



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 50 731 A1 2004.05.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 50 731.7

(22) Anmeldetag: 31.10.2002

(43) Offenlegungstag: 19.05.2004

(51) Int Cl.7: H02M 7/00

H02M 1/00, H02H 6/00, H02H 7/12

(71) Anmelder:

DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

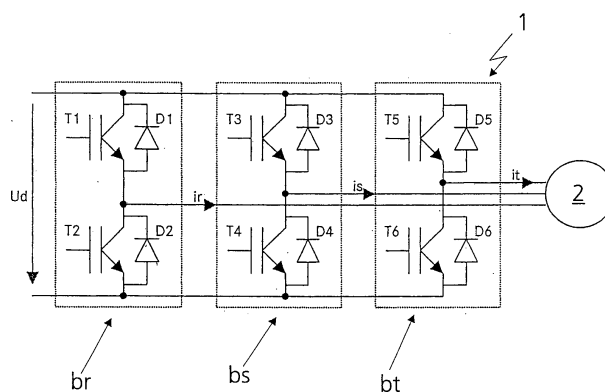
(72) Erfinder:

Ranneberg, Jens, Dr., 13505 Berlin, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Überwachung der Sperrschichttemperatur von Leistungshalbleitern in mehrphasigen Wechselrichtern oder Gleichrichtern**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Sperrschichttemperatur von Leistungshalbleitern in mehrphasigen Wechselrichtern oder Gleichrichtern in Brückenschaltung, wobei eine Verlustleistung der Leistungshalbleiter und ein thermisches RC-Ersatzschaltbild wenigstens eines Teils eines ausgewählten Brückenzeigs zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperaturen der Leistungshalbleiter herangezogen werden. Zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperaturen der Leistungshalbleiter wird bei einer über einem Grenzwert liegenden Ausgangsfrequenz des Wechselrichters oder Gleichrichters ein Phasenstrom des wenigstens einen ausgewählten Brückenzeigs zur Bestimmung der Verlustleistung herangezogen. Bei einer unter dem Grenzwert liegenden Ausgangsfrequenz wird der jeweils größte Betrag eines der Phasenströme der Brückenzeige zur Bestimmung der Verlustleistung herangezogen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Sperrschichttemperatur von Leistungshalbleitern in mehrphasigen Wechselrichtern oder Gleichrichtern in Brückenschaltung, wobei eine Verlustleistung der Leistungshalbleiter und ein thermisches RC-Ersatzschaltbild wenigstens eines Teiles eines ausgebildeten Brückenzeigs zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperaturen der Leistungshalbleiter herangezogen werden.

[0002] Für elektrische Antriebe, z.B. in elektrischen oder hybriden Straßenfahrzeugen werden häufig spannungsgespeiste Wechselrichter benutzt. Bei Straßenfahrzeugen tritt der Betrieb mit hohen Strömen bei kleinen Drehzahlen auf und stellt eine thermische Gefährdung der Leistungshalbleiter des Wechselrichters dar.

[0003] Bei leistungselektronischen Geräten wie beispielsweise spannungsgespeisten Wechselrichtern treten in den Leistungshalbleitern Verluste auf, die zu einer Erwärmung der Halbleiter führen. Die Halbleiterhersteller geben maximale Sperrschichttemperaturen an, bis zu denen der Halbleiter betrieben werden darf, z.B. 150°C. Auch ein nur kurzfristiges Überschreiten dieser maximalen Sperrschichttemperatur kann zu einer dauerhaften Schädigung des Halbleiters bzw. des Gerätes in dem der Halbleiter angeordnet ist (z.B. in einem Wechselrichter) führen. Um nun die Halbleiterbauelemente wirksam vor Übertemperatur schützen bzw. bei einer drohenden Überhitzung entsprechend reagieren (z.B. Kühlung etc.) zu können, müssen deren aktuelle Sperrschichttemperaturen möglichst genau bestimmt werden.

Stand der Technik

[0004] Ein gattungsgemäßes Schutzkonzept ist beispielsweise in S. Konrad et al., Electro-thermal Model for Simulating Chip Temperature in PWM Inverters, PCIM 1995 – Official Proceedings of the thirtieth International Power Conversion Conference, 20.–22. Juni 1995 Nürnberg beschrieben. Darin wird anhand der Belastung des Wechselrichters, z.B. anhand der Motorströme, die in den Halbleitern auftretende Verlustleistung während des Betriebes berechnet und mit einer Nachbildung des thermischen Widerstandes der Halbleiter die Erwärmungen ermittelt. Zusammen mit einer gemessenen Kühler- oder Kühlmitteltemperatur die eine geeignete Kühlung des Wechselrichters erlaubt, ergibt sich daraus die Sperrschichttemperatur. Die thermischen Widerstände vom Halbleiter zum Kühlmittel, z.B. von Luft oder Wasser, sind durch die Materialien und den Aufbau des Leistungsteiles gegeben und können z.B. durch ein RC-Ersatzschaltbild nachgebildet werden. Ein derartiges RC-Ersatzschaltbild enthält mehrere thermische Widerstände R_{th} und Wärmekapazitäten C_{th} . Das Verhalten einer solchen Parallelschaltung von R_{th} und C_{th} ist durch eine Exponentialfunktion mit

