

(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
2022年1月13日(13.01.2022)



(10) 国際公開番号

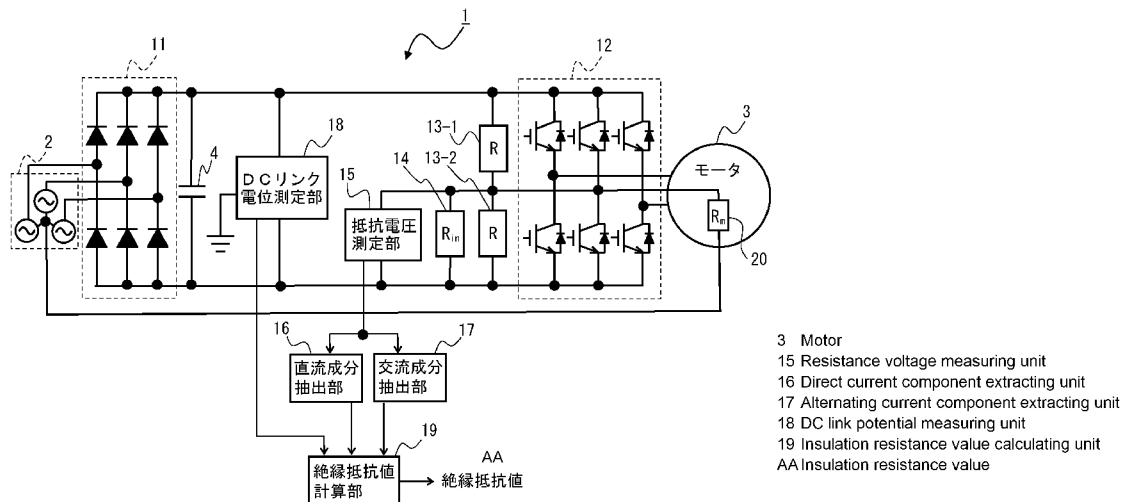
WO 2022/009740 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 27/06 (2006.01) *G01R 31/52* (2020.01)
G01R 31/34 (2020.01) *G01R 31/56* (2020.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/024604
- (22) 国際出願日: 2021年6月29日(29.06.2021)
- (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 2020-116538 2020年7月6日(06.07.2020) JP
- (71) 出願人: ファナック株式会社 (FANUC CORPORATION) [JP/JP]; 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 Yamanashi (JP).
- (72) 発明者: 大井 陽一郎 (OOI, Youichirou); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP). 酒井 幸次郎 (SAKAI, Koujiro); 〒4010597 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内 Yamanashi (JP).
- (74) 代理人: 青木 篤, 外 (AOKI, Atsushi et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門一丁目 2 3 番 1 号 虎ノ門ヒルズ森タワー 青和特許法律事務所 Tokyo (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,

(54) Title: MOTOR DRIVE DEVICE THAT CALCULATES INSULATION RESISTANCE VALUE OF MOTOR

(54) 発明の名称: モータの絶縁抵抗値を計算するモータ駆動装置

図1



(57) Abstract: A motor drive device 1 is provided with: a converter unit 11 which converts input alternating-current power into direct-current power and outputs the same to a DC link; a DC link capacitor 4; voltage dividing resistors 13-1, 13-2 which are connected in series with one another and which are provided between a positive potential line and a negative potential line of the DC link; a measurement resistor 14 connected between the connecting point of the voltage dividing resistors 13-1 and 13-2 and the positive potential line or the negative potential line of the DC link; a resistance voltage measuring unit 15 for measuring the resistance voltage across the measurement resistor 14; a direct current component extracting unit 16 for extracting the direct current component of the resistance voltage; an alternating current component

EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, 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,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, 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:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

extracting unit 17 for extracting the alternating current component of the resistance voltage; a DC link potential measuring unit 18 for measuring the positive potential and the negative potential of the DC link; and an insulation resistance value calculating unit 19 for calculating the insulation resistance value of a motor 3 on the basis of the direct current component and the alternating current component of the resistance voltage, and the positive potential and the negative potential of the DC link.

(57) 要約: モータ駆動装置 1 は、入力された交流電力を直流電力に変換してDCリンクへ出力するコンバータ部 1 1 と、DCリンクコンデンサ 4 と、DCリンクの正電位線と負電位線との間に設けられる互いに直列接続された分圧抵抗 1 3 - 1、1 3 - 2 と、分圧抵抗 1 3 - 1 及び 1 3 - 2 の接続点とDCリンクの正電位線又は負電位線との間に接続された測定用抵抗 1 4 と、測定用抵抗 1 4 の抵抗電圧を測定する抵抗電圧測定部 1 5 と、抵抗電圧の直流成分を抽出する直流成分抽出部 1 6 と、抵抗電圧の交流成分を抽出する交流成分抽出部 1 7 と、DCリンクの正電位及び負電位を測定するDCリンク電位測定部 1 8 と、抵抗電圧の直流成分及び交流成分とDCリンクの正電位及び負電位とに基づいてモータ 3 の絶縁抵抗値を計算する絶縁抵抗値計算部 1 9 とを備える。

明 細 書

発明の名称： モータの絶縁抵抗値を計算するモータ駆動装置

技術分野

[0001] 本発明は、モータの絶縁抵抗値を計算するモータ駆動装置に関する。

背景技術

[0002] 工作機械、鍛圧機械、射出成形機、産業機械、あるいは各種ロボット内のモータの駆動を制御するモータ駆動装置においては、交流電源から入力される交流電力をコンバータ部（整流回路）にて直流電力に変換してDCリンクへ出力し、さらにインバータ部にてDCリンクにおける直流電圧を交流電力に変換し、この交流電力をモータの駆動電力として供給している。「DCリンク」とは、コンバータ部の直流出力側とインバータ部の直流入力側とを電氣的に接続する回路部分のことを指し、「DCリンク部」、「直流リンク」、「直流リンク部」または「直流中間回路」などとも別称されることもある。

[0003] 何らかの原因によりモータの絶縁劣化によるモータ故障が発生することがある。モータの絶縁劣化の検出は、モータの巻線と大地との間の抵抗値である絶縁抵抗値を測定することにより行われる。

[0004] 例えば、第1のスイッチを介して交流電源から供給される交流電圧を直流電圧に整流する整流回路と、前記整流回路によって整流された直流電圧をコンデンサで平滑化する電源部と、前記電源部によって平滑化された直流電圧を半導体スイッチング素子のスイッチング動作により交流電圧に変換してモータを駆動するインバータ部と、前記モータのコイルに一端を接続し、前記コンデンサの一方の端子に他端を接続した抵抗器に流れる電流値を測定する電流検出部と、前記コンデンサの両端の電圧値を測定する電圧検出部と、前記コンデンサの他方の端子を接地する第2のスイッチと、モータの運転を停止し、前記第1のスイッチをオフし、かつ、前記第2のスイッチをオフした状態とオンした状態の2つの状態において測定された2組の前記電流値及び

前記電圧値を用いて、モータのコイルと大地との間の抵抗であるモータの絶縁抵抗値を検出する絶縁抵抗検出部と、を有することを特徴とするモータ駆動装置が知られている（例えば、特許文献 1 参照。）。

[0005] 例えば、運転中の交流電動機における界磁巻線の絶縁劣化の発生を検出する絶縁劣化検出装置であって、交流電動機の各相の界磁巻線での部分放電発生の際の電磁波を個別に検出する複数の検出素子と、その複数の検出素子からの出力信号を一括して接地する接地線と、上記接地線から部分放電信号を取り出す検出手段と、該検出手段の出力信号に基づき部分放電が許容以上か否かを判定する判定手段と、判定手段が許容以上の部分放電と判定すると警報を出力する警報手段とを備えることを特徴とする電動機の絶縁劣化検出装置。が知られている（例えば、特許文献 2 参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開 2 0 1 5 - 1 2 9 7 0 4 号公報

特許文献2：特開 2 0 0 2 - 3 1 1 0 8 0 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 従来、モータの絶縁抵抗値を測定する際は、当該モータを駆動するモータ駆動装置と交流電源との間を遮断して行う必要があった。しかしながら、モータの絶縁抵抗値の測定のたびにモータ駆動装置と交流電源との遮断作業及び接続作業を行うことは手間及び時間がかかり、効率が悪い。また、モータ駆動装置と交流電源との間に遮断器を設置することも考えられるが、コストが増加するという欠点がある。したがって、モータ駆動装置を交流電源から切り離すことなくモータの絶縁抵抗値を低コストで測定できるようにする技術が望まれている。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の一態様によれば、モータ駆動装置は、交流電源から入力された交

流電力を直流電力に変換してDCリンクへ出力するコンバータ部と、DCリンクに設けられるDCリンクコンデンサと、DCリンクにおける直流電力をモータの駆動のための交流電力に変換して出力するインバータ部と、DCリンクを構成する正電位線と負電位線との間に設けられる互いに直列接続された2つの分圧抵抗であって分圧抵抗どうしの接続点とモータの巻線とが接続される分圧抵抗と、分圧抵抗どうしの接続点とDCリンクの正電位線または負電位線との間に接続される測定用抵抗と、測定用抵抗の両端の電位差である抵抗電圧を測定する抵抗電圧測定部と、抵抗電圧測定部により測定された抵抗電圧から直流成分を抽出する直流成分抽出部と、抵抗電圧測定部により測定された抵抗電圧から交流成分を抽出する交流成分抽出部と、DCリンクの正電位線における正電位及び負電位線における負電位を測定するDCリンク電位測定部と、直流成分抽出部により抽出された直流成分と交流成分抽出部により抽出された交流成分とDCリンク電位測定部により測定された正電位及び負電位とに基づいて、モータの絶縁抵抗値を計算する絶縁抵抗値計算部とを備える。

発明の効果

[0009] 本開示の一態様によれば、モータ駆動装置を交流電源から切り離すことなくモータの絶縁抵抗値を低コストで測定できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本開示の一実施形態によるモータ駆動装置（第1の形態）を示す図である。

[図2]本開示の一実施形態によるモータ駆動装置（第1の形態）の変形例を示す図である。

[図3]第1の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式1の導出に用いられる等価回路を示す図（その1）である。

[図4]第1の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式1の導出に用いられる等価回路を示す図（その2）である。

[図5]第1の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式1の導出に用

いられる等価回路を示す図（その３）である。

[図6]第１の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１の導出に用いられる等価回路を示す図（その４）である。

[図7]第１の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１の導出に用いられる等価回路を示す図（その５）である。

[図8]第１の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１の導出に用いられる等価回路を示す図（その６）である。

[図9]第１の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１の導出に用いられる等価回路を示す図（その７）である。

[図10]第１の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１の導出に用いられる等価回路を示す図（その８）である。

[図11]本開示の一実施形態によるモータ駆動装置（第２の形態）を示す図である。

[図12]第２の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１１の導出に用いられる等価回路を示す図（その１）である。

[図13]第２の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１１の導出に用いられる等価回路を示す図（その２）である。

[図14]第２の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１１の導出に用いられる等価回路を示す図（その３）である。

[図15]第２の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１１の導出に用いられる等価回路を示す図（その４）である。

[図16]第２の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１１の導出に用いられる等価回路を示す図（その５）である。

[図17]第２の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１１の導出に用いられる等価回路を示す図（その６）である。

[図18]第２の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式１１の導出に用いられる等価回路を示す図（その７）である。

