



(10) **DE 10 2012 208 631 A1** 2012.11.29

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 208 631.5**

(22) Anmeldetag: **23.05.2012**

(43) Offenlegungstag: **29.11.2012**

(51) Int Cl.: **H02H 7/122 (2012.01)**
H02H 7/08 (2012.01)

(66) Innere Priorität:
10 2011 076 510.7 26.05.2011

(72) Erfinder:
Fernengel, Mathias, 63128, Dietzenbach, DE;
Heyer, Christian, 68519, Viernheim, DE

(71) Anmelder:
Continental Automotive GmbH, 30165, Hannover, DE

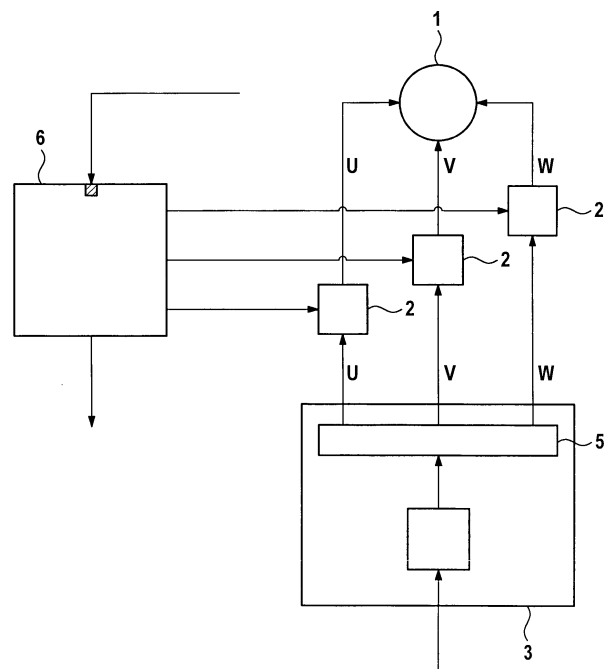
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Betrieb eines bürstenlosen Motors**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines bürstenlosen Elektromotors, dessen Wicklungen von einem Wechselrichter mit Hilfe von sechs Schalter angesteuert werden, wobei der Wechselrichter drei Ausgänge aufweist, die den Wicklungen des Elektromotors zugeordnet sind und wobei zwischen den Ausgängen des Wechselrichters und den Wicklungen jeweils ein Leistungshalbleiterschalter angeordnet ist, und wobei eine Erkennungseinheit zum Erkennen von defekten Schaltern, eine Einheit zur Spannungsmessung an den Ausgängen des Wechselrichters und ein Motorwinkellagensensor zur Ermittlung der Motorwinkellage vorgesehen ist. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zum Betrieb eines bürstenlosen Elektromotors.

Um die Leistungshalbleiterschalter nicht zu beschädigen ist vorgesehen, dass nach der Erkennung eines defekten Schalters (5) der Wechselrichter (3) in der Weise abgeschaltet wird, dass keine weitere Leistung in die Wicklungen (U, V, W) des Elektromotors (1) mehr eingebracht wird und dass der Motorwinkellagensensor (6) die Leistungshalbleiterschalter (2) nacheinander in einer vorab bestimmten Motorwinkellage (φ_U , φ_V , φ_W) öffnet. Der Motorwinkellagensensor (6) befindet sich außerhalb des Leistungspfad und kann auch bei einem defekten Schalter (5) im Wechselrichter (3) zuverlässig die Leistungshalbleiterschalter (2) öffnen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines bürstenlosen Elektromotors, dessen Wicklungen von einem Wechselrichter mit Hilfe von sechs Schalter angesteuert werden, wobei der Wechselrichter drei Ausgänge aufweist, die den Wicklungen des Elektromotors zugeordnet sind und wobei zwischen den Ausgängen des Wechselrichters und den Wicklungen jeweils ein Leistungshalbleiterschalter angeordnet ist, und wobei eine Erkennungseinheit zum Erkennen von defekten Schaltern, eine Einheit zur Spannungsmessung an den Ausgängen des Wechselrichters und ein Motorwinkellagensensor zur Ermittlung der Motorwinkellage vorgesehen ist. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zum Betrieb eines bürstenlosen Elektromotors.

[0002] Wechselrichter zur Ansteuerung bürstenloser Motoren bestehen in der Regel aus sechs Schaltern. Jeder Schalter kann nach einem Defekt prinzipiell zwei verschiedene Eigenschaften aufweisen: Nicht leitend, das heißt in der geöffneten Schalterstellung blockiert, oder leitend, das heißt in der geschlossenen Schalterstellung blockiert. Ein leitend defekter Schalter ist umgangssprachlich auch als Kurzschluss bekannt. Besonders in sicherheitsrelevanten Anwendungen ist es dann wichtig, den Elektromotor sehr schnell in einem Notbetrieb weiter zu betreiben oder sofort abzuschalten.

[0003] Die Verwendung von Leistungshalbleiterschaltern hat gegenüber mechanischen Relais den Nachteil, dass beim Abschalten induktiver Lasten, abhängig von der Höhe des Laststroms und der Induktivität der Last, eine Energiemenge derartiger Höhe freiwerden kann, dass der Leistungshalbleiterschalter im Augenblick des Abschaltens zerstört wird und seine Aufgabe dadurch nicht mehr erfüllen kann. Speziell beim Einsatz für bürstenlose Motoren in sicherheitskritischen Anwendungen, bei denen das Abschalten des Motors im Leistungspfad für eine Schutzfunktion benötigt wird, muss eine Beschädigung der Leistungshalbleiterschalter vermieden werden. Eine sicherheitskritische Anwendung ist die Verwendung eines bürstenlosen Elektromotors in einer elektromechanischen Lenkung eines Kraftfahrzeugs.

