



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 063 099 A1** 2009.07.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 063 099.0**

(22) Anmeldetag: **28.12.2007**

(43) Offenlegungstag: **02.07.2009**

(51) Int Cl.⁸: **B25J 19/06** (2006.01)

(71) Anmelder:

KUKA Roboter GmbH, 86165 Augsburg, DE

(74) Vertreter:

LICHTI Patentanwälte, 76227 Karlsruhe

(72) Erfinder:

Bischoff, Rainer, 86163 Augsburg, DE; Heinze, Eugen, 86157 Augsburg, DE; Kurth, Johannes, Dr., 86163 Augsburg, DE; Schreiber, Günter, Dr., 86316 Friedberg, DE; Zimmermann, Uwe, Dr., 86152 Augsburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

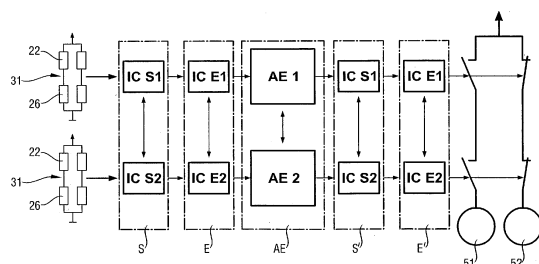
EP 14 45 075 A2
US 46 41 251 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Roboter und Verfahren zum Überwachen der Momente an einem solchen**

(57) Zusammenfassung: Um die Sicherheit eines Roboters, der mit anderen Robotern, Gegenständen oder Menschen in Berührung kommen kann, zu erhöhen, sieht die Erfindung bei einem derartigen Roboter mit mindestens zwei Gelenken und über jeweils mindestens ein Gelenk relativ zueinander beweglichen Teilen vor, dass mindestens ein Momente erfassender Sensor (31) an mindestens einem beweglichen Teil (3, 4, 5', 6, 7) angeordnet ist, dass Sensorkomponenten (21', 22.1, 22.2) des Sensors (31) zur redundanten Erfassung eines Moments ausgebildet sind oder für die redundante Erfassung eines Moments mindestens zwei Sensoren (31) vorgesehen sind und dass redundante Auswerteeinrichtungen zur redundanten Auswertung vorgesehen sind. Zur Erhöhung der Sicherheit sieht die Erfindung weiterhin ein Verfahren zum Überwachen von Momenten an einem derartigen Roboter vor, bei dem mindestens ein Moment an mindestens einem beweglichen Teil (3, 4, 5', 6, 7) mittels mindestens zweier Sensorkomponenten eines Sensors (31) oder mittels zweier Sensoren (31) redundant erfasst und redundant ausgewertet wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Roboter mit mindestens zwei Gelenken und über jeweils mindestens ein Gelenk relativ zueinander bewegliche Teile sowie ein Verfahren zum Überwachen von Momenten an einem Roboter, der mindestens zwei Gelenke und über jeweils mindestens ein Gelenk relativ zueinander bewegliche Teile aufweist.

[0002] Gegenstand der Erfindung ist ein Roboter grundsätzlich gemäß EN ISO 1018-1 Ziff. 3.18 bzw. EN ISO 8373 Ziff. 2.6 in Form eines automatisch gesteuerten, frei programmierbaren Mehrzweck-Manipulators, der in drei oder mehr Achsen programmierbar ist und entweder in einem festen Ort oder beweglich angeordnet sein kann, ohne dass der Einsatzbereich auf die Automatisierungstechnik eingeschränkt ist, und insbesondere ein Gelenkroboter gemäß EN ISO 1018-1 Ziff. 3.15.5.

[0003] Die bisherige Strategie einen Roboter sicher zu machen, besteht darin, ihn durch einen Zaun zu umschließen und dadurch einen Kontakt zwischen Menschen und Robotern zu verhindern. Um die Reichweite, bzw. den Arbeitsraum des Roboters in sicherer Technik zu beschränken, werden seine Achsen durch mechanische Endschalter begrenzt. Dreht der Roboter so weit, dass er eine solche Grenze erreicht, wird er abgeschaltet.

[0004] Es besteht das Bestreben, in verstärktem Maße Roboter untereinander und mit Menschen kooperieren zu lassen und dabei soll in letzterem Fall ein Mensch ohne Schutzzaun mit einem Roboter einen Arbeitsraum teilen, um z. B. eine gemeinsame Arbeit auszuführen. Bei solchen Anwendungen spielt die Sicherheit eine entscheidende Rolle. Der Roboter soll für den Menschen keine Gefährdung darstellen. Eine Möglichkeit, den Roboter sicher zu machen, besteht darin seine Kraft oder allgemeiner die kinetische Energie zu begrenzen. Auch die Erkennung einer Kollision und eine geeignete Reaktion hierauf können zu einer höheren Sicherheit des Roboters führen. So wurde schon vorgeschlagen, bewegliche Roboterteile mit äußeren Sensoren zu versehen bzw. zu ummanteln, insbesondere in diversitärer Form durch taktile und kapazitive Sensoren.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Roboter zu schaffen, der mit Dritten, insbesondere Menschen sicher kooperieren kann. Der Erfindung liegt weiterhin die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum sicheren Arbeiten eines Roboters anzugeben.

[0006] Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe bei einem Roboter der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass mindestens ein Momente erfassender Sensor an mindestens einem beweglichen Teil angeordnet ist, dass Sensorkomponenten des

Sensors zur redundanten Erfassung eines Moments ausgebildet sind oder für die redundante Erfassung eines Moments mindestens zwei Sensoren vorgesehen sind und dass redundante Auswerteeinrichtungen zur redundanten Auswertung vorgesehen sind.

[0007] Ein gattungsgemäßes Verfahren sieht zur Lösung der genannten Aufgabe vor, dass mindestens ein Moment an mindestens einem beweglichen Teil mittels mindestens zweier Sensorkomponenten eines Sensors oder mittels zweier Sensoren redundant erfasst und redundant ausgewertet wird.

[0008] Die Erfassung der Messwerte kann direkt oder auch indirekt erfolgen. Die redundante Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren ist derart, dass den Anforderungen SIL 2 und SIL 3 gemäß der Norm DIN EN 61508 bzw. der Performance Level PL d und PL e der DIN EN ISO 13849-1:2006 genügen.

[0009] Dadurch, dass erfindungsgemäß ein Roboter mit mindestens zwei Sensoren zur zweifachen Erfassung ein und desselben Moments als Messgröße ausgebildet ist bzw. ein Sensor mindestens zwei Sensorkomponenten zur Erfassung ein und desselben Moments als Messgröße aufweist, wird die Voraussetzung geschaffen, dass im Weiteren durch eine Auswerteeinheit schon die richtige Funktion der Sensoren bzw. Sensorkomponenten überwacht werden kann und im Übrigen die gesamte weitere Verarbeitung der durch die Sensoren gemessenen Messwerte der Messgröße "Moment".

[0010] Die Erfindung beinhaltet also die redundante und vorzugsweise diversitäre Messung jeweils ein und desselben Moments als Messgröße.

[0011] Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung kann dabei zur Erhöhung der Sicherheit vorgesehen sein, dass insbesondere die Sensoren unterschiedlich ausgebildet sind, sei es, dass derartige Momentensensoren bei gleichem Messprinzip von unterschiedlichen Herstellern stammen, sei es, dass sie auf unterschiedlichen Messprinzipien beruhen, wie beispielsweise opto-elektrische Sensoren oder den Motorstrom überwachende Sensoren. In bevorzugter Ausgestaltung ist vorgesehen, dass ein Sensor mindestens einen Dehnungsmessstreifen als Sensorkomponente aufweist, da mit solchen in einfacher Art Momente erfasst werden können.

