



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der  
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/044123**  
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2  
IntPatÜbkG)  
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 007 545.1**  
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2020/032033**  
(86) PCT-Anmeldetag: **25.08.2020**  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **03.03.2022**  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: **15.06.2023**

(51) Int Cl.: **H03K 17/0812** (2006.01)  
**H03K 17/687** (2006.01)  
**H02H 7/20** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP**  
  
(74) Vertreter:  
**Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte  
Partnerschaft mbB, 80538 München, DE**

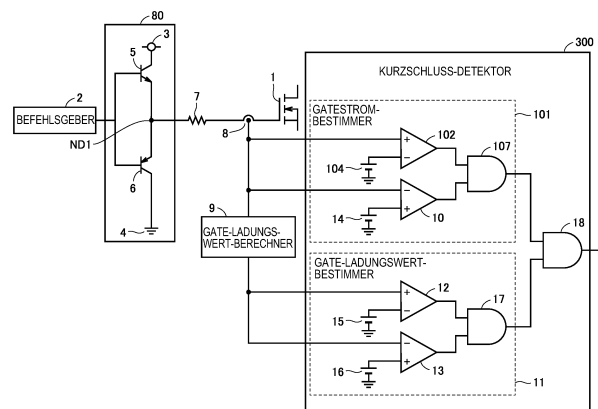
(72) Erfinder:  
**Horiguchi, Takeshi, Tokyo, JP; Mukunoki,  
Yasushige, Tokyo, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **TREIBER-STEUERUNGSSCHALTUNG FÜR LEISTUNGSHALBLEITER-ELEMENT,  
LEISTUNGSHALBLEITER-MODUL SOWIE STROMRICHTER**

(57) Zusammenfassung: Ein Gatestrom-Detektor (8) detektiert einen Gatestrom, der zwischen einem Treiber (80) und einer Steuerungselektrode eines Leistungshalbleiter-Elements (1) fließt. Auf der Basis des Werts des Gatestroms, der vom Gatestrom-Detektor (8) detektiert wird, berechnet ein Gate-Ladungswert-Berechner (9) einen Gate-Ladungswert, der dem Leistungshalbleiter-Element (1) zugeführt werden soll. Ein Kurzschluss-Detektor (300) detektiert einen Zweig-Kurzschluss oder einen Last-Kurzschluss auf der Basis der Stärke des Gatestroms und der Stärke des Gate-Ladungswerts. Der Kurzschluss-Detektor (300) weist Folgendes auf: einen Gatestrom-Bestimmer (101), der die Stärke des Gatestroms mit mindestens einem Referenzwert vergleicht; einen Gate-Ladungswert-Bestimmer (11), der die Stärke des Gate-Ladungswerts mit mindestens einem Referenzwert vergleicht; und eine Kurzschlussdetektion-Logik-operation-Schaltung (18), die eine Logikoperation eines Ausgangssignals des Gatestrom-Bestimmers (101) und eines Ausgangssignals des Gate-Ladungswert-Bestimmers (11) ausführt.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Halbleitereinrichtung und eine Stromrichtereinrichtung.

**[0002]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element, ein Leistungshalbleiter-Modul sowie einen Stromrichter.

## STAND DER TECHNIK

**[0003]** Herkömmlicherweise wird mit weiter Verbreitung ein Si-IGBT (Bipolartransistor mit isoliertem Gate) als ein Leistungshalbleiter-Element verwendet, das ein Stromrichter aufweist. In jüngster Zeit wird jedoch ein SiC-MOSFET (Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor) aktiv als das Leistungshalbleiter-Element verwendet, um eine weitere Größenverringern und einen höheren Wirkungsgrad des Stromrichters zu erzielen.

**[0004]** Im Falle eines Zweig-Kurzschlusses im Stromrichter fließt ein hoher Strom durch ein Leistungshalbleiter-Element, während eine Gleichstrom-Verbindungsspannung des Stromrichters an das Leistungshalbleiter-Element angelegt wird. Dies kann folglich zu signifikant großen Verlusten am Leistungshalbleiter-Element führen, was zur thermischen Zerstörung des Leistungshalbleiter-Elements führt.

**[0005]** Um die Zuverlässigkeit des Stromrichters zu gewährleisten, ist es notwendig, den Kurzschlusszustand des Stromrichters zu detektieren und den Stromrichter zu schützen. Falls die Kurzschluss-Widerstandsfähigkeit gleich bleibt, bedeutet eine höhere Stromdichte des Leistungshalbleiter-Elements, dass eine geringere Zeitdauer vorliegt, während der das Leistungshalbleiter-Element dem Kurzschlusszustand standhalten kann. Daher ist eine schnelle Detektion des Kurzschlusses nötig. Außerdem wird seit Neuestem ein SiC-MOSFET als das Leistungshalbleiter-Element verwendet, und es gibt einen höheren Bedarf an einem schnellen Kurzschluss-Schutz.

**[0006]** Die direkteste bekannte Art zum Detektieren des Kurzschlusszustands des Stromrichters ist, die Spannung an den Primäranschlüssen zu detektieren. Dieses Verfahren nutzt die Spannung an den Primäranschlüssen, die eine Hochspannung ist, die im Wesentlichen gleich der Gleichstrom-Verbindungsspannung ist, wenn der Stromrichter dem Kurzschlusszustand unterworfen ist. Es ist jedoch nötig, den Detektionszeitraum zum Unterscheiden des Kurzschlusszustands vom Normalzustand vorzugeben, und daher ist eine schnelle Detektion unmöglich.

**[0007]** Beispielsweise offenbart PTL 1 eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element, die die Gatespannung und den Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements (IGBT) detektiert. Die Treiber-Steuerungsschaltung integriert den detektierten Gatestrom bezogen auf die Zeit zum Bestimmen des Gate-Ladungswerts. Die Treiber-Steuerungsschaltung detektiert einen Zweig-Kurzschluss, wenn die Gatespannung höher als eine vorbestimmte Referenzspannung ist und der Gate-Ladungswert niedriger als ein vorbestimmter Referenz-Gate-Ladungswert ist.

## LITERATURVERZEICHNIS

## PATENTLITERATUR

**[0008]** PTL 1: Japanische Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift Nr. 2015-53749 (Seite 7, Zeile 6 bis Seite 10, Zeile 41; **Fig. 1**)

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

## TECHNISCHES PROBLEM

**[0009]** Die Gate-Treiberschaltung, die im Leistungshalbleiter-Element enthalten ist, das in PTL 1 offenbart ist, detektiert den Zweig-Kurzschlusszustand, indem es die Relation zwischen der Gatespannung und dem Gate-Ladungswert nutzt, d. h. die Gate-Ladungseigenschaften bzw. Gate-Ladungskennlinie. Ein Ausnutzen der Gate-Ladungskennlinie ermöglicht eine schnelle Detektion des Zweig-Kurzschlusszustands, ohne dass es notwendig ist, den Detektionszeitraum vorzugeben.

**[0010]** Da zwei Signale - die Gatespannung und der Gatestrom oder eine Spannung, die dem Gatestrom entspricht - detektiert werden müssen, nimmt die Schaltungsgröße zu. Um eine höhere Leistungsdichte des Stromrichters zu erzielen, was in jüngster Zeit ein Trend ist, besteht ein Bedarf an einer so weit wie möglich verringerten Schaltungsgröße der Treiber-Steuerungsschaltung.

**[0011]** Daher ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element, ein Leistungshalbleiter-Modul und einen Stromrichter anzugeben, die eine verringerte Schaltungsgröße haben und eine schnelle Detektion des Kurzschlusses ermöglichen.

## LÖSUNG DES PROBLEMS

**[0012]** Eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element mit einer Steuerungselektrode, einer Elektrode auf der positiven Seite und einer Elektrode auf der negativen Seite.

Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element weist Folgendes auf: einen Treiber zum Treiben des Leistungshalbleiter-Elements durch Übergehenlassen einer Spannung, die zwischen der Steuerungselektrode und der Elektrode auf der negativen Seite anliegt; einen Gatestrom-Detektor zum Detektieren des Gatestroms, der zwischen dem Treiber und der Steuerungselektrode fließt; einen Gate-Ladungswert-Berechner zum Berechnen eines Gate-Ladungswerts, der dem Leistungshalbleiter-Element zugeführt werden soll, auf der Basis des Werts des Gatestroms, der vom Gatestrom-Detektor detektiert wird; und einen Kurzschluss-Detektor zum Detektieren eines Zweig-Kurzschlusses oder eines Last-Kurzschlusses auf der Basis der Stärke des Gatestroms und der Stärke des Gate-Ladungswerts. Der Kurzschluss-Detektor weist Folgendes auf: einen Gatestrom-Bestimmer zum Vergleichen der Stärke des Gatestroms mit mindestens einem Referenzwert; einen Gate-Ladungswert-Bestimmer zum Vergleichen der Stärke des Gate-Ladungswerts mit mindestens einem Referenzwert; und eine Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung zum Ausführen einer Logikoperation eines Ausgangssignals des Gatestrom-Bestimmers und eines Ausgangssignals des Gate-Ladungswert-Bestimmers.

#### VORTEILHAFTE EFFEKTE DER ERFINDUNG

**[0013]** Gemäß einer Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element der vorliegenden Erfindung weist der Kurzschluss-Detektor Folgendes auf: den Gatestrom-Bestimmer, der die Stärke des Gatestroms mit mindestens einem Referenzwert vergleicht; den Gate-Ladungswert-Bestimmer, der die Stärke des Gate-Ladungswerts mit mindestens einem Referenzwert vergleicht; und die Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung, die die Logikoperation des Ausgangssignals des Gatestrom-Bestimmers und des Ausgangssignals des Gate-Ladungswert-Bestimmers ausführt. Dies erlaubt es, dass die Treiber-Steuerungsschaltung eine schnelle Detektion des Kurzschlusses mit einer kleinen Schalungsgröße erzielt.

#### Figurenliste

**Fig. 1** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 1 zeigt.

**Fig. 2** ist ein Diagramm zum Veranschaulichen des Detektionsprinzips eines Zweig-Kurzschlusses auf der Basis der Relation zwischen einem Gatestrom  $I_g$  und einem Gate-Ladungswert  $Q_g$ .

**Fig. 3** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 2 zeigt.

**Fig. 4** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 3 zeigt.

**Fig. 5** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 4 zeigt.

**Fig. 6** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 5 zeigt.

**Fig. 7** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 6 zeigt.

**Fig. 8** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 7 zeigt.

**Fig. 9** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 8 zeigt.

**Fig. 10** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 9 zeigt.

**Fig. 11** ist ein Diagramm zum Veranschaulichen des Detektionsprinzips eines Last-Kurzschlusses auf der Basis eines Gatestroms  $I_g$  und eines Gate-Ladungswerts  $Q_g$ .

**Fig. 12** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 10 zeigt.

**Fig. 13** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 11 zeigt.

**Fig. 14** ist ein Blockdiagramm, das die Konfiguration einer Stromrichtersystems zeigt, gemäß Ausführungsform 12.

#### BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0014]** Nachfolgend werden Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

#### Ausführungsform 1

**[0015]** **Fig. 1** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 1 zeigt.

**[0016]** Das Leistungshalbleiter-Element 1 ist irgendeines von einem Si-IGBT, einem in Rückwärtsrichtung leitendem (RC)-IGBT, einem SiC-MOSFET, einem GaN-Transistor und einem Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Transistor. In der folgenden Beschreibung wird das Leistungshalbleiter-Element 1 unter Bezugnahme auf einen MOSFET beschrieben. Das Leistungshalbleiter-Element 1 hat eine Steuerungselektrode, eine Elektrode

auf der positiven Seite und eine Elektrode auf der negativen Seite. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element weist Folgendes auf: einen Befehlsgeber 2; einen Treiber 80; einen Widerstand 7; einen Stromsensor 8, der als Gatestrom-Detektor dient; einen Gate-Ladungswert-Berechner 9; und einen Kurzschluss-Detektor 300.

**[0017]** Der Befehlsgeber 2 gibt an den Treiber 80 einen Befehl zum Einschalten des Leistungshalbleiter-Elements 1 oder einen Befehl zum Ausschalten des Leistungshalbleiter-Elements 1 aus. Der Befehl zum Einschalten des Leistungshalbleiter-Elements 1 ist ein Hochpegel-Signal. Der Befehl zum Ausschalten des Leistungshalbleiter-Elements 1 ist ein Niederpegel-Signal. Auf der Basis der Signale vom Befehlsgeber 2 geht das Leistungshalbleiter-Element 1 von einem leitenden Zustand (Einschaltzustand) in einen Blockierungszustand (Ausschaltzustand) über.

**[0018]** Der Widerstand 7 ist zwischen dem Treiber 80 und dem Leistungshalbleiter-Element 1 angeordnet.

**[0019]** Der Treiber 80 weist einen Transistor 5 und einen Transistor 6 auf.

**[0020]** Auf den Empfang eines Befehls zum Einschalten des Leistungshalbleiter-Elements 1 hin geht der Transistor 5 in den leitenden Zustand über, und der Transistor 6 geht in den Blockierungszustand über. Dadurch wird eine positive Gatespannungsquelle 3 mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 über den Widerstand 7 verbunden, wodurch veranlasst wird, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den leitenden Zustand übergeht.

**[0021]** Auf den Empfang eines Befehls zum Ausschalten des Leistungshalbleiter-Elements 1 hin geht der Transistor 5 in den Blockierungszustand über, und der Transistor 6 geht in den leitenden Zustand über. Dadurch wird das Bezugspotenzial 4 mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 über den Widerstand 7 verbunden, wodurch veranlasst wird, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand übergeht.

**[0022]** Der Stromsensor 8 detektiert einen Gatestrom  $I_g$ , der zwischen dem Treiber 80 und der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 fließt, wenn veranlasst wird, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den leitenden Zustand übergeht (beim Einschaltvorgang), und wenn veranlasst wird, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand übergeht (beim Ausschaltvorgang). Genauer gesagt: Der Stromsensor 8 detektiert die Stärke eines Stroms, der durch eine Leitung zwischen dem Treiber 80 und der Steuerung-

selektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 fließt. Der Stromsensor 8 gibt ein Spannungssignal aus, das einen Rückschluss auf die Stärke des Gatestroms  $I_g$  zulässt, und zwar an den Gate-Ladungswert-Berechner 9 und den Gatestrom-Bestimmer 101.

**[0023]** Der Gate-Ladungswert-Berechner 9 empfängt das Spannungssignal, das einen Rückschluss auf die Stärke des Gatestroms  $I_g$  zulässt, vom Stromsensor 8. Der Gate-Ladungswert-Berechner 9 integriert den Gatestrom und berechnet dadurch einen Gate-Ladungswert  $Q_g$ .

**[0024]** Auf der Basis der Stärke des Gatestroms  $I_g$  und der Stärke des Gate-Ladungswerts  $Q_g$  detektiert der Kurzschluss-Detektor 300 einen Zweig-Kurzschluss oder einen Last-Kurzschluss. In der vorliegenden Ausführungsform detektiert der Kurzschluss-Detektor 300 einen Zweig-Kurzschluss.

**[0025]** Der Kurzschluss-Detektor 300 weist Folgendes auf: einen Gatestrom-Bestimmer 101, einen Gate-Ladungswert-Bestimmer 11 und eine Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18.

**[0026]** Der Gatestrom-Bestimmer 101 bestimmt, ob der Gatestrom  $I_g$  höher als oder gleich groß wie ein Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 und niedriger als oder gleich groß wie ein Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist. Der Gatestrom-Bestimmer 101 gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn der Gatestrom  $I_g$  höher als oder gleich groß wie der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ist und niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist.