der Zeitkonstanten τ_{th} beschrieben. Die jeweils zusammengehörigen Widerstände und Kapazitäten ergeben die Zeitkonstanten $\tau_{th1} = R_{th1} \times C_{th1}$. Dabei handelt es sich beispielsweise um sieben Paare R_{th} und C_{th} , deren Zeitkonstanten im Bereich einer 100 μs bis einige 10 s liegen. Aus dem Strom und der Modulation einer Phase kann auf die jeweiligen Verlustleistungen in den IGBTs und den Dioden geschlossen werden. Aus den thermischen Modellen ergeben sich dann die jeweiligen Erwärmungen dieser Bauelemente. Die Bauelemente kühlen sich zwar in den Augenblicken, in denen sie keine Verlustleistung umsetzen, wieder ab, jedoch erfolgt eine stetige langsame Erwärmung des gesamten Aufbaus. Die Erwärmung pulsiert auch mit der Ausgangsfrequenz.

[0005] Da ein Wechselrichter mit drei Brückenzeigen beispielsweise sechs IGBTs und sechs Dioden enthält, wäre für einen wirksamen Schutz gegenüber Temperatur die Berechnung von insgesamt zwölf Verlustleistungen und zwölf Erwärmungen notwendig. Dies gestaltet sich unter anderem deshalb schwierig, da sich die Zeitkonstanten der RC-Glieder über mehrere Zehnerpotenzen erstrecken und somit eine Berechnung in getrennten Zeitschleifen erfordern, da es sonst zu unumgänglichen Problemen der numerischen Genauigkeit kommt.

[0006] Eine mögliche Vereinfachung (für Frequenzen > 0) ist, nur einen der drei (oder mehr) Brückenzeige zu berechnen, da die Ausgangsströme der drei Phasen grundsätzlich einander gleichen und nur einen zeitlichen Versatz aufweisen. Sinnvoller Weise wird zur Überwachung der Brückenzeig mit den kritischsten Kühlbedingungen herangezogen, beispielsweise derjenige, der von einer vorbeiströmenden Kühlflüssigkeit als letzter gekühlt wird (die Kühlflüssigkeit hat sich u.U. bereits geringfügig erwärmt).

[0007] Da die positive Halbwelle der negativen Halbwelle des Phasenstroms betragsmäßig gleicht, kann eine weitere Verbesserung dadurch erreicht werden, dass ein Wechselrichter mit nur zwei thermischen Modellen, eines für den IGBT und eines für die gegenüberliegende Diode eines Brückenzeiges geschützt wird.

[0008] Wenn jedoch die Ausgangsfrequenz sehr niedrig oder gleich null ist, z.B. wenn der Motor vom Stillstand aus Drehmoment liefern soll, reichen diese Schutzkonzepte allein nicht aus. In diesem Fall nimmt die Schwankungsbreite der Temperaturen sehr stark zu und es kann zu einer Überschreitung der zulässigen Temperatur in einem Brückenzeig kommen, während das Modell einen anderen Brückenzeig überwacht. Verschärft wird diese Problematik dadurch, dass bei einem drei- oder mehrphasigen Wechselrichter vorher nicht feststeht, welche Phase bei einer Ausgangsfrequenz nahe null den höchsten Strom führt. Ebenso ist vorher nicht bekannt, ob das Vorzeichen des größten Stromes positiv oder negativ ist, was dazu führen kann, dass in einem Teil des Brückenzeiges eine Übertemperatur

herrschen kann, während der andere Teil des Brückenweiges, der vom thermischen Modell überwacht wird, keine Verlustleistung verursacht.

Aufgabenstellung

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Überwachung der Sperrschichttemperaturen von Leistungshalbleitern in mehrphasigen Wechselrichtern oder Gleichrichtern der eingangs erwähnten Art zu schaffen, das die Nachteile des Standes der Technik löst, insbesondere eine einfache, sichere und genaue Möglichkeit zur Temperaturüberwachung aller eingesetzten Leistungshalbleiter liefert.

