



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 035 789 A1** 2006.03.16

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 035 789.7**

(22) Anmeldetag: **23.07.2004**

(43) Offenlegungstag: **16.03.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H02M 7/219** (2006.01)  
**B60L 9/28** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

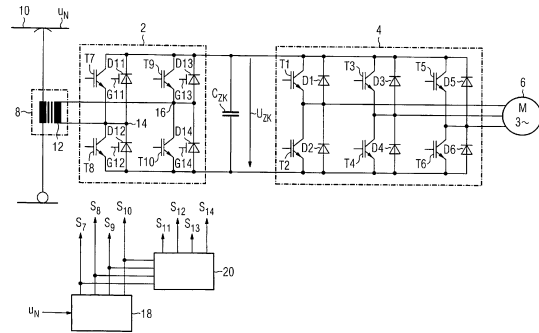
(72) Erfinder:  
**Bakran, Mark-Matthias, Dr., 91074  
 Herzogenaurach, DE; Eckel, Hans-Günter, Dr.,  
 91056 Erlangen, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Traktionsstromrichter mit einem netzseitigen Vierquadrantensteller**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf einen Traktionsstromrichter mit einem netzseitigen Vierquadrantensteller (2), der als Stromrichterventile abschaltbare Leistungshalbleiter (T7 bis T10) aufweist, denen jeweils eine Leistungsdiode (D7 bis D10) elektrisch antiparallel geschaltet ist, und mit einer Regeleinrichtung (18), die ausgangsseitig mit Steueranschlüssen der abschaltbaren Leistungshalbleiter (T7, ..., T10) verknüpft ist. Erfindungsgemäß ist jeweils als Leistungsdiode eine steuerbare Leistungsdiode (D11 bis D14) vorgesehen, die steuerungsseitig mit einer korrespondierenden Diodensteuereinrichtung (20) verbunden sind, die eingangsseitig mit Steuerausgängen der Regeleinrichtung (18) verknüpft sind. Somit ist der sichere Betrieb eines Vierquadrantenstellers (2) eines Traktionsstromrichters möglich, ohne dass man Leistungshalbleitermodule mit vergrößerter Dioden-Chipfläche verwenden muss.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf einen Traktionsstromrichter mit einem netzseitigen Vierquadrantensteller, der als Stromrichterventile abschaltbare Leistungshalbleiter aufweist, denen jeweils eine Leistungsdiode elektrisch antiparallel geschaltet sind, und mit einer Regeleinrichtung, die ausgangsseitig mit Steueranschlüssen der abschaltbaren Leistungshalbleiter verknüpft ist.

**[0002]** Bei Traktionsantrieben ist man bestrebt, den Blindleistungsbedarf von Fahrzeugen so klein wie möglich zu halten. Darüber hinaus dürfen Signalkreise und Fernmeldeverbindungen nicht durch Stromverzerrungen beeinflusst werden, wie sie besonders bei Stromrichterantrieben auftreten können. Um eine möglichst große Netzfrendlichkeit zu erhalten, werden Traktionsstromrichter mit einem netzseitigen Pulsstromrichter ausgestattet. Ein derartiger netzseitiger Pulsstromrichter eines Traktionsstromrichters, der aus einer einphasigen Netzspannung, eine geforderte Gleichspannung generiert, wird als Vierquadrantensteller bezeichnet. Die Speisung der Motoren des Traktionsantriebs erfolgt über einen lastseitigen Pulswechselrichter, der von der Gleichspannung gespeist wird.

**[0003]** Als Stromrichterventile des Vierquadrantenstellers werden abschaltbare Leistungshalbleiter mit korrespondierenden Freilaufdioden verwendet. Diese Freilaufdioden sind Leistungsdiolen, die jeweils elektrisch antiparallel zum korrespondierenden Leistungshalbleiter geschaltet sind. Leistungshalbleiter und zugehörige Leistungsdiolen sind üblicherweise in einem Leistungshalbleitermodul angeordnet. Als abschaltbare Leistungshalbleiter werden beispielsweise Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren (IGBT) verwendet. Als Leistungsdiolen werden pin-Diolen verwendet, da auftretende Sperrspannungen größer 100V sind.

**[0004]** Diese pin-Diolen weisen eine Durchlassspannung von etwa 2V auf. Bei höher sperrenden pin-Diolen liegt die Durchlassspannung höher, typisch sind 4V. Der Übergang von Durchlass- in den Sperrbereich erfolgt bei der pin-Diode nicht momentan, da zunächst die im pn-Übergang gespeicherte Ladung abgebaut werden muss. Die dazu benötigte Zeit ist die Speicherzeit, die um so größer ist, je größer der Durchlassstrom vor dem Übergang war. Bei Leistungsdiolen liegt diese Speicherzeit im  $\mu\text{sec}$ -Bereich.