**[0027]** Der Gatestrom-Bestimmer 101 weist einen ersten Komparator 102 für den Gatestrom, einen zweiten Komparator 10 für den Gatestrom und eine Logikoperation-Schaltung 107 für den Gatestrom auf.

**[0028]** Der erste Komparator 102 für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal des Stromsensors 8 mit dem Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104. Der erste Komparator 102 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Stromsensors 8 höher als oder gleich groß wie der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ist.

**[0029]** Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal des Stromsensors 8 mit dem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14. Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Stromsensors 8 niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist.

**[0030]** Die Logikoperation-Schaltung 107 für den Gatestrom gibt ein logisches UND des Ausgangssignals des zweiten Komparators 10 für den Gatestrom und des Ausgangssignals des ersten Komparators 102 für den Gatestrom aus.

**[0031]** Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11 bestimmt, ob der Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 und niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist. Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11 gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn der Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist und niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist. Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11 weist einen ersten Komparator 12 für den Gate-Ladungswert, einen zweiten Komparator 13 für den Gate-Ladungswert und eine Logikoperation-Schaltung 17 für den Gate-Ladungswert auf.

**[0032]** Der erste Komparator 12 für den Gate-Ladungswert vergleicht das Ausgangssignal (den Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 mit dem Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15. Der erste Komparator 12 für den Gate-Ladungswert gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal (der Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist.

**[0033]** Der zweite Komparator 13 für den Gate-Ladungswert vergleicht das Ausgangssignal (den Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 mit dem Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16. Der zweite Komparator 13 für den Gate-Ladungswert gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal (der Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist.

**[0034]** Die Logikoperation-Schaltung 17 für den Gate-Ladungswert gibt ein logisches UND des Ausgangssignals des ersten Komparators 12a für den Gate-Ladungswert und des Ausgangssignals des zweiten Komparators 13 für den Gate-Ladungswert aus.

**[0035]** Die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 bestimmt ein logisches UND des Ausgangssignals der Logikoperation-Schaltung 107 für den Gatestrom des Gatestrom-Bestimmers 101 und des Ausgangssignals der Logikoperation-Schaltung 17 für den Gate-Ladungswert des Gate-Ladungswert-Bestimmers 11 und detektiert dadurch den Zweig-Kurzschluss. Nur wenn das Ausgangssig-

nal der Logikoperation-Schaltung 107 für den Gatestrom auf dem hohen Pegel ist und das Ausgangssignal der Logikoperation-Schaltung 17a für den Gate-Ladungswert auf dem hohen Pegel ist, bestimmt die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 im Zweig-Kurzschlusszustand ist, und sie gibt ein Hochpegel-Signal aus, das anzeigt, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 im Zweig-Kurzschlusszustand ist.

**[0036]** Nun wird ein Verfahren zur Detektion des Zweig-Kurzschlusses gemäß der vorliegenden Ausführungsform beschrieben.

**[0037]** Fig. 2 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen des Detektionsprinzips des Zweig-Kurzschlusses auf der Basis der Relation zwischen dem Gatestrom  $I_g$  und dem Gate-Ladungswert  $Q_g$ . Beim Zweig-Kurzschluss sind das Leistungshalbleiter-Element 1 und das Leistungshalbleiter-Element eines anderen Zweigs, der komplementär zum Leistungshalbleiter-Element 1 arbeitet, gleichzeitig eingeschaltet.

**[0038]** Die Wellenform mit der gestrichelten Linie (die die durchgezogene Linie teilweise überlappt) gibt den Gatestrom  $I_g$  gegenüber den Gate-Ladungswert  $Q_g$  an, und zwar bei einem typischen Schaltvorgang. Die Wellenform mit der durchgezogenen Linie gibt den Gatestrom  $I_g$  gegenüber dem Gate-Ladungswert  $Q_g$  beim Zweig-Kurzschluss-Betrieb an. Im typischen Einschaltvorgang nimmt der Gatestrom  $I_g$  im Zeitverlauf auf den Scheitelwert ( $I_{gmax}$ ) zu und nimmt dann ab. Anschließend wird der Gatestrom  $I_g$  einem Zeitraum (einem Spiegelzeitraum) unterzogen, während dessen der Gatestrom  $I_g$  auf einem konstanten Stromwert ( $I_m$ ) ist, und nimmt dann ab. Im Gegensatz dazu erreicht im Zweig-Kurzschluss-Betrieb der Gatestrom  $I_g$  den Scheitelwert ( $I_{gmax}$ ) und nimmt danach monoton ab, ohne dem Zeitraum (dem Spiegelzeitraum) unterzogen zu werden, während dessen der Gatestrom  $I_g$  auf einem konstanten Wert ist.

**[0039]** Von daher unterscheiden sich der typische Einschaltvorgang und der Zweig-Kurzschluss-Betrieb anscheinend in der Relation zwischen dem Gatestrom  $I_g$  und dem Gate-Ladungswert  $Q_g$ . Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß der vorliegenden Ausführungsform nutzt diese Differenz zum Detektieren des Zweig-Kurzschlusszustands.

**[0040]** Der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist auf einen Wert ( $V_{ref\_ig2}$ ) niedriger als der Gatestromwert ( $I_m$ ) während des Spiegelzeitraums im typischen Schaltvorgang vorgegeben. Der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ist auf einen Wert ( $V_{ref\_ig1}$ ) höher als null vorgegeben.

**[0041]** Der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist auf einen Wert ( $V_{ref\_q1}$ ) höher als der Gate-Ladungswert vorgegeben, wo der Gatestrom auf dem Scheitelwert ( $I_{gmax}$ ) im typischen Schaltvorgang ist. Der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist auf einen Wert ( $V_{ref\_q2}$ ) niedriger als der Gate-Ladungswert am Ende des Spiegelzeitraums im typischen Schaltvorgang vorgegeben.

**[0042]** Wenn die Referenzwerte derart vorgegeben sind, kann der Zweig-Kurzschlusszustand detektiert werden, wenn der Gatestrom  $I_g$  in einem Bereich  $V_{ref\_ig1} < I_g \leq V_{ref\_ig2}$  liegt und der Gate-Ladungswert  $Q_g$  in einem Bereich  $V_{ref\_q1} \leq Q_g \leq V_{ref\_q2}$  liegt (die schraffierte Fläche in **Fig. 2**).

**[0043]** Der Gatestrom-Bestimmer 101 arbeitet wie folgt:

Der erste Komparator 102 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Stromsensors 8 höher als oder gleich groß wie der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ist ( $= V_{ref\_ig1}$ ). Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Stromsensors 8 niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist ( $= V_{ref\_ig2}$ ). Um ein logisches UND des Ausgangssignals des ersten Komparators 102 für den Gatestrom und des Ausgangssignals des zweiten Komparators 10 für den Gatestrom auszugeben, gibt die Logikoperation-Schaltung 107 ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Stromsensors 8 höher als oder gleich groß wie die Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ( $= V_{ref\_ig1}$ ) und niedriger als oder gleich groß wie die Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ( $= V_{ref\_ig2}$ ) ist.

**[0044]** Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11 arbeitet wie folgt:

Der erste Komparator 12 für den Gate-Ladungswert gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Gate-Ladungswert-Berechners 9 höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ( $= V_{ref\_q1}$ ) ist. Der zweite Komparator 13 für den Gate-Ladungswert gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Gate-Ladungswert-Berechners 9 niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ( $= V_{ref\_q2}$ ) ist. Um das logische UND des Ausgangssignals des ersten Komparators 12a für den Gate-Ladungswert und des Ausgangssignals des zweiten Komparators 13 für den Gate-Ladungswert auszugeben, gibt die Logikoperation-

Schaltung 17 ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Gate-Ladungswert-Berechners 9 höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ( $= V_{ref\_q1}$ ) und niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ( $= V_{ref\_q2}$ ) ist.

**[0045]** Die Zweig-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung 18 gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn der Gatestrom  $I_g$  höher als oder gleich groß wie der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ( $= V_{ref\_ig1}$ ) und niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ( $= V_{ref\_ig2}$ ) ist und der Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ( $= V_{ref\_q1}$ ) und niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ( $= V_{ref\_q2}$ ) ist.

**[0046]** Wie oben beschrieben, gibt die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß der vorliegenden Ausführungsform ein Hochpegel-Signal aus, wenn das das Leistungshalbleiter-Element 1 im Zweig-Kurzschlusszustand ist.

**[0047]** Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß der vorliegenden Ausführungsform kann prompt den Zweig-Kurzschluss detektieren und den Stromrichter schützen, ohne einen Detektionszeitraum zum Bestimmen des Kurzschlusszustands vorzugeben. Außerdem ist die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß der vorliegenden Ausführungsform hoch zuverlässig, preiswert und hat eine verringerte Schaltungsgröße.

#### Ausführungsform 2

**[0048]** Das Verfahren zur Detektion des Gatestroms gemäß der vorliegenden Ausführungsform unterscheidet sich vom Verfahren zur Detektion des Gatestroms gemäß Ausführungsform 1. **Fig. 3** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 2 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 2 aus **Fig. 3** unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 1 aus **Fig. 1** darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 2 einen Treiber 80a anstelle des Treibers 80 und einen Kurzschluss-Detektor 300a anstelle des Kurzschluss-Detektors 300 aufweist.

**[0049]** Der Kurzschluss-Detektor 300a weist Folgendes auf: einen Gate-Ladungswert-Bestimmer 11 ähnlich demjenigen in Ausführungsform 1, sowie

einen Gatestrom-Bestimmer 101a anstelle des Gatestrom-Bestimmers 101.

**[0050]** Der Treiber 80a weist eine Einschalt-Schaltung 19 und eine Ausschalt-Schaltung 20 auf.

**[0051]** Die Einschalt-Schaltung 19 weist eine positive Gatespannungsquelle 3, einen Transistor 5 und einen Einschalt-Gate-Widerstand 7a auf. Die Ausschalt-Schaltung 20 weist ein Bezugspotenzial 4, einen Transistor 6 und einen Ausschalt-Gate-Widerstand 7b auf. Die positive Gatespannungsquelle 3, der Transistor 5, der Einschalt-Gate-Widerstand 7a, der Ausschalt-Gate-Widerstand 7b, der Transistor 6 und das Bezugspotenzial 4 sind in Reihe geschaltet.

**[0052]** Eine Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 verbindet einen Knoten ND1, der mit dem Einschalt-Gate-Widerstand 7a und dem Ausschalt-Gate-Widerstand 7b verbunden ist.

**[0053]** Der Stromsensor 8 detektiert den Strom, der vom Transistor 5 zum Einschalt-Gate-Widerstand 7a fließt. Der Stromsensor 8 detektiert den Gatestrom, der in die Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 fließt, wenn veranlasst wird, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den leitenden Zustand übergeht (beim Einschaltvorgang). Der Stromsensor 8 überträgt ein Spannungssignal, das einen Rückschluss auf das Detektionsergebnis zulässt, an den Gate-Ladungswert-Berechner 9 und den Gatestrom-Bestimmer 101a.

**[0054]** In Ausführungsform 1 gilt Folgendes: Da der Stromsensor 8 den Strom zwischen dem Knoten ND1 und dem Leistungshalbleiter-Element 1 detektiert, detektiert der Stromsensor 8 den Gatestrom sowohl beim Einschaltvorgang, als auch beim Ausschaltvorgang.

**[0055]** In Ausführungsform 2 gilt Folgendes: Da der Stromsensor 8 den Strom detektiert, der durch die Einschalt-Schaltung 19 fließt, detektiert der Stromsensor 8 den Gatestrom, der in die Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 fließt, und zwar nur beim Einschaltvorgang.

**[0056]** In Ausführungsform 1 gilt Folgendes: Da der Stromsensor 8 den Gatestrom sogar beim Ausschaltvorgang detektiert, kann die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 den Zweig-Kurzschluss sogar beim Ausschaltvorgang detektieren. In Ausführungsform 2 gilt im Gegensatz dazu Folgendes: Der Stromsensor 8 detektiert den Gatestrom nur beim Einschaltvorgang, und die Möglichkeit einer fehlerhaften Detektion wird dadurch beseitigt.

**[0057]** Der Gatestrom-Bestimmer 101a bestimmt, ob ein Gatestrom  $I_g$  niedriger als oder gleich groß

wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist. Wenn der Gatestrom  $I_g$  niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist, gibt der Gatestrom-Bestimmer 101a ein Hochpegel-Signal aus.

**[0058]** Der Gatestrom-Bestimmer 101a weist einen zweiten Komparator 10 für den Gatestrom auf. Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal des Stromsensors 8 mit dem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14. Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Stromsensors 8 niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist.

**[0059]** In der vorliegenden Ausführungsform ist der Gatestrom  $I_g$ , der vom Stromsensor 8 detektiert wird, nur ein positiver Wert, wie oben beschrieben. Da es keine Notwendigkeit gibt, zu detektieren, ob der Gatestrom  $I_g$  höher als null ist, weist der Gatestrom-Bestimmer 101a nur den zweiten Komparator 10 für den Gatestrom auf.

**[0060]** Die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 bestimmt ein logisches UND des Ausgangssignals des zweiten Komparators 10 für den Gatestrom des Gatestrom-Bestimmers 101a und des Ausgangssignals der Logikoperation-Schaltung 17 für den Gate-Ladungswert des Gate-Ladungswert-Bestimmers 11 und detektiert dadurch den Zweig-Kurzschluss. Die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 detektiert, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 im Zweig-Kurzschlusszustand ist, und gibt ein Hochpegel-Signal aus, das anzeigt, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 im Zweig-Kurzschlusszustand ist, und zwar nur, wenn das Ausgangssignal des zweiten Komparators 10 für den Gatestrom ein Hochpegel-Signal ist und das Ausgangssignal der Logikoperation-Schaltung 17 für den Gate-Ladungswert ein Hochpegel-Signal ist.

**[0061]** Während **Fig. 3** die Konfiguration zeigt, bei der kein Widerstand zwischen die Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 und den Knoten ND1 geschaltet ist, der mit dem Einschalt-Gate-Widerstand 7a und dem Ausschalt-Gate-Widerstand 7b verbunden ist, kann ein Widerstand zwischen den Knoten ND1 und die Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 geschaltet sein.

### Ausführungsform 3

**[0062]** Das Verfahren zur Detektion des Gatestroms gemäß der vorliegenden Ausführungsform unterscheidet sich vom Verfahren zur Detektion des Gatestroms gemäß Ausführungsform 1. **Fig. 4** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschal-

tung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 3 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 3 aus **Fig. 4** unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 1 aus **Fig. 1** darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 3 einen Differenzverstärker 21 anstelle des Stromsensors 8 aufweist.

**[0063]** Der Differenzverstärker 21 detektiert eine Spannung am Widerstand 7, wodurch sie den Gatestrom  $I_g$  detektiert, der zwischen einem Treiber 80 und einer Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 fließt. Das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 wird an einen Gate-Ladungswert-Berechner 9 und einen Gatestrom-Bestimmer 101 übertragen.

**[0064]** Der Gate-Ladungswert-Berechner 9 nimmt ein Spannungssignal, das einen Rückschluss auf die Stärke des Gatestroms  $I_g$  erlaubt, vom Differenzverstärker 21 entgegen. Der Gate-Ladungswert-Berechner 9 integriert den Gatestrom  $I_g$  und berechnet dadurch einen Gate-Ladungswert  $Q_g$ .

**[0065]** Der erste Komparator 102 für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 mit einem Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104. Der erste Komparator 102 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 höher als oder gleich groß wie der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ist.

**[0066]** Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 mit einem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14. Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist.

