(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
6. September 2013 (06.09.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/127522 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 33/00 (2006.01) *G01R 15/20* (2006.01)
G01R 33/07 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/000564

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Februar 2013 (26.02.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 003 978.6
28. Februar 2012 (28.02.2012) DE

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastr. 27c, 80686 München (DE).

(72) Erfinder: **HACKNER, Michael**; Stachasweg 16, 93155 Hernau, OT Haag (DE). **HOHE, Hans-Peter**; Burggrub 28, 91332 Heiligenstadt (DE). **SAND, Markus**; Lachnerstr. 25, 91058 Erlangen (DE).

(74) Anwalt: **GAGEL, Roland**; Landsberger Str. 480a, 81241 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

(54) **Title**: METHOD AND DEVICE FOR MEASURING CURRENTS OR MAGNETIC FIELDS USING HALL SENSORS

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR MESSUNG VON STRÖMEN ODER MAGNETFELDERN MIT HALL-SENSOREN

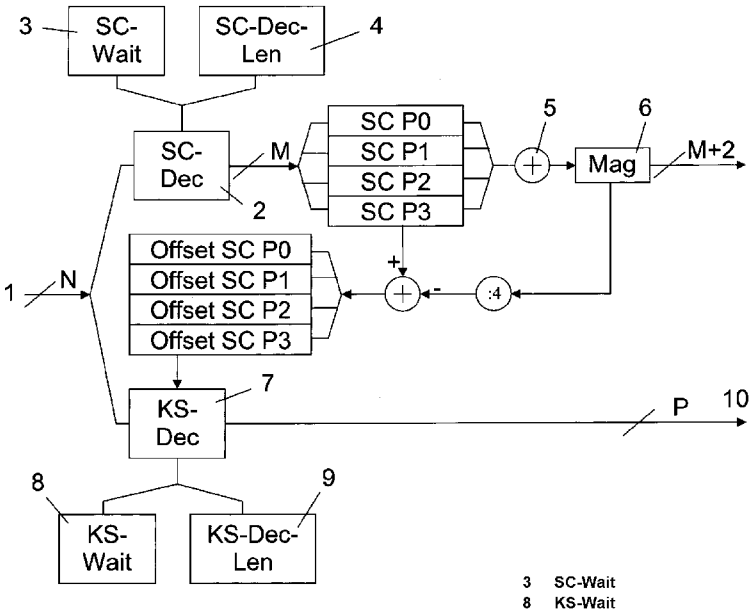


Fig.2

(57) **Abstract**: The present invention relates to a method and a device for measuring currents or magnetic fields using at least one Hall sensor, which is operated with spinning current technology. In addition to first sample values for calculating a spinning current measurement value (6), second sample values are formed from the digitally converted sensor signals (1) of the Hall sensor in the method. The second sample values are formed over shorter periods of time (9) and are corrected with an offset, which is calculated from the spinning current measurement value (6) and the first sample values. In addition to the precise spinning current measurement value (6), fast offset-corrected measurement values (10) of the magnetic field or current are obtained using the method and the associated device, without elaborate calibration or additional analogue circuitry expenses.

(57) **Zusammenfassung**: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Messung von

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/127522 A1

Strömen oder Magnetfeldern mit mindestens einem Hall-Sensor, der in Spinning-Current-Technik betrieben wird. Bei dem Verfahren werden neben ersten Abtastwerten für die Berechnung eines Spinning-Current-Messwertes (6) auch zweite Abtastwerte aus den digital gewandelten Sensorsignalen (1) des Hall-Sensors gebildet. Die zweiten Abtastwerte werden über kürzere Zeiträume (9) gebildet und mit einem Offset korrigiert, der aus dem Spinning-Current-Messwert (6) und den ersten Abtastwerten berechnet wird. Mit dem Verfahren und der zugehörigen Vorrichtung werden zusätzlich zum genauen Spinning-Current-Messwert (6) schnelle Offsetkorrigierte Messwerte (10) des Magnetfeldes oder Stroms ohne aufwändige Kalibrierung oder zusätzlichen analogen Schaltungsaufwand erhalten.

Verfahren und Vorrichtung zur Messung von Strömen oder Magnetfeldern mit Hall-Sensoren

Technisches Anwendungsgebiet

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Messung von Strömen oder Magnetfeldern mit mindestens einem Hall-Sensor, der in Spinning-Current-Technik betrieben wird, wobei Sensorsignale des Hall-Sensors mit einem Analog-Digital-Wandler in digitale Signale gewandelt werden, die digitalen Signale des Analog-Digital-Wandlers ausgelesen und für jede Spinning-Current-Phase über einen ersten Zeitraum kombiniert werden, um einen ersten Abtastwert zu erhalten, und die ersten Abtastwerte der Spinning-Current-Phasen eines Spinning-Current-Zyklus zur Bildung eines Spinning-Current-Messwertes des Stroms oder Magnetfeldes aufaddiert werden.

Stand der Technik

Strommessung in elektrischen Antrieben ist seit langem eine Domäne von Shunt-Widerständen. Diese sind in der Regel einfach zu verwenden, klein in der Bauform und erlauben eine schnelle Signalauswertung. Allerdings können Shunt-Widerstände nicht eingesetzt werden, wenn z.B. eine galvanisch getrennte Messung erfolgen soll, der stromführende Leiter nicht aufgetrennt werden darf oder kann, oder wenn im System so große Ströme auftreten können, dass ein Shunt zerstört oder beschädigt würde. In diesen Fällen bieten sich magnetische Messverfahren auf Basis von Hall-Sensoren zur Strommessung

an. Gängige Hall-Sensor-Systeme sind Strom-Wandler-Module mit magnetisierbarem Kern für die magnetische Flussverstärkung. In einem rückgekoppelten System wird damit eine recht hohe Messgenauigkeit und Mess-Bandbreite erreicht. Allerdings sind bei dieser Lösung Volumen und Kosten relativ hoch, da je nach Dimensionierung viel magnetisch aktives Material benötigt wird.