**[0005]** Bei den Betrieb des Vierquadrantenstellers sind gegenüber dem motorseitigen Pulswechselrichter die Leistungsdiolen den größeren Teil der Zeit und die Leistungshalbleiter den kleineren Teil der Zeit stromführend. Dies führt zu einer Überlastung der Leistungsdiolen bei gut ausgenutzten Leistungs-

halbleitern. Dieses Problem wurde bisher dadurch gelöst, dass Leistungshalbleitermodule mit vergrößerter Dioden-Chipfläche eingesetzt wurden.

**Stand der Technik**

**[0006]** Aus der Veröffentlichung mit dem Titel: "Power Diodes with Active Control of Emitter Efficiency" von Dirk Drücke und Dieter Silber, sind steuerbare Diolen bekannt. Diese steuerbaren Diolen, die auch als Emitter Controlled Diode (ECD) bezeichnet werden, können mittels eines Steuersignals einen von zwei Zuständen annehmen. In einem Zustand ist die gespeicherte Ladung sehr hoch und die Durchlassspannung sehr niedrig, wobei im anderen Zustand die gespeicherte Ladung einer schnell schaltenden Diode entspricht und die Durchlassspannung höher ist. Der erstgenannte Zustand wird erreicht, sobald ein am Steueranschluss der Diode anstehendes Steuersignal low ist. Wechselt der Pegel dieses Steuersignals von low nach high, so wechselt die Diode in den Zustand mit niedriger Speicherladung.

**Aufgabenstellung**

**[0007]** Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen bekannten Traktionsstromrichter mit einem netzseitigen Vierquadrantensteller derart zu verbessern, dass Leistungshalbleitermodule mit vergrößerter Dioden-Chipfläche nicht mehr benötigt werden.

**[0008]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

**[0009]** Erfindungsgemäß werden beim Vierquadrantensteller des Traktionsstromrichters als Freilaufdioden steuerbare Diolen verwendet, die steuerungsseitig mit einer korrespondierenden Diolensteuereinrichtung verbunden sind, die eingangsseitig mit Steuerausgängen einer Regeleinrichtung für die abschaltbaren Leistungshalbleiter des aktiven Eingangsstromrichters verknüpft sind. Diese steuerbaren Diolen werden derart angesteuert, dass diese in den Zustand niedriger Durchlassspannung gebracht werden, wenn ein Strom durch die Diode oder den antiparallelen abschaltbaren Leistungshalbleiter fließt. In den Zustand niedriger Speicherladung wird eine steuerbare Diode gebracht, kurz bevor ein elektrisch in Reihe liegender abschaltbarer Leistungshalbleiter eingeschaltet wird. Dadurch wird die Stromtragfähigkeit der Leistungsdiode wesentlich verbessert, ohne dabei ihr Reverse Recovery Verhalten zu verschlechtern.

**[0010]** Somit ist der sichere Betrieb eines Vierquadrantenstellers eines Traktionsstromrichters möglich, ohne dass man Leistungshalbleitermodule mit vergrößerter Dioden-Chipfläche verwenden muss.

## Ausführungsbeispiel

**[0011]** Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in der eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Traktionsstromrichters schematisch veranschaulicht ist.

**[0012]** [Fig. 1](#) zeigt eine bekannte Ausführungsform eines Traktionsstromrichters, wobei in der

**[0013]** [Fig. 2](#) eine erfindungsgemäße Ausführungsform dieses Traktionsstromrichters veranschaulicht ist.

**[0014]** Der bekannte Traktionsstromrichter gemäß [Fig. 1](#) weist netzseitig einen Vierquadrantensteller **2** und lastseitig einen selbstgeführten Pulsstromrichter **4** auf, wobei diese beiden Stromrichter **2** und **4** gleichspannungsseitig mittels eines Gleichspannungs-Zwischenkreises verkoppelt sind. Vom Gleichspannungs-Zwischenkreis ist wegen der Übersichtlichkeit nur ein Zwischenkreiskondensator  $C_{ZK}$  veranschaulicht. An den Ausgängen des selbstgeführten Pulsstromrichters **4** ist eine Wechselstrommaschine **6** angeschlossen. Der Vierquadrantensteller **2** ist wechsellspannungsseitig mittels eines Traktionstransformators **8** mit einem Fahrdraht **10** elektrisch leitend verbunden. Die Sekundärwicklung **12** dieses Traktionstransformators **8** ist jeweils mit einem Wechselspannungsanschluss **14** bzw. **16** dieses Vierquadrantenstellers **2** elektrisch leitend verbunden. Mittels diesem Vierquadrantenstellers **2** wird eine einphasige Netzspannung  $u_N$  in eine vorbestimmte Zwischenkreisspannung  $U_{ZK}$  umgeformt, aus der dann ein an die Bedürfnisse der Wechselstrommaschine **6** angepasstes Spannungssystem, beispielsweise ein Drehspannungssystem variabler Amplitude und Frequenz, generiert wird.