**[0067]** Die übrigen Vorgänge sind ähnlich denjenigen in Ausführungsform 1.

#### Ausführungsform 4

**[0068]** **Fig. 5** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 4 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 4 aus **Fig. 5** unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 2 aus **Fig. 3** darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 4 einen Differenzverstärker 21 anstelle des Stromsensors 8 aufweist.

**[0069]** Der Differenzverstärker 21 detektiert die Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand 7a und detektiert dadurch den Gatestrom  $I_g$ , der in eine Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 fließt. Das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 wird an einen Gate-Ladungswert-Berechner 9 und einen Gatestrom-Bestimmer 101 übertragen. Die nachfolgenden Vorgänge sind ähnlich denjenigen in Ausführungsform 1.

#### Ausführungsform 5

**[0070]** **Fig. 6** ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 5 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 5 aus **Fig. 6** unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 3 aus **Fig. 4** darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 5 eine Schutzschaltung 400 aufweist.

**[0071]** Wenn der Kurzschluss-Detektor 300 einen Zweig-Kurzschluss oder einen Last-Kurzschluss detektiert, gibt die Schutzschaltung 400 einen Befehl aus, um zu veranlassen, dass ein Treiber 80 das Leistungshalbleiter-Element 1 ausschaltet, und zwar ungeachtet eines Befehls vom Befehlsgeber 2.

**[0072]** Die Schutzschaltung 400 weist eine Verriegelungsschaltung oder Selbsthalteschaltung 22, eine Invertierungsschaltung 23 und eine Logikoperation-Schaltung 24 auf.

**[0073]** Wenn sich das Ausgangssignal der Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 vom Niedrigpegel-Signal in ein Hochpegel-Signal ändert, dann hält die Selbsthalteschaltung 22 das Hochpegel-Signal. Das gehaltene Ausgangssignal wird an die Invertierungsschaltung 23 übertragen. Die Invertierungsschaltung 23 invertiert den Pegel des Ausgangssignals der Selbsthalteschaltung 22.

**[0074]** Die Logikoperation-Schaltung 24 gibt ein logisches UND des Ausgangssignals des Befehlsgebers 2 und des Ausgangssignals der Invertierungsschaltung 23 an den Treiber 80 aus. Dies veranlasst den Transistor 5 und den Transistor 6 dazu, das Leistungshalbleiter-Element 1 zu steuern, so dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den leitenden Zustand oder den Blockierungszustand gebracht wird.

**[0075]** Bei einem typischen Vorgang bzw. im typischen Betrieb gibt die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 ein Niedrigpegel-Signal aus. Zu dieser Zeit gibt die Selbsthalteschaltung 22 ein Niedrigpegel-Signal an die Invertierungsschaltung 23 aus. Die Invertierungsschaltung 23 gibt ein

Hochpegel-Signal aus. Da das Ausgangssignal der Invertierungsschaltung 23 ein Hochpegel-Signal ist, gibt die Logikoperation-Schaltung 24 ein Hochpegel-Signal an den Treiber 80 aus, wenn das Signal vom Befehlsgeber 2 ein Hochpegel-Signal ist. Im Ergebnis wird der Transistor 5 eingeschaltet, und der Transistor 6 wird ausgeschaltet, und zwar im Treiber 80. Dadurch wird das Leistungshalbleiter-Element 1 in den leitenden Zustand gebracht.

**[0076]** Die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 den Zweig-Kurzschluss detektiert. Die Selbsthalteschaltung 22 hält das Hochpegel-Ausgangssignal, das von der Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 ausgegeben wird, und gibt es an die Invertierungsschaltung 23 aus. Die Invertierungsschaltung 23 gibt ein Niederpegel-Signal aus. Da das Ausgangssignal der Invertierungsschaltung 23 ein Niederpegel-Signal ist, gibt die Logikoperation-Schaltung 24 ein Niederpegel-Signal an den Treiber 80 aus, und zwar ungeachtet des Pegels des Signals vom Befehlsgeber 2. Im Ergebnis wird der Transistor 5 ausgeschaltet, und der Transistor 6 wird eingeschaltet, und zwar im Treiber 80. Dadurch wird das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand gebracht. Die schützt das Leistungshalbleiter-Element 1.

**[0077]** In Ausführungsform 5 wird eine elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 vom Differenzverstärker 21 detektiert, der die Spannung am Widerstand 7 detektiert, der mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 verbunden ist, wie bei Ausführungsform 3. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht beschränkt. Wie bei den Ausführungsformen 1 und 2 kann der Stromsensor 8 die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom detektieren. Alternativ kann die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 dadurch detektiert werden, dass die Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand 7a detektiert wird, wie bei Ausführungsform 4.

#### Ausführungsform 6

**[0078]** Fig. 7 ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 6 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 6 aus Fig. 7 unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 3 aus Fig. 4 darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 6 ein Filter 25 aufweist.

**[0079]** Das Filter 25 nimmt das Ausgangssignal eines Differenzverstärkers 21 entgegen. Das Filter 25 ändert die Form der Wellenform des Ausgangssignals des Differenzverstärkers 21 bzw. formt diese um, und zwar mit einer vorbestimmten Zeitkonstante. Da das Filter 25 mäßige Änderungen des Ausgangssignals des Differenzverstärkers 21 im Zeitverlauf erlaubt, kann eine fehlerhafte Detektion des Zweig-Kurzschlusses verhindert werden. Die Ausgabe des Filters 25 wird an einen Gate-Ladungswert-Berechner 9, einen Kurzschluss-Detektor 300, einen ersten Komparator 102 für den Gatestrom und einen zweiten Komparator 10 für den Gatestrom übertragen.

**[0080]** Die übrigen Vorgänge der vorliegenden Ausführungsform sind ähnlich denjenigen in Ausführungsform 3.

**[0081]** In der vorliegenden Ausführungsform wird die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 vom Differenzverstärker 21 detektiert, der die Spannung am Widerstand 7 detektiert, der mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 verbunden ist, wie bei Ausführungsform 3. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht beschränkt. Der Stromsensor 8 kann auch die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom detektieren, wie bei den Ausführungsformen 1 und 2. Alternativ kann die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 dadurch detektiert werden, dass die Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand 7a detektiert wird, wie bei Ausführungsform 4. Die Schutzschaltung 400 kann veranlassen, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand übergeht, wenn der Zweig-Kurzschlusszustand detektiert wird, wie bei Ausführungsform 5.

#### Ausführungsform 7

**[0082]** Fig. 8 ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 7 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 7 aus Fig. 8 unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 3 aus Fig. 4 darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 7 einen Kurzschluss-Detektor 300b anstelle des Kurzschluss-Detektors 300 aufweist.

**[0083]** Der Kurzschluss-Detektor 300b weist Folgendes auf: einen Gatestrom-Bestimmer 101b anstelle des Gatestrom-Bestimmers 101, einen Gate-Ladungswert-Bestimmer 11a anstelle des Gate-Ladungswert-Bestimmers 11 und eine Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18a

anstelle der Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18.

**[0084]** Der Gatestrom-Bestimmer 101b bestimmt, ob ein Gatestrom  $I_g$  höher als oder gleich groß wie ein Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 und niedriger als oder gleich groß wie ein Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist. Der Gatestrom-Bestimmer 101b gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, wenn der Gatestrom  $I_g$  höher als oder gleich groß wie der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ist und niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist.

**[0085]** Der Gatestrom-Bestimmer 101b weist einen ersten Komparator 102a für den Gatestrom, einen zweiten Komparator 10a für den Gatestrom und eine Logikoperation-Schaltung 107a für den Gatestrom auf.

**[0086]** Der erste Komparator 102a für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal eines Differenzverstärkers 21 mit dem Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104. Der erste Komparator 102 für den Gatestrom gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 höher als oder gleich groß wie der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ist.

**[0087]** Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 mit einem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14. Der zweite Komparator 10 für den Gatestrom gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 ist.

**[0088]** Die Logikoperation-Schaltung 107a für den Gatestrom führt eine XOR-Operation durch, die das Ausgangssignal des ersten Komparators 102a für den Gatestrom und das Ausgangssignal des zweiten Komparators 10a für den Gatestrom vergleicht. Die Logikoperation-Schaltung 107a für den Gatestrom gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des ersten Komparators 102a für den Gatestrom ein Niedrigpegel-Signal ist und das Ausgangssignal des zweiten Komparator 10a für den Gatestrom ein Niedrigpegel-Signal ist. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es keine Möglichkeit gibt, dass das Ausgangssignal des ersten Komparators 102a für den Gatestrom ein Hochpegel-Signal ist und gleichzeitig das Ausgangssignal des zweiten Komparators 10a für den Gatestrom ein Hochpegel-Signal ist, ist die Logikoperation-Schaltung 107a für den Gatestrom die XOR-Operationsschaltung. Die Logikoperation-Schaltung 107a für den Gatestrom kann jedoch auch eine ODER-Operationsschaltung sein.

**[0089]** Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11a bestimmt, ob ein Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie ein Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 und niedriger als oder gleich groß wie ein Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist. Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11a gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, wenn der Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist und niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist.

**[0090]** Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11a weist einen ersten Komparator 12a für den Gate-Ladungswert, einen zweiten Komparator 13a für den Gate-Ladungswert und eine Logikoperation-Schaltung 17a für den Gate-Ladungswert auf.

**[0091]** Der erste Komparator 12a für den Gate-Ladungswert vergleicht das Ausgangssignal eines Gate-Ladungswert-Berechners 9 mit dem Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15. Der erste Komparator 12a für den Gate-Ladungswert gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Gate-Ladungswert-Berechners 9 höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist.

**[0092]** Der zweite Komparator 13a für den Gate-Ladungswert vergleicht das Ausgangssignal des Gate-Ladungswert-Berechners 9 mit dem Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16. Der zweite Komparator 13a für den Gate-Ladungswert gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Gate-Ladungswert-Berechners 9 niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist.

**[0093]** Die Logikoperation-Schaltung 17a für den Gate-Ladungswert führt eine XOR-Operation aus, die das Ausgangssignal des ersten Komparators 12 für den Gate-Ladungswert und das Ausgangssignal des zweiten Komparators 13 für den Gate-Ladungswert vergleicht. Die Logikoperation-Schaltung 17a gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des ersten Komparators 12a für den Gate-Ladungswert ein Niedrigpegel-Signal ist und das Ausgangssignal des zweiten Komparators 13a für den Gate-Ladungswert ein Niedrigpegel-Signal ist. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es keine Möglichkeit gibt, dass das Ausgangssignal des ersten Komparators 12b für den Gate-Ladungswert ein Hochpegel-Signal ist und gleichzeitig das Ausgangssignal des zweiten Komparators 13b für den Gate-Ladungswert ein Hochpegel-Signal ist, ist die Logikoperation-Schaltung 17a für den Gate-Ladungswert die XOR-Operationsschaltung. Die Logikoperation-Schaltung 17a für den Gate-Ladungswert kann jedoch auch eine ODER-Operationsschaltung sein.

**[0094]** Auf der Basis der ODER-Operation des Ausgangssignals des Gatestrom-Bestimmers 101 und des Ausgangssignals des Gate-Ladungswert-Bestimmers 11 detektiert die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18a einen Zweig-Kurzschluss. Die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18a detektiert den Zweig-Kurzschluss und gibt ein Niedrigpegel-Signal aus, das das Auftreten des Zweig-Kurzschlusses anzeigt, und zwar nur, wenn das Ausgangssignal des Gatestrom-Bestimmers 101b ein Niedrigpegel-Signal ist (der Gatestrom  $I_g$  niedriger als oder gleich groß ist wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 und höher als oder gleich groß wie der Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert 104 ist) und das Ausgangssignal des Gate-Ladungswert-Bestimmers 11a ein Niedrigpegel-Signal ist (die Gateladung  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist und niedriger als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist).

**[0095]** In der vorliegenden Ausführungsform wird die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 vom Differenzverstärker 21 detektiert, der die Spannung am Widerstand 7 detektiert, der mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 verbunden ist, wie bei Ausführungsform 3. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht beschränkt. Wie bei den Ausführungsformen 1 und 2 kann der Stromsensor 8 die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom detektieren. Alternativ kann die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 dadurch detektiert werden, dass die Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand 7a detektiert wird, wie bei Ausführungsform 4. Wie bei Ausführungsform 5 kann die Schutzschaltung 400 veranlassen, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand übergeht, wenn der Zweig-Kurzschlusszustand detektiert wird.

#### Ausführungsform 8

**[0096]** Fig. 9 ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 8 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 8 aus Fig. 9 unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 3 aus Fig. 4 darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 8 einen Kurzschluss-Detektor 300c anstelle des Kurzschluss-Detektors 300 aufweist.

**[0097]** Der Kurzschluss-Detektor 300c weist einen Gatestrom-Bestimmer 101c anstelle des Gatestrom-Bestimmers 101 und einen Gate-Ladungs-

wert-Bestimmer 11b anstelle des Gate-Ladungswert-Bestimmers 11 auf.

**[0098]** Der Gatestrom-Bestimmer 101c unterscheidet sich vom Gatestrom-Bestimmer 101 darin, dass der Gatestrom-Bestimmer 101c einen zweiten Komparator 10b für den Gatestrom anstelle des zweiten Komparators 10 für den Gatestrom aufweist.

**[0099]** Der zweite Komparator 10b für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal eines Differenzverstärkers 21 mit einem variablen Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14b. Der zweite Komparator 10b für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 niedriger als oder gleich groß wie der variable Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14b ist.

**[0100]** In Ausführungsform 1 ist der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14 auf einen Wert ( $V_{ref\_ig2}$ ) vorgegeben, der niedriger ist als der Gatestromwert ( $I_m$ ) während des Spiegelzeitraums. Der Gatestromwert  $I_m$  während des Spiegelzeitraums hängt von den Ausgabeeigenschaften des Leistungshalbleiter-Elements 1 und dem Widerstand zwischen der positiven Gatespannungsquelle 3 und der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 ab. Die Ausgabeeigenschaften des Leistungshalbleiter-Elements 1 sind temperaturabhängig. Folglich ist der Gatestromwert  $I_m$  während des Spiegelzeitraums temperaturabhängig. In der vorliegenden Ausführungsform ist der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14b so vorgegeben, dass er in Abhängigkeit von der Temperatur variiert. Im Ergebnis kann der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14b auf einen passenden Wert gemäß der Betriebsumgebung des Leistungshalbleiter-Elements 1 vorgegeben werden und dadurch die Detektion des Zweig-Kurzschlusszustands gewährleisten.

**[0101]** Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11b unterscheidet sich vom Gate-Ladungswert-Bestimmer 11 darin, dass der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11b einen ersten Komparator 12b für den Gate-Ladungswert anstelle des ersten Komparators 12 für den Gate-Ladungswert und einen zweiten Komparator 13b für den Gate-Ladungswert anstelle des zweiten Komparators 13 für den Gate-Ladungswert aufweist.

**[0102]** Der erste Komparator 12b für den Gate-Ladungswert vergleicht das Ausgangssignal (einen Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) eines Gate-Ladungswert-Berechners 9 mit einem variablen Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15b. Der erste Komparator 12b für den Gate-Ladungswert gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal (der Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 höher als oder gleich groß wie der

variable Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15b ist.

**[0103]** Der zweite Komparator 13b für den Gate-Ladungswert vergleicht das Ausgangssignal (den Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 mit einem variablen Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16b. Der zweite Komparator 13 für den Gate-Ladungswert gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal (der Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 niedriger als oder gleich groß wie der variable Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16b ist.

