

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5215648号
(P5215648)

(45) 発行日 平成25年6月19日 (2013. 6. 19)

(24) 登録日 平成25年3月8日 (2013. 3. 8)

(51) Int. Cl.

H 0 1 H 47/00

(2006.01)

F I

H 0 1 H 47/00

J

請求項の数 8 外国語出願 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2007-312956 (P2007-312956)
 (22) 出願日 平成19年12月4日 (2007. 12. 4)
 (65) 公開番号 特開2008-192597 (P2008-192597A)
 (43) 公開日 平成20年8月21日 (2008. 8. 21)
 審査請求日 平成22年11月25日 (2010. 11. 25)
 (31) 優先権主張番号 11/567, 296
 (32) 優先日 平成18年12月6日 (2006. 12. 6)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1 番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (72) 発明者 ジョシュア・アイザック・ライト
 アメリカ合衆国、バージニア州、アーリン
 トン、ディー432、リー・ハイウェイ、
 3004 番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 その回路に適した負荷電流を伝達するように選択的に切替可能な固体式切替回路と並列な電子機械式切替回路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロ電子機械システム (202) 切替回路と、

固体式切替回路 (204) と、

前記マイクロ電子機械システム切替回路及び固体式切替回路と並列回路の形で接続された
 第1の過電流保護回路 (2061) であって、マイクロ電子機械システム切替回路の接点
 間のアーク形成を抑制するように構成させた第1の過電流保護回路と、

前記マイクロ電子機械システム (202) 切替回路、固体式切替回路及び第1の過電流保
 護回路に結合された制御器 (208) であって、これら切替回路のそれぞれの回路の動作
 能力に適した一時的な過負荷電流条件に応答して前記マイクロ電子機械システム (202
) 切替回路と固体式切替回路の間で負荷電流の選択的切替を実行するように構成させた制
 御器と、

前記マイクロ電子機械システム切替回路、固体式切替回路及び第1の過電流保護回路と並
 列回路の形で接続された第2の過電流保護回路 (2062) と、

を備え、

前記第2の過電流保護回路は、前記マイクロ電子機械システム切替回路の切替事象発生と
 連係して前記第1の過電流保護回路内に第1のパルス回路がパルス信号を発生させたこと
 に続いて第1の過電流保護回路の準備のための待機を要することなく、該切替システムと
 接続させた負荷回路内の障害電流からの保護を可能にするように構成されている、

切替システム。

【請求項 2】

前記電子機械切替回路が、マイクロ電子機械システム切替回路を備え、
前記第 1 の過電流保護回路は平衡型ダイオードブリッジ (2 8) を備える、請求項 1 に記載の切替システム。

【請求項 3】

前記第 1 の過電流保護回路はさらに、該第 1 の過電流保護回路の平衡型ダイオードブリッジに結合された第 1 のパルス回路 (5 2) を備えており、該パルス回路はパルス電流の流れを該平衡型ダイオードブリッジに通過させるためのパルス信号を形成するように適応させたパルスコンデンサ (5 6) を備えており、該パルス信号はマイクロ電子機械システム切替回路の切替事象発生と連係して発生させている、請求項 2 に記載の切替システム。

10

【請求項 4】

前記第 2 の過電流保護回路は前記第 1 の過電流保護回路の平衡型ダイオードブリッジに結合された第 2 のパルス回路を備えており、該パルス回路はパルス電流の流れを該平衡型ダイオードブリッジに通過させるためのパルス信号を形成するように適応させたパルスコンデンサを備えており、該パルス信号は障害電流に応答して第 2 のパルス回路によって発生させている、請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の切替システム。

【請求項 5】

前記第 2 の過電流保護回路はさらに、該第 2 の過電流保護回路の平衡型ダイオードブリッジに結合された第 2 のパルス回路を備えており、該パルス回路はパルス電流の流れを該平衡型ダイオードブリッジに通過させるためのパルス信号を形成するように適応させたパルスコンデンサを備えており、該パルス信号は該切替システムと接続させた負荷回路内の障害電流に応答して第 2 のパルス回路によって発生させている、請求項 4 に記載の切替システム。

20

【請求項 6】

前記第 1 のパルス回路は前記第 2 の過電流保護回路の平衡型ダイオードブリッジに結合されており、該パルス回路はパルス電流の流れを該平衡型ダイオードブリッジに通過させるためのパルス信号を形成するように適応させたパルスコンデンサを備えており、該パルス信号はマイクロ電子機械システム切替回路の切替事象発生と連係して発生させている、請求項 5 に記載の切替システム。

【請求項 7】

前記それぞれの切替回路の動作能力は、電流運搬容量、熱容量、及び前出項目の組み合わせからなる群より選択される、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の切替システム。

30

【請求項 8】

前記制御器は、交番するソース電圧または交番する負荷電流に関する検出したゼロ交差に応答して前記マイクロ電子機械システム切替回路の無アーク切替を実行するように構成されている、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の切替システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明の実施形態は全般的には選択可能な電流経路に電流を切り替えるための切替システムに関し、さらに詳細にはマイクロ電子機械システムベースの切替デバイスに関する。

40

【背景技術】**【0002】**

回路遮断器は、回路内の障害により損傷が生じないように電気機器を保護するように設計された電気デバイスである。従来では、従来式回路遮断器の大部分は大量の電子機械式スイッチ群を含む。しかしながら、従来式のこれらの回路遮断器はサイズが大きいため、切替機構を作動させるために大きな力を使用する必要がある。さらにこれらの回路遮断器のスイッチはその動作が比較的低速であるのが一般的である。さらにこれらの回路遮断器は、構築が複雑でありそのため製作が高コストであるという欠点がある。さらに、従来の

50

回路遮断器の切替機構の接点では物理的に離れさせると、その間にアークが形成され回路内の電流が終止するまで電流を伝達し続けることになるのが典型的である。さらに、このアークに関連するエネルギーは接点をひどく損傷させること、かつ／またはスタッフに対してやけど障害を生じさせることがあり得る。

【0003】

低速の電子機械式スイッチに対する代替として、比較的高速の固体式スイッチ(solid-state switch)が高速切替用途で利用されている。これらの固体式スイッチは、電圧やバイアスの印加を制御することによって導通状態と非導通状態の間で切り替えが行われることが理解されよう。例えば固体式スイッチに逆バイアスを加えることによって、スイッチを非導通状態に遷移させることができる。しかし、固体式スイッチは非導通状態に切り替えられても接点間に物理的ギャップを生成しないため、固体式スイッチでは漏れ電流が生じる。さらに固体式スイッチを導通状態で動作させると、内部抵抗のために電圧降下が生じる。電圧降下と漏れ電流はいずれも通常の動作状況で過剰な熱の発生をもたらし、これによって切り替え性能及び寿命に悪影響を及ぼし兼ねない。さらに、固体式スイッチに関連する固有の漏れ電流に少なくともその一部で起因してその回路遮断器用途での利用が不可能となる。

【0004】

参照によりその全体を本明細書に組み入れる米国特許出願第11/314,336号(2005年12月20日出願)(整理番号162711-1)は、マイクロ電子機械システム(micro-electromechanical system: MEMS)スイッチの接点間のアーク形成を抑制するように適応させた回路及び技法を含むマイクロ電子機械システムベースの切替デバイスについて記載している。

【特許文献1】米国特許第2005/0146814号

【特許文献2】米国特許第2005/0146404号

【特許文献3】米国特許第6,760,202号

【特許文献4】米国特許第6,738,246号

【特許文献5】米国特許第2003/0183838号

【特許文献6】米国特許第6,563,683号

【特許文献7】米国特許第5,430,597号

【特許文献8】米国特許第4,723,187号

【特許文献9】米国特許第4,700,256号

【特許文献10】米国特許第4,500,934号

【特許文献11】米国特許第5,164,872号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

切替デバイスは、モータその他の工業機器の始動に関連するサージ電流を吸収するまたはこれに耐える必要があるような電流制限保護デバイスの一部とすることがある。このサージ電流は、定常状態負荷電流値の数倍(例えば、6倍以上)に及ぶことが多く、最大10秒間続く可能性がある。この電流を運搬する周知の技法の1つは、多数のMEMSスイッチ(例えば、定常状態電流の運搬に要するスイッチ数の6倍)を並列に組み合わせることである。この技法は恐らくMEMSスイッチアレイのコスト及び歩留まりが改善されるに連れて将来のある点では費用対効果が高まることになるが、目下のところは6倍多くの数のMEMSスイッチを用いるとコストが6倍に増大し、またこれら追加のMEMSスイッチは約10秒間の動作についてしか機能することがない。したがって、こうしたサージ電流に対して高信頼性かつ費用対効果よく対処できながら、依然として定常状態動作のため並びに発生する可能性がある障害条件に対処するためにMEMSスイッチの使用を可能とさせるような回路及び／または技法を提供することが望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0006】

全般的には本発明の態様は、電子機械式切替回路を含む切替システムを提供する。本システムはさらに、電子機械式切替回路と並列回路の形で結合された固体式切替回路と、これら電子機械式切替回路及び固体式切替回路に結合された制御器と、を含むことがある。この制御器は、これら切替回路のそれぞれの回路の動作能力に適した負荷電流条件にตอบสนองして電子機械式切替回路と固体式切替回路の間で負荷電流の選択的切替を実行するように構成されることがある。

【0007】

本発明の別の態様は、マイクロ電子機械システム切替回路を含む切替システムを提供する。本システムはさらに固体式切替回路を含むことがある。マイクロ電子機械システム切替回路及び固体式切替回路と並列回路の形で第1の過電流保護回路を接続させることがあり、該第1の過電流保護回路はマイクロ電子機械システム切替回路の接点間のアーク形成を抑制するように構成されることがある。電子機械式切替回路、固体式切替回路及び第1の過電流保護回路に制御器を結合させることがある。この制御器は、これら切替回路のそれぞれの回路の動作能力に適した負荷電流条件にตอบสนองして電子機械式切替回路と固体式切替回路の間で負荷電流の選択的切替を実行するように構成されることがある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