**[0015]** In dieser bekannten Ausführungsform des Traktionsstromrichters werden als Stromrichterventile des selbstgeführten Pulsstromrichters **4** und als Stromrichterventile des Vierquadrantenstellers **2** jeweils abschaltbare Leistungshalbleiter T1 bis T6 und T7 bis T10, insbesondere Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren (IGBT), verwendet. Jedem abschaltbaren Leistungshalbleiter T1 bis T6 bzw. T7 bis T10 ist eine Leistungsdiode D1 bis D6 bzw. D7 bis D10 elektrisch antiparallel geschaltet. Diese Dioden D1 bis D6 bzw. D7 bis D10 bilden jeweils eine Freilaufdiode. Handelsübliche Leistungshalbleitermodule weisen bereits eine interne Freilaufdiode auf. Dadurch müssen keine Leistungsdioden separat verdrahtet werden. Somit bilden die dargestellten Leistungshalbleiter T1 bis T10 jeweils mit einer korrespondierenden Leistungsdiode D1 bis D10 jeweils ein Modul.

**[0016]** Die für die Umrichterlegung relevante Leistungsflussrichtung ist vom speisenden Netz über den Traktionstransformator **8**, den Vierquadranten-

steller **2** und den selbstgeführten Pulsstromrichter **4** zur Drehstrommaschine **6**. Im selbstgeführten Pulsstromrichter **4** führt dies dazu, dass die abschaltbaren Leistungshalbleiter T1 bis T6 überwiegend einen Laststrom im motorischen Betrieb des Pulsstromrichters **4** führen. Dies stimmt mit der Leistungsfähigkeit der Dioden D1 bis D6 und der Leistungshalbleiter T1 bis T6 der Leistungshalbleitermodule überein. Im Vierquadrantensteller **2** sind demgegenüber die Dioden D7 bis D10 überwiegend stromführend (generatorischer Betrieb). Damit ebenfalls Leistungshalbleitermodule verwendet werden können, müssen Leistungshalbleitermodule mit vergrößerten Dioden-Chipflächen eingesetzt werden. Zur Steuerung der Leistungshalbleitermodule des Vierquadrantenstellers **2** ist eine Regeleinrichtung **14** vorgesehen, der die einphasige Netzspannung  $u_N$  zugeführt ist. Als Regeleinrichtung **14** kann beispielsweise ein Mikrocontroller vorgesehen sein, der in einer Steuer- und Regeleinrichtung des Traktionsstromrichters untergebracht ist.

**[0017]** In der [Fig. 2](#) ist eine erfindungsgemäße Ausführungsform eines Traktionsstromrichters schematisch veranschaulicht. Gegenüber der Ausführungsform des bekannten Traktionsstromrichters nach [Fig. 1](#) unterscheidet sich diese erfindungsgemäße Ausführungsform dadurch, dass anstelle der Leistungsdioden D7 bis D10 nun steuerbare Leistungsdioden D11 bis D14 und eine Diodensteuereinrichtung **20** vorgesehen sind. Diese Diodensteuereinrichtung **20** ist ausgangsseitig jeweils mit einem Steuereingang G11 bis G14 der steuerbaren Dioden D11 bis D14 und eingangsseitig jeweils mit einem Ausgang der Regeleinrichtung **18** verknüpft, an denen die Steuersignale S7 bis S10 für die abschaltbaren Leistungshalbleiter T7 bis T10 des Vierquadrantenstellers **2** anstehen. Mittels dieser Diodensteuereinrichtung **20** werden abhängig von den Steuersignalen S7 bis S10 die Steuersignale S11 bis S14 für die steuerbaren Dioden D11 bis D14 generiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, wenn die Diodensteuereinrichtung **20** in der Regeleinrichtung **18** integriert ist. Diese Diodensteuereinrichtung **20** kann jedoch auch so aufgeteilt sein, dass jeder steuerbaren Leistungsdiode D11 bis D14 eine Diodensteuereinrichtung zugeordnet ist. Ebenfalls ist es möglich, diese Diodensteuereinrichtung **20** so aufzuteilen, dass jedem Brückenarm mit den abschaltbaren Leistungshalbleiter T7, T8 bzw. T9, T10 mit den zugehörigen steuerbaren Leistungsdioden D11, D12 bzw. D13, D14 eine Diodensteuereinrichtung zugeordnet ist. Bei diesen genannten Aufteilungen der Diodensteuereinrichtung **20** ist es vorteilhaft, wenn diese Diodensteuereinrichtung jeweils direkt am Modul angebracht werden.

