



(10) **DE 10 2016 012 324 A1** 2018.04.19

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 012 324.9**  
(22) Anmeldetag: **17.10.2016**  
(43) Offenlegungstag: **19.04.2018**

(51) Int Cl.: **G01L 3/10 (2006.01)**  
**G01L 1/22 (2006.01)**  
**B25J 17/00 (2006.01)**  
**B25J 19/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**FRANKA EMIKA GmbH, 80797 München, DE**

(74) Vertreter:  
**Patentanwälte Habermann, Hruschka & Schnabel,  
81679 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Böhme, Niklas, 80992 München, DE; Rokahr, Tim,  
81245 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

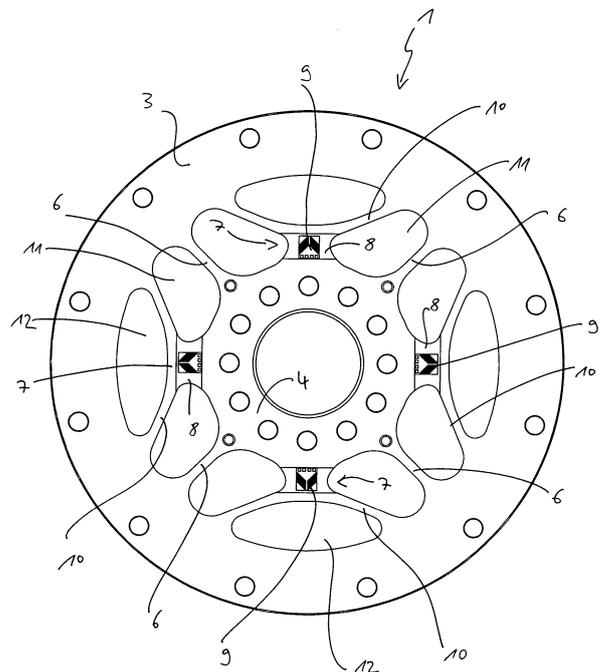
DE	42 08 552	A1
DE	102 17 020	A1
DE	195 25 231	A1
DE	202 09 850	U1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Drehmomentsensorvorrichtung und Verfahren zum Erfassen von Drehmomenten**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drehmomentsensorvorrichtung mit einem Messflansch (1), der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, und der einen Flanschaußenring (3) und einen Flanschinnenring (4) aufweist, wobei der Flanschaußenring (3) und der Flanschinnenring (4) durch zumindest zwei Messspeichen (7) verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen, wobei die Messspeichen (7) derart ausgestaltet sind, dass sie in Bezug auf eine in Radialrichtung auf diese Messspeichen (7) wirkenden Kraft entkoppelt sind. Des Weiteren betrifft die Erfindung einen Manipulator für einen Roboter, der zumindest eine Antriebseinheit in einem seiner Gelenke aufweist, in der eine derartige Drehmomentsensorvorrichtung implementiert ist.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drehmomentsensorvorrichtung sowie ein Verfahren zum Erfassen von Drehmomenten mittels einer solchen Drehmomentsensorvorrichtung, insbesondere von an oder in einem Gelenk eines Manipulators eines Roboters auftretenden Drehmomenten.

**[0002]** Roboter, insbesondere der Leichtbauweise, weisen einen Gelenkarm bzw. einen Manipulator auf, der aus mehreren, über Gelenke verbundene Glieder zusammengesetzt ist, wobei die Gelenke über entsprechende Antriebseinheiten betätigbar sind, um ein Armglied gegenüber einem an dieses angrenzenden Armglied des Manipulators gezielt in Drehung zu versetzen. Ein wichtiger Bestandteil dieser Roboter sind Drehmomentsensoren zum Erfassen der Drehmomente, die sich durch die Bewegung der Glieder selbst oder durch extern einwirkende Kräfte einstellen. In den meisten Fällen sind diese Drehmomentsensoren in oder an allen beweglichen Gliedern des Roboters verbaut, was die nachgiebige Steuerung des Manipulators ermöglicht.

**[0003]** Zur Erfassung von Drehmomenten sind aus dem Stand der Technik verschiedene Systeme bekannt. Eine gängige Methode ist die Verwendung von Dehnungsmessstreifen (DMS) als Sensorelemente, die schon bei geringen Verformungen an Bauteilen ihren elektrischen Widerstand ändern. Zur Auswertung kommen in der Regel Brückenschaltungen (sogenannte Wheatstonesche Messbrücken) zum Einsatz, bei denen die Temperatureinflüsse ausgeglichen werden können, weshalb sich Messverfahren mit DMS insbesondere für solche Präzisionsmessungen eignen. So beschreibt beispielsweise die WO 2009/083111 A2 eine Drehmomentsensorvorrichtung mit DMS als Sensorelemente, die zur Auswertung in zwei Wheatstone-Brücken verschaltet sind, wobei die Widerstände von jeweils zwei DMS an zwei unterschiedlichen Stellen eines mit dem beweglichen Glied in Verbindung stehenden Bauteils angeordnet und zu jeweils einer Halbbrücke verschaltet sind und wobei zwei Halbbrücken jeweils eine Brückenschaltung ausbilden. Eine weitere Brückenschaltung wird durch die Widerstände von zwei weiteren DMS gebildet, die an zwei weiteren unterschiedlichen Stellen des Bauteils angeordnet sind. Die so ausgegebenen Drehmomentwerte werden dann miteinander verglichen.

**[0004]** Darüber hinaus ist es bekannt, Messflansche oder ähnliche Vorrichtungen zu verwenden, die mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an oder in diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenwirken. Derartige Messflansche können beispielsweise bei einem Gelenkarmroboter mit einem Gelenk einer Antriebseinheit verbunden oder in diese integriert sein.

**[0005]** Drehmomentsensorvorrichtungen mit Messflanschen sind beispielsweise aus der EP 0 575 634 B1 oder der DE 36 05 964 A1 bekannt.

**[0006]** Grundsätzlich haben die vorhergehend erwähnten Systeme zur Drehmomentenerfassung und Verfahren aus dem Stand der Technik den Nachteil, dass eine Verformung des Dehnungsmessstreifens unabhängig von der zu erfassenden Drehmomentbelastung, die beispielsweise durch Stauchungen des Dehnungsmessstreifens aufgrund von Querkraften, Axialkräften und Biegemomenten auf den Messflansch hervorgerufen werden können, zu diversen Signalen führen kann, die als Messfehler in die Signalauswertung Eingang finden, obwohl tatsächlich kein Fehler vorliegt. Um derartige Messungenauigkeiten und Abweichungen in der Signalauswertung zu verhindern, schlägt die DE 10 2014 210 379 A1 beispielsweise eine Drehmomentsensorvorrichtung mit einem Messflansch vor, der vier gleichförmig verteilte Messspeichen aufweist, wobei, in Drehrichtung des Messflansches gesehen, an zwei gegenüberliegenden Seiten der Messspeichen jeweils zwei DMS angeordnet sind. Die DMS sind dabei jeweils in mindestens zwei Brückenschaltungen verschaltet.

**[0007]** Eine solche Drehmomentsensorvorrichtung zieht jedoch auf Grund der Anzahl der DMS eine komplexe Auswertelektronik nach sich und eignet sich darüber hinaus nicht für Antriebseinheiten in Gelenkarmrobotern, bei denen konstruktiv bedingt gewisse radiale Kräfte einwirken können.

**[0008]** So ist beispielsweise in der nicht-veröffentlichten Deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2015 012 960.0 ein Manipulator beschrieben, bei dem die Gelenkarme durch zwei halbschalenartige Gehäusestrukturen gebildet werden, die im Zuge der Montage die Antriebseinheiten in den Gelenken zwischen Gliedern des Gelenkarms einspannen. Unter gewissen Toleranzbedingungen können hierbei nach der Montage permanent und radial wirkende Kräfte entstehen, die in den Messflansch und damit in die radial ausgerichteten Messspeichen geleitet werden und so die durch die Sensorelemente aufzunehmenden Verformungen der Messspeichen verfälschen.

