

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関

国際事務局

(43) 国際公開日

2018年11月1日(01.11.2018)



(10) 国際公開番号

WO 2018/198211 A1

(51) 国際特許分類:

H03K 17/687 (2006.01) *H03K 17/14* (2006.01)
H03K 17/00 (2006.01)

会社工場内 Saitama (JP). 宮澤 亘(MIYAZAWA, Wataru); 〒3578585 埼玉県飯能市南町 10 番 1 3 号 新電元工業株式会社工場内 Saitama (JP).

(21) 国際出願番号 :

PCT/JP2017/016447

(22) 国際出願日 :

2017年4月25日(25.04.2017)

(25) 国際出願の言語 :

日本語

(26) 国際公開の言語 :

日本語

(71) 出願人: 新電元工業株式会社 (SHIN-DENGEN ELECTRIC MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1000004 東京都千代田区大手町二丁目 2 番 1 号 Tokyo (JP).

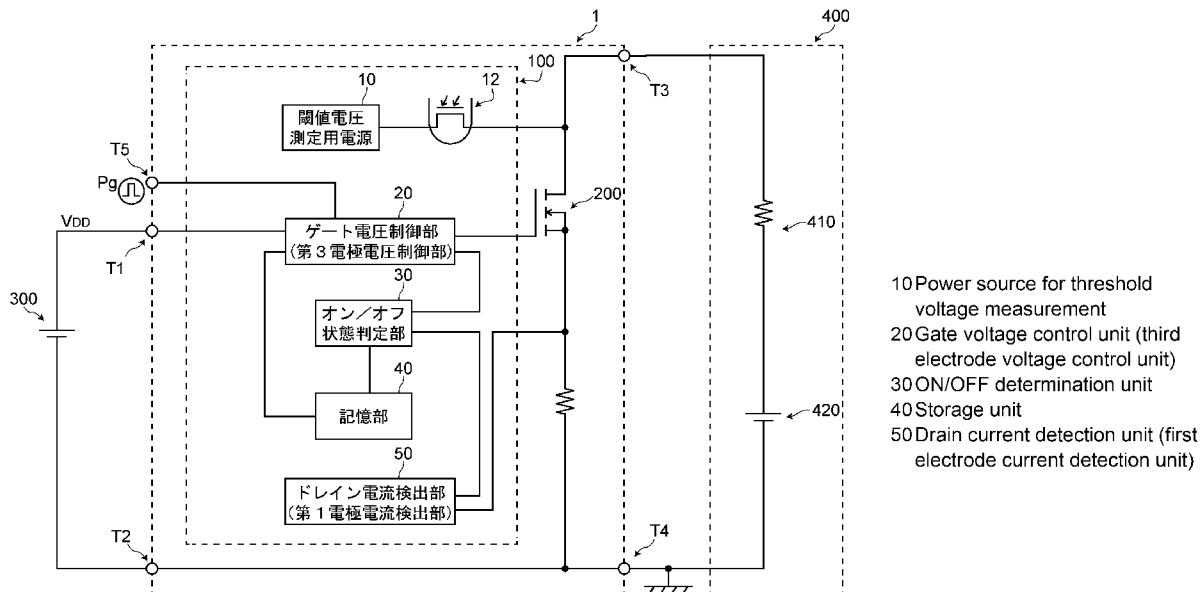
(72) 発明者: 鈴木 健一(SUZUKI, Kenichi); 〒3578585 埼玉県飯能市南町 10 番 13 号 新電元工業株式

(74) 代理人: 松尾 誠剛 (MATSUO, Nobutaka); 〒3990214 長野県諏訪郡富士見町落合 9862 番地 60 めぶき特許事務所 Nagano (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,

(54) Title: SWITCHING ELEMENT CONTROL CIRCUIT AND POWER MODULE

(54) 発明の名称: スイッチング素子制御回路及びパワーモジュール



(57) **Abstract:** This switching element control circuit 100 switches between, and executes, a measurement mode for measuring a threshold voltage of a switching element 200, and a control mode for controlling ON/OFF operation of the switching element 200, wherein the switching element control circuit is characterized by the following: including a power source 10 for threshold voltage measurement, a third electrode voltage control unit 20, an ON/OFF determination unit 30, and a storage unit 40 that stores a third electrode voltage applied to a third electrode as the threshold voltage of the switching element; and the third electrode voltage control unit 20, when turning ON the switching element 200 in the control mode, controlling the third electrode voltage on the basis of information that includes the threshold voltage stored in the storage



NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,
RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS,
MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,
TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS,
SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 国際調査報告（条約第21条(3)）

unit 40. This switching element control circuit 100 makes it possible to reduce switching loss of the switching element, allows reliable control of the ON/OFF operation of the switching element, and enables an improvement in productivity.

- (57) 要約：本発明のスイッチング素子制御回路 100 は、スイッチング素子 200 の閾値電圧を測定する測定モードと、スイッチング素子 200 のオン／オフ動作を制御する制御モードとを切り替えて実施するスイッチング素子制御回路であって、閾値電圧測定用電源 10 と、第3電極電圧制御部 20 と、オン／オフ状態判定部 30 と、第3電極に印加した第3電極電圧をスイッチング素子の閾値電圧として記憶する記憶部 40 とを備え、第3電極電圧制御部 20 は、制御モードにおいて、スイッチング素子 200 をオン状態とするときに、記憶部 40 に記憶された閾値電圧を含む情報に基づいて第3電極電圧を制御することを特徴とする。本発明のスイッチング素子制御回路 100 によれば、スイッチング素子のスイッチング損失を小さくすることが可能で、かつ、スイッチング素子のオン／オフ動作を確実に制御することが可能で、かつ、生産性を高くすることが可能となる。

明細書

発明の名称：スイッチング素子制御回路及びパワーモジュール 技術分野

[0001] 本発明は、スイッチング素子制御回路及びパワーモジュールに関する。

背景技術

[0002] 従来、スイッチング素子のオン／オフ動作を制御するスイッチング素子制

御回路が知られている（例えば、特許文献1参照。）。

[0003] 従来のスイッチング素子制御回路900は、図7に示すように、スイッチ
ング素子800のオン／オフ動作を制御するためにゲート電圧を制御するゲ
ート電圧制御部920を備える。

[0004] 従来のスイッチング素子制御回路900によれば、ゲート電圧を制御する
ことによってスイッチング素子800のオン／オフ動作を制御することができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第2012／153459号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、近年、スイッチング素子のスイッチング速度を速くすることに
よりスイッチング素子のスイッチング損失を小さくすることが可能なスイッ
チング素子制御回路が求められている。これを実現するための方法の一つと
して、閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加してターン
オン期間及びターンオフ期間を短くすることにより、スイッチング素子のス
イッチング速度を速くし、スイッチング素子のスイッチング損失を小さくす
ることが考えられる（図4参照。）。

