

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-196095

(P2012-196095A)

(43) 公開日 平成24年10月11日(2012.10.11)

(51) Int.Cl.  
H02P 25/08 (2006.01)

F I  
H02P 7/00 501

テーマコード(参考)  
5H501

審査請求有 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2011-59860 (P2011-59860)  
(22) 出願日 平成23年3月17日(2011.3.17)

(71) 出願人 000003207  
トヨタ自動車株式会社  
愛知県豊田市トヨタ町1番地  
(71) 出願人 000003609  
株式会社豊田中央研究所  
愛知県長久手市横道41番地の1  
(71) 出願人 000003218  
株式会社豊田自動織機  
愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地  
(74) 代理人 110001210  
特許業務法人Y K I 国際特許事務所  
(72) 発明者 山田 英治  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

最終頁に続く

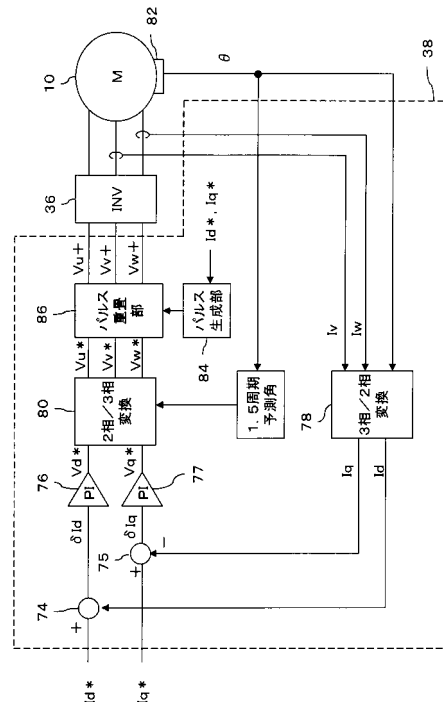
(54) 【発明の名称】 回転電機システム

(57) 【要約】

【課題】 回転電機の運転の効率化を図る。

【解決手段】 回転電機10は、複数相のステータ巻線を有し、この複数相のステータ巻線へ供給されるそれぞれ位相の異なるステータ電流に応じたステータ起磁力を発生するステータと、前記ステータにより発生されたステータ起磁力に応じて発生するロータ電流を流す複数のロータ巻線であってロータ電流の方向が一方向または反対方向に規制された複数のロータ巻線を含み、各ロータ巻線はロータ電流の方向に応じて極性が異なるロータ起磁力を発生して回転するロータと、を有する。そして、制御部38は、目標トルクに応じてステータ巻線への供給電流を制御するとともに、パルス重畳部86において、ステータ電流にパルスを重畳することで、ステータおよびロータにおける銅損が最小になるように、前記ステータ電流と、前記ロータ電流の比を調整する。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

複数相のステータ巻線を有し、この複数相のステータ巻線へ供給されるそれぞれ位相の異なるステータ電流に応じたステータ起磁力を発生するステータと、

前記ステータにより発生されたステータ起磁力に応じて発生するロータ電流によって磁極が形成されるようにロータ巻線が巻かれたロータと、

前記ロータ電流の流れる方向を一方向に規制することによって前記磁極の極性を規制する規制部と、

前記ステータ電流を制御する制御部と、

を有し、

前記制御部は、目標トルクに応じてステータ巻線への供給電流を制御するとともに、前記ステータ電流にパルスを重ねることで、ステータおよびロータにおける銅損が最小になるように、前記ステータ電流と、前記ロータ電流の比を調整することを特徴とする回転電機システム。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の回転電機システムであって、

前記制御部は、前記ステータ電流とロータ電流の比を所定値に制御することを特徴とする回転電機システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ステータ巻線を有するステータと、ロータ巻線を有するロータを含み、ステータ電流を制御してロータを回転させる回転電機システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来から、特許文献 1 に記載されているように、ロータにロータ巻線を設けるとともに、ステータで発生した空間高調波を含む回転磁界によりロータ巻線に誘導電流を生じさせ、ロータ回転トルクを発生させて、ロータを回転する回転電機が知られている。

## 【0003】

このような回転電機によれば、磁石が不要であり、比較的安価で効率的な回転電機を得ることができる。

## 【0004】

なお、本発明に関連する先行技術文献として、特許文献 1 の他に特許文献 2 ~ 4 が挙げられる。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献 1】特開 2009 - 112091 号公報

【特許文献 2】特開 2007 - 185082 号公報

【特許文献 3】特開 2010 - 98908 号公報

【特許文献 4】特開 2010 - 110079 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

ここで、回転電機では、その効率を向上したいという要求がある。特に、車両に搭載するものでは、車載電池の電力を使用するため、できるだけ損失を小さくしたい。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