[0004] Für derartige Anwendungen, bei denen die induktive Energie im Lastkreis die zulässige Absorptionsfähigkeit eines Leistungshalbleiterschalters übersteigt, ist es bekannt, stattdessen ein mechanisches Relais zu verwenden, das gegenüber heute marktüblichen Leistungshalbleiterschaltern bauartbedingt eine deutlich höhere Absorptionsfähigkeit aufweist. Das mechanische Relais verkraftet zwar die Abschaltenergie, die beim Schalten induktiver Lasten unter Strom zwangsläufig auftreten, und kann daher jederzeit betätigt werden. Es hat aber als mechani-

sches System sehr starke Verfügbarkeitsprobleme. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Umleitung der beim Abschalten anfallenden Energiemenge in eine Energiesenke wie beispielsweise einer Suppressor-diode, die den Leistungshalbleiterschalter entlastet.

[0005] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung darzustellen, bei denen eine Beschädigung der Leistungshalbleiterschalter beim Abschalten induktiver Lasten zuverlässig vermieden wird.

[0006] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Dabei wird nach der Erkennung eines defekten Schalters der Wechselrichter in der Weise abgeschaltet, dass keine weitere Leistung in die Wicklungen (des Elektromotors) mehr eingebracht wird und dass der Motorwinkellagensensor die Leistungshalbleiterschalter nacheinander in einer vorab bestimmten Motorwinkellage öffnet.

[0007] Vorteilhafte Weiterbildungen sind den Unteransprüchen entnehmbar.

[0008] So ist in einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass die Motorwinkellagen jeweils einer Wicklung und deren Leistungshalbleiterschalter zugeordnet werden und so gewählt werden, dass die zugeordneten Leistungshalbleiterschalter beim Öffnen nicht beschädigt werden. Dazu werden die Motorwinkellagen so gewählt, dass der an den Leistungshalbleiterschaltern anliegende Drainstrom null, nahezu null oder negativ ist.

[0009] Dabei ist vorgesehen, dass die in denen die an den Leistungshalbleiterschaltern anliegenden Augenblickswerte der Drainströme, die das beschädigungsfreie Abschalten erlauben, deterministisch abhängig vom Motorwinkel ist. Wesentlich ist, dass eine direkte messtechnische Überwachung der Phasenströme für die Methode nicht zwingend benötigt wird, weil die für den Zweck benötigte Information aus dem gemessenen Motorwinkel bezogen werden kann.

[0010] Die genannte Aufgabe wird auch durch eine Vorrichtung gelöst, bei der der Wechselrichter nach der Erkennung eines defekten Schalters vom Mikrocontroller in der Weise abgeschaltet wird, dass keine weitere Leistung in die Wicklungen des Elektromotors mehr eingebracht wird und dass der Motorwinkellagensensor dazu eingerichtet ist, die Leistungshalbleiterschalter nacheinander in einer vorab bestimmten Motorwinkellage zu öffnen.

[0011] In einer besonders vorteilhaften Weiterbildung des Erfindungsgegenstandes ist der Motorwinkellagensensor dazu eingerichtet, die Motorwinkellagen jeweils einer Wicklung und deren Leistungshalb-

leitorschalter zuzuordnen und so zu wählen, dass die zugeordneten Leistungshalbleiterschalter beim Öffnen nicht beschädigt werden. Dabei ist der Motorwinkellagensensor dazu eingerichtet, die Motorwinkellagen so zu wählen, dass der an den Leistungshalbleiterschaltern anliegende Drainstrom null, nahezu null oder negativ ist.

[0012] Es ist vorgesehen, dass die Leistungshalbleiterschalter als Leistungs-MOSFET ausgebildet sind.

[0013] Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des Erfindungsgegenstandes sieht vor, dass die Einheit zum Erkennen von defekten Schaltern und die Einheit zur Spannungsmessung an den Ausgängen des Wechselrichters in den Mikrocontroller integriert sind.

[0014] Die Erfindung wird nachfolgend zweier Ausführungsbeispiele im Zusammenhang mit der beiliegenden Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen:

[0015] [Fig. 1](#) eine schematische Prinzipdarstellung der Wicklungen eines bürstenlosen Elektromotors und eines Wechselrichters nach dem Stand der Technik;

[0016] [Fig. 2a](#) ein Diagramm mit Motorwinkellagen zum Abschalten des zugeordneten Leistungshalbleiterschalter bei einer positiven Drehrichtung des Elektromotors;

[0017] [Fig. 2b](#) ein Diagramm mit Motorwinkellagen zum Abschalten des zugeordneten Leistungshalbleiterschalter bei einer negativen Drehrichtung des Elektromotors;

[0018] [Fig. 3](#) eine [Fig. 1](#) entsprechende Prinzipdarstellung nach dem Stand der Technik;

[0019] [Fig. 4](#) eine schematische Prinzipdarstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und

[0020] [Fig. 5](#) eine schematische Prinzipdarstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels.

[0021] In [Fig. 1](#) ist schematisch ein bürstenloser Elektromotor **1** dargestellt, dessen Wicklungen U, V, W von einem Wechselrichter **3** angesteuert werden. Zu diesem Zweck weist der Wechselrichter **3** sechs Schalter **5** auf, wobei die in [Fig. 1](#) oberen Schalter **5** der positiven Versorgungsspannung und die in [Fig. 1](#) unteren Schalter **5** der negativen Versorgungsspannung zugeordnet sind. Wie [Fig. 1](#) weiter entnehmbar ist, befinden sich zwischen den oberen Schaltern **5**, die der positiven Versorgungsspannung zugeordnet sind, und den unteren Schaltern **5**, die der negativen Versorgungsspannung zugeordnet sind, Abgreifpunkte **17**, **18**, **19**, an denen die an den Wicklungen U, V, W anliegende Spannung abgegriffen wird und

einer Einheit **11** zur Spannungsmessung zugeführt wird. Die Messergebnisse der Einheit **11** zur Spannungsmessung werden einem Mikrocontroller **4** zugeführt, der einerseits die Schalter **5** steuert und andererseits die von der Spannungsmessungseinheit **11** erzeugten Informationen auswertet. Außerdem ist eine Erkennungseinheit **10** zum Erkennen von defekten Schaltern **5** vorgesehen. Die von der Erkennungseinheit **10** erzeugten Informationen werden ebenfalls dem Mikrocontroller **4** zur Auswertung zugeführt. In den Phasenleitungen, die zu den Wicklungen U, V, W führen, sind Leistungshalbleiterschalter **2** angeordnet.

