

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6310400号  
(P6310400)

(45) 発行日 平成30年4月11日(2018.4.11)

(24) 登録日 平成30年3月23日(2018.3.23)

(51) Int.Cl.

H02M 1/08 (2006.01)  
H02M 7/48 (2007.01)

F 1

H02M 1/08  
H02M 7/48A  
M

請求項の数 22 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2014-557812 (P2014-557812)  
 (86) (22) 出願日 平成25年2月15日 (2013.2.15)  
 (65) 公表番号 特表2015-515242 (P2015-515242A)  
 (43) 公表日 平成27年5月21日 (2015.5.21)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2013/026325  
 (87) 國際公開番号 WO2013/123316  
 (87) 國際公開日 平成25年8月22日 (2013.8.22)  
 審査請求日 平成28年2月8日 (2016.2.8)  
 (31) 優先権主張番号 13/385,403  
 (32) 優先日 平成24年2月17日 (2012.2.17)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 315005451  
 ジーイー・ハイブリッド・テクノロジーズ  
 ・エルエルシー  
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州・123  
 O 9、ニスカユナ、リサーチ・サークル、  
 1番  
 (74) 代理人 100137545  
 弁理士 荒川 聰志  
 (72) 発明者 ピート・アーネット  
 アメリカ合衆国・マサチューセッツ・O 1  
 890・ワインチエスター・ノース・ゲー  
 トウェイ・27

審査官 東 昌秋

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】プログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プログラマブルゲートコントローラシステムであって、  
 絶縁デバイスを介して中央コントローラに接続するように適合されたプログラマブルゲートコントローラと、  
 絶縁デバイスを介さずに前記プログラマブルゲートコントローラに相互接続され、および前記プログラマブルゲートコントローラによって制御可能な複数の電力スイッチを有する多相電力変換システムとを備え、

前記多相電力変換システムが、各相毎に複数の電力スイッチを含み、

前記プログラマブルゲートコントローラが、前記複数の電力スイッチを駆動するための增幅器と、前記増幅器を動作させるためのプログラマブルデバイスとを含み、

前記プログラマブルゲートコントローラが、前記複数の電力スイッチのうちの少なくとも1つのスイッチ温度に基づいて、前記複数の電力スイッチのスイッチング速度と、オン/オフ比とを変更する第1の命令を生成するように構成される、プログラマブルゲートコントローラシステム。

【請求項 2】

前記プログラマブルゲートコントローラと前記中央コントローラとの間の通信リンクを含む、請求項1に記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

【請求項 3】

前記リンクが双方向である、請求項2に記載のプログラマブルゲートコントローラシス

10

20

テム。

**【請求項 4】**

前記絶縁デバイスが、光結合、容量結合または誘導結合を用いて前記中央コントローラを前記プログラマブルゲートコントローラから絶縁する、請求項 2 または 3 に記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

**【請求項 5】**

前記通信リンクがSPIまたはCANに従う、請求項 2 乃至 4 のいずれかに記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

**【請求項 6】**

前記多相電力変換システムが、三相インバータであり、

10

前記プログラマブルゲートコントローラが、それぞれの相に対応する複数のプログラマブルゲートコントローラを含み、

前記複数の電力スイッチがFETまたはIGBTを含む、請求項 2 乃至 5 のいずれかに記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

**【請求項 7】**

絶縁デバイスを介さずに前記プログラマブルゲートコントローラに相互接続され、前記複数の電力スイッチにおける局在状態を感知するための複数のセンサを含む、請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

**【請求項 8】**

前記プログラマブルデバイスが、前記センサに応答して、前記第 1 の命令を生成するように構成される、請求項 7 に記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

20

**【請求項 9】**

前記プログラマブルデバイスが、前記センサに応答して、前記複数の電力スイッチに局在する状態の傾向を追跡する命令を生成するように構成される、請求項 8 に記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

**【請求項 10】**

前記プログラマブルデバイスが、前記センサに応答して、前記複数の電力スイッチの潜在的故障モードを予測し検知する命令を生成するように構成される、請求項 8 または 9 に記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

**【請求項 11】**

30

前記プログラマブルゲートコントローラと前記中央コントローラとの間の通信リンクを含み、

前記通信リンクが、前記中央コントローラから前記プログラマブルゲートコントローラにおよび前記プログラマブルゲートコントローラから前記中央コントローラに、スイッチ制御命令およびパラメータを搬送する、請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

**【請求項 12】**

前記増幅器および前記プログラマブルデバイスが、同じチップ上にある、請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載のプログラマブルゲートコントローラシステム。

**【請求項 13】**

40

多相電力変換システムの複数の電力スイッチの近傍のおよび中央コントローラから遠隔で、絶縁デバイスを介して接続されるプログラマブルゲートコントローラを用いて複数の電力スイッチを制御する方法であって、

複数のセンサが、前記複数の電力スイッチに局在するスイッチ温度を含む第 1 の状態を感知するステップと、

感知された前記第 1 の状態に応答して、前記複数の電力スイッチのスイッチング速度と、オン / オフ比とを変更する第 1 の制御信号を前記プログラマブルゲートコントローラが発生するステップと、

前記第 1 の制御信号を前記複数の電力スイッチに印加するステップとを含み、

前記多相電力変換システムが、各相毎に複数の電力スイッチを含み、

50

前記複数の電力スイッチと前記複数のセンサが、絶縁デバイスを介さずに前記プログラマブルゲートコントローラに相互接続される、方法。

【請求項 1 4】

前記遠隔のプログラマブルゲートコントローラと前記中央コントローラとの間で通信するステップをさらに含む、請求項 1 3 に記載の方法。

【請求項 1 5】

前記通信が双方向である、請求項 1 4 に記載の方法。

【請求項 1 6】

前記通信が高速シリアルバスを介する、請求項 1 4 または 1 5 に記載の方法。 10

【請求項 1 7】

前記絶縁デバイスが、光結合、容量結合または誘導結合を用いて前記中央コントローラを前記プログラマブルゲートコントローラから絶縁する、請求項 1 4 乃至 1 6 のいずれかに記載の方法。