[0012] Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sehen dabei vor, dass Sensorkomponenten als mindestens zwei Messbrücken verschaltet sind, wobei insbesondere eine Messplatte eine Vollbrücke, insbesondere eine Wheatstone Wende-Brücke ist und/oder, dass mindestens eine Messbrücke eine Halbbrücke ist.

[0013] Eine bevorzugte Ausgestaltung zeichnet sich aus durch eine Überwachungseinrichtung zur Überwachung einer Versorgungsspannung an mindestens einem Sensor.

[0014] Dies ist insbesondere sinnvoll, wenn Sensoren in Form einer Halbbrücke mit einem Dehnungsstreifen eingesetzt werden. Bei der Abweichung der Versorgungsspannung von einem Sollwert kann der Roboter vorsorglich abgeschaltet werden. Alternativ kann der Messwert des Momentensensors abhängig von der Versorgungsspannung umgerechnet werden.

[0015] Die Versorgungsspannung der Messbrücken kann unterschiedlich ausgeprägt werden, um Diversität zu erzeugen. So können Sensoren so angeordnet werden, dass ihre Wirkungen entgegengesetzt sind. Die Summe beider Signale bleibt dann konstant. So kann z. B. ein Signal einer Sinus-Funktion entsprechen, das andere einer Cosinus-Funktion oder allgemein ein Phasenversatz zwischen ihnen bestehen. Auch können die Signale im Hinblick auf Diversität unterschiedliche Frequenz und/oder Amplitude haben. Vor einer Analog-Digital-Wandlung erfolgt eine Signalfilterung.

[0016] Weiter sieht die Erfindung eine Temperaturüberwachung vor, mittels derer überwacht wird, dass die Temperatur innerhalb eines vorgegebenen Bereichs liegt und bei Verlassen des Bereichs den Roboter abschaltet. Bei der Auswertung der Momentensensoren wird die aktuelle Temperatur berücksichtigt.

[0017] Eine konkrete Weiterbildung des Erfindungsgedankens zeichnet sich aus durch mindestens eine Vergleichseinrichtung zum Vergleich der durch mindestens zwei Sensorkomponenten oder Sensoren erfassten Messwerte des gleichen Moments. Eine derartige Vergleichseinrichtung ist vorzugsweise sensornah, also in unmittelbarer Nähe der Sensoren am Manipulator angeordnet.

[0018] Zusätzlich oder alternativ kann neben einer Überwachung von Momentengrenzwerten auch vorgesehen sein, dass gemessene Werte mit sich aus einem Model für die jeweilige Situation ergebenden Werten verglichen werden. Hierdurch können zum Erkennen von Sensorfehlern Plausibilitätsbetrachtungen durchgeführt werden.

[0019] Darüber hinaus kann vorgesehen sein, dass Referenzpositionen des Roboters angefahren und/oder Referenzbewegungen durchgeführt werden und die Funktionalität von Sensoren bei diesen überprüft wird.

[0020] Zur Reaktion auf eine Fehlererkennung in der Sensor- und Bearbeitungskette sieht die Erfindung eine Einrichtung zum Abschalten des Roboters

oder zum Einleiten eines sicheren Zustandes vor, wenn durch mindestens zwei Sensorkomponenten oder Sensoren erfasste Messwerte des gleichen Moments sich über einen vorgegebenen Toleranzbereich hinaus unterscheiden.

[0021] Die Verarbeitung der Messwerte erfolgt durch geeignete Recheneinheiten, wobei solche Mikro-Prozessoren oder -Controller, aber auch Digitalsignalprozessoren oder Feldprogrammierbare Gate Arrays sein können. Da die Einrichtungen zur Messwertverarbeitung erfindungsgemäß regelmäßig zweikanalig und damit redundant ausgebildet sind, ist in bevorzugter Ausgestaltung vorgesehen, dass die vorgenannte Recheneinheit diversitär ausgebildet sind, d. h. sie kann zwar von einem Hersteller, nicht aber aus der gleichen Serie stammende Mikro-Prozessoren oder Controller, vorzugsweise aber beispielsweise solche unterschiedlicher Hersteller in den verschiedenen Zweigen aufweisen.

[0022] Während zur Übertragung grundsätzlich vorgesehen sein kann, dass das Übertragen der Daten mit einer Prüfkennzahl, mit einer Prüfziffer versehen werden, sieht eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung darüber hinaus vor, dass Messwerte analog oder digital über mindestens zwei Kanäle an eine Recheneinheit übertragen werden.

[0023] Die Überprüfung von Signale empfangenden Eingängen kann durch Querschlusstests und/oder Zweikanaligkeitsprüfungen durchgeführt werden.

[0024] Schließlich liegt es im Rahmen der Erfindung, dass die in den parallel arbeitenden Recheneinheiten eingesetzte Software diversitär ausgebildet ist, d. h. zumindest über unterschiedliche Compiler kompiliert wurde. Soweit für beide Rechner ein Programm erstellt wurde, ist dieses nach dem Vier-Augen-Prinzip zu überprüfen; vorzugsweise sind aber Programme eingesetzt, die unabhängig voneinander entwickelt wurden. Zur Realisierung sicherer Ausgänge der Recheneinheiten werden Signalkückführung und Testpulse vorgesehen.

[0025] Die gesamte Messwertverarbeitung erfolgt in Echtzeit. Dies beinhaltet, dass der Roboter abgeschaltet wird bzw. rechtzeitig eine geeignete Gegenmaßnahme eingeleitet wird, bevor eine Gefahrensituation für einen Menschen entsteht. Der Roboter kann aber erst abgeschaltet werden, wenn eine Gefahrensituation bzw. Fehlverhalten erkannt wurde. Das System benötigt Zeit, um eine Gefahrensituation zu erkennen und eine geeignete Reaktion einzuleiten. Die Dauer, wie lange eine Gefahr bzw. in der ein Moment unkontrolliert wirken darf, legt fest, in welcher Zeit ein Roboter abgeschaltet bzw. eine Gefahr behoben werden muss. Liegt beispielsweise eine Fehlfunktion vor und wird einem Roboter unkontrolliert Energie zugeführt, kann der Roboter Energie aufbauen, bis eine

geeignete Reaktion eingeleitet ist. Die Zeit, bis eine geeignete Reaktion eingeleitet werden muss, hängt davon ab, wie schnell einem System Energie zugeführt werden kann und welcher maximale Wert akzeptabel ist.

[0026] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen aus der nachfolgenden Beschreibung, in der Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im Einzelnen erläutert sind. Dabei zeigt bzw. zeigen:

[0027] [Fig. 1](#) einen erfindungsgemäßen Roboter in schematischer Darstellung;

[0028] [Fig. 2a](#), b einen erfindungsgemäß zur Momentenüberwachung einsetzbaren Dehnungsmessstreifen in Draufsicht ([Fig. 2a](#)) und dessen Anordnung an einem Bauteil ([Fig. 2b](#));

[0029] [Fig. 3](#) einen anderweitigen Dehnungsmessstreifen mit drei Abgriffspunkten, integriert in eine Halbbrücke;

[0030] [Fig. 4a](#), b einen Sensor in Form einer Halbbrücke mit zwei Dehnungsmessstreifen ([Fig. 4a](#)) und eine Anordnung an einem Bauteil ([Fig. 4b](#));

[0031] [Fig. 5](#) einen Sensor in Form einer Vollbrücke;

[0032] [Fig. 6](#) ein Blockschaltbild der erfindungsgemäß vorgesehenen Momentenüberwachung;

[0033] [Fig. 7](#) ein detailliertes Blockschaltbild der Sendeeinheit der [Fig. 6](#) zum Generieren eines sicheren Protokolls zur Übertragung der Messdaten;

[0034] [Fig. 8](#) ein Ablaufdiagramm zum erfindungsgemäßen Verfahren der Momentenüberwachung.

