の鎖交磁束を示す図である。

【図 6】相トルク指令と回転子位置に対する相磁束テーブルを示す図である。

【図 7】相電流と回転子位置に対する相磁束テーブルを示す図である。

【図 8】同時通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相磁束補正係数テーブルを示す図である。

【図 9】同時通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相磁束テーブルを示す図である。

【図 10】この発明の実施の形態 2 に係る SR モータ制御装置のブロック図である。

【図 11】この発明の実施の形態 3 に係る SR モータ制御装置のブロック図である。

【図 12】相トルク指令と回転子位置に対する相電流テーブルを示す図である。

【図 13】相電流と回転子位置に対する相インダクタンステーブルを示す図である。

【図 14】同時通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相インダクタンス補正係数テーブルを示す図である。

【図 15】同時通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相インダクタンステーブルを示す図である。

10

20

30

40

50

【図 16】相電流と回転子位置に対する相インダクタンス微分値テーブルを示す図である。

【図 17】同時通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相インダクタンス微分値補正テーブルを示す図である。

【図 18】同時通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相インダクタンス微分値テーブルを示す図である。

【図 19】三相 8 極 12 スロット構造の SR モータにおいて単相通電時の磁束の流れを示す図である。

【図 20】三相 8 極 12 スロット構造の SR モータにおいて二相通電時の磁束の流れを示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0011】

実施の形態 1 .

この発明の実施の形態 1 に係る SR モータ制御装置 100 は、図 1 に示すように構成されている。すなわち、SR モータ 50 の駆動は、トルク指令に応じてインバータ（図示せず）を通じて SR モータ 50 に相電流を供給することによって行われる。この相電流を制御することによって SR モータ 50 の駆動を制御することができる。この実施の形態 1 においては、SR モータ 50 を駆動するための電圧は、電圧印加手段 70 によって供給され、この電圧印加手段 70 に対しては電圧指令計算部 60 によって計算された指令が与えられる。この電圧指令計算部 60 における計算は、磁束分配手段 110 から与えられる各相の相磁束の指令値に、SR モータ 50 の回転子位置に応じた補正を加えることによって行われる。また、電圧指令計算部 60 における計算には、位置検出器 80 からの SR モータ 50 の回転子位置の情報と、電流検出器 90 からの相電流値が使用される。

20

【0012】

磁束分配手段 110 には、位置検出器 80 から SR モータ 50 の回転子位置の情報が与えられる。磁束分配手段 110 は、相トルク分配手段 111 と磁束演算手段 112 を有しており、相トルク分配手段 111 は、回転子位置に応じてトルク指令を分配する。この相トルク分配手段 111 は、図 2 に示すテーブルを持っていて、回転子の位置に応じてテーブルの値からトルク指令を分配する。また、磁束演算手段 112 は、相トルク指令と回転子位置から導き出される相磁束のテーブルを持っている。この結果、平均トルク指令は、磁束分配手段 110 によって、回転子位置に応じた相磁束指令を電圧指令計算部 60 に出力することになる。

30

【0013】

この相磁束指令の生成について説明する。

相トルク分配手段 111 は、任意のトルク指令 $T_{ave-ref}$ と位置検出器 80 に基づいて得られる回転子位置 から、相トルク指令の和が一定かつ、モータ損失が最小となるような相トルク指令 T_{ph-ref} (T_{a-ref} 、 T_{b-ref} 、 T_{c-ref}) を算出する。

ここで、相トルク分配手段 111 における相トルク指令 T_{ph-ref} は、予め磁界解析や実機試験から得られた相トルク分配テーブル（図 2）で与えられる。ただし、相トルク分配テーブルの代わりに、相トルク指令を回転子位置の関数として、近似式で与えることも可能である。

40

【0014】

この実施の形態 1 では、二相まで同時に通電されることを考慮しており、図 2 の相トルク指令テーブルは、トルク指令および回転子位置 に対して、二相分のトルク指令を与えることとする。

具体的には、図 3 に示すように、A 相 B 相 C 相 A 相 . . . の順で転流していくとき、A 相のみ通電 A 相と B 相が同時に通電 B 相のみ通電 B 相と C 相が同時に通電 C 相のみ通電 C 相と A 相が同時に通電 A 相のみ通電 . . . となり、転流時に二相が同時に通電されることになる。

【0015】

50

図4に三相8極12スロット構造のSRモータの回転子と固定子との関係を示す。この巻線は集中巻きであり、図に示したA+、B+、C+は紙面手前から奥向き、A-、B-、C-は紙面奥から手前向きに巻線が巻回されているものとする。また、スロットに巻回される巻線は、反時計回りにA+ A- C- C+ B+ B- A- A+ C+ C- B- B+・・・の順で、180度で周期的に巻回されている。

図19に図4で示した8極12スロット構造のSRモータにおいて、単相(A相)通電時に生じる磁束の流れを示す。また、図20に図4で示した8極12スロット構造のSRモータにおいて、二相(A相、B相)通電時に生じる磁束の流れを示す。図20に示すように、二相同時通電する際、それぞれの相で通電して生じる磁束が共通の磁路を通る箇所があり、各相通電電流により生じる磁束が同じ向きとなる箇所(図20中の破線円部)では、磁気飽和の影響が各相で大きく干渉することになる。

10

【0016】

図5には、固定子の突極と回転子の突極が整列している状態の電流鎖交磁束曲線と、整列状態から回転子位置が電気角で180度回転した(8極12スロットでは機械的に $360/8/2=22.5$ 度回転した)非整列時の電流鎖交磁束曲線を示している。二相同時通電時の電流鎖交磁束曲線は、単相を一定通電時に、他相の電流を変化させたときの鎖交磁束である。先に示した相関の磁束の干渉により、図5に示すように、単相通電時の電流鎖交磁束曲線よりも、二相通電時の電流鎖交磁束曲線の特性が悪化することになる。

【0017】

20

次に、磁束演算手段112より、相トルク指令 T_{ph-ref} と検出された回転子位置に対する相磁束指令 i_{ph-ref} を得る。実施の形態1では、磁束演算手段112における相磁束指令 i_{ph-ref} は、図6に示す磁束演算テーブルで与えられる。

