

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))
- 補正された請求の範囲 (条約第19条(1))

(57) 要約: 短絡故障検出装置 100 は、負荷の短絡によって複数のアーム 10 のうちの第 1 のアームに流れる電流である負荷短絡電流に応じた第 1 の検出信号 S 1 を生成する第 1 のロゴスキーコイル 101 と、第 1 のアームまたは複数のアーム 10 のうちの第 2 のアームの短絡によって当該第 1 のアームに流れる電流であるアーム短絡電流に応じた第 2 の検出信号 S 2 を生成する第 2 のロゴスキーコイル 102 と、第 1 の検出信号 S 1 に基づいて負荷の短絡を検出する負荷短絡検出回路 111 と、第 2 の検出信号 S 2 に基づいて第 1 のアームまたは第 2 のアームの短絡を検出するアーム短絡検出回路 112 と、アーム短絡検出回路 112 の出力信号および前記負荷短絡検出回路 111 の出力信号に基づいて短絡故障を検出する短絡検出回路 120 とを有する。

明 細 書

発明の名称：短絡故障検出装置および電力変換装置

技術分野

[0001] 本発明は、短絡故障検出装置および電力変換装置に関する。

背景技術

[0002] モータ等の負荷を駆動する電力変換装置では、電力変換装置を構成する半導体スイッチに過大電流が流れる場合がある。このような過大電流が長時間に亘って流れると、半導体スイッチが破壊に至る恐れがある。そこで、短絡故障検出装置が電力変換装置に設けられる。短絡故障検出装置は、半導体スイッチに流れる過大電流を検知し、電力変換装置を停止させる。

[0003] この種の短絡故障検出装置では、半導体スイッチに流れる電流を検出するために、シャント抵抗、CT (Current Transformer ; 変流器)、またはログスキーコイル等が利用される。これらの部品の中で、ログスキーコイルは、コアを有していない。このため、短絡故障検出装置の小型化と、大電流の測定が可能であるという利点がある。

[0004] 特許文献1は、半導体スイッチを含むアーム（アーム回路）を介して負荷を駆動する電力変換装置に関し、ログスキーコイルによりアームの短絡故障を検出する技術を開示している。図17は、特許文献1に開示された装置の回路図である。図17において、ゲート駆動回路96は、ゲート抵抗95を介して半導体スイッチ91にゲート電圧を供給し、半導体スイッチ91を駆動する。ログスキーコイル97は、半導体スイッチ91を流れる電流の時間勾配 di/dt に比例した端子間電圧を生成（出力）する。短絡検出器98は、ログスキーコイル97の端子間電圧が一定時間以上に亘って大きな値を継続したことを検出する。この場合、短絡検出器98は、アーム短絡が発生したと判定し、ゲート駆動回路6に半導体スイッチ91の駆動を停止させる。

[0005] しかしながら、電力変換装置において発生し得る短絡故障には、アーム短

絡の他、電力変換装置の出力に接続された負荷が短絡状態となる負荷短絡がある。そこで、特許文献2は、アーム短絡電流を空芯コイルにより検出し、負荷短絡電流をCT (Current Transformer ; 変流器) により検出する技術を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2001-169533号公報

[0007] 特許文献2：国際公開第2018/073909号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 特許文献1に開示の技術は、アーム短絡の検出には有効である。しかしながら、負荷短絡の検出が困難である。以下、この問題について説明する。

[0009] 図18は、電力変換装置においてアーム短絡が発生した場合における短絡電流経路RT1を例示する回路図である。図19は、同電力変換装置において負荷短絡が発生した場合における短絡電流経路RT2を例示する回路図である。

[0010] 図18および図19に例示する電力変換装置では、直流電圧 E_v に充電されたコンデンサCEの両端子に、2つのアームが直列接続されている。2つのアームのうちの一つは、互いに逆並列接続された半導体スイッチSW1およびフライホイールダイオードD11を有する。もう一つのアームは、互いに逆並列接続された半導体スイッチSW2およびフライホイールダイオードD12を有する。また、コンデンサCEの両端子には、さらに2つのアームが直列接続されている。2つのアームのうちの一つは、互いに逆並列接続された半導体スイッチSW3およびフライホイールダイオードD13を有する。もう一つは、互いに逆並列接続された半導体スイッチSW4およびフライホイールダイオードD14を有する。そして、共通接続ノード99_1および99_2の間に負荷Z（例えば、モータの巻き線）が接続されている。ここ

で、共通接続ノード 99__1 は、半導体スイッチ SW1 および SW2 の間にある。共通接続ノード 99__2 は、半導体スイッチ SW3 および SW4 の間にある。図 18 および図 19 において、L1 は、アーム短絡が発生した際の短絡電流経路に介在する自己インダクタンスを示す。L2 は、共通接続ノード 99__1 から負荷 Z を介して共通接続ノード 99__2 に至る電流経路に介在する自己インダクタンスを示す。

[0011] 電力変換装置では、互いに直列接続された 2 つの半導体スイッチ（例えば、SW1 および SW2）が同時にターンオンしないように、これらの半導体スイッチが制御される。これは、電源の短絡を防ぐためである。しかしながら、何らかの理由により、半導体スイッチが故障または誤動作することがある。同様に、フライホイールダイオードも故障することがある。このような場合には、以下に述べるアーム短絡が発生する。

図 18 に示す例では、半導体スイッチ SW1 またはフライホイールダイオード D11 が、何らかの理由により故障している場合を想定する。なお、図 18 に示す「X (cross)」印は、これらの部品の故障を表す。このことは、図 19 についても同様である。

半導体スイッチ SW2 が ON に制御される場合、半導体スイッチ SW1 は、OFF に制御される。しかしながら、何らかの理由によって、半導体スイッチ SW1 が意図しないオン状態において半導体スイッチ SW2 がターンオンするとアーム短絡が発生する。この場合、電流経路 RT1 をアーム短絡電流 i_a が流れる。このことは、何らかの理由によって、フライホイールダイオード D11 に逆流電流が流れた場合も同様である。このような場合、アーム短絡電流 i_a は、以下の順に流れる。

[0012] コンデンサ CE → 半導体スイッチ SW1 → 半導体スイッチ SW2 → コンデンサ CE

[0013] この場合、アーム短絡電流 i_a に関して次式が成立する。

$$E_v = L_1 \times d i_a / d t \quad \dots\dots (1)$$

[0014] 半導体スイッチと同様に、何らかの理由により、負荷の短絡が発生するこ

とがある。図19に示す例では、半導体スイッチSW1およびSW4がONであり、半導体スイッチSW2およびSW3がOFFであるときに、負荷Zの短絡故障が発生した場合を想定する。この場合、電流経路RT2を負荷短絡電流 i_r が流れる。具体的には、負荷短絡電流 i_r は、以下の順に流れる。

[0015] コンデンサCE→半導体スイッチSW1→負荷Z→半導体スイッチSW4→コンデンサCE

[0016] この場合、負荷短絡電流 i_r に関して次式が成立する。

$$E_v = (L_1 + L_2) \times di_r / dt \quad \dots\dots (2)$$

[0017] ここで、自己インダクタンス L_1 および L_2 間には、 $L_1 \ll L_2$ の関係が成立する。従って、上記式(1)および(2)から次式の成立することが分かる。

$$di_r / dt \ll di_a / dt \quad \dots\dots (3)$$

[0018] 図20は、アーム短絡電流 i_a および負荷短絡電流 i_r の波形を例示する図である。図20において、横軸は時間 t を示し、縦軸は電流（電流値） i を示す。まず、図18に示すアーム短絡電流 i_a について述べる。アーム短絡電流 i_a の経路RT1に介在する自己インダクタンス L_1 は小さい。このため、 $t=0$ において半導体スイッチSW2がターンオンしたとすると、アーム短絡電流 i_a が急激に立ち上がり、アーム短絡電流 i_a の電流値が短時間のうちに増大する。その結果、コンデンサCEに蓄積された電荷が短時間のうちに放電する。このため、アーム短絡電流 i_a は、半導体スイッチSW2のターンオン後の短時間のうちに発生する。一方、負荷短絡電流 i_r の経路RT2に介在する自己インダクタンス L_2 は、自己インダクタンス L_1 に比べて非常に大きい。このため、負荷短絡電流 i_r は、半導体スイッチSW1およびSW4のターンオン後、非常に緩やかな時間勾配で増加する。周波数領域に着目すると、アーム短絡電流の周波数帯域の上限周波数は、負荷短絡電流の周波数帯域の上限周波数に比べて非常に高い。

[0019] 時間勾配の小さな負荷短絡電流 i_r を検出するための一つの方法は、ログ

スキーコイルの巻き数を多くし、ログスキーコイルの感度を高くすることである。この場合、ログスキーコイルによる負荷短絡電流の検出は、ログスキーコイルの大型化だけではなく、電力変換装置の大型化および複雑化も招く。

[0020] ログスキーコイルの巻き数を多くすると、ログスキーコイルの自己インダクタンスが高くなる。この場合、アーム短絡の発生時および負荷短絡の発生時の双方において、ログスキーコイルの端子間電圧を精度よく検出するための方法の一つは、ログスキーコイルの自己インダクタンスを低くして、LC共振回路の共振周波数を十分に高くすることである。ここで、LC共振回路は、ログスキーコイルの自己インダクタンスと寄生容量とを有する。当該共振周波数が十分に高い場合、共振周波数を、アーム短絡の発生時におけるログスキーコイルの端子間電圧の周波数帯域の上限周波数よりも高くする必要がある。この共振周波数が当該周波数帯域内にあると、共振の影響によりログスキーコイルの端子間電圧波形が歪み、アーム短絡を検出することが困難になるからである。

[0021] そこで、共振の影響を防ぐ一つの方法は、ログスキーコイルの自己インダクタンスを小さくし、共振周波数を高くすることである。しかし、ログスキーコイルの自己インダクタンスを小さくしようとするれば、ログスキーコイルの感度が低下する。負荷短絡電流 i_r の時間勾配 di_a/dt が極めて小さいので、ログスキーコイルの端子間電圧がノイズに埋もれ、負荷短絡の検出が極めて困難である。

[0022] 特許文献2に開示の技術では、アーム短絡電流を空芯コイルにより検出し、負荷短絡電流をCTにより検出する。しかし、CTを用いると、コストが増加するとともに、ディスクリート部品が多くなって電力変換装置の構成が複雑になる。

[0023] この発明は、以上に説明した課題に鑑みてなされたものであり、ログスキーコイルを利用して、アーム短絡および負荷短絡のうちの少なくとも負荷短絡を検出可能な技術を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0024] 本発明の第1の態様の短絡故障検出装置は、半導体スイッチを各々含む複数のアームを有し、前記複数のアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置の短絡故障検出装置において、前記負荷の短絡によって前記複数のアームのうちの第1のアームに流れる電流である負荷短絡電流に応じた第1の検出信号を生成する第1のログスキーコイルと、前記第1のアームまたは前記複数のアームのうちの第2のアームの短絡によって当該第1のアームに流れる電流であるアーム短絡電流に応じた第2の検出信号を生成する第2のログスキーコイルと、前記第1の検出信号に基づいて前記負荷の短絡を検出する負荷短絡検出回路と、前記第2の検出信号に基づいて前記第1のアームまたは前記第2のアームの短絡を検出するアーム短絡検出回路と、前記アーム短絡検出回路の出力信号および前記負荷短絡検出回路の出力信号に基づいて短絡故障を検出する短絡検出回路とを有することを特徴とする。
- [0025] 本発明の第2の態様の短絡故障検出装置は、半導体スイッチを各々含む複数のアームを有し、前記複数のアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置の短絡故障検出装置において、前記負荷の短絡によって前記複数のアームのうちの第1のアームに流れる電流である負荷短絡電流に応じた検出信号を生成するログスキーコイルと、前記検出信号に基づいて前記負荷の短絡を判別する負荷短絡検出回路と、前記負荷短絡検出回路の出力信号に基づいて短絡故障を検出する短絡検出回路とを有することを特徴とする。
- [0026] 本発明の第3の態様の電力変換装置は、第1の態様または第2の態様の短絡故障検出装置と、前記短絡故障検出装置が出力する短絡検出信号に基づいて、前記第1のアームに含まれる半導体スイッチの駆動を停止するゲート駆動回路とを含むことを特徴とする。
- [0027] 本発明の第4の態様の電力変換装置は、半導体スイッチを各々含む P 個（ P は2以上の整数）のアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置において、前記 P 個のアームのうちの Q 個（ Q は P より小さい正の整数）のアームにそれぞれ対応する Q 個の短絡故障検出装置を有し、前記 Q 個の短絡故

障検出装置の各々は、前記負荷の短絡により、対応するアームに流れる電流に応じた第1の検出信号を出力する第1のログスキーコイルを具備し、前記第1の検出信号に基づいて短絡故障を検出することを特徴とする。

[0028] 本発明の第5の態様の電力変換装置は、半導体スイッチング素子を含むアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置において、前記負荷の短絡故障により前記アームに流れる電流に応じた第1の検出信号を出力する第1のログスキーコイルと、前記アームに直列接続されたダイオードの短絡故障により前記アームに流れる電流に応じた第2の検出信号を出力する第2のログスキーコイルと、前記第1の検出信号または前記第2の検出信号に基づいて短絡故障を検出する短絡故障検出装置とを含むことを特徴とする。

発明の効果

[0029] この発明の第1の態様では、アーム短絡電流が第2のログスキーコイルにより検出され、負荷短絡電流が第1のログスキーコイルにより検出される。これにより、第1のログスキーコイルの感度が負荷短絡電流の検出に適した値に設定される。そのために第1のログスキーコイルの自己インダクタンスが増加しても、この増加が第2のログスキーコイルによるアーム短絡電流の検出の妨げになることはない。よって、アーム短絡および負荷短絡の双方を検出することができる。

[0030] この発明の第2の態様では、負荷短絡電流が第1のログスキーコイルにより検出される。これにより、負荷短絡を検出することができる。

[0031] この発明の第3の態様では、負荷短絡およびアーム短絡のうちの少なくとも負荷短絡を検出可能な電力変換装置が提供される。

[0032] この発明の第4の態様では、第1のログスキーコイルを備える短絡故障検出装置が、複数のアームのうちの一部のアームの各々に設けられる。第1のログスキーコイルにより負荷短絡電流が検出される。第1のログスキーコイルを一部のアームに設ければ済むので、電力変換装置の大型化および複雑化を招くことなく負荷短絡電流を検出することができる。

[0033] この発明の第5の態様では、負荷の短絡故障を、その検出に適した第1の

ロゴスキーコイルにより検出することができる。更に、アームに直列接続されたダイオードの短絡故障をその検出に適した第2のロゴスキーコイルにより検出することができる。

図面の簡単な説明

[0034] [図1]第1実施形態における短絡故障検出装置を含む電力変換装置の構成を示す回路図である。

[図2]第1実施形態における短絡故障検出装置の構成を示す回路図である。

[図3A]第1実施形態の動作を示す波形図である。

[図3B]第1実施形態の動作を示す波形図である。

[図3C]第1実施形態の動作を示す波形図である。

[図4]第1実施形態の第1具体例を示す図である。

[図5]第1実施形態の第2具体例を示す図である。

[図6]第1実施形態の第3具体例を示す図である。

[図7A]第1実施形態の第4具体例を示す図である。

[図7B]第1実施形態の第4具体例を示す図である。

[図8]第1実施形態の第5具体例を示す図である。

[図9]第2実施形態における電力変換装置の構成を示す回路図である。

[図10]第2実施形態における短絡故障検出装置の構成を示す回路図である。

[図11A]第2実施形態の動作を示す波形図である。

[図11B]第2実施形態の動作を示す波形図である。

[図11C]第2実施形態の動作を示す波形図である。

[図12]第2実施形態の第1動作例を示す回路図である。

[図13]第2実施形態の第2動作例を示す回路図である。

[図14]第2実施形態の第3動作例を示す回路図である。

[図15A]第2実施形態の具体例を示す図である。

[図15B]第2実施形態の具体例を示す図である。

[図16]第2実施形態における短絡故障検出装置の他の電力変換装置への適用例を示す回路図である。

[図17]従来の短絡故障検出装置の構成を示す回路図である。

[図18]電力変換装置におけるアーム短絡電流の経路を示す回路図である。

[図19]電力変換装置における負荷短絡電流の経路を示す回路図である。

[図20]アーム短絡電流および負荷短絡電流の波形を示す図である。

発明を実施するための形態

[0035] 1. 第1実施形態

以下、図面を参照しつつ、第1実施形態について説明する。図1は、第1実施形態における短絡故障検出装置を含む電力変換装置1の構成を示す回路図である。電力変換装置1において、コンデンサ30は、直流電源40によって充電され、直流電圧を安定化させる。コンデンサ30の両端子には、アーム10__1および10__2が直列接続されている。これに加え、同両端子には、アーム10__3および10__4が直列接続されている。そして、アーム10__1および10__2間に共通接続ノードND1があり、アーム10__3および10__4間に共通接続ノードND2がある。共通接続ノードND1とND2との間に、負荷Z（例えば、モータの巻き線）が配置され、負荷Zは、これらの共通接続ノードに接続される。各アーム10__1～10__4は、半導体スイッチを含む。ゲート駆動回路20__1～20__4は、アーム10__1～10__4にそれぞれ対応している。ゲート駆動回路20__1～20__4の各々は、ゲート信号を、対応するアームの半導体スイッチに与えることにより当該半導体スイッチを駆動する。このように電力変換装置1は、各々が半導体スイッチを含むアーム10__1～10__4を有しており、これらのアームを介して直流電源40から負荷Zに電力を供給する。

なお、アーム10__1および10__3の各々は、第1のアームの一例であり、アーム10__2および10__4の各々は、第2のアームの一例である。

[0036] ここで、アーム10__1に着目し、アーム短絡について述べる。電源の短絡を防止するため、互いに直列接続された2つの半導体スイッチ10__1および10__2は、同時にターンオンしないように制御される。一例として、半導体スイッチ10__1がONに制御され、半導体スイッチ10__2がOF

Fに制御される場合を述べる。仮に、何らかの理由によってアーム10__2に短絡故障が発生している状態において、アーム10__1の半導体スイッチがターンオンした場合、半導体スイッチ10__2の意図しない短絡により、アーム10__1の半導体スイッチにアーム短絡電流が流れる。このほか、アーム10__2に短絡故障が発生していなくても、アーム10__2の半導体スイッチの誤動作によるターンオンにより、アーム10__1の半導体スイッチにアーム短絡電流が流れる。誤動作の原因の一つには、ノイズがある。以上の説明は、半導体スイッチ10__1がOFFに制御され、半導体スイッチ10__2がONに制御される場合についても当てはまる。

