

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. Juni 2010 (03.06.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/060607 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
G01R 33/385 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2009/008384
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
25. November 2009 (25.11.2009)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2008 059 401.6
27. November 2008 (27.11.2008) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** MICRONAS GMBH [DE/DE]; Hans-Bunte-Strasse 19, 79108 Freiburg i.Br. (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** FRANKE, Jörg [DE/DE]; Dilgerhofstr. 25, 79117 Freiburg (DE). HEBERLE, Klaus [DE/DE]; Feldackerweg 2, 79312 Emmendingen (DE).
- (74) **Anwalt:** HUWER, Andreas; Grünwälderstrasse 10-14, Postfach 1305, 79013 Freiburg i.Br. (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart):** ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** SEMICONDUCTOR CHIP AND METHOD FOR GENERATING PULSE EDGES SYNCHRONOUSLY ASSOCIATED WITH THE MOVEMENT OF A MECHANICAL PART

(54) **Bezeichnung :** HALBLEITERCHIP UND VERFAHREN ZUM ERZEUGEN VON IMPULSFLANKEN, DIE DER BEWEGUNG EINES MECHANISCHEN TEILES SYNCHRON ZUGEORDNET SIND

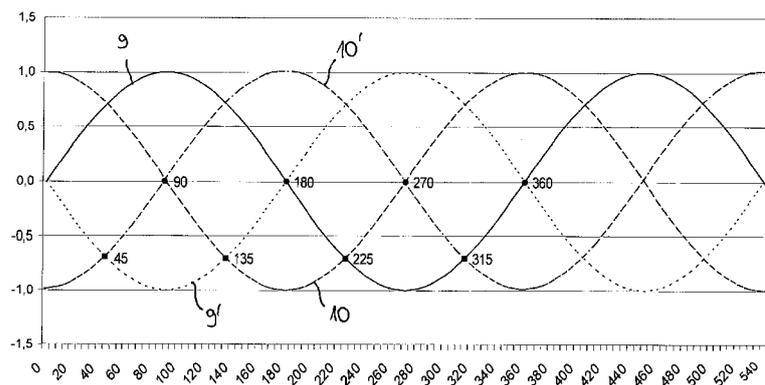


Fig. 3

(57) **Abstract:** In a method for generating pulse edges (11, 11') that are synchronously associated with the movement of a mechanical part, a magnetic field is generated. At least two test signals (9, 10) that are out of phase relative to each other are detected for the magnetic field. The magnetic field is modified in accordance with the movement of the mechanical part in such a way that the test signals (9, 10) are modulated. A first test signal (9) is compared with at least one first reference value. A second test signal (10) is compared with at least one second reference value, and/or the magnitude of the first test signal (9) is compared with the magnitude of the second test signal (10). A pulse edge (11, 11') is generated when at least one of said comparisons shows a match or when the signs of the result are inverted.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2010/060607 A2



Veröffentlicht:

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Bei einem Verfahren zum Erzeugen von Impulsflanken (11, 11'), die der Bewegung eines mechanischen Teiles synchron zugeordnet sind, wird ein Magnetfeld erzeugt. Mindestens zwei zueinander phasenverschobene Messsignale (9, 10) werden für das Magnetfeld erfasst. Das Magnetfeld wird derart in Abhängigkeit von der Bewegung des mechanischen Teiles verändert, dass die Messsignale (9, 10) moduliert werden. Ein erstes Messsignal (9) wird mit mindestens einem ersten Referenzwert verglichen. Ein zweites Messsignal (10) wird mit mindestens einem zweiten Referenzwert verglichen und/oder der Betrag des ersten Messsignals (9) wird mit dem Betrag des zweiten Messsignals (10) verglichen. Wenn mindestens einer dieser Vergleiche eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des betreffenden Vergleichs sein Vorzeichen ändert, wird eine Impulsflanke (11, 11') erzeugt.

Halbleiterchip und Verfahren zum Erzeugen von Impulsflanken, die der Bewegung eines mechanischen Teiles synchron zugeordnet sind

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen von Impulsflanken, die der
5 Bewegung eines mechanischen Teiles synchron zugeordnet sind, wobei ein
Magnetfeld erzeugt und mindestens zwei Messsignale für das Magnetfeld erfasst
werden, wobei das Magnetfeld derart in Abhängigkeit von der Bewegung des
mechanischen Teiles verändert wird, dass die Messsignale zueinander phasenver-
schoben moduliert werden. Außerdem bezieht sich die Erfindung auf einen
10 Halbleiterchip, in den ein Magnetfeldsensor und eine damit verbundene Signal-
verarbeitungseinrichtung integriert sind, wobei der Magnetfeldsensor zumindest ein
erstes Sensorelement und ein zweites Sensorelement aufweist, die die zueinander
versetzt und/oder mit ihren Messachsen quer zueinander angeordnet sind.

15 Ein derartiges Verfahren, bei dem der Geber als um eine Rotationsachse drehbar
gelagertes weichmagnetisches Zahnrad ausgestaltet ist, ist aus US 5 637 995
bekannt. Am Außenumfang des Gebers ist ein Halbleiterchip angeordnet, in den
ein Magnetfeldsensor mit zwei magnetoresistiven Sensorelementen integriert ist. An
der dem Zahnrad abgewandten Rückseite des Halbleiterchips ist ein Permanent-
20 magnet angeordnet, dessen magnetischer Fluss die Sensorelemente und das
Zahnrad durchsetzt. Die Sensorelemente sind etwa stabförmig ausgestaltet und in
einer rechtwinklig zur Rotationsachse des Zahnrads verlaufenden Ebene mit ihren
Längsachsen gegenüber der Magnetisierungsrichtung des Permanentmagneten
um 45° in zueinander entgegen gesetzte Richtungen geneigt. Wenn sich die
25 Zähne des Zahnrads an der aus den Sensorelementen und dem Permanentmag-
net bestehenden Anordnung vorbeibewegen, ändert sich an den Sensorelemen-
ten die Richtung des magnetischen Flusses. Die Messsignale der Sensorelemente
haben jeweils einen etwa wellenlinienförmigen Verlauf, wobei das Messsignal des
einen Sensorelements jeweils ein Maximum aufweist, wenn das Messsignal des
30 anderen Sensorelements ein Minimum hat. Die Messsignale werden einer Signal-
wandlerstufe zugeführt, die an einem Ausgangsanschluss jeweils eine Impulsflanke
erzeugt, wenn die Messsignale ihr Maximum bzw. Minimum durchlaufen. Die
Impulsflanken sollen immer dann auftreten, wenn eine Zahnflanke des Zahnrads

am Magnetfeldsensor vorbeibewegt wird. Das Verfahren hat den Nachteil, dass die Detektion des Maximums bzw. des Minimums mit Ungenauigkeiten behaftet ist. Dadurch kann zwischen dem Auftreten einer Impulsflanke und dem Zeitpunkt, an dem eine Zahnflanke an dem Magnetfeldsensor vorbeiläuft, eine Zeitverschiebung auftreten.

Es besteht deshalb die Aufgabe, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem die Impulsflanken möglichst genau zur Bewegung des mechanischen Teiles synchron sind. Außerdem besteht die Aufgabe, einen Halbleiterchip der eingangs genannten Art anzugeben, der es ermöglicht, ein Impulsflanken aufweisendes Signal zu erzeugen, das möglichst genau synchron zu Modulation eines den Magnetfeldsensor durchsetzenden magnetischen Flusses ist.

Diese Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens dadurch gelöst,

- 15 a) dass ein erstes Messsignal mit mindestens einem ersten Referenzwert verglichen wird,
und
- b) dass ein zweites Messsignal mit mindestens einem zweiten Referenzwert verglichen und/oder
- 20 c) der Betrag des ersten Messsignals mit dem Betrag des zweiten Messsignals verglichen wird,
und dass eine Impulsflanke erzeugt wird, wenn mindestens einer dieser Vergleiche eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des betreffenden Vergleichs sein Vorzeichen ändert. Unter einem Vergleich von zwei Signalen wird ein größer/kleiner-Vergleich, ein Vergleich auf Übereinstimmung und/oder die Bildung der Differenz der Signale verstanden.

In vorteilhafter Weise können die Referenzwerte bei den Verfahrensschritten a) und b) jeweils in einem Abschnitt des Messsignals gelegt werden, in dem dieses eine große Steigung aufweist. So kann beispielsweise bei einem sinus- oder cosinusförmigen Messsignal der Referenzwert im Bereich des Nulldurchgangs des Messsignals liegen. Da die Messsignale eine Phasenverschiebung zueinander aufweisen, können Impulsflanken, die mit Hilfe eines ersten Messsignals erzeugt werden, zwischen Impulsflanken liegen, die mit Hilfe eines zweiten Messsignals erzeugt werden. Somit kann auf einfache Weise eine Vielzahl von zur Bewegung des

mechanischen Teiles synchronen Impulsflanken mit großer Präzision generiert werden.

