

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6756243号
(P6756243)

(45) 発行日 令和2年9月16日 (2020.9.16)

(24) 登録日 令和2年8月31日 (2020.8.31)

(51) Int. Cl.

F 1

H O 2 P	27/06	(2006.01)	H O 2 P	27/06
B 6 2 D	6/00	(2006.01)	B 6 2 D	6/00
B 6 2 D	5/04	(2006.01)	B 6 2 D	5/04
H O 2 P	25/22	(2006.01)	H O 2 P	25/22
B 6 2 D	101/00	(2006.01)	B 6 2 D	101:00

請求項の数 6 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-220475 (P2016-220475)
 (22) 出願日 平成28年11月11日 (2016.11.11)
 (65) 公開番号 特開2018-78765 (P2018-78765A)
 (43) 公開日 平成30年5月17日 (2018.5.17)
 審査請求日 令和1年9月10日 (2019.9.10)

(73) 特許権者 000004260
 株式会社デンソー
 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地
 (74) 代理人 100093779
 弁理士 服部 雅紀
 (72) 発明者 倉光 修司
 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 中村 功一
 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 佐山 篤子
 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】 回転電機制御装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の巻線組 (8 1 、 8 2) を備える回転電機 (8 0) の駆動を制御する回転電機制御装置であって、

スイッチング素子を有する複数の駆動回路 (1 2 0 、 2 2 0) と、

トルク指令値または電流指令値である指令値を演算する指令演算部 (1 4 1 、 1 4 2 、 1 4 3 、 2 4 1 、 2 4 2 、 2 4 3) 、 および、 対応して設けられる前記駆動回路に前記ス
イッチング素子のオンオフ作動を制御する制御信号を出力する信号出力部 (1 6 5 、 2 6
5) を有し、他の制御部と相互に通信可能な複数の制御部 (1 3 1 、 2 3 1) と、

を備え、

前記制御部、ならびに、前記制御部に対応して設けられる前記駆動回路および前記巻線組の組み合わせを系統とすると、

それぞれの前記制御部は、

自系統に係る検出値である自系統検出値を他系統の前記制御部に送信し、他系統に係る
検出値である他系統検出値を他系統の前記制御部から受信し、

自身で演算された前記指令値、前記自系統検出値、および、他の前記制御部から通信に
て取得された前記他系統検出値を用い、自系統の前記スイッチング素子のオンオフ作動を
制御する前記制御信号を生成する回転電機制御装置。

【請求項 2】

前記自系統検出値および前記他系統検出値は、電流検出値であって、

10

20

前記制御部は、自系統の電流検出値および他系統の電流検出値を通信にて相互に送受信する請求項 1 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 3】

前記制御部は、複数系統の電流和が電流和指令値となり、電流差が電流差指令値となるように制御する請求項 2 に記載の回転電機制御装置。

【請求項 4】

前記制御部は、それぞれの前記制御部における前記検出値の演算後であって、電流フィードバック制御が開始するまでの期間に、前記検出値の送受信を行う請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 5】

前記制御部は、他の前記制御部から取得される前記検出値として、前回の制御周期における値を用いて前記制御信号を生成する請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の回転電機制御装置 (1 0) と、
運転者による操舵部材 (9 1) の操舵を補助するアシストトルクを出力する前記回転電機と、

前記回転電機の駆動力を駆動対象に伝達する動力伝達部 (8 9) と、

を備える電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、回転電機制御装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

従来、モータの駆動力にて操舵を補助する電動パワーステアリング装置が知られている。例えば特許文献 1 では、2 つのマイコンにて、それぞれ独立に基本アシスト制御量を演算している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2 0 1 1 - 1 9 5 0 8 9 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

しかしながら特許文献 1 のように、各系統で独立にアシスト制御量を演算し、独立に電流制御を行う場合、系統間にて不整合が生じる虞がある。

本発明は、上述の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、複数の系統を協調させて回転電機の駆動を制御する回転電機制御装置、および、これを用いた電動パワーステアリング装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本発明の回転電機制御装置は、複数の巻線組 (8 1 、 8 2) を備える回転電機 (8 0) の駆動を制御するものであって、複数の駆動回路 (1 2 0 、 2 2 0) と、複数の制御部 (1 3 1 、 2 3 1) と、を備える。駆動回路はスイッチング素子を有する。制御部は、トルク指令値または電流指令値である指令値を演算する指令演算部 (1 4 1 、 1 4 2 、 1 4 3 、 2 4 1 2 4 2 、 2 4 3) 、および、対応して設けられる駆動回路にスイッチング素子のオンオフ作動を制御する制御信号を出力する信号出力部 (1 7 5 、 2 6 5) を有し、他の制御部と相互に通信可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

ここで、制御部、ならびに、制御部に対応して設けられる駆動回路および巻線組の組み合わせを系統とする。

それぞれの制御部は、自系統に係る検出値である自系統検出値を他系統の制御部に送信し、他系統に係る検出値である他系統検出値を他系統の制御部から受信し、自身で演算される演算された指令値、自系統検出値、および、他の制御部から通信にて取得された他系統検出値を用い、自系統のスイッチング素子のオンオフ作動を制御する制御信号を生成する。

本発明では、各制御部において、例えば電流検出値等である自系統検出値および他系統検出値を共通に用いて、制御信号を生成する。これにより、複数の系統を適切に協調動作させることができ、系統間の不整合や調停の複雑さを低減することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 7 】

【図 1】本発明の第 1 実施形態によるステアリングシステムの概略構成図である。

【図 2】本発明の第 1 実施形態によるモータ制御装置を示すブロック図である。

【図 3】本発明の第 1 実施形態による第 1 制御部および第 2 制御部を示すブロック図である。

【図 4】本発明の第 1 実施形態による電流フィードバック制御を説明するブロック図である。

20

【図 5】本発明の第 1 実施形態による演算処理を説明するタイムチャートである。

【図 6】本発明の第 2 実施形態による演算処理を説明するタイムチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 8 】

以下、本発明による回転電機制御装置、および、電動パワーステアリング装置を図面に基づいて説明する。以下、複数の実施形態において、実質的に同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

(第 1 実施形態)