[図19]本開示の一実施形態によるモータ駆動装置の動作フローを示すフロー

チャートである。

[図20]デルタ結線により交流電源と本開示の一実施形態によるモータ駆動装置とが結線される場合におけるDCリンクの正電位及び負電位のシミュレーション結果を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下図面を参照して、モータの絶縁抵抗値を計算するモータ駆動装置について説明する。各図面において、同様の部材には同様の参照符号が付けられている。また、理解を容易にするために、これらの図面は縮尺を適宜変更している。また、図面に示される形態は実施するための一つの例であり、図示された形態に限定されるものではない。

[0012] 図1は、本開示の一実施形態によるモータ駆動装置（第1の形態）を示す図である。なお、詳細については後述するが、測定用抵抗14の一端はDCリンクの負電位線または正電位線に接続される。測定用抵抗14の一端がDCリンクの負電位線に接続される形態を第1の形態と称し、測定用抵抗14の一端がDCリンクの正電位線に接続される形態を第2の形態と称する。第1の形態と第2の形態とは、測定用抵抗14の一端がDCリンクの負電位線に接続されるか正電位線に接続されるかの点でのみ相違する。

[0013] 一例として、交流電源2に接続されたモータ駆動装置1により、モータ3を制御する場合について示す。本実施形態においては、モータ3の種類は特に限定されず、例えば誘導モータであっても同期モータであってもよい。また、交流電源2及びモータ3の相数は本実施形態を特に限定するものではなく、例えば三相であっても単相であってもよい。図示の例では、交流電源2及びモータ3をそれぞれ三相としている。交流電源2の一例を挙げると、三相交流400V電源、三相交流200V電源、三相交流600V電源、単相交流100V電源などがある。モータ3が設けられる機械には、例えば工作機械、ロボット、鍛圧機械、射出成形機、産業機械、各種電化製品、電車、自動車、航空機などが含まれる。

[0014] 図1に示すように、本開示の一実施形態によるモータ駆動装置1は、コン

バータ部 11 と、DC リンクコンデンサ 4 と、インバータ部 12 と、2 つの分圧抵抗 13-1 及び 13-2 と、測定用抵抗 14 と、抵抗電圧測定部 15 と、直流成分抽出部 16 と、交流成分抽出部 17 と、DC リンク電位測定部 18 と、絶縁抵抗値計算部 19 とを備える。

[0015] コンバータ部 11 は、交流電源 2 から入力された交流電力を直流電力に変換して直流出力側である DC リンクへ出力する。コンバータ部 11 は、交流電源 2 から三相交流電力が供給される場合は三相ブリッジ回路で構成され、交流電源 2 から単相交流電力が供給される場合は単相ブリッジ回路で構成される。図示の例では、交流電源 2 を三相交流電源としたので、コンバータ部 11 は三相ブリッジ回路で構成される。コンバータ部 11 の例としては、ダイオード整流器、120 度通電方式整流器、及び PWM スイッチング制御方式整流器などがある。例えば、コンバータ部 11 が 120 度通電方式整流器及び PWM スイッチング制御方式整流器である場合は、スイッチング素子及びこれに逆並列に接続されたダイオードのブリッジ回路からなり、上位制御装置（図示せず）から受信した駆動指令に応じて各スイッチング素子がオンオフ制御されて交直双方向に電力変換を行う。この場合、スイッチング素子の例としては、FET、IGBT、サイリスタ、GTO（Gate Turn-Off thyristor：ゲートターンオフサイリスタ）、トランジスタなどがあるが、その他の半導体素子であってもよい。

[0016] インバータ部 12 は、DC リンクにおける直流電力をモータ 3 の駆動のための交流電力に変換して出力する。インバータ部 12 は、スイッチング素子及びこれに逆並列に接続されたダイオードのブリッジ回路からなる。インバータ部 12 は、モータ 3 が三相交流モータである場合は三相ブリッジ回路で構成され、モータ 3 が単相交流モータである場合は単相ブリッジ回路で構成される。図示の例では、モータ 3 を三相交流モータとしたので、インバータ部 12 は三相ブリッジ回路で構成される。インバータ部 12 は、例えば PWM スイッチング制御方式によりその電力変換動作が制御される。すなわち、インバータ部 12 は、上位制御装置（図示せず）からの PWM スイッチング

指令を受けてDCリンクにおける直流電力をモータ3を駆動するための交流電力に変換してモータ3へ出力するとともにモータ回生時にはモータ3で回生された交流電力を直流電力に変換してDCリンク側へ戻す。

[0017] 一般的なモータ駆動装置と同様、インバータ部12は、上位制御装置（図示せず）により、電力変換動作が制御される。すなわち、上位制御装置は、モータ3の速度（速度フィードバック）、モータ3の巻線に流れる電流（電流フィードバック）、所定のトルク指令、及びモータ3の動作プログラムなどに基づいて、モータ3の速度、トルク、もしくは回転子の位置を制御するためのスイッチング指令を生成する。上位制御装置によって作成されたPWMスイッチング指令に基づいて、インバータ部12による電力変換動作が制御される。

[0018] コンバータ部11の直流出力側とインバータ部12の直流入力側とを接続するDCリンクには、DCリンクコンデンサ4が設けられる。DCリンクコンデンサ4は、コンバータ部11の直流出力の脈動分を抑える機能及びインバータ部12が交流電力を生成するために用いられる直流電力を蓄積する機能を有する。DCリンクコンデンサ4の例としては、例えば電解コンデンサやフィルムコンデンサなどがある。

[0019] DCリンクを構成する正電位線と負電位線との間には、互いに直列接続された2つの分圧抵抗13-1及び13-2が設けられる。DCリンクの正電位線における正電位と負電位線における負電位との電位差であるDCリンク電圧を、分圧抵抗13-1と分圧抵抗13-2とで分圧する。分圧抵抗13-1と分圧抵抗13-2との接続点は、モータ3の巻線（の入力端子）に接続される。図1に示す例では、分圧抵抗13-1及び13-2の各々は、DCリンクの正電位線と負電位線との間に接続される互いに直列接続された2つのDCリンク抵抗の各々にて構成される。DCリンク抵抗は一般的な抵抗にて構成される。分圧抵抗13-1の抵抗値と分圧抵抗13-2の抵抗値とは、略等しいことが好ましく、図1に示す例では抵抗値をRとしている。ただし、分圧抵抗13-1の抵抗値と分圧抵抗13-2の抵抗値とは、異なっ

た値を有していてもよい。分圧抵抗 13-1 及び 13-2 の各抵抗値 R は、予め測定しておくか、あるいは分圧抵抗 13-1 及び 13-2 についての規格表に規定された値を用いればよい。

[0020] 測定用抵抗 14 は、分圧抵抗 13-1 と分圧抵抗 13-2 との接続点と、DC リンクの正電位線または負電位線との間に接続される。図 1 では、分圧抵抗 13-1 と分圧抵抗 13-2 との接続点と、DC リンクの負電位線との間に測定用抵抗 14 が接続される第 1 の形態を示している。測定用抵抗 14 は一般的な抵抗にて構成される。測定用抵抗 14 の抵抗値を R_{in} とする。測定用抵抗 14 の抵抗値 R_{in} は、予め測定しておくか、あるいは測定用抵抗 14 についての規格表に規定された値を用いればよい。

[0021] 抵抗電圧測定部 15 は、インバータ部 12 による電力変換動作を停止させた状態（すなわちインバータ部 12 内の全てのスイッチング素子をオフさせた状態）において、測定用抵抗 14 の両端の電位差である抵抗電圧を測定する。抵抗電圧測定部 15 により測定された測定用抵抗 14 の抵抗電圧に関する信号は、直流成分抽出部 16 及び交流成分抽出部 17 へ送られる。

[0022] 直流成分抽出部 16 は、抵抗電圧測定部 15 により測定された抵抗電圧から直流成分を抽出する。直流成分抽出部 16 は、例えば抵抗電圧測定部 15 から出力される信号から交流成分を除去して直流成分を出力するローパスフィルタにて構成される。直流成分抽出部 16 により抽出された抵抗電圧の直流成分に関する信号は、絶縁抵抗値計算部 19 へ送られる。

[0023] 交流成分抽出部 17 は、抵抗電圧測定部 15 により測定された抵抗電圧から交流成分を抽出する。交流成分抽出部 17 は、例えば抵抗電圧測定部 15 から出力される信号から直流成分を除去して交流成分を出力するハイパスフィルタにて構成される。交流成分抽出部 17 により抽出された抵抗電圧の交流成分に関する信号は、絶縁抵抗値計算部 19 へ送られる。

[0024] DC リンク電位測定部 18 は、インバータ部 12 による電力変換動作を停止させた状態（すなわちインバータ部 12 内の全てのスイッチング素子をオフさせた状態）において、DC リンクの正電位線における正電位及び負電位

線における負電位を測定する。DCリンク電位測定部18により測定されたDCリンクの正電位及び負電位に関する信号は、絶縁抵抗値計算部19へ送られる。

[0025] 絶縁抵抗値計算部19は、直流成分抽出部16により抽出された抵抗電圧の直流成分と、交流成分抽出部17により抽出された抵抗電圧の交流成分と、DCリンク電位測定部18により測定されたDCリンクの正電位及び負電位とに基づいて、モータ3の巻線と大地との間の絶縁抵抗20の抵抗値である絶縁抵抗値 R_{m} を計算する。絶縁抵抗値計算部19による計算処理の詳細については後述する。

[0026] 図1を参照して説明した実施形態では、分圧抵抗13-1及び13-2の各々は、DCリンクの正電位線と負電位線との間に接続される互いに直列接続された2つのDCリンク抵抗の各々にて構成される。この変形例として、インバータ部12内のブリッジ回路におけるスイッチング素子のオフ抵抗を、分圧抵抗13-1及び13-2として流用してもよい。図2は、本開示の一実施形態によるモータ駆動装置（第1の形態）の変形例を示す図である。インバータ部12内のブリッジ回路を構成する同一相中の上アーム及び下アームのそれぞれに設けられるスイッチング素子をオフすると、所定の抵抗値を有するオフ抵抗が発生する。同一相中の上アーム及び下アームのスイッチング素子についてのオフ抵抗は、DCリンク電圧を分圧する機能を有するので、同一相中の上アーム及び下アームのスイッチング素子のオフ抵抗を、分圧抵抗13-1及び13-2として用いることができる。本変形例では、スイッチング素子のオフ抵抗の抵抗値を R とする。スイッチング素子のオフ抵抗の抵抗値 R は、スイッチング素子のオフ時の電圧の測定結果に基づいて計算すればよい。

[0027] 続いて、絶縁抵抗値計算部19における計算処理について、測定用抵抗14の一端がDCリンクの負電位線に接続される第1の形態と、測定用抵抗14の一端がDCリンクの正電位線に接続される第2の形態とに分けて説明する。

[0028] まず、測定用抵抗 14 の一端が DC リンクの負電位線に接続される第 1 の形態による絶縁抵抗値計算部 19 における計算処理について説明する。

[0029] 上述したように、図 1 及び図 2 は測定用抵抗 14 の一端が DC リンクの負電位線に接続される第 1 の形態を示しており、すなわち、測定用抵抗 14 は、分圧抵抗 13-1 と分圧抵抗 13-2 との接続点と DC リンクの負電位線との間に接続される。