[0007] しかしながら、スイッチング素子の閾値電圧は、スイッチング素子の製造
バラツキによって変動するため（図4（b）参照。）、閾値電圧をわずかに

超えるゲート電圧をスイッチング素子のゲート電極に印加することが難しい。従って、スイッチング素子のスイッチング速度を速くすることが難しいため、スイッチング素子のスイッチング損失を小さくすることが難しくなる、という問題がある。

また、スイッチング素子の閾値電圧がスイッチング素子の製造バラツキによって設計上の閾値電圧よりも高くなる方向に変動していた場合には、設計上の閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加してもスイッチング素子がオン状態にならない場合があるため、スイッチング素子のオン／オフ動作を制御することができないおそれがある、という問題もある。特に、GaNを含む材料により形成されたスイッチング素子等の場合のように絶対最大定格電圧と閾値電圧との差が小さい場合には、この問題がより顕著となる。

[0008] なお、スイッチング素子制御回路に組み込む前にスイッチング素子の閾値電圧を測定し、測定された閾値電圧に基づいてゲート電圧を決定することも理論上可能である。しかしながら、スイッチング素子は大量生産することが一般的であるため、製造されたスイッチング素子それぞれの閾値電圧を測定しようとすると作業が非常に煩雑になり、生産性を高くすることが難しい、という問題もある。

[0009] そこで、本発明は、上記した問題を解決するためになされたものであり、スイッチング素子のスイッチング損失を小さくすることが可能で、かつ、スイッチング素子のオン／オフ動作を確実に制御することが可能で、かつ、生産性を高くすることが可能なスイッチング素子制御回路を提供することを目的とする。また、このようなスイッチング素子制御回路を備えるパワーモジュールを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] [1] 本発明のスイッチング素子制御回路は、第1電極と、第2電極と、第3電極とを備えるスイッチング素子の閾値電圧を測定する測定モードと、前記スイッチング素子のオン／オフ動作を制御する制御モードとを切り替えて

実施するスイッチング素子制御回路であって、前記測定モードにおいて、前記スイッチング素子の前記第1電極に電流を供給する閾値電圧測定用電源と、前記測定モードにおいては、第3電極電圧が段階的に高くなるように前記第3電極電圧を制御し、前記制御モードにおいては、前記スイッチング素子のオン／オフ動作を制御するために前記第3電極電圧を制御する第3電極電圧制御部と、前記測定モードにおいて、前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定するオン／オフ状態判定部と、前記測定モードにおいて、前記オン／オフ状態判定部によって前記スイッチング素子がオン状態になったことを判定したときに、前記第3電極に印加した前記第3電極電圧を前記スイッチング素子の閾値電圧として記憶する記憶部とを備え、前記第3電極電圧制御部は、前記制御モードにおいて、前記スイッチング素子をオン状態とともに、前記記憶部に記憶された前記閾値電圧を含む情報に基づいて前記第3電極電圧を制御することを特徴とする。

- [0011] [2] 本発明のスイッチング素子制御回路においては、前記スイッチング素子を流れる第1電極電流を検出する第1電極電流検出部をさらに備え、前記測定モードにおいて、前記オン／オフ状態判定部は、前記第1電極電流検出部による前記第1電極電流の検出結果に基づいて前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定することが好ましい。
- [0012] [3] 本発明のスイッチング素子制御回路において、前記第3電極電圧制御部は、前記測定モードにおいては、前記第3電極電圧が時間経過に伴って階段状に高くなるように前記第3電極電圧を制御することが好ましい。
- [0013] [4] 本発明のスイッチング素子制御回路において、前記第3電極電圧制御部は、前記測定モードにおいては、前記第3電極電圧が、時間経過に伴って振幅の大きなパルスとなるパルス状の電圧になるように、前記第3電極電圧を制御することが好ましい。
- [0014] [5] 本発明のスイッチング素子制御回路において、前記スイッチング素子は、MOSFET、IGBT又はHEMTであることが好ましい。
- [0015] [6] 本発明のスイッチング素子制御回路において、前記スイッチング素子

は、GaN、SiC又はGa₂O₃を含む材料により形成されたものであることが好ましい。

[0016] [7] 本発明のパワーモジュールは、第1電極と、第2電極と、第3電極とを備えるスイッチング素子と、[1]～[6]のいずれかに記載のスイッチング素子制御回路とを備えることを特徴とする。

発明の効果

[0017] 本発明のスイッチング素子制御回路によれば、測定モードにおいて、スイッチング素子制御回路に実際に接続されたスイッチング素子の閾値電圧（以下、実際の閾値電圧という）を測定することができ、制御モードにおいては、スイッチング素子をオン状態とするときに、実際の閾値電圧に基づいて第3電極に印加する第3電極電圧を制御することができる。このため、実際の閾値電圧がスイッチング素子の製造バラツキによって設計上の閾値電圧から変動していた場合でも、スイッチング素子をオン状態とするときに、実際の閾値電圧に基づいて実際の閾値電圧をわずかに超える第3電極電圧をスイッチング素子の第3電極に印加することができる。従って、あらかじめ設計された閾値電圧を大きく超える第3電極電圧を第3電極に印加する場合（比較例。図4（a）参照。）と比較して、ターンオン期間及びターンオフ期間を短くすることができるため、スイッチング素子のスイッチング速度を速くすることができ、その結果、スイッチング素子のエネルギー損失を小さくすることができる。

[0018] また、本発明のスイッチング素子制御回路によれば、上記したようにスイッチング素子をオン状態とするときに、実際の閾値電圧に基づいて実際の閾値電圧をわずかに超える第3電極電圧を第3電極に印加することができるため、実際の閾値電圧がスイッチング素子の製造バラツキによって設計上の閾値電圧よりも高くなる方向に変動していた場合であっても、実際の閾値電圧をわずかに超える第3電極電圧を第3電極に印加することができる。従って、閾値電圧（設計上の閾値電圧）をわずかに超える第3電極電圧を第3電極に印加してもスイッチング素子がオン状態にならない現象が発生することを

防ぐことができ、その結果、スイッチング素子のオン／オフ動作を確実に制御することができる。

特に、スイッチング素子がGaNを含む材料により形成されたものである場合のように絶対最大定格電圧と閾値電圧との差が小さい場合であっても、実際の閾値電圧をわずかに超える第3電極電圧を第3電極に印加することができるため、閾値電圧（設計上の閾値電圧）をわずかに超える第3電極電圧を第3電極に印加してもスイッチング素子がオン状態にならない現象が発生することを防ぐことができ、その結果、スイッチング素子のオン／オフ動作を確実に制御することができる。

[0019] また、本発明のスイッチング素子制御回路によれば、測定モードにおいて、実際の閾値電圧を測定することができ、制御モードにおいては、スイッチング素子をオン状態とするときに、実際の閾値電圧に基づいて第3電極に印加する第3電極電圧を制御することができるため、スイッチング素子を大量生産したとしても、スイッチング素子制御回路にスイッチング素子を接続する前に、製造されたスイッチング素子それぞれの閾値電圧を測定する必要がない。従って、作業が煩雑にならず、生産性を高くすることが容易となる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]実施形態に係るパワーモジュール1及びスイッチング素子制御回路100を示す回路図である。

