



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2011 079 552.9

(51) Int Cl.: H03K 17/16 (2006.01)

(22) Anmelddetag: 21.07.2011

(43) Offenlegungstag: 24.01.2013

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 08.05.2014

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

(72) Erfinder:

Gediga, Swen, 91315, Höchstadt, DE; Handt,  
Karsten, 90559, Burgthann, DE; Sommer, Rainer,  
91336, Heroldsbach, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	197 45 040	A1
US	6 476 683	B1
US	7 019 507	B1
US	2005 / 0 099 751	A1

(54) Bezeichnung: Schaltungsanordnung zum Schalten eines Stromes und Verfahren zum Betreiben eines Halbleiter-Leistungsschalters

(57) Hauptanspruch: Schaltungsanordnung zum Schalten eines Stromes ( $I_c$ ) in Abhängigkeit von einem vorgebbaren Schaltsignal, umfassend:

– einen Halbleiter-Leistungsschalter (44) zum Schalten des Stromes ( $I_c$ ) und  
– eine Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106), welche dazu ausgelegt ist, das Schaltsignal zu empfangen und in Abhängigkeit von dem empfangenen Schaltsignal an einem Steuereingang (50) des Halbleiter-Leistungsschalters (44) eine Steuerspannung mit einem zeitlichen Verlauf zu erzeugen, durch welchen bewirkt ist, dass nicht abrupt und dauerhaft zwischen einem leitenden und einem sperrenden Zustand des Halbleiter-Leistungsschalters (44) umgeschaltet wird, sondern stattdessen während eines Schaltvorgangs wenigstens eine vorbestimmte Betriebsgröße ( $U_{ce,max}$ ,  $dI_{off}/dt$ ,  $dU_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ,  $dU_{on}/dt$ ) des Halbleiter-Leistungsschalters (44) ein vorbestimmtes Kriterium erfüllt, wobei das Kriterium durch einen Schaltparameter ( $U_{ce,max}$ ,  $dI_{off}/dt$ ,  $dU_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ,  $dU_{on}/dt$ ) der Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106) vorgegeben ist und ein Parameterwert des Schaltparameters ( $U_{ce,max}$ ,  $dI_{off}/dt$ ,  $dU_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ,  $dU_{on}/dt$ ) während eines Betriebes der Schaltungsanordnung veränderbar ist,

dadurch gekennzeichnet, dass zu wenigstens einer der folgenden Betriebsgrößen durch Festlegen eines Parameterwerts ein Kriterium vorgebbar ist:

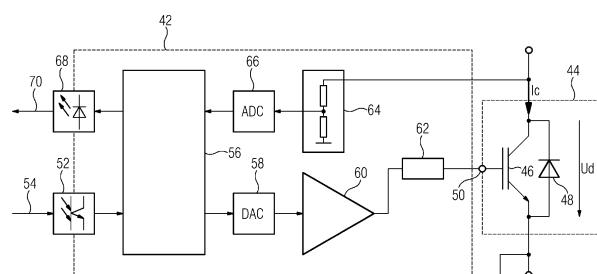
– einer über einem Transistor und/oder einer Diode des Halbleiter-Leistungsschalters (44) abfallenden Spannung ( $U_{ce,max}$ ),  
– einer Steigung ( $dU_{off}/dt$ ,  $dU_{on}/dt$ ) eines zeitlichen Verlaufs dieser Spannung,  
– einer Steigung ( $dI_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ) eines zeitlichen Verlaufs des zu schaltenden Stromes ( $I_c$ ),

und durch den Parameterwert als Kriterium ein Grenzwert oder ein Sollwert für die Betriebsgröße ( $U_{ce,max}$ ,  $dI_{off}/dt$ ,  $dU_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ,  $dU_{on}/dt$ ) vorgebbar ist, und

– eine Messeinrichtung (64, 66, 80, 82, 98, 100) zum Erfassen folgender Betriebsgrößen ( $I_c$ ,  $T$ ,  $U_d$ ), durch welche ein Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters (44) beschrieben ist, bereitgestellt ist:

– einer Temperatur ( $T$ ) eines Transistors (46) des Halbleiter-Leistungsschalters (44), und/oder einer Temperatur einer zu dem Transistor (46) anti-parallel geschalteten Diode (48) des Halbleiter-Leistungsschalters (44), wobei im Falle der Erfassung zumindest einer der Temperaturen der Parameterwert für die abfallende Spannung ( $U_{cemax}$ ) von der erfasssten Betriebsgröße abhängt, und/oder

– sowohl einer Stromstärke eines durch den Halbleiter-Leistungsschalter (44) fließenden Stromes ( $I_c$ ) als auch einer über dem Halbleiter-Leistungsschalter (44) abfallenden Spannung ( $U_d$ ), wobei in diesem Fall die Steigung des Stromes und/oder die Steigung der Spannung von der erfasssten Betriebsgröße abhängt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zum Schalten eines Stromes in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Schaltsignal. Die Schaltungsanordnung umfasst einen Halbleiter-Leistungsschalter zum Schalten eines Stromes sowie eine Ansteuereinrichtung für den Halbleiter-Leistungsschalter. Die Ansteuereinrichtung ist dazu ausgelegt, das Schaltsignal zu empfangen und in Abhängigkeit von dem empfangenen Schaltsignal an einem Steuereingang des Halbleiter-Leistungsschalters eine Steuerspannung zu erzeugen.

**[0002]** Eine Schaltungsanordnung dieser Art ist aus der WO 2008/032113 A1 bekannt. Eine solche Schaltungsanordnung kann z. B. in einem steuerbaren Umrichter bereitgestellt sein, wie er zum Betreiben einer Drehstrommaschine verwendet werden kann.

**[0003]** Die Funktionsweise eines steuerbaren Umrichters wird im Folgenden anhand von **Fig. 1** näher erläutert. Mittels eines Umrichters **10** können mit Hilfe einer Gleichspannung Uzk in Phasenleitern **12**, **14**, **16** Wechselströme I1, I2, I3 erzeugt werden, die zusammen einen Drehstrom bilden, mit dem eine elektrische Maschine **18** betrieben werden kann. Die Gleichspannung Uzk kann beispielsweise zwischen zwei Stromschienen ZK+, ZK- eines Zwischenkreises eines Frequenzumrichters bereitgestellt sein. Zum Erzeugen der Wechselströme I1, I2, I3 sind die Phasenleiter **12**, **14**, **16** jeweils über eine Halbbrücke **20**, **22**, **24** mit den Stromschienen ZK+, ZK- in der in **Fig. 1** gezeigten Weise verbunden. Wie die Wechselströme I1, I2, I3 erzeugt werden, ist im Folgenden im Zusammenhang mit der Halbbrücke **20** erläutert. Entsprechendes gilt auch für die Wechselströme I2 und I3 im Verbindung mit den Halbbrücken **22** und **24**.

**[0004]** Die Halbbrücke **20** weist zwei Halbleiter-Leistungsschalter **26**, **28** auf, von denen jeder einen Transistor Tr1 bzw. Tr2 und eine diesem anti-parallel geschaltete Diode V1 bzw. V2 aufweist. Über die Halbleiter-Leistungsschalter **26**, **28** ist der Phasenleiter **12** einmal mit der Plus-Stromschiene ZK+ und einmal mit der Minus-Stromschiene ZK- verschaltet. Bei den Transistoren Tr1, Tr2 kann es sich z. B. um IGBT (Insulated gate bipolar transistor) oder um MOSFET (Metal oxide semiconductor field effect transistor) handeln. Die Halbleiter-Leistungsschalter **26**, **28** sind jeweils über eine Steuerleitung **30**, **32** mit einer Steuereinheit **34** verbunden. Die Steuereinheit **34** erzeugt ein Taktignal **36**, welches über die Steuerleitung **30** zum Halbleiter-Leistungsschalter **26** übertragen wird. Durch das Taktignal **36** wird der Transistor Tr1 des Halbleiter-Leistungsschalters **26** abwechselnd in einen leitenden und einen sperrenden Zustand geschaltet. Über die andere Steuerleitung **32** überträgt die Steuereinheit **34** ein Gegentakt-

signal zum Halbleiter-Leistungsschalter **26**, so dass der Transistor Tr2 des Halbleiter-Leistungsschalters **28** im Gegentakt zum Transistor Tr1 geschaltet wird. Das abwechselnde Schalten der Transistoren Tr1 und Tr2 erzeugt in dem Phasenleiter **12** eine Wechselspannung und damit den Wechselstrom I1. Zum Erzeugen des Drehstroms werden durch die Steuereinheit **34** entsprechend phasenversetzte Taktsignale über weitere Steuerleitungen an Leistungsschalter der übrigen Halbbrücken **22** und **24** übertragen. Mittels der Dioden der Halbleiter-Leistungsschalter ist es möglich, eine von der elektrischen Maschine **18** erzeugte Wechselspannung gleichzurichten.

**[0005]** Die von der Steuereinheit **34** erzeugten Taktsignale, wie das Taktignal **36**, sind in der Regel nicht in einer Form vorhanden, um damit einen Halbleiter-Leistungsschalter schalten zu können. Daher ist einem Steuereingang **38** des Halbleiter-Leistungsschalters **26** eine Ansteuerschaltung **40** vorgeschaltet, welche mittels einer (nicht näher dargestellten) Treiberschaltung in Abhängigkeit von dem Taktignal **36** eine Steuerspannung an dem Steuereingang **38** erzeugt. Der Steuereingang **38** ist im Falle eines Transistors dessen Gate bzw. Basis. In gleicher Weise ist dem Halbleiter-Leistungsschalter **28** eine entsprechende Ansteuerschaltung und sind auch den Leistungsschaltern der Brücken **22** und **24** entsprechende Ansteuerschaltungen vorgeschaltet.

**[0006]** Beim Schalten eines Stromes mittels z. B. des Halbleiter-Leistungsschalters **26** muss beachtet werden, dass in Abhängigkeit davon, wie schnell der Halbleiter-Leistungsschalter **26** beispielsweise von einem leitenden in einen sperrenden Zustand überführt wird, durch (in **Fig. 1** nicht dargestellte) Induktivitäten des Schaltkreises eine Spannung induziert werden kann. Diese Induktionsspannung überlagert sich dann der Betriebsspannung, so dass sich am Halbleiter-Leistungsschalter **26** ein Wert der über diesem abfallenden Spannung ergeben kann, der über einem höchstens zulässigen Wert liegt. Hierdurch können dann Komponenten des Halbleiter-Leistungsschalters **26** beschädigt werden. Deshalb kann vorgesehen sein, dass durch die Ansteuerschaltung **40** zumindest bei Schaltflanken des Schaltsignals **36**, durch die ein Sperren des Halbleiter-Leistungsschalters **26** bewirkt wird, eine Steuerspannung am Steuereingang **38** erzeugt wird, die einen im Verhältnis zu dem Verlauf des Schaltsignals **36** abgeflachten Verlauf aufweist.