Anstelle des Verfahrensschritts b) oder zusätzlich zu diesem kann auch Verfahrensschritt c) zur Anwendung kommen. Dabei werden Impulsflanken erzeugt, wenn die Messsignale betragsmäßig übereinstimmen oder wenn bei der Differenz aus dem Betrag eines ersten Messsignals und dem Betrag eines zweiten Messsignals eine Änderung des Vorzeichens der Differenz auftritt. Auch auf diese Weise können mit großer Präzision eine Vielzahl von zur Bewegung des mechanischen Teiles synchronen Impulsflanken generiert werden. Die Überprüfung der betragsmäßigen Übereinstimmung der Messsignale kann in der Weise erfolgen, dass eines der miteinander zu vergleichenden Messsignale in invertierter Form und zusätzlich in nichtinvertierter Form jeweils mit dem anderen Messsignal verglichen wird und die Impulsflanke erzeugt wird, wenn bei mindestens einem dieser Vergleiche eine Übereinstimmung ergibt oder wenn bei mindestens einem dieser Vergleiche eine Änderung des Vorzeichens der Differenz der Messsignale auftritt. Der erste Referenzwert und der zweite Referenzwert können identisch oder unterschiedlich sein.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird ein zum ersten Messsignal und zum zweiten Messsignal phasenverschobenes drittes Messsignal erfasst,

- wobei das dritte Messsignal mit einem dritten Referenzwert verglichen wird, und/oder
- wobei der Betrag des ersten Messsignals mit dem Betrag des dritten Messsignals verglichen wird, und/oder
- wobei der Betrag des zweiten Messsignals mit dem Betrag des dritten Messsignals verglichen wird,

und wobei eine Impulsflanke erzeugt wird, wenn mindestens einer dieser Vergleiche eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des betreffenden Vergleichs sein Vorzeichen ändert. Dadurch kann eine noch größere Anzahl von zur Bewegung des mechanischen Teiles synchronen Impulsflanken erzeugt werden. In entsprechender Weise können auch mehr als drei zueinander phasenverschobene Messsignale des Magnetfelds ausgewertet werden.

Die Messsignale entsprechen vorzugsweise quer und insbesondere rechtwinklig zueinander angeordneten Komponenten des Magnetfelds. Die Messsignale

können dazu beispielsweise mit Hilfe von Hallsensoren, deren Messachsen rechtwinklig zueinander angeordnet sind, gemessen werden.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird das mechanische Teil in
5 eine Anzahl vorbestimmter Referenzpositionen gebracht, an denen jeweils ein
Messsignal mit einem Referenzwert verglichen werden soll, wobei an einer ersten
Referenzposition ein Messwert für das erste Messsignal aufgezeichnet und als erster
Referenzwert gespeichert wird, wobei an einer zweiten Referenzposition ein Mess-
wert für das zweite Messsignal aufgezeichnet und als zweiter Referenzwert gespei-
10 chert wird, und wobei danach das mechanische Teil bewegt und die in Anspruch 1
genannten Schritte a) und b) mindestens einmal durchgeführt werden. Durch diese
Kalibrierung der Referenzwerte kann der Einfluss von in dem Messsignal enthalte-
nen Oberwellen auf die Impulsflankenerzeugung abgeschwächt oder unterdrückt
werden.

15 Bei einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird das mechani-
sche Teil an einer Anzahl vorbestimmter Referenzstellen positioniert, an denen
jeweils das erste Messsignal mit dem zweiten Messsignal verglichen werden soll,
wobei an jeder Referenzstelle jeweils ein Messwert für das erste Messsignal und für
20 das zweite Messsignal erfasst wird, wobei die Differenz aus diesen Messwerten
gebildet und als Korrekturwert abgelegt wird, wobei danach das mechanische Teil
bewegt wird, wobei ein korrigiertes erstes Messsignal gebildet wird, indem der
Korrekturwert zu dem ersten Messsignal addiert oder von diesem subtrahiert wird,
und wobei der Betrag des korrigierten ersten Messsignals mit dem Betrag des
25 zweiten Messsignals verglichen wird und eine Impulsflanke erzeugt wird, wenn der
Vergleich eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des Vergleichs sein
Vorzeichen ändert. Auch durch diese Kalibrierung kann der Einfluss von in dem
Messsignal enthaltener Oberwellen auf die Impulsflankenerzeugung abge-
schwächt oder unterdrückt werden.

30 Ferner besteht die Möglichkeit, dass die Messsignale tiefpassgefiltert werden, bevor
sie einem Referenzwert oder einem anderen Messsignal verglichen werden. Die
Tiefpassfilterung kommt bevorzugt zur Anwendung, wenn die Bewegungsgeschwindigkeit des mechanischen Teiles einen vorbestimmten Grenzwert über-
35 schreitet.

Die vorstehend genannte Aufgabe wird bezüglich des Halbleiterchips der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass die Signalverarbeitungseinrichtung eine Vergleichseinrichtung aufweist, die derart ausgestaltet ist, dass ein erstes Messsignal
5 des ersten Sensorelements mit einem ersten Referenzwert und

- dass ein zweites Messsignal des zweiten Sensorelements mit einem zweiten Referenzwert und/oder
- der Betrag des ersten Messsignals mit dem Betrag des zweiten Messsignals vergleichbar ist,

10 und dass die Vergleichseinrichtung derart mit einem Impulsflankengenerator in Steuerverbindung steht, dass eine Impulsflanke erzeugt wird, wenn mindestens einer dieser Vergleiche eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des betreffenden Vergleichs sein Vorzeichen ändert.

15 Die Vergleichseinrichtung kann Speicherplätze für mindestens einen Referenzwert und zum Zwischenspeichern der Vergleichsergebnisse aufweisen. Beim Einschalten oder Hochfahren des Halbleiterchips können die Speicherplätze für die Vergleichsergebnisse mit Startwerten vorbesetzt werden.

20 Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen aufgeführt.

Nachfolgend sind Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

25

Fig. 1 eine Teilaufsicht auf eine Messvorrichtung zur Erfassung einer Relativbewegung zwischen einem Zähne aufweisenden Geberrad und mindestens einem in einen Halbleiterchip integrierten Magnetfeldsensor,

30 Fig. 2 eine Teilaufsicht auf eine Messvorrichtung zur Erfassung einer Relativbewegung zwischen einem Magnetpole aufweisenden Geber und mindestens einem in einen Halbleiterchip integrierten Magnetfeldsensor,

35 Fig. 3 eine graphische Darstellung von zwei Messsignalen für rechtwinklig zueinander angeordnete Komponenten des magnetischen Flusses im

Magnetfeldsensor, wobei ein sinusförmiges erstes Messsignal als durchgezogene Linie und ein cosinusförmiges zweites Messsignal als strichlierte Linie dargestellt sind und wobei zusätzlich die invertierten Messsignale als punktierte bzw. strickpunktierte Linie dargestellt sind, wobei auf der Abszisse die Position eines Gebers und auf der Ordinate die Amplitude die Amplitude des Messsignals aufgetragen ist,

5

Fig. 4 eine graphische Darstellung eines digitalen Ausgangssignals des Halbleiterchips, wobei auf der Abszisse die Position des Gebers und auf der Ordinate die Amplitude die Amplitude des Ausgangssignals aufgetragen ist,

10

Fig. 5 eine Darstellung ähnlich Fig. 3, wobei jedoch die Messsignale Oberwellen aufweisen,

15

Fig. 6A

bis 6M Querschnitte durch unterschiedliche Ausführungsbeispiele des Halbleiterchips, wobei die Querschnittsebene der Zeichenebene in Fig. 1 bzw. in Fig. 2 entspricht, und

20

Fig. 7A.

bis 7D Aufsichten auf die dem Geber zugewandte Seite von weiteren Ausführungsbeispielen des Halbleiterchips.

25

Eine in Fig. 1 im Ganzen mit 1 bezeichnete Messvorrichtung zur Erfassung einer Relativbewegung weist einen als Zahnrad ausgestalteten weichmagnetischen Geber 2 auf, der an einer in der Zeichnung nicht näher dargestellten Halterung um ein Rotationsachse drehbar gelagert ist. Der Geber 2 hat an seinem Außenumfang mehrere in Umfangsrichtung voneinander beabstandete Zähne 3, zwischen denen Zahnlücken 4 gebildet sind.

30

Am Außenumfang des Gebers 2 ist ferner ein Permanent-Magnet 5 angeordnet, der durch einen Luftspalt in radialer Richtung vom Geber 2 beabstandet ist. Der Magnet 5 ist etwa radial zur Rotationsachse des Gebers 2 magnetisiert.

35

Im Luftspalt ist ein Halbleiterchip 6 angeordnet, der mit seiner Chipebene parallel zur Rotationsachse des Gebers 2 und parallel zur Bewegungsrichtung 7 der an dem Halbleiterchip 6 vorbeilbewegbaren Zähne 3 und Zahnücken 4 orientiert ist. In den Halbleiterchip sind ein Magnetfeldsensor und eine in der Zeichnung nicht
5 näher dargestellte Signalverarbeitungseinrichtung integriert. Der Geber 2 und der Magnetfeldsensor werden von dem vom Magnet 5 erzeugten magnetischen Fluss durchströmt.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel weist die Messvorrichtung 1
10 einen in Bewegungsrichtung 7 der Relativbewegung verschiebbaren, stabförmigen Geber 2' auf. Der Geber 2' hat eine sich in Bewegungsrichtung 7 erstreckende Reihe von abwechselnd in zueinander entgegengesetzte Richtungen magnetisier-
ten Magnetpolen 8. In dem vom Geber 2' erzeugten magnetischen Fluss ist ein
15 einen Magnetfeldsensor aufweisender Halbleiterchip 6 angeordnet, der mit einer Flachseite den Magnetpolen 8 zugewandt ist und mit seiner Chipebene parallel zur Bewegungsrichtung 7 verläuft.

Mit Hilfe des Magnetfeldsensors werden zwei zueinander phasenverschobene
Messsignale 9, 10 für den magnetischen Fluss erfasst. Ein erstes Messsignal 9
20 entspricht vorzugsweise einer erste Komponente des Magnetfelds und ein zweites Messsignal 10 einer rechtwinklig zur ersten Komponente angeordneten zweiten
Komponente des Magnetfelds. Die beiden Komponenten sind in einer zu der
Zeichenebene in Fig. 1 und 2 parallelen Ebene angeordnet.

