



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/248335**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 007 401.9**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/024679**
(86) PCT-Anmeldetag: **21.06.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **28.12.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **03.04.2025**

(51) Int Cl.: **H03K 17/08 (2006.01)**
H02M 7/48 (2007.01)

(71) Anmelder:
Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP

(72) Erfinder:
Kawahara, Chihiro, Tokyo, JP

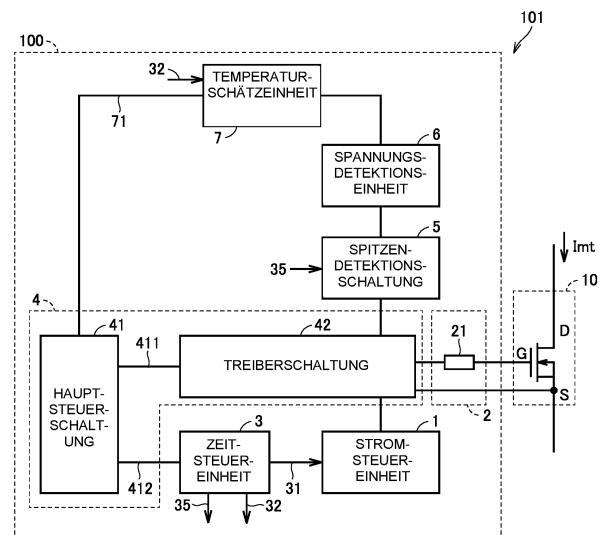
(74) Vertreter:
**Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte
Partnerschaft mbB, 80538 München, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **HALBLEITERVORRICHTUNG UND LEISTUNGSUMWANDLUNGSVORRICHTUNG**

(57) Zusammenfassung: In einer Halbleitervorrichtung (100), die ein Halbleiterelement (10) ansteuert und steuert, ist eine Stromsteuereinheit (1) bereitgestellt, um einen Strom mit einer Impulsform zwischen einem Steueranschluss (G) und einem negativen Elektrodenanschluss (S) des Halbleiterelements (10) zu leiten. Eine Spitzendetektionsschaltung (5) detektiert einen Spitzenwert einer Spannung zwischen dem Steueranschluss (G) oder dem negativen Elektrodenanschluss (S) und ein Referenzpotential in einer Stromzufuhrperiode durch die Stromsteuereinheit (1). Eine Temperaturschätzeinheit (7) berechnet eine geschätzte Temperatur des Halbleiterelements auf Grundlage einer Ausgangsspannung der Spitzendetektionsschaltung (5), die von einer Spannungsdetektionseinheit (6) abgetastet wird. Die Zeitsteuereinheit (3) veranlasst die Stromsteuereinheit (1) dazu, betrieben zu werden, um die Stromzufuhrperiode während mindestens einem von Folgendem bereitzustellen: einer Ein-Periode, nach der das Halbleiterelement in den Ein-Zustand wechselt; und einer Aus-Periode, nach der das Halbleiterelement in den Aus-Zustand wechselt.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Halbleitervorrichtung und eine Leistungsumwandlungsvorrichtung.

STAND DER TECHNIK

[0002] In einem Leistungswandler, der ein Leistungshalbleiterelement, wie einen Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode (insulated gate bipolar transistor - IGBT) und einen Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (metal oxide semiconductor field effect transistor - MOSFET) verwendet, wurde zur Miniaturisierung eine Erhöhung der Dichte des durch das Leistungshalbleiterelement fließenden Strom propagiert.

[0003] Durch das Erhöhen der Stromdichte erhöht sich jedoch ein Energieverlust des Leistungshalbleiterelements und es kommt zu einem Temperaturanstieg im Leistungshalbleiterelement. Das Leistungshalbleiterelement weist eine maximal zulässige Betriebstemperatur auf, die durch die Eigenschaften seiner Halbleitermaterialien und dergleichen vorgegeben wird, und wenn die Temperatur höher als die maximal zulässige Betriebstemperatur ist, kann es zu einem thermischen Drift im Leistungshalbleiterelement kommen, was zur Zerstörung des Leistungshalbleiterelements führen kann. Aus diesem Grund hat in den letzten Jahren bei Leistungshalbleiterelementen das Temperaturmanagement an Bedeutung gewonnen.

[0004] Zum Managen der Temperatur des vorstehend beschriebenen Leistungshalbleiterelements ist beispielsweise ein Verfahren bekannt, bei dem ein Temperatursensor wie ein Thermistor an einer Rippe oder dergleichen zur Kühlung des Leistungshalbleiterelements angebracht ist, um die Temperatur des Leistungshalbleiterelements indirekt zu schätzen. Da die thermische Zeitkonstante von dem Leistungshalbleiterelement zu der Rippe im Allgemeinen groß ist, kann durch dieses Verfahren jedoch möglicherweise keine schnelle Änderung der Temperatur des Leistungshalbleiterelements aufgrund einer Laständerung in einer kurzen Zeit gemessen werden.

[0005] Eines der Verfahren zur Lösung dieses Problems ist in der japanischen Offenlegungsschrift Nr. 2020-72569 (PTL1) offenbart. Bei diesem Verfahren werden Informationen, die eine Beziehung zwischen einer zeitlichen Änderung der Gate-Spannung während eines Schaltvorgangs der Halbleitervorrichtung und der Temperatur eines Leistungshalbleiterelements angeben, im Voraus gespeichert und wird die Temperatur des Leistungshalbleiterelements ab

einem Zeitpunkt geschätzt, zu dem die Gate-Spannung ansteigt.

LISTE DER ANFÜHRUNGEN

PATENTLITERATUR

[0006] PTL 1: Japanische Offenlegungsschrift Nr. 2020-72569

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

TECHNISCHES PROBLEM

[0007] Die in PTL1 offenbarte Technik benötigt jedoch einen hochgenauen Messmechanismus und einen Hochgeschwindigkeitsprozessor, um die Zeit zu messen, in der die Gate-Spannung ansteigt, und durch das Bereitstellen eines solchen Messmechanismus kann eine Verkleinerung des Leistungsmoduls begrenzt werden.

[0008] Die vorliegende Offenbarung wurde angesichts der vorstehenden Probleme gemacht, und eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung besteht darin, eine Halbleitervorrichtung bereitzustellen, die ein Leistungshalbleiterelement ansteuert und steuert und die Funktion aufweist, eine Temperatur des Leistungshalbleiterelements zu schätzen, ohne dass ein hochgenauer Messmechanismus und ein Hochgeschwindigkeitsprozessor benötigt werden.

LÖSUNG DES PROBLEMS

[0009] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung beinhaltet eine Halbleitervorrichtung, die ein Halbleiterelement ansteuert und steuert, eine Treiberschaltung, eine Stromsteuereinheit, eine Zeitsteuereinheit, eine Spitzendetektionsschaltung, eine Spannungsdetektionseinheit und eine Temperaturschätzeinheit. Das Halbleiterelement weist einen positiven Elektrodenanschluss, einen negativen Elektrodenanschluss und einen Steueranschluss auf, wobei eine Ansteuerspannung zum Steuern eines zwischen dem positiven Elektrodenanschluss und dem negativen Elektrodenanschluss fließenden Stroms auf den Steueranschluss angewendet wird. Die Treiberschaltung führt dem Steueranschluss die Ansteuerspannung zu, um das Halbleiterelement zwischen einem Ein-Zustand und einem Aus-Zustand zu schalten. Die Stromsteuereinheit ist bereitgestellt, um einen Strom mit einer Impulsform zwischen dem Steueranschluss und dem negativen Elektrodenanschluss zu leiten. Die Zeitsteuereinheit steuert einen Zeitpunkt der Zufuhr des Stroms durch die Stromsteuereinheit. Die Spitzendetektionsschaltung gibt einen Spitzenwert einer Eingangsspannung aus, wobei die Eingangsspannung eine Potentialdifferenz des Steueranschlusses oder des negativen Elektrodenanschlusses in Bezug auf ein Referenz-

potential in einer Stromzufuhrperiode durch die Stromsteuereinheit ist. Die Spannungsdetektionseinheit tastet eine Ausgangsspannung der Spitzendetektionsschaltung ab. Die Temperaturschätzeinheit berechnet eine geschätzte Temperatur des Halbleiterelements auf Grundlage einer Detektionsspannung durch die Spannungsdetektionseinheit. Die Zeitsteuereinheit veranlasst die Stromsteuereinheit dazu, zu arbeiten, um die Stromzufuhrperiode während mindestens einem von Folgendem bereitzustellen: einer Ein-Periode, nach der das Halbleiterelement in den Ein-Zustand wechselt; und einer Aus-Periode, nach der das Halbleiterelement in den Aus-Zustand wechselt.

VORTEILHAFTE WIRKUNGEN DER ERFINDUNG

[0010] Gemäß der vorliegenden Offenbarung ist es möglich, eine Halbleitervorrichtung bereitzustellen, die dazu in der Lage ist, eine Temperatur eines Halbleiterelements ohne einen Hochgeschwindigkeitsmessmechanismus und einen Hochgeschwindigkeitsprozessor auf Grundlage eines Spitzenwerts einer Spannung zwischen einem Steueranschluss oder einem negativen Elektrodenanschluss und einem Referenzpotentials zu schätzen, wenn ein Strom zwischen dem Steueranschluss und dem negativen Elektrodenanschluss zugeführt wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1A ist ein Konfigurationsdiagramm, das ein Beispiel für ein Leistungsmodul gemäß einer ersten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 1B ist ein Schaltplan, der ein Konfigurationsbeispiel für eine Stromsteuereinheit in **Fig. 1A** veranschaulicht.

Fig. 2A ist ein Schaltplan, der ein erstes Beispiel für eine Verbindungsposition der in **Fig. 1B** veranschaulichten Stromsteuereinheit beschreibt.

Fig. 2B ist ein Schaltplan, der ein zweites Beispiel für die Verbindungsposition der in **Fig. 1B** veranschaulichten Stromsteuereinheit beschreibt.

Fig. 3 ist ein Konfigurationsdiagramm, das eine Modifikation des Leistungsmoduls in **Fig. 1A** veranschaulicht.

Fig. 4 ist ein Schaltplan, der ein Konfigurationsbeispiel für eine in **Fig. 1A** veranschaulichte Spitzendetektionsschaltung beschreibt.

Fig. 5 ist ein Zeitdiagramm zum Beschreiben eines Temperaturschätzverfahrens durch eine Halbleitervorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform.

Fig. 6 ist ein Schaltplan, der eine Konfiguration einer Spitzendetektionsschaltung gemäß einer

Modifikation der ersten Ausführungsform beschreibt.

Fig. 7 ist ein Zeitdiagramm zum Beschreiben eines Temperaturschätzverfahrens durch eine Halbleitervorrichtung gemäß der Modifikation der ersten Ausführungsform.

Fig. 8 ist ein Schaltplan, der ein erstes Konfigurationsbeispiel für eine Spitzendetektionsschaltung gemäß einer zweiten Ausführungsform beschreibt.

Fig. 9 ist ein Schaltplan, der ein zweites Konfigurationsbeispiel für die Spitzendetektionsschaltung gemäß der zweiten Ausführungsform beschreibt.

Fig. 10 ist ein Zeitdiagramm zum Beschreiben eines Temperaturschätzverfahrens durch eine Halbleitervorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform.

Fig. 11 ist ein Konfigurationsdiagramm, das ein Beispiel für ein Leistungsmodul gemäß einer vierten Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 12 ist ein Zeitdiagramm zum Beschreiben eines Verfahrens zum Schätzen des thermischen Widerstands und der thermischen Impedanz durch eine Halbleitervorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform.

Fig. 13 ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben eines Prozesses zum Berechnen des thermischen Widerstands und der thermische Impedanz durch die Halbleitervorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform.

Fig. 14 ist ein Blockdiagramm, das eine Konfiguration eines Leistungsumwandlungssystems veranschaulicht, bei dem eine Leistungsumwandlungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform mit einem daran montierten Halbleiterelement angewendet wird.

BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0011] Nachfolgend werden Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben. In der folgenden Beschreibung werden für gleiche oder einander entsprechende Teile in den Zeichnungen die gleichen Bezugszeichen verwendet und ihre Beschreibung wird nicht wiederholt.

Erste Ausführungsform.

[0012] **Fig. 1A** ist ein Konfigurationsdiagramm, das ein Beispiel für ein Leistungsmodul 101 gemäß einer ersten Ausführungsform veranschaulicht. **Fig. 1B** ist ein Schaltplan, der ein Konfigurationsbeispiel für eine Stromsteuereinheit 1 in **Fig. 1A** veranschaulicht. Die Konfiguration des Leistungsmoduls 101 wird

nachfolgend unter Bezugnahme auf **Fig. 1A** und **1B** beschrieben.

[0013] Wie in **Fig. 1A** veranschaulicht, beinhaltet das Leistungsmodul 101 ein Leistungshalbleiterelement 10 und eine Halbleitervorrichtung 100, die das Leistungshalbleiterelement 10 ansteuert und steuert. Die Halbleitervorrichtung 100 steuert das Schalten des Leistungshalbleiterelements 10 und misst eine Elementtemperatur des Leistungshalbleiterelements 10.

[0014] Das Leistungshalbleiterelement 10 beinhaltet einen positiven Elektrodenanschluss (Drain) D, einen negativen Elektrodenanschluss (Source) S und einen Steueranschluss (Gate) G. Ein Hauptstrom I_{mt} , der zwischen dem positiven Elektrodenanschluss D und dem negativen Elektrodenanschluss S fließt, wird durch eine Antriebsspannung gesteuert, die an den Steueranschluss G angelegt wird.

[0015] Das Leistungshalbleiterelement 10 kann ein beliebiges von einem MOSFET, einem IGBT, einem Metall-Halbleiter-Feldeffekttransistor (metal-semiconductor fieldeffect transistor - MESFET), einem bipolaren Transistor und dergleichen sein. Ein Fall, in dem das Leistungshalbleiterelement 10 ein MOSFET ist, wird nachfolgend beispielhaft beschrieben. Als ein Material des Leistungshalbleiterelements 10 können neben SiC, GaN, Ga₂O₃, Diamant oder dergleichen verwendet werden.

[0016] Die Halbleitervorrichtung 100 beinhaltet eine Gate-Ansteuereinheit 4, eine Stromsteuereinheit 1, eine Gate-Verdrahtungseinheit 2, eine Zeitsteuereinheit 3, eine Spitzendetektionseinheit 5, eine Spannungsdetektionseinheit 6 und eine Temperaturschätzeinheit 7. Hier beinhaltet die Gate-Ansteuereinheit 4 eine Treiberschaltung 42 als eine Ansteuerungssteuereinheit, die mit dem Leistungshalbleiterelement 10 verbunden ist und das Leistungshalbleiterelement 10 ansteuert, und eine Hauptsteuereinheit 41, die die Treiberschaltung 42 steuert.

[0017] Der Steueranschluss G des Leistungshalbleiterelements 10 ist über das Widerstandselement 21, das in einer Gate-Verdrahtungseinheit 2 bereitgestellt ist, mit der Treiberschaltung 42 verbunden. Die Gate-Verdrahtungseinheit 2 stellt eine Reihe von Schleifenverdrahtungen, die den Steueranschluss G und den negativen Elektrodenanschluss S des Leistungshalbleiterelements 10 und die Treiberschaltung 42 verbinden, dar. In dem Beispiel aus **Fig. 1A** ist das Widerstandselement 21 zwischen der Treiberschaltung 42 und dem Steueranschluss G des Leistungshalbleiterelements 10 verbunden.

[0018] Die Stromsteuereinheit 1 ist mit der Treiberschaltung 42 verbunden und führt, durch die Treiber-

schaltung 42, Strom einem Weg zu, der zwischen dem Steueranschluss G und dem negativen Elektrodenanschluss S des Leistungshalbleiterelements 10 gebildet ist. Wie in **Fig. 1B** veranschaulicht, beinhaltet die Stromsteuereinheit 1 eine Impulsstromzufuhr 20 zum Zuführen eines gepulsten Stroms. Genauer beinhaltet die Impulsstromzufuhr 20 zum Beispiel eine Stromzufuhr 11, die einen konstanten Strom zuführt, und einen Stromsteuerschalter 12, der parallel zur Stromzufuhr 11 verbunden ist. Der Stromsteuerschalter 12 wird als Reaktion auf ein Schaltersteuersignal 31 von der Zeitsteuereinheit 3 ein- oder ausgeschaltet.

[0019] Wenn der Stromsteuerschalter 12 von ein auf aus geschaltet wird, beginnt die Impulsstromzufuhr 20 mit dem Ausgeben des Stroms, und wenn der Stromsteuerschalter 12 von aus auf ein geschaltet wird, beendet die Impulsstromzufuhr 20 die Ausgabe des Stroms. Auf diese Art und Weise wird der Ausgangsstrom der Stromsteuereinheit 1 als Reaktion auf ein Ein- und Ausschalten des Stromsteuerschalters 12 gepulst gesteuert.

[0020] Als Stromzufuhr 11 können verschiedene Arten von gemeinhin bekannten Stromzuführungen verwendet werden. Zum Beispiel kann ein bipolarer Transistor, ein Stromspiegel oder eine an der Ausgangsseite einer konstanten Spannungsquelle mit einem Widerstand bereitgestellte Stromzufuhr verwendet werden. Zusätzlich kann es sich bei der Stromzufuhr 11 je nach Schaltungskonfiguration um eine Stromquelle, die einen Strom abgibt, oder um eine Stromsenke, die einen Strom aufnimmt, handeln. Als Stromsteuerschalter 12 kann ein Schaltelement, das mit einer relativ hohen Geschwindigkeit arbeitet, zum Beispiel ein MOSFET, verwendet werden. Wenn Messgenauigkeit erforderlich ist, kann eine ultraschnelle Vorrichtung, wie ein GaN-Transistor mit hoher Elektronenbeweglichkeit (high electron mobility transistor - HEMT), als Stromsteuerschalter 12 verwendet werden.

[0021] Wie in **Fig. 1B** veranschaulicht, ist ein Ende von jedem von der Stromzufuhr 11 und dem Stromsteuerschalter 12 mit einem Referenzpotentialknoten 90, der ein Referenzpotential anlegt, verbunden. Hier ist das Referenzpotential zum Beispiel eine Steuer- masse der Treiberschaltung 42 oder eine Leistungszufuhrspannung der Treiberschaltung 42.

[0022] Das andere Ende von jedem von der Stromzufuhr 11 und dem Stromsteuerschalter 12 ist direkt oder indirekt mit dem Steueranschluss G oder dem negativen Elektrodenanschluss S des Leistungshalbleiterelements 10 elektrisch verbunden. Ist es indirekt verbunden, ist das andere Ende von jedem von der Stromzufuhr 11 und dem Stromsteuerschalter 12 über ein Halbleiterschaltelement oder einen Widerstand, bei dem es sich um eine andere an der

Treiberschaltung 42 montierte elektronische Komponente handelt, mit dem Steueranschluss G (Gate) oder dem negativen Elektrodenanschluss S (Source) des Leistungshalbleiterelements 10 verbunden.