本発明は、複数相のステータ巻線を有し、この複数相のステータ巻線へ供給されるそれぞれ位相の異なるステータ電流に応じたステータ起磁力を発生するステータと、前記ステ

10

20

30

40

50

ータにより発生されたステータ起磁力に応じて発生するロータ電流によって磁極が形成されるようにロータ巻線が巻かれたロータと、前記ロータ電流の流れる方向を一方向に規制することによって前記磁極の極性を規制する規制部と、前記ステータ電流を制御する制御部と、を有し、前記制御部は、目標トルクに応じてステータ巻線への供給電流を制御するとともに、前記ステータ電流にパルスを重ねることで、ステータおよびロータにおける銅損が最小になるように、前記ステータ電流と、前記ロータ電流の比を調整することを特徴とする。

【0008】

また、前記制御部は、前記ステータ電流とロータ電流の比を所定値に制御することが好適である。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、ステータ電流にパルスを重ねることで、ステータおよびロータにおける銅損が最小になるように、前記ステータ電流と、前記ロータ電流の比を調整することができる。従って、回転電機の効率を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施形態に係る回転電機システムの概略構成を示す図である。

【図2】本発明の実施形態において、ステータとロータとの対向する部分の一部を示す略図である。

【図3】本発明の実施の形態において、ロータ中に磁束が流れる様子を示す模式図である。

【図4】本発明の実施の形態において、制御装置の構成を示すブロック図である。

【図5】ロータ電流と、ステータ電流に応じた出力トルクと、損失を示す図である。

【図6】パルスの重畳とロータ電流の関係を示す図である。

【図7】パルスの重畳とロータ電流の関係を示す図である。

【図8】銅損が最小となるロータ電流、ステータ電流を示す図である。

【図9】本発明の他の実施の形態において、ロータ巻線に流れる電流の様子を示す模式図である。

【図10】本発明の他の実施の形態において、ロータ巻線、共通巻線に流れる電流の様子を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の実施形態について、図面に基づいて説明する。

【0012】

図1は、実施形態に係る回転電機システムの全体構成を示す図である。回転電機システム34は、電動機または発電機として機能する回転電機10と、回転電機10への駆動電流を制御するインバータ36と、インバータ36のスイッチングを制御する制御装置38と、蓄電装置40とを備える。なお、回転電機10は、モータ、モータ・ジェネレータとも呼ばれる。

【0013】

このような回転電機システム34は、例えば、車両用走行動力発生装置として車両に搭載される。車両としては、エンジンと走行用モータとを駆動源として備えるハイブリッド車、燃料電池車、電気自動車等が挙げられる。

【0014】

蓄電装置40は、通常リチウムイオン電池や、ニッケル水素電池など充放電可能な二次電池により構成される。蓄電装置40の出力電圧は、例えば300～500V程度であり、この出力がインバータ36に供給される。ここで、蓄電装置40とインバータ36との間にDC/DCコンバータを配置して、蓄電装置40の電圧を昇圧してインバータ36に供給可能とすることも好適である。この場合には、回転電機10の出力トルクに応じてイ

10

20

30

40

50

ンバータ36の入力電圧を変更することもできる。

【0015】

蓄電装置40の正極及び負極は、インバータ36の正極母線と負極母線とにそれぞれ接続されており、この正極母線と負極母線間にはコンデンサ68が接続されて、正極母線と負極母線間の電圧（インバータ入力電圧）を安定化させている。

【0016】

インバータ36は、U相、V相、W相の3相のアームAu, Av, Awを備え、各相アームAu, Av, Awは、それぞれ2つのスイッチング素子Swを直列に接続して構成されている。スイッチング素子Swには、通常IGBT等のパワートランジスタが用いられる。また、各スイッチング素子Swには、スイッチング素子Swが流す電流の方向と反対方向の電流を流すためのダイオードDiが並列接続されている。そして、各アームAu, Av, Awの midpoint は、回転電機10の対応する相のステータ巻線28u, 28v, 28wの一端側に接続されている。ステータ巻線28u, 28v, 28wは、同じ相のステータ巻線同士は互いに直列に接続され、異なる相のステータ巻線28u, 28v, 28wの他端は共通接続され、ここが中性点になっている。

【0017】

制御装置38は、例えば車両のアクセルペダルセンサ（図示せず）等から入力される出力トルク指令信号に応じて回転電機10の目標トルクを算出し、回転電機10の出力トルクが目標トルクに一致するように、各スイッチング素子Swのスイッチング動作を制御する。

【0018】

このために、制御装置38には、3相のうち、少なくとも2相のステータ巻線（例えば28v, 28w）側に設けられた電流センサ70で検出された電流値を表す信号と、レゾルバ等の回転角度検出部82（図4）で検出された回転電機10のロータ14の位置（回転角度）を表す信号とがそれぞれ入力される。そして、制御装置38は、ロータ14の回転角度に応じてスイッチング素子Swのオンオフを制御して各相のステータ巻線28u, 28v, 28wへの電流の位相を制御するとともに、スイッチング素子SwをPWM制御して各相のステータ巻線28u, 28v, 28wに流れる電流の振幅を制御することにより、回転電機10の出力トルクを制御する。

【0019】

なお、制御装置38は、CPU、メモリ等を有するマイクロコンピュータを含むもので、機能ごとに分割された複数の制御装置により構成することもできる。

【0020】

このように、制御装置38は、インバータ36を構成する各スイッチング素子Swのスイッチングにより蓄電装置40からの直流電力を、U相、V相、W相の3相の交流電力に変換して、ステータ巻線28u, 28v, 28wの各相に供給する。従って、ステータ巻線28u, 28v, 28wに流す交流電流の位相（電流進角）および振幅を制御することで、ロータ14（図2）の出力トルクを制御できる。