[0035] [Fig. 9a](#), b schematische Darstellungen der Anordnung von Dehnungsmessstreifen an zwischen zwei Ringen befindlichen Stegen, von denen einer den anderen mitnimmt, bei der [Fig. 9a](#) ohne Moment, bei der [Fig. 9b](#) mit Moment;

[0036] [Fig. 10a](#), b Vollmessbrücken zur Verschaltung der Dehnungsmessstreifen der [Fig. 9a](#) und [Fig. 9b](#); und

[0037] [Fig. 11](#) eine Brückenschaltung zur Bestimmung einer der Messbrücken der [Fig. 10a](#), [Fig. 10b](#), um ungleiche Querspannungen im Falle keines Moments zu erreichen.

[0038] Ein in [Fig. 1](#) dargestellter erfindungsgemäßer Roboter in Form eines Gelenkroboters weist einen automatisch gesteuerten, frei programmierbaren

Mehrzweck-Manipulator **1** auf, der in drei oder mehr Achsen programmierbar ist, sowie ein Steuergerät Ziff. **11**, gegebenenfalls einschließlich eines Programmierhandgeräts sowie Kommunikationsschnittstellen (gemäß EN ISO 10218-1 Ziff. 3.18 bzw. EN ISO 8373 Ziff. 2.6), wobei der Einsatz nicht auf die Automatisierungstechnik beschränkt ist.

[0039] Der Roboter, genauer der automatisch gesteuerte, frei programmierbare Mehrzweck-Manipulator **1** hat einen festen Sockel oder eine feste Basis **2**, die ein Karussell **3** trägt, das um eine vertikale A1-Achse drehbar ist. Ein Roboterarm weist eine Schwinde oder einen Oberarm **4** auf, der um eine horizontale A2-Achse schwenkbar an dem Karussell **3** angelenkt ist. Der Oberarm **4** trägt, ebenfalls um eine horizontale A3-Achse schwenkbar, einen Unterarm **5**. An dem Unterarm **5** ist eine Roboterhand **6** befestigt, die dreiteilig ausgebildet ist, wobei die Teile jeweils um eine Achse A4, A5 bzw. A6 drehbar sind. Die Achsen überschneiden sich vorzugsweise im sogenannten Handgelenkspunkt auf der Achse A5. Das freie Ende des Handteils **7** (um die A6-Achse drehbar) ist mit einem Werkzeug **8** versehen.

[0040] Die Teile der Hand **6** werden durch drei Motoren **9** bewegt. Die Bewegung der anderen Roboter Teile **3**, **4**, **5** um die Achsen A1, A2 bzw. A3 erfolgt durch nicht dargestellte Antriebsmotoren über Getriebe. Diese Getriebe sind mit Momentensensoren versehen, beispielsweise in Form von optischen Momentensensoren entsprechend beispielsweise der EP 1 291 616 A2 oder aber in Form bzw. mit Dehnungsmessstreifen.

[0041] Bei der bevorzugten dargestellten Ausführungsform ist dabei wesentlich, dass jeweils ein auftretendes Moment zweifach erfasst wird, entweder durch zwei Komponenten eines Sensors, wie zwei (gegebenenfalls zusammen mit weiteren Widerständen) einen Sensor bildende Dehnungsmessstreifen oder aber durch zwei das gleiche Moment erfassenden Sensoren, wobei diese dann vorzugsweise unterschiedliche Sensoren sind, also Sensoren, die nach unterschiedlichen Messprinzipien arbeiten, wie einerseits ein auf der Basis von Dehnungsmessstreifen arbeitender Sensor und andererseits ein opto-elektrischer Sensor, so dass das entsprechende Moment also diversitär erfasst wird. Die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) zeigen beispielhaft einen Dehnungsmessstreifen **21**, bei dem ein mäanderförmig geführter Messwiderstand **22** auf einem elektrisch isolierenden Träger **23** und unter einer elektrisch isolierenden Abdeckung **24**, vorzugsweise aus dem gleichen Material, angeordnet ist, beispielsweise in Dickschichttechnik, auf den Träger gedruckt oder dergleichen.

[0042] Der Messwiderstand **22** ist mit elektrischen Anschlüssen **25** versehen, über welche er mit Spannung versorgt und über welche die am Messwider-

stand **22** jeweils abfallende Messspannung abgegriffen werden kann. Durch eine mechanische Verformung erfolgt eine Widerstandsänderung und damit eine Änderung des Spannungsabfalls über den Widerstand **22**, wodurch auf die die Verformung bedingte Ursache, im vorliegenden Fall einwirkende Momente, rückgeschlossen werden kann.

[0043] Der Dehnungsmessstreifen **21** der [Fig. 3](#) ist doppelmäanderförmig, wobei zwischen den beiden Mäanderbereichen **22.1** **22.2** ein Mittelabgriff mit einem zusätzlichen elektrischen Anschluss **25.1** gegeben ist. Der gesamte Messwiderstand oder Dehnungsmessstreifen **22** ist mit einem konstanten ohmschen Widerstand **26** unter Bildung einer Halbbrücke in Reihe geschaltet und Spannungen können über den gesamten Widerstand, damit die beiden Anschlüsse **25**, oder aber zwischen einem der Anschlüsse **25** und dem Mittelabgriff **25.1** abgegriffen werden.

[0044] Die [Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#) zeigen eine Halbbrücke mit zwei Dehnungsmessstreifen, beispielsweise solchen der [Fig. 2a](#), [Fig. 2b](#) in Reihe geschaltet. In der [Fig. 4b](#) ist dargestellt, wie derartige eine Halbbrücke bildende Dehnungsmessstreifen **22** beiderseits eines Bauteils in einer Weise angebracht werden, dass sich ihre Effekte ergänzen.

[0045] Die [Fig. 5](#) zeigt schließlich einen Sensor in Form einer Vollbrücke, wobei zumindest einer der dargestellten vier Widerstände als Dehnungsmessstreifen ausgebildet ist, vorzugsweise mehrere, während zumindest ein anderer ein fester ohmscher Widerstand **26** ist.

[0046] Die [Fig. 6](#) zeigt außer den zwei Sensoren **31** in Form von Dehnungsmessstreifen **22** aufweisenden Vollbrücken den Teil einer Steuerung des erfindungsgemäßen Roboters, soweit dieser die Momentenüberwachung betrifft.

[0047] Die in der [Fig. 6](#) dargestellten Sensoren **31** sind derart an einem Getriebe angeordnet, dass sie das gleiche auftretende Moment erfassen. Sie sind jeweils mit zwei Recheneinheiten S1, S2 in Form von integrierten Schaltkreisen (ICs), die Mikro-Controller aufweisen, innerhalb einer Sendeeinheit S verbunden. In der Sendeeinheit S erfolgt eine erste Überprüfung der gemessenen Momentenwerte, wie dies in der [Fig. 7](#) dargestellt ist.

[0048] Zur Erhöhung der Sicherheit sind die ICs S1, S2 zueinander diversitär ausgebildet, d. h. sie haben z. B. unterschiedliche Typen von Mikro-Controllern, sei es eines gleichen Herstellers, sei es unterschiedlicher Hersteller, nicht aber von gleichen Typen ein und der gleichen Serie. Hierdurch wird die Wahrscheinlichkeit und damit die Gefahr vermindert, dass beide in der gleichen Situation konstruktionsbedingt

den gleichen Rechenfehler in einer Berechnung machen.