**[0009]** Des Weiteren können Kräfte, die auf den Messflansch einwirken, in Erscheinung treten, die sich beispielsweise durch die über das Eigengewicht des Manipulators einstellende Hebelwirkung einstellen, wobei die Belastung insbesondere bei einem vollständig ausgestreckten Manipulator den größten Einfluss zeigt. Auch können die in den Antriebseinheiten zum Einsatz kommenden Getriebemechanismen, die die notwendige Untersetzung von einem elektrischen Antriebsmotor bereitstellen, vor allem in der Nähe der Achse der Glieder entsprechende axial wirkende Kräfte auf den Messflansch ausüben.

**[0010]** Im Zuge einer hochgenauen Messung von Drehmomenten und darüber hinaus zur Erzielung einer fehlerfreien Nachgiebigkeitssteuerung eines Manipulators, insbesondere eines Roboters der Leichtbauweise, gilt es, die negativen, die Steuerung des Manipulators beeinflussenden Faktoren auszuräumen bzw. so weit wie möglich zu reduzieren. Dies gilt insbesondere für Leichtbau-Manipulatoren, wie diese beispielsweise in der nicht-veröffentlichten Deutschen Patentanmeldung Nr. 10 2015 012 960.0 beschrieben sind.

**[0011]** Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Drehmomentsensorvorrichtung und ein entsprechendes Verfahren zur Erfassung von Drehmomenten bereitzustellen, bei denen die oben genannten Nachteile vermieden werden können und womit eine genauere und weniger fehleranfällige Erfassung von Drehmomenten möglich ist. Eine weitere Aufgabe ist es, einen entsprechend verbesserten Manipulator bzw. Gelenkarm für und einen entsprechenden Roboter bereitzustellen.

**[0012]** Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Drehmomentsensorvorrichtungen nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, durch das Verfahren zum Erfassen von Drehmomenten nach Anspruch 18 oder 19 und durch einen Manipulator nach Anspruch 20 sowie einen Roboter nach Anspruch 21 gelöst.

**[0013]** Die erfindungsgemäße Drehmomentsensorvorrichtung sowie das erfindungsgemäße Verfahren zum Erfassen von Drehmomenten richten sich grundsätzlich an alle möglichen Anwendungen, bei denen an einem beweglichen Bauteil auftretende Drehmomente erfasst werden sollen. Sie eignen sich insbesondere, jedoch nicht ausschließlich, für Anwendungen in der Robotik, wie beispielsweise im Zusammenhang mit Gelenkarmen von Robotern der Leichtbauweise, und darüber hinaus insbesondere für Anwendungen bei Manipulatoren mit mehrteiligen Gehäusestrukturen, wie vorhergehend erwähnt.

**[0014]** In einer ersten Ausführungsform schlägt die Erfindung eine Drehmomentsensorvorrichtung vor, die einen Messflansch aufweist, der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, wobei der Messflansch einen Flanschaußenring und einen Flanschinnenring aufweist, und wobei der Flanschaußenring und der Flanschinnenring durch zumindest zwei Messspeichen verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen. Die Messspeichen sind dabei derart ausgestaltet oder weisen solche Mittel auf, dass sie in Bezug auf eine in Radialrichtung auf diese Messspeichen wirkenden Kraft entkoppelt sind.

**[0015]** Unter Entkopplung soll dabei verstanden werden, dass eine im Wesentlichen in Radialrichtung auf die Messspeiche einwirkende Kraft, wie sie beispielsweise bei der Montage von Gehäusestrukturen der Armglieder unter gewissen Umständen auftreten können, nicht in die Messspeiche eingeleitet werden können, so dass deren Verformung bei der Drehmomentenerfassung von solchen Störkräften unbeeinflusst bleibt.

**[0016]** In einer zweiten Ausführungsform schlägt die Erfindung eine Drehmomentsensorvorrichtung vor, die einen Messflansch aufweist, der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, wobei der Messflansch einen Flanschaußenring und einen Flanschinnenring aufweist, und wobei der Flanschaußenring und der Flanschinnenring durch zumindest zwei Messspeichen verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen. Die Messspeichen sind dabei so ausgestaltet oder weisen solche Mittel auf, dass sie an dem Flanschaußenring in einer von der Radialrichtung abweichenden Richtung angreifen.

**[0017]** Zur Entkopplung bzw. zur Realisierung einer zur Radialrichtung exzentrischen Verbindung der Messspeiche mit dem Flanschaußenring ist die Drehmomentsensorvorrichtung in einer bevorzugten Ausführungsform gemäß der Erfindung so ausgestaltet, dass die Messspeichen einen Abschnitt aufweisen, der sich in Radialrichtung von dem Flanschinnenring erstreckt und in dem zumindest ein Sensorelement zur Erfassung der Verformung angeordnet ist, wobei sich die Messspeichen im Anschluss an diesen Abschnitt für das Sensorelement zu dem Flanschaußenring in zumindest zwei Verbindungsstreben aufspreizen bzw. teilen. D.h. diese Verbindungsstreben greifen an dem Flanschaußenring an Punkten an, die nicht auf der Radialerstreckung der übrigen Messspeiche, d.h. des Abschnitts für das zumindest eine Sensorelement, liegen.

**[0018]** Vorzugsweise sind die Verbindungsstreben spiegelsymmetrisch zu der durch den Abschnitt für das Sensorelement ausgebildeten Symmetrieachse angeordnet und schließen zueinander einen stumpfen Winkel ein.

**[0019]** Die so angeordneten Verbindungsstreben sind gegenüber Kräften, die senkrecht von außen, d.h. radial auf den Abschnitt für das Sensorelement wirken, nachgiebig. Derartige Radialkräfte werden daher nicht oder nur zu einem geringen Teil in den Abschnitt der Messspeiche eingeleitet, wodurch dieser radial nach außen zum dem Flanschaußenring entkoppelt ist. Kräfte, die von links oder rechts auf den Abschnitt für das Sensorelement eingeleitet werden, werden von den Verbindungsstreben gestützt

und aufgenommen, so dass diese Kräfte an dem Sensorelement vorbeigeleitet werden können.

**[0020]** Eine weitere Entkopplung der Messspeichen gegenüber Radialkräften wird dadurch bewerkstelligt, dass zwischen zwei Messspeichen zumindest eine Stützspeiche angeordnet ist, die sich in Radialrichtung zwischen dem Flanschinnenring und dem Flanschaußenring erstreckt, wobei die Stützspeiche zu den beiden Messspeichen äquidistant angeordnet ist und vorzugsweise eine im Wesentlichen gleiche Wandstärke wie die Verbindungsstreben aufweist. Die Stützspeiche grenzt mit den in Drehrichtung angrenzenden Verbindungsstreben jeweils eine Ausnehmung ein, wobei die Ausnehmungen zu der Stützspeiche spiegelsymmetrisch angeordnet sind.

**[0021]** Sowohl bei unmittelbar in Radialrichtung auf der Höhe des Abschnitts für das Sensorelement als auch seitlich hierzu einwirkenden Kräften wird auf Grund der speziellen Anordnung von Messspeichen mit Verbindungsstreben einerseits und von Stützspeichen andererseits sichergestellt, dass der Großteil der Kraftübertragung von außen nach innen stets über die Stützspeichen erfolgt. Für ein Drehmoment, das auf das Sensorelement wirkt, bleibt der Abschnitt von Störkräften frei und das Sensorelement ausschließlich empfindlich für die durch das Drehmoment hervorgerufene Verformung.

**[0022]** Bei einer Belastung des Abschnitts der Messspeiche für das Sensorelement, sei es durch das zu erfassende Drehmoment oder ggfs. auch durch Störkräfte, wird das Material dieses Abschnitts verformt. Dadurch wird die Oberfläche des Materials nicht nur einfach gestaucht oder gedehnt, sondern es tritt auch eine Wölbung in Erscheinung, die aus dem Druck und der endlichen Länge der Messspeiche bzw. des Abschnitts für das Sensorelement resultiert. Eine solche Wölbung würde jedoch wiederum das Messverhalten des Sensorelements negativ beeinflussen.