[0023] Fig. 2A und 2B veranschaulichen Schaltpläne, die ein erstes bzw. ein zweites Beispiel für eine Verbindungsposition der Stromsteuereinheit 1 beschreiben.

[0024] Insbesondere veranschaulicht Fig. 2A ein Konfigurationsbeispiel, in dem das vorstehend beschriebene andere Ende (Seite, die nicht mit dem Referenzpotentialknoten 90 verbunden ist) von jedem von der Stromzufuhr 11 und dem Stromsteuerschalter 12 mit dem negativen Elektrodenanschluss S des Leistungshalbleiterelements 10 elektrisch verbunden ist. In Fig. 2A ist die Stromsteuereinheit 1 mit einer Position verbunden, an der die Stromsteuereinheit 1 den Strom von der Seite des negativen Elektrodenanschlusses S des Leistungshalbleiterelements 10 zuführt.

[0025] Andererseits veranschaulicht Fig. 2B ein Konfigurationsbeispiel, in dem das vorstehend beschriebene andere Ende von jedem von der Stromzufuhr 11 und dem Stromsteuerschalter 12 mit dem Steueranschluss G des Leistungshalbleiterelements 10 elektrisch verbunden ist. In Fig. 2B ist die Stromsteuereinheit 1 indirekt mit dem Steueranschluss G über die Treiberschaltung 42 verbunden, wodurch die Stromsteuereinheit 1 mit einer Position verbunden ist, an der die Stromsteuereinheit 1 den Strom von der Seite des Steueranschlusses G des Leistungshalbleiterelements 10 zuführt. Ein Fall, in dem das andere Ende von jedem von der Stromzufuhr 11 und dem Stromsteuerschalter 12 mit dem negativen Elektrodenanschluss S des Leistungshalbleiterelements 10 elektrisch verbunden ist (Fig. 2A), wird nachfolgend beispielhaft beschrieben.

[0026] Unter erneuter Bezugnahme auf Fig. 1A gibt die Zeitsteuereinheit 3 ein Schaltersteuersignal 31 zum Steuern des Stromsteuerschalters 12 der Stromsteuereinheit 1 auf Grundlage eines Befehls 412 von der Hauptsteuereinheit 41 der Gate-Ansteuereinheit 4 aus. Wie vorstehend beschrieben, steuert die Hauptsteuereinheit 41 die Treiberschaltung 42 und die Zeitsteuereinheit 3. Als Hauptsteuereinheit 41 wird zum Beispiel eine funktionelle Vorrichtung, wie ein Mikroprozessor, eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (application specific integrated circuit - ASIC) oder ein feldprogrammierbares Gate-Array (FPGA), verwendet.

[0027] Obwohl die Zeitsteuereinheit 3 und die Gate-Ansteuereinheit 4 in Fig. 1A zum Zwecke der Beschreibung explizit voneinander unterschieden werden, kann die Zeitsteuereinheit 3 in der Hauptsteuereinheit 41 enthalten sein. Zudem können die

Treiberschaltung 42 und die Zeitsteuereinheit 3 auf demselben Substrat angebracht sein oder die Hauptsteuereinheit 41, die Treiberschaltung 42, die Zeitsteuereinheit 3 und die Stromsteuereinheit 1 können zusammen auf demselben Substrat angebracht sein.

[0028] Die Spitzendetektionsschaltung 5 ist mit der Treiberschaltung 42 verbunden, um eine Spannung (Spannung zwischen Anschlüssen) zwischen beiden Enden der Stromzufuhr 11 zu empfangen. Nachfolgend wird ein Konfigurationsbeispiel der Spitzendetektionsschaltung 5 beschrieben.

[0029] Die Spannungsdetektionseinheit 6 detektiert eine Ausgangsspannung der Spitzendetektionsschaltung 5. Die Temperaturschätzeinheit 7 berechnet eine geschätzte Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 aus einem Ausgangsspannungswert der Spitzendetektionsschaltung 5 zu einem vorgegebenen Zeitpunkt auf Grundlage des Detektionswerts der Spannungsdetektionseinheit 6 und von Steuerinformationen 32 der Zeitsteuereinheit 3. Zum Beispiel berechnet die Temperaturschätzeinheit 7 wie nachfolgend beschrieben einen Widerstandswert des Leistungshalbleiterelements 10 aus dem vorstehend beschriebenen Ausgangsspannungswert. Ferner erzeugt die Temperaturschätzeinheit 7 Temperaturinformationen 71, die die geschätzte Temperatur beinhalten. Die geschätzte Temperatur wird durch Umwandeln des neu gemessenen Widerstandswerts des Leistungshalbleiterelements 10 in eine Temperatur durch Vergleich mit Umwandlungsdaten erhalten, die eine Beziehung zwischen Widerstandswerten und Elementtemperaturen angeben, die auf Grundlage der Messwerte durch vorläufige Experimente an einer tatsächlichen Maschine vorbestimmt sind.

[0030] Temperaturinformationen 71 werden wieder in die Hauptsteuereinheit 41 eingespeist. Wenn die Temperatur einen vorbestimmten Wert überschreitet, kann die Hauptsteuereinheit 41 ein Ansteuermuster ändern, um den Verlust des Leistungshalbleiterelements zu verringern, und kann zudem Warninformationen an ein Host-System ausgeben. Obwohl die Hauptsteuereinheit 41 und die Temperaturschätzeinheit 7 in Fig. 1A zum Zwecke der Beschreibung als separate Bauteile veranschaulicht sind, kann die Funktion der Temperaturschätzeinheit 7 in der Hauptsteuereinheit 41 enthalten sein.

[0031] Fig. 3 ist ein Konfigurationsdiagramm, das eine Modifikation des Leistungsmoduls 101 in Fig. 1A veranschaulicht. Das in Fig. 3 veranschaulichte Leistungsmodul 101 unterscheidet sich von dem Leistungsmodul 101 in Fig. 1A dadurch, dass das Widerstandselement 21 in dem Gate-Verdrahtungsabschnitt 2 mit einer Verdrahtung (Source-Verdrahtung) verbunden ist, die mit dem negativen Elektrodenanschluss S verbunden ist, und nicht mit

einer Verdrahtung (Gate-Verdrahtung), die mit dem Steueranschluss G verbunden ist. Auch in diesem Fall verursacht das Widerstandselement 21 einen Spannungsabfall im Gate-Verdrahtungsabschnitt 2 gemäß dem Strom, der zwischen dem Steueranschluss G und dem negativen Elektrodenanschluss S fließt. Die anderen Konfigurationen in **Fig. 3** sind die gleichen wie jene in **Fig. 1A**, und somit sind die gleichen oder entsprechende Teile durch die gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet, und die Beschreibung davon wird nicht wiederholt. Obwohl das Widerstandselement 21 in jeder der **Fig. 1A** und **3** eindeutig außerhalb des Leistungshalbleiterelements 10 veranschaulicht ist, ist ein Gate-Widerstand in Abhängigkeit von Anwendungen womöglich nicht außerhalb des Leistungshalbleiterelements 10 bereitgestellt.

[Temperaturschätzverfahren für
Leistungshalbleiterelement]

[0032] Ein Verfahren zum Schätzen der Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 durch die Halbleitervorrichtung 100 in **Fig. 1A** wird nachstehend genauer beschrieben. **Fig. 4** veranschaulicht ein Konfigurationsbeispiel der Spitzendetektionsschaltung 5 in **Fig. 1A**. **Fig. 5** veranschaulicht ein Zeitdiagramm zum Beschreiben eines Temperaturschätzverfahrens durch die Halbleitervorrichtung 100, in dem die in **Fig. 4** veranschaulichte Spitzendetektionsschaltung 5 angeordnet ist.

[0033] Wie in **Fig. 4** veranschaulicht, kann die Spitzendetektionsschaltung 5 zum Beispiel durch eine Detektionsschaltung mit einer Diode 51, einem Kondensator 52 und einem Entladungsschalter 53 konfiguriert sein. Die Diode 51 ist zwischen einem Eingangsknoten Nx und einem Knoten Ny verbunden, wobei eine Richtung vom Eingangsknoten Nx zum Knoten Ny eine Vorwärtsrichtung ist. Der Kondensator 52 ist zwischen dem Knoten Ny und einem Knoten Ns verbunden. Ein Potential von Knoten Ns wird auch als Vss bezeichnet. Der Knoten Ns weist das gleiche Potential wie das des Referenzpotentialknotens 90 in **Fig. 1B** und dergleichen auf, und eine Eingangsspannung Vx der Spitzendetektionsschaltung 5 entspricht einer Potentialdifferenz des Knotens Nx in Bezug auf den Knoten Ns, d. h. einer Potentialdifferenz des Steueranschlusses G oder des negativen Elektrodenanschlusses S in Bezug auf das Referenzpotential.

[0034] Der Entladungsschalter 53 ist parallel mit dem Kondensator 52 verbunden und wird als Reaktion auf ein Schaltersteuersignal 35 von der Zeitsteuereinheit 3 ein- und ausgeschaltet. Der Entladungsschalter 53 kann zum Beispiel durch einen MOSFET mit einem kleinen Leckstrom konfiguriert sein, um das Potential des Knotens Ny in einem Aus-Zustand zu halten.

[0035] Wie vorstehend beschrieben, ist die Spitzendetektionsschaltung 5 verbunden, um die Spannung (Spannung zwischen Anschlüssen) zwischen beiden Enden der Stromzufuhr 11 zu empfangen. Daher sind, wenn die Stromsteuereinheit 1 auf die Weise aus **Fig. 2A** verbunden ist, der Eingangsknoten Nx und der Knoten Ns der Spitzendetektionsschaltung 5 direkt oder indirekt mit dem negativen Elektrodenanschluss S des Leistungshalbleiterelements 10 und dem Referenzpotentialknoten 90 verbunden. Das heißt, der Eingangsknoten Nx ist mit dem negativen Elektrodenanschluss S des Leistungshalbleiterelements 10 elektrisch verbunden. Andererseits, wenn die Stromsteuereinheit 1 auf die Weise aus **Fig. 2B** verbunden ist, sind der Eingangsknoten Nx und der Knoten Ns der Spitzendetektionsschaltung 5 direkt oder indirekt mit dem Steueranschluss G des Leistungshalbleiterelements 10 und dem Referenzpotentialknoten 90 verbunden. Das heißt, der Eingangsknoten Nx ist mit dem Steueranschluss G des Leistungshalbleiterelements 10 elektrisch verbunden.

[0036] Wenn eine Spannung des Eingangsknotens Nx höher ist als eine Spannung des Knotens Ny, wird in der Spitzendetektionsschaltung 5 die Eingangsspannung Vx an den Knoten Ny übertragen und von dem Kondensator 52 gehalten. Andererseits wird, wenn die Spannung des Eingangsknotens Nx niedriger als die Spannung des Knotens Ny ist, die Eingangsspannung Vx nicht an den Knoten Ny übertragen, und somit hält der Kondensator 52 einen Spitzenwert einer Spannung, die zuvor durch die Diode 51 übertragen wurde, und gibt diesen aus.

[0037] In **Fig. 4** entspricht der Eingangsknoten Nx einem Beispiel für den „ersten Knoten“, entspricht der Knoten Ny einem Beispiel für den „zweiten Knoten“ und entspricht die Diode 51 einem Beispiel für die „erste Diode“.

[0038] Die Spannungsdetektionseinheit 6 tastet eine Spannung (Vdet) des Kondensators 52 ab und detektiert diese, d. h. die Ausgangsspannung der Spitzendetektionsschaltung 5. In der folgenden Beschreibung wird die Spannung des Kondensators 52, die der Eingangsspannung der Spannungsdetektionseinheit 6 entspricht, auch als eine Detektionsspannung Vdet bezeichnet. Wenn sich der Entladungsschalter 53 in einem Ein-Zustand befindet, wird die Detektionsspannung Vdet gelöscht (Vdet = Vss).

[0039] Das Temperaturschätzverfahren durch die Halbleitervorrichtung 100 (**Fig. 1A**) gemäß der ersten Ausführungsform wird unter Bezugnahme auf **Fig. 5** beschrieben. In **Fig. 5** zeigen Wellenformen bis zum Zeitpunkt t2 Spannungswellenformen und Signalwellenformen während eines normalen Schaltvorgangs, bei dem keine Temperaturmessung erfolgt, an und

zeigen Wellenformen nach dem Zeitpunkt t_2 Spannungswellenformen und Signalwellenformen, bei denen zusammen mit dem Schaltvorgang eine Temperaturmessung erfolgt, an. Zunächst wird die Arbeitsweise der Halbleitervorrichtung 100 während eines normalen Schaltvorgangs beschrieben.

(Arbeitsweise der Halbleitervorrichtung während eines normalen Betriebs)

[0040] Die Treiberschaltung 42 gibt zum Ansteuern des Leistungshalbleiterelements 10 ein positives Potential V_{cc} , das höher als eine Schwellenspannung ist, und ein Potential V_{ee} (normalerweise ein negatives Potential oder ein Nullpotential), das kleiner oder gleich der Schwellenspannung ist, aus. Insbesondere legt die Treiberschaltung 42 auf Grundlage eines Treibereingangssignals 411 von der Hauptsteuereinheit 41 ein positives Potential V_{cc} oder ein negatives oder Nullpotential V_{ee} als eine Gate-Spannung an den Steueranschluss G des Leistungshalbleiterelements 10 an. Infolgedessen verschiebt die Treiberschaltung 42 das Leistungshalbleiterelement 10 zwischen dem Ein- und dem Aus-Zustand.

[0041] Während des normalen Betriebs steuert die Zeitsteuereinheit 3 den Stromsteuerschalter 12 der Stromsteuereinheit 1 so, dass er immer im Ein-Zustand ist. Daher wird, wenn ein Element vom Anreicherungstyp, wie zum Beispiel ein n-leitender MOSFET, als der Stromsteuerschalter 12 verwendet wird, konstant ein Logiksignal mit hohem (H-) Pegel als Schaltersteuersignal 31 des Stromsteuerschalters 12 eingespeist. Wenn ein Element vom Verarmungstyp, wie ein p-leitender MOSFET, als der Stromsteuerschalter 12 verwendet wird, wird konstant ein Logiksignal mit niedrigem (L-) Pegel als Schaltersteuersignal 31 eingespeist.

[0042] Insbesondere gilt unter Bezugnahme auf **Fig. 5**, dass, wenn sich das Treibereingangssignal 411 an die Treiberschaltung 42 während eines Einschaltvorgangs zum Zeitpunkt t_0 von einem L-Pegel zu einem H-Pegel ändert, das positive Potential V_{cc} an den Steueranschluss G des Leistungshalbleiterelements 10 angelegt wird, sodass die Gate-Spannung V_{gs} ansteigt. Die Gate-Spannung V_{gs} erreicht zum Zeitpunkt t_{0x} nach einer Anstiegsperiode mit einer Zeitkonstante, die vom Widerstandswert des Widerstandselements 21 und der Elementkapazität des Leistungshalbleiterelements 10 abhängig ist, das positive Potential V_{cc} .

[0043] Zu diesem Zeitpunkt fließt der Gate-Strom, der von der Treiberschaltung 42 dem Leistungshalbleiterelement 10 zugeführt wird, über den Stromsteuerschalter 12 direkt zu dem Referenzpotentialknoten 90. Zusätzlich fließt der Strom von der Stromzufuhr 11 über den Stromsteuerschalter 12

auch zu dem Referenzpotentialknoten 90 und wird nicht an die Treiberschaltung 42 abgegeben. Es ist zu beachten, dass in der Anstiegsperiode zwischen Zeitpunkt t_0 und Zeitpunkt t_{0x} eine Miller-Periode beobachtet wird, in der die Gate-Spannung V_{gs} einen konstanten Wert aufweist.

[0044] Im Falle eines Ausschaltvorgangs ändert sich das Treibereingangssignal 411 zu Zeitpunkt t_1 von dem H-Pegel zu dem L-Pegel. Infolgedessen wird ein negatives oder Nullpotential V_{ee} an den Steueranschluss G des Leistungshalbleiterelements 10 angelegt, sodass die Gate-Spannung V_{gs} abfällt. Die Gate-Spannung V_{gs} erreicht zum Zeitpunkt t_{1x} nach einer Abfallperiode wie bei dem Einschaltvorgang ein negatives oder Nullpotential V_{ee} . Wie bei dem Einschaltvorgang fließt der Gate-Strom über den Stromsteuerschalter 12 zu dem Referenzpotentialknoten 90. Der Strom von der Stromzufuhr 11 fließt über den Stromsteuerschalter 12 zu dem Referenzpotentialknoten 90 und wird nicht an die Treiberschaltung 42 abgegeben. Es ist zu beachten, dass die Miller-Periode auch in der Abfallperiode von Zeitpunkt t_1 bis t_{1x} beobachtet wird.

(Temperaturmessung während Ein-Periode)

[0045] Als Nächstes wird die Arbeitsweise der Halbleitervorrichtung 100, wenn eine Temperaturmessung erfolgt, beschrieben. Die Temperatur wird in einer Periode gemessen, in der die Gate-Spannung mit Ausnahme der Anstiegsperiode und der Abfallperiode der Gate-Spannung stabil ist. Die Periode, in der die Gate-Spannung stabil ist, beinhaltet eine Periode, in der die Gate-Spannung bei positivem Potential V_{cc} stabil ist (nachfolgend als „Ein-Periode“ bezeichnet), und eine Periode, in der die Gate-Spannung bei negativem oder Nullpotential V_{ee} stabil ist (nachfolgend als „Aus-Periode“ bezeichnet).

[0046] Zunächst wird eine Temperaturmessung während der Ein-Periode beschrieben. Unter Bezugnahme auf **Fig. 5** ändert sich das Treibereingangssignal 411 zu Zeitpunkt t_2 von dem L-Pegel zu dem H-Pegel, was einem Einschaltbefehlszeitpunkt entspricht. Die Schaltersteuersignale 31 und 35 werden zu Zeitpunkt t_3 nach einem Verstreichen einer bestimmten Verzögerungsperiode von Zeitpunkt t_2 von dem H-Pegel zu dem L-Pegel geschaltet. Diese Verzögerungszeit kann einfach als eine Zeitkonstante des Widerstandswerts des Widerstandselements 21 und der Elementkapazität des Leistungshalbleiterelements 10 oder länger eingestellt werden.