[0030] 図 1 及び図 2 に示す第 1 の形態では、絶縁抵抗値計算部 19 は、式 1 に従って、モータ 3 の絶縁抵抗値 R_m を計算する。式 1 において、測定用抵抗 14 の抵抗値を R_{in} 、インバータ部 12 による電力変換動作の停止時に DC リンク電位測定部 18 により測定された DC リンクの正電位の値を V_p 、インバータ部 12 による電力変換動作の停止時に DC リンク電位測定部 18 により測定された DC リンクの負電位の値を V_n とする。また、直流成分抽出部 16（ローパスフィルタ）により抽出されたインバータ部 12 による電力変換動作の停止時における抵抗電圧の直流成分の値を V_{inL} 、交流成分抽出部 17（ハイパスフィルタ）により抽出されたインバータ部 12 による電力変換動作の停止時における抵抗電圧の交流成分の値を V_{inH} とする。また、値 V_{com} を $(V_p + V_n) / 2$ 、値 V_{dif} を $(V_p - V_n) / 2$ とする。

[0031] [数1]

$$R_m = \frac{V_{com}(V_{dif} - V_{inL})}{V_{inH}V_{dif}} R_{in} \quad \cdots (1)$$

[0032] ここで、測定用抵抗 14 の一端が DC リンクの負電位線に接続される第 1 の形態による絶縁抵抗値計算部 19 における計算処理において用いられる式 1 の導出過程について説明する。図 3～図 10 は、第 1 の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式 1 の導出に用いられる等価回路を示す図である。

[0033] 絶縁抵抗値計算部 19 による絶縁抵抗値 R_m の算出には、インバータ部 12

による電力変換動作を停止させた状態において抵抗電圧測定部 15 及び DC リンク電位測定部 18 により測定されたデータが用いられる。インバータ部 12 による電力変換動作を停止させた状態では、図 3～図 10 にはインバータ部 12 に関する回路は現れない。

[0034] 図 1 及び図 2 に示す DC リンクの正電位線における正電位 V_p を、図 3 では等価電源 31 で表す。同様に、図 1 及び図 2 に示す DC リンクの負電位線における負電位 V_n を、図 3 では等価電源 32 で表す。このとき、図 1 及び図 2 に示す分圧抵抗 13-1 及び 13-2、測定用抵抗 14、並びにモータ 3 の絶縁抵抗 20 は、等価電源 31 及び 32 に対して図 3 に示すように接続される。分圧抵抗 13-1 及び 13-2 の抵抗値をそれぞれ R とし、測定用抵抗 14 の抵抗値を R_{in} とし、モータ 3 の絶縁抵抗 20 の抵抗値を R_m とする。抵抗電圧測定部 15 により測定される測定用抵抗 14 の抵抗電圧の値を V_{in} とする。

[0035] 図 3 に示す等価回路において、等価電源 32 は分圧抵抗 13-2 の一端及び測定用抵抗 14 の一端に接続されているので、等価電源 32 は、図 4 に示すように同一の電圧値 V_n を有する 2 つの等価電源 32 及び 33 に分解することができる。すなわち、図 4 に示すように、分圧抵抗 13-2 の一端に等価電源 32 が接続され、測定用抵抗 14 の一端に等価電源 33 が接続される。

[0036] 図 4 に示す等価回路において、回路部分 T1 にテブナンの定理を適用すると、図 5 に示すような等価回路が得られる。図 5 において、等価電源 34 の電圧値 V_1 は式 2 で表され、等価抵抗 21 の抵抗値は $R/2$ となる。

[0037] [数 2]

$$V_1 = \frac{V_p + V_n}{2} \quad \dots (2)$$

[0038] 図 5 に示す等価回路において、回路部分 T2 にテブナンの定理を適用すると、図 6 に示すような等価回路が得られる。図 6 において、等価電源 35 の電圧値 V_2 は式 3 で表され、等価抵抗 22 の抵抗値 R_1 は式 4 で表される。

[0039] [数3]

$$V_2 = \frac{R_m(V_p + V_n)}{R + 2R_m} \quad \dots (3)$$

[0040] [数4]

$$R_1 = \frac{RR_m}{R + 2R_m} \quad \dots (4)$$

[0041] 図6に示す等価回路において、等価電源33と等価電源35とは、等価抵抗22及び測定用抵抗14を介して直列に接続されているので、等価電源33と等価電源35とを1つにまとめると、図7に示すような等価電源36が得られる。図7において、等価電源36の電圧値 V_3 は式5で表される。

[0042] [数5]

$$V_3 = \frac{R_m V_p - (R + R_m)V_n}{R + 2R_m} \quad \dots (5)$$

[0043] 図7に示す等価回路において、等価電源36の電圧値 V_3 を差動成分と同相成分とに分けると、図8に示すような等価電源37及び38が得られる。図8において、等価電源37の電圧値 V_4 は差動成分であり、式6で表される。等価電源38の電圧値 V_5 は同相成分であり、式7で表される。

[0044] [数6]

$$V_4 = \frac{V_p - V_n}{2} \quad \dots (6)$$

[0045]

[数7]

$$V_5 = \frac{-R(V_p + V_n)}{2(R + 2R_m)} \cdots (7)$$

[0046] 図8に示す等価回路は、図9に示す直流成分の等価回路と図10に示す交流成分の等価回路とに分けることができる。

[0047] 図9に示すように直流成分の等価回路では、差動成分 V_4 を有する等価電源37に等価抵抗22及び測定用抵抗14が接続される。オームの法則を用いて測定用抵抗14に印加される電圧成分 V_{inL} を求めると、式8のように表される。式8において、直流成分を含まない信号成分である $(V_p + V_n) / 2$ を V_{com} 、直流成分を含む信号成分 $(V_p - V_n) / 2$ を V_{dif} に置き換えている。電圧成分 V_{inL} は、抵抗電圧測定部15により測定された測定用抵抗14の抵抗電圧から直流成分抽出部16（ローパスフィルタ）により交流成分を除去することと得られる直流成分に対応する。

[0048] [数8]

$$V_{inL} = \frac{R_{in}(R + 2R_{in})}{R_m R + R_{in}(R + 2R_m)} V_{dif} \cdots (8)$$

[0049] 図10に示すように交流成分の等価回路では、同相成分 V_5 を有する等価電源38に等価抵抗22及び測定用抵抗14が接続される。オームの法則を用いて測定用抵抗14に印加される電圧成分 V_{inH} を求めると、式9のように表される。式9において、直流成分を含まない信号成分である $(V_p + V_n) / 2$ を V_{com} 、直流成分を含む信号成分 $(V_p - V_n) / 2$ を V_{dif} に置き換えている。電圧成分 V_{inH} は、抵抗電圧測定部15により測定された測定用抵抗14の抵抗電圧から交流成分抽出部17（ハイパスフィルタ）により直流成分を除去することと得られる交流成分に対応する。

[0050]

[数9]

$$V_{inH} = \frac{-RR_{in}}{R_m R + R_{in}(R + 2R_m)} V_{com} \quad \cdots (9)$$

[0051] 式8及び式9についての連立方程式を絶縁抵抗値 R_m について解くことで、絶縁抵抗値 R_m を求めるための式1が得られる。測定用抵抗14の一端がDCリンクの負電位線に接続される第1の形態では、絶縁抵抗値計算部19は、式1に従って、モータ3の絶縁抵抗値 R_m を計算する。式1において、値 V_{com} は $(V_p + V_n) / 2$ によって表され、値 V_{dif} は $(V_p - V_n) / 2$ によって表される。 V_p は、インバータ部12による電力変換動作の停止時にDCリンク電位測定部18により測定されるDCリンクの正電位線における正電位である。 V_n は、インバータ部12による電力変換動作の停止時にDCリンク電位測定部18により測定されるDCリンクの負電位線における負電位である。直流成分 V_{inL} は、インバータ部12による電力変換動作の停止時に抵抗電圧測定部15により測定された測定用抵抗14の抵抗電圧から直流成分抽出部16（ローパスフィルタ）により交流成分を除去することで得られる。交流成分 V_{inH} は、インバータ部12による電力変換動作の停止時に抵抗電圧測定部15により測定された測定用抵抗14の抵抗電圧から交流成分抽出部17（ハイパスフィルタ）により直流成分を除去することで得られる。測定用抵抗14の抵抗値 R_{in} については、予め測定しておくか、あるいは、規格表に規定された値を用いればよい。また、分圧抵抗13-1及び13-2の各抵抗値 R は、式8及び式9の連立方程式を解くことによって求めることができる。つまり、「式1に従ってモータ3の絶縁抵抗値 R_m を計算する」とは、「直流成分抽出部16により抽出された抵抗電圧の直流成分 V_{inL} と、交流成分抽出部17により抽出された抵抗電圧の交流成分 V_{inH} と、DCリンク電位測定部18により測定されたDCリンクの正電位 V_p 及び負電位 V_n とに基づいて、モータ3の絶縁抵抗値 R_m を計算する」ことを意味する。

[0052] なお、第1の形態において、値 V_{com} 及び交流成分 V_{inH} 並びに値 V_{dif} 及び直流

成分 V_{inL} については、整流回路を通して直流に変換してから測定してもよい。この場合、例えば交流成分抽出部 17 により抽出された抵抗電圧の交流成分 V_{inH} を整流したうえで絶対値をとり、この値に基づいて式 10 に従ってモータ 3 の絶縁抵抗値 R_m を計算する。あるいは、例えば交流成分抽出部 17 により抽出された抵抗電圧の交流成分 V_{inH} を整流したうえで絶対値をとるとともに直流成分抽出部 16 により抽出された抵抗電圧の直流成分 V_{inL} を整流したうえで絶対値をとり、これらの値に基づいて式 10 に従ってモータ 3 の絶縁抵抗値 R_m を計算する。なお、式 9 の交流成分 V_{inH} 及び式 8 の直流成分 V_{inL} の絶対値をとっているため、式 10 は、式 1 とは符号が一部異なったものとなる。

[0053] [数10]

$$R_m = \frac{V_{com}(V_{dif} + V_{inL})}{V_{inH}V_{dif}} R_{in} \quad \cdots (10)$$

[0054] 続いて、測定用抵抗 14 の一端が DC リンクの正電位線に接続される第 2 の形態による絶縁抵抗値計算部 19 における計算処理について説明する。

[0055] 図 11 は、本開示の一実施形態によるモータ駆動装置（第 2 の形態）を示す図である。第 2 の形態では、測定用抵抗 14 は、分圧抵抗 13-1 と分圧抵抗 13-2 との接続点と DC リンクの正電位線との間に接続される。なお、これ以外の回路構成要素については図 1 に示す回路構成要素と同様であるので、同一の回路構成要素には同一符号を付して当該回路構成要素についての詳細な説明は省略する。また、第 1 の形態と同様に、第 2 の形態においても、インバータ部 12 内のブリッジ回路におけるスイッチング素子のオフ抵抗を、分圧抵抗 13-1 及び 13-2 として流用してもよい。

[0056] 図 11 に示す第 2 の形態では、絶縁抵抗値計算部 19 は、式 11 に従って、モータ 3 の絶縁抵抗値 R_m を計算する。式 11 において、測定用抵抗 14 の抵抗値を R_{in} 、インバータ部 12 による電力変換動作の停止時に DC リンク電位測定部 18 により測定された DC リンクの正電位の値を V_p 、インバータ部 12 による電力変換動作の停止時に DC リンク電位測定部 18 により測定さ

れたDCリンクの負電位の値を V_n とする。また、直流成分抽出部16（ローパスフィルタ）により抽出されたインバータ部12による電力変換動作の停止時における抵抗電圧の直流成分の値を V_{inL} 、交流成分抽出部17（ハイパスフィルタ）により抽出されたインバータ部12による電力変換動作の停止時における抵抗電圧の交流成分の値を V_{inH} とする。また、値 V_{com} を $(V_p + V_n) / 2$ 、値 V_{dif} を $(V_p - V_n) / 2$ とする。