**[0023]** Um einen solchen Einfluss auf das Messergebnis zu umgehen, schlägt die Erfindung in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform vor, dass der Abschnitt für das Sensorelement in Axialrichtung des Messflansches im Vergleich zu der Abmessung des Messflansches eine geringere Abmessung aufweist; insbesondere vorzugsweise soll die Abmessung des Abschnitts für das Sensorelement unter Ausbildung einer Tasche die Hälfte der Abmessung des Messflansches betragen. Auf diese Weise ist es möglich, das Sensorelement, in Axialrichtung des Messflansches gesehen, exakt in der Mitte des Abschnitts anzuordnen. An dieser Stelle wäre eine Wölbung, tritt sie denn auf, am geringsten und hätte den kleinsten Einfluss auf die Erfassung der Verformung.

**[0024]** Der Messflansch wird vorzugsweise als einstückiges Bauteil, bspw. aus Aluminium, gegossen

und/oder gefräst, wobei die Taschen nachträglich in die Abschnitte der Messspeichen eingefräst werden können.

**[0025]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gemäß der Erfindung ist das zumindest eine Sensorelement auf der axialen Oberfläche des Abschnitts der Messspeiche angeordnet. Das Sensorelement wird flächig auf der Oberfläche des Abschnitts angeordnet, so dass es stirnseitig einer Mess- und Auswerteelektronik auf einer Leiterplatte gegenüberliegt, die mit dem Messflansch entsprechend verbunden ist.

**[0026]** Vorzugsweise handelt es sich bei dem Sensorelement um einen Dehnungsmesstreifen (DMS) und insbesondere vorzugsweise um eine DMS-Rosette oder eine Mehrfach-Scher-DMS-Anordnung. Derartige DMS liegen in Folienstrukturen vor und können auf einfache Art und Weise auf die Oberflächen der Taschen aufgeklebt werden, um so gemeinsam mit der Messspeiche verformbar zu sein. Auch ist es möglich, die DMS mittels Bonding auf den Oberflächen zu befestigen. DMS eignen sich im Zusammenhang mit den nachfolgend noch zu erläuternden Brückenverschaltungen für die hochpräzise Messung von Drehmomenten, da DMS bereits bei einer geringen Dehnung oder Stauchung ihren Widerstandswert ändern.

**[0027]** Alternativ ist es jedoch auch möglich, dass das zumindest eine Sensorelement in der axialen Oberfläche des Abschnitts der Messspeiche integriert ist. So können entsprechende Messstrukturen auf die Oberfläche der Abschnitte aufgebracht werden, indem diese Messstrukturen beispielsweise durch Lasern, Kratzen, Ätzen oder dergleichen eingebracht oder aufgedampft werden. Es können im Prinzip jedoch auch komplexere Sensoreinheiten mit einer integrierten Verstärker- und/oder Auswerteelektronik zum Einsatz kommen.

**[0028]** Unabhängig von der Wahl des Sensorelements ist es gemäß der Erfindung vorgesehen, dass die Sensorelektronik auf der Leiterplatte stets an einer Stelle angeordnet ist, die den gleichen Abstand zum Mittelpunkt des Sensorelements wie die Kontaktflächen des Sensorelements für die Verbindung zu der Sensorelektronik hat, die folglich auf dem gleichen Radius liegen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Verbindung bspw. durch Zug- oder Druckbelastung das Messergebnis nicht negativ beeinflussen kann, da sich diese Stelle im gleichen Maße wie das Sensorelement verformt, wodurch stets die Sensorelektronik in Bezug auf das Sensorelement ortsfest verbleibt.

**[0029]** Unabhängig von der Wahl der Sensorelemente sind in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform gemäß der Erfindung vier Messspeichen

mit Abschnitten für je zwei Sensorelemente vorgesehen, wobei die Messspeichen in Drehrichtung äquidistant zueinander angeordnet sind, und wobei die Sensorelemente von sich radial einander gegenüberliegenden Abschnitten jeweils in einer Brückenschaltung verschaltet sind.

**[0030]** Alternativ ist es auch möglich, dass bei vier Messspeichen mit Abschnitten für je zwei Sensorelemente die Sensorelemente von zwei in Drehrichtung benachbarten Abschnitten jeweils in einer Brückenschaltung verschaltet sind.

**[0031]** Diese Brückenschaltungen sind vorzugsweise als Wheatstone-Brückenschaltungen ausgestaltet, die aus zwei parallelen Spannungsteilern bestehen, so dass jeweils ein Spannungsteiler eine Halbbrücke bildet. Die Spannungsteiler wiederum werden jeweils durch zwei in Reihe angeordnete Widerstände gebildet. Die Sensorelemente, insbesondere bevorzugt die DMS, bilden in den Brückenschaltungen entsprechend variable Widerstände, wobei sich die Widerstandsänderungen von benachbarten Sensorelementen in entgegengesetzter Weise auf die Brückenspannung auswirken. Entsprechend wirken sich die Widerstandsänderungen von gegenüberliegenden Sensorelementen in gleicher Weise auf die Brückenspannung aus.

**[0032]** In beiden Fällen sind dann die Sensorelemente eines Abschnitts jeweils in einer Halbbrücke verschaltet, die einen Spannungsteiler innerhalb der Vollbrücke bildet.

**[0033]** In diesem Zusammenhang betrifft die Erfindung daher auch ein Verfahren zum Erfassen von Drehmomenten mittels einer Drehmomentsensorvorrichtung mit einem Messflansch, der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, und der einen Flanschaußenring und einen Flanschinnenring aufweist, wobei der Flanschaußenring und der Flanschinnenring durch vier in Drehrichtung des Messflansches äquidistant angeordnete Messspeichen verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen, und die einen Abschnitt aufweisen, der sich in Radialrichtung von dem Flanschinnenring erstreckt und in dem zwei Sensorelemente zur Erfassung der Verformung angeordnet sind, wobei das Verfahren aufweist:

- Erfassen einer Verformung der Messspeichen mittels der Sensorelemente, und
- Auswertung der von den Sensorelementen erzeugten Signale mittels zwei Brückenschaltungen, wobei die Sensorelemente von sich radi-

al einander gegenüberliegenden Abschnitten jeweils in einer Brückenschaltung und die Sensorelemente eines Abschnitts jeweils in einer Halbbrücke der Brückenschaltung verschaltet sind.

**[0034]** In einer anderen Ausführungsform schlägt die Erfindung ein Verfahren zum Erfassen von Drehmomenten vor, mittels einer Drehmomentsensorvorrichtung mit einem Messflansch, der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, und der einen Flanschaußenring und einen Flanschinnenring aufweist, wobei der Flanschaußenring und der Flanschinnenring durch vier in Drehrichtung des Messflansches äquidistant angeordnete Messspeichen verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen, und die einen Abschnitt aufweisen, der sich in Radialrichtung von dem Flanschinnenring erstreckt und in dem zwei Sensorelemente zur Erfassung der Verformung angeordnet ist, wobei das Verfahren aufweist:

- Erfassen einer Verformung der Messspeichen mittels der Sensorelemente, und
- Auswertung der von den Sensorelementen erzeugten Signale mittels zwei Brückenschaltungen, wobei die Sensorelemente von in Drehrichtung benachbarten Abschnitten jeweils in einer Brückenschaltung und die Sensorelemente eines Abschnitts jeweils in einer Halbbrücke der Brückenschaltung verschaltet sind.

**[0035]** Die Erfindung betrifft darüber hinaus auch einen Manipulator eines Roboters, der mehrere über Gelenke verbundene Glieder aufweist, wobei zumindest ein mittels eines Antriebs bewegliches Gelenk ein erstes Glied des Manipulators mit einem zweiten Glied des Manipulators drehbar verbindet, und wobei das Gelenk zumindest eine Drehmomentsensorvorrichtung nach einem der vorhergehend erläuterten Ausführungsformen zur Erfassung von an oder in dem Gelenk auftretenden Drehmomenten aufweist, sowie einen Roboter, der zumindest einen derartigen Manipulator aufweist.