本発明の第 1 実施形態を図 1 ~ 図 5 に示す。図 1 および図 2 に示すように、本実施形態の回転電機制御装置としてのモータ制御装置 10 は、回転電機としてのモータ 80 とともに、例えば車両のステアリング操作を補助するための電動パワーステアリング装置 8 に適用される。図中、モータ制御装置 10 を「ECU」と記載する。図 1 は、電動パワーステアリング装置 8 を備えるステアリングシステム 90 の全体構成を示すものである。

30

【 0 0 0 9 】

図 1 は、電動パワーステアリング装置 8 を備えるステアリングシステム 90 の構成を示す。ステアリングシステム 90 は、操舵部材であるステアリングホイール 91、ステアリングシャフト 92、ピニオンギア 96、ラック軸 97、車輪 98、および、電動パワーステアリング装置 8 等を備える。

【 0 0 1 0 】

ステアリングホイール 91 は、ステアリングシャフト 92 と接続される。ステアリングシャフト 92 には、操舵トルク T_s を検出するトルクセンサ 94 が設けられる。

40

ステアリングシャフト 92 の先端には、ピニオンギア 96 が設けられる。ピニオンギア 96 は、ラック軸 97 に噛み合っている。ラック軸 97 の両端には、タイロッド等を介して一對の車輪 98 が連結される。

【 0 0 1 1 】

運転者がステアリングホイール 91 を回転させると、ステアリングホイール 91 に接続されたステアリングシャフト 92 が回転する。ステアリングシャフト 92 の回転運動は、ピニオンギア 96 によってラック軸 97 の直線運動に変換される。一對の車輪 98 は、ラック軸 97 の変位置に応じた角度に操舵される。

【 0 0 1 2 】

50

電動パワーステアリング装置 8 は、モータ 8 0、モータ 8 0 の回転を減速してステアリングシャフト 9 2 に伝える動力伝達部としての減速ギア 8 9、および、モータ制御装置 1 0 等を備える。すなわち、本実施形態の電動パワーステアリング装置 8 は、所謂「コラムアシストタイプ」であるが、モータ 8 0 の回転をラック軸 9 7 に伝える所謂「ラックアシストタイプ」等としてもよい。本実施形態では、ステアリングシャフト 9 2 が「駆動対象」に対応する。

【 0 0 1 3 】

モータ 8 0 は、運転者によるステアリングホイール 9 1 の操舵を補助する補助トルクを出力するものであって、電源である図示しないバッテリーから電力が供給されることにより駆動され、減速ギア 8 9 を正逆回転させる。モータ 8 0 は、3 相ブラシレスモータであって、いずれも図示しないロータおよびステータを有する。図 2 に示すように、モータ 8 0 は、巻線組としての第 1 モータ巻線 8 1 および第 2 モータ巻線 8 2 を有する。図中、第 1 モータ巻線 8 1 を「モータ巻線 1」、第 2 モータ巻線 8 2 を「モータ巻線 2」とする。後述の他の構成についても、図中適宜、「第 1」を添え字の「1」、「第 2」を添え字の「2」として記載する。

【 0 0 1 4 】

以下、第 1 モータ巻線 8 1 の駆動制御に係る第 1 インバータ回路 1 2 0 および第 1 制御部 1 3 1 等の組み合わせを第 1 系統 L 1、第 2 モータ巻線 8 2 の駆動制御に係る第 2 インバータ回路 2 2 0 および第 2 制御部 2 3 1 等の組み合わせを第 2 系統 L 2 とする。本実施形態では、インバータ回路 1 2 0、2 2 0 が「駆動回路」に対応する。

以下、第 1 系統 L 1 に係る構成を 1 0 0 番台で符番し、第 2 系統 L 2 に係る構成を 2 0 0 番台で符番する。また、第 1 系統 L 1 および第 2 系統 L 2 において、同様の構成には、下 2 桁が同じとなるように符番する。

【 0 0 1 5 】

モータ制御装置 1 0 は、インバータ回路 1 2 0、2 2 0、および、制御部 1 3 1、2 3 1 等を備える。

モータ制御装置 1 0 には、第 1 電源コネクタ 1 1 1、第 1 車両通信コネクタ 1 1 2、第 1 トルクコネクタ 1 1 3、第 2 電源コネクタ 2 1 1、第 2 車両通信コネクタ 2 1 2、および、第 2 トルクコネクタ 2 1 3 が設けられる。

【 0 0 1 6 】

第 1 電源コネクタ 1 1 1 は、図示しない第 1 バッテリーに接続され、第 2 コネクタ 2 1 1 は、図示しない第 2 バッテリーに接続される。コネクタ 1 1 1、2 1 1 は、同一のバッテリーに接続されていてもよい。

第 1 電源コネクタ 1 1 1 は、第 1 電源回路 1 1 6 を経由して、第 1 インバータ回路 1 2 0 と接続される。第 2 電源コネクタ 2 1 1 は、第 2 電源回路 2 1 6 を経由して、第 2 インバータ回路 2 2 0 と接続される。電源回路 1 1 6、2 1 6 は、例えば電源リレーである。

【 0 0 1 7 】

車両通信コネクタ 1 1 2、2 1 2 は、CAN (Controller Area Network) 等の車両通信網に接続される。

第 1 車両通信コネクタ 1 1 2 は、第 1 車両通信回路 1 1 7 を経由して、第 1 制御部 1 3 1 と接続される。第 1 制御部 1 3 1 は、コネクタ 1 1 2 および車両通信回路 1 1 7 を経由して、車両通信網と情報を授受可能である。

第 2 車両通信コネクタ 2 1 2 は、第 2 車両通信回路 2 1 7 を経由して、第 2 制御部 2 3 1 と接続される。第 2 制御部 2 3 1 は、コネクタ 2 1 2 および車両通信回路 2 1 7 を経由して、車両通信網と情報を授受可能である。

【 0 0 1 8 】

トルクコネクタ 1 1 3、2 1 3 は、トルクセンサ 9 4 と接続される。詳細には、第 1 トルクコネクタ 1 1 3 は、トルクセンサ 9 4 の第 1 センサ部 9 4 1 (図 1 参照) と接続される。第 2 トルクコネクタ 2 1 3 は、トルクセンサ 9 4 に第 2 センサ部 9 4 2 (図 1 参照) と接続される。