**[0007]** Um eine Steuerspannung mit einem abgeflachten Verlauf zu erhalten, lehrt die Druckschrift WO 2008/032113 A1, einen durch den Leistungs- halbleiter fließenden Strom zu messen und während eines Schaltvorgangs im zeitlichen Verlauf der Stromstärke eine Extremstelle (ein Maximum oder ein Minimum) zu ermitteln. Bis zum Erreichen der Extremstelle wird eine Steuerspannung am Steuer-

eingang des Leistungshalbleiters nur langsam verändert, so dass sich ein rampenförmiger Verlauf der Steuerspannung ergibt und sich eine Leitfähigkeit des Leistungshalbleiters nur verhältnismäßig langsam ändert. Nach Erreichen der Extremstelle wird die Steuerspannung dann abrupt auf ihren Endwert geschaltet.

**[0008]** Nachteilig bei einer solchen Lösung ist, dass für die Zeitdauer, während welcher die Steuerspannung nur langsam mit einem rampenförmigen Verlauf abgesenkt wird, die Schaltverluste in dem Leistungs- halbleiter sehr hoch sind.

**[0009]** In der DE 197 45 040 sind eine Anordnung und ein Verfahren zum Messen der Temperatur eines Bauelements beschrieben, wobei als Temperatursensor ein Transistor oder eine Diode verwendet wird. Bei dem Bauelement kann es sich um einen kontaktlosen Schalter handeln. Der Schalter wird bei Überschreiten einer Schwellspannung in einem Steuerkreis oder auch bei Überschreiten einer Grenztemperatur des Schalters zumindest mittelbar vorzugsweise über eine Logik und einen Ghetreiber abgeschaltet.

**[0010]** In der US 6,476,683 B1 ist eine Schaltungsanordnung zur Anpassung einer Schaltgeschwindigkeit eines Halbleiterschalters beschrieben. Durch eine Pulsweitenmodulation wird erreicht, dass der Halbleiterschalter rampenförmig mit einer einstellbaren Änderungsrate schaltet. Für den Fall, dass der Halbleiterschalter eine hohe Temperatur aufweist oder ein Überstrom fließt wird der Schalter mit einer besonders steilen Schaltrampe geschaltet.

**[0011]** In der US 7,019,507 B1 ist ein Wandler beschrieben, bei dem ein Stromfluss begrenzt wird, um einen Überstrom zu vermeiden. Hierbei kann vorgesehen sein, einen Mittelwert eines Drosselstromes konstant zu halten.

**[0012]** Aus der US 2005/0099751 A1 ist bekannt, zum Erkennen einer Überspannung an einem Halbleiter-Leistungsschalter einen Referenzwert in Abhängigkeit von einer Temperatur des Halbleiter-Leistungsschalters einzustellen.

**[0013]** Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, bei einem Halbleiter-Leistungsschalter die Schaltverluste zu verringern.

**[0014]** Die Aufgabe wird durch eine Schaltungsanordnung gemäß Patentanspruch 1 und durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 5 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung und des erfindungsgemäßen Verfahrens sind durch die Unteransprüche gegeben.

**[0015]** Mit der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung kann ein Strom in Abhängigkeit von einem vorgebbaren Schaltsignal geschaltet werden. Die Schaltungsanordnung weist dazu eine Ansteuereinrichtung auf, die dazu ausgelegt ist, das Schaltsignal zu empfangen und in Abhängigkeit von dem empfangenen Schaltsignal einen Halbleiter-Leistungsschalter anzusteuern. Im Zusammenhang mit dem oben beschriebenen Umrichter könnte die Ansteuereinrichtung z. B. eine Ansteuerschaltung für den Halbleiter-Leistungsschalter bilden, die das Schaltsignal von dem Mikrocontroller empfängt.

**[0016]** Mit dem Halbleiter-Leistungsschalter kann ein Strom kontrolliert geschaltet werden. Um die Stromstärke des Stromes gemäß dem Schaltsignal zu verändern, erzeugt die Ansteuereinrichtung in Abhängigkeit von dem empfangenen Schaltsignal eine Steuerspannung an einem Steuereingang des Halbleiter-Leistungsschalters. Ein zeitlicher Verlauf der Steuerspannung wird dabei derart vorgegeben, dass während eines Schaltvorgangs wenigstens eine vorbestimmte Betriebsgröße des Halbleiter-Leistungsschalters, also z. B. eine Kollektor-Emitter-Spannung eines IGBT, ein vorbestimmtes Kriterium erfüllt. Es wird also nicht einfach abrupt und dauerhaft zwischen einem leitenden und einem sperrenden Zustand des Halbleiter-Leistungsschalters umgeschaltet. Stattdessen wird ein zeitlicher Verlauf der Betriebsgröße beim Übergang zwischen den beiden Schaltzuständen (leitend und sperrend) berücksichtigt und ein Schaltvorgang durch einen entsprechenden Verlauf der Steuerspannung z. B. verlängert, um eine Induktionsspannung gering zu halten.

**[0017]** Eine Betriebsgröße kann z. B. eine über einem Transistor und/oder einer Diode des Halbleiter-Leistungsschalters abfallende Spannung oder eine Steigung eines zeitlichen Verlaufs dieser Spannung sein. Genauso kann eine Steigung eines zeitlichen Verlaufs des zu schaltenden Stromes als Betriebsgröße beim Schalten berücksichtigt werden.

**[0018]** Als Kriterium für die Betriebgröße kann z. B. vorgegeben sein, dass die Betriebsgröße während des Schaltens einen bestimmten Sollwert annehmen soll. Genauso kann vorgegeben sein, dass die Betriebgröße einen bestimmten Grenzwert nicht über- bzw. unterschreiten soll.

**[0019]** Bei der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung ist das Kriterium, also z. B. ein bestimmter Sollwert oder ein bestimmter Grenzwert, durch einen Schaltparameter der Ansteuereinrichtung festgelegt. Ein konkreter Parameterwert des Schaltparameters ist dabei während eines Betriebes der Schaltungsanordnung veränderbar. Bezogen auf die Beispiele können also der Sollwert bzw. der Grenzwert im Betrieb verändert werden. Das Schaltverhalten der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung lässt sich

somit durch Verändern eines bestimmten Parameterwertes während des Betriebes gezielt ändern und an einen aktuellen Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters anpassen. Das Schaltverhalten muss also nicht mehr durchgehend derart angepasst sein, dass eine Induktion einer unzulässig hohen Spannung durch Induktivitäten stets für eine Worst-Case-Bedingung verhindert wird. Dahinter steht die Erkenntnis, dass die Schaltdauer nur dann verlängert werden muss, wenn auch tatsächlich eine hohe Induktionsspannung zu erwarten ist. In allen übrigen Fällen kann der zu schaltende Strom schnell unterbrochen werden. Dies vermeidet die Schaltverluste, wie sie bei einem verzögerten Übergang beispielsweise mit einem rampenförmigen Verlauf der Steuerspannung entstehen.

**[0020]** Eine weitere Erkenntnis ist, dass die maximal zulässige Spannung über dem Halbleiter-Leistungsschalter von dessen Temperatur abhängt. Ein bestimmter Typ eines Halbleiter-Leistungsschalters kann z. B. besonders spannungsresistent sein, wenn er verhältnismäßig warm ist. In diesem Fall ist dann eine kürzere Schaltdauer durch Vorgabe entsprechender Parameterwerte möglich.

**[0021]** Natürlich gilt das für das Unterbrechen des Stromes Gesagte auch für ein Anschalten desselben.

**[0022]** Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, einen Halbleiter-Leistungsschalter mittels einer Signalgebereinrichtung, mit der sich ein Schaltsignal erzeugen lässt, sowie mittels einer Ansteuereinrichtung zu steuern, wobei letztere eine Steuerspannung für den Halbleiter-Leistungsschalter in Abhängigkeit von dem Schaltsignal erzeugt. Zum Schalten des Halbleiter-Leistungsschalters wird das Schaltsignal mittels der Signalgebereinrichtung erzeugt und an die Ansteuereinrichtung übertragen. Diese empfängt das Schaltsignal und erzeugt eine Steuerspannung an einem Steuereingang des Halbleiter-Leistungsschalters in Abhängigkeit von dem Schaltsignal. Zunächst wird aber ein Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters ermittelt und in Abhängigkeit von dem ermittelten Betriebszustand wenigstens ein Parameterwert eines Schaltparameters der Ansteuereinrichtung festgelegt. Durch den Parameterwert des Schaltparameters ist dann während eines Schaltvorganges des Halbleiter-Leistungsschalters ein Kriterium für eine Betriebsgröße des Halbleiter-Leistungsschalters festgelegt. Während des Schaltvorganges wird dann eine Steuerspannung mit einem zeitlichen Verlauf des Spannungswerts in der Weise erzeugt, dass die Betriebsgröße das durch den Parameterwert vorgegebene Kriterium erfüllt.

**[0023]** Die erfindungsgemäße Schaltungseinrichtung weist eine Messeinrichtung zum Erfassen wenigstens einer Betriebsgröße auf. Diese gemessene Betriebsgröße muss nicht zwingend dieselbe

sein, die nachher beim Schalten berücksichtigt wird. So kann etwa eine Temperatur eines Transistors des Halbleiter-Leistungsschalters oder eine Temperatur einer zu dem Transistor anti-parallel geschalteten Diode des Halbleiter-Leistungsschalters gemessen werden. Bei Halbleiter-Bauelementen sind die Sperrfähigkeit und das Schaltverhalten oftmals von der Temperatur abhängig. Mit bekannter Temperatur kann somit ein Grenzwert für die über dem Halbleiter-Leistungsschalter abfallende Spannung vorgegeben werden. Durch Messen der Betriebsgröße ist der aktuelle Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters dann bekannt, und es kann ein passender Wert für den Schaltparameter festgelegt werden.

**[0024]** Bei einer anderen Weiterbildung der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung wird eine Stromstärke eines durch den Halbleiter-Leistungsschalter fließenden Stromes gemessen. Hier ergibt sich der Vorteil, dass aus dem Messwert ermittelt werden kann, ob überhaupt das Risiko besteht, dass bei einem schnellen Sperren (oder Öffnen) des Halbleiter-Leistungsschalters eine unzulässig hohe Spannung entsteht.

**[0025]** Es kann auch vorgesehen sein, dass eine über dem Halbleiter-Leistungsschalter abfallende Spannung, also z. B. eine Kollektor-Emitter-Spannung eines Transistors, mittels der Messeinrichtung gemessen wird. Anhand dieser Betriebsgröße lässt sich dann z. B. feststellen, wie nahe sich der Halbleiter-Leistungsschalter bereits an einem höchstens zulässigen Sperrspannungswert befindet und wie groß infolgedessen eine induzierte Spannung höchstens sein darf. Entsprechend schnell (oder langsam) kann dann der Halbleiter-Leistungsschalter geschaltet werden.

**[0026]** Es kann auch vorgesehen sein, dass durch die Messeinrichtung ein zeitlicher Mittelwert zu einer der vorhergehenden Größen ermittelt wird. Hierdurch lässt sich ein störender Einfluss von kurzzeitigen Lastspitzen auf die Messung verringern.

**[0027]** Anstelle einer Messung kann auch vorgesehen sein, eine Betriebsgröße des Halbleiter-Leistungsschalters, insbesondere eine Temperatur desselben, auf der Grundlage eines numerischen Modells in Abhängigkeit von wenigstens einer anderen Betriebsgröße zu ermitteln. Dann muss kein zusätzlicher Sensor zum Messen der erstgenannten Betriebsgröße bereitgestellt sein.