[0010] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperaturen der Leistungshalbleiter bei einer über einem Grenzwert liegenden Ausgangsfrequenz des Wechselrichters oder Gleichrichters ein Phasenstrom des wenigstens einen ausgewählten Brückenweigs zur Bestimmung der Verlustleistung herangezogen wird, wobei bei einer unter dem Grenzwert liegenden Ausgangsfrequenz der jeweils größte Betrag eines der Phasenströme der Brückenweige zur Bestimmung der Verlustleistung herangezogen wird.

[0011] Demzufolge wird unterschieden zwischen einem Betrieb, bei dem die Ausgangsfrequenz des Wechselrichters groß genug ist, dass zwei thermische Modelle (z.B. eines IGBT und einer Diode eines Brückenweiges) zur Überwachung des gesamten Wechselrichters ausreichen, und einem Betrieb mit einer darunter liegenden Ausgangsfrequenz, bei dem jedoch anstelle des Phasenstroms des zu überwachenden Brückenweiges der jeweils größte Betrag eines Phasenstroms zur Berechnung der Verlustleistungen in der Nachbildung herangezogen wird. Damit wird in einfacher und vorteilhafter Weise sichergestellt, dass die Verlustleistung der Phase, die den größten Strom führt (worst case) verwendet wird. Des weiteren wird durch die Betragsbildung sichergestellt, dass immer der dadurch belastete Teil des Brückenweigs nachgebildet wird (ein negativer Strom könnte in einem Teil des Brückenweigs keinerlei Verluste verursachen, während er in einem anderen Teil des Brückenweigs zu einer Übertemperatur führt). Somit können mit nur zwei thermischen Modellen, eines für einen IGBT und eines für eine Diode eines Brückenweigs, alle Brückenweige eines drei- oder mehrphasigen Wechselrichters geschützt werden. Es wird auch für kleine Ausgangsfrequenzen oder den Betrieb mit einer Ausgangsfrequenz null (z.B. Stillstand des Motors beim Anfahren) ein sicherer Schutz realisiert, unabhängig davon, in welcher Phase der größte Strom fließt und welches Vorzeichen dieser Strom hat.

[0012] Erfindungsgemäß kann ferner vorgesehen sein, dass die Motordrehzahl zur Bestimmung der Ausgangsfrequenz verwendet wird.

[0013] In einfacher und vorteilhafter Weise kann somit unter Vernachlässigung des Schlupfes auf die Ausgangsfrequenz des Wechsel- oder Gleichrichters geschlossen werden.

Ausführungsbeispiel

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den weiteren Unteransprüchen und aus dem nachfolgend anhand der Zeichnung prinzipmäßig beschriebenen Ausführungsbeispiel.

[0015] Es zeigt:

[0016] **Fig. 1** ein Schaltbild eines dreiphasigen Wechselrichters der einen Motor versorgt gemäß dem Stand der Technik;

[0017] **Fig. 2** ein prinzipmäßiges Schaubild der Verläufe der Motorphasenströme gemäß dem Stand der Technik;

[0018] **Fig. 3** ein prinzipmäßiges RC-Ersatzschaltbild mit thermischen Widerständen und Wärmekapazitäten gemäß dem Stand der Technik;

[0019] **Fig. 4** ein prinzipmäßiges Diagramm der jeweiligen Verlustleistungen in IGBTs und Dioden gemäß dem Stand der Technik;

[0020] **Fig. 5** ein prinzipmäßiges Diagramm des Temperaturverlaufs der Leistungshalbleiter gemäß dem Stand der Technik;

[0021] **Fig. 6** ein prinzipmäßiges Schaubild des jeweils größten Betrages eines Phasenstroms; und

[0022] **Fig. 7** ein prinzipmäßiges Flußdiagramm eines Systems in welchem das erfindungsgemäße Verfahren Anwendung findet.

[0023] Wie aus **Fig. 1** ersichtlich, weist ein dreiphasiger durch die Spannung U_d gespeister Wechselrichter **1** zur Versorgung eines Motors **2** mit den Phasenströmen i_r , i_s , i_t drei Brückenweige b_r , b_s , b_t mit Leistungshalbleitern, nämlich IGBTs T1 bis T6 und Dioden D1 bis D6 auf. In den Leistungshalbleitern T1 bis T6, D1 bis D6, treten Verluste auf, die zu deren Erwärmung führen. Die Halbleiterhersteller geben maximale Sperrschichttemperaturen T_{chip} an, bis zu denen die Halbleiter T1 bis T6, D1 bis D6 betrieben werden dürfen, beispielsweise 150°C.