10

20

30

40

50

第1制御部131は、トルクコネクタ113およびトルクセンサ入力回路118を経由して、トルクセンサ94の第1センサ部941から操舵トルクに係るトルク信号を取得可能である。第2制御部231は、トルクコネクタ213およびトルクセンサ入力回路218を経由して、トルクセンサ94の第2センサ部942から操舵トルクに係るトルク信号を取得可能である。これにより、制御部131、231は、トルク信号に基づき、操舵トルク T_s を演算可能である。

【0019】

第1インバータ回路120は、例えば図示しないスイッチング素子を有する3相インバータであって、第1モータ巻線81へ供給される電力を変換する。第1インバータ回路120のスイッチング素子は、第1制御部131から出力される制御信号に基づいてオンオフ作動が制御される。

10

【0020】

第2インバータ回路220は、例えば図示しないスイッチング素子を有する3相インバータであって、第2モータ巻線82へ供給される電力を変換する。第2インバータ回路220のスイッチング素子は、第2制御部231から出力される制御信号に基づいてオンオフ作動が制御される。

【0021】

第1電流センサ125は、第1モータ巻線81の各相に通電される第1U相電流 I_u1 、第1V相電流 I_v1 、および、第1W相電流 I_w1 を検出し、検出値を第1制御部131に出力する。

20

第2電流センサ225は、第2モータ巻線82の各相に通電される第2U相電流 I_u2 、第2V相電流 I_v2 、および、第2W相電流 I_w2 を検出し、検出値を第2制御部231に出力する。

以下、U相電流、V相電流およびW相電流を、適宜まとめて「相電流」または「3相電流」とする。また、d軸電流およびq軸電流を、適宜まとめて「dq軸電流」とする。電圧についても同様とする。

【0022】

第1回転角センサ126は、モータ80の回転角を検出し、第1制御部131に出力する。第2回転角センサ226は、モータ80の回転角を検出し、第2制御部231に出力する。本実施形態では、第1回転角センサ126の検出値に基づく電気角を第1電気角 E_{leAng1} 、第2回転角センサ226の検出値に基づく電気角を第2電気角 E_{leAng2} とする。

30

【0023】

第1制御部131には、第1電源コネクタ111および図示しないレギュレータ等を経由して給電される。第2制御部231には、第2電源コネクタ211および図示しないレギュレータ等を経由して給電される。第1制御部131および第2制御部231は、制御部間にて相互に通信可能に設けられる。以下適宜、制御部131、231間の通信を、「マイコン間通信」という。制御部131、231間の通信方法は、SPIやSENT等のシリアル通信や、CAN通信等、どのような方法を用いてもよい。

【0024】

40

制御部131、231の詳細を図3に示す。制御部131、231は、マイコン等を主体として構成される。制御部131、231における各処理は、ROM等の実体的なメモリ装置に予め記憶されたプログラムをCPUで実行することによるソフトウェア処理であってもよいし、専用の電子回路によるハードウェア処理であってもよい。

【0025】

第1制御部131は、第1dq軸電流演算部140、第1アシストトルク指令演算部141、第1q軸電流指令演算部142、第1d軸電流指令演算部143、第1電流フィードバック演算部150、第1の3相電圧指令演算部161、第1PWM演算部163、第1信号出力部165、および、第1通信部170を有する。以下適宜、フィードバックを「FB」と記載する。

50

【 0 0 2 6 】

第 1 d q 軸電流演算部 1 4 0 は、第 1 電流センサ 1 2 5 から取得される第 1 相電流 I_{u1} 、 I_{v1} 、 I_{w1} を、第 1 電気角 E_{1eAng1} を用いて d q 軸変換し、第 1 d 軸電流検出値 I_{d1} および第 1 q 軸電流検出値 I_{q1} を演算する。

【 0 0 2 7 】

第 1 アシストトルク指令演算部 1 4 1 は、トルクセンサ入力回路 1 1 8 を経由してトルクセンサ 9 4 から取得されるトルク信号、および、車両通信回路 1 1 7 を経由して車両通信網から取得される車速等に基づき、第 1 アシストトルク指令値 $Trq1^*$ を演算する。第 1 アシストトルク指令値 $Trq1^*$ は、第 1 q 軸電流指令演算部 1 4 2 に出力される。

第 1 q 軸電流指令演算部 1 4 2 は、第 1 アシストトルク指令値 $Trq1^*$ に基づき、第 1 q 軸電流指令値 I_{q1}^* を演算する。

第 1 d 軸電流指令演算部 1 4 3 は、第 1 d 軸電流指令値 I_{d1}^* を演算する。

【 0 0 2 8 】

第 1 電流フィードバック演算部 1 5 0 は、第 1 d q 軸電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* 、および、d q 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} に基づく電流フィードバック演算を行い、第 1 d 軸電圧指令値 V_{d1}^* 、および、第 1 q 軸電圧指令値 V_{q1}^* を演算する。電流フィードバック演算の詳細は後述する。

【 0 0 2 9 】

第 1 の 3 相電圧指令演算部 1 6 1 は、第 1 d q 軸電圧指令値 V_{d1}^* 、 V_{q1}^* を、第 1 電気角 E_{1eAng1} を用いて逆 d q 変換し、第 1 U 相電圧指令値 V_{u1}^* 、第 1 V 相電圧指令値 V_{v1}^* 、および、第 1 W 相電圧指令値 V_{w1}^* を演算する。

第 1 PWM 演算部 1 6 3 は、3 相電圧指令値 V_{u1}^* 、 V_{v1}^* 、 V_{w1}^* に基づき、第 1 PWM 信号 PWM_u1^* 、 PWM_v1^* 、 PWM_w1^* を演算する。

第 1 信号出力部 1 6 5 は、第 1 PWM 信号 PWM_u1^* 、 PWM_v1^* 、 PWM_w1^* を第 1 インバータ回路 1 2 0 に出力する。

【 0 0 3 0 】

第 1 通信部 1 7 0 は、第 1 送信部 1 7 1 および第 1 受信部 1 7 2 を有し、第 2 通信部 2 7 0 と通信を行う。

第 1 送信部 1 7 1 は、第 1 制御部 1 3 1 にて演算された値を、第 2 制御部 2 3 1 に送信する。本実施形態では、第 1 送信部 1 7 1 は、第 1 d 軸電流検出値 I_{d1} および第 1 q 軸電流検出値 I_{q1} を第 2 制御部 2 3 1 に送信する。