**[0028]** In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung ist die Ansteuereinrichtung dazu ausgelegt, in Abhängigkeit von einem Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters den Parameterwert selbstständig festzulegen, insbesondere auf der Grundlage einer Kennlinie. Dadurch er-

gibt sich der Vorteil, dass ein Gerät, in welchem die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung verwendet werden soll, nicht dahingehend angepasst werden muss, dass es einen Parameterwert für die Ansteuereinrichtung ermitteln kann. Die Ansteuereinrichtung ist dann selbst dazu in der Lage. Die Verwendung einer Kennlinie (oder mehrerer davon) hat dabei den Vorteil, dass bei der Schaltungsanordnung der Typ des Halbleiter-Leistungsschalters beim Ermitteln des Parameterwerts einfach dadurch berücksichtigt werden kann, dass eine passende Kennlinie in der Ansteuereinrichtung gespeichert wird.

**[0029]** In einer anderen Weiterbildung ist die Ansteuereinrichtung dazu ausgelegt, den Parameterwert für einen vorbestimmten Schaltparameter zusammen mit dem Schaltsignal über eine Steuerleitung zu empfangen. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass das Schaltverhalten im Voraus an eine zukünftige Folge von Schaltbefehlen angepasst werden kann.

**[0030]** Die beiden vorangehend beschriebenen Möglichkeiten der Ermittlung eines Parameterwerts können auch kombiniert werden. So kann für einen der Schaltparameter ein Parameterwert durch die Ansteuereinrichtung bestimmt und einer für einen anderen der Schaltparameter zusammen mit dem Schaltignal von außerhalb durch die Ansteuereinrichtung empfangen werden.

**[0031]** In einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung ist die Ansteuereinrichtung dazu ausgelegt, über einen Schalteingang ein digitales Signal auf der Grundlage eines fehlertoleranten Übertragungsprotokolls zu empfangen und/oder über einen Messausgang ein digitales Signal auf der Grundlage eines fehlertoleranten Übertragungsprotokolls auszusenden. Hierdurch kann verhindert werden, dass eine Störstrahlung dazu führt, dass das Schaltverhalten der Schaltungsanordnung in unerwünschter Weise beeinflusst wird.

**[0032]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Dazu zeigt:

**[0033]** **Fig. 1** eine schematische Darstellung eines prinzipiellen Aufbaus eines Umrichters;

**[0034]** **Fig. 2** eine schematische Darstellung einer Ansteuerschaltung und eines Halbleiter-Leistungsschalters, die zusammen eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung bilden;

**[0035]** **Fig. 3** ein Diagramm, in welchem veranschaulicht ist, welchen Einfluss auf einen Abschaltvorgang Schaltparameter haben, die bei der Ansteuerschaltung von **Fig. 2** einstellbar sein können;

**[0036]** **Fig. 4** ein Diagramm, in welchem veranschaulicht ist, welchen Einfluss auf einen Einschaltvorgang Schaltparameter haben, die bei der Ansteuerschaltung von **Fig. 2** einstellbar sein können;

**[0037]** **Fig. 5** ein Diagramm, in welchem ein Zusammenhang zwischen einer Temperatur des Halbleiter-Leistungsschalters von **Fig. 2** und dessen höchstens zulässiger Sperrspannung dargestellt ist;

**[0038]** **Fig. 6** bis **Fig. 11** jeweils eine schematische Darstellung einer Ansteuerschaltung mit einem Halbleiter-Leistungsschalter, die zusammen jeweils eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung bilden.

**[0039]** Die Beispiele stellen bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung dar.

**[0040]** In **Fig. 2** ist eine Ansteuerschaltung **42** gezeigt, die in einem (in **Fig. 2** nicht näher dargestellten) steuerbaren Umrichter eines Frequenzumrichters eingebaut ist. Eine Bauweise des Umrichters kann beispielsweise derjenigen des Umrichters **10** entsprechen. Die Ansteuerschaltung **42** steuert einen Halbleiter-Leistungsschalter **44**. Dieser weist einen Transistor **46** (hier einen IGBT) und eine zu diesem anti-parallel geschaltete Diode **48** auf. Anstelle des IGBT kann z. B. auch ein MOSFET vorgesehen sein. Zum Steuern des Halbleiter-Leistungsschalters **44** erzeugt die Ansteuerschaltung **42** eine Steuerspannung an einem Steuereingang **50** des Halbleiter-Leistungsschalters **44**. Der Steuereingang **50** entspricht hier dem Gate des IGBT **46**. Die Ansteuerschaltung **42** und der Halbleiter-Leistungsschalter **44** stellen zusammen eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung dar. Mittels des Halbleiter-Leistungsschalters **44** wird ein Strom  $I_c$  gesteuert.

**[0041]** Die Steuerspannung wird in Abhängigkeit von einem Schaltsignal erzeugt, welches die Ansteuerschaltung **42** über einen Lichtempfänger oder Eingangs-Optokoppler **52** empfängt, über den die Ansteuerschaltung **42** mit einer Signalleitung **54** einer (nicht dargestellten) Umrichtersteuerung verbunden ist. Die Umrichtersteuerung ist eine Signalgebereinrichtung des Umrichters ähnlich der bereits beschriebenen Steuereinheit **34**.

**[0042]** Das Schaltsignal wird von einer programmierbaren Steuereinrichtung **56** ausgewertet. Die Steuereinrichtung kann z. B. durch einen FPGA (field programmable gate array) oder einen ASIC (application-specific integrated circuit) bereitgestellt sein. Über das Schaltsignal gibt die Umrichtersteuerung vor, ob sich der Halbleiter-Leistungsschalter **44** in einem leitenden oder einem sperrenden Zustand befinden soll. Die Steuereinrichtung **56** erzeugt ein entsprechendes digitales Signal, zu welchem von einem Digital-Ana-

log-Wandler **58** ein analoges Signal erzeugt wird. Das analoge Signal wird von einer Verstärkerschaltung **60** verstärkt und als Steuerspannung über einen Gate-Widerstand **62** zum Steuereingang **50** übertragen.

**[0043]** In der Steuereinrichtung **56** kann ein digitales Filter oder eine digitale Regelung vorgesehen sein, um aus dem Schaltsignal der Unsteuerschaltung ein zum Ansteuern des Halbleiter-Leistungsschalters **44** geeignetes digitales Signal zu erzeugen. Zudem ist es möglich, Schutzfunktionen z. B. für den Halbleiter-Leistungsschalter **44** vorzusehen. Die Steuereinrichtung **56** bildet eine digitale Schnittstelle zwischen der Umrichtersteuerung und dem Halbleiter-Leistungsschalter **44**.

**[0044]** Die Ansteuerschaltung **42** weist eine Spannungsmesseinrichtung **64** auf, mit welcher die Kollektor-Emitter-Spannung Uce des Transistors **46** erfasst wird. Diese entspricht hier zugleich der Diodenspannung Ud. Über einen Analog-Digital-Wandler **66** wird der erfasste Spannungswert in einen digitalen Messwert umgewandelt, der von der Steuereinrichtung **56** ausgewertet wird. Die Diodenspannung Ud stellt eine Betriebsgröße des Halbleiter-Leistungsschalters **44** dar.

**[0045]** Bei der Ansteuerschaltung **42** können über einen Lichtsender oder Ausgangs-Optokoppler **68** und eine Signalleitung **70** Daten, wie z. B. digitale Messwerte oder Zustandsinformationen, zur Umrichtersteuerung übertragen werden.

**[0046]** Bei der Ansteuerschaltung **42** kann vorgesehen sein, dass zum Austauschen von Daten zwischen der Umrichtersteuerung und der Steuereinrichtung **56** ein fehlertolerantes Übertragungsprotokoll verwendet wird, so dass auch bei einer Verfälschung der Daten, beispielsweise durch eine Störstrahlung, die ursprünglich gesendeten Informationen (bis zu einem bestimmten Grad der Verfälschung) wieder aus den verfälschten Daten rekonstruiert werden können. Beispiele für ein solches Übertragungsprotokoll sind ein Barker-Code und ein zyklischer Code.

**[0047]** Wenn durch das Schaltsignal der Steuerleitung **54** ein Wechsel des Schaltzustands des Halbleiter-Leistungsschalters **44**, also von leitend auf sperrend oder umgekehrt, durch die Umrichtersteuerung vorgegeben wird, so wird von der Ansteuerschaltung **42** ein entsprechender Schaltvorgang durch Verändern der Steuerspannung am Steuereingang **50** bewirkt. Das Schaltverhalten der Ansteuerschaltung **42** ist dabei durch Schaltparameter der Steuereinrichtung **56** bestimmt, deren Werte während des Betriebs der Ansteuerschaltung **42** verändert werden können. Die Werte für die Schaltparameter sind bei der Ansteuerschaltung **42** zusammen mit dem Schaltsignal über die Steuerleitung **54** von der Umrichtersteuerung zur Steuereinrichtung **56** übertragbar.

**[0048]** Anhand von **Fig. 3** und **Fig. 4** ist im Folgenden erläutert, welchen Einfluss das Einstellen von Schaltparametern auf einen bestimmten Wert auf einen Schaltvorgang hat.

**[0049]** In **Fig. 3** ist ein Verlauf der Stromstärke des Stromes Ic und der Spannung Ud während eines Abschaltvorganges gezeigt. Zum Unterbrechen des Stromes Ic wird seine Stromstärke graduell verringert, so dass der zeitliche Verlauf der Stromstärke während des Schaltvorganges eine endliche Steigung aufweist. Eine Steigung dloff/dt (Ableitung von Ic nach der Zeit während des Abschaltens) stellt dabei einen Schaltparameter dar. Diese Steigung entspricht der Schaltgeschwindigkeit, mit welcher der Schaltvorgang durchgeführt wird.

**[0050]** Durch Festlegen eines bestimmten Parameterwerts des Schaltparameters für die Steigung dloff/dt bei der Steuereinrichtung **56** wird in dem gezeigten Beispiel vorgegeben, dass während des Abschaltens die Stromstärke des Stromes Ic die Bedingung erfüllt, dass die Steigung dloff/dt vom Betrage her nicht größer als der eingestellte Parameterwert werden darf. Diese Bedingung stellt somit ein Kriterium dar, das während des Schaltvorgangs erfüllt sein muss. Bei der Steuereinrichtung **56** kann zum Einhalten der Bedingung ein entsprechender Steueralgorithmus oder ein Regelalgorithmus mit einem geschlossenen Regelkreis bereitgestellt sein.

**[0051]** Einen zweiten Schaltparameter stellt ein Spannungshöchstwert Uce,max der Kollektor-Emitter-Spannung Uce dar, der nicht überschritten werden darf. Als ein dritter Schaltparameter kann die Steigung dUoff/dt der Diodenspannung Ud vorgebar sein. Der Verlauf der Spannung Ud weist bei dem Abschaltvorgang eine Überhöhung **72** auf, die durch eine Spannung verursacht wird, welche durch eine (in **Fig. 2** nicht dargestellte) Induktivität beim Abschalten des Stromes Ic erzeugt wird. Der Höchstwert der Überhöhung **72**, d. h. der Spannungshöchstwert Uce,max, kann durch Einstellen von Werten der Schaltparameter für Uce,max und/oder dUoff/dt beeinflusst werden.