[0024] Wird diese Temperaturgrenze auch nur kurzfristig überschritten, kann es zu einer dauerhaften Schädigung des Halbleiters T1 bis T6, D1 bis D6 bzw. des Wechselrichters **1** kommen.

[0025] Der Stand der Technik schlägt eine Möglichkeit zur Überwachung der Sperrschichttemperaturen der Leistungshalbleiter T1 bis T6, D1 bis D6 vor, bei der durch die Belastung des Wechselrichters **1** anhand der Phasenströme $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ (Verläufe in **Fig. 2** skizziert), die in den Halbleitern T1 bis T6, D1 bis D6 eine Verlustleistung P_v während des Betriebes hervorrufen und mit Hilfe eines thermischen Modells der Halbleiter T1 bis T6, D1 bis D6 die Erwärmungen berechnet wird. Zusammen mit einer gemessenen Kühler- oder Kühlmitteltemperatur ergibt sich daraus die aktuelle Sperrschichttemperatur T_{chip} der Halblei-

ter T1 bis T6, D1 bis D6.

[0026] Thermische Modelle vom Halbleiter T1 bis T6, DI bis D6 zum Kühlmittel (nicht dargestellt), z.B. Luft oder Wasser, sind durch die Materialien und den Aufbau des Leistungsteiles gegeben und werden jeweils in Form eines in **Fig. 3** prinzipmäßig dargestellten RC-Ersatzschaltbildes **3** nachgebildet. wie aus **Fig. 3** ersichtlich, weist das RC-Ersatzschaltbild **3** mehrere thermische Widerstände R_{th1} bis R_{thn} und Wärmekapazitäten C_{th1} bis C_{thn} auf. Eine derartige Parallelschaltung von thermischen Widerständen R_{th1} bis R_{thn} und Wärmekapazitäten C_{th1} bis C_{thn} kann im Verhalten durch eine Exponentialfunktion mit der Zeitkonstanten τ_{th} beschrieben werden. Beispielsweise ergibt sich die Zeitkonstante τ_{th1} aus dem Produkt von R_{th1} und C_{th1} . Die Zeitkonstanten der thermischen Widerstände R_{th1} bis R_{thn} und der Wärmekapazitäten C_{th1} bis C_{thn} liegen im Bereich einiger hundert μs bis einige zehn s. Nun kann aus dem Phasenstrom $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ und der Modulation (Aussteuerung) einer Phase r, s, t auf die jeweiligen Verlustleistungen $P_{vi}(t)$ in den IGBTs T1 bis T6 und $P_{vd}(t)$ in den Dioden D1 bis D6 geschlossen werden. Anhand der thermischen Modelle ergeben sich dann die Erwärmungen ST_{in} und ST_{dn} dieser Bauelemente (siehe **Fig. 5**). Wie aus **Fig. 5** ersichtlich kühlen sich die Bauelemente T1 bis T6, D1 bis D6 in den Augenblicken, in denen sie keine Verlustleistung P_v umsetzen, wieder ab. Es ist ebenfalls ersichtlich, dass die Erwärmung mit der Ausgangsfrequenz des Wechselrichters pulsiert. Es erfolgt eine allmähliche stetige Erwärmung des gesamten Aufbaus.

[0027] Im Stand der Technik werden Vereinfachungen (für Ausgangsfrequenzen größer als null) vorgeschlagen, bei denen nur einer der drei Brückenarme br, bs, bt überwacht wird, da die Phasenströme $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ einander gleichen (siehe **Fig. 2**) und nur einen zeitlichen Versatz aufweisen. Der Wechselrichter **1** weist zwölf Leistungshalbleiter T1 bis T6, D1 bis D6 auf. Somit wäre die Berechnung von zwölf Verlustleistungen P_v und zwölf Erwärmungen notwendig. Dies gestaltet sich insbesondere deshalb schwierig, da sich die Zeitkonstanten τ_{th1} bis τ_{thn} der RC-Glieder R_{th1} bis R_{thn} , C_{th1} bis C_{thn} der RC-Ersatzschaltbilder **3** über mehrere Zehnerpotenzen erstrecken und somit die Berechnung in getrennten Zeitschleifen erforderlich machen, da es sonst unweigerlich zu numerischen Genauigkeitsproblemen kommt. [0028] Der Stand der Technik schlägt eine weitere Vereinfachung vor, die sich daraus ergibt, dass die positiven Halbwellen den negativen Halbwellen der Phasenströme $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ der negativen Halbwellen betragsmäßig gleichen. Wenn beispielsweise die positive Halbwellen von $i_r(t)$ (siehe **Fig. 2**) Verluste in T1 und D2 verursacht, so wird die negative Halbwellen gleiche Verluste in T2 und D1 verursachen. Dadurch kann eine Wechselrichter **1** mit nur zwei thermischen Modellen eines für einen IGBT T1 bis T6 und eines für die gegenüberliegende Diode D1 bis D6 einen Brückenarmes br, bs, bt geschützt werden. Proble-