Zur Verringerung von Volumen und Kosten wäre es wünschenswert, die Magnetfeldsensoren ohne magnetischen Kern zu verwenden. Das Hauptproblem bei der Strommessung mit Hall-Sensoren ohne magnetischen Kern ist jedoch der relativ hohe Sensor-Offset in Bezug auf den Signal-Hub. Zur Unterdrückung des Offsets ist in fast jedem Hall-Sensor-System das so genannte Spinning-Current-Prinzip implementiert. Dabei werden für jede Messung die Betriebs-Strom-Richtung im Hall-Element bzw. Hall-Sensor und gleichzeitig auch die Anschlüsse für die Signal-Auskopplung (Hall-Kontakte) ein- oder mehrfach umgeschaltet. Aus den Einzelmessungen in den verschiedenen Spinning-Current-Phasen (meist zwei oder vier) wird ein Summenwert gebildet, dessen Offset-Anteil deutlich geringer ist als in den Einzelphasen. Allerdings ist durch die Nutzung des Spinning-Current-Prinzips die mögliche Messfrequenz durch die Einschwingvorgänge beim Umschalten zwischen den einzelnen Phasen und durch die notwendige Genauigkeit der Messwerte begrenzt.

In modernen elektrischen Antrieben werden zur Steuerung der Elektromotoren hoch präzise und dynamische Umrichter verwendet, die getaktet betrieben werden. Zur präzisen Regelung der Umrichterspannungen

und -ströme werden Messwerte dieser Größen mit hoher Genauigkeit und niedrigem Rauschen benötigt. Dazu sind Hall-Sensor-Systeme zur Strommessung mit ΔΣ-Modulatoren (ΔΣM) zur Analog-Digital-Umsetzung ideal geeignet, wenn diese synchron zum Umrichter betrieben werden. In diesem Fall kann über volle Perioden der Umrichter-Taktung integriert werden, wodurch ein sehr präziser Messwert entsteht. Die Taktfrequenz liegt meistens im Bereich von einigen kHz bis ca. 20 kHz, was durchaus noch in einem möglichen Bereich für das Spinning-Current-Verfahren liegt. A. Kerlain et al., „Hybrid Hall microsystem for high dynamic range/large bandwidth magnetometry applications", IEEE SENSORS 2008 Conference, Seiten 1044 bis 1047, zeigen ein Beispiel für ein derartiges Hall-Sensor-System.

Allerdings wird in der Praxis immer auch eine Erkennung von Kurzschlussströmen in sehr kurzer Zeit gefordert, damit die Halbleiterschalter durch den Kurzschluss nicht thermisch überlastet und dadurch beschädigt oder zerstört werden. Dazu sind Messzyklen von maximal 10 µs Dauer gefordert. Diese kurzen Messzeiten sind für derzeit bekannte nach dem Spinning-Current-Prinzip arbeitende Hall-Sensor-Systeme nicht sinnvoll, wenn gleichzeitig für die Regelung präzise Messwerte zur Verfügung gestellt werden sollen. Der Anteil der Einschwingzeit nach dem Umschalten der Spinning-Current-Phasen im Verhältnis zur tatsächlichen Signalerfassungszeit wird dann so groß, dass die Signalqualität durch Rauschen deutlich gemindert wird. Für eine gleichzeitige schnelle Messung ist daher derzeit ein paralleles Zweit-System erforderlich, das

jedoch den Aufwand und die Kosten der Strommessung deutlich erhöht.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Messung von Strömen oder Magnetfeldern mit mindestens einem Hall-Sensor anzugeben, die eine genaue und eine schnelle Messung des Stroms oder Magnetfeldes mit geringem Aufwand ermöglichen.

Darstellung der Erfindung

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren und der Vorrichtung gemäß den Ansprüchen 1 und 7 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sowie der Vorrichtung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche oder lassen sich der nachfolgenden Beschreibung sowie den Ausführungsbeispielen entnehmen.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren wird der Hall-Sensor in der Spinning-Current-Technik, beispielsweise mit zwei oder mit vier Phasen betrieben. Grundsätzlich ist ein Betrieb des Hall-Sensors mit N-Phasen möglich, wobei $N \geq 2$. Bei dem Verfahren werden Sensorsignale des Hall-Sensors mit einem Analog-Digital-Wandler in digitale Signale gewandelt, die digitalen Signale des Analog-Digital-Wandlers ausgelesen und für jede Spinning-Current-Phase über einen ersten Zeitraum kombiniert, um einen ersten Abtastwert zu erhalten. Die ersten Abtastwerte der Spinning-Current-Phasen eines Spinning-Current-Zyklus werden zur Bildung eines Spinning-Current-Messwertes des Stroms oder Magnetfeldes aufaddiert. Die Sensorsignale bzw. Ausgangssignale des Hall-Sensors können dabei mit oder ohne

vorherige Verstärkung dem Analog-Digital-Wandler zugeführt werden. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die digitalen Signale des Analog-Digital-Wandlers für jede Spinning-Current-Phase mehrmals über jeweils einen zweiten Zeitraum kombiniert werden, der kleiner als der erste Zeitraum ist, um mehrere zweite Abtastwerte in zeitlicher Abfolge zu erhalten, und aus dem Spinning-Current-Messwert für jede Spinning-Current-Phase ein Offset der ersten Abtastwerte berechnet und die zweiten Abtastwerte auf Basis dieses Offset korrigiert werden, um Offset-korrigierte schnelle Messwerte des Stroms oder Magnetfeldes zu erhalten.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren werden somit die genaue und die schnelle Strom- oder Magnetfeldmessung in einen Spinning-Current-Ablauf integriert. Damit kann zum einen der Temperaturgang des Offset der Hall-Elemente über der Temperatur ohne aufwändige Kalibrierung systematisch eliminiert werden und zum anderen kann eine Überstromsituation schnell genug mit hinreichender Genauigkeit detektiert werden. Der Schaltungsaufwand steigt gegenüber einer herkömmlichen Messung unter Nutzung des Spinning-Current-Prinzips dabei nicht wesentlich an. Insbesondere ist keine Änderung im analogen Signalpfad notwendig, der für die Messgenauigkeit ausschlaggebend ist.

