

(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2010-81663

(P2010-81663A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02P 21/00 (2006.01)	H02P 5/408 ZHVC	5H115
H02P 27/04 (2006.01)	H02P 6/02 351J	5H505
H02P 6/08 (2006.01)	B6OL 11/14	5H560
B6OL 11/14 (2006.01)	B6OL 9/18 J	
B6OL 9/18 (2006.01)	B6OK 6/20 320	

審査請求 未請求 請求項の数 9 OL (全 19 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-243738 (P2008-243738)  
 (22) 出願日 平成20年9月24日 (2008.9.24)

(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  
 (74) 代理人 100075258  
 弁理士 吉田 研二  
 (74) 代理人 100096976  
 弁理士 石田 純  
 (72) 発明者 伊藤 武志  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内  
 (72) 発明者 小川 崇  
 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

最終頁に続く

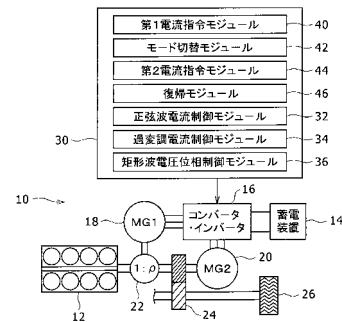
(54) 【発明の名称】 回転電機制御システム

(57) 【要約】

【課題】 回転電機制御システムにおいて、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードへの切替を滑らかに行うことである。

【解決手段】 回転電機制御システム10の制御部30は、d-q平面上において、回転電機を最大効率で運転できる最大効率特性線上で第1電流指令を実行する第1電流指令モジュール40と、回転電機の動作点が最大効率特性線よりも遅角側に予め設定された位相差を有する切替ラインを越えるときに矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替えるモード切替モジュール42と、過変調電流制御モードに切り替えた後、切替ライン上で第2電流指令を実行する第2電流指令モジュール44と、所定期間の間切替ライン上で第2電流指令を実行された後、再び最大効率特性線上における第1電流指令の実行に戻す復帰モジュール46とを備える。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

正弦波電流制御モードと過変調電流制御モードと矩形波電圧位相制御モードとの間で制御を切り替える回転電機制御システムであって、

直交する d 軸と q 軸とで構成される d q 平面上において、回転電機を最大効率で運転できる d 軸電流と q 軸電流の電流組を結んで得られる最大効率特性線上で、第 1 電流指令を実行する第 1 電流指令手段と、

d q 平面上で、回転電機の動作点が最大効率特性線よりも遅角側に予め設定された位相差を有する切替ラインを越えるときに矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替えるモード切替手段と、

過変調電流制御モードに切り替えた後、予め設定された所定期間の間は、切替ライン上で第 2 電流指令を実行する第 2 電流指令手段と、

を備えることを特徴とする回転電機制御システム。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の回転電機制御システムにおいて、

第 2 電流指令手段によって所定期間の間切替ライン上で第 2 電流指令を実行された後、再び最大効率特性線上における第 1 電流指令の実行に戻す復帰手段を備えることを特徴とする回転電機制御システム。

**【請求項 3】**

請求項 2 に記載の回転電機制御システムにおいて、

復帰手段は、過変調電流制御モードから矩形波電圧指令制御モードへ制御を切り替えることで発生するチャタリングを防止できる遅れ時間に応じた時定数で制御周期を長めになまし変更して、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことを特徴とする回転電機制御システム。

**【請求項 4】**

請求項 2 に記載の回転電機制御システムにおいて、

復帰手段は、予め設定された電流指令値の変化率範囲内で切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことを特徴とする回転電機制御システム。

**【請求項 5】**

請求項 2 に記載の回転電機制御システムにおいて、

d q 平面上で最大効率特性線よりも遅角側で、切替ラインよりも進角側に予め設定される中間特性線上で電流指令を実行する中間電流指令実行手段を備え、

復帰手段は、切替ライン上から中間特性線上の電流指令の実行を経由して最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことを特徴とする回転電機制御システム。

**【請求項 6】**

請求項 2 に記載の回転電機制御システムにおいて、

復帰手段は、トルク一定の条件の下で、切替ライン上の第 2 電流指令値とこれに対応する最大効率特性線上の第 1 電流指令値との差である電流指令偏差が、予め設定される電流偏差閾値以下となったときに、同じ制御周期内で瞬時的に切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことを特徴とする回転電機制御システム。

**【請求項 7】**

請求項 2 に記載の回転電機制御システムにおいて、

復帰手段は、d q 平面上で、最大効率特性線に対応して予め計算によって求められる d 軸電圧と q 軸電圧の電圧組を結んで得られる第 1 電圧指令特性線と、切替ラインに対応して予め計算によって求められる d 軸電圧と q 軸電圧の電圧組を結んで得られる第 2 電圧指令特性線とが交差する電圧指令値に対応する電流指令値になったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことを特徴とする回転電機制御システム。

**【請求項 8】**

請求項 7 に記載の回転電機制御システムにおいて、

復帰手段は、トルク一定の条件の下で、切替ライン上の第 2 電流指令値に対応する第 2

10

20

30

40

50

電圧指令特性線上の第2電圧指令値と、最大効率特性線上の第1電流指令値に対応する第1電圧指令特性線上の第1電圧指令値との偏差である電圧偏差がゼロとなる前に予め設定される電圧偏差閾値以下となったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことを特徴とする回転電機制御システム。

【請求項9】

請求項2に記載の回転電機制御システムにおいて、

復帰手段は、トルク一定の条件の下で、最大効率特性線上の第1電流指令値に対応する第1電圧指令特性線上の第1電圧指令値が正弦波電流制御モード実行領域に入ったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことを特徴とする回転電機制御システム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機制御システムに係り、特に、正弦波電流制御モードと過変調電流制御モードと矩形波電圧位相制御モードとの間で制御を切り替える回転電機制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

回転電機をインバータによって駆動する場合に、その制御方法として、正弦波電流制御モードと過変調電流制御モードと矩形波電圧位相制御モードとを使い分けることが行われている。すなわち、回転電機の高出力化と小型化とを両立させるためには、1パルススイッチングを用いる矩形波電圧位相制御モードが必要であり、低速領域で優れた特性を有する正弦波電流制御モードと、中速領域で用いられる過変調電流制御モードとの間のモード切替を行いながら、最適に回転電機を制御している。

20

【0003】

ここで、正弦波電流制御モードと過変調電流制御モードとは、電流フィードバック制御であり、電圧指令と搬送波(キャリア)とを比較することでパルス幅変調(Pulse Width Modulation: PWM)パターンを回転電機に出力する制御である。一方、矩形波電圧位相制御モードは、電気角に応じて1パルススイッチング波形を回転電機に出力する制御であり、電圧振幅は最大値に固定され、位相を制御することでトルク

30

【0004】

正弦波電流制御モードから過変調電流制御モード、過変調電流制御モードから矩形波電圧位相制御モードの3つのモードの間の切替は、変調率、あるいは変調率に相当する電圧指令振幅によって行われるが、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードへの切替は、矩形波電圧位相制御モードにおいて電圧指令振幅が一定であるので、電流指令に対する実電流の位相によって切替のタイミングを判定することで行われる。

【0005】

例えば、特許文献1には、モータ駆動システムの制御装置において、従来では、矩形波電圧制御方式は $i_u$ ,  $i_v$ ,  $i_w$ と電圧 $v$ とからパワーを計算しトルク推定し、トルク偏差をトルク指令値に対しフィードバックしており、一方でPWM変調制御方式では、 $i_u$ ,  $i_v$ ,  $i_w$ から $i_d$ ,  $i_q$ に変換し、これから $i_d$ 偏差,  $i_q$ 偏差を $i_d$ 指令値と $i_q$ 指令値に対しフィードバックしていることから、PWM変調制御方式と矩形波電圧制御方式の切替に際し出力トルクに変動が生じることを指摘している。そして、ここでは、PWM変調制御方式と矩形波電圧制御方式のいずれも電流センサと回転角センサとから求められる $i_d$ ,  $i_q$ を用いることが開示され、これによって、出力トルク制御性を確保することができると述べられている。

