

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5744169号
(P5744169)

(45) 発行日 平成27年7月1日(2015.7.1)

(24) 登録日 平成27年5月15日(2015.5.15)

(51) Int.Cl.

HO2P 29/00 (2006.01)

F 1

HO2P 5/00

X

請求項の数 8 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2013-500437 (P2013-500437)
 (86) (22) 出願日 平成23年3月17日 (2011.3.17)
 (65) 公表番号 特表2013-523077 (P2013-523077A)
 (43) 公表日 平成25年6月13日 (2013.6.13)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2011/054047
 (87) 國際公開番号 WO2011/117139
 (87) 國際公開日 平成23年9月29日 (2011.9.29)
 審査請求日 平成24年11月26日 (2012.11.26)
 (31) 優先権主張番号 102010003094.5
 (32) 優先日 平成22年3月22日 (2010.3.22)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

前置審査

(73) 特許権者 390023711
 ローベルト ポツシユ ゲゼルシヤフト
 ミツト ベシユレンクテル ハフツング
 ROBERT BOSCH GMBH
 ドイツ連邦共和国 シュツットガルト (番地なし)
 Stuttgart, Germany
 (74) 代理人 100114890
 弁理士 アインゼル・フェリックス=ライ
 ンハルト
 (74) 代理人 100098483
 弁理士 久野 琢也
 (74) 代理人 100112793
 弁理士 高橋 佳大

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電気駆動機の出力トルクを求める方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電気駆動機(20)の出力トルク(M_{real})を求める方法であって、前記電気駆動機(20)によって消費される電流(I)を測定し、外乱トルク(M_{stoer})から補正電流(I_{korr})を計算し、前記測定された電流(I)と前記補正電流(I_{korr})から、前記電気駆動機(20)の実際の出力トルク(M_{real})を表す補正済み電流(I^*)を求め、出力する方法において、少なくとも1つの外乱トルク特性マップが前記外乱トルク(M_{stoer})の影響係数を入力量としておよび外乱トルク(M_{stoer})を出力量として有し、当該少なくとも1つの外乱トルク特性マップが前記補正電流(I_{korr})を計算するために参照される、ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記外乱トルク(M_{stoer})は、回転数及び/又は回転角度に影響される摩擦トルク及び/又はコギングトルクを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記少なくとも1つの外乱トルク特性マップは相応の測定及び/又はシミュレーションを介して求められ、記憶される、請求項1又は2に記載の方法。

【請求項 4】

前記電気駆動機(20)の理想的な出力トルク(M_{ideal})を、前記測定された電流(

10

20

I) に基づき、相応する理想的なモータモデルのモータ方程式により計算する、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

前記電気駆動機 (20) の実際の出力トルク (M_{real}) を、前記補正済み電流 (I^*) に基づき、相応する理想的なモータモデルのモータ方程式を使用して計算する、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

前記電気駆動機 (20) の実際の出力トルク (M_{real}) を表す前記補正済み電流 (I^*) を、前記電気駆動機 (20) のトルク制御及び / 又は回転数制御及び / 又は走行安全性機能のための入力量として使用する、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の方法。 10

【請求項 7】

電気駆動機 (20) の出力トルク (M_{real}) を求めるための装置であって、

前記装置 (32) は前記電気駆動機 (20) によって消費される電流 (I) を測定する手段 (34.1) と、外乱トルク (M_{stoer}) から補正電流 (I_{korr}) を計算する計算ユニット (38) とを含み、

前記装置 (32) は、前記測定された電流 (I) と前記補正電流 (I_{korr}) から、前記電気駆動機 (20) の実際の出力トルク (M_{real}) を表す補正済み電流 (I^*) を求め、出力する装置において、

前記外乱トルク (M_{stoer}) の影響係数を入力量として および前記外乱トルク (M_{stoer}) を出力量として 有する少なくとも 1 つの外乱トルク特性マップが、前記計算ユニット (38) と結合した特性マップメモリ (36) に記憶されており、 20

前記計算ユニット (38) は、前記電気駆動機 (20) の現在の回転数及び / 又は現在の回転角度に依存して、前記補正電流 (I_{korr}) を計算するための相応する外乱トルク特性マップを求める、