アーム短絡の他、何らかの理由によって、負荷Zに短絡故障が発生した場合には、アーム10__1に負荷短絡電流が流れる。

[0037] このようなアーム短絡電流または負荷短絡電流が長時間に亘ってアーム10__1に流れると、アーム10__1の正常な半導体スイッチが破壊に至る恐れがある。そこで、短絡故障検出装置100__1がアーム10__1に設けられる。短絡故障検出装置100__1は、アーム10__1に流れる電流に基づいてアーム短絡または負荷短絡の発生を検知し、ゲート駆動回路20__1による半導体スイッチの駆動を停止させる。他のアーム10__2～10__4にも同様なアーム短絡電流および負荷短絡電流が流れる可能性がある。そこで、短絡故障検出装置100__2がアーム10__2に設けられる。短絡故障検出装置100__3がアーム10__3に設けられる。短絡故障検出装置100__4がアーム10__4に設けられる。

[0038] 以下では、アーム10__1～10__4の各々を区別する必要がない場合に、アーム10__1～10__4をアーム10と総称する。ゲート駆動回路20__1～20__4をゲート駆動回路20と総称する。短絡故障検出装置100__1～100__4を短絡故障検出装置100と総称する。

[0039] 図2は、第1実施形態における短絡故障検出装置100の構成例を示す回路図である。なお、図2には、短絡故障検出装置100に関する理解を容易にするため、アーム10およびゲート駆動回路20が短絡故障検出装置10

0とともに示されている。

[0040] 図2において、アーム10__1～10__4の各々は、半導体スイッチ11と、半導体スイッチ11に逆並列接続されたフライホイールダイオード12とを含む。この例において、半導体スイッチ11は、MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor; 金属-酸化膜-半導体構造の電解効果トランジスタ) である。半導体スイッチ11は、ソース(ソース電極)と、ドレイン(ドレイン電極)と、ゲート(制御電極)とを有する。半導体スイッチ11のドレインは、導線51を介してコンデンサ30または他のアームに接続されている。半導体スイッチ11のソースは、導線52を介してコンデンサ30または他のアームに接続されている。半導体スイッチ11のゲートは、ゲート駆動回路20に接続されている。ゲート駆動回路20は、半導体スイッチ11のゲートにゲート信号を供給することにより半導体スイッチ11のON/OFF駆動を行う。

[0041] 図2に示す例では、第1のロゴスキーコイル101および第2のロゴスキーコイル102に導線52が挿入されている。ここで、第1のロゴスキーコイル101は、負荷短絡電流を検出する。第2のロゴスキーコイル102は、アーム短絡電流を検出する。導線52に電流が流れると、この電流を中心として、導線52の周りに円状の磁界が発生する。この磁界の強度の時間変化に応じた電圧が第1のロゴスキーコイル101および第2のロゴスキーコイル102に誘起される。この結果、導線52に流れる電流の時間勾配 di/dt に比例した電圧波形を持つ第1の検出信号S1が第1のロゴスキーコイル101から出力される。同様に、導線52に流れる電流の時間勾配 di/dt に比例した電圧波形を持つ第2の検出信号S2が第2のロゴスキーコイル102から出力される。

[0042] 本実施形態において、第1のロゴスキーコイル101は、負荷短絡電流の検出に最適化されたコイルである。第2のロゴスキーコイル102は、アーム短絡電流の検出に最適化されたコイルである。ここで、検出すべき電流の時間勾配 di/dt に対する感度(すなわち、電流の時間勾配 di/dt に

対するロゴスキーコイルの出力電圧の比)に着目すると、第2のロゴスキーコイル102の感度は、第1のロゴスキーコイル101の感度よりも低い。具体的には、第2のロゴスキーコイル102の巻き数は、第1のロゴスキーコイル101の巻き数よりも少ない。第2のロゴスキーコイル102の感度が第1のロゴスキーコイル101の感度よりも低い理由は、次のとおりである。第2のロゴスキーコイル102の自己インダクタンスが低くければ、第2のロゴスキーコイル102の自己インダクタンスと寄生容量とを有するLC共振回路の共振周波数が高くなり、この共振周波数がアーム短絡電流の周波数帯域の範囲から外れるからである。また、第1のロゴスキーコイル101の感度が第2のロゴスキーコイル102の感度よりも高ければは、時間勾配の小さな負荷短絡電流を精度よく検出することができる。

[0043] アーム短絡検出回路112は、第2の検出信号S2に基づいて、電力変換装置1においてアーム短絡が発生したことを検出する。具体的には、アーム短絡検出回路112は、第2の基準時間 T_{ref2} を超えて第2の検出信号S2が第2の基準レベル V_{ref2} よりも高いレベルに維持された場合に、アーム短絡が発生したと判定する。アーム短絡検出回路112は、アーム短絡を検出した場合、短絡検出信号E2を非アクティブレベル“0”からアクティブレベル“1”に変更する。

[0044] 負荷短絡検出回路111は、第1の検出信号S1に基づいて、電力変換装置1において負荷短絡が発生したことを検出する。具体的には、負荷短絡検出回路111は、第1の基準時間 T_{ref1} を超えて第1の検出信号S1が第1の基準レベル V_{ref1} よりも高いレベルに維持された場合に、負荷短絡が発生したと判定する。負荷短絡検出回路111は、負荷短絡を検出した場合、短絡検出信号E1を非アクティブレベル“0”からアクティブレベル“1”に変更する。

[0045] 短絡検出回路120は、アーム短絡検出回路112が出力する短絡検出信号E2および負荷短絡検出回路111が出力する短絡検出信号E1に基づいて、電力変換装置1において何等かの短絡故障が発生したことを示す短絡検

出信号Eを生成する。この例において、短絡検出回路120は、OR回路であって、短絡検出信号E2と短絡検出信号E1の論理和を短絡検出信号Eとして出力する。ゲート駆動回路20は、短絡検出信号Eがアクティブレベル“1”に変化した場合に半導体スイッチ11を駆動する動作を停止する。

[0046] 図3A、図3Bおよび図3Cの各々は、第1実施形態の動作例を示す波形図である。図3Aには、(a)通常時、(b)アーム短絡の発生時および(c)負荷短絡の発生時の各々について、(1)導線52に流れる電流*i*の波形、(2)第2の検出信号S2の波形、(3)アーム短絡検出回路112内で生成されるレベル判定信号D2の波形、および(4)アーム短絡検出回路112が出力する短絡検出信号E2の波形が示されている。図3Bには、(a)通常時、(b)アーム短絡の発生時および(c)負荷短絡の発生時の各々について、(1)導線52に流れる電流*i*の波形、(2)第1の検出信号S1の波形、(3)負荷短絡検出回路111内で生成されるレベル判定信号D1の波形、および(4)負荷短絡検出回路111が出力する短絡検出信号E1の波形が示されている。また、図3Cには、(a)通常時、(b)アーム短絡の発生時および(c)負荷短絡の発生時の各々について、(1)導線52に流れる電流*i*の波形、(2)アーム短絡検出回路112が出力する短絡検出信号E2の波形、(3)負荷短絡検出回路111が出力する短絡検出信号E1の波形、および(4)短絡検出回路120が出力する短絡検出信号Eの波形が示されている。これらの図において、横軸は時間*t*を示す。縦軸は電圧、電流および真理値のいずれかを示す。

[0047] まず、図3Aを参照し、アーム短絡検出回路112の動作を説明する。アーム短絡検出回路112は、第2のロゴスキーコイル102から出力される第2の検出信号S2を第2の基準レベル*V_{ref2}*と比較する。アーム短絡検出回路112は、第2の検出信号S2が第2の基準レベル*V_{ref2}*を超過した場合にレベル判定信号D2をアクティブレベル“1”に設定する。アーム短絡の発生時には、時間勾配 di/dt の大きな電流*i*が導線52に流れる。従って、アーム短絡検出回路112には、このような大きな時間勾配

$d i / d t$ を検出することが求められる。このため、第2の基準レベル V_{ref2} は、アーム短絡が発生した場合の第2の検出信号 $S2$ と比較するのに適切な十分に大きな電圧を持つ。また、アーム短絡検出回路112は、レベル判定信号 $D2$ が第2の基準時間 T_{ref2} を超えてアクティブレベル“1”に維持された場合に短絡検出信号 $E2$ をアクティブレベル“1”に設定する。アーム短絡の発生時において、導線52に流れる時間勾配 $d i / d t$ の大きな電流 i は、半導体スイッチ11を瞬時に故障させる値を持つ。よって、アーム短絡の発生時において、時間勾配 $d i / d t$ の大きな電流 i が導線52に流れる時間は短い。このため、第2の基準時間 T_{ref2} は、アーム短絡を検出することができる十分に短い時間（例えば10nsから100nsのオーダー）である。

[0048] 通常時、半導体スイッチ11のターンオンにより、導線52に流れる電流 i が立ち上がる。この電流 i の立ち上がり期間において、電流 i の時間勾配 $d i / d t$ を示す第2の検出信号 $S2$ が第2の基準レベル V_{ref2} を超え、レベル判定信号 $D2$ がアクティブレベル“1”に維持される。しかし、電流 i の立ち上がり期間は短く、レベル判定信号 $D1$ がアクティブレベル“1”に維持される期間は、第2の基準時間 T_{ref2} より短い。従って、短絡検出信号 $E2$ がアクティブレベル“1”に変化することはない。

[0049] 負荷短絡の発生時は、半導体スイッチ11のターンオンにより、導線52に流れる電流 i が立ち上がる。その後、負荷短絡電流の経路に介在する自己インダクタンスにより定まる時間勾配で電流 i が増加する。この場合において、電流 i の立ち上がり期間、第2の検出信号 $S2$ が第2の基準レベル V_{ref2} を超える。しかし、通常時と同様、電流 i の立ち上がり期間は短い。これに加え、レベル判定信号 $D2$ がアクティブレベル“1”に維持される期間は、第2の基準時間 T_{ref2} より短い。従って、短絡検出信号 $E2$ がアクティブレベル“1”に変化することはない。

[0050] アーム短絡の発生時におけるアーム短絡検出回路112の動作は、次のようになる。各アーム10の半導体スイッチ11のターンオンにより、半導体

スイッチ 11 と直列接続された他のアーム 10 に短絡故障が発生している場合を想定する。この場合、導線 52 に流れる電流 i が当該電流 i の経路に介在する自己インダクタンスにより定まる時間勾配で立ち上がる。この結果、第 2 の検出信号 $S2$ が第 2 の基準レベル V_{ref2} を超え、レベル判定信号 $D2$ がアクティブレベル “1” に変化する。この場合、電流 i の立ち上がり期間は、通常時における電流 i の立ち上がり期間よりは長く、レベル判定信号 $D2$ は、第 2 の基準時間 T_{ref2} を超えてアクティブレベル “1” に維持される。このため、短絡検出信号 $E2$ がアクティブレベル “1” に変化する。

[0051] この例において、第 2 のロゴスキーコイル 102 は、第 2 の検出信号 $S2$ が範囲 $A2p$ 内または範囲 $A2n$ 内に収まる電流の時間勾配 di/dt を高精度で検出する。そして、第 2 の基準レベル V_{ref2} は、範囲 $A2p$ 内にある。そのため、アーム短絡検出回路 112 は、精度よくアーム短絡を検出することができる。

[0052] 次に図 3B を参照し、負荷短絡検出回路 111 の動作を説明する。負荷短絡検出回路 111 は、第 1 のロゴスキーコイル 101 から出力される第 1 の検出信号 $S1$ を第 1 の基準レベル V_{ref1} と比較する。負荷短絡検出回路 111 は、第 1 の検出信号 $S1$ が第 1 の基準レベル V_{ref1} を超過した場合に、レベル判定信号 $D1$ をアクティブレベル “1” に設定する。負荷短絡の発生時には、時間勾配 di/dt の小さな電流 i が導線 52 に流れる。従って、負荷短絡検出回路 111 には、このような小さな時間勾配 di/dt を検出することが求められる。このため、第 1 の基準レベル V_{ref1} は、負荷短絡が発生した場合の第 1 の検出信号 $S1$ と比較するのに適切な十分に小さな電圧を持つ。また、負荷短絡検出回路 111 は、レベル判定信号 $D1$ が第 1 の基準時間 T_{ref1} を超えてアクティブレベル “1” に維持された場合に、短絡検出信号 $E1$ をアクティブレベル “1” に設定する。負荷短絡の発生時において、導線 52 に流れる電流 i の時間勾配 di/dt が大きくなる時間は、通常時およびアーム短絡の発生時と比べて長い。このため、第

1の基準時間 T_{ref1} は、通常動作あるいはアーム短絡が負荷短絡であると誤認されることがない十分に長い時間（例えば基準時間 T_{ref1} の数十倍～数百倍）に設定される。

[0053] 通常時、半導体スイッチ11のターンオンにより、導線52に流れる電流 i が立ち上がる。その後、この電流 i の立ち上がり期間において、電流 i の時間勾配 di/dt を示す第1の検出信号 $S1$ が第1の基準レベル V_{ref1} を超え、レベル判定信号 $D1$ がアクティブレベル“1”に変化する。しかし、レベル判定信号 $D1$ がアクティブレベル“1”に維持される期間は、第1の基準時間 T_{ref1} より短い。従って、短絡検出信号 $E1$ がアクティブレベル“1”に変化することはない。

[0054] 半導体スイッチ11と直列接続された半導体スイッチが短絡故障した状態で、半導体スイッチ11のターンオンが発生すると、アーム短絡が発生する。この場合、導線52に流れる電流 i が、アーム短絡電流の経路に介在する自己インダクタンスにより定まる時間勾配で立ち上がる。この結果、第1の検出信号 $S1$ が第1の基準レベル V_{ref1} を超え、レベル判定信号 $D1$ がアクティブレベル“1”に変化する。しかしながら、アーム短絡の発生時においては、第2の検出信号 $S2$ も第2の基準レベル V_{ref2} を超え、レベル判定信号 $D2$ がアクティブレベル“1”に変化する。アーム短絡の検出に要する時間と負荷短絡の検出に要する時間との間には、 $T_{ref2} \ll T_{ref1}$ の関係がある。このため、アーム短絡が発生すると、短絡検出信号 $E2$ が短絡検出信号 $E1$ より先にアクティブレベル“1”に変化する。このため、アーム短絡の発生に起因して負荷短絡が検出されることはない。

[0055] 負荷短絡の発生時、半導体スイッチ11のターンオンにより、導線52に流れる電流 i が立ち上がる。その後、負荷短絡電流の経路に介在する自己インダクタンスにより定まる時間勾配で電流 i が増加する。このように、電流 i の立ち上がり直後から電流 i が一定の時間勾配で増加する期間において、第1の検出信号 $S1$ が第1の基準レベル V_{ref1} を超え、レベル判定信号 $D1$ がアクティブレベル“1”に変化する。負荷短絡の発生時、レベル判定

信号D1は、第1の基準時間 T_{ref1} を超えて、アクティブレベル“1”に維持される。従って、短絡検出信号E2がアクティブレベル“1”に変化する。

[0056] この例において、第1のロゴスキーコイル101は、第1の検出信号S1が範囲A1内に収まる電流の時間勾配 di/dt を高精度で検出する。そして、第1の基準レベル V_{ref1} は、範囲A2内にある。そのため、負荷短絡により発生する第1の検出信号S1を精度よく検出することができる。

[0057] 次に図3Cを参照し、短絡検出回路120の動作を説明する。図3Cに示すように、短絡検出回路120は、短絡検出信号E1と短絡検出信号E2の論理和を短絡検出信号Eとして出力する。従って、アーム短絡または負荷短絡が発生した場合には、短絡検出信号Eがゲート駆動回路20に出力される。これにより、ゲート駆動回路20によって、半導体スイッチ11の駆動が停止される。

[0058] 以上説明したように、本実施形態によれば、ロゴスキーコイルを利用して、電力変換装置において発生するアーム短絡および負荷短絡の両方を精度よく検出することができる。また、本実施形態によれば、短絡電流を検出するために、CT等のディスクリート部品を利用しないので、コストを下げ、かつ、短絡故障検出装置の大型化を回避することができる。

[0059] 以下、第1実施形態の各種具体例について説明する。

[0060] <第1具体例>

第1具体例は、2つのロゴスキーコイルに関する。ロゴスキーコイルの一つは、アーム短絡の発生時に適切な大きさの第2の検出信号S2を生成する第2のロゴスキーコイル102である。もう一つは、負荷短絡の発生時に適切な大きさの第1の検出信号S1を生成する第1のロゴスキーコイル101である。後述の第2および第3具体例についても同様である。

[0061] 図4は、第1実施形態の第1具体例を示す図である。第1具体例において、アーム短絡を検出するための第2のロゴスキーコイル102Aは、第1部分41と、第2部分42とを有する。第1部分41は、1本の導線（配線）

の一端から当該導線の所定点までの部分がトロイダルコイル状に巻かれた部分である。第2部分42は、当該導線の所定点からその他端までの部分がトロイダルコイルの中を通り、当該他端が当該一端まで戻る部分である。負荷短絡を検出するための第1のロゴスキーコイル101Aも、第1部分41と同様な第1部分43と、第2部分42と同様な第2部分44とを有する。第1具体例では、アーム短絡を検出するための第2のロゴスキーコイル102Aの巻き数 n_2 が、負荷短絡を検出するための第1のロゴスキーコイル101Aの巻き数 n_1 と異なる。具体的には、第2のロゴスキーコイル102Aの第1部分41の巻き数 n_2 と、第1のロゴスキーコイル101Aの第1部分43の巻き数 n_1 との間には、 $n_1 > n_2$ の関係がある。以下、その理由について説明する。

[0062] 各ロゴスキーコイルに誘起される電圧 v は、次式により与えられる。

$$v = -\mu \cdot (SQ \cdot n / LG) \cdot (di / dt) \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 μ は空気の透磁率（真空の透磁率と同じ）を示す。SQは各ロゴスキーコイルの磁路断面積を示す。nは各ロゴスキーコイルの巻き数を示す。LGは各ロゴスキーコイルの磁路長を示す。 di / dt は、各ロゴスキーコイルによって検出される電流 i の時間勾配を示す。磁路断面積SQとは、各ロゴスキーコイルの第1部分（41または43）を構成するトロイダルコイルにより囲まれた空間の断面積である。磁路長は、各ロゴスキーコイルのトロイダルコイルにより囲まれた空間の長さであり、第2部分（42または44）の長さに略等しい。

[0063] 式（4）を巻き数 n について解くと、次式が得られる。

$$n = - (LG \cdot v) / (\mu \cdot SQ \cdot (di / dt)) \quad \dots\dots (5)$$

式（5）は、電流の時間勾配 di / dt が小さい場合において、十分な大きさの電圧 v をロゴスキーコイルから得るためには、巻き数 n を増やす必要があることを示している。