**[0052]** In **Fig. 4** sind entsprechende Angaben wie in **Fig. 3** zu einem Anschaltvorgang gemacht. Gezeigt sind wieder ein zeitlicher Verlauf der Diodenspannung Ud und der Stromstärke des Stromes Ic. Hierzu kann vorgesehen sein, über Schaltparameter eine Steigung dlon/dt der Stromstärke des Stromes Ic und/oder eine Steigung dUon/dt bei der Steuereinrichtung **56** vorgeben zu können. Der Verlauf des Diodenstromes Ic weist eine Spitze **74** auf, die durch das Rückstromverhalten der abkommunizierten Freilaufdiode verursacht wird. Ein Höchstwert der Stromspitze **74** kann durch Einstellen von Werten der Schaltparameter beeinflusst werden.

**[0053]** Der Spannungshöchstwert Uce,max und die Steigungen dlon/dt, dUon/dt, dloff/dt und dUoff/dt stellen Betriebgrößen des Halbleiter-Leistungsschalters **44** dar. Im Folgenden werden für die Schaltparame ter der Steuereinrichtung **56** dieselben Bezeichnungen verwendet wie für die Betriebsgrößen, welche sie beeinflussen. Somit können also Schaltparame ter Uce,max, dlon/dt, dUon/dt, dloff/dt und/oder dUoff/dt vorgesehen sein. Bei der Steuereinrichtung **56** müssen aber nicht für alle der beschriebenen Betriebsgrößen Schaltparame ter vorgesehen sein.

**[0054]** In **Fig. 5** ist eine Kennlinie **76** gezeigt, durch welche eine Abhängigkeit einer höchstens zulässigen Sperrspannung Uce,max(T) von einer Temperatur T des Transistors **46** beschrieben ist. Die Sperrfähigkeit des Transistors **46** nimmt gemäß der Kennlinie **76** mit der Temperatur T ab. Die Kennlinie **76** kann z. B. als messtechnisch ermittelte Wertetabelle oder auch als mathematische Funktion bereitgestellt sein.

**[0055]** Durch die Einführung der digitalen Steuereinrichtung **56** ist es möglich, das Schalten des Transistors **44** von dessen Temperatur T sowie seinen Schalteigenschaften online, also während des Betriebs, zu beeinflussen. Eine Auslegung der IGBT-Ansteuerung auf besonders ungünstigste Bedingung (worst case) kann somit entfallen. Eine Worst-Case-Bedingung kann sich beispielsweise ergeben, wenn der Strom Ic bei einer sehr niedrigen Temperatur geschaltet werden muss. Der Halbleiter-Leistungsschalter **44** weist bei niedriger Temperatur neben einer geringeren zulässigen Maximalspannung (siehe **Fig. 5**) noch ein verändertes Schaltverhalten auf, was in Verbindung mit Streuinduktivitäten zu einer erhöhten Spannungsbelastung führen kann. Durch Anpassen der Schaltparame ter an den tatsächlichen Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters **44** können die Schaltverluste verringert und die Ausnutzung des Halbleiter-Leistungsschalters **44** (z. B. seine Lebensdauer) erhöht werden.

**[0056]** In **Fig. 6** bis **Fig. 11** sind weitere Schaltungsanordnungen mit jeweils einer Ansteuerschaltung und einem Halbleiter-Leistungsschalter gezeigt. In den Figuren sind Elemente, deren Funktionsweise Elementen von **Fig. 2** entsprechen, mit denselben Bezugszeichen versehen wie in **Fig. 2**. Diese Elemente werden im Folgenden nicht noch einmal erläutert.

**[0057]** In **Fig. 6** ist eine Ansteuerschaltung **78** gezeigt, die mit einem Temperatursensor **80** verbunden ist. Der Temperatursensor **80** misst eine Temperatur T eines Halbleiter-Leistungsschalters **44**. Es kann sich in dem gezeigten Beispiel um die Temperatur eines Transistors **46** oder einer Diode **48** des Halbleiter-Leistungsschalters **44** handeln. Der Temperatursensor **80** kann z. B. auf einem Kühlkörper des Halbleiter-Leistungsschalters **44** oder inner-

halb des Halbleiter-Leistungsschalters **44** angeordnet sein. Ein Messwert des Temperatursensors **80** wird durch einen Analog-Digital-Wandler **82** in einen digitalen Messwert umgewandelt, der von einer Steuereinrichtung **56** beim Erzeugen einer Steuerspannung zum Steuern des Halbleiter-Leistungsschalters **44** als Betriebsgröße desselben berücksichtigt wird.

**[0058]** In der Steuereinrichtung **56** ist eine Kennlinie **76** gespeichert, wie sie in **Fig. 5** dargestellt ist. Anhand der Kennlinie **76** wird in Abhängigkeit von der Temperatur T ein Wert für die höchstens zulässige Sperrspannung Uce,max(T) ermittelt. Der ermittelte Wert wird als Parameterwert für einen Schaltparame ter Uce,max der Steuereinrichtung **56** eingestellt.

**[0059]** In **Fig. 7** ist eine Umrichtersteuerung **84** eines Umrichters gezeigt, die über eine Steuerleitung **54** ein Schaltsignal an eine Ansteuerschaltung sendet, die der bereits in **Fig. 2** gezeigten Ansteuerschaltung **42** entspricht. Die Umrichtersteuerung **84** stellt eine Signalgebereinrichtung dar. Sie sendet das Schaltsignal zusammen mit einem Parameterwert für den Schaltparame ter Uce,max. Der Parameterwert wird auf der Grundlage eines numerischen Modells **86** ermittelt. Mittels des Modells **86** kann eine momentane Temperatur T eines Halbleiter-Leistungsschalters **44** berechnet werden. Anhand der berechneten Temperatur T wird durch die Umrichtersteuerung **84** mittels einer Kennlinie **76** (siehe **Fig. 5**) der Parameterwert bestimmt. Die Kennlinie **76** ist in einem Kennlinienspeicher **88** gespeichert.

**[0060]** Das numerische Modell **86** benötigt als Eingangsparameter eine Anfangstemperatur Ta des Halbleiter-Leistungsschalters **44**, die dieser zum einem Betriebsbeginn des Umrichters aufgewiesen hat. Ein weiterer Eingangsparameter ist eine Leistung P, welche seit Betriebsbeginn in dem Halbleiter-Leistungsschalter **44** umgesetzt wurde. Die Leistung P wird in einer Berechnungseinheit **90** aus Zeitverläufen einer Betriebsspannung u(t) und eines Betriebsstromes i(t) ermittelt, die von dem Umrichter mittels des Halbleiter-Leistungsschalters **44** seit Betriebsbeginn an einem (nicht dargestellten) Anschluss bereitgestellt wurden.

**[0061]** Eine Kommunikationseinheit **92** überträgt den ermittelten Parameterwert zusammen mit einem von einer das eigentliche Schaltsignal erzeugenden Taktgebereinrichtung **94** über die Steuerleitung **54**. Über weitere, in **Fig. 7** nicht gezeigte Steuerleitungen werden Parameterwerte auch an weitere (nicht dargestellte) Ansteuerschaltungen des Umrichters übertragen. Die Werte für die Schaltparame ter können unter Verwendung eines fehlertoleranten Übertragungsprotokolls an die einzelnen Ansteuerschaltungen des Umrichters übertragen und dort in programmierbaren Steuereinrichtungen als Parameterwerte

in die programmierbaren Steuereinrichtungen übernommen werden.

**[0062]** Anstelle des Temperaturmodells kann auch eine Messung der Temperatur innerhalb des Umrichters erfolgen.

**[0063]** In **Fig. 8** ist eine Ansteuerschaltung **96** gezeigt, an die ein Stromwandler **98** angeschlossen ist. Der Stromwandler **98** misst eine Stromstärke eines zu schaltenden Stromes  $I_c$ . Ein Messwert des Stromwandlers **98** wird hier durch einen Analog-Digital-Wandler **100** der Ansteuerschaltung **96** in einen digitalen Messwert umgewandelt, der von einer Steuereinrichtung **56** beim Erzeugen einer Steuerspannung zum Steuern eines Halbleiter-Leistungsschalters **44** als Betriebsgröße desselben berücksichtigt wird. Bei dem Halbleiter-Leistungsschalter **44** kommt es bei dem darin eingebauten Typ eines Transistors **46** und dem Typ einer eingebauten Diode **48** unter bestimmten Betriebsbedingungen zu Aufsteilungen, wie einer Überhöhung **72** (**Fig. 3**) beim Sperren oder einer Spitze **74** (**Fig. 4**) beim Schließen des Halbleiter-Leistungsschalters **44**. Grund dafür kann z. B. ein Strom- oder Spannungsabriß sein, d. h. eine abrupte Veränderung der Größen. Dieses Verhalten ist aber auf sehr wenige Betriebspunkte beschränkt. Anhand einer Messung des Stromes  $I_c$  mittels des Stromwandlers **98** und einer Messung einer Diodenspannung  $U_d$  mittels einer Spannungsmesseinrichtung **64** kann schon vor einem eigentlichen Schaltvorgang im Voraus ermittelt werden, ob ein solcher Betriebspunkt vorliegt. Mit anderen Worten können durch Messen der Betriebsgrößen  $I_c$  und  $U_d$  der Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters **44** ermittelt und Schaltparameter der Steuereinrichtung **56** im Voraus entsprechend festgelegt werden. In dem in **Fig. 8** gezeigten Beispiel können anhand der Messwerte für die Diodenspannung  $U_d$  und der Stromstärke des zu schaltenden Stromes  $I_c$  Parameterwerte für Schaltparameter  $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$  und  $dUon/dt$  ermittelt werden. Die für den jeweiligen Betriebszustand günstigsten Parameterwerte sind hier in einer Tabelle **102** innerhalb der Steuereinrichtung **56** hinterlegt.

**[0064]** In **Fig. 9** ist eine Umrichtersteuerung **104** eines (nicht weiter dargestellten) Umrichters gezeigt, die eine Tabelle **102'** aufweist, mittels welcher ähnlich wie mit der Tabelle **102** Parameterwerte für Schaltparameter einer Ansteuerschaltung **42** ermittelt werden können. Die ermittelten Parameterwerte werden von einer Kommunikationseinheit **92** zusammen mit einem Schaltsignal einer Taktgebereinrichtung **94** in der im Zusammenhang mit **Fig. 7** beschriebenen Weise an die Ansteuerschaltung **42** (und weitere, nicht dargestellte Ansteuerschaltungen) übertragen. Mittels der Tabelle **102'** kann die Ermittlung der Parameterwerte auf der Grundlage eines aktuellen Betriebszustands erfolgen, der anhand von Messungen

von Zeitverläufen einer Betriebsspannung  $u(t)$  und eines Betriebsstromes  $i(t)$  ermittelt wird.