【請求項 1 8】

前記通信が、前記中央コントローラから前記プログラマブルゲートコントローラへの高分解能のセットポイントの送達を含む、請求項 1 4 乃至 1 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 1 9】

前記多相電力変換システムが、三相インバータであり、

前記プログラマブルゲートコントローラが、それぞれの相に対応する複数のプログラマブルゲートコントローラを含む、請求項 1 4 乃至 1 8 のいずれかに記載の方法。 20

【請求項 2 0】

第 1 の制御信号を発生するステップが、関連する複数の電力スイッチに局在する状態の傾向を追跡する自己学習アルゴリズムを適用するステップを含む、請求項 1 4 乃至 1 9 のいずれかに記載の方法。

【請求項 2 1】

前記関連する複数の電力スイッチの潜在的故障モードを予測し検知する診断アルゴリズムを適用するステップをさらに含む、請求項 2 0 に記載の方法。

【請求項 2 2】

通信するステップが、前記中央コントローラから前記プログラマブルゲートコントローラにおよび前記プログラマブルゲートコントローラから前記中央コントローラにスイッチ制御命令およびパラメータを搬送するステップを含む、請求項 1 4 乃至 2 1 のいずれかに記載の方法。 30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

関連出願

本出願は、参照により本明細書に組み込まれている、2012年2月17日に出願した米国特許第13/385403号の利益および優先権を米国特許法第119条、120条、363条、365条ならびに米国特許法施行規則1.55および1.78に基づいて主張するものである。 40

【0 0 0 2】

本発明は、プログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法に関し、より詳しくは、電力半導体に適用可能な遠隔の分散型プログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 3】

モータドライブ用インバータ、太陽光発電変換、風力発電変換、ならびに充電器および無停電電源などの電力変換器回路においては、センサフィードバック、セットポイントおよび制御アルゴリズムに基づいて電力変換スイッチ(電力半導体)のターンオンおよびタ-

ンオフを命令する集中コントローラまたはマイクロプロセッサ、DSPまたはFPGAを使用することが一般的である。

#### 【0004】

ターンオン、ターンオフ命令は、デジタル回線を介してゲートドライバ回路に伝送され、ゲートドライバ回路は、多かれ少なかれ、デジタル信号のレベル(例えば、高=オン/低=オフ)に基づいて電力スイッチにオンまたはオフを直接命令する。

#### 【0005】

典型的な三相インバータには、6つの電力スイッチがあり、したがって、6つのデジタル回線が集中マイクロプロセッサとゲートドライバとの間に(各スイッチに1つ)必要である。雑音排除性および安全性の理由で、中央マイクロプロセッサが、光結合、容量結合または誘導結合を用いてゲートドライバから直流的に絶縁されることが、さらに一般的である。この絶縁は、通常、ゲートドライバにおいて実施され、回線ごとに必要とされる。10

#### 【0006】

ゲート制御回線に加えて、電力変換器回路は、典型的には、障害状態を信号で伝えるために、ゲートドライバから中央コントローラプロセッサへの接続を必要とする。障害が各ゲートドライバ(およびスイッチ)に起因する場合、合計6つの障害回線が必要であり、結果として中央プロセッサとゲートドライバとの間には、合計12の絶縁回線が必要となる。

#### 【0007】

このようにデジタル回線および絶縁障壁が多数になると、費用と複雑さをもたらすことになる。さらに、単一のデジタル回線だけであると、提供される機能性が非常に限定される。すなわち、ゲートドライバに伝送される命令は、2つの状態(オンまたはオフ)しかなく、一方ゲートドライバから返される情報も2値(障害なしまたは障害あり)である。この集中方式は、費用と信頼性の点で最適でないことに加えて、ゲートドライバが電力変換の制御に果たし得る役割を著しく制限するし、システム設計者が電力変換回路を知的で分散型の方法で十分に利用することを妨げる。20

#### 【0008】

例えば、電力スイッチの制御は、中央プロセッサから出された単純なオン/オフ命令に制限され、実際の動作状態に基づく実時間調整が可能にならない。ゲートドライバからのフィードバックは、単純なOK/非OKであり、電力変換の性能に役立ち得るまたは診断を提供し得る、どんな追加の情報も提供しない。30

#### 【0009】

さらに、測定回路からプロセッサへの、続いて電力スイッチへの遅延により、制御アルゴリズムの帯域幅が、従来の方式を用いると、本質的に制限される。

#### 【発明の概要】

##### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0010】

したがって、本発明の一目的は、改良されたプログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法を提供することにある。

#### 【0011】

本発明の他の一目的は、電力スイッチのスイッチング速度およびオン/オフ比の局在化された実時間制御を可能にする、このような改良されたプログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法を提供することにある。40

#### 【0012】

本発明の他の一目的は、電力スイッチの局在化された傾向を追跡する自己学習アルゴリズムの発生を可能にする、このような改良されたプログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法を提供することにある。

#### 【0013】

本発明の他の一目的は、電力スイッチの潜在的故障モードを予測し検知する実時間診断の適用を可能にする、このような改良されたプログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法を提供することにある。50

**【0014】**

本発明の他の一目的は、電力スイッチの近傍の、分散型の、遠隔のプログラマブルゲートコントローラから中央コントローラへの実時間のおよび詳細な情報の通信を可能にし、より高度な制御ループおよびアルゴリズムの実施を可能にする、このような改良されたプログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法を提供することにある。

**【0015】**

本発明の他の一目的は、費用を低減し、信頼性を高め、より進んだ、高帯域幅の、より知的なアルゴリズムに対処する、このような改良されたプログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法を提供することにある。

**【0016】**

10

本発明の他の一目的は、局在的な、高帯域幅の制御ループを可能にする、このような改良されたプログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法を提供することにある。

