



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 659 917 A5

⑤① Int. Cl. 4: H 01 L 27/22
G 01 R 21/08

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳① Gesuchsnummer: 3717/82

⑳② Anmeldungsdatum: 16.06.1982

⑳④ Patent erteilt: 27.02.1987

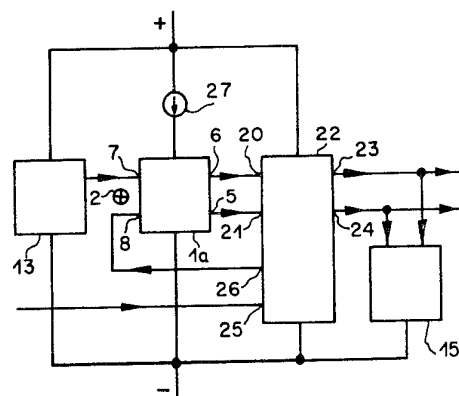
④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 27.02.1987

⑦③ Inhaber:
LGZ Landis & Gyr Zug AG, Zug

⑦② Erfinder:
Popovic, Radivoje, Steinhausen
Baltes, Heinrich Peter, Zug
Zajc, Tomislav, Zug

⑤④ Magnetfeldsensor.

⑤⑦ Der Magnetfeldsensor besteht aus zwei Teilschicht-Transistoren entgegengesetzter Polarität, die über Kreuz miteinander verbunden sind und durch diese Rückkopplung eine höhere Empfindlichkeit ergeben. Der Magnetfeldsensor (1a) dient der Messung eines Magnetfeldes (2) und wird über eine Gleichstromquelle (27) von einer Gleichspannungs-Speisequelle gespeist. Er besitzt in einer Variante eine Arbeitspunkt-Einstellschaltung (13), eine Umtastschaltung (22) und einen Spannungsregler (15) zur Aufhebung der Nullspannung.



PATENTANSPRÜCHE

1. Magnetfeldsensor, der Transistoren enthält, bei denen jeweils mindestens eine Halbleiterschicht aus zwei funktionell äquivalenten Teilschichten besteht, dadurch gekennzeichnet, dass zwei solche Teilschicht-Transistoren (3; 4) entgegengesetzter Polarität vorhanden sind, dass eine erste Teilschicht des ersten dieser Transistoren mit einer zweiten Teilschicht des zweiten dieser Transistoren und die zweite Teilschicht des ersten Transistors mit der ersten Teilschicht des zweiten Transistors verbunden sind, dass die beiden Teilschichten eines der beiden Transistoren einen zweipoligen Ausgang und dass ferner zwei weitere, unter sich funktionell äquivalente, nichtgeteilte Schichten der beiden Transistoren den Speisespannungs-Eingang des Magnetfeldsensors bilden.

2. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede aus zwei Teilschichten bestehende Halbleiterschicht die «Drain»-Schicht und jede einen Pol des Speisespannungs-Eingangs bildende Halbleiterschicht die «Source»-Schicht eines MOS-Transistors ist.

3. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Halbleiterschicht der beiden Teilschicht-Transistoren (3; 4) nichtgeteilt und mit dem Ausgang von mindestens einem auf seinen Eingang rückgekoppelten CMOS-Inverter (14) verbunden ist, wobei dessen Transistoren die gleichen oder proportionale räumliche Abmessungen besitzen wie diejenigen der Teilschicht-Transistoren.

4. Magnetfeldsensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Teilschicht eines der beiden Teilschicht-Transistoren (3; 4) mit der dritten nichtgeteilten Halbleiterschicht des gleichen Teilschicht-Transistors verbunden ist, dass die zweite Teilschicht dieses Transistors einen einpoligen Ausgang des Magnetfeldsensors bildet und dass ein Pol des Speisespannungs-Eingangs von einer Gleichstromquelle (27) gespeist ist.

5. Magnetfeldsensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe zweier in Gegentakt betriebener Umschalter (28, 30; 29, 31) einerseits gleichzeitig die erste Teilschicht eines der beiden Transistoren mit dem ersten Pol eines Signalausganges (23) des Magnetfeldsensors und die zweite Teilschicht dieses Transistors mit dessen dritter nichtgeteilter Halbleiterschicht und abwechselnd andererseits die erste Teilschicht des gleichen Transistors mit dessen dritter Halbleiterschicht und seine zweite Teilschicht mit dem zweiten Pol eines Signalausganges (24) verbunden sind und dass ein Pol des Speisespannungs-Eingangs von einer Gleichstromquelle (27) gespeist ist.

6. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine dritte Halbleiterschicht der beiden Teilschicht-Transistoren ebenfalls aus zwei Teilschichten besteht.

7. Magnetfeldsensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Teilschichten der dritten Halbleiterschicht des ersten Transistors (3) miteinander direkt und über je einen Widerstand (R1, R2) mit den Teilschichten der dritten Halbleiterschicht des zweiten Transistors (4) verbunden sind und dass die erste Teilschicht der dritten Halbleiterschicht des zweiten Transistors (4) über einen dritten Widerstand (R3) auf die erste Teilschicht des ersten Transistors (3) und die zweite Teilschicht der dritten Halbleiterschicht des zweiten Transistors (4) über einen vierten Widerstand (R4) auf den Ausgang eines Spannungsfolgers (32b) geschaltet ist, dessen Ausgang seinerseits mit der zweiten Teilschicht des ersten Transistors (3) verbunden ist.

8. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass jede dritte Halbleiterschicht der Teilschicht-Transistoren (3; 4) die «Gate»-Schicht eines MOS-Transistors ist, jede «Gate»-Schicht breit ist, aus Material endlicher, jedoch sehr hoher Resistivität besteht und an jedem ihrer beiden Enden je einen Anschluss besitzt.

9. Magnetfeldsensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass einerseits die erste «Drain»-Teilschicht (35a) des ersten Teilschicht-Transistors (3) direkt mit der zweiten «Drain»-Teilschicht (38b) des zweiten Teilschicht-Transistors (4) und dem zweiten Pol (6) des zweipoligen Magnetfeldsensor-Ausganges (5; 6) und über einen Spannungsfolger (32b) mit dem zweiten «Gate»-Anschluss des ersten Teilschicht-Transistors (3) und dem ersten «Gate»-Anschluss des zweiten Teilschicht-Transistors (4) und andererseits der erste «Gate»-Anschluss und die zweite «Drain»-Teilschicht (35b) des ersten Teilschicht-Transistors (3) mit der ersten «Drain»-Teilschicht (38a) und dem zweiten «Gate»-Anschluss des zweiten Teilschicht-Transistors (4) sowie mit dem ersten Pol (5) des zweipoligen Magnetfeldsensor-Ausganges (5; 6) verbunden sind.

10. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede aus zwei Teilschichten bestehende Halbleiterschicht die Kollektorschicht und jede einen Pol des Speisespannungs-Eingangs bildende Halbleiterschicht die Emitterschicht eines bipolaren Transistors ist.

11. Magnetfeldsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Umschalter (28, 30; 29, 31) mittels Feldeffekt-Transistoren aufgebaut sind.

12. Magnetfeldsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Umschalter (28, 30; 29, 31) mittels «transmission gates» aufgebaut sind.

13. Magnetfeldsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die geschlossenen Kontakte der beiden Umschalter (28, 30; 29, 31) je durch eine Kurzschlussverbindung ersetzt sind.

14. Magnetfeldsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass parallel zum zweipoligen Magnetfeldsensor-Ausgang (5; 6 bzw. 23; 24) ein Spannungsregler (15) geschaltet ist, welcher die Nullspannung des Magnetfeldsensors auf Null regelt und welcher aus je einem Integrator (17a; 17b) einem Stabilisierungsnetzwerk (19a; 19b) und einer spannungsgesteuerten Stromquelle (16a; 16b) pro Ausgangsleiter sowie einem einzigen Differenzverstärker (18) besteht.

15. Magnetfeldsensor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Integratoren (17a; 17b) RC-Glieder sind.

16. Messteil eines Elektrizitätszählers mit einem Magnetfeldsensor nach einem der Ansprüche 1 bis 15.

17. Messteil nach Anspruch 16, wobei der Magnetfeldsensor im länglichen Luftspalt eines zylindrisch ringförmigen Magnetkerns (41) mit seiner Oberfläche parallel zu den Magnetkern-Seitenflächen des Luftspaltes (42) angeordnet ist, wobei die beiden Abmessungen dieser Magnetkern-Seitenflächen viel grösser sind als die Abmessungen des Magnetfeldsensors und wobei der zu messende elektrische Strom einen elektrischen Leiter (40) durchfließt, welcher gemäss der Längsachse des Magnetkerns angeordnet ist.

18. Messteil nach Anspruch 17, wobei die Magnetkern-Seitenflächen des Luftspaltes (42) auf der Seite des Ringinnern parallel zueinander und parallel zur Oberfläche des Magnetfeldsensors verlaufen, wobei sie dagegen auf der Seite des Ringäusseren mit einem doppelten Winkel (zweimal 43) auseinander laufen und wobei der Magnetkern (41) einen magnetischen Schirm bildet.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Magnetfeldsensor, der Transistoren enthält, bei denen jeweils mindestens eine Halbleiterschicht aus zwei funktionell äquivalenten Teilschichten besteht.

Bekannt sind Magnetfeldsensoren, gemäss der US-PS 3 714 559 bestehend aus einem «split drain» MOS-Transistor, gemäss der US-PS 3 714 523 bestehend aus einem «split drain/split gate» MOS-Transistor und gemäss «IBM J. Res. Develop.

Vol. 25, No. 3, May 1981, A magnetic sensor utilizing an avalanche semiconductor device, A.W. Vinal», bestehend aus einem «split collector» Bipolar-Transistor.

Die in den beiden angegebenen US-Patentschriften beschriebenen Magnetfeldsensoren besitzen eine Empfindlichkeit, die für gewisse Anwendungen zu niedrig ist. In diesem Fall benötigen sie zusätzlich noch einen nachgeschalteten Verstärker, mit dem Nachteil, dass die Wirkung von dessen Offset-Spannung und von dessen Rauschen sich zu der Wirkung derjenigen des Magnetfeldsensors addieren. Der von Vinal beschriebene Magnetfeldsensor besitzt zwar eine hohe Empfindlichkeit, er ist jedoch instabil wegen seiner Arbeitsweise im Lawineneffekt-Gebiet und die dadurch bedingte Injektion heisser Ladungsträger ins Oxyd.