[図2]実施形態に係るスイッチング素子制御回路100の測定モードを説明するために示すブロック図である。

[図3]実施形態に係るスイッチング素子制御回路100の制御モードを説明するために示すブロック図である。

[図4]閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加する場合の効果について説明するために示す図である。図4（a）は比較例に係るスイッチング素子制御回路においてゲート電極にゲート電圧を印加する場合のゲート・ソース間電圧の時間変化を示すグラフの模式図であり、図4（b）は実施形態に係るスイッチング素子制御回路100において閾値電圧をわずかに

超えるゲート電圧をゲート電極に印加する場合のゲート・ソース間電圧の時間変化を示すグラフの模式図である。

[図5]実施形態の測定モードを説明するために示す図である。

[図6]変形例の測定モードを説明するために示す図である。

[図7]従来のスイッチング素子制御回路900を説明するために示す図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、本発明のスイッチング素子制御回路及びパワーモジュールについて、図に示す実施形態に基づいて説明する。なお、各図面は模式図であり、必ずしも実際の回路構成やグラフを厳密に反映したものではない。

[0022] [実施形態]

1. 実施形態に係るパワーモジュール1及びスイッチング素子制御回路100の構成

実施形態に係るパワーモジュール1は、図1に示すように、スイッチング素子200と、スイッチング素子200のオン／オフ動作を制御する実施形態に係るスイッチング素子制御回路100とを備える。実施形態に係るパワーモジュール1は、高耐熱性・高絶縁性の樹脂やセラミックス等により形成されたパッケージで覆われている。実施形態に係るパワーモジュール1には、直流の電源電圧 V_{DD} を入力する(+)側入力端子T1、接地側の(-)側入力端子T2、(+)側出力端子T3、接地側の(-)側出力端子T4、及び、駆動信号(例えば、ゲートパルス) P_g を入力する制御端子T5が設けられている。

[0023] (+)側入力端子T1と(-)側入力端子T2との間には、電源電圧 V_{DD} を印加するためのゲートドライブ用電源300が接続されている。ゲートドライブ用電源300は、ゲート電圧制御部20を介してスイッチング素子200のゲート電極と接続されており、ゲート電極に電圧を供給する。(+)側出力端子T3及び(-)側出力端子T4には、負荷回路400が接続されている。負荷回路400は、例えば、負荷抵抗410及び直流の駆動電源4

20を有し、これらが(+)側出力端子T3と(-)側出力端子T4との間に直列に接続されている。なお、(-)側出力端子T4は接地されている。

- [0024] スイッチング素子200は、ソース電極(第2電極)、ドレイン電極(第1電極)及びゲート電極(第3電極)を備えるMOSFETである。スイッチング素子200は、ゲート電極に閾値電圧(実際の閾値電圧V_{th})を超えるゲート電圧(第3電極電圧)を印加するとオン状態となり、ゲート電圧が閾値電圧を下回るとオフ状態となる。ゲート電圧は、電源電圧V_{DD}から供給され、後述するゲート電圧制御部20(第3電極電圧制御部)によって制御される。スイッチング素子200は、適宜のスイッチング素子を用いることができる。なお、実施形態においては、スイッチング素子200は、MOSFETである。また、スイッチング素子200は、GaNを含む材料により形成されたものである。
- [0025] スイッチング素子200のドレイン電極は、(+)側出力端子T3を介して負荷回路400と接続され、かつ、後述する閾値電圧測定用スイッチ12を介して後述する閾値電圧測定用電源10と接続されている。スイッチング素子200のゲート電極は、ゲート電圧制御部20と接続されている。スイッチング素子200のソース電極はドレン電流検出部50と接続され、かつ、抵抗を介して(-)側出力端子T4と接続されている。
- [0026] 実施形態に係るスイッチング素子制御回路100は、閾値電圧測定用電源10と、閾値電圧測定用スイッチ12と、ゲート電圧制御部20(第3電極電圧制御部)と、オン／オフ状態判定部30と、記憶部40と、ドレン電流検出部50(第1電極電流検出部)とを備える。
- [0027] 閾値電圧測定用電源10は、測定モードにおいては、閾値電圧測定用スイッチ12をオンすることにより、スイッチング素子200のドレイン電極(第1電極)に閾値電圧測定用の電流を供給する。制御モードにおいては、閾値電圧測定用スイッチ12をオフすることにより、閾値電圧測定用電源10からスイッチング素子200への閾値電圧測定用の電流の供給を停止する。閾値電圧測定用スイッチ12としては、適宜のスイッチを用いることがで

き、例えば、フォトカプラを用いることができる。

ゲート電圧制御部20は、測定モードにおいては、ゲート電圧が段階的に高くなるようにゲート電圧を制御し、制御モードにおいて、スイッチング素子200のオン／オフ動作を制御するためにゲート電極に印加するゲート電圧を制御する。ゲート電圧制御部20は、制御モードにおいては、スイッチング素子200をオン状態とするとときに、記憶部40に記憶された閾値電圧を含む情報に基づいてゲート電圧を制御する。

ゲート電圧制御部20は、後述するオン／オフ状態判定部30によってスイッチング素子200がオフ状態であることを判定したときは、ゲート電圧が一段階高くなるようにゲート電圧を制御する(図5参照。)。また、ゲート電圧制御部20は、後述するオン／オフ状態判定部30によってスイッチング素子200がオン状態であることを判定したときは、ゲート電極に印加したゲート電圧 V_{gs} を閾値電圧として記憶部40へ送信する。

ドレイン電流検出部50は、測定モードにおいて、スイッチング素子200のドレイン電流 I_d (ソース電流)を検出し、検出結果をオン／オフ状態判定部30に送信する。ドレイン電流検出部50は、スイッチング素子200のソース電極に接続した抵抗に電流を流して電圧に返還することによって計測しているが、適宜の検出装置を用いてもよい。

オン／オフ状態判定部30は、測定モードにおいて、ドレイン電流検出部50から受信した検出結果に基づいてスイッチング素子200のオン／オフ状態を判定する。

記憶部40は、測定モードにおいて、オン／オフ状態判定部30によってスイッチング素子200がオン状態になったことを判定したときにゲート電極に印加したゲート電圧をスイッチング素子200の閾値電圧として記憶する。

[0028] ゲート電圧制御部20は、(+)側入力端子T1を介してゲートドライブ用電源300と接続され、かつ、制御端子T5と接続されている。また、ゲート電圧制御部20は、記憶部40と接続されている。オン／オフ状態判定

部30は、ゲート電圧制御部20、記憶部40及びドレイン電流検出部50とそれぞれ接続されている。

[0029] 2. 実施形態に係るスイッチング素子制御回路100の動作について

実施形態に係るスイッチング素子制御回路100は、スイッチング素子の閾値電圧を測定する測定モードと、前記スイッチング素子のオン／オフ動作を制御する制御モードとを切り替えて実施する。

[0030] (1) 測定モード

測定モードは、スイッチング素子制御回路100に接続されたスイッチング素子200の閾値電圧を測定するモードである。このモードは、スイッチング素子制御回路100及びスイッチング素子200を駆動させる前、又は、スイッチング素子制御回路100及びスイッチング素子200の駆動を一旦停止して行う。