【0021】

「回転電機の構成」

図2に、回転電機10の構成が示されている。このように、回転電機10は、互いに径方向に対向配置されたステータ12と内側に同心配置されたロータ14とを備える。

【0022】

ステータ12では、円環状のステータコア26の周方向複数個所に中心方向に向くティース30が所定間隔をおいて設けられ、ここにステータ巻線28u, 28v, 28wが集中巻きで巻装されている。

【0023】

一方、ロータ14では、円筒状のロータコア16の周方向複数個所に半径方向外側に向けて突出された突極19が設けられ、周方向の1つおきの、第1の組の突極19に巻装した複数の第1ロータ巻線42nが第1ロータ巻線回路44を構成する。また、第1の組の

10

20

30

40

50

突極 19 に隣接する第 2 の組の突極 19 に巻装した複数の第 2 ロータ巻線 42s が第 2 ロータ巻線回路 46 を構成する。そして、第 1 ロータ巻線回路 44 には、1 つのダイオード 21n が配置され、第 2 ロータ巻線回路 46 には 1 つのダイオード 21s が配置され、これによって第 1 ロータ巻線回路 44 と、第 2 ロータ巻線回路 46 における電流方向が決定される。なお、この構成は、電流方向の規制という点では、各突極 19 に巻装された第 1 ロータ巻線 42n と、第 2 ロータ巻線 42s に、それぞれ 1 ずつのダイオード 21n, 21s を接続したのと同じである。

#### 【0024】

そして、ステータ 12 で生成される空間高調波を含む回転磁界による誘導起電力により、対応するロータ巻線 42n, 42s にそれぞれ一方向の電流が流れ、ロータ 14 の周方向に隣り合うロータ巻線 42n, 42s に流れる電流の方向が、交互に異なることになり、隣り合う突極 19 の極性は反対になる。図示の状態では、第 1 ロータ巻線回路 44 の突極 19 の先端には N 極、第 2 ロータ巻線回路 46 の突極 19 の先端側には S 極が形成される。

10

#### 【0025】

ここで、ロータ 14 の周方向に関するロータ巻線 42n, 42s の幅  $w$  (ロータ巻線 42 の中心が形成する円の直径) の和 ( $w \times$  突極 19 の数  $p$ ) は、ロータ 14 の電気角で  $180^\circ$  に相当する幅 ( $\times r$  (半径)) よりも短く設定し、ロータ巻線 42n, 42s は、それぞれ突極 19 に短節巻きで巻装している。より好ましくは、ロータ 14 の周方向に関するロータ巻線 42n, 42s の幅の和  $w \times p$  は、ロータ 14 の電気角で  $90^\circ$  に相当する幅 ( $\times r / 2$ ) に等しく、あるいはほぼ等しくしている。

20

#### 【0026】

ロータ 14 の隣り合う 2 つの突極 19 を考えると、図 3 に模式図で示すように、2 つの突極 19 に巻装されたロータ巻線 42n, 42s にダイオード 21n, 21s で方向を規制された誘導電流が流れ、図 3 に矢印で示すように磁束が流れ、各突極 19 が隣り合う突極 19 同士が異なる磁極として磁化する。ダイオード 21n, 21s により電流が流れる方向は決定されているため、各突極 19 は常に同じ極性の磁極に磁化されることになる。

#### 【0027】

##### 「制御装置の構成」

図 4 は制御装置 38 のうち、インバータ制御部の構成を示す図である。制御装置 38 は、電流指令算出部 (図示せず) と、パルス生成部 84、パルス重畳部 86 と、減算部 74, 75 と、PI 演算部 76, 77 と、3 相 / 2 相変換部 78 と、2 相 / 3 相変換部 80 と、図示しない PWM 信号生成部及びゲート回路とを含む。また、回転電機 10 には、回転角度検出部 82 が設けられ、ロータ位置 (角度) が検出される。

30

#### 【0028】

電流指令算出部は、予め作成されたテーブル等に当たって、ユーザから入力される加速指示 (出力トルク指令) に応じて算出される回転電機 10 のトルク指令値 (目標トルク) に応じて、周知のベクトル制御における d 軸、q 軸に対応する電流指令値  $I_d^*$ ,  $I_q^*$  を算出する。図 2 に示すように、d 軸は、回転電機 10 の周方向に関してロータ巻線 42n, 42s の巻回中心軸方向、q 軸は d 軸に対し電気角で  $90^\circ$  進んだ方向である。

40

#### 【0029】

3 相 / 2 相変換部 78 は、回転電機 10 に設けられた回転角度検出部 82 により検出された回転電機 10 の回転角度と、電流センサ 70 により検出された 2 相の電流 (例えば V 相、W 相の電流  $I_v$ ,  $I_w$ ) とから、2 相の電流である d 軸電流値  $I_d$ 、q 軸電流値  $I_q$  とを算出する。