本発明に関するこれらの特徴、態様及び利点、並びにその他の特徴、態様及び利点については、同じ参照符号が図面全体を通じて同じ部分を表している添付の図面を参照しながら以下の詳細な説明を読むことによってより理解が深まるであろう。

【0009】

本発明の1つまたは複数の実施形態では、マイクロ電子機械システムベースの無アーク切替のためのシステム及び方法を本明細書で記載している。以下の詳細な説明では、本発明の様々な実施形態に対する完全な理解を提供するために、多くの具体的な詳細を掲げている。しかし、本発明の実施形態はこうした具体的な詳細を用いずに実施し得ること、本発明は提示した実施形態に限定されるものでないこと、並びに本発明は多種多様な代替的实施形態により実施し得ることは当業者であれば理解されよう。また一方、よく知られた方法、手順及び構成要素については詳細に記載していない。

【0010】

さらに様々な動作については、本発明の実施形態の理解に役立つように複数の離散的な工程で実施されるように記述されることがある。しかしこの記述順序は、これらの動作を提示した順序で実行する必要があることを意味すると解釈すべきではなく、またさらには順序に依存すると解釈すべきでもない。さらに、「一実施形態では」という表現を反復して使用していても必ずしもこれが同じ実施形態を指すものではない（ただし、同じものを指す場合もあり得る）。最後に、本出願において使用する場合「を備えた（comprising）」、「を含んだ（including）」、「を有する（having）」、その他の表現は、特に指摘しない限り同義語とするように意図したものである。

【0011】

図1は、本発明の態様による例示的な無アークマイクロ電子機械システムスイッチ（MEMS）ベースの切替システム10のブロック図を表している。ここでMEMSとは一般に、例えばマイクロ製作テクノロジーを通じて多数の機能的に異なる要素（例えば、機械的要素、電子機械式要素、センサ、アクチュエータ及び電子回路）を共通のサブストレート上で一体化することが可能なマイクロメートルスケールの構造を意味している。しかし、MEMSデバイスで目下のところ利用可能な多くの技法や構造は、わずか数年すればナノテクノロジーベースのデバイス（例えば、サイズを100ナノメートルより小さくし得る構造）を介して入手可能となるであろうことが企図される。したがって、この文書全体を通じて記載している例示的实施形態はMEMSベース切替デバイスに言及することがあっても、本発明の態様は幅広く解釈されるべきでありまたマイクロメートルサイズのデバイスに限定されるべきではないと判断されるべきである。

【0012】

図 1 に示すように、MEMS ベース切替回路 12 及び過電流保護回路 14 を含むような無アーク MEMS ベース切替システム 10 を示しており、ここで過電流保護回路 14 は MEMS ベース切替回路 12 と動作可能に結合されている。ある種の実施形態では、MEMS ベース切替回路 12 は例えば単一のパッケージ 16 内で過電流保護回路 14 と全体として一体化されることがある。別の実施形態では、MEMS ベース切替回路 12 のうちのあ

【0013】

図 2 ~ 5 を参照しながらより詳細に記載することにする目下のところ企図される構成では、MEMS ベース切替回路 12 は 1 つまたは複数の MEMS スイッチを含むことがある。さらに過電流保護回路 14 は、平衡型ダイオードブリッジ及びパルス回路を含むことがある。さらに過電流保護回路 14 は、1 つまたは複数の MEMS スイッチの接点間のアーク形成の抑制を容易にするように構成されることがある。過電流保護回路 14 は、交流 (AC) や直流 (DC) に応答したアーク形成の抑制を容易にするように構成されることがある。

【0014】

ここで図 2 を見ると、図 1 に示した例示的な無アーク MEMS ベースの切替システムの回路図 18 を一実施形態に従って図示している。図 1 を参照しながら指摘したように、MEMS ベース切替回路 12 は 1 つまたは複数の MEMS スイッチを含むことがある。図示した実施形態では、第 1 の MEMS スイッチ 20 は、第 1 の接点 22、第 2 の接点 24 及び第 3 の接点 26 を有するように表している。一実施形態では、第 1 の接点 22 はドレインとして構成させることがあり、第 2 の接点 24 はソースとして構成させることがあり、また第 3 の接点 26 はゲートとして構成させることがある。さらに図 2 に示すように、MEMS スイッチ 20 と並列に電圧スナバー回路 33 を結合させ、これを高速の接点分離の間の電圧オーバーシュートを制限するように構成させることがある (これについては、以下でより詳細に説明することにする)。ある種の実施形態では、スナバー回路 33 は、スナバー抵抗器 (図示せず) と直列に結合させたスナバーコンデンサ (図示せず) を含むことがある。スナバーコンデンサは MEMS スイッチ 20 の開放シーケンス中の過渡電圧配分の改善を容易にさせることがある。さらにスナバー抵抗器は、MEMS スイッチ 20 の閉鎖動作中にスナバーコンデンサが発生させるあらゆる電流パルスを抑制することがある。ある種の別の実施形態では、電圧スナバー回路 33 は金属酸化物バリスター (MOV) (図示せず) を含むことがある。

【0015】

本技法の別の態様では、第 1 の MEMS スイッチ 20 と直列に負荷回路 40 を結合させることがある。負荷回路 40 は電圧源 V_{BUS} 44 を含むことがある。さらに負荷回路 40 は負荷インダクタンス L_{LOAD} 46 も含むことがあり、この負荷インダクタンス L_{LOAD} 46 は負荷回路 40 から見た負荷インダクタンスとバスインダクタンスの合成インダクタンスを表している。負荷回路 40 はさらに、負荷回路 40 から見た合成負荷抵抗を表した負荷抵抗 R_{LOAD} 48 を含む。参照番号 50 は負荷回路 40 及び第 1 の MEMS スイッチ 20 内を流れることがある負荷回路電流 I_{LOAD} を表している。

【0016】

さらに図 1 を参照しながら指摘したように、過電流保護回路 14 は平衡型ダイオードブリッジを含むことがある。図示した実施形態では、平衡型ダイオードブリッジ 28 は第 1 の分枝 29 及び第 2 の分枝 31 を有するように表している。本明細書で使用する場合、「平衡型ダイオードブリッジ」という語は第 1 及び第 2 の分枝 29、31 の両方の間の電圧降下が実質的に等しくなるように構成されたダイオードブリッジを示すために使用している。平衡型ダイオードブリッジ 28 の第 1 の分枝 29 は、第 1 の直列回路を形成するように互いに結合させた第 1 のダイオード D1 (30) 及び第 2 のダイオード D2 (32) を含むことがある。同様にして、平衡型ダイオードブリッジ 28 の第 2 の分枝 31 は、第 2 の直列回路を形成するように互いに結合させた第 3 のダイオード D3 (34) 及び第 4 のダイオード D4 (36) を含むことがある。

【 0 0 1 7 】

一実施形態では、第 1 の M E M S スイッチ 2 0 は、平衡型ダイオードブリッジ 2 8 の中点間に並列に結合されることがある。平衡型ダイオードブリッジの中点は、第 1 と第 2 のダイオード 3 0、3 2 間に配置された第 1 の中点と、第 3 と第 4 のダイオード 3 4、3 6 間に配置された第 2 の中点と、を含むことがある。さらに第 1 の M E M S スイッチ 2 0 及び平衡型ダイオードブリッジ 2 8 は、平衡型ダイオードブリッジ 2 8 により生じる寄生インダクタンスの最小化、また具体的には M E M S スイッチ 2 0 への接続を容易にするように隙間なくパッケージングされることがある。本技法の例示的な態様では、第 1 の M E M S スイッチ 2 0 と平衡型ダイオードブリッジ 2 8 は、第 1 の M E M S スイッチ 2 0 と平衡型ダイオードブリッジ 2 8 の間の固有インダクタンスによって生成される di/dt 電圧が M E M S スイッチ 2 0 のオフ切り替えの間のダイオードブリッジ 2 8 への負荷電流遷移の伝達時における M E M S スイッチ 2 0 のドレイン 2 2 とソース 2 4 の間の電圧の数パーセント未満になるようにして互いに対して相対的に位置決めされることに留意されたい（これについては以降でさらに詳細に記載することにする）。一実施形態では、第 1 の M E M S スイッチ 2 0 は、M E M S スイッチ 2 0 とダイオードブリッジ 2 8 を相互接続するインダクタンスを最小限にする目的で、単一のパッケージ 3 8（また任意選択では、同じダイ）内で平衡型ダイオードブリッジ 2 8 と一体化させることがある。

10

【 0 0 1 8 】

さらに、過電流保護回路 1 4 は、平衡型ダイオードブリッジ 2 8 と動作連係して結合させたパルス回路 5 2 を含むことがある。パルス回路 5 2 は、スイッチ条件を検出し該スイッチ条件に応答して M E M S スイッチ 2 0 の開放を開始するように構成されることがある。本明細書で使用する場合、「スイッチ条件 (s w i t c h c o n d i t i o n) 」という語は M E M S スイッチ 2 0 の目下の動作状態の変化をトリガする条件のことを指す。例えばスイッチ条件は M E M S スイッチ 2 0 の第 1 の閉状態を第 2 の開状態にする変化、あるいは M E M S スイッチ 2 0 の第 1 の開状態を第 2 の閉状態にする変化となることがある。スイッチ条件は回路障害やスイッチ O N / O F F 要求（ただし、これらに限らない）を含む多くの動作に応答して発生することがある。