なお、相トルク分配手段111と磁束演算手段112のテーブルは、一つのテーブルに集約することも可能である。

【0018】

次に、磁束の推定方法について説明する。

磁束推定手段120は、セレクトア121、磁束推定部122、磁束補正部123から構成されている。まず、電流検出器90により、各相の電流(I_a 、 I_b 、 I_c)を検出する。また、セレクトア121により、検出した各相電流 I_a 、 I_b 、 I_c の内、閾値電流 I_{thr} よりも大きいものを、通電されている相の電流として選択する。

30

【0019】

<二相が通電されているとき>

前述と同様に、A相 B相 C相 A相・・・の順に相電流の切り替えを行うとき、二相が同時に通電されている場合は、セレクトア121により選択された、二相の電流をそれぞれ I_i 、 I_{ii} とし、二相の電流それぞれに対して、磁束推定部122より、対応する二相の相磁束の一時値 $i-temp$ 、 $ii-temp$ を推定する。このとき、通電されていない相に対応する推定磁束の一時値 $iii-temp$ はゼロとする。 I_i は切替え前の相電流、 I_{ii} は切替え後の相電流とする。具体的には、A相 B相に転流する際に二相同時通電される際には、 I_i をA相電流 I_a 、 I_{ii} をB相電流 I_b とする。

40

この実施の形態1では、磁束推定部122における相電流と回転子位置に対する相磁束は、図7のテーブルによって与える。

【0020】

また、磁束補正部123は、通電されている二相の電流 I_i 、 I_{ii} および回転子位置に対する磁束補正值 K をそれぞれの相に対して図8に示す磁束補正係数テーブルから演算する。 I_i に対応する相の磁束補正係数は、 $I_{main} = I_i$ 、 $I_{sub} = I_{ii}$ とし、回転子位置を用いて図8に示した磁束補正係数テーブルから補正係数 K_{i-ii} を算出する。

同様に、 I_{ii} に対応する相の磁束補正係数は、 $I_{main} = I_{ii}$ 、 $I_{sub} = I_i$ とし、回転子位置を用いて、図8に示した磁束補正係数テーブルから補正係数 K_{ii-i} を算出する。

ここで、磁束補正係数テーブルの作成手順を示しておく。まず、単相通電時の各回転子

50

位置および通電電流に対する鎖交磁束を磁界解析または実測により求めておく。次に、二相通電時の各回転子位置および通電電流に対する鎖交磁束を磁界解析または実測により求める。ただし、二相通電なので、一相の電流 (I_{sub}) を一定で通電した状態で、もう一相の電流 (I_{main}) を通電した時の鎖交磁束を求める。 $I_{sub} = 0$ の時、各回転子位置および電流における鎖交磁束は、単相通電時の各回転子位置および電流における鎖交磁束と一致する。

【0021】

二相通電時の各回転子位置と、通電電流 I_{sub} および I_{main} における鎖交磁束と、単相通電時の各回転子位置および電流における鎖交磁束の比を磁束補正係数 K として磁束補正係数テーブルとする。

前記磁束推定テーブルより得られた推定磁束の一時値 ψ_{i-temp} 、 $\psi_{ii-temp}$ に対して前記磁束補正值 K_{i-ii} 、 K_{ii-i} を用いて、通電されている二相の磁束推定値 ψ_{i-est} 、 ψ_{ii-est} を (1)、(2) 式でそれぞれ与える。

【数1】

数1

$$\psi_{i-est} = \psi_{i-temp} \times K_{i-ii} \quad (1)$$

【数2】

数2

$$\psi_{ii-est} = \psi_{ii-temp} \times K_{ii-i} \quad (2)$$

また、通電されていない相の磁束推定値 $\psi_{iii-est}$ は、(3) 式で与えられる。

【数3】

数3

$$\psi_{iii-est} = \psi_{iii-temp} = 0 \quad (3)$$

【0022】

具体的な例を説明するために、A相からB相に通電電流が切り替わるとき、A相およびB相が同時に通電される場合について説明する。このとき、セレクトA121により、通電されているA相電流 (I_a) とB相電流 (I_b) を、 $I_i = I_a$ 、 $I_{ii} = I_b$ とする。

ここで、通電されていないC相に対応する推定磁束の一時値 ψ_{c-temp} は、ゼロである。

次に、通電されているA相の電流 I_a と回転子位置 に対する推定磁束の一時値 ψ_{a-temp} ($= \psi_{i-temp}$) と、B相の電流 I_b と回転子位置 に対する推定磁束の一時値 ψ_{b-temp} ($= \psi_{ii-temp}$) を磁束推定部122に用意されている図7のテーブルより演算する。

また、A相の磁束補正係数 K_{a-b} の値を、 $I_{main} = I_a$ 、 $I_{sub} = I_b$ とし、回転子位置 を用いて、磁束補正係数テーブルより算出する。同様に、B相の磁束補正係数 K_{b-a} の値を、 $I_{main} = I_b$ 、 $I_{sub} = I_a$ とし、回転子位置 を用いて、磁束補正部123における図8の磁束補正係数テーブルより算出する。

【0023】

(1)、(2) 式より、推定したA相磁束の一時値 ψ_{a-temp} 、B相磁束の一時値 ψ_{b-temp} と磁束補正係数 K_{a-b} 、 K_{b-a} を用いて、A相推定磁束 ψ_{a-est} およびB相推定磁束 ψ_{b-est} は、次の(4)式および(5)式で計算される。

【数4】

数4

$$\psi_{a-est} = \psi_{a-temp} \times K_{\theta i-ii} \quad (4)$$

10

20

30

40

50

【数5】

数5

$$\psi_{b-est} = \psi_{b-temp} \times K_{\theta_{ii-i}} \quad (5)$$

また、(3)式より、通電されていないC相の推定磁束は、次式で表わされる。

【数6】

数6

$$\psi_{c-est} = \psi_{c-temp} = 0 \quad (6) \quad 10$$

B相とC相、C相とA相が同時に通電される場合にも、同様である。

前記磁束推定部および前記磁束補正部における推定磁束を、図7と図8を併せた図9に示す一つの相磁束補正テーブルに集約することも可能である。

【0024】

<一相のみが通電されているとき>

また、一相のみが通電されており、他の二相が通電されていないとき、通電されている一相に対応する推定磁束は、通電電流と回転子位置と併せて、磁束推定部122より算出する。通電されていない二相は、推定磁束をゼロとする。