**[0065]** In **Fig. 10** ist eine Ansteuerschaltung **106** gezeigt, bei welcher Schaltparameter  $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$  einer Steuereinrichtung **56** in Abhängigkeit von drei Betriebsgrößen eines Halbleiter-Leistungsschalters **44** ermittelt werden, nämlich einem Strom  $I_c$ , einer Diodenspannung  $U_d$  und einer Temperatur  $T$  eines Halbleiter-Leistungsschalters **44**. Die Temperatur  $T$  des Halbleiter-Leistungsschalters **44** wird erfasst und die zulässige temperaturabhängige Schaltgeschwindigkeit  $dIoff/dt$ ,  $dIon/dt$  in Abhängigkeit vom Strom  $I_c$  und der Spannung  $U_d$  aus einer zuvor messtechnisch ermittelten Tabelle **108** bestimmt und als Parameterwert der Schaltparameter  $dIoff/dt$ ,  $dIon/dt$  festgelegt. Auch die Werte der übrigen Schaltparameter  $U_{ce,max}$ ,  $dUoff/dt$  und  $dUon/dt$  werden anhand der Tabelle und in Abhängigkeit vom aktuellen Betriebszustand festgelegt.

**[0066]** In **Fig. 11** ist eine Umrichtersteuerung **110** gezeigt, welche Schaltparameter  $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$  in einer Weise ermittelt, wie es auch durch die Steuereinrichtung **56** der Ansteuerschaltung **106** ermöglicht ist. Anstelle einer Temperaturmessung kann hier die Verwendung eines numerischen Modells **86** vorgesehen sein. Auf der Grundlage des ermittelten Betriebszustands eines Halbleiter-Leistungsschalters **44** werden anhand einer Tabelle **108'** die Parameterwerte für die Schaltparameter  $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$  ermittelt und an eine Ansteuerschaltung **42** übermittelt.

**[0067]** Durch die Beispiele ist gezeigt, wie mittels einer digital programmierbaren Ansteuerschaltung die Möglichkeit geschaffen ist, während eines Betriebs eines Umrichters Schaltparameter neu zu konfigurieren oder zu verändern. Es kann eine temperaturabhängige Online-Beeinflussung der zulässigen Maximalspannung im Schaltbetrieb zur Reduzierung der Schaltverluste ermöglicht sein. Genauso kann eine strom- und spannungsabhängige Online-Beeinflussung der Einschalt- und Ausschaltparame ter ermöglicht sein. Die Übertragung von Parameterwerten zur Beeinflussung des Schaltverhaltens kann zusammen mit einem Schaltsignal codiert erfolgen. Dabei kann die Übertragung von Parameterwerten mit Hilfe eines fehlertoleranten Übertragungsprotokolls erfolgen.

**[0068]** Es kann somit erreicht werden, dass Schaltverluste eines Halbleiter-Leistungsschalters **44** über einen großen Bereich von möglichen Betriebstemperaturen des Halbleiter-Leistungsschalters **44** konstant gehalten werden. Da die Schaltgeschwindigkeit nun nicht mehr auf den tiefsten Temperaturwert (worst case) zur Begrenzung der auftretenden Überspannungen angepasst sein muss (siehe **Fig. 5**), kann so bei höheren Temperaturen eine deutlich hö

here Schaltgeschwindigkeit erreicht und damit die Verlustleistung verringert werden.

### Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zum Schalten eines Stromes (Ic) in Abhängigkeit von einem vorgebbaren Schaltsignal, umfassend:

- einen Halbleiter-Leistungsschalter (44) zum Schalten des Stromes (Ic) und
- eine Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106), welche dazu ausgelegt ist, das Schaltsignal zu empfangen und in Abhängigkeit von dem empfangenen Schaltsignal an einem Steuereingang (50) des Halbleiter-Leistungsschalters (44) eine Steuerspannung mit einem zeitlichen Verlauf zu erzeugen, durch welchen bewirkt ist, dass nicht abrupt und dauerhaft zwischen einem leitenden und einem sperrenden Zustand des Halbleiter-Leistungsschalters (44) umgeschaltet wird, sondern stattdessen während eines Schaltvorgangs wenigstens eine vorbestimmte Betriebsgröße ( $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$ ) des Halbleiter-Leistungsschalters (44) ein vorbestimmtes Kriterium erfüllt, wobei das Kriterium durch einen Schaltparameter ( $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$ ) der Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106) vorgegeben ist und ein Parameterwert des Schaltparameters ( $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$ ) während eines Betriebes der Schaltungsanordnung veränderbar ist,

**dadurch gekennzeichnet**, dass zu wenigstens einer der folgenden Betriebsgrößen durch Festlegen eines Parameterwerts ein Kriterium vorgebbar ist:

- einer über einem Transistor und/oder einer Diode des Halbleiter-Leistungsschalters (44) abfallenden Spannung ( $U_{ce,max}$ ),
- einer Steigung ( $dUoff/dt$ ,  $dUon/dt$ ) eines zeitlichen Verlaufs dieser Spannung,
- einer Steigung ( $dIoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ) eines zeitlichen Verlaufs des zu schaltenden Stromes (Ic), und durch den Parameterwert als Kriterium ein Grenzwert oder ein Sollwert für die Betriebsgröße ( $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$ ) vorgebbar ist, und
- eine Messeinrichtung (64, 66, 80, 82, 98, 100) zum Erfassen folgender Betriebsgrößen (Ic, T, Ud), durch welche ein Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters (44) beschrieben ist, bereitgestellt ist:
- einer Temperatur (T) eines Transistors (46) des Halbleiter-Leistungsschalters (44), und/oder einer Temperatur einer zu dem Transistor (46) anti-paralle geschalteten Diode (48) des Halbleiter-Leistungsschalters (44), wobei im Falle der Erfassung zumindest einer der Temperaturen der Parameterwert für die abfallende Spannung ( $U_{cemax}$ ) von der erfassten Betriebsgröße abhängt, und/oder
- sowohl einer Stromstärke eines durch den Halbleiter-Leistungsschalter (44) fließenden Stromes (Ic) als auch einer über dem Halbleiter-Leistungsschalter (44) abfallenden Spannung (Ud), wobei in die-

sem Fall die Steigung des Stromes und/oder die Steigung der Spannung von der erfassten Betriebgröße abhängt.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ansteuereinrichtung (78, 96, 106) dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit von einem Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters (44) den Parameterwert selbstständig festzulegen, insbesondere auf der Grundlage einer Kennlinie (76).

3. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ansteuereinrichtung (42) dazu ausgelegt ist, den Parameterwert für einen vorbestimmten Schaltparameter ( $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$ ) zusammen mit dem Schaltsignal über eine Steuerleitung (54) zu empfangen.

4. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106) dazu ausgelegt ist, über einen Schalteingang (52) ein digitales Signal auf der Grundlage eines fehlertoleranten Übertragungsprotokolls zu empfangen und/oder über einen Messausgang (68) ein digitales Signal auf der Grundlage eines fehlertoleranten Übertragungsprotokolls auszusenden.

5. Verfahren zum Steuern eines Halbleiter-Leistungsschalters (44) mittels einer Signalgebereinrichtung (84, 104) zum Erzeugen eines Schaltsignals und mittels einer Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106) zum Erzeugen einer Steuerspannung für den Halbleiter-Leistungsschalter (44), umfassend die Schritte:

- Ermitteln eines Betriebszustands (Ic, T, Ud) des Halbleiter-Leistungsschalters (44) und Festlegen wenigstens eines Parameterwerts eines Schaltparameters ( $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$ ) der Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106), durch welchen während eines Schaltvorganges des Halbleiter-Leistungsschalters (44) ein Kriterium für wenigstens eine Betriebsgröße ( $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,  $dUoff/dt$ ,  $dIon/dt$ ,  $dUon/dt$ ) des Halbleiter-Leistungsschalters (44) festgelegt ist;

- Erzeugen des Schaltsignals mittels der Signalgebereinrichtung (84, 104) und Übertragen des Schaltsignals an die Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106);
- Empfangen des Schaltsignals durch die Ansteuereinrichtung (42, 78, 96, 106) und Erzeugen einer Steuerspannung an einem Steuereingang (50) des Halbleiter-Leistungsschalters (44) in Abhängigkeit von dem Schaltsignal, wobei ein zeitlicher Verlauf eines Spannungswerts der Steuerspannung derart festgelegt wird, dass nicht abrupt und dauerhaft zwischen einem leitenden und einem sperrenden Zustand des Halbleiter-Leistungsschalters (44) umgeschaltet wird, sondern stattdessen während eines Schaltvorgangs die Betriebsgröße ( $U_{ce,max}$ ,  $dIoff/dt$ ,

$dU_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ,  $dI_{off}/dt$ ) das durch den Parameterwert vorgegebene Kriterium erfüllt,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass

zumindest eine der folgenden Betriebsgrößen des Halbleiter-Leistungsschalters (**44**) zum Ermitteln des Betriebszustands erfasst wird:

- eine Temperatur ( $T$ ) eines Transistors (**46**) des Halbleiter-Leistungsschalters (**44**),
- eine Temperatur einer zu dem Transistor (**46**) anti-parallel geschalteten Diode (**48**) des Halbleiter-Leistungsschalters (**44**),
- eine Stromstärke eines durch den Halbleiter-Leistungsschalter (**44**) fließenden Stromes ( $I_c$ ),
- eine über dem Halbleiter-Leistungsschalter (**44**) abfallende Spannung ( $U_d$ ), und hierbei durch das Festlegen des Parameterwerts eines Schaltparameters ( $U_{ce,max}$ ,  $dI_{off}/dt$ ,  $dU_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ,  $dI_{off}/dt$ ) ein Sollwert oder ein Grenzwert für eine der folgenden Betriebsgrößen für einen Schaltvorgang vorgegeben wird:
- eine über dem Transistor (**46**) und/oder der Diode (**48**) des Halbleiter-Leistungsschalters (**44**) abfallende Spannung ( $U_d$ ), falls zumindest eine der genannten Temperaturen ermittelt wird,
- eine Steigung ( $dU_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ) eines zeitlichen Verlaufs dieser Spannung ( $U_d$ ), und/oder eine Steigung ( $dI_{off}/dt$ ,  $dI_{on}/dt$ ) eines zeitlichen Verlaufs des zu schaltenden Stromes ( $I_c$ ), falls ein bestimmter, durch die ermittelte Stromstärke und die ermittelte Spannung definierter Betriebszustand des Halbleiter-Leistungsschalters (**44**) vorliegt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei welchem eine Betriebsgröße des Halbleiter-Leistungsschalters (**44**), insbesondere eine Temperatur ( $T$ ) desselben, auf der Grundlage eines numerischen Modells (**86**) in Abhängigkeit von wenigstens einer anderen Betriebsgröße ( $T_a$ ,  $i(t)$ ,  $u(t)$ ) ermittelt wird.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