ことを特徴とする、装置。

【請求項 8】

機械可読媒体に記憶されたプログラムコードを有するコンピュータプログラムであって、前記プログラムを計算ユニット (32) により実行した場合に、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の方法を実行するためのプログラムコードを有することを特徴とする、コンピュータプログラム。 30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、独立請求項 1 の上位概念に属する電気駆動機の出力トルクを求める方法と、独立請求項 8 の上位概念に属する電気駆動機の出力トルクを求める相応する装置と、電気駆動機の出力トルクを求める方法を実行するためのプログラムコードを備えたコンピュータプログラム製品とに関する。

【0002】

電動機の駆動技術では、多くの場合、電動機の出力トルクを推定するために、モータ消費電流が測定される。この情報は制御目的 (ベクトル制御) 又は安全機能のために利用することができる。電流と理想的な出力トルクとの間の関係は電動機の理想的なモータモデルから求めることができる。ただし、電動機はさらに、例えば軸受摩擦、コギングトルク等のような、電動機の出力トルクを変化させかねない他のトルクを有している。従って、電動機の実際の出力トルクはもはや電動機の理想的な出力トルクと一致せず、測定された電流と電動機の実際の出力トルクとの間には直接の関係は存在しない。 40

【0003】

発明の概要

これに対して、独立請求項 1 の特徴を備えた、電気駆動機の出力トルクを求める本発明による方法は、求められた外乱トルクから補正電流を計算し、測定された電流と補正電流とから、電気駆動機の理想的な出力トルクを表す補正済み電流を求め、出力するという利 50

点を有している。

【0004】

これに対して、独立請求項8の特徴を備えた、電気駆動機の出力トルクを求める本発明による装置は、求められた外乱トルクから補正電流を計算する計算ユニットを有しており、測定された電流と補正電流とから、電気駆動機の理想的な出力トルクを表す補正済み電流を求め、出力することができるという利点を有している。

【0005】

本発明の実施形態によれば、測定された電流測定値は外乱トルクに相応する量だけ補正される。補正された電流測定の結果、理想的なモータモデルを使用して、例えば同期機、非同期機、直流モータ等として実現された電気駆動機の実際の出力トルクを推定することが可能になる。従って、有利なことに、実際の出力トルクを推定するために電流測定の結果を参照する後続のサブシステムは、より高い品質で動作することができる。各システムに合わせて補正された電流測定を行う本発明の実施形態によれば、後続のサブシステムは補正された値で標準的方法によって動作することができる。この利点は、とりわけ、サブシステムである「電動機」と「電流測定」の所産に対して権限があり、インターフェース「電流測定」において権限が終了する場合に効果を発揮する。実際の出力トルクを推定するために「電流測定」の情報を参照する後続のサブシステムは、例えば電気駆動機のトルク制御及び/又は回転数制御、又は走行安全性機能である。

10

【0006】

実際の電気駆動機は、理想的な出力トルクに外乱トルクが重畠しているという点で、理想的な電気駆動機とは異なる。理想的な出力トルクは電動機方程式から求められる。外乱トルクは実質的に例えば摩擦やコギングトルクに関係する機械的条件から求められる。これらの影響量はふつう不所望であるから、外乱量に分類される。外乱トルクは予め測定又はシミュレーションを介して求めることができ、適切な形で信号処理のために記憶しておくことができる。最後に、実際の出力トルクは理想的な出力トルクと外乱トルクの和から得られる。

20

【0007】

理想的な電気駆動機を考察する場合、理想的な出力トルクは、対応するモータ方程式によって、測定された電流から計算することができる。この場合、モータ方程式は使用される電気駆動機の種類に依存する。本発明による電流補正の目的は、理想的なモータモデルを使用して実際の出力トルクを直接求めることができるように、補正済み電流を決定することにある。本発明によれば、この目的のために、求められた外乱トルクに基づいて補正電流が決定される。最も単純な形態では、補正電流は理想的なモータモデルの逆トルク方程式から得られる。外乱トルクは、各電気駆動機ないし電動機または各モータ種について測定により求めることができ、信号処理のために適切な形でシステムに記憶しておくことができる。その結果、補正電流に関して、外乱トルクに依存した具体的な変換式が得られる。