20

【 0 0 1 9 】

パルス回路 5 2 は、パルススイッチ 5 4 と、パルススイッチ 5 4 と直列に結合されたパルスコンデンサ C_{PULSE} 5 6 と、を含むことがある。さらにパルス回路はさらに、パルススイッチ 5 4 と直列に結合されたパルスインダクタンス L_{PULSE} 5 8 及び第 1 のダイオード D_{p60} を含むことがある。パルスインダクタンス L_{PULSE} 5 8、ダイオード D_{p60} 、パルススイッチ 5 4 及びパルスコンデンサ C_{PULSE} 5 6 は、パルス回路 5 2 の第 1 の分枝を形成するように直列に結合されることがあり、該第 1 の分枝の構成要素はパルス電流の成形及びタイミング調整を容易にするように構成されることがある。さらに参照番号 6 2 によってパルス回路 5 2 を通って流れ得るパルス回路電流 I_{PULSE} を表している。

30

【 0 0 2 0 】

以降でさらに詳細には記載するような本発明の態様では、M E M S スイッチ 2 0 はニアゼロ電圧にある場合であっても電流を伝達しながら第 1 の閉状態から第 2 の開状態に迅速に（例えば、ピコ秒またはナノ秒のオーダーで）切り替えることができる。この動作は、負荷回路 4 0 と、M E M S スイッチ 2 0 の接点間に並列に結合された平衡型ダイオードブリッジ 2 8 を含むパルス回路 5 2 との合成動作を通じて実現することができる。

40

【 0 0 2 1 】

図 3 ~ 5 は、図 2 に示した無アーク M E M S ベースの切替システム 1 8 の例示的な一動作を表すための回路フローチャートとして使用している。引き続き図 2 を見ると、無アーク M E M S ベース切替システム 1 8 の例示的動作の初期条件を図示している。M E M S スイッチ 2 0 は第 1 の閉状態で開始となるように表している。さらに図示したように、負荷回路 4 0 において V_{BUS}/R_{LOAD} と実質的に等しい値を有する負荷電流 I_{LOAD} 5 0 が存在している。

50

【 0 0 2 2 】

さらに、無アークMEMSベース切替システム18のこの例示的動作に関して検討するために、MEMSスイッチ20に関連付けされた抵抗は十分に小さくMEMSスイッチ20の抵抗を通る負荷電流が発生させる電圧はパルス動作の際にダイオードブリッジ28の中点間のニアゼロ電圧差に対する影響は無視できるだけであると仮定している。例えばMEMSスイッチ20に関連付けされた抵抗は十分に小さく、予測される最大負荷電流であっても生成される電圧降下は数ミリボルト未満であると仮定することがある。

【 0 0 2 3 】

MEMSベース切替システム18に関するこの初期条件では、パルススイッチ54は第1の開状態にあることに留意されたい。さらに、パルス回路52内にはパルス回路電流が存在していない。さらにパルス回路52内において、コンデンサ C_{PULSE} 56は電圧 V_{PULSE} まで前充電されることがある(ここで、 V_{PULSE} は負荷電流の遷移期間中の予想負荷電流 I_{LOAD} 50よりかなり大きい(例えば、2倍の)ピーク規模を有する半正弦曲線(half sinusoid)のパルス電流を発生させることが可能な電圧である)。 C_{PULSE} 56及び L_{PULSE} 58は直列共振回路を成すことに留意されたい。

【 0 0 2 4 】

図3は、パルス回路52に関するトリガ動作の過程を表した回路図64である。このパルス回路52には検出回路(図示せず)が結合されることがあることに留意されたい。検出回路は、例えば負荷回路電流 I_{LOAD} 50のレベル及び/または電圧源 V_{BUS} 44の電圧レベルを検知するように構成された検知回路(図示せず)を含むことがある。さらに検出回路は、上述のようにスイッチ条件を検出するように構成されることがある。一実施形態ではスイッチ条件は、所定のしきい値を超える電流レベル及び/または電圧レベルに起因して生じることがある。

【 0 0 2 5 】

パルス回路52は、MEMSスイッチ20の目下の閉状態の第2の開状態への切替を容易にするためにスイッチ条件を検出するように構成されることがある。一実施形態ではそのスイッチ条件は、負荷回路40内の所定のしきい値を超える電圧レベルや負荷電流に起因して発生した障害条件とすることがある。しかし、スイッチ条件はさらに、MEMSスイッチ20に関してシステム依存の所与のON時間を実現するためにランプ(ramp)電圧を監視することを含むことがあることが理解されよう。

【 0 0 2 6 】

一実施形態ではそのパルススイッチ54は、検出した切替条件の結果としてのトリガ信号の受信に応答して正弦波パルスを発生させることがある。パルススイッチ54のトリガ動作はパルス回路52内に共振正弦波電流を始動させることがある。パルス回路電流の電流方向を参照番号66及び68で表すことがある。さらに、平衡型ダイオードブリッジ28の第1の分枝29の第1のダイオード30及び第2のダイオード32を通るパルス回路電流の電流方向及び相対的規模は電流ベクトル72及び70のそれぞれで表すことがある。同様に、電流ベクトル76及び74は第3のダイオード34及び第4のダイオード36のそれぞれを通るパルス回路電流の電流方向及び相対的規模を表している。

【 0 0 2 7 】

ピーク正弦波ブリッジパルス電流の値は、パルスコンデンサ C_{PULSE} 56上の初期電圧、パルスコンデンサ C_{PULSE} 56の値、並びにパルスインダクタンス L_{PULSE} 58の値によって決定されることがある。パルスインダクタンス L_{PULSE} 58及びパルスコンデンサ C_{PULSE} 56に関する値によってさらに、パルス電流の半正弦曲線のパルス幅が決定される。ブリッジ電流パルス幅は、負荷障害条件中の負荷電流(V_{BUS}/L_{LOAD})の変化率及び所望のピーク通過許可(let-through)電流に基づいて予測されるシステム負荷電流オフ切り替え要件を満たすように調整されることがある。本発明の態様ではパルススイッチ54は、MEMSスイッチ20を開放させる前に導通状態となるように構成されることがある。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

パルススイッチ 5 4 のトリガ動作は、開放期間中における M E M S スイッチ 2 0 の接点を通る経路のインピーダンスと比較してより低インピーダンスの経路を生成することが容易となるように平衡型ダイオードブリッジ 2 8 を通るパルス回路電流 $I_{PULS E 6 2}$ のタイミングを制御することを含むことがあることに留意されたい。さらにパルススイッチ 5 4 は、M E M S スイッチ 2 0 の接点間に所望の電圧降下が提示されるようにトリガを受けることがある。

【 0 0 2 9 】

一実施形態ではそのパルススイッチ 5 4 は、例えばナノ秒単位からマイクロ秒単位までの範囲の切替速度を有するように構成され得る固体式スイッチとすることがある。パルススイッチ 5 4 の切替速度は、障害条件における負荷電流の予想立ち上がり時間と比較して比較的高速とさせるべきである。M E M S スイッチ 2 0 に要求される電流定格は負荷電流の上昇率に依存し、また一方この上昇率は上で指摘したように負荷回路 4 0 内のインダクタンス $L_{L O A D 4 6}$ 及びバス供給電圧 $V_{B U S 4 4}$ に依存する。M E M S スイッチ 2 0 は、ブリッジパルス回路の速度機能と比較して負荷電流 $I_{L O A D 5 0}$ の上昇が迅速となり得る場合に、より大きな負荷電流 $I_{L O A D 5 0}$ を扱えるのに適した定格とさせることがある。

10

【 0 0 3 0 】

パルス回路電流 $I_{PULS E 6 2}$ は、値ゼロから上昇すると共に、平衡型ダイオードブリッジ 2 8 の第 1 の分枝 2 9 と第 2 の分枝 3 1 の間で等しく分割される。一実施形態では、平衡型ダイオードブリッジ 2 8 の各分枝 2 9、3 1 間の電圧降下差は、上で記載したように無視できるように設計されることがある。さらに上で記載したように、ダイオードブリッジ 2 8 は、ダイオードブリッジ 2 8 の第 1 と第 2 の分枝の間の電圧降下が実質的に等しいような平衡型としている。さらに目下閉状態にある M E M S スイッチ 2 0 の抵抗が比較的低いと、M E M S スイッチ 2 0 間に存在する電圧降下は比較的小さい。しかし、M E M S スイッチ 2 0 間の電圧降下がたまたま（例えば、M E M S スイッチの本来的設計に起因して）大きくなると、ダイオードブリッジ 2 8 が M E M S スイッチ 2 0 と並列で動作可能に結合されているためダイオードブリッジ 2 8 の平衡が影響を受けることがある。本発明の態様では、M E M S スイッチ 2 0 の抵抗が M E M S スイッチ 2 0 の両端に大きな電圧降下を生じさせる場合、ダイオードブリッジ 2 8 はピークブリッジパルス電流の規模を増大させることによってパルスブリッジに関して生じた不平衡に対応することがある。

20

30

【 0 0 3 1 】

ここで図 4 を参照すると、M E M S スイッチ 2 0 の開放が開始されている回路図 7 8 を表している。上で指摘したように、M E M S スイッチ 2 0 の開放前にパルス回路 5 2 内のパルススイッチ 5 4 がトリガを受ける。パルス電流 $I_{PULS E 6 2}$ が上昇すると、パルス回路 5 2 の共振作用のためにパルスコンデンサ $C_{PULS E 5 6}$ の両端の電圧が低下する。スイッチが閉じて導通している ON 状態では、M E M S スイッチ 2 0 により負荷回路電流 $I_{L O A D 5 0}$ に対して比較的低インピーダンスの経路が提供される。

