

(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  
2018年10月4日(04.10.2018)



(10) 国際公開番号

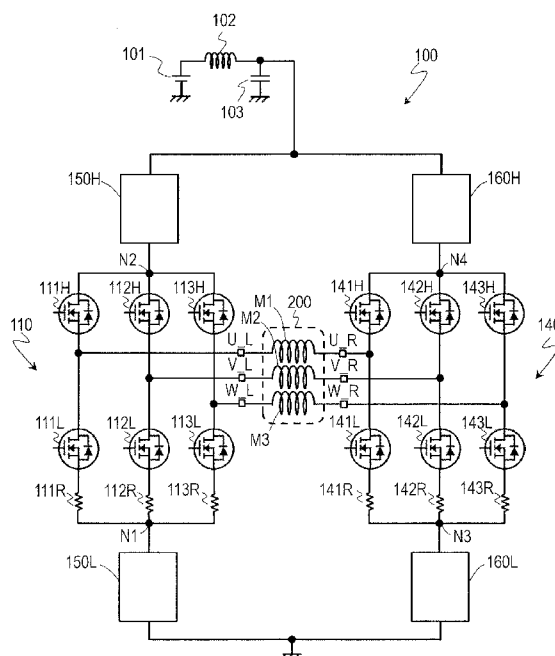
**WO 2018/180274 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*H02M 7/493* (2007.01) *B62D 5/04* (2006.01)  
*B60R 16/03* (2006.01) *H02M 7/48* (2007.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/008529
- (22) 国際出願日: 2018年3月6日(06.03.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2017-070711 2017年3月31日(31.03.2017) JP
- (71) 出願人: 日本電産株式会社 (NIDEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 鍋師 香織(NABESHI, Kaori); 〒6018205 京都府京都市南区久世殿城町 3 3 8 番地 日本電産株式会社内 Kyoto (JP).
- (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,

(54) Title: POWER CONVERSION DEVICE, MOTOR DRIVE UNIT, AND ELECTRIC POWER STEERING DEVICE

(54) 発明の名称: 電力変換装置、モータ駆動ユニットおよび電動パワーステアリング装置

[図1]



(57) Abstract: The power conversion device converts power from a power source into power to be supplied to a motor having n-phase (n is an integer equal to or greater than 3) windings. The power conversion device is provided with a first inverter connected to one end of each phase winding of the motor and a second inverter connected to the other end of the each phase winding. The power conversion device is provided with a neutral point potential setting circuit which is connected to the first inverter and which sets a potential of a neutral point formed in the first inverter in the event of an

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))

---

abnormality in the first inverter.

(57) 要約: 電力変換装置は、電源からの電力を、 $n$ 相 ( $n$ は3以上の整数) の巻線を有するモータへ供給する電力に変換する。電力変換装置は、モータの各相の巻線の一端に接続される第1インバータと、各相の巻線他端に接続される第2インバータとを備える。電力変換装置は、第1インバータに接続され、第1インバータの異常時に第1インバータに構成される中性点の電位を設定する中性点電位設定回路を備える。

## 明 細 書

発明の名称：

### 電力変換装置、モータ駆動ユニットおよび電動パワーステアリング装置 技術分野

[0001] 本開示は、電源からの電力を、電動モータに供給する電力に変換する電力変換装置、モータ駆動ユニットおよび電動パワーステアリング装置に関する。

### 背景技術

[0002] ブラシレスDCモータおよび交流同期モータなどの電動モータ（以下、単に「モータ」と表記する。）は、一般的に三相電流によって駆動される。三相電流の波形を正確に制御するため、ベクトル制御などの複雑な制御技術が用いられる。このような制御技術では、高度な数学的演算が必要であり、マイクロコントローラ（マイコン）などのデジタル演算回路が用いられる。ベクトル制御技術は、モータの負荷変動が大きな用途、例えば、洗濯機、電動アシスト自転車、電動スクータ、電動パワーステアリング装置、電気自動車、産業機器などの分野で活用されている。

[0003] 車載分野においては、自動車用電子制御ユニット（ECU：Electrical Control Unit）が車両に用いられる。ECUは、マイクロコントローラ、電源、入出力回路、ADコンバータ、負荷駆動回路およびROM（Read Only Memory）などを備える。ECUを核として電子制御システムが構築される。例えば、ECUはセンサからの信号を処理してモータなどのアクチュエータを制御する。具体的に説明すると、ECUはモータの回転速度やトルクを監視しながら、電力変換装置におけるインバータを制御する。ECUの制御の下で、電力変換装置はモータに供給する駆動電力を変換する。

[0004] 近年、モータ、電力変換装置およびECUが一体化された機電一体型モータが開発されている。特に車載分野においては、安全性の観点から高い品質保証が要求される。そのため、部品の一部が故障した場合でも安全動作を継続

できる冗長設計が取り入れられている。冗長設計の一例として、1つのモータに対して2つの電力変換装置を設けることが検討されている。他の一例として、メインのマイクロコントローラにバックアップ用マイクロコントローラを設けることが検討されている。

[0005] 例えば特許文献1は、制御部と、2つのインバータとを備え、三相モータに供給する電力を変換する電力変換装置を開示している。2つのインバータの各々は電源およびグランド（以下、「GND」と表記する。）に接続される。一方のインバータは、モータの三相の巻線の一端に接続され、他方のインバータは、三相の巻線他端に接続される。各インバータは、各々がハイサイドスイッチング素子およびローサイドスイッチング素子を含む3つのlegから構成されるブリッジ回路を備える。制御部は、2つのインバータにおけるスイッチング素子の故障を検出した場合、モータ制御を正常時の制御から異常時の制御に切替える。本願明細書において、「異常」とは、主としてスイッチング素子の故障を意味する。また、「正常時の制御」は、全てのスイッチング素子が正常な状態における制御を意味し、「異常時の制御」は、あるスイッチング素子に故障が生じた状態における制御を意味する。

[0006] 異常時の制御において、2つのインバータのうちの故障したスイッチング素子を含むインバータ（以下、「故障インバータ」と表記する。）には、スイッチング素子を所定の規則でオンおよびオフすることにより巻線の中性点が構成される。その規則によれば、例えば、ハイサイドスイッチング素子が常時オフとなるオープン故障が発生した場合、インバータのブリッジ回路において、3つのハイサイドスイッチング素子のうちの故障したスイッチング素子以外のものはオフし、かつ、3つのローサイドスイッチング素子はオンする。その場合、中性点はローサイド側に構成される。または、ハイサイドスイッチング素子が常時オンとなるショート故障が発生した場合、インバータのブリッジ回路において、3つのハイサイドスイッチング素子のうちの故障したスイッチング素子以外のものはオンし、かつ、3つのローサイドスイッチング素子はオフする。その場合、中性点はハイサイド側に構成される。特

許文献 1 の電力変換装置によれば、異常時において、三相の巻線の中性点は、故障インバータの中に構成される。スイッチング素子に故障が生じて、正常な方のインバータを用いてモータ駆動を継続させることができる。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0007] 特許文献1：特開 2014-192950 号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0008] 上述したような従来の技術では、正常時および異常時における電流制御のさらなる向上が求められている。

[0009] 本開示の実施形態は、正常時および異常時のいずれにおいても適切な電流制御が可能な電力変換装置を提供する。

## 課題を解決するための手段

[0010] 本開示の例示的な電力変換装置は、電源からの電力を、 $n$  相（ $n$  は 3 以上の整数）の巻線を有するモータへ供給する電力に変換する電力変換装置であって、前記モータの各相の巻線の一端に接続される第 1 インバータと、前記各相の巻線の他端に接続される第 2 インバータと、前記第 1 インバータに接続され、前記第 1 インバータの異常時に前記第 1 インバータに構成される中性点の電位を設定する第 1 中性点電位設定回路とを備える。

## 発明の効果

[0011] 本開示の実施形態によれば、中性点電位設定回路は、インバータの異常時に構成した中性点の電位を任意の値に設定する。これにより、正常時および異常時のいずれにおいても適切な電流制御が可能となる。

## 図面の簡単な説明

[0012] [図1] 図 1 は、例示的な実施形態による電力変換装置の回路構成を示す模式図である。

[図2] 図 2 は、例示的な実施形態による電力変換装置が有する H ブリッジを示

す図である。

[図3]図3は、例示的な実施形態による電力変換装置が有するHブリッジを示す図である。

[図4]図4は、例示的な実施形態による電力変換装置が有するHブリッジを示す図である。

[図5]図5は、例示的な実施形態による電力変換装置の回路構成を示す模式図である。

[図6]図6は、例示的な実施形態による、電力変換装置を備えるモータ駆動ユニットを示すブロック図である。

[図7]図7は、例示的な実施形態による正常時の三相通電制御に従って電力変換装置を制御したときに、モータのU相、V相およびW相の各巻線に流れる電流値をプロットして得られる電流波形を示す図である。

[図8]図8は、例示的な実施形態による異常時の電力変換装置を示す模式図である。

[図9]図9は、例示的な実施形態による異常時の制御に応じてモータのU相、V相およびW相の各巻線に流れる電流値をプロットして得られる電流波形を示す図である。

[図10]図10は、例示的な実施形態による異常時の電力変換装置の別の例を示す模式図である。

[図11]図11は、例示的な実施形態による異常時の電力変換装置のさらに別の例を示す模式図である。

[図12]図12は、例示的な実施形態による異常時の電力変換装置のさらに別の例を示す模式図である。

[図13]図13は、例示的な実施形態による電力変換装置の回路構成の別の例を示す模式図である。

[図14]図14は、例示的な実施形態による異常時の電力変換装置を示す模式図である。

[図15]図15は、例示的な実施形態による異常時の電力変換装置の別の例を

示す模式図である。

[図16]図 1 6 は、例示的な実施形態による異常時の電力変換装置のさらに別の例を示す模式図である。

[図17]図 1 7 は、例示的な実施形態による異常時の電力変換装置のさらに別の例を示す模式図である。

[図18]図 1 8 は、例示的な実施形態による 2 個の中性点電位設定回路を備える電力変換装置を示す模式図である。

[図19]図 1 9 は、例示的な実施形態による 2 個の中性点電位設定回路を備える電力変換装置の別の例を示す模式図である。

[図20]図 2 0 は、例示的な実施形態による 1 個の中性点電位設定回路を備える電力変換装置を示す模式図である。

[図21]図 2 1 は、例示的な実施形態による 1 個の中性点電位設定回路を備える電力変換装置の別の例を示す模式図である。

[図22]図 2 2 は、例示的な実施形態による電動パワーステアリング装置を示す模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0013] 本開示の実施形態を説明する前に、本開示の基礎となった本願発明者の知見を説明する。

[0014] 特許文献 1 の電力変換装置においては、電源および GND と、2 つのインバータの各々とは常時接続されたままである。本願発明者は、異常時に故障インバータのハイサイドにおいて中性点を構成しても、その中性点には電源電圧が供給されるため、故障インバータにおける電力損失が大きくなるという課題を見出した。また、本願発明者は、異常時に故障インバータのローサイドにおいて中性点を構成しても、正常な方のインバータを通じて各相の巻線に供給される電流は、供給元のインバータには戻らずに、故障インバータから GND に流れてしまうという課題を見出した。正常時および異常時のいずれにおいても、電力損失を抑えるとともに適切な電流制御が可能な電力変換装置が求められる。

[0015] 以下、添付の図面を参照しながら、本開示の電力変換装置、モータ駆動ユニットおよび電動パワーステアリング装置の実施形態を詳細に説明する。但し、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。これは、以下の説明が不必要に冗長になるのを避け、当業者の理解を容易にするためである。

[0016] 本明細書においては、三相（U相、V相、W相）の巻線を有する三相モータに供給する電力を変換する電力変換装置を例にして、本開示の実施形態を説明する。但し、例えば四相および五相などの $n$ 相（ $n$ は3以上の整数）の巻線を有する $n$ 相モータに供給する電力を変換する電力変換装置も本開示の範疇である。

[0017] （実施形態1）

図1は、本実施形態による電力変換装置100の回路構成を模式的に示している。

[0018] 電力変換装置100は、第1インバータ110と、第2インバータ140と、中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hとを備える。また、電力変換装置100は、図6に示す制御回路300を備える。電力変換装置100は種々のモータに供給する電力を変換することができる。モータ200は、例えば三相交流モータである。

[0019] モータ200は、U相の巻線M1、V相の巻線M2およびW相の巻線M3を備え、第1インバータ110と第2インバータ140とに接続される。具体的に説明すると、第1インバータ110はモータ200の各相の巻線の一端に接続され、第2インバータ140は各相の巻線他端に接続される。本願明細書において、部品（構成要素）同士の間「接続」とは、主に電気的な接続を意味する。

[0020] 第1インバータ110は、各相に対応した端子U\_\_L、V\_\_LおよびW\_\_Lを有し、第2インバータ140は、各相に対応した端子U\_\_R、V\_\_RおよびW\_\_Rを有する。第1インバータ110の端子U\_\_Lは、U相の巻線M1

の一端に接続され、端子V\_\_Lは、V相の巻線M2の一端に接続され、端子W\_\_Lは、W相の巻線M3の一端に接続される。第1インバータ110と同様に、第2インバータ140の端子U\_\_Rは、U相の巻線M1の他端に接続され、端子V\_\_Rは、V相の巻線M2の他端に接続され、端子W\_\_Rは、W相の巻線M3の他端に接続される。このような結線は、いわゆるスター結線およびデルタ結線とは異なる。

[0021] 中性点電位設定回路150Lは、第1インバータ110とGNDとの間に接続されている。中性点電位設定回路150Hは、第1インバータ110と電源101との間に接続されている。中性点電位設定回路160Lは、第2インバータ140とGNDとの間に接続されている。中性点電位設定回路160Hは、第2インバータ140と電源101との間に接続されている。詳細は後述するが、中性点電位設定回路150Lおよび150Hは、第1インバータ110の異常時に第1インバータ110に構成される中性点の電位を設定する。また、中性点電位設定回路160Lおよび160Hは、第2インバータ140の異常時に第2インバータ140に構成される中性点の電位を設定する。

[0022] 電力変換装置100では、第1インバータ110および第2インバータ140は、中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hを介して、電源101およびGNDに接続されている。

[0023] 本明細書中において、第1インバータ110を「ブリッジ回路L」と表記する場合がある。また、第2インバータ140を「ブリッジ回路R」と表記する場合がある。第1インバータ110および第2インバータ140のそれぞれは、ローサイドスイッチング素子およびハイサイドスイッチング素子を含むレグを3個備える。それらレグを構成する複数のスイッチング素子は、電動モータ200の巻線を介して第1インバータ110と第2インバータ140との間で複数のHブリッジを構成する。

[0024] 第1インバータ110は、3個のレグから構成されるブリッジ回路を含む。図1に示されるスイッチング素子111L、112Lおよび113Lがロー

サイドスイッチング素子であり、スイッチング素子 111H、112H および 113H はハイサイドスイッチング素子である。スイッチング素子として、例えば電界効果トランジスタ（典型的には MOSFET）または絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）を用いることができる。本願明細書において、インバータのスイッチング素子として FET を用いる例を説明し、以下の説明ではスイッチング素子を FET と表記する場合がある。例えば、スイッチング素子 111L は FET 111L と表記される。

[0025] 第 1 インバータ 110 は、U 相、V 相および W 相の各相の巻線に流れる電流を検出するための電流センサ（図 6 を参照）として、3 個のシャント抵抗 111R、112R および 113R を備える。電流センサ 170 は、各シャント抵抗に流れる電流を検出する電流検出回路（不図示）を含む。例えば、シャント抵抗 111R、112R および 113R は、第 1 インバータ 110 の 3 個のレグに含まれる 3 個のローサイドスイッチング素子と GND との間にそれぞれ接続される。具体的には、シャント抵抗 111R は FET 111L と中性点電位設定回路 150L との間に接続され、シャント抵抗 112R は FET 112L と中性点電位設定回路 150L との間に接続され、シャント抵抗 113R は FET 113L と中性点電位設定回路 150L との間に接続される。シャント抵抗の抵抗値は、例えば 0.5 mΩ から 1.0 mΩ 程度である。

[0026] 第 1 インバータ 110 と同様に、第 2 インバータ 140 は、3 個のレグから構成されるブリッジ回路を含む。図 1 に示される FET 141L、142L および 143L がローサイドスイッチング素子であり、FET 141H、142H および 143H はハイサイドスイッチング素子である。また、第 2 インバータ 140 は、3 個のシャント抵抗 141R、142R および 143R を備える。それらのシャント抵抗は、3 個のレグに含まれる 3 個のローサイドスイッチング素子と GND との間に接続される。第 1 および第 2 インバータ 110、140 の各 FET は、例えばマイクロコントローラまたは専用ドライバによって制御され得る。

- [0027] 図2、図3および図4は、電力変換装置100が有する3個のHブリッジ131、132および133を示す図である。
- [0028] 第1インバータ110は、レグ121、123および125を有する。レグ121は、FET111HとFET111Lを有する。レグ123は、FET112HとFET112Lを有する。レグ125は、FET113HとFET113Lを有する。
- [0029] 第2インバータ140は、レグ122、124および126を有する。レグ122は、FET141HとFET141Lを有する。レグ124は、FET142HとFET142Lを有する。レグ126は、FET143HとFET143Lを有する。
- [0030] 図2に示すHブリッジ131は、レグ121と巻線M1とレグ122とを有する。図3に示すHブリッジ132は、レグ123と巻線M2とレグ124とを有する。図4に示すHブリッジ133は、レグ125と巻線M3とレグ126とを有する。
- [0031] 電源101（図1）は、所定の電源電圧を生成する。電源101から第1および第2インバータ110、140に電力が供給される。電源101として、例えば直流電源が用いられる。ただし、電源101は、AC-DCコンバータまたはDC-DCコンバータであってもよいし、バッテリー（蓄電池）であってもよい。電源101は、第1および第2インバータ110、140に共通の単一電源であってもよいし、第1インバータ110用の第1電源および第2インバータ140用の第2電源を備えていてもよい。
- [0032] 電源101と電力変換装置100との間にコイル102が設けられている。コイル102は、ノイズフィルタとして機能し、各インバータに供給する電圧波形に含まれる高周波ノイズ、または各インバータで発生する高周波ノイズを電源101側に流出させないように平滑化する。また、電源101と電力変換装置100との間には、コンデンサ103の一端が接続されている。コンデンサ103の他端はGNDに接続されている。コンデンサ103は、いわゆるバイパスコンデンサであり、電圧リップルを抑制する。コンデンサ1

03は、例えば電解コンデンサであり、容量および使用する個数は設計仕様などによって適宜決定される。

[0033] 図1には、インバータ毎の各legに1個のシャント抵抗を配置する構成を例示している。第1および第2インバータ110、140は、6個以下のシャント抵抗を備え得る。6個以下のシャント抵抗は、第1および第2インバータ110、140が備える6個のlegのうちの6個以下のローサイドスイッチング素子とGNDとの間に接続され得る。さらにこれをn相モータに拡張すると、第1および第2インバータ110、140は、2n個以下のシャント抵抗を備え得る。2n個以下のシャント抵抗は、第1および第2インバータ110、140が備える2n個のlegのうちの2n個以下のローサイドスイッチング素子とGNDとの間に接続され得る。

[0034] 図5は、中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hの回路構成の一例を模式的に示している。

[0035] 中性点電位設定回路150Lは、分圧回路155Lと、分離スイッチング素子153Lとを備える。分圧回路155Lは、互いに直列接続される抵抗器151Lおよび抵抗器152Lを備える。分離スイッチング素子153Lは、分圧回路155Lと電源Vccとの接続および非接続を切り替える。この例では、電源Vccの電圧は、電源101の電圧と同じである。電源Vccの電圧として、電源101の電圧が供給されてもよい。

[0036] 抵抗器151Lおよび抵抗器152Lの間のノードは、FET111L、112Lおよび113Lが接続されるノードN1に接続されている。抵抗器151Lは、ノードN1とGNDとの間に接続されている。抵抗器152Lは、ノードN1と分離スイッチング素子153Lとの間に接続されている。分離スイッチング素子153Lは、抵抗器152Lと電源Vccとの間に接続されている。

[0037] 中性点電位設定回路150Hは、分圧回路155Hと、分離スイッチング素子153Hとを備える。分圧回路155Hは、互いに直列接続される抵抗器151Hおよび抵抗器152Hを備える。分離スイッチング素子153Hは