[0031] 測定モードにおいては、駆動電源420から電流供給をしない状態でスイッチング素子200の閾値電圧を測定する。そして、閾値電圧測定用電源10からスイッチング素子200のドレイン電極に閾値電圧測定用の電流を供給する(図2参照。)。

[0032] 次に、ゲート電圧制御部20によって、ゲート電圧が時間経過に伴って階段状に高くなるようにゲート電圧を制御する(図5参照。)。具体的には、以下のようにゲート電圧を制御する。

まず、ゲート電圧制御部20は、想定されている閾値電圧よりも低い電圧をゲート電極に印加するようにゲート電圧を制御する。このとき、ドレイン電流検出部50によってドレイン電流は検出されない(ドレイン電流の値が0である)ため、オン／オフ状態判定部30は、スイッチング素子200がオフ状態であると判定する。オン／オフ状態判定部30によってスイッチング素子200がオフ状態であると判定すると、ゲート電圧制御部20は、ゲート電圧が一段階高くなるようにゲート電圧を制御する(図5参照。)。これを繰り返してゲート電圧を徐々に高くしていき、ドレイン電流検出部50によってドレイン電流が検出されたとき(ドレイン電流の値が0でなくなった

とき)、オン／オフ状態判定部30は、スイッチング素子200がオン状態であると判定する。オン／オフ状態判定部30によってスイッチング素子200がオン状態であることを判定すると、ゲート電圧制御部20は、ゲート電極に印加したゲート電圧 $V_{g\ s}$ を閾値電圧として記憶部40へ送信する。そして、記憶部40では、ドレイン電流を検出したときにゲート電極に印加したゲート電圧 $V_{g\ s}$ を閾値電圧として記憶する。

[0033] (2) 制御モード

制御モードは、閾値電圧測定用スイッチ12をオフにし負荷抵抗410及び駆動電源420を接続させた状態で制御端子T5からの駆動信号(例えば、ゲートパルス) P_g によりスイッチング素子200のオン／オフ動作を制御するモードである。制御モードにおいて、スイッチング素子200をオン状態とするときには、記憶部40に記憶された閾値電圧を含む情報に基づいて、閾値電圧よりもわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加する(図3参照。)。スイッチング素子200をオフ状態とするときには、ゲート電極に印加するゲート電圧が、閾値電圧 $V_{t\ h}$ を下回るようにする。

[0034] 3. 実施形態に係るスイッチング素子制御回路100及びパワーモジュール1の効果

実施形態に係るスイッチング素子制御回路100及びパワーモジュール1によれば、測定モードにおいて、スイッチング素子制御回路100に実際に接続されたスイッチング素子200の実際の閾値電圧を測定することができ、制御モードにおいては、スイッチング素子200をオン状態とするときに、実際の閾値電圧を含む情報に基づいてゲート電極に印加するゲート電圧を制御することができる。このため、実際の閾値電圧がスイッチング素子200の製造バラツキによって設計上の閾値電圧から変動していた場合でも、スイッチング素子200をオン状態とするときに、実際の閾値電圧に基づいて実際の閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をスイッチング素子のゲート電極に印加することができる。従って、スイッチング素子のオン／オフ動作を確実に制御するために閾値電圧を大きく超えるゲート電圧をスイッチング素

子のゲート電極に印加する場合（比較例。図4（a）参照。）と比較して、ターンオン期間及びターンオフ期間を短くすることができるため、スイッチング素子のスイッチング速度を速くすることができ、その結果、スイッチング素子のエネルギー損失を小さくすることができる。

[0035] また、実施形態に係るスイッチング素子制御回路100及びパワーモジュール1によれば、上記したようにスイッチング素子200をオン状態とするときに、実際の閾値電圧に基づいて実際の閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加することができるため、実際の閾値電圧がスイッチング素子200の製造バラツキによって設計上の閾値電圧よりも高くなる方向に変動していた場合であっても、実際の閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加することができる。従って、閾値電圧（設計上の閾値電圧）をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加してもスイッチング素子がオン状態にならない現象が発生することを防ぐことができ、その結果、スイッチング素子200のオン／オフ動作を確実に制御することができる。

特に、スイッチング素子200がGaNを含む材料により形成されたものである場合のように絶対最大定格電圧と閾値電圧との差が小さい場合であっても、実際の閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加することができるため、閾値電圧（設計上の閾値電圧）をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加してもスイッチング素子200がオン状態にならない現象が発生することを防ぐことができ、その結果、スイッチング素子200のオン／オフ動作を確実に制御することができる。

[0036] また、実施形態に係るスイッチング素子制御回路100及びパワーモジュール1によれば、測定モードにおいて、実際の閾値電圧を測定することができ、制御モードにおいては、スイッチング素子をオン状態とするときに、実際の閾値電圧を含む情報に基づいてゲート電極に印加するゲート電圧を制御することができるため、スイッチング素子200を大量生産したとしても、スイッチング素子制御回路100にスイッチング素子200を接続する前に

、製造されたスイッチング素子それぞれの閾値電圧を測定する必要がない。

従って、作業が煩雑にならず、生産性を高くすることが容易となる。

[0037] 実施形態に係るスイッチング素子制御回路100によれば、スイッチング素子200を流れるドレイン電流を検出するドレイン電流検出部50を備え、測定モードにおいて、オン／オフ状態判定部30は、ドレイン電流検出部50によるドレイン電流の検出結果に基づいてスイッチング素子200のオン／オフ状態を判定するため、スイッチング素子200の閾値電圧を簡便に、かつ、確実に測定することができる。

[0038] 実施形態に係るスイッチング素子制御回路100によれば、ゲート電圧制御部20は、測定モードにおいては、時間経過に伴って階段状に高くなるようにゲート電圧を制御するため、スイッチング素子200の閾値電圧を効率的に、かつ、確実に測定することができる。

[0039] 実施形態に係るスイッチング素子制御回路100によれば、スイッチング素子200は、MOSFETであるため、高速スイッチングが可能なスイッチング素子制御回路となる。

[0040] ところで、スイッチング素子200は、GaNを含む材料により形成されたものであるため、絶対最大定格電圧と閾値電圧との差が小さくなるが、このような場合であっても、実施形態に係るスイッチング素子制御回路100によれば、実際の閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加することができる。従って、閾値電圧（設計上の閾値電圧）をわずかに超えるゲート電圧をゲート電極に印加してもスイッチング素子200がオン状態にならない現象が発生することを防ぐことができ、その結果、スイッチング素子200のオン／オフ動作を確実に制御することができる。

また、実施形態に係るパワーモジュール1によれば、スイッチング素子200がGaNを含む材料により形成されたものであるため、スイッチング素子200は、オン抵抗が低いスイッチング素子となるため、導通損失が小さいパワーモジュールとすることができます。

[0041] [変形例]