[0064] 検出すべき電流の時間勾配 di / dt が小さいため、第1具体例においては、第1のロゴスキーコイル101Aの巻き数 n_1 が、第2のロゴスキーコ

イル 102 A の巻き数 n_2 よりも多い。具体的には、式 (5) において、アーム短絡の発生時における電流の時間勾配 di/dt が、負荷短絡の発生時における電流の時間勾配 di/dt の例えば 10 倍に設定され、これにより、巻き数 n_1 および n_2 が計算される。ログスキーコイル 101 A および 102 A は、式 (5) によって求められた巻き数 n_1 および n_2 をそれぞれ有するので、アーム短絡および負荷短絡の両者を精度良く検出することができる。

[0065] <第 2 具体例>

図 5 は、第 1 実施形態の第 2 具体例を示す図である。第 2 具体例では、アーム短絡を検出するための第 2 のログスキーコイル 102 B の磁路断面積 SQ_2 が、負荷短絡を検出するための第 1 のログスキーコイル 101 B の磁路断面積 SQ_1 と異なる。具体的には、磁路断面積 SQ_1 および SQ_2 間に、 $SQ_1 > SQ_2$ の関係がある。

[0066] 式 (5) を磁路断面積 SQ について解くと、次式が得られる。

$$SQ = -(LG \cdot v) / (\mu \cdot n \cdot (di/dt)) \quad \dots\dots (7)$$

式 (7) は、電流の時間勾配 di/dt が小さい場合において、十分な大きさの電圧 v をログスキーコイルから得るためには、磁路断面積 SQ を増やす必要があることを示している。

[0067] そこで、第 2 具体例においては、検出すべき電流の時間勾配 di/dt が小さいため、第 1 のログスキーコイル 101 B の磁路断面積 SQ_1 が、第 2 のログスキーコイル 102 B の磁路断面積 SQ_2 よりも大きい。具体的には、式 (7) において、アーム短絡の発生時の電流の時間勾配 di/dt を負荷短絡の発生時における電流の時間勾配 di/dt が、例えば 10 倍に設定され、これにより、磁路断面積 SQ_1 および SQ_2 が計算される。ログスキーコイル 101 B および 102 B は、式 (7) によって求められた磁路断面積 SQ_1 および SQ_2 をそれぞれ有するので、アーム短絡および負荷短絡の両者を精度良く検出することができる。

[0068] <第 3 具体例>

図6は、第1実施形態の第3具体例を示す図である。第3具体例では、アーム短絡を検出するための第2のロゴスキーコイル102Cの磁路長LG2が、負荷短絡を検出するための第1のロゴスキーコイル101Cの磁路長LG1と異なる。具体的には、磁路長LG1およびLG2間に、 $LG1 < LG2$ の関係がある。第1のロゴスキーコイル101Cの磁路長LG1が、第2のロゴスキーコイル102Cの磁路長LG2よりも短い。

[0069] 式(5)を磁路長LGについて解くと、次式が得られる。

$$LG = -(\mu \cdot SQ \cdot n \cdot (di/dt)) / v \quad \dots\dots (8)$$

第3具体例では、式(8)において、アーム短絡の発生時の電流の時間勾配 di/dt が、負荷短絡の発生時の電流の時間勾配 di/dt の例えば10倍に設定され、これにより、磁路長LG1およびLG2が計算される。ロゴスキーコイル101Cおよび102Cは、式(8)によって求められた磁路長LG1およびLG2をそれぞれ有するので、アーム短絡および負荷短絡の両者を精度良く検出することができる。

[0070] <第4具体例>

第4具体例は、第1のロゴスキーコイル101および第2のロゴスキーコイル102の実装に関する。図7Aおよび図7Bは、第1実施形態の第4具体例を示す図である。ここで、図7Aは、図7Bの半導体スイッチ11Dから見た第1のロゴスキーコイル101Dおよび第2のロゴスキーコイル102Dを示す図である。また、図7Bは、図7AのA-A'線断面図である。

[0071] 図7Bにおいて、半導体スイッチ11Dと主配線基板70との間には、多層配線基板が挟まれている。多層配線基板は、第1層配線基板61と、第2層配線基板62と、第3層配線基板63とを有する。第1層配線基板61は主配線基板70から離間し、第2層配線基板62は第1層配線基板61から離間し、第3層配線基板63は第2層配線基板62から離間し、半導体スイッチ11Dは第3層配線基板63から離間している。

[0072] 導線51および52は、図2の導線51および52にそれぞれ相当する。導線51は、半導体スイッチ11Dのソースに接続されている。導線52は

、半導体スイッチ 11D のドレインに接続されている。これらの導線 51 および 52 は、第 3 層配線基板 63 と、第 2 層配線基板 62 と、第 1 層配線基板 61 とを介して、主配線基板 70 に接続されている。半導体スイッチ 11D は、導線 51 または 52 と、主配線基板 70 とを介して、電力変換装置 1 に設けられた他の半導体スイッチまたは電源線に接続されている。

[0073] アーム短絡を検出するための第 2 のロゴスキーコイル 102D は、導線 51 を取り囲むように、第 1 層配線基板 61 と、第 2 層配線基板 62 と、第 3 層配線基板 63 に配置されている。また、負荷短絡を検出するための第 1 のロゴスキーコイル 101D は、導線 52 を取り囲むように、第 1 層配線基板 61 と、第 2 層配線基板 62 と、第 3 層配線基板 63 に配置されている。

[0074] さらに詳述すると、第 2 のロゴスキーコイル 102D は、第 1 部分 41 と、第 2 部分 42 とを有する。第 1 部分 41 は、1 本の導線（配線）の一端から当該導線の所定点までの部分がトロイダルコイル状に巻かれた部分である。第 2 部分 42 は、当該導線の所定点からその他端までの部分がトロイダルコイルの中を通り、当該他端が当該一端まで戻る部分である。第 2 部分 42 は、第 2 層配線基板 62 に配置される。また、第 1 部分 41 は、(i) 第 1 層配線基板 61 上の配線と、(i i) 第 2 層配線基板 62 に配置されたスルーホールを介して第 1 層配線基板 61 から第 3 層配線基板 63 に至る配線と、(i i i) 第 3 層配線基板 63 上の配線とにより構成される。第 1 のロゴスキーコイル 101D も、第 2 のロゴスキーコイル 102D の第 1 部分 41 と同様な第 1 部分 43 と、第 2 部分 42 と同様な第 2 部分 44 を有する。

[0075] 第 4 具体例においても、アーム短絡および負荷短絡の双方を精度よく検出することができる。また、第 4 具体例では、前掲図 2 の構成と異なり、第 2 のロゴスキーコイル 102D が半導体スイッチ 11D のソースに対応する位置に配置され、第 1 のロゴスキーコイル 101D が半導体スイッチ 11D のドレインに対応する位置に配置されている。すなわち、第 4 具体例では、アーム 10 を経由する電流経路において、半導体スイッチ 11D のソースに接続された導線 51 に第 2 のロゴスキーコイル 102D が配置されている。更

に、半導体スイッチ 11D のドレインに接続された導線 52 に第 1 のロゴスキーコイル 101D が配置されている。つまり、アーム 10 を経由する電流経路に、第 2 のロゴスキーコイル 102D、半導体スイッチ 11D および第 1 のロゴスキーコイル 101D が順に配置されている。このため、図 7B に示すように、2 つのロゴスキーコイルをアームの下に配置することができる。第 4 具体例では、互いに直列接続された 2 つの半導体スイッチ 11D の間の配線長と、コンデンサ 30（図 1 参照）の配線長とを短くすることができる。

[0076] <第 5 具体例>

図 8 は、第 1 実施形態の第 5 具体例を示す図である。第 5 具体例では、ブスバー 104 を覆うように、アーム短絡を検出するための第 2 のロゴスキーコイル 102E と、負荷短絡を検出するための第 1 のロゴスキーコイル 101E が配置される。ブスバー 104 は、被測定電流経路の一例である。そして、第 5 具体例では、第 2 のロゴスキーコイル 102E と第 1 のロゴスキーコイル 101E との間に、シールド板 103 が配置される。シールド板 103 は、例えば、金属である。第 5 具体例によれば、第 2 のロゴスキーコイル 102E に流れる電流と第 1 のロゴスキーコイル 101E に流れる電流とが互いに干渉しあうのを防ぐことができる。

[0077] <第 1 実施形態の変形例>

第 1 実施形態は、以下のように変形し得る。

[0078] (1) 第 1 実施形態では、短絡故障検出装置を 4 個のアームを有する 2 相のインバータに適用した。しかし、短絡故障検出装置の適用範囲はこれに限定されるものではない。短絡故障検出装置は、2 相以外の相数のインバータ、例えば 3 相のインバータに適用してもよい。また、短絡故障検出装置は、インバータ以外の電力変換装置、例えば DC/DC コンバータに適用してもよい。

[0079] (2) 第 1 実施形態では、半導体スイッチの例として MOSFET を挙げたが、半導体スイッチはこれに限定されるものではなく、例えば、IGBT (I

nsulated Gate Bipolar Transistor ; 絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ)
等)の他の半導体スイッチであってもよい。

[0080] (3) 上記第1具体例～第5具体例のうちの任意の2つ、3つ、4つまたは全部を組み合わせてもよい。例えば第2のロゴスキーコイル102の巻き数よりも第1のロゴスキーコイル101の巻き数が多く、かつ、第2のロゴスキーコイル102の断面積よりも第1のロゴスキーコイル101の断面積が大きくてもよい。さらに、第2のロゴスキーコイル102の磁路長よりも第1のロゴスキーコイル101の磁路長が短くてもよい。

[0081] (4) 第4具体例では、第2のロゴスキーコイル102Dおよび第1のロゴスキーコイル101Dの両方が、第1層配線基板61、第2層配線基板62および第3層配線基板63に配置されたが、第1のロゴスキーコイル101Dおよび第2のロゴスキーコイル102Dの少なくとも一方が配線基板(第1層配線基板61、第2層配線基板62および第3層配線基板63)に配置されていればよい。

また、第4具体例では、アーム10を経由する電流経路に、第2のロゴスキーコイル102D、半導体スイッチ11Dおよび第1のロゴスキーコイル101Dが順に配置されている。しかしながら、これとは逆に、アーム10を経由する電流経路に、第1のロゴスキーコイル101D、半導体スイッチ11Dおよび第2のロゴスキーコイル102Dが順に配置されていてもよい。つまり、半導体スイッチ11Dおよび第1のロゴスキーコイル101Dは、その順に配置されていてもよいし、その逆順に配置されていてもよい。

[0082] (5) 第1実施形態では、アーム短絡検出回路112、負荷短絡検出回路111および短絡検出回路120は個別であるが、これらの回路が一つの回路であっても良い。

[0083] (6) 第1実施形態では、短絡検出信号Eがゲート駆動回路20に入力されていたが、短絡検出信号E1、E2を直接ゲート駆動回路20に入力しても良い。また、次のように、短絡検出信号によって保護動作を変えても良い。

(i) 短絡検出信号E2が出力された場合は、アーム短絡が発生している。こ

のため、ゲート駆動回路 20 の停止後にゲート駆動回路 20 の再起動を禁止してもよい。(ii) 短絡検出信号 E 1 が出力された場合は、負荷短絡が発生している。このため、ゲート駆動回路 20 の停止後に負荷の短絡が解除されれば、ゲート駆動回路 20 を再起動してもよい。

[0084] 2. 第 2 実施形態

以下、図面を参照しつつ、第 2 実施形態について説明する。図 9 は、第 2 実施形態における電力変換装置 1 A の構成を示す回路図である。電力変換装置 1 A において、コンデンサ 30 は、直流電源 40 によって充電され、直流電圧を安定化させる。コンデンサ 30 の両端子には、アーム 10__1 および 10__2 が直列接続されている。これに加え、同両端子には、アーム 10__3 および 10__4 が直列接続されている。更に、同両端子には、アーム 10__5 および 10__6 が直列接続されている。そして、アーム 10__1 および 10__2 間に共通接続ノード ND 1 があり、アーム 10__3 および 10__4 間に共通接続ノード ND 2 があり、アーム 10__5 および 10__6 間に共通接続ノード ND 3 がある。これらのノード ND 1, ND 2 および ND 3 に対し、負荷 Z (例えば、モータの巻き線) が接続される。アーム 10__1 ~ 10__6 の各々は、半導体スイッチを含む。ゲート駆動回路 20__1 ~ 20__6 は、アーム 10__1 ~ 10__6 にそれぞれ対応している。ゲート駆動回路 20__1 ~ 20__6 の各々は、ゲート信号を、対応するアームの半導体スイッチのゲートに与えることにより、当該半導体スイッチを駆動する。このように電力変換装置 1 A は、各々が半導体スイッチを含む 2 以上のアーム 10__1 ~ 10__6 を有しており、これらのアームを介して直流電源 40 から負荷 Z に電力を供給する。

[0085] ここで、アーム 10__2 に着目し、アーム短絡について述べる。電源の短絡を防止するため、互いに直列接続された 2 つの半導体スイッチ 10__1 および 10__2 は、同時にターンオンしないように制御される。この点については、第 1 実施形態と同様である。一例として、半導体スイッチ 10__1 が OFF に制御され、半導体スイッチ 10__2 が ON に制御される場合を述べ

る。仮に、当該アーム 10__1 に短絡故障が発生している状態で、アーム 10__2 の半導体スイッチがターンオンした場合、半導体スイッチ 10__1 の意図しない短絡により、アーム 10__2 の半導体スイッチにアーム短絡電流が流れる。このほか、アーム 10__1 に短絡故障が発生していなくても、アーム 10__1 の半導体スイッチの誤動作によるターンオンにより、アーム 10__2 の半導体スイッチにアーム短絡電流が流れる。また、電力変換装置 1A において、負荷 Z の短絡故障が発生した場合には、アーム 10__2 に負荷短絡電流が流れる。

[0086] このようなアーム短絡電流または負荷短絡電流が長時間に亘ってアーム 10__2 に流れると、アーム 10__2 の正常な半導体スイッチが破壊に至る恐れがある。そこで短絡故障検出装置 100__2 がアーム 10__2 に対応して設けられる。他のアーム 10__1、10__3～10__6 にも同様なアーム短絡電流および負荷短絡電流が流れる可能性がある。そこで、本実施形態では、電力変換装置 1A は、P 個（P は 2 以上の正の整数。例えば、 $P=6$ 。）のアームのうちの Q 個（Q は P より小さい正の整数。例えば、 $Q=3$ 。）のアームにそれぞれ対応する Q 個の短絡故障検出装置を有する。つまり、6 個のアーム 10__1～10__6 のうちの一部のアームの各々に短絡故障検出装置が設けられる。図 9 の例では、アーム 10__2、10__4 および 10__6 に、短絡故障検出装置 100__2、100__4 および 100__6 がそれぞれに設けられる。これらのアーム 10__2、10__4 および 10__6 は、全アームのうちの半数に当たる（つまり、 $Q=P/2$ ）。

[0087] 以下では、アーム 10__1～10__6 の各々を区別する必要がない場合に、アーム 10__1～10__6 をアーム 10 と総称する。同様に、ゲート駆動回路 20__1～20__6 をゲート駆動回路 20 と総称する。短絡故障検出装置 100__2、100__4 および 100__6 を短絡故障検出装置 100 と総称する。

[0088] 本実施形態において、アーム 10__2、10__4 および 10__6 に対して、短絡故障検出装置 100__2、100__4 および 100__6 をそれぞれ設

けた理由は次の通りである。

[0089] アーム短絡電流が通過する電流経路には、次の3つのパターンがある。

(1) アーム10__1および10__2を通る電流経路R12：アーム10__1または10__2の一方に短絡故障が発生すると、この電流経路R12にアーム短絡電流が流れる。

(2) アーム10__3および10__4を通る電流経路R34：アーム10__3または10__4の一方に短絡故障が発生すると、この電流経路R34にアーム短絡電流が流れる。

(3) アーム10__5および10__6を通る電流経路R56：アーム10__5または10__6の一方に短絡故障が発生すると、この電流経路R56にアーム短絡電流が流れる。

[0090] 全ての電流経路についてアーム短絡電流を検出するためには、(i) アーム10__1または10__2の一方と、(ii) アーム10__3または10__4の一方と、(iii) アーム10__5または10__6の一方に短絡故障検出装置100を設ける必要がある。これが条件1である。

[0091] 負荷短絡電流が通過する電流経路には、次の6つのパターンがある。

(1) アーム10__1および10__4を通る電流経路R14：負荷Zを通る、アーム10__1から10__4までの区間に短絡故障が発生すると、この電流経路R14に負荷短絡電流が流れる。

(2) アーム10__3および10__2を通る電流経路R32：負荷Zを通る、アーム10__3から10__2までの区間に短絡故障が発生すると、この電流経路R32に負荷短絡電流が流れる。

(3) アーム10__3および10__6を通る電流経路R36：負荷Zを通る、アーム10__3から10__6までの区間に短絡故障が発生すると、この電流経路R36に負荷短絡電流が流れる。

(4) アーム10__5および10__4を通る電流経路R54：負荷Zを通る、アーム10__5から10__4までの区間に短絡故障が発生すると、この電流経路R54に負荷短絡電流が流れる。

(5) アーム 10__5 および 10__2 を通る電流経路 R 5 2 : 負荷 Z を通る、アーム 10__5 から 10__2 までの区間に短絡故障が発生すると、この電流経路 R 5 2 に負荷短絡電流が流れる。

(6) アーム 10__1 および 10__6 を通る電流経路 R 1 6 : 負荷 Z を通る、アーム 10__1 から 10__6 までの区間に短絡故障が発生すると、この電流経路 R 1 6 に負荷短絡電流が流れる。

[0092] 全ての電流経路について負荷短絡電流を検出するためには、(i) アーム 10__1 または 10__4 の一方と、(i i) アーム 10__3 または 10__2 の一方と、(i i i) アーム 10__3 または 10__6 の一方と、(iv) アーム 10__5 または 10__4 の一方と、(v) アーム 10__5 または 10__2 の一方と、(vi) アーム 10__1 または 10__6 の一方に短絡故障検出装置 100 を設ける必要がある。これが条件 2 である。

[0093] 条件 1 および 2 の両方を満たすための方法には、次の 2 つがある。第 1 の方法は、アーム 10__1、10__3 および 10__5 に短絡故障検出装置 100 を設けることである。第 2 の方法は、アーム 10__2、10__4 および 10__6 に短絡故障検出装置 100 を設けることである。本実施形態では、全ての電流経路について、アーム短絡電流および負荷短絡電流を検出するために第 2 の方法を採用している。