**[0104]** In Ausführungsform 1 ist der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 auf einen Wert ( $V_{ref\_q1}$ ) vorgegeben, der höher ist als der Ladungswert, wo der Gatestrom auf dem Scheitelpunkt ( $I_{gmax}$ ) ist. Der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16 ist auf einen Wert ( $V_{ref\_q2}$ ) vorgegeben, der niedriger ist als der Gate-Ladungswert am Ende des Spiegelzeitraums.

**[0105]** Ein Gatestrom  $I_g$  während des Spiegelzeitraums fließt durch eine Rückkopplungs- bzw. Rückwirkungskapazität des Leistungshalbleiter-Elements 1. Die Rückwirkungskapazität ist die parasitäre Kapazität zwischen der Elektrode auf der positiven Seite und der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1. Der Ladungswert, der dem Leistungshalbleiter-Element 1 während des Spiegelzeitraums zugeführt wird, hängt von der Spannung ab, die zwischen der Elektrode auf der positiven Seite und der Elektrode auf der negativen Seite des Leistungshalbleiter-Elements 1 anliegt.

**[0106]** In der vorliegenden Ausführungsform sind der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15b und der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16b so vorgegeben, dass sie in Ansprechen auf die Spannung variieren, die zwischen der Elektrode auf der positiven Seite und der Elektrode auf der negativen Seite des Leistungshalbleiter-Elements 1 anliegt. Im Ergebnis können der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15b und der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert 16b passend gemäß der Betriebsumgebung des Leistungshalbleiter-Elements 1 vorgegeben werden. Dadurch wird die Detektion des Zweig-Kurzschlusszustands gewährleistet.

**[0107]** In der vorliegenden Ausführungsform wird die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 vom Differenzverstärker 21 detektiert, der die Spannung am Widerstand 7 detektiert, der mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 verbunden ist, wie bei Ausführungsform 3. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht beschränkt. Wie bei

den Ausführungsformen 1 und 2 kann der Stromsensor 8 die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom detektieren. Alternativ kann die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 dadurch detektiert werden, dass die Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand 7a detektiert wird, wie bei Ausführungsform 4. Wie bei Ausführungsform 5 kann die Schutzschaltung 400 veranlassen, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand übergeht, wenn das Leistungshalbleiter-Element 1 im Zweig-Kurzschlusszustand ist.

#### Ausführungsform 9

**[0108]** Fig. 10 ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 9 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 9 aus Fig. 10 unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 3 aus Fig. 4 darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 9 eine Initialisierungs-Betriebsschaltung 26 aufweist.

**[0109]** Die Initialisierungs-Betriebsschaltung 26 initialisiert das Ausgangssignal des Gate-Ladungswert-Berechners 9 auf null, und zwar in Ansprechen auf den Moment, in dem ein Gatestrom  $I_g$  beim Einschaltvorgang des Leistungshalbleiter-Elements 1 zu fließen beginnt. Dies ermöglicht es dem Gate-Ladungswert-Berechner 9, den Gate-Ladungswert  $Q_g$  genau zu berechnen. Dadurch wird eine fehlerhafte Detektion des Zweig-Kurzschlusses durch die Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 verhindert.

**[0110]** In der vorliegenden Ausführungsform wird die Spannung am Widerstand 7, der mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 verbunden ist, vom Differenzverstärker 21 detektiert, der die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 detektiert, wie bei Ausführungsform 3. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht beschränkt. Wie bei den Ausführungsformen 1 und 2 kann der Stromsensor 8 die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom detektieren. Alternativ kann die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 dadurch detektiert werden, dass die Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand 7a detektiert wird, wie bei Ausführungsform 4. Wie bei Ausführungsform 5 kann die Schutzschaltung 400 veranlassen, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand übergeht, wenn das Leistungshalbleiter-Element 1 im Zweig-Kurzschlusszustand ist.

## Ausführungsform 10

**[0111]** In den oben beschriebenen Ausführungsformen wurde der Kurzschlusszustand unter Bezugnahme auf den Zweig-Kurzschluss beschrieben. Neben dem Zweig-Kurzschluss schließt der Kurzschlusszustand jedoch auch einen Last-Kurzschluss ein, in dem eine Last wie z. B. ein Motor, der mit dem Leistungshalbleiter-Element 1 verbunden ist, dem Kurzschlusszustand unterworfen wird. Im Falle eines Last-Kurzschlusses nimmt die Spannung (die Drain-Source-Spannung) zwischen der Elektrode auf der positiven Seite und der Elektrode auf der negativen Seite des Leistungshalbleiter-Elements 1 auf eine Einschaltzustand-Spannung ab, nach der der Drainstrom rapide ansteigt, einhergehend mit einem Anstieg der Drain-Source-Spannung, wie im typischen Einschaltvorgang. Mit dem Ansteigen der Drain-Source-Spannung nimmt die Drain-Gate-Kapazität (die Rückwirkungskapazität) ab, was zur Folge hat, dass ein Strom vom Drain-Anschluss des Leistungshalbleiter-Elements 1 zum Treiber 80 fließt, und zwar über den Gate-Anschluss. Demzufolge wird der Gatestrom  $I_g$  negativ, und der Gate-Ladungswert  $Q_g$  nimmt ab.

**[0112]** Fig. 11 ist ein Diagramm zum Veranschaulichen des Detektionsprinzips des Last-Kurzschlusses auf der Basis der Relation zwischen dem Gatestrom  $I_g$  und dem Gate-Ladungswert  $Q_g$ .

**[0113]** Die Wellenform mit der gepunkteten Linie gibt den Gatestrom  $I_g$  gegenüber dem Gate-Ladungswert  $Q_g$  beim typischen Schaltvorgang an. Die Wellenform mit der durchgezogenen Linie gibt den Gatestrom  $I_g$  gegenüber dem Gate-Ladungswert  $Q_g$  beim Last-Kurzschluss-Betrieb an.

**[0114]** Die Relation zwischen dem Gatestrom  $I_g$  und dem Gate-Ladungswert  $Q_g$  im Last-Kurzschlusszustand ist ähnlich derjenigen im typischen Schaltvorgang, der einen Teil des Wegs durchlaufen hat. Mit anderen Worten: Der Gatestrom  $I_g$  nimmt im Zeitverlauf auf den Scheitelwert ( $I_{gmax}$ ) zu und nimmt dann ab. Anschließend wird der Gatestrom  $I_g$  einem Zeitraum (einem Spiegelzeitraum) unterzogen, während dessen der Gatestrom  $I_g$  auf einem konstanten Stromwert ( $I_m$ ) ist, und nimmt dann ab. Im Last-Kurzschluss-Betrieb wird der Gatestrom  $I_g$  negativ, wie oben beschrieben. Mit anderen Worten: Der Gatestrom  $I_g$  fließt vom Leistungshalbleiter-Element 1 zum Treiber 80. Da der Gatestrom  $I_g$  negativ wird, nimmt der Gate-Ladungswert  $Q_g$ , dargestellt als das zeitliche Integral des Gatestroms  $I_g$ , ab. Von daher unterscheiden sich der typische Schaltvorgang und der Last-Kurzschluss-Betrieb in der Relation zwischen dem Gatestrom  $I_g$  und dem Gate-Ladungswert  $Q_g$ . Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß der vor-

liegenden Ausführungsform nutzt diese Differenz zum Detektieren des Last-Kurzschlusszustands.

**[0115]** Ein Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c ist auf einen Wert ( $V_{ref\_ig2}$ ) niedriger als null vorgegeben.

**[0116]** Ein Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist auf einen Wert ( $V_{ref\_q1}$ ) höher als der Ladungswert vorgegeben, wo der Gatestrom auf dem Scheitelwert ( $I_{gmax}$ ) ist. Wenn der Referenzwert als solcher vorgegeben ist, kann bestimmt werden, dass die Last im Kurzschlusszustand ist, wenn der Gatestrom  $I_g$  im Bereich  $I_g \leq V_{ref\_ig2}$  liegt und der Gate-Ladungswert  $Q_g$  im Bereich  $V_{ref\_q1} \leq Q_g$  liegt (die schraffierte Fläche in Fig. 11).

**[0117]** Fig. 12 ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 10 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 10 aus Fig. 12 unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 3 aus Fig. 4 darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 10 einen Kurzschluss-Detektor 300d anstelle des Kurzschluss-Detektors 300 aufweist.

**[0118]** Der Kurzschluss-Detektor 300d weist einen Gatestrom-Bestimmer 101d, einen Gate-Ladungswert-Bestimmer 11c und eine Last-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 56 auf, und zwar anstelle des Gatestrom-Bestimmers 101, des Gate-Ladungswert-Bestimmers 11 und der Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18.

**[0119]** Der Gatestrom-Bestimmer 101d bestimmt, ob der Gatestrom  $I_g$  niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c ist. Der Gatestrom-Bestimmer 101d gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn der Gatestrom  $I_g$  niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c ist.

**[0120]** Der Gatestrom-Bestimmer 101d weist einen dritten Komparator 50 für den Gatestrom auf. Der dritte Komparator 50 für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal eines Differenzverstärkers 21 mit dem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c. Der dritte Komparator 50 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c ist.

**[0121]** Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11c bestimmt, ob der Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist. Der Gate-Ladungswert-

Bestimmer 11c gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn der Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist. Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11c weist einen ersten Komparator 12 für den Gate-Ladungswert auf.

**[0122]** Der erste Komparator 12 für den Gate-Ladungswert vergleicht das Ausgangssignal (den Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 mit dem Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15. Der erste Komparator 12 für den Gate-Ladungswert gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal (der Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist.

**[0123]** Die Last-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung 56 gibt das logische UND des Ausgangssignals des dritten Komparators 50 für den Gatestrom des Gatestrom-Bestimmers 101d und des Ausgangssignals des ersten Komparators 12 für den Gate-Ladungswert des Gate-Ladungswert-Bestimmers 11c aus. Wenn der Gatestrom  $I_g$  niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c ist und der Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist, bestimmt die Last-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung 56, dass die Last im Kurzschlusszustand ist, und sie gibt ein Hochpegel-Signal aus, das dies anzeigt.

**[0124]** In der vorliegenden Ausführungsform wird die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 vom Differenzverstärker 21 detektiert, der die Spannung am Widerstand 7 detektiert, der mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 verbunden ist, wie bei Ausführungsform 3. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht beschränkt. Wie bei den Ausführungsformen 1 und 2 kann der Stromsensor 8 die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom detektieren. Alternativ kann die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 dadurch detektiert werden, dass die Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand 7a detektiert wird, wie bei Ausführungsform 4. Wie bei Ausführungsform 5 kann die Schutzschaltung 400 veranlassen, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand übergeht, wenn die Last im Kurzschlusszustand ist.

#### Ausführungsform 11

**[0125]** Fig. 13 ist ein Diagramm, das eine Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 11 zeigt. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-

Element gemäß Ausführungsform 11 aus Fig. 13 unterscheidet sich vom Leistungshalbleiter-Element 1 gemäß Ausführungsform 1 aus Fig. 1 darin, dass die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 11 ferner einen dritten Komparator 50 für den Gatestrom und eine Last-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 56 aufweist, die ähnlich denjenigen in Ausführungsform 10 sind. Die Treiber-Steuerungsschaltung für das Leistungshalbleiter-Element gemäß Ausführungsform 11 weist außerdem einen Kurzschluss-Bestimmer 118 auf.

**[0126]** Der Gate-Ladungswert-Bestimmer 11 weist einen ersten Komparator 12 für den Gate-Ladungswert auf, der verwendet wird, um sowohl einen Zweig-Kurzschluss, als auch einen Last-Kurzschluss zu detektieren.

**[0127]** Der dritte Komparator 50 für den Gatestrom vergleicht das Ausgangssignal eines Differenzverstärkers 21 mit einem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c. Der dritte Komparator 50 für den Gatestrom gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 21 niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c ist.

**[0128]** Der erste Komparator 12 für den Gate-Ladungswert vergleicht das Ausgangssignal (einen Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 mit einem Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15. Der erste Komparator 12 für den Gate-Ladungswert gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn das Ausgangssignal (der Gate-Ladungswert  $Q_g$ ) des Gate-Ladungswert-Berechners 9 höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist.

**[0129]** Die Last-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung 56 gibt das logische UND des Ausgangssignals des dritten Komparators 50 für den Gatestrom und des Ausgangssignals des ersten Komparators 12 für den Gate-Ladungswert aus. Wenn der Gatestrom  $I_g$  niedriger als oder gleich groß wie der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert 14c ist und der Gate-Ladungswert  $Q_g$  höher als oder gleich groß wie der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert 15 ist, dann bestimmt die Last-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung 56, dass die Last im Kurzschlusszustand ist, und sie gibt ein Hochpegel-Signal aus, das dies anzeigt.

**[0130]** Der Kurzschluss-Bestimmer 118 gibt das logische OR des Ausgangssignals der Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 und des Ausgangssignals der Last-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung 56 aus. Der Kurzschluss-Bestimmer 118 gibt ein Hochpegel-Signal

aus, das einen Rückschluss auf einen Kurzschluss zulässt, wenn mindestens eines von dem Ausgangssignal der Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung 18 und dem Ausgangssignal der Last-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung 56 ein Hochpegel-Signal ist.

**[0131]** In der vorliegenden Ausführungsform gilt Folgendes: Da sowohl der Zweig-Kurzschluss, als auch der Last-Kurzschluss detektiert werden können, kann das Leistungshalbleiter-Element sicher geschützt werden.

**[0132]** In der vorliegenden Ausführungsform gilt Folgendes: Der Kurzschluss-Bestimmer 118 gibt ein Hochpegel-Signal aus, wenn mindestens einer von einem Last-Kurzschluss und einem Zweig-Kurzschluss detektiert wird. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht beschränkt. Wie bei Ausführungsform 7 kann der Kurzschluss-Bestimmer 118 auch ein Niederpegel-Signal ausgeben, indem die Logik invertiert wird.

**[0133]** In der vorliegenden Ausführungsform wird die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 vom Differenzverstärker 21 detektiert, der die Spannung am Widerstand 7 detektiert, der mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements 1 verbunden ist, wie bei Ausführungsform 3. Die vorliegende Ausführungsform ist darauf jedoch nicht beschränkt. Wie bei den Ausführungsformen 1 und 2 kann der Stromsensor 8 die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom detektieren. Alternativ kann die elektrische Größe entsprechend dem Gatestrom des Leistungshalbleiter-Elements 1 dadurch detektiert werden, dass die Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand 7a detektiert wird, wie bei Ausführungsform 4. Wie bei Ausführungsform 5 kann die Schutzschaltung 400 veranlassen, dass das Leistungshalbleiter-Element 1 in den Blockierungszustand übergeht, wenn ein Zweig-Kurzschluss oder ein Last-Kurzschluss detektiert wird.

#### Ausführungsform 12

**[0134]** Die vorliegende Ausführungsform ist eine Anwendung des Leistungshalbleiter-Elements 1 und der Treiber-Steuerungsschaltung gemäß den oben beschriebenen Ausführungsformen auf einen Stromrichter. Während die vorliegende Erfindung nicht auf einen bestimmten Stromrichter beschränkt ist, wird unten als eine Ausführungsform die Anwendung der vorliegenden Erfindung auf einen dreiphasigen Wechselrichter beschrieben.

**[0135]** Fig. 14 ist ein Blockdiagramm, das die Konfiguration einer Stromrichtersystems zeigt, gemäß Ausführungsform 12.