具体的には、A相のみが通電されている場合、セレクタ121によりA相のみが通電相に選択される。A相推定磁束は、A相電流 I_a と回転子位置に基づいて、磁束推定部122にてA相推定磁束 ψ_{a-est} を計算する。同時に、通電されていないB相、C相の推定磁束 ψ_{b-est} 、 ψ_{c-est} は、ゼロとする。 20

B相のみ、またはC相のみが通電される場合にも、同様である。

【0025】

前記の通り推定された各相の相磁束指令 ψ_{a-ref} 、 ψ_{b-ref} 、 ψ_{c-ref} と相磁束推定値 ψ_{a-est} 、 ψ_{b-est} 、 ψ_{c-est} から、各相電圧指令 V_{a-ref} 、 V_{b-ref} 、 V_{c-ref} は、(7)、(8)、(9)式で与えられる。

【数7】

数7

$$V_{a-ref} = \frac{d\psi_a}{dt} + RI_a = \frac{\psi_{a-ref} - \psi_{a-est}}{T_s} + RI_a \quad (7) \quad 30$$

【数8】

数8

$$V_{b-ref} = \frac{d\psi_b}{dt} + RI_b = \frac{\psi_{b-ref} - \psi_{b-est}}{T_s} + RI_b \quad (8) \quad 40$$

【数9】

数9

$$V_{c-ref} = \frac{d\psi_c}{dt} + RI_c = \frac{\psi_{c-ref} - \psi_{c-est}}{T_s} + RI_c \quad (9)$$

ただし、 R 〔 Ω 〕は、各相巻線の抵抗値、 T_s 〔 s 〕は、制御周期を表している。

各相電圧指令は、電圧印加手段を介して、各相に指令電圧を印加する。

この実施の形態1によれば、複数相が同時に通電されている場合でも、各相の磁束を正確に推定することが可能になるため、トルク指令や磁束指令に対する追従性能が改善され 50

る。

また、通電されている相の磁束を推定することで、磁束に基づくフィードバック制御が可能になり、モータ制御の高応答化も可能となる。

【0026】

実施の形態2

図10に、実施の形態2にかかるSRモータ制御装置200のブロック図を示す。

図10に示すように、実施の形態2では、相電圧検出手段125がある。セクタ121は、電流検出器90より検出した各相電流 I_a 、 I_b 、 I_c から、閾値電流 I_{thr} より電流が大きい相を通電相として選択する。同時に、相電圧検出手段125より検出した各相電圧 V_{ph} (V_a 、 V_b 、 V_c)から、通電相の電圧を選択する。

10

【0027】

磁束推定部122は、相電圧検出手段125により得られる相電圧 V_{ph} (V_a 、 V_b 、 V_c)を用いて、通電されている相に対応する相磁束を(10)式によって推定する。

【数10】

数10

$$\psi_{ph} = \int (V_{ph} + RI_{ph}) dt \quad (10)$$

なお、通電されていない相の推定磁束は、ゼロとする。

20

具体的な例を説明するために、A相からB相に通電電流が切り替わるとき、A相およびB相が同時に通電される場合について説明する。

【0028】

A相からB相に通電を切り替える際に、二相(A相とB相)が同時に通電される時、セクタ121により通電相としてA相、B相が選択され、通電相の電流 I_a 、 I_b および電圧 V_a 、 V_b を用いて、A相とB相の推定磁束の一時値 ψ_{a-temp} 、 ψ_{b-temp} は、(11)、(12)式となる。

【数11】

数11

$$\psi_{a-temp} = \int (V_a + RI_a) dt \quad (11)$$

30

【数12】

数12

$$\psi_{b-temp} = \int (V_b + RI_b) dt \quad (12)$$

このとき、通電されていないC相の推定磁束の一時値 ψ_{c-temp} は、ゼロとする。二相同時通電時の推定磁束の補正方法に関しては、実施の形態1と同様である。

40

【0029】

また、A相が一相だけ通電されている状態では、A相推定磁束は(13)式となる。

【数13】

数13

$$\psi_{a-est} = \int (V_a + RI_a) dt \quad (13)$$

このとき、通電されていないB相とC相の推定相磁束は0とする。

この実施の形態2においては、相磁束の推定に相電圧検出手段125より得る検出電圧

50

を使用することを考慮しているが、電圧指令計算部 60 より得られる相電圧指令 V_{ph-ref} を使用してもよい。

以上の実施の形態 2 によれば、磁束推定に要する、電流、回転子位置に対する磁束のテーブルが不要になるため、省メモリ化が可能であり、相磁束を推定するための演算時間を短縮する効果もある。

【0030】

実施の形態 3 (電流制御)

図 11 は、発明の実施の形態 3 に係る SR モータ制御装置 300 のブロック図である。図 12 は、相トルク指令および回転子位置に対して、相電流指令実施の形態 1 を与えるテーブルである。図 13 は、検出した相電流および回転子位置より、相インダクタンスを推定するテーブルである。図 14 は、同時に通電されている二相の電流および回転子位置より、相インダクタンス補正テーブルである。図 15 は、同時通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相インダクタンステーブルである。図 16 は、相電流と回転子位置に対する相インダクタンス微分値テーブルである。図 17 は、同時通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相インダクタンス微分値補正テーブルである。図 18 は、同時に通電されている二相の通電電流と回転子位置に対する相インダクタンス微分値テーブルである。

【0031】

この実施の形態 3 では、SR モータ制御装置 300 は、三相巻線で構成される SR モータ 50、電流分配手段 130、インダクタンス推定手段 140、インダクタンス微分値推定手段 150、電圧指令計算部 60、電圧印加手段 70、位置検出器 80、電流検出器 90 で構成される。