[0047] Wenn die Verzögerungszeit kurz ist, beeinflusst auch ein Gate-Ansteuerstrom von der Treiberschaltung 42 die Detektionsspannung der Spannungsdetektionseinheit 6, was die Genauigkeit der Temperaturmessung beeinflusst. Ist die Verzögerungszeit hingegen lang, liegt der Zeitpunkt t_4 , zu

dem das Schaltersteuersignal 31 auf den H-Pegel zurückkehrt, nahe dem Zeitpunkt t_5 , zu dem das Ausschalten begonnen wird. Infolgedessen beeinflusst auch ein Gate-Ansteuerstrom von der Treiberschaltung 42 die Detektionsspannung der Spannungsdetektionseinheit 6, was die Genauigkeit der Temperaturmessung beeinflusst.

[0048] Wenn das Schaltersteuersignal 31 auf den L-Pegel geschaltet wird (Zeitpunkt t_3), wird der Stromsteuerschalter 12 in **Fig. 1B** ausgeschaltet. Folglich fließt der Strom von der Stromzufuhr 11 nicht zum Referenzpotentialknoten 90, sondern zum Leistungshalbleiterelement 10. Das heißt, die Stromsteuereinheit 1 führt den Strom zwischen dem Steueranschluss G und dem negativen Elektrodenanschluss S zu. In dieser Stromzufuhrperiode wird die Eingangsspannung V_x an die Spitzendetektionsschaltung 5 durch den folgenden Ausdruck (1) ausgedrückt.

[Ausdruck 1]

$$V_x(t - t_3) = (R_g + R_{gint}) \cdot I_g + \frac{t - t_3}{C_{die}} I_g \quad |_{t \geq t_3} \quad (1)$$

[0049] In Ausdruck (1) stellt $V_x(t - t_3)$ die Eingangsspannung der Spitzendetektionsschaltung 5 zu Zeitpunkt t nach Zeitpunkt t_3 dar. R_{gint} ist ein Wert eines Gate-Widerstands (Gate-Innenwiderstand) im Leistungshalbleiterelement 10. Der Gate-Innenwiderstand wird durch ein Material, wie zum Beispiel Polysilizium, auf dem Leistungshalbleiterelement 10 erzeugt. Alternativ beinhaltet der Gate-Innenwiderstand aufgrund eines Gate-Verdrahtungsmusters auf dem Leistungshalbleiterelement 10 einen parasitären Widerstand.

[0050] R_g in Ausdruck (1) stellt den Widerstand an der Treiberschaltung 42 und den Wert des Widerstandselements 21 dar und stellt eine andere Widerstandskomponente als der durch das Leistungshalbleiterelement 10 selbst verursachte Widerstand dar. Normalerweise wird R_g durch einen Widerstand bereitgestellt, der extern an dem Leistungshalbleiterelement 10 angebracht ist, was die Auswahl von Widerstandswerten und Temperatureigenschaften relativ einfach macht. C_{die} stellt einen Kapazitätswert dar, der von der Gate-Seite (im Fall von **Fig. 2A**) oder der Source-Seite (im Fall von **Fig. 2B**) des Leistungshalbleiterelements 10 aus betrachtet wird. I_g stellt einen Zufuhrstrom von der Stromzufuhr 11 dar.

[0051] In der Stromsteuereinheit 1 (**Fig. 1B** und dergleichen) wird, wenn der Stromsteuerschalter 12 ausgeschaltet ist, mit der Stromspeisung von der Stromzufuhr 11 zu dem Leistungshalbleiterelement 10 begonnen. Infolgedessen wird die Eingangsspannung V_x gemäß dem Ausdruck (1) in die Spitzendetektionsschaltung 5 eingegeben.

[0052] Insbesondere wird zunächst konstant eine Spannung $V_0 = (R_g + R_{gint}) \cdot I_g$ erzeugt, die durch Multiplizieren des Gesamtwerts des Gate-Innenwiderstands des Leistungshalbleiterelements 10, des Widerstandselements 21 und des Widerstands an der Treiberschaltung 42 mit dem Wert des von der Stromzufuhr 11 zugeführten Stroms erhalten wird, wie durch den ersten Term auf der rechten Seite von Ausdruck (1) dargestellt.

[0053] Darüber hinaus steigt nach dem Zeitpunkt t_3 , zu dem der Stromsteuerschalter 12 ausgeschaltet wird, aufgrund des Aufladens der parasitären Kapazität des Leistungshalbleiterelements 10 die Eingangsspannung V_x gemäß $(t - t_3) \cdot I_g / C_{die}$, wie durch den zweiten Term auf der rechten Seite des Ausdrucks (1) dargestellt. Wenn die parasitäre Kapazität C_{die} konstant ist und der Strom I_g der Stromzufuhr 11 einen konstanten Wert aufweist, steigt die Eingangsspannung V_x der Spitzendetektionsschaltung 5 linear an. Da die Änderung der Eingangsspannung V_x durch den Knoten N_y im Prozess des Anstiegs der Eingangsspannung V_x an den Kondensator 52 übertragen wird, ändert sich die Detektionsspannung V_{det} der Spannungsdetektionseinheit 6 äquivalent zu der Eingangsspannung V_x nach Zeitpunkt t_3 ($V_{det} = V_x$).

[0054] Wenn das Schaltersteuersignal 31 zu Zeitpunkt t_4 von dem L-Pegel zu dem H-Pegel zurückgeführt wird, wird der Stromsteuerschalter 12 in der Stromsteuereinheit 1 eingeschaltet, sodass der Strom von der Stromzufuhr 11 zu dem Referenzpotentialknoten 90 fließt. Gleichzeitig wird auch eine elektrische Ladung entladen, die in der parasitären Kapazität des Leistungshalbleiterelements 10 gespeichert ist. Wenn der Stromsteuerschalter 12 eingeschaltet ist, wird die Spannung der Stromversorgung 11 zwischen den Anschlüssen null. Daher wird die Eingangsspannung V_x der Spitzendetektionsschaltung 5 zu Zeitpunkt t_4 null ($V_x = 0$).

[0055] Andererseits wird das Schaltersteuersignal 35 in dem L-Pegel gehalten, und somit wird der Entladungsschalter 53 in der Spitzendetektionsschaltung 5 in dem Aus-Zustand gehalten. Daher wird nach Zeitpunkt t_4 die Detektionsspannung V_{det} der Spannungsdetektionseinheit 6 zu Zeitpunkt t_3 bei dem Spannungswert gehalten.

[0056] Wenn sich das Schaltersteuersignal 35 zu Zeitpunkt t_{4x} von dem L-Pegel zu dem H-Pegel ändert, wird der Entladungsschalter 53 in der Spitzendetektionsschaltung 5 (**Fig. 4**) eingeschaltet und somit wird die Spannung des Kondensators 52 null. Als Reaktion darauf ändert sich die Detektionsspannung V_{det} der Spannungsdetektionseinheit 6 zu null ($V_{det} = 0$). Es ist anzumerken, dass die Zeit t_{4x} auch mit einem nachfolgend beschriebenen Ausschaltbefehlszeitpunkt synchronisiert werden kann, zu dem

sich das Treibereingangssignal 411 von dem H-Pegel zu dem L-Pegel ändert.

[0057] Infolgedessen wird bei einer Temperaturmessung während der Ein-Periode eine nachfolgend beschriebene Eingangsspannung $V_x(t_4)$ durch die Spannungsdetektionseinheit 6 während einer Periode von Zeitpunkt t_4 bis t_4x als Detektionsspannung V_{det} gemessen.

[Ausdruck 2]

$$V_x(t_4) = (R_g + R_{gint}) \cdot I_g + \frac{t_4 - t_3}{C_{die}} \cdot I_g \quad |_{t_4 \geq t_3} \quad (2)$$

[0058] Wenn Strom I_g einen konstanten Wert aufweist und eine Zeitdifferenz zwischen Zeitpunkt t_3 und t_4 (d. h. eine Länge der Stromzufuhrperiode) konstant ist, ist ein Wert, der durch Subtrahieren des zweiten Terms auf der rechten Seite, der der Ladespannung der parasitären Kapazität entspricht, von $V_x(t_4)$, d. h. $V_0 = (R_g + R_{int}) \cdot I_g$ in dem ersten Term auf der rechten Seite, erhalten wird, vom Widerstandswert $(R_g + R_{int})$ abhängig. Es ist zu beachten, dass die Temperaturabhängigkeit der parasitären Kapazität für gewöhnlich gering ist und somit die Ladespannung der parasitären Kapazität als ein konstanter Wert angesehen werden kann.

[0059] Daher kann der Widerstandswert $(R_g + R_{gint})$ unter Verwendung eines Spannungswerts V_1 der Detektionsspannung V_{det} zu Zeitpunkt t_4 , der Zeitdifferenz zwischen Zeitpunkt t_3 und t_4 und eines bekannten I_g , der dem Ausgangsstrom der Stromzufuhr 11 entspricht, berechnet werden.

[0060] Hier weist jeder der Widerstandswerte R_g und R_{gint} eine Temperaturabhängigkeit auf. Wenn jeder der Widerstandswerte R_g und R_{gint} eine lineare Temperaturabhängigkeit aufweist, werden die Widerstandswerte $R_g(T)$ und $R_{gint}(T)$ bei Temperatur T als $R_g(T) \approx R_{g0} \cdot (1 + K_1 \cdot T)$ und $R_{gint}(T) \approx R_{gint0} \cdot (1 + K_2 \cdot T)$ unter Verwendung eines Temperaturkoeffizienten K dargestellt.

[0061] Wenn die Temperaturabhängigkeit des Widerstands R_g , abgesehen von dem Gate-Innenwiderstand des Leistungshalbleiterelements 10, ausreichend kleiner ist als die Temperaturabhängigkeit des Gate-Innenwiderstands R_{gint} des Leistungshalbleiterelements 10, d. h., wenn $\Delta R_g < \Delta R_{gint}$ ($K_1 < K_2$) für eine Differenz der Widerstandswerte, die durch die Temperatur T verursacht wird, stellt die Temperaturabhängigkeit des Widerstandswerts $(R_g + R_{gint})$ die Temperaturabhängigkeit des Gate-Innenwiderstands des Leistungshalbleiterelements 10 dar. Wie vorstehend beschrieben, kann $K_1 < K_2$ durch Auswählen des Widerstandselements (z. B. des Widerstandselements 21), das extern an dem Leistungshalbleiterelement 10 angebracht ist, um einen Widerstandswert R_g bereitzustellen, erreicht werden.

[0062] Daher kann die geschätzte Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 berechnet werden, indem der durch die vorstehend beschriebene Berechnung erhaltene Widerstandswert $(R_g + R_{gint})$ mit Kalibrierungsdaten verglichen wird, die die Beziehung zwischen Widerstandswerten und Temperaturen darstellen und im Voraus aufgezeichnet wurden. Die vorstehend beschriebenen Kalibrierungsdaten können z. B. dadurch erfasst werden, dass der Widerstandswert $(R_g + R_{gint})$ in ähnlicher Weise wie vorstehend beschrieben erhalten wird, wenn das Leistungsmodul 101 in einem thermostatischen Bad installiert ist und die Elementtemperatur des Leistungshalbleiterelements 10 von außen verändert wird.

[0063] Wenn es schwierig ist, Kalibrierungsdaten zu erfassen, wird eine Änderungsrate (Temperaturkoeffizient K_2) des Gate-Innenwiderstandswerts R_{gint} aufgrund der Temperatur im Voraus als Informationen erfasst, die die Beziehung zwischen Temperaturen und Widerstandswerten des Leistungshalbleiterelements 10 angeben, und die Berechnung unter Verwendung des berechneten Widerstandswerts $(R_g + R_{gint})$ und des Temperaturkoeffizienten K_2 ($K_2 > K_1$), die im Voraus erfasst wurden, durchgeführt, wodurch die Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 berechnet werden kann.

[0064] In einem Fall, in dem jedes von dem Ausgangsstrom (I_g) der Stromzufuhr 11 und der Zeitdifferenz zwischen Zeitpunkt t_3 und t_4 (Länge der Stromzufuhrperiode durch die Stromsteuereinheit 1) konstant gehalten wird, ist nur der Widerstandswert $(R_g + R_{gint})$ als eine Variable als Reaktion auf die Temperaturänderung des Leistungshalbleiterelements 10 in der Detektionsspannung V_{det} enthalten. Daher können die Informationen, die die Beziehung zwischen Temperaturen und Widerstandswerten des Leistungshalbleiterelements 10 angeben, ebenfalls im Voraus eingestellt werden, um die geschätzte Temperatur direkt aus der Detektionsspannung V_{det} oder V_0 zu berechnen, die aus der Detektionsspannung V_{det} extrahiert wurde, ohne den Widerstandswert $(R_g + R_{gint})$ zu berechnen.

(Temperaturmessung während Aus-Periode)

[0065] Als Nächstes wird die Temperaturmessung während der Aus-Zeit beschrieben. In **Fig. 5** schaltet, wenn das Treibereingangssignal 411 zu Zeitpunkt t_5 von dem H-Pegel zu dem L-Pegel schaltet, was dem Ausschaltbefehlszeitpunkt entspricht, das Schaltersteuersignal 31 zu Zeitpunkt t_6 von dem H-Pegel zu dem L-Pegel, nachdem eine bestimmte Verzögerungsperiode ab Zeitpunkt t_5 verstrichen ist. Wie vorstehend beschrieben, kann diese Verzögerungszeit einfach als eine durch den Widerstandswert bestimmte Zeitkonstante des Widerstandselements

21 und der Elementkapazität des Leistungshalbleiterelements 10 oder länger eingestellt werden.

[0066] Wenn sich das Schaltersteuersignal 31 zu Zeitpunkt t_6 von dem H-Pegel zu dem L-Pegel ändert, wird der Stromsteuerschalter 12 der Stromsteuereinheit 1 (**Fig. 1B** und dergleichen) ausgeschaltet. Folglich fließt der Strom von der Stromzufuhr 11 nicht zum Referenzpotentialknoten 90, sondern zum Leistungshalbleiterelement 10. Das heißt, die Stromsteuereinheit 1 führt den Strom zwischen dem Steueranschluss G und dem negativen Elektrodenanschluss S zu und die Stromzufuhrperiode wird während der Aus-Periode bereitgestellt.

[0067] Wenn der Stromsteuerschalter 12 ausgeschaltet ist und mit der Stromspeisung von der Stromzufuhr 11 zu dem Leistungshalbleiterelement 10 begonnen wird, ändert sich die Eingangsspannung V_x der Spitzendetektionsschaltung 5 gemäß dem vorstehenden Ausdruck (1). Es ist zu beachten, dass Zeitpunkt t_3 in Ausdruck (1) durch Zeitpunkt t_6 ersetzt wird.

[0068] Somit sind, ähnlich wie bei der vorstehend beschriebenen Situation nach Zeitpunkt t_3 , auch in der nach Zeitpunkt t_6 bereitgestellten Stromzufuhrperiode die Eingangsspannung V_x der Spitzendetektionsschaltung 5 und die Detektionsspannung V_{det} der Spannungsdetektionseinheit 6 eine Summe der konstant erzeugten Spannung $V_0 = (R_g + R_{gint}) \cdot I_g$ und $(t - t_6) \cdot I_g / C_{die}$, was die Ladespannung der parasitären Kapazität des Leistungshalbleiterelements 10 ist, und steigen aufgrund des Ladens der parasitären Kapazität mit einer verstrichenen Zeit von Zeitpunkt t_6 an. Das heißt, die Verhaltensweisen der Eingangsspannung V_x und der Detektionsspannung V_{det} nach Zeitpunkt t_6 sind gleich denen nach Zeitpunkt t_3 .

[0069] Ähnlich der Messung während der Ein-Periode, wenn sich das Schaltersteuersignal 31 zu Zeitpunkt t_7 von dem L-Pegel zu dem H-Pegel ändert, wird der Stromsteuerschalter 12 in der Stromsteuereinheit 1 eingeschaltet und somit wird die Eingangsspannung V_x der Spitzendetektionsschaltung 5 null ($V_x = 0$). Andererseits wird der Entladungsschalter 53 in der Spitzendetektionsschaltung 5 bis zum Zeitpunkt t_{7x} ausgeschaltet gehalten, bei dem sich das Schaltersteuersignal 31 von dem L-Pegel zu dem H-Pegel ändert. Daher wird nach Zeitpunkt t_7 die Detektionsspannung V_{det} der Spannungsdetektionseinheit 6 zu Zeitpunkt t_7 bei dem Spannungswert gehalten.

[0070] Daher kann der Widerstandswert ($R_g + R_{gint}$), wie in Bezug auf die Ein-Periode beschrieben, unter Verwendung eines Spannungswerts V_2 der Detektionsspannung V_{det} von Zeitpunkt t_7 bis t_{7x} , einer Zeitdifferenz zwischen Zeitpunkt t_6 und t_7 (Länge

der Stromzufuhrperiode) und eines bekannten I_g , der dem Ausgangsstrom der Stromzufuhr 11 entspricht, auch in der Aus-Periode berechnet werden.

[0071] Wie vorstehend beschrieben, kann durch Ausgestalten der Halbleitervorrichtung 100 derart, dass die Temperaturabhängigkeit des Widerstandswerts R_g , der nicht der Gate-Innenwiderstand des Leistungshalbleiterelements 10 ist, ausreichend kleiner als die Temperaturabhängigkeit des Gate-Innenwiderstandswerts R_{gint} des Leistungshalbleiterelements 10 ist, die geschätzte Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 durch Vergleichen des Widerstandswerts ($R_g + R_{gint}$), der durch Berechnung erhalten wird, mit Kalibrierdaten, die die Beziehung zwischen Widerstandswerten und im Voraus aufgezeichneten Temperaturen darstellen, berechnet werden. Alternativ kann, wie vorstehend beschrieben, die Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 auch unter Verwendung des Temperaturkoeffizienten K_2 ($K_2 > K_1$) des Gate-Innenwiderstandswerts R_{gint} , der im Voraus erhalten wurde, und des berechneten Widerstandswerts ($R_g + R_{gint}$) berechnet werden.

[0072] Darüber hinaus kann, wie in Bezug auf die Ein-Periode beschrieben, in einem Fall, in dem jedes von dem Ausgangsstrom (I_g) der Stromzufuhr 11 und der Zeitdifferenz zwischen Zeitpunkt t_6 und t_7 (Länge der Stromzufuhrperiode durch die Stromsteuereinheit 1) konstant gehalten wird, die geschätzte Temperatur auch direkt aus der Detektionsspannung V_{det} oder V_0 , die aus der Detektionsspannung V_{det} extrahiert wird, berechnet werden, ohne den Widerstandswert ($R_g + R_{gint}$) zu berechnen.