第 1 受信部 1 7 2 は、第 2 制御部 2 3 1 から送信される値を受信する。本実施形態では、第 1 受信部 1 7 2 は、第 2 d 軸電流検出値 I_{d2} および第 2 q 軸電流検出値 I_{q2} を受信する。

制御部 1 3 1、2 3 1 間で送受信される電流指令値および電流検出値は、d q 軸の値に替えて 3 相の値であってもよいが、d q 軸の値を送受信した方が、データ量を抑えることができる。また、d 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{d2} の送受信は行わなくてもよい。

【 0 0 3 1 】

第 2 制御部 2 3 1 は、第 2 d q 軸電流演算部 2 4 0、第 2 アシストトルク指令演算部 2 4 1、第 2 q 軸電流指令演算部 2 4 2、第 2 d 軸電流指令演算部 2 4 3、第 2 電流フィードバック演算部 2 5 0、第 2 の 3 相電圧指令値演算部 2 6 1、第 2 PWM 演算部 2 6 3、第 2 信号出力部 2 6 5、および、第 2 通信部 2 7 0 を有する。

【 0 0 3 2 】

第 2 d q 軸電流演算部 2 4 0 は、第 2 電流センサ 2 2 5 から取得される第 2 相電流 I_{u2} 、 I_{v2} 、 I_{w2} を、第 2 電気角 E_{2eAng2} を用いて d q 軸変換し、第 2 d 軸電流検出値 I_{d2} および第 2 q 軸電流検出値 I_{q2} を演算する。

【 0 0 3 3 】

第 2 アシストトルク指令演算部 2 4 1 は、トルクセンサ入力回路 2 1 8 を経由してトルクセンサ 9 4 から取得されるトルク信号、および、車両通信回路 2 1 7 を経由して車両通信網から取得される車速等に基づき、第 2 アシストトルク指令値 $Trq2^*$ を演算する。

10

20

30

40

50

第2アシストトルク指令値 T_{rq2}^* は、第2 q 軸電流指令演算部 242 に出力される。

第2 q 軸電流指令演算部 242 は、第2アシストトルク指令値 T_{rq2}^* に基づき、第2 q 軸電流指令値 I_{q2}^* を演算する。

d 軸電流指令演算部 243 は、d 軸電流指令値 I_d^* を演算する。

【0034】

アシストトルク指令値 T_{rq1}^* 、 T_{rq2}^* は、センサ部 941、942 の検出誤差等がなければ、同一の値となる。アシストトルク指令値 T_{rq1}^* 、 T_{rq2}^* が同一であれば、q 軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* も同一の値となる。本実施形態では、q 軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* は、それぞれ、所望のアシストトルクの出力に要する2系統合計のq 軸電流値とする。当該q 軸電流指令値 I_{q1}^* 、 I_{q2}^* は、電流和指令値であって、アシ

10

【0035】

第2電流フィードバック演算部 250 は、第2 d q 軸電流指令値 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* 、および、d q 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} に基づく電流フィードバック演算を行い、第2 d 軸電圧指令値 V_{d2}^* 、および、第2 q 軸電圧指令値 V_{q2}^* を演算する。

【0036】

第2の3相電圧指令演算部 261 は、第2 d q 軸電圧指令値 V_{d2}^* 、 V_{q2}^* を、第2電気角 E_{leAng2} を用いて逆d q変換し、第2 U相電圧指令値 V_{u2}^* 、第2 V相電圧指令値 V_{v2}^* 、および、第2 W相電圧指令値 V_{w2}^* を演算する。

20

第2 PWM演算部 263 は、3相電圧指令値 V_{u2}^* 、 V_{v2}^* 、 V_{w2}^* に基づき、第2 PWM信号 PWM_u2^* 、 PWM_v2^* 、 PWM_w2^* を演算する。

第2信号出力部 265 は、第2 PWM信号 PWM_u2^* 、 PWM_v2^* 、 PWM_w2^* を第2インバータ回路 220 に出力する。

【0037】

第2通信部 270 は、第2送信部 271 および第2受信部 272 を有する。

第2送信部 271 は、第2制御部 231 にて演算された値を、第1制御部 131 に送信する。本実施形態では、第2送信部 271 は、第2 d 軸電流検出値 I_{d2} および第2 q 軸電流検出値 I_{q2} を送信する。

30

第2受信部 272 は、第1制御部 131 から送信される値を受信する。本実施形態では、第2受信部 272 は、第1 d 軸電流検出値 I_{d1} および第1 q 軸電流検出値 I_{q1} を受信する。

【0038】

電流フィードバック演算部 150、250の詳細を図4に基づいて説明する。また、第2の3相電圧指令演算部 261 および第2 PWM演算部 263 を1つのブロックにまとめて記載し、信号出力部 165、265 およびインバータ回路 120、220等を省略した。図4では、q 軸に係る電流フィードバック演算を中心に説明する。d 軸に係る電流フィードバック演算は、q 軸と同様であるので説明を省略する。

40

【0039】

第1電流フィードバック演算部 150 は、加算器 151、減算器 152 ~ 154、制御器 155、156、および、加算器 157 を有する。

加算器 151 は、第1 q 軸電流検出値 I_{q1} と第2 q 軸電流検出値 I_{q2} とを加算し、第1 q 軸電流和 I_{q_a1} を演算する。

減算器 152 は、第1 q 軸電流検出値 I_{q1} から第2 q 軸電流検出値 I_{q2} を減算し、第1 q 軸電流差 I_{q_d1} を演算する。

【0040】

減算器 153 は、第1 q 軸電流指令値 I_{q1}^* から第1 q 軸電流和 I_{q_a1} を減算し、第1電流和偏差 I_{q_a1} を演算する。

50

減算器 154 は、電流差指令値から第 1 q 軸電流差 I_{q_d1} を減算し、第 1 電流差偏差 I_{q_d1} を演算する。本実施形態では、電流差指令値を 0 とし、系統間の電流差をなくすように制御する。電流差指令値を 0 以外の値とし、所望の電流差が系統間で生じるように制御してもよい。減算器 254 に入力される電流差指令値についても同様である。

【0041】

制御器 155 は、電流和偏差 I_{q_a1} が 0 となるように、例えば P I 演算等により、基本 q 軸電圧指令値 $V_{q_b1}^*$ を演算する。

制御器 156 は、電流差偏差 I_{q_d1} が 0 となるように、例えば P I 演算等により、q 軸電圧差分指令値 $V_{q_d1}^*$ を演算する。