まず、電流指令の生成について説明する。

図 14 に示すように、電流分配手段 130 は、相トルク分配手段 131 と電流演算手段 132 から構成される。

【0032】

相トルク分配手段 131 は、任意のトルク指令 $T_{ave-ref}$ と位置検出器 80 に基づいて得られる回転子位置 から、相トルク指令の和が一定かつ、モータ損失が最小となるような相トルク指令 T_{ph-ref} (T_{a-ref} 、 T_{b-ref} 、 T_{c-ref}) を算出する。

ここで、相トルク分配手段 131 は、予め磁界解析や実機試験から得られた相トルク分配テーブル (図 2) で与える。ただし、相トルク分配テーブルの代わりに、相トルク指令を回転子位置の関数として、近似式で与えることも可能である。

実施の形態 3 では二相まで同時に通電されることを考慮しており、図 2 の相トルク指令テーブルは、トルク指令および回転子位置 に対して、二相分のトルク指令を与えることとする。

具体的には、図 3 に示すように、A 相 B 相 C 相 A 相 … の順で転流していくとき、A 相のみ通電 A 相と B 相が同時に通電 B 相のみ通電 B 相と C 相が同時に通電 C 相のみ通電 C 相と A 相が同時に通電 A 相のみ通電 … となり、転流時に二相が同時に通電されることになる。通電される一相または二相は、図 3 に示すように回転子位置より判断できる。

【0033】

次に、電流演算手段 132 より、相トルク指令 T_{ph-ref} と検出された回転子位置 に対する相電流指令 I_{ph-ref} を得る。実施の形態 3 では、電流演算手段 132 は図 12 に示す電流演算テーブルで与える。

相トルク分配手段 131 と電流演算手段 132 のテーブルは、一つのテーブルに集約することも可能である。

【0034】

次に、インダクタンスの推定方法を説明する。

インダクタンス推定手段 140 は、セクタ 141、インダクタンス推定部 142、インダクタンス補正部 143 から構成される。まず、電流検出器 90 により、各相の電流 (

10

20

30

40

50

I_A 、 I_B 、 I_C)を検出する。また、セレクタ141により、検出した各相電流 I_A 、 I_B 、 I_C の内、閾値電流 I_{Thr} よりも大きいものを、通電されている相の電流として選択する。

【0035】

<二相が通電されているとき>

前記と同様に、A相 B相 C相 A相・・・の順に相電流の切り替えを行うとき、二相が同時に通電されている場合は、セレクタ141により選択された二相の電流をそれぞれ I_i 、 I_{ii} とする。 I_i は切替え前の相電流、 I_{ii} は切替え後の相電流とする。具体的には、A相 B相に転流する際に二相同時通電される際には、 I_i をA相電流 I_a 、 I_{ii} をB相電流 I_b とする。

通電されている二相それぞれに対して、インダクタンス推定部142より、対応する二相それぞれの推定インダクタンスの一時値 L_{i-temp} 、 $L_{ii-temp}$ を推定する。同様に、通電されていない相のインダクタンスは、インダクタンス推定部143により、 I_{iii} および回転子位置 に対する相の推定インダクタンスの一時値 $L_{iii-temp}$ を得る。

この実施の形態3では、インダクタンス推定部142、143は、図13のテーブルで与えられる。

【0036】

また、インダクタンス補正部144は、通電されている二相の電流 I_i 、 I_{ii} および回転子位置 に対するインダクタンス補正值 X を、それぞれの相に対して図14に示すインダクタンス補正係数テーブルから演算する。

I_i に対応する相のインダクタンス補正係数は、 $I_{main} = I_i$ 、 $I_{sub} = I_{ii}$ とし、図14に示したインダクタンス補正係数テーブルから補正係数 X_{i-ii} を算出する。

同様に、 I_{ii} に対応する相のインダクタンス補正係数は、 $I_{main} = I_{ii}$ 、 $I_{sub} = I_i$ とし、回転子位置 と併せて、図14に示したインダクタンス補正係数テーブルから補正係数 X_{ii-i} を算出する。

【0037】

ここで、インダクタンス補正係数テーブルの作成手順を示しておく。まず、単相通電時の各回転子位置および通電電流に対するインダクタンスを磁界解析または実測により求めておく。次に、二相通電時の各回転子位置および通電電流に対するインダクタンスを磁界解析または実測により求める。ただし、二相通電なので、一相の電流(I_{sub})を一定で通電した状態で、もう一相の電流(I_{main})を通電した時のインダクタンスを求める。 $I_{sub} = 0$ の時、各回転子位置および電流におけるインダクタンスは、単相通電時の各回転子位置および電流におけるインダクタンスと一致する。

二相通電時の各回転子位置と、通電電流 I_{sub} および I_{main} におけるインダクタンスと、単相通電時の各回転子位置および電流におけるインダクタンスの比を、インダクタンス補正係数 X としてインダクタンス補正係数テーブルとする。

【0038】

前記インダクタンス推定テーブルより得られた通電されている相の推定インダクタンスの一時値 L_{i-temp} 、 $L_{ii-temp}$ に対して前記インダクタンス補正係数 X_{i-ii} 、 X_{ii-i} を用いて、通電されている二相のインダクタンス推定値 L_{i-est} 、 L_{ii-est} を(14)、(15)式でそれぞれ与える。

【数14】

数14

$$L_{i-est} = L_{i-temp} \times X_{i-ii} \quad (14)$$

10

20

30

40

【数 15】

数 15

$$L_{ii-est} = L_{ii-temp} \times X_{ii-i} \quad (15)$$

また、通電されていない相のインダクタンス $L_{iii-est}$ は、(16)式で与えられる。

【数 16】

数 16

$$L_{iii-est} = L_{iii-temp} \quad (16) \quad 10$$

【0039】

具体的な例を説明するために、A相からB相に通電電流が切り替わるとき、A相およびB相が同時に通電される場合について説明する。

まず、電流検出器90より得られた各相電流から、セクタ141により、通電されているA相とB相が選択される。通電されているA相電流 I_a とB相電流 I_b について、 $I_{ii} = I_a$ 、 $I_{ii} = I_b$ とする。