変形例に係るスイッチング素子制御回路（図示せず。）は、基本的には実施形態に係るスイッチング素子制御回路と同様の構成を有するが、測定モードにおけるゲート電圧の態様が実施形態に係るスイッチング素子制御回路100の場合とは異なる。すなわち、変形例に係るスイッチング素子制御回路において、ゲート電圧制御部20は、測定モードにおいては、ゲート電圧が、時間経過に伴って振幅の大きなパルスとなるパルス状の電圧になるように、ゲート電圧を制御する（図6参照。）。

[0042] このように、変形例に係るスイッチング素子制御回路は、測定モードにおけるゲート電圧の態様が実施形態に係るスイッチング素子制御回路100の場合とは異なるが、実施形態に係るスイッチング素子制御回路100の場合と同様に、測定モードにおいて、スイッチング素子制御回路に実際に接続されたスイッチング素子の実際の閾値電圧を測定することができ、制御モードにおいては、スイッチング素子をオン状態とするときに、実際の閾値電圧を含む情報に基づいてゲート電極に印加するゲート電圧を制御することができる。このため、実際の閾値電圧がスイッチング素子の製造バラツキによって設計上の閾値電圧から変動していた場合でも、スイッチング素子をオン状態とするときに、実際の閾値電圧に基づいて実際の閾値電圧をわずかに超えるゲート電圧をスイッチング素子のゲート電極に印加することができる。従って、ターンオン期間及びターンオフ期間を短くすることができるため、スイッチング素子のスイッチング速度を速くすることができ、その結果、スイッチング素子のエネルギー損失を小さくすることができる。

[0043] なお、変形例に係るスイッチング素子制御回路は、測定モードにおけるゲート電圧の態様以外の点においては実施形態に係るスイッチング素子制御回路100と同様の構成を有するため、実施形態に係るスイッチング素子制御回路100が有する効果のうち該当する効果を有する。

[0044] 以上、本発明を上記の実施形態に基づいて説明したが、本発明は上記の実施形態に限定されるものではない。その趣旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能であり、例えば、次のような変形も可能

である。

[0045] (1) 上記実施形態において記載した構成要素の数等は例示であり、本発明の効果を損なわない範囲において変更することが可能である。

[0046] (2) 上記実施形態において、ゲート電圧制御部20は、制御モードにおいて、スイッチング素子をオン状態とするときに、記憶部に記憶された閾値電圧を含む情報に基づいてゲート電圧を制御したが、本発明はこれに限定するものではない。スイッチング素子200の近傍に温度検出素子を設け、測定モードにおいて、オン／オフ状態判定部によってスイッチング素子がオン状態になったことを判定したときにゲート電極に印加したゲート電圧をスイッチング素子の閾値電圧として記憶し、制御モードにおいて、当該閾値電圧と温度検出素子による温度の検出結果を含む情報に基づいてゲート電圧を制御してもよい。

[0047] (3) 上記実施形態において、スイッチング素子制御回路が1つのスイッチング素子を制御したが、本発明はこれに限定されるものではない。スイッチング素子制御回路が、複数のスイッチング素子を制御してもよい。

[0048] (4) 上記実施形態において、スイッチング素子は、GaNを含む材料により形成されたものであるが、本発明はこれに限定されるものではない。スイッチング素子は、SiCやGa₂O₃等のワイドギャップ半導体を含む材料や、シリコンを含む材料により形成されたものであってもよい。

[0049] (5) 上記実施形態においては、スイッチング素子として、MOSFETを用いたが、本発明はこれに限定されるものではない。スイッチング素子として、MOSFET以外のスイッチング素子(例えば、HEMT、IGBT等)を用いてもよい。

符号の説明

[0050] 1…パワーモジュール、10…閾値電圧測定用電源、12…閾値電圧測定用スイッチ、20、920…ゲート電圧制御部、30…オン／オフ状態判定部、40…記憶部、50…ドレイン電流検出部、100, 900…スイッチング素子制御回路、200, 800…スイッチング素子、300…ゲートド

ライブ用電源、400…負荷回路、410…負荷抵抗、420…駆動電源、
T1…(+)側入力端子、T2…(-)側入力端子、T3…(+)側出力端
子、T4…(-)側出力端子、T5…制御端子、V_{DD}…電源電圧、V_{t h}…
閾値電圧

請求の範囲

[請求項1] 第1電極と、第2電極と、第3電極とを備えるスイッチング素子の閾値電圧を測定する測定モードと、前記スイッチング素子のオン／オフ動作を制御する制御モードとを切り替えて実施するスイッチング素子制御回路であって、

前記測定モードにおいて、前記スイッチング素子の前記第1電極に電流を供給する閾値電圧測定用電源と、

前記測定モードにおいては、第3電極電圧が段階的に高くなるように前記第3電極電圧を制御し、前記制御モードにおいては、前記スイッチング素子のオン／オフ動作を制御するために前記第3電極電圧を制御する第3電極電圧制御部と、

前記測定モードにおいて、前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定するオン／オフ状態判定部と、

前記測定モードにおいて、前記オン／オフ状態判定部によって前記スイッチング素子がオン状態になったことを判定したときに、前記第3電極に印加した前記第3電極電圧を前記スイッチング素子の閾値電圧として記憶する記憶部とを備え、

前記第3電極電圧制御部は、前記制御モードにおいて、前記スイッチング素子をオン状態とするときに、前記記憶部に記憶された前記閾値電圧を含む情報に基づいて前記第3電極電圧を制御することを特徴とするスイッチング素子制御回路。

[請求項2] 前記スイッチング素子を流れる第1電極電流を検出する第1電極電流検出部をさらに備え、

前記測定モードにおいて、前記オン／オフ状態判定部は、前記第1電極電流検出部による前記第1電極電流の検出結果に基づいて前記スイッチング素子のオン／オフ状態を判定することを特徴とする請求項1に記載のスイッチング素子制御回路。