**【課題を解決するための手段】****【0017】**

本発明は、部分的に、様々な態様における改良されたプログラマブルゲートコントローラシステムおよび方法が、関連する電力スイッチに局在する少なくとも1つの所定の状態を感じし、感知した状態を中央コントローラから遠隔のプログラマブルゲートコントローラに報告し、感知した状態に応答して、遠隔のプログラマブルゲートコントローラにおいて少なくとも1つの制御信号を発生し、制御信号を関連する電力スイッチに加えることによって実施できる実現からもたらされる。

20

**【0018】**

本発明は、中央コントローラに接続されるように適合された少なくとも1つのプログラマブルゲートコントローラと、プログラマブルゲートコントローラに相互接続されプログラマブルゲートコントローラによって制御可能な少なくとも1つの電力スイッチとを含み、プログラマブルゲートコントローラは、電力スイッチを駆動するための増幅器と増幅器を動作させるためのプログラマブルデバイスとを含むプログラマブルゲートコントローラシステムを特徴とする。

**【0019】**

30

好ましい一実施形態において、プログラマブルゲートコントローラと中央コントローラとの間に通信リンクがあってよい。リンクは双方向でよい。リンクは、絶縁デバイスを含むことができる。通信リンクはSPIに従ってよい。通信リンクはCANに従ってよい。電力スイッチは、FETを含むことができる。電力スイッチは、IGBTを含むことができる。電力スイッチにおける局在状態を感じするための少なくとも1つのセンサがある。プログラマブルデバイスは、センサに応答して、電力スイッチのスイッチング速度およびオン/オフ比を変える命令を生成するように構成され得る。プログラマブルデバイスは、センサに応答して、電力スイッチに局在する状態の傾向を追跡する命令を生成するように構成され得る。プログラマブルデバイスは、センサに応答して、電力スイッチの潜在的故障モードを予測し検知する命令を生成するように構成され得る。通信リンクは、スイッチ制御命令およびパラメータを中央コントローラからプログラマブルゲートコントローラおよびプログラマブルゲートコントローラから中央コントローラに搬送することができる。増幅器およびプログラマブルデバイスは、同じチップ上にあってよい。電力スイッチは、IGBTを含むことができる。電力スイッチはFETを含むことができる。

40

**【0020】**

本発明は、関連する電力スイッチの近傍のおよび中央コントローラから遠隔のプログラマブルゲートコントローラシステムを用いて電力スイッチを制御する方法であって、関連する電力スイッチに局在する少なくとも1つの所定の状態を感じするステップと、感知した状態を遠隔のプログラマブルゲートコントローラシステムに報告するステップと、感知した状態に応答して、遠隔のプログラマブルゲートコントローラシステムにおいて少なくとも1つの制御信号を発生するステップと、制御信号を関連する電力スイッチに加えるステップとを含む方法も特徴とする。

50

**【0021】**

好ましい諸実施形態において、遠隔のプログラマブルゲートコントローラシステムと中央コントローラとの間に通信があつてよい。通信システムは双方向でよい。通信は、高速シリアルバスを介してよい。通信は絶縁デバイスを通じてよい。通信は、中央コントローラからプログラマブルゲートコントローラシステムへの高分解能のセットポイントの送達を含むことができる。制御信号を発生するステップは、関連するスイッチのスイッチング速度および/またはオン/オフ比を変える命令を生成するステップを含むことができる。制御信号を発生するステップは、関連する電力スイッチに局在する状態の傾向を追跡する自己学習アルゴリズムを適用するステップを含むことができる。さらに、関連する電力スイッチの潜在的故障モードを予測し検知する診断アルゴリズムを適用するステップが含まれてよい。通信するステップは、スイッチ制御命令およびパラメータを中央コントローラからプログラマブルゲートコントローラにおよびプログラマブルゲートコントローラから中央コントローラに搬送するステップを含むことができる。

**【0022】**

しかし、本発明は、他の諸実施形態において、このような目的をすべて達成しなくてよく、本明細書の特許請求の範囲は、このような目的を達成することができる構造または方法に限定されない。

**【0023】**

他の目的、特徴および利点が、以下の好ましい一実施形態の説明および添付の図面から当業者には思いつくであろう。

**【図面の簡単な説明】****【0024】**

**【図1】**先行技術による、集中制御方式を使用したゲートドライバシステムの概略構成図である。

**【図2】**1つの典型的な先行技術のゲートドライバのより詳細な概略図である。

**【図3】**3つのプログラマブルゲートドライバを使用した、本発明による、プログラマブルゲートコントローラシステムの概略構成図である。

**【図4】**三相インバータ用の6つの電力スイッチを管理する1つのプログラマブルゲートコントローラを用いた、本発明による、プログラマブルゲートコントローラシステムの概略構成図である。

**【図5】**図3および図4のプログラマブルゲートコントローラの一実施形態のより詳細な構成図である。

**【図6】**図3および図4のプログラマブルゲートコントローラの別の実施形態のより詳細な構成図である。

**【図7】**図5および図6のプログラマブルゲートコントローラのプログラマブルデバイスにおいて実行されるソフトウェアのための典型的な入力および出力を示す図である。

**【図8】**本発明によるプログラマブルゲートコントローラにおいて実施可能なソフトウェアの流れ図である。

**【図9】**電力半導体スイッチの典型的なターンオンの電圧および電流の波形を示すグラフである。

**【図10】**電力半導体スイッチの典型的なターンオフの電圧および電流の波形を示すグラフである。

**【図11】**開ループ方式で適用された $V_{ge}$ プロファイルを示す図である。

**【図12】**閉ループ方式で適用された $V_{ge}$ プロファイルを示す図である。

**【図13】**本発明による、プログラマブルゲートコントローラシステムを用いて電力スイッチを制御する方法の一実施形態を示す流れ図である。

**【発明を実施するための形態】****【0025】**

以下に開示する好ましい実施形態または諸実施形態とは別に、本発明は、他の諸実施形態を実施することができ、様々な方法で実行または遂行することができる。したがって、

10

20

30

40

50

本発明は、その適用において、以下の説明に記載するまたは図面に示す構成部品の組立ておよび構成の詳細に限定されないことを理解されたい。一実施形態しか本明細書に説明していない場合、本明細書の特許請求の範囲は、その実施形態に限定されない。さらに、本明細書の特許請求の範囲は、ある除外、制限、または放棄を明示する明確なおよび説得力ある証拠がない限り、制限的に解釈してはならない。