ここで、通電されていないC相に対応する推定インダクタンスの一時値 L_{c-temp} は、C相電流 I_c と回転子位置に基づいて、図13のインダクタンス推定テーブルより計算される。

20

【0040】

次に、通電されているA相の電流 I_a と回転子位置に対する推定インダクタンスの一時値 $L_{a-temp} (= L_{i-temp})$ と、B相の電流 I_b と回転子位置に対する推定インダクタンスの一時値 $L_{b-temp} (= L_{ii-temp})$ をインダクタンス推定部143より計算する。

また、A相のインダクタンス補正係数 X_{a-b} の値を、 $I_{main} = I_a$ 、 $I_{sub} = I_b$ とし、回転子位置を用いて、図14のインダクタンス補正係数テーブルより計算する。同様に、B相のインダクタンス補正係数 X_{b-a} の値を、 $I_{main} = I_b$ 、 $I_{sub} = I_a$ とし、回転子位置を用いて、図14のインダクタンス補正係数テーブルより算出する。

(14)、(15)式より、推定した算出したA相推定インダクタンスの一時値 L_{a-temp} 、B相推定インダクタンスの一時値 L_{b-temp} とインダクタンス補正係数 X_{a-b} 、 X_{b-a} を用いて、A相推定インダクタンス L_{a-est} およびB相推定インダクタンス L_{b-est} を次式で与える。

30

【数 17】

数 17

$$L_{a-est} = L_{a-temp} \times X_{\theta a-b} \quad (17)$$

【数 18】

数 18

$$L_{b-est} = L_{b-temp} \times X_{\theta b-a} \quad (18)$$

また、(16)式より、通電されていない相のインダクタンスは次式で表わせる。

【数 19】

数 19

$$L_{c-est} = L_{c-temp} \quad (19)$$

50

このように、相インダクタンス推定値 L_{ph-est} (L_{a-est} 、 L_{b-est} 、 L_{c-est}) を算出する。B相とC相、C相とA相が同時に通電される際にも、同様である。

前記インダクタンス推定部および前記インダクタンス補正部におけるインダクタンスを、図13と図14を併せた図15に示す一つの相インダクタンス補正テーブルに集約することも可能である。

【0041】

<一相のみが通電されているとき>

また、一相のみが通電されており、他の二相が通電されていないとき、三相のインダクタンスは、各相通電電流と回転子位置に基づいて、インダクタンス推定部より算出する。この際、インダクタンスの補正は行わない。

次に、インダクタンス微分値の推定方法を説明する。

インダクタンス微分値推定手段150は、セレクトア151、インダクタンス微分値推定部152、インダクタンス微分値推定部153、インダクタンス微分値補正部154から構成される。まず、電流検出器90により、各相の電流 (I_a 、 I_b 、 I_c) を検出する。また、セレクトア141により、検出した各相電流 I_a 、 I_b 、 I_c の内、閾値電流 I_{thr} よりも大きいものを、通電されている相の電流として選択する。

【0042】

<二相が通電されているとき>

前記と同様に、A相 B相 C相 A相・・・の順に相電流の切り替えを行うとき、二相が同時に通電されている場合は、セレクトア151により選択された二相の電流をそれぞれ I_i 、 I_{ii} とし、通電されている二相それぞれに対して、インダクタンス微分値推定部152より、対応する二相それぞれの推定インダクタンス微分値の一時値 dL_{i-temp}/d 、 $dL_{ii-temp}/d$ を推定する。同様に、通電されていない相のインダクタンス微分値は、インダクタンス微分値推定部153により、 I_{iii} および回転子位置に対する推定インダクタンス微分値の一時値 $dL_{iii-temp}/d$ を得る。

実施の形態3では、インダクタンス微分値推定部152、153は、図16のテーブルで与えられる。

【0043】

また、インダクタンス微分値補正部154は、通電されている二相の電流 I_i 、 I_{ii} および回転子位置に対するインダクタンス微分値補正係数 Y をそれぞれの相に対して図15に示すインダクタンス微分値補正係数テーブルから演算する。 I_i に対応する相のインダクタンス微分値補正係数は、 $I_{main} = I_i$ 、 $I_{sub} = I_{ii}$ とし、図17に示したインダクタンス微分値補正係数テーブルから補正係数 Y_{i-ii} を算出する。

同様に、 I_{ii} に対応する相のインダクタンス微分値補正係数は、 $I_{main} = I_{ii}$ 、 $I_{sub} = I_i$ とし、回転子位置を用いて、図17に示したインダクタンス微分値補正係数テーブルから補正係数 Y_{ii-i} を算出する。

【0044】

インダクタンス微分値補正係数も、インダクタンス補正係数テーブルと同様に、二相通電時の各回転子位置と、通電電流 I_{sub} および I_{main} におけるインダクタンス微分値と、単相通電時の各回転子位置および電流におけるインダクタンス微分値をそれぞれ磁界解析または実測により求め、単相通電時および二相通電時のインダクタンス微分値の比をインダクタンス微分値補正係数 Y としてインダクタンス微分値補正係数テーブルを作成する。

前記インダクタンス微分値推定テーブルより得られた通電されている二相それぞれの推定インダクタンス微分値の一時値 dL_{i-temp}/d 、 $dL_{ii-temp}/d$ に対して前記インダクタンス微分値補正係数 Y_{i-ii} 、 Y_{ii-i} を用いて、通電されている二相のインダクタンス微分値推定値 dL_{i-est}/d 、 dL_{ii-est}/d を(20)、(21)式でそれぞれ与える。

【数 2 0】

数 20

$$\frac{dL_{i-est}}{d\theta} = \frac{dL_{i-temp}}{d\theta} \times Y_{i-ii} \quad (20)$$

【数 2 1】

数 21

$$\frac{dL_{ii-est}}{d\theta} = \frac{dL_{ii-temp}}{d\theta} \times Y_{ii-i} \quad (21)$$