40

【0006】

特許文献2には、交流電動機の駆動制御装置として、電圧振幅が基準三角波のピーク値の1.00倍を超えたらPWM電流制御モードから過変調制御モードに切り替え、電圧振

50

幅が基準三角波のピーク値の1.27倍を超えたら矩形波電圧位相制御モードに切り替え、一方実電流位相の絶対値が電流指令位相の絶対値未満となったら矩形波電圧位相制御モードから過変調制御モードに切り替えることが述べられている。

【0007】

そして、d軸電流及びq軸電流には周期的なノイズや高調波が含まれるので測定電流にローパスフィルタ処理を行うが、このフィルタ処理のため、矩形波電圧位相制御モードから過変調制御モードへの切り替えが遅れることがあり、電流位相のハンチング等を引き起こし、制御が不安定的になることを指摘している。そこで、ここでは、誘起電圧等を加味した必要電圧振幅 $V_R$ と基準三角波のピーク値とを比較し、さらにチャタリングを起こさないようなオフセット値を設けることで、矩形波電圧位相制御モードから過変調制御モードへの切り替えの遅れが生じないようにすることが開示されている。

10

【0008】

特許文献3には、モータ駆動システムとして、入力側である直流電源側で受入れ可能な電力を超えて交流モータが発電することにより過剰電力が発生する場合に、過大な回生電力によりモータ駆動システム内部に過電圧が発生することがあり、必要に応じ、交流モータでの電力消費を増大させて入力側への回生電力を抑制する構成が求められると述べられている。そして、PWM制御方式の場合、電流振幅について電流位相と出力トルクとの関係で最高効率動作点を結ぶ最適効率特性線を求め、この最適効率特性線から電流位相をずらした電流動作点の集合として損失増加特性線を得て、この上で動作させることが開示されている。また、矩形波電圧制御方式では、モータ印加電圧の操作量が位相のみとなり、電流位相は調整不能な固定値となるので、トルクについてモータ必要電圧（モータ線間電圧）と電流位相との関係において、電流動作点を進角側に設定してモータ必要電圧を低下させ、PWM制御方式に従ったモータ電流制御を行い、トルク制御性を確保した上でモータ駆動効率を低下させることが開示されている。

20

【0009】

【特許文献1】特開2007-159368号公報

【特許文献2】特開2008-11682号公報

【特許文献3】特開2007-151336号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0010】

上記のように、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードへの切替は、電流指令に対する実電流の位相によって切替のタイミングを判定することで行われる。このときに、切替判定は、電流指令を基準として、dq平面上における進角側で行うこととすると、モード切替の際に制御がチャタリングを起こし、電流乱れが生じる。そこで、切替判定は、電流指令を基準としてdq平面上で遅角側において行われる。

【0011】

このように電流指令を基準として遅角側にモード切替判定ラインを設定しても、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードへの切替の直後において、切替判定ラインの状態である実電流と、戻すべき電流指令との間の偏差が大きい。この偏差のため、過変調電流制御モードにおいて演算される電圧指令が、矩形波電圧位相制御モードの最後の電圧指令である最大振幅とそのときの位相に対して急変することが生じる。これによって、回転電機に実際に出力されるPWMパターンの対称性が大きく崩れ、電流が乱れ、トルク低下を招くことが起こる。

40

【0012】

本発明の目的は、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードへの切替を滑らかに行うことを可能とする回転電機制御システムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明に係る回転電機制御システムは、正弦波電流制御モードと過変調電流制御モード

50

と矩形波電圧位相制御モードとの間で制御を切り替える回転電機制御システムであって、直交するd軸とq軸とで構成されるdq平面上において、回転電機を最大効率で運転できるd軸電流とq軸電流の電流組を結んで得られる最大効率特性線上で、第1電流指令を実行する第1電流指令手段と、dq平面上で、回転電機の動作点が最大効率特性線よりも遅角側に予め設定された位相差を有する切替ラインを越えるときに矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替えるモード切替手段と、過変調電流制御モードに切り替えた後、予め設定された所定期間の間は、切替ライン上で第2電流指令を実行する第2電流指令手段と、を備えることを特徴とする。

【0014】

また、本発明に係る回転電機制御システムにおいて、第2電流指令手段によって所定期間の間切替ライン上で第2電流指令を実行された後、再び最大効率特性線上における第1電流指令の実行に戻す復帰手段を備えることが好ましい。

10

【0015】

また、本発明に係る回転電機制御システムにおいて、復帰手段は、過変調電流制御モードから矩形波電圧指令制御モードへ制御を切り替えることで発生するチャタリングを防止できる遅れ時間に応じた時定数で制御周期を長めになまし変更して、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことが好ましい。

【0016】

また、本発明に係る回転電機制御システムにおいて、復帰手段は、予め設定された電流指令値の変化率範囲内で切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことが好ましい。

20

【0017】

また、本発明に係る回転電機制御システムにおいて、dq平面上で最大効率特性線よりも遅角側で、切替ラインよりも進角側に予め設定される中間特性線上で電流指令を実行する中間電流指令実行手段を備え、復帰手段は、切替ライン上から中間特性線上の電流指令の実行を經由して最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことが好ましい。

【0018】

また、本発明に係る回転電機制御システムにおいて、復帰手段は、トルク一定の条件下で、切替ライン上の第2電流指令値とこれに対応する最大効率特性線上の第1電流指令値との差である電流指令偏差が、予め設定される電流偏差閾値以下となったときに、同じ制御周期内で瞬時的に切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことが好ましい。

30

【0019】

また、本発明に係る回転電機制御システムにおいて、復帰手段は、dq平面上で、最大効率特性線に対応して予め計算によって求められるd軸電圧とq軸電圧の電圧組を結んで得られる第1電圧指令特性線と、切替ラインに対応して予め計算によって求められるd軸電圧とq軸電圧の電圧組を結んで得られる第2電圧指令特性線とが交差する電圧指令値に対応する電流指令値になったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことが好ましい。

【0020】

また、本発明に係る回転電機制御システムにおいて、復帰手段は、トルク一定の条件下で、切替ライン上の第2電流指令値に対応する第2電圧指令特性線上の第2電圧指令値と、最大効率特性線上の第1電流指令値に対応する第1電圧指令特性線上の第1電圧指令値との偏差である電圧偏差がゼロとなる前に予め設定される電圧偏差閾値以下となったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことが好ましい。

40

【0021】

また、本発明に係る回転電機制御システムにおいて、復帰手段は、トルク一定の条件下で、最大効率特性線上の第1電流指令値に対応する第1電圧指令特性線上の第1電圧指令値が正弦波電流制御モード実行領域に入ったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すことが好ましい。

50

## 【発明の効果】

## 【0022】

上記構成により、回転電機制御システムは、 $dq$ 平面上において最大効率特性線と、最大効率特性線よりも遅角側に設定される切替ラインとが設けられる。そして、最大効率特性線上で第1電流指令が実行され、回転電機の動作点が最大効率特性線側から移動して切替ラインを越えるときに矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替えが行われる。従来技術では、この切替が行われると、最大効率特性線上の第1電流指令の実行に戻される。上記構成では、この切替ラインが電流指令特性線として兼用され、回転電機の動作点が切替ライン上に達すると、そこで切替ライン上において第2電流指令が実行される。