**[0018]** Erfindungsgemäß werden diese Dioden D11 bis D14 so angesteuert, dass sie im Zustand mit niedriger Durchlassspannung gebracht werden, wenn ein Strom durch die Dioden D11 bis D14 oder den antipa-

rallelen Leistungshalbleitern T7 bis T10 fließt. Dies kann beispielsweise am einfachsten dadurch geschehen, dass die Diode D11 bzw. D12 bzw. D13 bzw. D14 immer dann in den Zustand niedriger Durchlassspannung gebracht wird, wenn der antiparallel liegende abschaltbare Leistungshalbleiter T7 bzw. T8 bzw. T9 bzw. T10 eingeschaltet ist. Kurz bevor ein gegenüberliegender abschaltbarer Leistungshalbleiter T8 bzw. T10 bzw. T7 bzw. T9 eingeschaltet werden soll, wird eine steuerbare Diode D11 bzw. D12 bzw. D13 bzw. D14 vom Zustand niedriger Durchlassspannung in den Zustand niedriger Speicherladung (Reverse Recovery Ladung) gesteuert.

**[0019]** Durch die Verwendung der steuerbaren Dioden D11 bis D14 als Freilaufdioden der abschaltbaren Leistungshalbleiter T7 bis T10 des Vierquadrantenstellers **2** des Traktionsstromrichters erhöht sich die Stromtragfähigkeit der Freilaufdioden gegenüber einer Ausführungsform mit pin-Dioden. Dadurch ist ein sicherer Betrieb dieses Traktionsstromrichters möglich, ohne dass Leistungshalbleitermodule mit vergrößerten Dioden-Chipflächen verwendet werden müssen.

### Patentansprüche

1. Traktionsstromrichter mit einem netzseitigen Vierquadrantensteller (**2**), der als Stromrichterventile abschaltbare Leistungshalbleiter (T7 bis T10) aufweist, denen jeweils eine Leistungsdiode (D7 bis D10) elektrisch antiparallel geschaltet sind, und mit einer Regeleinrichtung (**18**) die ausgangsseitig mit Steueranschlüssen der abschaltbaren Leistungshalbleiter (T7 ..., T10) verknüpft ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils als Leistungsdiode eine steuerbare Leistungsdiode (D11 bis D14) vorgesehen ist, die steuerungsseitig mit einer korrespondierenden Diodensteuereinrichtung (**20**) verbunden sind, die eingangsseitig mit Steuerausgängen der Regeleinrichtung (**18**) verknüpft sind.

2. Traktionsstromrichter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Vierquadrantensteller (**2**) wechsellagensseitig mit einer Sekundärwicklung (**12**) eines Traktionstransformators (**8**) verknüpft ist.

3. Traktionsstromrichter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein abschaltbarer Leistungshalbleiter (T7, ..., T10) und eine korrespondierende steuerbare Diode (D11, ..., D14) in einem Modul integriert sind.

4. Traktionsstromrichter nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung (**18**) und die Diodensteuereinrichtung (**20**) eine Baueinheit bilden.

5. Traktionsstromrichter nach einem der vorge-

nannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als abschaltbarer Leistungshalbleiter (T7, ..., T10) ein Insulated-Gate-Bipolar-Transistor vorgesehen ist.