Es ist ein stabiler Magnetfeldsensor zu realisieren, dessen Empfindlichkeit ohne Verwendung eines Zusatzverstärkers in der Grössenordnung von 10 Volt/Tesla liegt und der mittels einer Standard-MOS- oder Standard Bipolar-Technologie herstellbar ist.

Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 einen Magnetfeldsensor mit geteilten «Drain»-Halbleiterschichten,

Fig. 2 einen Magnetfeldsensor mit geteilten Kollektor-Halbleiterschichten,

Fig. 3 einen Magnetfeldsensor mit geteilten «Drain»- und mit geteilten «Gate»-Halbleiterschichten,

Fig. 4 eine mittels eines CMOS-Inverters aufgebaute Arbeitspunkt-Einstellschaltung,

Fig. 5 einen erweiterten Magnetfeldsensor mit Arbeitspunkt-Einstellung und Nullspannungs-Korrektur,

Fig. 6 einen Spannungsregler zum Regeln der Nullspannung des Magnetfeldsensors,

Fig. 7 einen erweiterten Magnetfeldsensor mit Arbeitspunkt-Einstellung, Nullspannungs-Korrektur und Ausgangssignal-Umsetzung,

Fig. 8 eine Umstastschaltung,

Fig. 9 einen erweiterten Magnetfeldsensor mit einem Rückkopplungs-Netzwerk,

Fig. 10 einen Magnetfeldsensor mit «Gate»-Material endlicher, jedoch sehr hoher Resistivität und

Fig. 11 einen Magnetkern mit Stromleiter und Magnetfeldsensor.

Gleiche Bezugszahlen bezeichnen in allen Figuren der Zeichnung gleiche Teile.

In den Darstellungen der Fig. 1, der Fig. 2, der Fig. 3 und der Fig. 9 gilt immer die linke als erste und die rechte als zweite Teilschicht. Werden die Transistortypen vertauscht, so sind immer gleichzeitig auch die Polaritäten der Speisequellen umzukehren.

In der Fig. 1 ist ein Magnetfeldsensor 1a mit geteilten «Drain»-Halbleiterschichten schematisch dargestellt. Er ist dem Einfluss eines zu messenden, senkrecht zu seiner Kristalloberfläche wirkenden Magnetfeldes 2 unterworfen und besteht aus einem ersten Teilschicht-Transistor 3, z.B. vom P-Typ, und einem zweiten Teilschicht-Transistor 4, z.B. vom N-Typ. Beide Transistoren sind also entgegengesetzter Polarität. Jeder der beiden Transistoren 3 und 4 besitzt nur eine einzige geteilte Halbleiterschicht, im Beispiel die «Drain»-Halbleiterschicht. Die «Source»- und die «Bulk»-Halbleiterschichten sind dann ungeteilt. Sie werden jedoch schematisch geteilt dargestellt; dies jedoch nur, um die üblichen Transistordarstellungen verwenden zu können. Das nur zeichnerische Vorhandensein dieser «Teilschichten» ist durch eine elektrische Kurzschlussverbindung zwischen den beiden gezeichneten «Teilschichten» schematisch angedeutet.

Die «Source»- und die «Bulk»-Halbleiterschicht des ersten Transistors 3 sind mit dem positiven Pol und diejenigen des zweiten Transistors 4 mit dem negativen Pol einer Gleichspannungs-Speisequelle verbunden. Die erste Teilschicht der «Drain»-Halbleiterschicht des ersten Transistors 3 liegt an der zweiten Teilschicht der «Drain»-Halbleiterschicht des zweiten Transistors 4 und bildet den ersten Pol 5 eines zweipoligen Magnetfeldsensor-Ausganges. Die zweite Teilschicht der «Drain»-Halbleiterschicht des ersten Transistors 3 ist seinerseits mit der ersten Teilschicht der «Drain»-Halbleiterschicht des zweiten Transistors 4 verbunden und bildet den zweiten Pol 6 des Magnetfeldsensor-Ausganges. Die «Gate»-Halbleiterschicht des ersten Transistors 3 bildet einen ersten einpoligen Eingang 7 und diejenige des zweiten Transistors 4 einen zweiten einpoligen Eingang 8 des Magnetfeldsensors 1a.

In der Fig. 2 ist ein Magnetfeldsensor 1b mit geteilten Kollektor-Halbleiterschichten schematisch dargestellt. Diese Schaltung entspricht der Schaltung nach der Fig. 1, nur dass die MOS-Transistoren mit geteilter «Drain»-Halbleiterschicht durch Bipolar-Transistoren mit geteilter Kollektor-Halbleiterschicht ersetzt sind, dass keine «Bulk»-Anschlüsse vorhanden sind und dass die Emitter die Aufgabe der «Sources» und die Basen diejenige der «Gates» übernehmen.

In der Fig. 3 ist ein Magnetfeldsensor 1c mit geteilten «Drain»- und mit geteilten «Gate»-Halbleiterschichten schematisch dargestellt. Diese Schaltung entspricht der Schaltung nach der Fig. 1, nur dass sie vier statt zwei einpolige Eingänge besitzt, einen für jede Teilschicht der zwei «Gate»-Halbleiterschichten. Von den «Gate»-Halbleiterschichten ist die zweite Teilschicht des zweiten Transistors 4 mit einem ersten Eingang 9, die erste Teilschicht des ersten Transistors 3 mit einem zweiten Eingang 10, die zweite Teilschicht des ersten Transistors 3 mit einem dritten Eingang 11 und die erste Teilschicht des zweiten Transistors 4 mit einem vierten Eingang 12 des Magnetfeldsensors 1c verbunden.