[0022] In einer Ausführungsform in der Praxis werden die Schalter **5** durch Halbleiterschalter bzw. Transistoren oder MOSFETs gebildet. Die Erkennungseinheit **10** ist in der Praxis als Brückentreiber ausgebildet und legt an die als Transistoren ausgebildeten Schalter **5** eine Spannung an und kontrolliert, ob die Schalterstellung des Transistors wechselt. Die Einheit **11** zur Spannungsmessung an den Abgreifpunkten **17**, **18**, **19** ist in der Praxis als Spannungsteiler ausgebildet und ermittelt das Tastverhältnis einer pulsweitenmodulierten Spannung. Das Tastverhältnis entspricht dabei dem Quotienten aus Impulsdauer und Periodendauer.

[0023] Jeder Schalter **5** kann prinzipiell zwei verschiedene Arten eines Defekts aufweisen bzw. befindet sich nach einem Defekt grundsätzlich in einer der beiden nachfolgend beschriebenen Zustände: Nicht leitend defekt, das heißt in der geöffneten Schalterstellung blockiert, oder leitend defekt, das heißt in der geschlossenen Schalterstellung blockiert. Ein leitend defekter Schalter **5** ist umgangssprachlich auch als Kurzschluss bekannt.

[0024] Besonders in sicherheitsrelevanten Anwendungen, wie in einer elektromechanischen Lenkvorrichtung, ist es wichtig, den Elektromotor **1** sehr schnell in einem Notbetrieb weiter zu betreiben oder sofort abzuschalten. Der Fehlerfall des leitend defekten Schalters **5** führt zu einem erhöhten Lenkmoment, da der Fahrzeugführer im Fehlerfall den Elektromotor **1** im Generatorbetrieb bewegt und dabei einen Strom induziert, der der Lenkbewegung am Lenkrad gerade entgegen wirkt. Dieses entgegen der Drehrichtung des Fahrzeugführer wirkende Moment wird im Folgenden Bremsmoment genannt. Durch den Kurzschluss im Wechselrichter **3** wird in einer permanent erregten Synchronmaschine ein drehzahlabhängiges Bremsmoment erzeugt. Durch einen leitend defekten Schalter **5** entsteht durch Induktion ein Stromschluss über die Motorwicklungen U, V, W.

[0025] Für den Anwendungsfall des bürstenlosen Elektromotors **1** sind die Phasenanschlüsse des Elektromotors **1** über Leistungshalbleiterschaltern **2** mit den Ausgängen des antreibenden Wechselrich-

ters **3** verbunden. Der Zweck dieser Anordnung ist es, im Falle eines Defekts im Wechselrichter **3** den Elektromotor **1** stromfrei und damit frei von den eben beschriebenen Bremsmomenten zu machen. Dies bezeichnet man auch als Sicherheitsabschaltung. Nach Erkennung eines Defekts im Wechselrichter **3** durch den Mikrocontroller **4** wird zunächst der Wechselrichter **3** abgeschaltet, d.h. die Schalter **5** geöffnet sodass keine weitere elektrische Leistung mehr in den Elektromotor **1** eingebracht wird. Sofern der Elektromotor **1** entweder durch Trägheit oder durch Antrieb von außen noch in rotierendem Zustand ist, baut sich durch die Gleichrichtung der Induktionsspannung des Elektromotor **1** über parasitäre Dioden und einen als leitend defekt anzunehmenden Schalter **5** innerhalb des Wechselrichters **3** periodisch eine Stromkuppe auf, die das unerwünschte Bremsmoment hervorruft. Die Abschaltung der Leistungshalbleiterschalter **2** in den Phasenleitungen unterbindet dieses. Damit die Leistungshalbleiterschalter **2** dabei nicht durch eine unzulässig hohe induktive Energiemenge aus dem Elektromotor **1** beschädigt werden, werden diese individuell in Fenstern bestimmter Motorwinkellagen φ_U , φ_V , φ_W abgeschaltet, bei deren Durchschreiten der Stromverlauf in den jeweiligen betreffenden Wicklung U, V, W für den zugeordneten Leistungshalbleiterschalter **2** unschädlich ist. Die Leistungshalbleiterschalter **2** sind als Leistungs-MOSFET ausgeführt und kurzfristige Werte des Drainstroms I_D von Null, negativ oder gering positiv sind unschädlich. Dabei ist es bei diesem Verfahren kennzeichnend, dass die geeigneten Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W unabhängig vom Ort des leitend defekten Schalters **5** im Wechselrichter **3** immer gleich bleiben und nur von der Drehrichtung des Elektromotors **1** abhängen. Es genügt somit das gezielte Abschalten der einzelnen Leistungshalbleiterschalter **2** anhand der Erkennung der zulässigen Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W durch den Mikrocontroller **4**. Die Erfassung der Motorwinkellage φ_U , φ_V , φ_W wird mit Hilfe eines Motorwinkellagensensors **6** vorgenommen. Die Erfassung der Motorwinkellage φ_U , φ_V , φ_W ist für die Ansteuerung eines bürstenlosen Elektromotors **1** notwendig. Ein weiterer Sensor zur Durchführung des hier beschriebenen Verfahrens ist somit nicht notwendig.