#### 【0026】

図1に、それぞれ、IGBTまたはMOSFETなどの各々1対の半導体電力スイッチ24、26、28、30、32、34を駆動する6つのゲートドライバ12、14、16、18、20および22を採用した従来の先行技術のゲートドライバシステム10を示す。ゲートドライバ12～22は、マイクロコントローラユニット(MCU)などの中央コントローラ48からの、回線36、38、および40上の高信号ならびに回線42、44、および46上の低信号によって駆動される。各ゲートドライバ12～22の回線36～46上の6つの高/低信号は、電気光学、誘導または容量絶縁デバイスなどの絶縁デバイス50、52、54、56、58、60を通じて中央コントローラ48に送達される。各ゲートドライバ12～22からの障害回線が、中央コントローラ48にも向けられる障害回線62に対してOR演算される。すべてのゲートドライバ12～22から提供される障害信号は、中央コントローラ48への送達のために1つの回線に対して共にOR演算されるので、結果として、非常に制限された制御精度および非常に制限された診断および/または制御フィードバックとなる。中央コントローラ48は、ゲート供給コントローラ64を駆動し、ゲート供給コントローラ64は、電力をゲート12～22の各々に提供する。中央コントローラ48は、回線70、72、74および76上で、それぞれ、絶縁電圧測定66および絶縁電流測定68からの信号も受け取る。高/低命令は、典型的には、ゲートドライバ12～22によって調整され、次いで半導体スイッチ24～34に加えられるパルス幅変調のオン/オフ命令である。10

#### 【0027】

図2の典型的な先行技術のゲートドライバ12aは、図示するとおり、固定の、非プログラマブル回路を使用する。オン/オフ要求が $V_{in}80$ を通じて行われ、各ゲートドライバは絶縁回路82を必要とし、結果として三相インバータ用に6つの絶縁回路が必要となる。20

#### 【0028】

本発明による、図3の分散型プログラマブルゲートコントローラシステム90において、半導体電力スイッチ24a、26a、28a、30a、32a、および34aは、プログラマブルゲートコントローラ、この場合、三相システムにおいて6つの半導体電力スイッチ24a～34aを処理する3つのプログラマブルゲートコントローラ92、94、および96によって駆動される。プログラマブルゲートコントローラ92、94、96は、中央コントローラ48aから遠隔にあり、双方向通信リンク100における単一の絶縁デバイス98を通じて、中央コントローラ48aと通信し、双方向通信リンク100は、例えば、シリアル通信インターフェース(SCI)、シリアルペリフェラルインターフェース(SPI)、またはコントローラエリアネットワーク(CAN)を使用して実施することができる。通信リンク100は、中央コントローラ48aからゲートコントローラ92、94、96にスイッチ制御命令およびパラメータを送り、ゲートコントローラ92、94、96から中央コントローラ48aへのフィードバックを受け取るために使用することができる。プログラマブルゲートコントローラ92、94、96は、任意の適切なプログラマブルデバイス、例えば、マイクロコントローラユニット(MCU)、デジタル信号プロセッサ(DSP)、フィールドプログラマブルゲートアレイ(FPGA)を用いて実施することができる。したがって、このようなプログラマブルゲートコントローラは、中央コントローラ48aから遠隔および半導体電力スイッチの近傍で知的動作を行うことができる。測定は、プログラマブルゲートコントローラ92、94、96において回線102、104、および106における電流測定など、局在的に行われ、局在的に処理し、次いで中央コントローラ48aに伝送し、または半導体スイッチ24a～34aの動作を調整するために直接適用することができる。30

#### 【0029】

あるいは、図4のプログラマブルゲートコントローラシステム90aは、半導体電力スイッチ24a～34aの6つすべてを処理する単一の統合プログラマブルゲートコントローラ110を使用することができる。図5のプログラマブルゲートコントローラ92aによって例示されるよ4050

うに、各々のプログラマブルゲートコントローラは、DSP、MCU、FPGAなどのプログラマブルデバイス120と、制御124およびフィードバック接続126を用いる増幅器122とを含む。プログラマブルデバイス120および増幅器122は、単一のチップ123上で実現することができる。

#### 【 0 0 3 0 】

図6のプログラマブルゲートコントローラ92bは、1つの物理的デバイスに統合されたプログラマブルデバイス120bと増幅器122bとを有することもできる。各々の場合のプログラマブルデバイス120、120bは、制御アルゴリズムを実行することができ、シリアル通信リンク100を介して中央プロセッサと通信することができる。プログラマブルデバイス120、120bは、シリアル通信リンク100を介して単純なオン/オフ命令などのセットポイントまたはデューティサイクル命令などのより高分解能のセットポイントも受け取る。10 プログラマブルデバイス120、120b上の制御アルゴリズムは、増幅器回路に接続された制御回線を用いてシリアルリンクを介してまたは図6のプログラマブルゲートコントローラ92bの場合直接接続により、受け取った要求を実施する。典型的には、このような制御回線は、パルス幅変調された(PWM)信号であり、増幅器122、122bは、各々の場合、制御信号を調整し、したがって、電力スイッチのゲートに加えることができる。図5および図6における増幅器122、122bは、温度、電圧、電流などの、電力スイッチ24b、26bの関連する方に関係するパラメータを感知することができる測定回路も含むことができる。このような量は、診断、制御、または保護の目的でサンプリングし使用することができるアナログ信号の形でプログラマブルデバイス120、120bに提供される。センサおよび電力スイッチの近くでプログラマブルゲートコントローラ92bとプログラマブルデバイス120(120b)とが近接することにより、ならびに絶縁が何も必要ないことにより、非常に高い帯域幅の制御が実施可能になる。20