、分圧回路 1 5 5 H と G N D との接続および非接続を切り替える。

[0038] 抵抗器 1 5 1 H および抵抗器 1 5 2 H の間のノードは、F E T 1 1 1 H、1 1 2 H および 1 1 3 H が接続されるノード N 2 に接続されている。抵抗器 1 5 1 H は、ノード N 2 と電源 1 0 1 との間に接続されている。抵抗器 1 5 2 H は、ノード N 2 と分離スイッチング素子 1 5 3 H との間に接続されている。分離スイッチング素子 1 5 3 H は、抵抗器 1 5 2 H と G N D との間に接続されている。

[0039] 中性点電位設定回路 1 6 0 L は、分圧回路 1 6 5 L と、分離スイッチング素子 1 6 3 L とを備える。分圧回路 1 6 5 L は、互いに直列接続される抵抗器 1 6 1 L および抵抗器 1 6 2 L を備える。分離スイッチング素子 1 6 3 L は、分圧回路 1 6 5 L と電源 V c c との接続および非接続を切り替える。

[0040] 抵抗器 1 6 1 L および抵抗器 1 6 2 L の間のノードは、F E T 1 4 1 L、1 4 2 L および 1 4 3 L が接続されるノード N 3 に接続されている。抵抗器 1 6 1 L は、ノード N 3 と G N D との間に接続されている。抵抗器 1 6 2 L は、ノード N 3 と分離スイッチング素子 1 6 3 L との間に接続されている。分離スイッチング素子 1 6 3 L は、抵抗器 1 6 2 L と電源 V c c との間に接続されている。

[0041] 中性点電位設定回路 1 6 0 H は、分圧回路 1 6 5 H と、分離スイッチング素子 1 6 3 H とを備える。分圧回路 1 6 5 H は、互いに直列接続される抵抗器 1 6 1 H および抵抗器 1 6 2 H を備える。分離スイッチング素子 1 6 3 H は、分圧回路 1 6 5 H と G N D との接続および非接続を切り替える。

[0042] 抵抗器 1 6 1 H および抵抗器 1 6 2 H の間のノードは、F E T 1 4 1 H、1 4 2 H および 1 4 3 H が接続されるノード N 4 に接続されている。抵抗器 1 6 1 H は、ノード N 4 と電源 1 0 1 との間に接続されている。抵抗器 1 6 2 H は、ノード N 4 と分離スイッチング素子 1 6 3 H との間に接続されている。分離スイッチング素子 1 6 3 H は、抵抗器 1 6 2 H と G N D との間に接続されている。

[0043] 分離スイッチング素子 1 5 3 L、1 5 3 H、1 6 3 L、1 6 3 H としては、

例えば電界効果トランジスタ（典型的にはM O S F E T）または絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（I G B T）を用いることができる。本願明細書において、分離スイッチング素子としてF E Tを用いる例を説明し、以下の説明では分離スイッチング素子をF E Tと表

記する場合がある。例えば、分離スイッチング素子1 5 3 LはF E T 1 5 3 Lと表記される。F E T 1 5 3 L、1 5 3 H、1 6 3 L、1 6 3 Hは、例えばマイクロコントローラまたは専用ドライバによって制御され得る。

[0044] 図6は、電力変換装置1 0 0を備えるモータ駆動ユニット4 0 0のブロック構成を模式的に示している。電力変換装置1 0 0は制御回路3 0 0を備える。モータ駆動ユニット4 0 0は、電力変換装置1 0 0とモータ2 0 0を備える。

[0045] 制御回路3 0 0は、例えば、電源回路3 1 0と、角度センサ3 2 0と、入力回路3 3 0と、マイクロコントローラ3 4 0と、駆動回路3 5 0と、R O M 3 6 0とを備える。制御回路3 0 0は、電力変換装置1 0 0の全体の動作を制御することによりモータ2 0 0を駆動する。具体的には、制御回路3 0 0は、目的とするロータの位置、回転速度、および電流などを制御してクローズドループ制御を実現することができる。なお、制御回路3 0 0は、角度センサに代えてトルクセンサを備えてもよい。この場合、制御回路3 0 0は、目的とするモータトルクを制御することができる。

[0046] 電源回路3 1 0は、回路内の各ブロックに必要なD C 電圧（例えば3 V、5 V）を生成する。角度センサ3 2 0は、例えばレゾルバまたはホールI Cである。角度センサ3 2 0として、磁気抵抗効果素子とマグネットが用いられてもよい。角度センサ3 2 0は、モータ2 0 0のロータの回転角（以下、「回転信号」と表記する。）を検出し、回転信号をマイクロコントローラ3 4 0に出力する。入力回路3 3 0は、電流センサ1 7 0によって検出されたモータ電流値（以下、「実電流値」と表記する。）を受け取り、必要に応じて、実電流値のレベルをマイクロコントローラ3 4 0の入力レベルに変換し、実電流値をマイクロコントローラ3 4 0に出力する。

- [0047] マイクロコントローラ 340 は、第 1 インバータ 110 と第 2 インバータ 140、中性点電位設定回路 150L、150H、160L、160H の各 FET のスイッチング動作（ターンオンまたはターンオフ）を制御する。マイクロコントローラ 340 は、実電流値およびロータの回転信号などに従って目標電流値を設定して PWM 信号を生成し、それを駆動回路 350 に出力する。
- [0048] 駆動回路 350 は、典型的にはゲートドライバである。駆動回路 350 は、第 1 および第 2 インバータ 110、140 における各 FET のスイッチング動作を制御する制御信号（ゲート制御信号）を PWM 信号に従って生成し、各 FET のゲートに制御信号を与える。なお、マイクロコントローラ 340 が駆動回路 350 の機能を備えていてもよい。その場合、制御回路 300 は駆動回路 350 を備えていなくてもよい。
- [0049] ROM 360 は、例えば書き込み可能なメモリ、書き換え可能なメモリまたは読み出し専用のメモリである。ROM 360 は、マイクロコントローラ 340 に電力変換装置 100 を制御させるための命令群を含む制御プログラムを格納している。例えば、制御プログラムはブート時に RAM（不図示）に一旦展開される。
- [0050] 電力変換装置 100 には正常時および異常時の制御がある。制御回路 300（主としてマイクロコントローラ 340）は、電力変換装置 100 の制御を正常時の制御から異常時の制御に切替えることができる。
- [0051] （1. 正常時の制御）
- 先ず、電力変換装置 100 の正常時の制御方法の具体例を説明する。上述したとおり、正常とは、第 1 および第 2 インバータ 110、140 の各 FET に故障が生じていない状態を指す。
- [0052] 正常時の制御において、中性点電位設定回路 150L、150H、160L、160H の FET 153L、153H、163L、163H は全てオフにする。この状態において、制御回路 300 は、第 1 および第 2 インバータ 110、140 の両方を用いて三相通電制御することによってモータ 200 を

駆動する。具体的に、制御回路300は、第1インバータ110のFETと第2インバータ140のFETとを互いに逆位相（位相差＝180°）でスイッチング制御することにより三相通電制御を行う。例えば、FET111L、111H、141Lおよび141Hを含むHブリッジに着目すると、FET111Lがオンすると、FET141Lはオフし、FET111Lがオフすると、FET141Lはオンする。これと同様に、FET111Hがオンすると、FET141Hはオフし、FET111Hがオフすると、FET141Hはオンする。電源101から出力された電流は、ハイサイドスイッチング素子、巻線、ローサイドスイッチング素子を通してGNDに流れる。

[0053] ここで、U相の巻線M1を流れる電流の経路を説明する。FET111HおよびFET141Lがオンであり、FET141HおよびFET111Lがオフのとき、電流は、電源101、FET111H、巻線M1、FET141L、GNDの順に流れる。FET141HおよびFET111Lがオンであり、FET111HおよびFET141Lがオフのとき、電流は、電源101、FET141H、巻線M1、FET111L、GNDの順に流れる。

[0054] 次に、V相の巻線M2を流れる電流の経路を説明する。FET112HおよびFET142Lがオンであり、FET142HおよびFET112Lがオフのとき、電流は、電源101、FET112H、巻線M2、FET142L、GNDの順に流れる。FET142HおよびFET112Lがオンであり、FET112HおよびFET142Lがオフのとき、電流は、電源101、FET142H、巻線M2、FET112L、GNDの順に流れる。

[0055] 次に、W相の巻線M3を流れる電流の経路を説明する。FET113HおよびFET143Lがオンであり、FET143HおよびFET113Lがオフのとき、電流は、電源101、FET113H、巻線M3、FET143L、GNDの順に流れる。FET143HおよびFET113Lがオンであり、FET113HおよびFET143Lがオフのとき、電流は、電源101、FET143H、巻線M3、FET113L、GNDの順に流れる。

[0056] 図7は、正常時の三相通電制御に従って電力変換装置100を制御したとき

にモータ 200 の U 相、V 相および W 相の各巻線に流れる電流値をプロットして得られる電流波形（正弦波）を例示している。横軸は、モータ電気角（deg）を示し、縦軸は電流値（A）を示している。図 7 の電流波形において、電気角  $30^\circ$  毎に電流値をプロットしている。 $I_{pk}$  は各相の最大電流値（ピーク電流値）を表している。

[0057] 表 1 は、図 7 の正弦波において電気角毎に、各インバータの端子に流れる電流値を示している。表 1 は、具体的に、第 1 インバータ 110（ブリッジ回路 L）の端子 U<sub>L</sub>、V<sub>L</sub> および W<sub>L</sub> に流れる、電気角  $30^\circ$  毎の電流値、および、第 2 インバータ 140（ブリッジ回路 R）の端子 U<sub>R</sub>、V<sub>R</sub> および W<sub>R</sub> に流れる、電気角  $30^\circ$  毎の電流値を示している。ここで、ブリッジ回路 L に対しては、ブリッジ回路 L の端子からブリッジ回路 R の端子に流れる電流方向を正の方向と定義する。図 7 に示される電流の向きはこの定義に従う。また、ブリッジ回路 R に対しては、ブリッジ回路 R の端子からブリッジ回路 L の端子に流れる電流方向を正の方向と定義する。従って、ブリッジ回路 L の電流とブリッジ回路 R の電流との位相差は  $180^\circ$  となる。表 1 において、電流値  $I_1$  の大きさは  $[(3)^{1/2}/2] * I_{pk}$  であり、電流値  $I_2$  の大きさは  $I_{pk}/2$  である。

[0058] [表 1]

| 正常時<br>動作 |                  | 電気角[deg]   |           |        |           |        |           |        |           |        |           |        |           |
|-----------|------------------|------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
|           |                  | 0<br>(360) | 30        | 60     | 90        | 120    | 150       | 180    | 210       | 240    | 270       | 300    | 330       |
| ブリッジ回路 L  | U <sub>L</sub> 相 | 0          | $I_2$     | $I_1$  | $I_{pk}$  | $I_1$  | $I_2$     | 0      | $-I_2$    | $-I_1$ | $-I_{pk}$ | $-I_1$ | $-I_2$    |
|           | V <sub>L</sub> 相 | $-I_1$     | $-I_{pk}$ | $-I_1$ | $-I_2$    | 0      | $I_2$     | $I_1$  | $I_{pk}$  | $I_1$  | $I_2$     | 0      | $-I_2$    |
|           | W <sub>L</sub> 相 | $I_1$      | $I_2$     | 0      | $-I_2$    | $-I_1$ | $-I_{pk}$ | $-I_1$ | $-I_2$    | 0      | $I_2$     | $I_1$  | $I_{pk}$  |
| ブリッジ回路 R  | U <sub>R</sub> 相 | 0          | $-I_2$    | $-I_1$ | $-I_{pk}$ | $-I_1$ | $-I_2$    | 0      | $I_2$     | $I_1$  | $I_{pk}$  | $I_1$  | $I_2$     |
|           | V <sub>R</sub> 相 | $I_1$      | $I_{pk}$  | $I_1$  | $I_2$     | 0      | $-I_2$    | $-I_1$ | $-I_{pk}$ | $-I_1$ | $-I_2$    | 0      | $I_2$     |
|           | W <sub>R</sub> 相 | $-I_1$     | $-I_2$    | 0      | $I_2$     | $I_1$  | $I_{pk}$  | $I_1$  | $I_2$     | 0      | $-I_2$    | $-I_1$ | $-I_{pk}$ |

[0059] 電気角  $0^\circ$  において、U 相の巻線 M1 には電流は流れない。V 相の巻線 M

2にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_1$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_1$ の電流が流れる。

[0060] 電気角 $30^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_2$ の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_{pk}$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_2$ の電流が流れる。

[0061] 電気角 $60^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_1$ の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_1$ の電流が流れる。W相の巻線M3には電流は流れない。

[0062] 電気角 $90^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_{pk}$ の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_2$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_2$ の電流が流れる。

[0063] 電気角 $120^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_1$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_1$ の電流が流れる。V相の巻線M2には電流は流れない。

[0064] 電気角 $150^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_2$ の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_2$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_{pk}$ の電流が流れる。

[0065] 電気角 $180^\circ$ において、U相の巻線M1には電流は流れない。V相の巻線M2にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_1$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_1$ の電流が流れる。

[0066] 電気角 $210^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Rからブリッジ

回路Lに大きさ $I_2$ の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_{pk}$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_2$ の電流が流れる。

[0067] 電気角 $240^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_1$ の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_1$ の電流が流れる。W相の巻線M3には電流は流れない。

[0068] 電気角 $270^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_{pk}$ の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_2$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_2$ の電流が流れる。

[0069] 電気角 $300^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_1$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_1$ の電流が流れる。V相の巻線M2には電流は流れない。

[0070] 電気角 $330^\circ$ において、U相の巻線M1にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_2$ の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ $I_2$ の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ $I_{pk}$ の電流が流れる。

[0071] 例えば、制御回路300は、図7に示される電流波形が得られるようなPWM制御によってブリッジ回路LおよびRの各FETのスイッチング動作を制御する。

[0072] (2. 異常時の制御)

電力変換装置100の異常時の制御方法の具体例を説明する。上述したように、異常とは主としてFETに故障が発生したことを意味する。FETの故障には、大きく分けて「オープン故障」と「ショート故障」とがある。「オープン故障」は、FETのソースドレイン間が開放する故障（換言すると、ソースドレイン間の抵抗 $r_{ds}$ がハイインピーダンスになること）を

指す。「ショート故障」は、FETのソースドレイン間が短絡する故障を指す。

[0073] 再び図1を参照する。電力変換装置100の動作時において、通常は、2つのインバータにおける12個のFETの中から1つのFETがランダムに故障するランダム故障が発生すると考えられる。本開示は、主としてランダム故障が発生した場合における電力変換装置100の制御方法を対象としている。ただし、本開示は、複数のFETが連鎖的に故障した場合などの電力変換装置100の制御方法も対象とする。連鎖的な故障とは、例えば1つのレグのハイサイドスイッチング素子およびローサイドスイッチング素子に同時に発生する故障を意味する。

[0074] 電力変換装置100を長期間使用すると、ランダム故障が起こる可能性がある。なお、ランダム故障は、製造時に発生し得る製造故障とは異なるものである。2つのインバータにおける複数のFETのうちの1つでも故障すると、正常時の三相通電制御はできなくなる。

[0075] 本実施形態の駆動回路350は、第1インバータ110および第2インバータ140が含む複数のFETの故障を検出する検出回路351を備える。各FETは、ゲート電極、ソース電極およびドレイン電極を有する。故障検知の一例として、検出回路351は、FETのドレインソース間の電圧 $V_{ds}$ を監視し、所定の閾値電圧と電圧 $V_{ds}$ とを比較することによって、FETの故障を検知する。閾値電圧は、例えば外部IC（不図示）とのデータ通信および外付け部品によって駆動回路350に設定される。駆動回路350は、マイクロコントローラ340のポートと接続され、故障検知信号をマイクロコントローラ340に通知する。例えば、駆動回路350は、FETの故障を検知すると、故障検知信号をアサートする。マイクロコントローラ340は、アサートされた故障検知信号を受信すると、駆動回路350の内部データを読み出して、2つのインバータにおける複数のFETの中でどのFETが故障しているのかを判別する。

[0076] 本実施形態では、駆動回路350がFETの故障を検出する検出回路351

を備えるが、そのようなFETの故障を検出する検出回路は駆動回路350とは別に設けられていてもよい。また、故障検知の他の一例として、マイクロコントローラ340は、モータの実電流値と目標電流値との差に基づいてFETの故障を検知してもよい。ただし、FETの故障検知はこれらの手法に限られず、FETの故障検知に関する公知の手法を広く用いることができる。

[0077] マイクロコントローラ340は、故障検知信号がアサートされると、電力変換装置100の制御を正常時の制御から異常時の制御に切替える。例えば、正常時から異常時に制御を切替えるタイミングは、故障検知信号がアサートされてから10msecから30msec程度である。

[0078] 以下、電力変換装置100の異常時の制御をより詳細に説明する。

[0079] [2-1. ハイサイドスイッチング素子\_\_オープン故障]

図8は、異常時の電力変換装置100を示す模式図である。まず、第1インバータ110のブリッジ回路において、3個のハイサイドスイッチング素子がオープン故障したスイッチング素子を含む場合の制御を説明する。

[0080] この例では、第1インバータ110のハイサイドスイッチング素子(FET111H、112Hおよび113H)の中でFET111Hがオープン故障したとする。なお、FET112Hまたは113Hがオープン故障した場合においても、以下で説明する制御方法で電力変換装置100を制御することができる。

[0081] ハイサイドスイッチング素子111Hがオープン故障している場合、制御回路300は、第1インバータ110におけるオープン故障したハイサイドスイッチング素子111H以外の全てのハイサイドスイッチング素子112H、113Hはオフにする。制御回路300は、第1インバータ110の全てのローサイドスイッチング素子111L、112L、113Lはオンにする。また、制御回路300は、中性点電位設定回路150LのFET153Lはオンにする。制御回路300は、中性点電位設定回路150H、160L、160HのFET153H、163L、163Hはオフにする。

[0082] 3つのローサイドスイッチング素子111L、112L、113Lを全てオンにすることにより、ローサイド側のノードN1が各巻線の中性点として機能する。本願明細書において、あるノードが中性点として機能することを、「中性点が構成される」と表現することとする。電力変換装置100は、第1インバータ110のローサイド側に構成された中性点および第2インバータ140を用いてモータ200を駆動する。

[0083] 図8は、ノードN1に中性点を構成したときの電力変換装置100内の電流の流れを模式的に示している。図9は、ノードN1に中性点を構成した状態で電力変換装置100を制御したときにモータ200のU相、V相およびW相の各巻線に流れる電流値をプロットして得られる電流波形を例示している。図8は、一例としてモータ電気角270°での電流の流れを実線の矢印で示している。3つの実線の矢印のそれぞれは、電源101からモータ200に流れる電流を表している。

[0084] 図8に示される状態では、第2インバータ140においてFET141H、142Lおよび143Lはオン状態であり、FET141L、142Hおよび143Hはオフ状態である。第2インバータ140のFET141Hを流れた電流は、巻線M1および第1インバータ110のFET111Lを流れて中性点（ノードN1）に流れる。その電流の一部は、FET112Lを流れて巻線M2に流れ、残りの電流は、FET113Lを流れて巻線M3に流れる。巻線M2およびM3を流れた電流は、第2インバータ140のFET142Lおよび143Lを流れてGNDに流れる。

[0085] 表2は、図9の電流波形における電気角毎に、第2インバータ140の端子に流れる電流値を例示している。具体的には、表2は、第2インバータ140（ブリッジ回路R）の端子U\_R、V\_RおよびW\_Rに流れる、電気角30°毎の電流値を例示している。電流方向の定義は上述したとおりである。なお、電流方向の定義によって、図9に示される電流値の正負の符号は、表2に示される電流値のそれとは逆の関係（位相差180°）になる。

[0086]

[表2]

| 正常時<br>動作   |      | 電気角[deg]   |          |        |           |        |          |        |           |        |          |        |           |
|-------------|------|------------|----------|--------|-----------|--------|----------|--------|-----------|--------|----------|--------|-----------|
|             |      | 0<br>(360) | 30       | 60     | 90        | 120    | 150      | 180    | 210       | 240    | 270      | 300    | 330       |
| ブリッジ<br>回路R | U_R相 | 0          | $-I_2$   | $-I_1$ | $-I_{pk}$ | $-I_1$ | $-I_2$   | 0      | $I_2$     | $I_1$  | $I_{pk}$ | $I_1$  | $I_2$     |
|             | V_R相 | $I_1$      | $I_{pk}$ | $I_1$  | $I_2$     | 0      | $-I_2$   | $-I_1$ | $-I_{pk}$ | $-I_1$ | $-I_2$   | 0      | $I_2$     |
|             | W_R相 | $-I_1$     | $-I_2$   | 0      | $I_2$     | $I_1$  | $I_{pk}$ | $I_1$  | $I_2$     | 0      | $-I_2$   | $-I_1$ | $-I_{pk}$ |