【 0 0 3 2 】

パルス回路電流 $I_{PULS E 6 2}$ の振幅が（例えば、パルス回路 5 2 の共振作用のために）負荷回路電流 $I_{L O A D 5 0}$ の振幅より大きくなると、M E M S スイッチ 2 0 のゲート接点 2 6 に付与される電圧が適正にバイアスされ、M E M S スイッチ 2 0 の目下の動作状態が第 1 の閉鎖導通状態から、M E M S スイッチ 2 0 がオフ切り替えを始めており（例えば、その接点は依然として閉じているがスイッチ開放過程のために接触圧力は低下しつつあり）このためにスイッチ抵抗が上昇し負荷電流は一方 M E M S スイッチ 2 0 からダイオードブリッジ 2 8 に進路変更され始めるような抵抗上昇条件に切り替えられることがある。

40

【 0 0 3 3 】

この目下の条件では、平衡型ダイオードブリッジ 2 8 によって、負荷回路電流 $I_{L O A D 5 0}$ に対して M E M S スイッチ 2 0 を通る経路と比較してかなり低インピーダンスの経

50

路が提供され、この際に接触抵抗の上昇が出現する。MEMSスイッチ20を通過する負荷回路電流 I_{LOAD50} のこの分流は、負荷回路電流 I_{LOAD50} の変化率と比べて極めて高速な過程であることに留意されたい。上で指摘したように、MEMSスイッチ20と平衡型ダイオードブリッジ28の間の接続に関連付けされたインダクタンス L_{184} 及び L_{288} の値は、高速の電流分流が阻害されないように非常に小さくすることが望ましい。

【0034】

MEMSスイッチ20からパルスブリッジへの電流遷移過程によって第1のダイオード30及び第4のダイオード36の電流が上昇する一方、同時に第2のダイオード32及び第3のダイオード34の電流は減少する。この遷移過程は、MEMSスイッチ20の機械的接点22、24が分離されて物理的ギャップが形成されると共に、負荷電流がすべて第1のダイオード30及び第4のダイオード36によって伝達された時点で完了となる。

【0035】

MEMSスイッチ20からダイオードブリッジ28まで方向86に負荷回路電流 I_{LOAD} が進路変更される結果、ダイオードブリッジ28の第1の分枝29と第2の分枝31の間に不平衡が形成される。さらにパルス回路電流が崩壊するのに連れて、パルスコンデンサ $C_{PULSE56}$ の両端の電圧の逆転（例えば、「逆起電力」の作用をする）が継続し、これが負荷回路電流 I_{LOAD} を事実上ゼロまで低下させることになる。ダイオードブリッジ28の第2のダイオード32と第3のダイオード34は逆バイアスとなり、ここでパルスインダクタ $L_{PULSE58}$ 及びブリッジパルスコンデンサ $C_{PULSE56}$ を含む負荷回路が生じて1つの直列共振回路となる。

【0036】

ここで図5を見ると、負荷電流の減少過程のために接続された回路素子の回路図94を表している。上で言及したように、MEMSスイッチ20の接点が離れている時点で、無限大の接触抵抗が達成される。さらにダイオードブリッジ28によって、MEMSスイッチ20の接点間のニアゼロ電圧がもはや維持されない。さらにこの際、負荷回路電流 I_{LOAD} は第1のダイオード30及び第4のダイオード36を通過する電流に等しくなる。上で指摘したように、電流はダイオードブリッジ28の第2のダイオード32及び第3のダイオード34を通過していない。

【0037】

さらに、MEMSスイッチ20のドレイン24からソース26への大きなスイッチ接点電圧差は、パルスインダクタ $L_{PULSE58}$ 、パルスコンデンサ $C_{PULSE56}$ 、負荷回路インダクタ L_{LOAD46} 、並びに負荷抵抗器 R_{LOAD48} 及び回路損失に由来する減衰を含むネットの共振回路によって決定される率で、 V_{BUS} 電圧の概ね2倍の最大値まで上昇することがある。さらにある時点では負荷回路電流 I_{LOAD50} に等しかったパルス回路電流 $I_{PULSE62}$ が共振のためにゼロ値まで低下することがあり、またダイオードブリッジ28及びダイオード D_{p60} の逆阻止作用のためにこのゼロ値が維持されることがある。共振に由来するパルスコンデンサ $C_{PULSE56}$ の両端の電圧は、負のピークに対応して極性を逆転させ、こうした負のピークがパルスコンデンサ $C_{PULSE56}$ が再充電されるまで維持されることになる。

【0038】

ダイオードブリッジ28はMEMSスイッチ20の接点が分離してMEMSスイッチ20を開放させるまでこの接点間のニアゼロ電圧を維持し、これにより開放動作中にMEMSスイッチ20の接点間に形成される傾向がある任意のアークを抑制することによって損傷を防止するように構成されることがある。さらにMEMSスイッチ20の接点は、MEMSスイッチ20を通過する接点電流がかなり低下したときに開放状態に近づく。さらに、回路インダクタンス、負荷インダクタンス及びソース内に蓄積されるエネルギーはすべて、パルス回路コンデンサ $C_{PULSE56}$ に遷移させること、また電圧消費回路（図示せず）を介して吸収させることがある。電圧スナバ回路33は、ブリッジとMEMSスイッチの間のインタフェースインダクタンス内に保持される誘導性エネルギーに由来する

高速の接点分離中の電圧オーバーシュートを制限するように構成されることがある。さらに開放動作中のMEMSスイッチ20の接点間への再付加電圧の上昇率は、スナバー回路(図示せず)を使用することによって制御されることがある。

【0039】

さらに、開状態ではMEMSスイッチ20の接点間にギャップが生じているが、そうであってもMEMSスイッチ20の周りの負荷回路40とダイオードブリッジ回路28の間には漏れ電流が存在することがあることに留意されたい。この漏れ電流は負荷回路40内に副次的な機械式スイッチ(図示せず)を直列接続して導入して物理的ギャップを生成することによって抑制させることがある。ある種の実施形態では、その機械式スイッチは第2のMEMSスイッチを含むことがある。

10

【0040】

図6は、切替回路12(図1参照)が例えば直列または直列-並列アレイの形に配列させた複数のMEMSスイッチを含み得るような例示的な一実施形態96を表している。さらに図6に示すように、MEMSスイッチ20は直列回路の形で電氣的に結合させた2個以上のMEMSスイッチ98、100からなる第1のスイッチ組によって置き換えられることがある。一実施形態では、第1組のMEMSスイッチ98、100のうちの少なくとも1個はさらに、第2組の2個以上のMEMSスイッチ(例えば、参照番号100、102)を含むことがある並列回路の形で結合されることがある。本発明の態様では、静的なグレーディング抵抗器及び動的なグレーディングコンデンサを、第1または第2組のMEMSスイッチの少なくとも1個と並列に結合させることがある。

20

【0041】

ここで図7を参照すると、グレーディング型MEMSスイッチ回路の例示的な一実施形態104を表している。グレーディング型スイッチ回路104は、少なくとも1つのMEMSスイッチ106と、グレーディング抵抗器108と、グレーディングコンデンサ110と、を含むことがある。グレーディング型スイッチ回路104は、例えば図6に示したように、直列または直列-並列アレイの形に配列させた複数のMEMSスイッチを含むことがある。グレーディング抵抗器108は、スイッチアレイに対して電圧グレーディングを提供するために少なくとも1つのMEMSスイッチ106と並列に結合されることがある。例示的な一実施形態ではそのグレーディング抵抗器108は、直列スイッチ間で適当な定常状態電圧平衡(分割)を提供する一方、当該用途に関して受容可能な漏れが提供されるような大きさとさせることがある。さらにそのアレイの各MEMSスイッチ106と並列にグレーディングコンデンサ110とグレーディング抵抗器108の両方が設けられ、切替動作時には動的にかつOFF状態では静的に配分(sharing)を提供させることがある。追加としてグレーディング抵抗器またはグレーディングコンデンサ、あるいはこれら両者をスイッチアレイ内の各MEMSスイッチに付加することがあることに留意されたい。

30

【0042】

図8は、MEMSベース切替システムを目下の動作状態から第2の状態に切り替えるための例示的な論理フローチャート112である。本技法の例示的な態様では、切り替えのための方法を提示する。上で指摘したように、検出回路は過電流保護回路と動作可能に結合させ、かつスイッチ条件を検出するように構成されることがある。さらに検出回路は、電流レベル及び/または電圧レベルを検知するように構成された検知回路を含むことがある。

40

【0043】

ブロック114で示したように、負荷回路40(図2参照)などの負荷回路の電流レベル及び/または電圧レベルは、例えばこの検知回路を介して検知されることがある。さらに判断ブロック116に示したように、検知した電流レベルと検知した電圧レベルのいずれか一方が期待値から変動しているまたは期待値を超えているか否かの判定が実施されることがある。一実施形態では、検知した電流レベルまたは検知した電圧レベルがそれぞれの所定のしきい値レベルを超えているか否かの判定が(例えば、検出回路を介して)実施

50

されることがある。別法として、実際に障害を発生させずにスイッチ条件を検出するために電圧または電流ランプ率が監視されることがある。

【 0 0 4 4 】

検知した電流レベルまたは検知した電圧レベルが期待値から変動しているまたは期待値から外れている場合、ブロック 1 1 8 で示したようなスイッチ条件が生成されることがある。上で指摘したように、「スイッチ条件」という語は M E M S スイッチの目下の動作状態の変化をトリガする条件のことを指している。ある種の実施形態では、そのスイッチ条件は障害信号に応答して生成されることがあり、また M E M S スイッチの開放の始動を容易にするために利用されることがある。ブロック 1 1 4 ~ 1 1 8 はスイッチ条件の生成の一例を表していることに留意されたい。しかし本発明の態様に従った別のスイッチ条件生成方法も想定されることが理解されよう。