[0026] Wie eben erwähnt sind die geeigneten Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W unabhängig vom Ort des leitend defekten Schalters **5** im Wechselrichter **3**. Die geeigneten Motorwinkellagen φ_U , φ_V , φ_W bleiben vielmehr immer gleich. Dieser Zusammenhang ist in **Fig. 2** dargestellt.

[0027] Bei einem dreiphasigen BLDC Motor sind die Motorwinkellagefenster, in denen die durch die induzierten Spannungen und bedingt durch einen leitend defekten Schalter **5** im Wechselrichter **3** hervorgerufenen Ströme in den einzelnen Phasen Null sind, theoretisch bis zu 120° breit. Definiert man den Motorwinkel $\varphi = 0^\circ$ dort, wo die induzierte Spannung

des von außen angetriebenen Motors **1** der Phase U ihr Maximum hat, liegen die stromfreien Winkelfenster für die drei Phasen in den Intervallen $\varphi_U = [300^\circ; 60^\circ]$, $\varphi_V = [60^\circ; 180^\circ]$ und $\varphi_W = [180^\circ; 300^\circ]$. Diese Werte gelten für idealisierte Verhältnisse, bei denen die durch die mechanische Drehzahl N des Motors sich ergebende elektrische Periodenzeit $TPER = 1/(N \cdot \text{Polpaarzahl})$ klein bleibt gegenüber der Zeitkonstanten der Phasenimpedanz $\tau_{PH} = L/R$ und daher die Ströme und Spannungen im Motor noch annähernd deckungsgleich verlaufen. In der Praxis sind diese idealisierten Verhältnisse jedoch nicht zwingend gegeben. So muss berücksichtigt werden, dass je nach Motorkennwerten und der höchsten zu berücksichtigenden Drehzahl die Motorwinkellagefenster kleiner als 120° und außerdem drehrichtungsabhängig werden können, wie es in **Fig. 2a** und **Fig. 2b** dargestellt ist. Die Grenzwerte der Motorwinkellagefenster sind für den konkreten Anwendungsfall zu bemessen. An der grundsätzlichen Methode des Abschaltens innerhalb vorbestimmter Motorwinkellagefenster ändert sich hierdurch jedoch nichts.

[0028] Die Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W für das Abschalten sind leider nicht für jede Anwendung gleich. Die durch die von außen erzwungene Rotation der Motorwelle erzeugt zwar stets die drei induzierten Spannungen mit dem um jeweils 120° zueinander verschobenen Sinusverläufen entsprechend einem Dreiphasensystem für einen dreiphasigen bürstenlosen Elektromotor **1** und diese dann in der Folge zum Aufbau der Stromkuppen führen. Allerdings verlaufen diese Stromkuppen nicht deckungsgleich zu den induzierten Spannungen, sondern erleiden bedingt durch die komplexe Impedanz der Motorphasen U, V, W erstens einen Zeitverzug und zweitens eine Formverzerrung bedingt durch die äußere Randbedingung mit dem Kurzschluss in dem Wechselrichter **3**. Desweiteren verbreitern sich die Stromkuppen mit steigender Motordrehzahl N und die Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W werden entsprechend kleiner. Letztlich ist Bestimmung der Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W eine Bemessungsaufgabe, die die Kennwerte des verwendeten Elektromotors sowie die maximal zu betrachtende Drehzahl N berücksichtigt. Auch die für die Leistungshalbleiterschalter **2** zulässige Energiemenge ist ein Kriterium: Je höher diese ist, desto grösser darf der kurzfristige Wert des Phasenstroms beim Abschalten noch sein, was beim Maximieren der Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W hilfreich ist.

[0029] In **Fig. 2a** und **Fig. 2b** sind als schwarz durchgezogene Blöcke die idealisierten Verhältnisse bei einem Motor mit sehr kleinem Verhältnis von Phaseninduktivität zu Phasenwiderstand dargestellt. Unter diesen Idealbedingungen beträgt das Motorwinkellagefenster φ_U für die Wicklung U von 300° bis 60°, für die Wicklung V entsprechend das Motorwinkellagefenster φ_V von 60° bis 180° und für die Wicklung W Mo-

torwinkellagefenster φ_W von 180° bis 300° . Darunter sind als schraffierte Blöcke die oben kurz beschriebenen prinzipiellen Verkürzungen der Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W für Motoren mit hohem L/R Verhältnis und hoher Drehzahl dargestellt.

[0030] In [Fig. 3](#) ist eine Darstellung entsprechend der [Fig. 1](#) gewählt. Der Elektromotor **1** wird vom Umrichter **3** angesteuert, indem die Schalter **5**, die in [Fig. 3](#) als gemeinsamer Block dargestellt sind, geöffnet oder geschlossen werden. Zwischen den Schaltern **5** und den Wicklungen U, V, W des Elektromotors **1** sind die Leistungshalbleiterschalter **2** angeordnet. Wie anhand der [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) bereits erläutert, werden die Leistungshalbleiterschalter **2** im Fehlerfall in Abhängigkeit der Motorwinkellagen φ_U , φ_V , φ_W geöffnet. Bei diesen vorbekannten Anordnungen liefert die Motorwinkellagensensor **6** seine Ausgangssignale an den Mikrocontroller **4**. Der Mikrocontroller **4** steuert die Leistungshalbleiterschalter **2** an.

[0031] Es besteht im Falle eines leitend defekten Schalters **5** im Wechselrichter **3** die Gefahr, dass der Mikrocontroller **4** als Fehlerfolge ebenfalls zerstört wird. Damit der Mikrocontroller **4** die Leistungshalbleiterschalter **2** bei defektem Schalter **5** im Wechselrichter **3** immer noch sicher öffnen kann, ist eine aufwändige Entkopplung zwischen dem Wechselrichter **3** und dem Mikrocontroller **4** notwendig.