**[0036]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung der anhand der beiliegenden Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele. Es zeigen:

**Fig. 1** eine perspektivische Explosionsdarstellung einer Drehmomentsensorvorrichtung gemäß der Erfindung;

**Fig. 2** eine Draufsicht auf eine sensorseitige Fläche eines Messflansches;

**Fig. 3** eine Draufsicht auf eine antriebsseitige Fläche dieses Messflansches;

**Fig. 4a** schematisch eine erste Schaltanordnung gemäß der Erfindung;

**Fig. 4b** eine erste Brückenschaltung bezogen auf die erste Schaltanordnung;

**Fig. 4c** eine zweite Brückenschaltung bezogen auf die erste Schaltanordnung;

**Fig. 5a** schematisch eine zweite Schaltanordnung gemäß der Erfindung;

**Fig. 5b** eine erste Brückenschaltung bezogen auf die zweite Schaltanordnung; und

**Fig. 5c** eine zweite Brückenschaltung bezogen auf die zweite Schaltanordnung.

**[0037]** In der **Fig. 1** ist exemplarisch eine Drehmomentsensorvorrichtung gemäß der Erfindung in einer Explosionsdarstellung gezeigt.

**[0038]** Einem Messflansch **1**, der der drehfesten Anbindung an ein bewegliches Bauteil einer nicht-dargestellten Antriebseinheit für ein Gelenk eines Manipulators eines Roboters dient, liegt eine Leiterplatte **2** gegenüber, die die Sensor- und Auswerteelektronik trägt. Die Leiterplatte **2** wird mit dem Messflansch **1** drehfest verbunden.

**[0039]** Die **Fig. 2** zeigt eine Draufsicht auf die sensorseitige Fläche des Messflansches **1**, während die **Fig. 3** die gegenüberliegende, der Antriebseinheit zugewandte Fläche dieses Messflansches **1** wiedergibt.

**[0040]** Der Messflansch **1** ist vorzugsweise als einstückiges Aluminiumbauteil gefräst und weist gemäß der Erfindung eine definierte geometrische Struktur auf.

**[0041]** Hierzu besteht der Messflansch **1** aus einem Flanschaußenring **3** und einem Flanschinnenring **4**. Vom Flanschinnenring **4** erstreckt sich in Axialrichtung zur Antriebseinheit eine Nabe **5**.

**[0042]** Zwischen dem Flanschinnenring **4** und dem Flanschaußenring **3** sind mehrere Verbindungselemente vorgesehen. So weist der Messflansch **1** in einem gleichförmigen Abstand von  $90^\circ$  vier Stützspeichen **6** auf, die sich in Radialrichtung zwischen dem Flanschinnenring **4** und dem Flanschaußenring **3** erstrecken.

**[0043]** Zwischen den Stützspeichen **6** sind jeweils in einem gleichen Abstand, also auch zueinander um  $90^\circ$  versetzt, vier Messspeichen **7** vorgesehen.

**[0044]** Gemäß der Erfindung bestehen die Messspeichen **7** jeweils aus einem sich in Radialrichtung von dem Flanschinnenring **4** erstreckenden Abschnitt **8**, der der Aufnahme eines Sensorelements **9** dient, das hier als ein Mehrfach-Scher-Dehnungsmessstreifen (DMS) ausgebildet ist.

**[0045]** Zum Flanschaußenring **3** hin teilt sich der Abschnitt **8** der Messspeiche **7** in zwei Verbindungsstreben **10** auf, die spiegelsymmetrisch zu dem Abschnitt **8** angeordnet sind und gemeinsam einen stumpfen Winkel vorzugsweise in einem Bereich von ca.  $120 - 150^\circ$  einschließen. Die Verbindungsstreben **10** sind mit dem Flanschaußenring **3** in einer Ausrichtung verbunden, die von der Radialrichtung abweicht.

**[0046]** Auf diese Art und Weise kann der Abschnitt **8** mit dem DMS **9** von jeglicher in Radialrichtung wirkenden Kraft entkoppelt werden. Radialkräfte werden dann hauptsächlich durch die Stützspeichen **6** zwischen dem Flanschaußenring **3** und dem Flanschinnenring **4** übertragen.

**[0047]** Die Verbindungsstreben **10** und die Stützspeichen **6** weisen die gleiche Wandstärke auf und schließen jeweils gemeinsam Ausnehmungen **11** ein, die dann symmetrisch und gleichförmig in Umfangsrichtung des Messflansches **1** verteilt sind. Die Verbindungsstreben **10** und der Flanschaußenring **3** schließen ebenfalls entsprechende Ausnehmungen **12** ein.

**[0048]** Die Verteilung und die Geometrie dieser Ausnehmungen **11** und **12**, insbesondere auch die Innenradien davon, sind so gewählt, dass alle Störkräfte auf die Abschnitte **8** der Messspeichen **7** vermieden oder zumindest weitestgehend abgeschwächt werden, so dass die Abschnitte **8** ausschließlich den durch Drehmomente induzierten Verformungen ausgesetzt sind, die es gilt mittels der DMS **9** zu erfassen.

**[0049]** Um die negativen Einflüsse von Wölbungen auf der Oberfläche der Abschnitte **8** auf das Messergebnis zu vermeiden, sind, wie aus der **Fig. 1** zu ersehen ist, die Abschnitte **8** mit einer im Vergleich zu der Materialstärke des Messflansches **1** in Axialrichtung reduzierten Materialstärke versehen, wodurch sich Taschen **13** ausbilden, die der Aufnahme der DMS **9** dienen.

**[0050]** Die **Fig. 4a** bis **Fig. 4c** zeigen eine erste Ausführungsform der im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Messflansch **1** und den darauf in den Taschen **13** flächig angeordneten DMS **9** zum Einsatz kommenden Verschaltung.

**[0051]** Bei vier Messspeichen **7** mit jeweils vier Sensorelementen **9**, wovon sich jeweils zwei Messspeichen **7** gegenüberliegen, sind die DMS **9** über genau zwei Vollbrücken verschaltet, mit zwei Halbbrücken, die sich gegenüberstehen.

**[0052]** Durch eine solche Anordnung kann ein „Quetschen“ innerhalb einer Vollbrücke, d.h. die zu beiden Seiten bezogen auf die Achse des Messflansches **1** unterschiedliche Ausrichtung einer Verformung der Abschnitte **8**, bereits zum größten Teil kompensiert

werden, da die Viertelbrücken jeweils so angeregt werden, dass das Signal, das von der Sensorelektronik erfasst wird, in der Summe gleichbleibt.

**[0053]** Die Scher-DMS **9** weisen jeweils zwei rechtwinklig zueinander versetzte Dehnungsmessstreifenanordnungen auf, wobei der Scheitelpunkt in Radialrichtung ausgerichtet ist, nämlich D11 und D12, D21 und D22, D31 und D32 sowie D41 und D42. In den **Fig. 4b,c** und **5b,c** entsprechen diese Bezeichnungen den sich verändernden Widerständen in den Spannungsteilern.

**[0054]** Ein erste Vollbrücke (**Fig. 4b**) wird durch eine Brückenschaltung zwischen radial einander gegenüberliegenden DMS **9** gebildet, mit D11 und D12 als eine erste Halbbrücke und D32 und D31 als eine zweite Halbbrücke. In analoger Weise bildet sich eine zweite Vollbrücke (**Fig. 4c**) aus einer Brückenschaltung zwischen D21 und D22 als erste Halbbrücke und zwischen D42 und D41 als zweite Halbbrücke aus. Die erste und die zweite Vollbrücke sind zueinander um  $90^\circ$  versetzt, analog der Messspeichen **7**.

**[0055]** Wie bereits erwähnt, besteht bei Manipulatoren von Gelenkarmrobotern das Problem, dass insbesondere im ausgestreckten Zustand des Manipulators auf den Messflansch **1** Kippmomente ausgeübt werden können, die die Verformung der Messspeichen **7** und damit das Messergebnis beeinflussen können.