10

【 0 0 4 5 】

ブロック 1 2 0 で示したように、パルス回路はスイッチ条件に応答してパルス回路電流を始動するようにトリガを受ける。パルス回路の共振作用のために、パルス回路電流レベルは上昇を続けることがある。少なくともその一部でダイオードブリッジ 2 8 に由来して、パルス回路電流の振幅瞬時値が負荷回路電流の振幅瞬時値を大幅に超える場合に、M E M S スイッチの接点間でニアゼロ電圧降下が維持されることがある。さらにブロック 1 2 2 で示したように、M E M S スイッチを通過する負荷回路電流は M E M S スイッチからパルス回路に進路変更されることがある。上で指摘したように、M E M S スイッチの接点が離れ始めるに連れて比較的高インピーダンスの上昇を示すような M E M S スイッチを通過する経路と異なり、ダイオードブリッジでは比較的低インピーダンスの経路が提供される。次いでブロック 1 2 4 で示したように、M E M S スイッチを無アーク式に開放させることができる。

20

【 0 0 4 6 】

上で記載したように、パルス回路電流の振幅瞬時値が負荷回路電流の振幅瞬時値を大幅に超えている限り M E M S スイッチの接点間のニアゼロ電圧降下が維持され、これによって M E M S スイッチの開放を容易にすると共に M E M S スイッチの接点間でのアーク形成を抑制することができる。したがって、本明細書の上で記載したように、M E M S スイッチの接点間のニアゼロ電圧条件で M E M S スイッチを通過する電流を大幅に減少させて M E M S スイッチを開放させることができる。

30

【 0 0 4 7 】

図 9 は、本技法の態様に従った M E M S ベース切替システムの M E M S スイッチの目下の動作状態の切替を表した実験結果をグラフ表示 1 3 0 したものである。図 9 に示すように、時間 1 3 4 の変化に対して振幅 1 3 2 の変動をプロットしている。さらに参照番号 1 3 6、1 3 8 及び 1 4 0 は、グラフ表示 1 3 0 の第 1 のセクション、第 2 のセクション及び第 3 のセクションを表している。

【 0 0 4 8 】

応答曲線 1 4 2 は負荷回路電流の振幅変化を時間の関数として表している。パルス回路電流の振幅変化を時間の関数として応答曲線 1 4 4 で表している。同様に、ゲート電圧の振幅変化を時間の関数として応答曲線 1 4 6 で示している。応答曲線 1 4 8 はゼロゲート電圧基準値を表しており、一方応答曲線 1 5 0 はオフ切り替え前の負荷電流に関する基準レベルである。

40

【 0 0 4 9 】

さらに参照番号 1 5 2 は、スイッチ開放動作過程が生じている箇所にあたる応答曲線 1 4 2 上の領域を表している。同様に参照番号 1 5 4 は、M E M S スイッチの接点が離れた後にスイッチが開状態にある箇所にあたる応答曲線 1 4 2 上の領域を表している。さらにグラフ表示 1 3 0 の第 2 のセクション 1 3 8 から分かるように、ゲート電圧は M E M S スイッチの開放の始動を容易にするように低い値にプルされている。さらにグラフ表示 1 3 0 の第 3 のセクション 1 4 0 から分かるように、平衡型ダイオードブリッジのうちの導通している半分にある負荷回路電流 1 4 2 及びパルス回路電流 1 4 4 は崩壊しつつある。

50

【 0 0 5 0 】

本発明の態様は、固体式（例えば、半導体ベースの）切替回路を用いて（例えば、スタートアップ事象または過渡条件中の）サージ電流に対して高信頼性で費用対効果よく耐えることを可能とする一方、例えば定常状態動作に関して、また起こり得る障害条件に対処するためにMEMSベース切替回路を利用することを可能とした回路及び／または技法を含む。

【 0 0 5 1 】

サージ電流はモータや別のタイプの電気機器などの電氣的負荷を始動させる際に発生することや、過渡条件の間に発生することがあることは当業者であれば理解されよう。スタートアップ事象中のサージ電流の値は、定常状態の負荷電流値の数倍（例えば、6倍以上）を成すことが多く、また数秒間（例えば、概ね10秒間）持続する可能性がある。

10

【 0 0 5 2 】

図10は、本発明の態様を具現化した切替システム200を表したブロック図である。例示的一実施形態ではシステム200は、MEMSベース切替回路202、固体式切替回路204及び過電流保護回路206（例えば例示的一実施形態では、図1～9のコンテキストにおいて図示及び／または記載したパルス回路52及び平衡型ダイオードブリッジ31を備えることがある）を並列回路を成すように接続している。

【 0 0 5 3 】

MEMSベース切替回路202、固体式切替回路204及び過電流保護回路206には制御器208を結合させることがある。制御器208は、過電流保護回路206を作動させる時点、並びにそれぞれの各切替回路を開閉させる時点を決断するように構成された制御方針を実施すること（例えば、切替回路のうちのそれぞれの回路の電流伝達能力に適した負荷電流条件及び／または切替システムに影響を与え得る障害条件に応答して実施されることがある）によってMEMSベース切替回路と固体式切替回路の間を行き来するように電流を選択的に遷移させるように構成されることがある。こうした制御方針では、負荷電流がそれぞれの切替回路の最大電流運搬容量に近づく際に常に、障害電流の制限を実施する一方でそれぞれの切替回路202と204の間を行き来するように電流を遷移させると共に、電流制限及び負荷非通電を実施するように備えることが望ましいことに留意されたい。

20

【 0 0 5 4 】

上述の例示的回路を具現化したシステムは、サージ電流がMEMSベース切替回路202によって伝達されることがなくかつこれに代わってこの電流が固体式切替回路204に伝達されるように制御を受けることがある。定常状態電流はMEMSベース切替回路202によって伝達されることになり、また過電流保護回路206を介してシステム動作中における過電流及び／または障害保護が利用可能となる。その広範な態様では提唱した考え方がMEMSベース切替回路に限定されるものでないことを理解されたい。例えば、1つまたは複数の固体式スイッチ及び適当な制御器と並列とした1つまたは複数の標準の電子機械式スイッチ（すなわち、MEMSベースの電子機械式切替回路でない）を備えたシステムも同様に本発明の態様による利点から恩恵を得ることができる。

30

【 0 0 5 5 】

負荷開始事象の発生時における切替状態の例示的シーケンス並びに切替システムの例示的電流値を以下に示している。数字の後にある文字Xは、例示的電流値が定常状態条件下の典型的な電流値の何倍に対応するかを示している。したがって6Xとは、電流値が定常状態条件下の典型的な電流値の6倍に対応することを示している。

40

- | | |
|-----------------|-----|
| 1 . 固体式切替回路 | - 開 |
| M E M S ベース切替回路 | - 開 |
| 電流 - 0 | |
| 2 . 固体式切替回路 | - 閉 |
| M E M S ベース切替回路 | - 開 |

50

- 電流 - 6 X
- 3 . 固体式切替回路 - 閉
- MEMSベース切替回路 - 閉
- 電流 - 1 X
- 4 . 固体式切替回路 - 開
- MEMSベース切替回路 - 閉
- 電流 - 1 X

図11は、切替システム200内の固体式切替回路204が過剰保護回路206及びMEMSベース切替回路202と並列回路の形で接続された2個のFET（電界効果トランジスタ）スイッチ210及び212（AC電流の導通を可能にするためにダイオード214及び216と逆並列構成で接続されたスイッチ）を備えている例示的一実施形態を表している。電気的負荷（図示せず）は、FETスイッチ210及び212をオンに切り替えることによって作動させ、負荷へのスタートアップ電流（「Istart」で示す）の流入を可能にする一方、負荷のスタートアップの間にFETスイッチ210及び212によるこの電流の伝達を可能にすることができる。固体式切替回路204は図11に示した回路配列に限定されるものでなく、またFETスイッチに限定されるものでもないことを理解されたい。例えば、双方向の電流伝導能力を備えた固体式または半導体式の電力切替デバイスは所与のAC用途で等しく効率よく動作することができる。この双方向能力は、TRIAC、RCTなどの切替デバイスにおいて本来的なものとなり得ること、またIGBT、FET、SCR、MOSFET、その他のこうしたデバイスを少なくとも2つ適当に配列させることによってこの双方向能力が達成され得ることは当業者であれば理解されよう。

【0056】

図16は、固体式切替回路204が逆直列回路配列で接続された1対のMOSFETスイッチ240及び242を備えている例示的一実施形態を表している。ダイオード244及び246はボディ（body）ダイオードを備えることに留意されたい。すなわち、こうしたダイオードはそのそれぞれのMOSFETスイッチの不可欠な部分を成す。ゼロゲート駆動電圧では、各スイッチはオンに切り替えられ、これによってスイッチの各々は交番する電圧の交替極性をブロックし、一方もう一方のスイッチの対応する各ダイオードは順バイアスされることになる。ゲート駆動回路222から適当なゲート駆動電圧が印加されると、各MOSFETは、切替端子に現れるAC電圧の極性に関わらず低い抵抗状態に引き戻されることになる。

【0057】

逆直列接続の1対のMOSFET間の電圧降下は、逆並列の配列のケースのような1つのR_{ds on} + 電圧ダイオードドロップに代わって2つのR_{ds on}（オン抵抗）スイッチのIRドロップとなることは当業者であれば理解されよう。したがって例示的一実施形態では、MOSFETを逆直列構成させると比較的低い電圧降下を提供しこれにより低い電力消費、熱及びエネルギー損失を提供する能力があるため、逆直列構成とすることが望ましいことがある。

【0058】

さらに、固体式切替回路204が双方向サイリスタ（または、逆並列の1対のサイリスタ）を備える一方、この配列がより小さい電流において比較的高い損失を生じるような例示的一実施形態では、大電流における電圧降下が比較的小さいこと並びに過渡熱応答特性のためにこうした配列は比較的高い短期的電流サージに耐えることができるという利点を有する。

