

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年9月17日(17.09.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/183582 A1

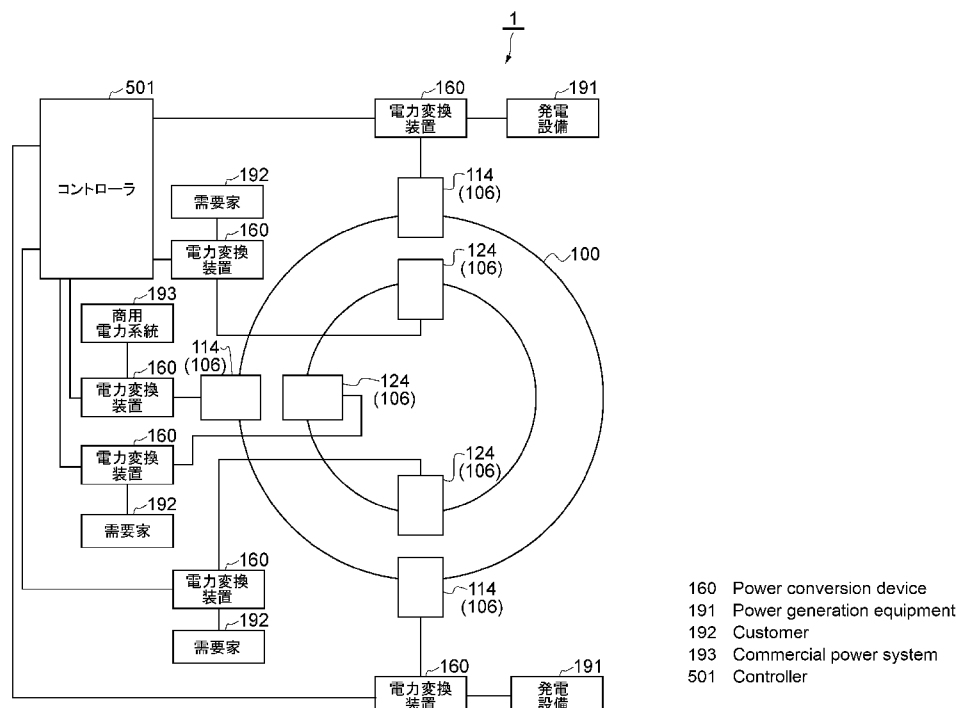
- (51) 国際特許分類:
H02J 9/06 (2006.01) H02J 3/30 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/009783
- (22) 国際出願日: 2019年3月11日(11.03.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社安川電機 (KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者: 宮本 恭祐 (MIYAMOTO Yasuhiro); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP).
夏山 亮介 (NATSUYAMA Ryosuke); 〒8060004

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 八田 義伸 (HATTA Yoshinobu); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 鈴木 健生 (SUZUKI Takeo); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 上田 洋三 (UEDA Yozo); 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP).

- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(54) Title: FLYWHEEL POWER STORAGE SYSTEM

(54) 発明の名称: フライホイール蓄電システム



(57) Abstract: This flywheel power storage system 1 comprises: a flywheel power storage device 100 that stores electric energy as rotational energy of an inertia rotor 103; and a plurality of power conversion devices 160 that independently charge and discharge the flywheel power storage device 100.

(57) 要約: フライホイール蓄電システム1は、慣性ロータ103の回転エネルギーとして電気エネルギーを蓄えるフライホイール蓄電装置100と、フライホイール蓄電装置100に対する充放電を互いに独立して行う複数の電力変換装置160と、を備える。

[続葉有]

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称： フライホイール蓄電システム

技術分野

[0001] 本開示は、フライホイール蓄電システムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 にはフライホイール蓄電装置が開示されている。特許文献 1 のフライホイール蓄電装置では、エネルギー貯蔵の為に慣性体にカップリング、もしくは慣性体シャフトに発電機界磁部を固定し、これに対向する電機子部は、フライホイール蓄電装置筐体に固定し、これら界磁部、電機子部を駆動制御することにより、電力を慣性エネルギーとして貯蔵する際にはモータとして、また慣性エネルギーを電力変換する際には発電機として駆動制御することにより、電力平準化システムを実現する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開 2 0 1 7 - 9 6 4 3 0 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示は、分散電源の活用に応じたフライホイール蓄電システムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一側面に係るフライホイール蓄電システムは、慣性ロータの回転エネルギーとして電気エネルギーを蓄えるフライホイール蓄電装置と、フライホイール蓄電装置に対する充放電を互いに独立して行う複数の電力変換装置と、を備える。

発明の効果

[0006] 本開示によれば、分散電源の活用に応じたフライホイール蓄電システムを

提供することができる。

図面の簡単な説明

[0007] [図1]第1実施形態に係るフライホイール蓄電装置の概略構成を示す断面図である。

[図2]図1中のⅠ-Ⅰ線による断面図である。

[図3]界磁部及び電機子部の拡大図である。

[図4]界磁部及び電機子部の変形例を示す図である。

[図5]第1実施形態に係るフライホイール蓄電システムの概略構成を示す模式図である。

[図6]エリア電力マシンコントローラの機能上の構成を例示するブロック図である。

[図7]電力変換装置の機能上の構成を例示するブロック図である。

[図8]加速／定常切替部の機能上の構成を例示する模式図である。

[図9]出力電圧指令生成部の機能上の構成を例示するブロック図である。

[図10]フライホイール蓄電システムの変形例を示す模式図である。

[図11]第2実施形態に係るフライホイール蓄電システムの概略構成を示すブロック図である。

[図12]電力変換装置の機能上の構成を例示するブロック図である。

[図13]方向切替部の機能上の構成を例示するブロック図である。

[図14]より大規模な蓄電システムの構成例を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0008] 以下、実施形態について図を参照して説明する。なお、同一の構成又は同一機能を有する構成については同一の符号を付することにより、重複説明を適宜省略する。

[0009] <第1実施形態>

まず、図1を参照しつつ、第1実施形態に係る多重電機子型フライホイール蓄電装置の機械的構成について説明する。図1は、第1実施形態に係るフライホイール蓄電装置の概略構成を示す断面図である。図2は、図1中のⅠ

Ⅰ－ⅠⅠ線による断面図である。

[0010] 図1に示すフライホイール蓄電装置100は、慣性ロータの回転エネルギーとして電気エネルギーを蓄える蓄電装置である。フライホイール蓄電装置100は、装置筐体101と、その内部に、慣性エネルギーと電気エネルギーの双方向エネルギー変換を行う電動発電部102とを有する。装置筐体101は、筐体ベース107と、筐体カバー108とを有する。筐体ベース107は環状体（例えば円形環状体）であり、その中心が鉛直となるように水平に配置されている。筐体カバー108は、筐体ベース107の上部空間を覆い環状の收容空間を構成している。

[0011] 電動発電部102は、慣性ロータ103と、複数の界磁部104と、複数の電機子部106とを有する。慣性ロータ103は環状体であり、装置筐体101と実質的に同心となる配置で上記收容空間内に收容されている。慣性ロータ103は、上記收容空間内において、装置筐体101の中心まわりに回転自在となっている。複数の界磁部104は、慣性ロータ103の回転中心を囲むように並び慣性ロータ103に固定されている。なお、複数の界磁部104は、少なくとも慣性ロータ103の回転中心を囲む円周の一部に沿って並んでいればよく、必ずしも当該円周の全周に亘って並んでいなくてもよい。複数の電機子部106は、後述の複数の電力変換装置160にそれぞれ接続され複数の界磁部104に対向する。

[0012] 一例として、電動発電部102は、慣性ロータ103の回転中心に垂直となるように慣性ロータ103に固定された界磁ディスク105を更に有し、複数の界磁部104のそれぞれは、磁化方向が界磁ディスク105に垂直となるように界磁ディスク105に固定されている。電機子部106は界磁ディスク105の少なくとも片面に対向している。

[0013] 界磁ディスク105は、慣性ロータ103と実質的に同心の環状板であり、慣性ロータ103の上部に固定されている。界磁ディスク105は、慣性ロータ103と共に装置筐体101の上記收容空間に收容されている。複数の界磁部104は、界磁ディスク105の外周に沿って並ぶ複数の外側界磁

部 1 1 2（外周側界磁部）と、界磁ディスク 1 0 5 の内周に沿って並ぶ複数の内側界磁部 1 2 2（内周側界磁部）とを含み、複数の電機子部 1 0 6 は、複数の外側界磁部 1 1 2 に対向する外側電機子部 1 1 4（外周側電機子部）と、複数の内側界磁部 1 2 2 に対向する内側電機子部 1 2 4（内周側電機子部）とを含む。界磁ディスク 1 0 5 の外周に沿って隣り合う外側界磁部 1 1 2 同士の磁化方向は互いに逆向きとなっている。すなわち、界磁ディスク 1 0 5 の外周においては、磁化方向が互いに逆向きの外側界磁部 1 1 2 が交互に並んでいる。同様に、界磁ディスク 1 0 5 の内周に沿って隣り合う内側界磁部 1 2 2 同士の磁化方向も互いに逆向きとなっている。

[0014] 外側電機子部 1 1 4 は、支柱 1 0 9 により匡体ベース 1 0 7 上に固定されており、支柱 1 0 9 の高さによって外側電機子部 1 1 4 の高さが調節可能となっている。同様に、内側電機子部 1 2 4 も支柱 1 0 9 により匡体ベース 1 0 7 上に固定されており、支柱 1 0 9 の高さによって内側電機子部 1 2 4 の高さが調節可能となっている。この電動発電部 1 0 2 の構成において、外側電機子部 1 1 4 に例えば三相交流を供給することにより複数の外側界磁部 1 1 2 に回転トルクを発生させ慣性ロータ 1 0 3 を回転駆動することで、電気エネルギーを慣性（機械）エネルギーに変換貯蔵させる。また、慣性ロータ 1 0 3 の回転に伴い複数の内側界磁部 1 2 2 により作り出される回転磁界が内側電機子部 1 2 4 に誘起電圧を発生させ、内側電機子部 1 2 4 に接続された外部回路に電流が流れることにより、貯蔵された慣性（機械）エネルギーを電気エネルギーへと変換させる機能をもつ。また、電動発電部 1 0 2 の外側及び内側の機能を逆にすることも可能である。

[0015] 外側電機子部 1 1 4 及び内側電機子部 1 2 4 は、慣性ロータ 1 0 3 の周方向に複数個設けることも可能である。こうして設けた複数の外側電機子部 1 1 4 及び内側電機子部 1 2 4 のそれぞれから給電線を出すことで、複数の電力系統（電力消費系統又は電力供給系統）に接続できるようにすることも可能である。

[0016] フライホイール蓄電装置 1 0 0 は、慣性ロータ 1 0 3 を磁気により浮上さ

せた状態で回転させる磁気浮上型の蓄電装置であってもよい。一例として、フライホイール蓄電装置100は、浮上用固定磁石131と、浮上用回転磁石132とを更に有する。浮上用固定磁石131は、装置匡体101の匡体ベース107上に設けられ、浮上用回転磁石132は、慣性ロータ103の下部に設けられている。浮上用固定磁石131及び浮上用回転磁石132の磁化方向は互いに逆向きとなっている。これにより、浮上用固定磁石131及び浮上用回転磁石132の間に生じる反発力が慣性ロータ103を匡体ベース107から浮上させる。浮上用固定磁石131及び浮上用回転磁石132は、永久磁石であってもよいし、電磁石であってもよい。

[0017] 磁気浮上支持構造の場合、界磁ディスク105と電機子部106との間のギャップを一定にする制御が必要となる。そこでフライホイール蓄電装置100は、例えば磁性体リング133と、ギャップ調整用電磁石134, 135と、ギャップコントローラ136とを更に有する。

[0018] 磁性体リング133は、例えば鉄等の軟質磁性材料により構成されており、ギャップ調整用電磁石134, 135の磁束磁路をなす。磁性体リング133は、慣性ロータ103と実質的に同心となるように配置され、慣性ロータ103の内周に固定されている。磁性体リング133は、慣性ロータ103の剛性（強度）補強の役割も兼ねている。

[0019] ギャップ調整用電磁石134は、ラジアル方向で磁性体リング133に対向する。ギャップ調整用電磁石134は、ラジアル方向におけるギャップ変量（磁性体リング133とギャップ調整用電磁石134との間のギャップ変量）を検出するギャップセンサを内蔵している。フライホイール蓄電装置100は、慣性ロータ103の回転中心に対して対称配置された複数のギャップ調整用電磁石134を有してもよい。

[0020] ギャップ調整用電磁石135は、重力方向で磁性体リング133に対向する。ギャップ調整用電磁石135は、重力方向におけるギャップ変量（磁性体リング133とギャップ調整用電磁石135との間のギャップ変量）を検出するギャップセンサを内蔵している。フライホイール蓄電装置100は、

慣性ロータ 103 の回転中心に対して対称配置された複数のギャップ調整用電磁石 135 を有してもよい。

[0021] ギャップコントローラ 136 は、このギャップ調整用電磁石 134, 135 の上記ギャップセンサの信号に基づいて、ギャップ調整用電磁石 134, 135 が生じる磁束を調節し、上記ギャップ変量を目標値の近傍に維持する。慣性ロータ 103 が大気中で回転すると、空気との粘性摩擦によりブレーキがかかることになる。これを低減させるため、装置本体は、以下のような手段が講じられていてもよい。

[0022] 装置筐体 101 は、筐体ベース 107 と筐体カバー 108 との接合面がシールされた密閉構造となっており、上記収容空間が真空状態とされている。これにより、慣性ロータ 103 回転時の風損（空気との表面摩擦損）が低減されている。

[0023] 図 3 は、界磁部及び電機子部の拡大図である。図 3 の構造によれば、界磁部 104 と電機子部 106 との間に作用する力が、慣性ロータ 103 のアキシャル方向及びラジアル方向のいずれにおいても小さくなる。これにより、ギャップ調整用電磁石 134, 135 による、アキシャル方向及びラジアル方向のギャップ調整を容易にし、ギャップ調整用電磁石 134, 135 で発生する損失を低減させることができる。

[0024] 図 3 において、界磁部 104 は、界磁ディスク 105 の両面側を互いに逆極性にするように設けられ、電機子部 106 は、界磁ディスク 105 の両面にそれぞれ対向する少なくとも一組のコイルを有する。例えば外側界磁部 112 は界磁ディスク 105 を貫通する外側界磁磁石 113 により構成されており、内側界磁部 122 も界磁ディスク 105 を貫通する内側界磁磁石 123 により構成されている。外側界磁磁石 113 及び内側界磁磁石 123 は、例えば永久磁石である。界磁ディスク 105 は非磁性材料により構成されている。この構造により、界磁ディスク 105 の薄型化が可能となっている。

[0025] 外側電機子部 114 は、外側電機子部ヨーク 115 と一組の外側電機子部コイル 116（コイル）とを有する。外側電機子部ヨーク 115 は、界磁デ

ィスク１０５の外周に沿うリング状部材であり、鉄等の軟質磁性材料により構成されている。外側電機子部ヨーク１１５の断面は界磁ディスク１０５の中心側に開いたＵ字状であり、外側電機子部ヨーク１１５の内面は界磁ディスク１０５の両面に対向している。一方の外側電機子部コイル１１６は、外側電機子部ヨーク１１５の上側内面に取り付けられており、界磁ディスク１０５の上面に対向する。他方の外側電機子部コイル１１６は、外側電機子部ヨーク１１５の下側内面に取り付けられており、界磁ディスク１０５の下面に対向する。上側及び下側の外側電機子部コイル１１６はいずれも空芯コイルである。