#### 【0030】

電流指令算出部において算出される電流指令値  $I_d^*$ ,  $I_q^*$  は、それぞれ減算部 74, 75 に供給され、ここで 3 相 / 2 相変換部 78 からの d 軸電流  $I_d$  との偏差  $I_{d'}$ ,  $I_{q'}$  が求められ、これが PI 演算部 76, 77 に入力される。

50

## 【 0 0 3 1 】

P I 演算部 7 6 , 7 7 は、それぞれに入力された偏差  $I_d$  ,  $I_q$  について、所定ゲインによる P I 演算を行って、計測した d 軸電流、q 軸電流を、目標に合致させる、d 軸電圧指令値  $V_d^*$ 、q 軸電圧指令値  $V_q^*$  を算出する。

## 【 0 0 3 2 】

2 相 / 3 相変換部 8 0 は、P I 演算部 7 6 , 7 7 から入力された各電圧指令値  $V_d^*$  ,  $V_q^*$  に基づいて、回転電機 1 0 の回転角度 から得られた、1 . 5 制御周期後に位置すると予測される予測角から、u 相、v 相、w 相の 3 相の電圧指令値  $V_u^*$  ,  $V_v^*$  ,  $V_w^*$  に変換する。

## 【 0 0 3 3 】

これら電圧指令値  $V_u^*$  ,  $V_v^*$  ,  $V_w^*$  はパルス重畳部 8 6 に入力され、ここでパルス生成部 8 4 から供給されるパルスが重畳され、パルスが重畳された各相の電圧指令  $V_{u+}$  ,  $V_{v+}$  ,  $V_{w+}$  値に変換される。なお、指令値についてのパルスの重畳であり、パルスに対応する数値の加算または減算によってパルスが重畳される。また、パルス生成部 8 4 では、ベクトル制御により決定された d 軸電流指令値、q 軸電流指令値から、対応するステータ電流およびロータ電流を計算し、この比が予め定められた値になるように、各相のステータ電流に重畳するパルスを生成するが、これについては後述する。このように、ステータ電流と、ロータ電流の比は、1 つのトルク指令に応じたトルクを発生するために必要なステータ電流と、ロータ電流の比であり、ステータ起磁力と、ロータ起磁力の比と同義である。ステータ電流と、ロータ電流の比は、ステータの 1 つの磁極について、所定の起磁力を得るためのステータ電流と、ロータの 1 つの磁極に所定の起磁力を得るためのロータ電流の比と考えるとよいが、回転している状態では、どの磁極もほぼ同一の状態におかれているため、回転電機全体としてのステータ側に所定の起磁力を得るための電流と、ロータ側に所定の起磁力を得るための電流と考えるとよい。

## 【 0 0 3 4 】

電圧指令値  $V_{u+}$  ,  $V_{v+}$  ,  $V_{w+}$  は、図示しない P W M 信号生成部で対応するデューティ比の P W M 信号に変換され、P W M 信号は、図示しないゲート回路に出力される。ゲート回路は、各相の P W M 信号に応じて対応するスイッチング素子  $S_w$  をオンオフ制御する。このようにして、制御装置 3 8 は、ステータ巻線  $28_u$  ,  $28_v$  ,  $28_w$  を制御して、回転電機 1 0 の d 軸電流  $I_d$ 、q 軸電流  $I_q$  が電流指令値  $I_d^*$  ,  $I_q^*$  に一致するようにインバータ 3 6 が制御され、回転電機 1 0 の出力トルクが目標トルクに一致するように制御される。

## 【 0 0 3 5 】

なお、図 4 においては、各相の電圧指令値  $V_u^*$  ,  $V_v^*$  ,  $V_w^*$  に対し、パルスを重畳したが、電流指令値  $I_d^*$  ,  $I_q^*$  に重畳してもよい。

## 【 0 0 3 6 】

「パルス電流の重畳」

ここで、回転電機 1 0 の出力トルクについて考えると、この出力トルクは、  
(出力トルク) = (誘導電流によるトルク) + (リラクタンストルク)  
である。これを式で表すと、次のようになる。

$$(出力トルク) = p_n [ (M_{r_q} \sin / 6 N_r N_s) A T_r \cdot A T_s + \{ ( (L_q - L_d) \sin 2 ) / 3 N_s^2 \} A T_s^2 ]$$

## 【 0 0 3 7 】

ここで、 $p_n$  は極対数 ( 8 極であれば 4 )、 $M_{r_q}$  は相互インダクタンス、 $L_q$  ,  $L_d$  はそれぞれ q 軸、d 軸のインダクタンス、 は位相 ( 電気進角 )、 $N_r$  ,  $N_s$  はそれぞれロータ巻線、ステータ巻線の巻数である。

## 【 0 0 3 8 】

そして、回転電機 1 0 の銅損は、  
(トータル銅損) = (ロータ銅損) + (ステータ銅損)  
であり、これを式で表すと次のようになる。

10

20

30

40

50

$$(\text{トータル銅損}) = p_n \{ (L_r / 2 S_r) A T_r^2 + (2 L_s / 3 S_s) A T_s^2 \}$$

【0039】  
ここで、 $p_n$  は巻線の抵抗率、 $S_r$ 、 $S_s$  はそれぞれロータ巻線、ステータ巻線の断面積、 $L_r$ 、 $L_s$  はそれぞれロータ巻線、ステータ巻線の長さである。