Im Gegensatz zu dem bisherigen Verfahren der Messung von Magnetfeldern oder Strömen mit Hall-Sensoren unter Nutzung der Spinning-Current-Technik werden beim hier vorgeschlagenen Verfahren die Einzelphasen-Messwerte (erste Abtastwerte) nicht nach

der Addition zur Bildung des Spinning-Current-Messwertes verworfen, sondern gespeichert, um aus dem Spinning-Current-Messwert den Offset dieser ersten Abtastwerte zu berechnen. Die zweiten Abtastwerte werden dann auf Basis dieses Offset korrigiert, um Offset-korrigierte zweite Abtastwerte zu erhalten, die den schnellen Messwerten des Stroms oder Magnetfeldes entsprechen. Hierbei ist in der Regel noch eine geeignete Skalierung des Offset notwendig, da die ersten und zweiten Abtastwerte über unterschiedlich lange Zeiträume kombiniert werden. Der Skalierungsfaktor entspricht dabei dem Verhältnis des zweiten Zeitraums zum ersten Zeitraum. Dieser skalierte Offset kann dann direkt von den zweiten Abtastwerten - jeweils für die entsprechende Spinning-Current-Phase - subtrahiert werden.

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren und der nachfolgend ebenfalls beschriebenen Vorrichtung bleibt die Genauigkeit der Spinning-Current-Messwerte gegenüber bisherigen Verfahren, die rein nach dem Spinning-Current-Prinzip arbeiten, unverändert und wird nicht beeinflusst. Gleichzeitig stellen das Verfahren und die Vorrichtung jedoch auch schnelle Messwerte des Stroms oder Magnetfeldes zur Verfügung, die einer Offset-Korrektur unterzogen wurden. Die Offset-Korrektur der schnellen Messwerte wird dabei systematisch über der Temperatur oder andere Betriebs-Bedingungen nachgeführt. Die sehr genauen und die sehr schnellen Messwerte werden gleichzeitig mit demselben Sensor und analogen Vorbauten gewonnen. Es sind keine zusätzlichen analogen Komponenten erforderlich. Auch aufwändige Kalibrierungen des Sensors entfallen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird in bekannter Weise nach jedem Umschalten der Spinning-Current-Phase eine Wartezeit (erste Wartezeit) zwischen dem Umschalten der Spinning-Current-Phase und dem Beginn des Zeitraums für die Bildung der ersten Abtastwerte eingelegt, um Einflüsse der durch das beim Umschalten hervorgerufenen Einschwingvorgänge auf die Genauigkeit des Spinning-Current-Messwertes zu vermeiden. In gleicher Weise wird auch eine Wartezeit zwischen dem Umschalten der Spinning-Current-Phase und dem erstmaligen Beginn des zweiten Zeitraums der jeweiligen Phase für die Bildung der zweiten Abtastwerte eingelegt. Diese zweite Wartezeit kann gleich der ersten Wartezeit gewählt werden. Sie ist jedoch vorzugsweise kleiner als die erste Wartezeit, damit die zweiten Abtastwerte nach dem Umschalten der Spinning-Current-Phase schneller zur Verfügung stehen, die ja nicht die hohe Genauigkeit der ersten Abtastwerte aufweisen müssen. Die zweite Wartezeit entspricht vorzugsweise auch der Zeit zwischen jeweils zwei aufeinander folgenden zweiten Zeiträumen, wobei die (zweiten) Wartezeiten und zweiten Zeiträume jeder Spinning-Current-Phase vorzugsweise so gewählt werden, dass deren Summe genau der Länge der Spinning-Current-Phase entspricht. Damit ist die Taktung für die Bildung der zweiten Abtastwerte synchron zur Taktung des Spinning-Current-Betriebs des Hall-Sensors.

Vorzugsweise werden die Sensorsignale des Hall-Sensors mit einem $\Delta\Sigma$-Wandler erster Ordnung in digitale Signale gewandelt, dessen analoger Integrator vor jeder neuen Messung einer Spinning-Current-Phase gelöscht

wird. Die Kombination der digitalen Signale über den ersten Zeitraum erfolgt vorzugsweise durch einen ersten Dezimator, die Kombination der digitalen Signale über den zweiten Zeitraum durch einen zweiten Dezimator. Die Kombination umfasst bei der vorliegenden Erfindung in der Regel eine Addition, gegebenenfalls mit weiteren Rechenoperationen, bspw. zur Bildung eines Mittelwerts.

Die zur Durchführung des Verfahrens ausgebildete Vorrichtung umfasst dementsprechend neben dem in Spinnig-Current-Technik betriebenen Hall-Sensor einen Analog-Digital-Wandler, einen ersten Kombinierer, der die digitalen Signale des Analog-Digital-Wandlers ausliest und für jede Spinning-Current-Phase über einen ersten Zeitraum kombiniert, um einen ersten Abtastwert zu erhalten, und einen Addierer, der die ersten Abtastwerte der Spinning-Current-Phasen eines Spinning-Current-Zyklus zur Bildung eines Spinning-Current-Messwertes des Stroms oder Magnetfelds aufaddiert. Ein zweiter Kombinierer kombiniert die digitalen Signale des Analog-Digital-Wandlers für jede Spinning-Current-Phase mehrmals über jeweils einen zweiten Zeitraum, der kleiner als der erste Zeitraum ist, um in zeitlicher Abfolge mehrere zweite Abtastwerte zu erhalten. Eine Korrektureinheit berechnet aus dem Spinning-Current-Messwert jeweils für jede Spinning-Current-Phase einen Offset der ersten Abtastwerte und korrigiert die zweiten Abtastwerte dann auf Basis dieses Offset, um Offset-korrigierte schnelle Messwerte des Stroms oder Magnetfeldes zu erhalten.

Das vorgeschlagene Verfahren und die zugehörige Vorrichtung lassen sich besonders vorteilhaft zur

schnellen Strommessung einsetzen, beispielsweise in elektrischen Antrieben, wie sie in der Beschreibungseinleitung kurz angeführt wurden. Das Verfahren und die Vorrichtung können jedoch selbstverständlich auch allgemein zur schnellen Magnetfeld-Messung eingesetzt werden, beispielsweise in der berührungslosen Positionsmessung mit Hall-Sensoren.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Das vorgeschlagene Verfahren sowie die zugehörige Vorrichtung werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Zeichnungen nochmals näher erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 ein Beispiel für die Auswertung einer herkömmlichen Magnetfeldmessung unter Einsatz eines Hall-Sensors, der in Spinning-Current-Technik betrieben wird;

Fig. 2 ein Beispiel für eine Auswertung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren;

Fig. 3 ein zweites Beispiel für eine Auswertung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren; und

Fig. 4 ein Beispiel für die Synchronisierung von schneller und genauer Messung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren.