[0049] Die empfangenen Eingangssignale E1_a, E1_b werden beiden ICs S1, S2 zugeleitet, die diese jeweils zunächst miteinander dahingehend vergleichen, ob sie gleich sind bzw. zumindest den gleichen Momenten-Messwert repräsentieren. Ist dies der Fall, erzeugen beide ICs S1, S2 mit den die Momenten-Messwerte repräsentierenden Eingangssignalen ein sicheres Kommunikationsprotokoll und versehen dieses mit einer Prüfsumme.

[0050] Anschließend vergleichen beide ICs S1, S2 beide Protokolle miteinander. Ist auch hier Übereinstimmung gegeben, so sendet mindestens einer der ICs über eine Sendeschnittstelle **41** das Protokoll an eine Empfangseinheit E der Steuereinheit **11** ([Fig. 6](#)). Die Sicherheit der Übertragung ist durch die Mitübertragung der Prüfkennziffer bzw. Prüfsumme sichergestellt. Mehrere in [Fig. 6](#) einzeln dargestellte Mikro-Controller können auch in einer Einheit zusammengefasst bzw. integriert ausgebildet sein.

[0051] Tritt bei einem der vorgenannten Überprüfungsschritte, sei es hinsichtlich der Eingangs-Messsignale, sei es hinsichtlich der erzeugten Protokolle eine Differenz auf, so wird eine Fehlerbehandlungs-Routine initiiert durch Übertragen einer Fehlermeldung und insbesondere wird das Übersenden des Protokolls unterbunden, wobei der IC, im dargestellten Beispiel S1, der selbst nicht sendet, den anderen IC S2, am versenden des Protokolls hindern kann. Das Protokoll wird an eine Empfangseinheit E übertragen. Der das Protokoll unmittelbar entgegennehmende IC E2 der Empfangseinheit E übergibt das Protokoll als solches an den weiteren IC E1 der Empfangseinheit E. Beide ICs E1, E2 überprüfen die Integrität der Protokolle anhand der mitübermittelten Prüfkennzahl und geben die in den Protokollen enthaltenen Momenten-Messwerte an eine Auswerteeinheit AE, die zwei Unterauswerteeinheiten AE1, AE2 aufweist. Diese führen die Auswertung der erhaltenen Messergebnisse durch, diese übergeben jeweils einander und vergleichen die Auswertungen miteinander. Sie geben jeweils ein Steuersignal an Prozessoren S1', S2' einer Sendeeinheit S', die grundsätzlich in gleicher Weise aufgebaut sein kann, wie die der [Fig. 7](#), die Überprüfungen und Abgleiche durchführt. Steuerbefehle werden in Form eines mit einer Prüfkennzahl versehenen Protokolls an eine Bremsen **51** und Antrieben **52** zugeordneten Empfangseinheit E' mit ICs E1', E2' übermittelt, die ebenfalls wiederum einen Vergleich der empfangenen Signale durchführen und an Bremsen **51** und Antriebe **52** übergeben.

[0052] Soweit bei den vorgenommenen Vergleichen in den einzelnen Einheiten Übereinstimmung gegeben ist, so wird der normale Betrieb des Roboters

ausgeführt. Ergeben sich Divergenzen, so wird der Roboter gestoppt, um Schäden zu vermeiden.

[0053] Der erfindungsgemäße Ablauf ist noch einmal in der [Fig. 8](#) dargestellt.

[0054] Im Schritt A erfolgt ein Erfassen der Momente in der beschriebenen zweikanaligen, vorzugsweise diversitären Weise, insbesondere über unterschiedliche Messprinzipien und unterschiedliche Messschaltungen. Im Schritt B erfolgt eine sicherheitsgerichtete Steuerung ebenfalls mit zweikanaliger, vorzugsweise diversitärer Auswertung in, wie gesagt, physikalisch unterschiedlichen Komponenten (Prozessoren) gleicher Bauteile aus verschiedenen Serien des gleichen Herstellers oder unterschiedlicher Hersteller eingesetzt werden. Wird ein Fehler erkannt, so erfolgt im Schritt C ein Stoppen des Roboters.

[0055] Erfolgt die Verarbeitung der gemessenen Momentenwerte korrekt, nehmen diese aber einen zu großen oder zu kleinen Wert an, der eine Kollision bedeutet, so wird im Schritt B eine geeignete Reaktionsstrategie eingeleitet, die im Stoppen des gesamten Roboters, einzelner Achsen, im Rückzug des Roboters oder im nachgiebigen Schalten der Achsen liegen kann.

[0056] [Fig. 9a](#) zeigt zwei Ringe **61**, **62**, die, solange kein Moment einwirkt, radial gerichtet sind und an denen, einander gegenüberliegend, in Bewegungsrichtung auf der Vorder- und auf der Rückseite dieses Stegs **63** Dehnungsmessstreifen D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8 aufgebracht sind. Bei der Darstellung der [Fig. 9a](#) wirkt kein Moment. Bei der Darstellung der [Fig. 9b](#) ist der äußere Ring **61** angetrieben und nimmt über die Stege **63** den inneren Ring **62** mit, so dass Momente einwirken.

[0057] In den [Fig. 10a](#) und [Fig. 10b](#) ist die Verschaltung der Dehnungsmessstreifen D1, D2, D5, D6 einerseits und D3, D4, D7, D8 andererseits zu Vollbrücken dargestellt, an denen Spannungen U_A bzw. U_B liegen, die einerseits als angelegte Spannungen bekannt sind und damit auch der Auswerteeinheit bekannt sind und andererseits unterschiedlich gewählt werden, wobei im Folgenden angenommen wird, dass der Betrag von U_B größer als der Betrag von U_A ist.

$$U_{A2}/U_A - U_{B4}/U_B = \pm E_1 \quad (1)$$

$$U_{A5}/U_A - U_{B7}/U_B = \pm E_2 \quad (2),$$

wobei $U_{B7} > U_{A5}$ und $U_{B4} > U_{A2}$. Dann gilt:

$$U_{A52} = U_{A5} - U_{A2} \quad (3)$$

$$U_{A52} - U_{B74} = \pm E_3 \quad (4)$$

[0058] Verglichen werden dabei nicht Spannungen, sondern den Spannungen zugeordnete Momente.

[0059] Wenn die Brückenschaltung abgeglichen ist und kein Moment wirkt, sind $U_{A52} = 0$ und $U_{B79} = 0$. In diesem Falle können U_{A52} und U_{B79} nicht überwacht werden.

[0060] Dem kann abgeholfen werden und eine Überwachung ermöglicht werden, indem zumindest eine Brückenschaltung gewollt verstimmt wird, so dass bei maximalem Moment U_{A52} und U_{B74} nicht beide Null werden können. Für eine solche Abstimmung sind in [Fig. 11](#), die dann die [Fig. 10a](#) ersetzt, in Reihe zu den Dehnungsmessstreifen D2 bzw. D5 zusätzliche Festwiderstände R_1 , R_2 und zwischen den Verbindungen ein Potentiometer R_3 (parallel zu U_{A52}) angeordnet, mittels dessen die Verstimmung vorgenommen werden kann.

[0061] Alternativ können die Dehnungsmessstreifen auch bei vorgespannter Mechanik aufgebracht werden und zwar die Dehnungsmessstreifen D1, D2, D5, D6 bei maximal positiven Moment und die Dehnungsmessstreifen D3, D4, D7, D8 bei maximal negativen Moment. Somit sind U_{A52} und U_{B74} dann, wenn kein Moment wirkt, ungleich Null.

[0062] Die Messung wird insbesondere derart durchgeführt, dass die angelegten Spannungen U_A und U_B gepulst werden und eine Überprüfung auf Querschluss vorgenommen wird.