[0026] 内側電機子部１２４は、内側電機子部ヨーク１２５と一組の内側電機子部コイル１２６（コイル）とを有する。内側電機子部ヨーク１２５は、界磁ディスク１０５の内周に沿うリング状部材であり、鉄等の軟質磁性材料により構成されている。内側電機子部ヨーク１２５の断面は界磁ディスク１０５の外周側に開いたＵ字状であり、内側電機子部ヨーク１２５の内面は界磁ディスク１０５の両面に対向している。一方の内側電機子部コイル１２６は、内側電機子部ヨーク１２５の上側内面に取り付けられており、界磁ディスク１０５の上面に対向する。他方の内側電機子部コイル１２６は、内側電機子部ヨーク１２５の下側内面に取り付けられており、界磁ディスク１０５の下面に対向する。上側及び下側の内側電機子部コイル１２６はいずれも空芯コイルである。

[0027] このように、電機子部１０６のコイルと界磁部１０４の磁石とがアキシャル方向に対向する構成によれば、ラジアル方向において電機子部１０６と界磁部１０４との間に生じる力が小さくなる。また、電機子部１０６に電流が流れることにより発生する磁界が界磁ディスク１０５を貫通する構成にすれば、アキシャル方向において界磁部１０４の両側に作用する力が打ち消し合う。更に、外側電機子部コイル１１６及び内側電機子部コイル１２６が空芯であるため、アキシャル方向において界磁部１０４の両側に生じる力がいずれも小さくなる。従って、アキシャル方向において界磁部１０４に作用する

合力が小さくなる。

[0028] 図4は、界磁部及び電機子部の変形例を示す図である。図4に、フライホイール電動発電部変形例の詳細構造を示す。図4の構造によれば、界磁部104と電機子部106との間に作用する力が大きくなるので、電動発電部102の小型化に有効である。図3に示す構造と同様に、ラジアル方向及びアキシアル方向のギャップ調整はギャップ調整用電磁石134, 135により行われる。

[0029] 具体的に、図4においては、外側電機子部コイル116及び内側電機子部コイル126が空芯でない。外側電機子部コイル116には外側電機子部ヨーク115の内面から突出した芯が挿入されている。換言すると、外側電機子部コイル116は、外側電機子部ヨーク115の内面から突出した芯の間に嵌め込まれている。内側電機子部コイル126には内側電機子部ヨーク125の内面から突出した芯が挿入されている。換言すると、内側電機子部コイル126は、内側電機子部ヨーク125の内面から突出した芯の間に嵌め込まれている。この構造により、界磁部104と電機子部106との間のギャップ磁界強度が、コイルが空芯である場合に比べて強くなる。つまりは機器内の磁気ポテンシャルエネルギー密度が高くなる。この分、電動発電部102の小型化が可能となる。

[0030] なお、図4は、界磁ディスク105を貫通する磁石に代えて、界磁ディスク105の両面にそれぞれ配置される一対の磁石により構成される例を示している。例えば、外側界磁部112は、界磁ディスク105の上側の外側界磁磁石143と、界磁ディスク105の下側の外側界磁磁石144とにより構成される。内側界磁部122は、界磁ディスク105の上側の内側界磁磁石153と、界磁ディスク105の下側の内側界磁磁石154とにより構成される。

[0031] この場合、界磁ディスク105は、外側ロータディスク145と、内側ロータディスク155と、マグネットホルダ146とを含む。外側ロータディスク145及び内側ロータディスク155は、慣性ロータ103と同心の環

状板であり、鉄等の軟質磁性材料により構成されている。外側ロータディスク 145 は、外側界磁磁石 143, 144 の間に介在する。内側ロータディスク 155 は、内側界磁磁石 153, 154 の間に介在する。マグネットホルダ 146 は、非磁性材料により構成されており、外側界磁磁石 143, 144、外側ロータディスク 145、内側界磁磁石 153, 154 及び内側ロータディスク 155 を保持する。外側界磁磁石 143, 144 の磁化方向は互いに逆向きとなっていてよい。同様に、内側界磁磁石 153, 154 の磁化方向も互いに逆向きとなっていてよい。この場合、界磁ディスク 105 の両側が同極性となる（磁束対称構造）。外側界磁磁石 143, 144 の磁化方向は互いに同じ向きとなっていてよい。同様に、内側界磁磁石 153, 154 の磁化方向も互いに同じ向きとなっていてよい。この場合、界磁ディスク 105 の両側が逆極性となる（磁束貫通構造）。この構造の場合、外側ロータディスク 145 及び内側ロータディスク 155 は省略可能である。

[0032] 本実施形態に係るフライホイール蓄電システム 1 においては、フライホイール蓄電装置 100 の外側電機子部 114 及び内側電機子部 124 のそれぞれには、電力変換装置 160 が接続されている。この電力変換装置 160 の機能としては、発電電力を慣性ロータ 103 にエネルギー貯蔵するエネルギーの流れと、貯蔵エネルギーを電力変換するエネルギーの流れの、双方向に電力変換が可能なものを用いる。

[0033] 次に、図 5 を参照しつつ、本実施形態に係るフライホイール蓄電システム 1 のシステム構成について説明する。図 5 は、フライホイール蓄電システム 1 の概略構成を示す模式図である。

[0034] 図 5 に示すように、フライホイール蓄電システム 1 は、上述したフライホイール蓄電装置 100 と、フライホイール蓄電装置 100 に対する充放電を互いに独立して行う複数の電力変換装置 160 とを備える。複数の電力変換装置 160 のそれぞれは、フライホイール蓄電装置 100 の電機子部 106 と充放電系統との間に介在し、フライホイール蓄電装置 100 の電機子部 1

１０６側と、電機子部１０６の逆側（上記充放電系統側）との間で電力変換を行う。

[0035] 充放電系統は、主として余剰電力をフライホイール蓄電装置１００に充電する系統（以下、「電力供給系統１９１」という。）と、主としてフライホイール蓄電装置１００から放電された電力を消費する系統（以下、「電力消費系統１９２」という。）とのいずれであってもよい。一例として、フライホイール蓄電装置１００の外側電機子部１１４には、電力供給系統１９１が電力変換装置１６０を介して接続される。電力供給系統１９１の具体例としては、風力発電システム、太陽光発電システム等の分散電源が挙げられる。フライホイール蓄電装置１００の内側電機子部１２４には、電力消費系統１９２が電力変換装置１６０を介して接続される。電力消費系統１９２の具体例としては、工場、家屋等の需要家設備が挙げられる。なお、電力消費系統１９２という定義はあくまで便宜上のものであり、電力消費系統１９２が余剰電力をフライホイール蓄電装置１００に充電する場合もありうる。例えば、工場、家屋等が風力発電システム又は太陽光発電システム等の分散電源を有し、その余剰電力をフライホイール蓄電装置１００に充電する場合がある。より具体的に、電力消費系統１９２で電力のデマンドが生じた場合、慣性ロータ１０３の貯蔵エネルギーが界磁部１０４と電機子部１０６とによって電気エネルギーに変換され、電力変換装置１６０を介して電力消費系統１９２に供給される。一方、電力消費系統１９２で生じた余剰電力は電力変換装置１６０を介して電機子部１０６側に送られ、その電気エネルギーが電機子部１０６と界磁部１０４とによって回転エネルギーに変換されて慣性ロータ１０３に貯蔵される。このように、電力変換装置１６０を介したエネルギーの流れの方向は、双方向になる。

[0036] 電機子部１０６のいずれか（例えば外側電機子部１１４のいずれか）は、電力変換装置１６０を介して外部系統１９３（商用電源系統）に接続されていてもよい。換言すると、複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、電機子部１０６と外部系統１９３との間に介在していてもよい。これにより

、フライホイール蓄電システム１に余剰電力がある場合には、外部系統１９３側に売電を行い、フライホイール蓄電システム１の貯蔵エネルギーが不足する場合には、外部系統１９３から買電することができる。

[0037] 電力変換装置１６０は、フライホイール蓄電装置１００の電機子部１０６に対して充放電される電力と、電力供給系統及び電力消費系統から入出力される電力との間の電力変換を行うものである。例えば電力変換装置１６０は、交流交流電力変換器である。交流交流電力変換器は、順変換器とインバータを直流リンク回路で接続したものであってもよく、直流リンク回路を介さずに交流交流変換を行うマトリクスコンバータであってもよい。電力変換装置１６０は、入出力される電力の形態に応じて、例えば交流直流電力変換器、直流直流電力変換器であってもよい。

[0038] 複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、電機子部１０６の逆側の電圧が目標値に追従するように電力変換を行ってもよい。例えば複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、電機子部１０６の逆側の電力が交流電力である場合に、電機子部１０６の逆側の電圧振幅及び位相が目標値に追従するように電力変換を行ってもよい。複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、電機子部１０６側の電圧を慣性ロータ１０３の加速用の目標値に追従させる加速モードの電力変換を、慣性ロータ１０３の回転速度の上昇に応じて、電機子部１０６の逆側の電圧を目標値に追従させる定常モードの電力変換に切り替えてもよい。これらのエネルギーの流れを制御するため、フライホイール蓄電システム１は、エリア電力マシンコントローラ５０１を更に備えてもよい。エリア電力マシンコントローラ５０１は図５に示すとおり、各電力変換装置１６０に接続され、そこで行う電力変換に関する指令を各電力変換装置１６０に送出する。

[0039] エリア電力マシンコントローラ５０１は、プロセッサ、メモリ、ストレージ、入出力インターフェース回路で構成されるコンピュータシステムで、プロセッサはストレージからメモリにロードされたプログラムを実行することにより各制御機能を実現する。ストレージは、コンピュータによって読み取

り可能な不揮発型の記憶媒体（例えばハードディスク又はフラッシュメモリ）である。ストレージは、後述の定常運転指令部502、起動運転指令部503及び指令切替部504を構成するためのプログラムの記憶領域を含む。入出力インターフェース回路は、プロセッサに入出力される信号外部回路とインターフェースする際に必要な信号変換を行う。なお、エリア電力マシンコントローラ501は必ずしもプログラムにより各機能を構成するものに限られない。例えば、専用の論理回路又はこれを集積したASIC（Application Specific Integrated Circuit）により少なくとも一部の機能を構成してもよい。

[0040] 図6は、エリア電力マシンコントローラ501の機能上の構成を例示するブロック図である。図6において、エリア電力マシンコントローラ501は、定常運転指令部502、起動運転指令部503、指令切替部504を有する。

[0041] 定常運転指令部502は、外側電機子部114に接続される各電力供給系統191、外部系統193、及び内側電機子部124に接続される各電力消費系統192の定格電圧の大きさを出力電圧指令とし、出力電圧指令を電力変換装置160に送出する。

[0042] 定常運転指令部502より、出力電圧指令を取得した電力変換装置160は、対応する電機子部106の逆側の電圧を本出力電圧指令に追従させるように電力変換を行う。これにより、電機子部106の逆側の電圧が出力電圧指令の近傍に維持された状態で、フライホイール蓄電装置100に対する充放電が行われる。この際電力変換装置160は、接続された電力供給系統191、外部系統193又は電力消費系統192の交流電圧の位相を検出し、検出した位相と、定常運転指令部502から取得した出力電圧指令とに基づき出力電圧指令を生成し、電機子部106の逆側の電圧を当該出力電圧指令に追従させる。これにより、各電機子部106にはそこに接続された電力供給系統191、外部系統193又は電力消費系統192の電力事情に応じた電流が、電力変換装置160を通して流れ、これら系統と慣性ロータ103

の間で電力の授受が行われる。

[0043] 起動運転指令部 503 は、フライホイール蓄電装置 100 を起動する際の起動回転数指令を生成する。かかる起動回転数指令は、慣性ロータ 103 に対する回転数指令であり、回転数ゼロから所定の回転数まで所定の加速時間で上昇する回転数指令である。ここで所定の回転数とは、例えば慣性ロータ 103 に対して機械仕様として定められた通常運転時の回転数である。また所定加速時間内の回転数指令の上昇については、直線パターンによるものであってもよいし、さらに S 字時間を設定した S 字パターンによるものであってもよい。

[0044] 起動運転指令部 503 にて生成された起動回転数指令は、電力供給系統 191 又は外部系統 193 の接続された電力変換装置 160 のうち、起動制御用として定められたものに対して送出される。起動回転数指令が送出される電力変換装置 160 は一つであっても複数であってもよい。フライホイール蓄電装置 100 を起動する場合、エリア電力マシンコントローラ 501 より起動回転数指令を取得した電力変換装置 160 のみが起動し、他の電力変換装置 160 は停止状態である。起動回転数指令を所得した電力変換装置 160 は、起動回転数指令に従い慣性ロータ 103 を回転数ゼロから上記定常モード用の回転数まで上昇させる交流電圧を出力する。

[0045] このとき電力変換装置 160 は、起動回転数指令をこの電力変換装置 160 が接続される外側電機子部 114 に対する起動周波数指令に変換する。この起動周波数指令は起動回転数指令による回転数で慣性ロータ 103 が回転したとき、外側電機子部 114 に発生する誘起電圧の周波数に相当する。電力変換装置 160 は起動周波数指令に基づき、例えば V/f 一定制御により出力電圧を決定し、外側電機子部 114 に対して出力する。これにより、慣性ロータ 103 は起動回転数指令に従い通常運転時の回転数まで起動・加速する。

[0046] 以上のようにして、慣性ロータ 103 が通常回転速度まで加速した後、フライホイール蓄電装置 100 は定常運転に移行する。この時、エリア電力マ

シンコンローラ 501 はまず慣性ロータ 103 の起動・加速に使用された電力変換装置 160 を停止する。これにより、フライホイール蓄電装置 100 は、電力供給系統 191、電力消費系統 192 及び外部系統 193 の全てから切り離され、慣性ロータ 103 は自身が持つ慣性モーメントにより惰性で回転を続け、各電機子部 106 には、慣性ロータ 103 の回転数に応じた誘起電圧が発生する。この状態でエリア電力マシコンローラ 501 は全電力変換装置 160 を起動し、定常運転指令部 502 から電力変換装置 160 への出力電圧指令の出力を開始する。

[0047] 慣性ロータ 103 の起動に使用された電力変換装置 160 に対する指令は、指令切替部 504 によって起動運転指令部 503 による指令から定常運転指令部 502 による指令に切り替えられる。指令切替部 504 は慣性ロータ 103 の起動・加速時は、起動・加速に使用される電力変換装置 160 に対して、起動運転指令部 503 による起動回転数指令を送出する。慣性ロータ 103 が定常モード用の回転速度まで加速完了後、起動・加速に使用された電力変換装置 160 が停止する時、指令切替部 504 は起動回転数指令の送出手を停止する。その後全電力変換装置 160 が起動するタイミングに合わせて、指令切替部 504 は起動・加速に使用された電力変換装置 160 に対する指令を定常運転指令部 502 による出力電圧指令に切り替える。

[0048] 図 7 は、電力変換装置 160 の機能上の構成を例示するブロック図である。電力変換装置 160 は電力変換部 161 と、出力フィルタ 162 と、系統電圧検出部 163 と、入力フィルタ 164 と、フライホイール電圧検出部 165 と、電流センサ 167 と、制御部 166 とを有する。電力変換部 161 は半導体スイッチング素子で構成され、制御部 166 が出力するスイッチング指令により半導体スイッチング素子がスイッチングを行うことにより、入力電力および出力電力の間の電力変換を行う。なお、電力変換部 161 の半導体スイッチング素子の回路構成は、電力変換装置 160 が交流交流電力変換器であるか交流直流電力変換器であるか直流直流電力変換器であるかによって異なる。