加算器 157 は、基本 q 軸電圧指令値 $V_{q_b1}^*$ と q 軸電圧差分指令値 $V_{q_d1}^*$ とを加算し、第 1 q 軸電圧指令値 V_{q1}^* を演算する。

10

【0042】

第 2 電流フィードバック演算部 250 は、加算器 251、減算器 252 ~ 254、制御器 255、256、および、減算器 257 を有する。

加算器 251 は、第 1 q 軸電流検出値 I_{q1} と第 2 q 軸電流検出値 I_{q2} とを加算し、q 軸電流和 I_{q_a2} を演算する。

減算器 252 は、第 1 q 軸電流検出値 I_{q1} から第 2 q 軸電流検出値 I_{q2} を減算し、q 軸電流差 I_{q_d2} を演算する。

本実施形態では、加算器 151、251 では、同一の値を用いるので、q 軸電流和 I_{q_a1} 、 I_{q_a2} は同一の値となる。また、後述の第 2 実施形態のように、異なる制御周期の値を用いる場合、q 軸電流和 I_{q_a1} 、 I_{q_a2} は異なる値となる。q 軸電流差 I_{q_d1} 、 I_{q_d2} も同様である。

20

【0043】

減算器 253 は、第 2 q 軸電流指令値 I_{q2}^* から第 2 q 軸電流和 I_{q_a2} を減算し、第 2 電流和偏差 I_{q_a2} を演算する。

減算器 254 は、電流差指令値から第 2 q 軸電流差 I_{q_d1} を減算し、第 2 電流差偏差 I_{q_d2} を演算する。

【0044】

制御器 255 は、電流和偏差 I_{q_a2} が 0 となるように、例えば P I 演算等により、基本 q 軸電圧指令値 $V_{q_b2}^*$ を演算する。

30

制御器 256 は、電流差偏差 I_{q_d2} が 0 となるように、例えば P I 演算等により、q 軸電圧差分指令値 $V_{q_d2}^*$ を演算する。

減算器 257 は、基本 q 軸電圧指令値 $V_{q_a2}^*$ から q 軸電圧差分指令値 $V_{q_d2}^*$ を減算し、第 2 q 軸電圧指令値 V_{q2}^* を演算する。

【0045】

本実施形態の演算処理を図 5 のタイムチャートに基づいて説明する。図 5 は、共通時間軸を横軸として、(a) が第 1 制御部 131 の電流取得タイミング、(b) が第 1 制御部 131 における演算処理、(c) がマイコン間通信、(d) が第 2 制御部 231 の電流取得タイミング、(e) が第 2 制御部 231 における演算処理を示す。図 5 では、今回の制御周期を $P(n)$ とし、開始タイミングに「 $P(n)$ 」と記載した。また、次の制御周期を $X(P+1)$ とした。図 6 も同様である。

40

【0046】

図 5 に示すように、制御部 131、231 では、時刻 $x1$ から時刻 $x2$ において、アシストトルク指令値 T_{rq1}^* 、 T_{rq2}^* を演算し、続く時刻 $x3$ から時刻 $x4$ にて、電流指令値 I_{d1}^* 、 I_{q1}^* 、 I_{d2}^* 、 I_{q2}^* を演算する。

また、第 1 制御部 131 は、時刻 $x5$ から時刻 $x6$ にて、電流センサ 125 から相電流 I_{u1} 、 I_{v1} 、 I_{w1} を取得し、時刻 $x7$ から時刻 $x8$ にて d q 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} を演算する。同様に、第 2 制御部 231 は、時刻 $x5$ から時刻 $x6$ にて、電流センサ 135 から相電流 I_{u2} 、 I_{v2} 、 I_{w2} を取得し、時刻 $x7$ から時刻 $x8$ にて d q 軸

50

電流検出値 I_{d2} 、 I_{q2} を演算する。

なお、図5では、制御部131、231における指令演算、および、電流検出値の演算が同時に行われるものとして記載しているが、マイコン間通信が開始する時刻×9に間に合う範囲内でのずれは許容される。また、マイコン間通信後の処理についても、制御周期内で収まる程度のずれは許容される。後述の実施形態についても同様である。

【0047】

時刻×9から時刻×10において、制御部131、231間でマイコン間通信を行い、 dq 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} を相互に送受信する。

そして、各制御部131、231において、マイコン間通信終了後の時刻×11から、電流FB演算、3相電圧指令演算、および、PWM指令演算を行い、PWM指令演算後の時刻×15にて、PWM信号を各インバータ回路120、220に出力、反映する。

本実施形態では、電流FB制御開始前にマイコン間通信を行い、電流FB演算に必要な情報を授受している。これにより、制御部131、231にて、同一の値を用いて電流フィードバック演算を行うことができる。

【0048】

本実施形態では、それぞれの系統にて、アシストトルク指令値 T_{rq1}^* 、 T_{rq2}^* を演算し、PWM信号の生成に用いているので、例えば一方の系統に異常が生じた場合、片系統駆動への切り替えが比較的容易である。

また本実施形態では、マイコン間通信にて、 dq 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} を相互に送受信し、それぞれの制御部131、231における電流FB演算に用いている。ここで、各系統の検出値を共通に用いて各系統の通電を制御することでモータ80を動作させることを「協調動作」とする。特に本実施形態では、系統間の電流差が0となるように制御しているので、各系統での発熱を均等にすることができる。また、電圧変動時や発熱により電流制限等の制限処理が行われる場合や、一方の系統に異常が発生し、他方の系統を用いて駆動するバックアップ制御時等における制御の複雑さを低減することができる。

【0049】

本実施形態のモータ制御装置10は、複数のモータ巻線81、82を備えるモータ80の駆動を制御するものであって、複数のインバータ回路120、220と、複数の制御部131、231と、を備える。

制御部131、231は、対応して設けられるインバータ回路120、220に制御信号を出力する信号出力部165、265を有する。詳細には、第1制御部131は、対応して設けられる第1インバータ回路120に制御信号である第1PWM信号 PWM_u1^* 、 PWM_v1^* 、 PWM_w1^* を出力する。第2制御部231は、対応して設けられる第2インバータ回路220に制御信号である第2PWM信号 PWM_u2^* 、 PWM_v2^* 、 PWM_w2^* を出力する。