Bezugszeichenliste

1	Mehrzweck-Manipulator
2	feste Basis
3	Karussell
4	Oberarm
5	Unterarm
6	Roboterhand
7	Handteil
8	Werkzeug
9	Motoren
11	Steuereinheit
21	Dehnungsmessstreifen
22	Messwiderstand
23	Träger
24	Abdeckung
25	elektrische Anschlüsse
26	Widerstand
31	Sensoren
41	Sendeschnittstelle
51	Bremsen
52	Antriebe
61, 62	Ringe
63	Stege
A1 bis A6	Achsen
AE1, AE2	Auswerteeinheit
D1–D8	Dehnungsmessstreifen

E	Empfangseinheit
E1, E2	ICs
E1', E2'	Controller
E1_a, E1_b	Eingangssignale
R₁, R₂	Festwiderstände
R₃	Potentiometer
S	Sendeeinheit
S1, S2	ICs
S1', S2'	Prozessoren

ZITATE ENHALTEN 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

- EP 1291616 A2 [\[0040\]](#)

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- EN ISO 1018-1 [\[0002\]](#)
- EN ISO 8373 [\[0002\]](#)
- EN ISO 1018-1 [\[0002\]](#)
- DIN EN 61508 [\[0008\]](#)
- DIN EN ISO 13849-1:2006 [\[0008\]](#)
- EN ISO 10218-1 [\[0038\]](#)
- EN ISO 8373 [\[0038\]](#)

Patentansprüche

1. Roboter mit mindestens zwei Gelenken und über jeweils mindestens ein Gelenk relativ zueinander bewegliche Teile, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein Momente erfassender Sensor (**31**) an mindestens einem beweglichen Teil (**3, 4, 5', 6, 7**) angeordnet ist, dass Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) des Sensors (**31**) zur redundanten Erfassung eines Moments ausgebildet sind oder für die redundante Erfassung eines Moments mindestens zwei Sensoren (**31**) vorgesehen sind und dass redundante Auswerteeinrichtungen zur redundanten Auswertung vorgesehen sind.

2. Roboter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) oder Sensoren (**31**) unterschiedlich ausgebildet sind.

3. Roboter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Sensor (**31**) mindestens einen Dehnungsmessstreifen (**22**) als Sensorkomponente (**21', 22.1, 22.2.**) aufweist.

4. Roboter nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) als mindestens zwei Messbrücken verschaltet sind.

5. Roboter nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Überwachungseinrichtung zur Überwachung einer Versorgungsspannung an mindestens einem Sensor (**31**).

6. Roboter nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens eine Vergleichseinrichtung zum Vergleichen der durch mindestens zwei Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) oder Sensoren (**31**) erfassten Messwerte des gleichen Moments.

7. Roboter nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Abschalten des Roboters oder zum Einleiten eines sicheren Zustandes, wenn durch mindestens zwei Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) oder Sensoren (**31**) erfasste Messwerte des gleichen Moments sich über einen vorgegebenen Toleranzbereich hinaus unterscheiden.

8. Roboter nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Überwachungseinrichtung zum Überwachen von Momenten-Grenzwerten.

9. Roboter nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zum Vergleichen gemessener Momentenwerte mit sich aus einem Modell für die jeweilige Situation ergebenden Werte.

10. Roboter nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Referenzeinrichtung zum Anfahren von Referenzpositionen des Roboters und/oder Durchführen von Referenzbewegungen und Überprüfen der Funktionalität von Sensoren (**31**) bei diesen.

11. Roboter nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Mikro-Prozessoren, Mikro-Controller (MC), Digitalsignalprozessoren (DSP) und/oder Feldprogrammierbaren Gate Arrays (field programmable gate arrays – FPGA).

12. Verfahren zum Überwachen von Momenten an einem Roboter, der mindestens zwei Gelenke und über jeweils mindestens ein Gelenk relativ zueinander bewegliche Teile (**3, 4, 5', 6, 7**) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Moment an mindestens einem beweglichen Teil (**3, 4, 5', 6, 7**) mittels mindestens zweier Sensorkomponenten eines Sensors (**31**) oder mittels zweier Sensoren (**31**) redundant erfasst und redundant ausgewertet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass ein Moment durch unterschiedlich ausgebildete Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) oder Sensoren (**31**) diversitär erfasst wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Moment durch mindestens einen Dehnungsmessstreifen als Sensorkomponente (**21', 22.1, 22.2.**) erfasst wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Moment über in mindestens zwei Messbrücken verschaltete Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) erfasst wird, wobei jeweils mindestens eine der Messbrücken eine Halbbrücke und/oder eine Vollbrücke ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgungsspannung mindestens eines Sensors (**31**) überwacht wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass durch mindestens zwei Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) oder Sensoren (**31**) erfasste Messwerte des gleichen Moments miteinander verglichen werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Roboter abgeschaltet wird, wenn durch mindestens zwei Sensorkomponenten (**21', 22.1, 22.2.**) oder Sensoren (**31**) erfasste Messwerte der gleichen Messgröße "Moment" sich über einen vorgegebenen Toleranzbereich hinaus unterscheiden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis

18, dadurch gekennzeichnet, dass Momentengrenzwerte überwacht werden.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass gemessene Momentenwerte mit sich aus einem Modell für die jeweilige Situation ergebenden Werte verglichen werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass Referenzpositionen des Roboters angefahren und/oder Referenzbewegungen durchgeführt werden und die Funktionalität von Sensoren (**31**) bei diesen überprüft wird.

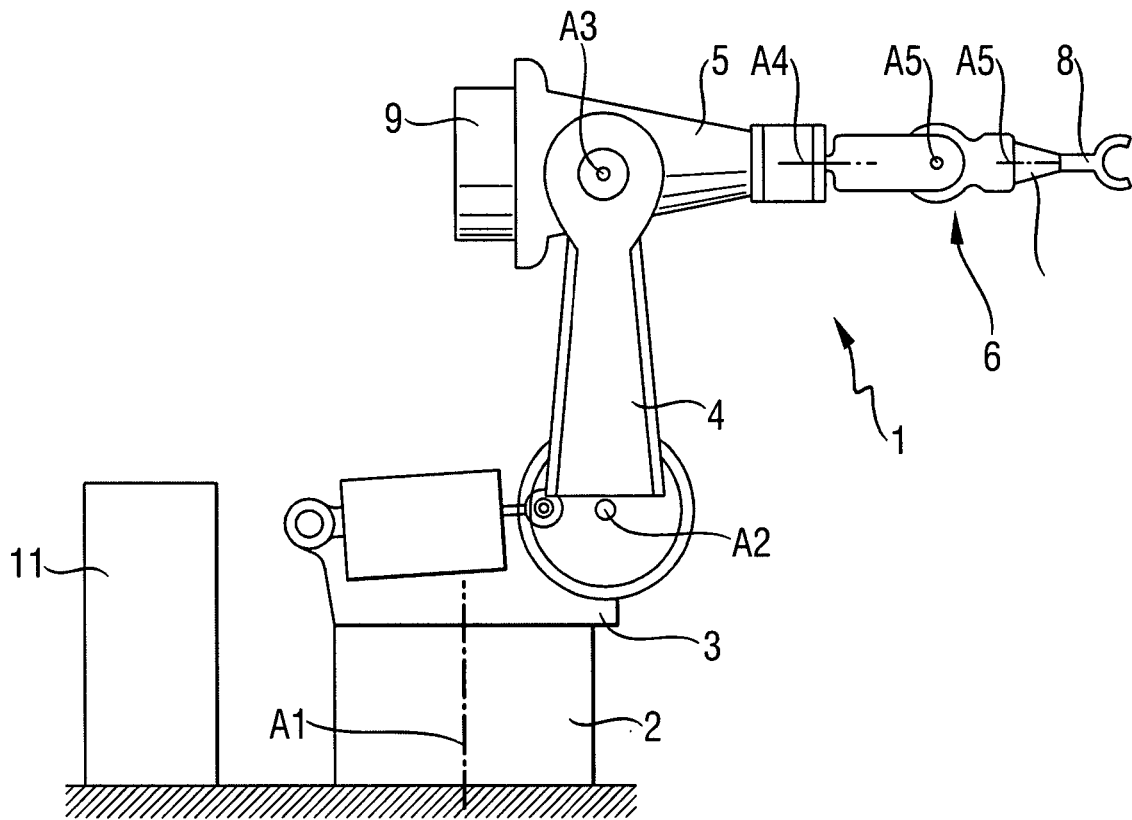
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass gewonnene Messwerte durch Recheneinheiten in Form von Mikro-Prozessoren, -Controller, Digitalsignalprozessoren (DSB) und/oder programmierbare Gate Arrays (field programmable gate arrays – FPGA) verarbeitet werden.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass Messwerte analog oder digital über mindestens zwei Kanäle an eine Recheneinheit übertragen werden.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Werte zwischen Signalerfassung und Auswertung über ein sicheres Kommunikationsprotokoll verschickt werden.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Fig. 1