#### 【 0 0 3 1 】

プログラマブルゲートコントローラにおいて実行されるプログラムの典型的な入力/出力を図7のプログラマブルゲートコントローラ92cに関して示す。出力は、シリアル通信リンク100上の信号と回線130上のゲート電圧制御とを含む。入力は、通信リンク100上の信号を含み、電力供給電圧132ならびにレッグ電流134、レッグ電圧136、スイッチ電流138、スイッチ電圧140、スイッチ温度142、ゲート電圧144およびゲート電流146を含む。30 シリアル通信リンク100は、中央コントローラと情報を交換するためにシリアル通信インターフェース(SCI)、シリアルペリフェラルインターフェース(SPI)、またはコントローラエリアネットワーク(CAN)などを採用することができる。この情報は、電力スイッチ用のオン/オフセットポイント、デューティサイクルおよび電圧/電流セットポイント、ならびにスイッチの制御を同期化するタイミング情報を含むことができる。プログラムの出力は、主に、回線130上のスイッチの作動用の制御信号である。1つのスイッチ当たり少なくとも1つの制御回線が必要とされる。制御回線は、個別アナログまたは擬似アナログ(PWM)であり得る。図7におけるフィードバック信号134～146により、スイッチの最適な制御が可能になり、保護アルゴリズムが実現され、より高いレベルの機能性が中央コントローラに提供される。ゲート電圧およびゲート電流の測定により、アクティブ閉ループスイッチング制御の実施が可能になる。スイッチ電流、スイッチ電圧およびスイッチ温度の測定は、最適化および保護アルゴリズムの基礎となる。レッグ電圧およびレッグ電流の測定により、そうでなければ中央コントローラによって実施されるであろう、より高いレベルの特徴の実施が可能になる。このような特徴の例は、電流調整、むだ時間補償、およびアクティブダンピングアルゴリズムである。40

#### 【 0 0 3 2 】

ソフトウェア構成を全体的に図8に示し、そこでは、ゲートコントローラプログラムの流れが、主ループ150、通信マネージャ152、スイッチ事象マネージャ154、およびスイッチコントローラ156を含む。主ループ150において、ルーチンが電源投入158から始まり、初期化および自己検査160、次いで状態および障害回復管理を調査し162、使用データおよび履歴の処理および格納164が続く。通信マネージャ152は、初期化および自己検査の後、50

中央プロセッサとのリンクを確立する166。通信マネージャ152は、入力メッセージを処理し168、スイッチ事象を更新する170。通信マネージャ152は、次いで、状態を準備し、情報をフィードバックし172、それらを出力メッセージとして伝送する174。スイッチ事象マネージャ154は、初期化および自己検査の後、それ自体のスイッチ事象テーブルおよびスイッチタイマの初期化を始める176。スイッチ事象マネージャ154は、事象タイマを同期化し178、スイッチングパラメータを更新し180、スイッチ事象を作動させる182。最後に、スイッチコントローラ156がゲート供給を初期化し184、スイッチを監視し186、障害が起きているかどうか判定する188。障害が起きている場合、安全遮断が実施され190、次いで、障害が解消されていない場合192、システムがサイクルを繰り返す。障害が解消している場合、スイッチ事象マネージャ154は、出力ノード194に移動する。障害が何も起きていない場合、スイッチ事象がアクティブかどうかに関して問い合わせを行う196。スイッチ事象がアクティブであれば、制御スイッチングが実現され198、スイッチモデルが更新され200、その後、出力ノード194に入る。ステップ196において、スイッチ事象がアクティブでない場合、システムは直接出力ノード194に移動する。主ルーチン150は、主に、低速度および低優先度で、コントローラの構成、他のタスクの開始、ならびに障害管理および障害回復アルゴリズムの実施をすることを受け持つ。このタスクは、熱サイクリング情報および他の電力スイッチの寿命に影響するパラメータなど、スイッチ使用データを処理し、格納するために使用することができる。通信マネージャ152は、中央コントローラとの通信を確立し、維持する。通信マネージャ152は、中央コントローラから命令および同期化情報を受け取り、測定および状態情報を通信で戻す。10

スイッチ事象マネージャ154は、入力制御メッセージを構文解析し、スイッチ事象テーブルに格納されるスイッチ事象を生成する。スイッチ事象は、スイッチターンオンおよびターンオフ事象のタイミングおよびパラメータを定義する。最後に、スイッチコントローラ156が、過電流または短絡およびシートスルー状態などの障害がないか各スイッチの状態を連続的に監視する。スイッチが適正に機能していることが確認されると、スイッチコントローラ156は、新たなスイッチング事象がないか事象テーブルに問い合わせる。新たなスイッチング事象が作動した場合、スイッチコントローラ156は、スイッチ事象と共に提供されるスイッチングパラメータに基づいて開ループまたは閉ループの方法で遷移を実施する。スイッチングの後、図8のステップ200に示すように測定データに基づいて、スイッチモデルが更新される。このモデルは、次のスイッチング事象の制御を促進するためにおよび主制御に診断データを提供するために使用することができる。障害がスイッチについて検知された場合、スイッチコントローラ156が、障害状態が解消するまでスイッチを安全に無効にし、それ以降のいかなるスイッチングも妨げる。20