- [0049] 本実施形態においては、電力変換部 161 は交流交流電力変換器であり、その中でも順変換器の一形態である PWM コンバータと、インバータとを直流リンク回路で接続したものとしている。PWM コンバータとインバータは同じ回路構成となるが、ここでは便宜上、交流側が電機子部 106 に接続されたものを PWM コンバータ、交流側が電力系統に接続されたものをインバータとする。
- [0050] また、本実施形態では、直流リンク回路に電流検出部があり、直流リンク回路の直流電流の大きさ及び方向を検出し、検出した情報を制御部 166 に入力する構成としている。直流電流の方向は例えば PWM コンバータからインバータに流れる方向の電流の大きさを正の値、インバータから PWM コンバータに流れる方向の電流の大きさを負の値とすることで、検出する。
- [0051] 出力フィルタ 162 は電力変換部 161 から出力される電流に含まれるスイッチングノイズを除去するために設けられるもので、電力変換部のスイッチング周波数の 2 倍以上のカットオフ周波数をもち、例えばリアクトル L やリアクトル L とコンデンサ C で構成される LC フィルタ、LCL フィルタである。
- [0052] 系統電圧検出部 163 は、出力フィルタ 162 の系統接続側の電圧を検出するもので、例えば線間電圧、あるいは多相交流であれば中性点間の電圧を分圧抵抗で分圧した電圧の検出を行うものである。検出した電圧は制御部 166 に入力される。
- [0053] 入力フィルタ 164 は電力変換部 161 と電機子部 106 との間に流れる電流に含まれる高調波成分を除去するために設けられるもので、例えばリアクトル L、あるいは LC フィルタ、LCL フィルタ等が使用される。
- [0054] フライホイール電圧検出部 165 は、電機子部 106 に発生する誘起電圧を検出するもので、系統電圧検出部 163 と同じく例えば線間電圧、あるいは多相交流であれば中性点間の電圧を分圧抵抗で分圧した電圧の検出を行うものである。検出した電圧は制御部 166 に入力される。
- [0055] 電流センサ 167 は、出力フィルタ 162 と系統電圧検出部 163 との間

に流れる電流を検出する。検出した電流は制御部 166 に入力される。

[0056] 制御部 166 は、プロセッサ、メモリ、ストレージ、入出力インターフェース回路で構成されるコンピュータシステムで、プロセッサはストレージからメモリにロードされたプログラムを実行することにより各制御機能を実現する。ストレージは、後述の電圧振幅算出部 170、電圧位相周波数検出部 171、出力電圧指令生成部 172、電圧振幅算出部 173、電圧位相周波数検出部 174、直流電圧指令設定部 175、入力電流指令部 177、入力電圧指令生成部 178、回転数周波数変換部 179、 V/f 指令部 180、加速電圧指令生成部 181、加速／定常切替部 182 及びスイッチング指令出力部 183 を構成するためのプログラムの記憶領域を含む。入出力インターフェース回路は、プロセッサに入出力される信号外部回路とインターフェースする際に必要な信号変換を行う。なお、制御部 166 は必ずしもプログラムにより各機能を構成するものに限られない。例えば、専用の論理回路又はこれを集積した ASIC (Application Specific Integrated Circuit) により少なくとも一部の機能を構成してもよい。

[0057] 図 7 に示すとおり、制御部 166 は電圧振幅算出部 170 と、電圧位相周波数検出部 171 と、出力電圧指令生成部 172 と、電圧振幅算出部 173 と、電圧位相周波数検出部 174 と、直流電圧指令設定部 175 と、乗算器 176 と、入力電流指令部 177 と、入力電圧指令生成部 178 と、回転数周波数変換部 179 と、 V/f 指令部 180 と、加速電圧指令生成部 181 と、加速／定常切替部 182 と、スイッチング指令出力部 183 とを有する。

[0058] 制御部 166 では、上記加速モードと上記定常モードとで、電力変換装置 160 の制御の切替を実施する。この切替は加速／定常切替部 182 の切替動作により行われる。

[0059] 加速／定常切替部 182 は、電力変換部 161 のインバータに対する電圧指令、電力変換部 161 の PWM コンバータに対する電圧指令、入力電圧指

令生成部 178 に入力される周波数検出値、振幅算出値、位相検出値を加速モードと定常モードとで切り替える。

[0060] 加速モードにおいて、電力の流れは電力系統からフライホイール蓄電装置 100 への方向となる。従って、電力変換部 161 のインバータが入力電力の制御を行い、PWMコンバータがフライホイール蓄電装置 100 への出力電力の制御を行う。

[0061] このため加速モードにおいて、インバータ指令は系統電圧検出部 163 の検出した電圧の周波数、振幅、位相及び直流リンク回路を流れる電流に基づき、入力電圧指令生成部 178 で生成される入力電圧指令となり、PWMコンバータ指令はエリア電力マシンコントローラ 501 から取得した起動時回転数指令に基づき加速電圧指令生成部 181 で生成される加速電圧指令となる。

[0062] これに対し定常モードでは、電力の流れは電力系統側の電力需給状態により、電力系統とフライホイール蓄電装置 100 との間で双方向の流れとなる。このため、電力変換装置 160 は電力変換部 161 のインバータより一定の大きさの交流電圧を出力し、この交流電圧と電力系統の実際の交流電圧との大小関係により、上記双方向の電力の流れが作り出される。電力変換装置 160 はフライホイール電圧検出部 165 の検出した電圧の周波数、振幅、位相及び直流リンク回路を流れる電流に応じた交流電圧を電力変換部 161 のPWMコンバータから出力することで、電力変換部 161 のインバータでの電力の流れと同じ方向の流れを電力変換部 161 のPWMコンバータでも作り出す。

[0063] より具体的には定常モードにおいて、インバータ指令はエリア電力マシンコントローラ 501 から取得した出力電圧指令及び電力系統の実際の交流電圧の位相に基づき、出力電圧指令生成部 172 で生成される系統出力電圧指令となり、PWMコンバータ指令は電機子部 106 に発生する誘起電圧の周波数、振幅、位相及び直流リンク回路を流れる電流に基づき、入力電圧指令生成部 178 で生成される入力電圧指令となる。

- [0064] 以上の加速モード、定常モードでの電力変換装置160の制御を切り替えるために、制御部166の加速／定常切替部182は、図8に示す定常モードに対応した状態A及び加速モードに対応した状態Bを切り替える。
- [0065] 状態Aにおいては、インバータ指令が出力電圧指令生成部172の出力（出力電圧指令）に接続され、PWMコンバータ指令が入力電圧指令生成部178の出力（入力電圧指令）に接続され、入力電圧指令生成部178に入力される交流電圧周波数 f_1 、及び入力電流指令部177と入力電圧指令生成部178とに入力される入力電圧位相 θ_1 が電圧位相周波数検出部174の出力（ f_{IN} 及び θ_{IN} ）に接続され、入力電圧指令生成部178に入力される入力電圧振幅 E_1 が電圧振幅算出部173の出力（ E_{IN} ）に接続される。
- [0066] また状態Bにおいては、インバータ指令が入力電圧指令生成部178の出力（入力電圧指令）に接続され、PWMコンバータ指令が加速電圧指令生成部181の出力（加速電圧指令）に接続され、入力電圧指令生成部178に入力される交流電圧周波数 f_1 、及び入力電流指令部177と入力電圧指令生成部178とに入力される入力電圧位相 θ_1 が電圧位相周波数検出部171の出力（ f_{OUT} 及び θ_{OUT} ）に接続され、入力電圧指令生成部178に入力される入力電圧振幅 E_1 が電圧振幅算出部170の出力（ E_{OUT} ）に接続される。
- [0067] 以上の信号接続の切替が加速／定常切替部182で行われる。続いて、加速／定常切替部182以外の制御部166の各部の動作を説明する。
- [0068] 電圧振幅算出部170は、系統電圧検出部163で検出された電圧の振幅を算出する。例えば電力系統が三相交流システムの場合、系統電圧検出部163で検出された三相それぞれの電圧値を三相二相変換し、得られた二相の各電圧値の二乗和平方根を演算することで、振幅を算出する。
- [0069] 電圧位相周波数検出部171は例えばPLL（Phase Locked Loop）であり、系統電圧検出部163で検出された電圧の位相と周波数を検出する。なお、位相の基準は例えば第一相電圧の負→正ゼロクロス時点とする。
- [0070] 出力電圧指令生成部172は、エリア電力マシンコントローラ501より

出力電圧指令 E_2 を、また系統電圧位相周波数検出部 151 より系統電圧周波数 f_{OUT} 及び系統電圧位相 θ_{OUT} を取得し、電流センサ 167 より系統電流 I_{OUT} を取得し、これら取得した値に基づき出力電圧指令を生成する。出力電圧指令は、定常モードにおいて電力変換部 161 のインバータより電力系統側に出力する電圧の指令である。

[0071] 図9は、出力電圧指令生成部 172 の機能上の構成を例示するブロック図である。図9に示すように、出力電圧指令生成部 172 は、3相2相変換部 172a と、電流振幅算出部 172b と、比例・積分演算部 172c, 172d と、2相3相変換部 172e とを有する。3相2相変換部 172a は、系統電圧位相 θ_{OUT} に基づいて系統電流 I_{OUT} に3相2相変換を施し、系統電圧と同相の電流成分 I_d と、これに対して位相が90度異なる電流成分 I_q とを算出する。電流振幅算出部 172b は、電流成分 I_d と電流成分 I_q との二乗和の平方根を電流振幅として算出する。比例・積分演算部 172c は、電流振幅と電流成分 I_d との偏差に比例・積分演算を行って出力電圧指令 E_2 に対する加算成分を算出する。比例・積分演算部 172d は、電流成分 I_q に比例・積分演算を行って出力電圧指令 E_2 に対する減算成分を算出する。2相3相変換部 172e は、出力電圧指令 E_2 に上記加算成分の加算と上記減算成分の減算とを行って出力電圧指令の補正值を算出し、当該補正值に対して系統電圧位相 θ_{OUT} に基づく2相3相変換を施して出力電圧指令を算出する。

[0072] 上記電流成分 I_d は、フライホイール蓄電装置 100 に対する充放電を生じさせる有効電流である。一方、上記電流成分 I_q は、フライホイール蓄電装置 100 に対する充放電を生じさせない無効電流であり、主として出力フィルタ 162 に起因して発生する。比例・積分演算部 172c, 172d によれば、電流成分 I_d を電流振幅に近付け、電流成分 I_q をゼロに近付けるように出力電圧指令が補正される。これにより、出力フィルタ 162 による影響を軽減し、フライホイール蓄電装置 100 に対する充放電が実行される。

- [0073] 以上のように、制御部 166 は、電圧振幅算出部 170、電圧位相周波数検出部 171、及び出力電圧指令生成部 172 により、エリア電力マシンコントローラ 501 にて設定された出力電圧指令 E_2 に従って、電力変換装置 160 より電力系統に出力される交流電圧に対する指令を生成する。
- [0074] 図 7 に戻り、電圧振幅算出部 173 は、フライホイール電圧検出部 165 で検出された電圧の振幅を算出する。例えばフライホイール蓄電装置 100 の電機子部 106 から出力される電圧が三相交流電圧の場合、フライホイール電圧検出部 165 で検出された三相それぞれの電圧値を三相二相変換し、得られた二相の各電圧値の二乗和平方根を演算することで、振幅を算出する。
- [0075] 電圧位相周波数検出部 174 は例えば PLL (Phase Locked Loop) であり、フライホイール電圧検出部 165 で検出された電圧の位相と周波数を検出する。なお、位相の基準は例えば第一相電圧の負→正ゼロクロス時点とする。
- [0076] 直流電圧指令設定部 175 は、電力変換部 161 の直流リンク回路の電圧指令値を設定する。この指令値は例えば、電力系統側の交流電圧の定格ピーク値と電機子部 106 から出力される交流電圧の定格ピーク値との間で大きい方の値に設定される。
- [0077] 乗算器 176 は、電力変換部 161 の電流検出部で検出された直流リンク回路の直流電流値と直流電圧指令設定部 175 が出力する直流電圧指令とを乗算し、直流リンク回路の直流電力を算出する。
- [0078] 入力電流指令部 177 は、乗算器 176 が出力する直流リンク回路の直流電力を加速／定常切替部 182 が出力する交流電圧振幅 E_1 で除算し、除算結果を $1/\sqrt{3}$ 倍することで、入力電流指令 I_{ac} を算出し入力電圧指令生成部 178 に出力する。
- [0079] 入力電圧指令生成部 178 は、入力側の力率が例えば以下となる入力電圧指令を生成する。すなわち電力変換装置 160 に入力側から電力が流れ込む場合力率は 1、電力変換装置 160 に入力側から電力が流れ出す場合力率は

− 1 とする。このため、入力電圧指令生成部 178 は、入力電流指令 I_{ac} 以外に、加速／定常切替部 182 から交流電圧周波数 f_1 、入力電圧位相 θ_1 、入力電圧振幅 E_1 を取得する。

[0080] 入力側の力率が上記のとおりである場合、出力フィルタ 162 及び入力フィルタ 164 のリアクトル L の両端に発生する電圧は、それぞれ系統電圧検出部 163 及びフライホイール電圧検出部 165 で検出した交流電圧とは 90 度の位相差を生じる。従って、入力側の力率を 1 とする入力電圧指令（入力側交流電圧の振幅指令） E は次式で求まる。

$$[0081] \quad E = \sqrt{\{E_1^2 + (2\pi \cdot f_1 \cdot L_{fil} \cdot I_{ac})^2\}} \cdots (1)$$

ここで L_{fil} は、フィルタ内の 1 相当りのリアクトルの合計インダクタンスである。

[0082] またこのとき、電力変換装置 160 が出力する電圧と、系統電圧検出部 163 又はフライホイール電圧検出部 165 で検出される電圧との位相差を δ とすると、位相差 δ は次式で求まる。

$$[0083] \quad |\delta| = \tan^{-1} (2 \cdot f_1 \cdot L_{fil} \cdot I_{ac} / E_1) \cdots (2)$$

ここで、 δ はフライホイール蓄電装置 100 の運転状態と電力変換装置 160 内部の電力の流れに応じて正負の符号を定める。具体的には、定常モードにおいては電力変換部 161 の電流検出部で検出される直流リンク回路を流れる電流の方向が、電力変換部 161 の PWM コンバータからインバータに向かう方向であれば δ は負の値とし、インバータから PWM コンバータに向かう方向であれば正の値とする。逆に、加速運転時は電力変換部 161 の電流検出部で検出される直流リンク回路を流れる電流の方向が、電力変換部 161 の PWM コンバータからインバータに向かう方向であれば δ は正の値とし、インバータから PWM コンバータに向かう方向であれば負の値とする。

[0084] このように (1) 式で定めた振幅 E 、(2) 式で定めた位相差 δ により、入力電圧指令生成部 178 は電力変換装置 160 から入力側に出力する電圧の指令である入力電圧指令を例えば次式により決定する。

$$[0085] \quad V_r = E \cdot \sin(\theta + \delta)$$

$$V_s = E \cdot \sin(\theta + \delta - 2\pi/3) \cdots (3)$$

$$V_t = E \cdot \sin(\theta + \delta - 4\pi/3)$$

このように、制御部 166 は加速／定常切替部 182、電圧振幅算出部 173、電圧位相周波数検出部 174、直流電圧指令設定部 175、乗算器 176、入力電流指令部 177 及び入力電圧指令生成部 178 により、電力変換装置 160 の入力側に、内部の電力の流れに応じた力率 1 又は -1 の電流を流すために、入力側に出力する交流電圧指令を生成する。

[0086] 回転数周波数変換部 179 は、エリア電力マシンコントローラ 501 より起動回転数指令を受け取り、起動回転数指令で指定された回転数で慣性ロータ 103 を回転させるために、当該起動回転数指令を起動周波数指令 f に変換する。起動周波数 f は、電力変換装置 160 から例えば外側電機子部 114 側に出力する交流電圧の周波数の指令である。

[0087] V/f 指令部 180 は慣性ロータ 103 を回転させるために、例えば外側電機子部 114 に印加する交流電圧の周波数と振幅の関係を保持し、この関係に従い回転数周波数変換部 179 からの起動周波数指令 f に対応した起動電圧振幅指令 V を得る。なお、この周波数と振幅の関係は式で表されるものであってもよいし、また周波数と電圧の組み合わせをいくつか設定したもので、起動周波数指令 f によりこれらの設定組み合わせのうち二つを選び出して、補間により起動電圧振幅指令 V を定めるものであってもよい。