[0094] 図 10 は、第 2 実施形態における短絡故障検出装置 100 の構成例を示す回路図である。なお、図 10 には、短絡故障検出装置 100 に関する理解を容易にするため、アーム 10 およびゲート駆動回路 20 が短絡故障検出装置 100 とともに示されている。

[0095] 図 10 において、各アーム 10 は、半導体スイッチ 11 と、半導体スイッチ 11 に逆並列接続されたフライホイールダイオード 12 とを含む。半導体スイッチ 11 およびゲート駆動回路 20 は、第 1 実施形態のものと同様なので、その詳細な説明を省略する。

[0096] 図 10 に示す例では、第 1 のロゴスキーコイル 101 および第 2 のロゴスキーコイル 102 に導線 52 が挿入されている。第 1 のロゴスキーコイル 1

０１および第２のロゴスキーコイル１０２は、第１実施形態のものと同様なので、その詳細な説明を省略する。

[0097] アーム短絡検出回路１１２は、第２の検出信号Ｓ２に基づいて、電力変換装置１Ａにおいてアーム短絡が発生したことを検出する回路である。アーム短絡検出回路１１２は、第１実施形態のものと同様なので、その詳細な説明を省略する。

[0098] 負荷短絡検出回路１１１は、第１の検出信号Ｓ１に基づいて、電力変換装置１Ａにおいて負荷短絡が発生したことを検出する回路である。負荷短絡検出回路１１１は、第１実施形態のものと同様なので、その詳細な説明を省略する。

[0099] 遮断制御回路１２１は、アーム短絡検出回路１１２が出力する短絡検出信号Ｅ２および負荷短絡検出回路１１１が出力する短絡検出信号Ｅ１に基づいて、電力変換装置１Ａにおいて何等かの短絡故障が発生したことを検出する。この場合、遮断制御回路１２１は、短絡検出信号Ｅを生成する。この例において、遮断制御回路１２１は、ＯＲ回路を含み、当該ＯＲ回路は、短絡検出信号Ｅ１と短絡検出信号Ｅ２の論理和を短絡検出信号Ｅとして生成する。

[0100] また、遮断制御回路１２１は、短絡検出信号Ｅを生成した場合に、アーム短絡電流または負荷短絡電流を遮断するための制御を行う。さらに詳述すると、遮断制御回路１２１は、短絡検出信号Ｅ２が発生した場合には、遮断信号Ｃを出力する。遮断信号Ｃは、短絡故障検出装置１００が設けられたアーム１０（例えば、１０__２）の半導体スイッチ１１と、短絡故障検出装置１００が設けられていないアーム１０（例えば、１０__１）の半導体スイッチ１１の駆動を停止させるための信号である。具体的には、図９の短絡故障検出装置１００__２においてアーム短絡（短絡検出信号Ｅ２）が発生した場合を想定する。この場合、短絡故障検出装置１００__２の遮断制御回路１２１は、アーム短絡電流の検出されたアーム１０__２のゲート駆動回路２０__２に遮断信号Ｃ２を出力し、アーム１０__１のゲート駆動回路２０__１に遮断信号Ｃ１を出力する。

また、当該遮断制御回路 121 は、短絡検出信号 E1 が発生した場合には、負荷短絡電流が検出されたアーム 10 のゲート駆動回路 20 に対し、当該アーム 10 の半導体スイッチ 11 の駆動を停止させる遮断信号 C を出力する。

[0101] また、遮断制御回路 121 は、短絡検出信号 E が発生した場合に、故障信号 F を制御装置 1000 に対して出力する。故障信号 F を受け取った制御装置 1000 は、電力変換装置 1A を停止させる制御を開始する。

[0102] 図 11A、図 11B および図 11C の各々は、第 2 実施形態の動作例を示す波形図である。図 11A には、(a) 通常時、(b) アーム短絡の発生時および (c) 負荷短絡の発生時の各々について、(1) 導線 52 に流れる電流 i の波形、(2) 第 2 の検出信号 S2 の波形、(3) アーム短絡検出回路 112 内で生成されるレベル判定信号 D2 の波形、および (4) アーム短絡検出回路 112 が出力する短絡検出信号 E2 の波形が示されている。図 11B には、(a) 通常時、(b) アーム短絡の発生時および (c) 負荷短絡の発生時の各々について、(1) 導線 52 に流れる電流 i の波形、(2) 第 1 の検出信号 S1 の波形、(3) 負荷短絡検出回路 111 内で生成されるレベル判定信号 D1 の波形、および (4) 負荷短絡検出回路 111 が出力する短絡検出信号 E1 の波形が示されている。また、図 11C には、(a) 通常時、(b) アーム短絡の発生時および (c) 負荷短絡の発生時の各々について、(1) 導線 52 に流れる電流 i の波形、(2) アーム短絡検出回路 112 が出力する短絡検出信号 E2 の波形、(3) 負荷短絡検出回路 111 が出力する短絡検出信号 E1 の波形、および (4) 遮断制御回路 121 が出力する短絡検出信号 E の波形が示されている。これらの図において、横軸は時間 t を示す。縦軸は電圧、電流または真理値のいずれかを示す。

[0103] まず、図 11A を参照し、アーム短絡検出回路 112 の動作を説明する。アーム短絡検出回路 112 は、第 2 のログスキーコイル 102 から出力される第 2 の検出信号 S2 を第 2 の基準レベル V_{ref2} と比較する。アーム短絡検出回路 112 は、第 2 の検出信号 S2 が第 2 の基準レベル V_{ref2} を

超過した場合に、レベル判定信号D 2をアクティブレベル“1”に設定する。この点については、第1実施形態と同様である。また、アーム短絡検出回路1 1 2は、レベル判定信号D 2が第2の基準時間T r e f 2を超えてアクティブレベル“1”に維持された場合に、アーム短絡検出信号E 2をアクティブレベル“1”に設定する。この点についても、第1実施形態と同様である。

[0104] 通常時、半導体スイッチ1 1のターンオンにより、導線5 2に流れる電流 i が立ち上がる。この電流 i の立ち上がり期間において、電流 i の時間勾配 di/dt を示す第2の検出信号S 2が第2の基準レベルV r e f 2を超え、レベル判定信号D 2がアクティブレベル“1”に維持される。この点については、第1実施形態と同様である。第1実施形態において述べた同じ理由により、短絡検出信号E 2がアクティブレベル“1”に変化することはない。

[0105] 負荷短絡の発生時は、半導体スイッチ1 1のターンオンにより、導線5 2に流れる電流 i が立ち上がる。その後、負荷短絡電流の経路に介在する自己インダクタンスにより定まる時間勾配で電流 i が増加する。この点については、第1実施形態と同様である。第1実施形態において述べた同じ理由により、短絡検出信号E 2がアクティブレベル“1”に変化することはない。

[0106] アーム短絡の発生時におけるアーム短絡検出回路1 1 2の動作は、第1実施形態におけるアーム短絡検出回路1 1 2の動作と同様である。レベル判定信号D 2は、第2の基準時間T r e f 2を超えてアクティブレベル“1”に維持される。第1実施形態において述べた同じ理由により、短絡検出信号E 2がアクティブレベル“1”に変化する。

[0107] この例において、第2のロゴスキーコイル1 0 2は、第2の検出信号S 2が範囲A 2 p内または範囲A 2 n内に収まる電流の時間勾配 di/dt を高精度で検出する。そして、第2の基準レベルV r e f 2は、範囲A 2 p内にある。そのため、アーム短絡検出回路1 1 2は、精度よくアーム短絡を検出することができる。

[0108] 次に図 1 1 B を参照し、負荷短絡検出回路 1 1 1 の動作を説明する。負荷短絡検出回路 1 1 1 は、第 1 のロゴスキーコイル 1 0 1 から出力される第 1 の検出信号 S_1 を第 1 の基準レベル V_{ref1} と比較する。負荷短絡検出回路 1 1 1 は、第 1 の検出信号 S_1 が第 1 の基準レベル V_{ref1} を超過した場合に、レベル判定信号 D_1 をアクティブレベル “1” に設定する。この点については、第 1 実施形態と同様である。また、負荷短絡検出回路 1 1 1 は、レベル判定信号 D_1 が第 1 の基準時間 T_{ref1} を超えてアクティブレベル “1” に維持された場合に、短絡検出信号 E_1 をアクティブレベル “1” に設定する。この点についても、第 1 実施形態と同様である。

[0109] 通常時、半導体スイッチ 1 1 のターンオンにより、導線 5 2 に流れる電流 i が立ち上がる。その後、この電流 i の立ち上がり期間において、電流 i の時間勾配 di/dt を示す第 1 の検出信号 S_1 が第 1 の基準レベル V_{ref1} を超え、レベル判定信号 D_1 がアクティブレベル “1” に変化する。この点については、第 1 実施形態と同様である。第 1 実施形態において述べた同じ理由により、短絡検出信号 E_1 がアクティブレベル “1” に変化することはない。

[0110] 半導体スイッチ 1 1 と直列接続された半導体スイッチが短絡故障した状態で、半導体スイッチ 1 1 のターンオンが発生すると、アーム短絡が発生する。この場合、第 1 実施形態において述べた同じ理由により、第 1 の検出信号 S_1 が第 1 の基準レベル V_{ref1} を超え、レベル判定信号 D_1 がアクティブレベル “1” に変化する。しかしながら、アーム短絡の発生時には、第 2 の検出信号 S_2 も第 2 の基準レベル V_{ref2} を超え、レベル判定信号 D_2 がアクティブレベル “1” に変化する。また、第 1 実施形態において述べた同じ理由により、アーム短絡の発生に起因して負荷短絡が検出されることはない。

[0111] 負荷短絡の発生時、電流 i の立ち上がり直後から電流 i が一定の時間勾配で増加する期間において、第 1 の検出信号 S_1 が第 1 の基準レベル V_{ref1} を超え、レベル判定信号 D_1 がアクティブレベル “1” に変化する。この

点については、第1実施形態と同様である。また、第1実施形態において述べた同じ理由により、短絡検出信号E1がアクティブレベル“1”に変化する。

[0112] この例において、第1のロゴスキーコイル101は、第1の検出信号S1が範囲A1内に収まる電流の時間勾配 di/dt を高精度で検出する。そして、第1の基準レベルVref1は、範囲A1内にある。そのため、負荷短絡により発生する第1の検出信号S1を精度よく検出することができる。

[0113] 次に図11Cを参照し、遮断制御回路121の動作を説明する。図11Cに示すように、遮断制御回路121は、短絡検出信号E1と短絡検出信号E2の論理和を短絡検出信号Eとして出力する。従って、アーム短絡または負荷短絡が発生した場合には、短絡検出信号Eがゲート駆動回路20に出力される。これにより、ゲート駆動回路20によって、半導体スイッチ11の駆動が停止される。

[0114] 次に第2実施形態の全体的な動作例について説明する。図12は、第2実施形態の第1動作例を示す回路図である。第1動作例では、アーム10__1に短絡故障が発生している。なお、図12に示す「X (cross)」印は、当該短絡故障を表す。このことは、図13および図14についても同様である。例えば、この短絡故障は、アーム10__1の半導体スイッチ11の故障である。例えば、この短絡故障は、ノイズ等によって、半導体スイッチ11の誤動作によってONになる事象でもあり得る。第1動作例では、アーム10__1の短絡故障に起因したアーム短絡電流が、ON状態のアーム10__2に流れている。

[0115] アーム10__2に対応する短絡故障検出装置100__2は、アーム短絡検出回路112が短絡検出信号E2を生成する。遮断制御回路121がアーム10__2のゲート駆動回路20__2に遮断信号C2を出力し、アーム10__1のゲート駆動回路20__1に遮断信号C1を出力する。これにより、アーム10__1および10__2を通る電流経路に流れるアーム短絡電流が遮断される。また、短絡故障検出装置100__2では、遮断制御回路121が制御

装置 1000 に対して故障信号 F 2 を出力する。これにより、制御装置 1000 は、電力変換装置 1 を停止させるための制御を開始する。

[0116] 図 13 は、第 2 実施形態の第 2 動作例を示す回路図である。第 2 動作例では、アーム 10__1 が ON 状態であるときに、アーム 10__1 に接続されたアーム 10__2 に短絡故障が発生し、アーム短絡電流がアーム 10__1 を介してアーム 10__2 に流れている。

[0117] この場合も、アーム 10__2 に対応する短絡故障検出装置 100__2 では、アーム短絡検出回路 112 が短絡検出信号 E 2 を生成する。遮断制御回路 121 がアーム 10__2 のゲート駆動回路 20__2 に遮断信号 C 2 を出力し、アーム 10__1 のゲート駆動回路 20__1 に遮断信号 C 1 を出力する。これにより、アーム 10__1 が ON 状態から OFF 状態に変化する。その結果、アーム 10__1 および 10__2 を通る電流経路に流れるアーム短絡電流が遮断される。また、この場合も、短絡故障検出装置 100__2 では、遮断制御回路 121 が制御装置 1000 に対して故障信号 F 2 を出力する。

[0118] 図 14 は、本実施形態の第 3 動作例を示す回路図である。第 3 動作例では、負荷 Z を通り、アーム 10__1 から 10__4 までの区間に短絡が発生した場合を想定する。この場合において、アーム 10__1 および 10__4 が ON 状態であるときに、負荷短絡電流がアーム 10__1 および 10__4 に流れている。

[0119] アーム 10__4 に対応する短絡故障検出装置 100__4 では、負荷短絡検出回路 111 が短絡検出信号 E 1 を生成し、遮断制御回路 121 がアーム 10__4 のゲート駆動回路 20__4 に遮断信号 C 4 を出力する。これにより、アーム 10__1 および 10__4 を通る電流経路に流れる負荷短絡電流が遮断される。また、短絡故障検出装置 100__4 では、遮断制御回路 121 が制御装置 1000 に対して故障信号 F 2 を出力する。

[0120] 以上説明したように、電力変換装置 1 A は、P 個（例えば、P = 6）のアーム 10 のうちの Q 個（例えば、Q = 3）のアーム（例えば、10__2, 10__4, 10__6）にそれぞれ対応する Q 個の短絡故障検出装置（例えば、

100_2, 100_4, 100_6)を有する。つまり、全てのアームのうちの一部のアームのみに短絡故障検出装置が設けられる。6個の短絡故障検出装置100の各々は、負荷の短絡により、対応するアーム（例えば、10_2）に流れる電流に応じた第1の検出信号S1を出力する第1のロゴスキーコイル101を有し、第1の検出信号S1およびに基づいて短絡故障を検出する。これに加え、各短絡故障検出装置100は、対応するアーム（例えば、10_2）または6個のアーム10のうちの他のアーム（例えば、10_1）の短絡により、当該対応するアームに流れる電流に応じた第2の検出信号S2を出力する第2のロゴスキーコイル102を有し、第2の検出信号S2に基づいて短絡故障を検出する。

[0121] 本実施形態によれば、ロゴスキーコイルを利用して、電力変換装置1Aにおいて発生するアーム短絡および負荷短絡の両方を精度よく検出することができる。また、本実施形態によれば、短絡電流を検出するために、CT等のディスクリート部品を利用しないので、コストを下げ、かつ、短絡故障検出装置の大型化を回避することができる。

[0122] また、本実施形態では、Q個の短絡故障検出装置100の各々は、遮断制御回路121を含む。遮断制御回路121は、短絡故障を検出した場合に、対応するアーム（例えば、10_2）の半導体スイッチ11と、Q個の短絡故障検出装置のいずれにも設けられていない他のアーム（例えば、10_1）の半導体スイッチ11との駆動を停止する。従って、複数のアーム10の各々の半導体スイッチ11を短絡故障から保護しつつ、電力変換装置1Aの小型化および低コスト化を実現することができる。

[0123] 本実施形態では、2つのロゴスキーコイルが必要である。その一つは、負荷短絡の発生時に適切な大きさの第1の検出信号S1を生成する第1のロゴスキーコイル101であり、もう一つは、アーム短絡の発生時に適切な大きさの第2の検出信号S2を生成する第2のロゴスキーコイル102である。以下、第2実施形態における第1のロゴスキーコイル101および第2のロゴスキーコイル102の具体例を挙げる。

[0124] <第1具体例>

第1具体例では、アーム短絡を検出するための第2のロゴスキーコイル102の巻き数 n_2 が、負荷短絡を検出するための第1のロゴスキーコイル101の巻き数 n_1 と異なる。この点については、第1実施形態の第1具体例と同様である。この第1具体例から得られる効果も、第1実施形態の第1具体例の効果と同様である。

[0125] <第2具体例>

第2具体例では、負荷短絡を検出するための第1のロゴスキーコイル101の磁路断面積 S_{Q1} が、アーム短絡を検出するための第2のロゴスキーコイル102の磁路断面積 S_{Q2} が異なる。この点については、第1実施形態の第2具体例と同様である。この第2具体例から得られる効果も、第1実施形態の第2具体例の効果と同様である。

[0126] <第3具体例>

第3具体例では、負荷短絡を検出するための第1のロゴスキーコイル101の磁路長 L_{G1} が、アーム短絡を検出するための第2のロゴスキーコイル102の磁路長 L_{G2} と異なる。この点については、第1実施形態の第3具体例と同様である。この第3具体例から得られる効果も、第1実施形態の第3具体例の効果と同様である。

[0127] <第4具体例>

第4具体例は、第1のロゴスキーコイル101および第2のロゴスキーコイル102の実装に関する。図15Aおよび図15Bは、第2実施形態の第4具体例を示す図である。ここで、図15Aは、図7Bの半導体スイッチ11から見た第1のロゴスキーコイル101および第2のロゴスキーコイル102を示す図である。また、図15Bは、図15AのA-A'線断面図である。

[0128] 図15Bにおいて、半導体スイッチ11と主配線基板70との間には、多層配線基板が挟まれている。多層配線基板は、第1層配線基板61と、第2層配線基板62と、第3層配線基板63とを有する。この点については、第

1 実施形態の第4 具体例と同様である。

[0129] 導線5 1 および5 2 は、図1 0の導線5 1 および5 2 にそれぞれ相当する。導線5 1 は、半導体スイッチ1 1のソースに接続されている。導線5 2 は、半導体スイッチ1 1のドレインに接続されている。これらの点については、第1 実施形態の第4 具体例と同様である。

[0130] アーム短絡を検出するための第2のロゴスキーコイル1 0 2は、導線5 1を取り囲むように、第1層配線基板6 1と、第2層配線基板6 2と、第3層配線基板6 3に配置されている。また、負荷短絡を検出するための第1のロゴスキーコイル1 0 1は、導線5 2を取り囲むように、第1層配線基板6 1と、第2層配線基板6 2と、第3層配線基板6 3に配置されている。これらの点についても、第1 実施形態の第4 具体例と同様である。