**[0056]** Dieses „Kippen“ bzw. „Klemmen“ des Messflansches **1** lässt sich durch die gewählte elektrische Verschaltung mit den zwei Vollbrücken, wie vorhergehend erläutert, kompensieren, da sich durch den Versatz um  $90^\circ$  der zweiten zur ersten Vollbrücke die gleichen Kräfte, die die erste Vollbrücke beeinflussen, bei der zweiten Vollbrücke, die ja die gleiche Verschaltungsstruktur aufweist, genau umgekehrt auswirken. So genügt es, einfach den Mittelwert aus beiden Vollbrücken zu bilden, so dass hierdurch der Einfluss der Kippmomente kompensiert wird.

**[0057]** Die **Fig. 5a** bis **c** zeigen eine weitere mögliche Verschaltung der DMS **9**.

**[0058]** Hierbei sind D11 und D12 als erste Halbbrücke mit D42 und D41 als zweite Halbbrücke in einer ersten Vollbrücke zusammengefasst (**Fig. 5b**). Die zweiten Vollbrücke (**Fig. 5c**) wird durch D21 und D22 als erste Halbbrücke und durch D32 und D31 als zweite Halbbrücke gebildet.

**[0059]** Um den Einfluss des Getriebes der Antriebseinheit, das auf den Messflansch **1** in der Nähe der Achse in Axialrichtung einen Druck ausübt, gering zu halten, ist die Symmetrie der oben erwähnten Verschaltungen geeignet, da hierdurch alle DMS **9** gleichmäßig belastet werden, was bedeutet, dass in

der Summe kein Ausschlag im Gesamtsignal auftritt, denn entweder werden alle DMS **9** gestreckt, was zu einer Widerstandsvergrößerung führt, oder alle DMS **9** werden gestaucht, was zu einer Widerstandsverringerung führt, wobei das Maß der Streckung oder Stauchung stets gleichmäßig erfolgt, da alle DMS **9** in einem gleichen Winkel zur einwirkenden Druckkraft des Getriebes stehen.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- WO 2009/083111 A2 [0003]
- EP 0575634 B1 [0005]
- DE 3605964 A1 [0005]
- DE 102014210379 A1 [0006]
- DE 102015012960 [0008, 0010]

## Patentansprüche

1. Drehmomentsensorvorrichtung mit einem Messflansch (1), der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, und der einen Flanschaußenring (3) und einen Flanschinnenring (4) aufweist, wobei der Flanschaußenring (3) und der Flanschinnenring (4) durch zumindest zwei Messspeichen (7) verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messspeichen (7) derart ausgestaltet sind, dass sie in Bezug auf eine in Radialrichtung auf diese Messspeichen (7) wirkenden Kraft entkoppelt sind.

2. Drehmomentsensorvorrichtung mit einem Messflansch (1), der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, und der einen Flanschaußenring (3) und einen Flanschinnenring (4) aufweist, wobei der Flanschaußenring (3) und der Flanschinnenring (4) durch zumindest zwei Messspeichen (7) verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messspeichen (7) an dem Flanschaußenring (3) in einer von der Radialrichtung abweichenden Richtung angreifen.

3. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, bei der die Messspeichen (7) einen Abschnitt (8;13) aufweisen, der sich in Radialrichtung von dem Flanschinnenring (4) erstreckt und in dem zumindest ein Sensorelement (9) zur Erfassung der Verformung angeordnet ist, und bei der sich die Messspeichen (7) im Anschluss an den Abschnitt (8;13) für das Sensorelement (9) zu dem Flanschaußenring (3) in zumindest zwei Verbindungsstreben (10) aufspreizen.

4. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 3, bei der die Verbindungsstreben (10) spiegelsymmetrisch zu der durch den Abschnitt (8;13) für das Sensorelement (9) ausgebildeten Symmetrieachse angeordnet sind.

5. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, bei der die Verbindungsstreben (10) zueinander einen stumpfen Winkel einschließen.

6. Drehmomentsensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, bei der der Abschnitt (8;13) für das Sensorelement (9) in Axialrichtung des Messflansches (1) im Vergleich zu der Abmessung des Messflansches (1) eine geringere Abmessung aufweist.

7. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 6, bei der die Abmessung des Abschnitts (8;13) für

das Sensorelement (9) der Hälfte der Abmessung des Messflansches (1) entspricht.

8. Drehmomentsensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 7, bei der zwischen den zwei Messspeichen (7) zumindest eine Stützspeiche (6) angeordnet ist, die sich in Radialrichtung zwischen dem Flanschinnenring (4) und dem Flanschaußenring (3) erstreckt.

9. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 8, bei der die Stützspeiche (6) zu den beiden Messspeichen (7) äquidistant angeordnet ist.

10. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, bei der die Wandstärke der Stützspeiche (6) im Wesentlichen der Wandstärke der Verbindungsstreben (10) entspricht.

11. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 8, 9 oder 10, bei der die Stützspeiche (6) mit den in Drehrichtung angrenzenden Verbindungsstreben (10) jeweils eine Ausnehmung (11) eingrenzt, wobei die Ausnehmungen (11) zu der Stützspeiche (6) spiegelsymmetrisch angeordnet sind.

12. Drehmomentsensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 11, bei der das zumindest eine Sensorelement (9) auf der axialen Oberfläche des Abschnitts (8;13) der Messspeiche (7) angeordnet ist.

13. Drehmomentsensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 11, bei der das zumindest eine Sensorelement (9) in der axialen Oberfläche des Abschnitts (8;13) der Messspeiche (7) integriert ist.

14. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, bei der vier Messspeichen (7) mit Abschnitten (8;13) für je zwei Sensorelemente (9) vorgesehen sind, wobei die Messspeichen (7) in Drehrichtung äquidistant zueinander angeordnet sind, und wobei die Sensorelemente (9) von sich radial einander gegenüberliegenden Abschnitten (8;13) jeweils in einer Brückenschaltung verschaltet sind.

15. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, bei der vier Messspeichen (7) mit Abschnitten (8;13) für je zwei Sensorelemente (9) vorgesehen sind, wobei die Messspeichen (7) in Drehrichtung äquidistant zueinander angeordnet sind, und wobei die Sensorelemente (9) von zwei in Drehrichtung benachbarten Abschnitten (8;13) jeweils in einer Brückenschaltung verschaltet sind.

16. Drehmomentsensorvorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, bei der die Sensorelemente (9) eines Abschnitts (8;13) jeweils in einer Halbbrücke verschaltet sind.

17. Drehmomentsensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, bei der das Sensorelement (9) als Mehrfach-Scher-Dehnmessstreifenanordnung mit zumindest zwei Dehnmessstreifen ausgebildet ist.

18. Verfahren zum Erfassen von Drehmomenten mittels einer Drehmomentsensorvorrichtung mit einem Messflansch (1), der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, und der einen Flanschaußenring (3) und einen Flanschinnenring (4) aufweist, wobei der Flanschaußenring (3) und der Flanschinnenring (4) durch vier in Drehrichtung des Messflansches (1) äquidistant angeordnete Messspeichen (7) verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen, und die einen Abschnitt (8;13) aufweisen, der sich in Radialrichtung von dem Flanschinnenring (4) erstreckt und in dem zwei Sensorelemente (9) zur Erfassung der Verformung angeordnet sind, wobei das Verfahren aufweist:

- Erfassen einer Verformung der Messspeichen (7) mittels der Sensorelemente (9), und
- Auswertung der von den Sensorelementen (9) erzeugten Signale mittels zwei Brückenschaltungen, wobei die Sensorelemente (9) von sich radial einander gegenüberliegenden Abschnitten (8;13) jeweils in einer Brückenschaltung und die Sensorelemente (9) eines Abschnitts (8;13) jeweils in einer Halbbrücke der Brückenschaltung verschaltet sind.