【0059】

初期スタートアップ電流が適当なレベルまで下がった後、適当なMEMS準拠の切替技法を用いること、あるいは閉鎖によって固体式切替回路の両端の電圧を降下させる（ただし、この電圧降下が比較的小さい電圧を成す場合）ことによってMEMSベース切替回路

10

20

30

40

50

202をオン切り替えすることがある。この点において、FETスイッチ210及び219をオフ切り替えすることができる。図12は、MEMSベース切替回路202によって定常状態電流(「 I_{ss} 」で示す)が伝達される切替システム200の条件を表している。

【0060】

MEMSベース切替回路はその切替用接点の両端に電圧が存在している際に閉じて導通切替状態にすべきではなく、またこうした接点に電流を通過させている間にこうした回路を開放して非導通切替状態にすべきでもないことは当業者であれば理解されよう。MEMS準拠の切替技法の一例は、図1～9のコンテキストで記載及び/または図示したパルス形成技法である。

【0061】

MEMS準拠の切替技法の別の例は、切替システムをソフト切替またはポイントオンウェーブ(point-on-wave)切替を実施するように構成させ、これによって切替回路202内の1つまたは複数のMEMSスイッチを、切替回路202両端の電圧がゼロであるかゼロに非常に近い時点で閉鎖し、かつ切替回路202を通過する電流がゼロであるかゼロに近い時点で開放することによって実現させることがある。こうした技法に関する背景情報を希望する読者は、参照によりその全体を本明細書に組み込むものとする「Micro-Electromechanical System Based Soft Switching」と題する米国特許出願第11/314,879号(2005年12月20日出願)(整理番号162191-1)を参照されたい。

【0062】

切替回路202両端の電圧がゼロであるかゼロに非常に近い時点でスイッチを閉じると、1つまたは複数のMEMSスイッチの接点間の電場が(複数のスイッチのすべてが同時に閉じられない場合でも)接点が近づいても低く保たれることによってプレストライク(pre-strike)アークを回避することが可能である。上で言及したように、制御回路は、切替回路202の1つまたは複数のMEMSスイッチの開放と閉鎖を交番するソース電圧または交番する負荷回路電流ゼロ交差の発生と同期するように構成されることがある。スタートアップ事象中に万一障害が発生しても、過電流保護回路206が下流側の負荷並びにそれぞれの切替回路を保護するように構成されている。図13に示すように、この保護は障害電流(I_{fault})を過電流保護回路206に遷移させることによって

【0063】

電子機械的切替回路と固体式切替回路とは、大局的に見ると概念上は互いに実質的に同様の挙動のように見えるが、実際上はこれらの切替回路は、実質的に異なる物理的原理に基づいて動作するためそれぞれ異なる動作特性を示すことがあり、また過電流保護回路はこうした特性に対応すると共に、依然として切替回路を適当に作動するように適正に構成させることが必要であることに留意されたい。例えば、MEMSスイッチは一般に接点を開くために片持ち梁式の機械的動きが必要であり、一方固体式スイッチは一般に電圧誘導チャンネル内の電荷キャリアの動きが必要である。キャリアのチャンネルをクリアするのに要する時間は回復時間と呼ばれており、この回復時間は $< 1 \mu$ の時間から $> 100 \mu$ の時間までの範囲とすることができる。例えば固体式スイッチが閉じて障害に至ると、過電流保護回路206はスイッチのチャンネルが完全にクリアされてスイッチが完全に開放状態になるまでその障害電流を吸収して固体式スイッチ及び下流側負荷を保護できる必要がある。過電流保護回路206がパルス回路52及び平衡型ダイオードブリッジ31を備えるときは、パルス特性(例えば、パルス回路により形成されるパルスの幅及び/または高さ)が下流側保護の品質に影響を及ぼす可能性があることが理解されよう。例えば過電流保護回路206は、並列の固体式切替回路の回復時間に対応でき、かつMEMSベース切替回路の障害保護に対応できるだけの十分な幅及び/または高さを有するパルスを生じさせる必要がある。

【0064】

障害電流の中断に関して固体式切替回路には2つの一般的分類が存在することは当業者であれば理解されよう。ある種の固体式スイッチ（例えば、FET）はオフ切り替えした時に本来的にゼロ電流条件にさせることが可能である。別のスイッチ（例えば、SCR）はこうしたゼロ電流条件にさせることはできない。ゼロ電流条件にさせることが可能な固体式切替回路では、障害時に電流制限を実施するために過電流保護回路206の支援を受ける必要はない。ゼロ電流条件にさせることが不可能な固体式切替回路では一般に、過電流保護回路206が必要となる。

【0065】

上で言及したように、MEMSベース切替回路と固体式切替回路の間で電流が行き来するように選択的に遷移させるような適当な制御技法を実現させるべきである。例示的一実施形態ではこうした制御技法の1つは、各切替回路に関するそれぞれの電気損失モデルに基づくことがある。例えばMEMSベース切替回路内の電氣的損失（及び、これに付随する温度上昇）は一般に、負荷電流の2乗に比例する一方、固体式切替回路内の損失（及び、これに付随する温度上昇）は一般に、負荷電流絶対値に比例する。さらに固体式デバイスの熱容量は一般に、MEMSベース切替回路の熱容量より大きい。したがって負荷電流の正常値では、MEMSベース切替回路が電流を伝達するように企図する一方、一時的な過負荷電流については固体式切替回路が電流を伝達することが企図される。したがって過渡過負荷の状況では、電流が行き来するように遷移させることが企図される。

【0066】

以下では、MEMSベース切替回路と固体式切替回路の間で行き来させて負荷電流を選択的に遷移させるための3つの例示的技法について検討することにする。例示的な一技法では、この遷移を支援するために第1の過電流保護回路206₁及び第2の過電流保護回路206₂をMEMSベース切替回路及び固体式切替回路と並列回路の形で接続させた（この第2の過電流保護回路はさらに例示的一実施形態では、図1～9のコンテキストで図示及び/または記載したようなパルス回路52及び平衡型ダイオードブリッジ31を備えることがある）図14に示すようなデュアル過電流保護回路の使用が企図される。

【0067】

切替システムが単一の過電流保護回路206のみを使用する場合、この単一の過電流保護回路はMEMSベース切替回路と関連した切替事象に従って作動させることになることに留意されたい。しかし、直ぐ後に障害が生じることになると、単一の過電流保護回路206は再び作動して切替回路を保護する準備が整わないことがあり得る。上述のように、過電流保護回路206はパルス技法に基づいて動作するため、保護回路はパルス発射の直ぐ後では瞬時に動作準備が整わない。例えば、パルス回路52のパルスコンデンサを再充電するためのある期間だけ待機することが必要となる。

【0068】

デュアル過電流保護回路を含んだ技法では、一方の過電流保護回路206₁が通常の切替事象（非障害駆動性の切替事象）に関連してパルス支援型切替を実行したばかりの状態であっても、もう一方の過電流保護回路（例えば、回路206₂）が障害事象の発生において電流制限を支援するように使用できる準備完了状態にあることが保証される。この技法は、比較的簡単な制御によってかなりの設計上の柔軟性が得られるが、単一の過電流保護回路に代えてデュアル過電流保護回路が必要になることを理解されたい。この技法は任意のタイプの固体式切替回路と適合することに留意されたい。

【0069】

デュアル過電流保護回路を備えた例示的な一実施形態では、こうした保護回路はパルス回路52をデュアルで含む必要があるが、平衡型ダイオードブリッジ31はデュアルで含む必要がないことを理解されたい。例えば、第1の過電流保護回路がそれぞれのパルス回路52及びそれぞれの平衡型ダイオードブリッジ31を含む場合に、第2の過電流保護回路は第1の過電流保護回路の平衡型ダイオードブリッジ31に適当なパルス電流（必要な場合）を付与するように構成させたそれぞれのパルス回路52を備えるだけとすることができる。逆に第2の過電流保護回路がそれぞれのパルス回路52及びそれぞれの平衡型ダイ

10

20

30

40

50

オードブリッジ 3 1 を含む場合に、第 1 の過電流保護回路は第 2 の過剰保護回路の平衡型ダイオードブリッジ 3 1 に適当なパルス電流（必要な場合）を付与するように構成させたそれぞれのパルス回路 5 2 を備えるだけとすることができる。

【 0 0 7 0 】

第 2 の例示的技法ではその遷移の実施が電流のゼロと同時にとなるようにタイミング設定される。これによれば第 2 の過電流保護回路は必要なくなり、さらに任意のタイプの固体式切替回路と適合させることができる。しかしこの技法は、比較的綿密な制御を必要とすることがあり、幾つかのケースではシステムに対する完全なシャットオフを要求する可能性もある。第 3 の例示的技法では、M E M S 切替回路及び固体式切替回路に対する開放及び閉鎖を協調させることによって電流遷移が実施される。この技法はその固体式切替回路が比較的小さい電圧降下を有する場合に使用できることは当業者であれば理解されよう。

10

【 0 0 7 1 】

いずれのケースでもその制御方針は、過電流保護回路（単一過電流保護回路のこともデュアル過電流保護回路のこともある）を動作させる時点の決定、並びに切替回路のそれぞれの回路の電流伝達能力に適した負荷電流条件に応答するなどによりそれぞれの切替回路を開放及び閉鎖させる時点の決定を行うように構成されることがあることを理解されたい。全体的な考え方は、交代する電流経路間で行き来するように電流を遷移させると共にその負荷電流が負荷電流伝達経路のいずれかの最大容量に接近した時点で電流制限及び回路非通電を実施しながら障害電流制限を実施するようにすることとなる。制御方針の一例を以下に挙げることにする。

20

固体式切替回路を用いて（大きな初期電流が存在することを予期して）負荷に通電する。電流が M E M S ベース切替回路の定格範囲内に下がった後に負荷を M E M S ベース切替回路に遷移させる。