25 Wenn die Zähne 3 bzw. die Magnetpole 8 am Magnetfeldsensor vorbeibewegt werden, ändert sich die Richtung, in welcher der magnetische Fluss den Magnet-
feldsensor durchsetzt. Außerdem verändert sich der Betrag des durch den Magnet-
feldsensor fließenden magnetische Flusses. Dadurch wird das erste Messsignal 9
etwa sinusförmig und das zweite Messsignal 10 etwa cosinusförmig moduliert.

30

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 werden das erste Messsignal 9 und das
zweite Messsignal 10 jeweils mit dem Referenzwert null verglichen. Der Referenzwert
ist so gewählt, dass die Messsignale 9, 10 ihre größte Steigung aufweisen, wenn sie
mit dem Referenzwert übereinstimmen.

35

An den Stellen, an denen die Vergleiche eine Übereinstimmung ergeben, wird jeweils an einen Ausgangsanschluss des Halbleiterchips 6 eine Impulsflanke 11 ausgegeben (Fig. 4). Die entsprechenden Stellen, an denen diese Impulsflanken 11 erzeugt werden, sind in Fig. 3 durch die mit „0“, „90“, „180“, „270“ und „360“ bezeichneten Punkte markiert.

Außerdem werden die Beträge der Messsignale 9 und 10 miteinander verglichen und bei einer Übereinstimmung der Beträge werden zusätzliche Impulsflanken 11' erzeugt. Die entsprechenden Stellen, an denen zusätzlichen Impulsflanken 11' erzeugt werden, sind in Fig. 3 durch die mit „45“, „135“, „225“ und „315“ bezeichneten Punkte markiert. Wie in Fig. 3 erkennbar ist, wird zum Vergleichen der Beträge der Messsignale 9, 10 für jedes Messsignal 9, 10 jeweils ein invertiertes Messsignal 9', 10' erzeugt.

Bei dem in Fig. 5 gezeigten Ausführungsbeispiel weisen die Messsignale 9 Oberwellen auf. Deutlich ist erkennbar, dass die Schnittpunkte zwischen den Messsignalen 9, 10 bzw. den invertierten Messsignalen 9', 10' in Fig. 5 von den entsprechenden Schnittpunkten der Messsignale 9, 10, 9', 10' in Fig. 3 abweichen.

Um den Einfluss der Oberwellen auf die Impulsflanken 11, 11' zu unterdrücken, wird In einem ersten Verfahrensschritt der Geber 2 an ersten Referenzpositionen (0°, 180°) positioniert, an denen später die Impulsflanken 11, 11' erzeugt werden. Für jede erste Referenzposition, bei der die Grundwelle des ersten Messsignals 9 einen Nulldurchgang aufweist, wird jeweils ein Messwert für das erste Messsignal 9 erfasst und als ein der der betreffenden ersten Referenzposition zugeordneter Referenzwert zwischengespeichert.

In entsprechender Weise wird für zweite Referenzpositionen (90°, 270°), bei denen die Grundwelle des zweiten Messsignals 10 einen Nulldurchgang aufweist, jeweils ein Messwert für das zweite Messsignal 10 erfasst und als ein der betreffenden zweiten Referenzposition zugeordneter Referenzwert zwischengespeichert.

Außerdem wird der Geber 2, 2' an dritten Referenzpositionen (45°, 135°, 225°, 315°) positioniert, an denen der Betrag der Grundwelle des ersten Messsignals 9 mit dem Betrag der Grundwelle des zweiten Messsignals 10 übereinstimmt.

An jeder dritten Referenzstelle wird jeweils ein Messwert für das erste Messsignal und für das zweite Messsignal erfasst. Dann wird die Differenz aus diesen Messwerten gebildet und als der betreffenden dritten Referenzposition zugeordneter
5 Korrekturwert abgelegt.

Nachdem auf diese Weise für alle Referenzpositionen jeweils ein Referenzwert bzw. ein Korrekturwert ermittelt wurde, wird der Geber 2, 2' - ausgehend von einer Startposition - relativ zum Magnetfeldsensor bewegt und es werden die Messsigna-
10 le 9, 10 erfasst. Das erste Messsignal wird nacheinander mit den ersten Referenzwerten und das zweite Messsignal nacheinander mit den zweiten Referenzwerten verglichen. Wenn bei einem dieser Vergleiche eine Übereinstimmung auftritt oder das Ergebnis des betreffenden Vergleichs sein Vorzeichen ändert, wird eine Impulsflanke 11 erzeugt und die Referenzwerte werden entsprechend nachgeführt.

15

Für die an den dritten Referenzpositionen zu erzeugenden Impulsflanken 11' wird ein korrigiertes erstes Messsignal gebildet, indem der für die betreffende Referenzposition gespeicherte Korrekturwert vom ersten Messsignal subtrahiert wird. Der Betrag des so erhaltenen korrigierten ersten Messsignals wird mit dem Betrag des
20 zweiten Messsignals verglichen. Wenn der Vergleich eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des Vergleichs sein Vorzeichen ändert, wird eine Impulsflanke 11' erzeugt und die Referenzwerte werden entsprechend nachgeführt.

In Fig. 6A-6L und 7A-7D ist erkennbar, dass der Magnetfeldsensor als Sensorelemente Hallensoren 12a, 12a', 12a'', 12b, 12b', 12b'', 12c, 13a, 13b, 13c aufweist.
25 Eine Hall-Platte mindestens eines vertikalen Hallensors 12a, 12b, 12c ist in einer radial zur Rotationsachse des Gebers 2 verlaufenden Ebene angeordnet. Die Ebene, in der sich die Hall-Platte erstreckt, verläuft rechtwinklig zur Chipebene und rechtwinklig zur Bewegungsrichtung 7 der Relativbewegung, in der die Zähne 3
30 bzw. die Zahnlücken 4 an dem Magnetfeldsensor vorbei bewegbar sind. Das Messsignal des Hallensors 16a, 16b, 16c ist somit von der in Bewegungsrichtung 7 der Relativbewegung verlaufenden Komponente des magnetischen Flusses abhängig. Diese verändert sich, wenn die Zähne 3 bzw. die Zahnlücken 4 an dem Magnetfeldsensor vorbeilaufen.

35

Bei dem in Fig. 6A gezeigten Ausführungsbeispiel weist der Magnetfeldsensor zusätzlich zu dem vertikalen Hallsensor 16a einen horizontalen Hallsensor 13a auf, der an der gleichen Stelle angeordnet ist, wie der vertikale Hallsensor 16a. Deutlich ist erkennbar, dass der Flächenschwerpunkt 14a der Hallplatte des vertikalen
5 Hallensors 16a und der Flächenschwerpunkt 15a der Hallplatte des horizontalen Hallensors 13a in derselben, rechtwinklig zur Bewegungsrichtung 7 der Relativbewegung verlaufenden Ebene 16a angeordnet sind. Die Hall-Platten der Hallsensoren 12a, 13a durchdringen sich bereichsweise. Es sind aber auch andere Ausgestaltungen denkbar, bei denen der vertikale Hallsensor 12a und der horizontale
10 Hallsensor 13a in Richtung der Rotationsachse des Gebers 2 bzw. rechtwinklig zur Zeichenebene voneinander beabstandet sind.

Mit Hilfe des in Fig. 6A gezeigten Magnetfeldsensors können also an derselben Stelle die tangentielle und die radiale Komponente des den Halbleiterchip 6 durchsetzenden magnetischen Flusses gemessen werden.
15

In Fig. 6B ist erkennbar, dass in den Halbleiterchip 2 auch zwei der jeweils aus einem vertikalen Hallsensor 12a, 12b und einem horizontalen Hallsensor 13a, 13b bestehenden Sensoranordnungen integriert sein können. Die Hallplatten der
20 vertikalen Hallsensoren 12a, 12b sind parallel zueinander und die Hallplatten der horizontalen Hallsensoren 13a, 13b in einer Ebene nebeneinander angeordnet. Die beiden Sensoranordnungen sind in Bewegungsrichtung 7 der Relativbewegung zueinander versetzt.

Die beiden vertikalen Hallsensoren 12a, 12b sind jeweils mit ihren Messsignalanschlüssen derart in Reihe geschaltet und die Hallplatten dieser Hallsensoren 12a, 12b werden derart bestromt, dass an der Reihenschaltung der Hallsensoren 12a, 12b die Differenz zwischen den an den einzelnen vertikalen Hallsensoren 12a, 12b anliegenden Hallspannungen abgreifbar ist. In entsprechender Weise sind die
30 beiden horizontalen Hallsensoren 13a, 13b zu einem Differential-Hallsensor verschaltet.

Bei dem in Fig. 6C gezeigten Ausführungsbeispiel sind drei Sensoranordnungen in den Halbleiterchip 2 integriert, die jeweils aus einem vertikalen Hallsensor 12a, 12b, 12c und einem horizontalen Hallsensor 13a, 13b, 13c bestehen. Die durch die
35

Hallsensoren 12b und 13b gebildete Sensoranordnung ist mittig zwischen den aus den Hallsensoren 12a und 13a bzw. 12c und 13c bestehenden Sensoranordnungen angeordnet. Die Hallplatten der vertikalen Hallsensoren 12a, 12b, 12c sind parallel zueinander und die Hallplatten der horizontalen Hallsensoren 13a, 13b, 13c sind in einer Ebene nebeneinander angeordnet, die parallel zur Bewegungsrichtung 7 und parallel zur Rotationsachse des Gebers 2 verläuft. Die drei Sensoranordnungen sind in Bewegungsrichtung 7 in gleichen Abständen zueinander hintereinander angeordnet.