19. Verfahren zum Erfassen von Drehmomenten mittels einer Drehmomentsensorvorrichtung mit einem Messflansch (1), der ausgestaltet ist, mit einem beweglichen Bauteil zur Erfassung von an diesem Bauteil auftretenden Drehmomenten zusammenzuwirken, und der einen Flanschaußenring (3) und einen Flanschinnenring (4) aufweist, wobei der Flanschaußenring (3) und der Flanschinnenring (4) durch vier in Drehrichtung des Messflansches (1) äquidistant angeordnete Messspeichen (7) verbunden sind, die ausgestaltet sind, sich unter Einwirkung eines Drehmoments zu verformen, und die einen Abschnitt (8;13) aufweisen, der sich in Radialrichtung von dem Flanschinnenring (4) erstreckt und in dem zwei Sensorelemente (9) zur Erfassung der Verformung angeordnet ist, wobei das Verfahren aufweist:

- Erfassen einer Verformung der Messspeichen (7) mittels der Sensorelemente (9), und
- Auswertung der von den Sensorelementen (9) erzeugten Signale mittels zwei Brückenschaltungen, wobei die Sensorelemente (9) von in Drehrichtung benachbarten Abschnitten (8;13) jeweils in einer Brückenschaltung und die Sensorelemente (9) eines Abschnitts (8;13) jeweils in einer Halbbrücke der Brückenschaltung verschaltet sind.

20. Manipulator eines Roboters, der mehrere über Gelenke verbundene Glieder aufweist, wobei zumin-

dest ein mittels eines Antriebs bewegliches Gelenk ein erstes Glied des Manipulators mit einem zweiten Glied des Manipulators drehbar verbindet, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gelenk zumindest eine Drehmomentsensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17 zur Erfassung von an oder in dem Gelenk auftretenden Drehmomenten aufweist.

21. Roboter aufweisend zumindest einen Manipulator nach Anspruch 20.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