[0032] Der erfindungsgemäße Gedanke ist es daher, dass die Leistungshalbleiterschalter **2** nicht mehr vom Mikrocontroller **4** angesteuert werden, sondern direkt vom Motorwinkellagensensor **6**. So werden bei der in [Fig. 4](#) dargestellten Vorrichtung die Signale zum sicheren Öffnen der Leistungshalbleiterschalter **2** direkt aus dem Motorwinkellagensensor **6** heraus generiert. Dies ist besonders vorteilhaft, da alle für das sichere Öffnen der Leistungshalbleiterschalter **2** notwendigen Informationen, wie Motorwinkellage φ , Motorgeschwindigkeit und Drehrichtung, in diesem Motorwinkellagensensor **6** bereits vorhanden sind.

[0033] Der erfindungswesentliche Gedanke ist es, dass die Initiative zum Öffnen der Leistungshalbleiterschalter **2** nicht mehr vom Mikroprozessor **4** ausgeht, sondern vom motorwinkel- und motorgeschwindigkeitsgebenden Motorwinkellagensensor **6**. Diese Lösung ist unabhängig vom Mikroprozessor **4** und kann daher sehr kostengünstig in ein motorwinkel- und motorgeschwindigkeitsgebendes System integriert werden.

[0034] Mit steigender Motordrehzahl wird das Winkelfenster zum sicheren Öffnen der Leistungshalbleiterschalter **2** kleiner und zudem führt die höhere Drehzahl des Elektromotors **1** dazu, dass das kleiner werdende Winkelfenster auch noch schneller durchschritten wird. Aus diesem Grund sind bei sehr hohen Drehzahlen für ein sicheres Öffnen der

Leistungshalbleiterschalter **2** sehr präzise Signale mit kurzen Latenzzeiten notwendig, sodass zum Zeitpunkt des Öffnens der Leistungshalbleiterschalter **2** immer noch geringe oder negative Motorströme vorliegen. Daher ist die Generierung der Signale zum Öffnen der Leistungshalbleiterschalter **2** direkt aus dem motorwinkel- und motorgeschwindigkeitsgebenden Motorwinkellagensensor **6** sehr vorteilhaft, da diese Anordnung eine extrem hohe Aktualisierungsrate bei kürzester Verarbeitungszeit erlaubt. Die sehr kurze Verarbeitungszeit wird vor allem auch dadurch erreicht, dass die Motorwinkel- und Motorgeschwindigkeitsinformationen nicht an den Mikroprozessor **4** übertragen werden müssen.

[0035] Somit ist ein sicheres Öffnen der Leistungshalbleiterschalter **2** bei Ansteuerung direkt aus dem winkelgebenden Motorwinkellagensensor **6** bei höheren Drehzahlen möglich, als wie das mit der Ansteuerung aus dem Mikroprozessor **4** möglich wäre.

[0036] In [Fig. 5](#) ist eine zweite Ausführungsform dargestellt, die eine Topologie der Leistungshalbleiterschalter **2** als „Sternpunktschalter“ aufweist: Die Leistungshalbleiterschalter **2** sind wiederum als Leistungs-MOSFET ausgebildet und verbinden die Endanschlüsse der Motorphasen U, V, W zum „Sternpunkt“. An der Nutzung der Motorwinkellage φ zum individuellen Abschalten der Leistungshalbleiterschalter **2** innerhalb der geeigneten Motorwinkellagefenster φ_U , φ_V , φ_W ändert sich gegenüber der in [Fig. 4](#) dargestellten Ausführungsform nichts.

[0037] Die Anwendung des beschriebenen Verfahrens erlaubt die Verwendung von Leistungshalbleiterschaltern **2** als Sicherheitseigenschaft in einem System zum Betrieb eines bürstenlosen Elektromotors **1**, auch wenn die durch die Höhe der Motorinduktivitäten und -ströme eines solchen Systems sich maximal ergebende mögliche induktive Energiemenge die Absorptionsfähigkeit verfügbarer und/oder wirtschaftlich vertretbarer Leistungshalbleiterschalter übersteigt. Der Einsatz eines mechanischen Relais, der vielfach wegen mangelnder Zuverlässigkeit, Abnutzungseigenschaften, Feuchteempfindlichkeit, veränderlicher Kontakteigenschaften etc. nicht erwünscht ist, kann damit umgangen und die zuweilen auch konstruktionsbedingt eher bevorzugte Lösung mit Leistungshalbleiterschaltern zum Einsatz gebracht werden, ohne zusätzliche Schaltmittel zur externen Energieabsorption wie Suppressordioden oder Einrichtungen zur Strommessung einführen zu müssen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines bürstenlosen Elektromotors (**1**), dessen Wicklungen (U, V, W) von einem Wechselrichter (**3**) mit Hilfe von sechs Schalter (**5**) angesteuert werden, wobei der Wechselrichter (**3**)

drei Ausgänge (17, 18, 19) aufweist, die den Wicklungen (U, V, W) des Elektromotors (1) zugeordnet sind und wobei zwischen den Ausgängen (17, 18, 19) des Wechselrichters (3) und den Wicklungen (U, V, W) jeweils ein Leistungshalbleiterschalter (2) angeordnet ist, und wobei eine Erkennungseinheit (10) zum Erkennen von defekten Schaltern (5), eine Einheit (11) zur Spannungsmessung an den Ausgängen (17, 18, 19) des Wechselrichters (3) und ein Motorwinkellagensensor (6) zur Ermittlung der Motorwinkellage (φ) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach der Erkennung eines defekten Schalters (5) der Wechselrichter (3) in der Weise abgeschaltet wird, dass keine weitere Leistung in die Wicklungen (U, V, W) des Elektromotors (1) mehr eingebracht wird und dass der Motorwinkellagensensor (6) die Leistungshalbleiterschalter (2) nacheinander in einer vorab bestimmten Motorwinkellage ($\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$) öffnet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Motorwinkellagen ($\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$) jeweils einer Wicklung (U, V, W) und deren Leistungshalbleiterschalter (2) zugeordnet werden und so gewählt werden, dass die zugeordneten Leistungshalbleiterschalter (2) beim Öffnen nicht beschädigt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Motorwinkellagen ($\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$) so gewählt werden, dass der an den Leistungshalbleiterschaltern (2) anliegende Drainstrom (I_D) null oder nahezu null ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Motorwinkellagen ($\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$) so gewählt werden, dass der an den Leistungshalbleiterschaltern (2) anliegende Drainstrom (I_D) negativ ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Motorwinkellagen ($\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$) unabhängig vom Ort des defekten Schalters (5) und ausschließlich in Abhängigkeit der Drehrichtung des Elektromotors (1) bestimmt werden.