#### 【 0 0 3 3 】

図9および図10は、ハーフブリッジ構成のIGBTなど、電力半導体スイッチの、典型的なターンおよびターンオフの、それぞれ、電圧および電流の波形を示す。図9のターンオンフェーズの間、スイッチの電圧Vceが全阻止電圧(典型的には数百ボルト)から導通電圧(約2V)まで降下する。同時に、スイッチ電流Icが0Aからその最終値まで上昇する。電流が完全にランプアップし、対向するダイオードが導通を停止するまで、いかにして電圧が著しく降下しないかということに留意されたい(初期電圧降下は純粋に誘導である)。スイッチが全電流を搬送しているときのみ、その電圧が最初急速に低下し、その後漸減する。遷移時間中の電圧と電流が同時に存在することにより、スイッチ内で電力が消費され、望ましくない損失および加熱がもたらされる。このようなターンオン損失は、ゲート電圧を増大させることによって低減し、それにより、電流ランプアップ時間を低減することができる。しかし、dI/dtが高いと、スイッチおよび対向するダイオードへの応力がより高くなり、より多くの電磁妨害が生じる。したがって、ターンオン損失とスイッチ応力/EMIとの妥協点を確立することが必要である。30

#### 【 0 0 3 4 】

従来のゲートドライバは、固定ターンオン速度用に構成され、最悪条件に従ってサイズ設定される必要がある。しかし、プログラマブルゲートコントローラは、スイッチング事40

10

20

30

40

50

例ごとの実際の動作条件に基づいて妥協点を調整することができる。これは、図8における制御されたスイッチングを実現のステップ198によって実施される。さらに、スイッチモデルを更新のステップ200によって示されるように、各スイッチング事象の間に集められたデータをその後のスイッチングを改善するために使用することができる。

#### 【0035】

ターンオンフェーズと同様に、電力は、図10のスイッチのターンオффフェーズの間にも消費される。ターンオフの始まりに、スイッチの電圧がゲート電圧によって与えられる速度で上昇する。 $V_{ce}$ が供給電圧に達すると、対向するダイオードが導通を開始し、電流が低下する。電流の下降速度は、主に、デバイスの力学によって与えられ、ゲート電圧またはループインダクタンスによって与えられない。電流の $dI/dt$ は、誘導電圧スパイクを生じ、誘導電圧スパイクは、スイッチの電圧を増加させ、応力をさらに生じ、スイッチング損失を増大させる。電流は、実質的に低下すると、固有のデバイス特性に基づいて「漸減」する。この場合も、ターンオффフェーズの間に電圧と電流が同時に存在することにより、損失がもたらされ、したがって、不要なスイッチの加熱がもたらされる。したがって、ゲート制御のパラメータを使用して、ターンオフ損失を最小にし、ターンオフの $dV/dt$ を制御し、それによりEMIを軽減することができる。したがって、実時間におけるその制御を調整することができるプログラマブルゲートコントローラは、設定が固定している従来のゲートドライバより利点がある。図7に示す入力と出力134～146は、制御されたスイッチングおよびスイッチモデルの更新を実施するのに必要な情報をすべて提供する。

#### 【0036】

図11のプログラマブルゲートコントローラ92dにおける制御されたスイッチング動作の一実施形態は、開ループ動作において増幅器、例えば122cを介して電力スイッチ、例えば24cに印加される $V_{ge}(t)$ プロファイル210を用いて行われる。プロファイル $V_{ge}(t)210$ は、損失および電力スイッチ構成部品の応力を最小にする目的で、電力スイッチ24cの実際の動作条件および最後のスイッチング事象から得られた情報に基づいて、ソフトウェアによって一定に調整される。あるいは、図12の、プログラマブルゲートコントローラ92eにおいて、ゲート電圧は、調整器120cをプログラマブルゲートコントローラ上のソフトウェアで実施させて、閉ループ動作で制御することができる。したがって、本発明のプログラマブルゲートコントローラは、本来的に、著しくより複雑なスイッチングアルゴリズムを実施する柔軟性を提供することに留意されたい。

#### 【0037】

本発明によるプログラマブルゲートコントローラの方法を、電力スイッチに局在する所定の状態を感知するステップ220と、感知した状態を遠隔のプログラマブルゲートコントローラに報告するステップ222と、遠隔のプログラマブルゲートコントローラにおいて1つまたは複数の制御信号を発生するステップ224と、その制御信号またはいくつかの信号を関連する電力スイッチに加えるステップ226とを含むものとして、図13により全体的に示す。

#### 【0038】

本発明の特定の特徴を図面によって示すものと示さないものがあるが、これは、各特徴が、本発明により、他の特徴のいずれかまたはすべてに組み合わせができるので、便宜上だけである。「含む」、「備える」、「有する」、および「用いる」という用語は、本明細書では、広くおよび包括的に解釈され、いかなる物理的相互接続にも限定されない。さらに、本出願に開示するいかなる実施形態も、唯一可能な実施形態とみなしてはならない。

#### 【0039】

さらに、本特許の特許出願の手続処理中に提示されるいかなる補正も、提出時の出願に提示されるいかなる特許請求の範囲の要素の放棄ではない。すなわち、すべての可能な均等物を文言通り包含する請求項を起草することは当業者には合理的に期待できないし、多くの均等物は、補正の時点で予見不可能であり、何が放棄されるか(もしあれば)の公正な解釈を超えており、補正の理論的根拠は、多くの均等物と希薄な関係があるにすぎないこ

10

20

30

40

50

とがあり、ならびに/あるいは、出願人には、補正されたいかなる特許請求の範囲の要素に対しても、ある非実質的な代替物を記載することは期待できない他の多くの理由がある。