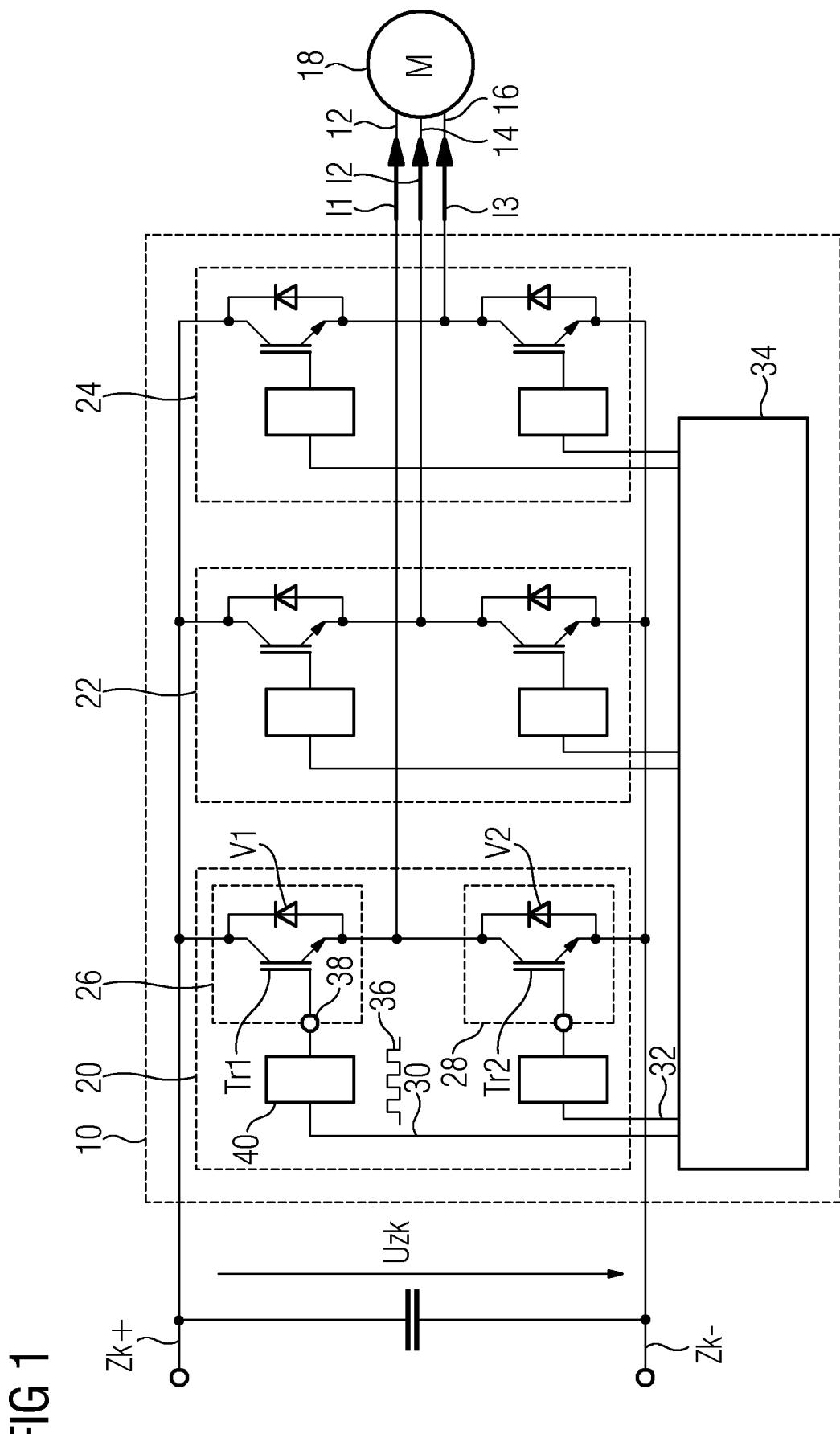
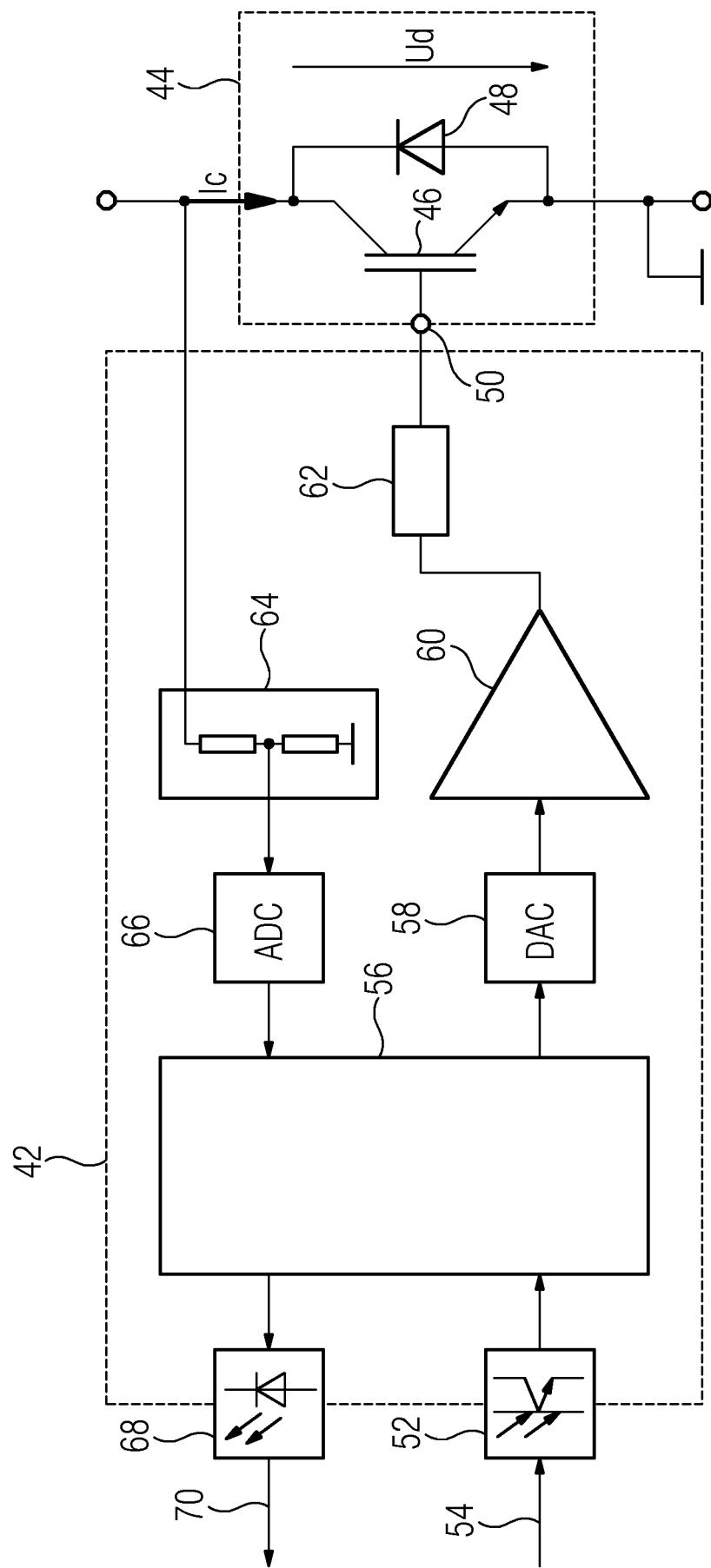