[0131] この第4 具体例においても、第1 実施形態の第4 具体例の効果と同様の効果が得られる。つまり、アーム短絡および負荷短絡の双方を精度よく検出することができる。また、アーム1 0を経由する電流経路に、第2のロゴスキーコイル1 0 2 D、半導体スイッチ1 1 Dおよび第1のロゴスキーコイル1 0 1 Dが順に配置されている。このため、第4 具体例では、互いに直列接続された2つの半導体スイッチ1 1の間の配線長と、コンデンサ3 0（図9参照）の配線長とを短くすることができる。

[0132] <第5 具体例>

第5 具体例では、ブスバーを覆うように、アーム短絡を検出するための第2のロゴスキーコイル1 0 2と、負荷短絡を検出するための第1のロゴスキーコイル1 0 1が配置される。この点については、第1 実施形態の第5 具体例と同様である。第5 具体例から得られる効果も、第1 実施形態の第5 具体例の効果と同様である。

[0133] 図1 6は、第2 実施形態における短絡故障検出装置1 0 0の他の電力変換装置への適用例を示す回路図である。図1 6には適用例として降圧チョッパ1 2 2が示されている。図1 6において、上述した図9および図1 0に示された部分に対応する部分には同一の符号が付されている。

[0134] 図16において、アーム10は、半導体スイッチ11と、半導体スイッチ11に逆並列接続されたフライホイールダイオード12とを含む。この例においても、半導体スイッチ11は、MOSFETである。半導体スイッチ11のドレインは、導線51を介して、直流電源40の正極およびコンデンサ30の一方の電極に接続されている。半導体スイッチ11のソースは、導線52を介して、ダイオード302のカソードに接続されている。ダイオード302のアノードは、直流電源40の負極およびコンデンサ30の他方の電極に接続されている。すなわち、ダイオード302は、アーム10に直列接続されている。リアクトル301および負荷Zaは、互いに直列接続されており、ダイオード302は、これらリアクトル301および負荷Zaに並列接続されている。ゲート駆動回路20は、半導体スイッチ11に対してゲート信号を供給することにより半導体スイッチ11のONまたはOFFを制御する。

[0135] 半導体スイッチ11がONである期間、導線51、半導体スイッチ11、導線52およびリアクトル301を介して、コンデンサ30から負荷Zaに電流が流れる。半導体スイッチ11がOFFに変化すると、リアクトル301に蓄積された電気エネルギーが放出される。そして、リアクトル301、負荷Zaおよびダイオード302によって構成されるループに電流が流れる。このように、電力変換装置としての降圧チョッパ122は、半導体スイッチ11を含むアーム10を介して負荷Zaに電力を供給する。

[0136] 図16に示す構成では、半導体スイッチ11およびダイオード302間の導線52が第1のログスキーコイル101および第2のログスキーコイル102に挿通されている。第1のログスキーコイル101は、負荷短絡電流の検出に最適化されたコイルである。第2のログスキーコイル102は、ダイオード302の短絡故障によりアーム10に流れる短絡電流の検出に最適化されたコイルである。

[0137] アーム短絡検出回路112は、第2のログスキーコイル102から得られる第2の検出信号S2に基づいて、降圧チョッパ122においてダイオード

302の短絡故障が発生したことを検出する回路である。具体的には、アーム短絡検出回路112は、第2の基準時間 T_{ref2} を超えて、第2の検出信号 S_2 が第2の基準レベル V_{ref2} よりも高いレベルに維持された場合に、ダイオード302の短絡が発生したことを検出する。この場合、アーム短絡検出回路112は、短絡検出信号 E_2 を非アクティブレベル“0”からアクティブレベル“1”に変更する。

[0138] 負荷短絡検出回路111は、第1のロゴスキーコイル101から得られる第1の検出信号 S_1 に基づいて、降圧チョッパ122において負荷短絡が発生したことを検出する回路である。具体的には、負荷短絡検出回路111は、第1の基準時間 T_{ref1} を超えて、第1の検出信号 S_1 が第1の基準レベル V_{ref1} よりも高いレベルに維持された場合に、負荷短絡が発生したことを検出する。この場合、負荷短絡検出回路111は、短絡検出信号 E_1 を非アクティブレベル“0”からアクティブレベル“1”に変更する。

[0139] 遮断制御回路121は、短絡検出信号 E_1 および E_2 に基づいて、降圧チョッパ122において何等かの短絡故障が発生したことを検出する。この場合、遮断制御回路121は、半導体スイッチ11の駆動を停止させる遮断信号 C を出力する。これに加え、遮断制御回路121は、故障信号 F を制御装置1000（図9参照）に出力する。

[0140] この降圧チョッパ122においても、前掲図9の電力変換装置1Aと同様な効果が得られる。

[0141] <第2実施形態の変形例>

第2実施形態は、以下のように変形し得る。

[0142] (1) 第2実施形態は、他の種類の電力変換装置、例えば、3相以外のインバータあるいは降圧チョッパ以外のDC/DCコンバータに適用してもよい。

[0143] (2) 第2実施形態では、半導体スインチの例としてMOSFETを挙げたが、半導体スイッチはこれに限定されるものではなく、例えばIGBT等の他の半導体スイッチであってもよい。

- [0144] (3) 第2実施形態では、アーム短絡検出回路112、負荷短絡検出回路111および遮断制御回路121をそれぞれ個別に設けたが、これらは、一つの回路として構成されても良い。
- [0145] (4) 図9の構成では、電力変換装置1Aは、6個のアームのうちの3個のアーム10にそれぞれ対応する3個の短絡故障検出装置100を有する。しかしながら、アーム10の個数Pを超えない範囲内において、少なくとも半数のアーム10にそれぞれ対応する短絡故障検出装置100が設けられていてもよい。つまり、アーム10の個数Qは、少なくとも、アーム10の全個数Pの半分であればよい。これにより、電力変換装置1Aの冗長性が増し、その安全性を高めることができる。
- [0146] (5) 図9の構成では、電力変換装置1Aは、アーム（下アームと呼ばれる）10_2、100_4および100_6にそれぞれ対応する短絡故障検出装置100_2、100_4および100_6を有する。更に、各短絡故障検出装置100は、第1のロゴスキーコイル101および第2のロゴスキーコイル102の両方を有している。これにより、上述した条件1および2が満たされた。
- [0147] しかし、本実施形態は、これに限定されない。電力変換装置1Aは、P個のアームのうちのQ個のアーム10にそれぞれ対応するQ個の短絡故障検出装置100を有し、Q個の短絡故障検出装置100の各々は、第1のロゴスキーコイル101のみを有していてもよい。これに加え、電力変換装置1Aは、P個のアームのうちのR個（Rは（P-Q）を超えない正の整数）のアーム10であって、Q個のアーム10と異なるR個のアーム10にそれぞれ対応するR個の短絡故障検出装置100を有していてもよい。ただし、R個の短絡故障検出装置の各々は、第2のロゴスキーコイルのみを有している。つまり、第1のロゴスキーコイル101のみを具備する短絡故障検出装置と、第2のロゴスキーコイル102のみを具備する短絡故障検出装置が、互いに異なるアーム10に設けられていてもよい。これにより、条件1および2が満たされてもよい。

[0148] また、Q個の短絡故障検出装置100の各々は、遮断制御回路121を含んでいてもよい。R個の短絡故障検出装置の各々も、遮断制御回路を含んでいてもよい。

[0149] 例えば、第1のロゴスキーコイル101のみを各々具備する3個の短絡故障検出装置100が、3個の上アーム10（例えば、10__1、10__3および10__5）にそれぞれ設けられてもよい。これら上アームは、高電位電源と負荷Zとの間に配置されている。更に、第2のロゴスキーコイル102を各々具備する短3個の絡故障検出装置100が、下アーム10（例えば、10__2、10__4および10__6）にそれぞれ設けられてもよい。これら下アームは、低電位電源と負荷Zとの間に設けられている。この態様においても、条件1および2が満たされる。

符号の説明

[0150] 100……電力変換装置、30……コンデンサ、40……直流電源、10__1～10__6、10……アーム、20__1～20__6、20……ゲート駆動回路、100__1～100__6、100……短絡故障検出装置、11、11D……半導体スイッチ、12……フライホイールダイオード、51、52……導線、101、101A、101B、101C、101D、101E……第1のロゴスキーコイル、102、102A、102B、102C、102D、102E……第2のロゴスキーコイル、41、43……第1部分、42、44……第2部分、70……主配線基板、61……第1層配線基板、62……第2層配線基板、63……第3層配線基板、111……アーム短絡検出回路、112……負荷短絡検出回路、120……短絡検出回路、121……遮断制御回路、122……降圧チョッパ、103……シールド板、Z……負荷。

請求の範囲

- [請求項1] 半導体スイッチを各々含む複数のアームを有し、前記複数のアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置の短絡故障検出装置において、
- 前記負荷の短絡によって前記複数のアームのうちの第1のアームに流れる電流である負荷短絡電流に応じた第1の検出信号を生成する第1のロゴスキーコイルと、
- 前記第1のアームまたは前記複数のアームのうちの第2のアームの短絡によって当該第1のアームに流れる電流であるアーム短絡電流に応じた第2の検出信号を生成する第2のロゴスキーコイルと、
- 前記第1の検出信号に基づいて前記負荷の短絡を検出する負荷短絡検出回路と、
- 前記第2の検出信号に基づいて前記第1のアームまたは前記第2のアームの短絡を検出するアーム短絡検出回路と、
- 前記アーム短絡検出回路の出力信号および前記負荷短絡検出回路の出力信号に基づいて短絡故障を検出する短絡検出回路と
- を有することを特徴とする短絡故障検出装置。
- [請求項2] 前記第2のロゴスキーコイルの巻き数よりも前記第1のロゴスキーコイルの巻き数が多いことを特徴とする請求項1に記載の短絡故障検出装置。
- [請求項3] 前記第2のロゴスキーコイルの断面積よりも前記第1のロゴスキーコイルの断面積が大きいことを特徴とする請求項1または2に記載の短絡故障検出装置。
- [請求項4] 前記第2のロゴスキーコイルの磁路長よりも前記第1のロゴスキーコイルの磁路長が短いことを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の短絡故障検出装置。
- [請求項5] 前記第1のロゴスキーコイルおよび前記第2のロゴスキーコイルの少なくとも一方が配線基板に配置されていることを特徴とする請求項

1 から 4 のいずれか 1 項に記載の短絡故障検出装置。

[請求項6] 前記第 1 のアームを経由する電流経路に、前記第 2 のロゴスキーコイル、前記第 1 のアームに含まれる半導体スイッチおよび前記第 1 のロゴスキーコイルが順に、または、その逆順に配置されたことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の短絡故障検出装置。

[請求項7] 前記第 1 のロゴスキーコイルと前記第 2 のロゴスキーコイルとの間に配置されたシールドを更に備えることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の短絡故障検出装置。

[請求項8] 前記第 1 のアームおよび前記第 2 のアームは、互いに直列に接続されていることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の短絡故障検出装置。

[請求項9] 半導体スイッチを各々含む複数のアームを有し、前記複数のアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置の短絡故障検出装置において、

前記負荷の短絡によって前記複数のアームのうちの第 1 のアームに流れる電流である負荷短絡電流に応じた検出信号を生成するロゴスキーコイルと、

前記検出信号に基づいて前記負荷の短絡を判別する負荷短絡検出回路と、

前記負荷短絡検出回路の出力信号に基づいて短絡故障を検出する短絡検出回路と

を有することを特徴とする短絡故障検出装置。

[請求項10] 請求項 1 または 9 に記載の短絡故障検出装置と、

前記短絡故障検出装置が出力する短絡検出信号に基づいて、前記第 1 のアームに含まれる半導体スイッチの駆動を停止するゲート駆動回路と

を含むことを特徴とする電力変換装置。

[請求項11] 半導体スイッチを各々含む P 個（ P は 2 以上の整数）のアームを介

して負荷に電力を供給する電力変換装置において、

前記 P 個のアームのうちの Q 個 (Q は P より小さい正の整数) のアームにそれぞれ対応する Q 個の短絡故障検出装置を有し、

前記 Q 個の短絡故障検出装置の各々は、

前記負荷の短絡により、対応するアームに流れる電流に応じた第 1 の検出信号を出力する第 1 のロゴスキーコイルを具備し、

前記第 1 の検出信号に基づいて短絡故障を検出することを特徴とする電力変換装置。

[請求項12]

前記 Q 個の短絡故障検出装置の各々は、

前記対応するアームまたは前記 P 個のアームのうちの他のアームの短絡により、当該対応するアームに流れる電流に応じた第 2 の検出信号を出力する第 2 のロゴスキーコイルを更に具備し、

前記第 2 の検出信号に基づいて短絡故障を検出することを特徴とする請求項 11 に記載の電力変換装置。

[請求項13]

前記 P 個のアームのうちの R 個 (R は $(P - Q)$ を超えない正の整数) のアームであって、前記 Q 個のアームと異なる R 個のアームにそれぞれ対応する R 個の短絡故障検出装置を更に有し、

前記 R 個の短絡故障検出装置の各々は、

前記対応するアームまたは前記 P 個のアームのうちの他のアームの短絡により、当該対応するアームに流れる電流に応じた第 2 の検出信号を出力する第 2 のロゴスキーコイルを具備し、

前記第 2 の検出信号に基づいて短絡故障を検出することを特徴とする請求項 11 に記載の電力変換装置。

[請求項14]

前記 Q は、少なくとも、前記 P の半分であることを特徴とする請求項 12 に記載の電力変換装置

[請求項15]

前記対応するアームを経由する電流経路に、前記第 2 のロゴスキーコイル、前記対応するアームに含まれる半導体スイッチおよび前記第 1 のロゴスキーコイルが順に、または、その逆順に配置されたことを

特徴とする請求項 1 2 または 1 4 に記載の電力変換装置。

[請求項16]

前記 Q 個の短絡故障検出装置の各々は、

短絡故障を検出した場合に、

前記対応するアームの半導体スイッチと、前記 Q 個の短絡故障検出装置のいずれにも設けられていない他のアームの半導体スイッチとの駆動を停止する遮断制御回路を含むことを特徴とする請求項 1 2 から 1 4 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置。

[請求項17]

前記 Q 個の短絡故障検出装置の各々は、

短絡故障を検出した場合に、

前記対応するアームの半導体スイッチと、前記 Q 個の短絡故障検出装置のいずれにも設けられていない他のアームの半導体スイッチとの駆動を停止する遮断制御回路を含み、

前記 R 個の短絡故障検出装置の各々は、

短絡故障を検出した場合に、

前記対応するアームの半導体スイッチと、前記 R 個の短絡故障検出装置のいずれにも設けられていない他のアームの半導体スイッチとの駆動を停止する遮断制御回路を含むことを特徴とする請求項 1 3 に記載の電力変換装置。

[請求項18]

前記対応するアームおよび前記他のアームは、互いに直列に接続されていることを特徴とする請求項 1 2 または 1 3 に記載の電力変換装置。

[請求項19]

半導体スイッチング素子を含むアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置において、

前記負荷の短絡故障により前記アームに流れる電流に応じた第 1 の検出信号を出力する第 1 のロゴスキーコイルと、

前記アームに直列接続されたダイオードの短絡故障により前記アームに流れる電流に応じた第 2 の検出信号を出力する第 2 のロゴスキーコイルと、

前記第 1 の検出信号または前記第 2 の検出信号に基づいて短絡故障を検出する短絡故障検出装置と
を含むことを特徴とする電力変換装置。

補正された請求の範囲
[2021年7月14日(14.07.2021)国際事務局受理]

- [請求項1] 半導体スイッチを各々含む複数のアームを有し、前記複数のアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置の短絡故障検出装置において、
- 前記負荷の短絡によって前記複数のアームのうちの第1のアームに流れる電流である負荷短絡電流に応じた第1の検出信号を生成する第1のロゴスキーコイルと、
- 前記第1のアームまたは前記複数のアームのうちの第2のアームの短絡によって当該第1のアームに流れる電流であるアーム短絡電流に応じた第2の検出信号を生成する第2のロゴスキーコイルと、
- 前記第1の検出信号に基づいて前記負荷の短絡を検出する負荷短絡検出回路と、
- 前記第2の検出信号に基づいて前記第1のアームまたは前記第2のアームの短絡を検出するアーム短絡検出回路と、
- 前記アーム短絡検出回路の出力信号および前記負荷短絡検出回路の出力信号に基づいて短絡故障を検出する短絡検出回路と
- を有することを特徴とする短絡故障検出装置。
- [請求項2] 前記第2のロゴスキーコイルの巻き数よりも前記第1のロゴスキーコイルの巻き数が多いことを特徴とする請求項1に記載の短絡故障検出装置。
- [請求項3] 前記第2のロゴスキーコイルの断面積よりも前記第1のロゴスキーコイルの断面積が大きいことを特徴とする請求項1または2に記載の短絡故障検出装置。
- [請求項4] 前記第2のロゴスキーコイルの磁路長よりも前記第1のロゴスキーコイルの磁路長が短いことを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の短絡故障検出装置。
- [請求項5] 前記第1のロゴスキーコイルおよび前記第2のロゴスキーコイルの少なくとも一方が配線基板に配置されていることを特徴とする請求項

1 から 4 のいずれか 1 項に記載の短絡故障検出装置。

[請求項6] 前記第 1 のアームを経由する電流経路に、前記第 2 のロゴスキーコイル、前記第 1 のアームに含まれる半導体スイッチおよび前記第 1 のロゴスキーコイルが順に、または、その逆順に配置されたことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の短絡故障検出装置。

[請求項7] 前記第 1 のロゴスキーコイルと前記第 2 のロゴスキーコイルとの間に配置されたシールドを更に備えることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の短絡故障検出装置。

[請求項8] 前記第 1 のアームおよび前記第 2 のアームは、互いに直列に接続されていることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の短絡故障検出装置。

[請求項9] (削除)

[請求項10] (補正後) 請求項 1 に記載の短絡故障検出装置と、
前記短絡故障検出装置が出力する短絡検出信号に基づいて、前記第 1 のアームに含まれる半導体スイッチの駆動を停止するゲート駆動回路と
を含むことを特徴とする電力変換装置。

[請求項11] 半導体スイッチを各々含む P 個 (P は 2 以上の整数) のアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置において、
前記 P 個のアームのうちの Q 個 (Q は P より小さい正の整数) のアームにそれぞれ対応する Q 個の短絡故障検出装置を有し、
前記 Q 個の短絡故障検出装置の各々は、
前記負荷の短絡により、対応するアームに流れる電流に応じた第 1 の検出信号を出力する第 1 のロゴスキーコイルを具備し、
前記第 1 の検出信号に基づいて短絡故障を検出することを特徴とする電力変換装置。