[0087] 例えば、電気角  $30^\circ$  においては、U相の巻線M1にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ  $I_2$  の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ  $I_{pk}$  の電流が流れ、W相の巻線M3にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ  $I_2$  の電流が流れる。電気角  $60^\circ$  においては、U相の巻線M1にはブリッジ回路Lからブリッジ回路Rに大きさ  $I_1$  の電流が流れ、V相の巻線M2にはブリッジ回路Rからブリッジ回路Lに大きさ  $I_1$  の電流が流れる。W相の巻線M3には電流は流れない。中性点に流れ込む電流と中性点から流れ出る電流との総和は電気角毎に常に「0」になる。制御回路300は、例えば図9に示される電流波形が得られるようなPWM制御によってブリッジ回路Rの各FETのスイッチング動作を制御する。

[0088] 表1および表2に示されるように、正常時および異常時の制御の間でモータ200に流れるモータ電流は電気角毎に変わらないことが分かる。このため、正常時の制御と比較して、異常時の制御においてはモータのアシストトルクは低減しない。

[0089] 図8に示す例では、中性点電位設定回路150LのFET153Lはオン状態になっている。電源Vccから供給される電圧により、電流が電源Vccから抵抗器152Lおよび抵抗器151Lを通して、GNDに流れる。ノードN1は、互いに直列接続される抵抗器151Lおよび抵抗器152Lの間に接続されている。すなわち、ノードN1に構成された中性点には、抵抗器151Lと抵抗器152Lとの間の電位が供給される。抵抗器151Lおよ

び152Lの電気抵抗値と電源Vccの出力電圧を任意の値にすることで、中性点に供給される電位を任意の値に設定することができる。

[0090] 抵抗器151Lと抵抗器152Lとの間の電位は一定であるため、中性点の電位を一定の値に固定することができる。これにより、電力変換装置100における電力損失を小さくすることができる。中性点の電位を一定の値に固定することにより、トルクリプル、平均トルク、モータの効率を改善することができる。

[0091] [2-2. ローサイドスイッチング素子\_\_ショート故障]

次に、第1インバータ110のブリッジ回路において、3個のローサイドスイッチング素子がショート故障したスイッチング素子を含む場合の制御を説明する。図10は、異常時の電力変換装置100の別の例を示す模式図である。

[0092] この例では、第1インバータ110のローサイドスイッチング素子(FET111L、112Lおよび113L)の中でFET111Lがショート故障したとする。なお、FET112Lまたは113Lがショート故障した場合においても、以下で説明する制御方法で電力変換装置100を制御することができる。

[0093] ローサイドスイッチング素子111Lがショート故障している場合、制御回路300は、第1インバータ110におけるショート故障したローサイドスイッチング素子111L以外の全てのローサイドスイッチング素子112L、113Lをオンにする。制御回路300は、第1インバータ110の全てのハイサイドスイッチング素子111H、112H、113Hはオフにする。また、制御回路300は、中性点電位設定回路150LのFET153Lをオンにする。制御回路300は、中性点電位設定回路150H、160L、160HのFET153H、163L、163Hはオフにする。

[0094] 3つのローサイドスイッチング素子111L、112L、113Lの全てが導通状態になることにより、ローサイド側のノードN1が各巻線の中性点として機能する。電力変換装置100は、第1インバータ110のローサイド

側に構成された中性点および第2インバータ140を用いてモータ200を駆動する。

[0095] 図10は、ノードN1に中性点を構成したときの電力変換装置100内の電流の流れを模式的に示している。図10は、一例としてモータ電気角270°での電流の流れを実線の矢印で示している。3つの実線の矢印のそれぞれは、電源101からモータ200に流れる電流を表している。図8に示した故障状態における制御と同様に、制御回路300は、例えば図9に示される電流波形が得られるようなPWM制御によって第2インバータ140（ブリッジ回路R）の各FETのスイッチング動作を制御する。

[0096] 図8に示した故障状態における制御と同様に、ノードN1に構成された中性点には、抵抗器151Lと抵抗器152Lとの間の電位が供給される。抵抗器151Lと抵抗器152Lとの間の電位は一定であるため、中性点の電位を一定の値に固定することができる。これにより、電力変換装置100における電力損失を小さくすることができる。

[0097] [2-3. ローサイドスイッチング素子\_\_オープン故障]

次に、第1インバータ110のブリッジ回路において、3個のローサイドスイッチング素子がオープン故障したスイッチング素子を含む場合の制御を説明する。図11は、異常時の電力変換装置100の別の例を示す模式図である。

[0098] この例では、第1インバータ110のローサイドスイッチング素子（FET111L、112Lおよび113L）の中でFET111Lがオープン故障したとする。なお、FET112Lまたは113Lがオープン故障した場合においても、以下で説明する制御方法で電力変換装置100を制御することができる。

[0099] ハイサイドスイッチング素子111Lがオープン故障している場合、制御回路300は、第1インバータ110におけるオープン故障したローサイドスイッチング素子111L以外の全てのローサイドスイッチング素子112L、113Lをオフにする。制御回路300は、第1インバータ110の全て

のハイサイドスイッチング素子 111H、112H、113H はオンにする。また、制御回路 300 は、中性点電位設定回路 150H の FET 153H をオンにする。制御回路 300 は、中性点電位設定回路 150L、160H、160L の FET 153L、163H、163L はオフにする。

[0100] 3つのハイサイドスイッチング素子 111H、112H、113H を全てオンにすることにより、ハイサイド側のノード N2 が各巻線の中性点として機能する。電力変換装置 100 は、第1インバータ 110 のハイサイド側に構成された中性点および第2インバータ 140 を用いてモータ 200 を駆動する。

[0101] 図 11 は、ノード N2 に中性点を構成したときの電力変換装置 100 内の電流の流れを模式的に示している。図 11 は、一例としてモータ電気角 270°での電流の流れを実線の矢印で示している。3つの実線の矢印のそれぞれは、電源 101 からモータ 200 に流れる電流を表している。

[0102] 図 11 に示される状態では、第2インバータ 140 において FET 141H、142L および 143L はオン状態であり、FET 141L、142H および 143H はオフ状態である。第2インバータ 140 の FET 141H を流れた電流は、巻線 M1 および第1インバータ 110 の FET 111H を通って中性点（ノード N2）に流れる。その電流の一部は、FET 112H を通って巻線 M2 に流れ、残りの電流は、FET 113H を通って巻線 M3 に流れる。巻線 M2 および M3 を流れた電流は、第2インバータ 140 の FET 142L および 143L を通って GND に流れる。

[0103] 制御回路 300 は、例えば図 9 に示される電流波形が得られるような PWM 制御によってブリッジ回路 R の各 FET のスイッチング動作を制御する。

[0104] 図 11 に示す例では、中性点電位設定回路 150H の FET 153H はオン状態になっている。電源 101 から供給される電圧により、電流が電源 101 から抵抗器 151H および抵抗器 152H を通って、GND に流れる。ノード N2 は、互いに直列接続される抵抗器 151H および抵抗器 152H の間に接続されている。すなわち、ノード N2 に構成された中性点には、抵抗

器 1 5 1 H と抵抗器 1 5 2 H との間の電位が供給される。抵抗器 1 5 1 H および 1 5 2 H を任意の電気抵抗値にすることで、中性点に供給される電位を任意の値に設定することができる。

[0105] 抵抗器 1 5 1 H と抵抗器 1 5 2 H との間の電位は一定であるため、中性点の電位を一定の値に固定することができる。これにより、電力変換装置 1 0 0 における電力損失を小さくすることができる。

[0106] [ 2 - 4 . ハイサイドスイッチング素子\_\_ショート故障]

次に、第 1 インバータ 1 1 0 のブリッジ回路において、3 個のハイサイドスイッチング素子がショート故障したスイッチング素子を含む場合の制御を説明する。図 1 2 は、異常時の電力変換装置 1 0 0 の別の例を示す模式図である。

[0107] この例では、第 1 インバータ 1 1 0 のハイサイドスイッチング素子 ( F E T 1 1 1 H 、 1 1 2 H および 1 1 3 H ) の中で F E T 1 1 1 H がショート故障したとする。なお、F E T 1 1 2 H または 1 1 3 H がショート故障した場合においても、以下で説明する制御方法で電力変換装置 1 0 0 を制御することができる。

[0108] ハイサイドスイッチング素子 1 1 1 H がショート故障している場合、制御回路 3 0 0 は、第 1 インバータ 1 1 0 におけるショート故障したハイサイドスイッチング素子 1 1 1 H 以外の全てのハイサイドスイッチング素子 1 1 2 H 、 1 1 3 H をオンにする。制御回路 3 0 0 は、第 1 インバータ 1 1 0 の全てのローサイドスイッチング素子 1 1 1 L 、 1 1 2 L 、 1 1 3 L はオフにする。また、制御回路 3 0 0 は、中性点電位設定回路 1 5 0 H の F E T 1 5 3 H をオンにする。制御回路 3 0 0 は、中性点電位設定回路 1 5 0 L 、 1 6 0 H 、 1 6 0 L の F E T 1 5 3 L 、 1 6 3 H 、 1 6 3 L はオフにする。

[0109] 3 つのハイサイドスイッチング素子 1 1 1 H 、 1 1 2 H 、 1 1 3 H の全てが導通状態になることにより、ハイサイド側のノード N 2 が各巻線の中性点として機能する。電力変換装置 1 0 0 は、第 1 インバータ 1 1 0 のハイサイド側に構成された中性点および第 2 インバータ 1 4 0 を用いてモータ 2 0 0 を

駆動する。

[0110] 図12は、ノードN2に中性点を構成したときの電力変換装置100内の電流の流れを模式的に示している。図12は、一例としてモータ電気角270°での電流の流れを実線の矢印で示している。3つの実線の矢印のそれぞれは、電源101からモータ200に流れる電流を表している。電力変換装置100内の電流の流れは、図11に示した電流の流れと同様である。図8に示した故障状態における制御と同様に、制御回路300は、例えば図9に示される電流波形が得られるようなPWM制御によって第2インバータ140（ブリッジ回路R）の各FETのスイッチング動作を制御する。

[0111] 図11に示した故障状態における制御と同様に、ノードN2に構成された中性点には、抵抗器151Hと抵抗器152Hとの間の電位が供給される。抵抗器151Hと抵抗器152Hとの間の電位は一定であるため、中性点の電位を一定の値に固定することができる。これにより、電力変換装置100における電力損失を小さくすることができる。

[0112] なお、抵抗器151L、152L、151H、152Hの少なくとも1つは可変抵抗器であってもよい。制御回路300は、可変抵抗器の抵抗値を変更することで、中性点に供給する電位の大きさを変更することができる。また、中性点に供給する電位の大きさを変更する方法として、ノードN1に中性点を構成する場合に、FET153Lのオンおよびオフを繰り返し切り替えてもよい。また、ノードN2に中性点を構成する場合に、FET153Hのオンおよびオフを繰り返し切り替えてもよい。

[0113] 上記の図8から図12の説明では、2つのインバータのうちの第1インバータ110を故障インバータとして扱い、第2インバータ140を正常インバータとして扱った。第2インバータ140が故障インバータであり、第1インバータ110が正常インバータである場合も上記と同様に、異常時の制御を行うことができる。この場合は、第1インバータ110、第2インバータ140、中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hの制御を上記の制御と逆にする。

- [0114] より具体的には、第2インバータ140が故障インバータである場合、第1インバータ110と第2インバータ140の制御を上記の制御と逆にする。中性点電位設定回路150Lと中性点電位設定回路160Lの制御を上記の制御と逆にする。中性点電位設定回路150Hと中性点電位設定回路160Hの制御を上記の制御と逆にする。第2インバータ140に中性点を構成し、その中性点および第1インバータ110を用いてモータ200を駆動することができる。
- [0115] 図13は、中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hの回路構成の別の例を模式的に示している。
- [0116] 図13に示す中性点電位設定回路150Lは、降圧回路210Lと、分離スイッチング素子213Lと、抵抗器218Lとを備える。降圧回路210Lは、ノードN1に接続されている。分離スイッチング素子213Lは、降圧回路210LとGNDとの接続および非接続を切り替える。
- [0117] 降圧回路210Lは、FET212Lと、インダクタ214Lと、ダイオード215Lと、コンデンサ216Lとを備える。
- [0118] インダクタ214Lの一端およびコンデンサ216Lの一端は、ノードN1に接続されている。FET212Lは、インダクタ214Lの他端と電源Vccとの間に接続されている。この例では、電源Vccの電圧は、電源101の電圧と同じである。電源Vccの電圧として、電源101の電圧が供給されてもよい。FET212Lは、インダクタ214Lと電源Vccとの接続および非接続を切り替える。ダイオード215Lのカソードは、インダクタ214Lの他端とFET212Lとの間に接続されている。ダイオード215Lのアノードおよびコンデンサ216Lの他端は、分離スイッチング素子213Lに接続されている。抵抗器218Lは、ノードN1とGNDとの間に接続されている。
- [0119] 中性点電位設定回路150Hは、降圧回路210Hと、分離スイッチング素子213Hとを備える。降圧回路210Hは、ノードN2に接続されている。分離スイッチング素子213Hは、降圧回路210HとGNDとの接続お

よび非接続を切り替える。

[0120] 降圧回路 210H は、FET 212H と、インダクタ 214H と、ダイオード 215H と、コンデンサ 216H とを備える。

[0121] インダクタ 214H の一端およびコンデンサ 216H の一端は、ノード N2 に接続されている。FET 212H は、インダクタ 214H の他端と電源 101 との間に接続されている。FET 212H は、インダクタ 214H と電源 101 との接続および非接続を切り替える。ダイオード 215H のカソードは、インダクタ 214H の他端と FET 212H との間に接続されている。ダイオード 215H のアノードおよびコンデンサ 216H の他端は、分離スイッチング素子 213H に接続されている。

[0122] 中性点電位設定回路 160L は、降圧回路 220L と、分離スイッチング素子 223L と、抵抗器 228L とを備える。降圧回路 220L は、ノード N3 に接続されている。分離スイッチング素子 223L は、降圧回路 220L と GND との接続および非接続を切り替える。

[0123] 降圧回路 220L は、FET 222L と、インダクタ 224L と、ダイオード 225L と、コンデンサ 226L とを備える。

[0124] インダクタ 224L の一端およびコンデンサ 226L の一端は、ノード N3 に接続されている。FET 222L は、インダクタ 224L の他端と電源 Vcc との間に接続されている。FET 222L は、インダクタ 224L と電源 Vcc との接続および非接続を切り替える。ダイオード 225L のカソードは、インダクタ 224L の他端と FET 222L との間に接続されている。ダイオード 225L のアノードおよびコンデンサ 226L の他端は、分離スイッチング素子 223L に接続されている。抵抗器 228L は、ノード N3 と GND との間に接続されている。

[0125] 中性点電位設定回路 160H は、降圧回路 220H と、分離スイッチング素子 223H とを備える。降圧回路 220H は、ノード N4 に接続されている。分離スイッチング素子 223H は、降圧回路 220H と GND との接続および非接続を切り替える。

[0126] 降圧回路 220H は、FET 222H と、インダクタ 224H と、ダイオード 225H と、コンデンサ 226H とを備える。

[0127] インダクタ 224H の一端およびコンデンサ 226H の一端は、ノード N4 に接続されている。FET 222H は、インダクタ 224H の他端と電源 101 との間に接続されている。FET 222H は、インダクタ 224H と電源 101 との接続および非接続を切り替える。ダイオード 225H のカソードは、インダクタ 224H の他端と FET 222H との間に接続されている。ダイオード 225H のアノードおよびコンデンサ 226H の他端は、分離スイッチング素子 223H に接続されている。

[0128] FET 212L、212H、222L、222H は、例えば電界効果トランジスタ（典型的には MOSFET）である。なお、FET 212L、212H、222L、222H として、IGBT が用いられてもよい。分離スイッチング素子 213L、213H、223L、223H としては、例えば電界効果トランジスタ（典型的には MOSFET）または IGBT を用いることができる。本願明細書において、分離スイッチング素子として FET を用いる例を説明し、以下の説明では分離スイッチング素子を FET と表記する場合がある。FET 212L、212H、222L、222H、213L、213H、223L、223H は、例えばマイクロコントローラまたは専用ドライバによって制御され得る。この例では、FET 212L、212H、222L、222H、213L、213H、223L、223H は、制御回路 300（主としてマイクロコントローラ 340）によって制御される。

[0129] 図 13 に示す電力変換装置 100 には正常時および異常時の制御がある。制御回路 300 は、電力変換装置 100 の制御を正常時の制御から異常時の制御に切替えることができる。

[0130] （3. 正常時の制御）

先ず、電力変換装置 100 の正常時の制御方法を説明する。正常時の制御において、FET 212H、222H はオンにする。FET 212L、222L、213L、213H、223L、223H はオフにする。この状態に

において、制御回路300は、第1および第2インバータ110、140の両方を用いて三相通電制御することによってモータ200を駆動する。三相通電制御の方法は、図7および表1を用いて説明したとおりである。例えば、制御回路300は、図7に示される電流波形が得られるようなPWM制御によってブリッジ回路LおよびRの各FETのスイッチング動作を制御する。

[0131] (4. 異常時の制御)

次に、電力変換装置100の異常時の制御方法の具体例を説明する。

[0132] [4-1. ハイサイドスイッチング素子\_\_オープン故障]

図14は、異常時の電力変換装置100を示す模式図である。まず、第1インバータ110のブリッジ回路において、3個のハイサイドスイッチング素子がオープン故障したスイッチング素子を含む場合の制御を説明する。

[0133] この例では、第1インバータ110のハイサイドスイッチング素子(FET 111H、112Hおよび113H)の中でFET 111Hがオープン故障したとする。なお、FET 112Hまたは113Hがオープン故障した場合においても、以下で説明する制御方法で電力変換装置100を制御することができる。

[0134] ハイサイドスイッチング素子111Hがオープン故障している場合、制御回路300は、第1インバータ110におけるオープン故障したハイサイドスイッチング素子111H以外の全てのハイサイドスイッチング素子112H、113Hはオフにする。制御回路300は、第1インバータ110の全てのローサイドスイッチング素子111L、112L、113Lはオンにする。3つのローサイドスイッチング素子111L、112L、113Lを全てオンにすることにより、ローサイド側のノードN1に中性点が構成される。

[0135] 制御回路300は、FET 222L、223L、213H、223Hはオフにする。FET 212H、222Hはオンにする。なお、FET 212Hはオフでもよい。

[0136] 制御回路300は、FET 213Lをオンにする。これにより、ダイオード

215Lおよびコンデンサ216Lは、GNDに接続される。制御回路300は、FET212Lのオンおよびオフを繰り返し切り替え、降圧回路210Lの動作を開始する。

[0137] 3つのローサイドスイッチング素子111L、112L、113Lを全て導通状態にすることにより、ローサイド側のノードN1が各巻線の中性点として機能する。電力変換装置100は、第1インバータ110のローサイド側に構成された中性点および第2インバータ140を用いてモータ200を駆動する。

[0138] 図14は、ノードN1に中性点を構成したときの電力変換装置100内の電流の流れを模式的に示している。図14は、一例としてモータ電気角270°での電流の流れを実線の矢印で示している。3つの実線の矢印のそれぞれは、電源101からモータ200に流れる電流を表している。図14に示す電力変換装置100内の電流の流れは、図8に示す電流の流れと同様である。制御回路300は、例えば図9に示される電流波形が得られるようなPWM制御によって第2インバータ140（ブリッジ回路R）の各FETのスイッチング動作を制御する。

[0139] 降圧回路210Lは、例えば降圧チョッパ回路である。FET212Lがオンのときは、電源Vccの出力電圧がインダクタ214Lに供給されて、インダクタ214Lに電流が流れる。FET212Lがオフのときは、ダイオード215Lを介してGNDからインダクタ214Lに電流が流れ込む。FET212Lのオンとオフとを繰り返し切り替えることで、降圧回路210Lは、電源Vccよりも低い電圧を生成し、中性点（ノードN1）に供給する。FET212Lのデューティ比（オンにする時間とオフにする時間の割合）を調整することで、中性点に供給される電位を任意の値に設定することができる。