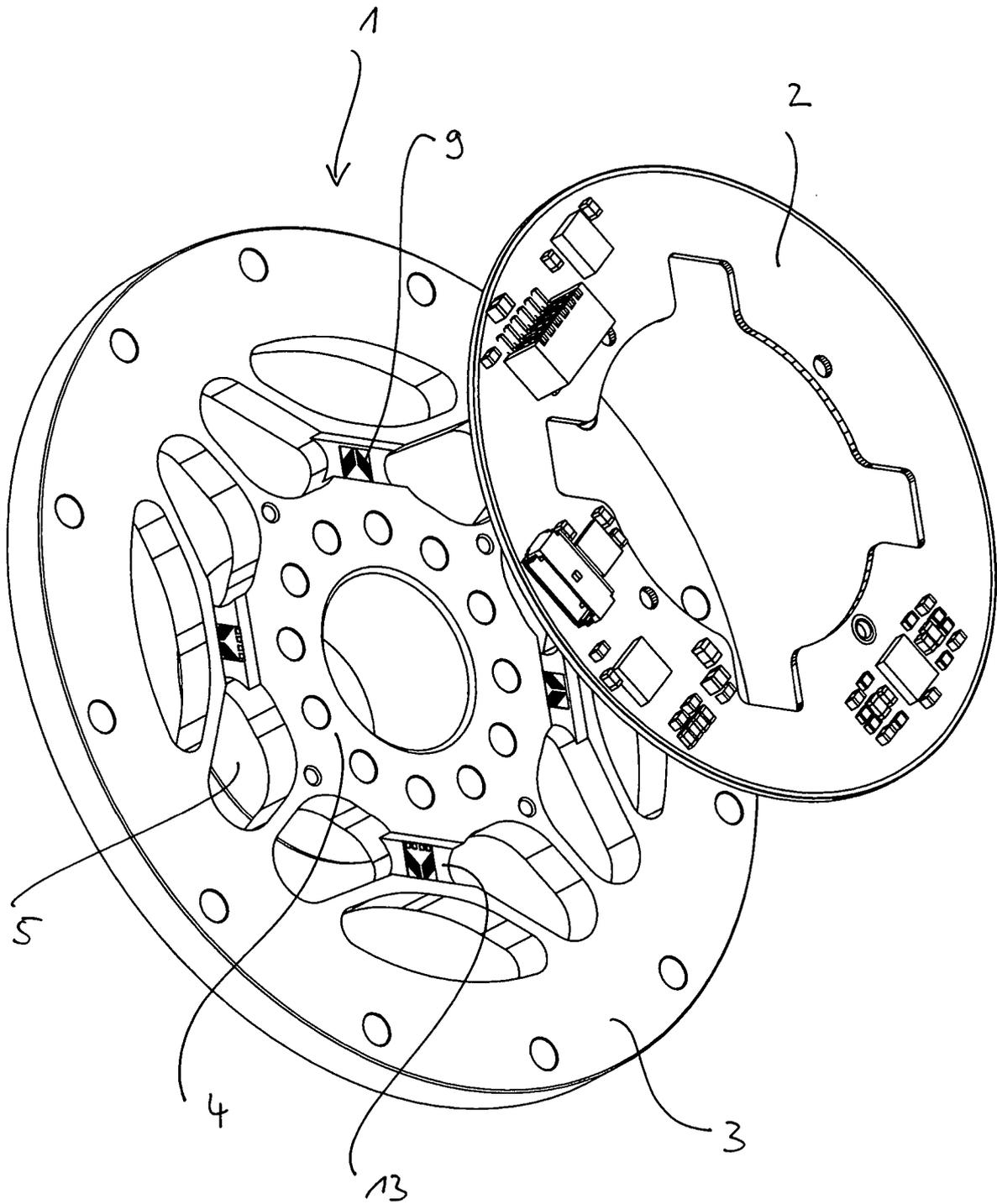


Fig. 1

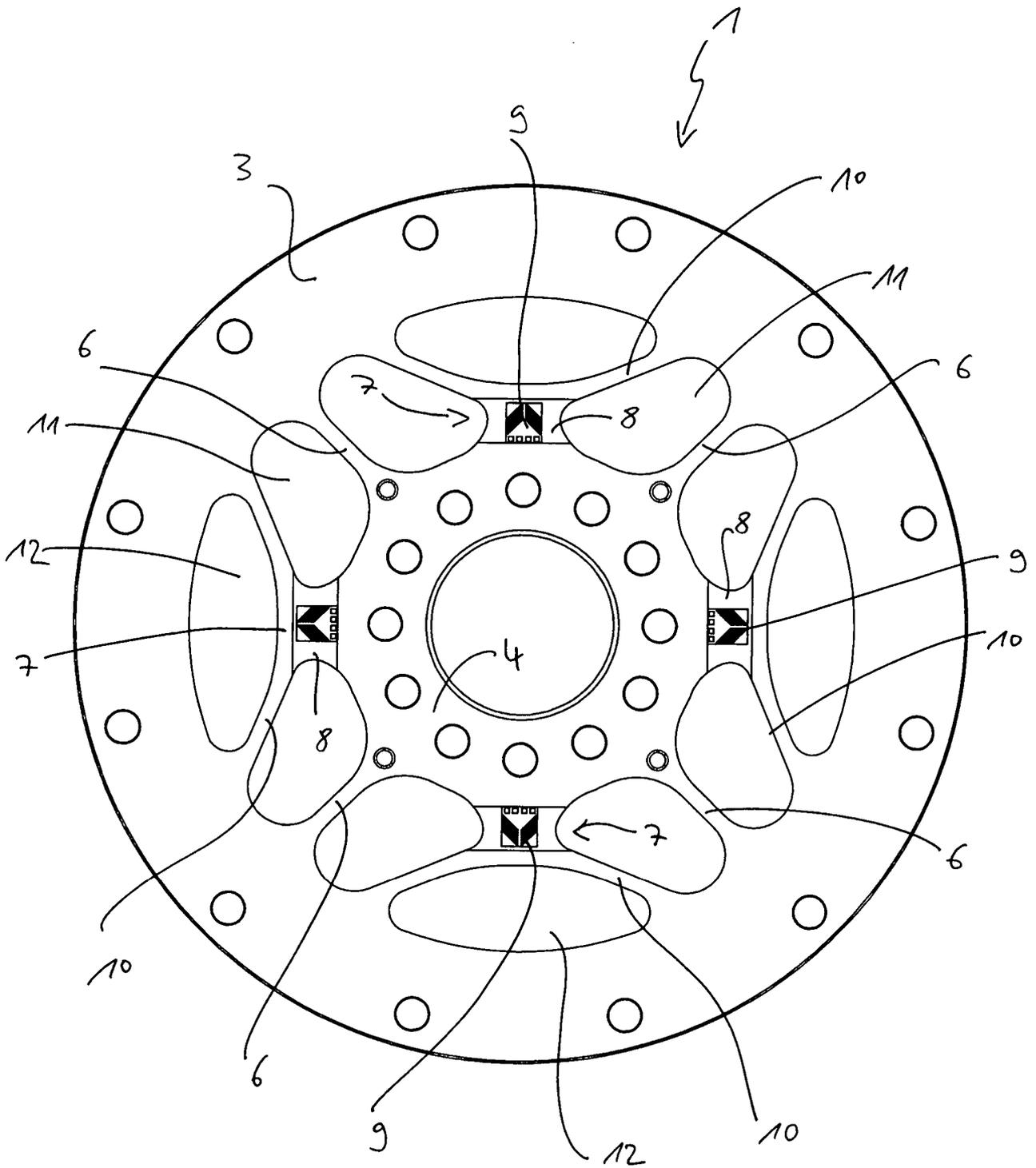


Fig. 2

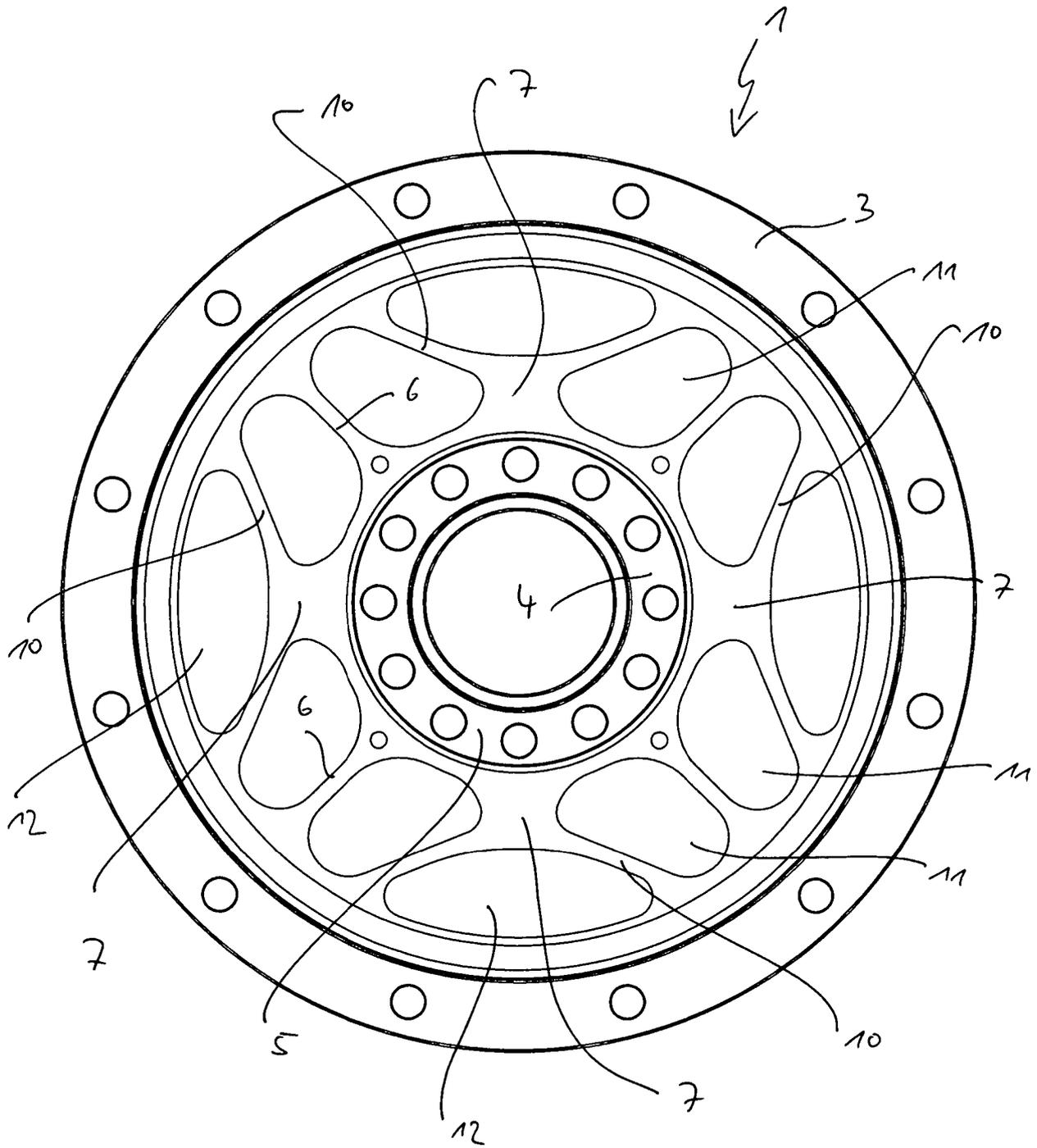


Fig. 3

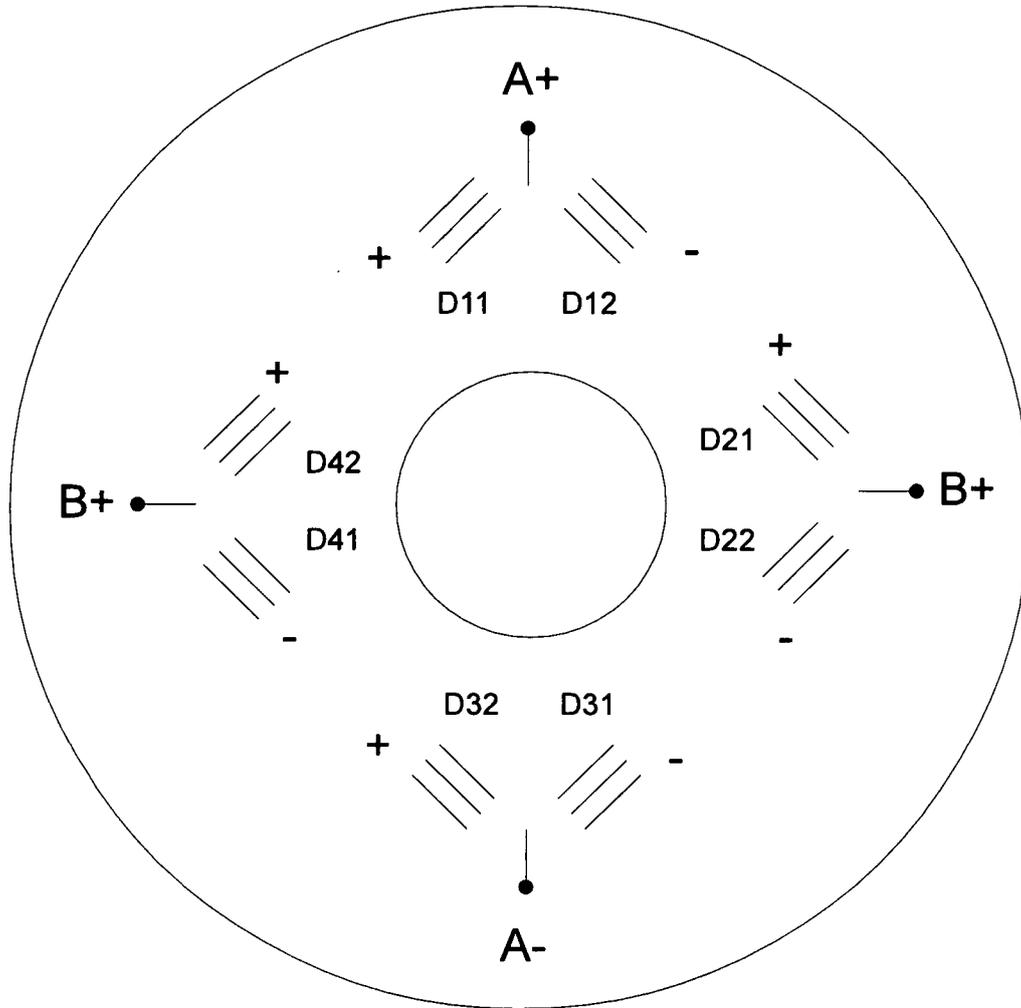


Fig. 4a

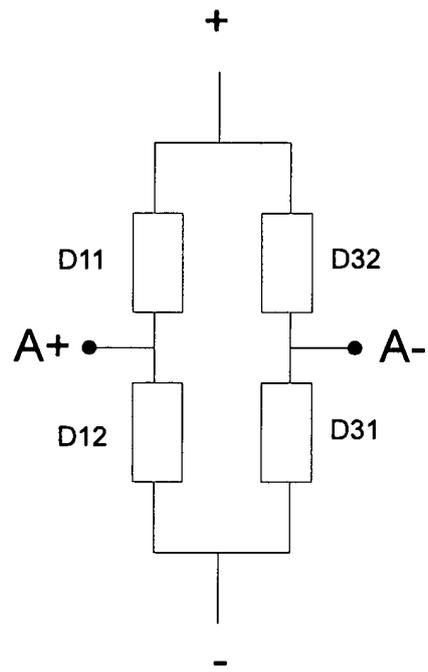