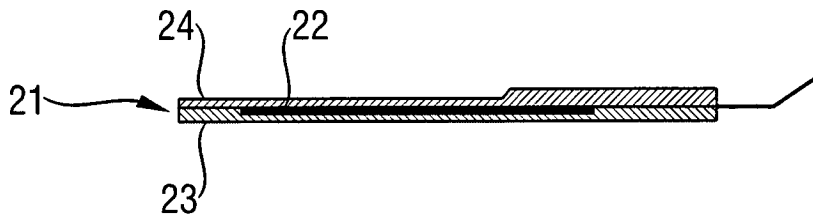


Fig. 2b

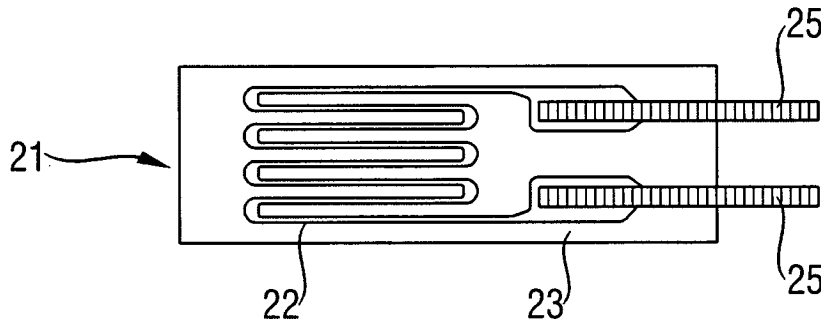


Fig. 2a

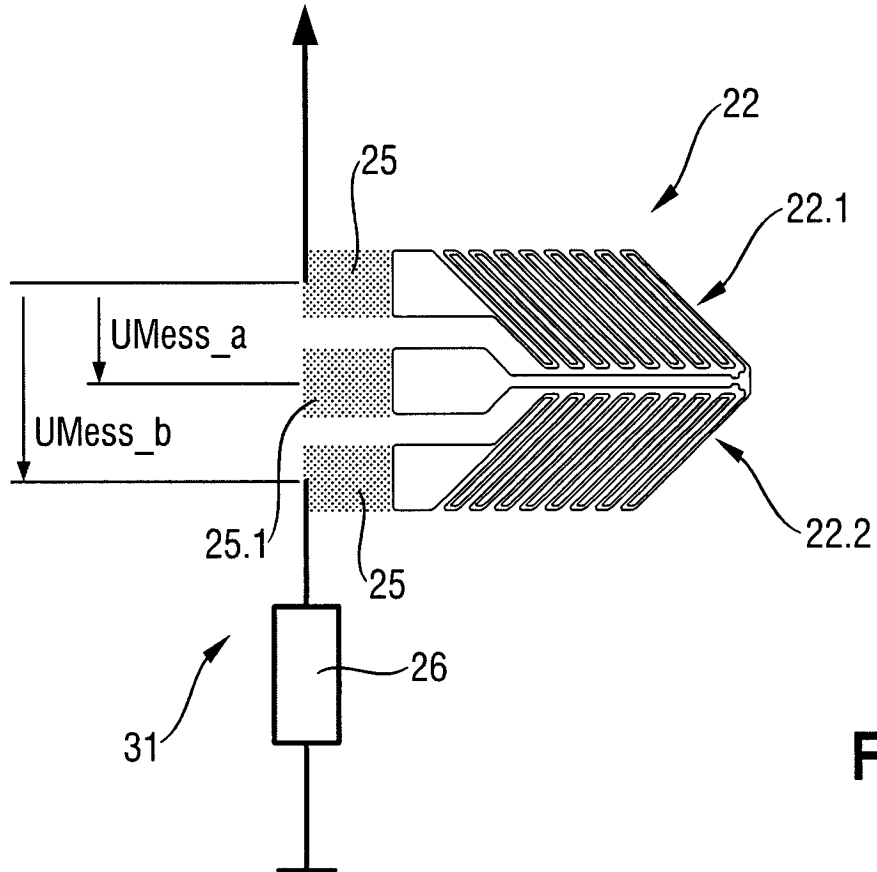


Fig. 3

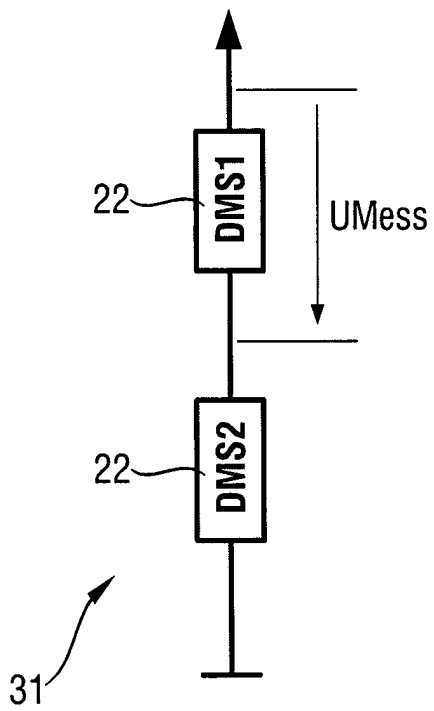


Fig. 4a

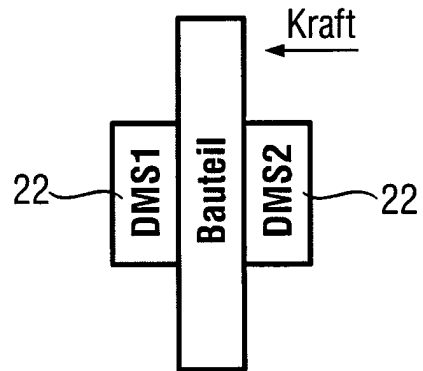