10

また、通電されていない相のインダクタンス微分値 $dL_{iii-est}/d$ は、(22)式
で与えられる。

【数 2 2】

数 22

$$\frac{dL_{iii-est}}{d\theta} = \frac{dL_{iii-temp}}{d\theta} \quad (22)$$

20

【0045】

具体的な例を説明するために、A相からB相に通電電流が切り替わるとき、A相および
B相が同時に通電される場合について説明する。

まず、電流検出器90より得られた各相電流から、セレクタ141により、通電されて
いるA相とB相が選択される。通電されているA相電流 I_a とB相電流 I_b について、 I_i
 $= I_a$ 、 $I_{ii} = I_b$ とする。

ここで、通電されていないC相に対応する推定インダクタンス微分値の一時値 dL_{c-temp}
 $/d$ は、C相電流 I_c と回転子位置に基づいて、図14のインダクタンス微分値推定
テーブルより計算される。

30

【0046】

次に、通電されているA相の電流 I_a と回転子位置 に対する推定インダクタンス微分
値の一時値 dL_{a-temp}/d ($= dL_{i-temp}/d$) と、B相の電流 I_b と回転子位置
に対する推定インダクタンス微分値の一時値 dL_{b-temp}/d ($= dL_{ii-temp}/d$)
をインダクタンス微分値推定部153より計算する。

また、A相のインダクタンス微分値補正係数 Y_{a-b} の値を、 $I_{main} = I_a$ 、 $I_{sub} = I_b$
とし、回転子位置 を用いて、図17のインダクタンス微分値補正係数テーブルより計算
する。同様に、B相のインダクタンス微分値補正係数 Y_{b-a} の値を、 $I_{main} = I_b$ 、 I_{su}
 $b = I_b$ とし、回転子位置 を用いて、図17のインダクタンス微分値補正係数テーブルよ
り算出する。

40

【0047】

(20)、(21)式より、推定したA相インダクタンス微分値の一時値 $dL_{a-temp}/$
 d 、B相インダクタンス微分値の一時値 dL_{b-temp}/d とインダクタンス微分値補正
係数 Y_{a-b} 、 Y_{b-a} を用いて、A相推定インダクタンス微分値 dL_{a-est}/d および
B相推定インダクタンス微分値 dL_{b-est}/d を(23)、(24)式で与えることが
できる。

【数 2 3】

数 23

$$\frac{dL_{a-est}}{d\theta} = \frac{dL_{a-temp}}{d\theta} \times Y_{a-b} \quad (23)$$

【数 2 4】

数 24

$$\frac{dL_{b-est}}{d\theta} = \frac{dL_{b-temp}}{d\theta} \times Y_{b-a} \quad (24) \quad 10$$

また、(22)式より、通電されていない相のインダクタンス微分値は(25)式で表わすことができる。

【数 2 5】

数 25

$$\frac{dL_{c-est}}{d\theta} = \frac{dL_{c-temp}}{d\theta} \quad (25) \quad 20$$

このように、相インダクタンス微分値の推定値 $dL_{ph-est}/d\theta$ ($dL_{a-est}/d\theta$ 、 $dL_{b-est}/d\theta$ 、 $dL_{c-est}/d\theta$) を算出する。B相とC相、C相とA相が同時に通電される際にも、同様である。

前記インダクタンス微分値推定部 152、153 および前記インダクタンス微分値補正部 154 におけるインダクタンス微分値を、図 16 と図 17 を併せた図 18 に示す一つの相インダクタンス微分値補正テーブルに集約することも可能である。

【0048】

<一相のみが通電されているとき>

また、一相のみが通電されており、他の二相が通電されていないとき、三相のインダクタンス微分値は、各相通電電流と回転子位置に基づいて、インダクタンス微分値推定部より算出する。この際、インダクタンスの補正は行わない。

前記の通り推定された各相インダクタンスの推定値と各相インダクタンス微分値の推定値から、各相電圧指令 V_{a-ref} 、 V_{b-ref} 、 V_{c-ref} は、(26)、(27)、(28)式で与えられる。

【数 2 6】

数 26

$$V_{a-ref} = L_{a-est} \frac{dI_a}{dt} + I_a \frac{dL_{a-est}}{d\theta} \omega + RI_a \quad (26) \quad 40$$

【数 2 7】

数 27

$$V_{b-ref} = L_{b-est} \frac{dI_b}{dt} + I_b \frac{dL_{b-est}}{d\theta} \omega + RI_b \quad (27)$$

【数 28】

数 28

$$V_{c-ref} = L_{c-est} \frac{dI_c}{dt} + I_c \frac{dL_{c-est}}{d\theta} \omega + RI_c \quad (28)$$

ただし、R は各相巻線の抵抗値、 ω は各速度を表している。

各相電圧指令は、電圧印加手段を介して、各相に指令電圧を印加する。

以上の実施の形態 3 によれば、複数相が同時に通電されている際でも、各相のインダクタンスおよびインダクタンス微分値を正確に推定することが可能になるため、トルク指令や電流指令に対する追従性能が改善される。

10

【0049】

なお、この発明は、その発明の範囲内において、実施の形態の任意の特性要素を適宜組み合わせ、あるいは、適宜、変更または省略することが可能である。

【符号の説明】

【0050】

- 50 SRモータ、60 電圧指令計算部、70 電圧印加手段、
- 80 位置検出器、90 電流検出器、110 磁束分配手段、
- 111 相トルク分配手段、112 磁束演算手段、120 磁束推定手段、
- 121 セレクタ、122 磁束推定部、123 磁束補正部、
- 125 相電圧検出手段、126 相電圧推定部、130 電流分配手段、
- 131 相トルク分配手段、132 電流演算手段、
- 140 インダクタンス推定手段、141 セレクタ、
- 142 インダクタンス推定部、143 インダクタンス推定部、
- 144 インダクタンス補正部、150 インダクタンス微分値推定手段、
- 151 セレクタ、152 インダクタンス微分値推定部、
- 153 インダクタンス微分値推定部、154 インダクタンス微分値補正部