FIG 2



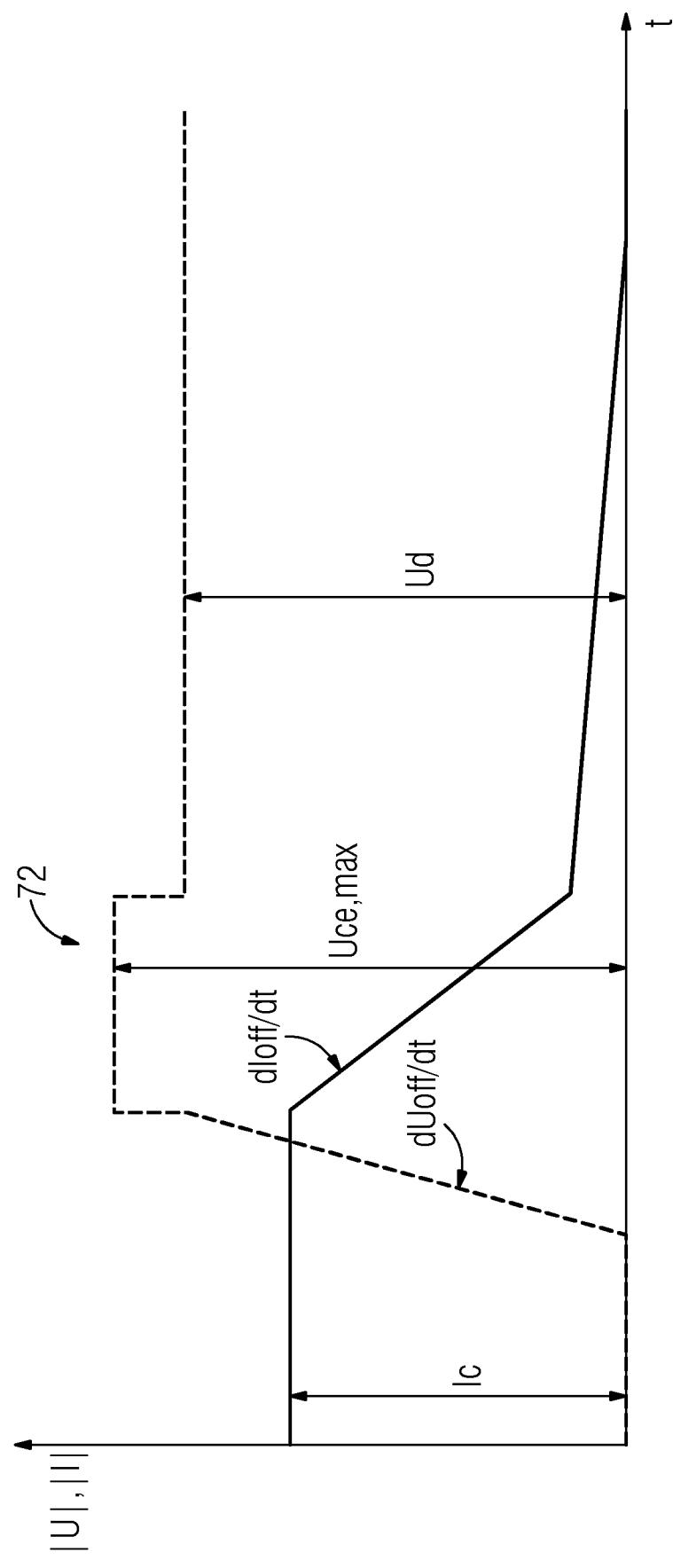


FIG 3

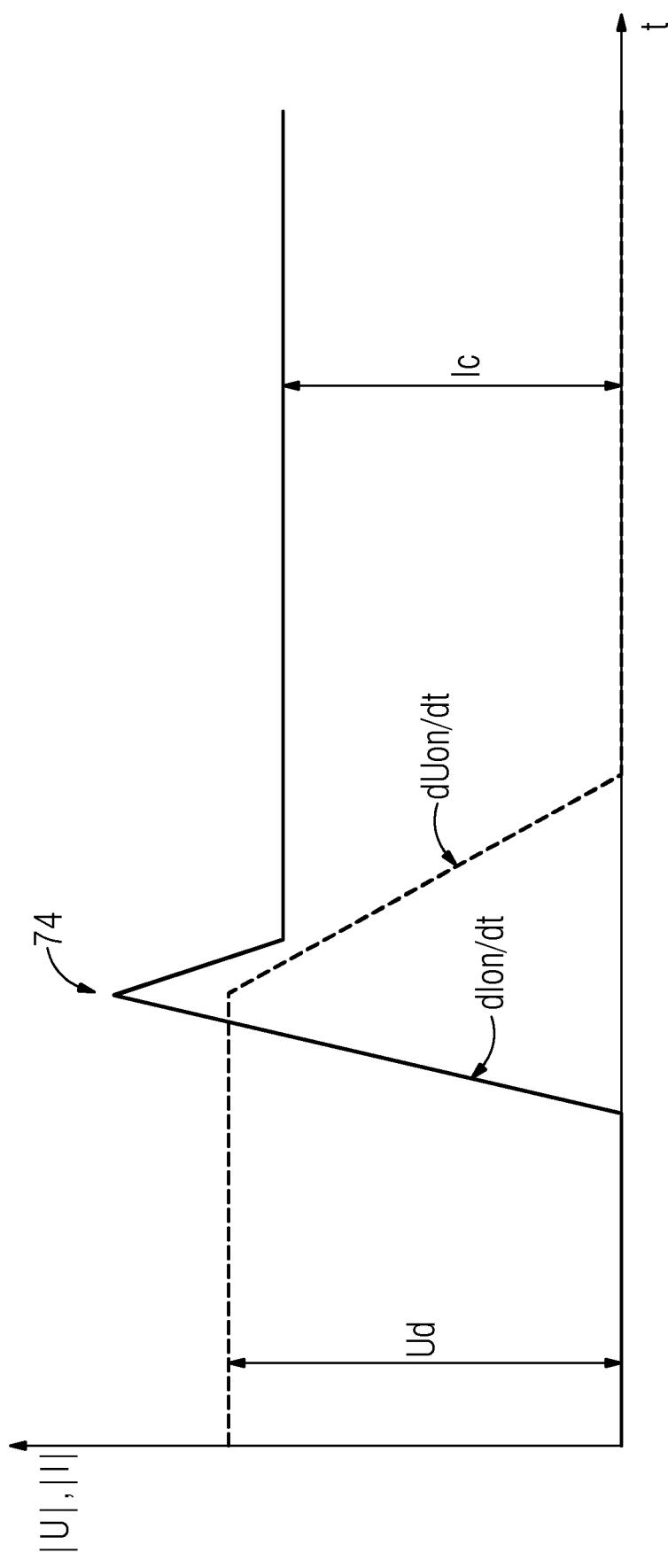


FIG 4

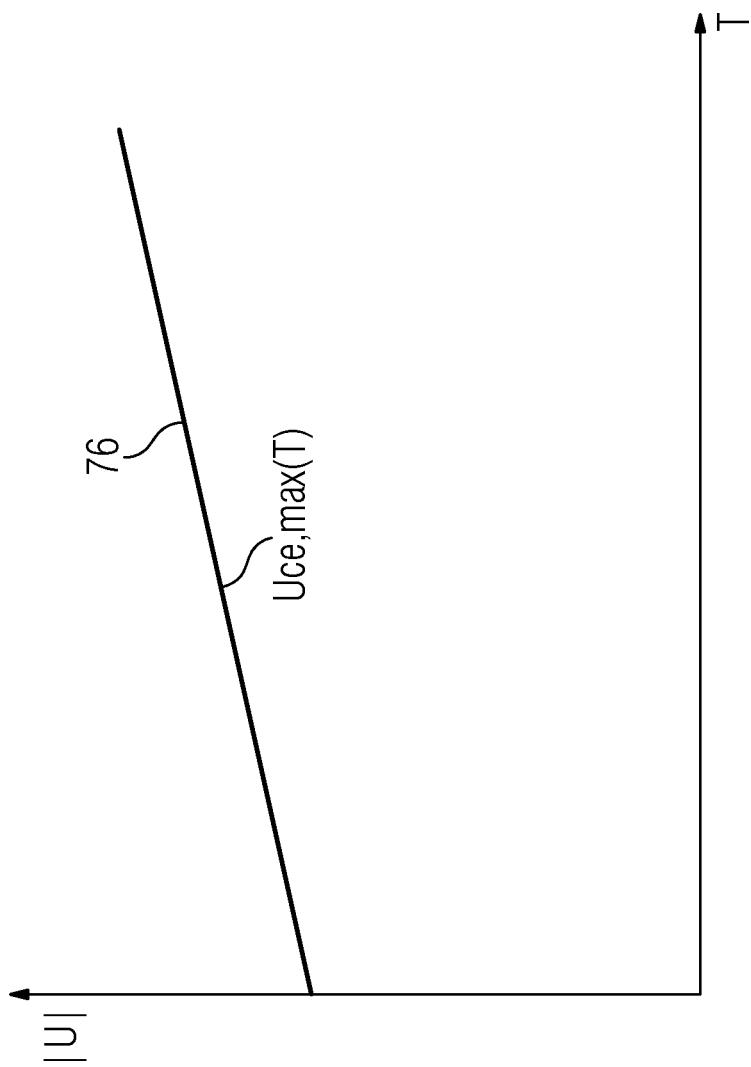
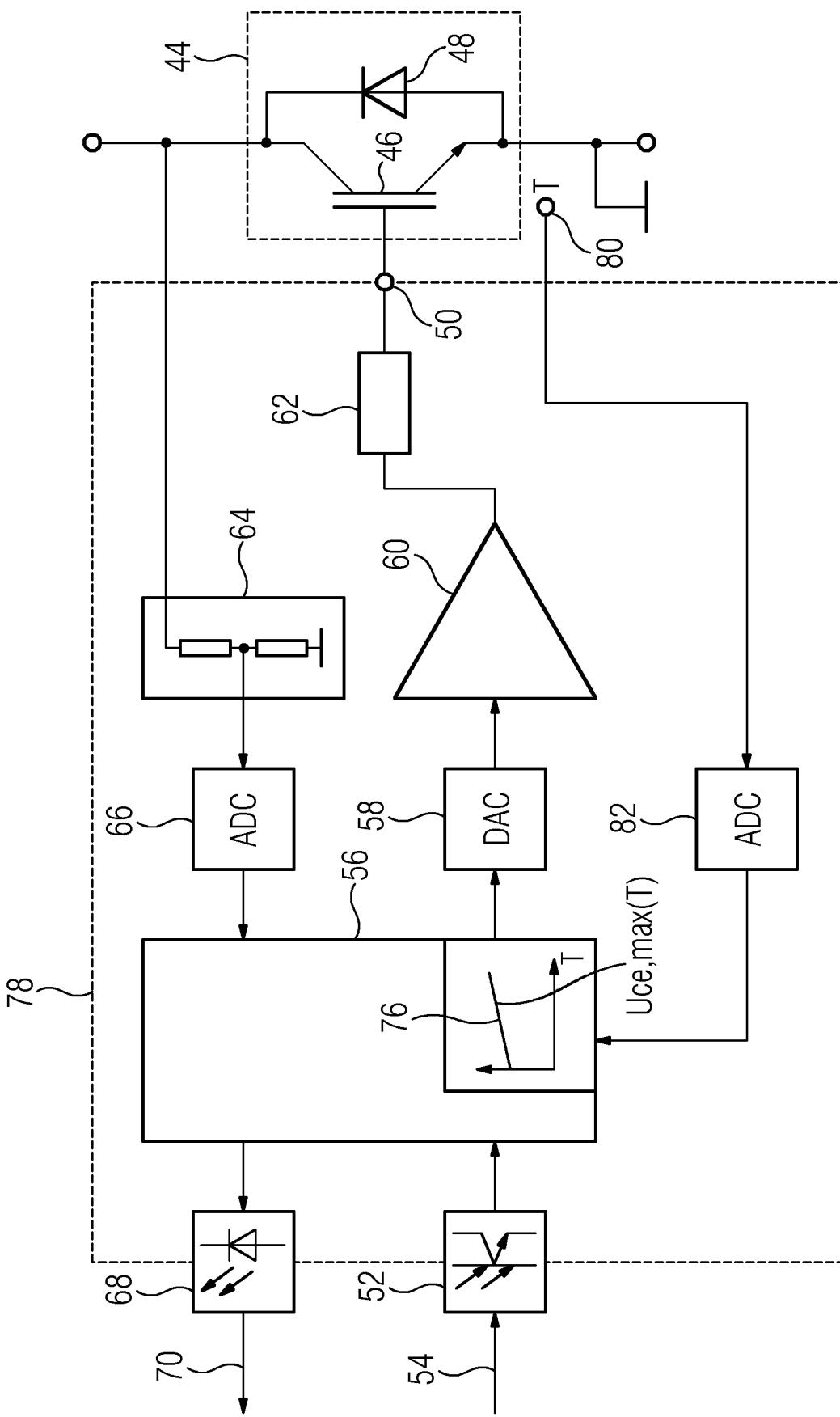