[0088] 加速電圧指令生成部 181 は、起動周波数指令 f 及び電圧振幅指令 V を用いて、加速電圧指令を例えば次式により決定する。

$$[0089] \quad V_u = V \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

$$V_v = V \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t - 2\pi/3) \cdots (4)$$

$$V_w = V \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t - 4\pi/3)$$

ここで t は起動開始時をゼロとし、起動開始時からの経過時間である。

[0090] このように制御部 166 は回転数周波数変換部 179、 V/f 指令部 180 及び加速電圧指令生成部 181 により、加速モードにおいてエリア電力マシンコントローラ 501 から指令される起動回転数指令に従って、フライホ

イール蓄電装置 100 の慣性ロータ 103 を起動させるために電力変換装置 160 がフライホイール蓄電装置 100 の例えば外側電機子部 114 側に出すべき電圧を指令する交流電圧指令を生成する。

[0091] 以上のように、制御部 166 は出力電圧指令生成部 172、入力電圧指令生成部 178、加速電圧指令生成部 181 により、出力電圧指令、入力電圧指令及び加速電圧指令の 3 つの電圧指令をそれぞれ生成する。これら 3 つの電圧指令は加速／定常切替部 182 により、以下のとおり電力変換部 161 のインバータ及び PWM コンバータに対する指令となる。すなわち定常モードにおいては

インバータ指令：系統出力電圧指令

PWM コンバータ指令：入力電圧指令

であり、加速運転時は

インバータ指令：入力電圧指令

PWM コンバータ指令：加速電圧指令

となる。加速／定常切替部 182 は以上のインバータ指令及び PWM コンバータ指令をスイッチング指令出力部 183 に出力する。

[0092] スwitching 指令出力部 183 は加速／定常切替部 182 からインバータ指令 C_{INV} と PWM コンバータ指令 C_{PWM} を取得し、これらの指令に基づき電力変換部 161 のインバータと PWM コンバータの半導体スイッチング素子をオン・オフするスイッチング指令を生成する。スイッチング指令出力部 183 は、例えば公知の三角波比較法により、インバータ指令 C_{INV} 及び PWM コンバータ指令 C_{PWM} のそれぞれと三角波との大小関係に基づきスイッチング指令を生成し、電力変換部 161 に出力する。

[0093] なお、スイッチング指令出力部 183 によるスイッチング指令の生成手法は三角波比較法に限らない。例えば三相の電圧指令として与えられるインバータ指令及び PWM コンバータ指令を空間ベクトルによる指令に変換し、公知の空間ベクトル法によりスイッチング指令を生成してもよい。また、上記の三相電圧指令を空間ベクトルに変換する方法としては、スイッチング指令

出力部 183 で三相二相変換で三相電圧指令を二相電圧指令に変換し、この二相電圧指令から振幅と位相を求める方法等が挙げられる。

[0094] 以上の説明では、電力変換部 161 がインバータと PWM コンバータを直流リンク回路で接続した構成である場合の制御部 166 の構成と動作を説明した。電力変換部 161 がマトリクスコンバータであった場合は、制御部 166 の入力電圧指令生成部 178 は不要となる。また、加速／定常切替部 182 は、スイッチング指令出力部 183 に PWM コンバータ指令に代わって入力電圧位相 θ_1 及び入力電圧振幅 E_1 を入力すればよい。スイッチング指令出力部 183 は、入力電圧位相 θ_1 及び入力電圧振幅 E_1 から電圧を出力するために出力側に接続する入力電圧の相を選択し、インバータ指令により定まる出力電圧を出力するためのスイッチング指令を生成する公知のマトリクスコンバータの PWM 方法により、スイッチング指令を生成すればよい。

[0095] 複数の電力変換装置 160 の少なくとも一つは、フライホイール蓄電装置 100 に充放電を行う充放電モードの運転状態と、フライホイール蓄電装置 100 に充放電を行わない非充放電モードの運転状態とを、フライホイール蓄電装置 100 の逆側の電流振幅に基づいて切り替えるように構成されていてもよい。非充放電モードと充放電モードとの切り替えは、例えば出力電圧指令生成部 172 において実行可能である。電力変換部 161 が、出力電圧指令 E_2 に従って電力系統の電圧と同位相の電圧を出力すると、出力フィルタ 162 のリアクトル L には電力系統の電圧と電力変換部 161 の出力電圧の差電圧が印加される。その差電圧は電力系統の電圧と同相か逆相（180 度位相差）となる。リアクトル L に流れる電流はこの差電圧から 90 度遅れるので、差電圧が同相、逆相いずれの場合においても電力系統の電圧と 90 度ずれることとなり、電力系統への出力電流は無効電流となる。このため、比例・積分演算部 172c による加算成分及び比例・積分演算部 172d による減算成分をゼロにすれば、電力変換装置 160 の運転状態が実質的に非充放電モードとなる。一方、上述したように比例・積分演算部 172c が加算成分を算出し、比例・積分演算部 172d が減算成分を算出すれば、電力

変換装置 160 の運転状態が充放電モードとなる。これを利用し、電力変換装置 160 は、電流振幅算出部 172 b により算出される電流振幅が第 1 の電流閾値を超えると比例・積分演算部 172 c による加算成分の算出及び比例・積分演算部 172 d による減算成分の算出を開始するように構成されていてもよい。更に電力変換装置 160 は、電流振幅算出部 172 b により算出される電流振幅が第 2 の電流閾値を下回ると比例・積分演算部 172 c による加算成分の算出及び比例・積分演算部 172 d による減算成分の算出を停止する（すなわち加算成分及び減算成分をゼロにする）ように構成されていてもよい。第 1 の電流閾値は、第 2 の電流閾値より大きい値に設定されていてもよい。

[0096] なお、充放電モードと非充放電モードとの切り替え手法は、出力電圧指令生成部 172 を用いた上記手法に限られない。例えば電力変換装置 160 は、非充放電モードでは電力変換部 161 による電力変換を停止させるように構成されていてもよい。

[0097] 加速／定常切替部 182 により状態 B を選択して加速電圧指令を生成する電力変換装置 160 は例えば、外側電機子部 114 に接続される電力変換装置 160 のうちのいずれかであればよい。もし外部系統 193 に接続される電力変換装置 160 があれば、その電力変換装置 160 の制御部 166 の加速／定常切替部 182 が状態 B を選択し、外部系統 193 から慣性ロータ 103 の加速に必要な電力の供給を受けることができる。

[0098] また、慣性ロータ 103 の加速が完了した後は、外部系統 193 に接続された電力変換装置 160 により定常モードの電力変換を継続すれば、フライホイール蓄電装置 100 全体で余剰電力がある場合には外部系統 193 側に電力を送出し、フライホイール蓄電装置 100 からのデマンドがある場合には外部系統 193 側から電力の供給を受けることができる。このため、一度慣性ロータ 103 の加速が完了すれば、外部系統 193 が停電状態とならない限り、加速モードの電力変換は不要となる。

[0099] 電機子部 106 と外部系統 193 との間に介在する電力変換装置 160 は

、上記充放電モードの運転状態と、上記非充放電モードの運転状態とを、慣性ロータ 103 の回転速度に関する情報に基づいて切り替えるように構成されていてもよい。慣性ロータ 103 の回転速度に関する情報は、例えばセンサなどによる慣性ロータ 103 の回転速度の実測値であってもよいし、慣性ロータ 103 の回転速度に相関する値の検出値であってもよい。慣性ロータ 103 の回転速度に相関する値の具体例としては、電圧位相周波数検出部 174 の出力であるフライホイール電圧の周波数、電機子部 106 に生じる誘起電圧等が挙げられる。例えば電力変換装置 160 は、上記フライホイール電圧の周波数が第 1 の周波数閾値を超えると比例・積分演算部 172 c による加算成分の算出及び比例・積分演算部 172 d による減算成分の算出を開始するように構成されていてもよい。更に電力変換装置 160 は、電機子部 106 に生じる誘起電圧が第 2 の周波数閾値を下回ると比例・積分演算部 172 c による加算成分の算出及び比例・積分演算部 172 d による減算成分の算出を停止する（すなわち加算成分及び減算成分をゼロにする）ように構成されていてもよい。第 1 の周波数閾値は、第 2 の周波数閾値より大きい値に設定されていてもよい。

[0100] この場合における充放電モードと非充放電モードとの切り替え手法も、出力電圧指令生成部 172 を用いた上記手法に限られない。例えば電力変換装置 160 は、非充放電モードでは電力変換部 161 による電力変換を停止させるように構成されていてもよい。また、慣性ロータ 103 の回転速度に関する情報をエリア電力マシンコントローラ 501 においてモニタし、エリア電力マシンコントローラ 501 が電力変換装置 160 の運転・停止を切り替えてもよい。

[0101] <第 1 実施形態変形例>

上述した 1 つのフライホイール蓄電システム 1 がカバーできるエリアには限界がある。そこで、フライホイール蓄電システムは、複数のフライホイール蓄電システム 1 を備えていてもよい。この場合、図 10 に示すように、複数のフライホイール蓄電システム 1 のフライホイール蓄電装置 100 は、慣

性ロータ 103 が同一の軸線まわりに回転するように重なって配置されていてもよい（タンデム重畳構造）。複数のフライホイール蓄電システム 1 のそれぞれがエリア電力マシンコントローラ 501 を備える必要はなく、1つのエリア電力マシンコントローラ 501 で複数のフライホイール蓄電システム 1 のデマンドコントロールを行ってもよい。本変形例により、装置を大型化することなく、より広いエリアをカバーできるフライホイール蓄電システムを提供することが可能となる。

[0102] 以上説明したように、本実施形態に係るフライホイール蓄電システム 1 は、フライホイール蓄電装置 100 の慣性ロータ 103 と一体になった複数の界磁部 104 に、複数の電機子部 106 を有することにより、例えば複数の風力発電システム、又は太陽光発電システムからの発電電力を貯蔵するオペレーションと同時に、電力ユーザの電力デマンドに対応でき、あたかも本実施形態に係るフライホイール蓄電システム 1 を介して、スマートグリッドと同等の機能を得ることができる。

[0103] また、複数の電機子部 106 の一つを、電力変換装置 160 を介して外部系統 193 に接続することで、フライホイール蓄電システム 1 全体で余剰がある場合には、外部系統 193 側に売電を行い、フライホイール蓄電システム 1 からのデマンドがある場合には、外部系統 193 から買電することができ、システム全体の電力授受の安定化が図れる。

[0104] 更に、フライホイール蓄電システム 1 の蓄電容量を増大させ、一日の電力取引裁定価格の中で、低価格の時間帯で外部系統 193 から電力需給を行い、これをフライホイール蓄電装置 100 に電力貯蔵し、高価格時間帯に貯蔵電力を消費することで、本実施形態に係るフライホイール蓄電システム 1 に接続された電力ユーザの、電力料金を安くすることが可能となるような運用法も可能となる。

[0105] なお、図 10 に示すタンデム重畳構造においては、重畳配置された慣性ロータ 103 同士を連結して一体化してもよい。これにより、複数のフライホイール蓄電装置 100 間で慣性ロータ 103 の回転エネルギーを共有させ、

貯蔵エネルギーの安定化を図ることができる。

[0106] <第2実施形態>

次に、図11を参照しつつ、第2実施形態に係るフライホイール蓄電システム2について説明する。フライホイール蓄電システム2は、複数のフライホイール蓄電システム1と、中継用電力変換装置260（中継電力変換装置）とを有する。図11は、二つのフライホイール蓄電システム1（以下、「第1蓄電システム1A」及び「第2蓄電システム1B」という。）を示しているが、フライホイール蓄電システム1の数は2つに限られない。中継用電力変換装置260は、第1蓄電システム1Aのフライホイール蓄電装置100と第2蓄電システム1Bのフライホイール蓄電装置100との相互間で充放電を行う。例えば中継用電力変換装置260は、第1蓄電システム1A側の電圧と、第2蓄電システム1B側の電圧とのいずれかを目標値に追従させるように電力変換を行う。中継用電力変換装置260は、第1蓄電システム1A側の電圧及び第2蓄電システム1B側の電圧のいずれを上記目標値に追従させるかを設定に応じて切り替えるように構成されていてもよい。

[0107] 図11に示すように、各フライホイール蓄電装置100における複数の電機子部106は、中継電機子部204を更に含んでおり、中継用電力変換装置260は中継電機子部204同士を接続する。

[0108] 中継電機子部204は、他の電機子部106と異なり、他のフライホイール蓄電システム1に接続されることとなる。その結果、第2実施形態によれば、各フライホイール蓄電システム1における電力の授受を、外部系統だけではなく、他の同様のフライホイール蓄電システム1との間で実施することで、電力デマンドの共有エリアを広げていくことができる。なお、中継電機子部204は慣性ロータ103の外側にあっても、内側にあってもよい。換言すると、中継電機子部204は外側電機子部114と内側電機子部124のいずれであってもよい。

[0109] 中継用電力変換装置260の構成は、電力変換装置160との共通部分を含んでいるので、以下では電力変換装置160との相違点を中心に中継用電

力変換装置 260 の構成を説明する。

- [0110] 図 12 に示すように、中継用電力変換装置 260 は、電力変換部 261 と、フィルタ 262 と、電圧検出部 263 と、フィルタ 264 と、電圧検出部 265 と、電流センサ 267、268 と、制御部 266 とを有する。電圧検出部 263 は、その接続先が第 1 蓄電システム 1A の中継電機子部 204 である点を除き、系統電圧検出部 163 と同じである。電圧検出部 265 は、その接続先が第 2 蓄電システム 1B の中継電機子部 204 である点を除き、フライホイール電圧検出部 165 と同じである。電力変換部 261 及びフィルタ 262、264 は、電力変換部 161、出力フィルタ 162 及び入力フィルタ 164 とそれぞれ同じである。電流センサ 267 は、電流センサ 167 と同様に電圧検出部 263 とフィルタ 262 との間に流れる電流を検出する。電流センサ 268 は、電圧検出部 265 とフィルタ 264 との間に流れる電流を検出する。
- [0111] 制御部 266 は、制御部 166 の電圧振幅算出部 170、173、及び電圧位相周波数検出部 171、174 を電圧振幅算出部 270、273、及び電圧位相周波数検出部 271、274 にそれぞれ置き換え、更に方向切替部 284 を付加したものである。
- [0112] 電圧振幅算出部 270 は、電圧振幅算出部 170 と同様に、電圧検出部 263 で検出された電圧の振幅（電圧振幅 E_{12} ）を算出する。電圧位相周波数検出部 271 は、電圧位相周波数検出部 171 と同様に、電圧検出部 263 で検出された電圧の位相（電圧位相 θ_{12} ）と周波数（電圧周波数 f_{12} ）とを検出する。電圧振幅算出部 273 は、電圧振幅算出部 173 と同様に、電圧検出部 265 で検出された電圧の振幅（電圧振幅 E_{11} ）を算出する。電圧位相周波数検出部 274 は、電圧位相周波数検出部 174 と同様に、電圧検出部 263 で検出された電圧の位相（電圧位相 θ_{11} ）と周波数（電圧周波数 f_{11} ）とを検出する。
- [0113] 図 13 に示すように、方向切替部 284 は、第 1 蓄電システム 1A 側を制御部 166 における電力系統側とし、第 2 蓄電システム 1B 側を制御部 16

6におけるフライホイール蓄電装置100側としたのに相当する状態Cと、第1蓄電システム1A側を制御部166におけるフライホイール蓄電装置100側とし、第2蓄電システム1B側を制御部166における電力系統側としたのに相当する状態Dとを切り替える。