10

## 【0023】

切替ライン上において第2電流指令が実行されると、矩形波電圧位相制御モードの最後の電圧指令である最大振幅とそのときの位相に対し、過変調電流制御モードにおいて演算される電圧指令が滑らかに接続される。これによって回転電機に実際に出力されるPWMパターンの対称性が崩れることが抑制され、電流が乱れることが抑制され、トルク低下を招くことが抑制される。

## 【0024】

また、回転電機制御システムにおいて、第2電流指令手段によって切替ライン上で第2電流指令を所定期間実行された後に、再び最大効率特性線上における第1電流指令の実行に戻されるので、トルク特性等のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制することができる。

20

## 【0025】

また、回転電機制御システムにおいて、過変調電流制御モードから矩形波電圧指令制御モードへ制御を切り替えることで発生するチャタリングを防止できる遅れ時間に応じた時定数で制御周期を長めになまし変更して、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行に戻す。これによって、チャタリングを防止し、トルク特性等のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制できる。

## 【0026】

また、回転電機制御システムにおいて、予め設定された電流指令値の変化率範囲内で切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行に戻すので、電流指令の急変を抑制でき、トルク特性等のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制できる。

30

## 【0027】

また、回転電機制御システムにおいて、切替ライン上から中間特性線上の電流指令の実行を経由して最大効率特性線上に電流指令の実行に戻すので、電流指令の急変を抑制でき、トルク特性等のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制できる。

## 【0028】

また、回転電機制御システムにおいて、トルク一定の条件の下で、切替ライン上の第2電流指令値とこれに対応する最大効率特性線上の第1電流指令値との差である電流指令偏差が、予め設定される電流偏差閾値以下となったときに、同じ制御周期内で瞬時的に切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行に戻す。電流指令偏差が小さくなれば、電流指令の急変を抑制でき、トルク特性等のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制できる。

40

## 【0029】

また、回転電機制御システムにおいて、第1電流指令が実行される最大効率特性線に対応する第1電圧指令特性線と、第2電流指令が実行される切替ラインに対応する第2電圧指令特性線とが交差する電圧指令値に対応する電流指令値になったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行に戻す。これによって、戻す前後における電圧偏差をなくすことができ、電流指令の復帰を滑らかなものとでき、トルク特性等のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制できる。

## 【0030】

50

また、回転電機制御システムにおいて、第2電圧指令値と第1電圧指令値との偏差である電圧偏差が予め設定される電圧偏差閾値以下となったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すので、戻す前後における電圧偏差を小さくでき、トルク特性等のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制できる。電流指令の復帰を滑らかなものとできる。

【0031】

また、回転電機制御システムにおいて、最大効率特性線上の第1電流指令値に対応する第1電圧指令特性線上の第1電圧指令値が正弦波電流制御モード実行領域に入ったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻す。これによって、戻すときのトルク特性等のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制できる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下に図面を用いて、本発明に係る実施の形態につき、詳細に説明する。以下では、回転電機制御システムが用いられるものとして回転電機が搭載される車両を説明するが、これは例示であって、正弦波電流制御モードと過変調電流制御モードと矩形波電圧位相制御モードとの間で制御を切り替える回転電機制御システムを用いるものであればよい。また、この車両には、車両には、回転電機として、1台でモータ機能と発電機機能とを有するモータ・ジェネレータを2台用いるものとして説明するが、これは例示であって、モータ機能のみを有する回転電機を1台、発電機機能のみを有する回転電機を1台用いるものとしてもよい。また、モータ・ジェネレータを1台用いるものとしてもよく、3台以上用いるものとしてもよい。

20

【0033】

以下では、全ての図面において同様の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、本文中の説明においては、必要に応じそれ以前に述べた符号を用いるものとする。

【0034】

図1は、車両に搭載される回転電機についての回転電機制御システム10についてその構成を示す図である。車両は、エンジン12と、蓄電装置14とを動力源とし、第1の回転電機(MG1)18と第2の回転電機(MG2)20とを備え、さらに、蓄電装置14と2つの回転電機18, 20との間に接続されて設けられるコンバータ・インバータである電源回路16と、エンジン12と第1の回転電機18と第2の回転電機20との間の動力分配を行うための動力分配機構22と、動力分配機構22と第2の回転電機20との間に設けられる変速機24と、変速機24から駆動力を受け取る車輪あるいはタイヤ26と、これらの要素の作動を全体として制御する制御部30を備えて構成される。

30

【0035】

回転電機制御システム10は、これらの構成要素のうち、主に、2つの回転電機18, 20と、電源回路16と、制御部30を含む部分に相当する。これら以外の構成要素は、いわゆるハイブリッド車両等によく用いられる要素であるので、詳細な説明を省略する。

【0036】

第1の回転電機(MG1)18と第2の回転電機(MG2)20は、車両に搭載されるモータ・ジェネレータ(MG)であって、蓄電装置14から電力が供給されるときはモータとして機能し、エンジン12による駆動時、あるいは車両の制動時には発電機として機能する3相同期型回転電機である。

40

【0037】

ここで、第1の回転電機(MG1)18は、エンジン12によって駆動されて発電機として用いられ、発電された電力を電源回路16のコンバータ・インバータを介して蓄電装置14に供給するものとして用いられる。また、第2の回転電機(MG2)20は、車両走行のために用いられ、力行時には蓄電装置14から直流電力の供給を受けて電源回路16のコンバータ・インバータを介して変換された交流電力によってモータとして機能して車両のタイヤ26を駆動し、制動時には発電機として機能して回生エネルギーを回収し、電

50

源回路 16 のコンバータ・インバータを介して蓄電装置 14 に供給するものとする。

【0038】

電源回路 16 は、上記のように、蓄電装置 14 と 2 つの回転電機 18, 20 との間に配置される回路であって、コンバータ、インバータの他、平滑コンデンサ等を含んで構成される。

【0039】

電源回路 16 に含まれるコンバータは、蓄電装置 14 とインバータの間に配置され、電圧変換機能を有する回路である。コンバータとしては、リアクトルと制御部 30 の制御の下で作動するスイッチング素子等を含んで構成することができる。電圧変換機能としては、蓄電装置側の電圧をリアクトルのエネルギー蓄積作用を利用して昇圧しインバータ側に供給する昇圧機能と、インバータ側からの電力を蓄電装置側に降圧して充電電力として供給する降圧機能とを有する。昇圧機能に着目するときは、コンバータを昇圧回路と呼ぶことができる。

10

【0040】

電源回路 16 に含まれるインバータは、交流電力と直流電力との間の電力変換を行う回路である。インバータは、制御部 30 の制御の下で作動する複数のスイッチング素子を含んで構成される。上記のように、第 1 の回転電機 (MG1) 18 と第 2 の回転電機 (MG2) 20 は、用途も動作点条件も異なるので、インバータは、その内部で 2 つのインバータ回路で構成されている。2 つのインバータ回路のうち 1 つは第 1 の回転電機 (MG1) 18 の作動用のインバータ回路であり、もう 1 つは第 2 の回転電機 (MG2) 20 の作動用のインバータ回路である。

20

【0041】

上記のように、第 1 の回転電機 (MG1) 18 を発電機として機能させるときは、その作動用インバータ回路は、第 1 の回転電機 (MG1) 18 からの交流 3 相回生電力を直流電力に変換し、蓄電装置側に充電電流として供給する交直変換機能を有する。また、第 2 の回転電機 (MG2) 20 の作動用インバータ回路は、車両が力行のとき、蓄電装置側からの直流電力を交流 3 相駆動電力に変換し、第 2 の回転電機 (MG2) 20 に駆動電力として供給する直交変換機能と、車両が制動のとき、逆に第 2 の回転電機 (MG2) 20 からの交流 3 相回生電力を直流電力に変換し、蓄電装置側に充電電流として供給する交直変換機能とを有する。