6. Vorrichtung zum Betrieb eines bürstenlosen Elektromotors (1), dessen Wicklungen (U, V, W) von einem Wechselrichter (3) mit Hilfe von sechs Schaltern (5) angesteuert werden, wobei der Wechselrichter (3) drei Ausgänge (17, 18, 19) aufweist, die den Wicklungen (U, V, W) des Elektromotors (1) zugeordnet sind und wobei zwischen den Ausgängen (17, 18, 19) des Wechselrichters (3) und den Wicklungen (U, V, W) jeweils ein Leistungshalbleiterschalter (2) angeordnet ist, und wobei eine Erkennungseinheit (10) zum Erkennen von defekten Schaltern (5), eine Einheit (11) zur Spannungsmessung an den Ausgängen (17, 18, 19) des Wechselrichters (3) und ein Motorwinkellagensensor (6) zur Ermittlung der Motorwinkellage (φ) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**,

dass der Wechselrichter (3) nach der Erkennung eines defekten Schalters (5) vom Mikrocontroller (4) in der Weise abgeschaltet wird, sodass keine weitere Leistung in die Wicklungen (U, V, W) des Elektromotors (1) mehr eingebracht wird und dass der Motorwinkellagensensor (6) dazu eingerichtet ist, die Leistungshalbleiterschalter (2) nacheinander in einer vorab bestimmten Motorwinkellage ($\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$) zu öffnen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Motorwinkellagensensor (6) dazu eingerichtet ist, die Motorwinkellagen ($\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$) jeweils einer Wicklung (U, V, W) und deren Leistungshalbleiterschalter (2) zuzuordnen und so zu wählen, dass die zugeordneten Leistungshalbleiterschalter (2) beim Öffnen nicht beschädigt werden.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Motorwinkellagensensor (6) dazu eingerichtet ist, die Motorwinkellagen ($\varphi_U, \varphi_V, \varphi_W$) so zu wählen, dass der an den Leistungshalbleiterschaltern (2) anliegende Drainstrom (I_D) null, nahezu null oder negativ ist.

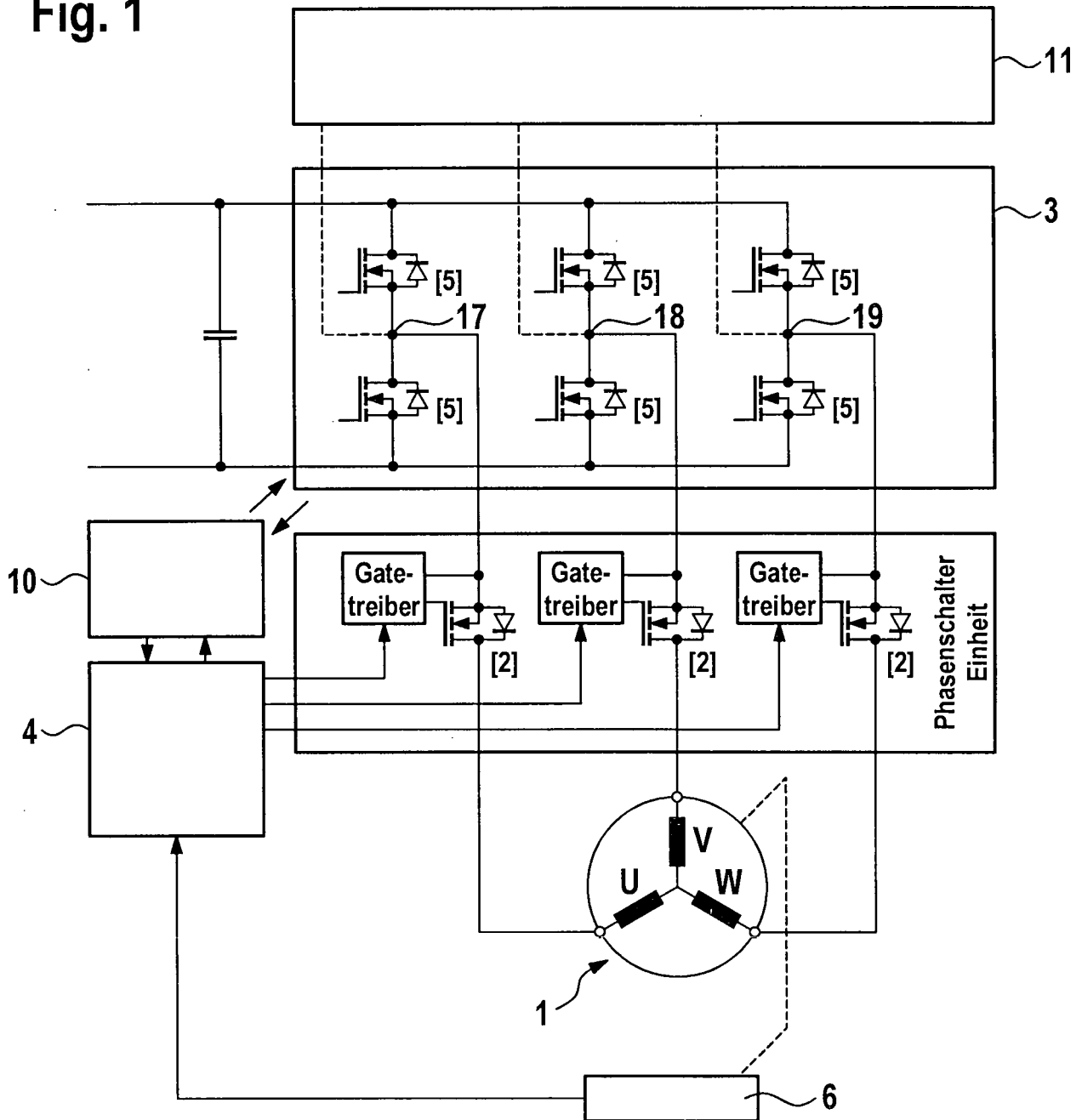
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungshalbleiterschalter (2) als Leistungs-MOSFET ausgebildet sind.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Einheit (10) zum Erkennen von defekten Schaltern (5) und die Einheit (11) zur Spannungsmessung an den Ausgängen (17, 18, 19) des Wechselrichters (3) in den Mikrocontroller (4) integriert sind.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1