通常条件で負荷を非通電としたいときは、切替回路がその時点で電流を伝達しているか否かによらずこれを実施する。その回路が M E M S ベース切替回路であれば、ポイントオンウェーブ切替を用いて電流ゼロの時点でオフ切り替えを行う。

シミュレーションまたは検知温度に基づいて、M E M S ベース切替回路と固体式切替回路の両方に関するそれぞれの温度を決定する。これらの温度のいずれかがそれぞれの熱定格限界に接近していると判定されるか、その負荷電流がそれぞれの最大電流伝達能力に接近していれば、（例えば、障害条件または過酷な過負荷下において）瞬時に電流中断を実施し（過電流保護回路の支援による）、M E M S ベース切替回路と固体式切替回路の両方を開放させる。この動作は別の任意の制御動作に優先する。リセットされるのを待ってから再開切替動作が許可される。

30

【 0 0 7 2 】

通常動作下で、それぞれの各切替回路のそれぞれの熱条件を用いて、電流を M E M S ベース切替回路に通すべきか固体式切替回路に通すべきかが判定されることがある。一方の切替回路がその熱限界または電流限界に接近している一方で、もう一方の切替回路が依然として熱マージンを有していれば、自動的に遷移が実施されることがある。精細なタイミングはその切替遷移技法に依存することになる。例えばパルス支援型の遷移では、遷移が必要となるや否や本質的に瞬時に遷移を実施することが可能である。ポイントオンウェーブ切替に基づいた遷移では、こうした遷移は可能な次の電流ゼロ交差が発生するまで実施される（例えば、遅延される）ことになる。遅延させた遷移では、次の電流ゼロまで遷移を確実に遅らせることができるようにするために遷移の判断に関する設定にあるマージンを設けるべきである。

40

【 0 0 7 3 】

図 1 5 は、図 1 0 の切替システムの例示的一実施形態に関する回路の詳細を表している。例えば図 1 5 は、制御器 2 0 8 からの制御信号にตอบสนองして、M E M S ベース切替回路 2 0 6、固体式切替回路 2 0 4 及びパルススイッチ 5 4 をそれぞれ駆動するためのそれぞれのドライバ 2 2 0、2 2 2 及び 2 2 4 を表している。図 1 5 はさらに、これら切替回路のそれぞれの回路の電流伝達能力に適した負荷電流条件並びに切替システムに影響を及ぼす

50

可能性がある障害条件の決定に使用できるような、電流を検知するように制御器 208 と接続させた電流センサ 226 を表している。

【0074】

本発明のある種の特徴についてのみ本明細書において図示し説明してきたが、当業者によって多くの修正や変更がなされるであろう。したがって、添付の特許請求の範囲は、本発明の真の精神の範囲に属するこうした修正や変更のすべてを包含させるように意図したものであることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】本技法の態様による例示的なMEMSベース切替システムのブロック図である。 10

【図2】図1に示した例示的なMEMSベース切替システムを表した回路図である。

【図3】図2に示したMEMSベース切替システムの例示的動作を表した回路フローチャートである。

【図4】図2に示したMEMSベース切替システムの例示的動作を表した回路フローチャートである。

【図5】図2に示したMEMSベース切替システムの例示的動作を表した回路フローチャートである。

【図6】MEMSスイッチの直列 - 並列アレイを表した回路図である。

【図7】グレーディング型MEMSスイッチを表した回路図である。

【図8】図1に示したMEMSベース切替システムを有するシステムの動作の流れを表したフローチャートである。 20

【図9】切替システムのオフ切り替えを表す実験結果のグラフ表示である。

【図10】本発明の態様による例示的切替システムを表したブロック図である。

【図11】図10の切替システムの例示的一実施形態の回路の詳細において、負荷開始事象時などにおけるそれぞれの固体式切替回路を通過する電流経路を表した図である。

【図12】図10の切替システムの例示的一実施形態の回路の詳細において、定常状態動作時などにおけるそれぞれのMEMSベース切替回路を通過する電流経路を表した図である。

【図13】図10の切替システムの例示的一実施形態の回路の詳細において、障害条件時などにおける過電流保護回路を通過する電流経路を表した図である。 30

【図14】デュアル過電流保護回路を備えた切替システムの例示的一実施形態の概要を表した図である。

【図15】図10の切替システムの例示的一実施形態に関する回路の詳細を表した図である。

【図16】固体式切替回路が逆直列回路配列で接続された1対のスイッチを備えているような例示的な一実施形態を表した図である。

【符号の説明】

【0076】

10 無アークマイクロ電子機械システムスイッチ(MEMS)ベースの切替システム
12 MEMSベース切替回路 40
14 過電流保護回路
16 単一のパッケージ
18 無アークマイクロ電子機械システムスイッチ(MEMS)ベースの切替システムの回路図

20 MEMSスイッチ

22 第1の接点

24 第2の接点

26 第3の接点

28 平衡型ダイオードブリッジ

29 平衡型ダイオードブリッジの第1の分枝 50

3 0	第 1 のダイオード D 1	
3 1	平衡型ダイオードブリッジの第 2 の分枝	
3 2	第 2 のダイオード D 2	
3 3	電圧スナバー回路	
3 4	第 3 のダイオード D 3	
3 6	第 4 のダイオード D 4	
3 8	単一のパッケージ	
4 0	負荷回路	
4 4	電圧源 V_{BUS}	
4 6	負荷インダクタンス	10
4 8	負荷抵抗 R_{LOAD}	
5 0	負荷電流 I_{LOAD}	
5 2	パルス回路	
5 4	パルススイッチ	
5 6	パルスコンデンサ C_{PULSE}	
5 8	パルスインダクタンス L_{PULSE}	
6 0	第 1 のダイオード D_P	
6 2	パルス回路電流 I_{PULSE}	
6 4	パルス回路に対するトリガ動作過程を表した回路図	
6 6	パルス回路電流の方向	20
6 8	パルス回路電流の方向	
7 2	電流ベクトル	
7 4	電流ベクトル	
7 6	電流ベクトル	
7 8	電流ベクトル	
8 4	インダクタンス	
8 6	負荷電流方向	
8 8	インダクタンス	
9 4	回路素子の回路図	
9 6	切替回路の例示的な実施形態	30
9 8	MEMS スイッチ	
1 0 0	MEMS スイッチ	
1 0 2	MEMS スイッチ	
1 0 4	グレーディング型スイッチ回路	
1 0 6	MEMS スイッチ	
1 0 8	グレーディング抵抗器	
1 1 0	グレーディングコンデンサ	
1 1 2	例示的な論理フローチャート	
1 1 4	検知ブロック	
1 1 6	判断ブロック	40
1 1 8	スイッチ条件の生成ブロック	
1 2 0	トリガ動作ブロック	
1 2 2	電流進路変更ブロック	
1 2 4	無アーク開放動作ブロック	
1 3 0	実験結果のグラフ表示	
1 3 2	振幅の変化	
1 3 4	時間の変化	
1 3 6	グラフ表示 1 3 0 の第 1 のセクション	
1 3 8	グラフ表示 1 3 0 の第 2 のセクション	
1 4 0	グラフ表示 1 3 0 の第 3 のセクション	50

1 4 2	応答曲線	
1 4 4	応答曲線	
1 4 6	応答曲線	
1 4 8	応答曲線	
1 5 0	応答曲線	
1 5 2	応答曲線 1 4 2 のうちスイッチ開放動作過程を示す領域	
1 5 4	応答曲線 1 4 2 のうちスイッチの開状態を示す領域	
2 0 0	切替システム	
2 0 2	M E M S ベース切替回路	
2 0 4	固体式切替回路	10
2 0 6	過電流保護回路	
2 0 6 ₁	第 1 の過電流保護回路	
2 0 6 ₂	第 2 の過電流保護回路	
2 0 8	制御器	
2 1 0	F E T (電界効果トランジスタ) スイッチ	
2 1 2	F E T (電界効果トランジスタ) スイッチ	
2 1 4	ダイオード	
2 1 6	ダイオード	
2 1 9	F E T スイッチ	
2 2 0	ドライバ	20
2 2 2	ドライバ、ゲート駆動回路	
2 2 4	ドライバ	
2 2 6	電流センサ	
2 4 0	M O S F E T スイッチ	
2 4 2	M O S F E T スイッチ	
2 4 4	ダイオード	
2 4 6	ダイオード	

