

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5307406号
(P5307406)

(45) 発行日 平成25年10月2日(2013.10.2)

(24) 登録日 平成25年7月5日(2013.7.5)

(51) Int.Cl.

H02P 1/26 (2006.01)
G05F 1/455 (2006.01)

F 1

H02P 1/26
G05F 1/455

D

請求項の数 10 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2008-887 (P2008-887)
 (22) 出願日 平成20年1月8日 (2008.1.8)
 (65) 公開番号 特開2008-173002 (P2008-173002A)
 (43) 公開日 平成20年7月24日 (2008.7.24)
 審査請求日 平成23年1月5日 (2011.1.5)
 (31) 優先権主張番号 11/621,623
 (32) 優先日 平成19年1月10日 (2007.1.10)
 (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
 クタディ、リバーロード、1番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 智志
 (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 ウィリアム・ジェイムズ・ブレマーラニ
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スコッ
 ティア、ウッドヘイヴン・ドライブ、13
 3番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】微小電気機械システムベースの電気モータ起動装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータ起動装置であって、

モータに接続された微小電気機械システムスイッチング回路(202)と、
 前記微小電気機械システムスイッチング回路に並列回路にて接続された少なくとも第1の過電流保護回路(206)とを備え、前記第1の過電流保護回路は、前記微小電気機械システムスイッチング回路の第1のスイッチング事象に応答して瞬間的に導電路を形成するよう構成された平衡ダイオードブリッジ(28)を備え、前記導電路は、前記第1のスイッチング事象時に、前記微小電気機械システムスイッチング回路の接点間のアーカ形成を抑制するために前記微小電気機械システムスイッチング回路と並列の負荷電流の迂回回路となる、モータ起動装置。

【請求項2】

前記平衡ダイオードブリッジに結合された第1のパルス回路(52)をさらに備え、前記パルス回路は、前記平衡ダイオードブリッジを通してパルス電流を流すために、パルス信号を生成するように適合されたパルスコンデンサを備え、前記パルス信号は、前記微小電気機械システムスイッチング回路の導通状態へのターンオンに関連して発生され、前記ターンオンが前記第1のスイッチング事象を構成する、請求項1記載のモータ起動装置。

【請求項3】

前記微小電気機械システムスイッチング回路と並列に結合した電圧スナバ回路(33)と

10

前記モータと前記微小電気機械システムスイッチング回路（202）との間に直列に接続された第2の微小電気機械システムスイッチング回路を備える、請求項1または2記載のモータ起動装置。

【請求項4】

前記微小電気機械システムスイッチング回路および前記第1の過電流保護回路に並列回路にて接続された第2の過電流保護回路（2062）をさらに備え、前記第2の過電流保護回路は、前記微小電気機械システムスイッチング回路の第2のスイッチング事象に応答して瞬間に導電路を形成するように構成され、前記導電路は、前記第2のスイッチング事象時に、前記微小電気機械システムスイッチング回路の接点間のアーク形成を抑制するために前記微小電気機械システムスイッチング回路と並列回路となる、請求項1乃至3のいずれかに記載のモータ起動装置。 10

【請求項5】

前記平衡ダイオードブリッジに結合された第2のパルス回路（229）をさらに備え、前記パルス回路は、前記平衡ダイオードブリッジを通してパルス電流を流すために、パルス信号を生成するように適合されたパルスコンデンサを備え、前記パルス信号は、前記微小電気機械システムスイッチング回路の非導通状態へのターンオフに関連して発生され、前記ターンオフが前記第2のスイッチング事象を構成する、請求項4記載のモータ起動装置。 20

【請求項6】

前記微小電気機械システムスイッチング回路および前記第1の過電流保護回路に並列回路にて結合された、固体スイッチング回路（204）をさらに備える、請求項1乃至5のいずれかに記載のモータ起動装置。 20

【請求項7】

前記電気機械スイッチング回路および前記固体スイッチング回路に結合されたコントローラ（208）をさらに備え、前記コントローラは、前記負荷電流の選択的切換えを行うように構成され、前記選択的切換えは、前記スイッチング回路のそれぞれ1つの動作能力に適した負荷電流状態に応答して、前記電気機械スイッチング回路と前記固体スイッチング回路の間で行われる、請求項6記載のモータ起動装置。 30

【請求項8】

前記コントローラが、交流電源電圧または交流負荷電流の検出されたゼロクロスに応答して、前記微小電気機械システムスイッチング回路の無アークスイッチングを行うように構成され。 30

前記コントローラが、交流電源電圧または交流負荷電流の可変位相角に対応して、前記固体スイッチング回路をスイッチングし、それにより、モータを起動するための電流パルスの流れによって生ずる電気エネルギーの量を調整することによって、ソフトモータ起動を行うように構成される、請求項7記載のモータ起動装置。 30

【請求項9】

前記微小電気機械システムスイッチング回路が、モータ逆転動作を行うように構成された個別の微小電気機械システムスイッチを備える、請求項1乃至8のいずれかに記載のモータ起動装置。 40

【請求項10】

さらに、前記マイクロ電子機械システム切替回路、前記固体スイッチング回路（204）及び前記第1の過電流保護回路と並列に接続された第2の過電流保護回路（2062）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統いて第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、請求項6乃至8のいずれかに記載のモータ起動装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明の実施形態は、一般に電動制御に関し、より具体的には、モータ動作の制御および、過負荷および／または障害状態からモータを保護するために用いることができるような微小電気機械システム（MEMS）ベースのモータ起動装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

モータ制御の分野においては、従来のモータ起動装置は、接触器およびモータ過負荷リレーから構成することができる。通常、接触器は3極スイッチであり、通常、連続的に付勢されるソレノイドコイルによって動作する。接触器はモータの動作、すなわち起動および停止を制御するので、このデバイスは一般に数千回の動作の定格を有する。

10

【0003】

一般に過負荷リレーは、モータに過負荷状態からの過負荷保護をもたらす。過負荷状態は、たとえば機器が通常の全負荷定格を超えて動作するとき、たとえば導体が印加可能アンペア数定格を超える電流を伝送する場合に生じ得る。過負荷状態が十分な長さの時間持続すると、機器を損傷または過熱させる。「過負荷」、「過負荷保護」および「過負荷リレー」は、当技術分野では良く知られている。たとえば、参照により本明細書に組み込まれる、National Electrical Manufacturers Association (NEMA) standard ICS2 を参照されたい。

20

【0004】

瞬時保護（短絡障害、接地障害など）を必要とする障害からモータを保護するためには、回路遮断器、たとえば瞬時引外し回路遮断器が通常用いられる。さらにこれらの回路遮断器は、手動遮断スイッチ（遮断）として機能することができ、保全業務時にモータを分離するのに役立つ。

【0005】

回路遮断器の瞬時保護とモータ起動装置機能を单一の筐体内で組み合わせたデバイスは、当技術分野では複合起動装置として知られている。しかし、瞬時引外し回路遮断器の電流伝送構成部品は、重い銅のバーと大型のタングステン接点で構成される。たとえば、短絡障害に耐えるには銅棒／接点は過剰設計となり得るが、短絡障害時は負荷が短絡と並列になることがある、したがってこのような過剰設計が短絡回路電流に及ぼす効果は小さい。

30

【0006】

構成部品のサイズが大きいことにより、このような回路遮断器が一部の標準のアジアおよび欧州の回路遮断器筐体内に適合しないほど、回路遮断器のサイズが大きくなる。さらに瞬時引外し遮断器は、電気機械開放機構を用いた複雑かつ／またはコスト高な機械的スイッチを含み得る。

【0007】

上述のように、これらの従来の回路遮断器はサイズが大きく、それにより、スイッチング機構を活動化するのに大きな力を用いることが必要になる。さらに、一般にこれらの回路遮断器のスイッチは、比較的低速で動作する。さらに、これらの回路遮断器は、組み立てが困難なほど複雑であり、したがって製造に費用がかかる。その上、従来の回路遮断器内のスイッチング機構の接点が物理的に分離するとき、通常、そこにアークが形成され、アークが自然に消滅するまで、その間で電流を伝送する。さらに、アークに伴うエネルギーは、接点の劣化となり、かつ／または可燃性のガスまたは材料の近くなどの一部のタイプの環境でその他の望ましくない状態を生じ得る。

40

【0008】

低速の電気機械スイッチの代替として、高速スイッチング用途では比較的高速な固体スイッチが用いられている。理解されるように、これらの固体スイッチは、電圧すなわちバイアスの制御された印加によって、導通状態と非導通状態の間を切り換える。たとえば、

50

固体スイッチを逆バイアスすることによって、スイッチを非導通状態に遷移させることができる。しかし固体スイッチは、非導通状態に切り換えられるとき、接点間に物理的な空隙を生じないので、リーク電流の影響を受ける。さらに、固体スイッチが導通状態で動作するとき、内部抵抗によって電圧降下を生じる。通常の動作状況において、電圧降下およびリーク電流は、共に過大な熱の発生の要因となり、スイッチの性能および寿命に対して有害となり得る。

【0009】

参照によりその全体が本明細書に組み込まれる、2005年12月20日に出願された米国特許出願第11/314,336号（整理番号162711-1）には、微小電気機械システムスイッチの接点間のアーク形成を抑制するように適合された回路および技法を含む、高速の微小電気機械システム（MEMS）ベースのスイッチングデバイスが記載されている。このスイッチング回路の応答時間は、マイクロ秒からナノ秒程度（たとえば、従来のヒューズまたは遮断器より高速）である。10

【特許文献1】米国特許第5,341,080号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上記の考察に鑑みて、高速の電流制限を行い、障害状態時に、たとえば電流制限ヒューズまたは回路遮断器などの従来のモータ保護技術で得られるよりも大幅に低い通過電流を達成するための、モータ起動装置を実現することが望ましい。さらに、効率的に集積化されたシステムにおいて、モータ制御、障害保護、過負荷保護などの様々な機能が得られるように適合された、複合モータ起動装置を実現することが望ましい。20

【課題を解決するための手段】

【0011】

一般に、本発明の態様は、電気機械システム（MEMS）スイッチング回路を含むモータ起動装置を実現する。第1の過電流保護回路は、微小電気機械システムスイッチング回路と並列回路にて接続することができる。第1の過電流保護回路は、微小電気機械システムスイッチング回路の第1のスイッチング事象に応答して瞬間的に導電路を形成するよう構成することができる。たとえば、第1のスイッチング事象は、微小電気機械システムスイッチング回路の導通状態へのターンオンとができる。導電路は、第1のスイッチング事象時に、微小電気機械システムスイッチング回路の接点間のアーク形成を抑制するために、微小電気機械システムスイッチング回路との並列回路を形成する。30

【0012】

本発明の他の態様は、微小電気機械システムスイッチング回路を含むモータ起動装置を実現する。システムはさらに、電気機械スイッチング回路と並列回路にて結合された固体スイッチング回路を含むことができる。電気機械スイッチング回路および固体スイッチング回路には、コントローラを結合することができ、コントローラは、スイッチング回路のそれぞれの1つの動作能力に対して適当なモータ負荷電流状態に応答して、電気機械スイッチング回路と固体スイッチング回路の間で、モータ負荷電流の選択的な切換えを行うよう構成される。40