[0140] 降圧回路210Lから中性点に供給される電位を一定にした場合は、中性点の電位を一定の値に固定することができる。これにより、電力変換装置100における電力損失を小さくすることができる。

[0141] また、制御回路 300 が FET 212L のデューティ比を変更することで、中性点に可変電位を供給することができる。電力変換装置 100 の状態に応じて中性点に供給する電位を変更することで、電力損失を小さくすることができる。

[0142] 中性点の電位を任意の値に設定することにより、トルクリプル、平均トルク、モータの効率を改善することができる。

[0143] [4-2. ローサイドスイッチング素子\_\_ショート故障]

次に、第 1 インバータ 110 のブリッジ回路において、3 個のローサイドスイッチング素子がショート故障したスイッチング素子を含む場合の制御を説明する。図 15 は、異常時の電力変換装置 100 の別の例を示す模式図である。

[0144] この例では、第 1 インバータ 110 のローサイドスイッチング素子 (FET 111L、112L および 113L) の中で FET 111L がショート故障したとする。なお、FET 112L または 113L がショート故障した場合においても、以下で説明する制御方法で電力変換装置 100 を制御することができる。

[0145] ローサイドスイッチング素子 111L がショート故障している場合、制御回路 300 は、第 1 インバータ 110 におけるショート故障したローサイドスイッチング素子 111L 以外の全てのローサイドスイッチング素子 112L、113L をオンにする。制御回路 300 は、第 1 インバータ 110 の全てのハイサイドスイッチング素子 111H、112H、113H はオフにする。制御回路 300 は、FET 222L、223L、213H、223H をオフにする。FET 212H、222H はオンにする。なお、FET 212H はオフでもよい。

[0146] 制御回路 300 は、FET 213L をオンにする。これにより、ダイオード 215L およびコンデンサ 216L は、GND に接続される。制御回路 300 は、FET 212L のオンおよびオフを繰り返し切り替える。

[0147] 3 つのローサイドスイッチング素子 111L、112L、113L を全て導

通状態にすることにより、ローサイド側のノードN1が各巻線の中性点として機能する。電力変換装置100は、第1インバータ110のローサイド側に構成された中性点および第2インバータ140を用いてモータ200を駆動する。

[0148] 図15は、ノードN1に中性点を構成したときの電力変換装置100内の電流の流れを模式的に示している。図15は、一例としてモータ電気角270°での電流の流れを実線の矢印で示している。3つの実線の矢印のそれぞれは、電源101からモータ200に流れる電流を表している。図15に示す電力変換装置100内の電流の流れは、図14に示す電流の流れと同様である。制御回路300は、例えば図9に示される電流波形が得られるようなPWM制御によって第2インバータ140（ブリッジ回路R）の各FETのスイッチング動作を制御する。

[0149] 降圧回路210Lは、FET212Lのオンとオフとを繰り返し切り替えることで、電源Vccよりも低い電圧を生成し、中性点（ノードN1）に供給する。FET212Lのデューティ比を調整することで、中性点に供給される電位を任意の値に設定することができる。

[0150] 降圧回路210Lから中性点に供給される電位を一定にした場合は、中性点の電位を一定の値に固定することができる。これにより、電力変換装置100における電力損失を小さくすることができる。

[0151] また、制御回路300がFET212Lのデューティ比を変更することで、中性点に可変電位を供給することができる。電力変換装置100の状態に応じて中性点に供給する電位を変更することで、電力損失を小さくすることができる。

[0152] [4-3. ハイサイドスイッチング素子\_\_ショート故障]

次に、第1インバータ110のブリッジ回路において、3個のハイサイドスイッチング素子がショート故障したスイッチング素子を含む場合の制御を説明する。図16は、異常時の電力変換装置100の別の例を示す模式図である。

- [0153] この例では、第1インバータ110のハイサイドスイッチング素子（FET111H、112Hおよび113H）の中でFET111Hがショート故障したとする。なお、FET112Hまたは113Hがショート故障した場合においても、以下で説明する制御方法で電力変換装置100を制御することができる。
- [0154] ハイサイドスイッチング素子111Hがショート故障している場合、制御回路300は、第1インバータ110におけるショート故障したハイサイドスイッチング素子111H以外の全てのハイサイドスイッチング素子112H、113Hをオンにする。制御回路300は、第1インバータ110の全てのローサイドスイッチング素子111L、112L、113Lはオフにする。3つのハイサイドスイッチング素子111H、112H、113Hを全て導通状態にすることにより、ハイサイド側のノードN2に中性点が構成される。
- [0155] 制御回路300は、FET212L、213L、222L、223L、223Hをオフにする。FET222Hはオンにする。
- [0156] 制御回路300は、FET213Hをオンにする。これにより、ダイオード215Hおよびコンデンサ216Hは、GNDに接続される。制御回路300は、FET212Hのオンおよびオフを繰り返し切り替え、降圧回路210Hの動作を開始する。
- [0157] 3つのハイサイドスイッチング素子111H、112H、113Hを全て導通状態にすることにより、ハイサイド側のノードN2が各巻線の中性点として機能する。電力変換装置100は、第1インバータ110のハイサイド側に構成された中性点および第2インバータ140を用いてモータ200を駆動する。
- [0158] 図16は、ノードN2に中性点を構成したときの電力変換装置100内の電流の流れを模式的に示している。図16は、一例としてモータ電気角270°での電流の流れを実線の矢印で示している。3つの実線の矢印のそれぞれは、電源101からモータ200に流れる電流を表している。図16に示す

電力変換装置 100 内の電流の流れは、図 12 に示す電流の流れと同様である。制御回路 300 は、例えば図 9 に示される電流波形が得られるような PWM 制御によって第 2 インバータ 140（ブリッジ回路 R）の各 FET のスイッチング動作を制御する。

[0159] 降圧回路 210H は、例えば降圧チョッパ回路である。FET 212H がオンのときは、電源 101 の出力電圧がインダクタ 214H に供給されて、インダクタ 214H に電流が流れる。FET 212H がオフのときは、ダイオード 215H を介して GND からインダクタ 214H に電流が流れ込む。FET 212H のオンとオフとを繰り返し切り替えることで、降圧回路 210H は、電源 101 よりも低い電圧を生成し、中性点（ノード N2）に供給する。FET 212H のデューティ比を調整することで、中性点に供給される電位を任意の値に設定することができる。

[0160] 降圧回路 210H から中性点に供給される電位を一定にした場合は、中性点の電位を一定の値に固定することができる。これにより、電力変換装置 100 における電力損失を小さくすることができる。

[0161] また、制御回路 300 が FET 212H のデューティ比を変更することで、中性点に可変電位を供給することができる。電力変換装置 100 の状態に応じて中性点に供給する電位を変更することで、電力損失を小さくすることができる。

[0162] [4-4. ローサイドスイッチング素子\_\_オープン故障]

次に、第 1 インバータ 110 のブリッジ回路において、3 個のローサイドスイッチング素子がオープン故障したスイッチング素子を含む場合の制御を説明する。図 17 は、異常時の電力変換装置 100 の別の例を示す模式図である。

[0163] この例では、第 1 インバータ 110 のローサイドスイッチング素子（FET 111L、112L および 113L）の中で FET 111L がオープン故障したとする。なお、FET 112L または 113L がオープン故障した場合においても、以下で説明する制御方法で電力変換装置 100 を制御すること

ができる。

- [0164] ローサイドスイッチング素子 111L がオープン故障している場合、制御回路 300 は、第 1 インバータ 110 におけるオープン故障したローサイドスイッチング素子 111L 以外の全てのローサイドスイッチング素子 112L、113L をオフにする。制御回路 300 は、第 1 インバータ 110 の全てのハイサイドスイッチング素子 111H、112H、113H はオンにする。3つのハイサイドスイッチング素子 111H、112H、113H を全て導通状態にすることにより、ハイサイド側のノード N2 に中性点が構成される。
- [0165] 制御回路 300 は、FET 212L、213L、222L、223L、223H をオフにする。FET 222H はオンにする。
- [0166] 制御回路 300 は、FET 213H をオンにする。これにより、ダイオード 215H およびコンデンサ 216H は、GND に接続される。制御回路 300 は、FET 212H のオンおよびオフを繰り返し切り替え、降圧回路 210L の動作を開始する。
- [0167] 3つのハイサイドスイッチング素子 111H、112H、113H を全て導通状態にすることにより、ハイサイド側のノード N2 が各巻線の中性点として機能する。電力変換装置 100 は、第 1 インバータ 110 のハイサイド側に構成された中性点および第 2 インバータ 140 を用いてモータ 200 を駆動する。
- [0168] 図 17 は、ノード N2 に中性点を構成したときの電力変換装置 100 内の電流の流れを模式的に示している。図 17 は、一例としてモータ電気角 270°での電流の流れを実線の矢印で示している。3つの実線の矢印のそれぞれは、電源 101 からモータ 200 に流れる電流を表している。図 17 に示す電力変換装置 100 内の電流の流れは、図 11 に示す電流の流れと同様である。制御回路 300 は、例えば図 9 に示される電流波形が得られるような PWM 制御によって第 2 インバータ 140（ブリッジ回路 R）の各 FET のスイッチング動作を制御する。

- [0169] 降圧回路 210H は、FET 212H のオンとオフとを繰り返し切り替えることで、電源 101 よりも低い電圧を生成し、中性点（ノード N2）に供給する。FET 212H のデューティ比を調整することで、中性点に供給される電位を任意の値に設定することができる。
- [0170] 降圧回路 210H から中性点に供給される電位を一定にした場合は、中性点の電位を一定の値に固定することができる。これにより、電力変換装置 100 における電力損失を小さくすることができる。
- [0171] また、制御回路 300 が FET 212H のデューティ比を変更することで、中性点に可変電位を供給することができる。電力変換装置 100 の状態に応じて中性点に供給する電位を変更することで、電力損失を小さくすることができる。
- [0172] 上記の図 13 から図 17 の説明では、2つのインバータのうちの第1インバータ 110 を故障インバータとして扱い、第2インバータ 140 を正常インバータとして扱った。第2インバータ 140 が故障インバータであり、第1インバータ 110 が正常インバータである場合も上記と同様に、異常時の制御を行うことができる。この場合は、第1インバータ 110、第2インバータ 140、中性点電位設定回路 150L、150H、160L、160H の制御を上記の制御と逆にする。
- [0173] より具体的には、第2インバータ 140 が故障インバータである場合、第1インバータ 110 と第2インバータ 140 の制御を上記の制御と逆にする。中性点電位設定回路 150L と中性点電位設定回路 160L の制御を上記の制御と逆にする。中性点電位設定回路 150H と中性点電位設定回路 160H の制御を上記の制御と逆にする。第2インバータ 140 に中性点を構成し、その中性点および第1インバータ 110 を用いてモータ 200 を駆動することができる。
- [0174] 次に、図 18 から図 21 を参照しながら、電力変換装置 100 の回路構成の変形例を説明する。
- [0175] 上記の実施形態において、電力変換装置 100 は 4 個の中性点電位設定回路

150L、150H、160L、160Hを備えていたが、本開示はこれに限定されない。電力変換装置100は、中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hの少なくとも1つを備えていればよい。

[0176] 図18は、4個の中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hのうち、中性点電位設定回路150H、160Hを備える電力変換装置100の回路構成を示している。この変形例によれば、ノードN2に中性点を構成する場合、その中性点に中性点電位設定回路150Hから任意の電位を供給することができる。また、ノードN4に中性点を構成する場合は、その中性点に中性点電位設定回路160Hから任意の電位を供給することができる。

[0177] 図19は、4個の中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hのうち、中性点電位設定回路150L、160Lを備える電力変換装置100の回路構成を示している。この変形例によれば、ノードN1に中性点を構成する場合、その中性点に中性点電位設定回路150Lから任意の電位を供給することができる。ノードN3に中性点を構成する場合は、その中性点に中性点電位設定回路160Lから任意の電位を供給することができる。

[0178] 図20は、4個の中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hのうち、中性点電位設定回路150Hを備える電力変換装置100の回路構成を示している。この変形例によれば、ノードN2に中性点を構成する場合、その中性点に中性点電位設定回路150Hから任意の電位を供給することができる。

[0179] 図21は、4個の中性点電位設定回路150L、150H、160L、160Hのうち、中性点電位設定回路150Lを備える電力変換装置100の回路構成を示している。この変形例によれば、ノードN1に中性点を構成する場合、その中性点に中性点電位設定回路150Lから任意の電位を供給することができる。

[0180] (実施形態2)

自動車等の車両は一般的に、電動パワーステアリング装置を備えている。電動パワーステアリング装置は、運転者がステアリングハンドルを操作することによって発生するステアリング系の操舵トルクを補助するための補助トルクを生成する。補助トルクは、補助トルク機構によって生成され、運転者の操作の負担を軽減することができる。例えば、補助トルク機構は、操舵トルクセンサ、ECU、モータおよび減速機構などを備える。操舵トルクセンサは、ステアリング系における操舵トルクを検出する。ECUは、操舵トルクセンサの検出信号に基づいて駆動信号を生成する。モータは、駆動信号に基づいて操舵トルクに応じた補助トルクを生成し、減速機構を介してステアリング系に補助トルクを伝達する。

[0181] 本開示のモータ駆動ユニット400は、電動パワーステアリング装置に好適に利用される。図22は、本実施形態による電動パワーステアリング装置500を模式的に示している。電動パワーステアリング装置500は、ステアリング系520および補助トルク機構540を備える。

[0182] ステアリング系520は、例えば、ステアリングハンドル521、ステアリングシャフト522（「ステアリングコラム」とも称される。）、自在軸継手523A、523B、回転軸524（「ピニオン軸」または「入力軸」とも称される。）、ラックアンドピニオン機構525、ラック軸526、左右のボールジョイント552A、552B、タイロッド527A、527B、ナックル528A、528B、および左右の操舵車輪（例えば左右の前輪）529A、529Bを備える。ステアリングハンドル521は、ステアリングシャフト522と自在軸継手523A、523Bとを介して回転軸524に連結される。回転軸524にはラックアンドピニオン機構525を介してラック軸526が連結される。ラックアンドピニオン機構525は、回転軸524に設けられたピニオン531と、ラック軸526に設けられたラック532とを有する。ラック軸526の右端には、ボールジョイント552A、タイロッド527Aおよびナックル528Aをこの順番で介して右の操舵車輪529Aが連結される。右側と同様に、ラック軸526の左端には、ボ

ールジョイント５５２Ｂ、タイロッド５２７Ｂおよびナックル５２８Ｂをこの順番で紹介して左の操舵車輪５２９Ｂが連結される。ここで、右側および左側は、座席に座った運転者から見た右側および左側にそれぞれ一致する。

[0183] ステアリング系５２０によれば、運転者がステアリングハンドル５２１を操作することによって操舵トルクが発生し、ラックアンドピニオン機構５２５を介して左右の操舵車輪５２９Ａ、５２９Ｂに伝わる。これにより、運転者は左右の操舵車輪５２９Ａ、５２９Ｂを操作することができる。

[0184] 補助トルク機構５４０は、例えば、操舵トルクセンサ５４１、ＥＣＵ５４２、モータ５４３、減速機構５４４および電力変換装置５４５を備える。補助トルク機構５４０は、ステアリングハンドル５２１から左右の操舵車輪５２９Ａ、５２９Ｂに至るステアリング系５２０に補助トルクを与える。なお、補助トルクは「付加トルク」と称されることがある。

[0185] ＥＣＵ５４２として、実施形態による制御回路３００を用いることができ、電力変換装置５４５として、実施形態による電力変換装置１００を用いることができる。また、モータ５４３は、実施形態におけるモータ２００に相当する。ＥＣＵ５４２、モータ５４３および電力変換装置５４５を備える機電一体型ユニットとして、実施形態によるモータ駆動ユニット４００を好適に用いることができる。

[0186] 操舵トルクセンサ５４１は、ステアリングハンドル５２１によって付与されたステアリング系５２０の操舵トルクを検出する。ＥＣＵ５４２は、操舵トルクセンサ５４１からの検出信号（以下、「トルク信号」と表記する。）に基づいてモータ５４３を駆動するための駆動信号を生成する。モータ５４３は、操舵トルクに応じた補助トルクを駆動信号に基づいて発生する。補助トルクは、減速機構５４４を介してステアリング系５２０の回転軸５２４に伝達される。減速機構５４４は、例えばウォームギヤ機構である。補助トルクはさらに、回転軸５２４からラックアンドピニオン機構５２５に伝達される。

[0187] 電動パワーステアリング装置５００は、補助トルクがステアリング系５２０

に付与される箇所によって、ピニオンアシスト型、ラックアシスト型、およびコラムアシスト型等に分類することができる。図22には、ピニオンアシスト型の電動パワーステアリング装置500を例示している。ただし、電動パワーステアリング装置500は、ラックアシスト型、コラムアシスト型等であってもよい。

[0188] ECU542には、トルク信号だけでなく、例えば車速信号も入力され得る。外部機器560は例えば車速センサである。または、外部機器560は、例えばCAN (Controller Area Network) 等の車内ネットワークで通信可能な他のECUであってもよい。ECU542のマイクロコントローラは、トルク信号や車速信号などに基づいてモータ543をベクトル制御等により制御することができる。

[0189] ECU542は、少なくともトルク信号に基づいて目標電流値を設定する。ECU542は、車速センサによって検出された車速信号を考慮し、さらに角度センサ320によって検出されたロータの回転信号を考慮して、目標電流値を設定することが好ましい。ECU542は、電流センサ170によって検出された実電流値が目標電流値に一致するように、モータ543の駆動信号、つまり、駆動電流を制御することができる。

[0190] 電動パワーステアリング装置500によれば、運転者の操舵トルクにモータ543の補助トルクを加えた複合トルクを利用してラック軸526によって左右の操舵車輪529A、529Bを操作することができる。特に、上述した機電一体型ユニットに、本開示のモータ駆動ユニット400を利用することにより、部品の品質が向上し、かつ、正常時および異常時のいずれにおいても適切な電流制御が可能となる、モータ駆動ユニットを備える電動パワーステアリング装置が提供される。

[0191] 以上、本開示にかかる実施形態を説明した。上述の実施形態の説明は例示であり、本開示の技術を限定するものではない。また、上述の実施形態で説明した各構成要素を適宜組み合わせた実施形態も可能である。

**産業上の利用可能性**

[0192] 本開示の実施形態は、掃除機、ドライヤ、シーリングファン、洗濯機、冷蔵庫および電動パワーステアリング装置などの、各種モータを備える多様な機器に幅広く利用され得る。

### 符号の説明

[0193] 100 電力変換装置、101 電源、102 コイル、103 コンデンサ、110 第1インバータ、111H、112H、113H、141H、142H、143H ハイサイドスイッチング素子(FET)、111L、112L、113L、141L、142L、143L ローサイドスイッチング素子(FET)、111R、112R、113R、141R、142R、143R シャント抵抗、121、122、123、124、125、126 レグ、131、132、133 Hブリッジ、140 第2インバータ、150L、150H、160L、160H 中性点電位設定回路、153L、153H、163L、163H 分離スイッチング素子(FET)、155L、155H、165L、165H 分圧回路、200 電動モータ、210L、210H、220L、220H 降圧回路、213L、213H、223L、223H 分離スイッチング素子(FET)、300 制御回路、310 電源回路、320 角度センサ、330 入力回路、340 マイクロコントローラ、350 駆動回路、351 検出回路、360 ROM、400 モータ駆動ユニット、500 電動パワーステアリング装置