FIG 5

FIG 6



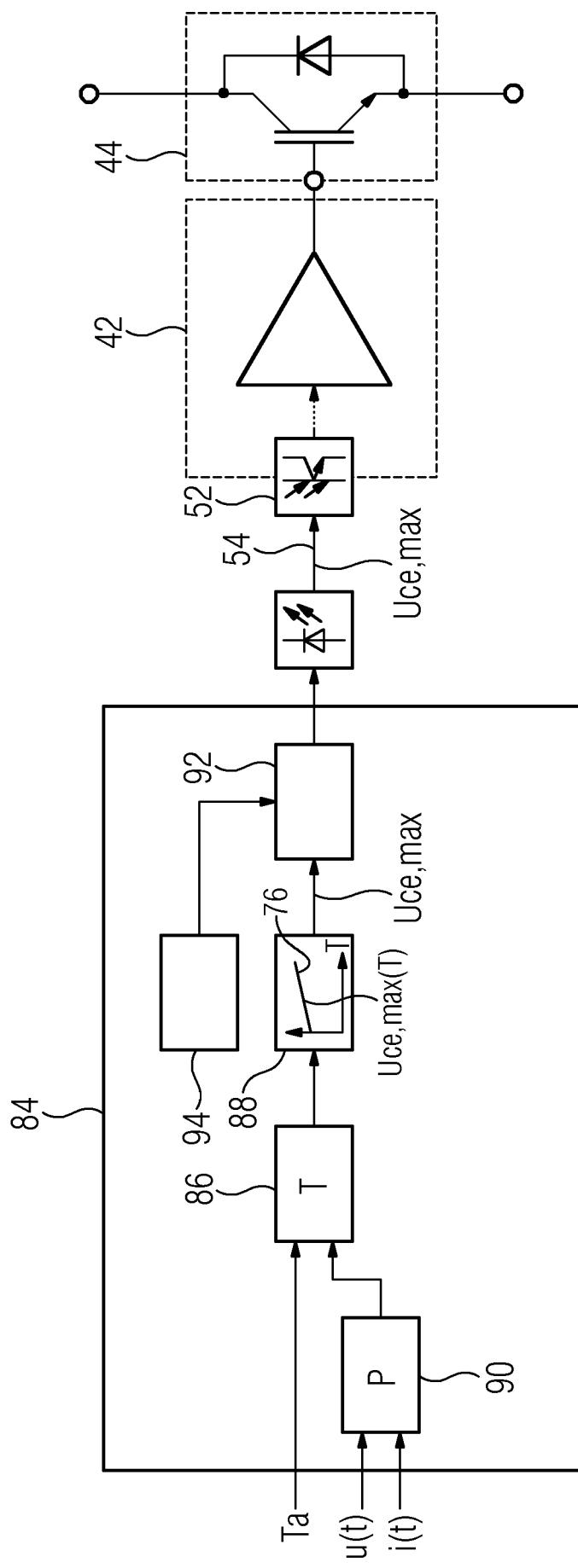


FIG 7

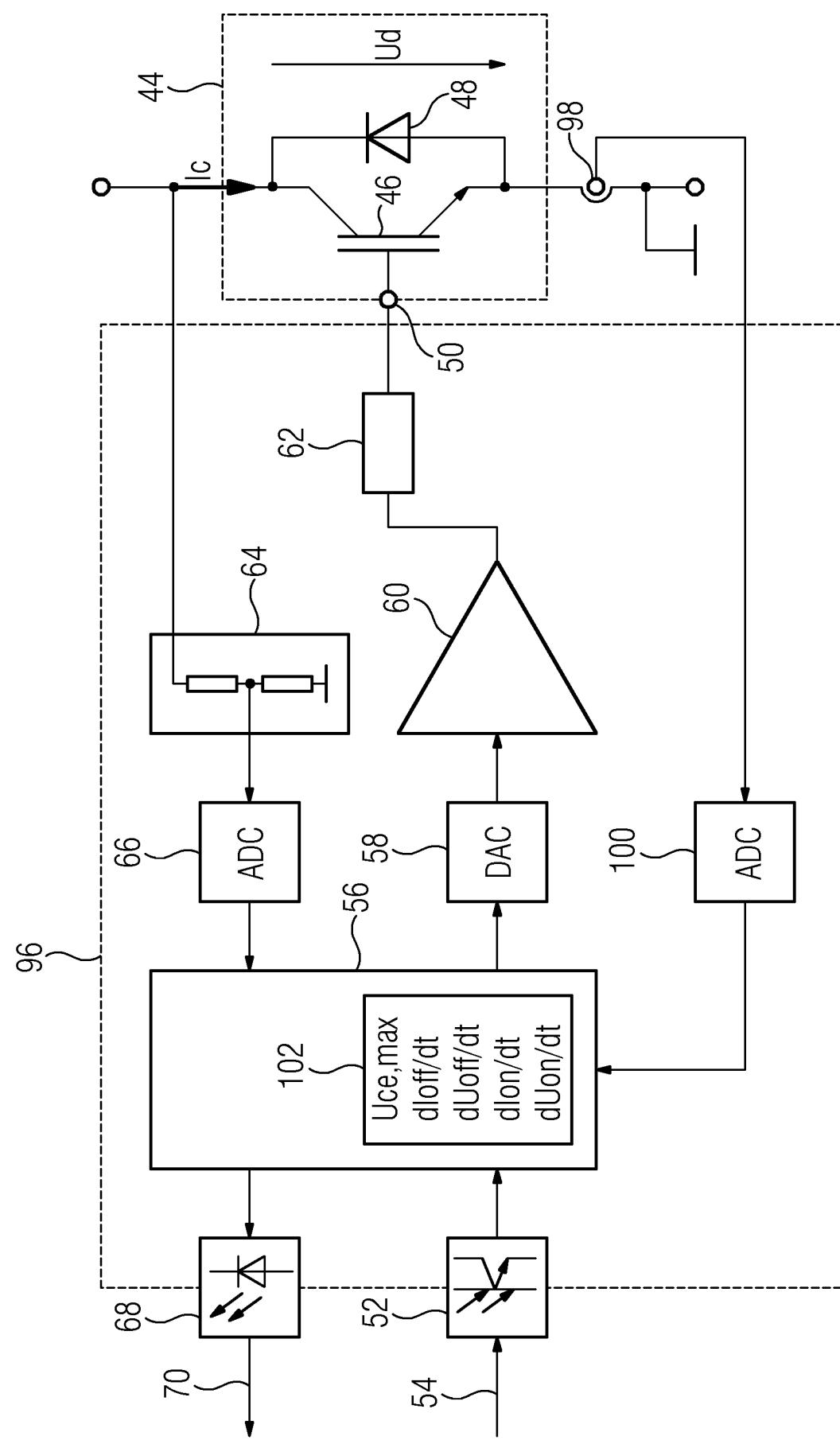


FIG 8

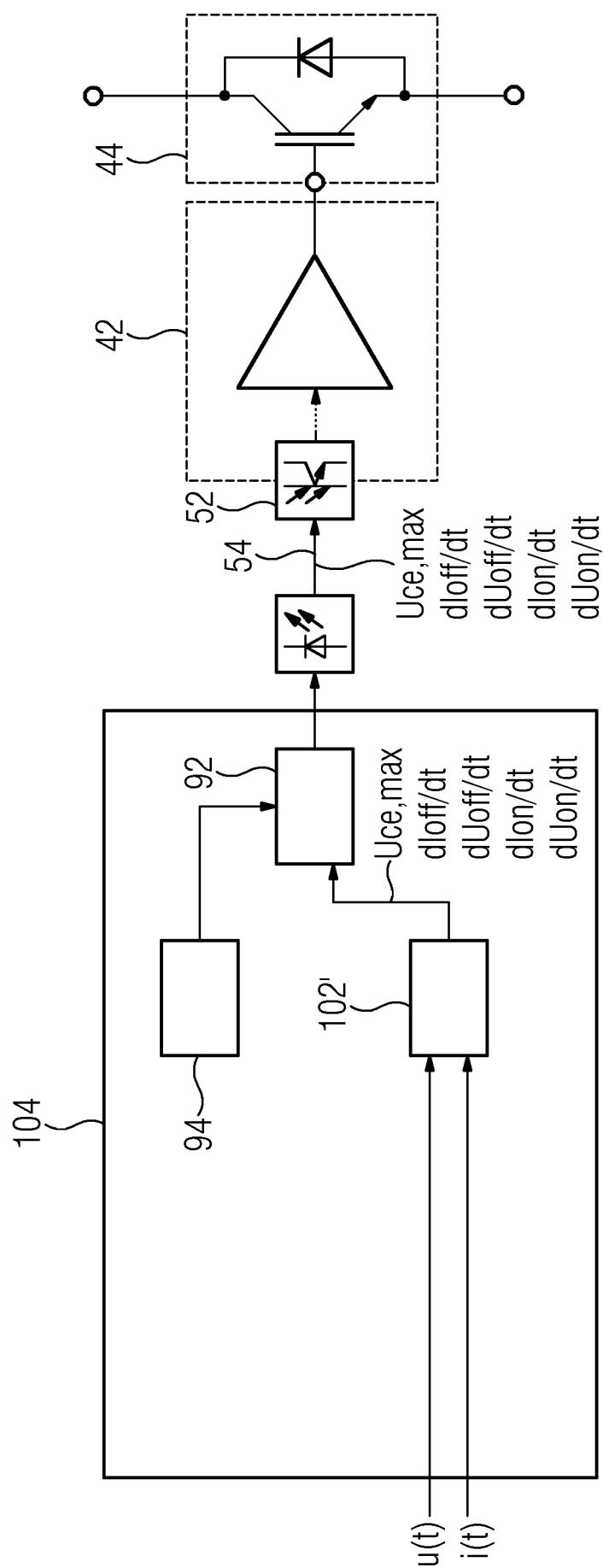


FIG 9

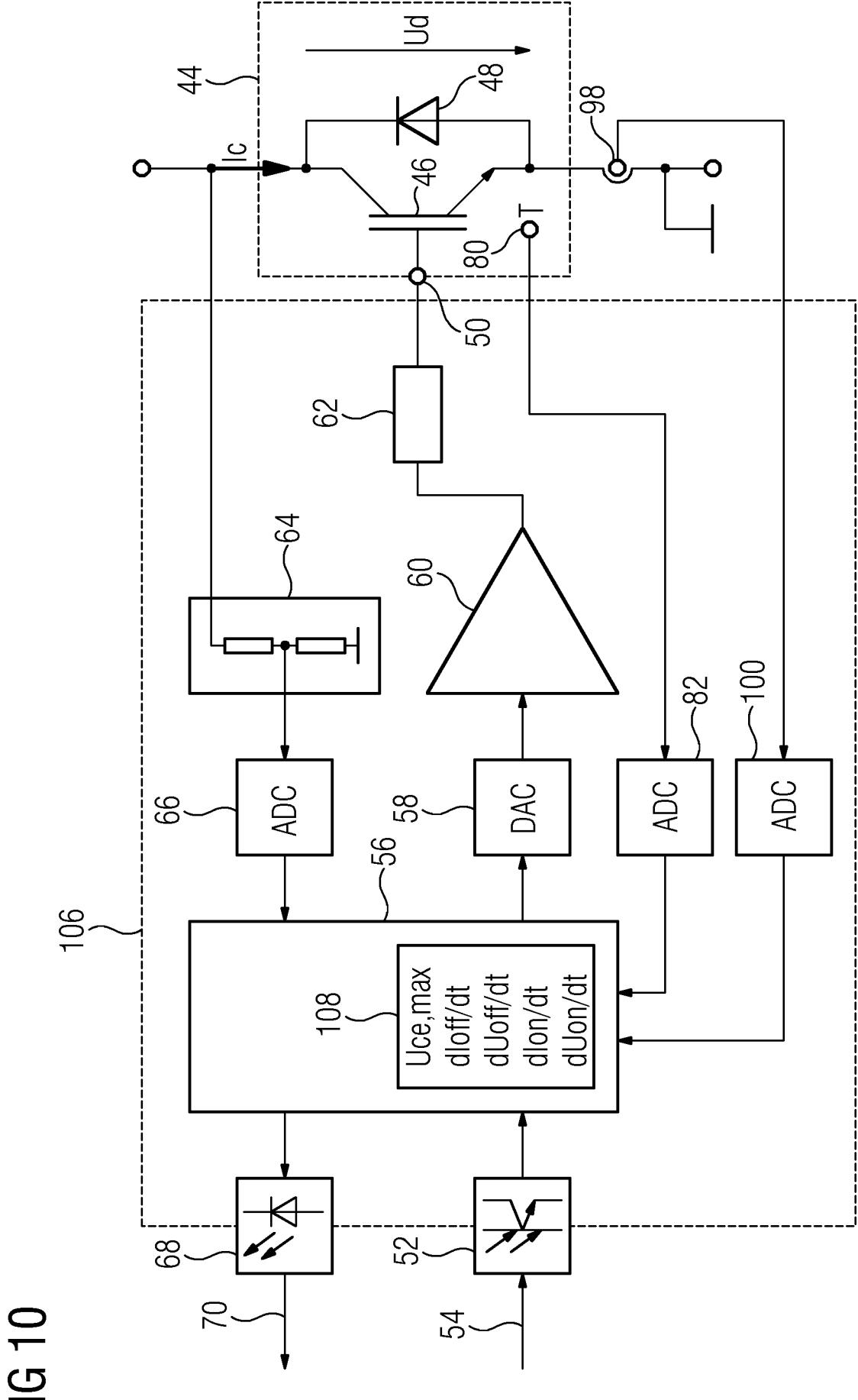


FIG 11