[0057] [数11]

$$R_m = - \frac{V_{com}(V_{dif} + V_{inL})}{V_{inH}V_{dif}} R_{in} \quad \dots (11)$$

[0058] ここで、測定用抵抗14の一端がDCリンクの正電位線に接続される第2の形態による絶縁抵抗値計算部19における計算処理において用いられる式11の導出過程について説明する。図12～図18は、第2の形態による絶縁抵抗値計算部の計算処理における式11の導出に用いられる等価回路を示す図である。

[0059] 絶縁抵抗値計算部19による絶縁抵抗値 R_m の算出には、インバータ部12による電力変換動作を停止させた状態において抵抗電圧測定部15及びDCリンク電位測定部18により測定されたデータが用いられる。インバータ部12による電力変換動作を停止させた状態では、図12～図18にはインバータ部12に関する回路は現れない。

[0060] 図11に示すDCリンクの正電位線における正電位 V_p を、図12では等価電源51で表す。同様に、図3に示すDCリンクの負電位線における負電位 V_n を、図12では等価電源52で表す。このとき、図11に示す分圧抵抗13-1及び13-2、測定用抵抗14、並びにモータ3の絶縁抵抗20は、等価電源51及び52に対して図12に示すように接続される。分圧抵抗13-1及び13-2の抵抗値をそれぞれ R とし、測定用抵抗14の抵抗値を R_{in} とし、モータ3の絶縁抵抗20の抵抗値を R_m とする。抵抗電圧測定部15により測定される測定用抵抗14の抵抗電圧の値を V_{in} とする。

[0061] 図 1 2 に示す等価回路において、等価電源 5 1 及び 5 2 並びに分圧抵抗 1 3 - 1 及び 1 3 - 2 にテブナンの定理を適用すると、図 1 3 に示すような等価回路が得られる。図 5 において、等価電源 5 4 の電圧値 V_6 は式 1 2 で表され、等価抵抗 4 1 の抵抗値は $R/2$ となる。

[0062] [数12]

$$V_6 = \frac{V_p + V_n}{2} \quad \dots (12)$$

[0063] 図 1 3 に示す等価回路において、回路部分 T 3 にテブナンの定理を適用すると、図 1 4 に示すような等価回路が得られる。図 1 4 において、等価電源 5 5 の電圧値 V_7 は式 1 3 で表され、等価抵抗 4 2 の抵抗値 R_2 は式 1 4 で表される。

[0064] [数13]

$$V_7 = \frac{R_m(V_p + V_n)}{R + 2R_m} \quad \dots (13)$$

[0065] [数14]

$$R_2 = \frac{RR_m}{R + 2R_m} \quad \dots (14)$$

[0066] 図 1 4 に示す等価回路において、等価電源 5 3 と等価電源 5 5 とは、等価抵抗 4 2 及び測定用抵抗 1 4 を介して直列に接続されているので、等価電源 5 3 と等価電源 5 5 とを 1 つにまとめると、図 1 5 に示すような等価電源 5 6 が得られる。図 1 5 において、等価電源 5 6 の電圧値 V_8 は式 1 5 で表される。

[0067] [数15]

$$V_8 = \frac{-(R + R_m)V_p + R_m V_n}{R + 2R_m} \quad \dots (15)$$

[0068] 図 1 5 に示す等価回路において、等価電源 5 6 の電圧値 V_8 を差動成分と同相成分とに分けると、図 1 6 に示すような等価電源 5 7 及び 5 8 が得られる。図 1 6 において、等価電源 5 7 の電圧値 V_9 は差動成分であり、式 1 6 で表される。等価電源 5 8 の電圧値 V_{10} は同相成分であり、式 1 7 で表される。

[0069] [数16]

$$V_9 = -\frac{V_p - V_n}{2} \quad \dots (16)$$

[0070] [数17]

$$V_{10} = \frac{-R(V_p + V_n)}{2(R + 2R_m)} \quad \dots (17)$$

[0071] 図 1 6 に示す等価回路は、図 1 7 に示す直流成分の等価回路と図 1 8 に示す交流成分の等価回路とに分けることができる。

[0072] 図 1 7 に示すように直流成分の等価回路では、差動成分 V_9 を有する等価電源 5 7 に等価抵抗 4 2 及び測定用抵抗 1 4 が接続される。オームの法則を用いて測定用抵抗 1 4 に印加される電圧成分 V_{inL} を求めると、式 1 8 のように表される。式 1 8 において、直流成分を含まない信号成分である $(V_p + V_n) / 2$ を V_{com} 、直流成分を含む信号成分 $(V_p - V_n) / 2$ を V_{dif} に置き換えている。電圧成分 V_{inL} は、抵抗電圧測定部 1 5 により測定された測定用抵抗 1 4 の抵抗電圧から直流成分抽出部 1 6 (ローパスフィルタ) により交流成分を除去することで得られる直流成分に対応する。

[0073] [数18]

$$V_{inL} = \frac{-R_{in}(R + 2R_{in})}{R_m R + R_{in}(R + 2R_m)} V_{dif} \quad \dots (18)$$

[0074] 図 1 8 に示すように交流成分の等価回路では、同相成分 V_{10} を有する等価電源 5 8 に等価抵抗 4 2 及び測定用抵抗 1 4 が接続される。オームの法則を用いて測定用抵抗 1 4 に印加される電圧成分 V_{inH} を求めると、式 1 9 のように表

される。式 19 において、直流成分を含まない信号成分である $(V_p + V_n) / 2$ を V_{com} 、直流成分を含む信号成分 $(V_p - V_n) / 2$ を V_{dif} に置き換えている。電圧成分 V_{inH} は、抵抗電圧測定部 15 により測定された測定用抵抗 14 の抵抗電圧から交流成分抽出部 17（ハイパスフィルタ）により直流成分を除去することで得られる交流成分に対応する。

[0075] [数19]

$$V_{inH} = \frac{-RR_{in}}{R_m R + R_{in}(R + 2R_m)} V_{com} \quad \cdots (19)$$

[0076] 式 18 及び式 19 についての連立方程式を絶縁抵抗値 R_{in} について解くことで、絶縁抵抗値 R_{in} を求めるための式 11 が得られる。測定用抵抗 14 の一端が DC リンクの正電位線に接続される第 2 の形態では、絶縁抵抗値計算部 19 は、式 11 に従って、モータ 3 の絶縁抵抗値 R_{in} を計算する。式 11 において、値 V_{com} は $(V_p + V_n) / 2$ によって表され、値 V_{dif} は $(V_p - V_n) / 2$ によって表される。 V_p は、インバータ部 12 による電力変換動作の停止時に DC リンク電位測定部 18 により測定される DC リンクの正電位線における正電位である。 V_n は、インバータ部 12 による電力変換動作の停止時に DC リンク電位測定部 18 により測定される DC リンクの負電位線における負電位である。直流成分 V_{inL} は、インバータ部 12 による電力変換動作の停止時に抵抗電圧測定部 15 により測定された測定用抵抗 14 の抵抗電圧から直流成分抽出部 16（ローパスフィルタ）により交流成分を除去することで得られる。交流成分 V_{inH} は、インバータ部 12 による電力変換動作の停止時に抵抗電圧測定部 15 により測定された測定用抵抗 14 の抵抗電圧から交流成分抽出部 17（ハイパスフィルタ）により直流成分を除去することで得られる。測定用抵抗 14 の抵抗値 R_{in} については、予め測定しておくか、あるいは、規格表に規定された値を用いればよい。また、分圧抵抗 13-1 及び 13-2 の各抵抗値 R は、式 18 及び式 19 の連立方程式を解くことによって求めることができる。つまり、「式 11 に従ってモータ 3 の絶縁抵抗値 R_{in} を計算する」と

は、「直流成分抽出部 16 により抽出された抵抗電圧の直流成分 V_{inL} と、交流成分抽出部 17 により抽出された抵抗電圧の交流成分 V_{inH} と、DC リンク電位測定部 18 により測定された DC リンクの正電位 V_p 及び負電位 V_n とに基づいて、モータ 3 の絶縁抵抗値 R_m を計算する」ことを意味する。

[0077] なお、第 2 の形態において、値 V_{com} 及び交流成分 V_{inH} 並びに値 V_{dif} 及び直流成分 V_{inL} については、整流回路を通して直流に変換してから測定してもよい。この場合、例えば交流成分抽出部 17 により抽出された抵抗電圧の交流成分 V_{inH} を整流したうえで絶対値をとり、この値に基づいて式 20 により抽出された抵抗電圧の交流成分 V_{inH} を整流したうえで絶対値をとるとともに直流成分抽出部 16 により抽出された抵抗電圧の直流成分 V_{inL} を整流したうえで絶対値をとり、これらの値に基づいて式 20 に従ってモータ 3 の絶縁抵抗値 R_m を計算する。なお、式 19 の交流成分 V_{inH} 及び式 18 の直流成分 V_{inL} の絶対値をとっているので、式 20 は、式 11 とは符号が一部異なったものとなる。

[0078] [数20]

$$R_m = \frac{V_{com}(V_{dif} + V_{inL})}{V_{inH}V_{dif}} R_{in} \quad \dots (20)$$

[0079] 上述のように、第 1 の形態及び第 2 の形態のいずれにおいても、抵抗電圧測定部 15 による測定処理及び DC リンク電位測定部 18 による測定処理は、インバータ部 12 による電力変換動作を停止させた状態（すなわちインバータ部 12 内の全てのスイッチング素子をオフさせた状態）で実行され、このとき測定されたデータに基づいて絶縁抵抗値計算部 19 は絶縁抵抗値 R_m を算出している。すなわち、本開示の一実施形態によれば、インバータ部 12 による電力変換動作を停止させた状態で、抵抗電圧測定部 15、直流成分抽出部 16、交流成分抽出部 17、DC リンク電位測定部 18、及び絶縁抵抗値計算部 19 を動作させることで、モータ 3 の絶縁抵抗値 R_m を測定することができる。よって、モータ 3 の絶縁抵抗値 R_m の測定に際して、従来のようにモータ駆動装置 1 を交流電源 2 から切り離す必要はない。また、モータ 3 の

絶縁抵抗値 R_{m} の測定のためにモータ駆動装置 1 と交流電源 2 との間に遮断器を設置する必要はないので、低コストである。モータ駆動装置 1 と交流電源 2 との間に遮断器が設置されない状況においても、モータ 3 の絶縁抵抗値 R_{m} を測定することができる。

[0080] 絶縁抵抗値計算部 19 により算出された絶縁抵抗値 R_{m} を、例えば表示部（図示せず）に表示させてもよい。これにより、作業者は、モータ 3 の絶縁抵抗値 R_{m} を迅速かつ容易に把握することができる。

[0081] また、絶縁抵抗値計算部 19 により算出された絶縁抵抗値 R_{m} を絶縁劣化の判断基準となる閾値と比較してモータ 3 の絶縁劣化判定を行う判定部（図示せず）を設け、判定部により絶縁抵抗値 R_{m} が閾値を超えたと判定した場合に、「モータ 3 に絶縁劣化が発生したこと」を表示部に表示させてもよい。表示部の例としては、単体のディスプレイ装置、モータ駆動装置 1 に付属のディスプレイ装置、並びに、パソコン及び携帯端末に付属のディスプレイ装置などがある。またあるいは、表示部とともにあるいは表示部に代えて、例えば音声、スピーカ、ブザー、チャイムなどのような音を発する音響機器にて、「モータ 3 に絶縁劣化が発生したこと」を作業者に通知するようにしてもよい。これにより、作業者は、モータ 3 に絶縁劣化が発生したことを迅速かつ容易に把握することができる。よって、作業者は、例えばモータ 3 の交換または修理といった対応をとること容易となる。