## 請求の範囲

- [請求項1] 電源からの電力を、 $n$ 相（ $n$ は3以上の整数）の巻線を有するモータへ供給する電力に変換する電力変換装置であって、
- 前記モータの各相の巻線の一端に接続される第1インバータと、
- 前記各相の巻線他端に接続される第2インバータと、
- 前記第1インバータに接続され、前記第1インバータの異常時に前記第1インバータに構成される中性点の電位を設定する第1中性点電位設定回路と、
- を備える、電力変換装置。
- [請求項2] 前記第1および第2インバータのそれぞれは、ローサイドスイッチング素子およびハイサイドスイッチング素子を含むレグを $n$ 個備え、
- 前記第1中性点電位設定回路は、
- 互いに直列接続される第1抵抗器および第2抵抗器を含む第1分圧回路と、
- 前記第1分圧回路と電源またはグラウンドとの接続および非接続を切り替える第1分離スイッチング素子と、
- を備え、
- 前記第1抵抗器および前記第2抵抗器の間のノードは、 $n$ 個の前記ローサイドスイッチング素子が接続される第1ノードまたは $n$ 個の前記ハイサイドスイッチング素子が接続される第2ノードに接続される、請求項1に記載の電力変換装置。
- [請求項3] 前記第1抵抗器は、前記第1ノードとグラウンドとの間に接続され、
- 前記第2抵抗器は、前記第1ノードと前記第1分離スイッチング素子との間に接続され、
- 第1分離スイッチング素子は、前記第2抵抗器と電源との間に接続される、請求項2に記載の電力変換装置。
- [請求項4] 前記第1インバータの前記 $n$ 個のローサイドスイッチング素子にショート故障したローサイドスイッチング素子が含まれる場合、

前記第 1 インバータにおける前記ショート故障したローサイドスイッチング素子以外の全てのローサイドスイッチング素子はオンして中性点を構成し、

前記第 1 インバータの前記 n 個のハイサイドスイッチング素子は全てオフし、

前記第 1 分離スイッチング素子はオンし、

前記ローサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点には、前記第 1 抵抗器と前記第 2 抵抗器との間の電位が供給され、

前記第 2 インバータを用いて電力変換を行う、請求項 3 に記載の電力変換装置。

[請求項5] 前記第 1 インバータの前記 n 個のハイサイドスイッチング素子にオープン故障したハイサイドスイッチング素子が含まれる場合、

前記第 1 インバータにおける前記オープン故障したハイサイドスイッチング素子以外の全てのハイサイドスイッチング素子はオフし、

前記第 1 インバータの前記 n 個のローサイドスイッチング素子は全てオンして中性点を構成し、

前記第 1 分離スイッチング素子はオンし、

前記ローサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点には、前記第 1 抵抗器と前記第 2 抵抗器との間の電位が供給され、

前記第 2 インバータを用いて電力変換を行う、請求項 3 または 4 に記載の電力変換装置。

[請求項6] 前記ローサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点に前記第 1 分圧回路から供給される電位は一定である、請求項 4 または 5 に記載の電力変換装置。

[請求項7] 前記第 1 インバータに接続される第 2 中性点電位設定回路をさらに備え、

前記第 2 中性点電位設定回路は、

互いに直列接続される第 3 抵抗器および第 4 抵抗器を含む第 2 分圧

回路と、

前記第2分圧回路とグラウンドとの接続および非接続を切り替える第2分離スイッチング素子と、

を備え、

前記第2分圧回路は、前記n個のハイサイドスイッチング素子が接続される前記第2ノードに接続される、請求項3から6のいずれかに記載の電力変換装置。

[請求項8] 前記第3抵抗器は、前記第2ノードと電源との間に接続され、  
前記第4抵抗器は、前記第2ノードと前記第2分離スイッチング素子との間に接続され、

第2分離スイッチング素子は、前記第4抵抗器とグラウンドとの間に接続される、請求項7に記載の電力変換装置。

[請求項9] 前記第1インバータの前記n個のハイサイドスイッチング素子にショート故障したハイサイドスイッチング素子が含まれる場合、

前記第1インバータにおける前記ショート故障したハイサイドスイッチング素子以外の全てのハイサイドスイッチング素子はオンして中性点を構成し、

前記第1インバータの前記n個のローサイドスイッチング素子は全てオフし、

前記第2分離スイッチング素子はオンし、

前記ハイサイドスイッチング素子をオンして構成した中性点には、前記第3抵抗器と前記第4抵抗器との間の電位が供給され、

前記第2インバータを用いて電力変換を行う、請求項8に記載の電力変換装置。

[請求項10] 前記第1インバータの前記n個のローサイドスイッチング素子にオープン故障したローサイドスイッチング素子が含まれる場合、

前記第1インバータにおける前記オープン故障したローサイドスイッチング素子以外の全てのローサイドスイッチング素子はオフし、

前記第 1 インバータの前記  $n$  個のハイサイドスイッチング素子は全てオンして中性点を構成し、

前記第 2 分離スイッチング素子はオンし、

前記ハイサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点には、前記第 3 抵抗器と前記第 4 抵抗器との間の電位が供給され、

前記第 2 インバータを用いて電力変換を行う、請求項 8 または 9 に記載の電力変換装置。

[請求項 11] 前記ハイサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点に前記第 2 分圧回路から供給される電位は一定である、請求項 9 または 10 に記載の電力変換装置。

[請求項 12] 前記第 1 および第 2 インバータのそれぞれは、ローサイドスイッチング素子およびハイサイドスイッチング素子を含むレグを  $n$  個備え、前記第 1 中性点電位設定回路は、

$n$  個の前記ローサイドスイッチング素子が接続される第 1 ノードまたは  $n$  個の前記ハイサイドスイッチング素子が接続される第 2 ノードに接続される第 1 降圧回路と、

前記第 1 降圧回路とグラウンドとの接続および非接続を切り替える第 1 分離スイッチング素子と、

を備える、請求項 1 に記載の電力変換装置。

[請求項 13] 前記第 1 降圧回路は、前記  $n$  個のローサイドスイッチング素子が接続される前記第 1 ノードに接続される、請求項 12 に記載の電力変換装置。

[請求項 14] 前記第 1 インバータの前記  $n$  個のローサイドスイッチング素子にショート故障したローサイドスイッチング素子が含まれる場合、

前記第 1 インバータにおける前記ショート故障したローサイドスイッチング素子以外の全てのローサイドスイッチング素子はオンして中性点を構成し、

前記第 1 インバータの  $n$  個の前記ハイサイドスイッチング素子は全

てオフし、

前記第 1 降圧回路は、前記ローサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点に電位を供給し、

前記第 2 インバータを用いて電力変換を行う、請求項 1 3 に記載の電力変換装置。

[請求項15] 前記第 1 インバータの前記 n 個のハイサイドスイッチング素子にオープン故障したハイサイドスイッチング素子が含まれる場合、

前記第 1 インバータにおける前記オープン故障したハイサイドスイッチング素子以外の全てのハイサイドスイッチング素子はオフし、

前記第 1 インバータの前記 n 個のローサイドスイッチング素子は全てオンして中性点を構成し、

前記第 1 降圧回路は、前記ローサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点に電位を供給し、

前記第 2 インバータを用いて電力変換を行う、請求項 1 2 から 1 4 のいずれかに記載の電力変換装置。

[請求項16] 前記第 1 降圧回路は、前記ローサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点に可変電位を供給する、請求項 1 4 または 1 5 に記載の電力変換装置。

[請求項17] 前記第 1 インバータに接続される第 2 中性点電位設定回路をさらに備え、

前記第 2 中性点電位設定回路は、

前記 n 個のハイサイドスイッチング素子が接続される前記第 2 ノードに接続される第 2 降圧回路と、

前記第 2 降圧回路とグラウンドとの接続および非接続を切り替える第 2 分離スイッチング素子と、

を備える、請求項 1 3 から 1 6 のいずれかに記載の電力変換装置。

[請求項18] 前記第 1 インバータの前記 n 個のハイサイドスイッチング素子にショート故障したハイサイドスイッチング素子が含まれる場合、

前記第 1 インバータにおける前記ショート故障したハイサイドスイッチング素子以外の全てのハイサイドスイッチング素子はオンして中性点を構成し、

前記第 1 インバータの前記  $n$  個のローサイドスイッチング素子は全てオフし、

前記第 2 降圧回路は、前記ハイサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点に電位を供給し、

前記第 2 インバータを用いて電力変換を行う、請求項 17 に記載の電力変換装置。

[請求項19] 前記第 1 インバータの前記  $n$  個のローサイドスイッチング素子にオープン故障したローサイドスイッチング素子が含まれる場合、

前記第 1 インバータにおける前記オープン故障したローサイドスイッチング素子以外の全てのローサイドスイッチング素子はオフし、

前記第 1 インバータの前記  $n$  個のハイサイドスイッチング素子は全てオンして中性点を構成し、

前記第 2 降圧回路は、前記ハイサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点に電位を供給し、

前記第 2 インバータを用いて電力変換を行う、請求項 17 または 18 に記載の電力変換装置。

[請求項20] 前記第 2 降圧回路は、前記ハイサイドスイッチング素子をオンして構成した前記中性点に可変電位を供給する、請求項 18 または 19 に記載の電力変換装置。

[請求項21] 前記第 2 インバータに接続され、前記第 2 インバータの異常時に前記第 2 インバータに構成される中性点の電位を設定する第 3 中性点電位設定回路をさらに備える、請求項 1 から 20 のいずれかに記載の電力変換装置。

[請求項22] 前記第 1 および第 2 インバータのそれぞれは、ローサイドスイッチング素子およびハイサイドスイッチング素子を含むレグを  $n$  個備え、

前記第 3 中性点電位設定回路は、 $n$  個の前記ローサイドスイッチング素子が接続される第 3 ノードまたは  $n$  個の前記ハイサイドスイッチング素子が接続される第 4 ノードに接続される、請求項 2 1 に記載の電力変換装置。

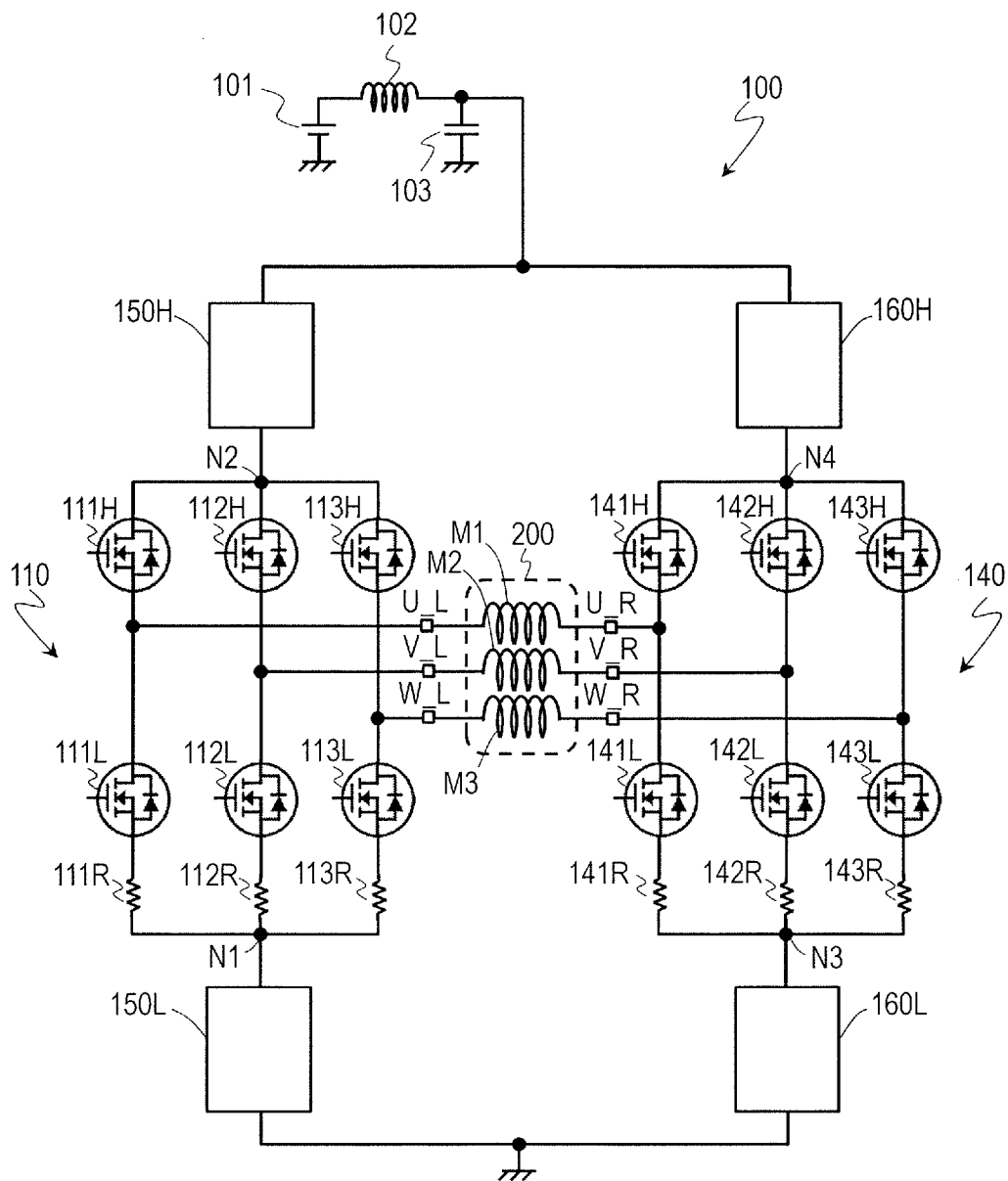
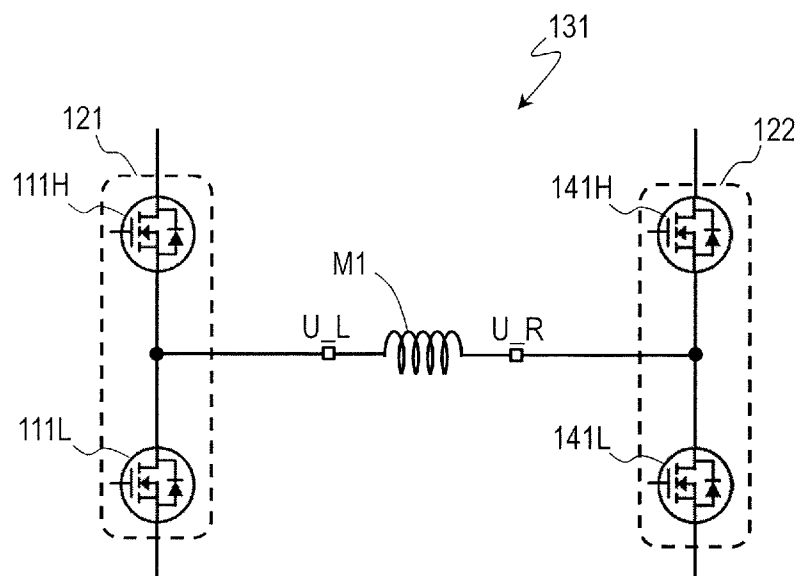
[請求項 23] 前記第 3 中性点電位設定回路は、前記  $n$  個のローサイドスイッチング素子が接続される第 3 ノードに接続される、請求項 2 2 に記載の電力変換装置。

[請求項 24] 前記第 2 インバータに接続され、前記第 2 インバータの異常時に前記第 2 インバータに構成される中性点の電位を設定する第 4 中性点電位設定回路をさらに備え、

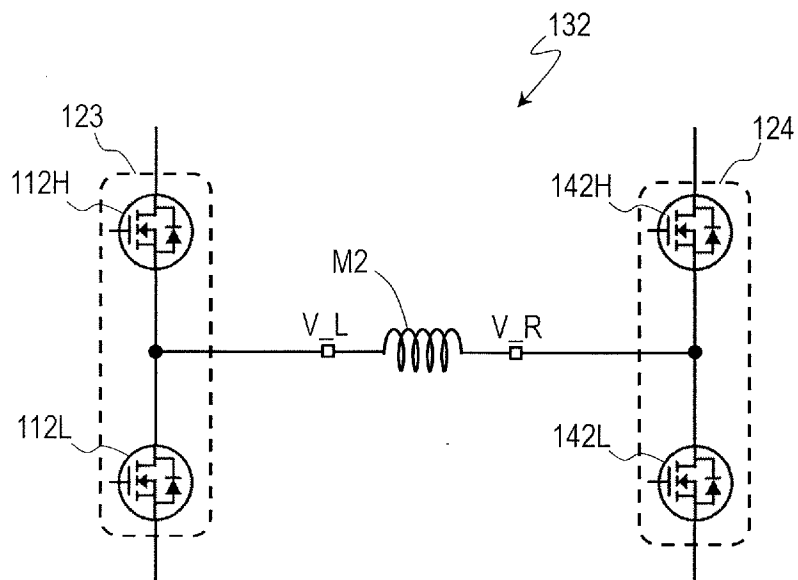
前記第 4 中性点電位設定回路は、前記  $n$  個のハイサイドスイッチング素子が接続される第 4 ノードに接続される、請求項 2 3 に記載の電力変換装置。

[請求項 25] 請求項 1 から 2 4 のいずれかに記載の電力変換装置と、  
前記モータと、  
前記電力変換装置を制御する制御回路と、  
を備えるモータ駆動ユニット。

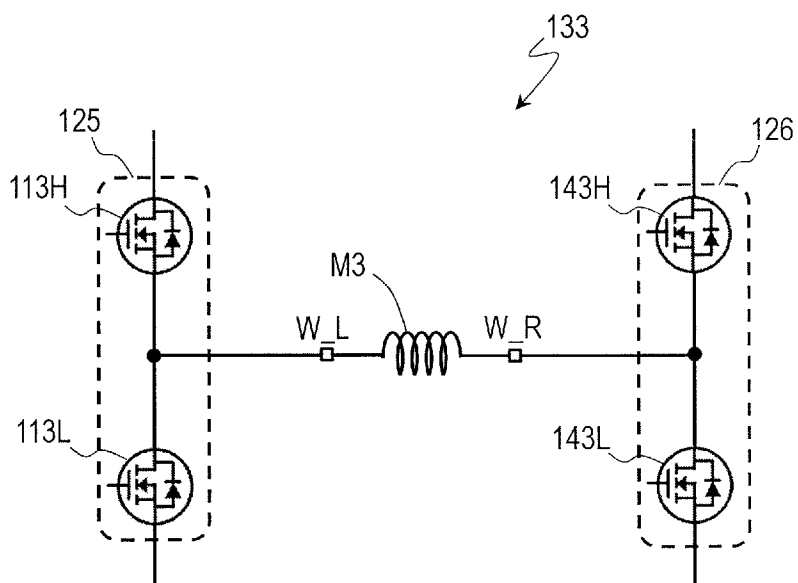
[請求項 26] 請求項 2 5 に記載のモータ駆動ユニットを備える電動パワーステアリング装置。



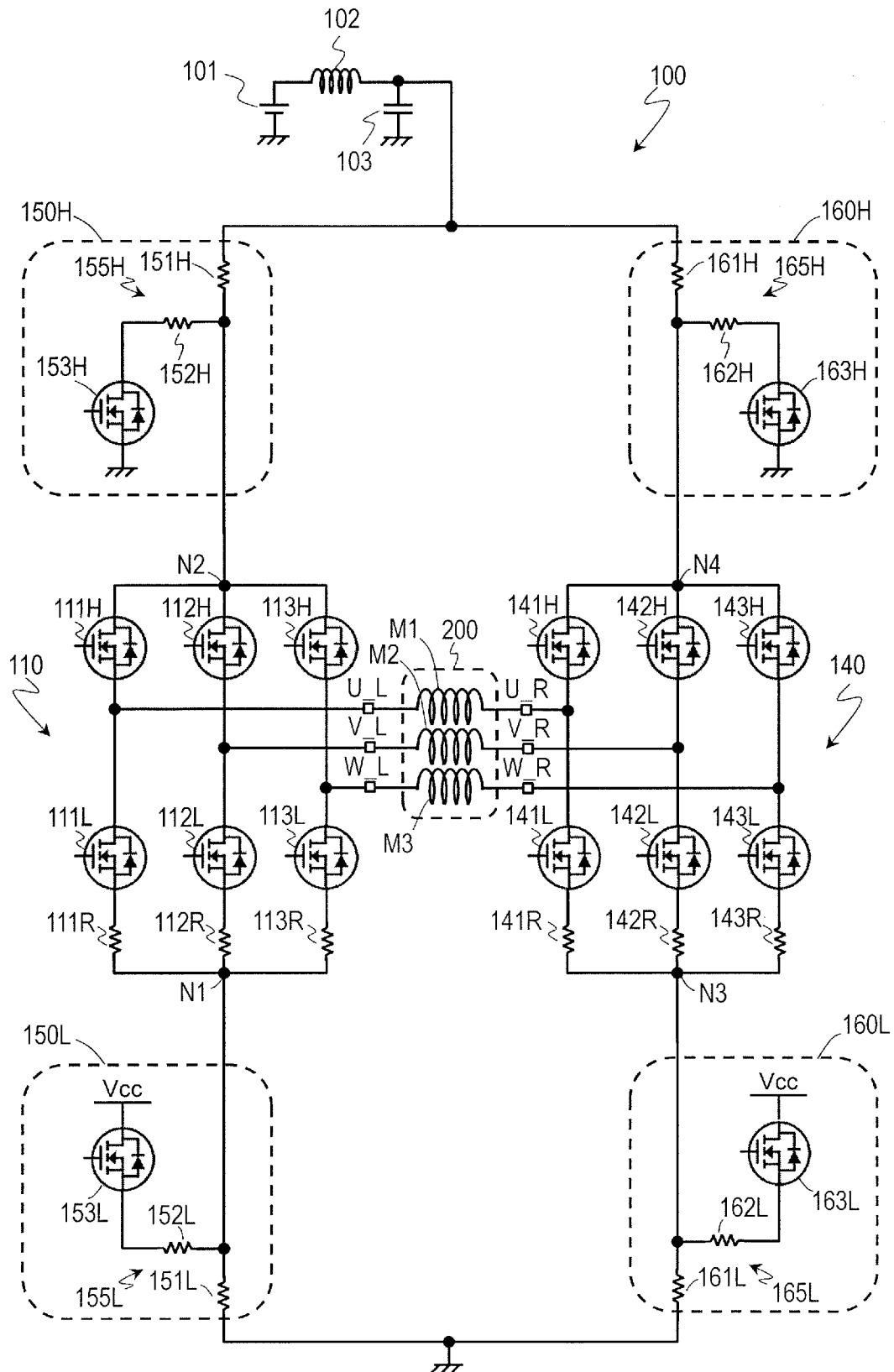
[図3]