20

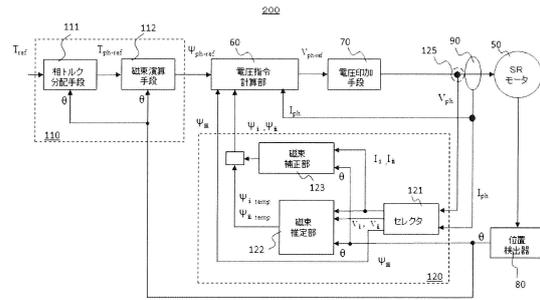
【図 9】

図 9

$I_{sub} = I_1$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{1_Psi11}	I_{1_Psi12}	I_{1_Psi13}	...	I_{1_Psi1N}	...
θ_2	I_{1_Psi21}	I_{1_Psi22}	I_{1_Psi23}	...	I_{1_Psi2N}	...
:	:	:	:	:	:	:
θ_N	I_{1_PsiN1}	I_{1_PsiN2}	I_{1_PsiN3}	...	I_{1_PsiNN}	...
:	:	:	:	:	:	:
$I_{sub} = I_2$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{2_Psi11}	I_{2_Psi12}	I_{2_Psi13}	...	I_{2_Psi1N}	...
θ_2	I_{2_Psi21}	I_{2_Psi22}	I_{2_Psi23}	...	I_{2_Psi2N}	...
:	:	:	:	:	:	:
θ_N	I_{2_PsiN1}	I_{2_PsiN2}	I_{2_PsiN3}	...	I_{2_PsiNN}	...
:	:	:	:	:	:	:
$I_{sub} = I_N$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{N_Psi11}	I_{N_Psi12}	I_{N_Psi13}	...	I_{N_Psi1N}	...
θ_2	I_{N_Psi21}	I_{N_Psi22}	I_{N_Psi23}	...	I_{N_Psi2N}	...
:	:	:	:	:	:	:
θ_N	I_{N_PsiN1}	I_{N_PsiN2}	I_{N_PsiN3}	...	I_{N_PsiNN}	...
:	:	:	:	:	:	:

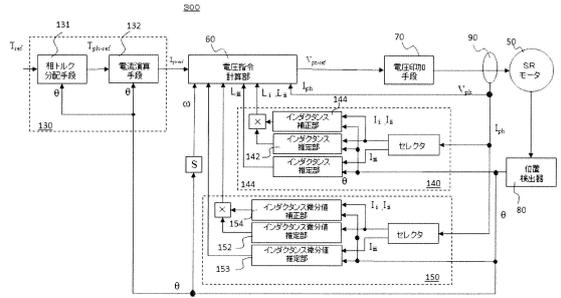
【図 10】

図 10



【図 11】

図 11



【図 12】

図 12

$\theta \setminus T_{ph}$	T_{ph1}	T_{ph2}	T_{ph3}	...	T_{phN}	...
θ_1	I_{ph11}	I_{ph12}	I_{ph13}	...	I_{ph1N}	...
θ_2	I_{ph21}	I_{ph22}	I_{ph23}	...	I_{ph2N}	...
:	:	:	:	:	:	:
θ_N	I_{phN1}	I_{phN2}	I_{phN3}	...	I_{phNN}	...
:	:	:	:	:	:	:

【図 14】

図 14

$I_{sub} = I_1$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{1_X11}	I_{1_X12}	I_{1_X13}	...	I_{1_X1N}	...
θ_2	I_{1_X21}	I_{1_X22}	I_{1_X23}	...	I_{1_X2N}	...
:	:	:	:	:	:	:
θ_N	I_{1_XN1}	I_{1_XN2}	I_{1_XN3}	...	I_{1_XNN}	...
:	:	:	:	:	:	:
$I_{sub} = I_2$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{2_X11}	I_{2_X12}	I_{2_X13}	...	I_{2_X1N}	...
θ_2	I_{2_X21}	I_{2_X22}	I_{2_X23}	...	I_{2_X2N}	...
:	:	:	:	:	:	:
θ_N	I_{2_XN1}	I_{2_XN2}	I_{2_XN3}	...	I_{2_XNN}	...
:	:	:	:	:	:	:
$I_{sub} = I_N$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{N_X11}	I_{N_X12}	I_{N_X13}	...	I_{N_X1N}	...
θ_2	I_{N_X21}	I_{N_X22}	I_{N_X23}	...	I_{N_X2N}	...
:	:	:	:	:	:	:
θ_N	I_{N_XN1}	I_{N_XN2}	I_{N_XN3}	...	I_{N_XNN}	...
:	:	:	:	:	:	:

【図 13】

図 13

$\theta \setminus I_{ph}$	I_{ph1}	I_{ph2}	I_{ph3}	...	I_{phN}	...
θ_1	L_{ph11}	L_{ph12}	L_{ph13}	...	L_{ph1N}	...
θ_2	L_{ph21}	L_{ph22}	L_{ph23}	...	L_{ph2N}	...
:	:	:	:	:	:	:
θ_N	L_{phN1}	L_{phN2}	L_{phN3}	...	L_{phNN}	...
:	:	:	:	:	:	:

【 15 】

図 15

$I_{sub} = I_1$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{1_L11}	I_{1_L12}	I_{1_L13}	...	I_{1_L1N}	...
θ_2	I_{1_L21}	I_{1_L22}	I_{1_L23}	...	I_{1_L2N}	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{1_L_N1}$	$I_{1_L_N2}$	$I_{1_L_N3}$	...	$I_{1_L_NN}$	...
:	:	:	:		:	

$I_{sub} = I_2$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{2_L11}	I_{2_L12}	I_{2_L13}	...	I_{2_L1N}	...
θ_2	I_{2_L21}	I_{2_L22}	I_{2_L23}	...	I_{2_L2N}	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{2_L_N1}$	$I_{2_L_N2}$	$I_{2_L_N3}$	...	$I_{2_L_NN}$	...
:	:	:	:		:	

$I_{sub} = I_N$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{N_L11}	I_{N_L12}	I_{N_L13}	...	I_{N_L1N}	...
θ_2	I_{N_L21}	I_{N_L22}	I_{N_L23}	...	I_{N_L2N}	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{N_L_N1}$	$I_{N_L_N2}$	$I_{N_L_N3}$	...	$I_{N_L_NN}$	...
:	:	:	:		:	