[0114] 状態Cでは、電流センサ267により検出される電流 I_{12} が上記電流 I_{OUT} とされ、電圧振幅算出部270により算出される電圧振幅 E_{12} が上記電圧振幅 E_{OUT} とされ、電圧位相周波数検出部271により算出される電圧位相 θ_{12} が上記電圧位相 θ_{OUT} とされ、電圧位相周波数検出部271により算出される電圧周波数 f_{12} が上記電圧周波数 f_{OUT} とされる。また、電圧振幅算出部273により算出される電圧振幅 E_{11} が上記電圧振幅 E_{IN} とされ、電圧位相周波数検出部274により算出される電圧位相 θ_{11} が上記電圧位相 θ_{IN} とされ、電圧位相周波数検出部274により算出される電圧周波数 f_{11} が上記電圧周波数 f_{IN} とされる。更に、上記インバータ指令 C_{INV} が第1蓄電システム1A側への電力変換指令 C_{12} とされ、上記PWMコンバータ指令 C_{PWM} が第2蓄電システム1B側への電力変換指令 C_{11} とされる。

[0115] 状態Dでは、電圧振幅算出部270により算出される電圧振幅 E_{12} が上記電圧振幅 E_{IN} とされ、電圧位相周波数検出部271により算出される電圧位相 θ_{12} が上記電圧位相 θ_{IN} とされ、電圧位相周波数検出部271により算出される電圧周波数 f_{12} が上記電圧周波数 f_{IN} とされる。また、電流センサ268により検出される電流 I_{11} が上記電流 I_{OUT} とされ、電圧振幅算出部273により算出される電圧振幅 E_{11} が上記電圧振幅 E_{OUT} とされ、電圧位相周波数検出部274により算出される電圧位相 θ_{11} が上記電圧位相 θ_{OUT} とされ、電圧位相周波数検出部274により算出される電圧周波数 f_{11} が上記電圧周波数 f_{OUT} とされる。更に、上記インバータ指令 C_{INV} が第2蓄電システム1B側への電力変換指令 C_{11} とされ、上記PWMコンバータ指令 C_{PWM} が第1蓄電システム1A側への電力変換指令 C_{12} とされる。

[0116] 以上の方向切替部284の切替動作により、中継用電力変換装置260は二つの中継電機子部204の片方に対して、例えば(4)式で定まる電圧指

令に応じて電圧を出力する。中継用電力変換装置 260 はエリア電力マシンコントローラ 501 から取得した出力電圧指令による所定の大きさの電圧を片方の中継電機子部 204 側に出力できる。

[0117] また方向切替部 284 の切替動作により、中継用電力変換装置 260 は二つの中継電機子部 204 の片方に対して、その中継電機子部 204 を有するフライホイール蓄電装置 100 を起動する電力を、もう片方の中継電機子部 204 から供給することも可能である。

[0118] 以上説明したように、本実施形態に係るフライホイール蓄電システム 2 は、

1) 電力の授受を、外部系統だけではなく、他の同様のフライホイール蓄電システムとの間で実施することができるので、電力デマンドの共有エリアを広げていくことができ、変動する自然エネルギーによる発電システムにおいて、発電電力を無駄にせず効率的で経済性もよく、蓄電システムエリアの電力授受の独自性を高めることができる。

[0119] 2) このことは、外部系統への依存度が低下するため、災害時等、外部電力系統遮断の際でも、エリア内の電力需給が確保できるため、長時間の生活インフラを確保することが可能となる。

[0120] <第 2 実施形態変形例>

第 2 実施形態における複数のフライホイール蓄電システム 1 を、第 1 実施形態変形例で示したタンデム重畳構造としてもよい。

[0121] <本実施形態の効果>

以上に説明したように、フライホイール蓄電システム 1 は、慣性ロータ 103 の回転エネルギーとして電気エネルギーを蓄えるフライホイール蓄電装置 100 と、フライホイール蓄電装置 100 に対する充放電を互いに独立して行う複数の電力変換装置 160 と、を備える。

[0122] フライホイール蓄電装置 100 においては、機械要素の劣化が生じない限り慣性ロータ 103 自体の蓄電性能は原理的に低下しない。このため、蓄電池に比較して高頻度の充放電に適応可能である。この性質を利用し、フライ

ホイール蓄電システム１は、フライホイール蓄電装置１００に対する充放電を互いに独立して行う複数の電力変換装置１６０を備える。これにより、消費時間帯と供給時間帯とのずれを吸収しつつ、多様な電力消費系統１９２と多様な電力供給系統１９１とを接続することができる。多様な電力消費系統１９２と多様な電力供給系統１９１との間に介在することによって、フライホイール蓄電装置１００における電力の需給バランスが保たれ易くなる。このため、個々の系統による電力消費及び電力供給が不安定であっても、システム全体として電力の安定利用を図り易くなる。したがって、分散電源の更なる活用に有効である。

[0123] フライホイール蓄電装置１００は、慣性ロータ１０３を磁気により浮上させた状態で回転させる磁気浮上型の蓄電装置であってもよい。この場合、慣性ロータ１０３におけるエネルギーロスを低減し、分散電源の更なる有効活用を図ることができる。また、慣性ロータ１０３を磁気により浮上させることにより、機械要素の劣化が抑制されるので、フライホイール蓄電装置１００の長寿命化も期待される。

[0124] フライホイール蓄電装置１００は、慣性ロータ１０３の回転中心を囲むように並び慣性ロータ１０３に固定された複数の界磁部１０４と、複数の電力変換装置１６０にそれぞれ接続され複数の界磁部１０４に対向する複数の電機子部１０６とを有し、複数の電力変換装置１６０のそれぞれはフライホイール蓄電装置１００の電機子部１０６側と、電機子部１０６の逆側との間で電力変換を行ってもよい。

[0125] フライホイール蓄電装置１００は、回転中心に垂直となるように慣性ロータ１０３に固定された界磁ディスク１０５を有し、界磁部１０４は、磁化方向が界磁ディスク１０５に垂直となるように界磁ディスク１０５に固定され、電機子部１０６は界磁ディスク１０５の少なくとも片面に対向していてもよい。この場合、ラジアル方向において電機子部１０６と界磁部１０４との間に生じる力が小さくなる。このため、互いに独立した充放電に関与する複数の電機子部１０６が界磁ディスク１０５に対向していても、ラジアル方向

における界磁ディスク１０５の位置が安定し易い。

[0126] 界磁部１０４は、界磁ディスク１０５の両面を互いに逆極性にするように設けられ、電機子部１０６は、界磁ディスク１０５の両面にそれぞれ対向し界磁ディスク１０５を貫通する磁界を発生させる少なくとも一組のコイル（外側電機子部コイル１１６又は内側電機子部コイル１２６）を有していてもよい。この場合、界磁ディスク１０５のアキシャル方向において、界磁部１０４の両側に生じる力が打ち消し合うので、アキシャル方向における界磁ディスク１０５の位置が安定し易い。

[0127] コイル（外側電機子部コイル１１６又は内側電機子部コイル１２６）は空芯コイルであってもよい。この場合、アキシャル方向において界磁部１０４の両側に生じる力が小さくなるので、アキシャル方向における界磁ディスク１０５の位置が更に安定し易い。

[0128] 界磁ディスク１０５は環状であり、複数の界磁部１０４は、界磁ディスク１０５の外周に沿って並ぶ複数の外側界磁部１１２と、界磁ディスクの内周に沿って並ぶ複数の内側界磁部１２２とを含み、複数の電機子部１０６は、複数の外側界磁部１１２に対向する外側電機子部１１４と、複数の内側界磁部１２２に対向する内側電機子部１２４とを含んでいてもよい。この場合、界磁ディスク１０５の内周及び外周の両方を利用することで、より多くの電機子部１０６を配置することができる。

[0129] 複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、電機子部１０６の逆側の電圧が目標値に追従するように電力変換を行ってもよい。この場合、各電力変換装置１６０の制御が簡素化されるので、システムを容易に構築することが可能となる。また、システム構築後における電力変換装置１６０の追加・削除も容易となる。

[0130] 複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、電機子部１０６の逆側の電力が交流電力である場合に、電機子部１０６の逆側の電圧振幅及び位相が目標値に追従するように電力変換を行ってもよい。

[0131] 複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、フライホイール蓄電装置

１００に充放電を行う充放電モードの運転状態と、フライホイール蓄電装置１００に充放電を行わない非充放電モードの運転状態とを、フライホイール蓄電装置１００の逆側の電流振幅に基づいて切り替えてもよい。この場合、例えば微小な充放電をカットすることで慣性ロータ１０３の加減速頻度を抑制し、蓄電状態の安定性を向上させることができる。

[0132] 複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、フライホイール蓄電装置１００の電機子部１０６と外部系統１９３との間に介在してもよい。この場合、フライホイール蓄電装置１００の蓄電レベルの過不足が外部系統１９３により補われるので、蓄電状態の安定性を向上させることができる。

[0133] フライホイール蓄電装置１００の電機子部１０６と外部系統１９３との間に介在する電力変換装置１６０は、フライホイール蓄電装置１００に充放電を行う充放電モードの運転状態と、フライホイール蓄電装置１００に充放電を行わない非充放電モードの運転状態とを、慣性ロータ１０３の回転速度に関する情報に基づいて切り替えてもよい。この場合、フライホイール蓄電装置１００と外部系統１９３との接続を制限することによって、蓄電電力のより有効な活用を図ることができる。

[0134] 複数の電力変換装置１６０の少なくとも一つは、電機子部１０６側の電圧を慣性ロータ１０３の加速用の目標値に追従させる加速モードの電力変換を、慣性ロータ１０３の回転速度の上昇に応じて、電機子部１０６の逆側の電圧を所定の目標値に追従させる定常モードの電力変換に切り替えてもよい。この場合、フライホイール蓄電装置１００を容易に起動させることができる。

[0135] フライホイール蓄電システム１は、上記のフライホイール蓄電システム１である複数のフライホイール蓄電システム１を備え、複数のフライホイール蓄電システム１のフライホイール蓄電装置１００は、慣性ロータ１０３が同一の軸線まわりに回転するように重なって配置されていてもよい。この場合、限られたスペースにより多くのフライホイール蓄電システム１を設置することができる。

- [0136] フライホイール蓄電システム2は、上記のフライホイール蓄電システム1である第1蓄電システム1A及び第2蓄電システム1Bと、第1蓄電システム1Aのフライホイール蓄電装置100と第2蓄電システム1Bのフライホイール蓄電装置100との相互間で充放電を行う中継用電力変換装置260と、を備えていてもよい。この場合、二つのフライホイール蓄電システム1同士を電氣的に接続することによって、より多くの電力消費系統192及び電力供給系統191を接続し、システム全体として電力の安定利用をより確実に図ることができる。
- [0137] 中継用電力変換装置260は、第1蓄電システム1A側の電圧と、第2蓄電システム1B側の電圧とのいずれかを所定の目標値に追従させるように電力変換を行ってもよい。
- [0138] 中継用電力変換装置260は、第1蓄電システム1A側の電圧及び第2蓄電システム1B側の電圧のいずれを目標値に追従させるかを設定に応じて切り替えてもよい。この場合、フライホイール蓄電システム1同士の関係を実情に合わせて柔軟に設定することができる。
- [0139] 以上、本発明の実施形態について説明した。ただし、いわゆる当業者であれば、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内で、上記実施形態から適宜変更が可能であり、また、上記実施形態と変更例による手法を適宜組み合わせて利用することも可能である。すなわち、このような変更等が施された技術であっても、本発明の技術的範囲に含まれることは言うまでもない。
- [0140] 例えば図14に示すように、第2実施形態の手法により接続されるフライホイール蓄電システム1の数が多くなった場合に、これらを複数のグループに分けてグループごとにエリア電力マシンコントローラ501を配置し、更に複数のエリア電力マシンコントローラ501を統合するトータル電力マネジメントコントローラ520を設けてもよい。また、複数のエリア電力マシンコントローラ501を複数のグループに分けてグループごとにマスタコントローラ501Aとスレーブコントローラ501Bとを設定し、トータル電力マネジメントコントローラ520によって複数のマスタコントローラ50

1 Aを統合してもよい。これらの構成によって、デマンドコントロールの処理を分散し、個別コントロールの効率向上と、データの一元化によるコントロールのスマート化（例えば機械学習の活用）との両立を図ることができる。

符号の説明

[0141] 1, 2…フライホイール蓄電システム、100…フライホイール蓄電装置、103…慣性ロータ、104…界磁部、105…界磁ディスク、106…電機子部、112…外側界磁部（外周側界磁部）、114…外側電機子部（外周側電機子部）、116…外側電機子部コイル（コイル）、122…内側界磁部（内周側界磁部）、124…内側電機子部（内周側電機子部）、126…内側電機子部コイル（コイル）、160…電力変換装置、193…外部系統（商用電源系統）、260…中継用電力変換装置（中継電力変換装置）。

請求の範囲

- [請求項1] 慣性ロータの回転エネルギーとして電気エネルギーを蓄えるフライホイール蓄電装置と、
前記フライホイール蓄電装置に対する充放電を互いに独立して行う複数の電力変換装置と、を備えるフライホイール蓄電システム。
- [請求項2] 前記フライホイール蓄電装置は、前記慣性ロータを磁気により浮上させた状態で回転させる磁気浮上型の蓄電装置である、請求項1記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項3] 前記フライホイール蓄電装置は、前記慣性ロータの回転中心を囲むように並び前記慣性ロータに固定された複数の界磁部と、
前記複数の電力変換装置にそれぞれ接続され前記複数の界磁部に対向する複数の電機子部とを有し、
前記複数の電力変換装置のそれぞれは前記フライホイール蓄電装置の電機子部側と、前記電機子部の逆側との間で電力変換を行う、請求項1又は2記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項4] 前記フライホイール蓄電装置は、前記回転中心に垂直となるように前記慣性ロータに固定された界磁ディスクを有し、
前記界磁部は、磁化方向が前記界磁ディスクに垂直となるように前記界磁ディスクに固定され、
前記電機子部は前記界磁ディスクの少なくとも片面に対向している、請求項3記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項5] 前記界磁部は、前記界磁ディスクの両面を互いに逆極性にするように設けられ、
前記電機子部は、前記界磁ディスクの両面にそれぞれ対向し前記界磁ディスクを貫通する磁界を発生させる少なくとも一組のコイルを有する、請求項4記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項6] 前記コイルは空芯コイルである、請求項5記載のフライホイール蓄電システム。

- [請求項7] 前記界磁ディスクは環状であり、
前記複数の界磁部は、前記界磁ディスクの外周に沿って並ぶ複数の外周側界磁部と、前記界磁ディスクの内周に沿って並ぶ複数の内周側界磁部とを含み、
前記複数の電機子部は、前記複数の外周側界磁部に対向する外周側電機子部と、前記複数の内周側界磁部に対向する内周側電機子部とを含む、請求項4～6のいずれか一項記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項8] 前記複数の電力変換装置の少なくとも一つは、前記電機子部の逆側の電圧が目標値に追従するように電力変換を行う、請求項3～7のいずれか一項記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項9] 前記複数の電力変換装置の少なくとも一つは、前記電機子部の逆側の電力が交流電力である場合に、前記電機子部の逆側の電圧振幅及び位相が目標値に追従するように電力変換を行う、請求項8記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項10] 前記複数の電力変換装置の少なくとも一つは、前記フライホイール蓄電装置に充放電を行う充放電モードの運転状態と、前記フライホイール蓄電装置に充放電を行わない非充放電モードの運転状態とを、前記フライホイール蓄電装置の逆側の電流振幅に基づいて切り替える、請求項8又は9記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項11] 前記複数の電力変換装置の少なくとも一つは、前記フライホイール蓄電装置の電機子部と商用電源系統との間に介在する、請求項8～10のいずれか一項記載のフライホイール蓄電システム。
- [請求項12] 前記フライホイール蓄電装置の電機子部と前記商用電源系統との間に介在する電力変換装置は、前記フライホイール蓄電装置に充放電を行う充放電モードの運転状態と、前記フライホイール蓄電装置に充放電を行わない非充放電モードの運転状態とを、前記慣性ロータの回転速度に関する情報に基づいて切り替える、請求項11記載のフライホ