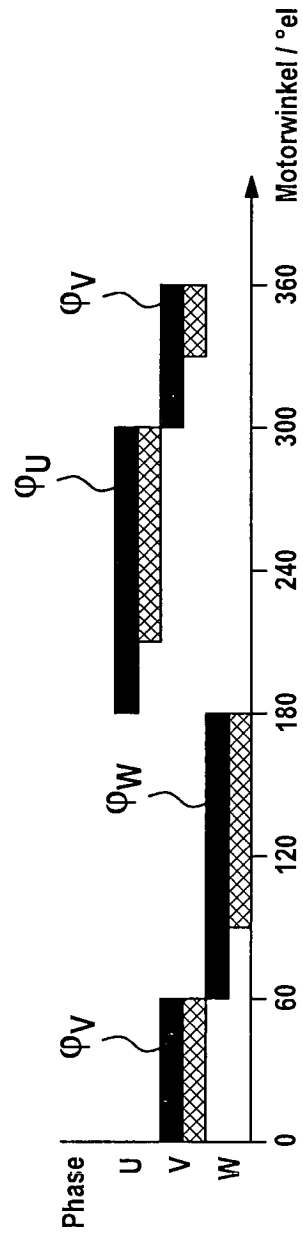


Fig. 2a

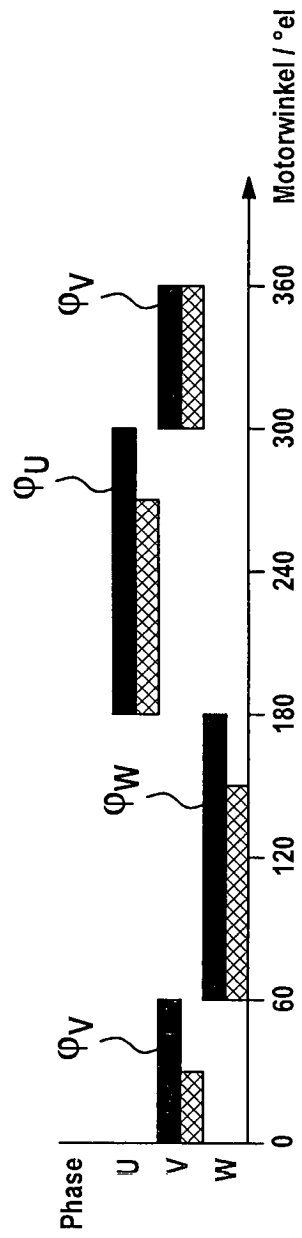


Fig. 2b