**[0136]** Das Stromrichtersystem weist eine Energieversorgung, einen 700, einen Stromrichter 800 und eine Last 900 auf. Die Energieversorgung 700 ist eine DC-Energieversorgung, die den Stromrichter 800 mit DC-Energie versorgt. Die Energieversorgung 700 kann aus verschiedenen Elementen gebildet sein. Beispielsweise kann die Energieversorgung 700 aus einem DC-Energiesystem, einer Solarzelle, einer Speicherbatterie, einer mit einem AC-Energiesystem verbundenen Gleichrichterschaltung oder einem AC-nach-DC-Umrichter verbunden sein. Die Energieversorgung 700 kann aus einem DC-nach-DC-Umrichter gebildet sein, der die aus einem DC-Energiesystem ausgegebene DC-Energie in eine vorbestimmte Energie umwandelt.

**[0137]** Der Stromrichter 800 ist ein dreiphasiger Wechselrichter, der zwischen die Energieversorgung 700 und die Last 900 geschaltet ist. Der Stromrichter 800 wandelt die von der Energieversorgung 700 zugeführte DC-Energie in AC-Energie um und führt die AC-Energie der Last 900 zu. Der Stromrichter 800 weist eine Primärumrichtungsschaltung 801 auf, die DC-Energie in AC-Energie umwandelt und die AC-Energie ausgibt, sowie eine Steuerungsschaltung 803, die an die Primärumrichtungsschaltung 801 ein Steuerungssignal zum Steuern der Primärumrichtungsschaltung 801 ausgibt.

**[0138]** Die Last 900 ist ein dreiphasiger Elektromotor, der mit der AC-Energie betrieben wird, die vom Stromrichter 800 ausgegeben wird. Die Last 900 ist nicht auf eine bestimmte Anwendung beschränkt, und sie kann ein Elektromotor sein, der an verschiedenartigen elektrischen Geräten montiert ist. Beispielsweise wird die Last 900 als ein Elektromotor für Hybridfahrzeuge oder Elektrofahrzeuge, für Schienenfahrzeuge, Fahrstühle oder Klimaanlage-Ausrüstung verwendet.

**[0139]** Nachfolgende wird der Stromrichter 800 detailliert beschrieben.

**[0140]** Die Primärumrichtungsschaltung 801 weist ein Leistungshalbleiter-Modul 802 auf. Das Leistungshalbleiter-Modul 802 weist ein Leistungshalbleiter-Element 1 auf, das ein Schaltelement ist, und eine Freilaufdiode (nicht dargestellt). Wenn das Schaltelement geschaltet wird, wird die DC-Energie, die von der Energieversorgung 700 zugeführt wird, in AC-Energie umgewandelt, die dann der Last 900 zugeführt wird. Während es verschiedenartige spezifische Schaltungskonfigurationen für das Leistungshalbleiter-Modul 802 gibt, ist das Leistungshalbleiter-Modul 802 gemäß der vorliegenden Ausführungsform eine dreiphasige Vollbrückenschaltung mit zwei Pegeln, die sechs Schaltelemente und sechs Freilaufdioden aufweist, die anti-parallel zu den jeweiligen Schaltelementen geschaltet sind. Immer zwei Schaltelemente sind in Reihe geschaltet, und

zwar aus den sechs Schaltelementen, und sie bilden einen oberen oder unteren Zweig, und die oberen und unteren Zweige bilden jeweils eine Phase (U-Phase, V-Phase, W-Phase) der Vollbrückenschaltung. Dann sind Ausgangsanschlüsse der oberen und unteren Zweige, d. h. drei Ausgangsanschlüsse der Primärumschaltung 801, mit der Last 900 verbunden.

**[0141]** Das Leistungshalbleiter-Modul 802 weist die Treiber-Steuerungsschaltung auf, die in den obigen Ausführungsformen beschrieben ist. Die Treiber-Steuerungsschaltung treibt die jeweiligen Schaltelemente. Die Treiber-Steuerungsschaltung ist in das Leistungshalbleiter-Modul 802 eingebaut.

**[0142]** Die Treiber-Steuerungsschaltung erzeugt ein Treibersignal zum Treiben eines Schaltelements, das in der Primärumschaltung 801 enthalten ist, und führt das Treibersignal einer Steuerungselektrode des Schaltelements zu, das in der Primärumschaltung 801 enthalten ist. Genauer gesagt: Die Treiber-Steuerungsschaltung gibt an die Steuerungselektrode jedes Schaltelements ein Treibersignal aus, um das Schaltelement in einen Einschaltzustand zu bringen, sowie ein Treibersignal, um das Schaltelement in einen Ausschaltzustand zu bringen, und zwar gemäß dem Steuerungssignal von der unten beschriebenen Steuerungsschaltung 803. Um das Schaltelement im Einschaltzustand zu halten, ist das Treibersignal ein Spannungssignal (Einschaltsignal) höher als oder gleich groß wie eine Schwellenspannung des Schaltelements. Um das Schaltelement im Ausschaltzustand zu halten, ist das Treibersignal ein Spannungssignal (Ausschaltsignal) niedriger als oder gleich groß wie die Schwellenspannung des Schaltelements.

**[0143]** Die Steuerungsschaltung 803 steuert das Schaltelement, das in der Primärumschaltung 801 enthalten ist, so dass die gewünschte Energie der Last 900 zugeführt wird. Genauer gesagt: Die Steuerungsschaltung 803 berechnet eine Zeit (Einschaltzeit), zu der jedes Schaltelement, das in der Primärumschaltung 801 enthalten ist, im Einschaltzustand sein sollte, auf der Basis der Energie bzw. Leistung, die der Last 900 zugeführt werden soll. Beispielsweise kann die Steuerungsschaltung 803 die Primärumschaltung 801 durch Durchführen einer PWM-Steuerung steuern, in der die Einschaltzeit der Schaltelemente gemäß einer Spannung moduliert wird, die an das Schaltelement ausgegeben werden soll. Die Steuerungsschaltung 803 gibt dann einen Steuerungsbefehl (das Steuerungssignal) an die Treiber-Steuerungsschaltung aus, die in der Primärumschaltung 801 enthalten ist, so dass das Einschaltsignal zu jedem Zeitpunkt an ein Schaltelement ausgegeben wird, das im Einschaltzustand sein soll, und das Aus-

schaltssignal zu jedem Zeitpunkt an ein Schaltelement ausgegeben wird, das im Ausschaltzustand sein soll. Die Treiber-Steuerungsschaltung gibt das Einschaltsignal oder das Ausschaltssignal als das Treibersignal an die Steuerungselektrode jedes Schaltelements aus, und zwar gemäß dem Steuerungssignal.

**[0144]** Die vorliegende Ausführungsform wurde unter Bezugnahme auf das Anwenden der vorliegenden Erfindung auf den dreiphasigen Wechselrichter mit zwei Pegeln beschrieben. Die vorliegende Erfindung ist darauf jedoch nicht beschränkt. Die vorliegende Erfindung ist auf verschiedenartige Stromrichter anwendbar. In der vorliegenden Ausführungsform wird die vorliegende Erfindung auf den Stromrichter mit zwei Pegeln als ein Beispiel angewendet. Die vorliegende Erfindung ist jedoch auch auf einen Stromrichter mit drei Pegeln oder mehr Pegeln anwendbar. Die vorliegende Erfindung kann auch auf einen einphasigen Wechselrichter angewendet werden, wo die Energie einer einphasigen Last zugeführt wird. Die vorliegende Erfindung ist beispielsweise auch auf einen DC-nach-DC-Umrichter oder einen AC-nach-DC-Umrichter anwendbar, um einer DC-Last Energie zuzuführen.

**[0145]** Der Stromrichter, auf den die vorliegende Erfindung angewendet ist, ist nicht auf den Fall beschränkt, in dem die obige Last ein Elektromotor ist. Der Stromrichter kann als Energieversorgung für eine elektrische Entladungsmaschine, eine Laser-Verarbeitungsmaschine, eine Induktionserwärmungseinrichtung oder ein Drahtlos-Energieübertragungssystem verwendet werden, oder z. B. als Leistungskonditionierer für ein Solarzellen-Energiesystem oder ein Elektrizitäts-Speichersystem.

**[0146]** Die vorliegenden offenbarten Ausführungsformen sollten in jeder Hinsicht als anschaulich aufgefasst werden und beschränken die vorliegende Erfindung nicht. Der Umfang der vorliegenden Erfindung wird durch die beigefügten Ansprüche bestimmt und nicht durch die obige Beschreibung. Sämtliche Änderungen, die von der Bedeutung und dem Bereich der Äquivalenz der beigefügten Ansprüche umfasst sind, sollen in deren Umfang enthalten sein.

#### Bezugszeichenliste

11, 11a, 11b, 11c	Gate-Ladungswert-Bestimmer
12, 12a, 12b, 102, 102a	erster Komparator
14, 14b, 14c	Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert
15, 15b	Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert

		<b>Patentansprüche</b>
16, 16b	Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert	
17, 17a	Logikoperation-Schaltung für den Gate-Ladungswert	
18, 18a	Zweig-Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung	
19	Einschalt-Schaltung	
20	Ausschalt-Schaltung	
21	Differenzverstärker	
22	Selbsthalteschaltung	
23	Invertierungsschaltung	
25	Filter	
26	Initialisierungs-Betriebsschaltung	
56	Last-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung	
80, 80a	Treiber	
101, 101a, 101b, 101c, 101d	Gatestrom-Bestimmer	
104	Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert	
107, 107a	Logikoperation-Schaltung für den Gatestrom	
118	Kurzschluss-Bestimmer	
300, 300a, 300b, 300c, 300d	Kurzschluss-Detektor	
400	Schutzschaltung	
700	Energieversorgung	
800	Stromrichter	
801	Primärumschaltung	
802	Leistungshalbleiter-Modul	
803	Steuerungsschaltung	
900	Last	
Ig	Gatestrom	
ND1	Knoten	
Qg	Gate-Ladungswert	

1. Treiber-Steuerungsschaltung für ein Leistungshalbleiter-Element mit einer Steuerungselektrode, einer Elektrode auf der positiven Seite und einer Elektrode auf der negativen Seite, wobei die Treiber-Steuerungsschaltung Folgendes aufweist: einen Treiber zum Treiben des Leistungshalbleiter-Elements durch Übergehenlassen einer Spannung, die zwischen der Steuerungselektrode und der Elektrode auf der negativen Seite anliegt; einen Gatestrom-Detektor zum Detektieren des Gatestroms, der zwischen dem Treiber und der Steuerungselektrode fließt; einen Gate-Ladungswert-Berechner zum Berechnen eines Gate-Ladungswerts, der dem Leistungshalbleiter-Element zugeführt werden soll, auf der Basis des Werts des Gatestroms, der vom Gatestrom-Detektor detektiert wird; und einen Kurzschluss-Detektor zum Detektieren eines Zweig-Kurzschlusses oder eines Last-Kurzschlusses auf der Basis der Stärke des Gatestroms und der Stärke des Gate-Ladungswerts, wobei der Kurzschluss-Detektor Folgendes aufweist: einen Gatestrom-Bestimmer zum Vergleichen der Stärke des Gatestroms mit mindestens einem Referenzwert; einen Gate-Ladungswert-Bestimmer zum Vergleichen der Stärke des Gate-Ladungswerts mit mindestens einem Referenzwert; und eine Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung zum Ausführen einer Logikoperation eines Ausgangssignals des Gatestrom-Bestimmers und eines Ausgangssignals des Gate-Ladungswert-Bestimmers.

2. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach Anspruch 1, wobei der Gatestrom-Detektor die Stärke eines Stroms detektiert, der durch eine Leitung zwischen dem Treiber und der Steuerungselektrode fließt, der Gatestrom-Bestimmer Folgendes aufweist: einen ersten Komparator für den Gatestrom, der die Stärke des Gatestroms mit einem Gatestrom-Untergrenze-Referenzwert größer als null vergleicht; einen zweiten Komparator für den Gatestrom, der die Stärke des Gatestroms mit einem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert vergleicht; und eine Logikoperation-Schaltung für den Gatestrom, die eine Logikoperation eines Ausgangssignals des ersten Komparators für den Gatestrom und eines Ausgangssignals des zweiten Komparators für den Gatestrom ausführt, der Gate-Ladungswert-Bestimmer Folgendes aufweist: einen ersten Komparator für den Gate-Ladungswert, der die Stärke des Gate-Ladungswerts mit einem Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert vergleicht; einen zweiten Komparator für den Gate-

Ladungswert, der die Stärke des Gate-Ladungswerts mit einem Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert vergleicht; und

eine Logikoperation-Schaltung für den Gate-Ladungswert, die eine Logikoperation eines Ausgangssignals des ersten Komparators für den Gate-Ladungswert und eines Ausgangssignals des zweiten Komparators für den Gate-Ladungswert ausführt, wobei

die Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung einen Kurzschlusszustand des Leistungshalbleiter-Elements detektiert, indem sie eine Logikoperation eines Ausgangssignals der Logikoperation-Schaltung für den Gatestrom und eines Ausgangssignals der Logikoperation-Schaltung für den Gate-Ladungswert ausführt.

3. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach Anspruch 1, wobei der Treiber eine positive Gatespannungsquelle, einen ersten Transistor, einen Einschalt-Gate-Widerstand, einen Ausschalt-Gate-Widerstand, einen zweiten Transistor und ein Bezugspotenzial aufweist, die in Reihe geschaltet sind, wobei ein Knoten zwischen dem Einschalt-Gate-Widerstand und dem Ausschalt-Gate-Widerstand mit der Steuerungselektrode des Leistungshalbleiter-Elements verbunden ist, wobei der Gatestrom-Detektor die Stärke eines Stroms detektiert, der vom ersten Transistor zum Einschalt-Gate-Widerstand fließt, wobei der Gatestrom-Bestimmer einen zweiten Komparator für den Gatestrom aufweist, der die Stärke des Gatestroms mit einem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert vergleicht; der Gate-Ladungswert-Bestimmer Folgendes aufweist:

einen ersten Komparator für den Gate-Ladungswert, der die Stärke des Gate-Ladungswerts mit einem Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert vergleicht;

einen zweiten Komparator für den Gate-Ladungswert, der die Stärke des Gate-Ladungswerts mit einem Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert vergleicht; und

eine Logikoperation-Schaltung für den Gate-Ladungswert, die eine Logikoperation eines Ausgangssignals des ersten Komparators für den Gate-Ladungswert und eines Ausgangssignals des zweiten Komparators für den Gate-Ladungswert ausführt, wobei

die Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung einen Kurzschlusszustand des Leistungshalbleiter-Elements detektiert, indem sie eine Logikoperation eines Ausgangssignals des zweiten Komparators für den Gatestrom und eines Ausgangssignals der Logikoperation-Schaltung für den Gate-Ladungswert ausführt.

4. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert niedriger ist als ein Wert des Gatestroms während eines Spiegelzeitraum in einem typischen Schaltvorgang, der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert höher ist als der Gate-Ladungswert, wo der Gatestrom bei einem Scheitelwert im typischen Schaltvorgang ist, und

der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert niedriger als der Gate-Ladungswert am Ende des Spiegelzeitraums im typischen Schaltvorgang ist.

5. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach Anspruch 2 oder 3, wobei der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert so vorgegeben ist, dass er in Ansprechen auf eine Temperatur variiert, und

der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert und der Gate-Ladungswert-Obergrenze-Referenzwert so vorgegeben sind, dass sie in Ansprechen auf eine Spannung variieren, die zwischen der Elektrode auf der positiven Seite und der Elektrode auf der negativen Seite des Leistungshalbleiter-Elements anliegt.

6. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach Anspruch 1, wobei der Gatestrom-Detektor die Stärke eines Stroms detektiert, der durch eine Leitung zwischen dem Treiber und der Steuerungselektrode fließt, der Gatestrom-Bestimmer einen dritten Komparator für den Gatestrom aufweist, der die Stärke des Gatestroms mit einem Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert vergleicht;

der Gate-Ladungswert-Bestimmer Folgendes einen ersten Komparator für den Gate-Ladungswert aufweist, der die Stärke des Gate-Ladungswerts mit einem Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert vergleicht, wobei der Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert niedriger als null ist,

der Gate-Ladungswert-Untergrenze-Referenzwert höher ist als der Gate-Ladungswert, wo der Gatestrom bei einem Scheitelwert in einem typischen Schaltvorgang ist, und die Kurzschlussdetektion-Logikoperation-Schaltung einen Kurzschlusszustand des Leistungshalbleiter-Elements auf der Basis eines Ausgangssignals des dritten Komparators für den Gatestrom und eines Ausgangssignals des ersten Komparators für den Gate-Ladungswert detektiert.

7. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei der Kurzschluss-Detektor ferner Folgendes aufweist:

einen dritten Komparator für den Gatestrom, der die Stärke des Gatestroms mit einem weiteren Gatestrom-Obergrenze-Referenzwert niedriger als null vergleicht; und

eine Last-Kurzschluss-Detektion-Logikoperation-Schaltung, die den Kurzschlusszustand des Leistungshalbleiter-Elements detektiert, indem sie eine Logikoperation eines Ausgangssignals des dritten Komparator für den Gatestrom und des Ausgangssignals des ersten Komparators für den Gate-Ladungswert aufführt.

8. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei der Gatestrom-Detektor ein Stromsensor ist.

9. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach Anspruch 2, die Folgendes aufweist:  
einen Widerstand, der auf der Linie zwischen dem Treiber und der Steuerungselektrode angeordnet ist, wobei der Gatestrom-Detektor ein Differenzverstärker ist, der die Stärke einer Spannung am Widerstand detektiert.

10. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach Anspruch 3, wobei der Gatestrom-Detektor ein Differenzverstärker ist, der die Stärke einer Spannung am Einschalt-Gate-Widerstand detektiert.

11. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach einem der Ansprüche 1 bis 10, die Folgendes aufweist:  
ein Filter zum Umformen einer Wellenform eines Ausgangssignals des Gatestrom-Detektors mit einer vorbestimmten Zeitkonstante, wobei ein Ausgangssignal des Filters zum Gate-Ladungswert-Berechner und zum Kurzschluss-Detektor geschickt wird.

12. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach einem der Ansprüche 1 bis 11, die Folgendes aufweist:  
einen Befehlsgeber zum Ausgeben eines Befehls zum Veranlassen des Treibers, das Leistungshalbleiter-Element einzuschalten, oder eines Befehls zum Veranlassen des Treibers, das Leistungshalbleiter-Element auszuschalten; und  
eine Schutzschaltung zum Ausgeben - wenn der Kurzschluss-Detektor einen Zweig-Kurzschluss oder einen Last-Kurzschluss detektiert - des Befehls zum Veranlassen des Treibers, das Leistungshalbleiter-Element auszuschalten, und zwar ungeachtet eines Befehls vom Befehlsgeber.

13. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach einem der Ansprüche 1 bis 12, die Folgendes aufweist:  
eine Operationsschaltung zum Initialisieren eines Ausgangssignals des Gate-Ladungswert-Berechners.

14. Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei das Leistungshalbleiter-Element irgendeines von einem Si-IGBT, einem RC-IGBT, einem SiC-MOSFET, einem GaN-Transistor und einem Ga2O3-Transistor ist.

15. Leistungshalbleiter-Modul, das Folgendes aufweist:  
die Treiber-Steuerungsschaltung für Leistungshalbleiter-Element nach einem der Ansprüche 1 bis 14; und  
das Leistungshalbleiter-Element.

16. Stromrichter, der Folgendes aufweist:  
eine Primärumrichtungsschaltung, die das Leistungshalbleiter-Modul nach Anspruch 15 aufweist und Eingangsenergie umrichtet und ausgibt; und  
eine Steuerungsschaltung zum Ausgeben, an die Primärumrichtungsschaltung, eines Steuerungssignals zum Steuern der Primärumrichtungsschaltung.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