Jeder der beiden Teilschicht-Transistoren 3 und 4 arbeitet als Magnetfeldsensor auf an sich bekannte Weise gemäss dem angegebenen Stand der Technik. Durch die beschriebene Verknüpfung der beiden Teilschicht-Transistoren 3 und 4 addieren sich die durch das gemeinsame Magnetfeld 2 in jedem der Teilschicht-Transistoren erzeugten Spannungen, so dass die Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors stark erhöht, z.B. verdoppelt wird. Die Schaltungen nach der Fig. 1 und der Fig. 3 können ausserdem mittels einer CMOS-Technologie hergestellt werden. Die Schaltungen nach einer der Fig. 1 bis Fig. 3 sind selbststabilisierend in bezug auf Temperatur- und Speisespannungsänderungen, und jeder ihrer Teilschicht-Transistoren besitzt eine grosse dynamische Last.

Die Eingänge 7, 8 bzw. 9, 10, 11, 12 des Magnetfeldsensors dienen der Arbeitspunkteinstellung mittels einer Arbeitspunkt-Einstellschaltung z.B. gemäss den Angaben in den Fig. 5 und 7 bzw. in der Fig. 9. Die Eingangsspannungen sind so zu wählen, dass einerseits beide Teilschicht-Transistoren sich in der Sättigung befinden und so gute hohe dynamische Lastwiderstände herstellen und andererseits die Ausgangsspannung des Magnetfeldsensors den Mittelwert der Speisespannungen annimmt, also z.B. im Falle von CMOS-Bauelementen den Wert $(V_{DD} + V_{SS})/2$, wobei V_{DD} die «Drain»- und V_{SS} die «Source»-Speisespannung darstellt.

Z.B. bei der Verwendung einer Schaltung gemäss der Fig. 1 besteht die Arbeitspunkt-Einstellschaltung am einfachsten aus einem mittels einer Kurzschlussverbindung rückgekoppelten CMOS-Inverter 14, d.h. einer Arbeitspunkt-Einstellschaltung 13 gemäss der Fig. 4. Der CMOS-Inverter 14 enthält einen P- und einen N-Typ MOS-Transistor, deren beide miteinander verbundenen «Gates» den Eingang des CMOS-Inverters 14 und deren beide miteinander verbundenen «Drains» den Inverterausgang bilden. Die «Source»- und die «Bulk»-Halbleiterschicht

des P-Typ Transistors liegt am positiven Pol und diejenigen des N-Typs Transistors am negativen Pol der Gleichspannungs-Speisequelle. Am besten besitzen die Transistoren des CMOS-Inverters 14 die gleichen oder proportionale Abmessungen wie diejenigen der Teilschicht-Transistoren des Magnetfeldsensors. Die Arbeitsweise der Schaltung nach der Fig. 4 ist an sich bekannt aus dem McMos Handbook der Firma Motorola, Phoenix Arizona, für einen beliebigen Rückkopplungswiderstandswert.

In der Fig. 5 ist ein erweiterter Magnetfeldsensor mit Arbeitspunkt-Einstellung und Nullspannungs-Korrektur als Blockschaltbild dargestellt. Die Ausgänge der beiden Arbeitspunkt-Einstellschaltungen 13 sind mit je einem der beiden Eingänge 7 und 8 des der Wirkung des Magnetfeldes 2 unterworfenen Magnetfeldsensors 1a verbunden. Parallel zum zweipoligen Magnetfeldsensor-Ausgang 5; 6 ist ein Spannungsregler 15 geschaltet, welcher die Nullspannung U_{Offset} des Magnetfeldsensors 1a auf Null regelt. Die Arbeitspunkt-Einstellschaltung 13 und der Magnetfeldsensor 1a werden von einer gemeinsamen Gleichspannungs-Speisequelle gespeist, deren Minuspol ebenfalls mit dem Speisungs-Minuspol des Spannungsreglers 15 verbunden ist.

Besitzt der Magnetfeldsensor 1a einen zweipoligen Ausgang, so kann ein Spannungsregler 15 gemäss der Fig. 6 verwendet werden. Jeder Pol des zweipoligen Eingangs des Spannungsreglers 15 ist einerseits direkt mit einem ersten Pol einer spannungsgesteuerten Stromquelle 16a bzw. 16b und andererseits über je einen Integrator 17a bzw. 17b mit dem Minus- bzw. Plus-Eingang eines Differenz-Verstärkers 18 verbunden. Der invertierende und der nichtinvertierende Ausgang des Differenzverstärkers 18 steuern über je ein Stabilisierungsnetzwerk 19a bzw. 19b je einen Steuereingang der spannungsgesteuerten Stromquellen 16a bzw. 16b. Die beiden zweiten Pole der Stromquellen 16a und 16b liegen miteinander am Speisungs-Minuspol des Spannungsreglers 15. Die beiden Integratoren 17a und 17b sind z.B. RC-Glieder. Im einfachsten Fall kann auf den Differenzverstärker 18 und auf die Stabilisierungsnetzwerke 19a und 19b verzichtet werden. Als einfache spannungsgesteuerte Stromquellen 16a und 16b dienen z.B. P-Typ Feldeffekttransistoren.