【0040】

なお、 $A T_r$ 、 $A T_s$  は、それぞれロータ起磁力、ステータ起磁力であるが、それぞれの巻数  $N_r$ 、 $N_s$  で除算することで、ロータ電流、ステータ電流となり、巻数  $N_r$ 、 $N_s$  は予めわかっているため、ロータ起磁力  $A T_r$ 、ステータ起磁力  $A T_s$  の比は、基本的にロータ電流とステータ電流の比と同じことになる。従って、以下の説明における、ロータ起磁力、ステータ起磁力は、ロータ電流、ステータ電流と読み替えることができる。

10

【0041】

ここで、上述の2つの式からわかるように、出力トルクはロータ起磁力およびステータ起磁力によって決定され、またトータル銅損もロータ起磁力およびステータ起磁力によって決定される。

【0042】

そこで、出力トルクと、トータル銅損の関係を調べた結果を図5に示す。図において、横軸がステータ起磁力（ステータ電流）、縦軸がロータ起磁力（ロータ電流）であり、破線で示したのが等損失（トータル損失）ライン、実線で示したのが等トルクラインである。すなわち、等トルクラインは、出力トルクが一定のラインであり、等損失ラインはステータとロータのトータルの銅損が一定のラインである。1つの出力トルクを得る場合において、最も損失が少ないのが効率のよい回転電機の駆動となり、図において楕円で囲った領域が、損失（トータル銅損）が最小になる領域と考えられる。なお、この例の計算結果では、図中引き出し線で示した等トルクライン、等損失ラインが、それぞれトルク = 50 Nm、損失 = 850 W のラインである。

20

【0043】

この例によれば、ロータ電流 / ステータ電流をほぼ一定の値とすることで、効率を最大にできることがわかる。図において、破線で示す縦線の間隔と横線の間隔が同一の大きさとすれば、ロータ電流 / ステータ電流を 1.2 程度とするのがよいことになる。

【0044】

図6、図7には、1つの相のステータ電流と、ロータ電流の状態が示してある。ステータ電流にパルスが重畳されていない場合、ロータ電流は、下図において実線で示したように、正弦波状のステータ電流の変化に応じた磁界の影響で、所定の電流が流れる。ところが、ステータ電流にパルスが印加されると、パルスによるステータ電流の変化に応じて、ロータ巻線に鎖交する磁束が大きく変化し、これに応じたロータ電流が流れる。

30

【0045】

図6の例では、ステータ電流に電流を減少させるパルスを重畳する。この例では、振幅の最も大きい、電気角90度、270度の位置に凹部となるパルスを重畳している。これによって、ロータ電流はステータ電流の急激な減少に応じた磁束の減少に応じて増加し、その後のステータ電流の急激な増加に応じて大きく減少し、その後パルスなしの状態のロータ電流に戻る。パルスによる最も急激な変化は、ロータ電流を減少させる方向の磁束変化であり、このようなパルスの重畳によって、ロータ平均電流は減少することになる。

40

【0046】

また、このタイミングは、他の2相の極性が反対で、1/2の大きさの電流がそれぞれ流れるタイミングであり、各相の電流についてアンバランスになることを防止できる。例えば、U相の電流にパルスを重畳した場合には、V相、W相の電流は、極性が反対で、大きさが1/2の電流にそれぞれなる。UVWの3相の電流について、すべて同じタイミングで、パルスを重畳することで、各相の電流量をバランスすることが可能となるため、すべての相の電流にパルスを重畳することが好ましい。一方、パルスの重畳は、1周期毎にすべて行う必要はなく、3周期に1度パルスを重畳することを各相において行ったり、さらに、少ない頻度で行ってもよい。

50

## 【 0 0 4 7 】

また、重畳するパルスの大きさにより、ロータ電流を変更できるので、重畳するパルスの大きさを目標に応じて決定することが好適であるが、パルス重畳の頻度を変更することでロータ電流を変更してもよい。さらに、重畳するパルスの大きさと、パルス重畳の頻度の両方を制御することが特に好適である。

## 【 0 0 4 8 】

図7の例では、ステータ電流に重畳されるパルスは、ステータ電流を増加させる波形となっている。従って、このようなパルスの重畳によって、ロータ平均電流は増加する。なお、パルス重畳のタイミングも図6と同様にすることが好適である。

## 【 0 0 4 9 】

ここで、パルスの重畳によってステータ電流が変化するが、ステータ電流自体はPWM制御によって任意に制御できる。そして、回転電機システムが、目標トルクに応じてフィードバック制御されるため、出力トルクが目標トルクより小さければステータ電流が増加され、出力トルクが目標トルクより大きければステータ電流が減少されて、出力トルクが目標トルクに維持される。