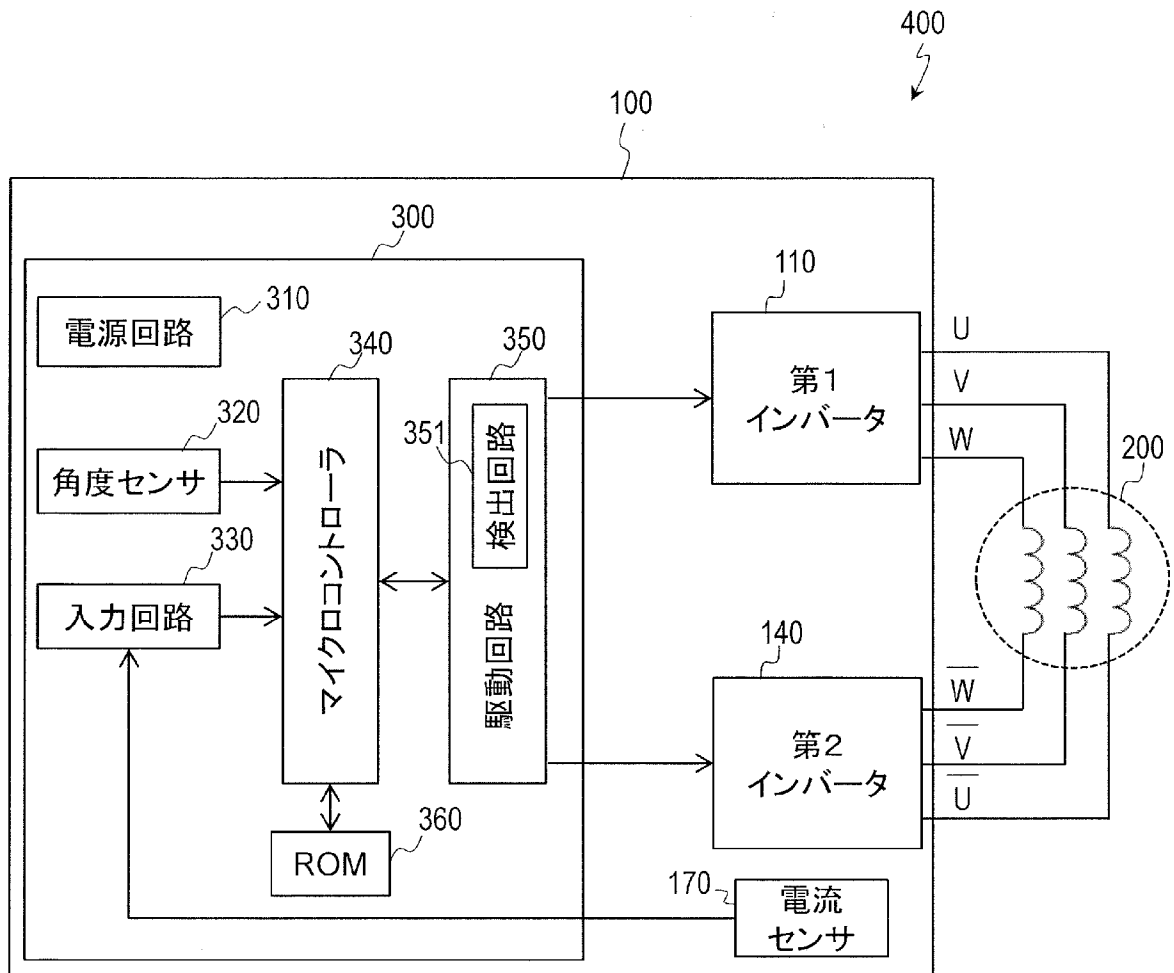
[図4]



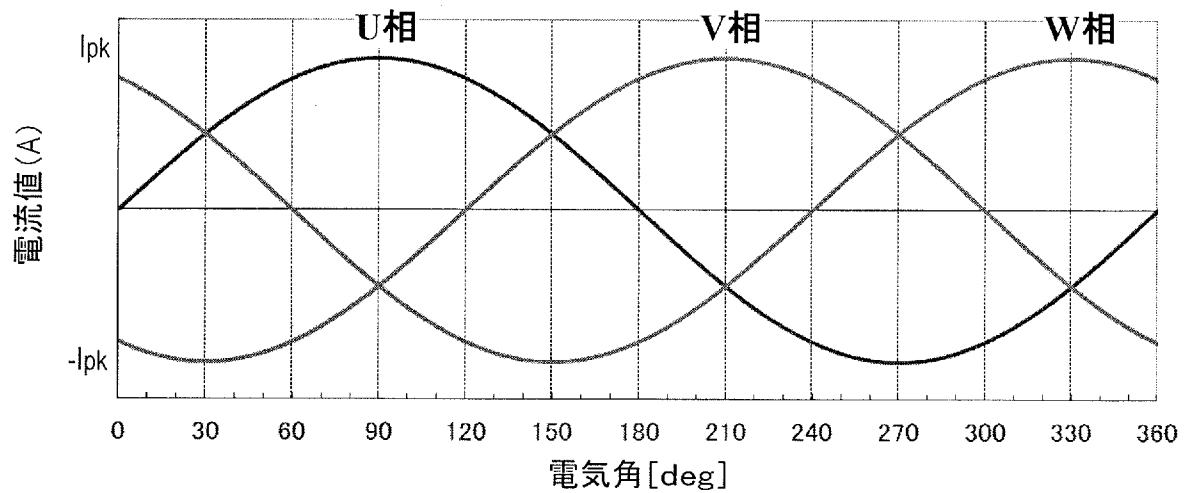
[図5]



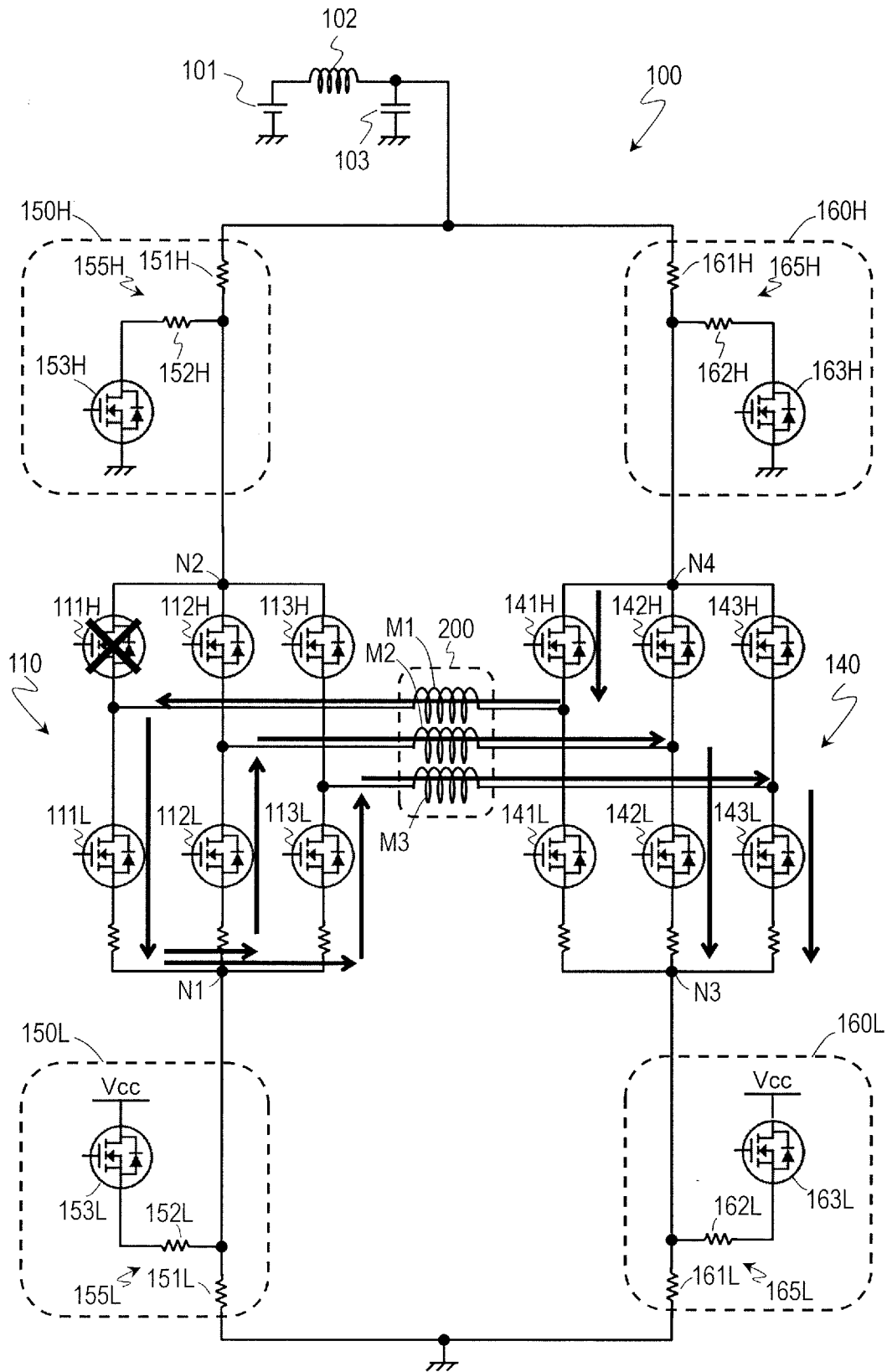
[図6]



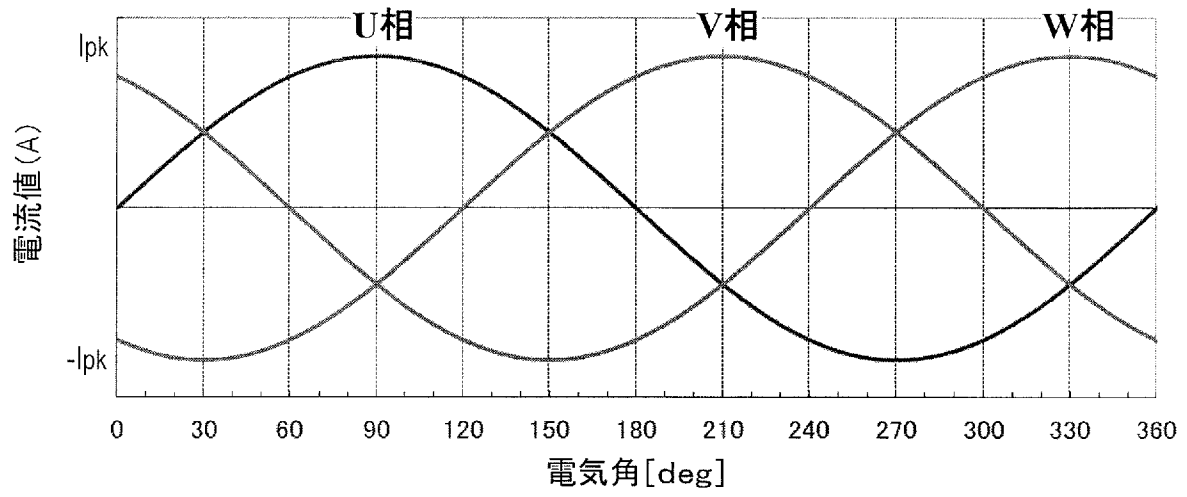
[図7]



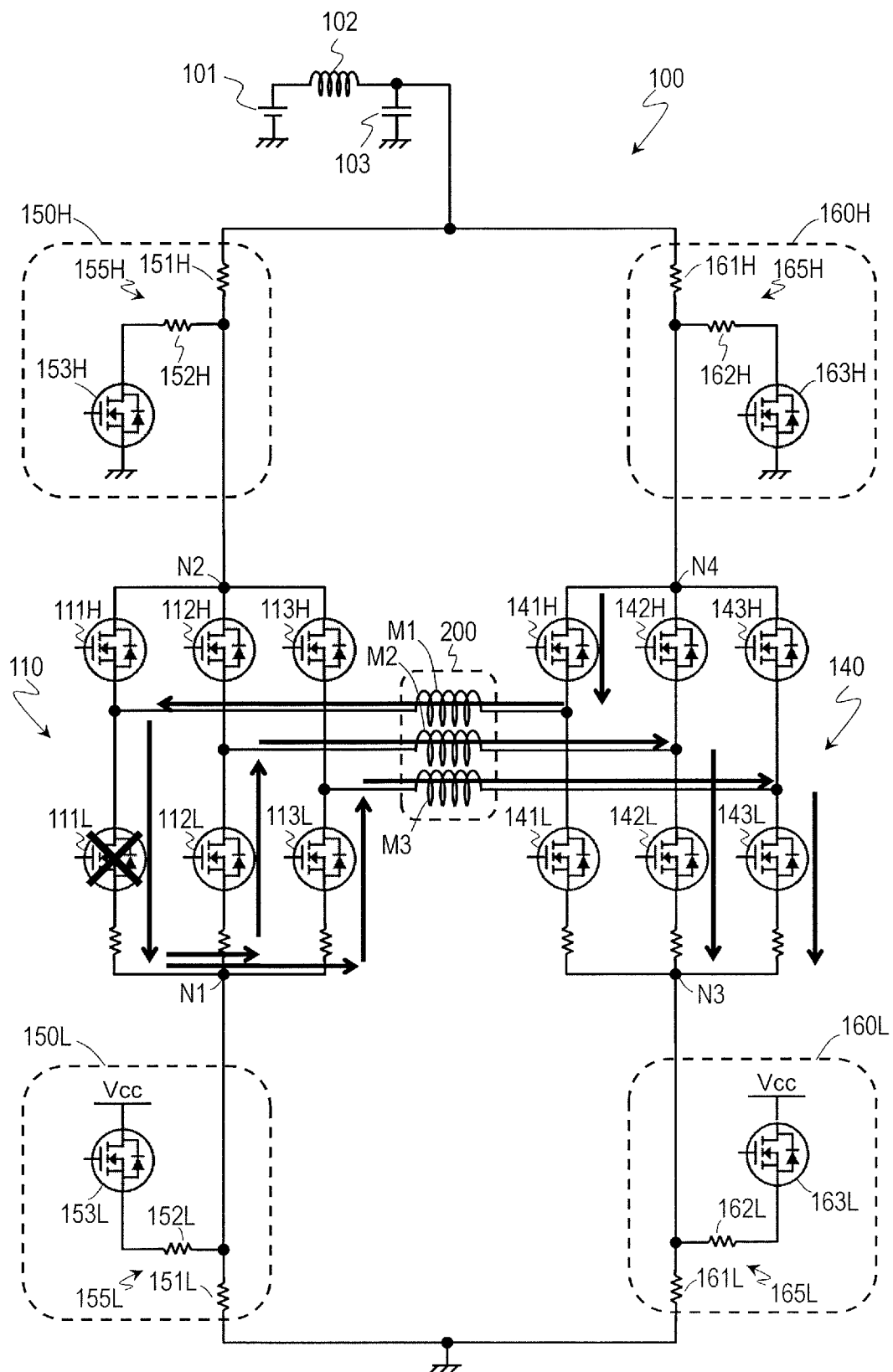
[図8]



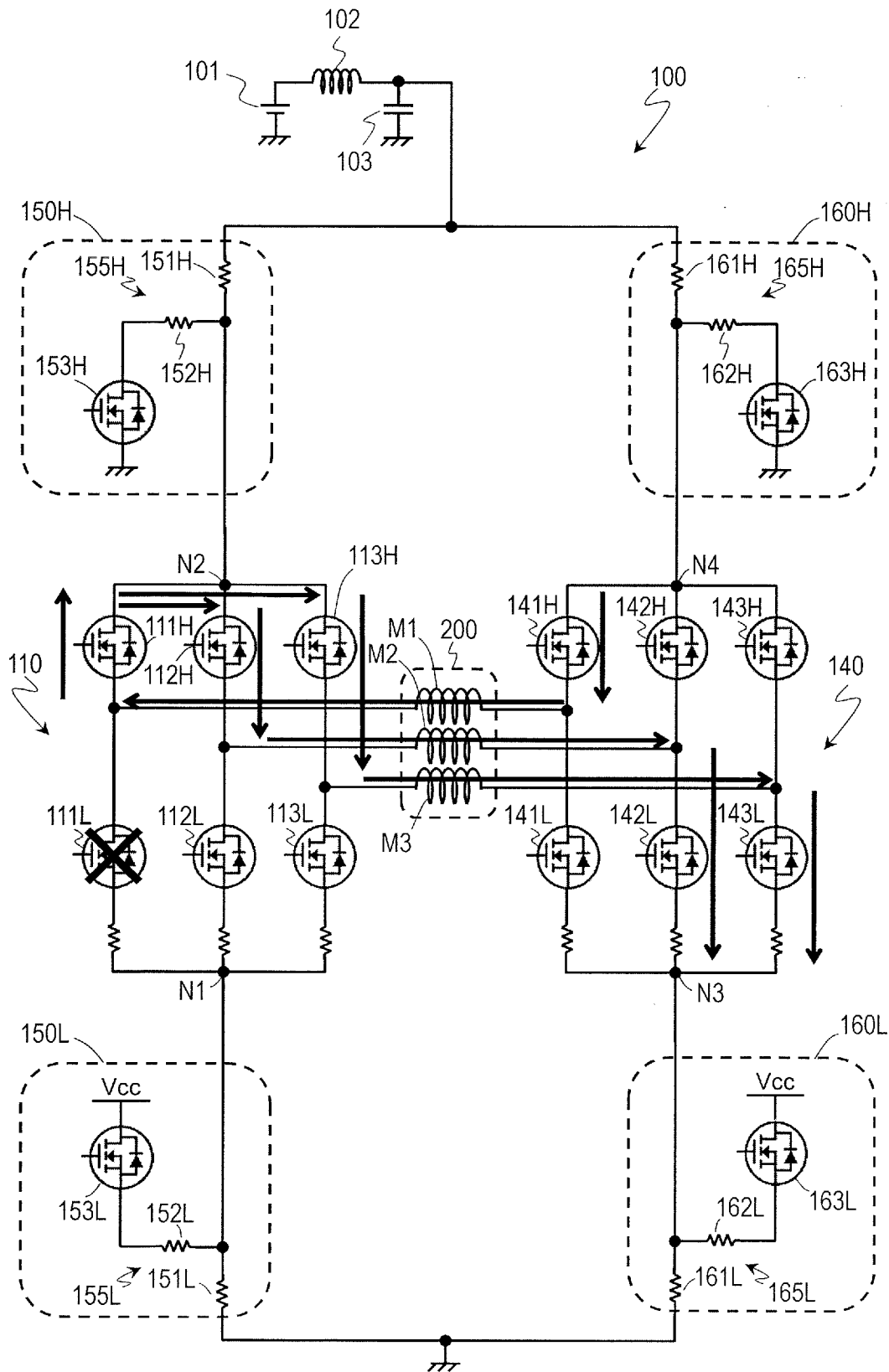
[図9]