30

【0042】

制御部 30 は、上記の各要素の作動を全体として制御する機能を有する。例えば、エンジン 12 の作動を制御する機能、2 つの回転電機 18, 20 の作動を制御する機能、電源回路 16 の作動を制御する機能、動力分配機構 22 の作動を制御する機能、変速機 24 の作動を制御する機能等を有する。

【0043】

かかる制御部 30 は、車両の搭載に適した制御装置、例えば車載用コンピュータによって構成することができる。制御部 30 を 1 つのコンピュータで構成することもできるが、必要な処理速度が各構成要素によって異なること等を考慮し、複数のコンピュータにこれらの機能を分担させることもできる。例えば、エンジン 12 の作動を制御する機能をエンジン電気制御ユニット (Electrical Control Unit: ECU) に分担させ、2 つの回転電機 18, 20 の作動を制御する機能を MG-ECU に分担させ、電源回路 16 の作動を制御する機能を PCU (Power Control Unit) に分担させ、全体を統合 ECU で制御する等の構成とすることもできる。

40

【0044】

図 1 において、制御部 30 は、これらの機能のうち、特に回転電機制御機能として、2 つの回転電機 18, 20 の制御モードの切替を滑らかに行うための機能を有する部分が示されている。すなわち、制御部 30 は、2 つの回転電機 18, 20 の制御について、正弦波電流制御モードを実行する正弦波電流制御モジュール 32、過変調電流制御モードを実行する過変調電流制御モジュール 34、矩形波電圧位相制御モードを実行する矩形波電圧

50

位相制御モジュール 36 を含んで構成される。

【0045】

また、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに滑らかに移行するために、第1電流指令モジュール40、モード切替モジュール42、第2電流指令モジュール44、復帰モジュール46を含んで構成される。

【0046】

第1電流指令モジュール40は、直交するd軸とq軸とで構成されるdq平面上において、回転電機を最大効率で運転できるd軸電流とq軸電流の電流組を結んで得られる最大効率特性線上で、第1電流指令を実行する機能を有する。d軸、q軸、dq平面については後述する。

10

【0047】

モード切替モジュール42は、dq平面上で、回転電機の動作点が最大効率特性線よりも遅角側に予め設定された位相差を有する切替ラインを越えるときに矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替える機能を有する。

【0048】

第2電流指令モジュール44は、過変調電流制御モードに切り替えた後、予め設定された所定期間の間は、切替ライン上で第2電流指令を実行する機能を有する。すなわち、ここでは、制御モードの切替判断に用いられる切替ラインが、そのまま第2電流指令としてのd軸電流とq軸電流の電流組を結んだ電流指令特性線として用いられる。

20

【0049】

復帰モジュール46は、第2電流指令モジュールによって所定期間の間切替ライン上で第2電流指令を実行された後、再び最大効率特性線上における第1電流指令の実行に戻す機能を有する。

【0050】

これらの機能は、ソフトウェアを実行することで実現でき、具体的には、回転電機制御プログラムの中の制御モード切替パートを実行することで実現できる。これらの機能の一部をハードウェアによって実現するものとしてもよい。

【0051】

上記構成の作用、特に制御部30の各機能について以下に詳細に説明する。なお、2つの回転電機18, 20の制御は特に区別がないので、以下では、第2の回転電機20に代表させて、その制御モードの切替等について説明する。

30

【0052】

最初に、正弦波電流制御モード、過変調電流制御モード、矩形波電圧位相制御モードについて説明する。

【0053】

正弦波電流制御モードと過変調電流制御モードとは、電流フィードバック制御であり、電圧指令と搬送波(キャリア)とを比較することでパルス幅変調(Pulse Width Modulation: PWM)パターンを回転電機20に出力する制御である。一方、矩形波電圧位相制御モードは、電気角に応じて1パルススイッチング波形を回転電機20に出力する制御であり、電圧振幅は最大値に固定され、位相を制御することでトルクをフィードバック制御している。上記のように、これら3つの制御モードは、それぞれ、正弦波電流制御モジュール32、過変調電流制御モジュール34、矩形波電圧位相制御モジュール36によって実行される。

40

【0054】

正弦波電流制御モード、過変調電流制御モード、矩形波電圧位相制御モードの3つのモードの間の切替は、変調率、あるいは変調率に相当する電圧指令振幅によって行われる。変調率とは、インバータの出力電圧に対する信号振幅の比である。正弦波と三角波の比較によるPWM方式の場合は、変調率が $\{(3)^{1/2}\} / 2 \{(2)^{1/2}\} = 0.61$ であり、矩形波を信号振幅とするときの変調率が $\{(6)^{1/2}\} / = 0.78$ である。

【0055】

50

このように、回転電機 20 を高出力にするには、変調率を大きくできる矩形波電圧位相制御の方が適している。一方で、正弦波電流制御モード、過変調電流制御モードにおいては、PWM 技術によって形成される擬似正弦波を用いるので、矩形波電圧位相制御モードに比べ、応答を速くすることができる。これらのことから、低速領域では、正弦波電流制御モード、中速領域では過変調電流制御モード、高速領域で矩形波電圧位相制御モードを用いることが好ましい。

#### 【0056】

図 2 は、回転電機の動作点に応じて制御モードが選択される様子を説明する図である。この図は、回転電機 20 の回転数を横軸に、トルクを縦軸にとり、その最大トルク特性線 50 を示し、さらに、最大トルク特性線 50 で示される作動領域においてどの制御モードが用いられるかを示す図である。この図に示されるように、低速側に正弦波電流制御モード作動領域 52 が、高速側に矩形波電圧位相制御モード作動領域 56 が、その中間に過変調電流制御モード作動領域 54 がそれぞれ設定されている。

10

#### 【0057】

次に、これら 3 つの制御モードの切替について説明する。図 2 で示されたように、回転数とトルクで与えられる回転電機 20 の動作点の状態に応じて、制御モードの切替が行われる。速度とトルクを次第に上げて行くにつれて、正弦波電流制御モードから過変調電流制御モード、過変調電流制御モードから矩形波電圧位相制御モードへと制御モードを切り替える。その場合に、以下のように変調率によって、制御モードの切替を行うものとする。すなわち、変調率が 0.61 以下のときに正弦波電流制御モード、変調率が 0.61 から 0.78 の間は過変調電流制御モード、変調率が 0.78 となれば矩形波電圧位相制御モードを用いるように制御モードを切り替える。

20

#### 【0058】

これと逆方向に制御モードを切り替えるときも変調率を用いることができるが、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードへの切替は、矩形波電圧位相制御モードにおいて電圧指令振幅が一定であるので、電流指令に対する実電流の位相によって切替のタイミングを判定することで行われる。

#### 【0059】

図 3 は、電流指令に対する実電流の位相によって切替のタイミングを判定するための切替ラインを説明するための図である。ここでは、回転電機 20 のベクトル制御に用いられる d 軸と q 軸によって規定される d q 平面が示される。回転界磁型の 3 相同期型電動機に用いられるベクトル制御では、回転子の磁極が形成する磁束の方向が d 軸にとられ、d 軸に直交する軸が q 軸に取られる。d q 平面は、この d 軸と q 軸とを直交する座標軸として構成される平面である。

30

#### 【0060】

ここで、回転電機 20 の d 軸インダクタンスを  $L_d$ 、q 軸インダクタンスを  $L_q$ 、巻線抵抗を  $R$ 、電気角速度を  $\omega$ 、逆起電力定数を  $k_e$ 、d 軸電流を  $I_d$ 、q 軸電流を  $I_q$ 、d 軸電圧を  $V_d$ 、q 軸電圧を  $V_q$  とすると、回転電機の理論式は以下のように示すことができる。