Fig. 4b

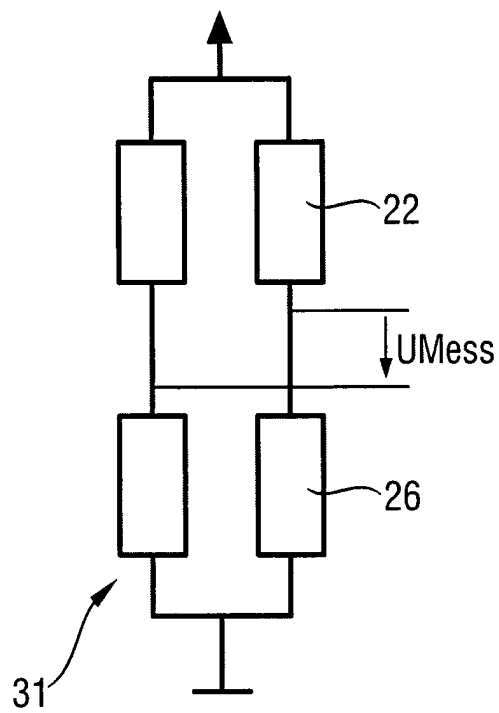


Fig. 5

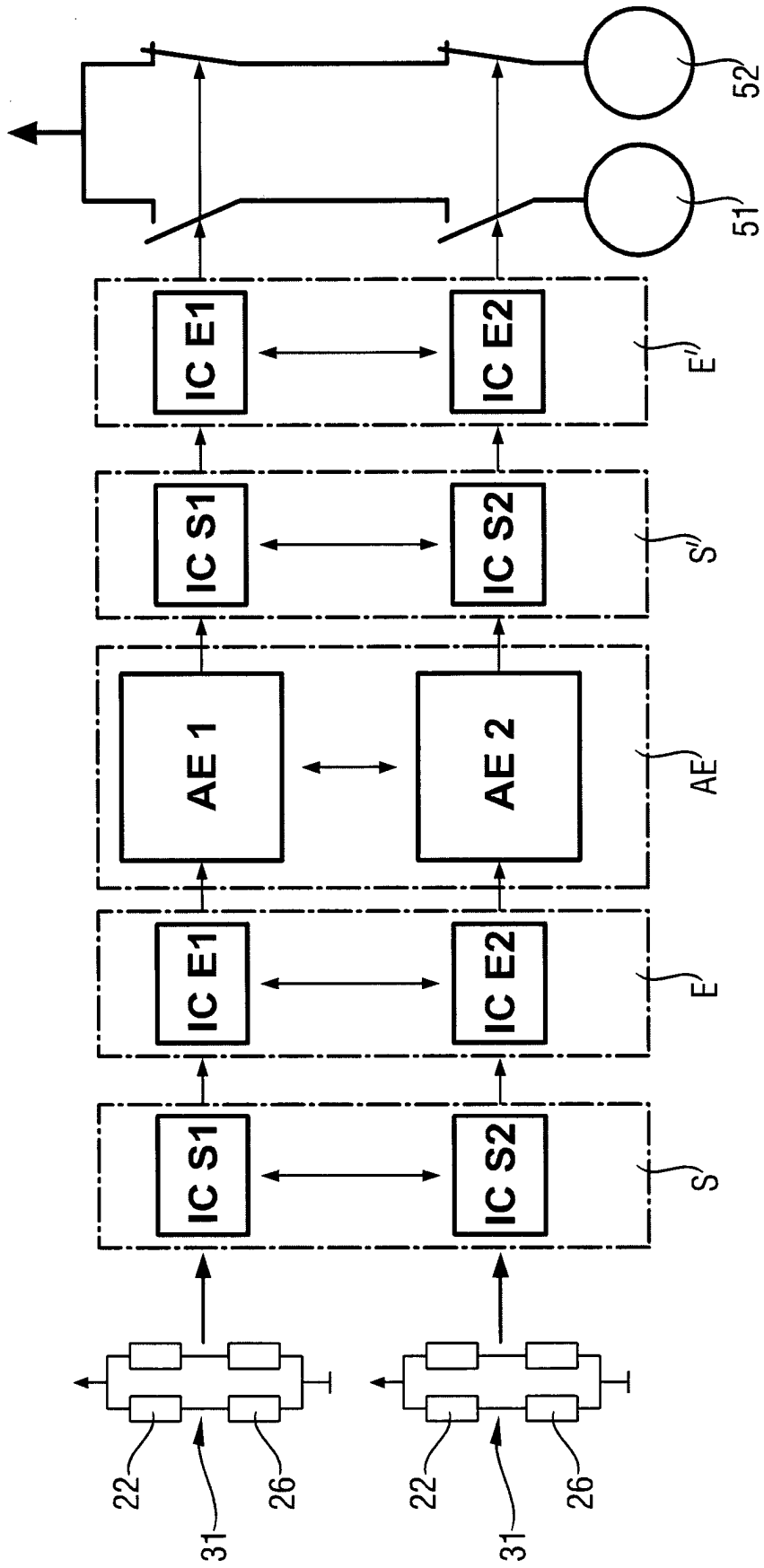


Fig. 6

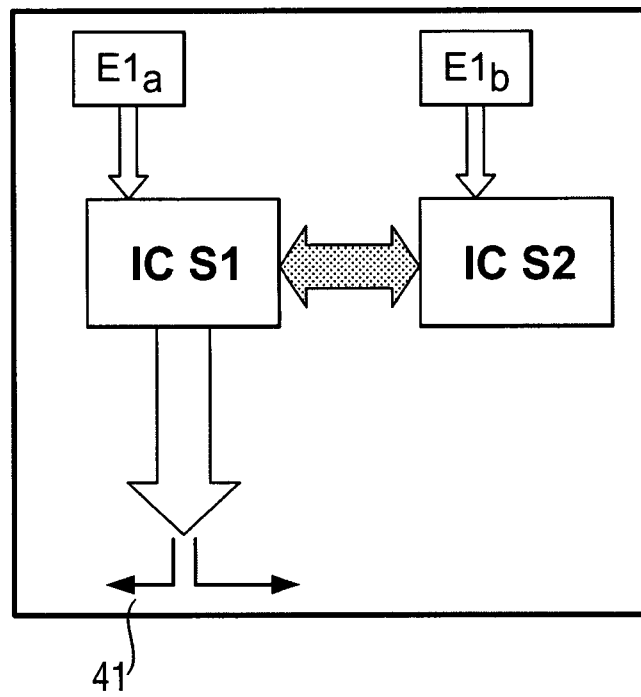


Fig. 7

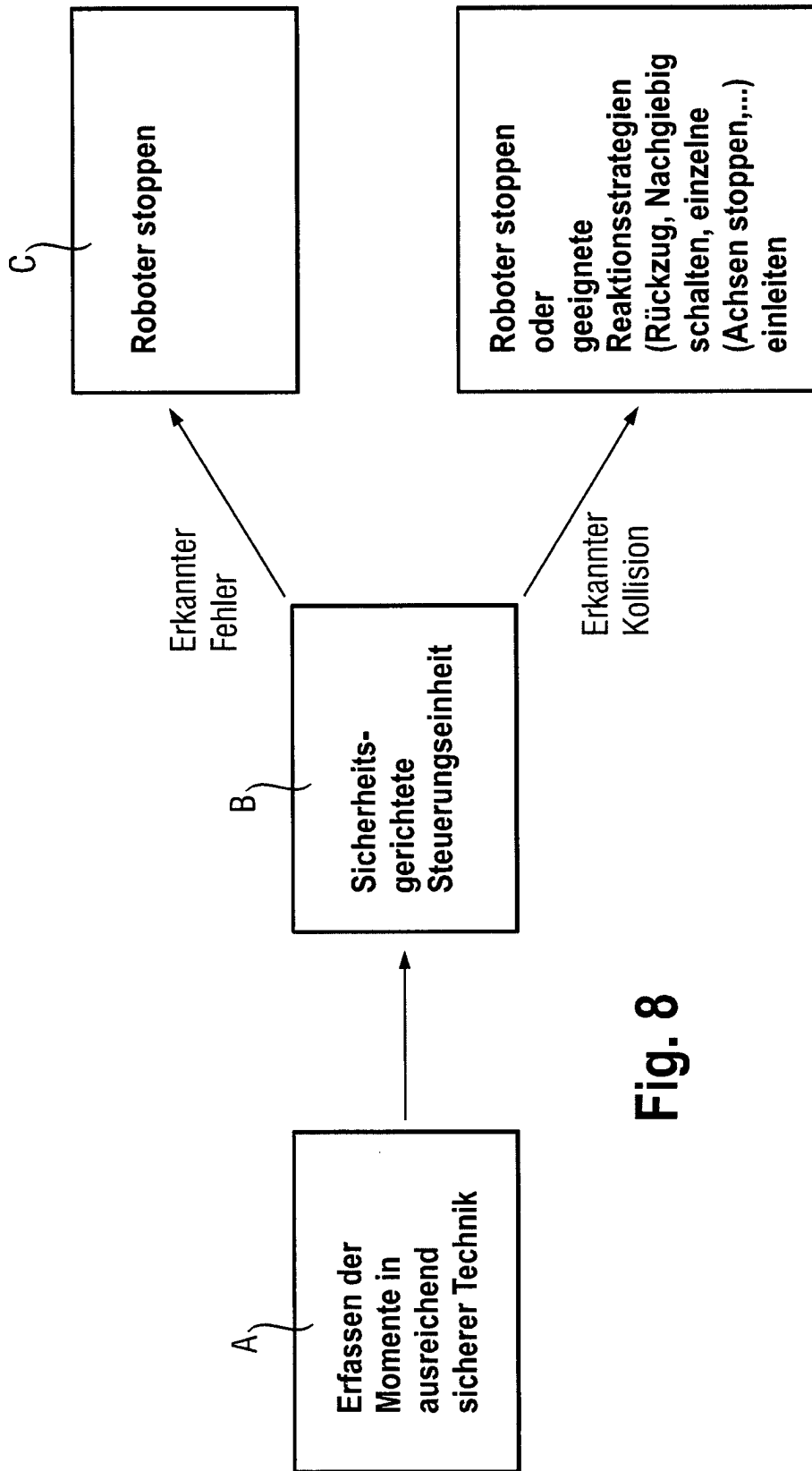


Fig. 8