[請求項3] 前記第3電極電圧制御部は、前記測定モードにおいては、前記第3

電極電圧が時間経過に伴って階段状に高くなるように前記第3電極電圧を制御することを特徴とする請求項1又は2に記載のスイッチング素子制御回路。

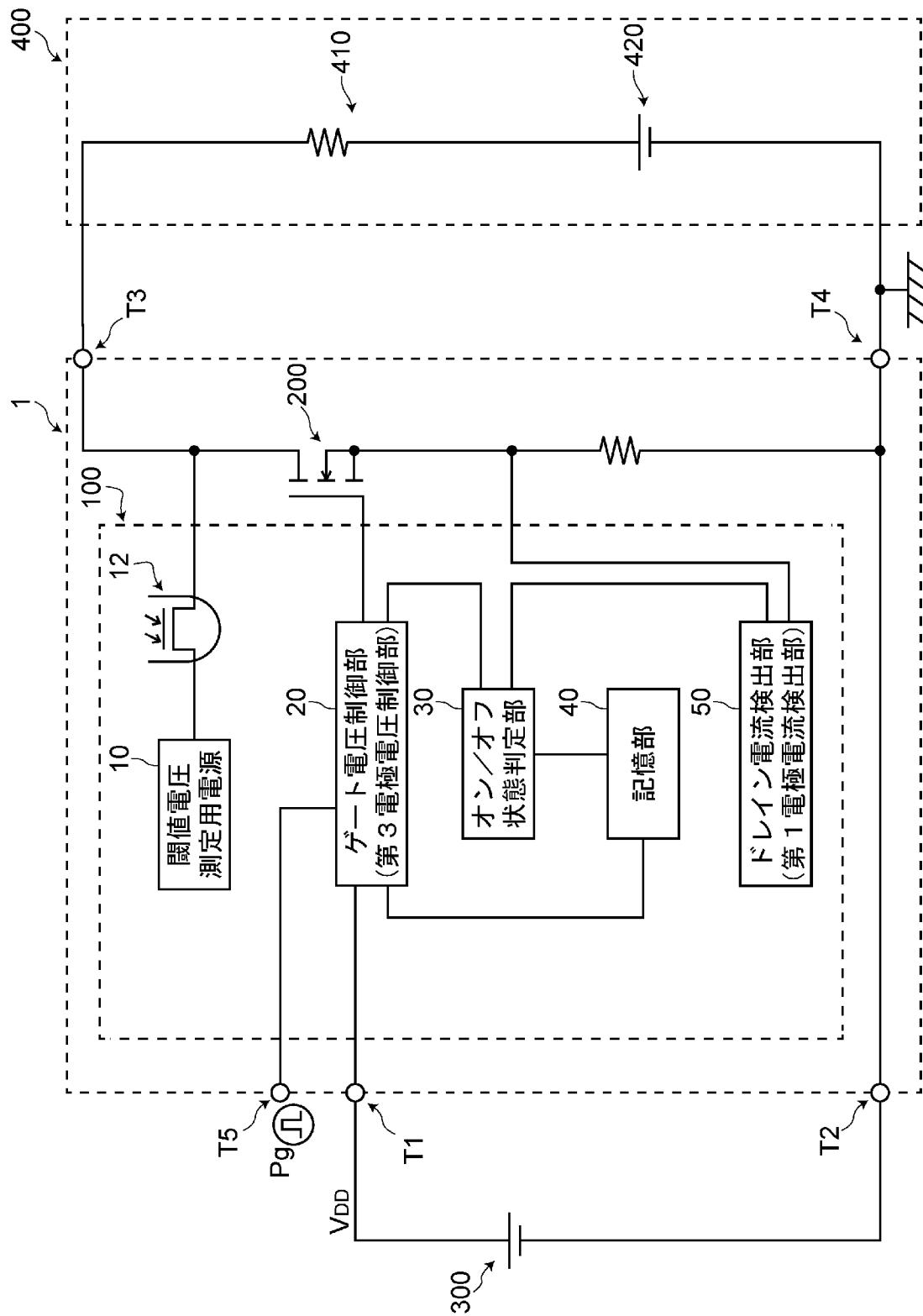
[請求項4] 前記第3電極電圧制御部は、前記測定モードにおいては、前記第3電極電圧が、時間経過に伴って振幅の大きなパルスとなるパルス状の電圧になるように、前記第3電極電圧を制御することを特徴とする請求項1又は2に記載のスイッチング素子制御回路。

[請求項5] 前記スイッチング素子は、MOSFET、IGBT又はHEMTであることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のスイッチング素子制御回路。

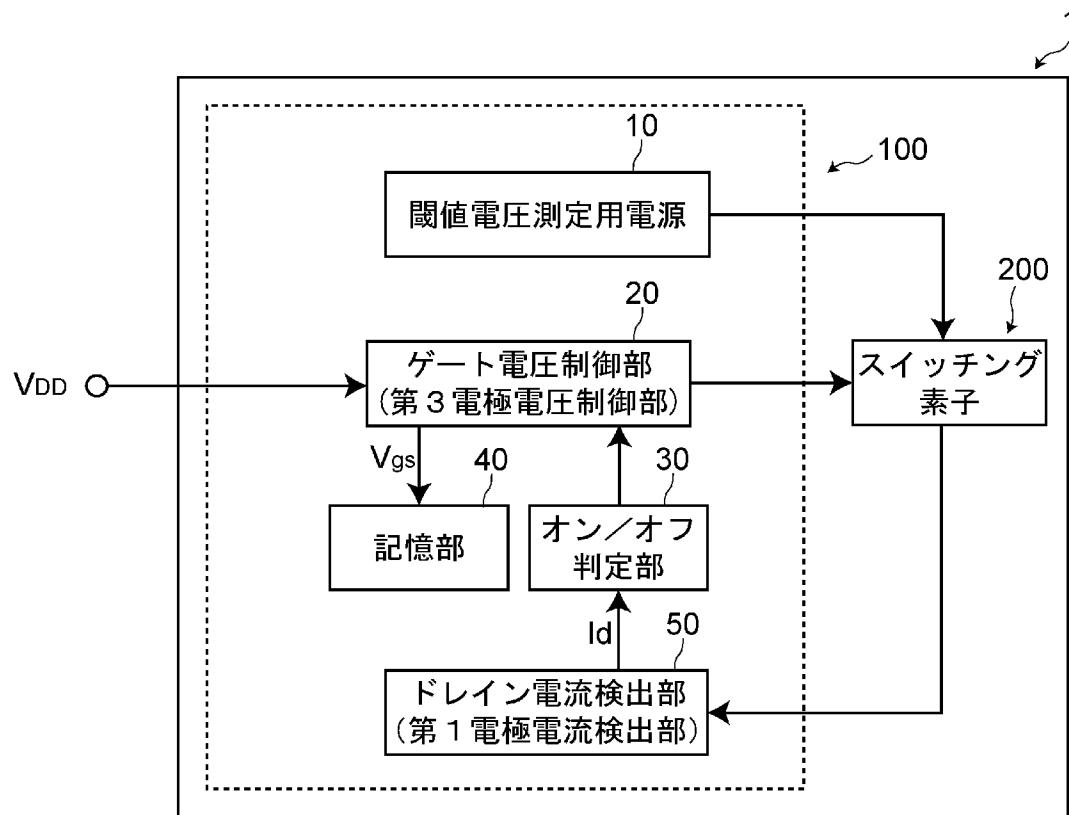
[請求項6] 前記スイッチング素子は、GaN、SiC又は Ga_2O_3 を含む材料により形成されたものであることを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のスイッチング素子制御回路。

[請求項7] 第1電極と、第2電極と、第3電極とを備えるスイッチング素子と、
前記スイッチング素子のオン／オフ動作を制御する、請求項1～6のいずれかに記載のスイッチング素子制御回路とを備えることを特徴とするパワーモジュール。