[0082] 直流成分抽出部 16、交流成分抽出部 17、絶縁抵抗値計算部 19、及び上位制御装置は、アナログ回路と演算処理装置との組み合わせで構成されてもよく、あるいは演算処理装置のみで構成されてもよく、あるいはアナログ回路のみで構成されてもよい。例えば、直流成分抽出部 16、交流成分抽出部 17、絶縁抵抗値計算部 19、及び上位制御装置をソフトウェアプログラム形式で構築する場合は、演算処理装置をこのソフトウェアプログラムに従って動作させることで、直流成分抽出部 16、交流成分抽出部 17、絶縁抵抗値計算部 19、及び上位制御装置の各機能を実現することができる。またあるいは、直流成分抽出部 16、交流成分抽出部 17、絶縁抵抗値計算部 1

9、及び上位制御装置を、各部の機能を実現するソフトウェアプログラムを書き込んだ半導体集積回路として実現してもよい。またあるいは、直流成分抽出部16、交流成分抽出部17、絶縁抵抗値計算部19、及び上位制御装置を、各部の機能を実現するソフトウェアプログラムを書き込んだ記録媒体として実現してもよい。また、直流成分抽出部16、交流成分抽出部17、絶縁抵抗値計算部19、及び上位制御装置は、例えば工作機械の数値制御装置内に設けられてもよく、ロボットを制御するロボットコントローラ内に設けられてもよい。

[0083] 抵抗電圧測定部15及びDCリンク電位測定部18は、アナログ回路と演算処理装置との組み合わせで構成されてもよく、あるいは演算処理装置のみで構成されてもよく、あるいはアナログ回路のみで構成されてもよい。抵抗電圧測定部15及びDCリンク電位測定部18については、モータ駆動装置1に一般的に設けられるものを流用してもよい。ただし、絶縁抵抗値計算部19による絶縁抵抗値 R_m の算出には、インバータ部12による電力変換動作を停止させた状態において抵抗電圧測定部15及びDCリンク電位測定部18により測定されたデータが用いられる。

[0084] 図19は、本開示の一実施形態によるモータ駆動装置の動作フローを示すフローチャートである。図19に示すフローチャートは、第1の形態及び第2の形態のいずれのモータ駆動装置1についても適用可能である。

[0085] モータ3の絶縁抵抗値 R_m を測定するに際し、まず、ステップS101において、上位制御装置（図示せず）は、インバータ部12内の全てのスイッチング素子をオフさせてインバータ部12による電力変換動作を停止させる。

[0086] ステップS102において、抵抗電圧測定部15は、測定用抵抗14の両端の電位差である抵抗電圧 V_{in} を測定する。抵抗電圧測定部15により測定された測定用抵抗14の抵抗電圧 V_{in} に関する信号は、直流成分抽出部16及び交流成分抽出部17へ送られる。

[0087] ステップS103において、直流成分抽出部16は、抵抗電圧測定部15により測定された抵抗電圧 V_{in} から直流成分 V_{inL} を抽出する。直流成分抽出部

16により抽出された抵抗電圧の直流成分 V_{inL} に関する信号は、絶縁抵抗値計算部19へ送られる。

[0088] ステップS104において、交流成分抽出部17は、抵抗電圧測定部15により測定された抵抗電圧 V_{in} から交流成分 V_{inH} を抽出する。交流成分抽出部17により抽出された抵抗電圧の交流成分 V_{inH} に関する信号は、絶縁抵抗値計算部19へ送られる。

[0089] なお、ステップS103の処理とステップS104の処理とは順序を入れ替えて実行してもよい。

[0090] ステップS105において、DCリンク電位測定部18は、DCリンクの正電位線における正電位 V_p 及び負電位線における負電位 V_n を測定する。DCリンク電位測定部18により測定されたDCリンクの正電位 V_p 及び負電位 V_n に関する信号は、絶縁抵抗値計算部19へ送られる。

[0091] なお、ステップS102～S104の処理とステップS105の処理とは順序を入れ替えて実行してもよい。

[0092] ステップS106において、絶縁抵抗値計算部19は、直流成分抽出部16により抽出された抵抗電圧の直流成分 V_{inL} と、交流成分抽出部17により抽出された抵抗電圧の交流成分 V_{inH} と、DCリンク電位測定部18により測定されたDCリンクの正電位 V_p 及び負電位 V_n とに基づいて、モータ3の絶縁抵抗値 R_m を計算する。測定用抵抗14の一端がDCリンクの負電位線に接続される第1の形態では、絶縁抵抗値計算部19は、式1に従ってモータ3の絶縁抵抗値 R_m を計算する。測定用抵抗14の一端がDCリンクの正電位線に接続される第2の形態では、絶縁抵抗値計算部19は、式11に従ってモータ3の絶縁抵抗値 R_m を計算する。

[0093] ステップS106の後、例えば、絶縁抵抗値計算部19により算出された絶縁抵抗値 R_m を、表示部（図示せず）に表示させてもよい。また例えば、絶縁抵抗値計算部19により算出された絶縁抵抗値 R_m を絶縁劣化の判断基準となる閾値と比較してモータ3の絶縁劣化判定を行う判定部（図示せず）を設け、判定部により絶縁抵抗値 R_m が閾値を超えたと判定した場合に、「モータ

3に絶縁劣化が発生したこと」を表示部に表示させてもよい。また例えば、表示部とともにあるいは表示部に代えて、例えば音声、スピーカ、ブザー、チャイムなどのような音を発する音響機器にて、「モータ3に絶縁劣化が発生したこと」を作業者に通知するようにしてもよい。

[0094] 図20は、デルタ結線により交流電源と本開示の一実施形態によるモータ駆動装置とが結線される場合におけるDCリンクの正電位及び負電位のシミュレーション結果を説明する図である。式1及び式11に示したように、絶縁抵抗値 R_m の計算にあたっては $(V_p + V_n) / 2$ で表される値 V_{com} と $(V_p - V_n) / 2$ で表される V_{dif} を用いている。図20に示すように、正電位 V_p と負電位 V_n の差「 $V_p - V_n$ 」が一定であることから直流成分として機能しており、正電位 V_p と負電位 V_n の和「 $V_p + V_n$ 」が一定であることから交流成分として機能していることが分かる。

符号の説明

- [0095]
- | | |
|-----------|------------|
| 1 | モータ駆動装置 |
| 2 | 交流電源 |
| 3 | モータ |
| 4 | DCリンクコンデンサ |
| 11 | コンバータ部 |
| 12 | インバータ部 |
| 13-1、13-2 | 分圧抵抗 |
| 14 | 測定用抵抗 |
| 15 | 抵抗電圧測定部 |
| 16 | 直流成分抽出部 |
| 17 | 交流成分抽出部 |
| 18 | DCリンク電位測定部 |
| 19 | 絶縁抵抗値計算部 |
| 20 | モータの絶縁抵抗 |
| 21、22 | 等価抵抗 |

3 1、3 2、3 3、3 4、3 5、3 6、3 7、3 8 等価電源

4 1、4 2 等価抵抗

5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、5 6、5 7、5 8 等価電源

請求の範囲

[請求項1] 交流電源から入力された交流電力を直流電力に変換してDCリンクへ出力するコンバータ部と、
 前記DCリンクに設けられるDCリンクコンデンサと、
 前記DCリンクにおける直流電力をモータの駆動のための交流電力に変換して出力するインバータ部と、
 前記DCリンクを構成する正電位線と負電位線との間に設けられる互いに直列接続された2つの分圧抵抗であって、前記分圧抵抗どうしの接続点と前記モータの巻線とが接続される分圧抵抗と、
 前記分圧抵抗どうしの前記接続点と前記DCリンクの前記正電位線または前記負電位線との間に接続される測定用抵抗と、
 前記測定用抵抗の両端の電位差である抵抗電圧を測定する抵抗電圧測定部と、
 前記抵抗電圧測定部により測定された前記抵抗電圧から直流成分を抽出する直流成分抽出部と、
 前記抵抗電圧測定部により測定された前記抵抗電圧から交流成分を抽出する交流成分抽出部と、
 前記DCリンクの前記正電位線における前記正電位及び前記負電位線における負電位を測定するDCリンク電位測定部と、
 前記直流成分抽出部により抽出された前記直流成分と、前記交流成分抽出部により抽出された前記交流成分と、前記DCリンク電位測定部により測定された前記正電位及び前記負電位と、に基づいて、前記モータの絶縁抵抗値を計算する絶縁抵抗値計算部と、
 を備える、モータ駆動装置。

[請求項2] 前記測定用抵抗は、前記分圧抵抗どうしの前記接続点と前記DCリンクの前記負電位線との間に接続され、
 前記絶縁抵抗値計算部は、前記測定用抵抗の抵抗値を R_{in} 、前記DCリンク電位測定部により測定された前記正電位の値を V_p 、前記D

Cリンク電位測定部により測定された前記負電位の値を V_n 、前記直流成分抽出部により抽出された前記直流成分の値を V_{inL} 、前記交流成分抽出部により抽出された前記交流成分の値を V_{inH} 、値 V_{com} を $(V_p + V_n) / 2$ 、値 V_{dif} を $(V_p - V_n) / 2$ としたとき、
[数1]

$$R_m = \frac{V_{com}(V_{dif} - V_{inL})}{V_{inH}V_{dif}} R_{in}$$

に従って、前記モータの絶縁抵抗値 R_m を計算する、請求項1に記載のモータ駆動装置。

[請求項3] 前記測定用抵抗は、前記分圧抵抗どうしの前記接続点と前記DCリンクの前記正電位線との間に接続され、

前記絶縁抵抗値計算部は、前記測定用抵抗の抵抗値を R_{in} 、前記DCリンク電位測定部により測定された前記正電位の値を V_p 、前記DCリンク電位測定部により測定された前記負電位の値を V_n 、前記直流成分抽出部により抽出された前記直流成分の値を V_{inL} 、前記交流成分抽出部により抽出された前記交流成分の値を V_{inH} 、値 V_{com} を $(V_p + V_n) / 2$ 、値 V_{dif} を $(V_p - V_n) / 2$ としたとき、
[数2]

$$R_m = -\frac{V_{com}(V_{dif} + V_{inL})}{V_{inH}V_{dif}} R_{in}$$

に従って、前記モータの絶縁抵抗値 R_m を計算する、請求項1に記載のモータ駆動装置。

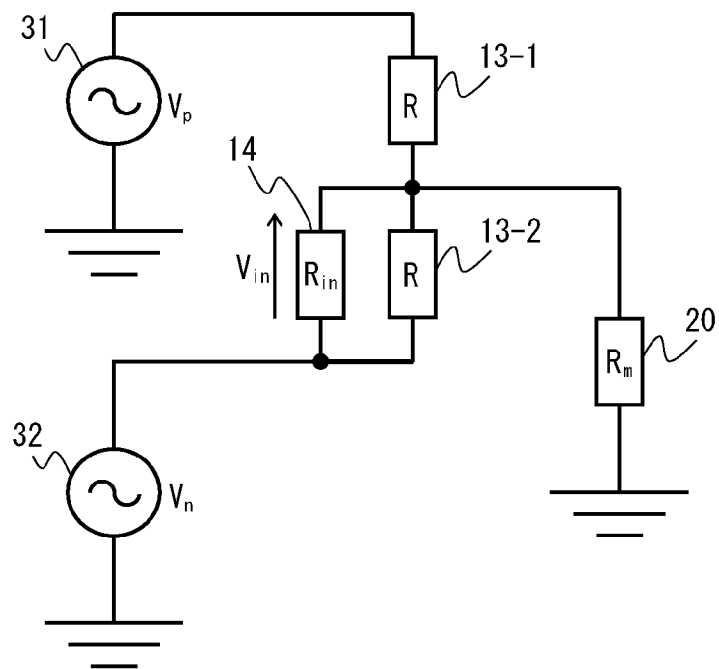
[請求項4] 前記分圧抵抗の各々は、前記DCリンクの前記正電位線と前記負電位線との間に接続される互いに直列接続された2つのDCリンク抵抗の各々にて構成される、請求項1～3のいずれか一項に記載のモータ