Ein Spannungsregler 15 gemäss der Fig. 6 kann nur zur Aufhebung der Nullspannung U_{Offset} verwendet werden, wenn das zu messende Magnetfeld 2 ein Wechselstrom-Magnetfeld

ist, da nur dann die Gleichung $\int_0^{\infty} H \cdot dt = 0$ gilt, wobei H

das Magnetfeld und t die Zeit darstellen. In diesem Fall ergibt die Integration des Ausgangssignals $(k \cdot H + U_{\text{Offset}})$ des Magnetfeldsensors das nur von der Nullspannung U_{Offset} abhängige Resultat:

$$\int_0^{\infty} (k \cdot H dt + U_{\text{Offset}} \cdot dt) = \int_0^{\infty} U_{\text{Offset}} \cdot dt.$$

Die Integrationszeit der Integratoren 17a und 17b, z.B. das RC der RC-Glieder, muss dabei viel grösser gewählt sein als die Periode des Wechselstrom-Magnetfeldes.

Eine allfällige Gleichspannungs-Komponente im zu messenden Magnetfeld 2 geht in U_{Offset} ein und wird ebenfalls aufgehoben. Dies ist ein Vorteil im Hinblick auf allfällige langsam variierende Stör- und Streufelder. Ein Nachteil ist, dass eine Gleichspannungs-Komponente, deren Messung allenfalls erwünscht ist, ebenfalls unterdrückt wird.

In der Fig. 7 ist ein erweiterter Magnetfeldsensor mit Arbeitspunkt-Einstellung, Nullspannungs-Korrektur und Ausgangssignal-Umtastung schematisch wiedergegeben. Die Arbeitspunkt-Einstellschaltung 13 steuert den ersten Eingang 7 des Magnetfeldsensors 1a, dessen zweipoliger Ausgang 5; 6 direkt auf einen zweipoligen Signaleingang 20; 21 einer Umtastschaltung 22 geführt ist. Ein zweipoliger Signalausgang 23; 24 der letzteren bildet den Ausgang des erweiterten Magnetfeldsen-

sors, dessen Ausgang der Spannungsregler 15 parallelgeschaltet ist. Ein Steuereingang 25 der Umtastschaltung 22 wird von einem rechteckförmigen Hochfrequenz-Taktsignal gesteuert, während ein Rückkopplungsausgang 26 der Umtastschaltung 22 mit dem zweiten Eingang 8 des Magnetfeldsensors 1a verbunden ist. Die Arbeitspunkt-Einstellschaltung 13 und die Umtastschaltung 22 werden direkt und der Magnetfeldsensor 1a über eine Gleichstromquelle 27 von einer gemeinsamen Gleichspannungs-Speisequelle gespeist, wobei die Gleichstromquelle 27 zwischen dem positiven Pol dieser Gleichspannungs-Speisequelle und dem positiven Pol des Speiseeingangs des Magnetfeldsensors 1a liegt. Der Speisungs-Minuspol des Spannungsreglers 15 ist auf den Minuspol der Gleichspannungs-Speisequelle geführt.

In der Fig. 8 ist die Umtastschaltung 22 dargestellt. Der erste Pol 20 ihres Signaleingangs 20; 21 ist über einen ersten Schalter 28 mit dem ersten Pol 23 und der zweite Pol 21 über einen zweiten Schalter 29 mit dem zweiten Pol 24 ihres Signalausganges 23; 24 verbunden. Der erste Pol 20 des Signaleinganges 20; 21 liegt noch zusätzlich über einen dritten Schalter 30 und sein zweiter Pol 21 über einen vierten Schalter 31 am gemeinsamen Rückkopplungsausgang 26. Der Steuereingang 25 steuert direkt die Steuereingänge des ersten und des vierten Schalters 28 und 31 und über einen an sich bekannten Inverter 32a, z.B. einen MC 14000 der Firma Motorola, Phoenix, Arizona, die Steuereingänge des zweiten und des dritten Schalters 29 und 30. Die vier Schalter sind z.B. P-Typ Feldeffekt-Transistoren. Ihre «Bulk»-Halbleiterschichten sind dann mit dem negativen Pol einer Gleichspannungs-Speisequelle verbunden, welche ihrerseits ebenfalls den Inverter 32a speist. Die vier Schalter können auch an sich bekannte «transmission gates» sein, z.B. MC 14016 der Firma Motorola.

Der erste und der dritte Schalter 28 und 30 bilden zusammen einen ersten Umschalter 28; 30, welcher abwechselnd den ersten Pol 20 des Signaleinganges 20, 21 der Umtastschaltung 22 mit dem ersten Pol 23 des Signalausganges 23; 24 und mit dem Rückkopplungsausgang 26 verbindet. Desgleichen bilden der zweite und der vierte Schalter 29 und 31 zusammen einen zweiten Umschalter 29; 31, welcher seinerseits den zweiten Pol 21 des Signaleinganges 20; 21 mit dem zweiten Pol 24 des Signalausganges 23; 24 und mit dem Rückkopplungsausgang 26 verbindet. Beide Umschalter werden im Gegentakt betrieben mit Hilfe des am Steuereingang 25 angelegten Hochfrequenz-Taktsignals. Somit ist jeweils während einer jeden Tastphase ein Pol 6 oder 5 des Magnetfeldsensor-Ausganges gemäss der Fig. 7 mit dem zugehörigen Pol 23 bzw. 24 des Signalausganges 23; 24 des erweiterten Magnetfeldsensors verbunden, während der andere Pol 5 bzw. 6 über eine Kurzschlussverbindung direkt auf den zweiten Eingang 8 des Magnetfeldsensors 1a bzw. 1b zurückgekoppelt ist.