イール蓄電システム。

[請求項13] 前記複数の電力変換装置の少なくとも一つは、前記電機子部側の電圧を前記慣性ロータの加速用の目標値に追従させる加速モードの電力変換を、前記慣性ロータの回転速度の上昇に応じて、前記電機子部の逆側の電圧を所定の目標値に追従させる定常モードの電力変換に切り替える、請求項8～12のいずれか一項記載のフライホイール蓄電システム。

[請求項14] 請求項1～13のいずれか一項記載のフライホイール蓄電システムである複数のフライホイール蓄電システムを備え、

前記複数のフライホイール蓄電システムの前記フライホイール蓄電装置は、前記慣性ロータが同一の軸線まわりに回転するように重なって配置されている、請求項3～11のいずれか一項記載のフライホイール蓄電システム。

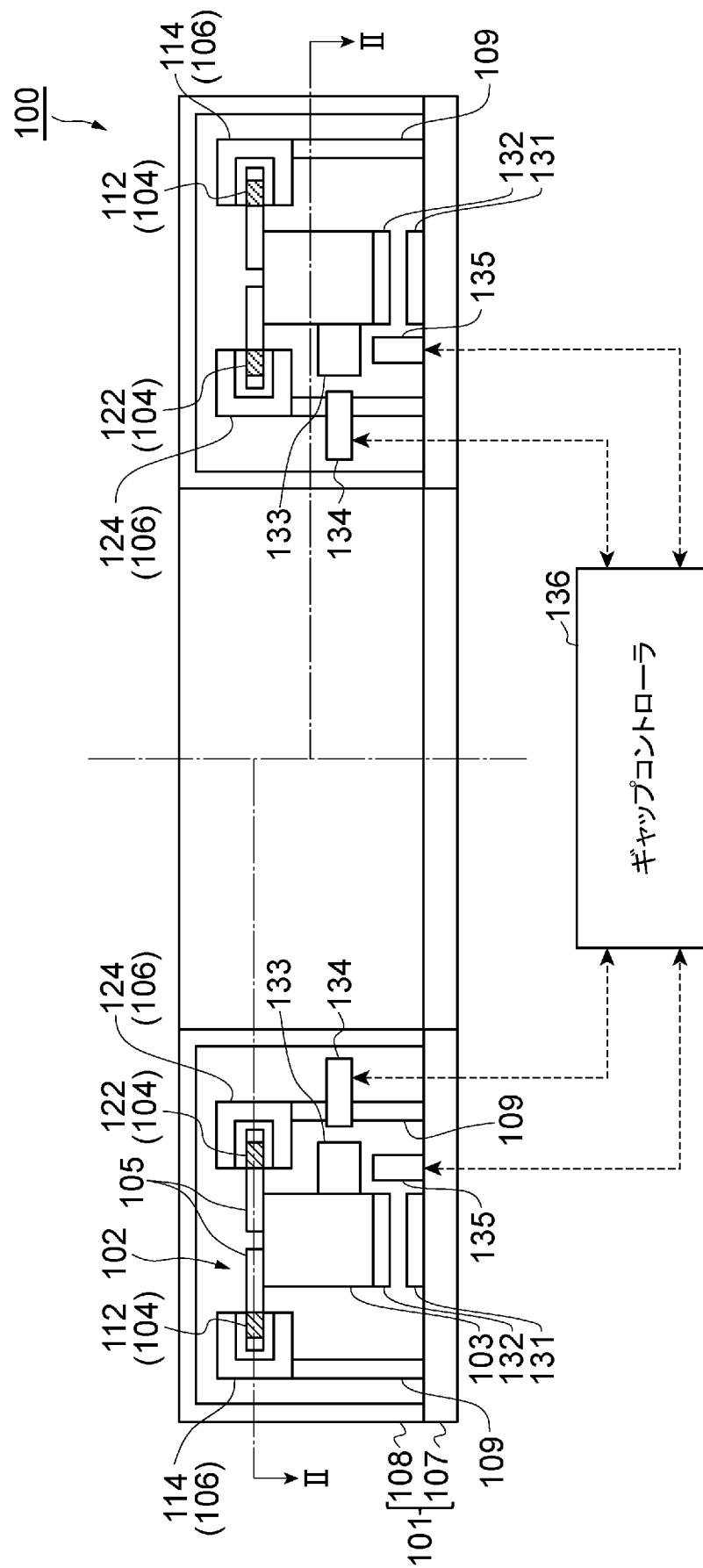
[請求項15] 請求項3～14のいずれか一項記載のフライホイール蓄電システムである第1蓄電システム及び第2蓄電システムと、

前記第1蓄電システムの前記フライホイール蓄電装置と、前記第2蓄電システムの前記フライホイール蓄電装置との相互間で充放電を行う中継電力変換装置と、を備える、フライホイール蓄電システム。

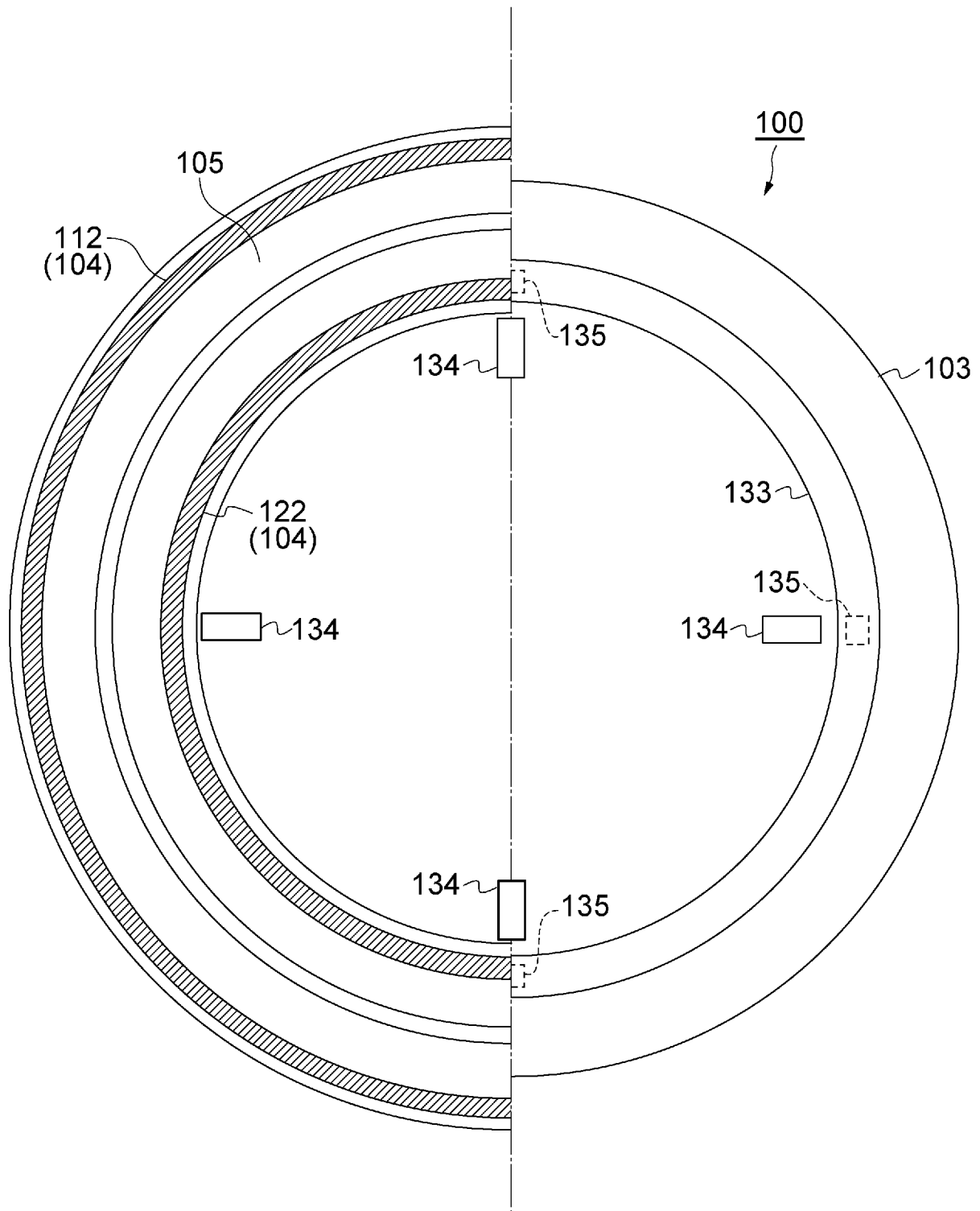
[請求項16] 前記中継電力変換装置は、前記第1蓄電システム側の電圧と、前記第2蓄電システム側の電圧とのいずれかを所定の目標値に追従させるように電力変換を行う、請求項15記載のフライホイール蓄電システム。

[請求項17] 前記中継電力変換装置は、前記第1蓄電システム側の電圧及び前記第2蓄電システム側の電圧のいずれを前記目標値に追従させるかを設定に応じて切り替える、請求項16記載のフライホイール蓄電システム。

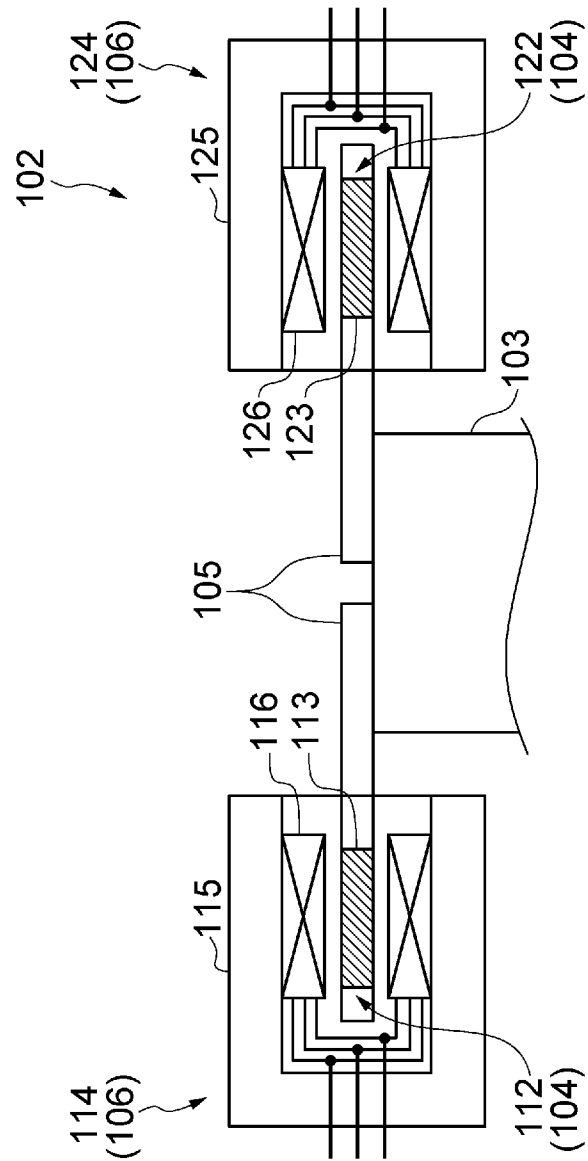
[図1]



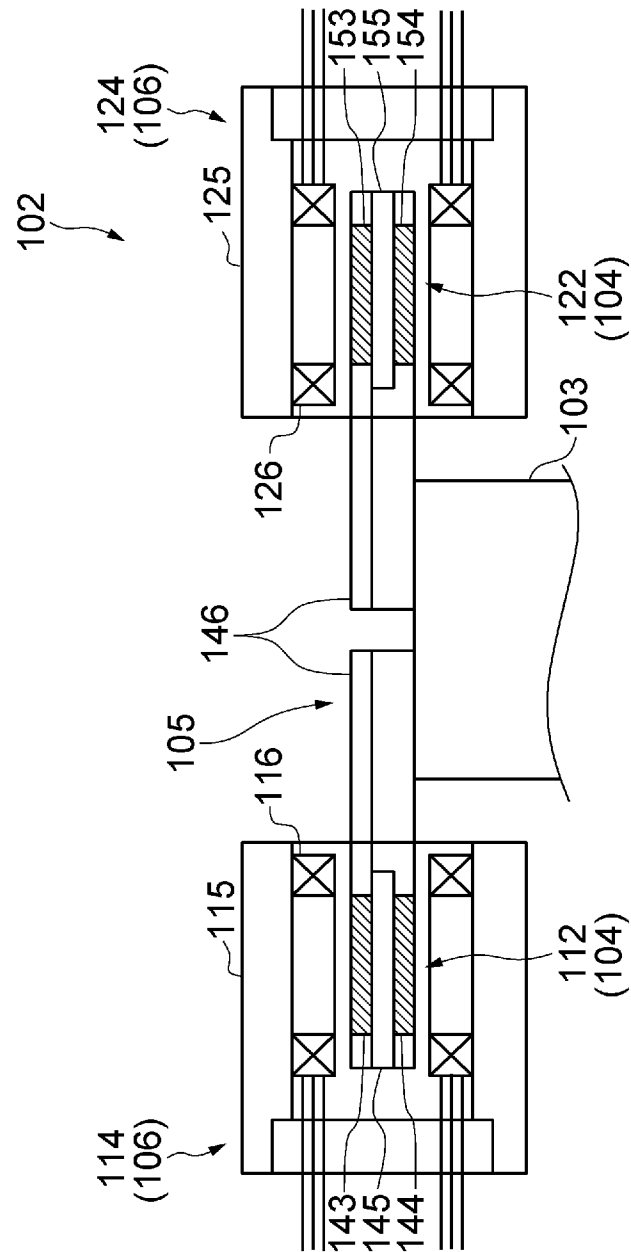
[図2]



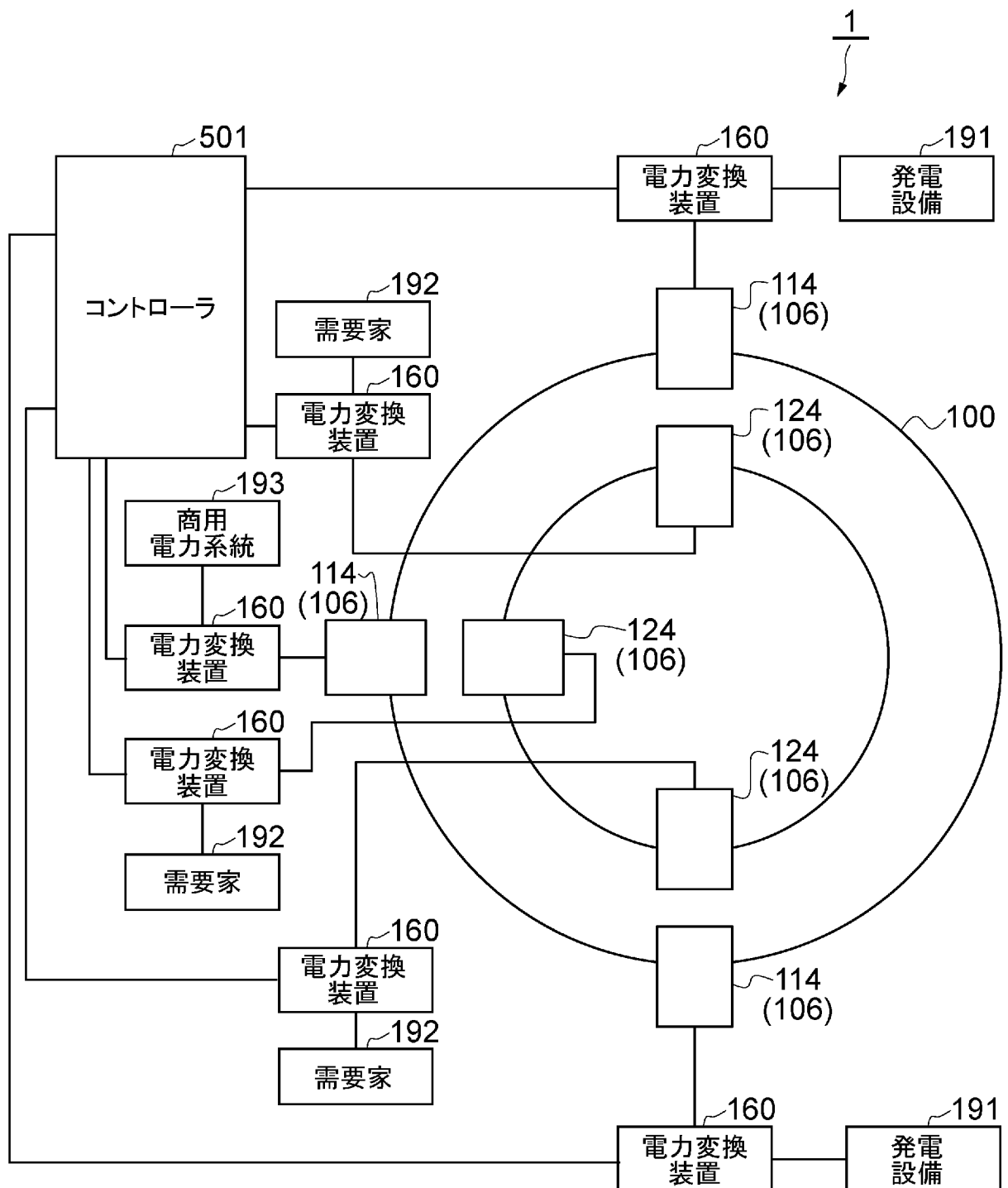
[図3]