30

【0008】

本発明の実施形態は基本的に、電動機の電流測定を拡張したものとして使用することができる。可能な使用形態としては、例えば電気的に支援される操舵システムを挙げることができる。

40

【0009】

従属請求項に記載されている手段及び発展形態によれば、独立請求項1に示されている電気駆動機の出力トルクを求める方法と、独立請求項8に示されている電気駆動機の出力トルクを求める装置の有利な改善が可能である。

【0010】

特に有利には、外乱トルクの影響係数は補正電流を計算するために考慮される少なくとも1つの外乱トルク特性マップの入力量として供給される。外乱トルクには例えば、回転数及び/又は回転角度に影響される摩擦トルク及び/又はコギングトルクが含まれる。さらには、少なくとも1つの外乱トルク特性マップを相応の測定及び/又はシミュレーション

50

ンを介して前もって求め、記憶しておいてもよい。それゆえ、外乱トルクは摩擦に関して特に電気駆動機の回転数に依存する。コギングトルクに関しては、外乱トルクは特に電気駆動機の回転角度に依存する。外乱トルク特性マップを作成し記憶することによって、有利には補正電流及び補正電流に連動する補正済み電流の迅速かつ確実な算出が可能になる。なお、上記補正済み電流は電気駆動機の実際の出力トルクを表すものである。

【0011】

本発明による方法の1つの有利な実施形態では、電気駆動機の理想的な出力トルクは、測定された電流に基づき、対応する理想的なモータモデルのモータ方程式によって計算される。また、電気駆動機の実際の出力トルクは、補正済み電流に基づき、対応する理想的なモータモデルのモータ方程式を用いて計算される。

10

【0012】

本発明による方法の別の有利な実施形態では、電気駆動機の実際の出力トルクを表す補正済み電流は、電気駆動機のトルク制御及び/又は回転数制御のための、及び/又は走行安全性機能のための入力量として使用される。有利なことに、補正済み電流を使用することによって、補正済み電流を入力量として使用する後続のサブシステムの品質が著しく改善される。

【0013】

本発明による装置の1つの有利な実施形態では、外乱トルクの影響係数を入力量として有する少なくとも1つの外乱トルク特性マップが、計算ユニットと結合した特性マップメモリに記憶されている。ここで、計算ユニットは、電気駆動機の現在の回転数及び/又は現在の回転角度に依存して、補正電流を計算するための相応する外乱トルク特性マップを求めるものである。

20

【0014】

本発明の実施形態は、回路、装置、方法、プログラムコード手段を有するデータ処理プログラム及び/又はコンピュータプログラム製品として実現することができる。それに相応して、本発明の実施形態は、完全にハードウェアとして、及び/又は、ソフトウェアとして、及び/又は、ハードウェア要素及び/又はソフトウェア要素の組合せとして実現することができる。さらに、本発明はコンピュータ可読プログラムコードを有するコンピュータ可読記憶媒体上に記憶されたコンピュータプログラム製品としても実現できる。この場合、ハードディスク、CD-ROM、光学式または磁気式メモリ素子等のような様々なコンピュータ可読記憶媒体を利用してよい。

30

【0015】

本発明の実施例を図面に示し、以下の説明においてより詳細に解説する。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】実際の電気駆動機の概略的なプロック図を示す。

【図2】本発明による装置の1実施例により、理想化された電気駆動機の概略的なプロック図を示す。

【0017】

発明の実施形態

40

図1から明らかなように、理想的な電気駆動機10の理想的な出力トルク M_{ideal} には外乱トルク M_{stoker} が重畠しているという点で、実際の電気駆動機20は理想的な電気駆動機10とは異なっている。理想的な電気駆動機10の理想的な出力トルク M_{ideal} は、供給された入力量 U 、 Ph_i に依存して、実際の電気駆動機20の構造に依存する相応の電動機方程式から求められる。外乱トルク M_{stoker} は、主として例えれば摩擦及び/又はコギングトルクのような機械的条件から求められる。これらの影響量は一般に不所望であるから、外乱量に分類される。最後に、実際の電気駆動機20の実際の出力トルク M_{real} は式(1)から求められる。