【0013】

本発明の上記その他の特徴、態様、および利点は、各図面を通して同様な文字は同様な部分を表している添付の図面を参照して、以下の詳細な説明を読めば、より良く理解されよう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

ここでは本発明の1つまたは複数の実施形態による、微小電気機械システムベースの電気モータ起動装置用の装置またはシステムについて説明する。以下の詳細な説明では、本発明の様々な実施形態の十分な理解を得るために、数多くの特定の詳細が記載される。しかし当業者には、本発明の実施形態はこれらの特定の詳細がなくとも実施することができ50

、本発明は示された実施形態に限定されず、本発明は様々な代替実施形態で実施できることが理解されよう。その他の場合、良く知られた方法、手順、および構成部品については、詳細には説明されない。

【0015】

さらに、様々な動作を、本発明の実施形態の理解に役立つように行われる複数の個別の段階として説明する場合がある。しかし説明の順序は、これらの動作が説明された順序で行われる必要があると理解されるべきではなく、さらにはそれらが順序に依存すると理解されるべきではない。さらに、繰り返し用いられる「一実施形態」の語句は、その場合もあり得るが、必ずしも同じ実施形態を指すものではない。最後に、本出願で用いられる「備える」、「含む」、「有する」などの用語は、特に明記しない限り同義であるものとする。

10

【0016】

図1は、本発明の態様による、例示の微小電気機械システム（MEMS）ベースのモータ起動装置10を示すブロック図である。現在、MEMSは、たとえば、機能的に異なる複数の要素、たとえば機械要素、電気機械要素、センサ、アクチュエータ、および電子回路部を、微細加工技術によって共通の基板上に集積することができるミクロンスケールの構造を指す。しかし、MEMSデバイスにおいて現在利用可能な多くの技法および構造は、数年後にはナノテクノロジーベースのデバイス、たとえば大きさを100nm未満とすることができる構造を用いて、利用可能になると考えられる。したがって、本文書全体で説明される例示の実施形態はMEMSベースのモータ起動装置と呼ばれるが、本発明の態様は広く解釈されるべきであり、ミクロンサイズのデバイスに限定されるべきでないと考えられる。

20

【0017】

本発明の発明者らは、従来のモータ起動装置で経験されるスイッチング、過負荷、および短絡の問題を高信頼度でコスト効率よく解決する助けとなる、改良されたモータ起動装置の実用システムレベルでの実施を実現するのに、MEMSベースのスイッチング回路を適合させることができると認識した。たとえば従来のモータ起動装置は、一般に、システム設計から、起動装置の必要な機能をもたらすために組み立てられる様々な電気構成部品の集合体と見なすことができる。

30

【0018】

図1に示されるように、MEMSベースのモータ起動装置10は、MEMSベースのスイッチング回路12と、過電流保護回路14を含んで示され、過電流保護回路14は、MEMSベースのスイッチング回路12と動作可能に結合される。一部の実施形態では、MEMSベースのスイッチング回路12は、その全体を過電流保護回路14と共に、たとえば単一のパッケージ16内に集積化することができる。他の実施形態では、MEMSベースのスイッチング回路12の一部分または一部の構成部品のみを、過電流保護回路14と共に集積化することができる。

【0019】

図2～5を参照して詳細に説明されるように、現在考えられる構成では、MEMSベースのスイッチング回路12は、1つまたは複数のMEMSスイッチを含むことができる。さらに、過電流保護回路14は、平衡ダイオードブリッジと、パルス回路を含むことができる。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することができる。過電流保護回路14は、交流（AC）または直流（DC）に応答して、アーク形成の抑制を容易にするように構成できることに留意されたい。

40

【0020】

次に図2を参照すると、一実施形態による、図1に示された例示のMEMSベースのモータ起動装置の概略図18が示される。図1に関連して述べたように、MEMSベースのスイッチング回路12は、1つまたは複数のMEMSスイッチを含むことができる。図示の実施形態では、第1のMEMSスイッチ20は、第1の接点22、第2の接点24、お

50

より第3の接点26を有するものとして示される。一実施形態では、第1の接点22はドレインとして構成することができ、第2の接点24はソースとして構成することができ、第3の接点26はゲートとして構成することができる。さらに図2に示されるように、電圧スナバ回路33をMEMSスイッチ20と並列に結合し、以下でより詳細に説明するよう、高速での接点分離時の電圧オーバーシュートを制限するように構成することができる。一部の実施形態ではスナバ回路33は、スナバ抵抗器(図示せず)と直列に結合されたスナバコンデンサ(図示せず)を含むことができる。スナバコンデンサは、MEMSスイッチ20の開路のシーケンス時に、過度電圧の共有の改善を容易にすることができます。さらにスナバ抵抗器は、MEMSスイッチ20の閉路動作時の、スナバコンデンサによって生ずる電流パルスを抑制することができる。例示の一実施形態では、スナバ33は、1つまたは複数のタイプの回路、たとえばR/Cスナバ、および/または固体スナバ(金属酸化物バリスタ(MOV)など)、または他の適当な過電圧保護回路、たとえばコンデンサに給電するように結合された整流器などを含むことができる。
10

【0021】

本技法の他の態様によれば、電動機またはモータなどの負荷回路40を、MEMSスイッチ20と直列に結合することができる。負荷回路40は、適当な電圧源 V_{BUS} 44に接続することができる。さらに負荷回路40は、負荷インダクタンス L_{LOAD} 46を含むことができ、負荷インダクタンス L_{LOAD} 46は、負荷回路40から見た総合の負荷インダクタンスおよびバスインダクタンスを表す。負荷回路40はまた、負荷回路40から見た総合の負荷抵抗を表す負荷抵抗 R_{LOAD} 48を含むことができる。参考番号50は、負荷回路40および第1のMEMSスイッチ20を通って流れることができる負荷回路電流 I_{LOAD} を表す。
20

【0022】

さらに、図1に関連して述べたように、過電流保護回路14は、平衡ダイオードブリッジを含むことができる。図示の実施形態では、平衡ダイオードブリッジ28は、第1の枝路29および第2の枝路31を有するものとして示される。ここで用いられる「平衡ダイオードブリッジ」の用語は、第1および第2の枝路29、31の両方の両端の電圧降下が共にほぼ等しいように構成されたダイオードブリッジを表すのに用いられる。平衡ダイオードブリッジ28の第1の枝路29は、互いに結合されて第1の直列回路を形成する第1のダイオードD130と、第2のダイオードD232を含むことができる。同様にして、平衡ダイオードブリッジ28の第2の枝路31は、互いに動作可能に結合されて第2の直列回路を形成する第3のダイオードD334と、第4のダイオードD436を含むことができる。
30

【0023】

一実施形態では、第1のMEMSスイッチ20は、平衡ダイオードブリッジ28の中点の両端と並列に結合することができる。平衡ダイオードブリッジの中点は、第1および第2のダイオード30と32の間にある第1の中点、および第3および第4のダイオード34と36の間にある第2の中点を含むことができる。さらに、第1のMEMSスイッチ20および平衡ダイオードブリッジ28は、平衡ダイオードブリッジ28、および特にMEMSスイッチ20への接続によって生ずる寄生インダクタンスの最小化を容易にするために、密にパッケージングすることができる。本技法の例示的態様によれば、第1のMEMSスイッチ20および平衡ダイオードブリッジ28は、Lが寄生インピーダンスを表すものとして、第1のMEMSスイッチ20と平衡ダイオードブリッジ28の間の固有インダクタンスが、 $L \times d_i / dt$ の電圧を生ずるように、互いに配置されることに留意されたい。発生する電圧は、MEMSスイッチ20のターンオフ時にダイオードブリッジ28への負荷電流の移転を伝送するとき、MEMSスイッチ20のドレイン22とソース24の両端の電圧の数パーセント未満とることができ、これは以下でより詳細に説明する。一実施形態では、第1のMEMSスイッチ20は、平衡ダイオードブリッジ28と共に単一のパッケージ38内に、または適宜MEMSスイッチ20とダイオードブリッジ28を相互接続するインダクタンスを最小にする目的で同じダイ内に、集積化することができる。
40
50

【0024】

さらに、過電流保護回路14は、平衡ダイオードブリッジ28に関連して動作可能に結合されたパルス回路52を含むことができる。パルス回路52は、スイッチ状態を検出し、スイッチ状態に応答してMEMSスイッチ20の開路を開始するように構成することができる。ここで用いられる「スイッチ状態」の用語は、MEMSスイッチ20の現在の動作状態の変化をトリガする状態を指す。たとえばスイッチ状態は、その結果としてMEMSスイッチ20の第1の閉路状態から第2の開路状態へ、またはMEMSスイッチ20第1の開路状態から第2の閉路状態への変化を生じ得る。スイッチ状態は、回路障害、回路過負荷、またはスイッチオン／オフ要求を含みそれらに限定されない複数の動作に応答して生じ得る。

10

【0025】

パルス回路52は、パルススイッチ54、およびパルススイッチ54に直列結合されたパルスコンデンサC_{PULSE}56を含むことができる。さらに、パルス回路はまた、パルススイッチ54と直列に結合されたパルスインダクタンスL_{PULSE}58、および第1のダイオードD_P60を含むことができる。パルスインダクタンスL_{PULSE}58、ダイオードD_P60、パルススイッチ54、およびパルスコンデンサC_{PULSE}56は、パルス回路52の第1の枝路を形成するように直列に結合することができる、第1の枝路の構成部品は、パルス電流の整形およびタイミングを容易にするように構成することができる。また参考番号62は、パルス回路52を通って流れることができるパルス回路電流I_{PULSE}を表す。

20

【0026】

以下でより詳細に説明するように、本発明の態様によれば、MEMSスイッチ20は、ゼロまたはほぼゼロの電流を伝送しながら、第1の閉路状態から第2の開路状態へ、高速（たとえばピコ秒またはナノ秒程度）にスイッチすることができる。これは、負荷回路40、およびMEMSスイッチ20の接点の両端に並列に結合された平衡ダイオードブリッジ28を含むパルス回路52の総合動作により達成することができる。

【0027】

図3～5は、図2に示されるMEMSベースのモータ起動装置18の例示の動作を示すための概略フローチャートとして用いられる。引き続き図2を参照すると、MEMSベースのモータ起動装置18の例示の動作の初期状態が示される。MEMSスイッチ20は、第1の閉路状態で開始するものとして示される。また図示のように、負荷回路40内で、値がV_{BUS}/R_{LOAD}にほぼ等しい負荷電流I_{LOAD}50が存在する。

30

【0028】

さらに、このMEMSベースのモータ起動装置18の例示の動作を論じるために、MEMSスイッチ20に付随する抵抗は十分小さく、それにより、パルス動作するとき、MEMSスイッチ20の抵抗を通る負荷電流によって生ずる電圧が、ダイオードブリッジ28の中点の間のほぼゼロの電圧に及ぼす影響は無視できるものになると見なすことができる。たとえばMEMSスイッチ20に付随する抵抗は、十分小さく、最大予想負荷電流によって生ずる電圧降下は数ミリボルト未満であると見なすことができる。