## 【 0 0 5 0 】

また、パルスの大きさとロータ電流の変化量の関係は、例えば回転数など運転状態を含め予め調べておき、マップなどに記憶しておくことで、適切なロータ電流制御を行うことができる。なお、ロータ14に電流計を設け、出力をスリップリングなどで取り出せば、実際のロータ電流を計測することも可能である。

## 【 0 0 5 1 】

上述のように、一定のトルクを得るためには、対応するロータ起磁力（ロータ電流）とステータ起磁力（ステータ電流）が必要であり、通常の場合ステータ起磁力とロータ起磁力の比は、回転電機10の構成によって決定されてしまうので、変更することはできない。

## 【 0 0 5 2 】

ところが、本実施形態では、パルスの重畳によって、ステータ電流の変化に比べ、ロータ電流を大きく変化させることが可能であり、ロータ電流を任意に制御することができる。

## 【 0 0 5 3 】

すなわち、本実施形態では、パルスの重畳という手段を用いることによって、ステータ起磁力（ステータ電流）とロータ起磁力（ロータ電流）の比を変更する。そして、同じトルクを得る際のトータル銅損が最小の値となるように、ステータ起磁力とロータ起磁力を設定する。これによって、回転電機の効率を上昇することができ、損失を減少することができる。

## 【 0 0 5 4 】

図8に示したように、パルスを重畳しない場合のロータ電流とステータ電流がa点であれば、ロータ電流を減少することで、トータル損失が最も低いb点に移動することができる。パルスを重畳しない場合のロータ電流とステータ電流がc点であれば、ロータ電流を増加することで、トータル損失が最も低いb点に移動することができる。

## 【 0 0 5 5 】

実施形態の回転電機において、各種の実験を行ったところ、図5に示すように、出力トルクが変わっても、最小銅損となるロータ電流とステータ電流の比はあまり変化しないことがわかっている。また、パルスの重畳とロータ電流の関係も予め調べることが可能である。そこで、出力トルクと、その際の重畳パルスの関係を予めマップなどとして記憶しておき、パルス生成部84において必要なパルスを発生するとよい。

## 【 0 0 5 6 】

また、回転電機の回転数に応じて、最適なロータ電流とステータ電流の比は変化する。そこで、回転数を考慮して、最適なロータ電流とステータ電流の比を記憶しておき、回転数に基づいて重畳するパルスを変更することも好適である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 7 】

さらに、本実施形態では、ロータ起磁力と、ステータ起磁力を銅損が最も小さくなるように制御している。このような制御を行うと、ステータおよびロータにおける磁束も最適なものになり、従って鉄損の最適化も図ることができる。

## 【 0 0 5 8 】

図 9 には、ロータ巻線についての他の構成例が示してある。この例では、図において左側に示された突極（ティース）19n にロータ巻線 42n が巻回され、図において右側に示された突極（ティース）19s にロータ巻線 42s が巻回されている。また、これらロータ巻線 42n, 42s の一端には、ダイオード 21n, 21s のアノードがそれぞれ接続され、これらダイオード 21n, 21s のカソード同士が接続されている。そして、このダイオード 21n, 21s のカソード同士の接続点には、ロータ巻線 42n が巻回された突極 19 の根元側に巻回された共通巻線 92n の一端が接続され、この共通巻線 92n の他端は、ロータ巻線 42s が巻回された突極 19 の根元側に巻回された共通巻線 92s の一端に接続されている。さらに、この共通巻線 92s の他端がロータ巻線 42n, 42s の他端に共通接続されている。

10

## 【 0 0 5 9 】

このような構成により、ロータ巻線 42n には、ダイオード 21n で規制される方向の電流のみが流れ、この電流によってロータ巻線 42n が巻回される突極 19n は N 極に励磁され、ロータ巻線 42s には、ダイオード 21s で規制される方向の電流のみが流れ、この電流によってロータ巻線 42s が巻回される突極 19s は S 極に励磁される。また、共通巻線 92n, 92s は直列接続されているため、ダイオード 21n, 21s のカソードから流れてくる方向の電流が供給巻線 92n, 92s を順に流れるが、これらの電流によって、共通巻線 92n はそれが巻回されている突極 19n を N 極に励磁し、共通巻線 92n はそれが巻回されている突極 19s を S 極に励磁する。

20

## 【 0 0 6 0 】

従って、ロータ巻線 42n に誘導電流が流れると、この電流がダイオード 21n を介し、共通巻線 92n, 92s を流れ、共通巻線 92n に流れる電流によって突極 19n が N 極に励磁されるとともに、共通巻線 92s に流れる電流によって、突極 19s が S 極に励磁される。

## 【 0 0 6 1 】

すなわち、図 10 に示すように、ステータ巻線によって生起された回転磁界によって突極 19n が N 極に励磁されるタイミングでは、ロータ巻線 42n、共通巻線 92n, 92s に誘導電流が流れる。ステータ巻線によって生起された回転磁界によって突極 19s が S 極に励磁されるタイミングでは、ロータ巻線 42s、共通巻線 92n, 92s に誘導電流が流れる。従って、いずれのタイミングにおいても、誘導電流により突極 19n, 19s がそれぞれ N 極、S 極に励磁されることになり、ロータ巻線 42n に誘導電流が流れるタイミングおよびロータ巻線 42s に電流が流れるタイミングのいずれにおいても、巻線のターン数を大きくとれ、誘導電流を低減することが可能になる。従って、ロータ側の巻線における銅損を低減することが可能になる。