Die beiden äußeren vertikalen Hallsensoren 12a, 12c und die beiden äußeren horizontalen Hallsensoren 13a, 13c sind jeweils als Differential-Hallsensor geschaltet. Die Hallsensoren 12a, 12b, 12c, 13a, 13b, 13c sind mit einer in den Halbleiterchip integrierten Auswerteeinrichtung verbunden, die einen Ausgangsanschluss aufweist, an dem ein die Bewegungsrichtung 7 der Relativbewegung anzeigendes Ausgangssignal ausgebar ist.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6D sind vier Hallsensoren in den Halbleiterchip 6 integriert. Drei horizontale Hallsensoren 13a, 13b, 13c sind in der Chipebene in konstanten Abständen zueinander in einer in Bewegungsrichtung 7 verlaufenden Reihe angeordnet. Die beiden äußeren horizontalen Hallsensoren 13a, 13c bilden einen Differential-Hallsensor. Mittig zwischen diesen Hallsensoren 13a, 13c sind ein weiterer horizontaler Hallsensor 13b und ein vertikaler Hallsensor 12c angeordnet. Die Hall-Platte des vertikalen Hallsensor 12c verläuft etwa rechtwinklig zur Bewegungsrichtung 7.

Bei dem in Fig. 6E gezeigten Ausführungsbeispiel ist zwischen zwei jeweils aus einem vertikalen Hallsensor 12a, 12c und einem horizontalen Hallsensor 13a und 13c bestehenden Sensoranordnungen ein weiterer horizontaler Hallsensor 13b angeordnet. Die Hallplatten der horizontalen Hallsensoren 13a, 13b, 13c sind jeweils parallel zur Bewegungsrichtung 7 ausgerichtet. Die Hall-Platten der drei horizontalen Hallsensoren 13a, 13b, 13c sind in der Chipebene in konstanten Abständen zueinander angeordnet. Die Hall-Platte des Hallsensors 13b befindet sich mittig zwischen den Hall-Platten der horizontalen Hallsensoren 13a, 13c unter dem horizontalen Hallsensor 13b.

Bei dem in Fig. 6F gezeigten Ausführungsbeispiel ist zusätzlich zu der in Fig. 6A dargestellten Sensoranordnung ein weiterer horizontaler Hallsensor 13b vorgesehen, dessen Hall-Platte in der Ebene der Hall-Platte des Hallsensors 13a angeordnet und seitlich von diesem in Bewegungsrichtung 7 beabstandet ist.

5

Bei dem in Fig. 6G gezeigten Ausführungsbeispiel ist mittig zwischen zwei in der Chipebene nebeneinander angeordneten horizontalen Hallsensoren 13a, 13c ein vertikaler Hallsensor 12a vorgesehen. Die beiden zuerst genannten Hallsensoren 13a, 13c können zu einem Differential-Hallsensors geschaltet sein oder die Messsignale dieser Hallsensoren 13a, 13c können aufsummiert werden. Die Hall-Platte des vertikalen Hallsensors 12b ist etwa rechtwinklig zur Chipebene und zur Bewegungsrichtung 7 ausgerichtet.

10

Wie in Fig. 2H erkennbar ist, können in den Halbleiterchip 6 auch zwei parallel zueinander angeordnete vertikale Hallsensoren 12a, 12b integriert sein. Die Hallplatten dieser Hallsensoren 12a, 12b sind wiederum rechtwinklig zur Bewegungsrichtung 7 ausgerichtet.

15

Bei Bedarf kann in den Halbleiterchip 6 mindestens ein weiterer vertikaler Hallsensor 12c integriert sein, der vorzugsweise parallel zu den beiden zuerst genannten Hallsensoren 12a, 12b angeordnet ist (Fig. 2I). Die Hallsensoren 12a, 12b, 12c sind in diesem Fall bevorzugt in einer geraden Reihe nebeneinander und in konstanten Abständen zueinander angeordnet.

20

Das in Fig. 2K gezeigte Ausführungsbeispiel entspricht dem in Fig. 2B, wobei jedoch zusätzlich zwischen den beiden, jeweils aus einem vertikalen Hallsensor 12a, 12c und einem horizontalen Hallsensor 13a, 13c gebildeten Sensoranordnungen ein weiterer vertikaler Hallsensor 12b angeordnet ist. Die Hall-Platten der drei vertikalen Hallsensoren 12a, 12b, 12c verlaufen parallel zueinander und rechtwinklig zur Bewegungsrichtung 7. Die beiden äußeren vertikalen Hallsensoren 12a, 12c und die beiden äußeren horizontalen Hallsensoren 13a, 13c können als Differential-Hallsensor geschaltet sein oder ihre Messsignale werden aufaddiert. Der vertikale Hallsensor 12b ist mittig zwischen den beiden anderen vertikalen Hallsensoren 12a, 12c angeordnet.

25

30

35

Der Flächenschwerpunkt 14a der Hallplatte des vertikalen Hallsensors 12a und der Flächenschwerpunkt 15a der Hallplatte des horizontalen Hallsensors 13a in sind in einer ersten, rechtwinklig zur Bewegungsrichtung 7 der Relativbewegung verlaufenden Ebene 12a angeordnet. Der Flächenschwerpunkt 14b der Hallplatte des vertikalen Hallsensors 12b und der Flächenschwerpunkt 15b der Hallplatte des horizontalen Hallsensors 13b sind in einer zweiten Ebene 16b angeordnet, die parallel zur ersten Ebene 16a verläuft. Der Flächenschwerpunkt 14c der Hallplatte des vertikalen Hallsensors 12c und der Flächenschwerpunkt 15c der Hallplatte des horizontalen Hallsensors 13c sind in einer dritten Ebene 16c angeordnet, die parallel zur ersten Ebene 16a verläuft.

In Fig. 2L ist erkennbar, dass einer der beiden bei dem in Fig. 2K gezeigten Ausführungsbeispiel vorhandenen, aus einem vertikalen Hallsensor 12b und einem horizontalen Hallsensor 13b gebildeten Sensoranordnungen entfallen kann.

Wie in Fig. 2M erkennbar ist, kann mittig zwischen zwei in der Chipebene nebeneinander angeordneten vertikalen Hallsensoren 12a, 12c ein horizontaler Hallsensor 13b vorgesehen sein. Die beiden zuerst genannten Hallsensoren 12a, 12c können Teil eines Differential-Hallsensors sein. Die Messsignale der vertikalen Hallsensoren 12a, 12c können aber auch aufaddiert werden. Die Hall-Platte des horizontalen Hallsensors 13b ist etwa parallel zur Chipebene und zur Bewegungsrichtung 7 ausgerichtet.

Bei dem in Fig. 7A gezeigten Ausführungsbeispiel sind in den Halbleiterchip zwei vertikale Hallsensoren 12a, 12a' integriert, bei denen die Ebene der Hall-Platten quer zueinander angeordnet sind und bei denen sich die Hall-Platten mittig durchdringen. Dabei sind die Ebenen der Hall-Platten unter einem Winkel von +45° bzw. -45° zur Bewegungsrichtung 7 geneigt.

Bei dem in Fig. 7B gezeigten Ausführungsbeispiel sind zwei der Sensoranordnungen, jeweils bestehend aus zwei sich durchdringenden vertikalen Hallsensoren 12a, 12a' bzw. 12b, 12b' in Bewegungsrichtung 7 hintereinander in dem Halbleiterchip 6 angeordnet. Dabei verlaufen die Hall-Platten der Hallsensoren 12a, 12a' einerseits und die Hall-Platten der Hallsensoren 12b, 12b' andererseits, jeweils parallel.

In Fig. 7C ist erkennbar, dass zusätzlich zu den beiden in Fig. 7A vorgesehenen vertikalen Hallsensoren 12a, 12a' ein weiterer vertikaler Hallsensor 12a'' vorhanden sein kann, dessen Hall-Platte quer zu den Hall-Platten der zuerst genannten Hallsensoren 12a, 12a' angeordnet ist. Alle drei Hallplatten 12a, 12a', 12a'' haben eine
5 gemeinsame Schnittlinie, die jeweils mittig zu den Hallplatten 12a, 12a', 12a'' angeordnet ist.

Bei dem in Fig. 7D gezeigten Ausführungsbeispiel sind zwei der in Fig. 7C abgebildeten Sensoranordnungen in Bewegungsrichtung 7 versetzt zueinander in den
10 Halbleiterchip 6 integriert.

Erwähnt werden soll noch, dass in den Halbleiterchip 6 auch mindestens zwei der in Fig. 6A-6M und 7A-7D gezeigten Hallsensor-Anordnungen nebeneinander integriert sein können. Eine derartige Messvorrichtung kann beispielsweise für eine
15 lineare Wegmessung verwendet werden.