【0050】

制御部131、231、ならびに、制御部131、231に対応して設けられるインバータ回路120、220およびモータ巻線81、82の組み合わせを「系統」とする。

制御部131、231は、それぞれで演算される指令値であるアシストトルク指令値 T_{rq1}^* 、 T_{rq2}^* 、および、自系統に係る検出値である第1 dq 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、および、他系統に係る検出値である第2 dq 軸電流検出値 I_{d2} 、 I_{q2} を用い、制御信号を生成する。本実施形態では、第1制御部131において、第1 dq 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} が「自系統検出値」、第2 dq 軸電流検出値 I_{d2} 、 I_{q2} が「他系統検出値」に対応する。また、第2制御部132において、第2 dq 軸電流検出値 I_{d2} 、 I_{q2} が「自系統検出値」、第1 dq 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q2} が「他系統検出値」に対応する。

本実施形態では、各制御部131、231において、自系統および他系統の電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} を共通に用いて、制御信号を生成する。これにより、第1系統L1と第2系統L2とを適切に協調動作させることができ、系統間の不整合や調停

10

20

30

40

50

の複雑さを低減することができる。

【0051】

制御部131、231は、自系統の電流検出値および他系統の電流検出値であるd q軸電流検出値 I_d1 、 I_q1 、 I_d2 、 I_q2 を通信にて相互に送受信する。

詳細には、第1制御部131は、自系統の電流検出値である第1d q軸電流検出値 I_d1 、 I_q1 を第2制御部231に送信し、他系統の電流検出値である第2d q軸電流検出値 I_d2 、 I_q2 を第2制御部231から受信する。また、第2制御部231は、自系統の電流検出値である第2d q軸電流検出値 I_d2 、 I_q2 を第1制御部131に送信し、他系統の電流検出値である第1d q軸電流検出値 I_d1 、 I_q2 を第1制御部131から受信する。

10

これにより、制御部131、231は、他系統検出値を適切に取得し、制御信号の生成に用いることができる。

【0052】

制御部131、231は、複数系統の電流和が電流和指令値となり、電流差が電流差指令値となるように制御する。

電流和を制御することで、要求通りのアシストトルクをモータ80から出力させることができる。また、電流差を制御することで、系統間の電流差を適切に制御することができる。特に、電流差指令値を0とすることで、系統間の電流差をなくすることができるので、各系統の発熱を均等にすることができる。また、電源電圧の変動や発熱により電流制限時、または、故障発生によるバックアップ制御や片系統駆動に移行する際の制御の複雑さを

20

【0053】

制御部131、231は、電流検出値 I_d1 、 I_q1 、 I_d2 、 I_q2 の演算後であって、電流フィードバック制御が開始するまでの期間に、電流フィードバック制御に用いる検出値の送受信を行う。本実施形態における「電流フィードバック制御に用いる検出値」は、各系統の電流検出値 I_d1 、 I_q1 、 I_d2 、 I_q2 である。

これにより、今回の制御周期における電流検出値 I_d1 、 I_q1 、 I_d2 、 I_q2 を用いて電流フィードバック制御を行うことができる。

【0054】

本実施形態のモータ制御装置10は、電動パワーステアリング装置8に適用される。電動パワーステアリング装置8は、モータ制御装置10と、モータ80と、減速ギア89と、を備える。モータ80は、運転者によるステアリングホイール91の操舵を補助するアシストトルクを出力する。減速ギア89は、モータ80の駆動力を、ステアリングシャフト92に伝達する。

30

本実施形態では、自系統および他系統の電流検出値 I_d1 、 I_q1 、 I_d2 、 I_q2 を共通に用いて制御信号を生成することで、複数系統を協調動作させているので、アシストトルクを適切に出力することができる。

【0055】

(第2実施形態)

本発明の第2実施形態を図6に示す。以下適宜、前回の制御周期 $P(n-1)$ にて演算された値には添え字 $_{(n-1)}$ を付し、今回の制御周期 $P(n)$ にて演算された値には、添え字 $_{(n)}$ を付す。

40

なお、前回の制御周期 $P(n-1)$ の時刻 $x23 \sim x26$ における処理は、今回の制御周期 $P(n)$ の時刻 $x33 \sim x36$ の処理と同様であるので、説明を省略する。

【0056】

今回の制御周期 $P(n)$ において、時刻 $x31$ から時刻 $x32$ にて、制御部131、231間でマイコン間通信を行い、前回の制御周期 $(n-1)$ にて演算されたd q軸電流検出値 $I_d1_{(n-1)}$ 、 $I_q1_{(n-1)}$ 、 $I_d2_{(n-1)}$ 、 $I_q2_{(n-1)}$ を相互に送受信する。

時刻 $x33$ にて、制御部131、231は、それぞれアシストトルク指令値 $Trq1^*$ 、 $Trq2^*$ およびd q軸電流指令値 I_d1^* 、 I_q1^* 、 I_d2^* 、 I_q2^* を演算する。

50

【 0 0 5 7 】

時刻 $x34$ 、 $x35$ では、第 1 制御部 131 は、相電流 I_{u1} 、 I_{v1} 、 I_{w1} を取得し、 dq 軸電流検出値 $I_{d1(n)}$ 、 $I_{q1(n)}$ を演算する。また、第 2 制御部 231 は、相電流 I_{u2} 、 I_{v2} 、 I_{w2} を取得し、 dq 軸電流検出値 $I_{d2(n)}$ 、 $I_{q2(n)}$ を演算する。

【 0 0 5 8 】

時刻 $x36$ にて、電流 FB 演算から PWM 信号の出力、反映に至る一連の演算を行う。

本実施形態では、第 1 制御部 131 は、電流 FB 演算において、今回制御周期 $P(n)$ の dq 軸電流指令値 $I_{d1}^*(n)$ 、 $I_{q1}^*(n)$ および自系統の dq 軸電流検出値 $I_{d1(n)}$ 、 $I_{q1(n)}$ 、ならびに、前回制御周期 $P(n-1)$ の他系統の dq 軸電流検出値 $I_{d2(n-1)}$ 、 $I_{q2(n-1)}$ を用いる。

10

【 0 0 5 9 】

また、第 2 制御部 231 は、電流 FB 演算において、今回周期 $P(n)$ の dq 軸電流指令値 $I_{d2}^*(n)$ 、 $I_{q2}^*(n)$ および自系統の dq 軸電流検出値 $I_{d2(n)}$ 、 $I_{q2(n)}$ 、ならびに、前回制御周期 $P(n-1)$ の他系統の dq 軸電流検出値 $I_{d1(n-1)}$ 、 $I_{q1(n-1)}$ を用いる。