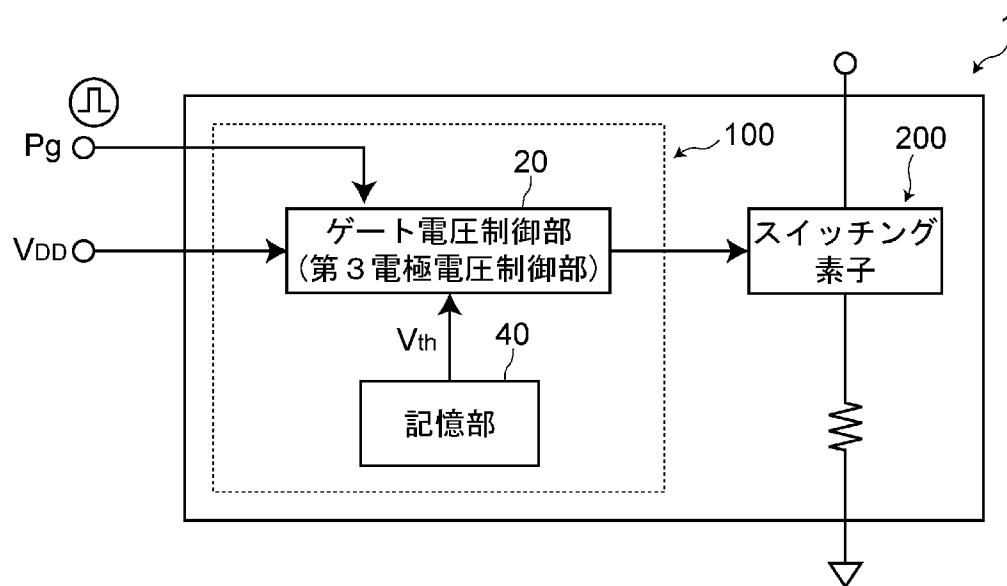
[図1]



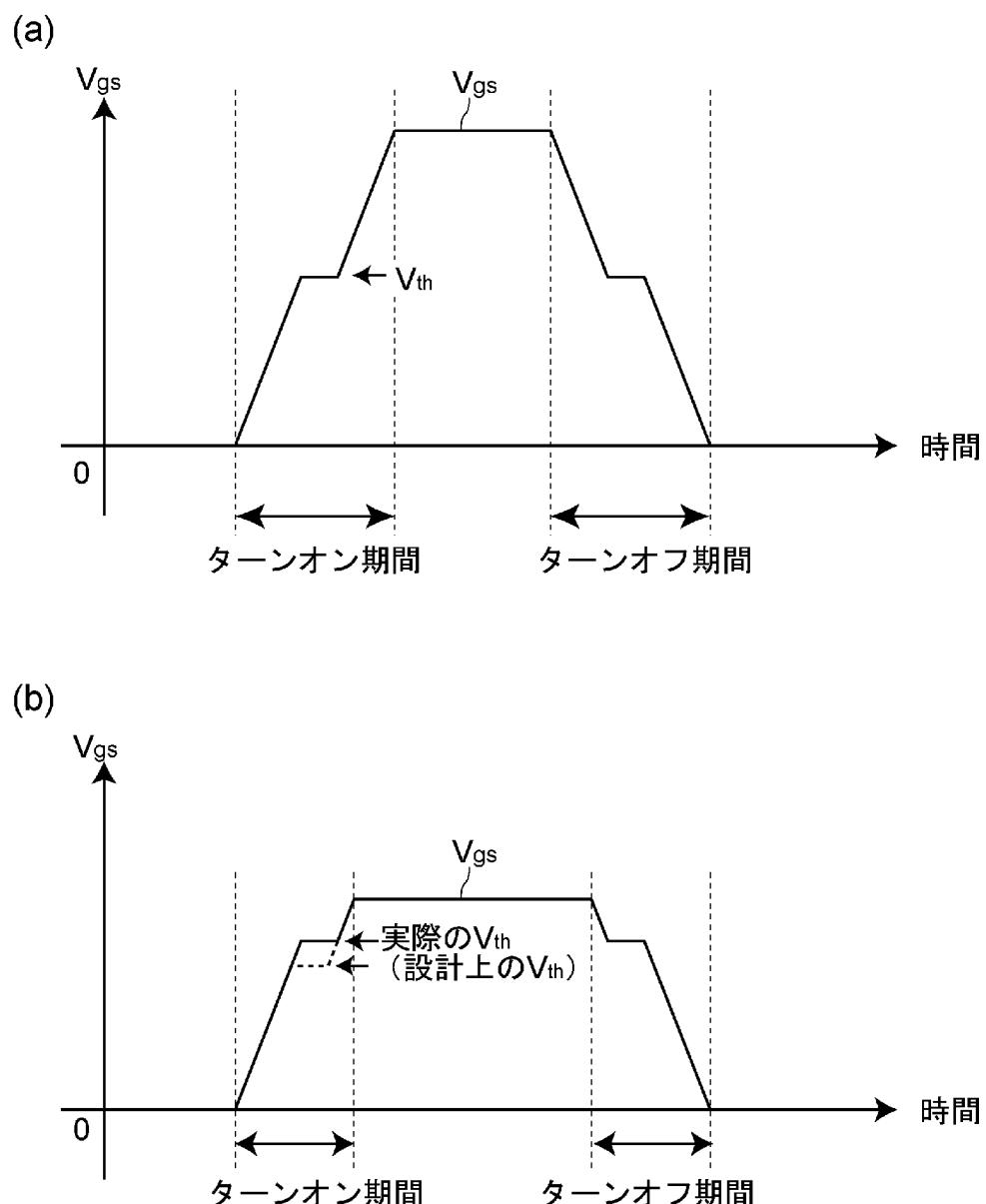
[図2]



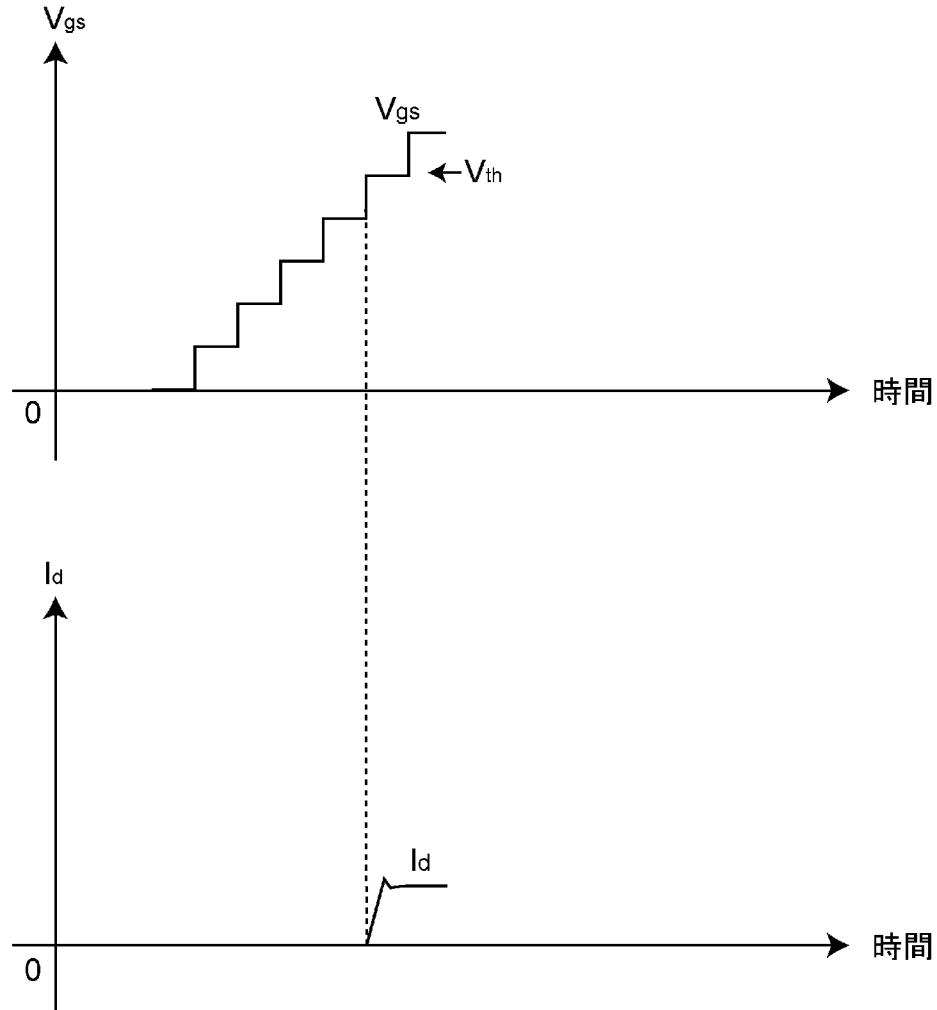
[図3]