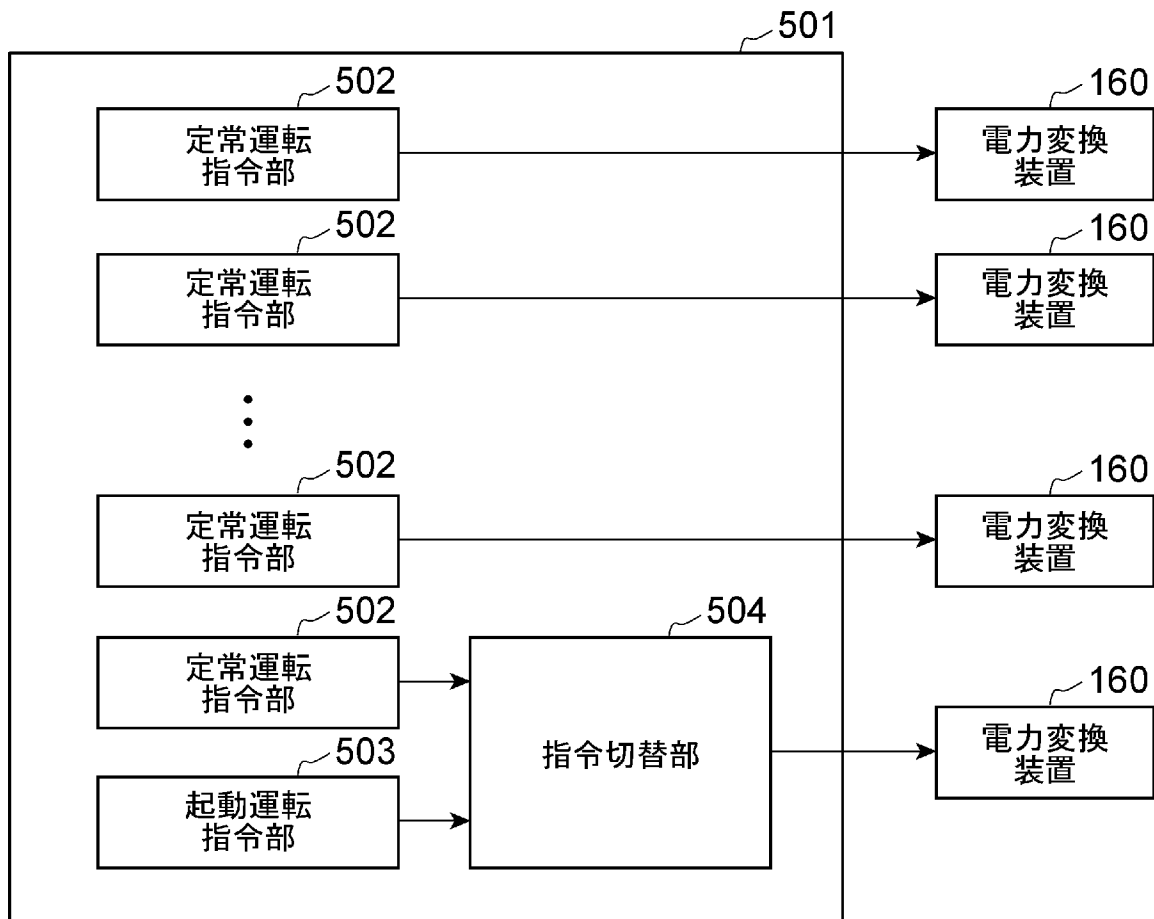
[図4]



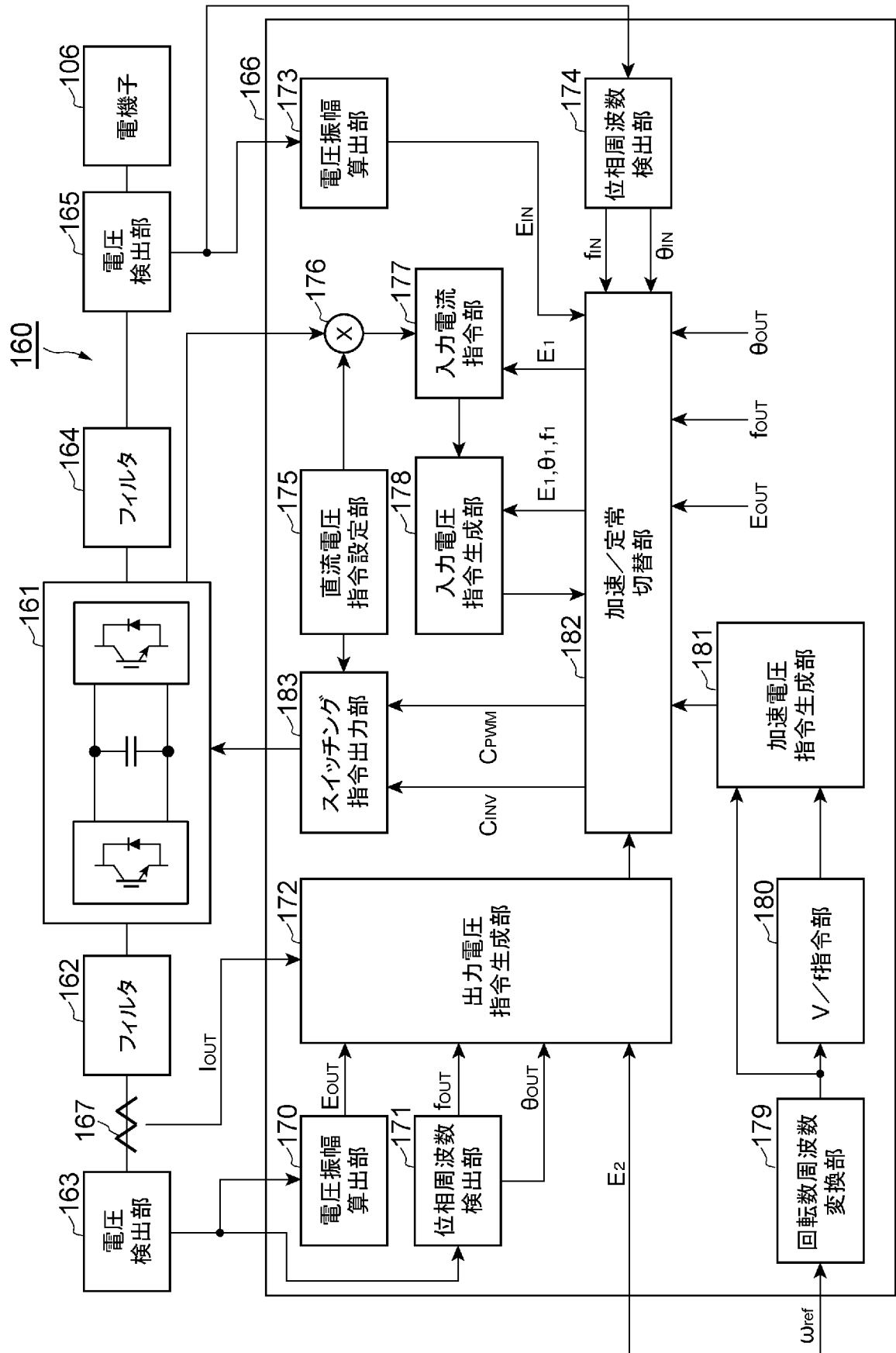
[図5]



[図6]



[図7]



出力電圧
指令

入力電圧
指令

加速電圧
指令

74VHC182

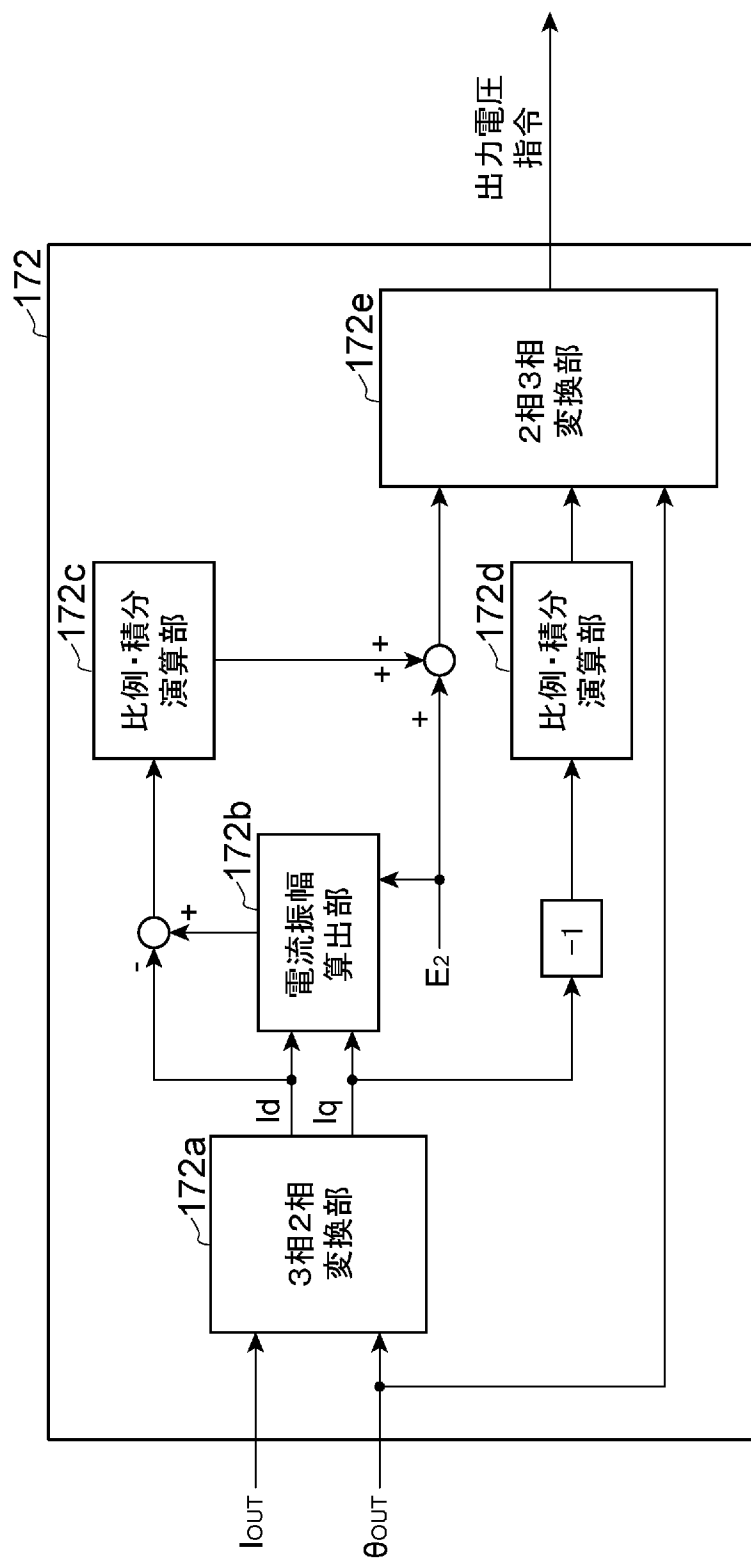
CINV, CPWM, f_1 , E_1 , θ_1 (left side)

CIN, CPWM, f_1 , E_1 , θ_1 (right side)

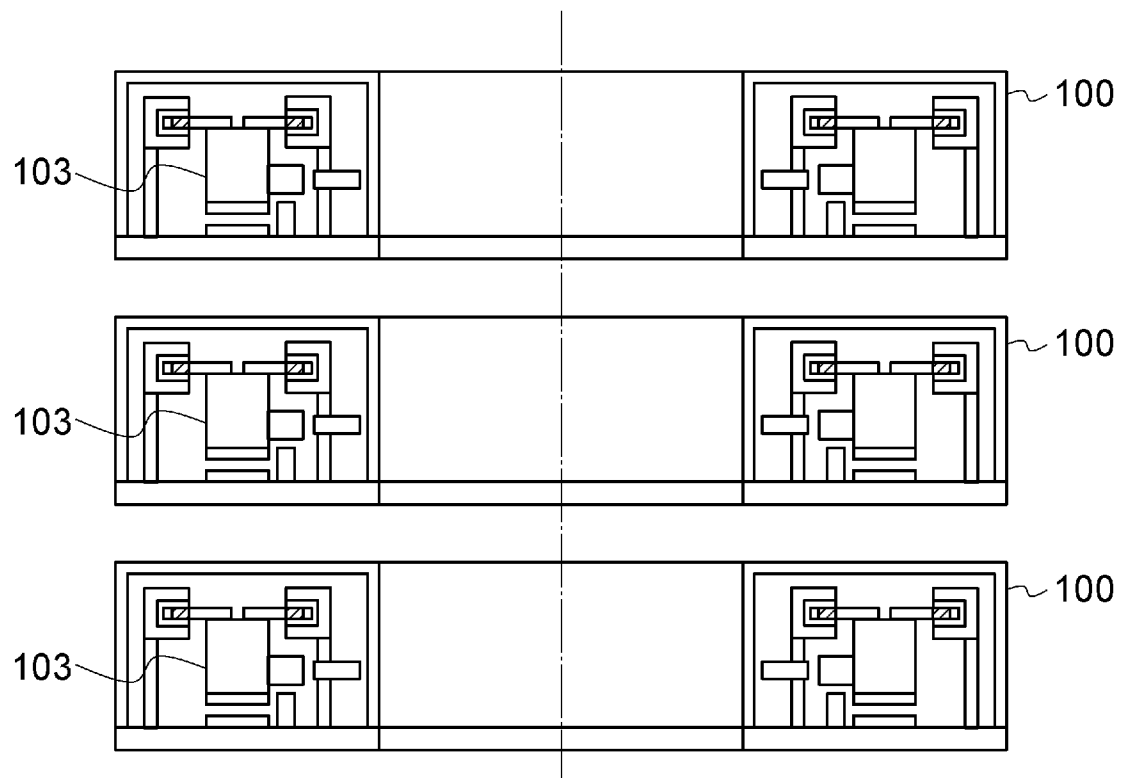
COUT, CPWM, f_1 , E_1 , θ_1 (left side)

COUT, CPWM, f_1 , E_1 , θ_1 (right side)