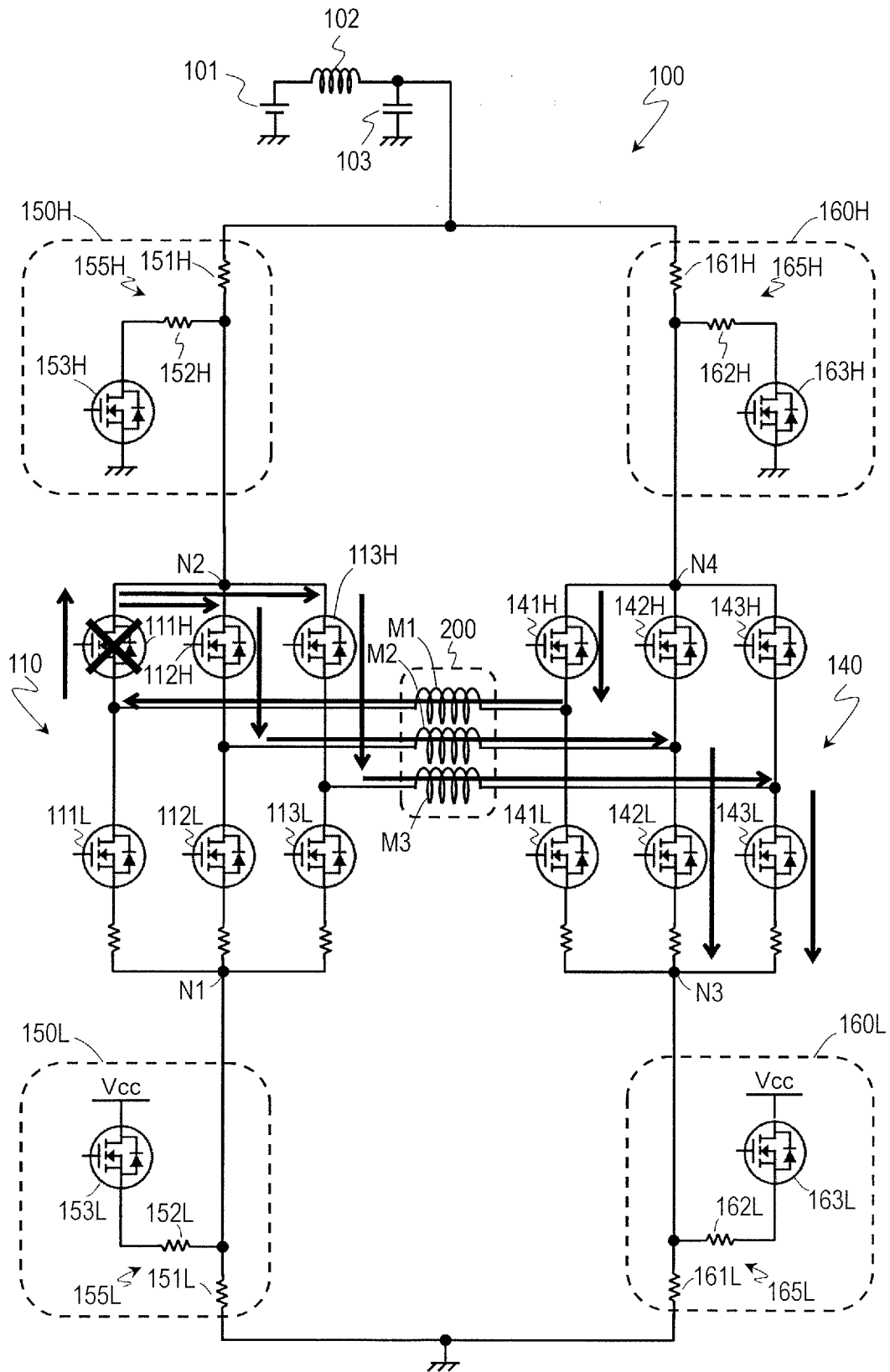
[図10]



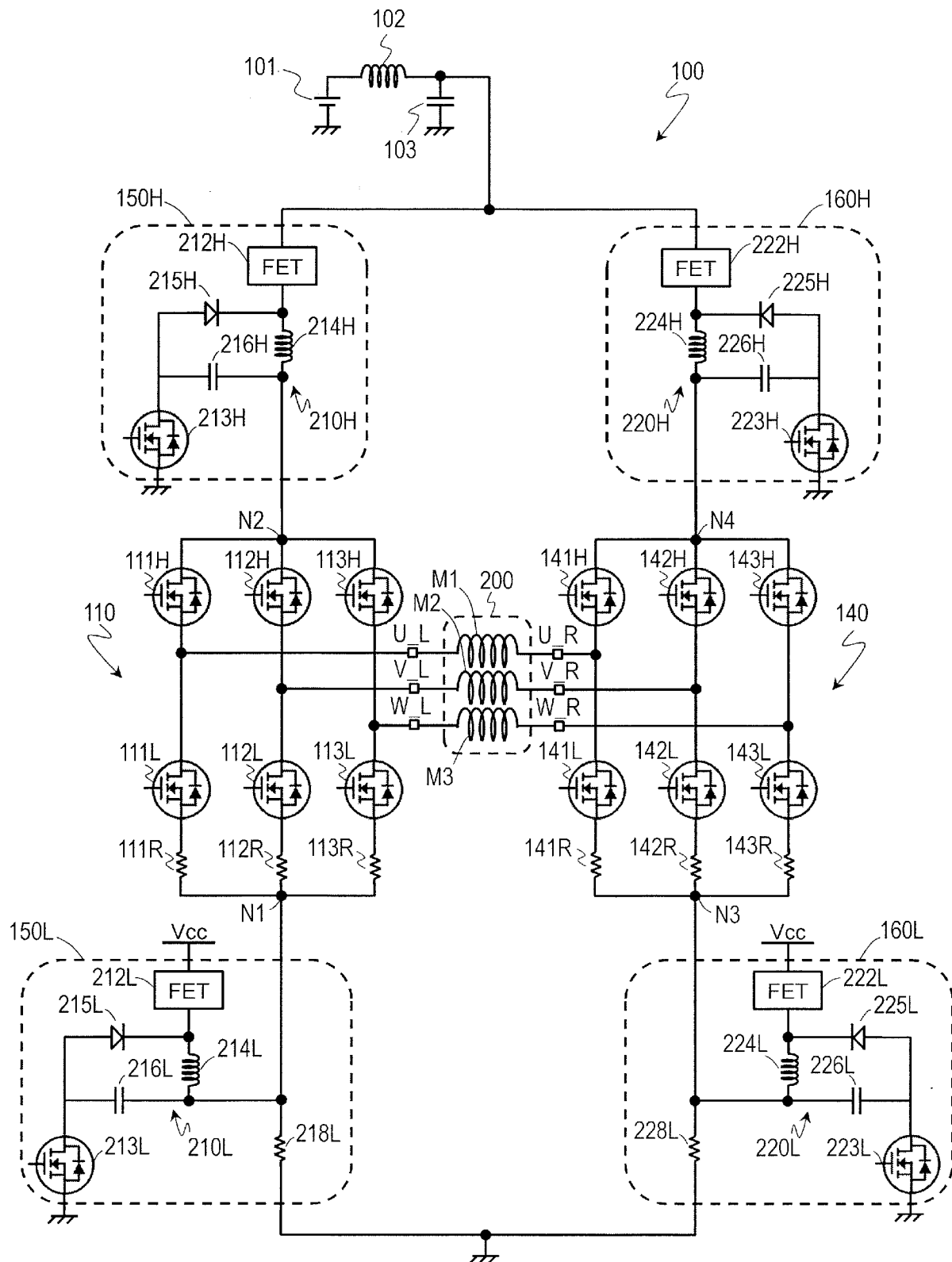
[図11]



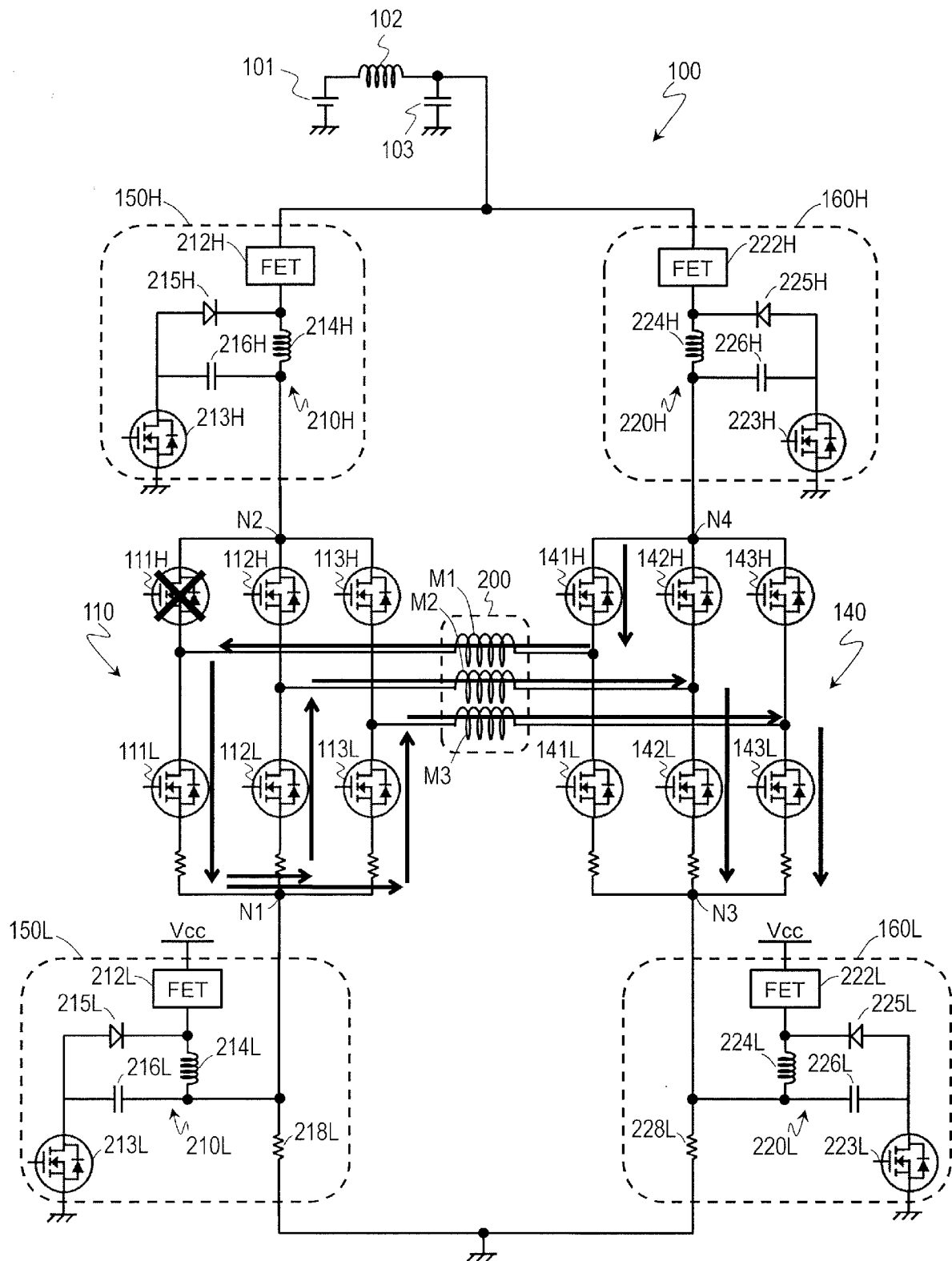
[図12]



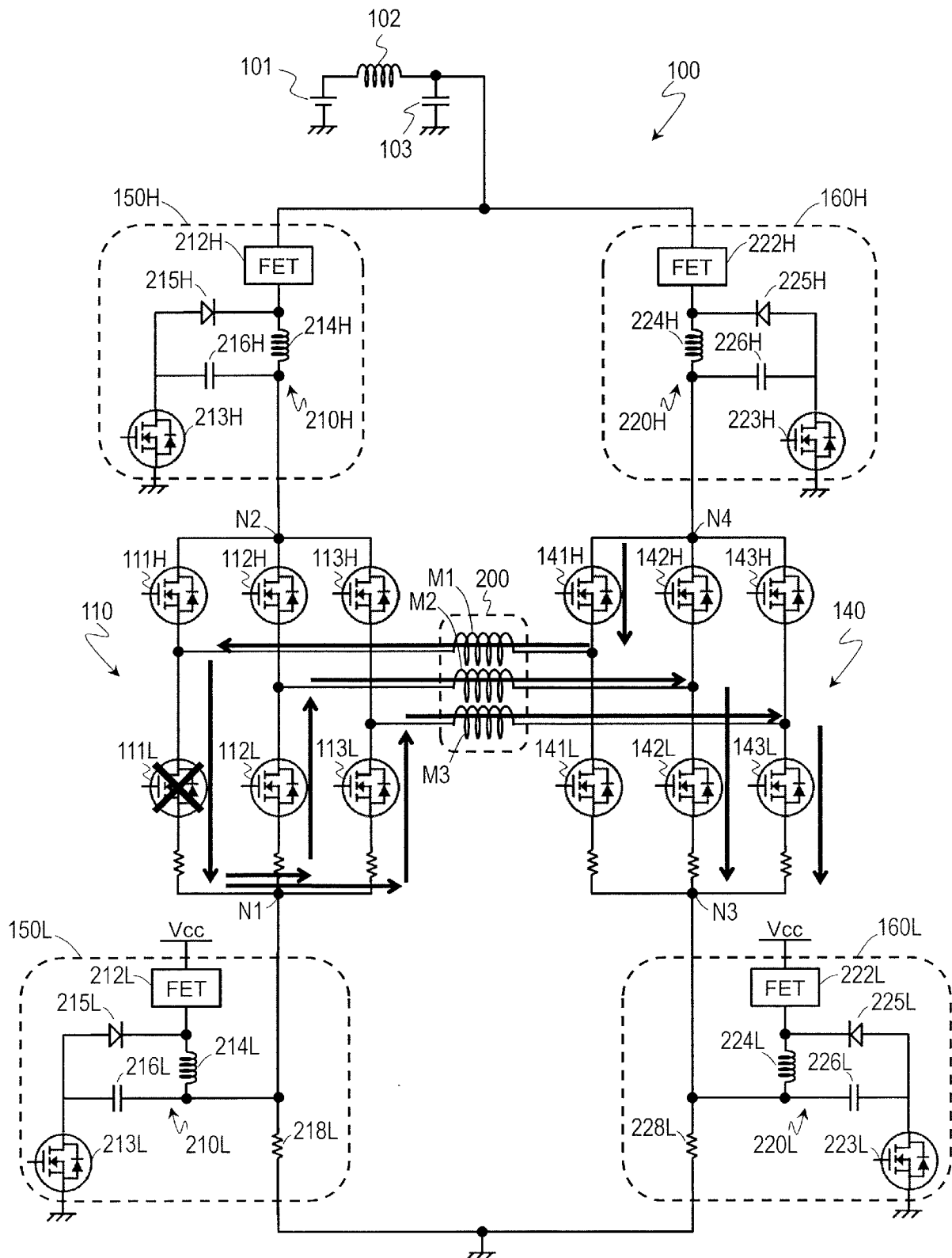
[図13]



[図14]

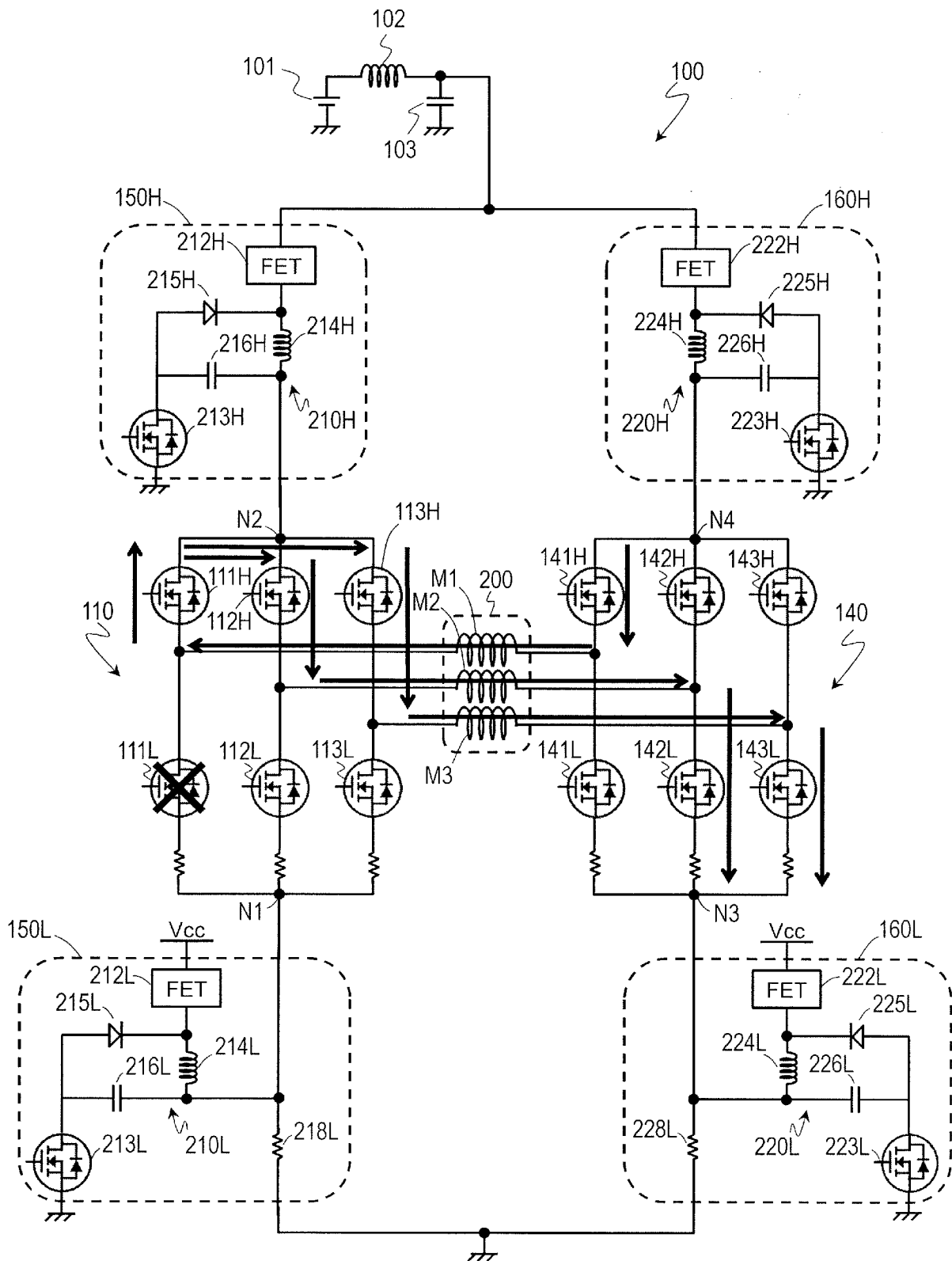


[図15]