Wege zur Ausführung der Erfindung

Fig. 1 zeigt ein Beispiel für eine Auswertung einer Magnetfeldmessung mit einem Hall-Sensor, der in bekannter Weise in Spinning-Current-Technik mit vier Phasen betrieben wird. Die Verschaltung des Hall-Sensors zur Umschaltung der einzelnen Phasen sowie

eventuelle weitere analoge Bauelemente wie ein üblicherweise eingesetzter Vorverstärker zur Verstärkung der Ausgangssignale des Hall-Sensors sowie der erforderliche Analog-Digital-Wandler, im vorliegenden Beispiel ein ΔΣ-Modulator, sind in dieser und den folgenden Figuren nicht dargestellt. Diese Bauteile sind jedoch aus dem Stand der Technik der Strom- oder Magnetfeld-Messung mit Hall-Sensoren hinreichend bekannt, beispielsweise aus der in der Einleitung genannten Veröffentlichung von A. Kerlain et al.

Das Ausgangssignal des Hall-Elementes wird dabei mit oder ohne Vorverstärker einem ΔΣ-Modulator erster Ordnung zugeführt, der das Signal digitalisiert. Der analoge Integrator des ΔΣ-Modulators wird vor jeder neuen Messung einer Spinning-Current-Phase gelöscht. Die digitale Signalfolge 1 des ΔΣ-Modulators wird einem Dezimationsfilter 2 (einfacher digitaler Akkumulator) zugeführt. Das Dezimationsfilter 2 (SC-Dec) wird bei dem Verfahren des Standes der Technik zu Beginn jedes Spinning-Current(SC)-Zyklus gelöscht, nachdem das vorhergehende Messergebnis vom System übernommen wurde.

Nach dem Umschalten der SC-Phase wird eine kurze Zeit 3 gewartet, die der Vorverstärker benötigt, um einzuschwingen (SC-Wait: Anzahl der Takte, die nicht aufsummiert wird). Dann wird der ΔΣ-Modulator wieder freigegeben und über einen Zeitraum 4 eine definierte Anzahl von Systemtakten (SC-Dec-Len: Dezimationslänge, auch als Tap bezeichnet) dessen Ausgangssignalfolge im Dezimator 2 zum Einzelphasen-Messwert aufsummiert.

Jeweils vier Einzelphasen-Messwerte SCP0-SCP3 werden anschließend in einem Addierer 5 aufsummiert, um den SC-Summenwert zu bilden, in der vorliegenden Patentanmeldung auch als Spinning-Current-Messwert bezeichnet, der das eigentliche Magnetfeld-proportionale Messergebnis darstellt. In genau messenden Systemen werden die Einzelphasen-Messwerte SCP0-SCP3 dann nicht mehr benötigt und nach der Verrechnung im Endwert verworfen. Der berechnete Spinning-Current-Messwert 6 (Mag: Magnetfeld) wird als Endergebnis ausgegeben.

Im Gegensatz dazu werden beim vorliegenden Verfahren die Einzelphasen-Messwerte SCP0-SCP3 (im Falle eines Vier-Phasen-Spinning-Current-Betriebes) jedoch gespeichert. Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Vorgehensweise in einer Ausgestaltung des vorgeschlagenen Verfahrens. Der obere Teil der Figur entspricht der Berechnung des SC-Messwertes 6 entsprechend der Figur 1. Zusätzlich wird beim hier vorgeschlagenen Verfahren aus dem SC-Messwert 6 und den Einzelphasen-Messwerten SCP0-SCP3, in der vorliegenden Patentanmeldung auch als erste Abtastwerte bezeichnet, jeweils ein Offset für diese ersten Abtastwerte berechnet, wie dies in der Figur schematisch angedeutet ist. Dies erfolgt in folgender Weise:

Aus den gespeicherten Einzelphasen-Messwerten

$$SC_{P0} = \text{Magnetfeld} + \text{Offset}_{SCPhase0}$$
$$SC_{P1} = \text{Magnetfeld} + \text{Offset}_{SCPhase1}$$
$$SC_{P2} = \text{Magnetfeld} + \text{Offset}_{SCPhase2}$$
$$SC_{P3} = \text{Magnetfeld} + \text{Offset}_{SCPhase3}$$

wird der 4-Phasen Messwert bzw. Spinning-Current-Messwert (Magnetfeld) berechnet:

$$SC_{P0} + SC_{P1} + SC_{P2} + SC_{P3} = 4 \cdot Magnetfeld + Offset_{SCPhase0} + Offset_{SCPhase1} + Offset_{SCPhase2} + Offset_{SCPhase3}$$

Aufgrund der Eigenschaften der Hall-Sensoren gilt:

$$Offset_{SCPhase0} + Offset_{SCPhase1} + Offset_{SCPhase2} + Offset_{SCPhase3} = 0$$

und damit:

$$SC_{P0} + SC_{P1} + SC_{P2} + SC_{P3} = 4 \cdot Magnetfeld$$

Durch entsprechendes Umformen des ersten Gleichungs-Satzes

$$SC_{P0} = Magnetfeld + Offset_{SCPhase0} \Rightarrow Offset_{SCPhase0} = Magnetfeld - SC_{P0}$$
$$SC_{P1} = Magnetfeld + Offset_{SCPhase1} \Rightarrow Offset_{SCPhase0} = Magnetfeld - SC_{P1}$$
$$SC_{P2} = Magnetfeld + Offset_{SCPhase2} \Rightarrow Offset_{SCPhase2} = Magnetfeld - SC_{P2}$$
$$SC_{P3} = Magnetfeld + Offset_{SCPhase3} \Rightarrow Offset_{SCPhase3} = Magnetfeld - SC_{P3}$$

erhält man die Vorschriften, mit denen dann die jeweiligen Einzelphasen-Offsets ($Offset_{SCPhasex}$) aus den Einzelphasen-Messwerten ermittelt werden können.

Diese Einzelphasen-Offsets können dann je nach gerade aktuell eingestellter Spinning-Current-Phase vom Abtastwert der schnellen Messung abgezogen werden. Dies kann durch explizite Subtraktion nach der Messung oder durch eine entsprechende Vorbesetzung des Dezimations-filters vor Beginn der Dezimation erfolgen.