[0073] In dem Beispiel aus **Fig. 5** wird der Zeitpunkt, zu dem sich das Schaltersteuersignal 31 von dem H-Pegel zu dem L-Pegel verschiebt (Zeitpunkt, zu dem mit der Stromzufuhr von der Stromzufuhr 11 begonnen wird), mit dem Zeitpunkt synchronisiert, zu dem sich das Schaltersteuersignal 35 von dem H-Pegel zu dem L-Pegel verschiebt (entsprechend dem Zeitpunkt, zu dem mit der Spannungsdetektion begonnen wird). Es kann jedoch auch eine gewisse Zeitdifferenz zwischen diesen Zeitpunkten bereitgestellt werden.

[0074] Darüber hinaus werden, wie in **Fig. 5** veranschaulicht, die Länge von Zeitpunkt t_3 bis t_{4x} und die Länge von Zeitpunkt t_6 bis t_{7x} (d. h. die Länge der Stromzufuhrperiode), die für die Temperaturmessung während der Ein-Periode und der Aus-Periode erforderlich sind, durch Subtrahieren der Periodenlänge, die für die Ein-/Aus-Schaltung des Stromsteuerschalters 12 erforderlich ist, und der Periodenlänge, die für die Ein-/Aus-Schaltung des Entladungsschalters 53 erforderlich ist, von der Länge der Ein-Periode oder der Aus-Periode wäh-

rend der Schaltung erhalten und können zum Beispiel auf ungefähr mehrere Mikrosekunden bis mehrere Hundert Mikrosekunden eingestellt werden.

[Wirkung der ersten Ausführungsform]

[0075] Wie vorstehend beschrieben, misst das Leistungsmodul 101 gemäß der Ausführungsform eine Spitzenspannung zwischen dem Steueranschluss G oder dem negativen Elektrodenanschluss S und dem Referenzpotentialknoten 90, wenn Strom I_g von der Stromzufuhr 11 in einen Weg zwischen dem Steueranschluss G und dem negativen Elektrodenanschluss S während der Ein-Periode oder der Aus-Periode des Leistungshalbleiterelements 10 eingespeist wird, wodurch es dazu in der Lage ist, die Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 stabil zu schätzen. Der Zeitpunkt für den Beginn der Einspeisung des Stroms kann als ein Zeitpunkt nach dem Verstreichen einer Verzögerungszeit vom Anstiegszeitpunkt oder Abfallzeitpunkt der Treiberspannung bestimmt werden, wobei die Verzögerungszeit einfach als eine Zeitkonstante des Gate-Widerstands und der Elementkapazität oder eine Zeit, die länger oder gleich der Zeitkonstante ist, eingestellt wird.

Modifikation der ersten Ausführungsform.

[0076] Eine Modifikation der ersten Ausführungsform beschreibt eine Modifikation einer Konfiguration der Spitzendetektionsschaltung 5.

[0077] Fig. 6 ist ein Schaltplan, der eine Konfiguration für eine Spitzendetektionsschaltung 5 gemäß der Modifikation der ersten Ausführungsform beschreibt. In der Modifikation der ersten Ausführungsform weist die Spitzendetektionsschaltung 5 die in Fig. 6 veranschaulichte Konfiguration in der Halbleitervorrichtung 100 in Fig. 1A auf.

[0078] Wie in Fig. 6 veranschaulicht, wird in der Spitzendetektionsschaltung 5 gemäß der Modifikation der ersten Ausführungsform der Entladungsschalter 53 in der Schaltungskonfiguration in Fig. 4 durch ein Widerstandselement 54 ersetzt. Das heißt, in der Modifikation der ersten Ausführungsform ist eine Ein-/Ausschaltsteuerung des Entladungsschalters 53 unnötig, was zu der vereinfachten Konfiguration der Spitzendetektionsschaltung 5 führt.

[0079] Fig. 7 ist ein Zeitdiagramm zum Beschreiben eines Temperaturschätzverfahrens durch eine Halbleitervorrichtung gemäß der Modifikation der ersten Ausführungsform.

[0080] Unter Bezugnahme auf Fig. 7 ändert sich in der Modifikation der ersten Ausführungsform eine Spannungswellenform des Kondensators 52 in der Spitzendetektionsschaltung 5 und somit ändert sich eine Wellenform der Detektionsspannung V_{det} der

Spannungsdetektionseinheit 6 von jener in der ersten Ausführungsform (Fig. 5). Da die anderen Signalwellenformen und Spannungswellenformen in Fig. 7 gleich denen in Fig. 5 sind, wird die detaillierte Beschreibung davon nicht wiederholt.

[0081] In Fig. 7 wird der Kondensator 52 durch das Widerstandselement 54 von Zeitpunkt t_4 während der Ein-Periode und von Zeitpunkt t_7 während der Aus-Periode entladen, wobei der Stromsteuerschalter 12 der Stromsteuereinheit 1 als Reaktion auf das Schaltsteuersignal 31 ausgeschaltet wird. Infolgedessen nimmt die Detektionsspannung V_{det} gemäß einer RC-Zeitkonstante, die durch einen Kapazitätswert des Kondensators 52 und einen Widerstandswert des Widerstandselements 54 bestimmt wird, allmählich ab.

[0082] In der Modifikation der ersten Ausführungsform ist der Zeitpunkt der Abtastung des Spannungswerts zum Berechnen des Widerstandswerts ($R_g + R_{gint}$) in Bezug auf die in Fig. 7 veranschaulichte Detektionsspannung V_{det} festgelegt, sodass die verstrichene Zeit ab Zeitpunkt t_4 oder t_7 konstant ist.

[0083] Infolgedessen kann ein Einfluss der Entladung des Kondensators 52 beseitigt werden und eine Veränderung der Spannung $V_0 = (R_g + R_{gint}) \cdot I_g$, die durch die Temperaturänderung des Leistungshalbleiterelements 10 verursacht wird, kann extrahiert werden. Es ist anzumerken, dass die Spannungsdetektionseinheit 6 in der ersten Ausführungsform (Fig. 5) vorzugsweise Spannungswerte V_1 und V_2 erfassen kann, indem die Detektionsspannung V_{det} gleichzeitig mit oder unmittelbar nach Zeitpunkt t_4 oder t_7 abgetastet wird.

[0084] Somit kann auch in der Modifikation der ersten Ausführungsform, in der die Spitzendetektionsschaltung 5 die vereinfachte Konfiguration aufweist, die Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 während der Ein-Periode oder der Aus-Periode des Leistungshalbleiterelements 10 stabil erhalten werden, ähnlich wie bei der ersten Ausführungsform.

[0085] Es ist zu beachten, dass die vorstehend beschriebene RC-Zeitkonstante in der Spitzendetektionsschaltung 5 derart eingestellt werden muss, dass der Kondensator 52 innerhalb einer Periode (z. B. einer Hälfte eines Schaltzyklus) entladen wird, der durch einen Schaltzyklus (Periodenlänge von Zeitpunkt t_0 bis t_2 in Fig. 7) des Leistungshalbleiterelements 10 bestimmt wird. Zum Beispiel sind der Kondensator 52 und das Widerstandselement 54 vorzugsweise derart ausgestaltet, dass die Entladung des Kondensators 52 in mehreren Mikrosekunden bis mehreren Hundert Mikrosekunden abgeschlossen ist.

[0086] Im Gegensatz dazu wird in der Spitzendetektionsschaltung 5 gemäß der ersten Ausführungsform die Detektionsspannung V_{det} nach Zeitpunkt t_4 und t_7 konstant gehalten. Daher kann erwartet werden, dass ein einfacher Detektor, der hinsichtlich der Reaktionsgeschwindigkeit der Zeit langsam ist, verwendet wird, um die Spannungsdetektionseinheit 6 günstiger aufzubauen als die Modifikation der ersten Ausführungsform.

Zweite Ausführungsform.

[0087] Eine zweite Ausführungsform beschreibt eine weitere Modifikation der Konfiguration der Spitzendetektionsschaltung 5.

[0088] Fig. 8 ist ein Schaltplan, der ein erstes Konfigurationsbeispiel für eine Spitzendetektionsschaltung gemäß der zweiten Ausführungsform beschreibt.

[0089] Wie in Fig. 8 veranschaulicht, beinhaltet die Spitzendetektionsschaltung 5 gemäß dem ersten Konfigurationsbeispiel der zweiten Ausführungsform zusätzlich zu der in Fig. 4 veranschaulichten Konfiguration ferner einen Operationsverstärker 55. Der Operationsverstärker 55 ist zwischen dem Eingangsknoten N_x und der Diode 51 (Anode) verbunden.

[0090] Der Betriebsverstärker 55 ist auf eine Weise der Spannungsfolgerverbindung verbunden und überträgt die Spannung des Eingangsknotens N_x an die Anode der Diode 51. Daher wird die Eingangsspannung V_x , die die gleiche wie die der ersten Ausführungsform ist, in die Diode 51 eingegeben. Daher ist die Detektionsspannung V_{det} durch die Spannungsdetektionseinheit 6 die gleiche wie die in der ersten Ausführungsform und die Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 kann während der Ein-Periode oder der Aus-Periode des Leistungshalbleiterelements 10 unter Verwendung des gleichen Verfahrens wie das in der ersten Ausführungsform stabil erhalten werden.

[0091] In der Schaltungskonfiguration in Fig. 4 fließt ein Teil des Stroms von der Stromsteuereinheit 1, d. h., der Zufuhrstrom (I_g) von der Stromzufuhr 11 fließt zwischen dem Eingangsknoten N_x und dem Knoten N_s , die parallel mit der Stromzufuhr 11 verbunden sind, und wird zum Laden des Kondensators 52 verwendet. Daher kann sich die Genauigkeit der Temperaturschätzung aufgrund eines Fehlers, der dem Strom entspricht, der durch die Spitzendetektionsschaltung 5 fließt, verschlechtern, wenn die Temperatur anhand der vorstehenden Beziehung von Ausdruck (1) geschätzt wird.

[0092] Im Gegensatz dazu ist in der Schaltungskonfiguration in Fig. 8 eine Eingangsstufe mit einer hohen Impedanz mit dem Eingangsknoten N_x ver-

bunden, was es ermöglicht, zu verhindern, dass der Zufuhrstrom aus der Stromzufuhr 11 durch die Spitzendetektionsschaltung 5 fließt. Durch Verwenden eines aktiven Elements, wie etwa eines Operationsverstärkers 55, das eine hohe Eingangsimpedanz in der Eingangsstufe aufweist, um die Eingangsimpedanz der Spitzendetektionsschaltung 5 zu erhöhen, wie vorstehend beschrieben, kann fast der gesamte Zufuhrstrom aus der Stromzufuhr 11 durch das Leistungshalbleiterelement 10 geleitet werden. Das heißt, der Betriebsverstärker 55 entspricht einem Beispiel für eine „Impedanzumwandlungsschaltung“.

[0093] Infolgedessen kann in der Halbleitervorrichtung, die die Spitzendetektionsschaltung gemäß dem ersten Konfigurationsbeispiel der zweiten Ausführungsform beinhaltet, ein Fehler der gemäß dem Verhältnis des Ausdrucks (1) berechneten Temperatur reduziert werden und kann die Genauigkeit des Schätzens der Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 verbessert werden.

[0094] Fig. 9 ist ein Schaltplan, der ein zweites Konfigurationsbeispiel für die Spitzendetektionsschaltung gemäß der zweiten Ausführungsform beschreibt.

[0095] Wie in Fig. 9 veranschaulicht, beinhaltet die Spitzendetektionsschaltung 5 gemäß dem zweiten Konfigurationsbeispiel der zweiten Ausführungsform ferner eine Diode 56 mit den gleichen Eigenschaften wie denen der Diode 51 und einen Betriebsverstärker 58 zusätzlich zu der in Fig. 8 veranschaulichten Konfiguration (erstes Konfigurationsbeispiel).

[0096] Die Diode 56 wird in einen Rückführweg des Betriebsverstärkers 55, der auf eine Weise einer Spannungsfolgerverbindung verbunden ist, eingefügt und damit verbunden und bewirkt einen Spannungsabfall, der dem der Diode 51 entspricht. Eine negative Vorspannung (V_-) zum stabilen Inkontaktbringen der Diode 56 in Leitung kann einer Kathode der Diode 56 durch ein Widerstandselement zugeführt werden. Die Diode 56 entspricht einem Beispiel für eine „zweite Diode“.

[0097] Mit einer solchen Konfiguration kann ein Einfluss des durch die Diode 51 verursachten Spannungsabfalls beseitigt werden und eine Differenz zwischen einer Spannung des Knotens N_y und einer Ausgangsspannung des Betriebsverstärkers 55 (d. h. einer Spannung des Eingangsknotens N_x) kann reduziert werden. Infolgedessen kann eine Differenz zwischen der Detektionsspannung V_{det} durch die Spannungsdetektionseinheit 6 und der Eingangsspannung V_x der Spitzendetektionsschaltung 5 verringert werden, und somit kann die Genauigkeit des Schätzens der Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 weiter verbessert werden.

[0098] Der Betriebsverstärker 58 ist zwischen dem Knoten Ny und der Spannungsdetektionseinheit 6 verbunden. Der Operationsverstärker 58 ist auf eine Weise der Spannungsfolgerverbindung verbunden und gibt eine Spannung, die der Spannung des Knotens Ny entspricht, an die Spannungsdetektionseinheit 6 als Detektionsspannung V_{det} aus. Durch das Anordnen des Operationsverstärkers 58 nimmt eine Ausgangsimpedanz der Spitzendetektionsschaltung 5 ab. Infolgedessen wird eine höhere Spannungsdetektionsgenauigkeit in der Spannungsdetektionseinheit 6 erwartet. Da es außerdem möglich ist, zu verhindern, dass sich das Potential des Knotens Ny aufgrund des Einflusses von der Spannungsdetektionseinheit 6 ändert, kann eine höhere Genauigkeit der Detektion der Detektionsspannung V_{det} auch aus dieser Perspektive erreicht werden.

[0099] Es ist zu beachten, dass der Betriebsverstärker 58 in dem in **Fig. 8** veranschaulichten ersten Konfigurationsbeispiel auch zusätzlich zwischen dem Knoten Ny und der Spannungsdetektionseinheit 6 verbunden sein kann. Der Operationsverstärker 58 entspricht zudem einem Beispiel für eine „Impedanzumwandlungsschaltung“.

[0100] Wie vorstehend beschrieben, wird durch Verwenden der Spitzendetektionsschaltung gemäß der zweiten Ausführungsform die Spannungsänderung, die durch die Temperaturänderung des Leistungshalbleiterelements 10 verursacht wird, direkt in der Detektionsspannung V_{det} deutlicher reflektiert, und somit kann die Genauigkeit des Schätzens der Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 weiter verbessert werden. In den Konfigurationsbeispielen in den **Fig. 8** und **9** kann der Entladungsschalter 53 ähnlich wie in **Fig. 6** (Modifikation der ersten Ausführungsform) ebenfalls durch ein Widerstandselement 54 ersetzt werden.

Dritte Ausführungsform.

[0101] Eine dritte Ausführungsform beschreibt eine Modifikation der Ein-/Aussteuerung des Stromsteuerschalters 12 der Stromsteuereinheit 1. Die erste Ausführungsform hat das Beispiel, in dem eine Aus-Periode des Stromsteuerschalters 12 während jeder von der Ein-Periode und der Aus-Periode bereitgestellt wird, als eine Periode beschrieben, in der die Gate-Spannung des Leistungshalbleiterelements 10 stabil ist, mit Ausnahme der Anstiegs- und Abfallperiode. In der dritten Ausführungsform ist jedoch eine Vielzahl von Aus-Perioden des Stromsteuerschalters 12 bereitgestellt.

[0102] **Fig. 10** ist ein Zeitdiagramm zum Beschreiben eines Temperaturschätzverfahrens durch eine Halbleitervorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform. In **Fig. 10** wird eine Vielzahl von Aus-Perioden des Stromsteuerschalters 12, d. h. eine

Vielzahl von Stromzufuhrperioden durch die Stromzufuhr 11, während der Aus-Periode des Leistungshalbleiterelements 10 bereitgestellt.

[0103] In dem Beispiel aus **Fig. 10** wird eine Temperaturmessung während der Aus-Periode nach Zeitpunkt t_5 durchgeführt, bei der das Leistungshalbleiterelement 10 ausgeschaltet wird. Konkret wird, ähnlich wie in **Fig. 5**, über eine Periode von Zeitpunkt t_6 bis Zeitpunkt t_7 nach einem Verstreichen einer bestimmten Verzögerungsperiode von Zeitpunkt t_5 , der dem Ausschaltbefehlszeitpunkt entspricht, das Schaltersteuersignal 31 auf den L-Pegel eingestellt und eine Stromzufuhrperiode durch die Stromsteuereinheit 1 bereitgestellt. Wie in der ersten Ausführungsform beschrieben, wird der Strom in dieser Stromzufuhrperiode von der Stromzufuhr 11 dem Leistungshalbleiterelement 10 über die Gate-Verdrahtungseinheit 2 zugeführt, sodass die Eingangsspannung V_x der Spitzendetektionsschaltung 5 gemäß dem vorstehenden Ausdruck (1) ansteigt.

[0104] Zum Zeitpunkt t_7 ändert sich das Schaltersteuersignal 31 von dem L-Pegel zu dem H-Pegel. In einer H-Pegel-Periode des Schaltersteuersignals 31 wird der Stromsteuerschalter 12 in der Stromsteuereinheit 1 eingeschaltet und beide Enden der Stromzufuhr 11 weisen das gleiche Potential auf und somit wird die Eingangsspannung V_x null ($V_x = 0$).

[0105] Nach Zeitpunkt t_7 wird erneut eine L-Pegel-Periode des Schaltersteuersignals 31 über eine Periode von Zeitpunkt t_8 bis t_9 bereitgestellt. Ferner ändert sich das Schaltersteuersignal 31 zu Zeitpunkt t_9 von dem L-Pegel zu dem H-Pegel und danach wird die L-Pegel-Periode des Schaltersteuersignals 31 erneut über eine Periode von Zeitpunkt t_{10} bis t_{11} bereitgestellt.

[0106] In der L-Pegel-Periode des Schaltersteuersignals 31 über jede der Periode von Zeitpunkt t_8 bis t_9 und der Periode von Zeitpunkt t_{10} bis t_{11} steigt die Eingangsspannung V_x der Spitzendetektionsschaltung 5 gemäß dem vorstehenden Ausdruck (1) ähnlich der Periode von Zeitpunkt t_6 bis t_7 .