Es kann auch in der Umtastschaltung 22 jeder Schalter eines der beiden Schalterpaare 28; 31 bzw. 29; 30 durch eine Kurzschlussverbindung ersetzt und das andere Schalterpaar weggelassen werden. Oder mit anderen Worten: Die geschlossenen Kontakte der beiden Umschalter 28; 30 und 29; 31 können je durch eine Kurzschlussverbindung ersetzt werden. Man erhält dann einen erweiterten Magnetfeldsensor mit einem einpoligen Ausgang. Soll dies vermieden werden und wird ein zweipoliger Ausgang benötigt, ist die beschriebene Umtastschaltung 22 zu verwenden. Der positive und der negative Pol des Ausgangssignals des Magnetfeldsensors 1a bzw. 1b wird dann abwechselnd hochfrequenzmässig abgetastet («sampling»). Bedingt durch die 180°-Phasenverschiebung der Signale an den beiden abgetasteten Signalpolen wird die Empfindlichkeit des erweiterten Magnetfeldsensors verdoppelt. Auch ist die weitere Verwendung eines Hochfrequenzsignals viel einfacher.

In der Fig. 9 ist erweiterter Magnetfeldsensor mit einem Rückkopplungsnetzwerk wiedergegeben. Der zweite und der

dritte Eingang 10 und 11 des Magnetfeldsensors 1c sind miteinander direkt und über einen ersten Widerstand R1 mit dem ersten Eingang 9 und über einen zweiten Widerstand R2 mit dem vierten Eingang 12 des Magnetfeldsensors 1c verbunden. Zusätzlich ist der erste Pol 5 des zweipoligen Magnetfeldsensor-Ausganges 5; 6 über einen dritten Widerstand R3 auf den vierten Eingang 12 und der zweite Pol 6 dieses Ausganges über eine Reihenschaltung eines Spannungsfolgers 32b und eines vierten Widerstandes R4 auf den ersten Eingang 9 des Magnetfeldsensors 1c geführt, wobei dem zweipoligen Ausgang 5; 6 ein Spannungsregler 15 parallelgeschaltet ist, dessen Speisungs-Minuspol mit dem Minuspol einer den Magnetfeldsensor speisenden Gleichspannungs-Speisequelle verbunden ist. Der Vorteil dieser Schaltung besteht darin, dass die Grösse der Rückkopplung mittels der vier Widerstände frei wählbar ist und so eine hohe Empfindlichkeit eingestellt werden kann.

Bei einer perfekt symmetrischen Schaltung gemäss der Fig. 9 besitzen die Spannungen an den beiden Polen des Ausganges 5; 6 bei Nichtvorhandensein eines Magnetfeldes 2 den gleichen Wert. Beim Vorhandensein eines Magnetfeldes 2 entsteht eine Unsymmetrie in der Stromverteilung der beiden, in der Zeichnung linken und rechten Hälften des ersten Teilschicht-Transistors 3 des Magnetfeldsensors 1c (Fig. 3). Führt die rechte Hälfte mehr Strom als die linke Hälfte, dann erhöht sich die Spannung am Pol 6 des Ausganges 5; 6 und die Spannung am Pol 5 dieses Ausganges wird kleiner. Da jedoch der erste Eingang 9 über einen durch die Widerstände R4 und R1 gebildeten Spannungsteiler mit dem zweiten Pol 6 des Ausganges 5; 6 verbunden ist, wird die Spannung am ersten Eingang 9 ebenfalls steigen, was seinerseits ein Ansteigen des Stromes in der, in der Zeichnung rechten Hälfte des zweiten Teilschicht-Transistors 4 veranlasst. Dies verkleinert seinerseits wiederum zusätzlich die Spannung am ersten Pol 5 des Ausganges 5; 6. Ähnliche gilt natürlich sinngemäss auch für die in der Zeichnung linke Hälfte des zweiten Teilschicht-Transistors 4, dessen Eingang 12 über einen weiteren durch die Widerstände R3 und R2 gebildeten Spannungsteiler mit dem ersten Pol 5 des Ausganges 5; 6 verbunden sind. Durch diese an sich positiven Rückkopplungen wird die Empfindlichkeit des Magnetfeldsensors 1c erhöht.

Die Schaltung nach der Fig. 9 hat den Nachteil, dass die Abstände zwischen den Teilschichten der «Gates» sehr klein sein müssen und demnach eine «charge coupled device»-Technologie zur Herstellung benötigen. Integriert man jedoch die vier externen Rückkopplungs-Widerstände R1 bis R4 der Fig. 9 ins «Gate»-Material, so wird dieser Nachteil vermieden und es entsteht ein Aufbau gemäss der Fig. 10.