Selbstverständlich ist es auch möglich, dass in den Halbleiterchip mehr als drei vertikale Hallsensoren 12a, 12a', 12a'', 12b, 12b', 12b'', 12c, 13a, 13b, 13c und/oder mehr als drei horizontale Hallsensoren 13a, 13b, 13c integriert sind, beispielsweise
20 um Komponenten des magnetischen Flusses für mehr als drei Achsen zu messen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von Impulsflanken (11, 11'), die der Bewegung eines mechanischen Teiles synchron zugeordnet sind, wobei ein Magnetfeld erzeugt und mindestens zwei Messsignale (9, 10) für das Magnetfeld erfasst werden, wobei das Magnetfeld derart in Abhängigkeit von der Bewegung des mechanischen Teiles verändert wird, dass die Messsignale (9, 10) zueinander phasenverschoben moduliert werden, **dadurch gekennzeichnet**,
- 5 a) dass ein erstes Messsignal (9) mit mindestens einem ersten Referenzwert verglichen wird,
- 10 und
- b) dass ein zweites Messsignal (10) mit mindestens einem zweiten Referenzwert verglichen und/oder
- c) der Betrag des ersten Messsignals (9) mit dem Betrag des zweiten
- 15 Messsignals (10) verglichen wird,
- und dass eine Impulsflanke (11, 11') erzeugt wird, wenn mindestens einer dieser Vergleiche eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des betreffenden Vergleichs sein Vorzeichen ändert.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein zum ersten Messsignal (9) und zum zweiten Messsignal (10) phasenverschobenes drittes Messsignal erfasst wird,
- dass das dritte Messsignal mit einem dritten Referenzwert verglichen wird, und/oder
- 25 - dass der Betrag des ersten Messsignals (9) mit dem Betrag des dritten Messsignals verglichen wird, und/oder
- dass der Betrag des zweiten Messsignals (10) mit dem Betrag des dritten Messsignals verglichen wird
- und dass eine Impulsflanke (11, 11') erzeugt wird, wenn mindestens einer dieser Vergleiche eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des
- 30 betreffenden Vergleichs sein Vorzeichen ändert.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
- dass der erste Referenzwert vom Maximum und vom Minimum des
- 35 ersten Messsignals (9) beabstandet ist und vorzugsweise dem Mittelwert

zwischen dem Maximum und dem Minimum des ersten Messsignals (9) entspricht, und/oder

- dass der zweite Referenzwert vom Maximum und vom Minimum des zweiten Messsignals (10) beabstandet ist und vorzugsweise dem Mittelwert zwischen dem Maximum und dem Minimum des zweiten Messsignals (10) entspricht, und/oder

- dass der dritte Referenzwert vom Maximum und vom Minimum des dritten Messsignals beabstandet ist und vorzugsweise dem Mittelwert zwischen dem Maximum und dem Minimum des dritten Messsignals entspricht.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignale (9, 10) quer und insbesondere rechtwinklig zueinander angeordneten Komponenten des Magnetfelds entsprechen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das mechanische Teil in eine Anzahl vorbestimmter Referenzpositionen gebracht wird, an denen jeweils ein Messsignal (9, 10) mit einem Referenzwert verglichen werden soll, dass an einer ersten Referenzposition ein Messwert für das erste Messsignal (9) aufgezeichnet und als erster Referenzwert gespeichert wird, dass an einer zweiten Referenzposition ein Messwert für das zweite Messsignal (10) aufgezeichnet und als zweiter Referenzwert gespeichert wird, und dass danach das mechanische Teil bewegt und die in Anspruch 1 genannten Schritte a) und b) mindestens einmal durchgeführt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das mechanische Teil an einer Anzahl vorbestimmter Referenzstellen positioniert wird, an denen jeweils das erste Messsignal (9) mit dem zweiten Messsignal (10) verglichen werden soll, dass an jeder Referenzstelle jeweils ein Messwert für das erste Messsignal (9) und für das zweite Messsignal (10) erfasst wird, dass die Differenz aus diesen Messwerten gebildet und als Korrekturwert abgelegt wird, dass danach das mechanische Teil bewegt wird, dass ein korrigiertes erstes Messsignal gebildet wird, indem der Korrekturwert zu dem ersten Messsignal (9) addiert oder von diesem subtrahiert wird, und

dass der Betrag des korrigierten ersten Messsignals mit dem Betrag des zweiten Messsignals (10) verglichen wird und eine Impulsflanke (11, 11') erzeugt wird, wenn der Vergleich eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des Vergleichs sein Vorzeichen ändert.

5

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignale (9, 10) tiefpassgefiltert werden, bevor sie einem Referenzwert oder einem anderen Messsignal (10, 9) verglichen werden.

10

8. Halbleiterchip (6), in den ein Magnetfeldsensor und eine damit verbundene Signalverarbeitungseinrichtung integriert sind, wobei der Magnetfeldsensor zumindest ein erstes Sensorelement und ein zweites Sensorelement aufweist, die zueinander versetzt und/oder mit ihren Messachsen quer zueinander angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Signalverarbeitungseinrichtung eine Vergleichseinrichtung aufweist, die derart ausgestaltet ist, dass ein erstes Messsignal des ersten Sensorelements mit einem ersten Referenzwert und

15

- dass ein zweites Messsignal (9) des zweiten Sensorelements mit einem zweiten Referenzwert und/oder

20

- der Betrag des ersten Messsignals (9) mit dem Betrag des zweiten Messsignals (10) vergleichbar ist,

und dass die Vergleichseinrichtung derart mit einem Impulsflankengenerator in Steuerverbindung steht, dass eine Impulsflanke (11, 11') erzeugt wird, wenn mindestens einer dieser Vergleiche eine Übereinstimmung ergibt oder das Ergebnis des betreffenden Vergleichs sein Vorzeichen ändert.

25

9. Halbleiterchip (6) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnetfeldsensoren derart angeordnet sind, dass sie das Magnetfeld an derselben Stelle messen.

30

10. Halbleiterchip (6) nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Sensorelemente ein vertikaler Hallsensor (12a, 12a', 12a'', 12b, 12b', 12b'', 12c, 12c', 12c'') ist.

11. Halbleiterchip (6) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Sensorelemente ein horizontaler Hallsensor (13a, 13b, 13c) ist.
- 5 12. Halbleiterchip (6) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die mit ihren Messachsen quer zueinander angeordneten Hallsensoren (12a, 12a', 12a'', 12b, 12b', 12b'', 12c, 12c', 12c'', 13a, 13b, 13c) jeweils mindestens eine Hallplatte aufweisen, und dass sich die Hallplatten der Hallsensoren (12a, 12a', 12a'', 12b, 12b', 12b'', 12c, 12c', 12c'', 13a, 13b, 10 13c) zumindest bereichsweise durchdringen.
13. Halbleiterchip (6) nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass vorzugsweise mittig zwischen zwei Hallsensoren (12a, 12a', 12a'', 12b, 12b', 12b'', 12c, 12c', 12c'', 13a, 13b, 13c) mindestens ein weiterer mit der Vergleichseinrichtung verbundener Hallsensor (12a, 12a', 12a'', 12b, 15 12b', 12b'', 12c, 12c', 12c'', 13a, 13b, 13c) in den Halbleiterchip (6) integriert ist.