[0107] Wie vorstehend beschrieben, wird in dem Beispiel aus **Fig. 10** die Vielzahl von L-Pegel-Perioden des Schaltersteuersignals 31, wie etwa die Perioden von Zeitpunkt t_6 bis t_7 , von Zeitpunkt t_8 bis t_9 , von Zeitpunkt t_{10} bis t_{11} , ..., von Zeitpunkten t_{k-1} bis t_k , d. h. die Vielzahl von Stromzufuhrperioden durch die Stromsteuereinheit 1 durch Ausschalten des Stromsteuerschalters 12 während der Aus-Periode bereitgestellt. Die Zeitlängen der L-Pegel-Perioden des Schaltersteuersignals 31 sind so eingestellt, dass sie zueinander gleich sind. Daher ist das Verhalten (die Wellenform) der Eingangsspannung V_x in jeder der L-Pegel-Perioden des Schalter-

steuersignals 31 gleich. Daher weist die Eingangsspannung V_x am Ende von jeder der L-Pegel-Perioden des Schaltersteuersignals 31 den gleichen Spannungswert V_2 auf.

[0108] Auch in der in **Fig. 5** veranschaulichten Spitzendetektionsschaltung 5, wenn die Diode 51 während der Aus-Periode des Entladungsschalters 53 aus der Leitung gebracht wird, nimmt die Spannung des Knotens N_y aufgrund eines Leckstroms des Entladungsschalters 53 oder dergleichen tatsächlich allmählich ab. **Fig. 10** betont auch eine leichte Abnahme der Detektionsspannung V_{det} , die durch die graduelle Abnahme verursacht wird. Zum Beispiel wird V_x nach Zeitpunkt t_7 null ($V_x = 0$) und die Diode 51 wird aus der Leitung gebracht, was dazu führt, dass die Detektionsspannung V_{det} von V_2 allmählich abnimmt.

[0109] Da die L-Pegel-Periode des Schaltersteuersignals 31 über die Periode von Zeitpunkt t_8 bis t_9 bereitgestellt wird, steigt die Eingangsspannung V_x ähnlich wie die Periode von Zeitpunkt t_6 bis t_7 . Infolgedessen wird, wenn die Eingangsspannung V_x erneut höher als die Spannung (Detektionsspannung V_{det}) des Knotens N_y wird, die Diode 51 in Leitung gebracht und die Detektionsspannung V_{det} kann ungefähr zu Zeitpunkt t_7 zu V_2 zurückkehren.

[0110] Wie vorstehend beschrieben, kann gemäß der dritten Ausführungsform durch mehrmaliges Ein- und Ausschalten des Stromsteuerschalters 12 und wiederholtes Bereitstellen der Vielzahl von Stromzufuhrperioden eine Dämpfung der Ausgangsspannung der Spitzendetektionsschaltung 5, d. h. der Detektionsspannung V_{det} der Spannungsdetektionseinheit 6, aufgehoben werden. Infolgedessen kann ein einfacher Detektor, der hinsichtlich der Reaktionsgeschwindigkeit der Zeit langsam ist, als Spannungsdetektionseinheit 6 verwendet werden. Es ist anzumerken, dass dieser Vorgang des Ein- und Ausschaltens des Stromsteuerschalters 12 über die gesamte Periode, in der die Gate-Spannung des Leistungshalbleiterelements 10 stabil ist, mit Ausnahme der Anstiegsperiode und der Abstiegsperiode, d. h. während der gesamten Aus-Periode und während der gesamten Ein-Periode, wiederholt werden kann.

[0111] Zur Vereinfachung der Beschreibung zeigt **Fig. 10** das Beispiel, bei dem die Aus-Periode des Stromsteuerschalters 12 (Stromzufuhrperiode durch die Stromsteuereinheit 1) während der Ein-Periode nicht bereitgestellt wird und keine Temperaturmessung durchgeführt wird. Jedoch kann eine Temperaturmessung sowohl während der Ein-Periode als auch während der Aus-Periode durchgeführt werden, und eine Vielzahl von Aus-Perioden des Stromsteuerschalters 12 (Stromzufuhrperioden durch die

Stromzufuhr 11) kann in mindestens einer der Temperaturmessungen bereitgestellt werden.

[0112] Darüber hinaus kann in der dritten Ausführungsform eine Reaktionsverzögerung der Spitzendetektionsschaltung 5 auch abgeschwächt werden, indem der Stromsteuerschalter 12 wiederholt mehrmals ein- und ausgeschaltet wird. Insbesondere ist bei der in **Fig. 6** veranschaulichten Spitzendetektionsschaltung 5 die Reaktionsgeschwindigkeit durch die durch den Kondensator 52 und das Widerstandselement 54 bestimmte RC-Zeitkonstante begrenzt, und wenn die Eingangsspannung V_x nicht so viele Impulse aufweist, kann der Spitzenwert der Eingangsspannung V_x höher als die Ausgangsspannung (Detektionsspannung V_{det}) der Spitzendetektionsschaltung 5 werden. Um dies anzugehen, kann durch wiederholtes mehrmaliges Ein- und Ausschalten des Stromsteuerschalters 12 wie in der dritten Ausführungsform eine Vielzahl von Impulswellenformen als Eingangsspannung V_x bereitgestellt werden und kann somit die Spitzendetektionsschaltung 5 den Spitzenwert der Eingangsspannung V_x in der Detektionsspannung V_{det} genau widerspiegeln.

[0113] Es ist zu beachten, dass die Länge der Aus-Periode des Stromsteuerschalters 12 in einigen Fällen aufgrund eines Einflusses von Jitter oder dergleichen einer Steuerung nicht genau den gleichen Wert aufweisen kann. Wenn die Länge der Aus-Periode variiert, wird ein anderer Änderungsfaktor als die Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 in dem Spitzenwert der Eingangsspannung V_x eingeschlossen, was zu Bedenken hinsichtlich einer Beeinträchtigung der Temperaturschätzgenauigkeit führt. Selbst in einem solchen Fall kann durch Bereitstellen der Aus-Periode des Stromsteuerschalters 12, d. h. der Periode zum Messen der Eingangsspannung V_x innerhalb einer Aus-Periode oder Ein-Periode wie in der dritten Ausführungsform, ein Einfluss eines durch Jitter verursachten Fehlers gemittelt werden. Infolgedessen kann die Beeinträchtigung der Temperaturschätzgenauigkeit verhindert werden.

Vierte Ausführungsform.

[0114] Eine vierte Ausführungsform beschreibt ein Beispiel, in dem der berechnete Wert der geschätzten Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10, der in jeder der ersten bis dritten Ausführungsform berechnet wird, verwendet wird, um einen stationären thermischen Widerstand oder einen transienten thermischen Widerstand des Leistungshalbleiterelements 10 zu berechnen.

[0115] Wenn der stationäre thermische Widerstand berechnet wird, muss sich das Leistungshalbleiterelement 10 in einem thermisch stationären Zustand (thermischen Gleichgewichtszustand) befinden. Die-

ser stationäre Zustand kann zum Beispiel erreicht werden, indem ein bestimmter DC-Strom durch das Leistungshalbleiterelement 10 geleitet wird, um dadurch einen bestimmten Leistungsverlust zu erzeugen, wie in einem Leistungszyklustest, der einer der allgemeinen Zuverlässigkeitstests für Leistungshalbleiterelemente ist.

[0116] Alternativ kann ein pseudo-thermischer Gleichgewichtszustand auch durch kontinuierliches Schalten des Leistungshalbleiterelements 10 erzeugt werden, um dadurch einen Strom, der durch das Leistungshalbleiterelement 10 fließt, auf eine feste Menge zu steuern. Zum Beispiel kann ein pseudo-thermischer Gleichgewichtszustand erzeugt werden, indem ein Strom jedes Leistungshalbleiterelements in einer Konfiguration, in der vier Leistungshalbleiterelemente verwendet werden, um eine Leitungsrichtung eines Stroms wie eine Vollbrückenschaltung zu steuern, oder einer Konfiguration, in der ein induktiver Verbraucher oder ein Widerstandsverbraucher mit einer Halbbrückenschaltung verbunden ist, die zwei Leistungshalbleiterelemente beinhaltet, auf einen festen Betrag gesteuert wird.

[0117] Fig. 11 ist ein Konfigurationsdiagramm, das ein Beispiel für ein Leistungsmodul gemäß der vierten Ausführungsform veranschaulicht.

[0118] Wie in Fig. 11 veranschaulicht, beinhaltet ein Leistungsmodul 103 gemäß der vierten Ausführungsform ferner eine Hauptstromdetektionseinheit 81 zum Messen des Hauptstroms I_{mt} und eine Hauptspannungsdetektionseinheit 82 zum Detektieren einer Hauptspannung (Drain-Source-Spannung) V_{mt} des Leistungshalbleiterelements 10 zusätzlich zu der Konfiguration des Leistungsmoduls 101 oder 102 (Fig. 1A, Fig. 3) gemäß der ersten Ausführungsform. Der durch die Hauptstromdetektionseinheit 81 gemessene Hauptstrom I_{mt} und die durch die Hauptspannungsdetektionseinheit 82 detektierte Hauptspannung V_{mt} werden in die Hauptsteuereinheit 41 eingegeben. Somit kann die Hauptsteuereinheit 41 einen in dem Leistungshalbleiterelement 10 erzeugten Leistungsverlust unter Verwendung eines Produkts aus der Hauptspannung V_{mt} und dem Hauptstrom I_{mt} berechnen.

[0119] Fig. 12 ist ein Zeitdiagramm zum Beschreiben eines Verfahrens zum Schätzen des thermischen Widerstands und der thermischen Impedanz durch eine Halbleitervorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform. Ein in Fig. 12 veranschaulichteter Steuerprozess kann zum Beispiel durch die Hauptsteuereinheit 41 durchgeführt werden.

[0120] Unter Bezugnahme auf Fig. 12 wird das Leistungshalbleiterelement 10 bis Zeitpunkt t_5 mehrmals schaltgesteuert, sodass der vorstehend beschrie-

bene thermische Gleichgewichtszustand gebildet wird. Dann wird das Leistungshalbleiterelement 10 nach Zeitpunkt t_5 in dem Aus-Zustand gehalten.

[0121] In der Aus-Periode des Leistungshalbleiterelements 10 wird V_{mt} erzeugt und $I_{mt} = 0$. Umgekehrt wird in der Ein-Periode des Leistungshalbleiterelements 10 I_{mt} erzeugt und wird ein endlicher Widerstand (Ein-Widerstand) in dem Leistungshalbleiterelement 10 erzeugt. Daher tritt in der Ein-Periode aufgrund des vorstehend beschriebenen Ein-Widerstands ein Leistungsverlust (Leitungsverlust) von $Pls = V_{mt} \cdot I_{mt}$ auf. Weiterhin tritt in dieser Periode beim Ein- und Ausschalten eine Periode auf, in der $V_{mt} \cdot I_{mt}$ nicht null ist, und tritt ein Leistungsverlust (Schaltverlust) von $Pls = V_{mt} \cdot I_{mt}$ auf. Aufgrund dieser Leistungsverluste steigt die Temperatur T_j des Leistungshalbleiterelements 10.

[0122] Da der Strom nach Zeitpunkt t_5 nicht durch das Leistungshalbleiterelement 10 fließt, nimmt die Temperatur T_j des Leistungshalbleiterelements 10 gemäß einer thermischen Impedanz zwischen dem Leistungshalbleiterelement 10 und einem nicht gezeigten Kühler und der Kühlfähigkeit des Kühlers allmählich ab.

[0123] Eine Zeitkonstante der Temperaturänderung zu diesem Zeitpunkt kann einfach aus einem thermischen Widerstand und einer thermischen Kapazität eines Wärmeableitungswegs des Leistungshalbleiterelements 10 geschätzt werden. Im Allgemeinen beträgt die vorstehend beschriebene Zeitkonstante ungefähr mehrere Dutzend Mikrosekunden bis mehrere Hundert Mikrosekunden in der Nähe des Leistungshalbleiterelements 10. Im Allgemeinen ist dieser Wert ein Wert in der Nähe des Schaltzyklus des Leistungshalbleiterelements 10 oder ist länger als der Schaltzyklus. In der ersten bis dritten Ausführungsform, die bisher beschrieben sind, wird davon ausgegangen, dass die Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 während des Ein-/Aus-Vorgangs geschätzt wird, und somit ist die Temperaturänderung des Leistungshalbleiterelements 10 während der Temperaturmessung fast vernachlässigbar.

[0124] Im Gegensatz dazu wird in der vierten Ausführungsform die Temperaturänderung des Leistungshalbleiterelements 10, die lange Zeit in dem Aus-Zustand gehalten wird, unter Verwendung des in der dritten Ausführungsform beschriebenen Verfahrens gemessen, wodurch ein thermischer Widerstand und eine thermische Impedanz des Leistungshalbleiterelements 10 gemessen werden.

[0125] Insbesondere wird der Stromsteuerschalter 12 wiederholt ein- und ausgeschaltet, sodass eine Vielzahl von L-Pegel-Perioden (d. h. Stromzufuhrperioden), die jeweils eine vorbestimmte bestimmte

Länge aufweisen, in dem Schaltersteuersignal 31 nach Zeitpunkt t_6 ähnlich wie in **Fig. 10** bereitgestellt wird. Wie in der ersten bis dritten Ausführungsform beschrieben, wird in jeder Aus-Periode des Stromsteuerschalters 12 eine Eingangsspannung V_x , die die Temperatur T_j zu dem Zeitpunkt widerspiegelt, durch die Stromzufuhr von der Stromsteuereinheit 1 (Stromzufuhr 11) erzeugt.

[0126] Daher kann durch Erfassen des Spitzenwerts der Eingangsspannung V_x von der Detektionsspannung V_{det} für jede Stromzufuhrperiode, in der der Stromsteuerschalter 12 ausgeschaltet ist, die geschätzte Temperatur (den geschätzten Wert von T_j) des Leistungshalbleiterelements 10 zu jedem Zeitpunkt berechnet werden. In dem Beispiel aus **Fig. 12** werden N (N : eine ganze Zahl größer oder gleich 2) Temperaturmessungen während einer Periode von der ersten L-Pegel-Periode (von Zeitpunkt t_6 bis t_7) zu der N -ten L-Pegel-Periode (von Zeitpunkt $t_n - 1$ bis t_n) durchgeführt.

[0127] Da das Leistungshalbleiterelement 10 nach Zeitpunkt t_5 in dem Aus-Zustand gehalten wird, wird das Leistungshalbleiterelement 10 allmählich abgekühlt. Daher nehmen der Spitzenwert der Eingangsspannung V_x und der Detektionsspannung V_{det} als Reaktion auf das Temperaturelement des Leistungshalbleiterelements 10 allmählich ab. Um die Abnahme der Temperatur T_j auf Grundlage der Abnahme der Detektionsspannung V_{det} zu berechnen, muss die Spitzendetektionsschaltung 5 eine Reaktionsgeschwindigkeit aufweisen, die die Abnahme des Spitzenwerts der Eingangsspannung V_x widerspiegeln kann, die durch die Abnahme der Temperatur des Leistungshalbleiterelements 10 in der Detektionsspannung V_{det} verursacht wird. Daher ist eine Reaktionszeitkonstante der Spitzendetektionsschaltung 5 vorzugsweise kürzer als eine thermische Zeitkonstante des Leistungshalbleiterelements 10.

[0128] **Fig. 13** ist ein Ablaufdiagramm zum Beschreiben eines Prozesses zum Berechnen des thermischen Widerstands und der thermische Impedanz durch die Halbleitervorrichtung gemäß der vierten Ausführungsform. Eine in **Fig. 13** veranschaulichte Reihe von Prozessen wird zum Beispiel durch die Hauptsteuereinheit 41 durchgeführt.

[0129] Die Hauptsteuereinheit 41 führt die Verarbeitung bei Schritt (nachfolgend einfach als „S“ bezeichnet) 110 bis S150 durch, wenn sich das Leistungshalbleiterelement 10 in dem vorstehend beschriebenen thermischen Gleichgewichtszustand befindet. In **Fig. 12** wird die Verarbeitung bei S110 bis S150 vor Zeitpunkt t_5 durchgeführt.

[0130] Die Hauptsteuereinheit 41 erfasst bei S110 die Hauptspannung V_{mt} (Momentanwert) des Leis-

tungshalbleiterelements 10, die durch die Hauptspannungsdetektionseinheit 82 gemessen wird, und erfasst bei S120 den Hauptstrom I_{mt} (Momentanwert) des Leistungshalbleiterelements 10, der durch die Hauptstromdetektionseinheit 81 gemessen wird. Da die bei S110 erfasste Hauptspannung V_{mt} und der bei S120 erfasste Hauptstrom I_{mt} die Messwerte zum gleichen Zeitpunkt sind, berechnet die Hauptsteuereinheit 41 bei S130 den Leistungsverlust P_{ls} (Momentanwert), der in dem Leistungshalbleiterelement 10 erzeugt wird, aus einem multiplizierten Wert der Hauptspannung V_{mt} und des Hauptstroms I_{mt} .

[0131] Bis zum Zeitpunkt der Berechnung des thermischen Widerstands nimmt die Hauptsteuereinheit 41 bei S140 eine Bestimmung von NEIN vor. Wenn die Hauptsteuereinheit 41 bei S140 eine Bestimmung von NEIN vornimmt, führt die Hauptsteuereinheit 41 bei S150 die Verarbeitung zum Berechnen des Leistungsverlusts P_{lsc} für jeden Schaltzyklus des Leistungshalbleiterelements 10 durch. Konkret wird durch Summieren des Leistungsverlusts P_{ls} , der bei S130 innerhalb jedes Schaltzyklus berechnet wird, der Leistungsverlust P_{lsc} für jeden Schaltzyklus berechnet. Bei S150 wird der summierte Wert als Reaktion auf das Ende oder den Beginn jedes Schaltzyklus gelöscht.

[0132] In dem Beispiel aus **Fig. 12** erfolgt eine Bestimmung von JA bei S140 zu Zeitpunkt t_5 . Bis bei S140 eine Bestimmung von JA erfolgt, wird die Verarbeitung bei S110 bis S150 wiederholt durchgeführt. Bei S150 kann ferner ein gleitender Durchschnittswert von Leistungsverlust P_{lsc} in den letzten X Zyklen (X : eine vorbestimmte ganze Zahl größer oder gleich 2) erhalten werden.

[0133] Wenn bei S140 eine Bestimmung von JA erfolgt, bewegt die Hauptsteuereinheit 41 den Prozess zu S160 und beginnt damit, den thermischen Widerstand zu berechnen. Bei S160 bestimmt die Hauptsteuereinheit 41 die Leistung P (W), die verwendet wird, um einen thermischen Widerstand R_{th} zu berechnen. Zum Beispiel kann die Leistung P ein Leistungsverlust P_{lsc} in dem unmittelbar vorhergehenden Schaltzyklus sein, der bei S150 berechnet wurde, oder der späteste gleitende Durchschnittswert des Leistungsverlusts P_{lsc} , wenn bei S140 eine Bestimmung von JA erfolgt.