**【 0 0 4 0 】**

他の諸実施形態は、当業者には思いつくであろうが、以下の特許請求の範囲にある。

**【 符号の説明 】**

**【 0 0 4 1 】**

24、26、28、30、32、34、24a、26a、28a、30a、32a、34a 半導体電力スイッチ

24b、24c、26b 電力スイッチ

48a 中央コントローラ

10

90 分散型プログラマブルゲートコントローラシステム

90a プログラマブルゲートコントローラシステム

92、92a、92b、92c、92d、92e、94、96 プログラマブルゲートコントローラ

98 単一の絶縁デバイス

100 シリアル通信リンク

102、104、106 回線

110 統合プログラマブルゲートコントローラ

120、120b プログラマブルデバイス

122、122b、122c 増幅器

124 制御

20

120c 調整器

126 フィードバック接続

130 回線

132 電力供給電圧

134 レッグ電流

136 レッグ電圧

138 スイッチ電流

140 スイッチ電圧

142 スイッチ温度

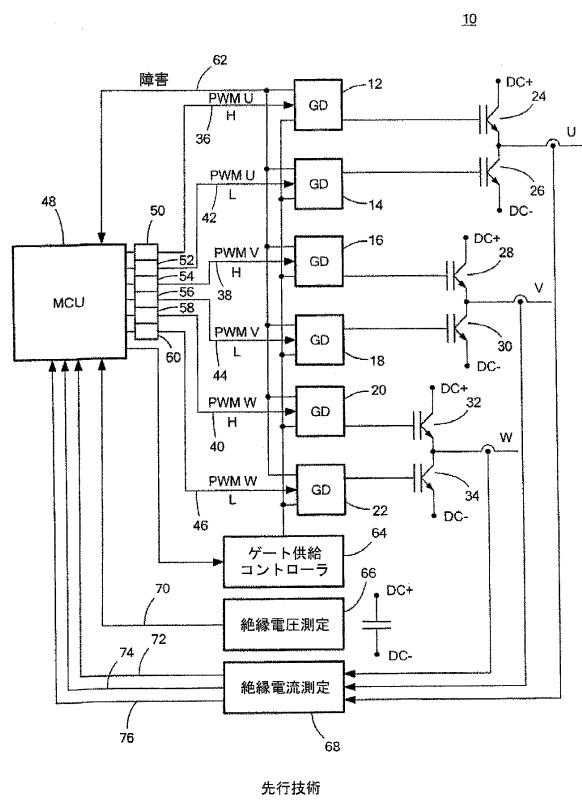
144 ゲート電圧

30

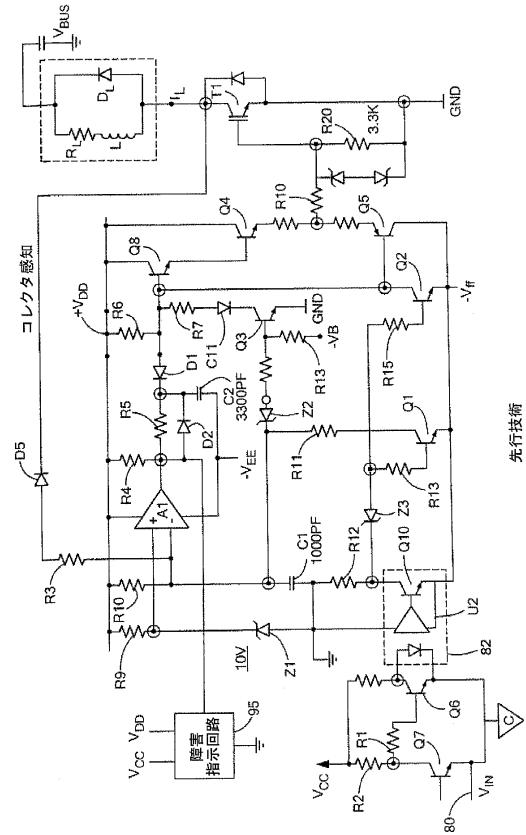
146 ゲート電流

210  $V_{ge}(t)$  プロファイル

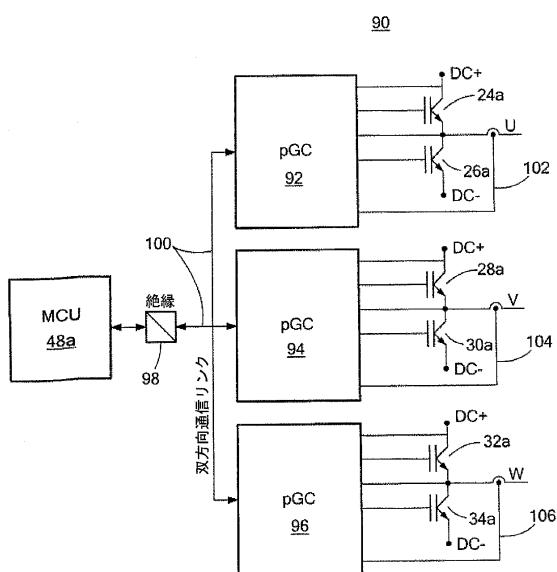
【 図 1 】



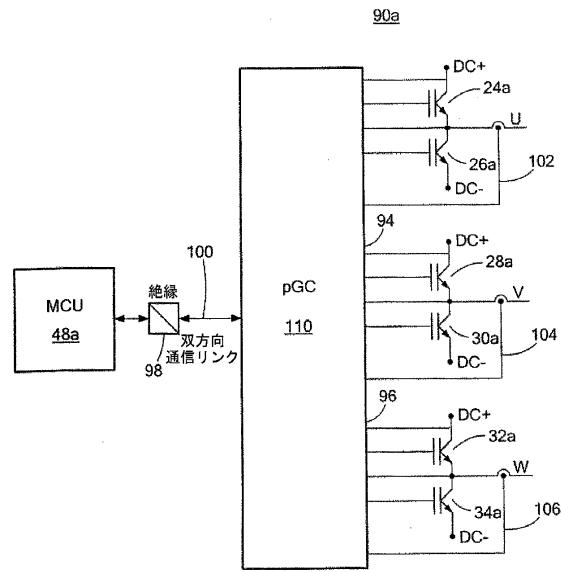