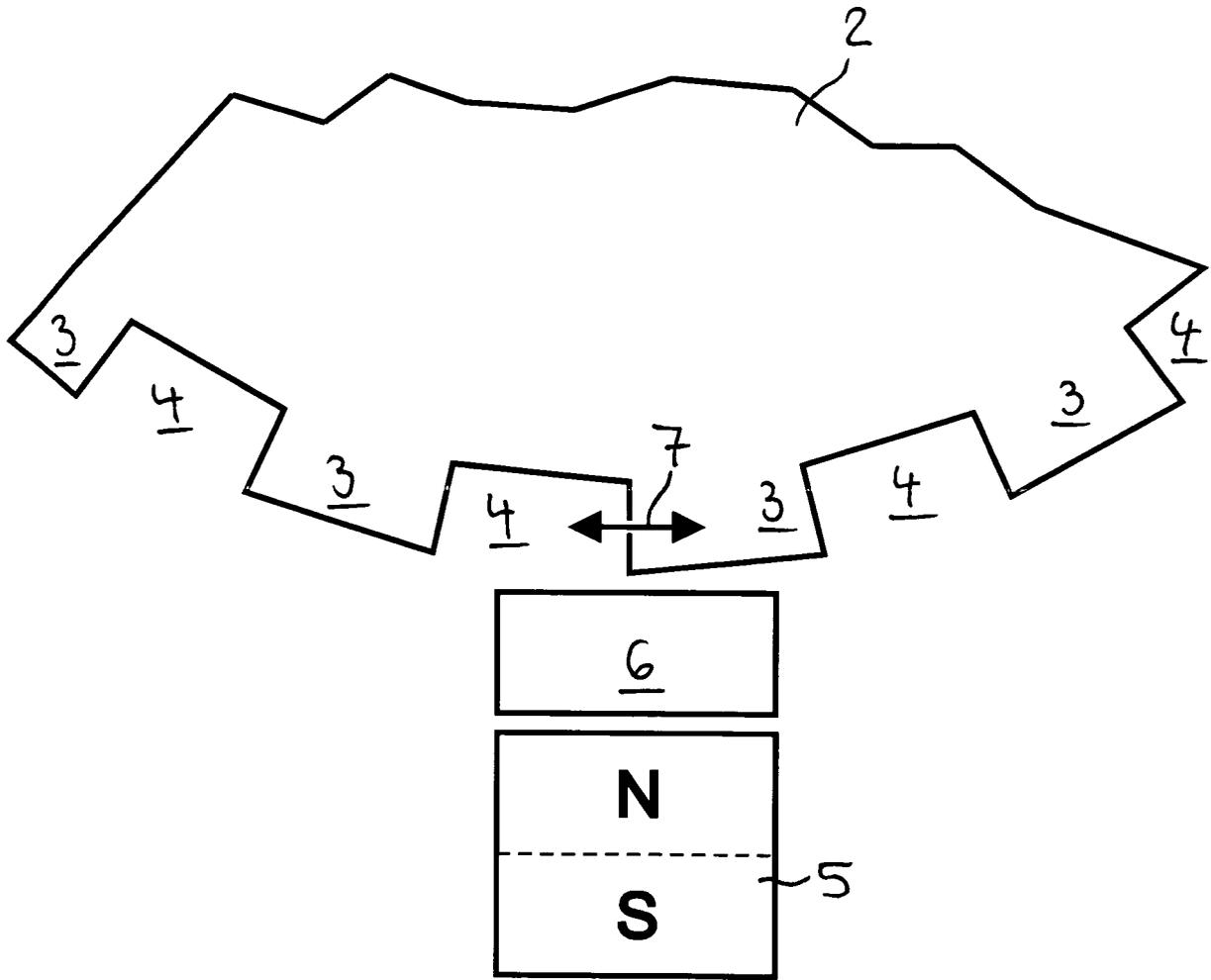


Fig. 1



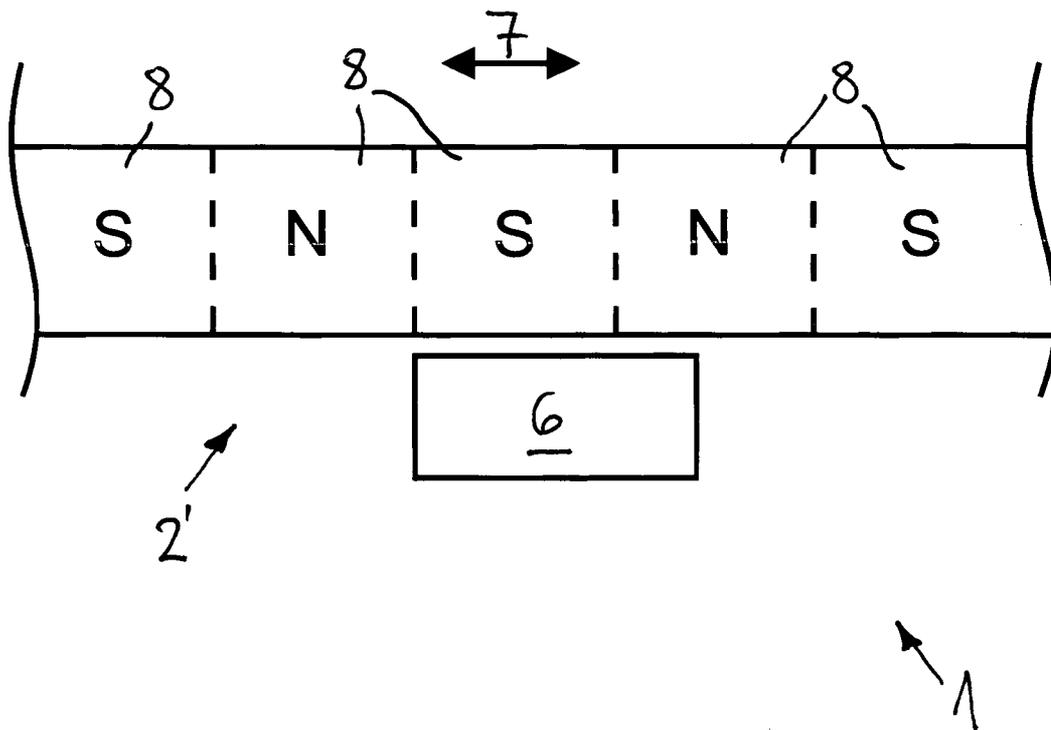


Fig. 2

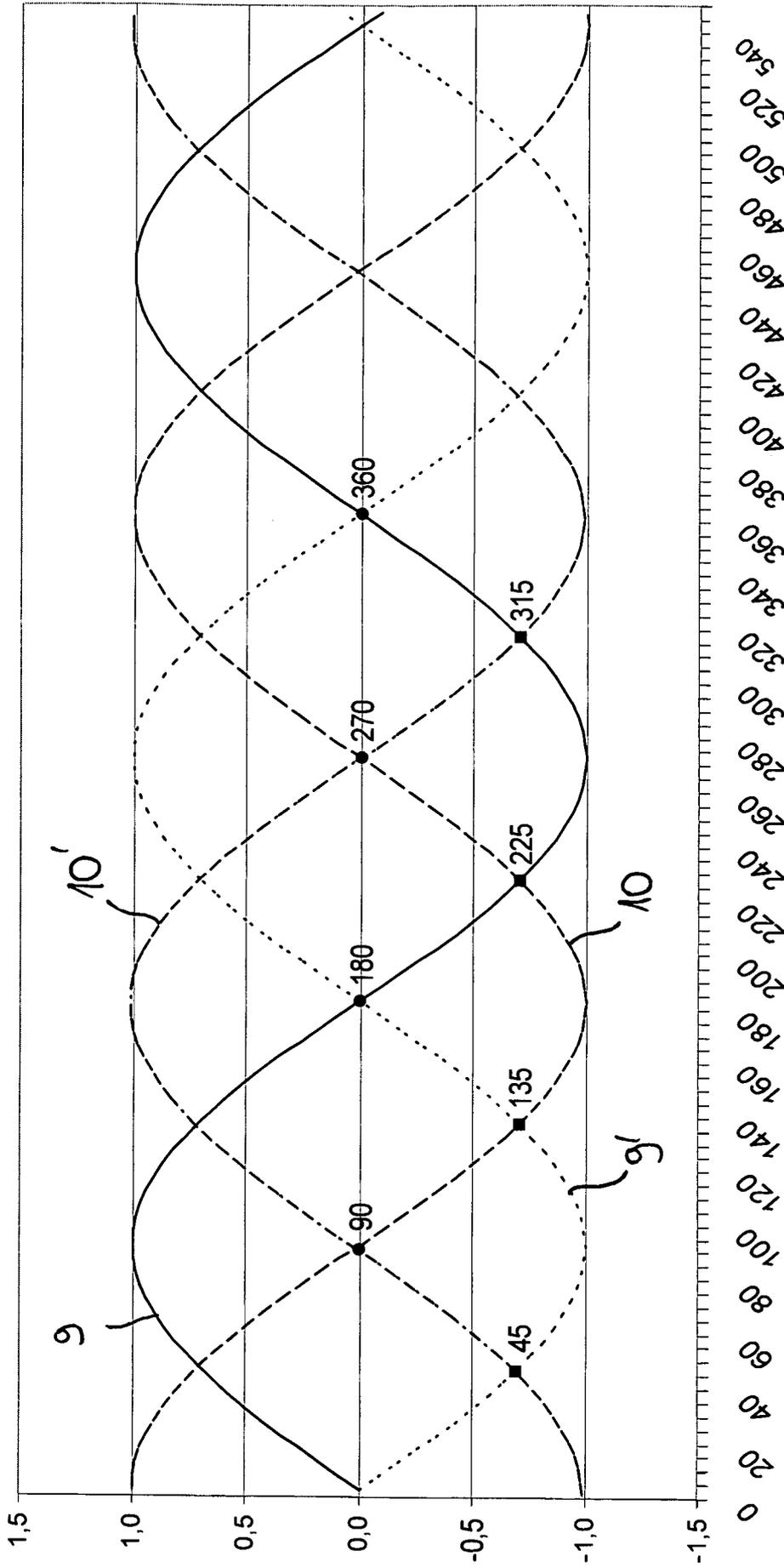


Fig. 3

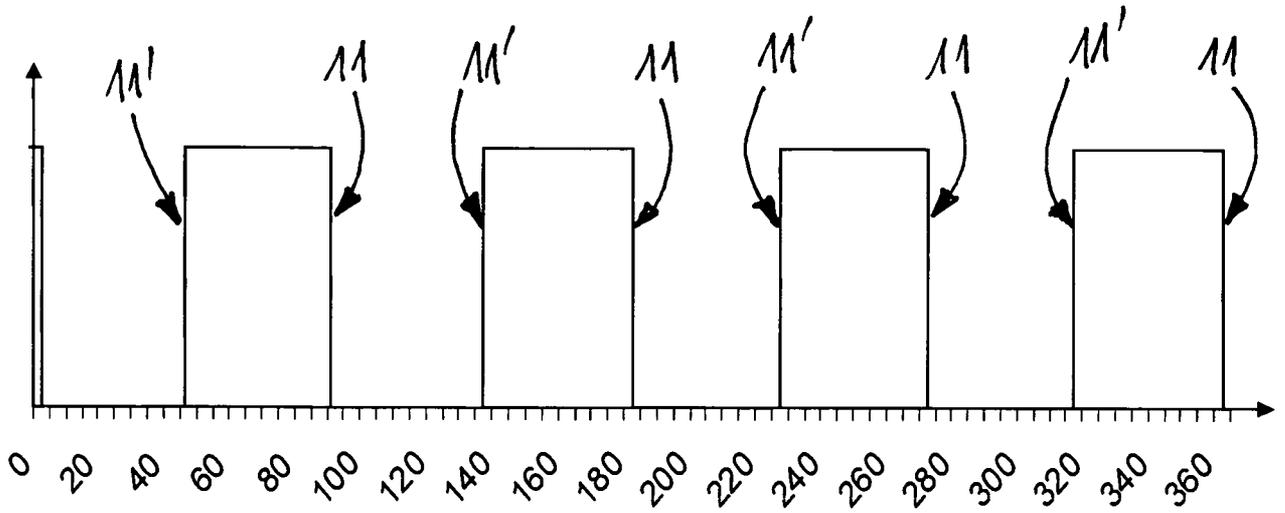


Fig. 4

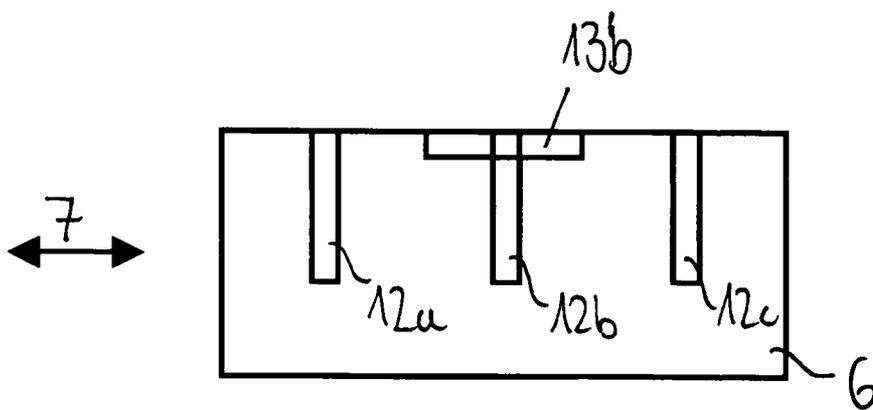


Fig. 6M

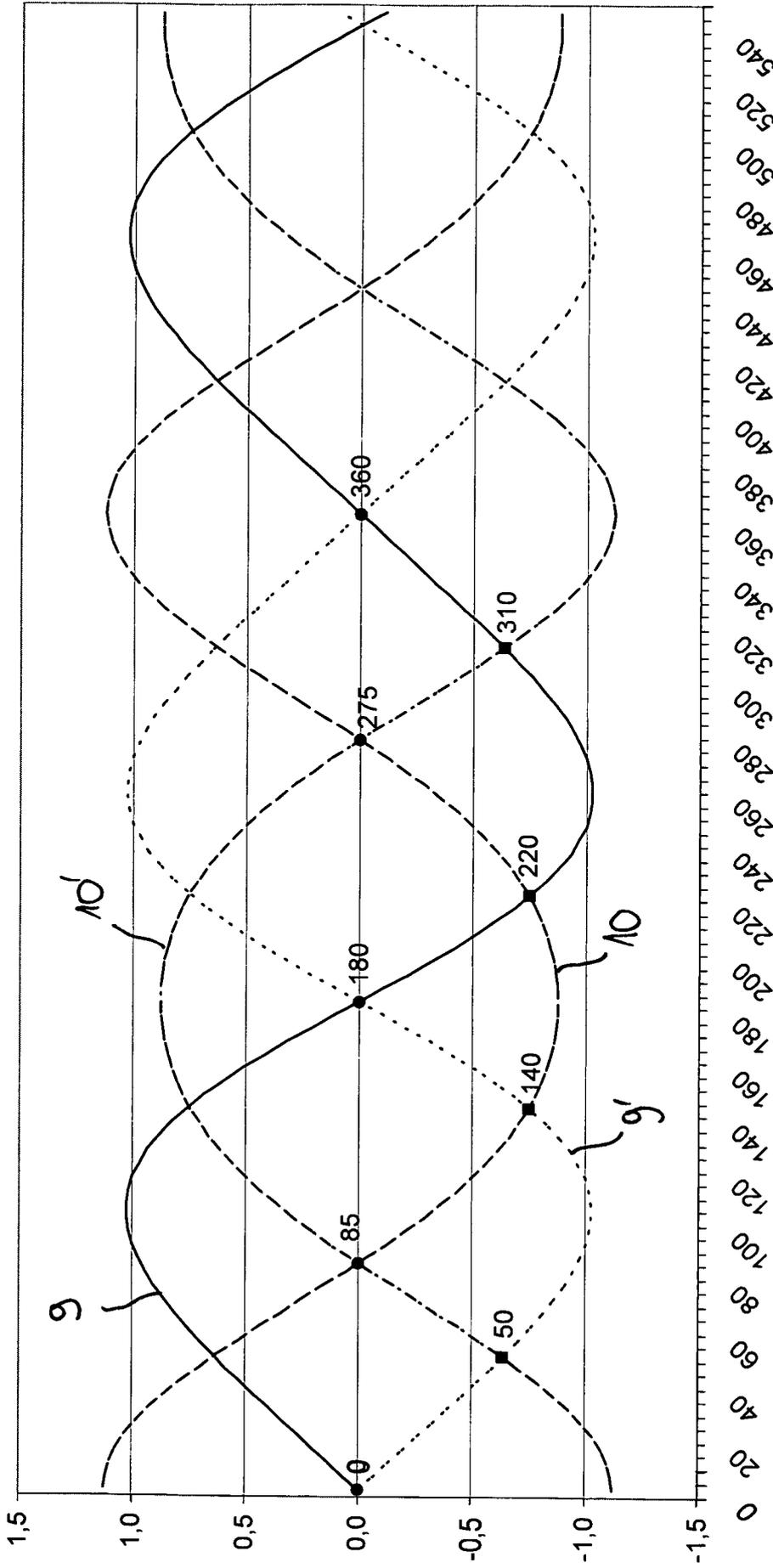


Fig. 5

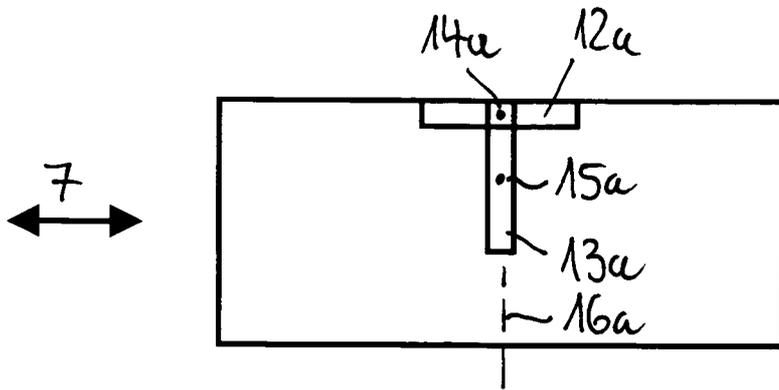


Fig. 6A