[請求項12] 前記 Q 個の短絡故障検出装置の各々は、
前記対応するアームまたは前記 P 個のアームのうちの他のアームの

短絡により、当該対応するアームに流れる電流に応じた第2の検出信号を出力する第2のロゴスキーコイルを更に具備し、

前記第2の検出信号に基づいて短絡故障を検出することを特徴とする請求項11に記載の電力変換装置。

[請求項13] 前記P個のアームのうちのR個（Rは（P－Q）を超えない正の整数）のアームであって、前記Q個のアームと異なるR個のアームにそれぞれ対応するR個の短絡故障検出装置を更に有し、

前記R個の短絡故障検出装置の各々は、

前記対応するアームまたは前記P個のアームのうちの他のアームの短絡により、当該対応するアームに流れる電流に応じた第2の検出信号を出力する第2のロゴスキーコイルを具備し、

前記第2の検出信号に基づいて短絡故障を検出することを特徴とする請求項11に記載の電力変換装置。

[請求項14] 前記Qは、少なくとも、前記Pの半分であることを特徴とする請求項12に記載の電力変換装置。

[請求項15] 前記対応するアームを経由する電流経路に、前記第2のロゴスキーコイル、前記対応するアームに含まれる半導体スイッチおよび前記第1のロゴスキーコイルが順に、または、その逆順に配置されたことを特徴とする請求項12または14に記載の電力変換装置。

[請求項16] 前記Q個の短絡故障検出装置の各々は、

短絡故障を検出した場合に、

前記対応するアームの半導体スイッチと、前記Q個の短絡故障検出装置のいずれにも設けられていない他のアームの半導体スイッチとの駆動を停止する遮断制御回路を含むことを特徴とする請求項12から14のいずれか1項に記載の電力変換装置。

[請求項17] 前記Q個の短絡故障検出装置の各々は、

短絡故障を検出した場合に、

前記対応するアームの半導体スイッチと、前記Q個の短絡故障検出

装置のいずれにも設けられていない他のアームの半導体スイッチとの駆動を停止する遮断制御回路を含み、

前記 R 個の短絡故障検出装置の各々は、

短絡故障を検出した場合に、

前記対応するアームの半導体スイッチと、前記 R 個の短絡故障検出装置のいずれにも設けられていない他のアームの半導体スイッチとの駆動を停止する遮断制御回路を含むことを特徴とする請求項 13 に記載の電力変換装置。

[請求項18] 前記対応するアームおよび前記他のアームは、互いに直列に接続されていることを特徴とする請求項 12 または 13 に記載の電力変換装置。

[請求項19] 半導体スイッチング素子を含むアームを介して負荷に電力を供給する電力変換装置において、

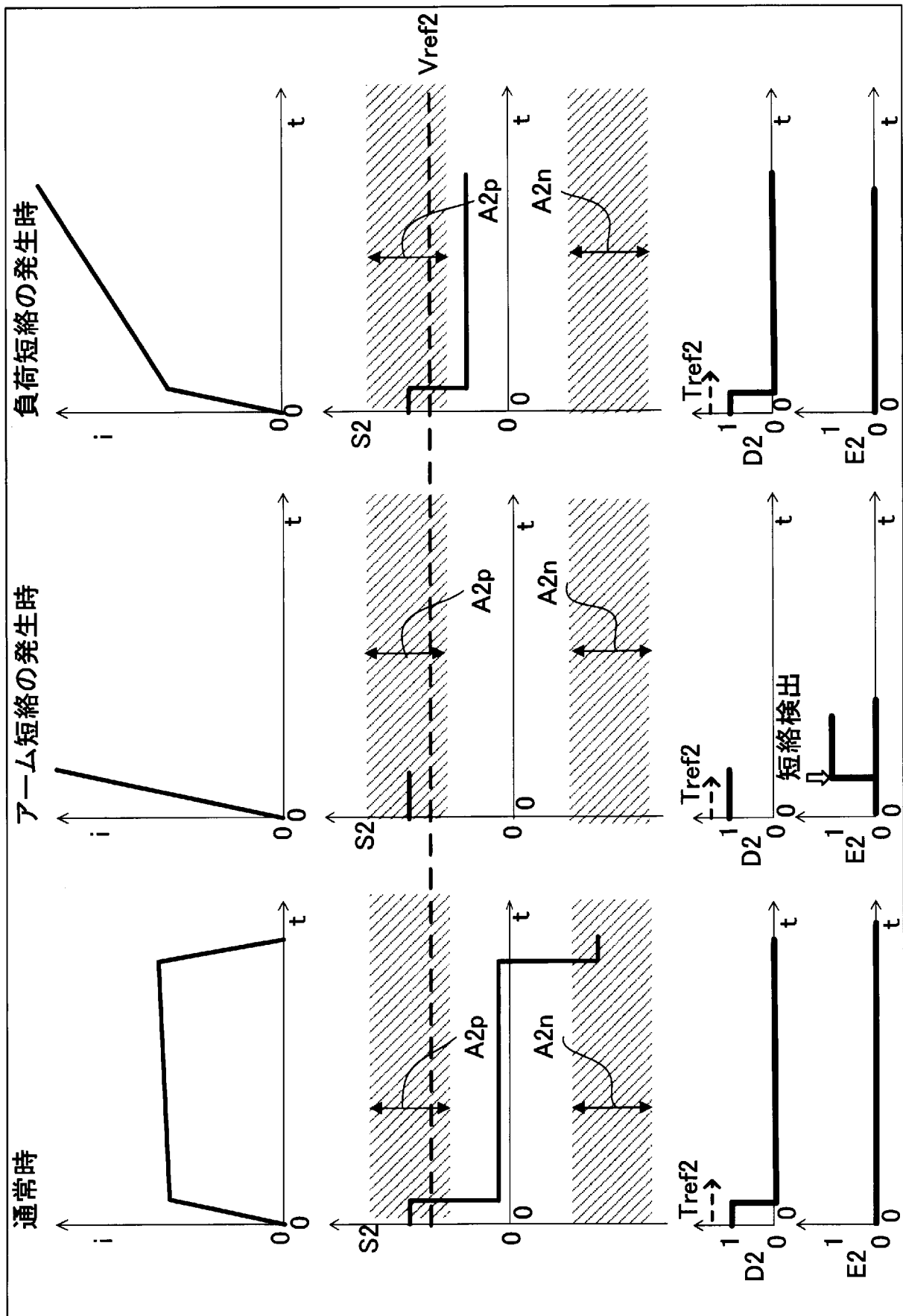
前記負荷の短絡故障により前記アームに流れる電流に応じた第 1 の検出信号を出力する第 1 のロゴスキーコイルと、

前記アームに直列接続されたダイオードの短絡故障により前記アームに流れる電流に応じた第 2 の検出信号を出力する第 2 のロゴスキーコイルと、

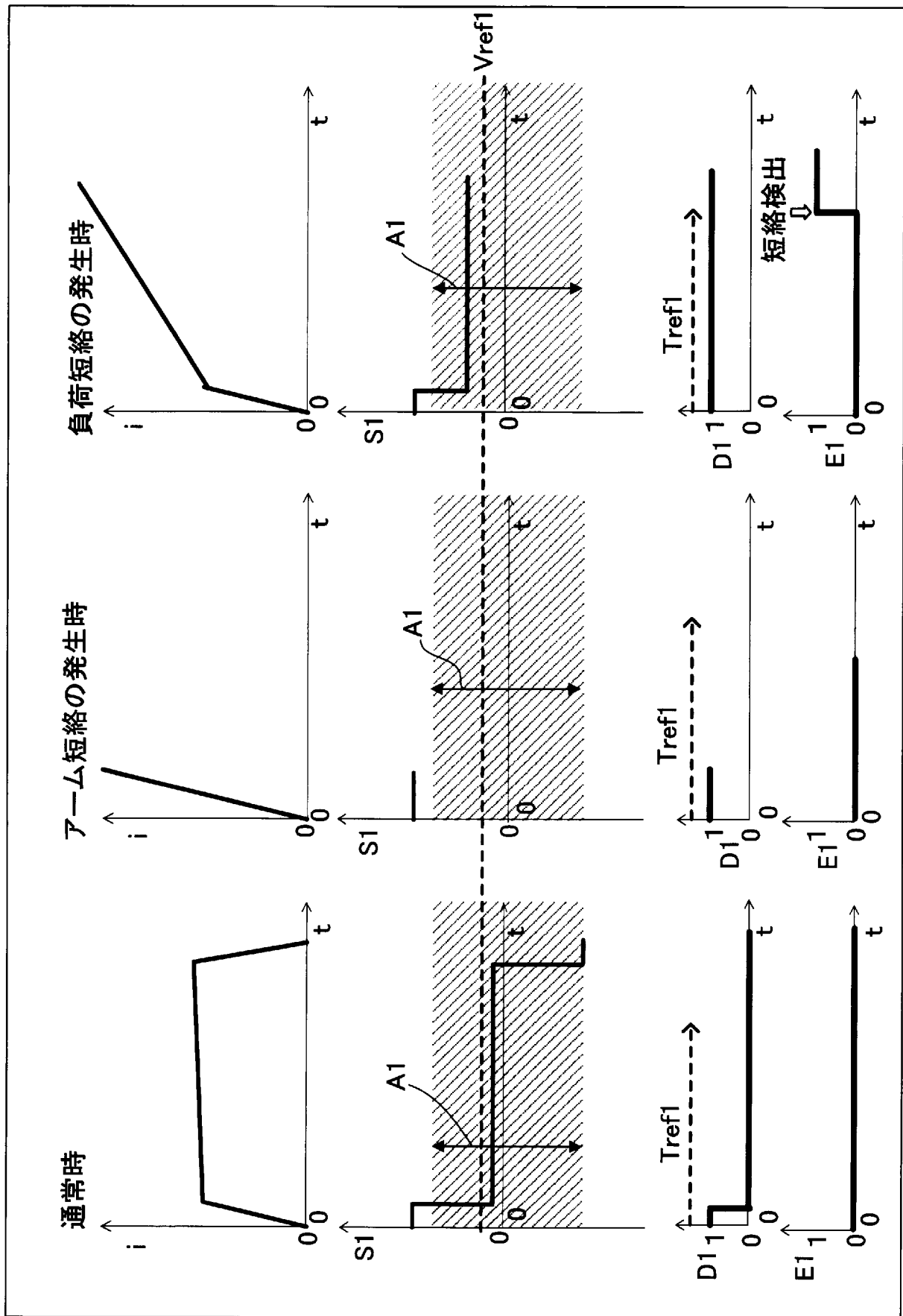
前記第 1 の検出信号または前記第 2 の検出信号に基づいて短絡故障を検出する短絡故障検出装置と

を含むことを特徴とする電力変換装置。

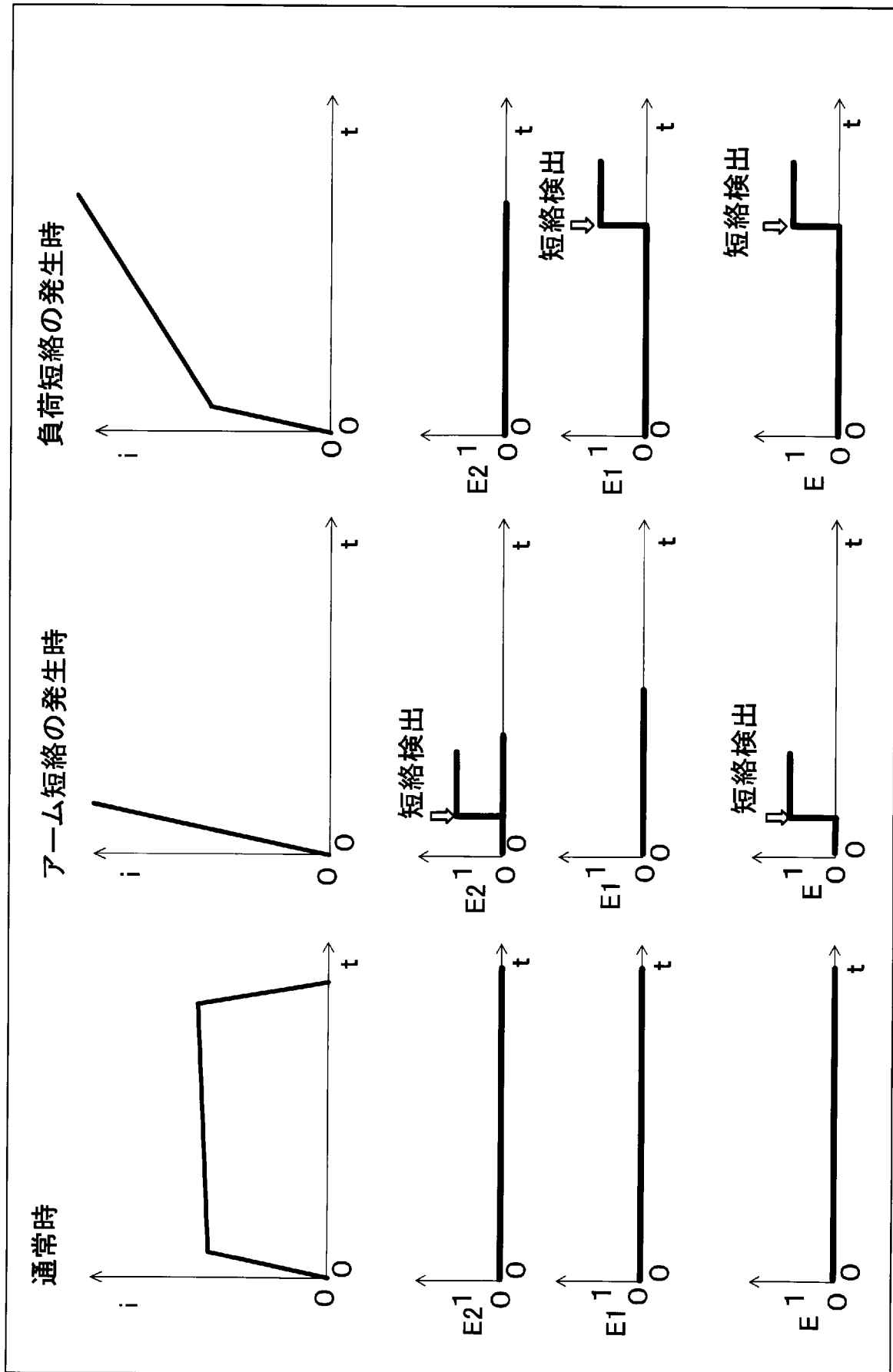
[図3A]



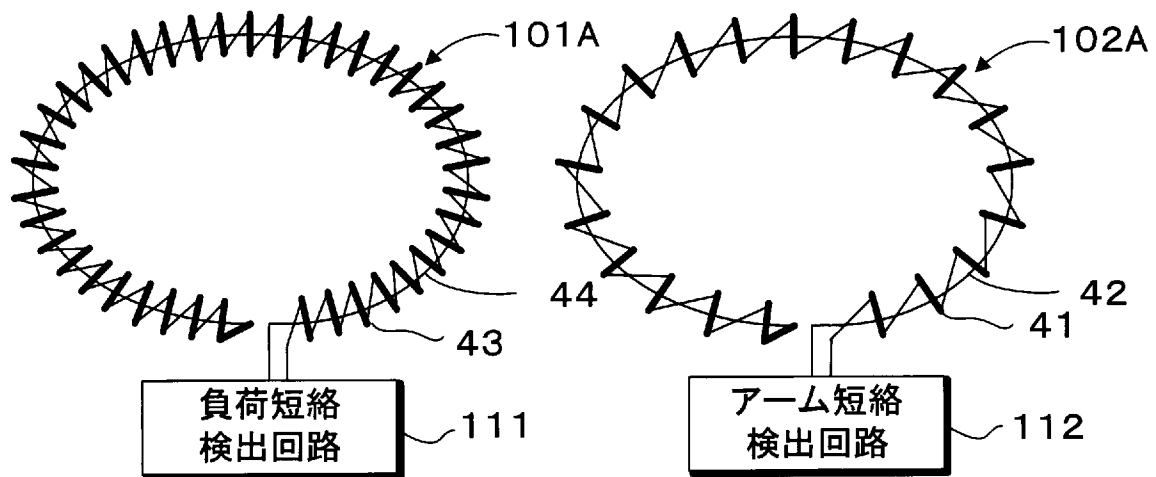
[図3B]



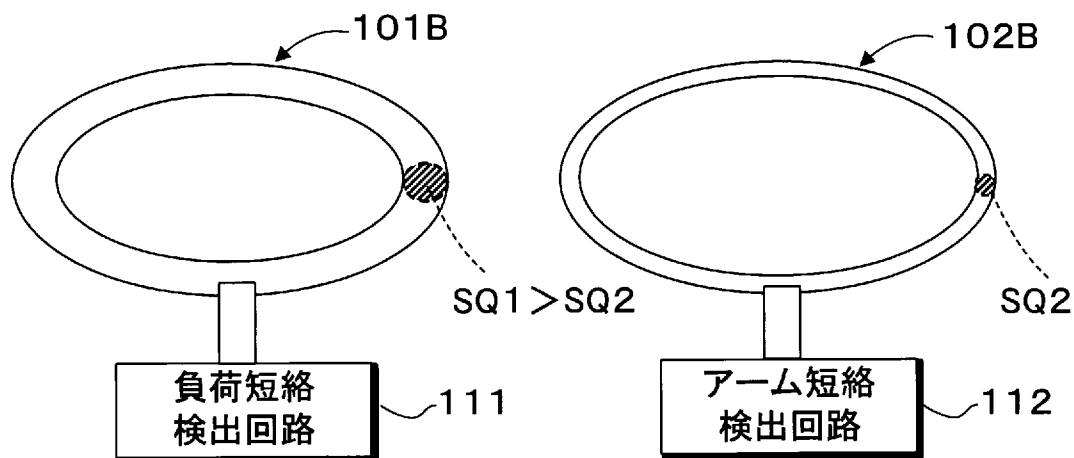
[図3C]