【 図 2 】



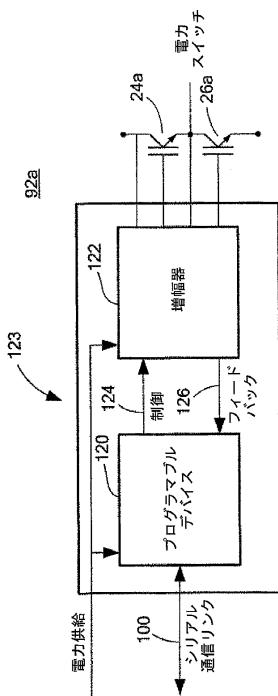
【図3】



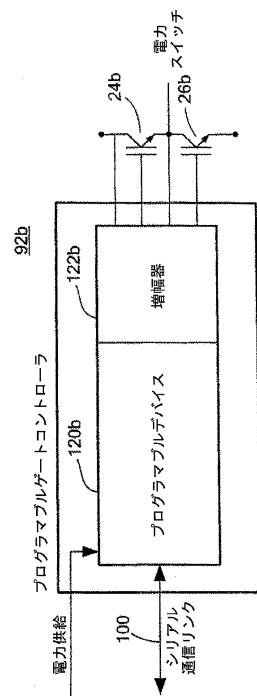
【 図 4 】



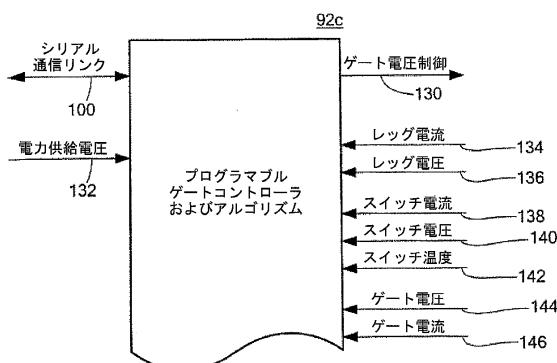
【図5】



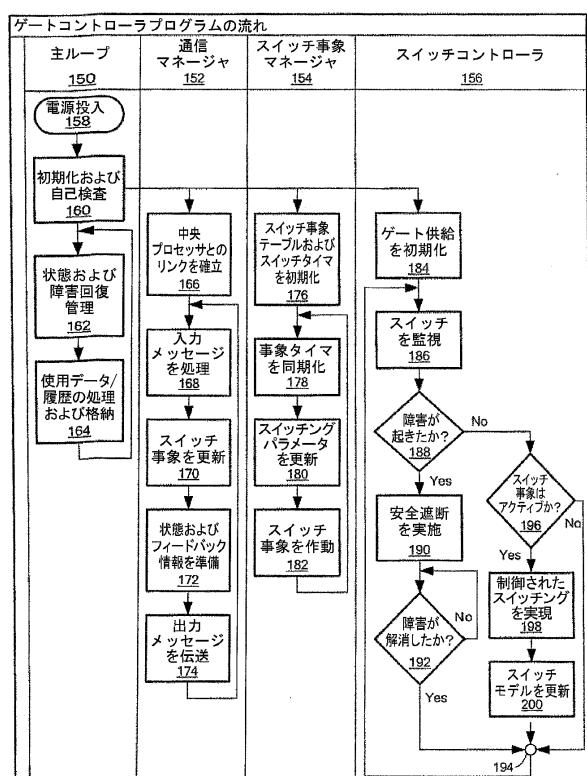
【図6】



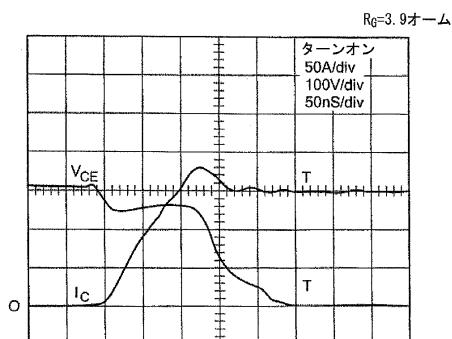
【図7】



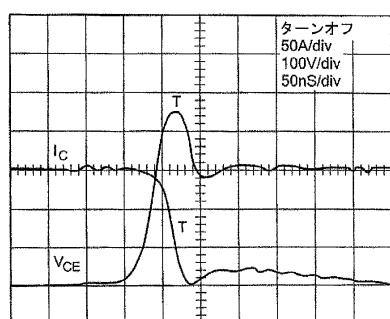
【図8】



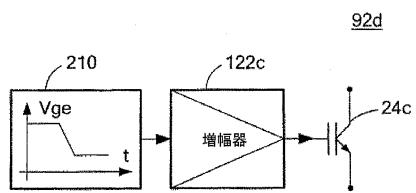
【図 9】



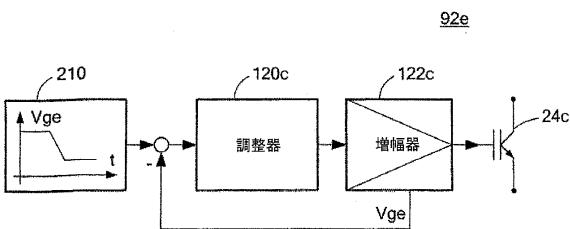
【図 10】



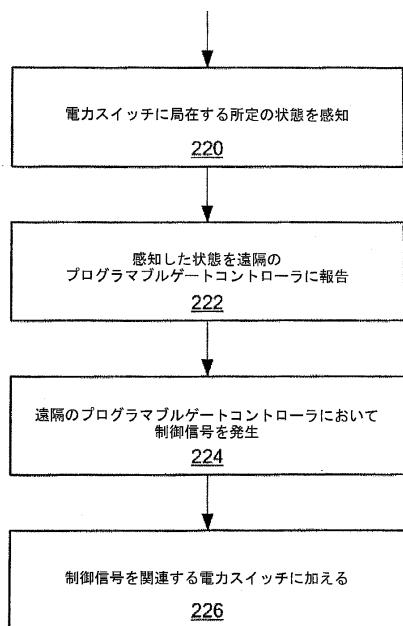
【図 11】



【図 12】



【図 13】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平9-229972(JP,A)  
特開2006-141167(JP,A)  
特開2005-175741(JP,A)  
特表2008-535255(JP,A)  
特開2004-312817(JP,A)  
特開2010-263712(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M 1/00 - 7/98