#### 【0061】

すなわち、d 軸電圧  $V_d$  は、 $V_d = R \times I_d - k_e \times \omega \times L_q \times I_q$  で与えられる。また、q 軸電圧  $V_q$  は、 $V_q = R \times I_q + k_e \times \omega \times L_d \times I_d$  で与えられる。また、回転電機 20 の極数を  $p$  とし、トルク  $T$  は、 $T = p (I_q + p (L_d - L_q) I_d I_q)$  で与えられる。

40

#### 【0062】

d 軸電流と q 軸電流とで規定される電流ベクトルの絶対値  $I_a$  を  $I_a = (I_d^2 + I_q^2)^{1/2}$  とし、電流位相  $\theta$  を  $\theta = \tan^{-1}(I_q / I_d)$  とすると、トルク  $T$  の式が電流位相  $\theta$  で表すことができる。すなわち、トルク  $T = p I_a^2 \sin \theta + (1/2) \times p (L_d - L_q) I_a^2 \times \sin 2\theta$  で与えられる。この式は、電流位相  $\theta$  でトルク  $T$  が制御できることを示している。すなわち、電流位相とは、電流における d 軸電流成分と q 軸電流成分との間の位相を示すものである。

#### 【0063】

50

このようにして、電流位相を制御することで回転電機 20 のトルクを制御できる。なお、最大トルクを与える電流位相は、上記トルクの式を電流位相で微分してその値をゼロとおいた式に基いて求めることができる。すなわち、 $\theta = \cos^{-1} \left\{ \left[ -\frac{L_d}{L_q} + \sqrt{\left( \frac{L_d}{L_q} \right)^2 - 8(L_d - L_q)^2} \right]^{1/2} \right\} / 4(L_d - L_q) I_a$  で最大トルクのときの電流位相が求められる。このように計算で求められる関係式に、必要な場合に適当な補正を加えて、回転電機 20 を最大効率で運転できる特性線を求めることができる。

【0064】

図 3 には、このようにして求められる最大効率特性線 62 が示される。この最大効率特性線 62 上で電流指令を実行すれば、回転電機 20 を最大効率で運転することができる。この最大効率特性線 62 上で実行される電流指令を、後に出てくる他の電流指令と区別するために、第 1 電流指令と呼ぶことにする。

10

【0065】

この最大効率特性線 62 は、最大トルクのときの電流位相を満たす d 軸電流と q 軸電流の電流組を結んで得られる特性線であるが、これらの d 軸電流、q 軸電流に対応する d 軸電圧、q 軸電圧の電圧組を結んで得られる特性線が図 3 において第 1 電圧指令特性線 72 として示されている。

【0066】

図 3 で示される最大電圧円 70 は、回転電機 20 に供給される最大電圧を示す線であり、矩形波電圧位相制御モードでは、その電圧振幅が一定のときは、この最大電圧円 70 の上で、電圧位相を制御することで出力されるトルクの大きさを制御することができる。したがって、この最大電圧円 70 の内部の第 1 電圧指令特性線 72 は、正弦波電流制御モードおよび過変調電流制御モードにおける最大効率運転のときの電圧指令の d 軸電圧と q 軸電圧の電圧組を示すものである。第 1 電流指令に対応して、この電圧指令を第 1 電圧指令と呼ぶことにする。

20

【0067】

このようにして、d q 平面を用いることで、正弦波電流制御モードおよび過変調電流制御モードにおける最大効率運転のときの第 1 電流指令が実行される最大効率特性線 62、これに対応する第 1 電圧指令が実行される第 1 電圧指令特性線 72 が示される。また、矩形波電圧位相制御モードにおける電圧指令は、最大電圧円 70 上で実行されることが示される。

30

【0068】

図 3 において示される切替ライン 64 は、d q 平面上で、最大効率特性線 62 よりも遅角側に予め設定された位相差を有する特性線である。切替ライン 64 は、このラインを越えるときに、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替えるものとする判断基準としての機能を有する。

【0069】

切替ライン 64 が最大効率特性線 62 よりも遅角側、すなわち、d q 平面で、時計方向に位相が戻されたところに設定される理由は以下の通りである。すなわち、回転電機 20 が高トルク、高回転数の状態において矩形波電圧位相制御モードで運転されており、その状態から低トルク、低回転数の状態に移行するときに、電流位相が次第に遅角側に移動する。そして、その動作点が最大効率特性線 62 と交差するようになる。

40

【0070】

矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替えた後は、この最大効率特性線 62 上で第 1 電流指令を実行すれば最大効率で回転電機 20 を運転できる。したがって、この最大効率特性線 62 よりも手前側、つまり進角側に切替ラインを設定することが考えられる。しかし、制御モードの切替を進角側で行うこととすると、モード切替の際に制御がチャタリングを起こし、電流乱れが生じることが知られている。そこで、切替判定は、第 1 電流指令が実行される最大効率特性線 62 を基準として d q 平面上で遅角側において行われ、その後、最大効率特性線 62 の上に動作点を戻すことが行われるのである。

50

## 【 0 0 7 1 】

図 3 に示される第 2 電圧指令特性線 7 4 は、切替ライン 6 4 に対応するもので、切替ライン 6 4 を構成する d 軸電流と q 軸電流の電流組に対応する d 軸電圧と q 軸電圧の電圧組を結んで得られる特性線である。

## 【 0 0 7 2 】

図 4 は、図 1 の制御部 3 0 の第 1 電流指令モジュール 4 0、モード切替モジュール 4 2、第 2 電流指令モジュール 4 6 の作用を説明する図である。図 3 で説明したように、従来技術では、切替ライン 6 4 は、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替えるものとする判断基準としての機能を有している。図 4 では、切替ライン 6 4 は、このモード切替判断基準としての機能と共に、第 2 電流指令がこのライン上で実行されるという電流指令特性線としての機能も有する。

10

## 【 0 0 7 3 】

図 4 を用いて回転電機 2 0 の動作点の軌跡を説明する。図 4 では、電流位相軌跡 8 0 と電圧位相軌跡 8 2 が示されている。矢印は、低速低トルクの状態から高速高トルクの状態になり、再び低速低トルクの状態に戻る方向を示している。

## 【 0 0 7 4 】

回転電機 2 0 が起動し、低速低トルクの状態から速度を上げトルクを上げてゆくときは、正弦波電流制御モードを用い、最大効率特性線 6 2 上で第 1 電流指令が実行される。この工程は、制御部 3 0 の正弦波電流制御モジュール 3 2 と第 1 電流指令モジュール 4 0 の機能によって実行される。

20

## 【 0 0 7 5 】

そして、中速領域になり、例えば、変調率が 0 . 6 1 を超えるようになると、過変調電流制御モードに切り替えられるが、そこでも最大効率特性線 6 2 上で第 1 電流指令が実行される。この工程は、制御部 3 0 の過変調電流制御モジュール 3 4 と第 1 電流指令モジュール 4 0 の機能によって実行される。

## 【 0 0 7 6 】

さらに速度とトルクが上がり、例えば、変調率が 0 . 7 8 を超えると、矩形波電圧位相制御モードに切り替えられ、電流位相は最大効率特性線 6 2 から進角側に離れてゆく。矩形波電圧位相制御モードでは、電圧指令が第 1 電圧指令特性線 7 2 から最大電圧円 7 0 の上に移り、電圧位相の制御によってトルクが制御される。この工程は、制御部 3 0 の矩形波電圧位相制御モジュール 3 6 の機能によって実行される。