$$M_{real} = M_{ideal} + M_{stoker} \quad (1)$$

理想的な電気駆動機10の場合、理想的な出力トルク M_{ideal} は式(2)のモータ方程式

50

によって電流 I から計算される。

$$M_{ideal} = f_{Motor, ideal}(I) \quad (2)$$

モータ方程式はモータ種に依存する。したがって、ここではモータ方程式は一般的に「 $f_{Motor, ideal}$ 」で表されている。式(2)に示された関係に基づき、電動機の駆動技術では、モータの出力トルクを推定するために、多くの場合、消費電流 I が測定される。この情報は制御目的(ベクトル制御)又は安全機能のために利用することができる。電流 I と理想的な出力トルク M_{ideal} との間の関係は理想的なモータモデルから求めることができる。ただし、実際のモータ 20 は、上で既に述べたように、理想的な電気駆動機 10 の理想的な出力トルク M_{ideal} を変化させるさらに別のトルクも有する。それゆえ、実際の電気駆動機 20 の実際の出力トルク M_{real} はもはや理想的な電気駆動機 10 の理想的な出力トルク M_{ideal} と一致しない。したがって、測定された電流 I と実際の出力トルク M_{real} との間に直接の関係は存在しない。 10

【0018】

それゆえ、本発明によれば、図 2 から明らかなように、求められた外乱トルク M_{stoer} から補正電流 I_{korr} が計算される。そして、測定された電流 I と補正電流 I_{korr} とから、実際の電気駆動機 20 の実際の出力トルク M_{real} を表す補正済み電流 I^* が求められ、出力される。本発明の実施形態は、測定された電流測定値 I を外乱トルク M_{stoer} に相当する値だけ補正する。補正済みの測定された電流 I^* のおかげで、理想的なモータモデルを用いて実際の電気駆動機 20 の実際の出力トルク M_{real} を推定することが可能であるから、図 2 に示されている理想化された電気駆動機 30 が得られる。この理想化された電気駆動機 30 は、実際の出力トルク M_{real} を用いて、実際の出力トルク M_{real} を表す補正済み電流 I^* を出力する。したがって、実際の出力トルク M_{real} を推定するために補正済み電流 I^* を考慮する後続のサブシステムは、より高い品質で動作することができる。 20

【0019】

図 2 からさらに明らかなように、理想的な電気駆動機 30 は実際の電気駆動機 20 の出力トルク M_{real} を求めるための装置 32 を含んでいる。本発明によれば、装置 32 は、求められた外乱トルク M_{stoer} から補正電流 I_{korr} を計算する計算ユニット 38 を含んでいる。ここで、装置 32 は測定された電流 I および計算された補正電流 I_{korr} から補正済み電流 I^* を求め、この補正済み電流 I^* は実際の電気駆動機 20 の実際の出力トルク M_{real} を表し、装置 32 から出力される。 30

図 2 からさらに明らかなように、装置 32 は補正電流 I_{korr} を計算するための少なくとも 1 つの外乱トルク特性マップが記憶された特性マップメモリ 36 を含んでいる。この少なくとも 1 つの外乱トルク特性マップは外乱トルク M_{stoer} の影響係数を入力量として有している。この外乱トルク M_{stoer} には例えば、実際の電気駆動機 20 の回転数及び/又は回転角度に影響される摩擦トルク及び/又はコギングトルクが含まれている。前記少なくとも 1 つの外乱トルク特性マップは、例えば相応の測定及び/又はシミュレーションを介して求められ、特性曲線メモリ 36 に記憶される。図示の実施例では、特性曲線メモリ 36 は計算ユニット 38 と結合されている。計算ユニット 38 は、電気駆動機 20 の現在の回転数及び/又は現在の回転角度に依存して、補正電流 I_{korr} を計算するための相応する外乱トルク特性マップを求める。計算ユニット 38 は計算された補正電流 I_{korr} を加算器 34 に供給し、加算器 34 は、補正済み電流 I^* を生成するために、測定された電流 I と補正電流 I_{korr} を加算点 34.1 において加算する。図示されていない代替的な実施形態では、電流 I の測定のために、加算器 34 と加算点として実現された手段 34.1 の機能を計算ユニット 38 に組み込んでもよい。 40