In der Fig. 10 ist ein Magnetfeldsensor 1d mit einem weiten «Gate», dessen Material eine endliche, jedoch sehr hohe Resistivität besitzt, schematisch dargestellt. Der erste Teilschicht-Transistor 3 besteht aus einer «Source» 33, einem «Gate» 34 und einem «Drain» mit einer ersten «Drain»-Teilschicht 35a und einer zweiten «Drain»-Teilschicht 35b. Der zweite Teilschicht-Transistor 4 entgegengesetzter Polarität besteht aus einer «Source» 36, einem «Gate» 37 und einem «Drain» mit einer ersten «Drain»-Teilschicht 38a und einer zweiten «Drain»-Teilschicht 38b. Jedes «Gate» ist sehr breit und besteht, wie bereits erwähnt, aus Material endlicher, jedoch sehr hoher Resistivität. Es besitzt an jedem seiner beiden Enden einen Anschluss.

Der erste dieser Anschlüsse und die erste «Drain»-Teilschicht ist in der Zeichnung links und der zweite Anschluss bzw. die zweite Teilschicht rechts dargestellt.

Direkt miteinander verbunden sind:

- 5 — Der erste «Gate»-Anschluss und die zweite «Drain»-Teilschicht 35b des ersten Teilschicht-Transistors 3 mit der ersten «Drain»-Teilschicht 38a und dem zweiten «Gate»-Anschluss des zweiten Teilschicht-Transistors 4 sowie mit dem ersten Pol 5 des zweipoligen Magnetfeldsensor-Ausganges 5; 6.
- 10 — Der Eingang des Spannungsfolgers 32b und die erste «Drain»-Teilschicht 35a des ersten Teilschicht-Transistors 3 mit der zweiten «Drain»-Teilschicht 38b und dem zweiten Pol 6 des zweipoligen Magnetfeldsensor-Ausganges 5; 6.

- 15 — Der Ausgang des Spannungsfolgers 32b mit dem zweiten «Gate»-Anschluss des ersten Teilschicht-Transistors 3 und dem ersten «Gate»-Anschluss des zweiten Teilschicht-Transistors 4.

Unter dem Einfluss einer elektrischen Spannung an den beiden Enden der «Gates» werden diese von einem elektrischen Strom durchflossen, so dass der zentrale Teil 39 der «Gate»-Widerstände als Rückkopplungswiderstand wirkt. Diese Rückkopplung verstärkt das Ausgangssignal des Magnetfeldsensors 1d und vergrössert damit dessen Empfindlichkeit. Auch hängen die Eigenschaften dieser Schaltung weniger ab von den Eigenschaften der Teilschicht-Transistoren, als dies bei den anderen beschriebenen Schaltungen der Fall ist.

Der Spannungsfolger 32b, bestehend z.B. aus einem Verstärker mit dem Spannungsverstärkungsfaktor «1» oder einem «Source Follower», dient in den Darstellungen der Fig. 9 und der Fig. 10 durch seinen hochohmigen Eingang der Entlastung des Ausganges 5; 6 des Magnetfeldsensors 1c bzw. 1d, so dass die Rückkopplungswiderstände diesem Ausgang 5; 6 nicht mehr direkt parallel geschaltet sind.

Die beschriebenen Magnetfeldsensoren werden z.B. verwendet zum Messen des elektrischen Stroms in einem Elektrizitätszähler. Eine in den Fig. 11a und 11b dargestellte vorteilhafte Anordnung besteht darin, den Leiter 40 des elektrischen Stroms entlang der Längsachse eines länglichen ringförmigen Magnetkerns 41 aus weichmagnetischem Material, z.B. aus Mumetall, anzuordnen, der zur Bildung eines Luftspaltes 42 der Länge nach aufgeschlitzt ist. Im Luftspalt 42 befindet sich ein Magnetfeldsensor 1a, 1b, 1c bzw. 1d. Die Fig. 11c zeigt den Querschnitt des Luftspaltes 42, dessen Magnetkern-Seitenflächen auf der Seite des Ringinnern parallel zueinander und parallel zur Oberfläche des Magnetfeldsensors 1a, 1b, 1c bzw. 1d verlaufen. Auf der Seite des Ringäusseren laufen sie dagegen mit einem doppelten Winkel 43 auseinander, wobei der Winkel 43 z.B. einen Wert von 60° besitzt, was eine magnetische Entlastung des Magnetkerns 41 bewirkt. Dadurch wird erreicht, dass er einerseits bei einem zu messenden Wechselstrom von 200 A nicht gesättigt wird, so dass der Einfluss der Nichtlinearität des Magnetmaterials auf den Messfehler klein bleibt, und dass andererseits der Einfluss eines äusseren Störfeldes in der Grössenordnung von 50 A/cm auf den Magnetfeldsensor möglichst gering ist, weil der Magnetkern 41 gleichzeitig als magnetischer Schirm wirkt. Der Sensor besitzt solche Dimensionen, dass er in erster Annäherung im Verhältnis zu den Abmessungen der Magnetkern-Seitenflächen des Luftspaltes 42 als punktförmig angenommen werden kann und ist in dem Teil des Luftspaltes angeordnet, der parallele Magnetkern-Seitenflächen besitzt.