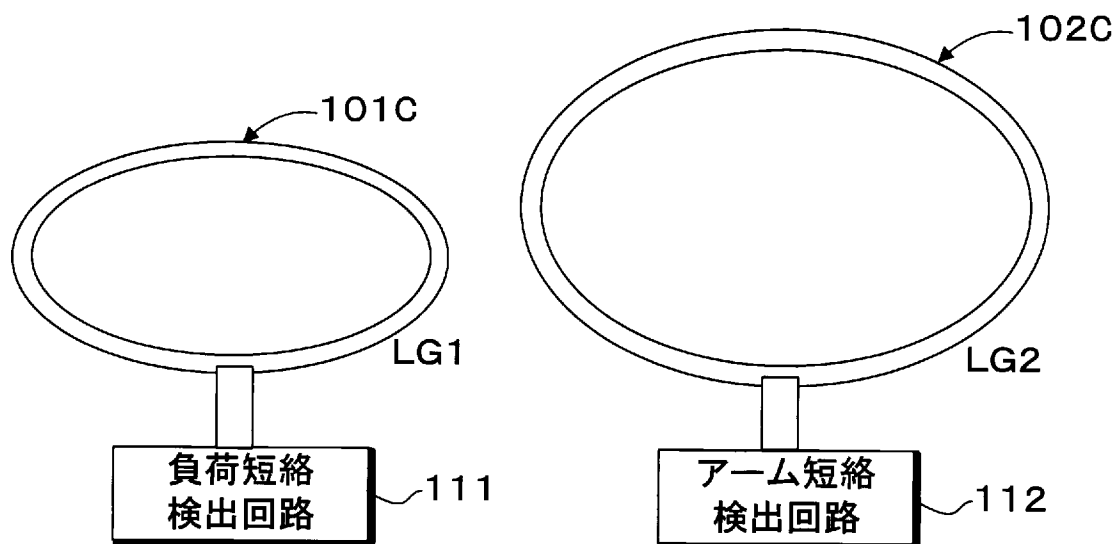
[図4]



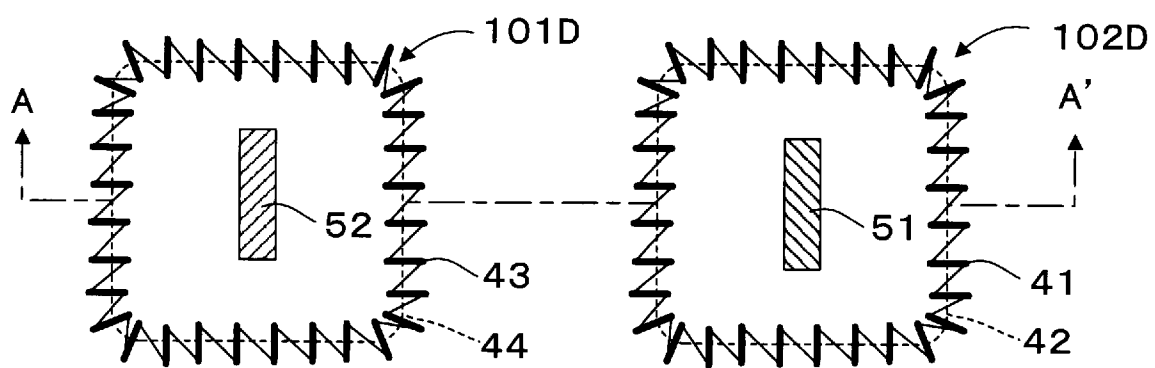
[図5]



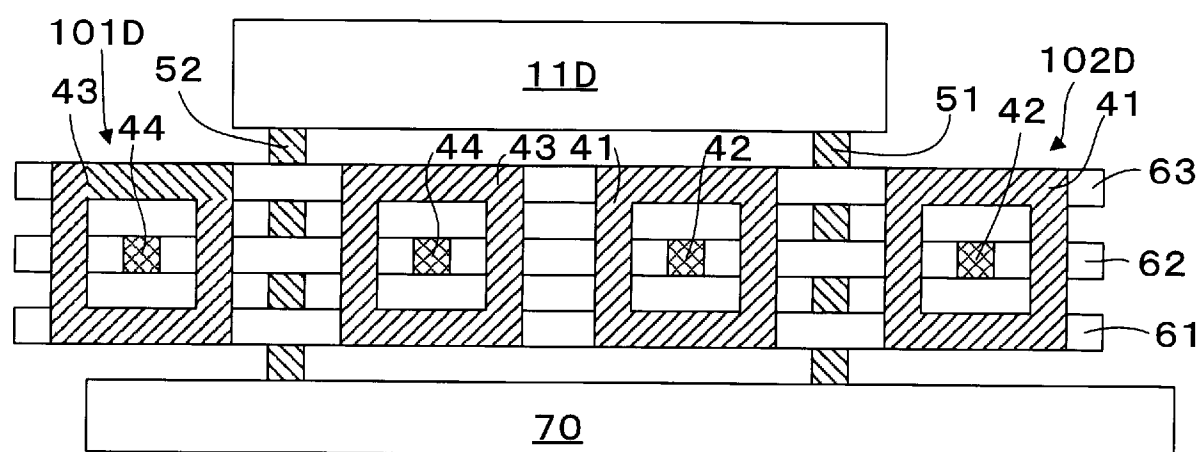
[図6]



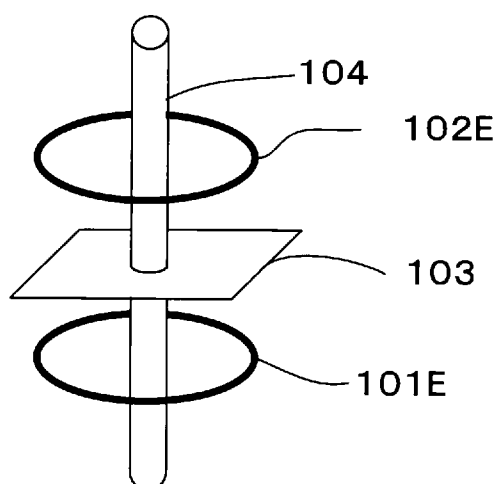
[図7A]



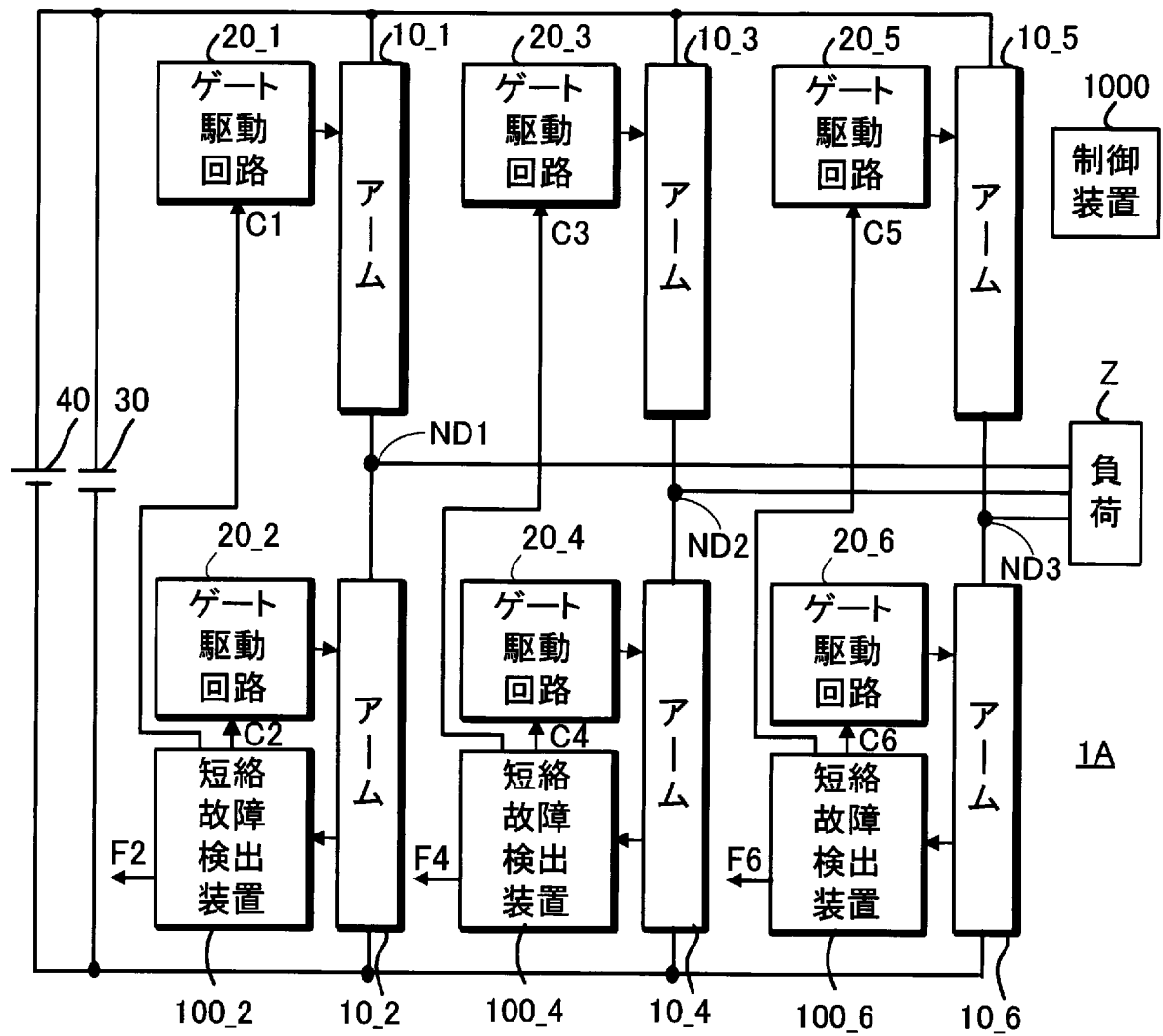
[図7B]



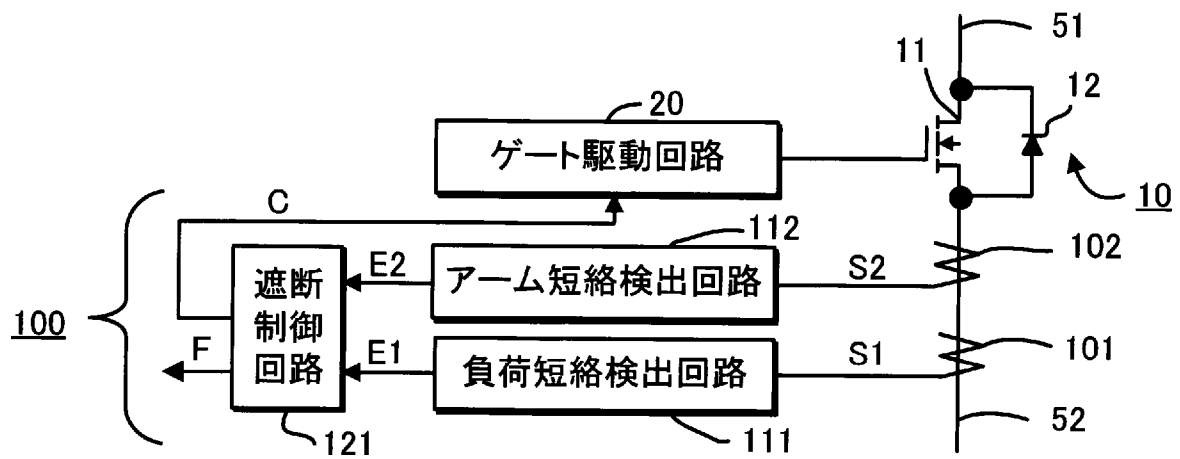
[図8]



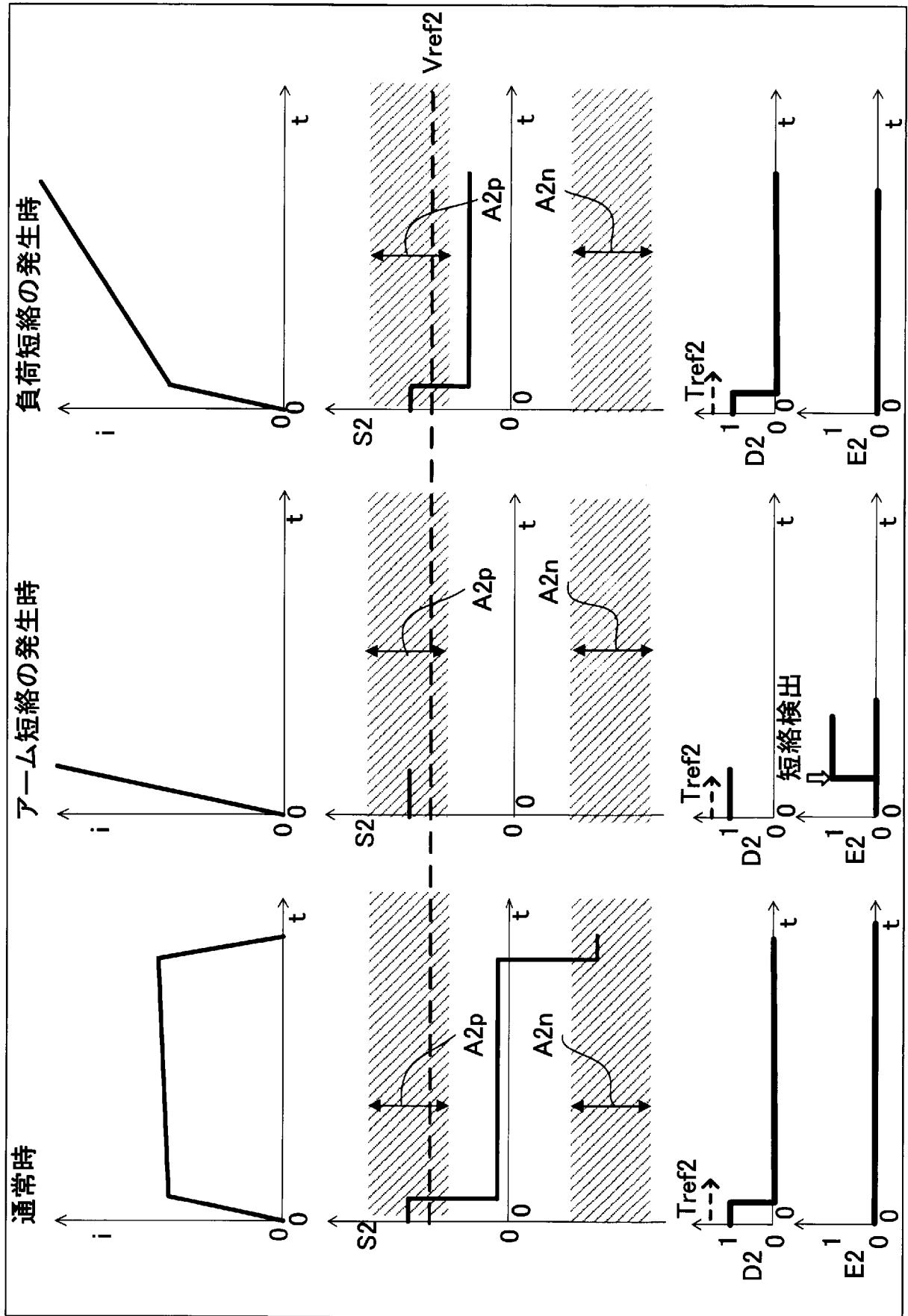
[図9]



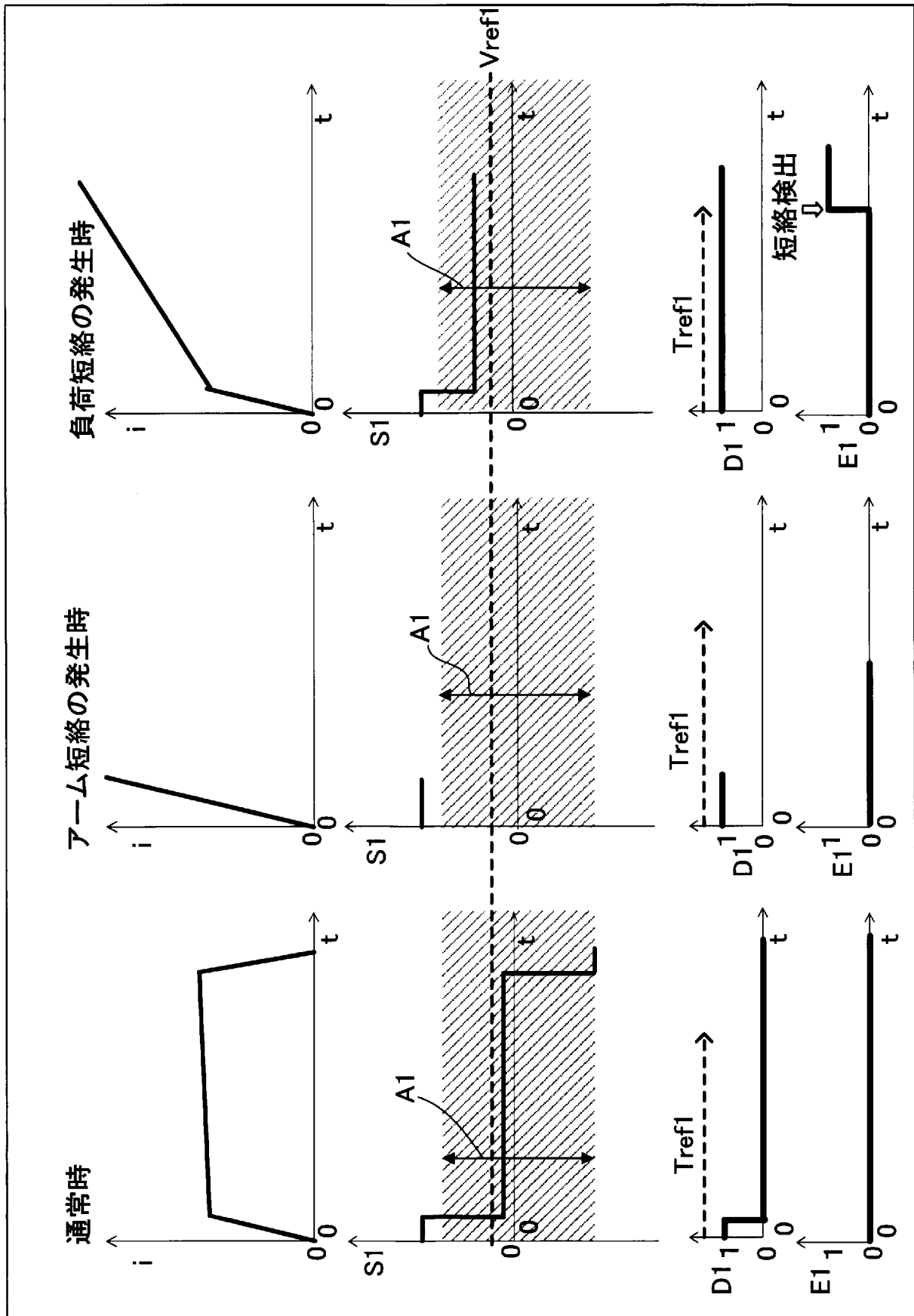
[図10]