【0020】

電流補正の目的は、理想的なモータモデルを用いて実際の出力トルク M_{real} を式(3)に従って直接求めることができるように、補正された電流 I^* にある値をとらせることにある。

$$M_{real} = f_{Motor, ideal}(I^*) \quad (3)$$

式(1)により、式(3)から、式(3.1)～(3.3)が得られる。 50

$$M_{ideal} + M_{stoer} = f_{Motor, ideal}(I^*) \quad (3.1)$$

$$f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{ideal} + M_{stoer}) = I^* \quad (3.2)$$

$$I^* = f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{ideal} + M_{stoer}) \quad (3.3)$$

多くの場合そうであるように、関数 $f_{Motor, ideal}$ が線形ならば、式 (3) を式 (4.1) へと、さらには式 (4.2) へと変形することができる。

$$I^* = f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{ideal}) + f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{stoer}) \quad (4.1)$$

$$I^* = I + f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{stoer}) \quad (4.2)$$

極まれには、近似解しか存在しない場合がある。関係式 (5.1) 又は (5.2) を参照せよ。小さな外乱トルク M_{stoer} に対しては、一般に非常に良い近似が成立する。

$$I^* \approx f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{ideal}) + f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{stoer}) \quad (5.1)$$

$$I^* \approx I + f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{stoer}) \quad (5.2)$$

式 (6.1) によれば、式 (4.2) 又は (5.2) から、測定された電流 I に対する補正電流 I_{kor} が外乱トルク M_{stoer} から求められる。

$$I_{kor} = f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{stoer}) \quad (6.1)$$

よって、補正済み電流 I^* は式 (6.2) から求まる。

$$I^* = I + I_{kor} \quad (6.2)$$

実際に測定された電流 I の代わりに補正済み電流 I^* 使用すれば、理想的なモータの方程式を参照して、実際の出力トルク M_{real} を求めることができる。補正電流 I_{kor} は理想的なモータの方程式 (6.1) の逆トルク方程式から得られる。外乱トルク M_{stoer} は、各電動機または各モータ種について測定により求めることができ、信号処理のために適切な形でシステムに記憶しておくことができる。

【0021】

別の考察では、永久磁石同期機を例として本方法が示される。同期機では、相電流はそれぞれ d 方向と q 方向に成分を有するベクトル量として表すことができる。式 (7) に同期機のトルク方程式を示す。

$$M_{ideal} = \frac{3}{2} Z_p (\psi_p i_q + i_d i_q (L_d - L_q)) \quad (7)$$

この式において、 Z_p は極対数であり、

ψ_p

は永久磁石の磁束であり、 L_d 及び L_q は d 方向及び q 方向におけるインダクタンスであり、 i_d 及び i_q は d 方向及び q 方向における電流である。

【0022】

説明を簡単にするために、以下では、式 (7) の括弧内の 2 番目の項は無視できると仮定する。というのも、多くの使用場面において、例えば回転数が低い場合、電流 i_d は値 0 を有する、すなわち、 $i_d = 0$ だからであり、あるいは、対称的な実施形態の場合、両方のインダクタンス L_d 及び L_q は同じ量だからである。これにより、式 (7) は式 (7.1) に簡略化される。

$$M_{ideal} = \frac{3}{2} Z_p \psi_p i_q = f_{Motor, ideal}(i_q) \quad (7.1)$$

この仮定は単に更なる処理を簡素化するためだけに用いられる。式 (7.1) からは、式 (7.2) によって表される逆関数を求めることができる。

$$i_q = \frac{2}{3} \frac{1}{Z_p \psi_p} M_{ideal} = f_{Motor, ideal}^{-1}(M_{ideal}) \quad (7.2)$$