Fig. 1

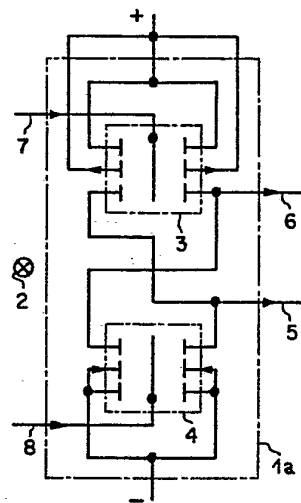


Fig. 2

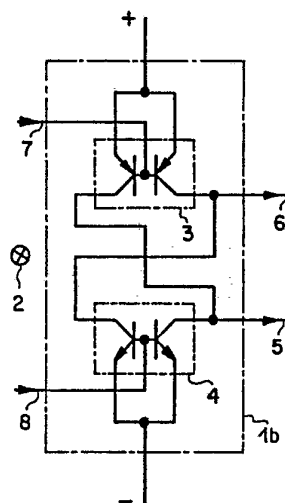


Fig. 3

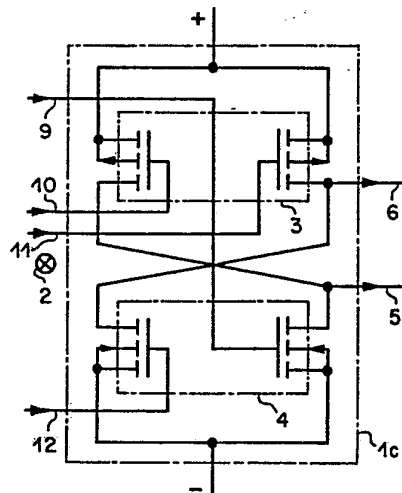


Fig. 4

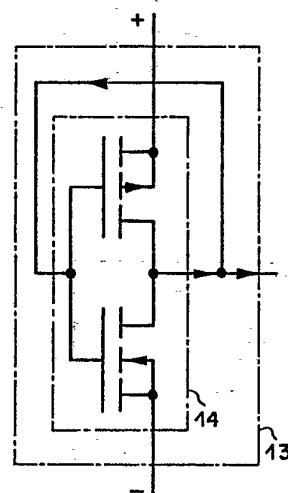


Fig. 11a

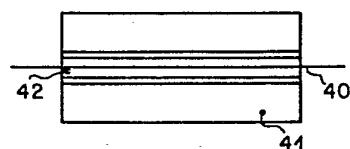


Fig. 11b

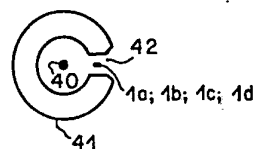


Fig. 11c

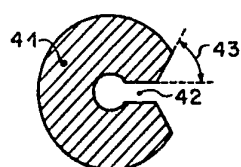


Fig. 5

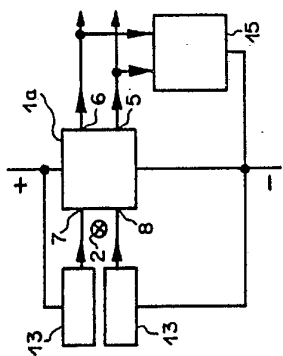


Fig. 6

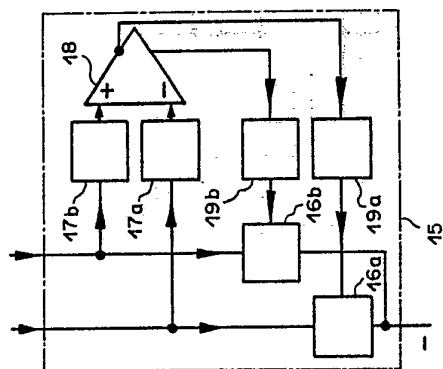


Fig. 8

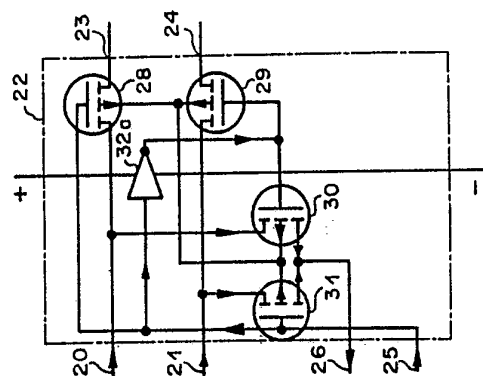


Fig. 9

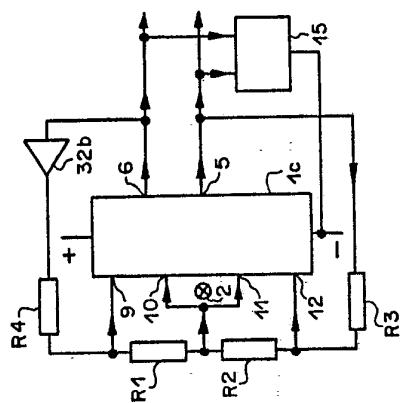


Fig. 7

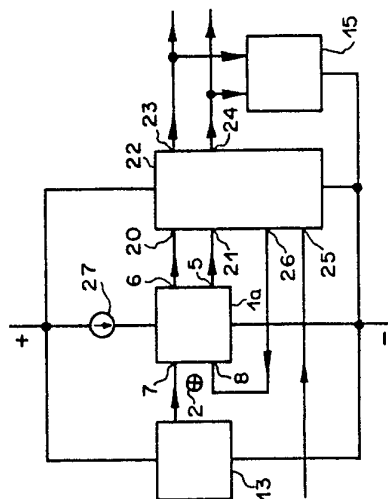


Fig. 10