Fig. 3

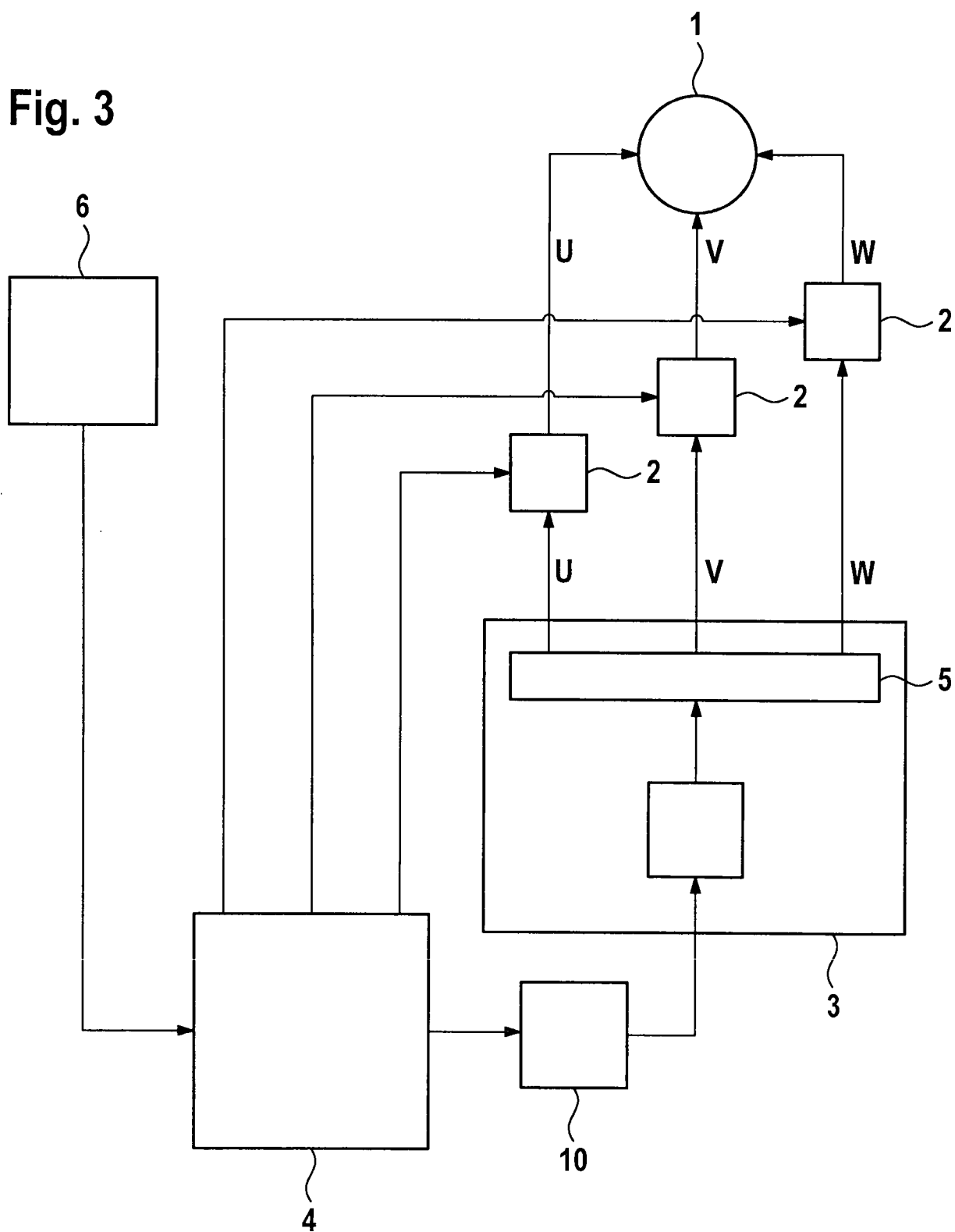


Fig. 4

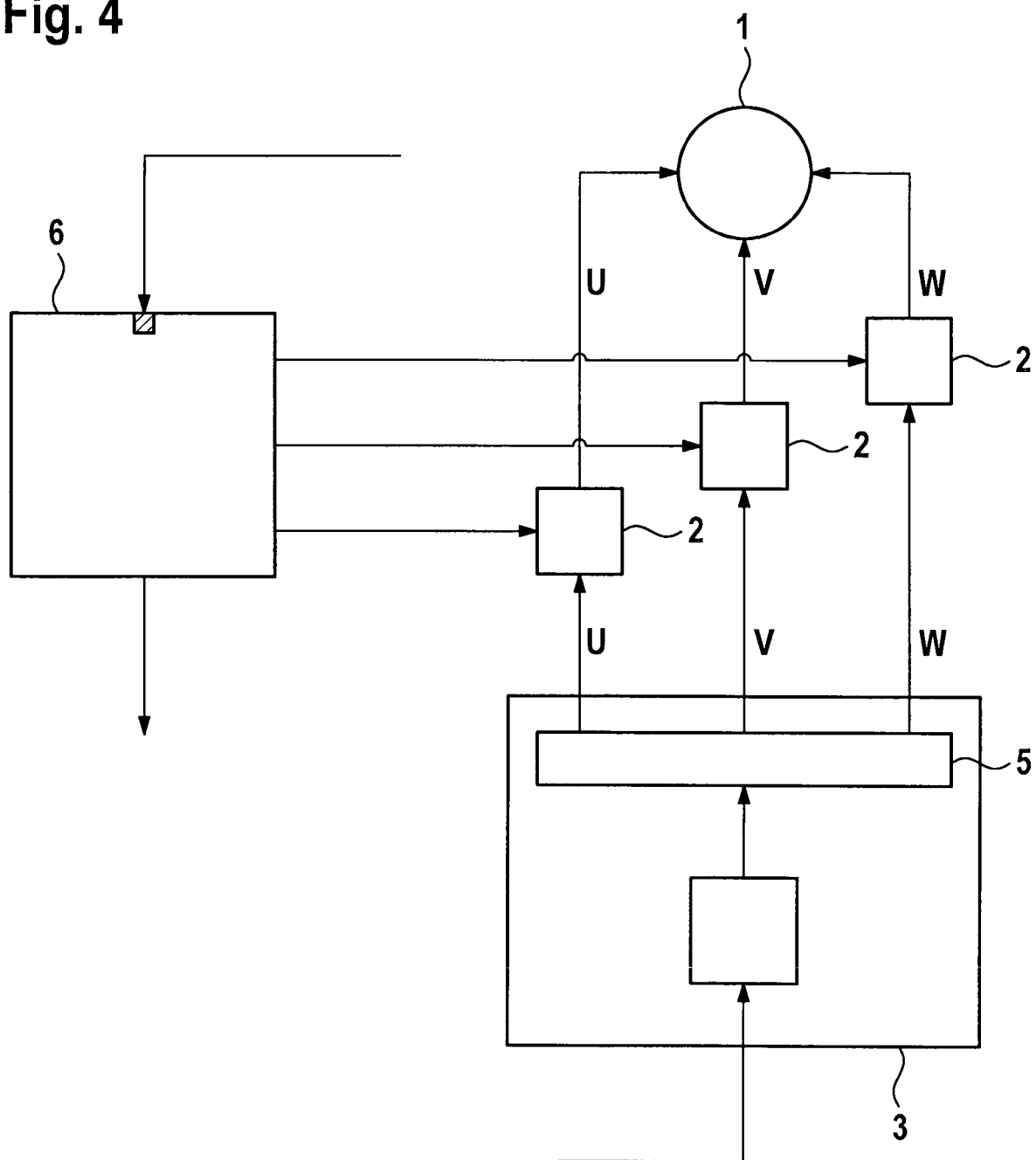


Fig. 5