[0134] Wie unter Bezugnahme auf **Fig. 12** beschrieben, berechnet die Hauptsteuereinheit 41 für jede L-Pegel-Periode (gleiche Länge) des Schaltersteuersignals 31 die geschätzte Temperatur (den geschätzten Wert von T_j) des Leistungshalbleiterelements 10 aus der Detektionsspannung V_{det} , die als der Spitzenwert der Eingangsspannung V_x erhalten wird. Hier wird, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 12** beschrieben, angenommen, dass insgesamt N Temperaturmessungen durchgeführt werden.

[0135] Bei S170 führt die Hauptsteuereinheit 41 die i -te (i : eine natürliche Zahl von 1 bis N) Temperaturmessung durch und berechnet eine geschätzte Temperatur $T(i)$ aus der Detektionsspannung V_{det} zu diesem Zeitpunkt. In **Fig. 12** wird, wenn $i = 1$, eine geschätzte Temperatur $T(1)$ des Leistungshalbleiterelements 10 zu Zeitpunkt t_6 bis t_7 berechnet.

[0136] Wenn $i \geq 2$, wird der thermische Widerstand $R_{th} = \Delta T/P$ bei S180 unter Verwendung einer Temperaturveränderung $\Delta T(i) = T(i) - T(1)$ und Leistung P , die bei S160 bestimmt wurde, berechnet. Bei S180 wird ein thermischer Widerstand $R_{th}(i)$ bei der i -ten Temperaturmessung ($i \geq 2$) berechnet.

[0137] Bei S190 bestimmt die Hauptsteuereinheit 41, ob die Anzahl von Malen der Messung i eine vorbestimmte Endbedingung (N) erfüllt. Bis die Messendbedingung erfüllt ist (NEIN bei S190), wird der bei S180 berechnete thermische Widerstand $R_{th}(i)$ bei S195 aufgezeichnet. Daher wurden, wenn die Anzahl von Malen der Messung i n erreicht und die Messendbedingung erfüllt ist (JA bei S190), $(N - 1)$ thermische Widerstände $R_{th}(2)$ bis $R_{th}(N)$ bereits erfasst. Es ist zu beachten, dass die Messendbedingung bei S 190 auf Grundlage der Anzahl von Malen der Messung festgelegt werden kann oder auf Grundlage einer Länge der verstrichenen Zeit ab dem Zeitpunkt, zu dem bei S140 eine Bestimmung von JA erfolgt, festgelegt werden kann.

[0138] Wenn die Messendbedingung erfüllt ist (JA bei S190), kann die Hauptsteuereinheit 41 die thermische Impedanz Z_{th} des Leistungshalbleiterelements 10, das das Kühlsystem beinhaltet, unter Verwendung der thermischen Widerstände (hier $R_{th}(2)$ bis $R_{th}(N)$) berechnen, die bis dahin als Reaktion auf die zeitliche Änderung der Temperatur T_j des Leistungshalbleiterelements 10 berechnet wurden. Wie vorstehend beschrieben, führt die Hauptsteuereinheit 41 den in **Fig. 13** veranschaulichten Steuerprozess durch, wodurch ein Beispiel für eine „Einheit zur Berechnung des thermischen Widerstands“ gebildet werden kann.

[0139] Um die thermische Impedanz zu berechnen, ist es notwendig, die Messendbedingung bei S190 so einzustellen, dass die ausreichende Kühlzeit des Leistungshalbleiterelements 10 gewährleistet ist. Obwohl die erforderliche Kühlzeit von der thermischen Zeitkonstante des Kühlsystems des Leistungshalbleiterelements 10 abhängt, liegt die erforderliche Kühlzeit im Allgemeinen in der Größenordnung von mehreren Sekunden bis mehreren Hundert Sekunden. Es ist schwierig, die Kühlzeit dieser Größenordnung in einen normalen Betriebsmodus einer allgemeinen Leistungselektronikvorrichtung zu integrieren. Jedoch kann, indem in einem Wechselrichtersystem die Stromsteuerung oder der Systembetriebsstoppzeitpunkt derart ver-

wendet wird, dass ein Leistungshalbleiterelement über eine bestimmten Periode hinweg ausgeschaltet gehalten werden kann, zum Beispiel der Aus-Zustand des Leistungshalbleiterelements 10 über eine relativ lange Periode aufrechterhalten werden und der in **Fig. 13** veranschaulichte Prozess zur Berechnung der thermischen Impedanz durchgeführt werden.

[0140] Wie vorstehend beschrieben, kann gemäß der vierten Ausführungsform der thermische Widerstand R_{th} des Leistungshalbleiterelements 10 unter Verwendung des Temperaturschätzverfahrens für das Leistungshalbleiterelement 10, das in der ersten bis dritten Ausführungsform beschrieben ist, berechnet werden. Ferner kann, wenn die Aus-Periode (Kühlperiode) des Leistungshalbleiterelements 10 zur Temperaturmessung sichergestellt werden kann, die thermische Impedanz Z_{th} des Leistungshalbleiterelements 10, das das Kühlsystem beinhaltet, berechnet werden.

Fünfte Ausführungsform.

[0141] In einer fünften Ausführungsform werden die Leistungsmodule 101 bis 103 gemäß der ersten bis vierten vorstehend beschriebenen Ausführungsform bei einer Leistungsumwandlungsvorrichtung verwendet. Die fünfte Ausführungsform beschreibt einen Fall, in dem die vorliegende Offenbarung bei einem dreiphasigen Wechselrichter verwendet wird, obwohl die vorliegende Offenbarung nicht auf eine spezifische Leistungsumwandlungsvorrichtung beschränkt ist.

[0142] **Fig. 14** ist ein Blockdiagramm, das eine Konfiguration eines Leistungsumwandlungssystems veranschaulicht, bei dem die Leistungsumwandlungsvorrichtung gemäß der Ausführungsform verwendet wird.

[0143] Das in **Fig. 14** veranschaulichte Leistungsumwandlungssystem beinhaltet eine Leistungszufuhr 120, eine Leistungsumwandlungsvorrichtung 110 und einen Verbraucher 130. Die Leistungszufuhr 120 ist eine DC-Leistungszufuhr und führt der Leistungsumwandlungsvorrichtung 110 DC-Leistung zu. Die Leistungszufuhr 120 kann beliebiger Art sein. Zum Beispiel kann die Leistungszufuhr 120 ein DC-System, eine Solarzelle und eine Speicherbatterie sein oder kann aus einer Gleichrichterschaltung oder einem AC/DC-Wandler, die bzw. der mit einem AC-System verbunden ist, bestehen. Alternativ kann die Leistungszufuhr 120 aus einem DC/DC-Wandler bestehen, der einen DC-Leistungsausgang von dem DC-System in eine vorbestimmte Leistung umwandelt.

[0144] Die Leistungsumwandlungsvorrichtung 110 ist ein dreiphasiger Wechselrichter, der zwischen

der Leistungszufuhr 120 und dem Verbraucher 130 verbunden ist, die von der Leistungszufuhr 120 zugeführte DC-Leistung in AC-Leistung umwandelt und dem Verbraucher 130 AC-Leistung zuführt. Wie in **Fig. 14** veranschaulicht, beinhaltet die Leistungsumwandlungsvorrichtung 110 eine Hauptumwandlungsschaltung 111, die DC-Leistung in AC-Leistung umwandelt und die AC-Leistung abgibt, und eine Steuerschaltung 112, die ein Steuersignal zum Steuern der Hauptumwandlungsschaltung 111 an die Hauptumwandlungsschaltung 111 ausgibt.

[0145] Der Verbraucher 130 ist ein dreiphasiger Elektromotor, der durch die AC-Leistung angetrieben wird, der von der Leistungsumwandlungsvorrichtung 110 zugeführt wird. Der Verbraucher 130 ist nicht auf eine konkrete Anwendung beschränkt; es handelt sich um einen Elektromotor, der an verschiedenen elektrischen Vorrichtungen angebracht ist, wie ein Elektromotor für ein Hybridfahrzeug, ein Elektrofahrzeug, ein Schienenfahrzeug, einen Aufzug oder eine Klimaanlage.

[0146] Nachfolgend wird die Leistungsumwandlungsvorrichtung 110 ausführlich beschrieben. Die Hauptumwandlungsschaltung 111 beinhaltet ein Schaltelement und eine Freilaufdiode (nicht veranschaulicht), wandelt von der Leistungszufuhr 120 zugeführte DC-Leistung durch Schalten des Schaltelements in AC-Leistung um und führt die AC-Leistung dem Verbraucher 130 zu. Obwohl es verschiedene spezifische Schaltungsstrukturen der Hauptumwandlungsschaltung 111 gibt, kann die Hauptumwandlungsschaltung 111 gemäß der vorliegenden Ausführungsform eine zweistufige dreiphasige Vollbrückenschaltung sein, die sechs Schaltelemente und sechs Freilaufdioden beinhaltet, die antiparallel zu den jeweiligen Schaltelementen sind. Mindestens eines der Schaltelemente der Hauptumwandlungsschaltung 111 ist das Leistungshalbleiterelement 10, das in dem Leistungsmodul 101 gemäß einer der vorstehend beschriebenen ersten bis vierten Ausführungsform beinhaltet ist. Die sechs Schaltelemente sind je zwei Schaltelemente in Reihe geschaltet, um einen oberen und einen unteren Arm zu bilden, und jeder von dem oberen und dem unteren Arm bildet jede Phase (U-Phase, V-Phase, W-Phase) der Vollbrückenschaltung. Die Ausgangsanschlüsse des oberen und des unteren Arms, d. h. die drei Ausgangsanschlüsse der Hauptumwandlungsschaltung 111, sind mit dem Verbraucher 130 verbunden.

[0147] Da darüber hinaus, wie in der vorstehenden ersten bis vierten Ausführungsform beschrieben, die Halbleitervorrichtung 100 (nicht veranschaulicht), die jedes Schaltelement ansteuert, in die Leistungsmodul 101 bis 103 integriert ist, beinhaltet die Hauptumwandlungsschaltung 111 die Halbleitervorrichtung 100. Die Halbleitervorrichtung 100 erzeugt ein

Ansteuersignal zum Ansteuern der Schaltelemente der Hauptumwandlungsschaltung 111 und führt Steuerelektroden der Schaltelemente der Hauptumwandlungsschaltung 111 das Ansteuersignal zu. Insbesondere gibt die Ansteuerschaltung an die Steuerelektrode jedes Schaltelements ein Ansteuersignal zum Einschalten des Schaltelements und ein Ansteuersignal zum Ausschalten des Schaltelements gemäß einem Steuersignal von der später zu beschreibenden Steuerschaltung 112 aus. Wenn das Schaltelement in einem Ein-Zustand gehalten wird, ist das Ansteuersignal ein Spannungssignal (Ein-Signal), das größer oder gleich einer Schwellenspannung des Schaltelements ist, und wenn das Schaltelement in einem Aus-Zustand gehalten wird, ist das Ansteuersignal ein Spannungssignal (Aus-Signal), das kleiner oder gleich der Schwellenspannung des Schaltelements ist.

[0148] Die Steuerschaltung 112 steuert die Schaltelemente der Hauptumwandlungsschaltung 111, sodass dem Verbraucher 130 die gewünschte Leistung zugeführt wird. Insbesondere berechnet die Steuerschaltung 112 anhand der dem Verbraucher 130 zuzuführenden Leistung eine Zeit (Ein-Zeit), während der jedes Schaltelement der Hauptumwandlungsschaltung 111 einzuschalten ist. Zum Beispiel kann die Steuerschaltung 112 die Hauptumwandlungsschaltung 111 durch Steuerung mittels Impulsweitenmodulation (pulse width modulation - PWM) steuern, die die Ein-Zeit des Schaltelements gemäß der auszugebenden Spannung moduliert. Dann gibt die Steuerschaltung 112 einen Steuerbefehl (Steuersignal) an die in der Hauptumwandlungsschaltung 111 beinhaltete Halbleitervorrichtung 100 aus, sodass zu jedem Zeitpunkt das Ein-Signal an das einzuschaltende Schaltelement ausgegeben wird und das Aus-Signal an das auszuschaltende Schaltelement ausgegeben wird. Die Halbleitervorrichtung 100 gibt gemäß dem Steuersignal das Ein-Signal oder das Aus-Signal als ein Ansteuersignal an die Steuerelektrode jedes Schaltelements aus.

[0149] In der Leistungsumwandlungsvorrichtung gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird ein beliebiges der Leistungsmodul 101 bis 103 gemäß der ersten bis vierten Ausführungsform als Leistungsmodul 101, das die Hauptumwandlungsschaltung 111 bildet, verwendet, wodurch die Zuverlässigkeit der Leistungsumwandlungsvorrichtung auf Grundlage des Temperaturmessergebnisses des Leistungshalbleiterelements verbessert werden kann.

[0150] Durch die vorliegende Ausführungsform wurde das Beispiel beschrieben, bei dem die vorliegende Offenbarung bei einem zweistufigen dreiphasigen Wechselrichter verwendet wird. Die vorliegende Offenbarung ist jedoch nicht darauf beschränkt und kann bei verschiedenen Leistungs-

umwandlungsvorrichtungen verwendet werden. In der vorliegenden Ausführungsform wurde die zwei-stufige Leistungsumwandlungsvorrichtung beschrieben. Es kann aber auch eine drei- oder mehrstufige Leistungsumwandlungsvorrichtung verwendet werden, oder die vorliegende Offenbarung kann, wenn einem einphasigen Verbraucher Leistung zugeführt wird, bei einem einphasigen Wechselrichter verwendet werden. In einem Fall, in dem einem DC-Verbraucher oder dergleichen Leistung zugeführt wird, kann die vorliegende Offenbarung auch bei einem DC/DC-Wandler oder einem AC/DC-Wandler verwendet werden.

[0151] Darüber hinaus ist die Leistungsumwandlungsvorrichtung, bei der die vorliegende Offenbarung verwendet wird, nicht auf die vorstehend beschriebene beschränkt, die für einen als Verbraucher dienenden Elektromotor verwendet wird, und kann zum Beispiel als eine Leistungszufuhrvorrichtung einer Funkenerodiermaschine, einer Laserstrahlmaschine, eines Induktionsheizkochers oder eines kontaktlosen Stromeinspeisesystems verwendet werden. Darüber hinaus kann die Leistungsumwandlungsvorrichtung, bei der die vorliegende Offenbarung verwendet wird, auch als ein Netzschutzgerät eines Photovoltaikerzeugungssystems, eines Leistungsspeichersystems oder dergleichen verwendet werden.

[0152] In Verbindung mit der Vielzahl von vorstehend beschriebenen Ausführungsformen ist zum Zwecke der Bestätigung gegebenenfalls eine Kombination von Merkmalen, die in der Vielzahl von vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beschrieben sind, einschließlich einer Kombination, die in der Beschreibung nicht erwähnt wird, ebenfalls ursprünglich innerhalb des Umfangs vorgesehen, wenn es keine Inkonsistenz oder Widersprüchlichkeit gibt.

[0153] Es versteht sich, dass die in dieser Schrift offenbarten Ausführungsformen in jeder Hinsicht veranschaulichend und nicht einschränkend sind. Der Umfang der vorliegenden Offenbarung ist durch den Inhalt der Ansprüche und nicht durch die obige Beschreibung definiert und soll eine jede Modifikation einschließen, die innerhalb des Umfangs und der Bedeutung der Ansprüche liegt.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0154] 1 Stromsteuereinheit; 2 Gate-Verdrahtungseinheit; 3 Zeitsteuereinheit; 4 Gate-Ansteuereinheit; 5 Spitzendetektionsschaltung; 6 Spannungsdetektionseinheit; 7 Temperaturschätzeinheit; 10 Leistungshalbleiterelement; 11 Stromzufuhr; 12 Stromsteuerschalter; 20 gepulste Stromzufuhr; 21, 54 Widerstandselement; 31, 35 Schaltersteuersignal; 32 Steuerinformationen; 41 Hauptsteuereinheit; 42

Treiberschaltung; 51, 56 Diode; 52 Kondensator; 53 Entladungsschalter; 55, 58 Betriebsverstärker; 71 Temperaturinformationen; 81 Hauptstromdetektionseinheit; 82 Hauptspannungsdetektionseinheit; 90 Referenzpotentialknoten; 100 Halbleitervorrichtung; 101 bis 103 Leistungsmodul; 110 Leistungsumwandlungsvorrichtung; 111 Hauptumwandlungsschaltung; 112 Steuerschaltung; 120 Leistungszufuhr; 130 Verbraucher; 411 Treibereingangssignal; 412 Befehl; D positiver Elektrodenanschluss; G Steueranschluss; I_{mt} Hauptstrom (Leistungshalbleiterelement); N_s, N_x, N_y Knoten; S negativer Elektrodenanschluss; V_{det} Detektionsspannung; V_{gs} Gate-Spannung; V_{mt} Hauptspannung (Leistungshalbleiterelement); V_x Eingangsspannung (Spitzendetektionsschaltung).

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2020-72569 [0006]

Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung, die ein Halbleiterelement ansteuert und steuert, wobei das Halbleiterelement einen positiven Elektrodenanschluss, einen negativen Elektrodenanschluss und einen Steueranschluss aufweist, wobei eine Ansteuerspannung zum Steuern eines zwischen dem positiven Elektrodenanschluss und dem negativen Elektrodenanschluss fließenden Hauptstroms auf den Steueranschluss angewendet wird, wobei die Halbleitervorrichtung Folgendes umfasst: eine Treiberschaltung, um dem Steueranschluss die Ansteuerspannung zuzuführen, um das Halbleiterelement zwischen einem Ein-Zustand und einem Aus-Zustand zu schalten; eine Stromsteuereinheit, die bereitgestellt ist, um einen Strom mit einer Impulsform zwischen dem Steueranschluss und dem negativen Elektrodenanschluss zu leiten; eine Zeitsteuereinheit zum Steuern eines Zeitpunkts der Zufuhr des Stroms durch die Stromsteuereinheit; eine Spitzendetektionsschaltung zum Ausgeben eines Spitzenwerts einer Eingangsspannung, wobei die Eingangsspannung eine Potentialdifferenz des Steueranschlusses oder des negativen Elektrodenanschlusses in Bezug auf ein Referenzpotential in einer Stromzufuhrperiode durch die Stromsteuereinheit ist; eine Spannungsdetektionseinheit zum Abtasten einer Ausgangsspannung der Spitzendetektionsschaltung; und eine Temperaturschätzeinheit zum Berechnen einer geschätzten Temperatur des Halbleiterelements auf Grundlage einer Detektionsspannung durch die Spannungsdetektionseinheit, wobei die Zeitsteuereinheit die Stromsteuereinheit dazu veranlasst, zu arbeiten, um die Stromzufuhrperiode während mindestens eines von Folgendem bereitzustellen: einer Ein-Periode, nach der das Halbleiterelement in den Ein-Zustand wechselt; und einer Aus-Periode, nach der das Halbleiterelement in den Aus-Zustand wechselt.