【0029】

40

このMEMSベースのモータ起動装置18の初期状態では、パルススイッチ54は、第1の開路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、パルス回路電流はない。またパルス回路52内では、コンデンサC_{PULSE}56は、予め電圧V_{PULSE}に充電することができ、V_{PULSE}は、負荷電流の移転期間の際、予想される負荷電流I_{LOAD}50より大幅に大きくなる（たとえば10倍の）ピークの大きさを有する正弦半波パルス電流を生ずることができる電圧である。C_{PULSE}56およびL_{PULSE}58は直列共振回路を構成することに留意されたい。

【0030】

図3は、パルス回路52をトリガするプロセスを表す概略図64である。パルス回路52には、検出回路（図示せず）を結合できることに留意されたい。検出回路は、たとえば

50

負荷回路電流 I_{LOAD} 50 のレベル、および / または電圧源 V_{BUS} 44 の電圧レベルを感知するように構成された感知回路（図示せず）を含むことができる。さらに検出回路は、上述のようにスイッチ状態を検出するように構成することができる。一実施形態では、スイッチ状態は、所定の閾値を超える電流レベルおよび / または電圧レベルによって生じ得る。

【0031】

パルス回路 52 は、MEMS スイッチ 20 の現在の閉路状態から第 2 の開路状態への切換えを容易にするためにスイッチ状態を検出するように構成することができる。一実施形態では、スイッチ状態は、所定の閾値レベルを超える電圧レベルまたは負荷回路 40 内の負荷電流によって発生する障害状態とすることができます。しかし以下で理解されるように、スイッチ状態はまた、MEMS スイッチ 20 に対する所与のシステムに依存しないオン時間を見実現するために、ランプ電圧の監視を含むことができる。
10

【0032】

一実施形態では、パルススイッチ 54 は、検出されたスイッチング状態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することができます。パルススイッチ 54 をトリガすることにより、パルス回路 52 内に共振正弦波電流が開始される。パルス回路電流の電流方向は、参照番号 66 および 68 により表され得る。さらに、平衡ダイオードブリッジ 28 の第 1 の枝路 29 の第 1 のダイオード 30 および第 2 のダイオード 32 を通るパルス回路電流の電流方向および相対的な大きさは、それぞれ電流ベクトル 72 および 70 で表される。同様に電流ベクトル 76 および 74 は、それぞれ第 3 のダイオード 34 および第 4 のダイオード 36 を通るパルス回路電流の電流方向および相対的な大きさを表す。
20

【0033】

正弦波ブリッジパルス電流のピーク値は、パルスコンデンサ C_{PULSE} 56 の初期電圧、パルスコンデンサ C_{PULSE} 56 の値、およびパルスインダクタンス L_{PULSE} 58 の値から求めることができます。またパルスインダクタンス L_{PULSE} 58 およびパルスコンデンサ C_{PULSE} 56 の値により、パルス電流の正弦半波のパルス幅が決まる。ブリッジ電流パルス幅は、負荷電流の変化率 (V_{BUS} / L_{LOAD}) および負荷障害状態時の所望のピーク通過電流を前提として、システム負荷電流ターンオフ用件を満たすように調整することができます。本発明の態様によれば、パルススイッチ 54 は、MEMS スイッチ 20 の開路の前に、導通状態となるように構成することができます。
30

【0034】

パルススイッチ 54 のトリガは、開路期間において、MEMS スイッチ 20 の接点を通る経路のインピーダンスに比べて、低インピーダンスの経路を生成するのを容易にするための、平衡ダイオードブリッジ 28 を通るパルス回路電流 I_{PULSE} 62 のタイミングの制御を含み得ることに留意されたい。さらに、パルススイッチ 54 は、MEMS スイッチ 20 の接点の両端に所望の電圧降下を呈するように、トリガすることができます。

【0035】

一実施形態では、パルススイッチ 54 は、スイッチング速度がたとえばナノ秒からマイクロ秒程度の範囲となるように構成し得る固体スイッチとすることができます。パルススイッチ 54 のスイッチング速度は、障害状態における負荷電流の予想される上昇時間に比べて、比較的高速とするべきである。MEMS スイッチ 20 に必要な電流定格は、負荷電流の上昇率に依存したものとすることができます、これは前述のように、負荷回路 40 内のインダクタンス L_{LOAD} 46 およびバス供給電圧 V_{BUS} 44 に依存する。MEMS スイッチ 20 は、負荷電流 I_{LOAD} 50 がブリッジパルス回路の速度能力に比べて急速に上昇し得る場合は、より大きな負荷電流 I_{LOAD} 50 を取り扱うのに適当な定格にすることができる。
40

【0036】

パルス回路電流 I_{PULSE} 62 は、ゼロの値から増加し、平衡ダイオードブリッジ 28 の第 1 および第 2 の枝路 29、31 の間で等しく分割される。一実施形態によれば、
50

前述のように、平衡ダイオードブリッジ28の枝路29、31の両端の電圧降下の差は、無視し得るように設計することができる。さらに前述のように、ダイオードブリッジ28は、ダイオードブリッジ28の第1および第2の枝路の両端の電圧降下が、ほぼ等しくなるように平衡する。さらに、現在の閉路状態におけるMEMSスイッチ20の抵抗は比較的低く、MEMSスイッチ20の両端には比較的小さな電圧降下が存在する。しかしMEMSスイッチ20の両端の電圧降下が、(たとえばMEMSスイッチの固有の設計により)たまたま大きい場合は、ダイオードブリッジ28がMEMSスイッチ20と並列に動作可能に結合されているので、ダイオードブリッジ28の平衡が影響を受け得る。本発明の態様によれば、MEMSスイッチ20の抵抗によってMEMSスイッチ20の両端に大幅な電圧降下を生ずる場合は、ダイオードブリッジ28は、その結果生じるパルスブリッジの不平衡に対して、ブリッジパルス電流のピークの大きさを増加させることによって適応することができる。10

【0037】

次に図4を参照すると、MEMSスイッチ20の開路が開始される場合の、概略図78が示される。前述のように、パルス回路52内のパルススイッチ54は、MEMSスイッチ20の開路の前にトリガされる。パルス電流 I_{PULSE} 62が増加するにつれて、パルス回路52の共振動作により、パルスコンデンサ C_{PULSE} 56の両端の電圧は減少する。スイッチが閉じて導通しているオン状態では、MEMSスイッチ20は、負荷回路電流 I_{LOAD} 50に対して比較的低インピーダンスの経路を呈する。20

【0038】

パルス回路電流 I_{PULSE} 62の振幅が、(たとえばパルス回路52の共振作用により)負荷回路電流 I_{LOAD} 50の振幅よりも大きくなると、MEMSスイッチ20のゲート接点26に印加される電圧は、MEMSスイッチ20の現在の動作状態を、第1の閉路で導通状態から、抵抗が増大する状態に切り換えるように適切にバイアスすることができ、ここでMEMSスイッチ20はターンオフを開始し(ここではたとえば、接点は依然として閉じているが、スイッチの開路プロセスにより接点圧力は低下する)、それによりスイッチ抵抗が増加し、さらに負荷電流をMEMSスイッチ20からダイオードブリッジ28内へ迂回させる。

【0039】

この現在の状態においては、平衡ダイオードブリッジ28は、増大する接点抵抗を示すMEMSスイッチ20を通る経路に比べて、比較的低インピーダンスの経路を、負荷回路電流 I_{LOAD} 50に対して呈する。このMEMSスイッチ20を通る負荷回路電流 I_{LOAD} 50の迂回は、負荷回路電流 I_{LOAD} 50の変化率に比べて極めて高速であることに留意されたい。前述のように、MEMSスイッチ20と平衡ダイオードブリッジ28の間の接続に付随するインダクタンス L_1 84および L_2 88の値は、高速な電流の迂回が阻害されるのを避けるために非常に小さいことが望ましい。30

【0040】

MEMSスイッチ20からパルスブリッジへの電流移転のプロセスは、継続して第1のダイオード30および第4のダイオード36の電流を増加させ、同時に第2のダイオード32および第3のダイオード34の電流は低下する。移転プロセスは、MEMSスイッチ20の機械接点22、24が分離して物理的空隙を形成したときに完了し、すべての負荷電流は、第1のダイオード30および第4のダイオード36によって伝送される。40

【0041】

負荷回路電流 I_{LOAD} が、方向86にて、MEMSスイッチ20からダイオードブリッジ28に迂回される結果、ダイオードブリッジ28の第1および第2の枝路29、31の両端に不均衡が生じる。さらに、パルス回路電流が減衰するに従って、引き続いてパルスコンデンサ C_{PULSE} 56の両端の電圧は反転し(たとえば「逆起電力」として働く)、負荷回路電流 I_{LOAD} を最終的にゼロに減少させる。ダイオードブリッジ28内の第2のダイオード32および第3のダイオード34は、逆バイアスとなり、その結果、負荷回路は、パルスインダクタ L_{PULSE} 58およびブリッジパルスコンデンサ C 50

PULSE 56を含むようになり、直列共振回路となる。

【0042】

次に図5を参照すると、減少する負荷電流のプロセスのために接続された回路要素の概略図94が示される。上記で触れたように、MEMSスイッチ20の接点が離れる瞬間に、接点抵抗が無限大に達する。さらに、もはやダイオードブリッジ28は、MEMSスイッチ20の接点の両端のインピーダンスのほぼゼロの電圧を維持しない。また負荷回路電流 I_{LOAD} は、第1のダイオード30および第4のダイオード36を通る電流に等しい。前述のように、ダイオードブリッジ28の第2のダイオード32および第3のダイオード34を通る電流はない。

【0043】

さらに、MEMSスイッチ20のドレイン24からソース26までのスイッチ接点の大
幅な電圧差は、今度はパルスインダクタ L_{PULSE} 58、パルスコンデンサ C_{PULSE} 56、負荷回路インダクタ L_{LOAD} 46、および負荷抵抗器 R_{LOAD} 48および回路損失によるダンピングを含む、正味の共振回路によって決まる率で、最大で V_{BUS} 電圧の約2倍まで上昇し得る。さらに、ある時点で負荷回路電流 I_{LOAD} 50と等しかったパルス回路電流 I_{PULSE} 62は、共振によってゼロの値まで減少し、このようなゼロの値は、ダイオードブリッジ28およびダイオードD_P60の逆方向阻止作用によって維持される。共振によるパルスコンデンサ C_{PULSE} 56の両端の電圧は、負のピークに向かって極性が反転し、このような負のピークは、パルスコンデンサ C_{PULSE} 56が再充電されるまで維持されることになる。