駆動装置。

[請求項5] 前記分圧抵抗の各々は、前記インバータ部内のブリッジ回路を構成する上アーム及び下アームのそれぞれに設けられるスイッチング素子のオフ時に発生するオフ抵抗の各々にて構成される、請求項1～3のいずれか一項に記載のモータ駆動装置。

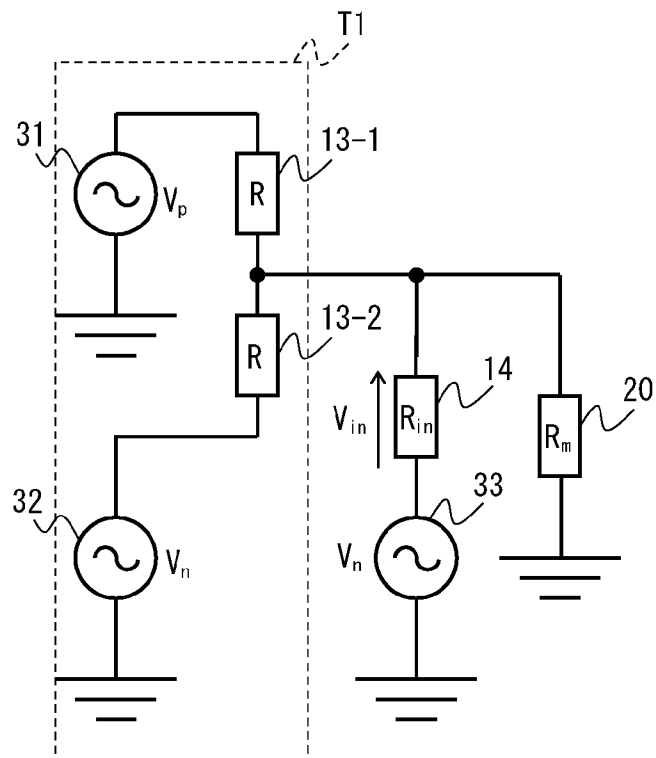
[図3]

図3



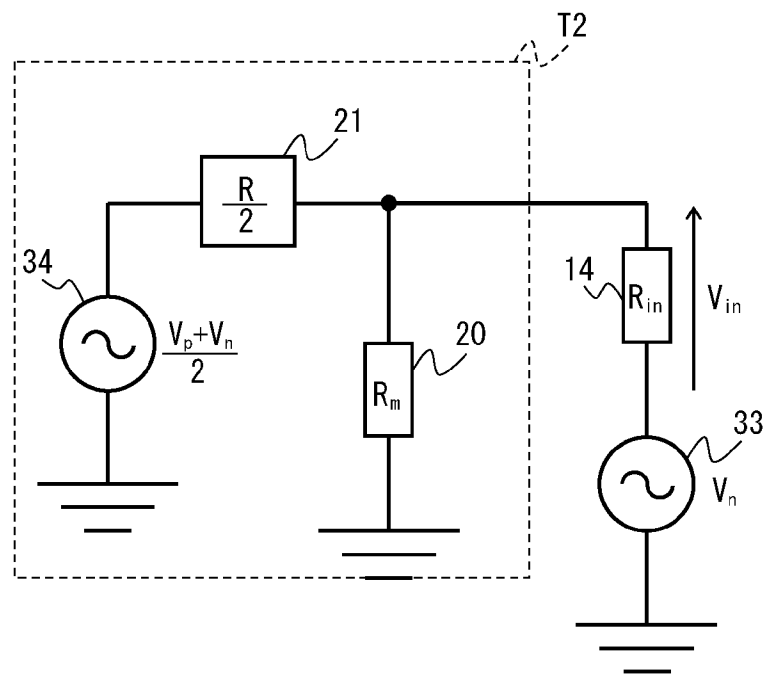
[図4]

図4



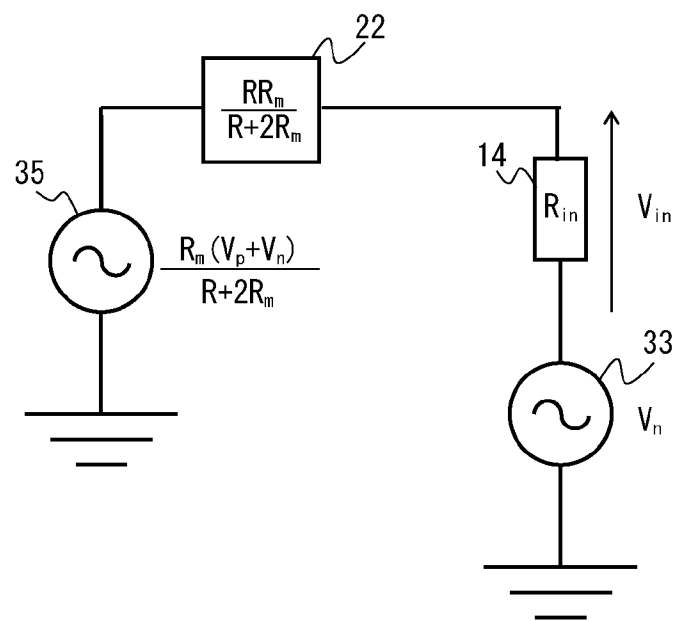
[図5]

図5



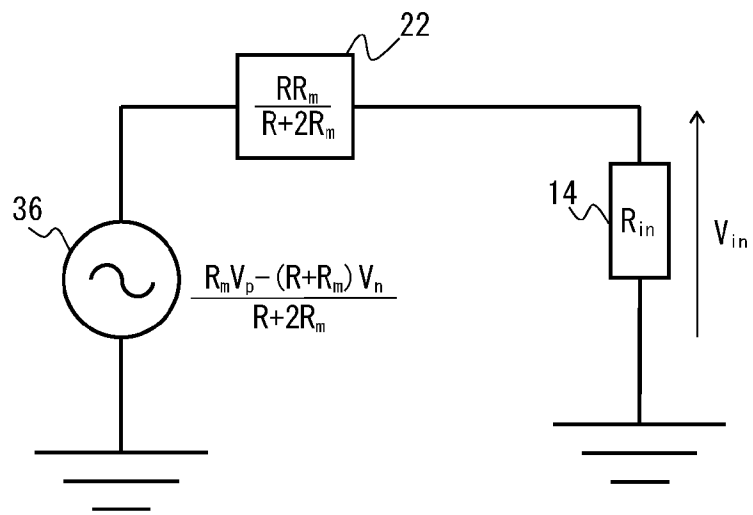
[図6]

図6



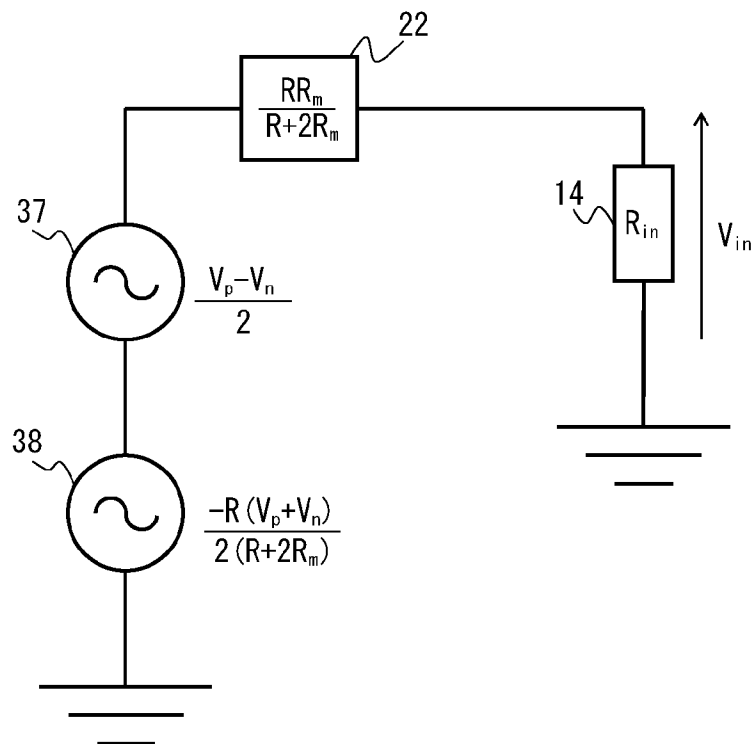
[図7]

図7



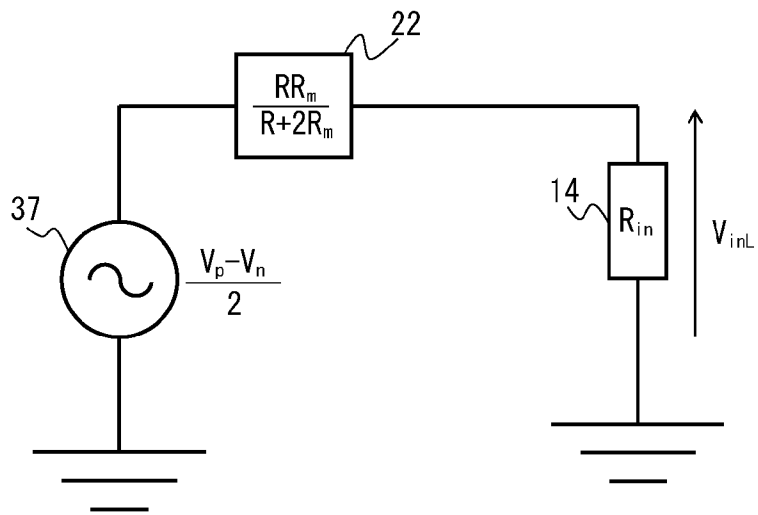
[図8]

図8



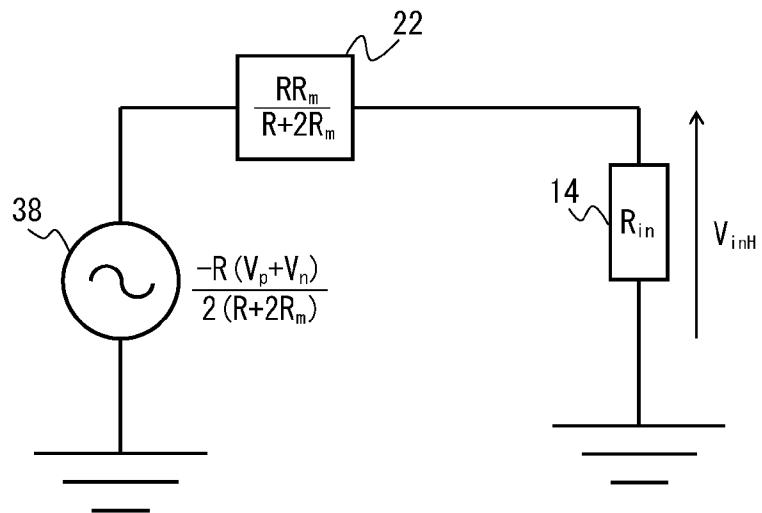
[図9]