matisch ist diese Vorgehensweise jedoch, wenn der Motor **2** beispielsweise im Stillstand Drehmoment liefern soll und somit die Ausgangsfrequenz des Wechselrichters **1** sehr niedrig oder null wird. Dann reicht dieser Schutz nicht aus. In diesem Fall nimmt die Schwankungsbreite der Temperaturen sehr stark zu, wobei es zu einer Überschreitung der zulässigen Sperrschichttemperaturen T_{chip} in den nicht überwachten Brückenarmen br, bs, bt, kommen kann, während das thermische Modell einen anderen Brückenarm br, bs, bt überwacht. Des weiteren wird diese Problematik dadurch verschlechtert, dass bei einem dreiphasigen Wechselrichter **1** nicht von vornherein feststeht, welche Phase r, s, t bei einer Ausgangsfrequenz nahe null den höchsten Phasenstrom $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ führt. Wird beispielsweise der Strom $i_r(t)$ zur Berechnung der Verlustleistung P_v und der Erwärmung herangezogen, der größte Ausgangsstrom $i_s(t)$ fließt jedoch in Phase s, kann es zu einer Zerstörung der Halbleiter T3, T4, D3, D4 im Brückenarm bs kommen, ohne dass das thermische Modell des Brückenarmes r eine Übertemperatur erkennen kann.

[0029] Des weiteren ist vorher nicht bekannt, ob das Vorzeichen des größten Phasenstromes $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ positiv oder negativ ist. Ein negativer Strom $i_r(t)$ (siehe **Fig. 1**) verursacht beispielsweise keine Verluste in T1 oder D2.

[0030] Erfindungsgemäß wird unterschieden zwischen einem Betrieb, bei dem die Ausgangsfrequenz des Wechselrichters **1** groß genug ist, das ein thermisches Modell des IGBTs T1 und ein thermisches Modell der Diode D2 des Brückenarmes br zur Überwachung des gesamten Wechselrichters **1** ausreichen und einen Betrieb mit einer darunter liegenden Ausgangsfrequenz des Wechselrichters **1**, wobei die gleichen thermischen Modelle benutzt werden, jedoch anstelle $i_r(t)$ der jeweils größte Betrag eines Phasenstroms $i_m(t)$ (siehe **Fig. 6**) zur Berechnung der Verlustleistung P_v der Nachbildung von T1 und D2 herangezogen wird. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist der Brückenarm br derjenige mit den kritischsten Kühlbedingungen.

[0031] In **Fig. 7** ist ein System **4** zur Überwachung eines Wechselrichters **1**, der einen Motor **2** versorgt gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren prinzipmäßig dargestellt. Das System **4** weist ein Modul **5** zur Berechnung der Verlustleistung P_v auf. Das Modul **5** erhält als Eingabe die Motordrehzahl M, sowie den Phasenstrom $i_r(t)$ des überwachten Brückenarmes br und den von einem Modul **6** gelieferten größten Betrag $i_m(t)$ der Phasenströme $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$. In Modul **5** wird anhand der Motordrehzahl M, die (unter Vernachlässigung des Schlupfes) gleich der Ausgangsfrequenz des Wechselrichters **1** geteilt durch die Polpaarzahl des Motors **2** ist, verglichen mit einem zuvor festgelegten Grenzwert, entweder der Phasenstrom $i_r(t)$ oder der größte Betrag eines Phasenstroms $i_m(t)$ aus Modul **6** zur Berechnung der Verlustleistung P_v herangezogen. Die anschließend in Modul **5** ermittelte Verlustleistung P_v dient als Eingabe

für ein weiteres Modul 7 zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperaturen T_{chip} der Leistungshalbleiter T1 bis T6 und D1 bis D6 anhand der thermischen Modelle bestehend aus entsprechenden RC-Ersatzschaltbildern 3 des IGBTs T1 und der Diode D2. Das Modul 7 liefert als Ausgabe die aktuellen Sperrschichttemperaturen T_{chip} der Leistungshalbleiter T1 und D2 stellvertretend für alle Leistungshalbleiter T1 bis T6 und D1 bis D6. Anhand dieser Sperrschichttemperaturen T_{chip} können dann bei einer drohenden Überhitzung entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.