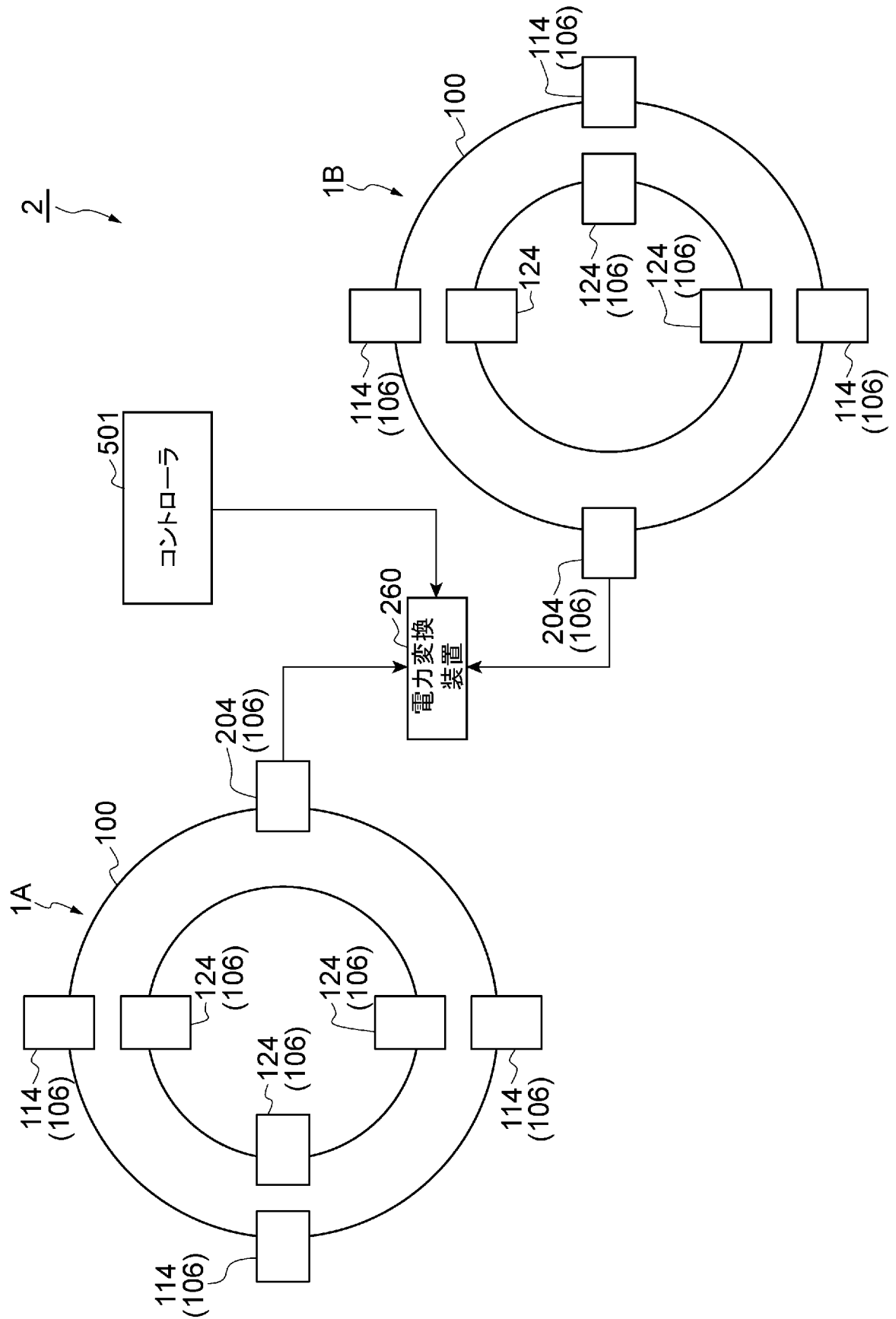
[図9]



[図10]



[図11]



The diagram illustrates a power converter system with two motor drives, 204(A) and 204(B), and a central direction switching unit 170.

Motor Drive 204(A) and 204(B): Each drive consists of a motor (204(A) or 204(B)), a voltage detector (263 or 265), a filter (267 or 264), and a voltage output unit (262 or 268). The voltage output units are connected to the direction switching unit 170 via signal lines 270 and 271.

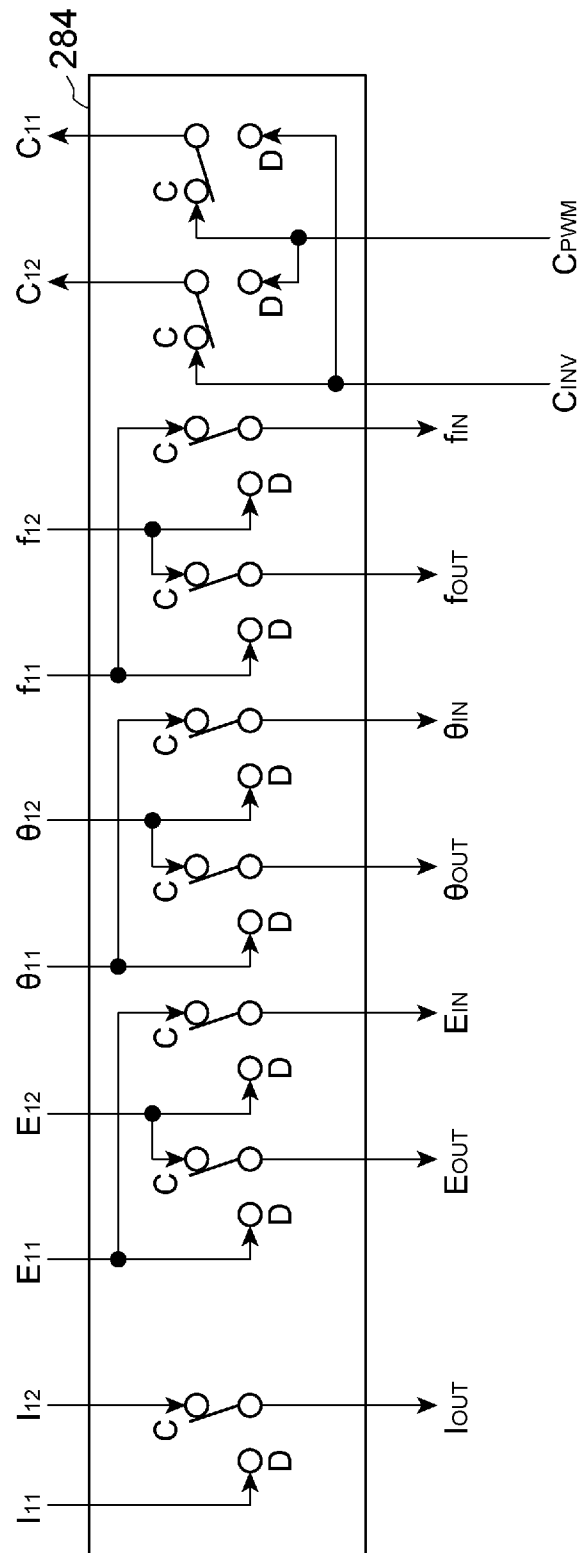
Direction Switching Unit 170: This unit receives signals from the motor drives and controls the switching of the motor's direction. It includes a switching output unit (183) and a DC voltage setting unit (175). The switching output unit (183) outputs signals C_{11} and C_{12} to the motor drives. The DC voltage setting unit (175) outputs a signal I_{11} to the motor drive 204(B).

Control and Monitoring Units: The system includes several control and monitoring units:

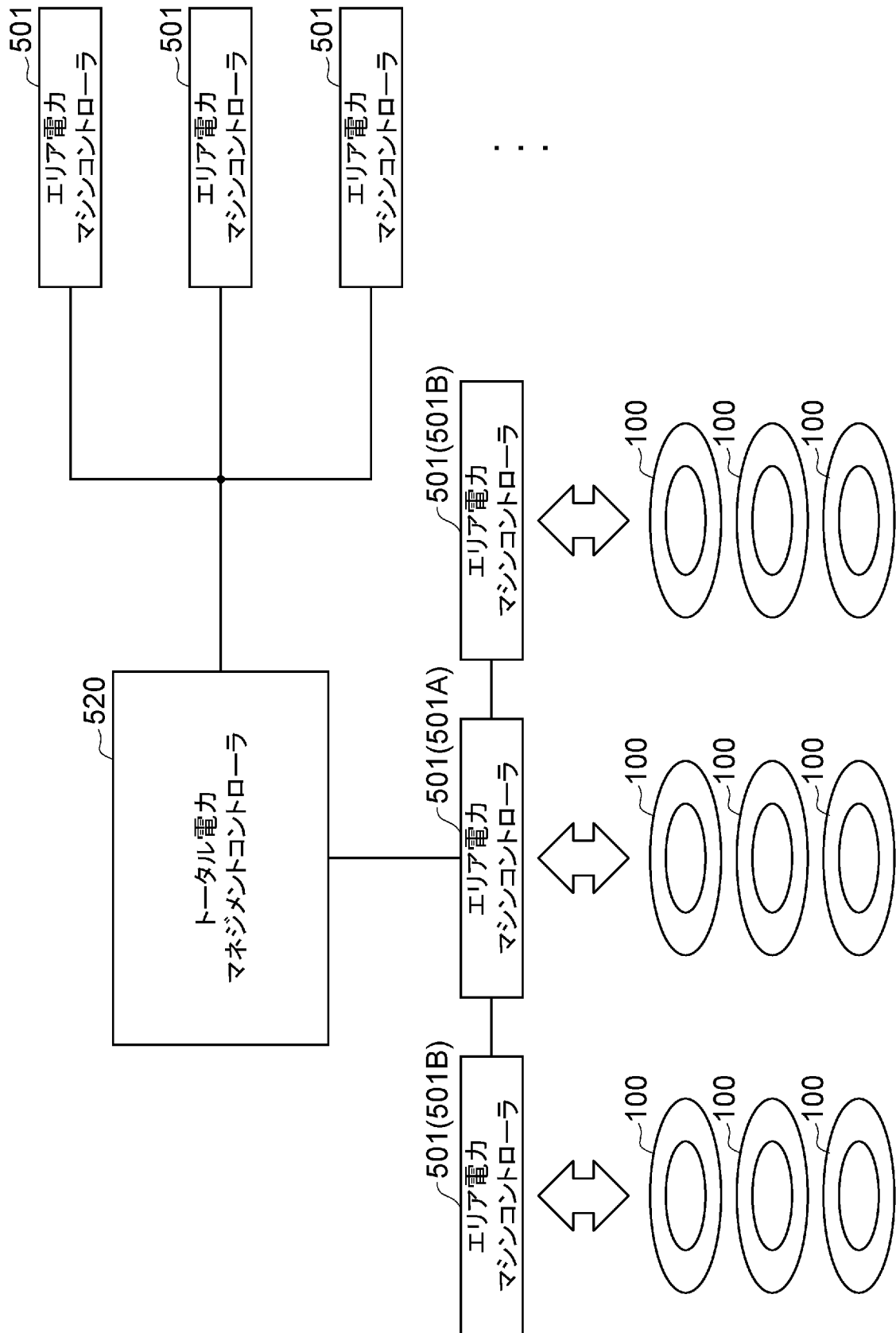
- Input Current Command Unit (177):** Receives a reference current I_{ref} and outputs a command I_{11} .
- Input Voltage Command Unit (178):** Receives a reference voltage E_{ref} and outputs a command E_1 .
- Output Voltage Command Unit (172):** Receives a reference voltage E_2 and outputs a command E_{OUT} .
- Acceleration/Constant Switching Unit (182):** Receives a reference frequency ω_{ref} and outputs a command f_{IN} .
- Acceleration Voltage Command Unit (181):** Receives a reference frequency ω_{ref} and outputs a command E_{11} .
- V/f Command Unit (180):** Receives a reference frequency ω_{ref} and outputs a command θ_{11} .
- Phase Locking Unit (273):** Receives a reference frequency ω_{ref} and outputs a command θ_{11} .
- Amplitude Calculation Unit (274):** Receives a reference frequency ω_{ref} and outputs a command f_{11} .

Power Flow and Signals: The system includes a power source (179) and a power switch (176). The power source (179) provides a reference frequency ω_{ref} to the control units. The power switch (176) is controlled by the direction switching unit 170 and the input current command unit 177. The power switch (176) outputs a signal I_{11} to the motor drive 204(B). The power switch (176) also outputs a signal E_1 to the input voltage command unit 178. The power switch (176) outputs a signal E_{11} to the acceleration voltage command unit 181. The power switch (176) outputs a signal θ_{11} to the V/f command unit 180. The power switch (176) outputs a signal f_{11} to the amplitude calculation unit 274. The power switch (176) outputs a signal I_{12} to the motor drive 204(A). The power switch (176) outputs a signal E_{12} to the output voltage command unit 172. The power switch (176) outputs a signal θ_{12} to the phase locking unit 273. The power switch (176) outputs a signal f_{12} to the amplitude calculation unit 274.

[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/009783

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H02J9/06(2006.01)i, H02J3/30(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. H02J9/06, H02J3/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 145276/1983 (Laid-open No. 55246/1985) (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 18 April 1985, fig. 3, page 4, lines 8-16 (Family: none)	1-6, 8-17
Y	JP 2005-20978 A (KINOSHITA, Yukio) 20 January 2005, fig. 4, 5, claim 1 (Family: none)	1-6, 8-17
Y	JP 11-341708 A (RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE) 10 December 1999, fig. 1-13, paragraphs [0037], [0046] (Family: none)	1-6, 8-17
Y	JP 2002-130278 A (MEIDENSHA CORP.) 09 May 2002, fig. 1, 2, paragraph [0020] (Family: none)	1-6, 8-17



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
20.03.2019Date of mailing of the international search report
04.06.2019Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/009783

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 56-3338 A (TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO., LTD.) 14 January 1981, fig. 1, page 4, upper right column, line 15 to lower left column, line 4 (Family: none)	10-17
Y	JP 2008-127145 A (TOYOTA INDUSTRIES CORP.) 05 June 2008, paragraph [0069] (Family: none)	12-13, 15-17
Y	JP 2000-47739 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 18 February 2000, fig. 3, Prior Art (Family: none)	1-6, 8-17
A	WO 2016/000017 A1 (KERBS AUTOTECH PTY LTD.) 07 January 2016, entire text, all drawings & JP 2017- 527244 A & US 2017/0149303 A1 & CA 2953592 A1 & CN 106794752 A	7

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02J9/06(2006.01)i, H02J3/30(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02J9/06, H02J3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	日本国実用新案登録出願58-145276号(日本国実用新案登録出願公開60-55246号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム (三菱電機株式会社) 1985.04.18, 第3図、4頁8～16行 (ファミリーなし)	1-6, 8-17
Y	JP 2005-20978 A (木下 幸雄) 2005.01.20, 図4, 5、【請求項1】 (ファミリーなし)	1-6, 8-17

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20.03.2019

国際調査報告の発送日

04.06.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

坂東 博司

5 T

4 2 3 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3568

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 11-341708 A (財団法人鉄道総合技術研究所) 1999. 12. 10, 図 1 ～ 13、【0037】、【0046】 (ファミリーなし)	1-6, 8-17
Y	JP 2002-130278 A (株式会社明電舎) 2002. 05. 09, 図 1, 2、【00 20】 (ファミリーなし)	1-6, 8-17
Y	JP 56-3338 A (東京芝浦電気株式会社) 1981. 01. 14, 第 1 図、4 頁 右上欄 15 行～左下欄 4 行 (ファミリーなし)	10-17
Y	JP 2008-127145 A (株式会社豊田自動織機) 2008. 06. 05, 【006 9】 (ファミリーなし)	12-13, 15-17
Y	JP 2000-47739 A (三菱電機株式会社) 2000. 02. 18, 図 3、【従来の 技術】 (ファミリーなし)	1-6, 8-17
A	WO 2016/000017 A1 (KERBS AUTOTECH PTY LTD) 2016. 01. 07, 全文、 全図 & JP 2017-527244 A & US 2017/0149303 A1 & CA 2953592 A1 & CN 106794752 A	7