図9



[図10]

図10



[図11]

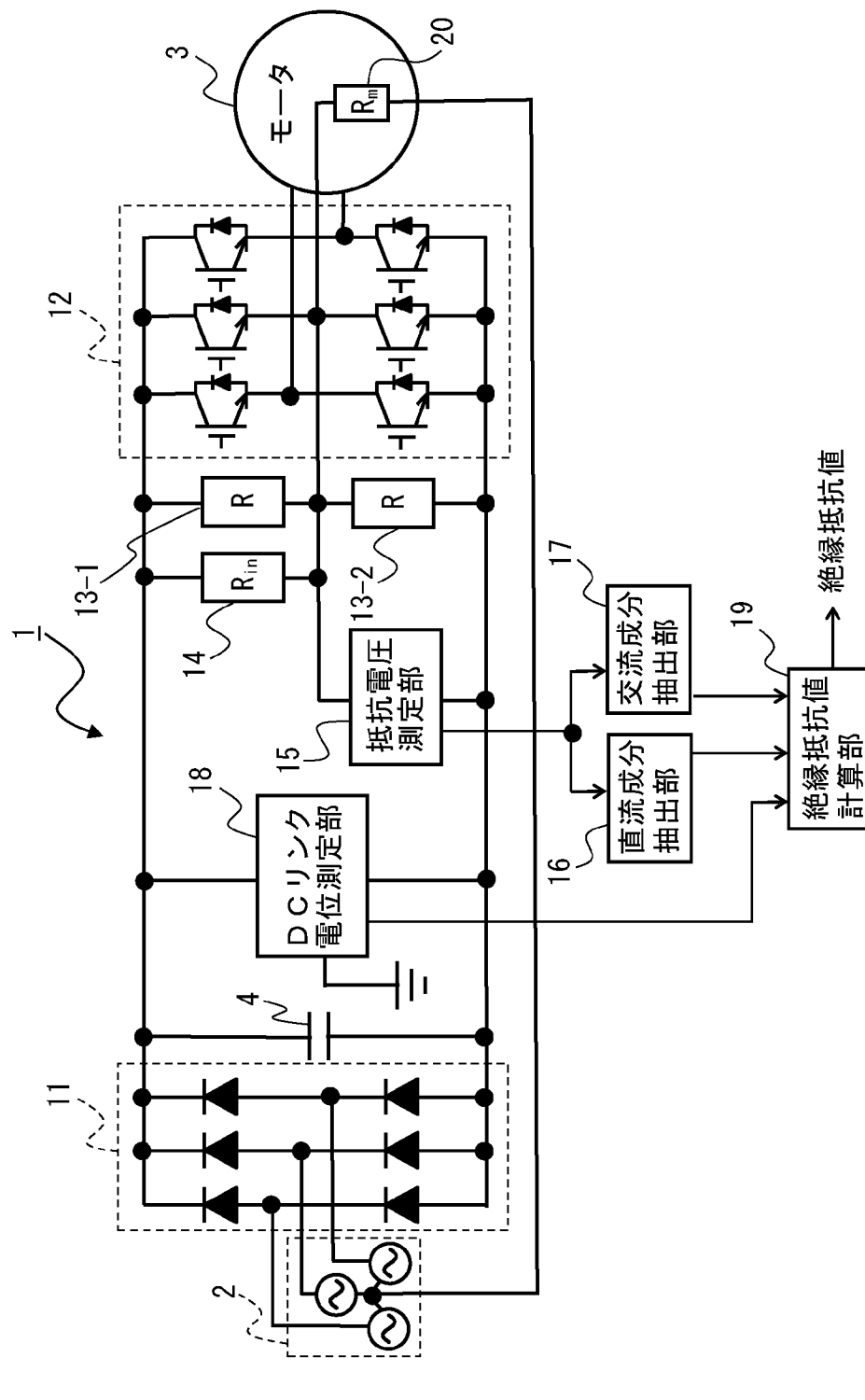
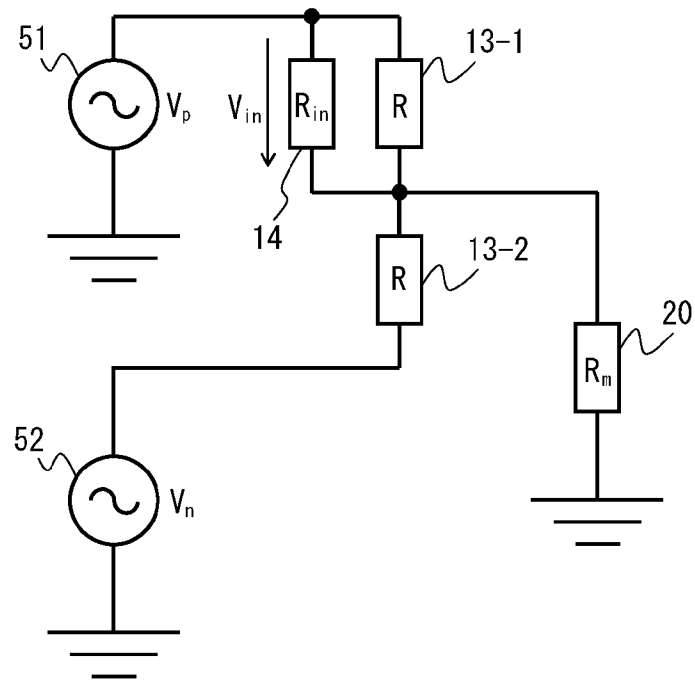


図11

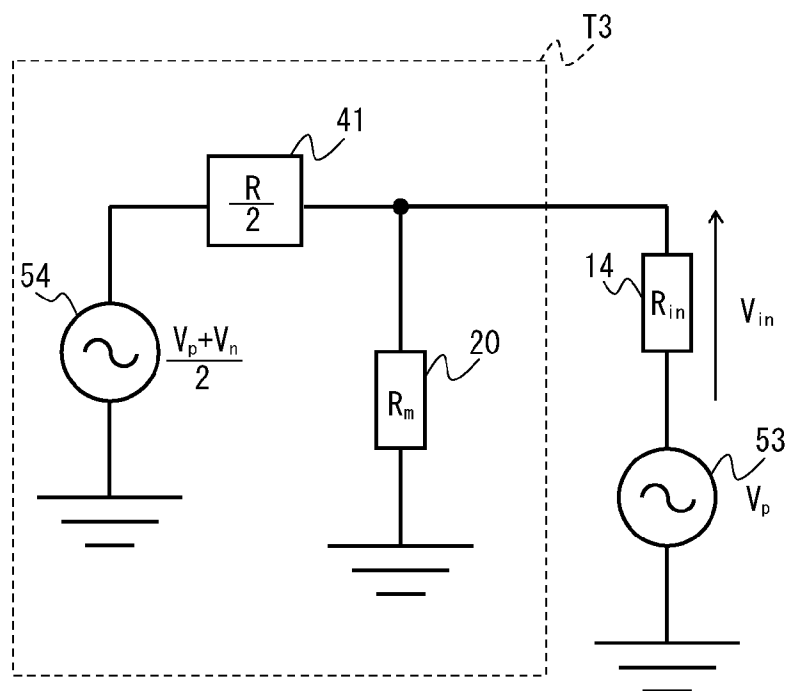
[図12]

図12



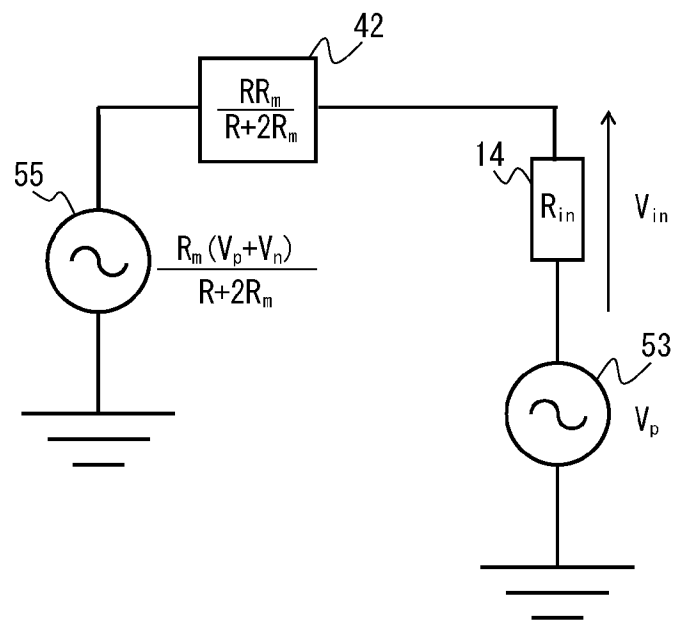
[図13]

図13



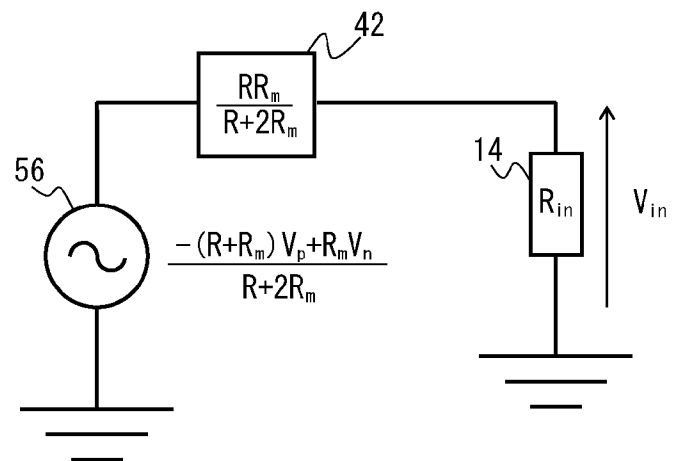
[図14]

図14



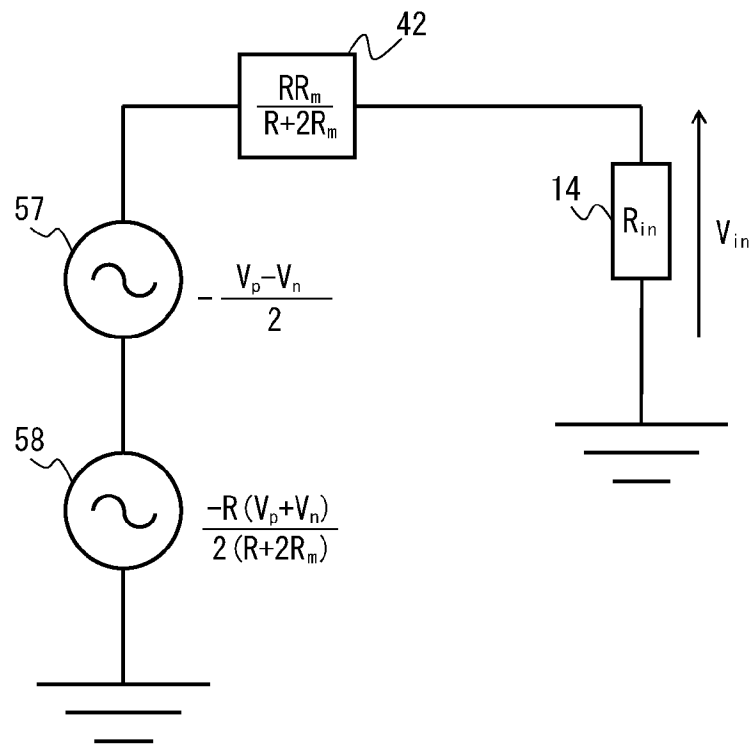
[図15]