30

## 【 0 0 7 7 】

矩形波電圧位相制御モードの状態から速度が下りトルクが下がると、上記の軌跡を逆にたどる。そして、電流位相が最大効率特性線 6 2 を超え、切替ライン 6 4 に達すると、切替ライン 6 4 のモード切替判断基準機能により、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切替が行われる。この工程は、制御部 3 0 のモード切替モジュール 4 2 の機能によって実行される。

## 【 0 0 7 8 】

そして、その切替のあとは、切替ライン 6 4 の電流指令特性線の機能により、この切替ライン 6 4 で示される電流位相特性に従った第 2 電流指令が実行される。すなわち、この切替ライン 6 4 上で、過変調電流制御モードが実行され、この切替ライン 6 4 に沿って、回転電機 2 0 が低速低トルク側に移行するように電流指令が実行される。

40

## 【 0 0 7 9 】

ここでは、従来技術のように、切替の後、すぐ最大効率特性線 6 2 上に動作点が戻されない。したがって、矩形波電圧位相制御モードの最後の電圧指令である最大振幅とそのときの位相に対し、過変調電流制御モードにおいて演算される電圧指令が滑らかに接続される。これによって、従来技術で課題となっていた回転電機に実際に出力される PWM パターンの対称性が崩れることが抑制され、また、電流が乱れることが抑制され、さらに、トルク低下を招くことが抑制される。

## 【 0 0 8 0 】

50

切替ライン 6 4 は、最大効率特性線 6 2 とは電流位相が異なるので、切替ライン 6 4 の電流組で与えられる第 2 電流指令を実行すると、最大効率特性線 6 2 で示される電流位相特性に従った第 1 電流指令の実行に比べ、回転電機 2 0 の効率はやや低下する。そこで、切替ライン 6 4 上における第 2 電流指令の実行を予め設定された所定期間の間に止め、再び最大効率特性線 6 2 上の第 1 電流指令の実行に復帰することが行われる。この工程は、制御部 3 0 の復帰モジュール 4 6 の機能によって実行される。

【 0 0 8 1 】

復帰のための所定期間が短すぎると、従来技術の課題が解消できず、長すぎると回転電機 2 0 の効率が低下する。そこで、復帰の仕方として適切なくつかなの方法を以下に説明する。

10

【 0 0 8 2 】

1 つの方法は、過変調電流制御モードから矩形波電圧指令制御モードへ制御を切り替えることで発生するチャタリングを防止できる遅れ時間に応じた時定数で制御周期を長めになまし変更して、切替ライン 6 4 上から最大効率特性線 6 2 上に電流指令の実行を戻すことである。例えば、通常の制御周期を  $t_s$  として、チャタリングを防止できる遅れ時間が  $T_s$  とすれば、 $t_s$  を  $T_s$  以上となるように、適当な時定数を定めて制御周期を長くし、ゆっくりと電流指令の変更を行う処理を行い、その長くなった制御周期を所定期間として、切替ライン 6 4 上から最大効率特性線 6 2 上に電流指令の実行を戻すものとする。

【 0 0 8 3 】

図 5 と図 6 にその様子を示す。図 5 は上記の方法で制御周期を長くして復帰を実行する場合の様子を示し、図 6 は通常の制御周期のまま復帰を実行する場合を示す図である。これらの図は、横軸に時間を取り、縦軸に電流指令の切替、トルク、d 軸電流、q 軸電流をとったものである。

20

【 0 0 8 4 】

図 5 では、制御周期になまし処理が施されて第 2 電流指令から第 1 電流指令に復帰が行われているので、d 軸電流、q 軸電流とも滑らかに変化している様子が示されている。なまし処理は、このように、電流指令の変化をゆっくりと変化させることができる。そして、第 2 電流指令から第 1 電流指令に復帰することでのトルク変動がほとんど見られない。

【 0 0 8 5 】

これに対し、図 6 に示されるように、制御周期になまし処理を施さない場合は、第 2 指令から第 1 電流指令に戻すことで、d 軸電流と q 軸電流にオーバーシュート、アンダーシュートが生じる。また、第 2 電流指令から第 1 電流指令に復帰することで、トルク変動が生じることが示されている。

30

【 0 0 8 6 】

また、予め設定された電流指令値の変化率範囲内で切替ライン 6 4 上から最大効率特性線 6 2 上に電流指令の実行を戻すものとするができる。電流指令値の変化率は、図 5 で示されるように、なまし処理と同様な内容を有するので、電流指令値の変化率範囲を、チャタリングを防止できる遅れ時間に対応できるように緩やかに設定するものとする。

【 0 0 8 7 】

また、d q 平面上で最大効率特性線 6 2 よりも遅角側で、切替ライン 6 4 よりも進角側に中間特性線を設定し、この中間特性線を経由して切替ライン 6 4 上から最大効率特性線 6 2 上に電流指令の実行を戻すものとしてもよい。図 7 は中間特性線 6 6 の設定の様子を示す図であり、図 8 は、中間特性線 6 6 上において実行される電流指令を第 3 電流指令として、第 2 電流指令から第 3 電流指令を介して第 1 電流指令に戻す手順を示すフローチャートである。

40

【 0 0 8 8 】

図 7 は、図 3、図 4 と同様の d q 平面図であり、ここでは、電流位相において、最大効率特性線 6 2 と切替ライン 6 4 との間に中間特性線 6 6 が設定される様子が示される。なお、図 7 には、等トルク特性線 6 0 がいくつか例示されている。等トルク特性線は、トルク  $T$  の式である  $T = p I_q + p (L_d - L_q) I_d I_q$  で示されるように、d q 平面で双曲

50

線に似た特性線として与えられる。

【 0 0 8 9 】

図 8 のフローチャートに従えば、切替ライン 6 4 上において第 2 電流指令が選択されるとタイマ T 2 が設定されカウントダウンを始め、カウントダウンが進んでタイマ T 2 のカウントがゼロになると、中間特性線 6 6 上の第 3 電流指令が選択される。第 3 電流指令が選択されると共にタイマ T 3 が設定されカウントダウンを始める。そしてカウントダウンが進んでタイマ T 3 のカウントがゼロになると、最大効率特性線 6 2 上の第 1 電流指令が選択される。

【 0 0 9 0 】

このようにして、切替ライン 6 4 上でタイマ T 2 がカウントダウンするまで第 2 電流指令が順次実行され、その後、中間特性線 6 6 上でタイマ T 3 がカウントダウンするまで第 3 電流指令が順次実行され、その後に最大効率特性線 6 2 上の第 1 電流指令の実行に戻される。このように、時間をかけて切替ライン 6 4 上から最大効率特性線 6 2 上に電流指令の実行を戻すので、電流指令の変化に起因する d 軸電流と q 軸電流のオーバーシュート、アンダーシュート等を抑制することができる。

10

【 0 0 9 1 】

別の方法として、トルク一定の条件の下で、切替ライン 6 4 上の第 2 電流指令値とこれに対応する最大効率特性線 6 2 上の第 1 電流指令値との差である電流指令偏差が、予め設定される電流偏差閾値以下となったときに、同じ制御周期内で瞬時的に切替ライン 6 4 上から最大効率特性線 6 2 上に電流指令の実行を戻すものとできる。

20

【 0 0 9 2 】

図 5 から理解できるように、第 2 電流指令から第 1 電流指令に戻すときに電流偏差が少なければ、d 軸電流と q 軸電流のオーバーシュート、アンダーシュートも少なくなる。したがって、トルク変動が生じない程度のオーバーシュート、アンダーシュートに対応する電流偏差を予め求め、これを電流偏差閾値として設定するものとすれば、瞬時的に電流指令を変更してもトルク変動を生じないようにできる。