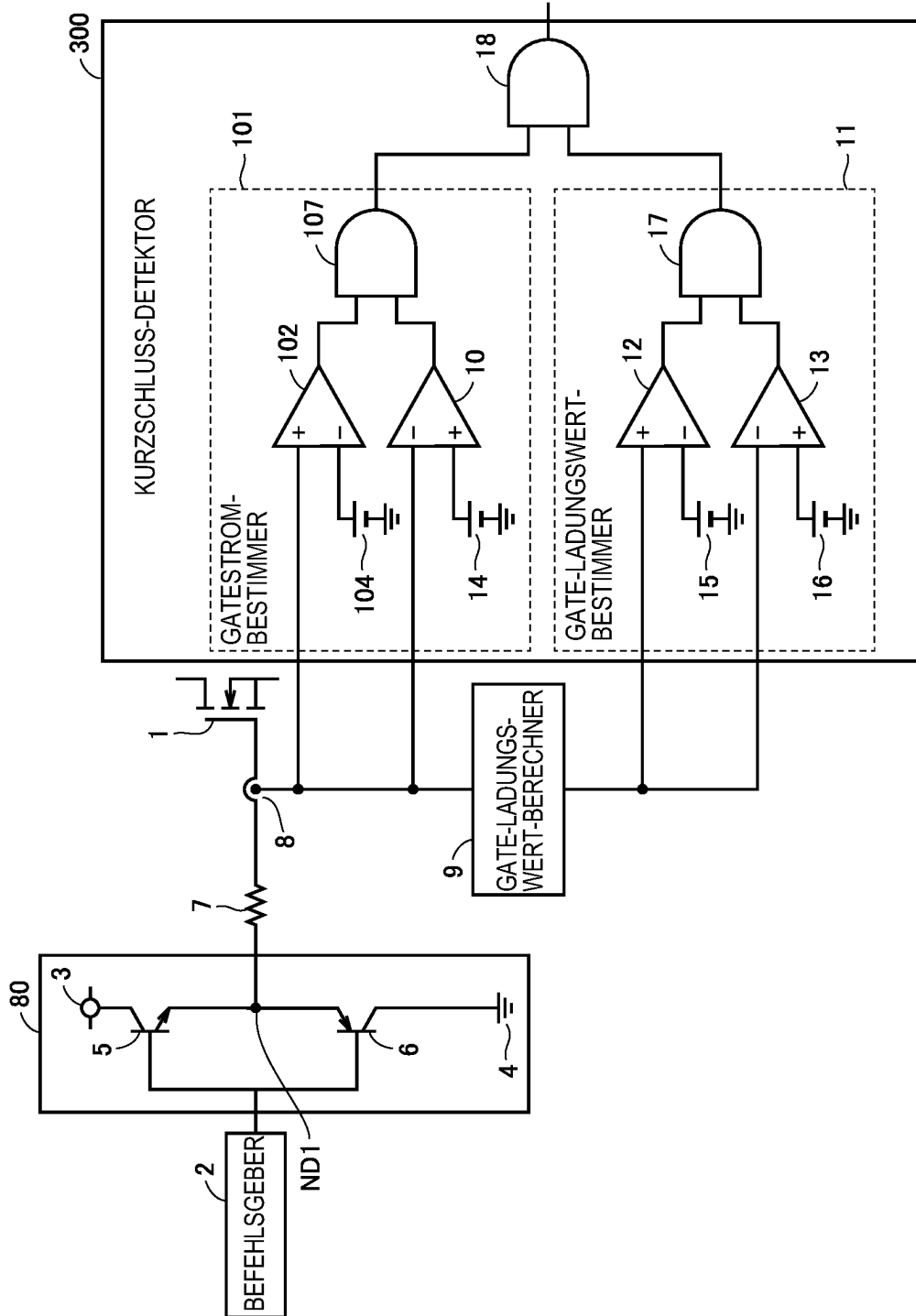


FIG.2

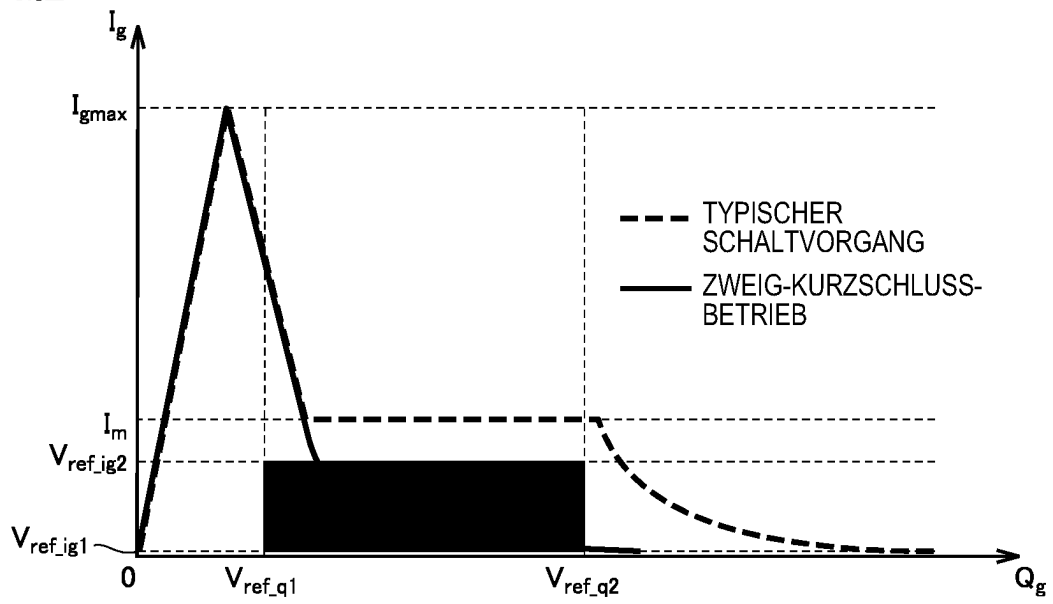


FIG.3

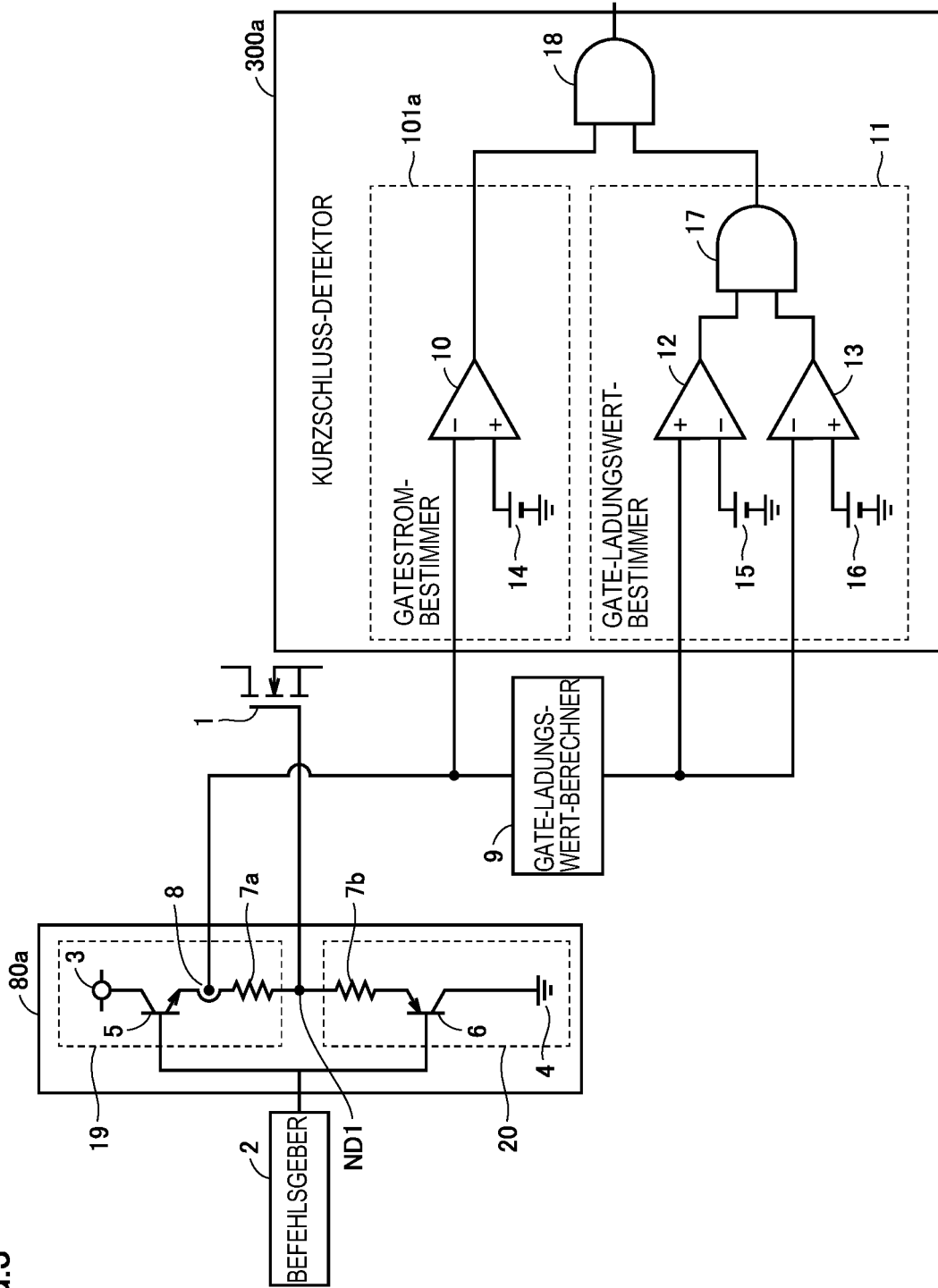


FIG.4

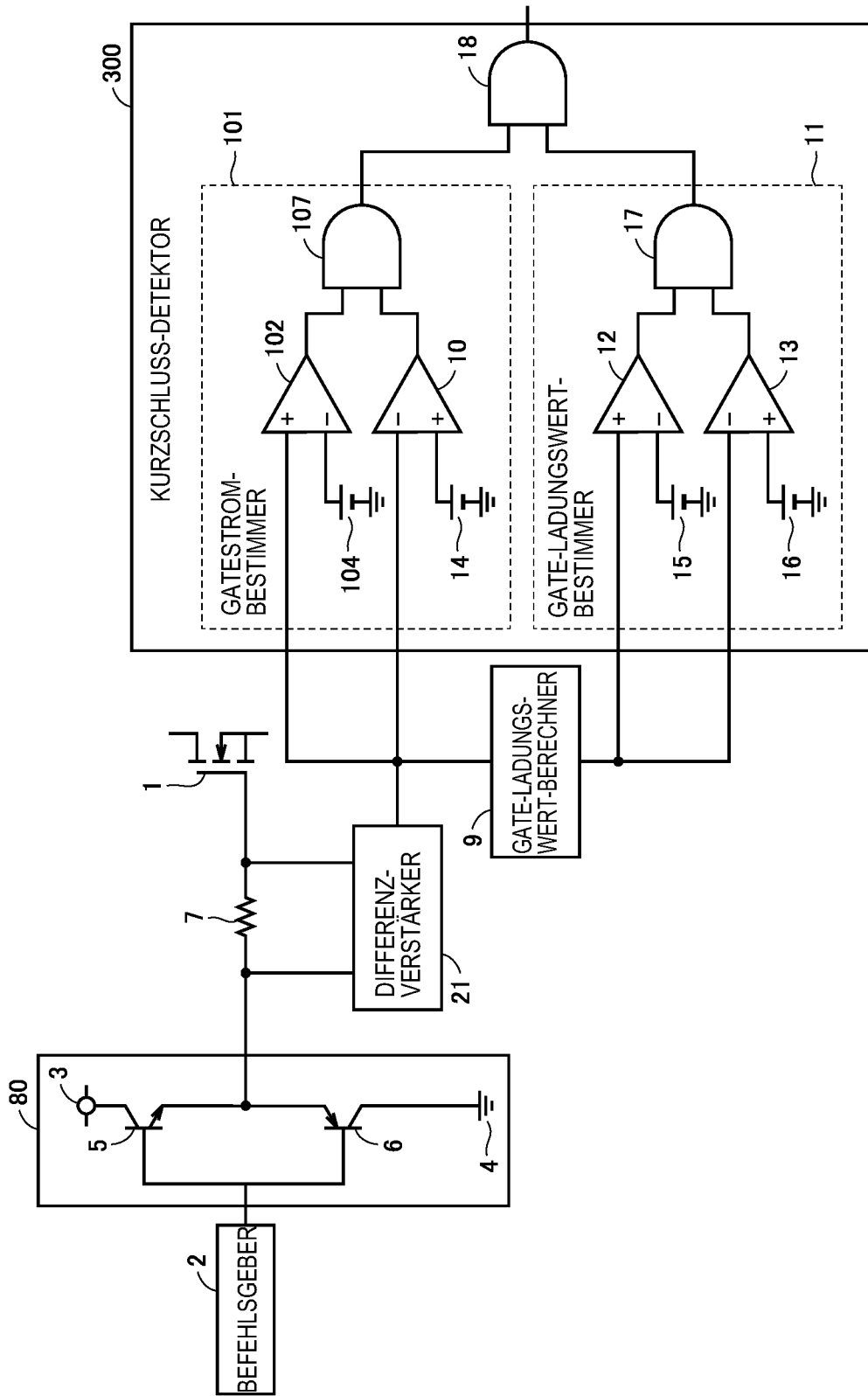


FIG.5

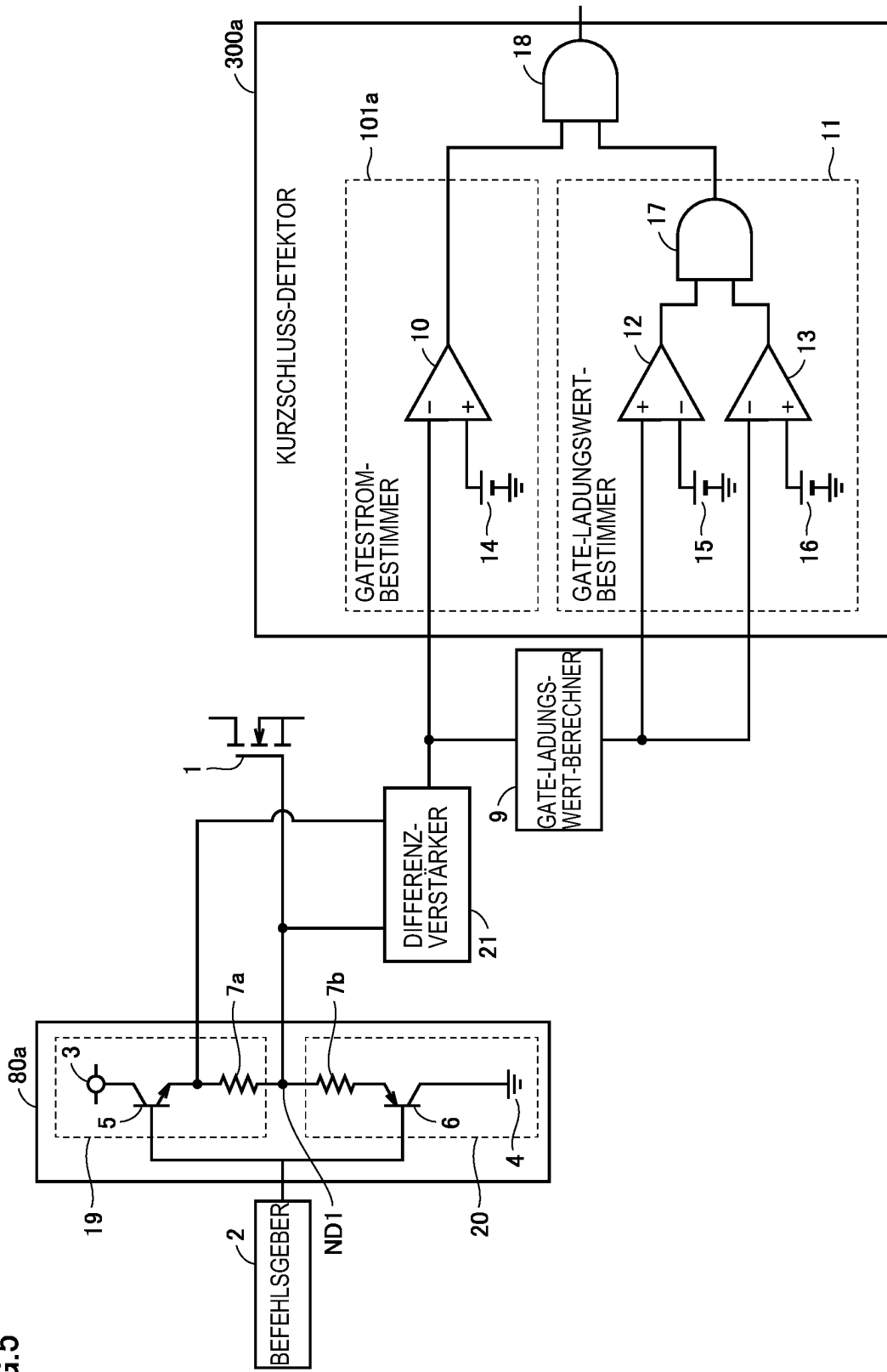




FIG.7

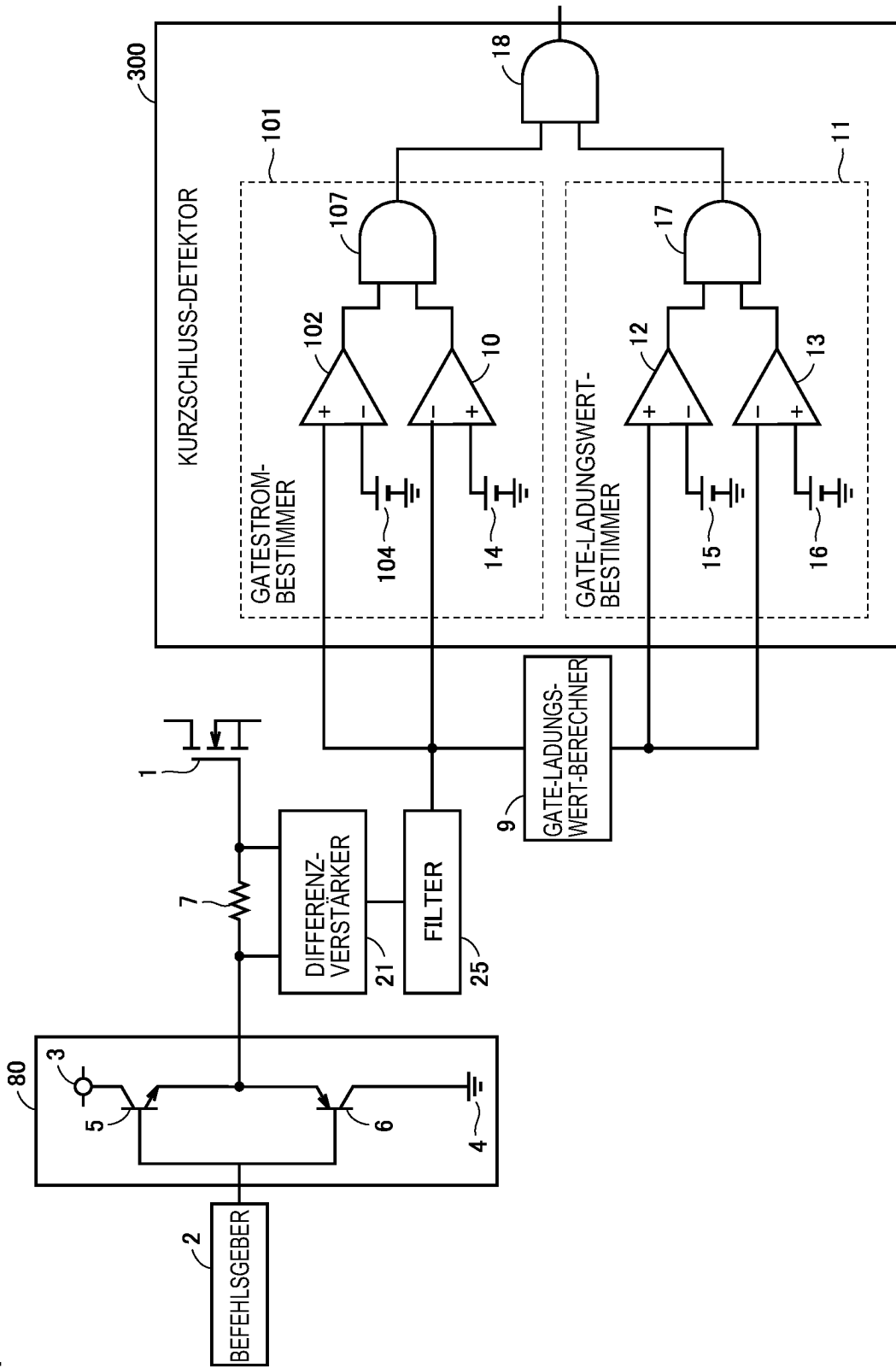


FIG.8