[0032] Durch das System 4 wird sichergestellt, dass die Verlustleistung P_v der Phase r, s, t, die den größten Phasenstrom $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ führt (worst Case) zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperatur T_{chip} herangezogen wird. Des Weiteren wird durch die Betragsbildung gewährleistet, dass immer der dadurch belastete IGBT T1 bis T6 und die Diode D1 bis D6 nachgebildet wird.

[0033] Demzufolge können in einfacher und vorteilhafter Weise mit nur einem thermischen Modell für den IGBT T1 und einem thermischen Modell für die Diode D2 die Leistungshalbleiter T1 bis T6 und D1 bis D6 aller Brückenarme r, s, t des dreiphasigen Wechselrichters 1 wirksam geschützt werden. Es wird auch für kleine Ausgangsfrequenzen oder den Betrieb mit einer Ausgangsfrequenz null (im Stillstand des Motors 2 beim Anfahren) ein sicherer Schutz gewährleistet, unabhängig davon in welcher Phase r, s, t der größte Phasenstrom $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ fließt und welches Vorzeichen dieser Phasenstrom $i_r(t)$, $i_s(t)$, $i_t(t)$ hat.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Sperrschichttemperatur von Leistungshalbleitern in mehrphasigen Wechselrichtern oder Gleichrichtern in Brückenschaltung, wobei eine Verlustleistung der Leistungshalbleiter und ein thermisches RC-Ersatzschaltbild wenigstens eines Teils eines ausgewählten Brückenarms zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperaturen der Leistungshalbleiter herangezogen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperaturen (T_{chip}) der Leistungshalbleiter (T1 bis T6 und D1 bis D6) bei einer über einem Grenzwert liegenden Ausgangsfrequenz des Wechselrichters (1) oder Gleichrichters ein Phasenstrom ($i_r(t)$) des wenigstens einen ausgewählten Brückenarms (br) zur Bestimmung der Verlustleistung (P_v) herangezogen wird, wobei bei einer unter dem Grenzwert liegenden Ausgangsfrequenz der jeweils größte Betrag ($i_m(t)$) eines der Phasenströme ($i_r(t), i_s(t), i_t(t)$) der Brückenarme (r,s,t) zur Bestimmung der Verlustleistung (P_v) herangezogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Motordrehzahl (M) zur Bestimmung

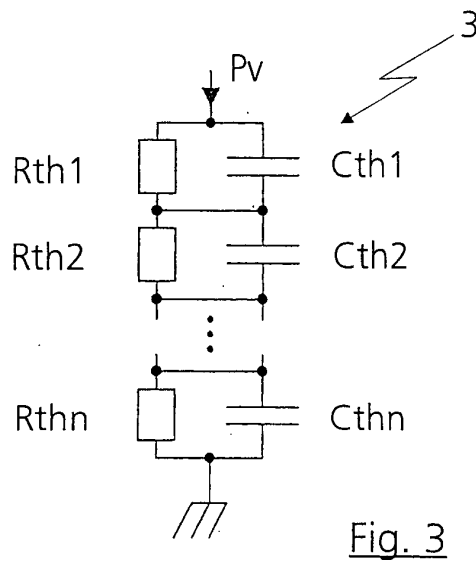
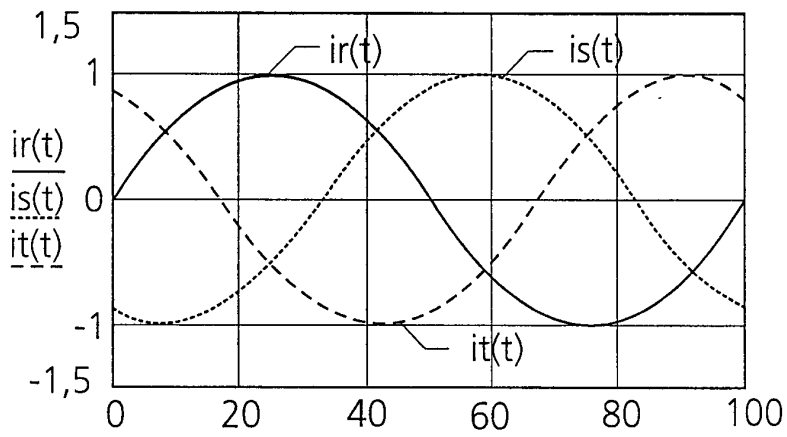
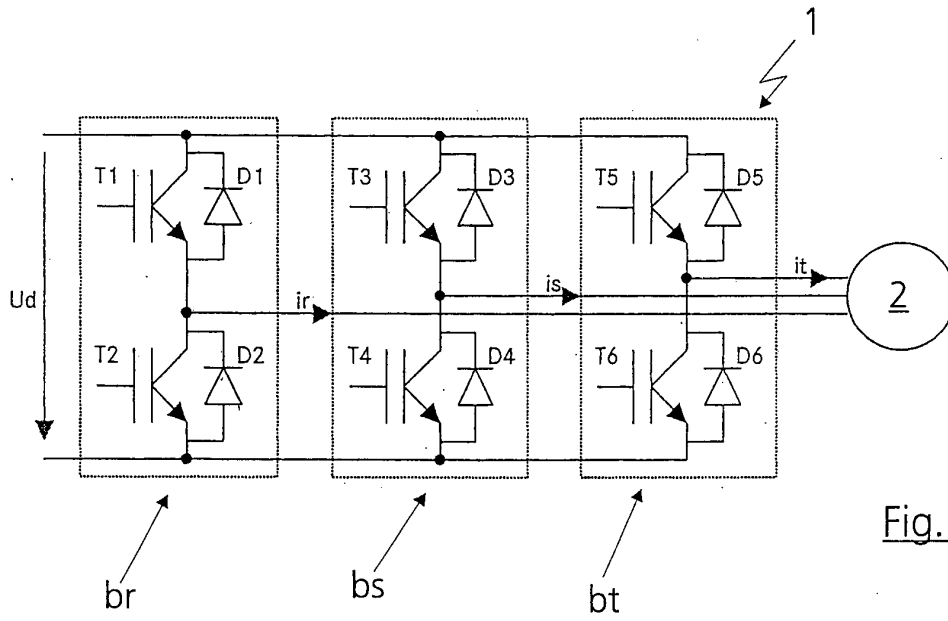
der Ausgangsfrequenz verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die thermischen Ersatzschaltbilder der Leistungshalbleiter (T1,D2) des Brückenarms (br) mit den schlechtesten Kühlbedingungen zur Berechnung der aktuellen Sperrschichttemperaturen (T_{chip}) verwendet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine direkte Flüssigkeitskühlung eingesetzt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