【 0 0 9 3 】

その様子を図 9 に示す。この図は、図 5 と図 6 と同様の図で、ここでは、第 2 電流指令から第 1 電流指令に戻すときに電流偏差が少ないので、図 5 のようになまし処理を行わなくても、d 軸電流と q 軸電流のオーバーシュート、アンダーシュートが少ない。そして、トルク変動がほとんど生じていないことが示されている。

30

【 0 0 9 4 】

また、別の方法として、d q 平面上で、第 1 電圧指令特性線 7 2 と第 2 電圧指令特性線 7 4 とが交差する電圧指令値に対応する電流指令値になったときに、切替ライン 6 4 上から最大効率特性線 6 2 上に電流指令の実行を戻すものとしてもよい。

【 0 0 9 5 】

図 10 にその様子を示す。図 9 は図 3、図 4 と同様の d q 平面図であり、ここでは、第 1 電圧指令特性線 7 2 と第 2 電圧指令特性線 7 4 とが交差する動作点 7 6 が示されている。切替ライン 6 4 上における第 2 電流指令の値が、この動作点 7 6 に対応する電流指令値になったときには、第 2 電流指令から第 1 電流指令に変更しても電圧偏差が生じない。したがって、d 軸電流と q 軸電流のオーバーシュート、アンダーシュート等を抑制することができる。

40

【 0 0 9 6 】

また、第 1 電圧指令特性線 7 2 と第 2 電圧指令特性線 7 4 とが交差する前に、つまり電圧偏差がゼロとなる前に、適当に設定された電圧偏差閾値以下に電圧偏差がなったときに、切替ライン上から最大効率特性線上に電流指令の実行を戻すものとしてもよい。電圧偏差閾値としては、トルク変動が生じない程度のオーバーシュート、アンダーシュートに対応する電圧偏差を予め求めておき、これを用いることができる。

【 0 0 9 7 】

また、第 1 電圧指令特性線上の第 1 電圧指令値が正弦波電流制御モード実行領域に入っ

50

たときに、切替ライン 6 4 上から最大効率特性線 6 2 上に電流指令の実行を戻すものとしてもよい。正弦波電流制御モード実行領域では、電圧も電流も小さく、また応答性も速いので、第 2 電流指令と第 1 電流指令との偏差も小さくなっているため、d 軸電流と q 軸電流のオーバーシュート、アンダーシュート等を抑制することができる。

【 0 0 9 8 】

このように、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードにモード切替を行う場合、制御モードの切替の後、そのまま切替ライン 6 4 上で所定期間の間、第 2 電流指令を実行し、所定期間の後に最大効率特性線 6 2 上の第 1 電圧指令に復帰させることで、d 軸電流と q 軸電流のオーバーシュート、アンダーシュートを抑制し、トルク低下を抑制することができる。

10

【 0 0 9 9 】

次に、図 1 1 から図 1 6 を用いて、上記の作用効果について、従来技術を用いた場合と比較しながら説明する。ここで、従来技術を用いた場合とは、切替ライン 6 4 が制御モード切替判断基準としての機能のみを有し、切替後は最大効率特性線 6 2 上でのみ電流指令を実行する場合のことである。

【 0 1 0 0 】

図 1 1 は、従来技術を用いた場合の d q 平面上の電流位相軌跡 8 0 を示す図である。この図に示されるように、切替ライン 6 4 において制御モードが切り替えられた後、最大効率特性線 6 2 に戻るまで、電流の乱れが大きくなることが示されている。

20

【 0 1 0 1 】

図 1 2 は、従来技術を用いた場合の d q 平面上の電圧位相軌跡 8 2 を示す図である。この図に示されるように、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切り替わると、正弦波電流制御モードにさらに切り替わるまで、電圧の乱れが大きく生じていることが示されている。

【 0 1 0 2 】

図 1 3 は、従来技術を用いた場合のトルクの状態を示す図である。ここでは、横軸に時間を取り、縦軸に時間をとって、トルク指令が大きな値から次第に小さな値となる時の様子が示されている。トルク指令が大きな値のときは矩形波電圧位相制御モードが用いられ、トルク指令が小さな値となるにつれて、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モード、さらに正弦波電流制御モードへと切替が行われる。図 1 3 では、破線で示されるトルク指令に対し、実線で示される実際に出力されるトルクが、過変調電流制御モードのところで低下している様子が示されている。

30

【 0 1 0 3 】

図 1 4 は、切替ライン 6 4 上で電流指令を実行し、所定期間の後に最大効率特性線 6 2 に電流指令を戻す場合についての電圧位相軌跡 8 2 を示す図である。ここでは、トルクがゼロの状態から最大トルクまで上昇させ、またトルクゼロの状態に戻している。図 1 4 に示されるように、第 1 電圧指令特性線に沿ってトルクを上昇させ、最大電圧円 7 0 上で矩形波電圧位相制御モードとなり、そこから過変調電流制御モードへモード切替して第 2 電圧指令特性線上で制御が行われる様子が示されている。ここで、第 2 電圧指令特性線から第 1 電圧指令特性線に戻る間の電圧に乱れがないことが示されている。図 1 4 に対応する従来技術を示す図は、図 1 2 であるが、ここでは、過変調電流制御モードにおいてかなりの電圧の乱れが認められている。

40

【 0 1 0 4 】

図 1 5 と図 1 6 は、電流制御の安定性を比較したもので、図 1 5 が従来技術の場合、図 1 6 が切替ライン 6 4 において第 2 電流指令を実行するものとした場合である。これらの図は、横軸に時間を取り、縦軸に U 相と V 相の間の相間電圧である  $V_{U=V}$  と、V 相電流である  $I_V$ 、W 相電流である  $I_W$  をとったもので、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切替が行われたときが示されている。

【 0 1 0 5 】

図 1 5 では、破線枠で囲まれた部分、すなわち、矩形波電圧位相制御モードから過変調

50

電流制御モードに切替が行われた直後において電圧波形に乱れが生じ、電流制御の安定性が低下していることが示されている。図16においては、矩形波電圧位相制御モードから過変調電流制御モードに切替が行われても、そのような電圧の乱れが生じていず、電流制御の安定性が優れていることが示されている。

【図面の簡単な説明】

【0106】

【図1】本発明に係る実施の形態における回転電機制御システムの構成を示す図である。

【図2】回転電機の動作点に応じて制御モードが選択される様子を説明する図である。

【図3】電流指令に対する実電流の位相によって切替のタイミングを判定するための切替ラインを説明するための図である。

【図4】本発明に係る実施の形態において、制御部の第1電流指令モジュール、モード切替モジュール、第2電流指令モジュールの作用を説明する図である。

【図5】本発明に係る実施の形態において、制御周期を長くして第2電流指令から第1電流指令への復帰を実行する場合の様子を示す図である。

【図6】図5と比較するもので、通常の制御周期のまま第2電流指令から第1電流指令への復帰を実行する場合を示す図である。

【図7】本発明に係る実施の形態において、中間特性線の設定の様子を示す図である。

【図8】本発明に係る実施の形態において、中間特性線を用い、第3電流指令として、第2電流指令から第3電流指令を介して第1電流指令に戻す手順を示すフローチャートである。