図15



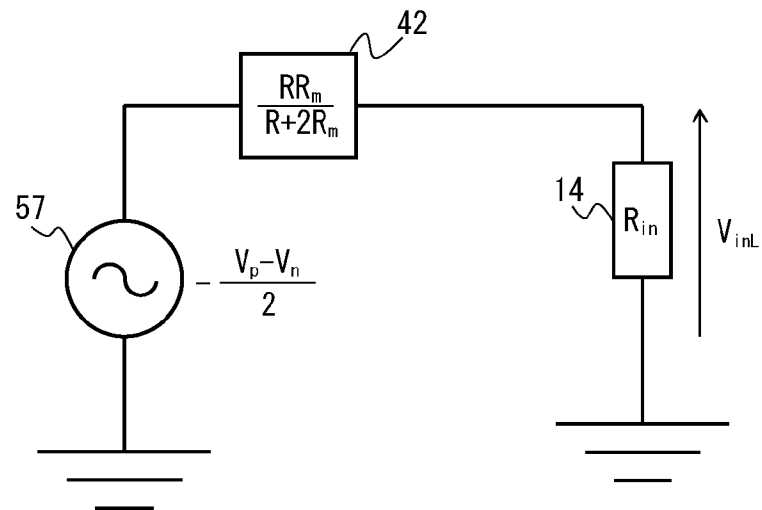
[図16]

図16



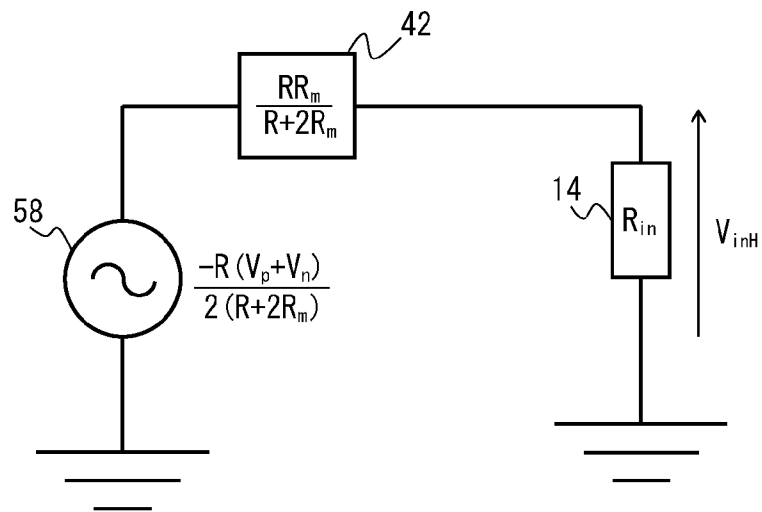
[図17]

図17



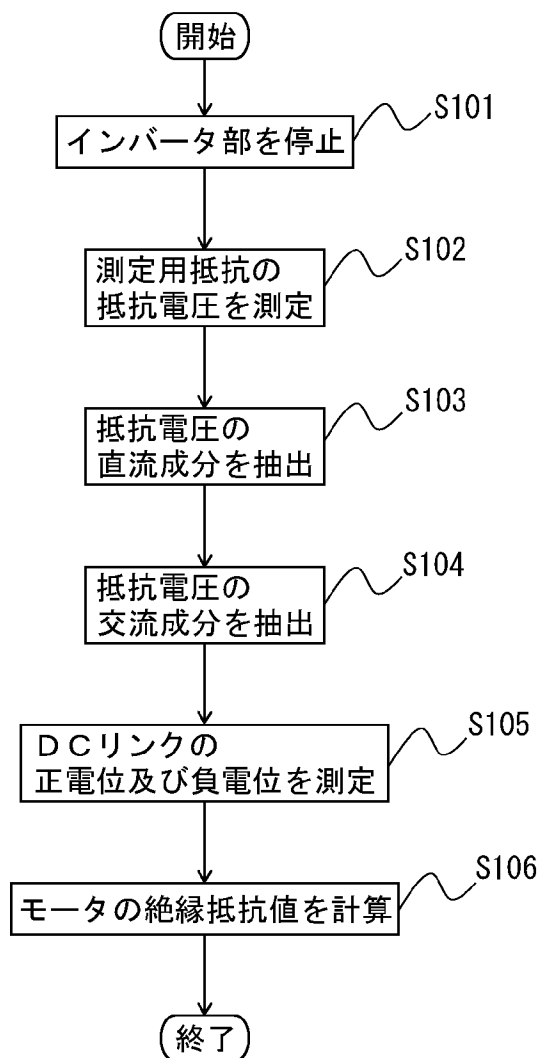
[図18]

図18



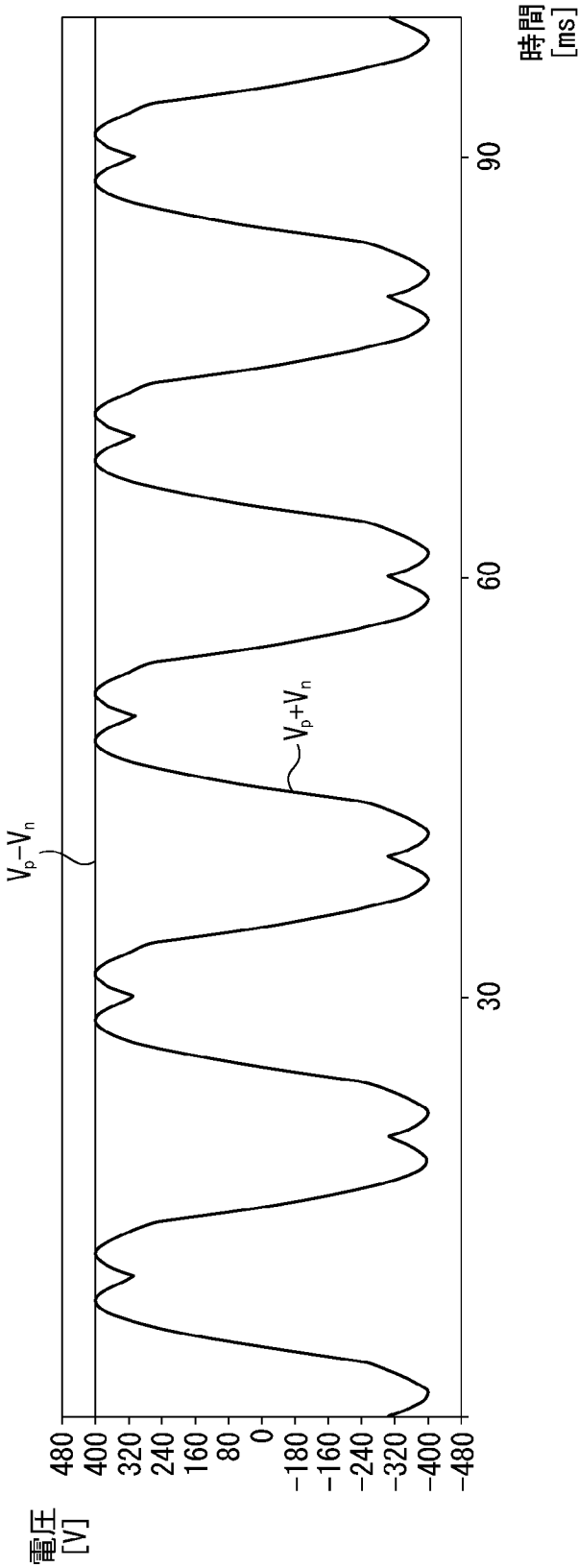
[図19]

図19



[図20]

図20



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/024604

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 27/06(2006.01)i; G01R 31/34(2020.01)i; G01R 31/52(2020.01)i; G01R 31/56(2020.01)i

FI: H02P27/06; G01R31/34 B; G01R31/52; G01R31/56

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)

H02P27/06; G01R31/34; G01R31/52; G01R31/56

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	1971-2021
Registered utility model specifications of Japan	1996-2021
Published registered utility model applications of Japan	1994-2021

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	WO 2013/018411 A1 (SANYO ELECTRIC CO., LTD.) 07 February 2013 (2013-02-07) paragraphs [0009]-[0080], fig. 1-8	1-5
A	JP 2008-102096 A (FANUC CORPORATION) 01 May 2008 (2008-05-01) paragraphs [0010]-[0023], fig. 1	1-5
A	JP 2020-58209 A (FANUC CORPORATION) 09 April 2020 (2020-04-09) paragraphs [0014]-[0043], fig. 1-5	1-5
A	JP 2020-80623 A (FANUC CORPORATION) 28 May 2020 (2020-05-28) paragraphs [0013]-[0088], fig. 1-10	1-5



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

"I" 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

17 August 2021 (17.08.2021)

Date of mailing of the international search report

31 August 2021 (31.08.2021)

Name 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
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/024604

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2013/018411 A1	07 Feb. 2013	US 2014/0152224 A1 paragraphs [0016]- [0085], fig. 1-8	
JP 2008-102096 A	01 May 2008	US 2008/0094022 A1 paragraphs [0014]- [0030], figures	
JP 2020-58209 A	09 Apr. 2020	EP 1914557 A2 CN 101165505 A US 2020/0112273 A1 paragraphs [0020]- [0049], fig. 1-5	
JP 2020-80623 A	28 May 2020	DE 102019215152 A1 CN 111010051 A (Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02P 27/06(2006.01)i; G01R 31/34(2020.01)i; G01R 31/52(2020.01)i; G01R 31/56(2020.01)i FI: H02P27/06; G01R31/34 B; G01R31/52; G01R31/56										
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）） H02P27/06; G01R31/34; G01R31/52; G01R31/56 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2021年									
日本国実用新案登録公報	1996-2021年									
日本国登録実用新案公報	1994-2021年									
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								
A	WO 2013/018411 A1（三洋電機株式会社）07.02.2013（2013-02-07） 段落[0009]-[0080], 図1-8	1-5								
A	JP 2008-102096 A（ファナック株式会社）01.05.2008（2008-05-01） 段落[0010]-[0023], 図1	1-5								
A	JP 2020-58209 A（ファナック株式会社）09.04.2020（2020-04-09） 段落[0014]-[0043], 図1-5	1-5								
A	JP 2020-80623 A（ファナック株式会社）28.05.2020（2020-05-28） 段落[0013]-[0088], 図1-10	1-5								
☐ 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。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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 </td> <td> “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抵触するものではなく、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 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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抵触するものではなく、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						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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抵触するものではなく、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 17.08.2021		国際調査報告の発送日 31.08.2021								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 池田 貴俊 3V 9256 電話番号 03-3581-1101 内線 3357								

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/024604

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2013/018411	A1	07.02.2013	US 2014/0152224 A1 段落[0016]-[0085], FIG. 1-8	
JP	2008-102096	A	01.05.2008	US 2008/0094022 A1 段落[0014]-[0030], FIGURE EP 1914557 A2 CN 101165505 A	
JP	2020-58209	A	09.04.2020	US 2020/0112273 A1 段落[0020]-[0049], FIG. 1-5 DE 102019215152 A1 CN 111010051 A	
JP	2020-80623	A	28.05.2020	(ファミリーなし)	