換言すると、本実施形態では、自系統で演算される値については、今回制御周期 $P(n)$ の値を用い、他系統で演算される値については、前回制御周期 $P(n-1)$ の値を用いて、演算を行う。本実施形態のように、他系統に係る検出値については、以前の制御周期に係る値を用いる場合についても、各系統に係る検出値を共通に用いて各系統の通電を制御する「協調動作」の概念に含まれるものとする。

20

【 0 0 6 0 】

これにより、 dq 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} の演算と、電流 FB 演算との間にマイコン間通信を行う必要がないので、 dq 軸電流検出値 I_{d1} 、 I_{q1} 、 I_{d2} 、 I_{q2} の演算終了から電流 FB 演算開始までの期間を短くすることができる。したがって、電流 FB 演算の直前にマイコン間通信を行う場合と比較し、自系統に係る値については、より直近の電流検出値を電流 FB 演算に用いることができる。

【 0 0 6 1 】

制御部 131、231 は、他の制御部から取得される検出値として、前回の制御周期における値を用いて制御信号を生成する。他の制御部から取得する検出値として、前回の制御周期における値を用いることで、通信タイミングの自由度が高まる。本実施形態では、電流指令値 I_{d}^* 、 I_{q}^* の演算後から電流フィードバック制御開始までの時間を短縮することができるので、自系統に係る値については、より直近の値を用いることができる。

30

また、上記実施形態と同様の効果を奏する。

【 0 0 6 2 】

(ア) 制御部

上記実施形態では、制御部が 2 つである。他の実施形態では、制御部が 3 つ以上であってもよい。すなわち、系統数が 3 以上であってもよい。また、1 つの制御部に対して、複数の駆動回路および巻線組を設けるようにしてもよい。

【 0 0 6 3 】

上記実施形態では、制御部は、電流フィードバック制御により、回転電機の駆動を制御する。他の実施形態では、電流フィードバック制御以外の方法にて、回転電機の駆動を制御してもよい。

40

上記実施形態では、相互に送受信される検出値は、各系統の電流検出値である。他の実施形態では、相互に送受信される検出値は、電流検出値以外の値であってもよい。また、マイコン間通信に替えて、共通のセンサ値が各制御部にクロス入力されるように構成し、共通の検出値を各制御部にて演算するようにしてもよい。

【 0 0 6 4 】

(イ) 回転電機

上記実施形態では、回転電機は、3 相のブラシレスモータである。他の実施形態では、

50

回転電機は、ブラシレスモータに限らず、どのようなモータとしてもよい。また、回転電機は、モータに限らず、発電機であってもよいし、電動機と発電機の機能を併せ持つ、所謂モータジェネレータであってもよい。

上記実施形態では、回転電機制御装置は、電動パワーステアリング装置に適用される。他の実施形態では、回転電機制御装置を電動パワーステアリング装置以外の装置に適用してもよい。

以上、本発明は、上記実施形態になんら限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の形態で実施可能である。

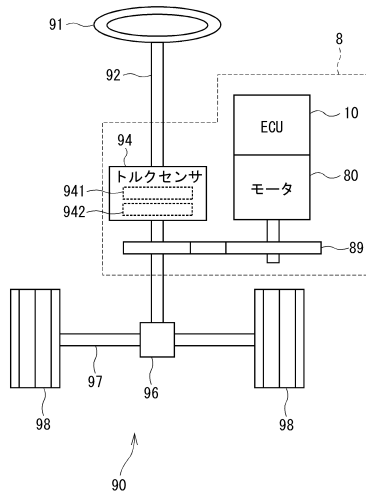
【符号の説明】

【0065】

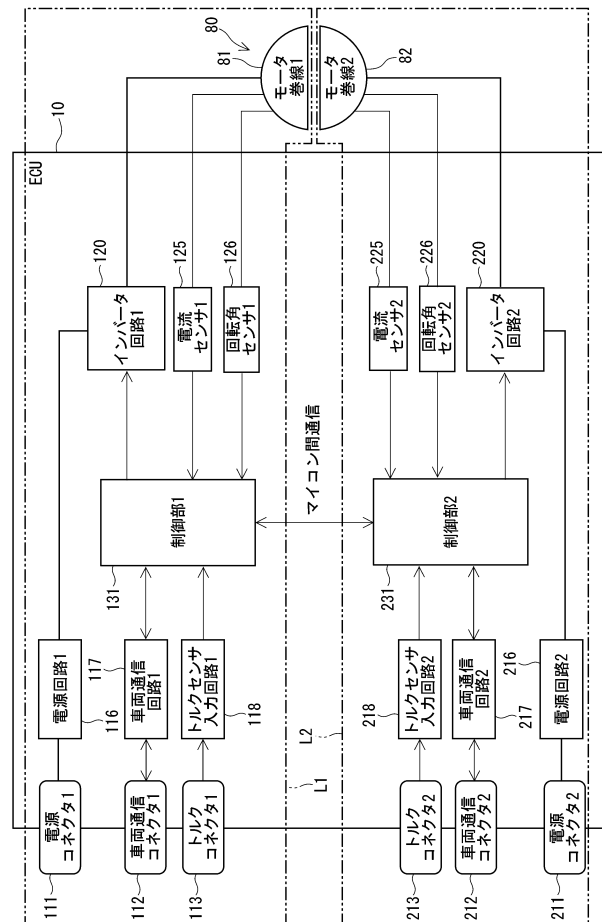
- 10・・・回転電機制御装置
- 81、82・・・モータ巻線（巻線組）
- 89・・・減速ギア（動力伝達部材）
- 91・・・ステアリングホイール（操舵部材）
- 92・・・ステアリングシャフト（駆動対象）
- 120、220・・・インバータ回路（駆動回路）
- 131・・・第1制御部（制御部）
- 231・・・第2制御部（制御部）
- 165、265・・・信号出力部