Die schnellen Messwerte werden hierbei aus der digitalen Signalfolge 1 des ΔΣ-Modulators gewonnen, die

einem zweiten Dezimator 7 (KS-Dec) zugeführt werden. In diesem zweiten Dezimator 7 erfolgt die Berechnung der zweiten Abtastwerte in gleicher Weise wie die Berechnung der ersten Abtastwerte im ersten Dezimator 2. Die Wartezeit 8 (KS-Wait: Anzahl der Takte, die nicht aufsummiert wird) nach dem Umschalten der SC-Phase wird hierbei vorzugsweise kürzer gewählt als die erste Wartezeit 3 (SC-Wait) für die Bildung der ersten Abtastwerte. Der zweite Zeitraum 9 (KS-Dec-Len: Dezimationslänge), über den die digitalen Signale des ΔΣ-Modulators dann zur Bildung der zweiten Abtastwerte aufsummiert werden, wird kürzer gewählt als der erste Zeitraum 4 (SC-Dec-Len) für die Bildung der ersten Abtastwerte. Die zweiten Abtastwerte werden entsprechend den aus dem SC-Messwert 6 berechneten Offsetwerten korrigiert, so dass als Ergebnis schnelle Messwerte 10 des Stroms oder Magnetfeldes ausgegeben werden können.

Eine zusätzliche Korrektur der Werte ist in der Regel erforderlich, da sich die Dezimationslängen (erste und zweite Zeiträume) für die genaue und die schnelle Messung naturgemäß unterscheiden. Dies wirkt sich in der Skalierung der Messwerte aus. Das Verhältnis dieser Skalen muss ebenfalls korrigiert werden. In günstigen Fällen kann dies durch einfache Schiebe-Operationen im Digitalteil der Mess-Vorrichtung geschehen. Im Allgemeinen muss aber mit einer gebrochenen Zahl multipliziert werden:

$$\text{Offset-Skalierungsfaktor} = \frac{KSDecLen}{SCDecLen}$$

Da dieser Wert sich im Betrieb nicht ändert, kann er dem System ebenso wie KS-Dec-Len und SC-Dec-Len als Konstante übergeben werden. Fig. 3 zeigt hierzu die Offset-Korrektur des schnellen Messwertes mit dieser Skalierung der gemessenen Offset-Werte entsprechend dem Verhältnis der Dezimationslängen. Dies erfolgt hier durch die Vorgabe des Offset-Skalierungsfaktors 11 (OS), mit dem die aus dem SC-Messwert 6 und den Einzelphasen-Messwerten SCP0-SCP3 berechneten Offset-Werte multipliziert werden. Der entsprechend korrigierte Offset 12 wird dann entsprechend von den zweiten Abtastwerten subtrahiert.

Eine zweite zusätzliche Korrektur wird notwendig, wenn zusätzliche Magnetfelder ins System eingebracht werden. Dies kann z.B. der Fall sein, wenn mit einem konstanten Strom mit Hilfe einer integrierten Magnetfeld-Spule die Empfindlichkeit des Messsystems gemessen werden soll. Bei entsprechender Anwendung kann dies sogar gleichzeitig mit der Messung der Magnetfelder bzw. Ströme durchgeführt werden, ohne Messwerte zu verlieren.

In diesem Fall ist dem System jedoch der Magnetfeld-Hub durch die zusätzlich eingebrachten Magnetfelder bekannt und kann nachträglich von den schnellen Messwerten abgezogen werden. Damit die erzielbaren Genauigkeiten in beiden digitalen Messpfaden (schnelle und genaue Messung) optimal ausgenutzt werden können, müssen die Wartetakte (Wartezeiten) und Dezimationslängen (erster und zweiter Zeitraum) für beide Messungen so gewählt werden, dass gilt:

SC-Wait + SC-Dec-Len = (KS-Wait + KS-Dec-Len) *Faktor,

wobei Faktor = 2, 3, ... N.

Bei der Anwendung einer Offset-Zentrierung, wie sie aus der DE 10 2006 059 421 B4 bekannt ist, kann es erforderlich sein, dass der Stellwert für den in dieser Druckschrift verwendeten Offset-Korrektur-Wert, der immer für zwei SC-Phasen gemeinsam angewandt wird, im laufenden Betrieb korrigiert werden muss. Dadurch ändern sich auch bei gleich bleibendem Magnetfeld die jeweiligen Einzelphasen-Messwerte. Da jedoch die Größe der Änderung im System bekannt ist, kann diese Änderung auch im laufenden Betrieb in den schnellen Messwerten korrigiert werden.

Bei dem vorgeschlagenen Verfahren sollten außerdem beide Mess-Zyklen so synchron laufen, dass die Wartezeit der schnellen Messung (zweite Wartezeit) gleichzeitig mit einer Wartezeit der langsamen Messung (erste Wartezeit) beginnt, da dann zwischen den Spinning-Current-Phasen umgeschaltet wird. Dies ist in der Figur 4 für einen Vier-Phasen-Betrieb schematisch angedeutet. In der Figur sind die Umschaltevorgänge 13, die erste und zweite Wartezeit 3, 8 sowie der erste und zweite Zeitraum 4, 9 für die schnelle und die genaue Messung angedeutet. Die Wartezeiten der schnellen Messung sind deutlich kürzer als die der genauen Messung. Dies ist jedoch zulässig, da auch nur eine geringere Genauigkeit von den schnellen Messwerten erwartet wird.