【0044】

ダイオードブリッジ28は、接点が分離してMEMSスイッチ20を開くまで、MEMSスイッチ20の接点の両端にほぼゼロの電圧を維持し、それにより、開路時にMEMSスイッチ20の接点間に形成されやすいアーケを抑制することによって損傷を防止するよう構成することができる。さらに、MEMSスイッチ20の接点は、MEMSスイッチ20を通る接点電流がずっと減少された状態で、開路状態に近づく。また、回路インダクタンス、負荷インダクタンス、および電源に蓄えられたエネルギーは、パルス回路コンデンサ C_{PULSE} 56へ移転することができ、かつ電圧消費回路(図示せず)によって吸収することができる。電圧スナバ回路33は、高速の接点分離時に、ブリッジとMEMSスイッチの間のインターフェースのインダクタンス中に残存する誘導性エネルギーによる、電圧オーバーシュートを制限するように構成することができる。さらに、開路時のMEMSスイッチ20の接点の両端の再印加電圧の増加率は、スナバ回路(図示せず)を用いることによって制御することができる。

【0045】

また、開路状態では、MEMSスイッチ20の接点間には空隙が形成されるとはいえ、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の間にリーク電流が存在し得ることに留意されたい。(MOVおよび/またはR/Cスナバ回路を通る経路も形成され得る。)このリーク電流は、物理的な空隙を生ずるように、負荷回路40と直列接続された二次的機械スイッチ(図示せず)を導入することによって抑制することができる。一部の実施形態では、機械スイッチは、第2のMEMSスイッチを含むことができる。

【0046】

図6は、スイッチング回路12(図1を参照)が、たとえば直列または直並列アレイに構成された複数のMEMSスイッチを含むことができる、例示的実施形態96を示す。さらに、図6に示されるように、MEMSスイッチ20は、電気的に直列回路に結合された、第1の組の2つ以上のMEMSスイッチ98、100によって置き換えることができる。一実施形態では、第1の組のMEMSスイッチ98、100の少なくとも1つは、さらに並列回路に結合することができ、並列回路には、第2の組の2つ以上のMEMSスイッチ(たとえば参考記号100、102)を含むことができる。本発明の態様によれば、MEMSスイッチの第1または第2の組の少なくとも1つと並列に、静的勾配緩和抵抗器お

および動的勾配緩和コンデンサを結合することができる。

【0047】

次に図7を参照すると、勾配緩和型(grade)MEMSスイッチ回路の例示的実施形態104が示される。勾配緩和型スイッチ回路104は、少なくとも1つのMEMSスイッチ106、勾配緩和抵抗器108、および勾配緩和コンデンサ110を含むことができる。勾配緩和型スイッチ回路104は、たとえば図6に示されるような、直列または直並列アレイに構成された複数のMEMSスイッチを含むことができる。勾配緩和抵抗器108は、スイッチャレイにに対して電圧勾配の緩和をもたらすために、少なくとも1つのMEMSスイッチ106と並列に結合することができる。例示的実施形態では、勾配緩和抵抗器108は、特定の用途向けに許容し得る漏洩を生じながら、直列スイッチの間で適当な定常状態の電圧バランス(分割)をもたらすような大きさとすることができます。さらに、スイッチング時に動的に、オフ状態において静的に共有を実現するために、アレイの各MEMSスイッチ106に並列に、勾配緩和コンデンサ110と勾配緩和抵抗器108の両方を設けることができる。追加の勾配緩和抵抗器、または勾配緩和コンデンサ、またはその両方をスイッチャレイ内に各MEMSスイッチに追加できることに留意されたい。一部の他の実施形態では、勾配緩和回路104は、金属酸化物バリスタ(MOV)(図示せず)を含むことができる。

【0048】

図8は、MEMSベースのモータ起動装置を現在の動作状態から第2の状態に切り換えるための、例示のロジック112のフローチャートを示す。本技法の例示的態様による、切換えのための方法が示される。前述のように検出回路は、過電流保護回路と動作可能に結合し、スイッチ状態を検出するように構成することができる。さらに検出回路は、電流レベルおよび/または電圧レベルを感知するように構成された感知回路を含むことができる。

【0049】

ブロック114によって示されるように、たとえば感知回路によって、負荷回路40(図2を参照)などの負荷回路内の電流レベル、および/または電圧レベルを感知することができる。さらに、判断ブロック116によって示されるように、感知された電流レベルまたは感知された電圧レベルが、期待値から変化し、その値を超えたかどうかの判定を行うことができる。一実施形態では、感知された電流レベルまたは感知された電圧レベルが、それぞれの所定の閾値レベルを超えたかどうかの判定を、(たとえば検出回路により)行うことができる。別法として、障害が実際に生じていなくても、スイッチ状態を検出するために、電圧または電流のランプ率を監視することができる。

【0050】

感知された電流レベルまたは感知された電圧レベルが期待値から変化または逸脱した場合は、ブロック118によって示されるようにスイッチ状態を発生することができる。前述のように、「スイッチ状態」の用語は、MEMSスイッチの現在の動作状態の変化をトリガする状態を指す。一部の実施形態では、スイッチ状態は、障害信号に応答して発生することができ、MEMSスイッチの開路を容易にするために使用することができる。ブロック114～118は、スイッチ状態の発生の一実施例を表すことに留意されたい。しかし以下で理解されるように、本発明の態様による、スイッチ状態を発生する他の方法も想定される。

【0051】

ブロック120によって示されるように、スイッチ状態に応答してパルス回路電流を開始するために、パルス回路をトリガすることができる。パルス回路の共振作用によって、パルス回路電流レベルは増加し続けることができる。パルス回路電流の瞬時振幅が負荷回路電流の瞬時振幅よりも大幅に大きければ、少なくとも部分的にはダイオードブリッジ28により、MEMSスイッチの接点の両端にほぼゼロの電圧降下を維持することができる。さらに、ブロック122によって示されるように、MEMSスイッチを通る負荷回路電流を、MEMSスイッチからパルス回路に迂回させることができる。前述のように、ME

10

20

30

40

50

M Sスイッチの接点が離れ始めるのに従って比較的高インピーダンスが増大するM E M Sスイッチを通る経路に反して、ダイオードブリッジは比較的低インピーダンスの経路を呈する。次いでブロック124によって示されるように、M E M Sスイッチを無アーク式に開路することができる。

【0052】

前述のように、M E M Sスイッチの接点の両端のほぼゼロの電圧降下は、パルス回路電流の瞬時振幅が負荷回路電流の瞬時振幅より大幅に大きい間は維持することができ、それにより、M E M Sスイッチの開路を容易にし、M E M Sスイッチの接点間のアークの形成が抑制される。したがって、上記に説明したように、M E M Sスイッチは、M E M Sスイッチの接点の両端の電圧がほぼゼロの状態で、かつM E M Sスイッチを通る電流が大幅に低減された状態で開路することができる。10

【0053】

図9は、本技法の態様による、M E M Sベースのモータ起動装置のM E M Sスイッチの現在の動作状態の切換えを表す実験結果のグラフ表示130である。図9に示されるように、時間134の変化に対する、振幅132の変化がプロットされている。また参照番号136、138、および140は、グラフ表示130の第1の区間、第2の区間、および第3の区間を表す。

【0054】

応答曲線142は、負荷回路電流の振幅変化を時間の関数として表す。時間の関数としてのパルス回路電流の振幅変化は、応答曲線144で表される。同様にして、時間の関数としてのゲート電圧の振幅変化は、応答曲線146で表される。応答曲線148は、ゼロのゲート電圧基準を表し、応答曲線150は、ターンオフの前の負荷電流の基準レベルを表す。20

【0055】

さらに、参照番号152は、スイッチ開路プロセスが生じる、応答曲線142上の領域を表す。同様に参照番号154は、M E M Sスイッチの接点が分離して開路状態である、応答曲線142上の領域を表す。また、グラフ表示130の第2の区間138から分かるように、ゲート電圧は、M E M Sスイッチの開路の開始を容易にするために、ローに引き下げられる。さらに、グラフ表示130の第3の区間140から分かるように、平衡ダイオードブリッジの導通している半分において、負荷回路電流142およびパルス回路電流144は減衰していることが分かる。30

【0056】

本発明の態様は、固体(たとえば半導体ベースの)スイッチング回路を用いて、高信頼度でコスト効率良く、(たとえば始動事象時、または過渡状態時の)サージ電流に耐えることを可能にし、一方ではたとえば、定常動作時に、かつ起こり得る障害状態に対処するためにM E M Sベースのスイッチング回路を使用することができる、回路および/または技法を含む。

【0057】

当業者には理解されるように、サージ電流は、モータまたは他のタイプの電気機器などの電気的負荷を始動するときに起こり、または過度状態時に起こり得る。始動事象時のサージ電流の値は、しばしば定常負荷電流の値の数倍(たとえば6倍以上)を含み、10秒程度など、数秒間持続し得る。40

【0058】

図10は、本発明の態様を実施したモータ起動装置200のブロック図表示である。例示の一実施形態では、モータ起動装置200は、M E M Sベースのスイッチング回路202、固体スイッチング回路204、および例示の一実施形態では図1~9に示されかつ/またはそれらに関連して説明したパルス回路52および平衡ダイオードブリッジ31を備えることができるような過電流保護回路206を並列回路にて接続する。

【0059】

コントローラ208は、M E M Sベースのスイッチング回路202、固体スイッチング

10

20

30

40

50

回路 204、および過電流保護回路 206 に結合することができる。コントローラ 208 は、スイッチング回路のそれぞれの 1 つの電流伝送能力に適した負荷電流状態に応答して実行する、かつ / またはモータ起動装置に影響を及ぼし得る障害状態時に実行することができるよう、いつ過電流保護回路 206 を作動するべきか、かつまたいつそれぞれのスイッチング回路を開路および閉路すべきかを判断するように構成された制御方式を実行することによって、MEMS ベースのスイッチング回路と固体スイッチング回路の間を行き来して選択的に電流を移転するように構成することができる。このような制御方式では、それぞれのスイッチング回路 202 および 204 の間を行き来して電流を移転している際に、障害電流制限を行い、かつ負荷電流がいずれかのスイッチング回路の最大電流処理能力に近づく場合は常に電流制限および負荷の消勢を行うように用意されていることが望ましいことに留意されたい。10

【0060】

上記の例示の回路を実施したシステムは、サージ電流が MEMS ベースのスイッチング回路 202 によって伝送されるのではなく、代わりに固体スイッチング回路 204 によって伝送されるように制御することができる。定常電流は MEMS ベースのスイッチング回路 202 によって伝送され、システム動作時には過電流保護回路 206 によって過電流および / または障害保護が利用可能となる。提案の概念は、その広い態様において、MEMS ベースのスイッチング回路に限定する必要はないことが理解されよう。たとえば、1 つまたは複数の固体スイッチに並列の 1 つまたは複数の標準の（すなわち MEMS ベースの電気機械スイッチング回路ではない）電気機械スイッチと適当なコントローラを備えるシステムは、同様に本発明の態様によって得られる利点の恩恵を受けることができる。20