30

## 【 0 0 6 2 】

例えば、共通巻線 92n, 92s を利用しない場合のロータ巻線 42n, 42s の巻回数が 60 ターンであり、この例において、ロータ巻線 42n, 42s の巻回数をそれぞれ 20 ターン、共通巻線 92n, 92s の巻回数をそれぞれ 40 ターンとすると、本例におけば、常に 100 ターンの巻線に誘導電流を流すことになる。この場合、ロータ巻線 42n, 42s に流れる電流を 40 % 程度低減することが可能になる。

40

## 【 0 0 6 3 】

なお、突極 19n を N 極に励磁し、突極 19s を S 極に励磁するのであれば、ダイオード 21n, 21s、ロータ巻線 42n, 42s の巻回方向、共通巻線 92n, 92s の巻回方向はどのような態様としてもよい。

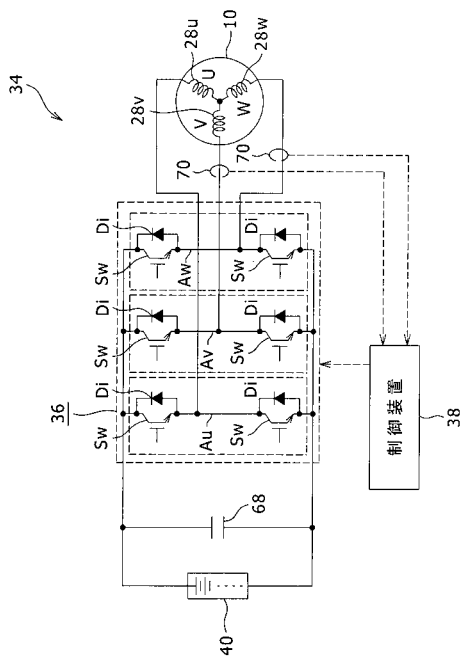
## 【 符号の説明 】

50

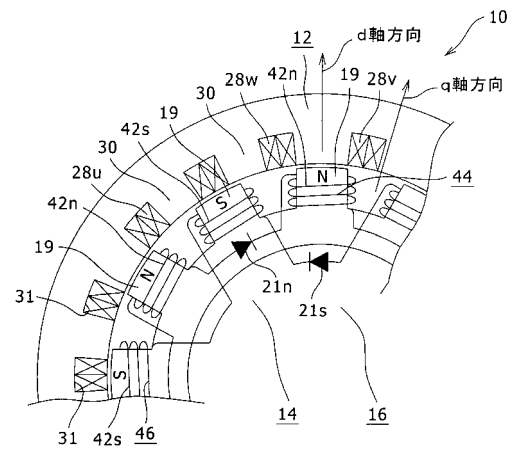
【 0 0 6 4 】

10 回転電機、12 ステータ、14 ロータ、16 ロータコア、19 突極、21 (21n, 21s) ダイオード、26 ステータコア、28 (28u, 28v, 28w) ステータ巻線、30 ティース、34 回転電機システム、36 インバータ、38 制御装置、40 蓄電装置、42 (42n, 42s) ロータ巻線、44 第1ロータ巻線回路、46 第2ロータ巻線回路、68 コンデンサ、70 電流センサ、72 パルス生成部、74, 75 減算部、76, 77 PI演算部、78 3相/2相変換部、80 2相/3相変換部、82 回転角度検出部、84 パルス生成部、86 パルス重畳部。