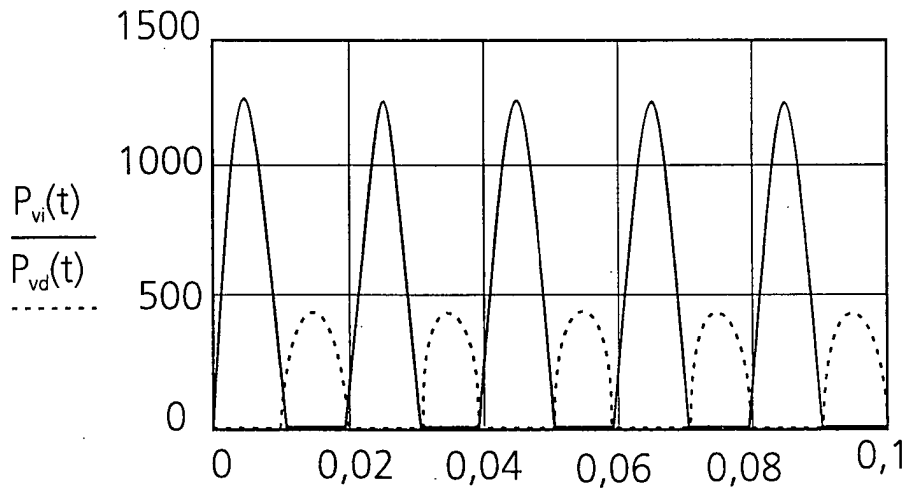


Fig. 4

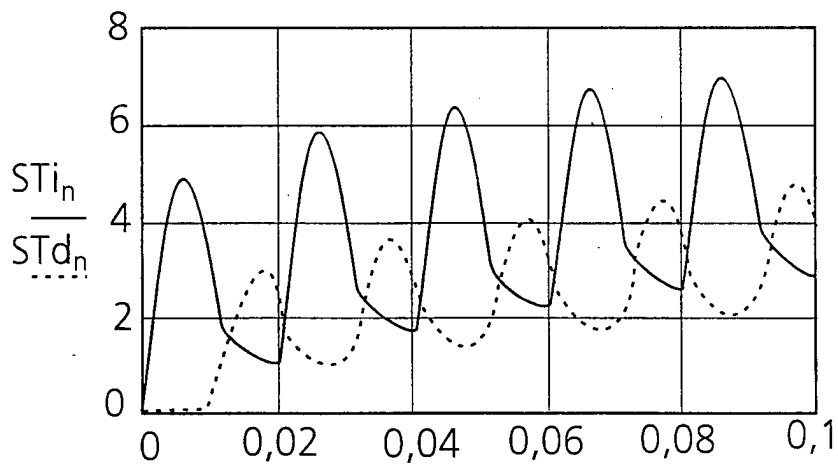


Fig. 5