【図 1】

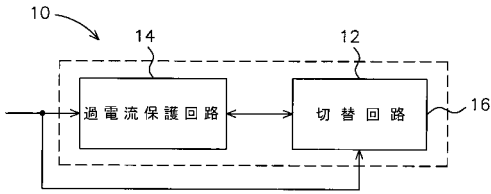


FIG. 1

【図 2】

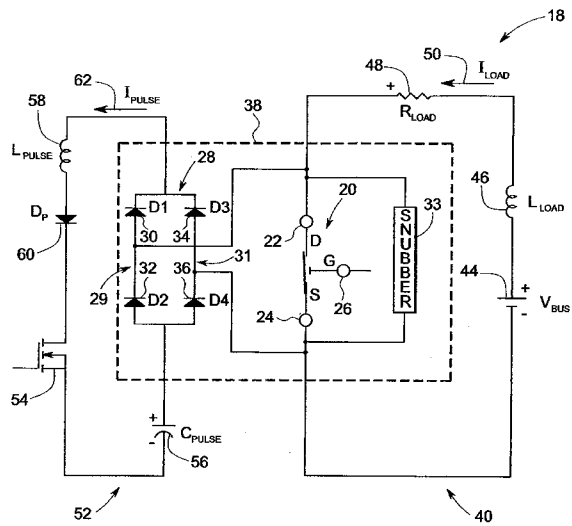


FIG. 2

【図 3】

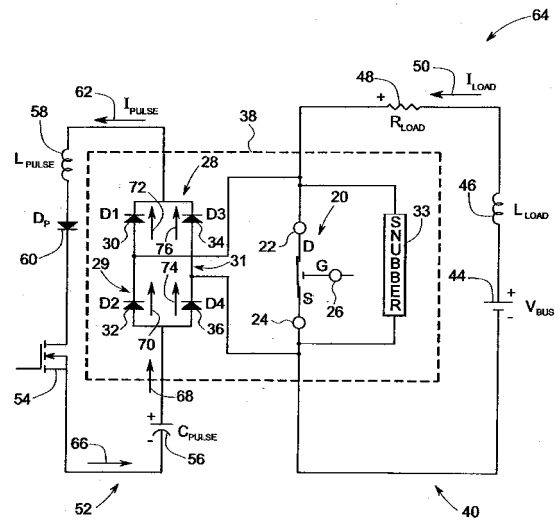


FIG. 3

【図 4】

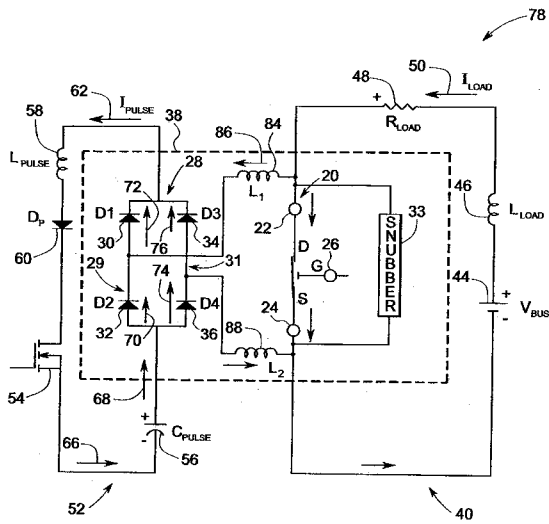


FIG. 4

【図 5】

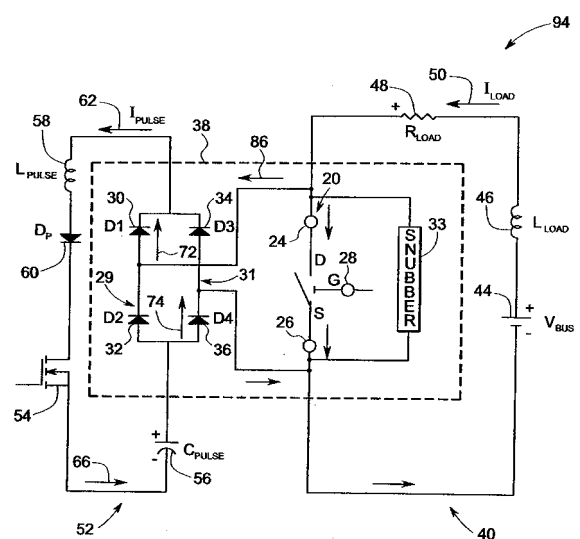


FIG. 5

【図 6】

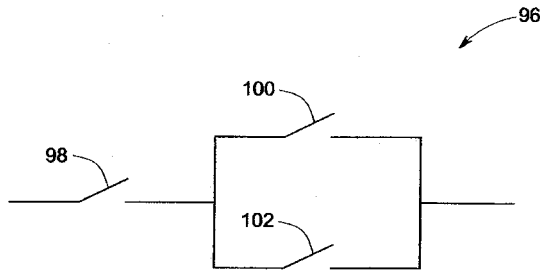


FIG. 6

【図 7】

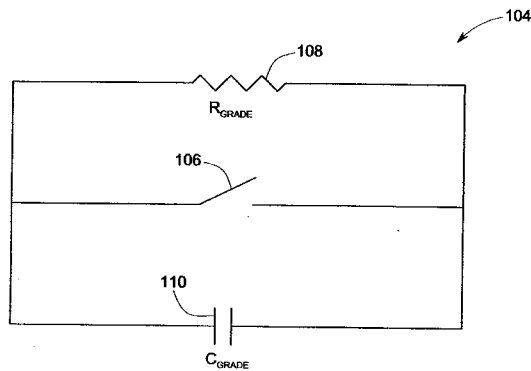


FIG. 7

【図 8】

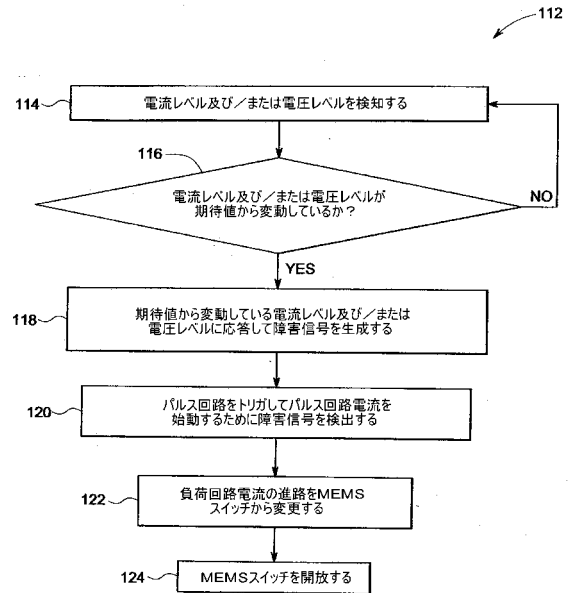


FIG. 8

【図 9】

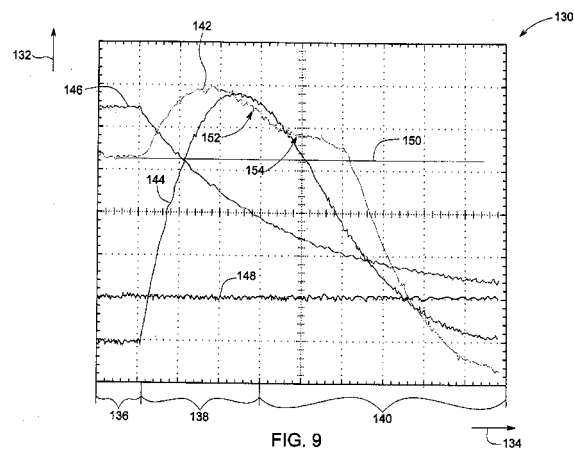


FIG. 9

【図 11】

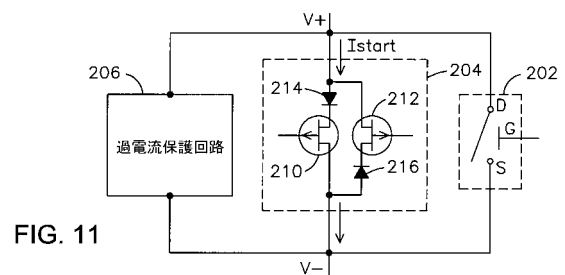


FIG. 11

【図 12】

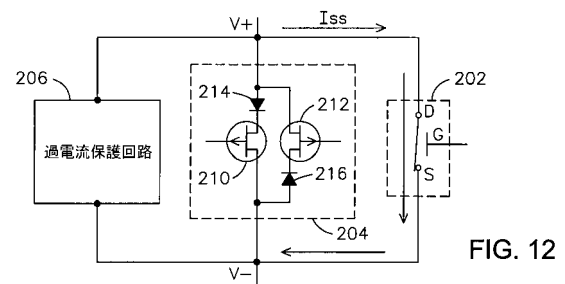


FIG. 12

【図 10】

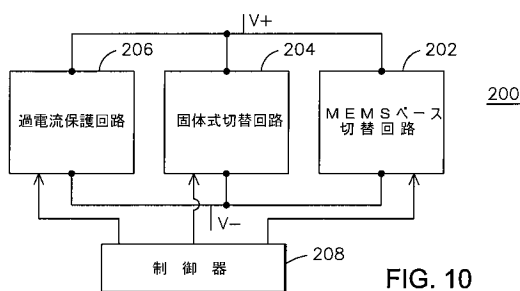
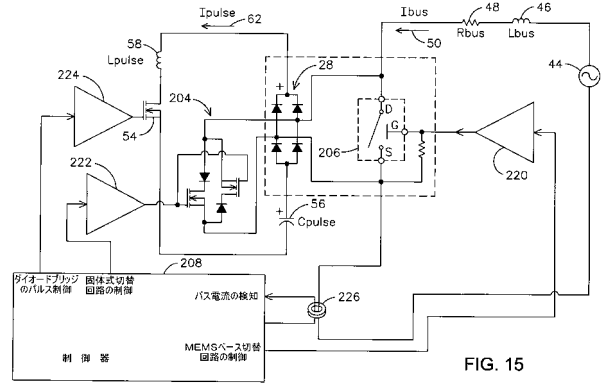


FIG. 10

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

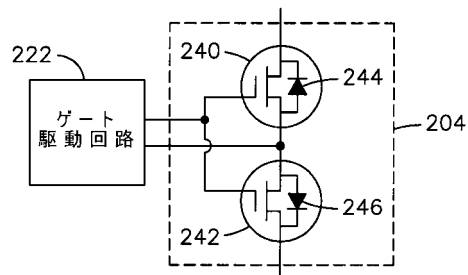


FIG. 16

フロントページの続き

- (72)発明者 カナカサバパティ・スブラマニアン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、ハイランド・オークス、2番
- (72)発明者 ウィリアム・ジェームズ・ブレマーラニ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スコットリア、ウッドヘイブン・ドライブ、133番
- (72)発明者 ジョン・ノートン・パーク
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、レックスフォード、グルーム・ロード、723番
- (72)発明者 エドワード・キース・ハウウェル
アメリカ合衆国、ノースカロライナ州、ヘンダーソンヴィル、イーグル・ロック・トレイル、124番

審査官 加藤 啓

- (56)参考文献 特開昭63-131411(JP,A)
米国特許第05943223(US,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01H 47/00