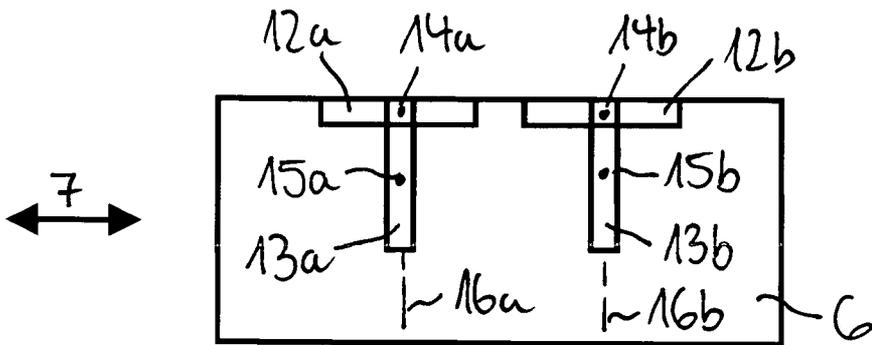


Fig. 6B

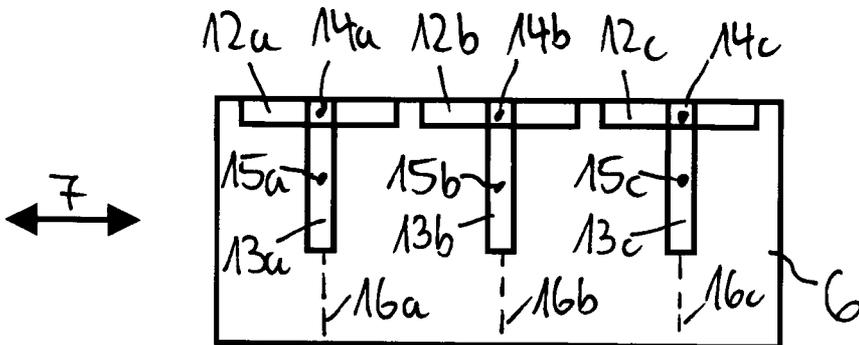


Fig. 6C

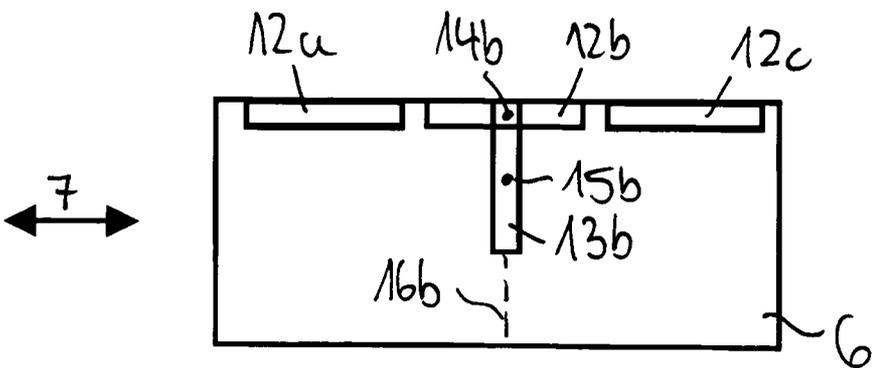


Fig. 6D

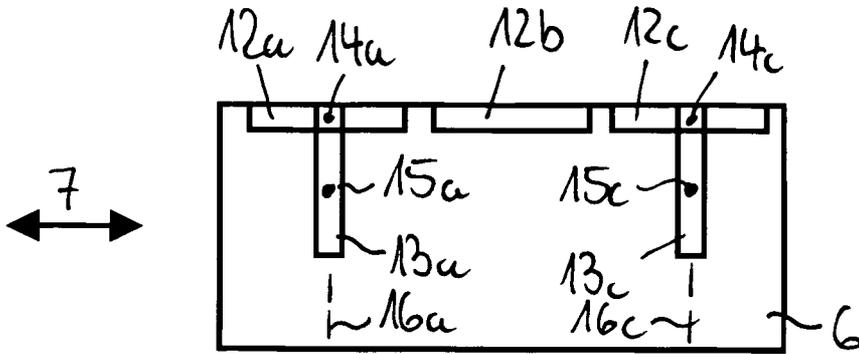


Fig. 6E

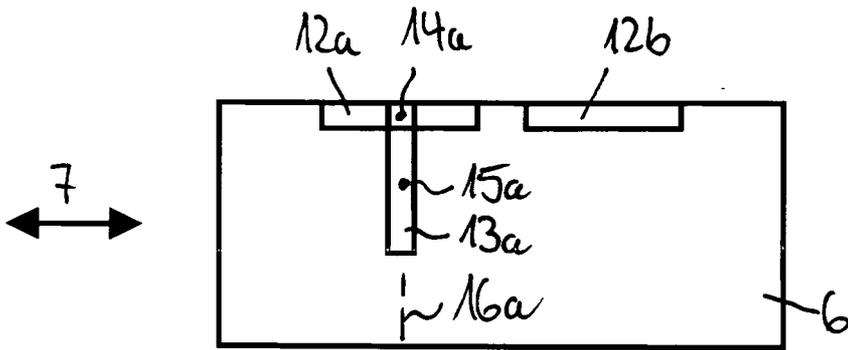


Fig. 6F

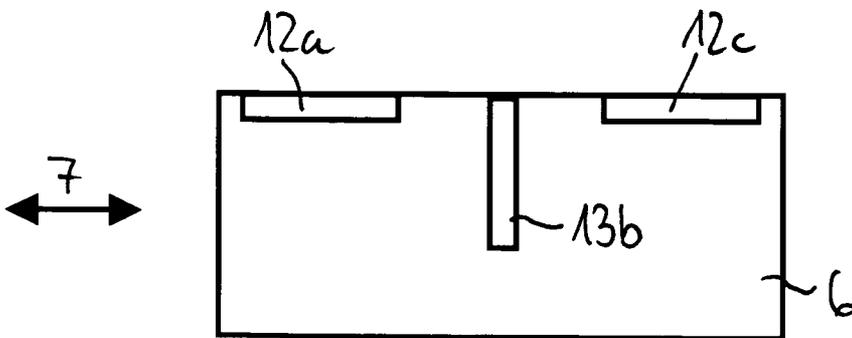


Fig. 6G

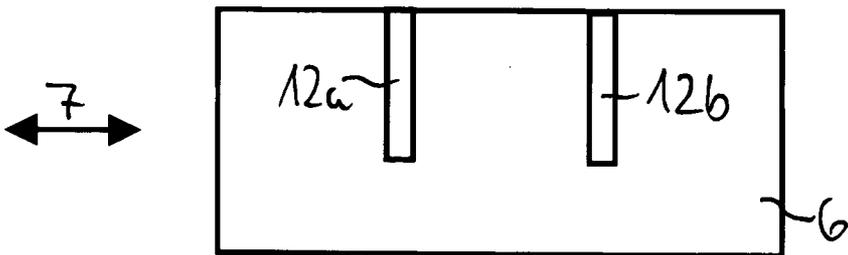


Fig. 6H

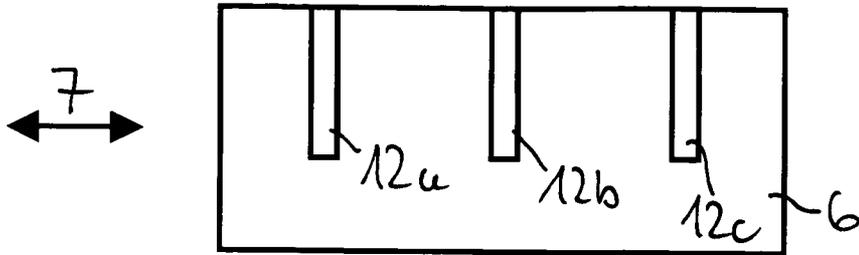