【0061】

下記は、例示のスイッチング状態のシーケンス、およびモータ起動事象が生じてすぐのモータ起動装置内の例示の電流値である。数字の隣の文字 X は、定常状態での通常の電流値の倍数に相当する例示の電流値を示す。したがって 6X は、定常状態での通常の電流値の 6 倍に相当する電流値を表す。

1. 固体スイッチング回路 - - 開路

MEMS ベースのスイッチング回路 - - 開路

電流 0

2. 固体スイッチング回路 - - 閉路

MEMS ベースのスイッチング回路 - - 閉路

電流 - - 6X

3. 固体スイッチング回路 - - 閉路

MEMS ベースのスイッチング回路 - - 閉路

電流 - - 1X

4. 固体スイッチング回路 - - 開路

MEMS ベースのスイッチング回路 - - 閉路

電流 - - 1X

図 11 は、例示の一実施形態を示し、モータ起動装置 200 内の固体スイッチング回路 204 は、過電流保護回路 206 と MEMS ベースのスイッチング回路 202 に並列回路にて接続された、2 つの FET（電界効果トランジスタ）スイッチ 210 および 212（AC 電流の導通を可能にするために、ダイオード 214 および 216 を用いて逆並列構成に接続される）を備える。電気的負荷（図示せず）は、FET スイッチ 210 および 212 をターンオンすることによって活動化することができ、それにより始動電流（「*I start*」として示される）が負荷に流れ始めることが可能となり、負荷の始動時に FET スイッチ 210 および 212 がこの電流を伝送することが可能になる。固体スイッチング回路 204 は、図 11 に示される回路構成に限定されず、FET スイッチにも限定されないことが理解されよう。たとえば、双方向性の電流導通能力をもたらす任意の固体または半導体電力スイッチングデバイスは、所与の AC 用途に対して同じく有効に動作することができる。当業者には、双方向性能力は、TRIAC、RCT などのスイッチングデバイ4050

スでは本来的であり、あるいはIGBT、FET、SCR、MOSFETなど、少なくとも2つのこのようなデバイスの適当な構成によって実現できることが理解されよう。

【0062】

図16は、固体スイッチング回路204が、逆直列回路構成に接続された1対のMOSFETスイッチ240および242を含む、例示の一実施形態を示す。ダイオード244および246は、ボディダイオードを含むことに留意されたい。すなわち、このようなダイオードは、それらのそれぞれのMOSFETスイッチの一体部分を含む。ゲート駆動電圧がゼロの状態では、各スイッチはターンオフされ、したがってそれぞれのスイッチは交流電圧の反対極性を阻止し、他方のスイッチの対応する各ダイオードは順方向バイアスされる。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すぐに各MOSFETは、スイッチング端子に存在するAC電圧の極性に関わらず、低抵抗状態に戻る。10

【0063】

当業者には理解されるように、逆直列接続された1対のMOSFETの両端の電圧降下は、逆並列構成の場合のような1つのR_{ds on}とダイオードの電圧降下の和ではなく、2つのR_{ds on}（オン抵抗）スイッチのIR降下となる。したがって、例示の一実施形態においてMOSFETの逆直列構成は、比較的低い電圧降下、したがって低い電力消費、発熱、およびエネルギー損失を実現する能力があるので望ましい。

【0064】

さらに理解されるように、固体スイッチング回路204が双方向性サイリスタ（または1対の逆並列サイリスタ）を含む例示の一実施形態では、この構成は低電流で比較的損失が大きいが、このような構成は大電流での比較的電圧降下が小さいことおよび過渡熱応答特性のため、比較的大きな短時間の電流サージに耐えられることが利点となり得る。20

【0065】

例示の一実施形態では、固体スイッチング回路204は、電流パルスを制御することによってモータのソフト起動（または停止）を行うために用いることができると考えられる。交流電源電圧または交流負荷電流の可変の位相角に対応して固体回路をスイッチングすることにより、モータに印加される電流パルスの流れの結果として生ずる電気エネルギーを調整することができる。たとえば最初にモータが付勢される場合、電圧がゼロに近づくとき、電圧ゼロの近くで固体スイッチング回路204をターンオンすることができる。これにより、小さな電流パルスが生じるだけとなる。電流は、上昇してほぼ電圧がゼロに達する時点でピークに達し、次いで電圧が反転するのに従ってゼロに低下する。点弧（位相）角は、電流が定格負荷の3倍などの所望の値に達するまで、より大きな電流パルスを生じるように、徐々に進められる。最終的には、モータが起動し電流振幅が減衰し続けるのに従って、点弧角は、最終的にモータに全ライン電圧が連続的に印加されるまでさらに進められる。固体スイッチング回路を用いた例示のソフト起動技法に関する一般的な基礎情報を望む読者には、本発明と同じ譲受人に共に譲渡され、参照により本明細書に組み込まれる“Apparatus and Three Phase Induction Motor Starting and Stopping Control Method”という名称の米国特許第5,341,080号を参照されたい。30

【0066】

始動電流が適当なレベルまでおさまった後、MEMSベースのスイッチング回路202は、適当なMEMSに適合可能なスイッチング技法を用いて、または電圧降下が比較的小さい電圧であれば、固体スイッチング回路の両端に生じている電圧で閉じることによってターンオンすることができる。この時点で、FETスイッチ210および219はターンオフすることができる。図12は、定常電流（「Iss」で示される）がMEMSベースのスイッチング回路202によって伝送される、モータ起動装置200の状態を示す。40

【0067】

当業者には理解されるように、MEMSベースのスイッチング回路は、そのスイッチ接点の両端に電圧があるときに導通スイッチング状態に閉路されるべきでなく、またこのような回路は、そのような接点に電流が通過しているときに非導通スイッチング状態に開路されるべきではない。MEMSに適合可能なスイッチング技法の一実施例は、図1～9に50

示されかつ / またはそれらに関連して説明したパルス生成技法でよい。

【 0 0 6 8 】

モータ起動装置を、ソフトスイッチングまたはポイントオンウェーブスイッチングを行い、それによってスイッチング回路 202 内の 1つまたは複数の M E M S スイッチを、スイッチング回路 202 の両端の電圧がゼロまたはゼロに非常に近いときに閉路し、スイッチング回路 202 を通る電流がゼロまたはゼロに近いときに開路するように構成することにより、M E M S に適合可能なスイッチング技法の別の実施例を実現することができる。このような技法に関する基礎的な情報を望む読者には、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる、2005年12月20日出願の米国特許出願第11/314,879号(整理番号162191-1)の“Micro-Electromechanical System Based Soft Switching”という名称の特許出願を参照されたい。10

【 0 0 6 9 】

スイッチング回路 202 の両端の電圧がゼロまたはゼロに非常に近い時点でスイッチを閉じることにより、1つまたは複数の M E M S スイッチが閉じるときにそれらの接点間の電界を低く保つことによって、複数のスイッチがすべて同時に閉じない場合でも、接点が接触する前のアーケ発生を防止することができる。上記で触れたように、制御回路は、スイッチング回路 202 内の 1つまたは複数の M E M S スイッチの開路と閉路を、交流電源電圧または交流負荷回路電流のゼロクロス発生に同期させるように構成することができる。過電流保護回路 206 は、始動事象時に障害が発生したとき、下流側の負荷およびそれぞれのスイッチング回路を保護するように構成することができる。図 13 に示されるように、この保護は、障害電流 (I fault) を過電流保護回路 206 へ移転させることによって達成される。20

【 0 0 7 0 】

最上位レベルから見たとき、電気機械および固体スイッチング回路は概念的には互いにほぼ同様な挙動をするように見えるが、実際にはこのようなスイッチング回路は大きく異なる物理的原理に基づいているので、これらはそれぞれ異なる動作特性を示し、したがって過電流保護回路は、このような特性を考慮しつつスイッチング回路を適切に作動させるように、適切に構成しなければならない場合があることに留意されたい。たとえば、M E M S スイッチは一般に、接点を切斷するために片持ち梁の機械的な動きを必要とし、電界効果固体スイッチは一般に、電圧によって誘起されるチャネル内の電荷キャリアの移動を必要とし、バイポーラ固体スイッチは逆バイアスされた接合内の電荷キャリアの注入を必要とする。キャリアを取り除くのにかかる時間は回復時間と呼ばれ、この回復時間は 1マイクロ秒より短い時間から 100 マイクロ秒より長い時間の範囲となり得る。たとえば、固体スイッチが障害状態に閉路される場合は、過電流保護回路 206 は、スイッチのチャネルが完全にクリアされてスイッチが完全に開路となるまで、障害電流を吸収し、固体スイッチおよび下流側の負荷を保護することができなければならない。過電流保護回路 206 がパルス回路 52 および平衡ダイオードブリッジ 31 を含む場合は、パルス特性(パルス回路によって生成されるパルスの幅および / または高さ)が、下流側の保護に影響を及ぼし得ることを示すことができる。たとえば過電流保護回路 206 は、並列固体スイッチング回路の回復時間に適応し、かつ M E M S ベースのスイッチング回路の障害保護に適応するように十分な幅および / または高さを有するパルスを発生することができるべきである。30

【 0 0 7 1 】

当業者には理解されるように、障害電流遮断に関して、2つの一般的な部類の固体スイッチング回路がある。一部の固体スイッチ(F E Tなど)は、ターンオフされると本来的に電流ゼロの状態が強制される。その他(S C Rなど)は、電流ゼロの状態を強制することができない。電流ゼロの状態を強制することができる固体スイッチング回路は、障害時に電流制限を行うのに過電流保護回路 206 の補助が不要となり得る。電流ゼロの状態を強制できない固体スイッチング回路は、一般に過電流保護回路 206 が必要になる。

【 0 0 7 2 】

50

前述のように、MEMSベースのスイッチング回路と固体スイッチング回路の間を行き来して選択的に電流を移転させるために、適切な制御技法が実施されなければならない。例示の一実施形態では、このような制御技法は、各スイッチング回路のそれぞれの電気的損失モデルに基づくものとすることができる。たとえば、MEMSベースのスイッチング回路での電気的損失（および付随する温度上昇）は一般に負荷電流の2乗に比例し、一方、固体スイッチング回路での損失（および付随する温度上昇）は一般に負荷電流の絶対値に比例する。また固体デバイスの熱容量は、一般にMEMSベースのスイッチング回路の熱容量よりも大きい。したがって負荷電流の正常値に対してはMEMSベースのスイッチング回路が電流を伝送することが考えられ、一時的な過負荷電流に対しては固体スイッチング回路が電流を伝送することが考えられる。したがって過渡的な過負荷状況のときは、10行き来して電流を移転させることが考えられる。

【0073】

以下では、MEMSベースのスイッチング回路と固体スイッチング回路の間を行き来して選択的に負荷電流を移転させるための、3つの例示の技法について述べる。例示の一技法では、図14に示されるような二重の過電流保護回路の使用を考えるもので、移転を補助するために、第1の過電流保護回路206₁と、第2の過電流保護回路206₂が、MEMSベースのスイッチング回路および固体スイッチング回路に並列回路にて接続される（例示の一実施形態では、この第2の過電流保護回路も、図1～9に示されかつ／またはそれらに関連して説明したようなパルス回路52および平衡ダイオードブリッジ31を備えることができる。）。20