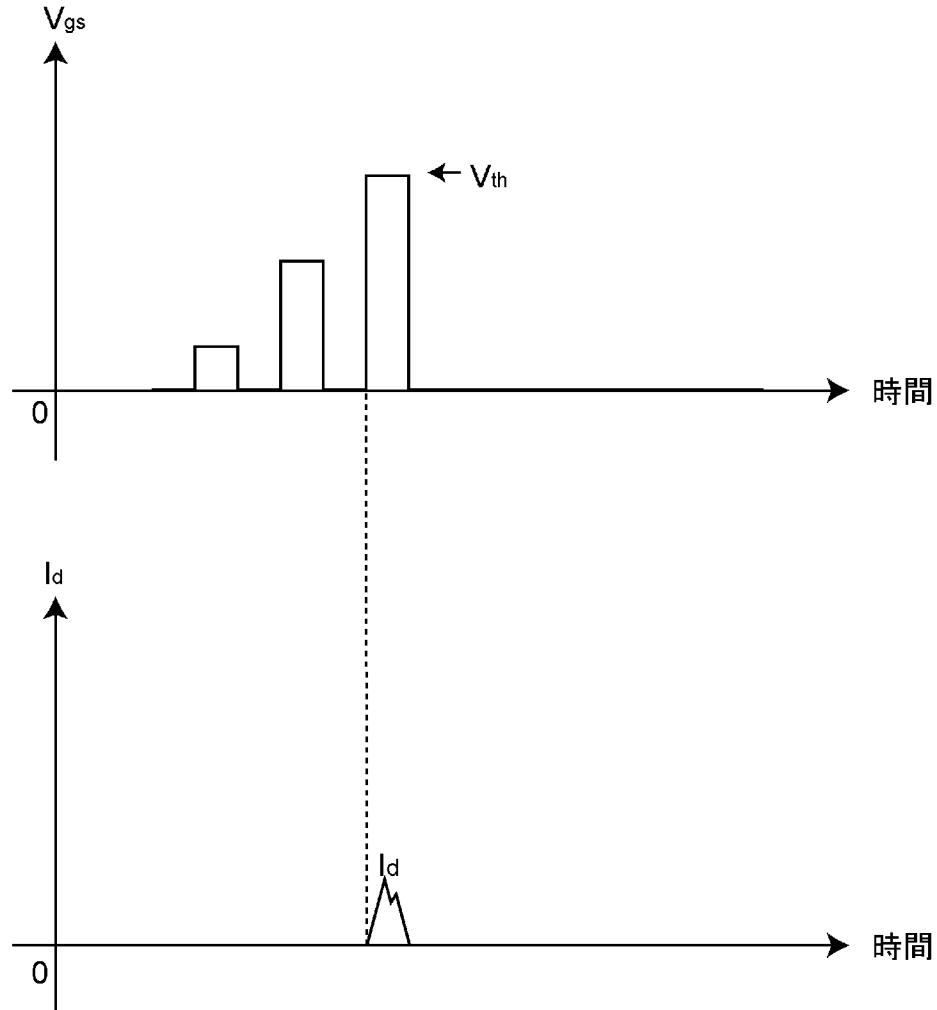
[図4]



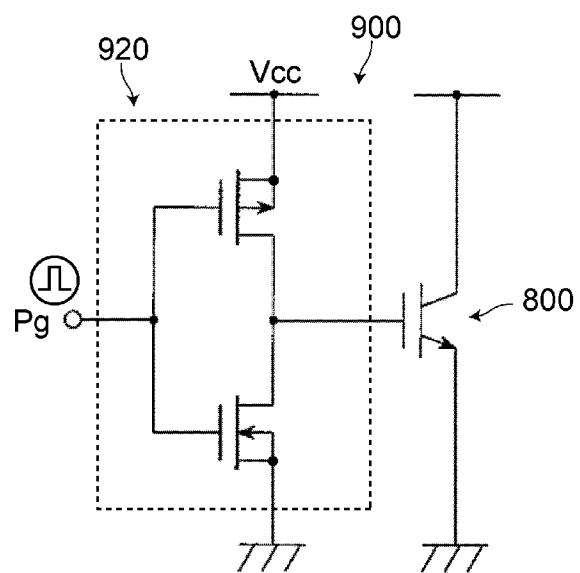
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/016447

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03K17/687(2006.01)i, H03K17/00(2006.01)i, H03K17/14(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03K17/687, H03K17/00, H03K17/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-050776 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 16 February 2006 (16.02.2006), fig. 10; paragraph [0003] (Family: none)	1-7
A	JP 2012-157223 A (Denso Corp.), 16 August 2012 (16.08.2012), fig. 2; paragraph [0048] & US 2012/0194226 A1 fig. 2; paragraph [0047]	1-7
A	JP 06-252395 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 09 September 1994 (09.09.1994), entire text; all drawings (Family: none)	1-7

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 July 2017 (12.07.17)

Date of mailing of the international search report

25 July 2017 (25.07.17)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H03K17/687(2006.01)i, H03K17/00(2006.01)i, H03K17/14(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H03K17/687, H03K17/00, H03K17/14

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-050776 A (松下電器産業株式会社) 2006.02.16, 図10, 段落 [0003] (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2012-157223 A (株式会社デンソー) 2012.08.16, 図2, 段落 [0048] & US 2012/0194226 A1, 図2, 段落 [0047]	1-7

※ C欄の続きにも文献が列挙されている。

□ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12.07.2017

国際調査報告の発送日

25.07.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

白井 亮

5W

3363

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 06-252395 A (日本電信電話株式会社) 1994.09.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7