6. Verfahren zur Steuerung steuerbare Dioden eines Vierquadrantenstellers (**2**) eines Traktionsstromrichters, dadurch gekennzeichnet, dass eine steuerbare Diode genau dann in einem Zustand niedriger Durchlassspannung gebracht wird, wenn ein korrespondierender abschaltbarer Leistungshalbleiter (T7, ..., T10) des Vierquadrantensteller (**2**) eingeschaltet wird, und dass diese steuerbare Diode (D11, ..., D14) genau dann in den Zustand niedriger Speicherladung versetzt wird, kurz bevor ein im Brückenweig dieses Vierquadrantenstellers (**2**) gegenüberliegender abschaltbarer Leistungshalbleiter (T7, ..., T10) eingeschaltet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuersignale ( $S_{11}$ , ...,  $S_{14}$ ) der steuerbaren Dioden (D11, ..., D14) in Abhängigkeit der Steuersignale ( $S_7$ , ...,  $S_{10}$ ) der abschaltbaren Leistungshalbleiter (T7, ..., T10) generiert werden.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

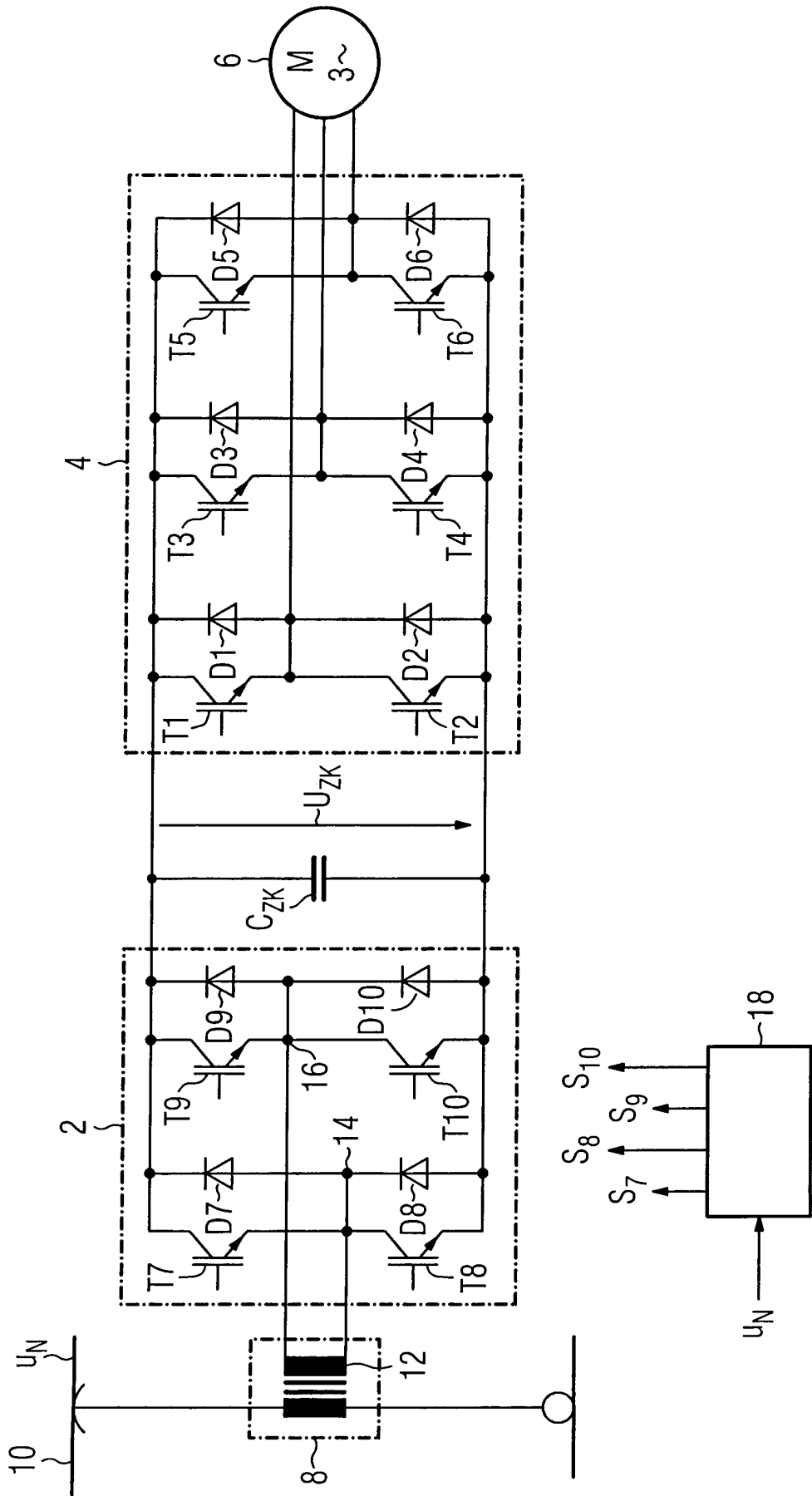


FIG 2