【0074】

モータ起動装置が単一の過電流保護回路206のみを用いる場合、このような単一の過電流保護回路は、MEMSベースのスイッチング回路に関連するスイッチング事象が生じるとすぐに、活動化されることになることに留意されたい。しかし、その後間もなく障害が起きた場合は、単一の過電流保護回路206は、スイッチング回路を保護するために再び活動化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し、したがってこのような回路は、点弧してすぐに動作するよう瞬時には準備が整わなくなる。たとえば、パルス回路52内のパルスコンデンサを再充電するために、ある時間待たなければならないことになる。30

【0075】

冗長型の過電流保護回路を使用する技法は、一方の過電流保護回路（たとえば回路206₂）を、他方の過電流保護回路206₁が正常なスイッチング事象（障害駆動でないスイッチング事象）に関連してパルス利用型スイッチングを丁度行ったときでも、自由であり、障害の場合に電流制限を支援する準備が整った状態にあることを確実にする。この技法は、比較的単純な制御により大きな設計融通性をもたらすと考えられるが、単一の過電流保護回路の代わりに二重の過電流保護回路を必要とする。この技法は、任意のタイプの固体スイッチング回路に適合可能であることに留意されたい。30

【0076】

冗長型の過電流保護回路を備える例示の一実施形態では、このような回路は二重のパルス回路を含むべきであるが、二重の平衡ダイオードブリッジ31を含む必要はないことが理解されよう。たとえば、第1の過電流保護回路が個別のパルス回路52と個別の平衡ダイオードブリッジ31を備える場合は、第2の過電流保護回路は、第1の過電流保護回路の平衡ダイオードブリッジ31に適當なパルス電流を（必要なときに）印加するように構成された個別のパルス回路52を備えるだけでよい。逆に、第2の過電流保護回路が個別のパルス回路52と個別の平衡ダイオードブリッジ31を備える場合は、第1の過電流保護回路は、第2の過電流保護回路の平衡ダイオードブリッジ31に適當なパルス電流を（必要なときに）印加するように構成された個別のパルス回路52を備えるだけでよい。40

【0077】

第2の例示の技法は、移転の実行を、電流ゼロに合わせるものである。これは、第2の過電流保護回路を不要にし、また任意のタイプの固体スイッチング回路に適合可能である50

。しかしこの技法は、より複雑な制御が必要になり、ある場合にはシステムの完全停止が必要になり得る。第3の例示の技法は、MEMSスイッチング回路および固体スイッチング回路の開路と閉路を連携させることによって電流移転を行うものである。当業者には理解されるように、この技法は、固体スイッチング回路の電圧降下が比較的小さければ用いることができる。

【0078】

いずれの場合も、制御方式は、スイッチング回路のそれぞれ1つの電流伝送能力に適した負荷電流状態に応答するなどして、過電流保護回路（單一または二重過電流保護回路）をいつ動作させるべきかを判断し、かつそれぞれのスイッチング回路をいつ開路および閉路すべきかを判断するように構成できることが理解されるべきである。一般的な概念としては、交互の電流路の間を行き来して電流を移転しながら障害電流制限を行うように準備されており、かつ負荷電流がいずれかの負荷電流伝送経路の最大能力に近づいたときに電流制限および回路の消勢を行うことである。1つの例示の制御方式は、以下のようなものとすることできる。

10

【0079】

大きな初期電流が生ずることを予想して、負荷を付勢するために固体スイッチング回路を使用する。電流がMEMSベースのスイッチング回路の定格内に低下した後、負荷をMEMSベースのスイッチング回路に移転する。

【0080】

正常状態において負荷を消勢する必要がある場合は、その時点でどのスイッチング回路が電流を伝送していたとしても、そうする。それがMEMSベースのスイッチング回路であれば、電流ゼロでターンオフするようにポイントオンウェーブスイッチングを用いる。

20

【0081】

シミュレートしたまたは感知した温度に基づいて、MEMSベースのスイッチング回路および固体スイッチング回路の両方の温度を求める。このような温度のいずれかがそれぞれの温度定格限界に近づいていると判断される場合、または負荷電流がそれぞれの最大電流伝送能力に近づいている場合（障害状態または厳しい過負荷など）、（過電流保護回路の補助により）瞬時の電流遮断を行い、MEMSベースのスイッチング回路と固体スイッチング回路の両方を開路する。この動作は、他のどの制御動作よりも先行することになる。再閉路のスイッチング動作を可能とする前に、リセットを待つ。

30

【0082】

正常動作時は、電流を、MEMSベースのスイッチング回路を通過させるか、固体スイッチング回路を通過させるかを判断するのに、各スイッチング回路のそれぞれの温度状態を用いることができる。一方のスイッチング回路がその温度または電流限界に近づいており、他方のスイッチング回路は依然として温度余裕がある場合は、移転は自動的に行われる。正確なタイミングは、移転の技法に依存することになる。たとえばパルス利用型移転では、移転は、移転が必要になるとすぐにほぼ瞬時に生じ得る。ポイントオンウェーブスイッチングに基づく移転では、このような移転は、次に利用可能な電流のゼロクロスが発生するまでの間に行われる（たとえば遅延される）ことになる。遅延型移転に対しては、移転が次の電流ゼロまで正しく遅延される可能性を高めるために、移転の決定に対する設定に一定の余裕が与えられるべきである。

40

【0083】

図15は、モータ起動装置の例示の一実施形態の回路の詳細を示す。たとえば図15は、MEMSベースのスイッチング回路206、固体スイッチング回路204、第1のパルススイッチ54、および第2のパルススイッチ229を、それぞれ駆動するためのコントローラ208からの制御信号に応答するそれぞれのドライバ220、222、224、および228を示す。例示の一実施形態では、第1のパルススイッチ54は、個別のパルスコンデンサ56およびパルスインダクタ58に結合され、図1～9に関連して述べたように、MEMSベースのスイッチング回路のターンオン事象に関連してプリッジダイオード28にパルスを印加するように構成することができる。これは、MEMSベースのスイッ

50

チング回路が閉じるときに、MEMSベースのスイッチング回路の端子の両端の電圧がゼロに等しい（またはほぼゼロに近い）ことを確実にするように適切に選ばれた時点でパルスを生成するためである。基本的にパルス信号は、微小電気機械システムスイッチング回路の導通状態へのターンオンに関連して発生される。

【0084】

この例示の実施形態では、第2のパルススイッチ229は、個別のパルスインダクタ230およびパルスコンデンサ234に結合され、MEMSベースのスイッチング回路のターンオフ事象に関連してブリッジダイオード28にパルスを印加するように構成することができる。これは、MEMSベースのスイッチング回路が開くときに、MEMSベースのスイッチング回路を通る電流がゼロに等しい（またはほぼゼロに近い）ことを確実にするように適切に選ばれた時点でパルスを生成するためである。基本的にパルス信号は、微小電気機械システムスイッチング回路の非導通状態へのターンオフに関連して発生される。10
これは、先に触れたポイントオンウェーブ（POW）技法と組み合わせて実現することができ、それによりモータ起動装置設計の頑健さのレベルの向上が得られる。たとえば、このパルス利用型ターンオン技法により、本発明の態様を実施したモータ起動装置を、供給電圧の品質が、POWスイッチングのみを用いて常に高信頼度で動作させるのには適さない場合の用途に用いることが可能になると考えられる。第3のパルス回路により、第1および第2のパルス回路が正常なスイッチング事象（障害駆動でないスイッチング事象）に関連してパルス利用型スイッチングを丁度行ったときでも、1つの回路を自由で障害の場合に電流制限を支援する準備が整った状態に保つことが確実になり得ることに留意されたい。これは、図14に関連して述べた、冗長型の過電流保護の概念の延長である。20

【0085】

図15はさらに、それぞれのスイッチング回路の電流伝送能力に適した負荷電流状態、およびモータ起動装置に影響を及ぼす障害状態を、判定するために用いることできるよう、電流を感知するためにコントローラ208に接続された電流センサ226を示す。

【0086】

動作の際には、本発明の態様を実施したモータ起動装置は、3相、非逆転型のACモータ用途に利用することができる。しかし、本発明の態様を実施したモータ起動装置は、任意の電気的相数、ACまたはDC電圧、および逆転型または非逆転型の用途に容易に適合できることができ理解されよう。当業者には理解されるように、一部の用途では、モータ軸の回転方向を逆転させることが必要になり得る。たとえば3相誘導モータでは、本発明の態様を実施したMEMSベースのモータ起動装置は、モータへの3つの接続線のうちの任意2つを再接続することなどにより、モータ動作の逆転を行うためのスイッチングおよび制御回路を実現するように適合することができる。30

【0087】

図17は、MEMSベースの逆転型モータ起動装置の例示の一実施形態である。たとえば、過電流保護回路14によって得られる様々な動作上の有利な特徴は、上述のようなものとなる。3相モータ用の例示の一実施形態では、MEMSスイッチング回路12内で、3つの電気的相のうちの2つを入れ替えるように適当に構成されたコントローラからの個別のゲート制御信号に応答する、2つの追加のMEMSスイッチが相互接続されることになる。たとえば、文字「F」のラベルが付されたスイッチをターンオンすることによってモータを順方向に動作させることができ、文字「R」のラベルが付されたスイッチをターンオンすることによってモータを逆方向に動作させることができる。従来の起動装置は、一般に、モータ逆転機能を実現するために少なくとも10個の接触器が必要になるが、MEMSベースの起動装置なら同じ逆転機能を実現するのに必要なMEMSスイッチは5個だけでよいことに留意されたい。従来の起動装置では、たとえば逆方向接触器が順方向接触器と同時にオンにならないことを確実にするように、適切な機械的および/または電気的な連動を確認し確実にするために、追加の要素を必要とする。MEMS逆転型モータ起動装置では、このような確認は、コントローラ内に記憶することができるような、適切に構成されたソフトウェア制御モジュールによって有利に行うことができる。4050

【0088】

例示のモータ起動装置の入力信号は、3相ライン入力電源、電気的接地、およびオン - オフ活動化信号および / または適宜手動オン - オフ活動化を含むことができる。入力電源は任意の適切な電圧または周波数でよく、制御信号はアナログまたはデジタル信号のいずれでもよい。ユーザインタフェースにより（たとえば端子台により）、入力電源ラインのための接続を行うことができる。保守切断器（たとえばナイフスイッチ）により、ロッカウト（タグアウト）保守切断を行うことができる。コントロールインターフェース（たとえば押しボタンタイプ）により、ユーザが手動でオン / オフ制御できるようにすることができる。電源回路は、入力電源が接続されると、論理回路、MEMSスイッチゲートドライバ、固体スイッチゲートドライバ、パルス回路など、様々なデバイスが必要とし得る制御電力を供給するように構成することができる。