10

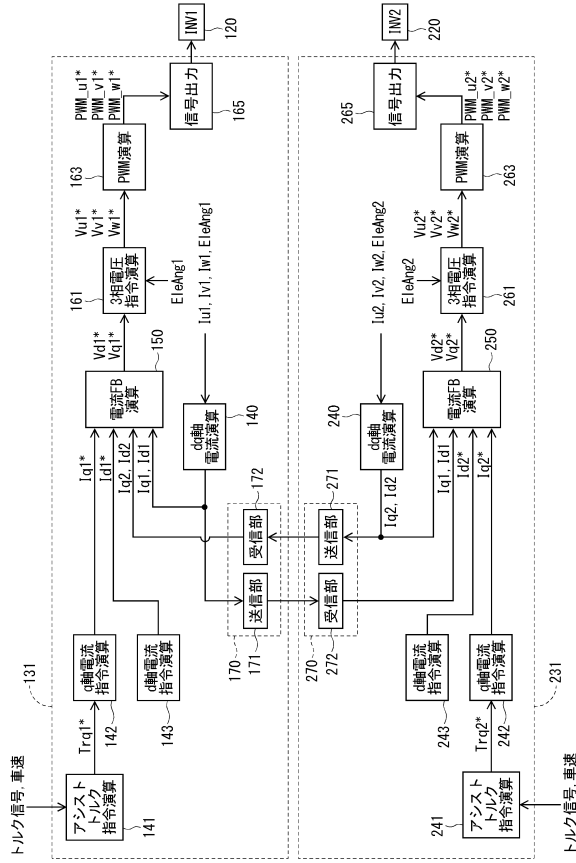
【図1】



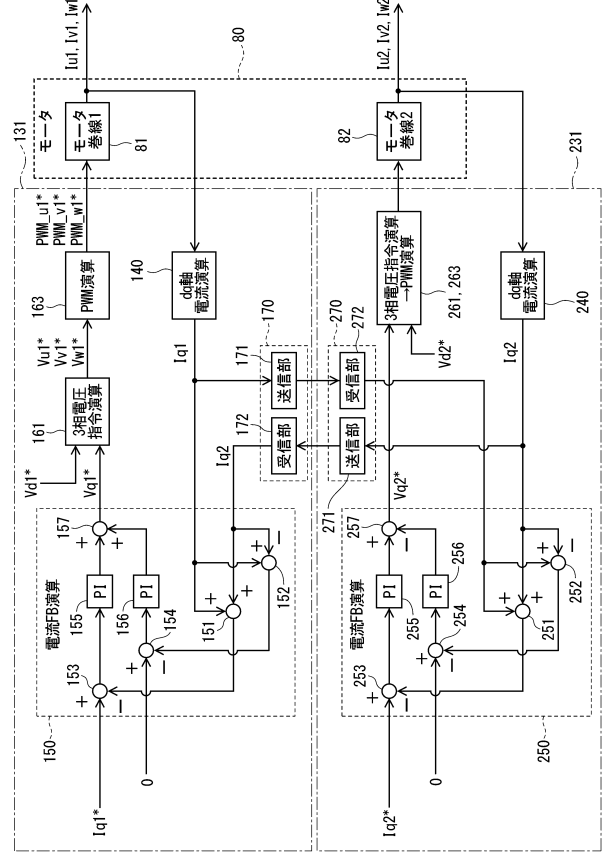
【図2】



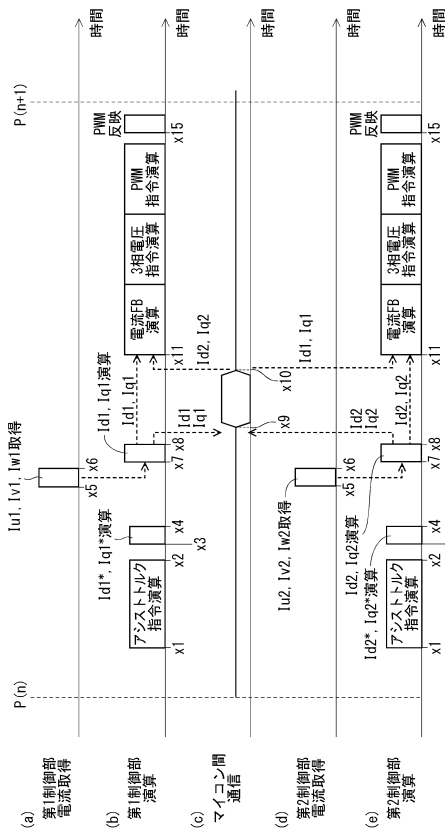
【図 3】



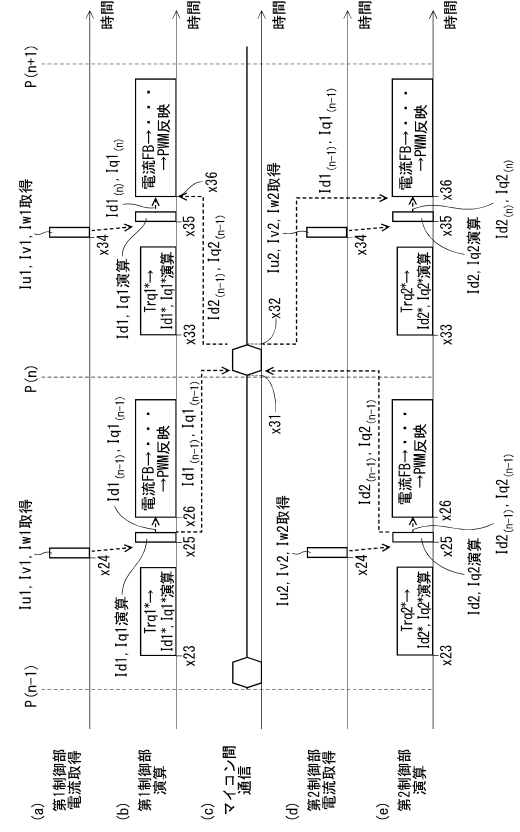
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
B 6 2 D 119/00 (2006.01) B 6 2 D 119:00

(72)発明者 滝 雅也
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 株根 秀樹
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

審査官 池田 貴俊

(56)参考文献 国際公開第2016/135840(WO,A1)
米国特許出願公開第2015/0202967(US,A1)
中国特許出願公開第103532477(CN,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
H 0 2 P 2 7 / 0 6
B 6 2 D 5 / 0 4
B 6 2 D 6 / 0 0
H 0 2 P 2 5 / 2 2
B 6 2 D 1 0 1 / 0 0
B 6 2 D 1 1 9 / 0 0