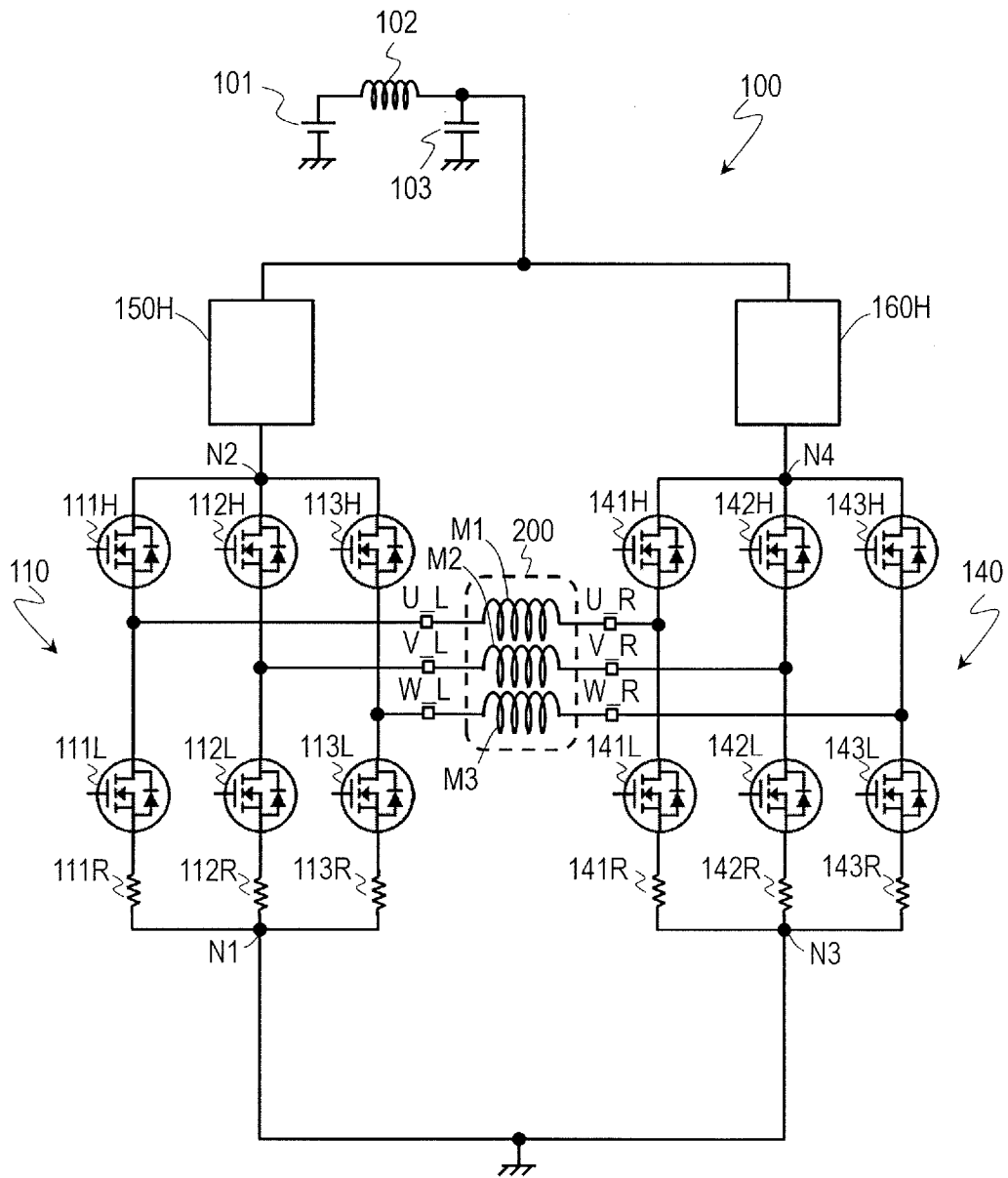




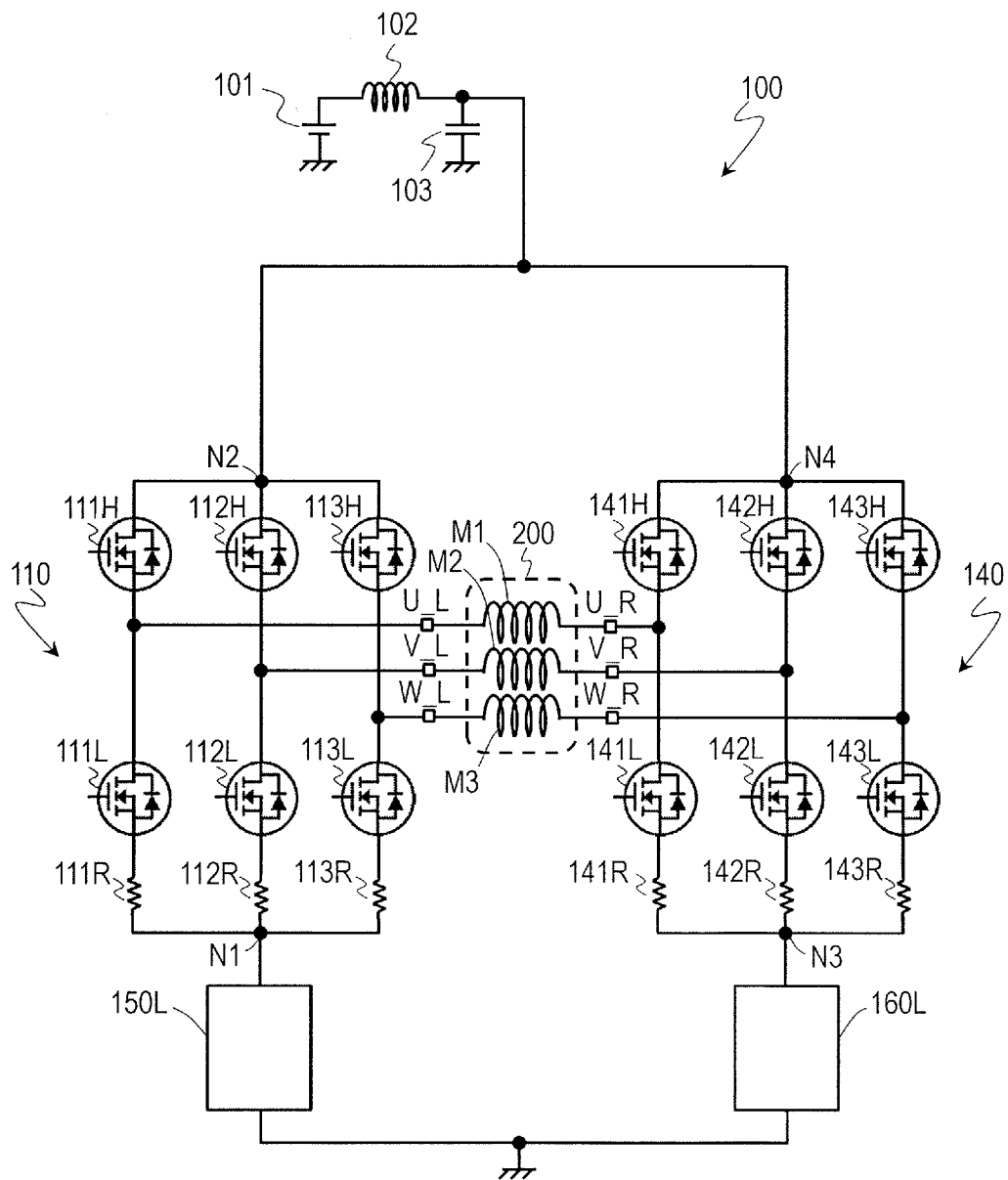
[図17]



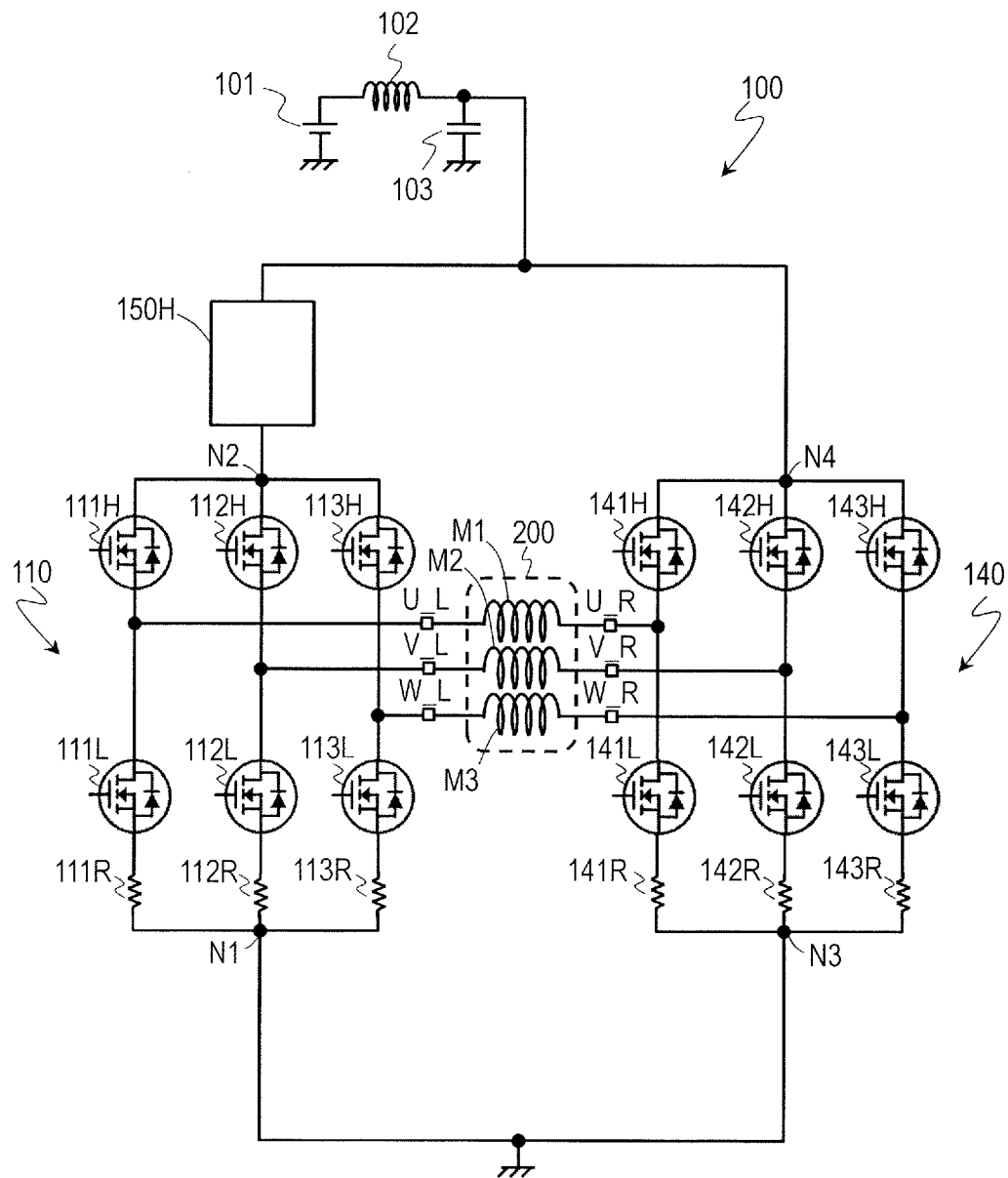
[図18]



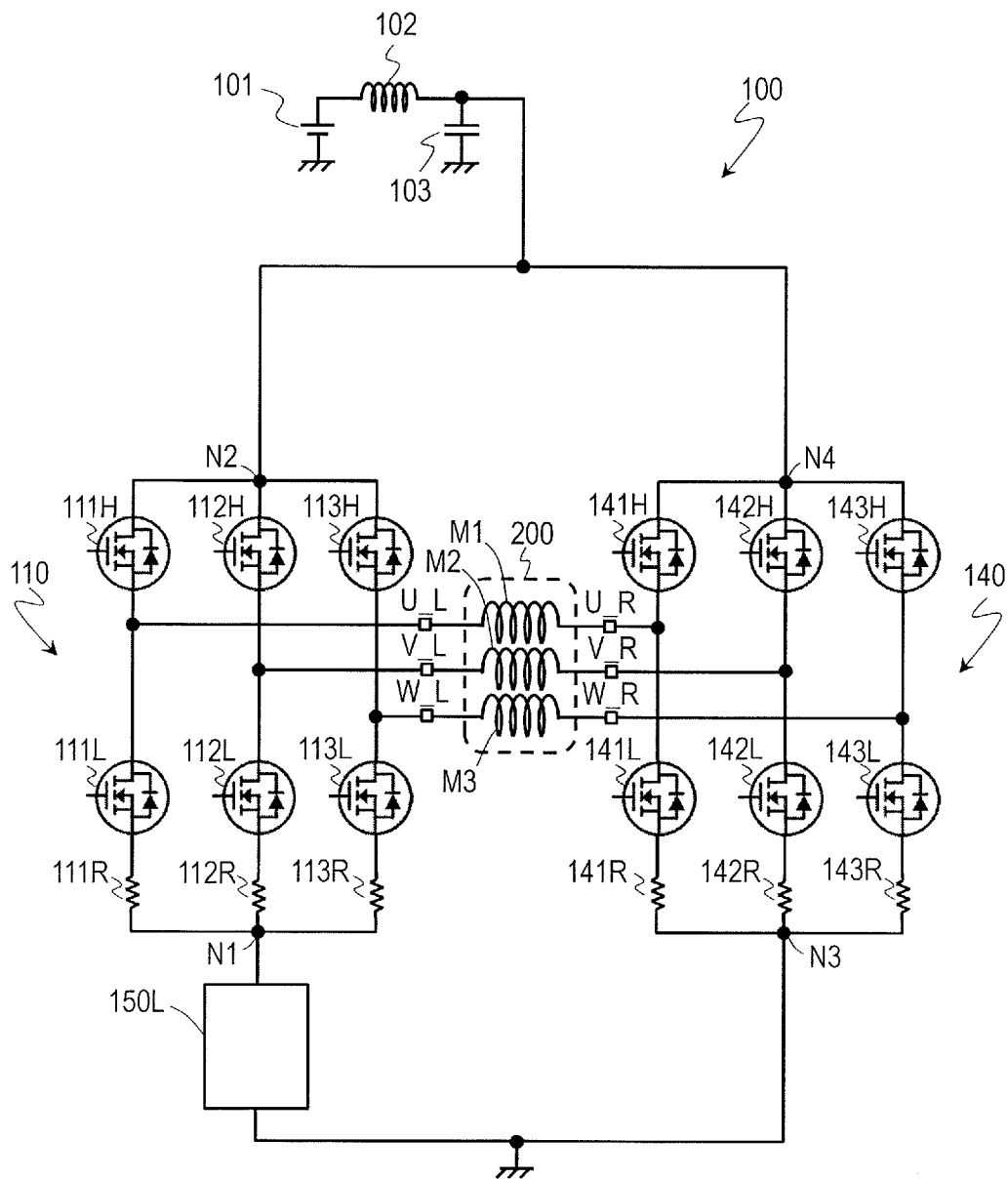
[図19]



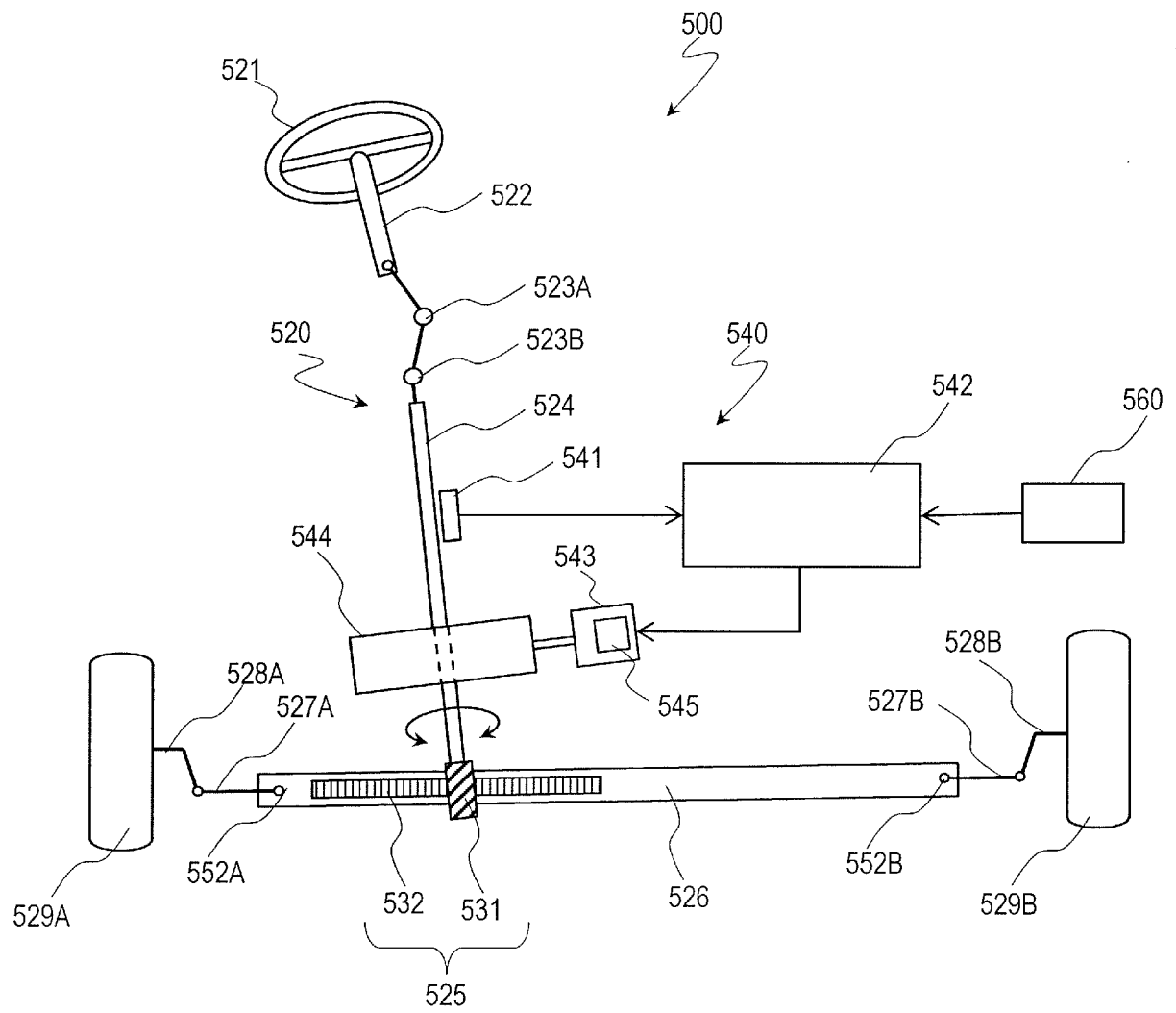
[図20]



[図21]



[図22]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/008529

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H02M7/493(2007.01)i, B60R16/03(2006.01)i, B62D5/04(2006.01)i,  
H02M7/48(2007.01)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. H02M7/493, B60R16/03, B62D5/04, H02M7/48

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2013-529055 A (HISPANO-SUIZA) 11 July 2013, paragraphs [0050]-[0104], fig. 1-7 & US 2013/0094266 A1, paragraphs [0081]-[0135], fig. 1-7 & WO 2011/157916 A1 & EP 2580860 A1 & CN 102939714 A | 1-26                  |
| A         | JP 2014-192950 A (DENSO CORP.) 06 October 2014, paragraphs [0009]-[0063], fig. 1-4 (Family: none)                                                                                               | 1-26                  |
| A         | JP 2013-110839 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 06 June 2013, paragraphs [0016]-[0032], fig. 1-2 (Family: none)                                                                                           | 1-26                  |
| P, A      | WO 2017/150641 A1 (NIDEC CORPORATION) 08 September 2017, abstract & WO 2017/150640 A1                                                                                                           | 1-26                  |

☐ 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  
05 April 2018 (05.04.2018)

Date of mailing of the international search report  
17 April 2018 (17.04.2018)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H02M7/493(2007.01)i, B60R16/03(2006.01)i, B62D5/04(2006.01)i, H02M7/48(2007.01)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. H02M7/493, B60R16/03, B62D5/04, H02M7/48

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 | 1971-2018年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2018年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2018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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| A               | JP 2013-529055 A (イスパノ・シユイザ) 2013.07.11, 段落 [0050] - [0104], 第1-7図 & US 2013/0094266 A1 段落 [0081] - [0135], 第1-7図 & WO 2011/157916 A1 & EP 2580860 A1 & CN 102939714 A | 1-26           |
| A               | JP 2014-192950 A (株式会社デンソー) 2014.10.06, 段落 [0009] - [0063], 第1-4図 (ファミリーなし)                                                                                            | 1-26           |

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

05.04.2018

国際調査報告の発送日

17.04.2018

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)

赤穂 嘉紀

5 G

3458

電話番号 03-3581-1101 内線 3526

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                               |                |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| A                     | JP 2013-110839 A (トヨタ自動車株式会社) 2013.06.06, 段落 [0016] - [0032], 第1-2図 (ファミリーなし) | 1-26           |
| P, A                  | WO 2017/150641 A1 (日本電産株式会社) 2017.09.08, [要約] & WO 2017/150640 A1             | 1-26           |