【図9】本発明に係る実施の形態において、第2電流指令から第1電流指令に戻すときの電流偏差が電流偏差閾値より小さい場合を示す図である。

【図10】本発明に係る実施の形態において、第1電圧指令特性線と第2電圧指令特性線とが交差する動作点を示す図である。

【図11】従来技術を用いた場合のd-q平面上の電流位相軌跡を示す図である。

【図12】従来技術を用いた場合のd-q平面上の電圧位相軌跡を示す図である。

【図13】従来技術を用いた場合のトルクの状態を示す図である。

【図14】本発明に係る実施の形態において、電圧位相軌跡を示す図である。

【図15】従来技術の場合の電流制御の安定性を説明する図である。

【図16】本発明に係る実施の形態において、電流制御の安定性を説明する図である。

【符号の説明】

【0107】

10 回転電機制御システム、12 エンジン、14 蓄電装置、16 電源回路、18, 20 回転電機、22 動力分配機構、24 変速機、26 タイヤ、30 制御部、32 正弦波電流制御モジュール、34 過変調電流制御モジュール、36 矩形波電圧位相制御モジュール、40 第1電流指令モジュール、42 モード切替モジュール、44 第2電流指令モジュール、46 復帰モジュール、50 最大トルク特性線、52 正弦波電流制御モード作動領域、54 過変調電流制御モード作動領域、56 矩形波電圧位相制御モード作動領域、60 等トルク特性線、62 最大効率特性線、64 切替ライン、66 中間特性線、70 最大電圧円、72 第1電圧指令特性線、74 第2電圧指令特性線、76 動作点、80 電流位相軌跡、82 電圧位相軌跡。

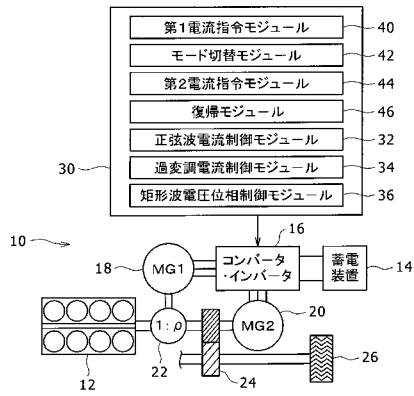
10

20

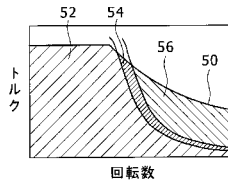
30

40

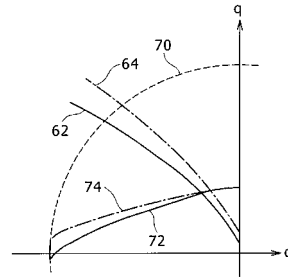
【 図 1 】



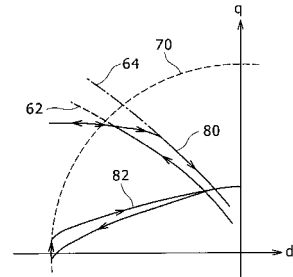
【 図 2 】



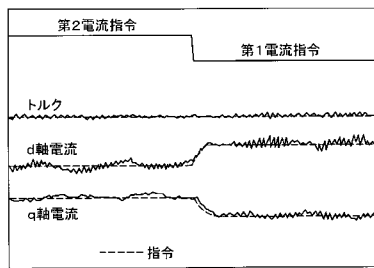
【 図 3 】



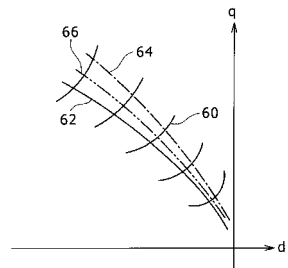
【 図 4 】



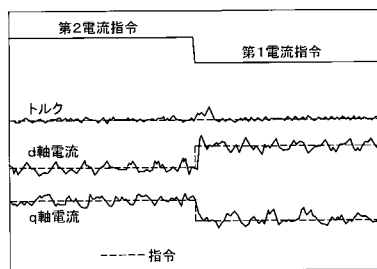
【 図 5 】



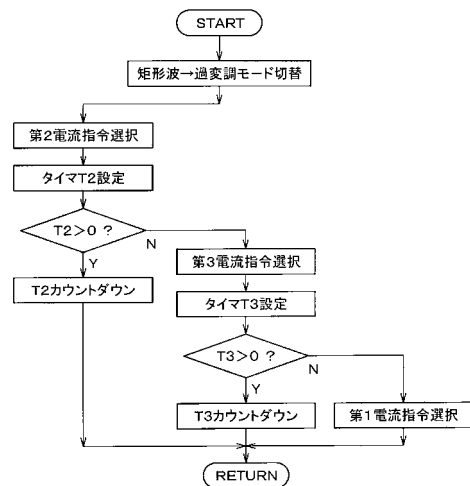
【 図 7 】



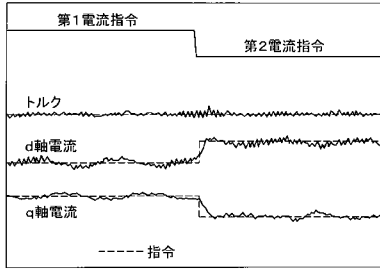
【 図 6 】



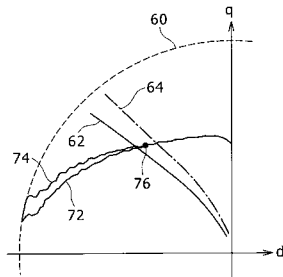
【 図 8 】



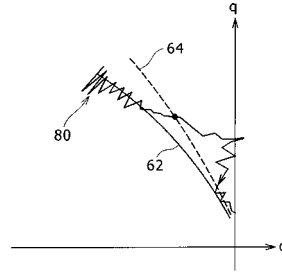
【 図 9 】



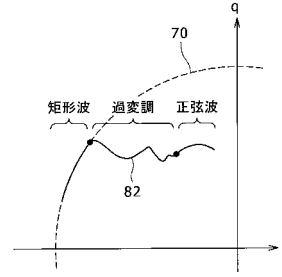
【 図 10 】



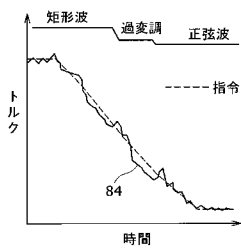
【 図 11 】



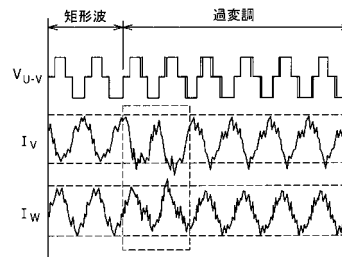
【 図 12 】



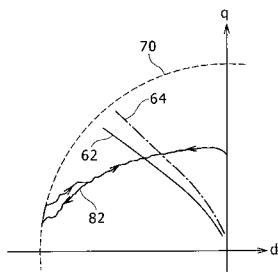
【 図 13 】



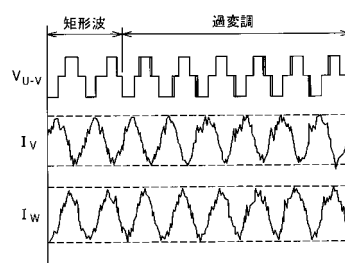
【 図 15 】



【 図 14 】



【 図 16 】



## フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>B 6 0 W 10/08 (2006.01)</b>	B 6 0 K 6/445	
<b>B 6 0 W 20/00 (2006.01)</b>	B 6 0 K 6/54	
<b>B 6 0 K 6/445 (2007.10)</b>		
<b>B 6 0 K 6/54 (2007.10)</b>		

Fターム(参考)	5H115	PA12	PC06	PG04	PI16	PI24	PI29	P002	P006	P017	PU10
		PU11	PU24	PU25	PV03	PV07	PV09	QE02	QE03	QI04	QN03
		QN09	RB08	RB22	RB26	RE13	SE04	T012			
	5H505	AA16	BB02	CC04	CC06	DD03	DD06	EE41	EE49	GG04	HB02
		JJ03	LL22								
	5H560	AA08	BB04	DC12	EB01	EC01	EC02	EC07	HB02	SS02	TT15
		XA02	XA12	XA13							