ここでもまた、式 (8) ~ (8.3) を得るために、式 (3) に関連して説明したのと同じ方法が適用される。

$$i_q^* = \frac{2}{3} \frac{1}{Z_p \psi_p} (M_{real}) \quad (8)$$

式(1)を代入することにより、式(8.1)～(8.5)が得られる。

$$i_q^* = \frac{2}{3} \frac{1}{Z_p \psi_p} (M_{ideal} + M_{stör}) \quad (8.1)$$

$$i_q^* = \frac{2}{3} \frac{1}{Z_p \psi_p} M_{ideal} + \frac{2}{3} \frac{1}{Z_p \psi_p} M_{stör} \quad (8.2)$$

$$i_q^* = i_q + \frac{2}{3} \frac{1}{Z_p \psi_p} M_{stör} \quad (8.3) \quad 10$$

$$i_{q,korr} = \frac{2}{3} \frac{1}{Z_p \psi_p} M_{stör} = f_{Motor,ideal}^{-1}(M_{stör}) \quad (8.4)$$

$$i_q^* = i_q + i_{q,korr} \quad (8.5)$$

こうして、式(8.4)から明らかなように、補正電流 $i_{q,korr}$ に対して、外乱トルク $M_{stör}$ に依存した具体的な変換式が得られる。既に述べたように、外乱トルク $M_{stör}$ は求め求められ、信号処理のために適切な形で記憶される。

【0023】

本発明の実施形態は、回路、装置、方法、プログラムコード手段を有するデータ処理プログラム及び／又はコンピュータプログラム製品として実現することができる。それに相応して、本発明の実施形態は、完全にハードウェアとして、及び／又は、ソフトウェアとして、及び／又は、ハードウェア要素及び／又はソフトウェア要素の組合せとして実現することができる。さらに、本発明はコンピュータ可読プログラムコードを有するコンピュータ可読記憶媒体上に記憶されたコンピュータプログラム製品としても実現できる。この場合、ハードディスク、CD-ROM、光学式または磁気式メモリ素子等のような様々なコンピュータ可読記憶媒体を利用してよい。

【0024】

コンピュータ可用又はコンピュータ可読媒体は、例えば、電子的、磁気的、光学的、電磁的な赤外線もしくは半導体システム、装置、又は処理媒体を包摂する。さらには、1つ又は複数の導線による電気的接続、携帯可能なコンピュータディスクケット、ダイレクトアクセスメモリ(RAM)、リードオンリーメモリ(ROM)、消去可能かつプログラマブルなリードオンリーメモリ(EEPROM)又はフラッシュメモリ、光導線、及び携帯可能なCD-ROMも、コンピュータ可読媒体に含めてよい。それどころか、コンピュータ可用又はコンピュータ可読媒体は、プログラムが書き込まれた紙又は他の適切な媒体であって、例えば紙又は他の媒体を光学的にスキャンすることによって読み取られ、その後、コンパイル、インタープリット又は場合によっては他の方法で処理され、コンピュータメモリに記憶できるものであってもよい。

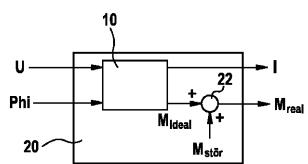
10

20

30

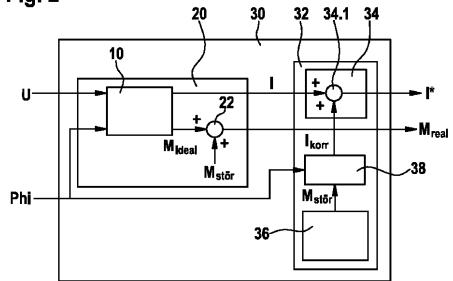
【図1】

Fig. 1



【図2】

Fig. 2



フロントページの続き

(72)発明者 ウルリヒ フォルマー
ドイツ連邦共和国 ビッシンゲン シュールシュトラーセ 42
(72)発明者 ティモ キューン
ドイツ連邦共和国 カールスバート ヴィーゼンシュトラーセ 26

審査官 宮崎 基樹

(56)参考文献 特開平07-245979(JP, A)
特開平07-225164(JP, A)
特開2010-004696(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02P 1/00 - 31/00