2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Spitzendetektionsschaltung Folgendes beinhaltet: eine erste Diode, die eine Anode aufweist, die mit einem ersten Knoten verbunden ist, wobei der erste Knoten mit dem Steueranschluss oder dem negativen Elektrodenanschluss elektrisch verbunden ist; einen Kondensator, der zwischen einem zweiten Knoten, der mit einer Kathode der ersten Diode verbunden ist, und einem Knoten, der das Referenzpotential zuführt, verbunden ist; und ein Entladungsschaltelement oder einen Entladungswiderstand zum Entladen des Kondensators.

3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Spitzendetektionsschaltung ferner eine Impedanzumwandlungsschaltung beinhaltet, die zumindest gemäß einem von Folgendem angeordnet ist: zwischen dem ersten Knoten und der Anode der ersten Diode; und zwischen dem zweiten Knoten und der Spannungsdetektionseinheit.

4. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Spitzendetektionsschaltung als die Impedanzumwandlungsschaltung einen Betriebsverstärker beinhaltet, der auf eine Weise einer Spannungsfolgerverbindung zwischen dem ersten Knoten und der Anode der ersten Diode verbunden ist, und die Spitzendetektionsschaltung ferner eine zweite Diode beinhaltet, die in einen Rückführweg der Spannungsfolgerverbindung eingesetzt und damit verbunden ist und einen Spannungsabfall verursacht, der dem der ersten Diode entspricht.

5. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Zeitsteuereinheit eine Vielzahl der Stromzufuhrperioden während der mindestens einen von der Ein-Periode und der Aus-Periode bereitstellt.

6. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Zeitsteuereinheit eine Vielzahl der Stromzufuhrperioden innerhalb einer Periode zum Messen des thermischen Widerstands wiederholt bereitstellt, in der das Halbleiterelement ausgeschaltet gehalten wird, und die Halbleitervorrichtung ferner Folgendes umfasst: eine Hauptstromdetektionseinheit zum Detektieren des Hauptstroms des Halbleiterelements; eine Hauptspannungsdetektionseinheit zum Detektieren einer Hauptspannung zwischen dem positiven Elektrodenanschluss und dem negativen Elektrodenanschluss des Halbleiterelements; und eine Einheit zum Berechnen des thermischen Widerstands zum Berechnen eines Leistungsverlustes für jeden Schaltzyklus, der in dem Halbleiterelement vor der Periode zum Messen des thermischen Widerstands auftritt, und Berechnen eines thermischen Widerstands des Halbleiterelements auf Grundlage des berechneten Leistungsverlustes und einer Veränderung der geschätzten Temperatur, die für jede der Vielzahl von Stromzufuhrperioden berechnet wird.

7. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Stromsteuereinheit an einer Position angeordnet ist, an der der Strom von der Seite des negativen Elektrodenanschlusses des Halbleiterelements zugeführt wird.

8. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei

die Stromsteuereinheit an einer Position angeordnet ist, an der der Strom von der Seite des Steueranschlusses des Halbleiterelements zugeführt wird.

9. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Strom mit einer Impulsform eine vorbestimmte Amplitude aufweist, die Stromzufuhrperiode bereitgestellt wird, um eine vorbestimmte Zeitdauer aufzuweisen, und die Temperaturschätzeinheit die geschätzte Temperatur unter Verwendung eines Widerstandswerts, der aus der Detektionsspannung und der Amplitude des Stroms in der Stromzufuhrperiode bestimmt wird, und Informationen, die eine zuvor bestimmte Beziehung zwischen einer Temperatur des Halbleiterelements und dem Widerstandswert angeben, berechnet.

10. Leistungsumwandlungsvorrichtung, umfassend:
eine Hauptumwandlungsschaltung, die die Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und ein Halbleiterelement aufweist, das durch die Halbleitervorrichtung angesteuert und gesteuert wird, wobei die Hauptumwandlungsschaltung elektrische Eingangsleistung umwandelt und ausgibt, und
eine Steuerschaltung zum Ausgeben eines Steuerungssignals zum Steuern der Leistungsumwandlung durch die Hauptumwandlungsschaltung an die Hauptumwandlungsschaltung.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1A