Fig. 4b

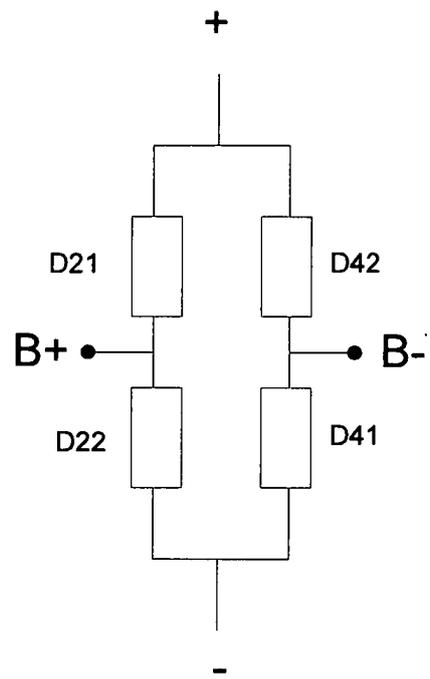


Fig. 4c

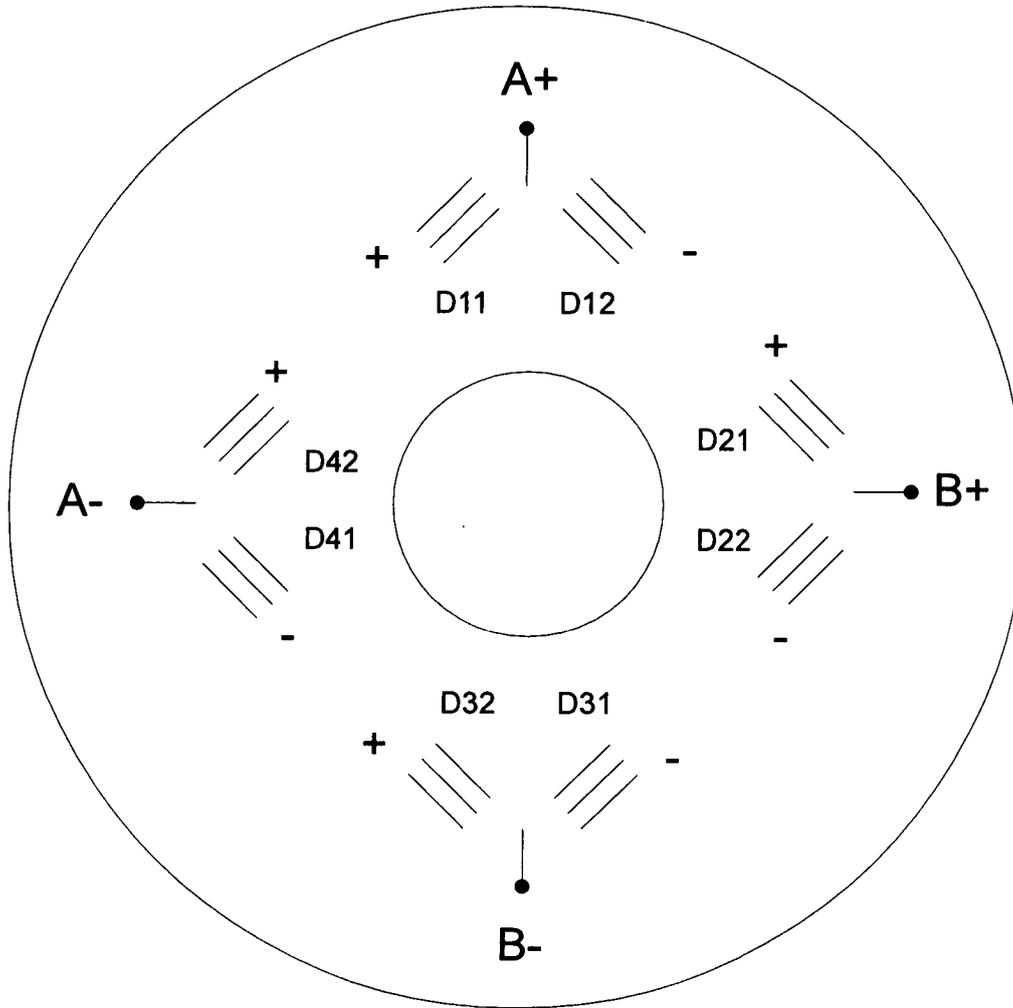


Fig. 5a

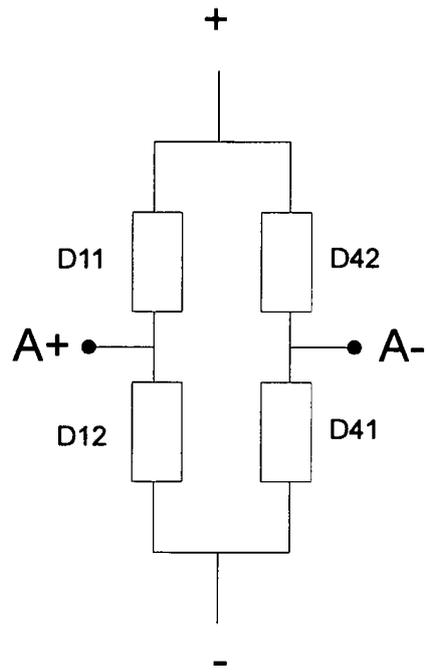


Fig. 5b

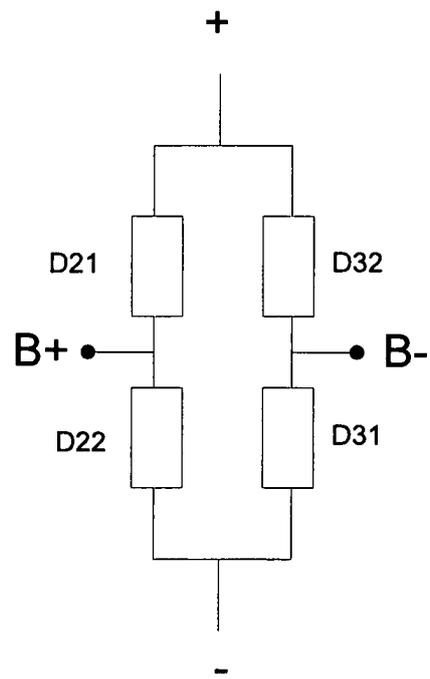


Fig. 5c