Fig. 6I

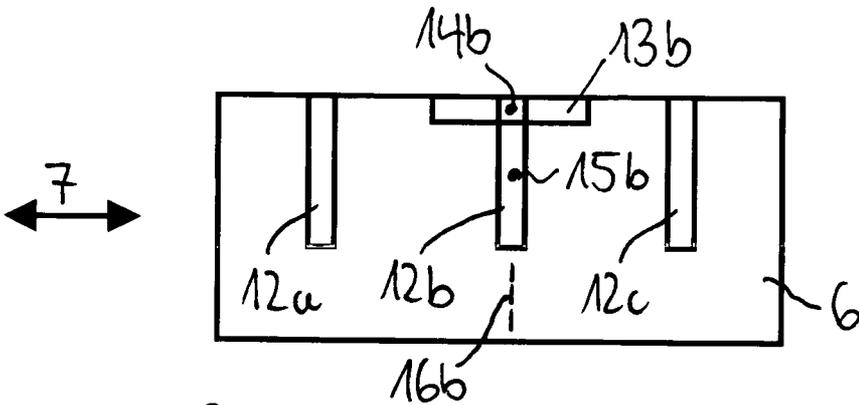


Fig. 6J

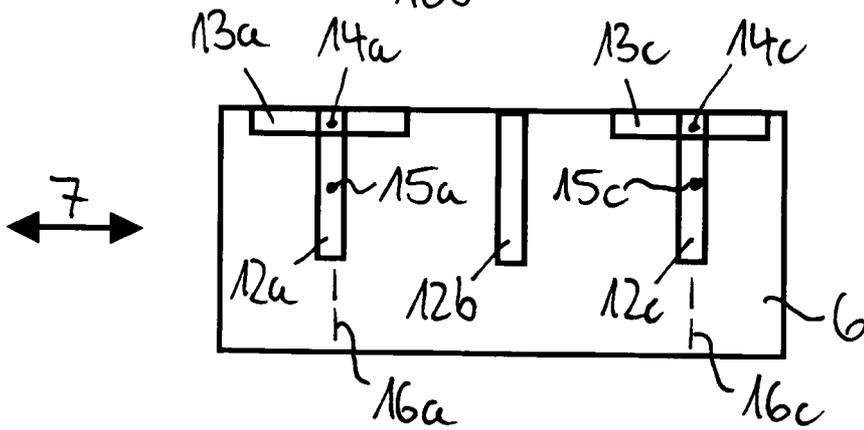


Fig. 6K

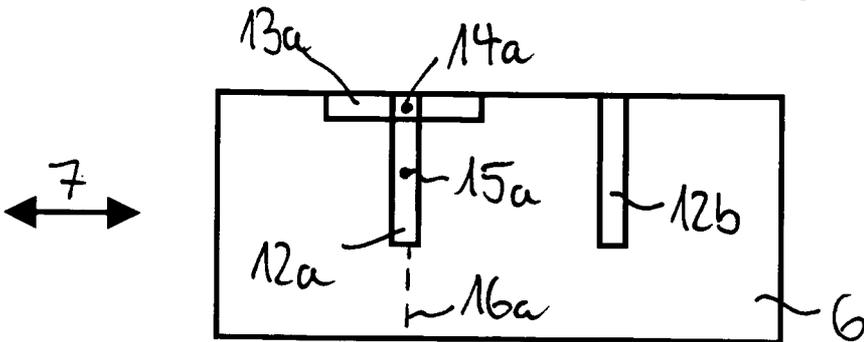


Fig. 6L

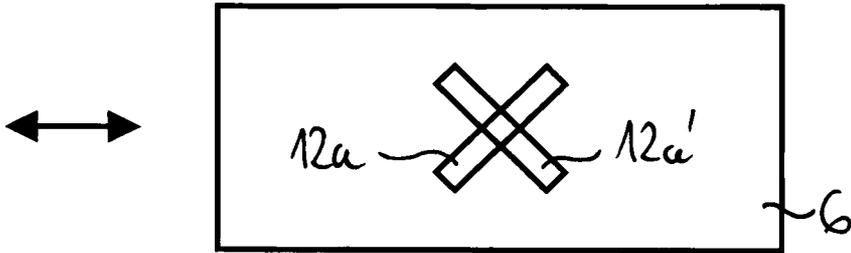


Fig. 7A

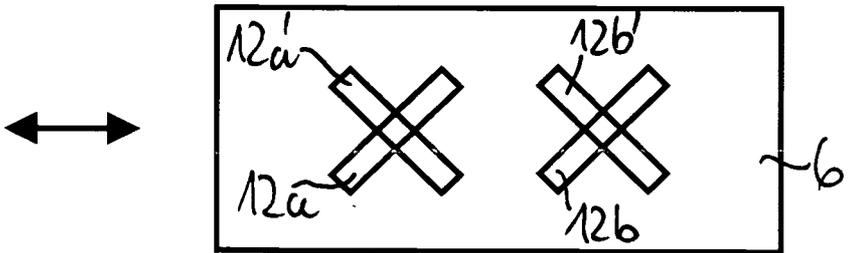


Fig. 7B

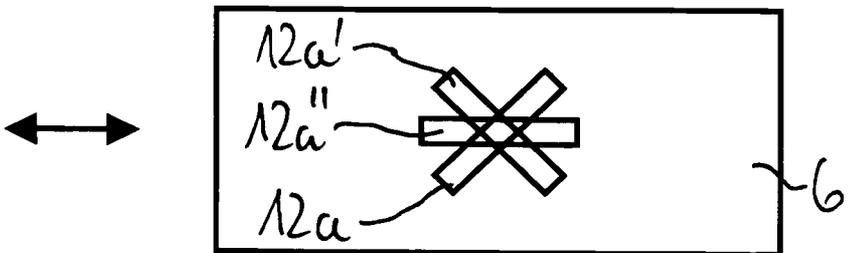


Fig. 7C

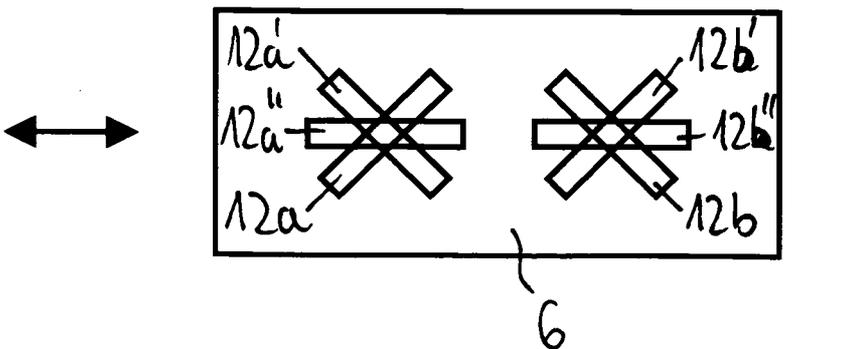


Fig. 7D