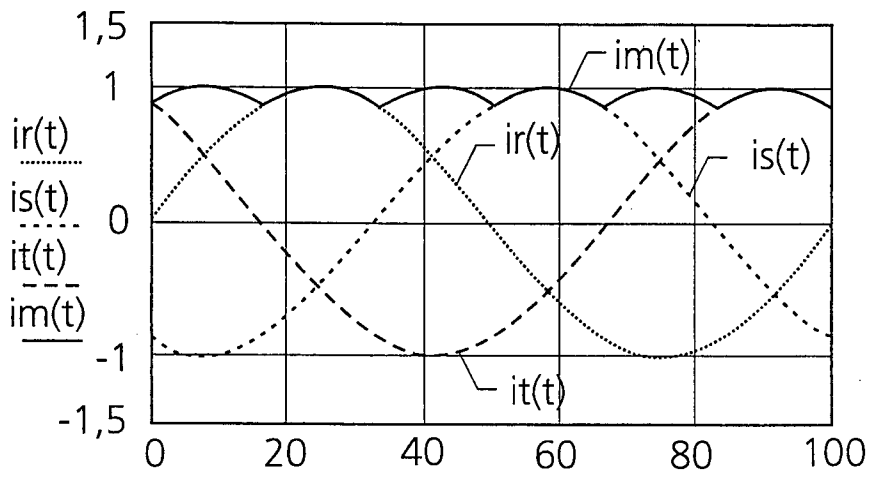


Fig. 6

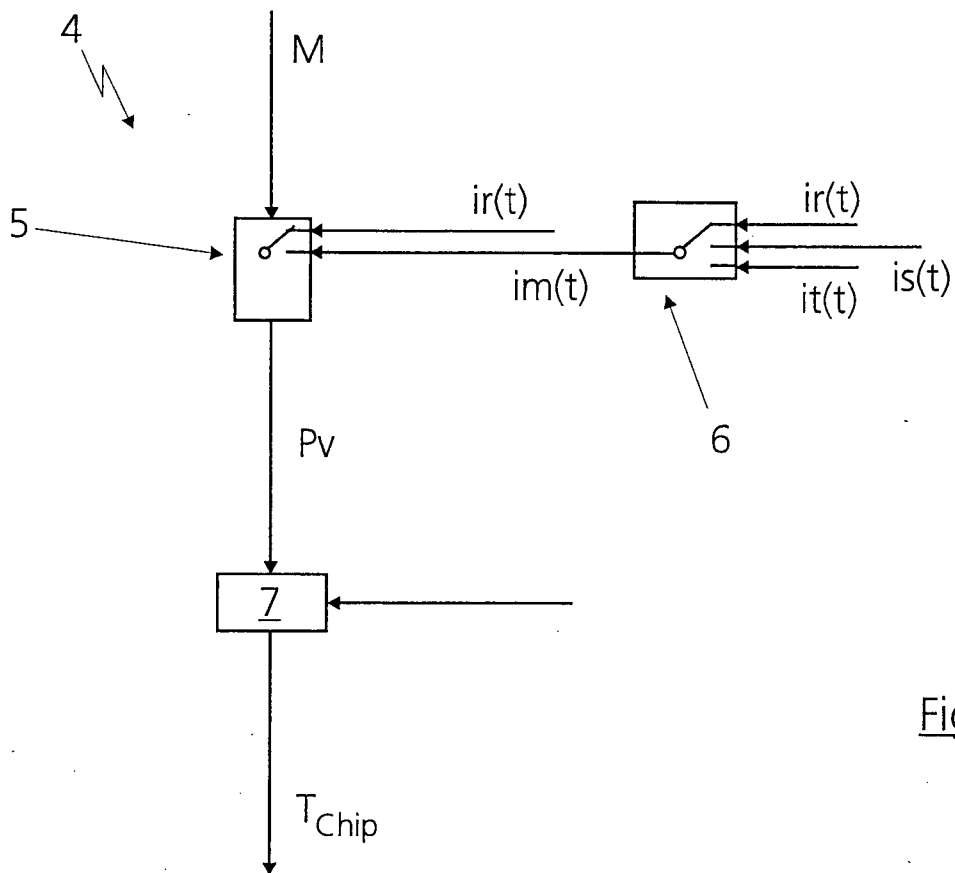


Fig. 7