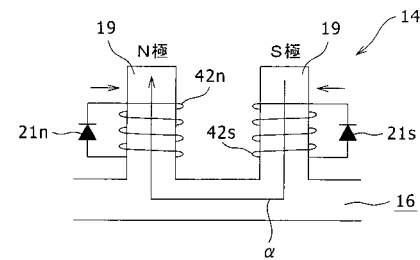
【 図 1 】



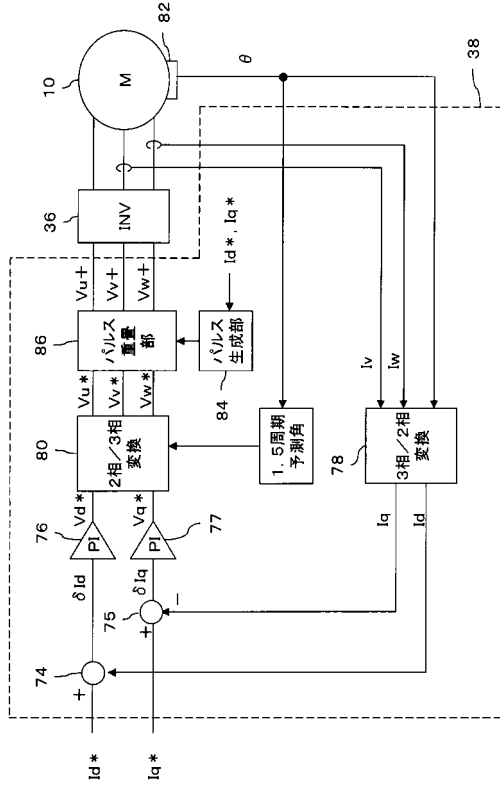
【 図 2 】



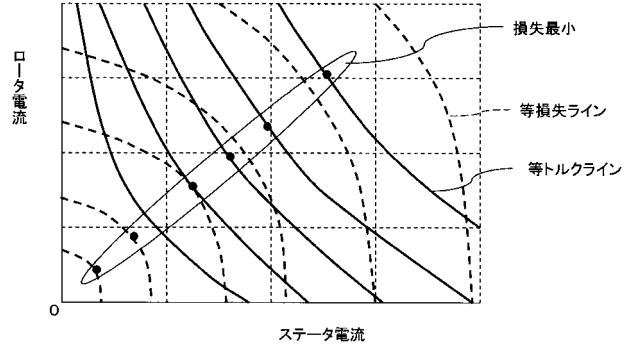
【 図 3 】



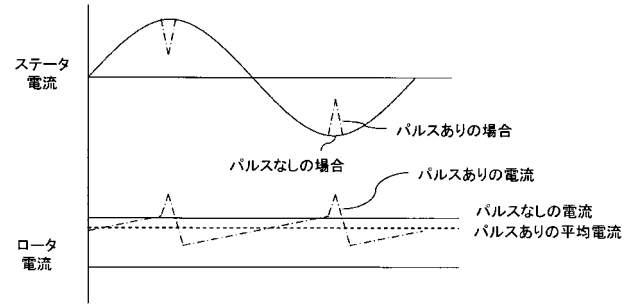
【 図 4 】



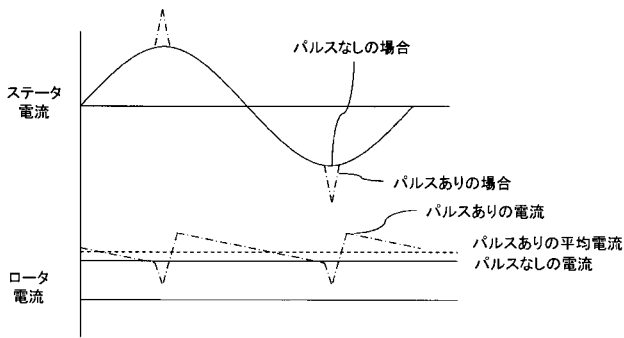
【 図 5 】



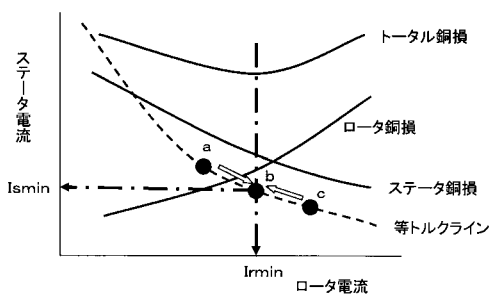
【 図 6 】



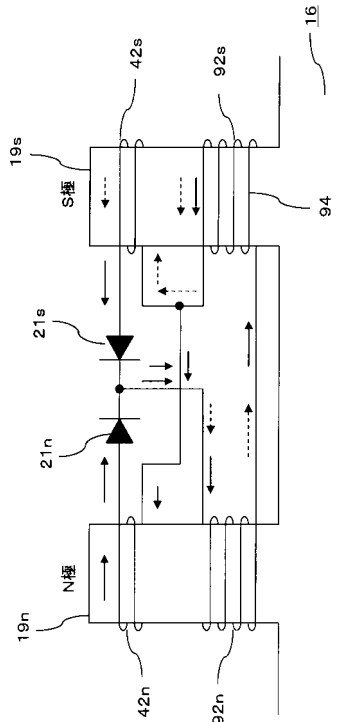
【 図 7 】



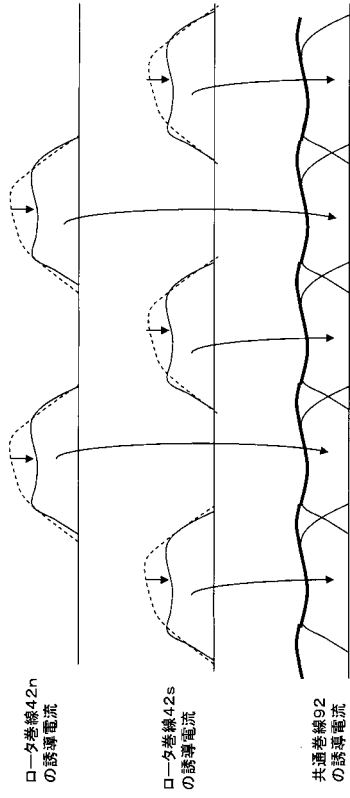
【 図 8 】



【 図 9 】



【図 10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 平本 健二

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 中井 英雄

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 蓑島 紀元

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会社豊田自動織機内

Fターム(参考) 5H501 AA20 BB02 CC04 DD09 GG05 HA09 HB08 HB16 JJ03 JJ24  
LL22 LL35