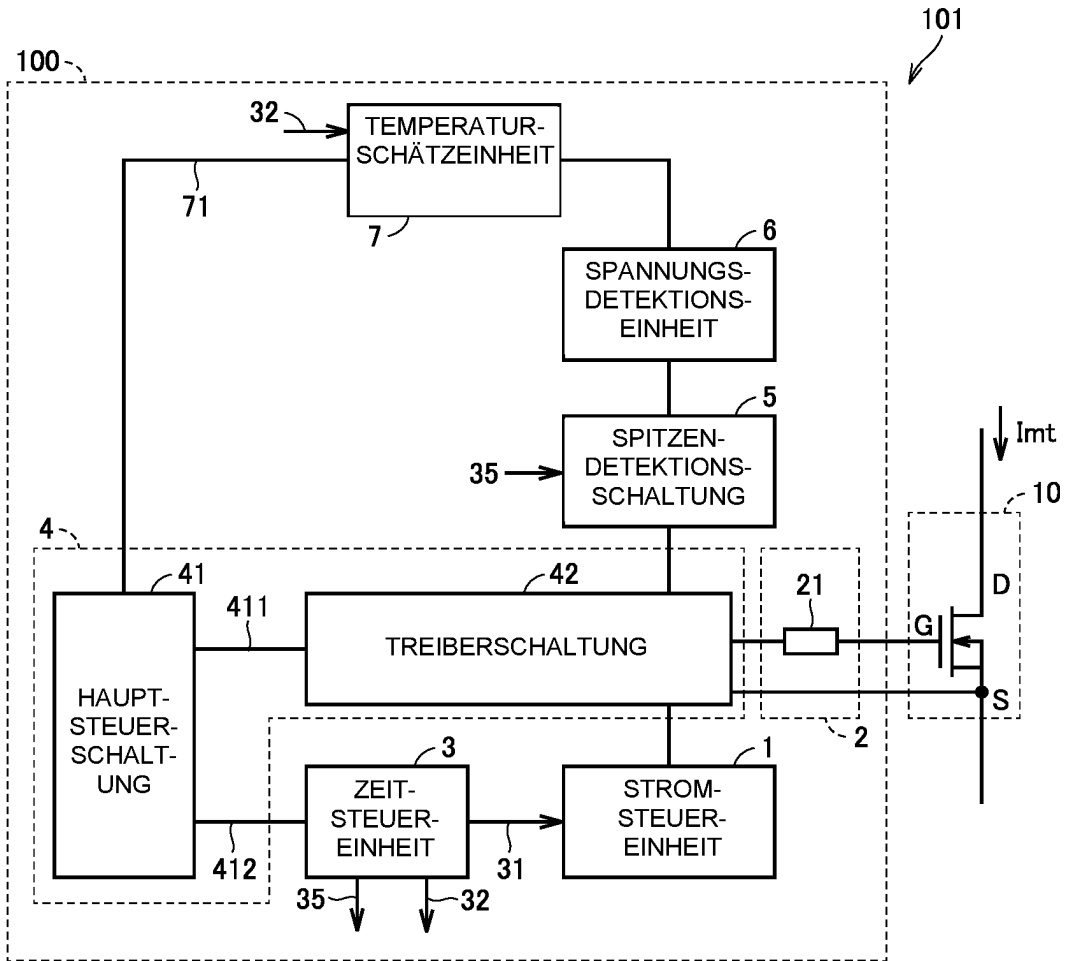


FIG.1B

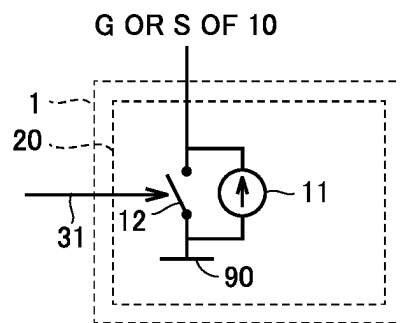


FIG.2A

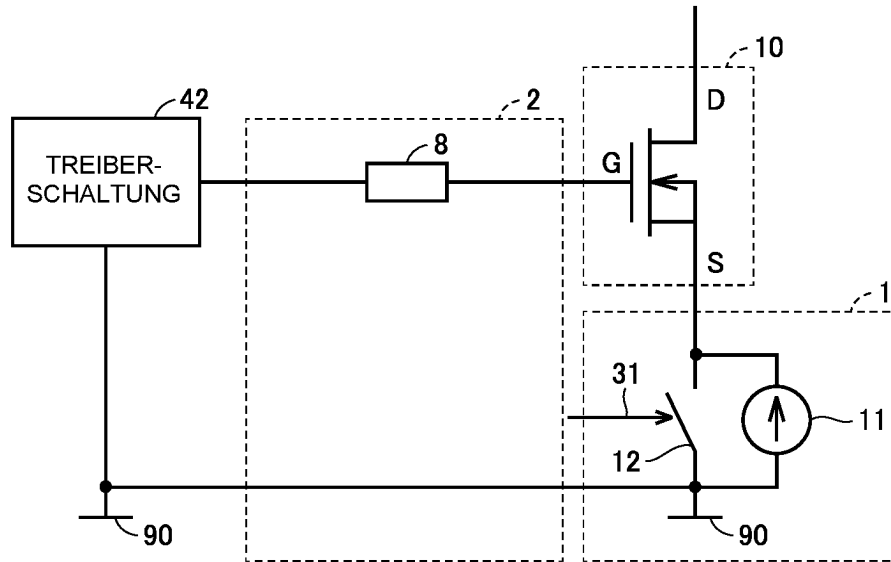


FIG.2B

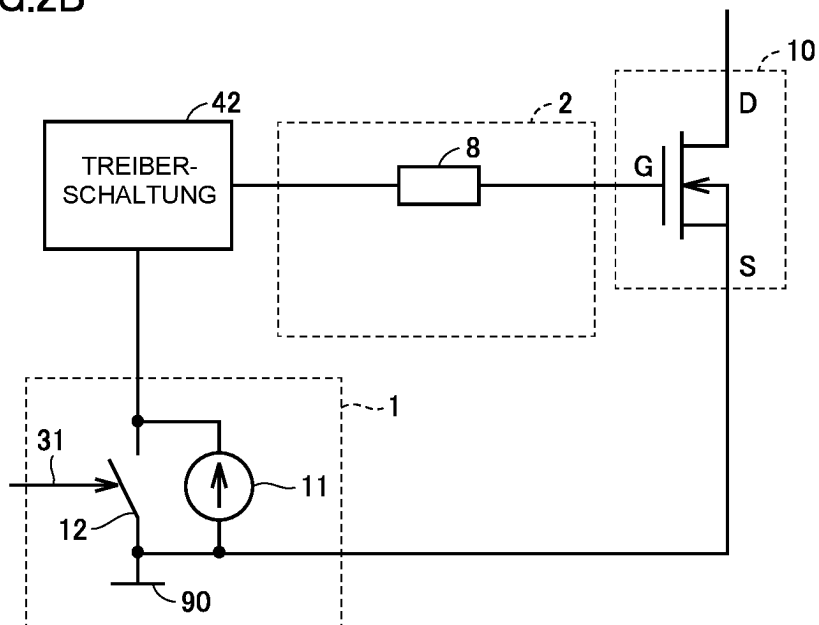


FIG.3

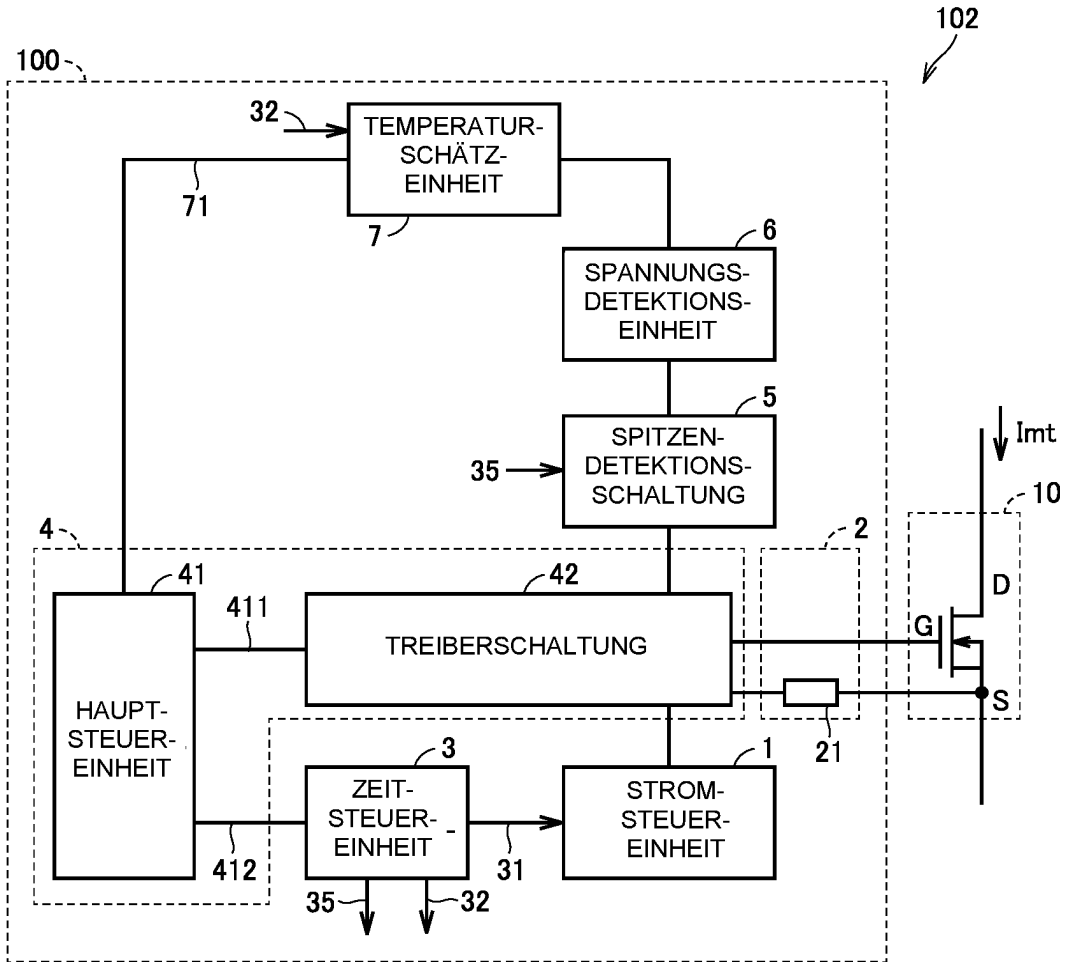


FIG.4

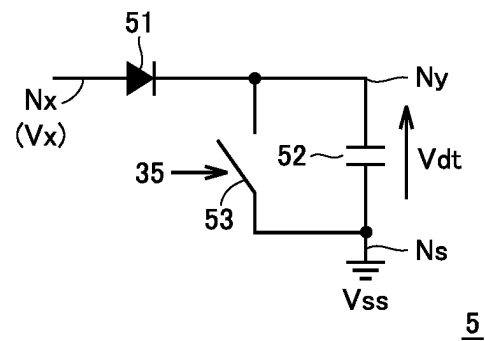


FIG.5

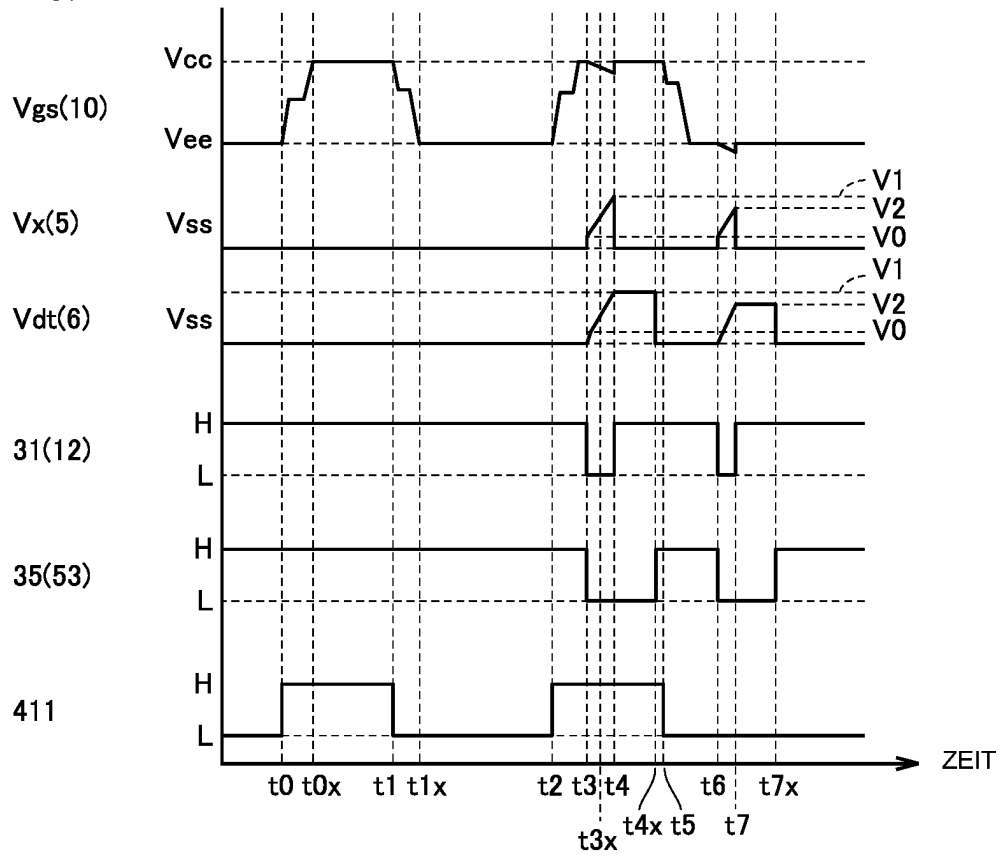


FIG.6

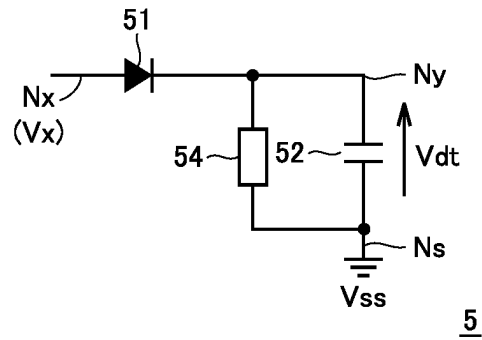


FIG.7

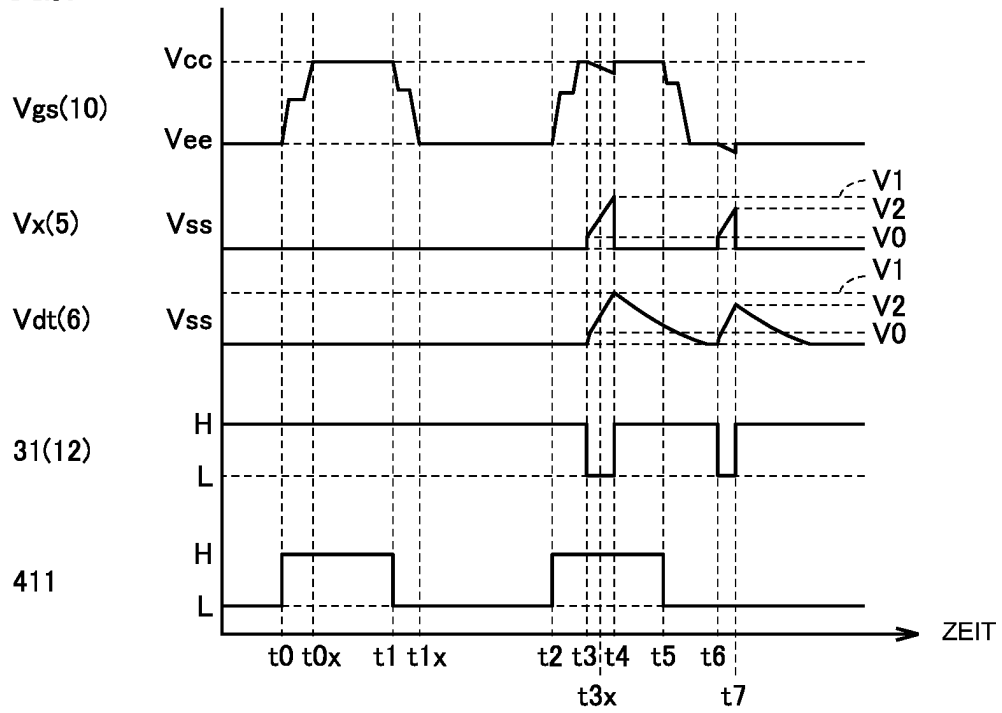


FIG.8

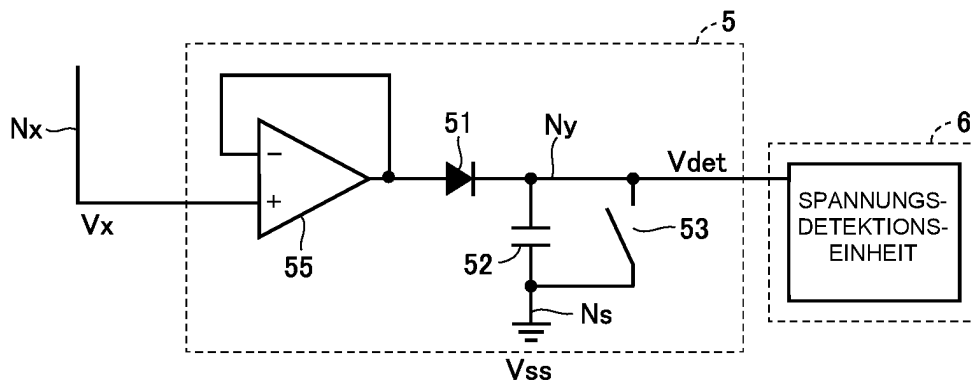


FIG.9

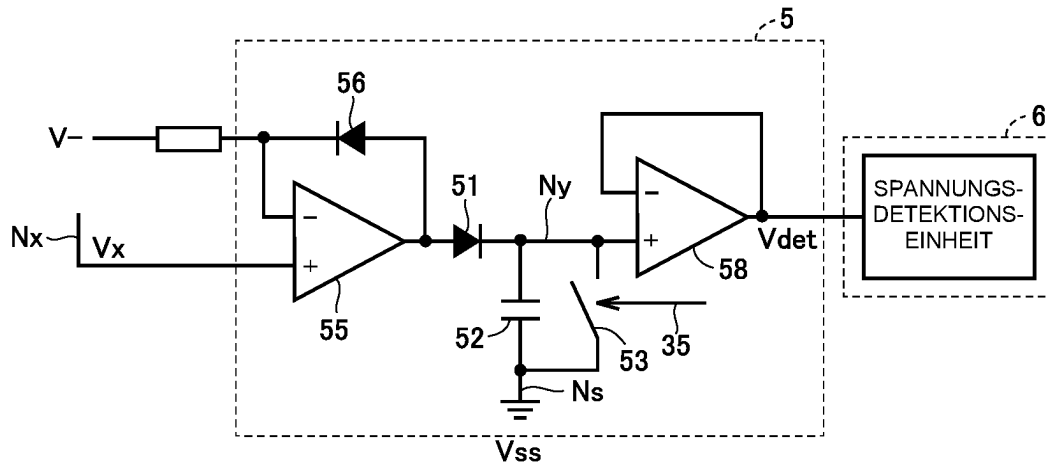


FIG.10

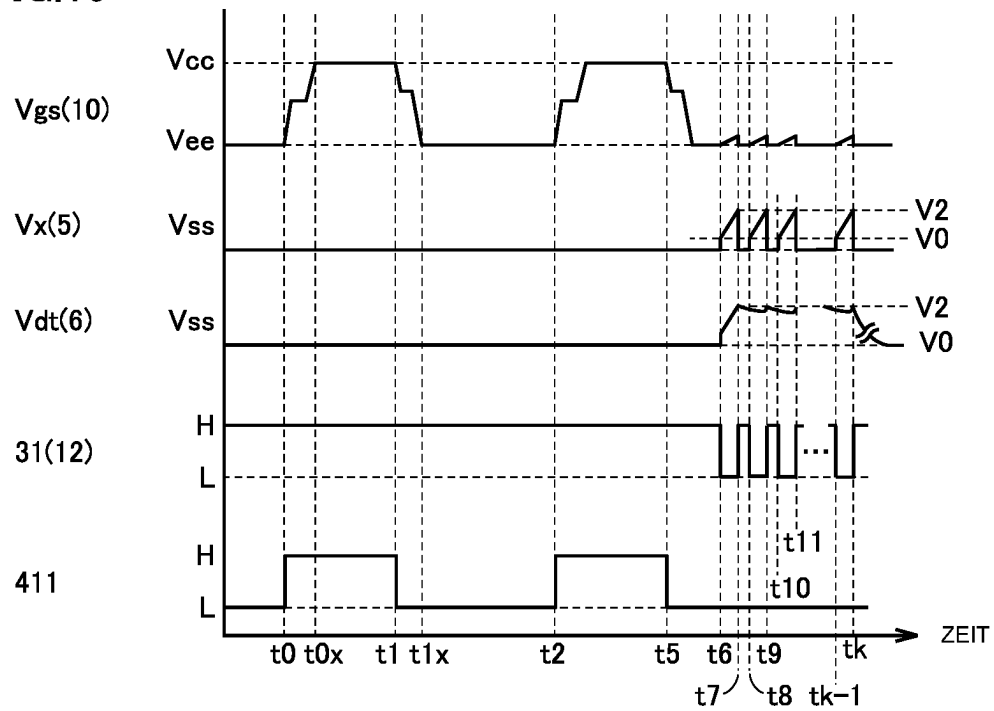


FIG.11

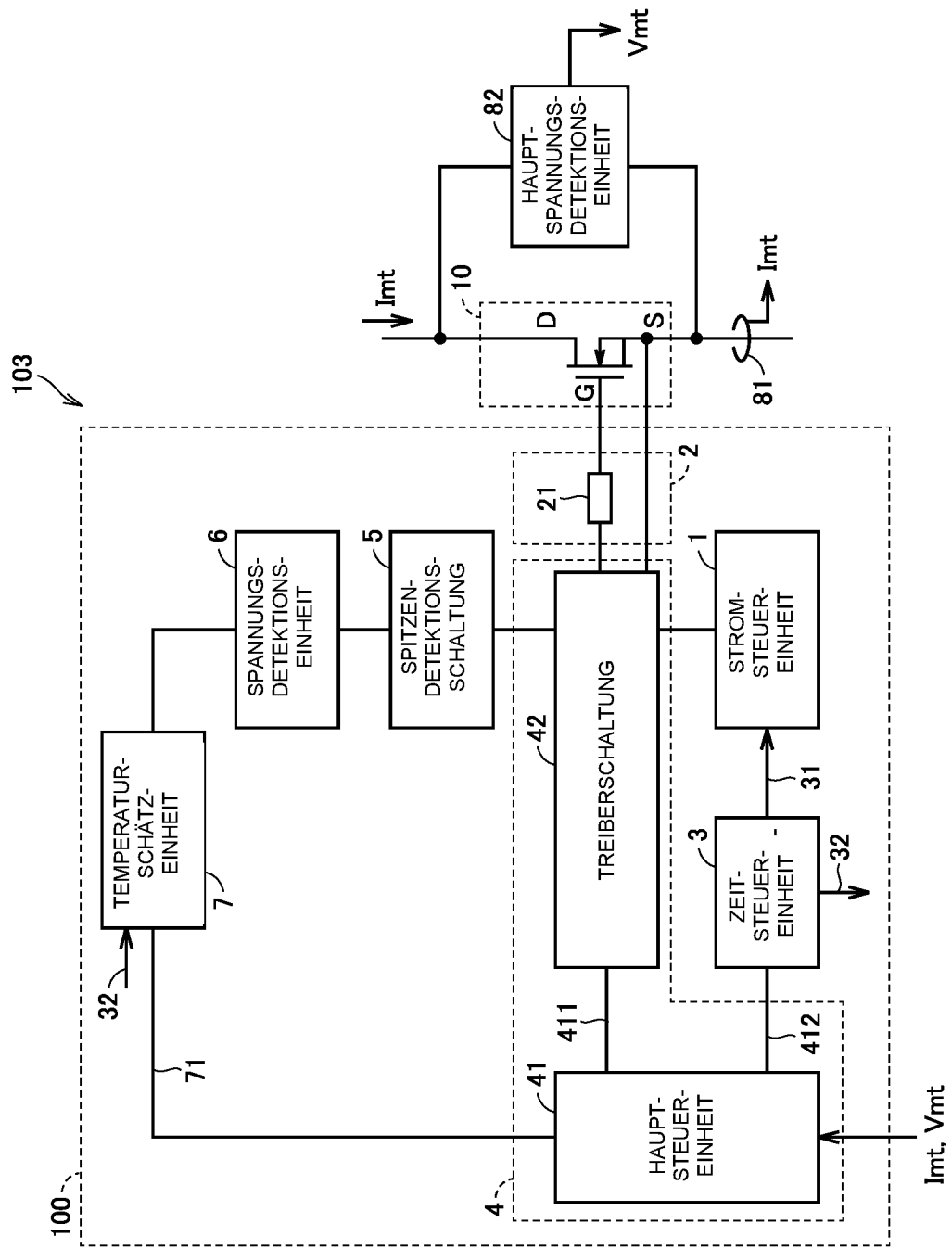


FIG.12

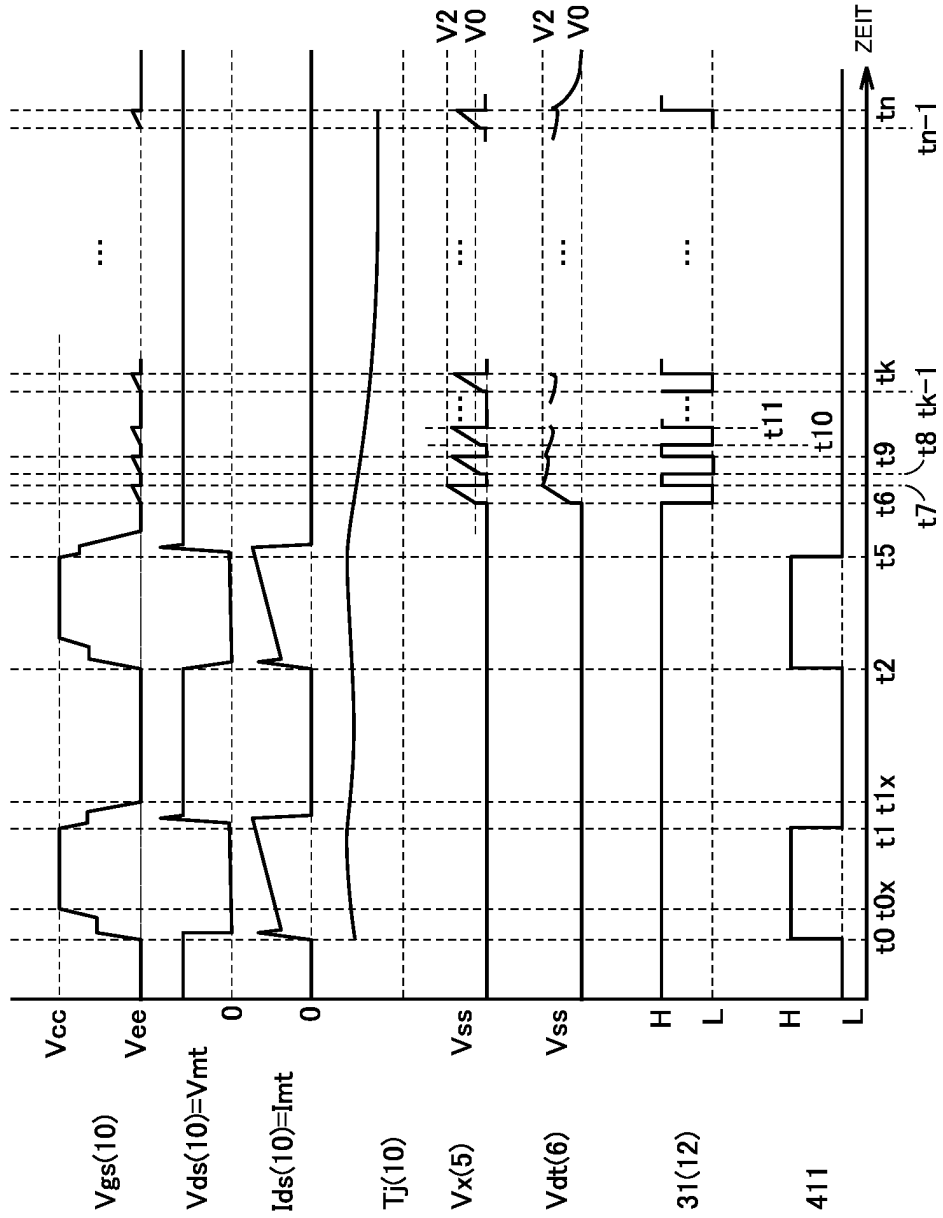


FIG.13

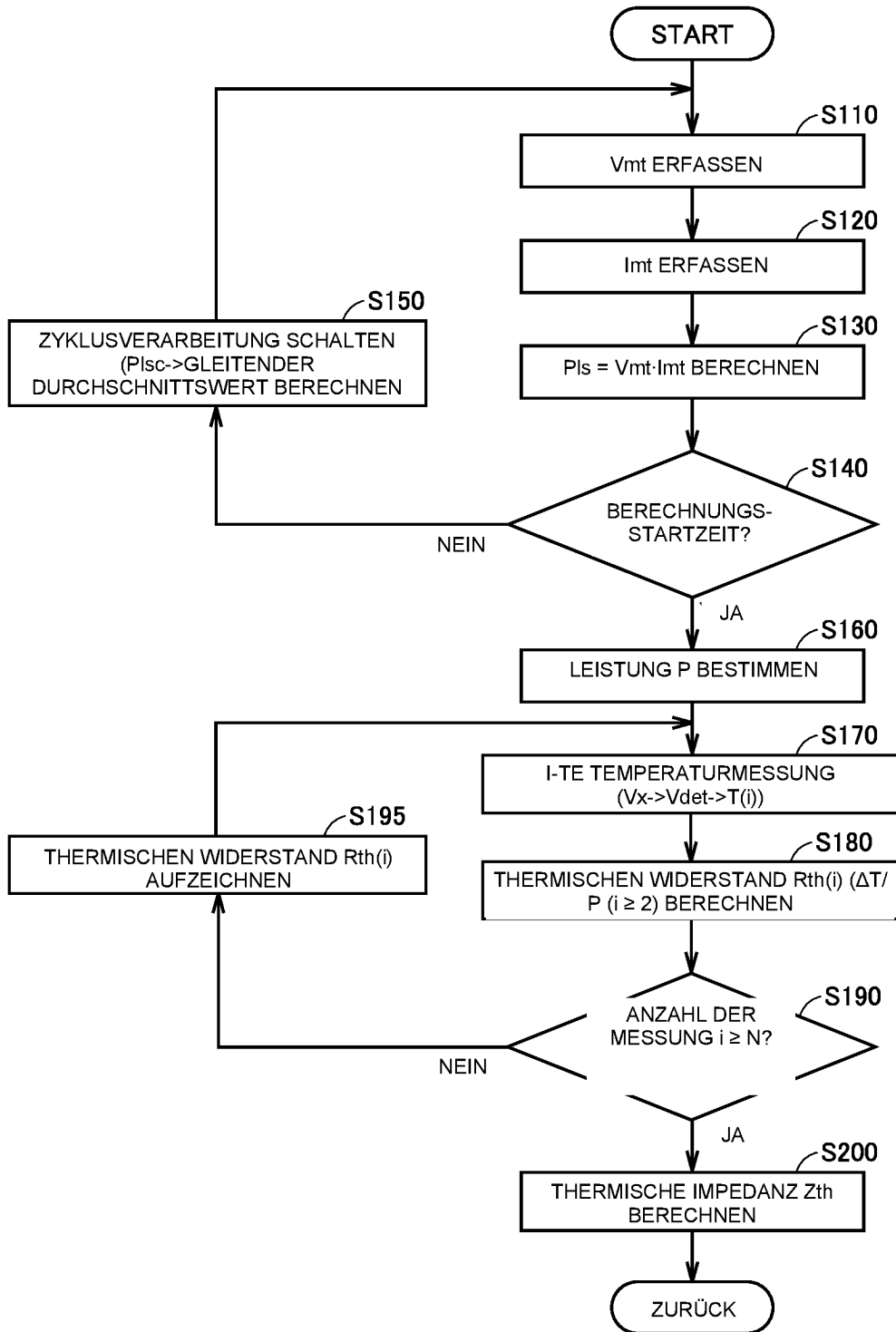


FIG.14