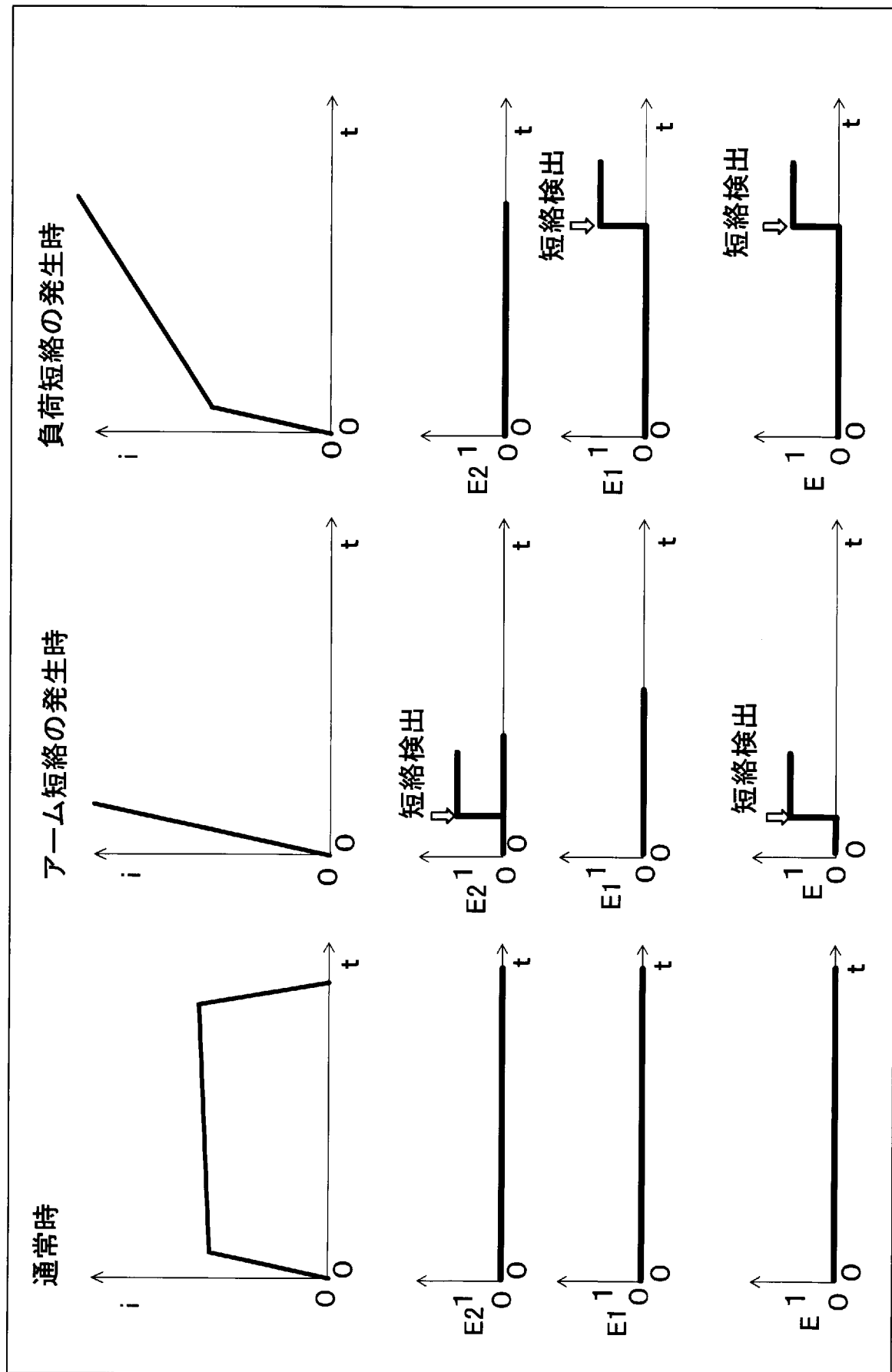
[図11A]



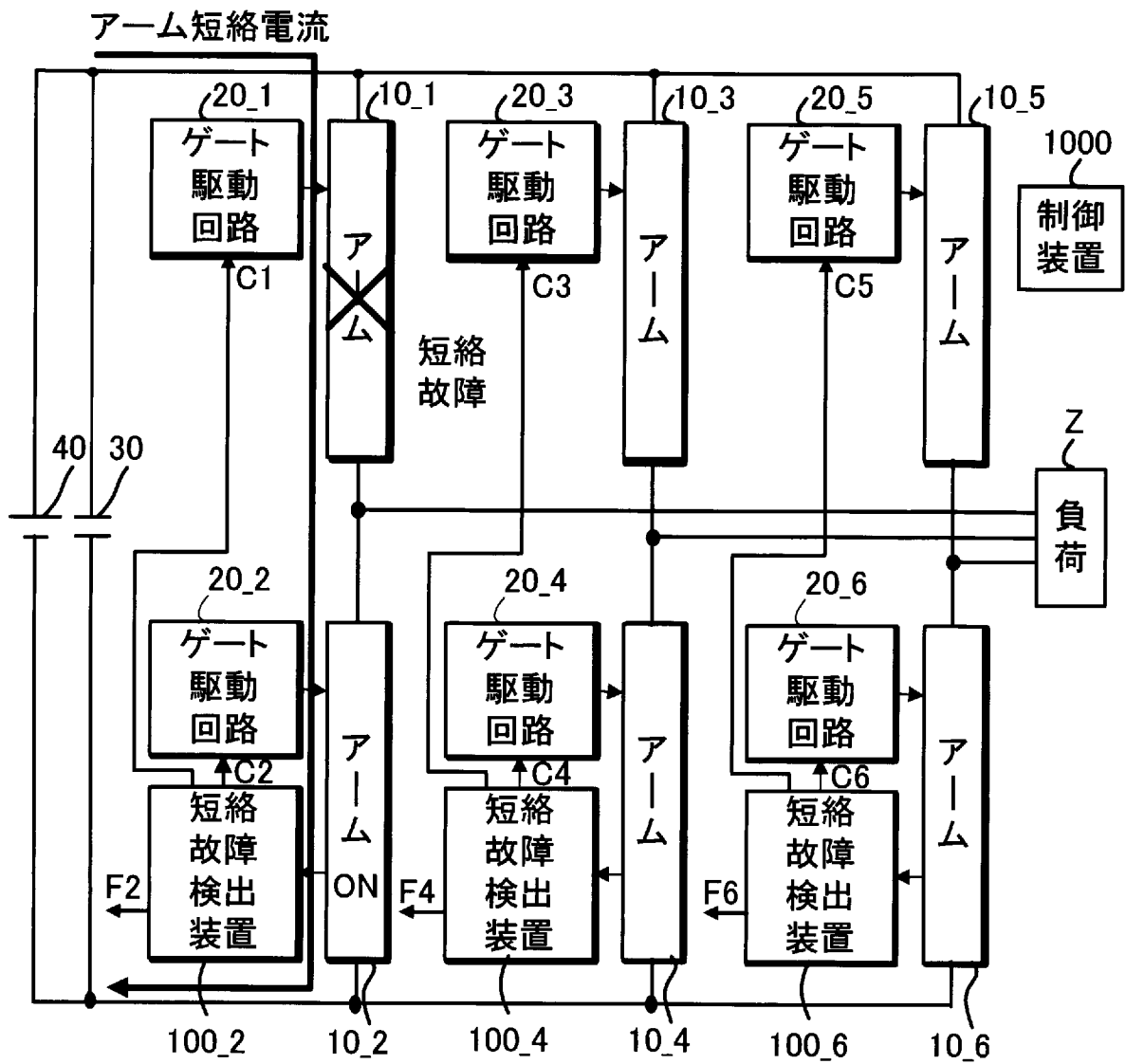
[図11B]



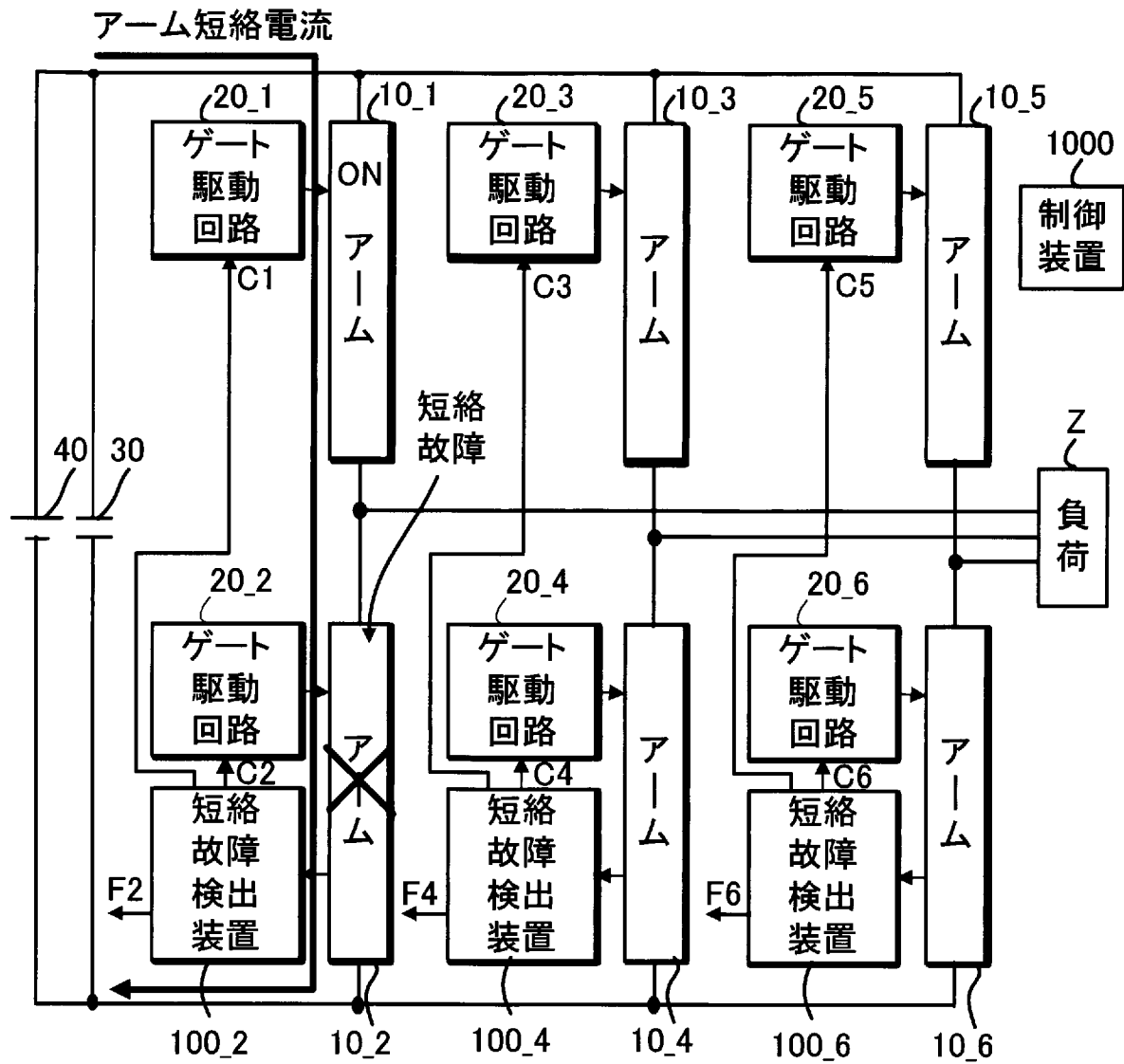
[図11C]



[図12]

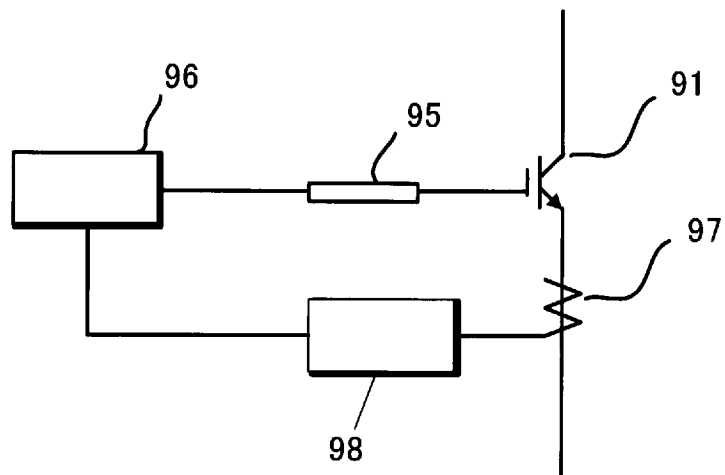


[図13]

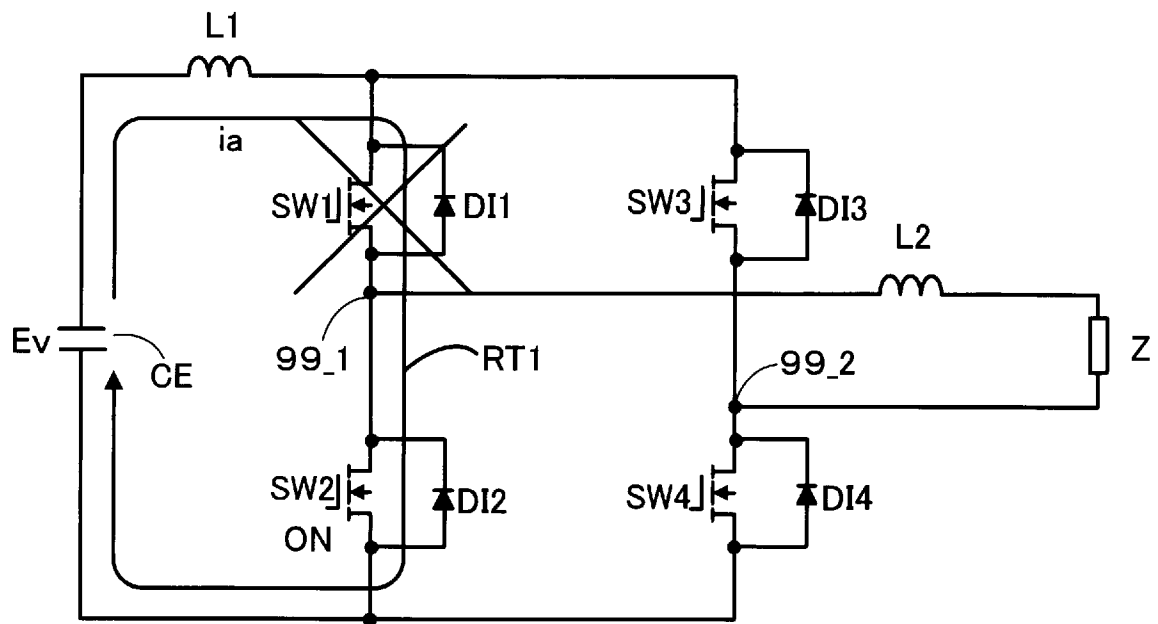


[illegible]

[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/010877

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02M 7/48 (2007.01) i; H02M 1/00 (2007.01) i; H02M 1/08 (2006.01) i; H02M 3/155 (2006.01) i

FI: H02M7/48 M; H02M1/00 H; H02M1/08 A; H02M3/155 C

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)

H02M1/00-7/98; H03K17/00-17/70; H02H7/10-7/20

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.
Y A	JP 2008-118834 A (TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION) 22 May 2008 (2008-05-22) paragraphs [0014]-[0028], fig. 1, 3	9-11 1-8, 12-19
Y A	JP 2008-301617 A (TOSHIBA CORP.) 11 December 2008 (2008-12-11) paragraphs [0005]-[0006], fig. 8	9-11 1-8, 12-19
A	WO 2019/225121 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 28 November 2019 (2019-11-28) entire text, all drawings	1-19
A	JP 2019-216540 A (MEIDENSHA CORPORATION) 19 December 2019 (2019-12-19) entire text, all drawings	1-19
A	WO 2018/073909 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 26 April 2018 (2018-04-26) entire text, all drawings	1-19

☐	Further documents are listed in the continuation of Box C.	☒	See patent family annex.
* "A" "E" "L" "O" "P"	Special categories of cited documents: document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance earlier application or patent but published on or after the international filing date 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) document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"I" "X" "Y" "&"	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 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 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 09 April 2021 (09.04.2021)	Date of mailing of the international search report 20 April 2021 (20.04.2021)
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/JP2021/010877

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2008-118834 A	22 May 2008	(Family: none)	
JP 2008-301617 A	11 Dec. 2008	(Family: none)	
WO 2019/225121 A	28 Nov. 2019	US 2021/0028702 A1 entire text, all drawings CN 112119557 A	
JP 2019-216540 A	19 Dec. 2019	(Family: none)	
WO 2018/073909 A	26 Apr. 2018	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H02M 7/48(2007.01)i; H02M 1/00(2007.01)i; H02M 1/08(2006.01)i; H02M 3/155(2006.01)i FI: H02M7/48 M; H02M1/00 H; H02M1/08 A; H02M3/155 C														
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）） H02M1/00-7/98; H03K17/00-17/70; H02H7/10-7/20 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												
Y A	JP 2008-118834 A（株式会社豊田自動織機）22.05.2008（2008-05-22） 段落 [0014] - [0028], [図1], [図3]	9-11 1-8, 12-19												
Y A	JP 2008-301617 A（株式会社東芝）11.12.2008（2008-12-11） 段落 [0005] - [0006], [図8]	9-11 1-8, 12-19												
A	WO 2019/225121 A1（三菱電機株式会社）28.11.2019（2019-11-28） 全文, 全図	1-19												
A	JP 2019-216540 A（株式会社明電舎）19.12.2019（2019-12-19） 全文, 全図	1-19												
A	WO 2018/073909 A1（三菱電機株式会社）26.04.2018（2018-04-26） 全文, 全図	1-19												
☐ 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</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</td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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</td> <td>"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</td> </tr> <tr> <td>"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）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"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></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	"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	"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	"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	"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	"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	"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）	"&" 同一パテントファミリー文献	"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	
* 引用文献のカテゴリー	"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													
"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	"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													
"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	"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													
"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）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"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														
国際調査を完了した日 09.04.2021		国際調査報告の発送日 20.04.2021												
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） 東 昌秋 5G 3139 電話番号 03-3581-1101 内線 3526												

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/JP2021/010877

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2008-118834	A	22.05.2008	(ファミリーなし)	
JP	2008-301617	A	11.12.2008	(ファミリーなし)	
WO	2019/225121	A1	28.11.2019	US 2021/0028702 A1	
				全文, 全図	
				CN 112119557 A	
JP	2019-216540	A	19.12.2019	(ファミリーなし)	
WO	2018/073909	A1	26.04.2018	(ファミリーなし)	