10

【0089】

例示の一実施形態は、多相システムでの慣例の通り、制御電力源としてそれぞれの相間電位を用いることができる。単相システムの場合は、電位は、別の供給源から供給することができ、または相 - 接地間電位から得ることができる。電源回路は、回路電力を供給するのに加えて、ライン過渡現象抑制器を含むことができる。制御電力が確立された後、制御回路は、適切な制御、および電流 / 電圧感知を行うように機能することができる。たとえば、適当なコントローラ（たとえば機能のレベルに応じて、プログラマブルロジックコントローラ（PLC）またはマイクロコントローラ）を、判断アルゴリズムを実行し、入力コマンドおよびセンサ情報を収集し、MEMSベースのスイッチング回路および / または固体スイッチング回路の開路 / 閉路に関する論理判断を行うように構成することができる。

20

【0090】

例示の一実施形態では、モジュール間制御により、たとえば電圧スケーリングが可能なMEMSスイッチング回路モジュールのアレイ用に電気的に分離された制御信号を供給するなど、主入力コマンドを中継することができる。

【0091】

MEMSベースのスイッチング回路と並列に、電圧勾配緩和回路網と過電流保護回路がある場合、オフ状態で、ある程度のリーク電流があり得る。したがって、トリップ状態で漏洩をゼロとする必要がある用途には、分離接触器を追加することができる。このような分離接触器は、大きなレベルの負荷電流を遮断するように設計する必要はなく、したがって定格電流を伝送し印加可能な誘電電圧に耐えるように設計するだけでよく、サイズが大幅に小さくなることが理解されよう。

30

【0092】

当業者には、以上の説明で開示されるような本発明の態様を実施した回路は、回路遮断器が必要とし得る、各要素および / または動作機能を、高信頼度でコスト効率良く実現できることが明らかであろう。たとえば、回路遮断器を特徴付けるのに有用な逆の時間関係、たとえば、 $I^2 \times t = K$ （ここで過負荷の許容持続時間については、時間（t）と電流（I）の2乗が一定（K）となる。）で定義される過電流曲線などは、慣例的に、電流の大きさに基づいて3つの区域に分けられる。たとえば、長時間（たとえば大きなK）、短時間（たとえば小さなK）、および瞬時である。長時間および短時間の区域は共に、一般に半サイクルよりずっと長い時間に関係し、したがってポイントオンウェーブスイッチングになじみやすいことに留意されたい。しかしながら瞬時区域は、それが激しい結果を伴い1ミリ秒未満で数キロアンペアの潜在的電流に達する場合がある短絡の結果であり得るので、一般にMEMSベースのスイッチング回路によって得られるような、大幅に高速な半サイクル未満のスイッチングが必要となることに留意されたい。したがって動作の際には、本発明の態様を実施した回路は、回路遮断器において、たとえば上記の動作区域のそれにわたる動作要件に合致するために必要となり得るような、各要素および / または動作機能を革新的に満たす。

40

【0093】

50

以上、ここでは本発明の一部の特徴のみについて図示し説明してきたが、当業者なら多くの変形および変更を思いつくであろう。したがって、すべてのそのような変形および変更は、本発明の真の趣旨の範囲に含まれるものとして、添付の特許請求の範囲によって包含されると理解されるものとする。また、図面の符号に対応する特許請求の範囲中の符号は、単に本願発明の理解をより容易にするために用いられているものであり、本願発明の範囲を狭める意図で用いられたものではない。そして、本願の特許請求の範囲に記載した事項は、明細書に組み込まれ、明細書の記載事項の一部となる。

【図面の簡単な説明】

【0094】

【図1】本技法の態様による、例示のMEMSベースのモータ起動装置のブロック図である。 10

【図2】図1に示されるMEMSベースのモータ起動装置を示す概略図である。

【図3】図2に示されるMEMSベースのモータ起動装置の例示の動作を示す概略フローチャートである。

【図4】図2に示されるMEMSベースのモータ起動装置の例示の動作を示す概略フローチャートである。

【図5】図2に示されるMEMSベースのモータ起動装置の例示の動作を示す概略フローチャートである。

【図6】MEMSスイッチの直並列アレイを示す概略図である。

【図7】勾配緩和型MEMSスイッチを示す概略図である。 20

【図8】図1のMEMSベースのモータ起動装置を有するシステムの動作フローを示すフロー図である。

【図9】モータ起動装置のターンオフを表す、実験結果のグラフである。

【図10】本発明の態様による例示のモータ起動装置を示すブロック図である。

【図11】負荷開始事象時などの、それぞれの固体スイッチング回路を通る電流路を示す、図10のモータ起動装置の例示の一実施形態の回路詳細を示す図である。

【図12】定常動作時などの、それぞれのMEMSベースのスイッチング回路を通る電流路を示す、図10のモータ起動装置の例示の一実施形態の回路詳細を示す図である。

【図13】障害状態時などの、過電流保護回路を通る電流路を示す、図10のモータ起動装置の例示の一実施形態の回路詳細を示す図である。 30

【図14】二重過電流保護回路を有する、モータ起動装置の例示の一実施形態の概略図である。

【図15】図10のモータ起動装置の例示の一実施形態の、回路の詳細を示す図である。

【図16】固体スイッチング回路が、逆直列回路構成に接続された1対の固体スイッチを含む、例示の一実施形態を示す図である。

【図17】MEMSベースの逆転型モータ起動装置の例示の一実施形態を示す図である。

【符号の説明】

【0095】

10 微小電気機械システム(MEMS)ベースのモータ起動装置

12 MEMSベースのスイッチング回路

14 過電流保護回路

16 (過電流保護回路用) 単一パッケージ

18 微小電気機械システム(MEMS)ベースのモータ起動装置の概略図

22 第1のMEMSスイッチの第1の接点(ドレイン)

24 第2の接点(ソース)

26 第3の接点(ゲート)

28 平衡ダイオードブリッジ

29 第1の枝路

30 第1のダイオードD1

31 第2の枝路

40

50

3 2	第 2 のダイオード D 2	
3 3	電圧スナバ回路	
3 4	第 3 のダイオード D 3	
3 6	第 4 のダイオード D 4	
4 0	負荷回路	
4 4	電圧源 V _{B U S}	
4 6	負荷インダクタンス L _{L O A D}	
4 8	負荷抵抗 R _{L O A D}	
5 0	負荷電流 I _{L O A D}	
5 2	パルス回路	10
5 4	パルススイッチ	
5 6	パルスコンデンサ C _{P U L S E}	
5 8	パルスインダクタンス L _{P U L S E}	
6 0	第 1 のダイオード D _P	
6 2	パルス回路電流	
6 4	パルス回路をトリガするプロセスの概略図	
6 6	パルス回路電流の方向	
6 8	パルス回路電流の反対の方向	
7 0	電流ベクトル	
7 2	電流ベクトル	20
7 4	電流ベクトル	
7 6	電流ベクトル	
7 8	M E M S スイッチの開路の概略図	
8 4	インダクタンス L ₁	
8 6	負荷電流の方向	
8 8	インダクタンス L ₂	
9 4	負荷電流を減少させるように接続された回路要素の概略図	
9 6	複数のM E M S スイッチ	
9 8	M E M S スイッチ	
1 0 0	M E M S スイッチ	30
1 0 4	勾配緩和型 M E M S スイッチ回路	
1 0 6	M E M S スイッチ	
1 0 8	勾配緩和抵抗器	
1 1 0	勾配緩和コンデンサ	
1 1 2	M E M S ベースのモータ起動装置をスイッチングするための例示のロジックの フロー チャート	
1 1 4	ブロック	
1 1 6	ブロック	
1 1 8	ブロック	
1 2 0	ブロック	40
1 2 2	ブロック	
1 2 4	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	グラフ表示の第 1 の区間	
1 3 8	グラフ表示の第 2 の区間	
1 4 0	グラフ表示の第 3 の区間	
1 4 2	応答曲線	
1 4 4	応答曲線	50

1 4 6	応答曲線	
1 4 8	応答曲線	
1 5 0	応答曲線	
1 5 2	応答曲線の領域	
1 5 4	応答曲線の領域	
2 0 0	モータ起動装置	
2 0 2	M E M S ベースのスイッチング回路	
2 0 4	固体スイッチング回路	
2 0 6	過電流保護回路	
2 0 8	コントローラ	10
2 1 0	F E T (電界効果トランジスタ)	
2 1 2	F E T (電界効果トランジスタ)	
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 2	ゲート駆動回路	
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	20
2 2 0	ドライバ	
2 2 2	ドライバ	
2 2 4	ドライバ	
2 2 6	電流センサ	
2 2 8	ドライバ	
2 2 8	コントローラ	
2 2 9	第 2 のパルススイッチ	
2 3 0	パルスインダクタ	
2 3 4	パルスコンデンサ	