Bezugszeichenliste

1	Digitale Signalfolge des ΔΣ-Modulators
2	Erster Dezimator (SC-Dec)
3	Erste Wartezeit (SC-Wait)
4	Erster Zeitraum (SC-Dec-Len)
5	Addierer
6	SC-Messwert
7	Zweiter Dezimator (KS-Dec)
8	Zweite Wartezeit (KS-Wait)
9	Zweiter Zeitraum (KS-Dec-Len)
10	Schneller Messwert
11	Offset-Skalierungsfaktor (OS)
12	Korrigierter Offset
13	Umschalten zwischen Phasen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung von Strömen oder Magnetfeldern mit mindestens einem Hallsensor, der in Spinning-Current-Technik betrieben wird, bei dem
- Sensorsignale des Hallsensors mit einem Analog-Digital-Wandler in digitale Signale (1) gewandelt werden,
- die digitalen Signale (1) des Analog-Digital-Wandlers ausgelesen und für jede Spinning-Current-Phase über einen ersten Zeitraum (4) kombiniert werden, um einen ersten Abtastwert zu erhalten, und
- die ersten Abtastwerte der Spinning-Current-Phasen eines Spinning-Current-Zyklus zur Bildung eines Spinning-Current-Messwertes (6) des Stroms oder Magnetfeldes aufaddiert werden,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die digitalen Signale (1) des Analog-Digital-Wandlers für jede Spinning-Current-Phase mehrmals über jeweils einen zweiten Zeitraum (9) kombiniert werden, der kleiner als der erste Zeitraum(4) ist, um mehrere zweite Abtastwerte in zeitlicher Abfolge zu erhalten,
- aus dem Spinning-Current-Messwert (6) für jede Spinning-Current Phase ein Offset der ersten Abtastwerte berechnet und die zweiten Abtastwerte auf Basis dieses Offset korrigiert werden, um Offset-korrigierte schnelle Messwerte (10) des Stroms oder Magnetfeldes zu erhalten.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass nach jedem Umschalten (13) der Spinning-Current-Phase eine erste Wartezeit (3) zwischen dem Umschalten (13) der Spinning-Current-Phase und dem Beginn des ersten Zeitraums (4) für die Bildung der ersten Abtastwerte eingelegt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass nach jedem Umschalten (13) der Spinning-Current-Phase eine zweite Wartezeit (8) zwischen dem Umschalten (13) der Spinning-Current-Phase und dem Beginn des zweiten Zeitraums (9) für die Bildung der zweiten Abtastwerte eingelegt wird, die gleich der ersten Wartezeit (3) oder kleiner als die erste Wartezeit (3) ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sensorsignale des Hallsensors mit einem Delta-Sigma-Wandler erster Ordnung in digitale Signale (1) gewandelt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Sensorsignale des Hallsensors vor der Analog-Digital-Wandlung verstärkt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kombination der digitalen Signale (1) über den ersten Zeitraum (4) durch einen ersten

Dezimator (2) und die Kombination der digitalen Signale (1) über den zweiten Zeitraum (9) durch einen zweiten Dezimator (7) erfolgt.

7. Vorrichtung zur Messung von Strömen oder Magnetfeldern mit mindestens einem Hallsensor, der in Spinning-Current-Technik betrieben wird, wobei die Vorrichtung wenigstens umfasst:
- einen Analog-Digital-Wandler, mit dem Sensorsignale des Hallsensors in digitale Signale (1) gewandelt werden,
- einen ersten Kombinierer (2), der die digitalen Signale (1) des Analog-Digital-Wandlers ausliest und für jede Spinning-Current-Phase über einen ersten Zeitraum (4) kombiniert, um einen ersten Abtastwert zu erhalten, und
- einen Addierer (5), der die ersten Abtastwerte der Spinning-Current-Phasen eines Spinning-Current-Zyklus zur Bildung eines Spinning-Current-Messwertes (6) des Stroms oder Magnetfeldes aufaddiert,
gekennzeichnet durch
- einen zweiten Kombinierer (7), der die digitalen Signale (1) des Analog-Digital-Wandlers für jede Spinning-Current-Phase mehrmals über jeweils einen zweiten Zeitraum (9) kombiniert, der kleiner als der erste Zeitraum (4) ist, um mehrere zweite Abtastwerte in zeitlicher Abfolge zu erhalten, und
- eine Korrektur-Einheit, die aus dem Spinning-Current-Messwert (6) für jede Spinning-Current Phase einen Offset der ersten Abtastwerte berechnet und die zweiten Abtastwerte auf Basis dieses Offset korrigiert, um Offset-korrigierte schnelle

Messwerte (9) des Stroms oder Magnetfeldes zu erhalten.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Analog-Digital-Wandler ein Delta-Sigma-Wandler erster Ordnung ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Kombinierer (2) und der zweite Kombinierer (7) jeweils ein Dezimator ist.