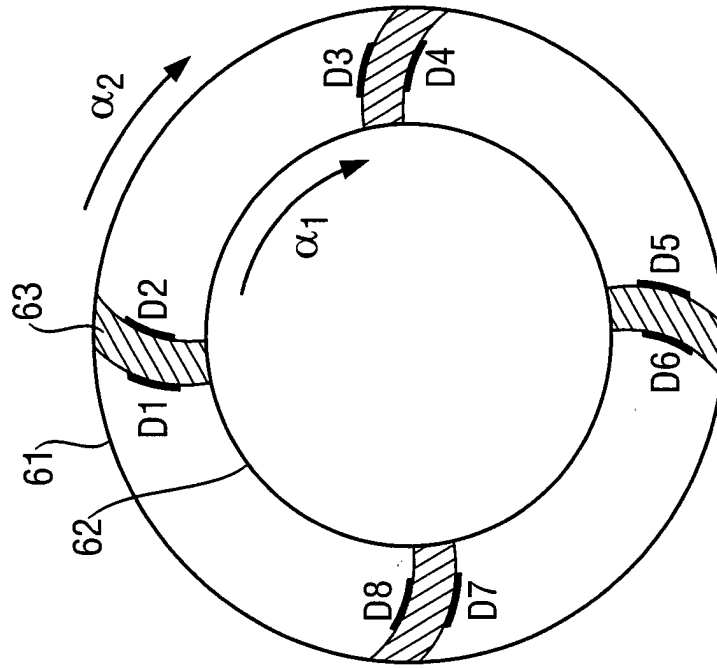


Fig. 9b

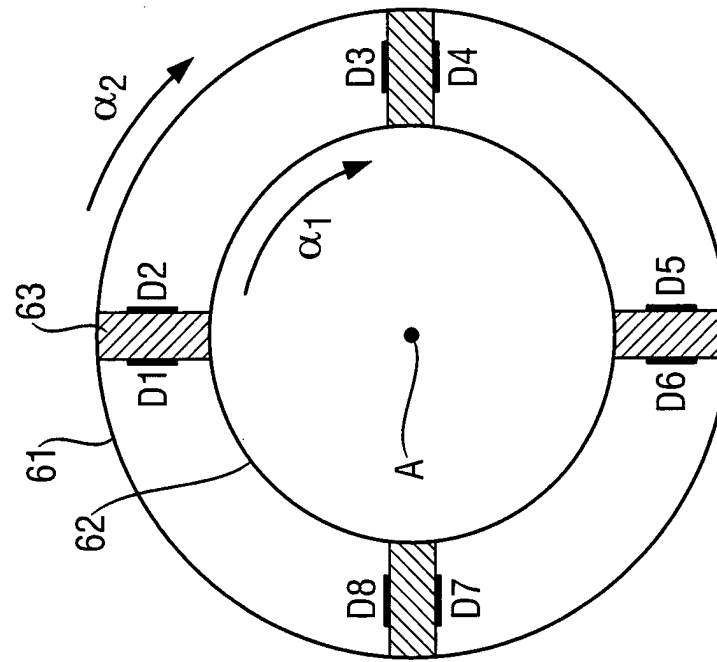


Fig. 9a

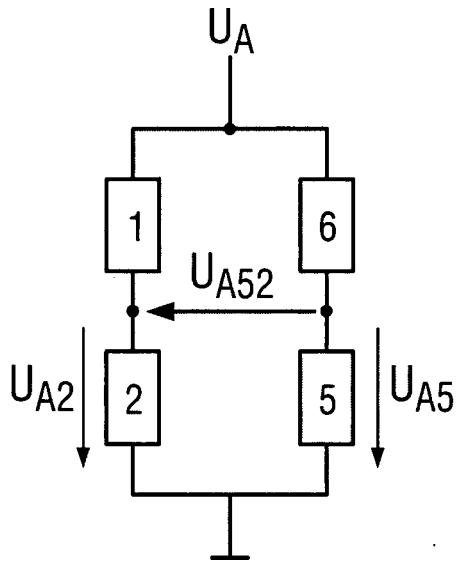


Fig. 10a

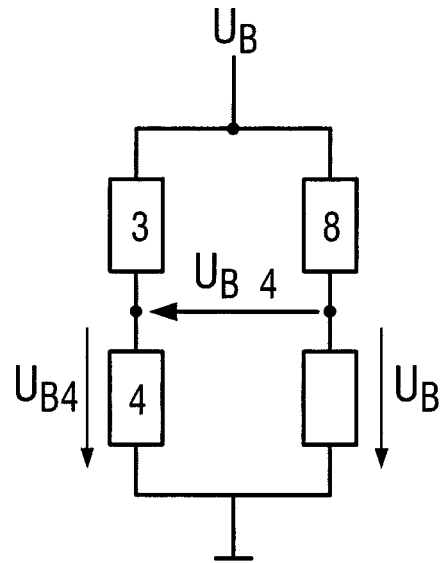


Fig. 10b

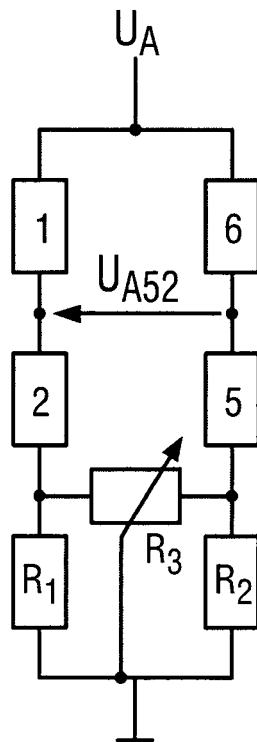


Fig. 11