【図1】

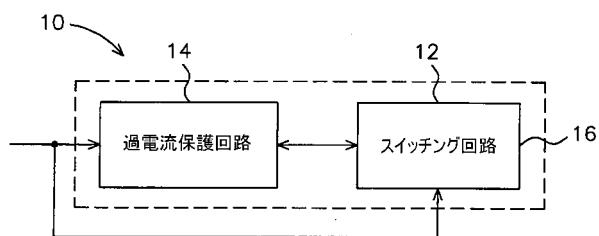


FIG. 1

【図2】

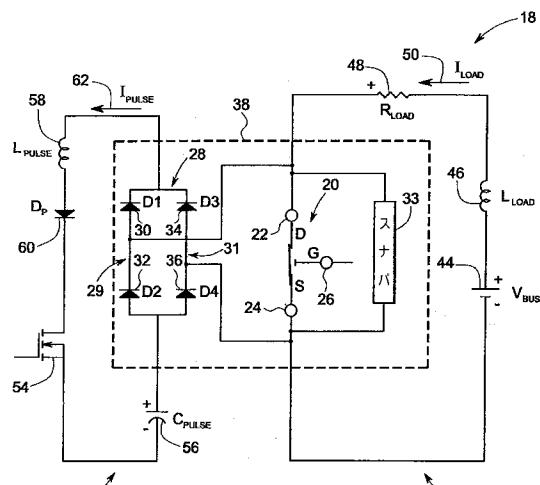


FIG. 2

【図3】

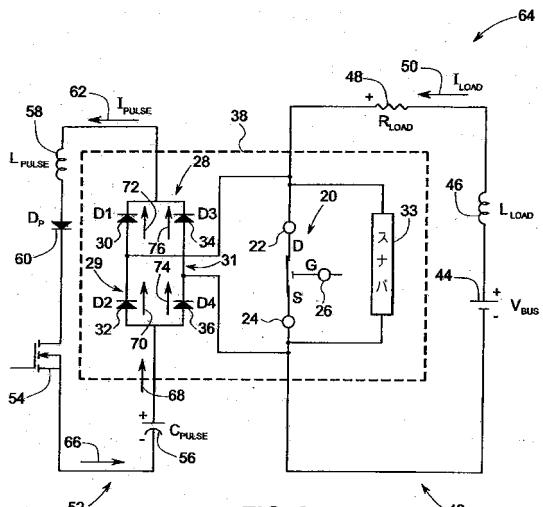


FIG. 3

【図4】

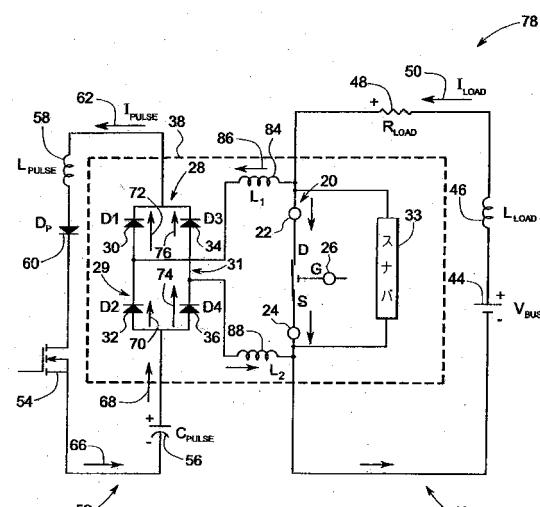


FIG. 4

【図5】

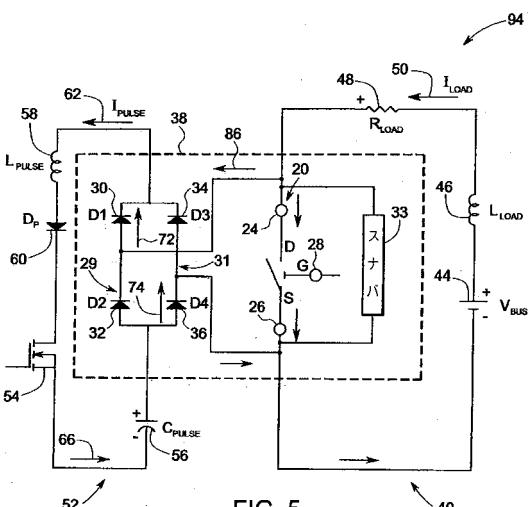
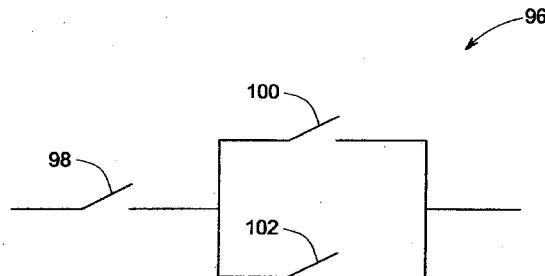
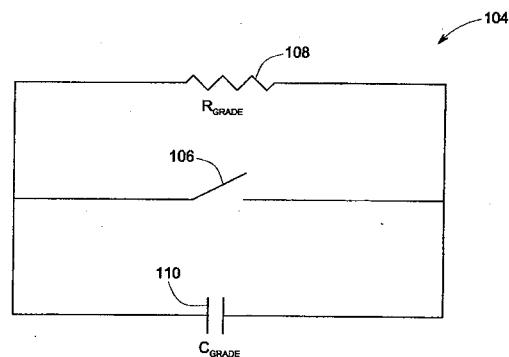


FIG. 5

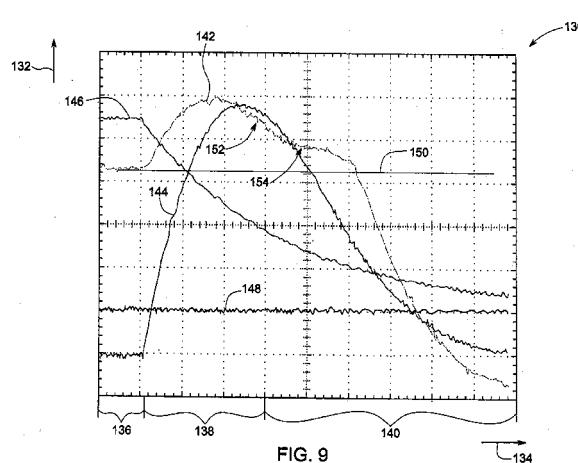
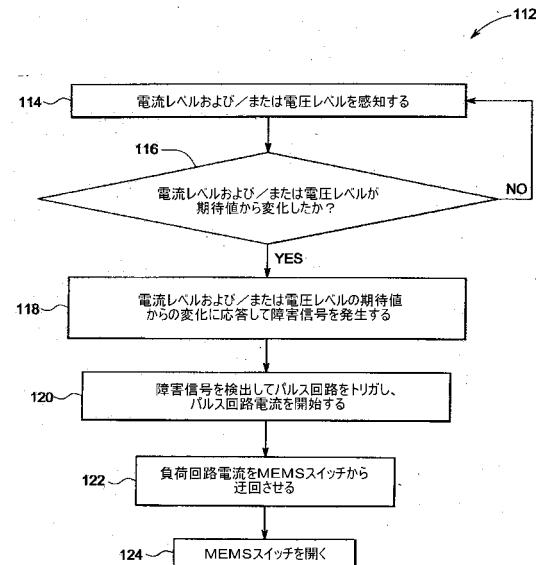
【図 6】



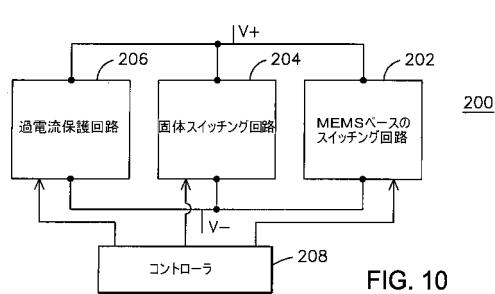
【図 7】



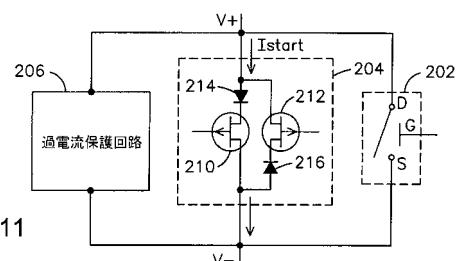
【図 8】



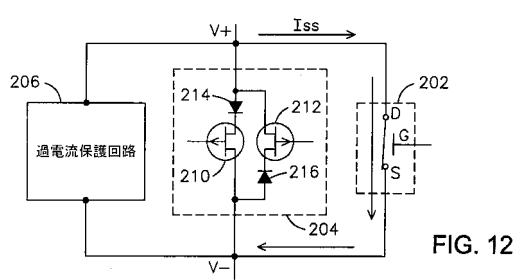
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【図 1 3】

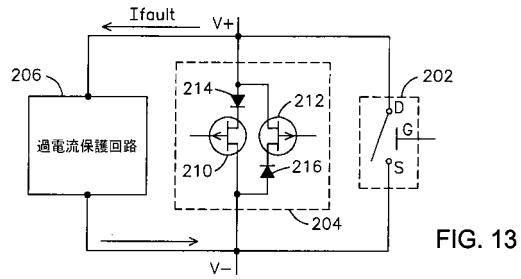


FIG. 13

【図 1 4】

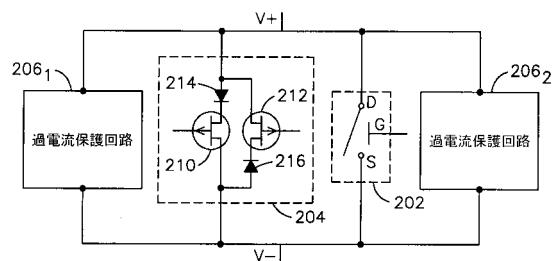


FIG. 14

【図 1 5】

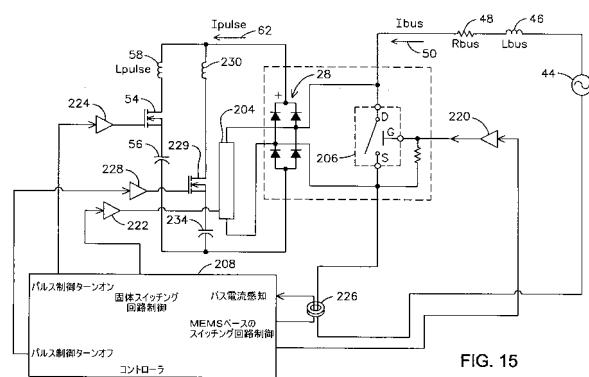


FIG. 15

【図 1 6】

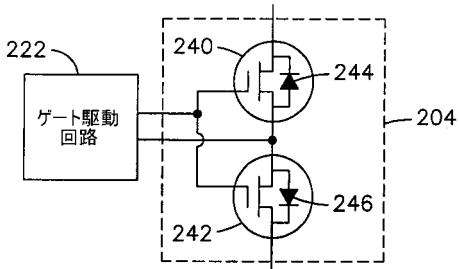


FIG. 16

【図 1 7】

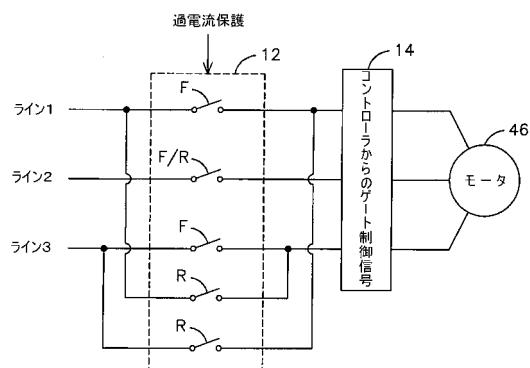


FIG. 17

フロントページの続き

- (72)発明者 フエンフェン・タオ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、キャシーウッド・コート、4番
- (72)発明者 ジョシュア・アイザック・ライト
アメリカ合衆国、ヴァージニア州、アーリントン、ディー432、リー・ハイウェイ、3004番
- (72)発明者 カナカサババシ・スプラマニアン
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・オーナス、2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、グルームス・ロード、723番
- (72)発明者 ロバート・ジェイムズ・カッジャー
アメリカ合衆国、コネチカット州、ウォルコット、クリントン・ヒル・ロード、243番
- (72)発明者 デイビッド・ジェイムズ・レスリー
アメリカ合衆国、コネチカット州、ブレインビル、ジュリー・ロード、51番
- (72)発明者 ブレント・チャールズ・クムファー
アメリカ合衆国、インディアナ州、フォート・ウェイン、ウォーターサイド・ドライブ、6128番
- (72)発明者 チャールズ・スティーブン・ピツェン
アメリカ合衆国、コネチカット州、ファーミングトン、ヘンリー・コモンズ、6番
- (72)発明者 キャスリーン・アン・オブライエン
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、アルバニー、チェスナット・ストリート、128番
- (72)発明者 エドワード・キース・ハウエル
アメリカ合衆国、ノースカロライナ州、ヘンダーソンビル、イーグル・ロック・トレイル、124番

審査官 櫻田 正紀

- (56)参考文献 米国特許第05341080(US, A)
特開2000-031397(JP, A)
米国特許第06054659(US, A)
特公昭44-006303(JP, B1)
米国特許出願公開第2007/0139829(US, A1)
米国特許出願公開第2007/0139831(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 02 P 1 / 26
G 05 F 1 / 455