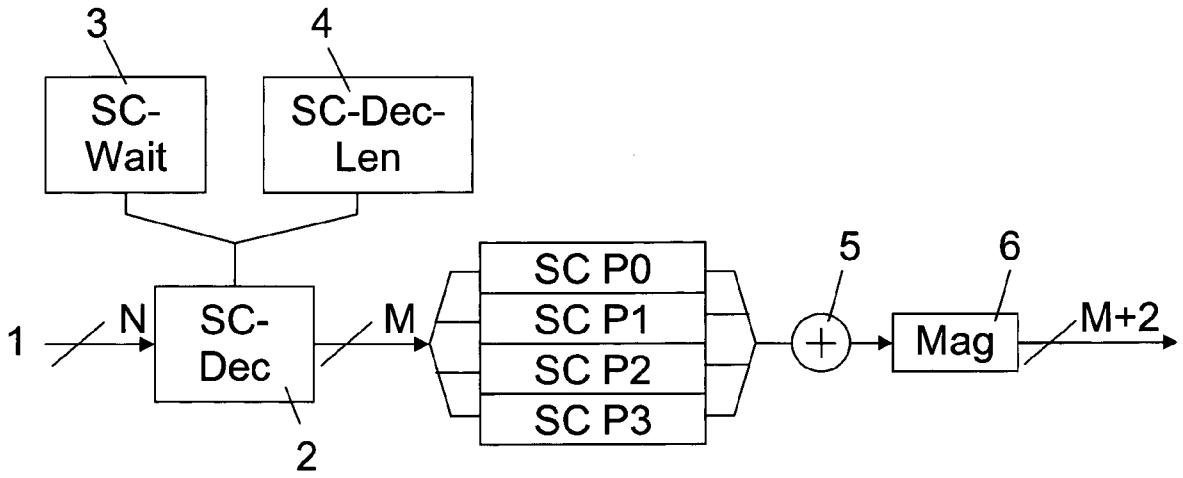

3
4
SC-
Wait
SC-Dec-
Len
1
N
SC-
Dec
M
2
SC P0
SC P1
SC P2
SC P3
5
6
Mag
M+2

Fig.1

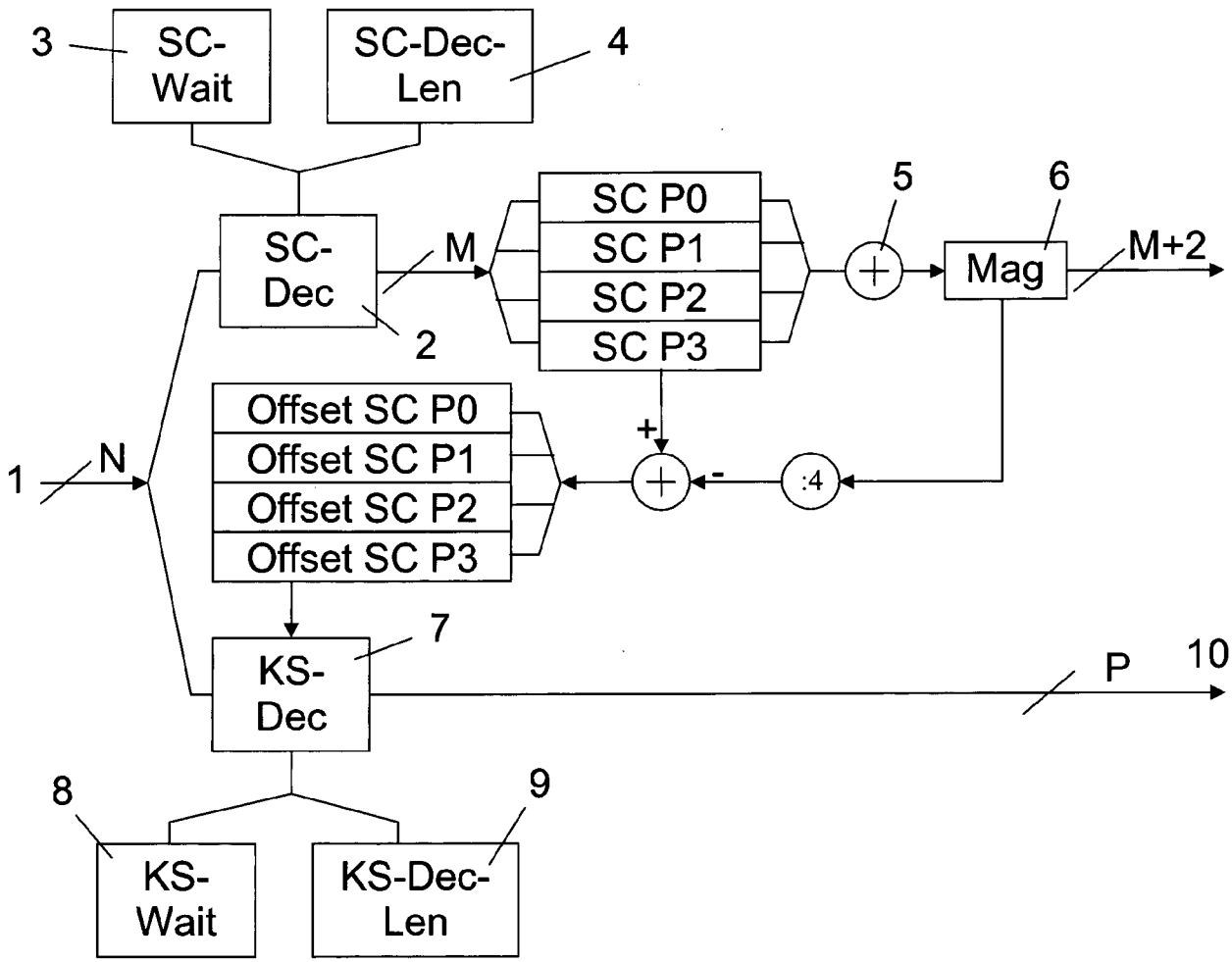

3
SC-
Wait
SC-Dec-
Len
4
SC-
Dec
M
2
SC P0
SC P1
SC P2
SC P3
5
6
Mag
M+2
1
N
Offset SC P0
Offset SC P1
Offset SC P2
Offset SC P3
+
-
:4
7
KS-
Dec
P
10
8
9
KS-
Wait
KS-Dec-
Len