【 17 】

図 17

$I_{sub} = I_1$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{1_Y11}	I_{1_Y12}	I_{1_Y13}	...	I_{1_Y1N}	...
θ_2	I_{1_Y21}	I_{1_Y22}	I_{1_Y23}	...	I_{1_Y2N}	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{1_Y_N1}$	$I_{1_Y_N2}$	$I_{1_Y_N3}$	...	$I_{1_Y_NN}$	...
:	:	:	:		:	

$I_{sub} = I_2$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{2_Y11}	I_{2_Y12}	I_{2_Y13}	...	I_{2_Y1N}	...
θ_2	I_{2_Y21}	I_{2_Y22}	I_{2_Y23}	...	I_{2_Y2N}	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{2_Y_N1}$	$I_{2_Y_N2}$	$I_{2_Y_N3}$	...	$I_{2_Y_NN}$	...
:	:	:	:		:	

$I_{sub} = I_N$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	I_{N_Y11}	I_{N_Y12}	I_{N_Y13}	...	I_{N_Y1N}	...
θ_2	I_{N_Y21}	I_{N_Y22}	I_{N_Y23}	...	I_{N_Y2N}	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{N_Y_N1}$	$I_{N_Y_N2}$	$I_{N_Y_N3}$	...	$I_{N_Y_NN}$	...
:	:	:	:		:	

【 16 】

図 16

$\theta \setminus I_{ph}$	I_{ph1}	I_{ph2}	I_{ph3}	...	I_{phN}	...
θ_1	$dI_{ph11}/d\theta_1$	$dI_{ph12}/d\theta_1$	$dI_{ph13}/d\theta_1$	...	$dI_{ph1N}/d\theta_1$	...
θ_2	$dI_{ph21}/d\theta_2$	$dI_{ph22}/d\theta_2$	$dI_{ph23}/d\theta_2$	...	$dI_{ph2N}/d\theta_2$	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$dI_{phN1}/d\theta_N$	$dI_{phN2}/d\theta_N$	$dI_{phN3}/d\theta_N$	...	$dI_{phNN}/d\theta_N$	...
:	:	:	:		:	

【 18 】

図 18

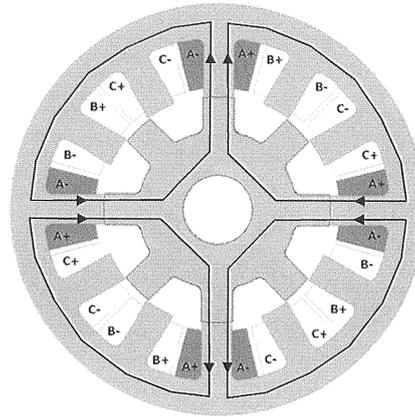
$I_{sub} = I_1$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	$I_{1_dL11}/d\theta_1$	$I_{1_dL12}/d\theta_1$	$I_{1_dL13}/d\theta_1$	...	$I_{1_dL1N}/d\theta_1$	...
θ_2	$I_{1_dL21}/d\theta_2$	$I_{1_dL22}/d\theta_2$	$I_{1_dL23}/d\theta_2$	...	$I_{1_dL2N}/d\theta_2$	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{1_dL_N1}/d\theta_N$	$I_{1_dL_N2}/d\theta_N$	$I_{1_dL_N3}/d\theta_N$	...	$I_{1_dL_NN}/d\theta_N$	...
:	:	:	:		:	

$I_{sub} = I_2$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	$I_{2_dL11}/d\theta_1$	$I_{2_dL12}/d\theta_1$	$I_{2_dL13}/d\theta_1$	...	$I_{2_dL1N}/d\theta_1$	...
θ_2	$I_{2_dL21}/d\theta_2$	$I_{2_dL22}/d\theta_2$	$I_{2_dL23}/d\theta_2$	...	$I_{2_dL2N}/d\theta_2$	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{2_dL_N1}/d\theta_N$	$I_{2_dL_N2}/d\theta_N$	$I_{2_dL_N3}/d\theta_N$	...	$I_{2_dL_NN}/d\theta_N$	...
:	:	:	:		:	

$I_{sub} = I_N$						
$\theta \setminus I_{main}$	I_{main1}	I_{main2}	I_{main3}	...	I_{mainN}	...
θ_1	$I_{N_dL11}/d\theta_1$	$I_{N_dL12}/d\theta_1$	$I_{N_dL13}/d\theta_1$	...	$I_{N_dL1N}/d\theta_1$	...
θ_2	$I_{N_dL21}/d\theta_2$	$I_{N_dL22}/d\theta_2$	$I_{N_dL23}/d\theta_2$	...	$I_{N_dL2N}/d\theta_2$	...
:	:	:	:		:	
θ_N	$I_{N_dL_N1}/d\theta_N$	$I_{N_dL_N2}/d\theta_N$	$I_{N_dL_N3}/d\theta_N$	...	$I_{N_dL_NN}/d\theta_N$	...
:	:	:	:		:	

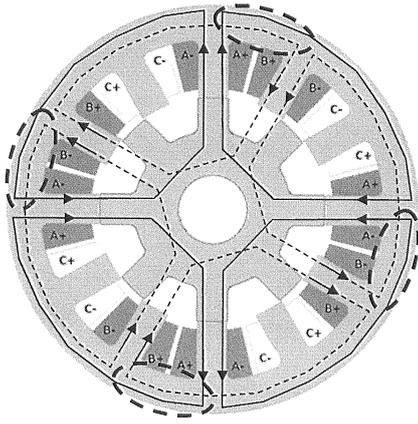
【 19 】

図 19



【 20 】

图 20



フロントページの続き

- (72)発明者 小島 鉄也
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 山崎 尚徳
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 津久井 道夫

- (56)参考文献 特開平10-243679(JP,A)
特開平5-199794(JP,A)
特開2013-085377(JP,A)
特開平2-206390(JP,A)
特表2015-518362(JP,A)
米国特許出願公開第2015/0207439(US,A1)
特開2014-187859(JP,A)
特開2001-292592(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P25/08
H02P 6/10
H02P21/06