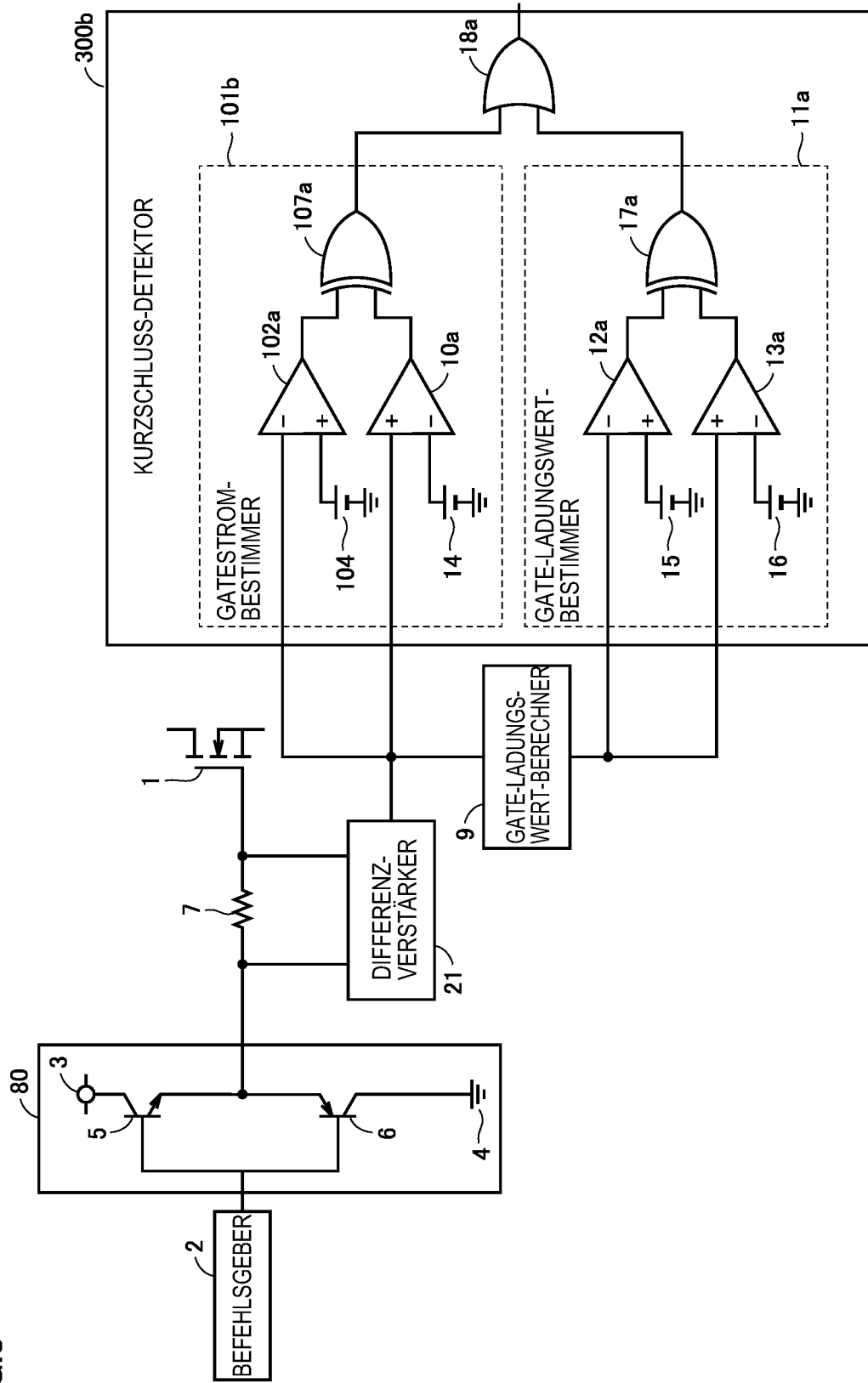


FIG.9

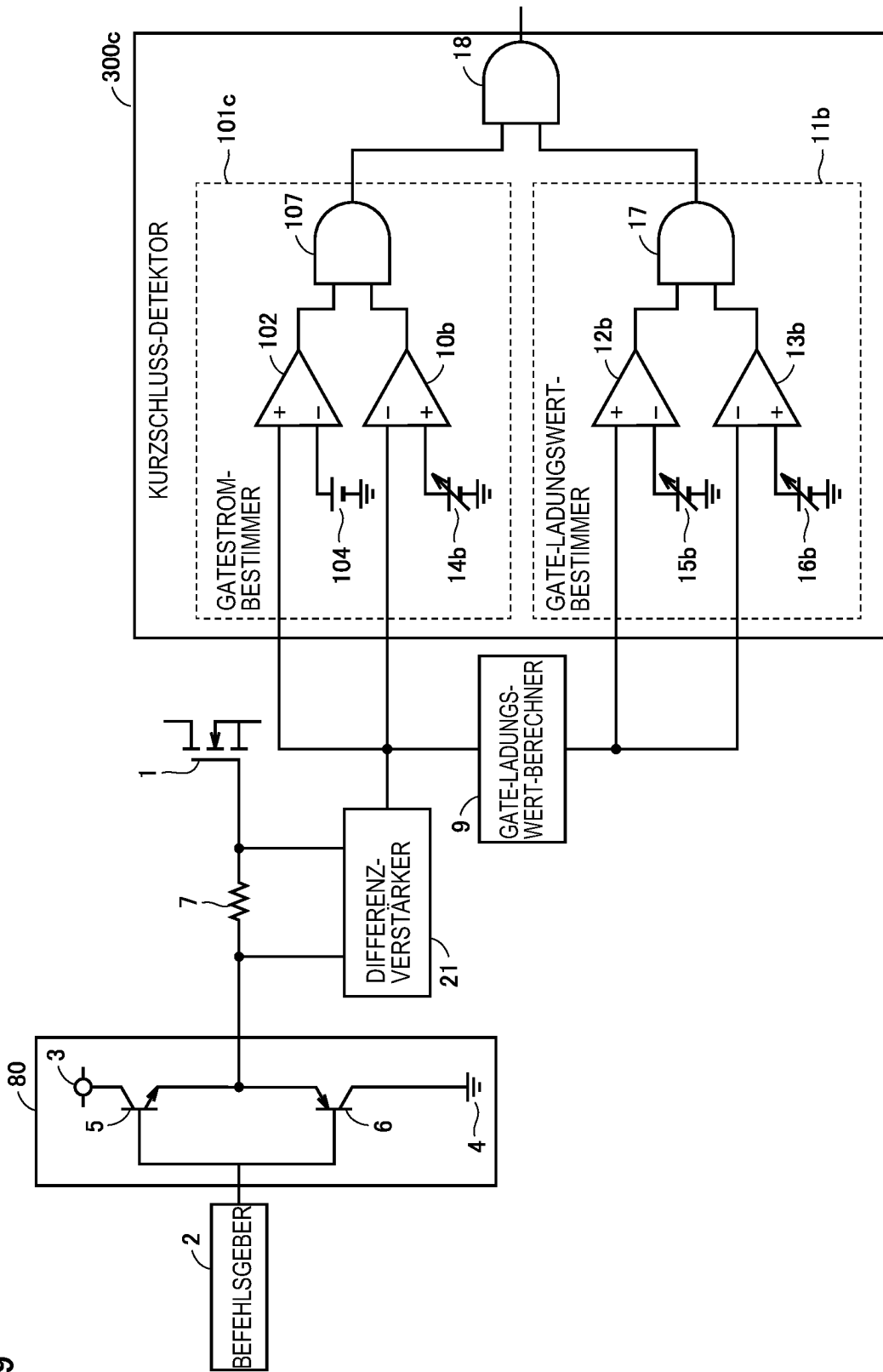


FIG.10

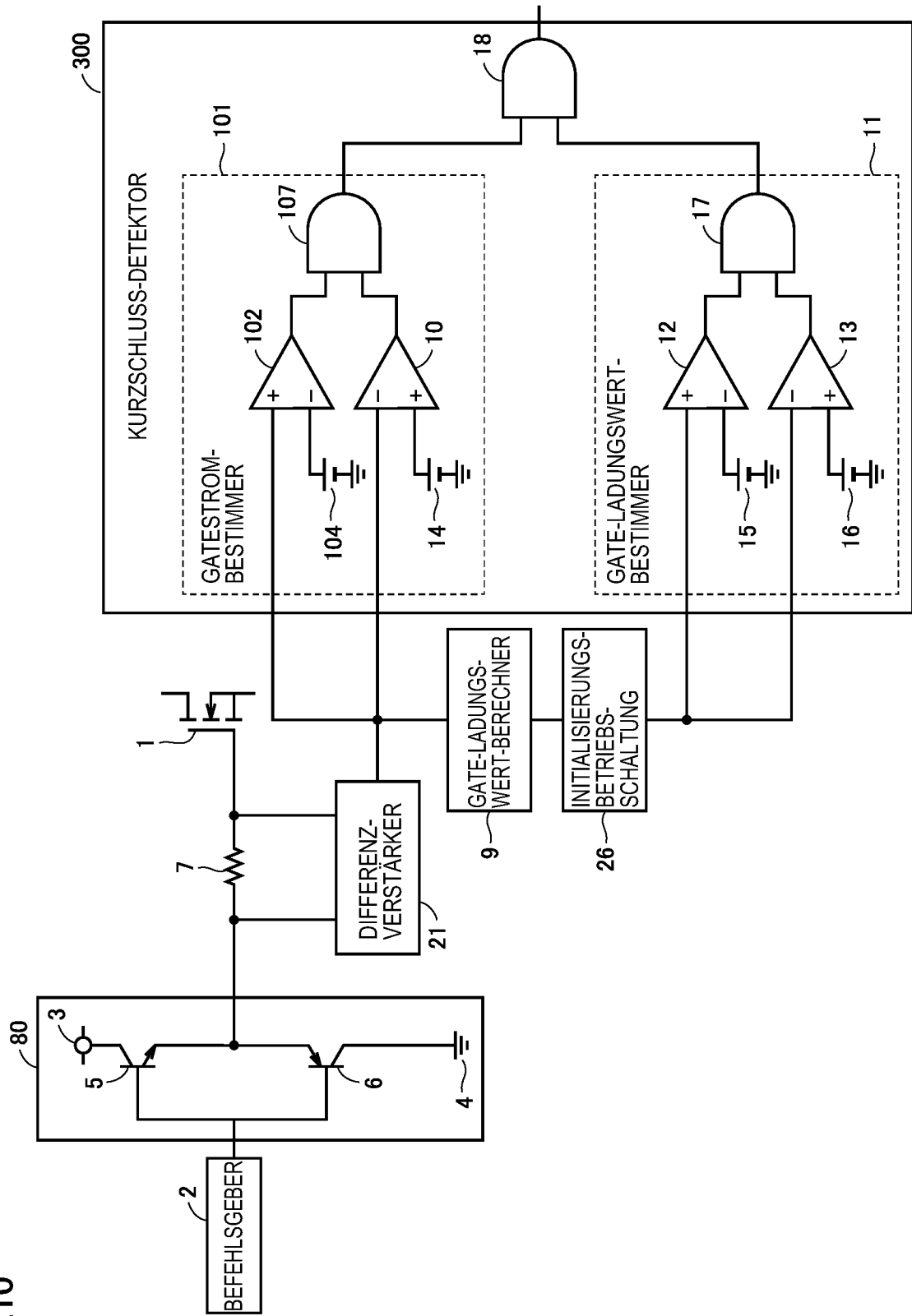


FIG.11

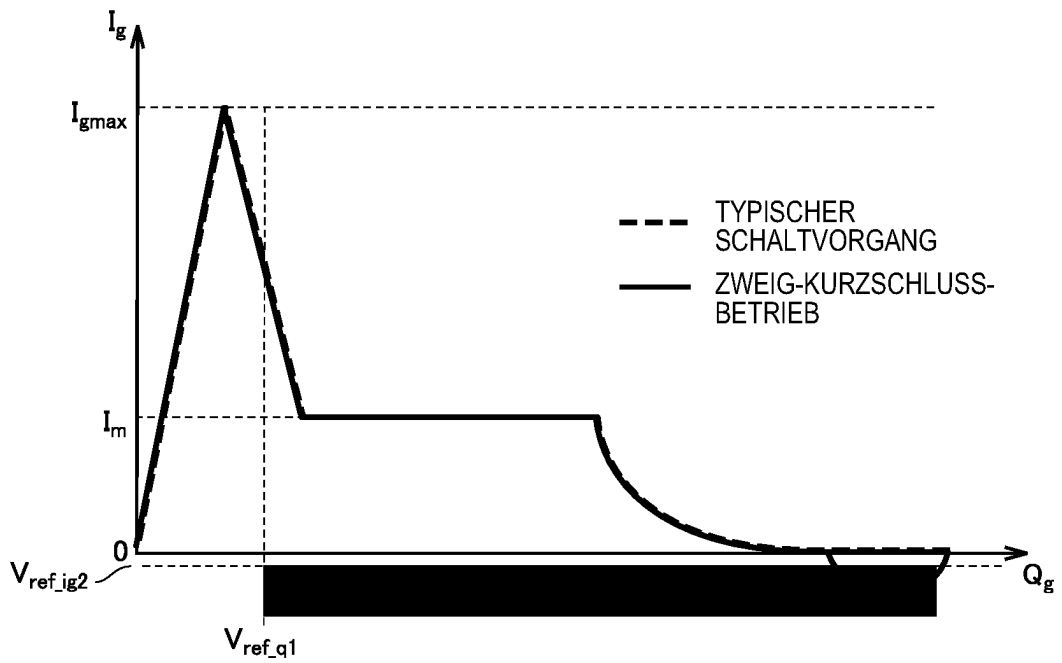


FIG.12

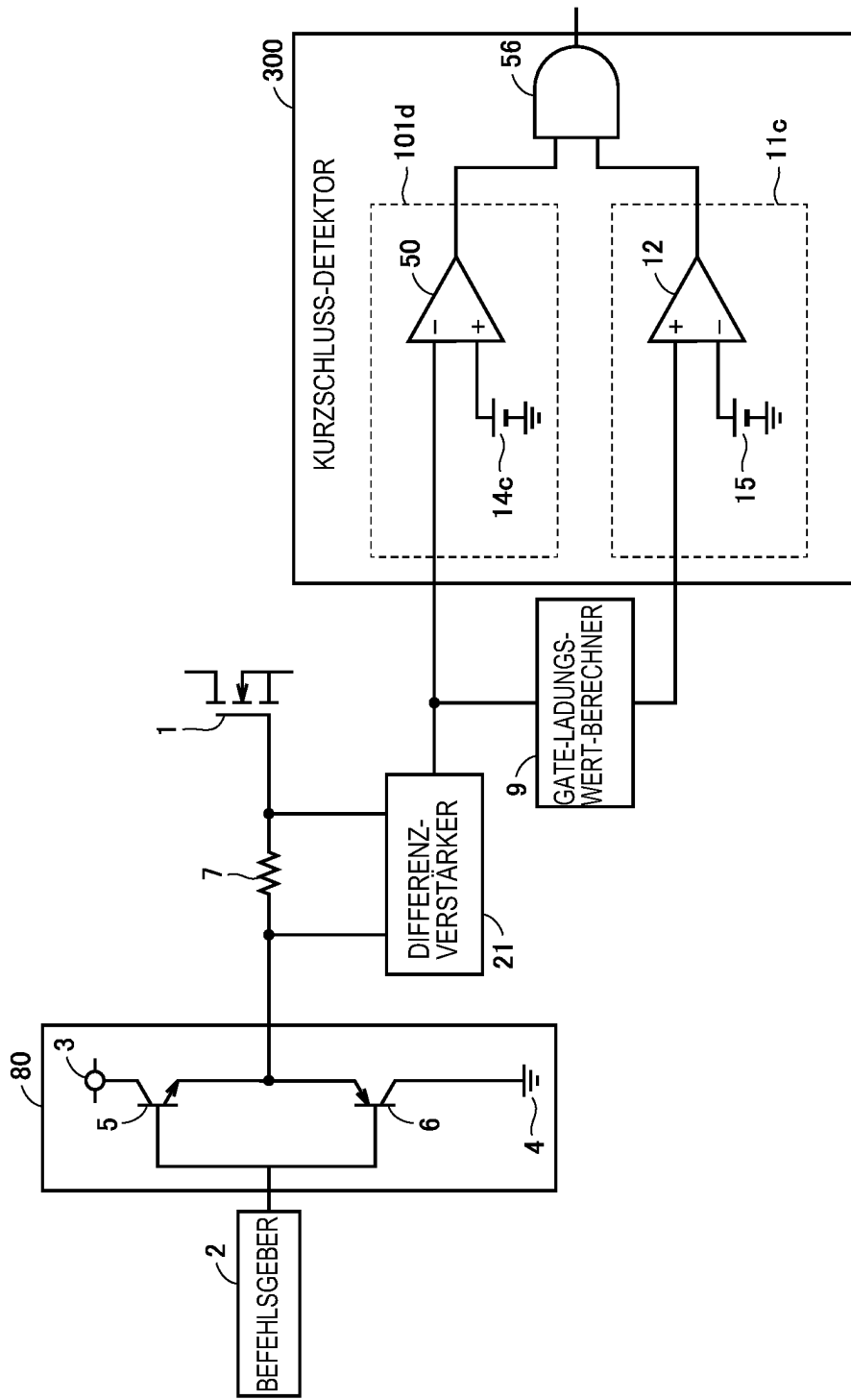


FIG.13

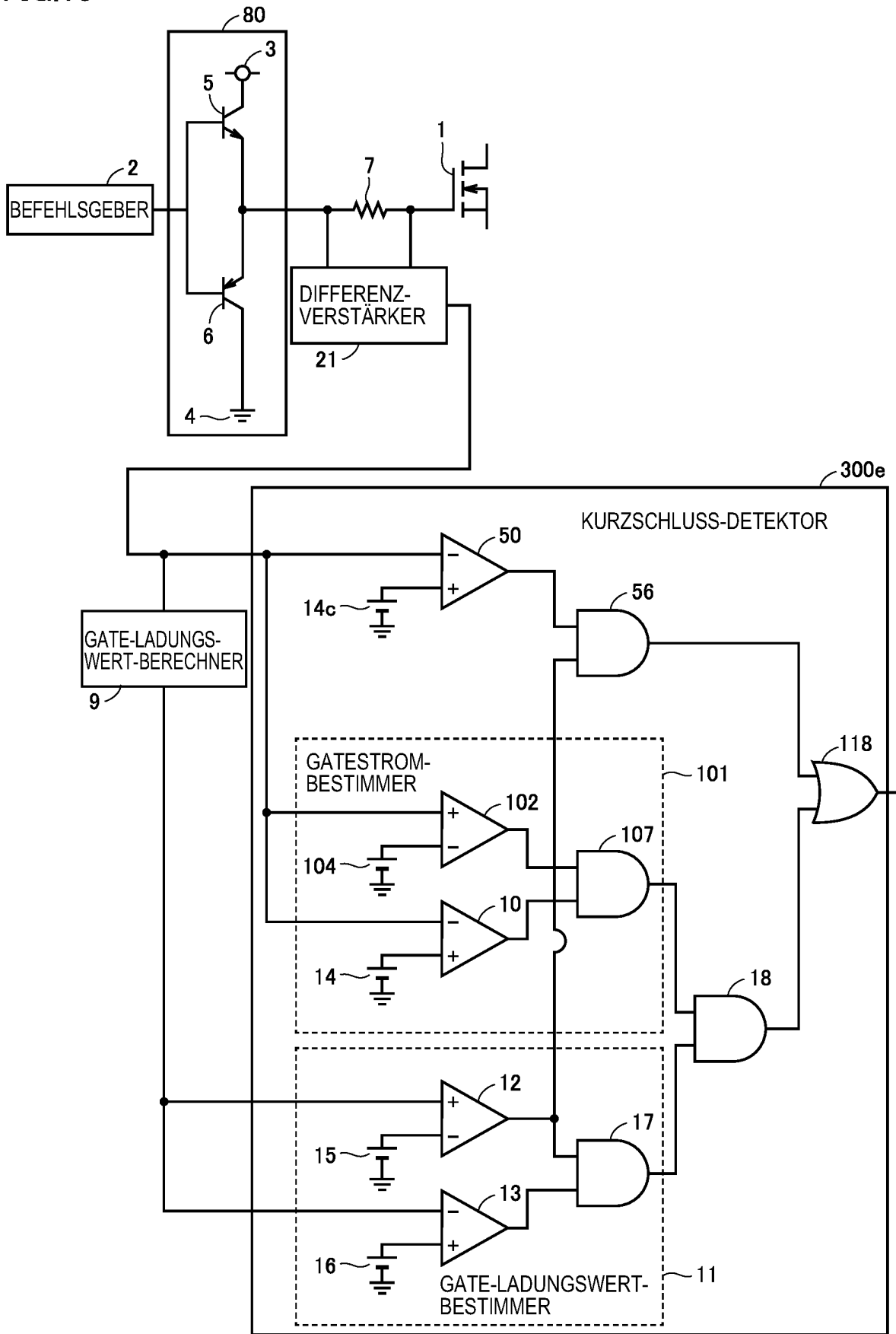


FIG.14