Fig.2

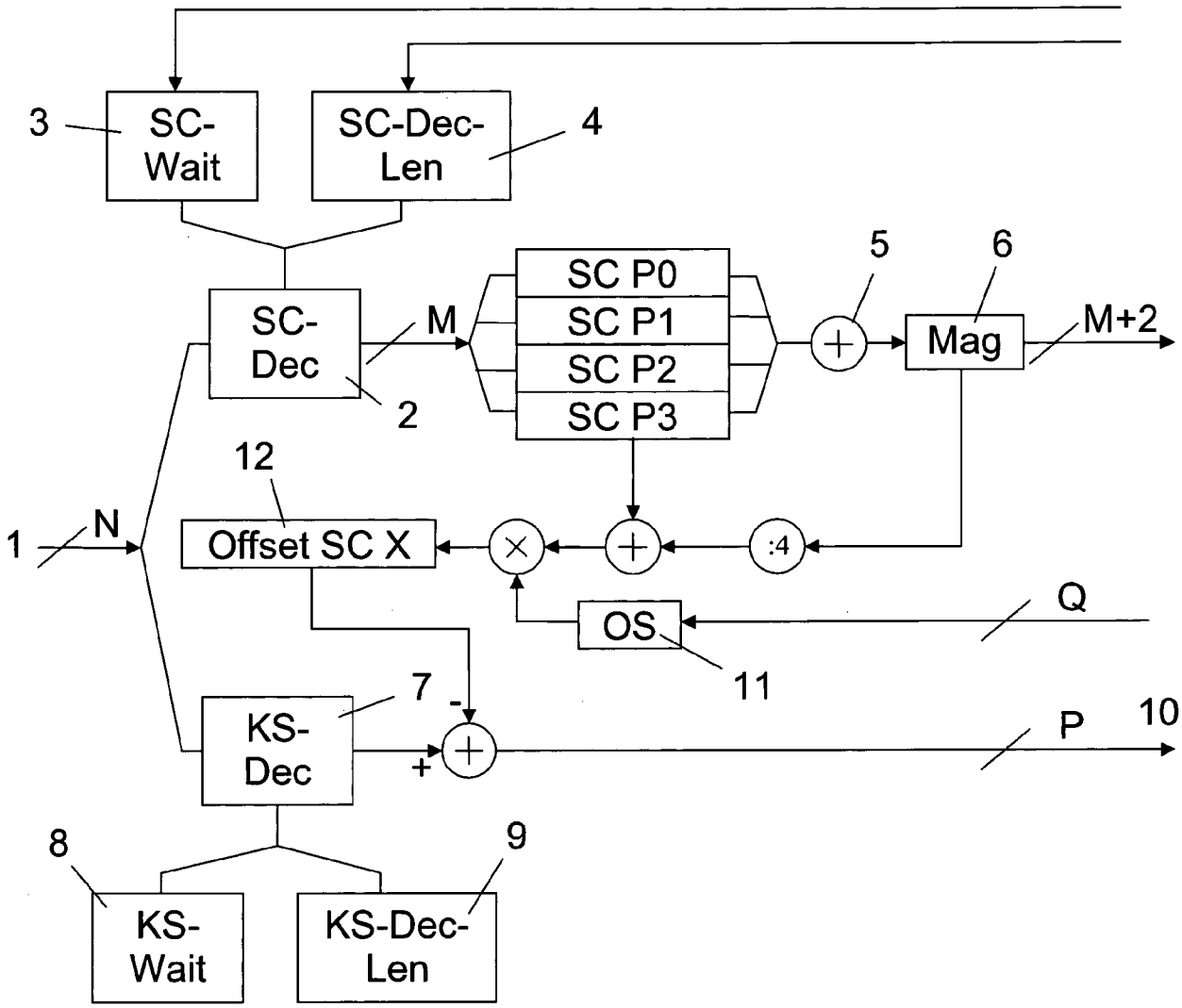

3
SC-Wait
SC-Dec-Len
4
5
6
SC P0
SC P1
SC P2
SC P3
SC-Dec
M
2
Mag
M+2
12
1
N
Offset SC X
:4
Q
OS
11
7
-
KS-Dec
+
P
10
8
9
KS-Wait
KS-Dec-Len

Fig.3

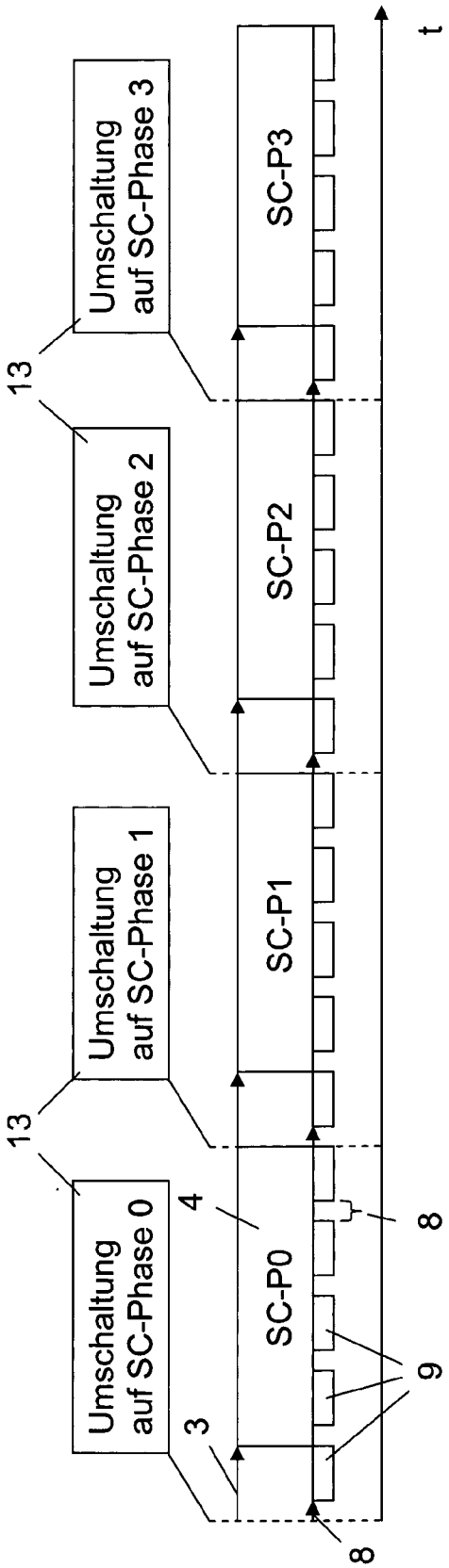

Umschaltung auf SC-Phase 0
Umschaltung auf SC-Phase 1
Umschaltung auf SC-Phase 2
Umschaltung auf SC-Phase 3
SC-P0
SC-P1
SC-P2
SC-P3
13
13
13
3
4
8
9
8
t

Fig.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/000564

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01R33/00 G01R33/07 G01R15/20
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2009/009164 A1 (UTSUNO KIKUO [JP]) 8 January 2009 (2009-01-08) paragraph [0029] - paragraph [0050] -----	1-9
A	DE 10 2009 017881 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 22 October 2009 (2009-10-22) paragraph [0024] - paragraph [0040] -----	1-9
A	ALEXANDRE KERLAIN ET AL: "Hybrid Hall microsystem for high dynamic range/large bandwidth magnetometry applications", 2008 IEEE SENSORS,LECCE, ITALY, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 26 October 2008 (2008-10-26), pages 1044-1047, XP031375260, ISBN: 978-1-4244-2580-8 cited in the application the whole document -----	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
5 June 2013	13/06/2013

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Meggyesi, Zoltán

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2013/000564

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009009164 A1	08-01-2009	JP 2008309626 A	25-12-2008
		US 2009009164 A1	08-01-2009
DE 102009017881 A1	22-10-2009	DE 102009017881 A1	22-10-2009
		US 2009261821 A1	22-10-2009
		US 2012194179 A1	02-08-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/000564

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01R33/00 G01R33/07 G01R15/20
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2009/009164 A1 (UTSUNO KIKUO [JP]) 8. Januar 2009 (2009-01-08) Absatz [0029] - Absatz [0050] -----	1-9
A	DE 10 2009 017881 A1 (INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE]) 22. Oktober 2009 (2009-10-22) Absatz [0024] - Absatz [0040] -----	1-9
A	ALEXANDRE KERLAIN ET AL: "Hybrid Hall microsystem for high dynamic range/large bandwidth magnetometry applications", 2008 IEEE SENSORS,LECCE, ITALY, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 26. Oktober 2008 (2008-10-26), Seiten 1044-1047, XP031375260, ISBN: 978-1-4244-2580-8 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-9

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
5. Juni 2013	13/06/2013

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Meggyesi, Zoltán

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2013/000564

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2009009164 A1	08-01-2009	JP 2008309626 A	25-12-2008
		US 2009009164 A1	08-01-2009
DE 102009017881 A1	22-10-2009	DE 102009017881 A1	22-10-2009
		US 2009261821 A1	22-10-2009
		US 2012194179 A1	02-08-2012