



Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

12 PATENTSCHRIFT A5

21 Gesuchsnummer: 516/86

73 Inhaber:
LGZ Landis & Gyr Zug AG, Zug

22 Anmeldungsdatum: 10.02.1986

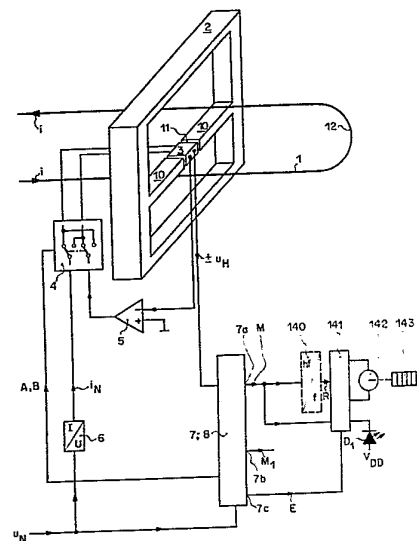
24 Patent erteilt: 15.02.1990

45 Patentschrift
veröffentlicht: 15.02.1990

72 Erfinder:
Petr, Jan, Oberwil b. Zug
Popovic, Radivoje, Zug
Seitz, Thomas, Zug

54 Anordnung zur Messung elektrischer Leistung.

57 Die Anordnung besteht aus einem von einem elektrischen Strom (i) durchflossenen Leiter (1), der eine U-förmige Schleife (12) bildet, einem vom Strom (i) erregten ferromagnetischen Kern (2), dessen Mittelschenkel (10) mindestens einen Luftspalt (11) besitzt, in dem ein Hallelement (3) angeordnet ist, einem Spannungs/Strom-Wandler (6), einem Polumschalter (4), einem Regelverstärker (5) und einer Aufbereitungseinheit (7; 8), die aus einem Steuergerät und einem Spannungs/Frequenz-Wandler besteht. Bei Verwendung in einem Elektrizitätszähler sind zusätzlich noch ein Frequenzteiler (140), eine Interface-schaltung (141), ein Schrittmotor (142), eine Anzeige (143) und eine Leutdiode (D₁) vorhanden. Der Spannungs/Frequenz-Wandler enthält eine Integrator und mindestens zwei Signalquellen. Eine Umschaltvorrichtung, die unter anderem den Polumschalter (4) enthält, polt ein Nutzsignal periodisch um und schaltet die Signalquellen um, beides zum Zweck der Kompensation von in der Anordnung intern erzeugten Nullspannungen. Die Anordnung verbessert die Empfindlichkeit und das Nutzsignal/Störsignal-Verhältnis bekannter Anordnungen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Anordnung zur Messung elektrischer Leistung, insbesondere für einen Elektrizitätszähler, mit einem von einem elektrischen Strom (i) durchflossenen Leiter (1), einem Spannungs/Strom-Wandler (6) zur Umwandlung einer elektrischen Spannung (u_N) in einen proportionalen Speisestrom (i_N) für ein Hallelement (3), dem Hallelement (3) zur Erzeugung einer als Nutzsinal dienenden Hallausgangsspannung ($\pm u_H$), die dem Produkt ($\pm i \cdot u_N$) aus Strom (i) und Spannung ($\pm u_N$) proportional ist, und einem Spannungs/Frequenz-Wandler (7) zur Umwandlung der Hallausgangsspannung ($\pm u_H$) in eine proportionale Impulsfrequenz, dadurch gekennzeichnet, dass ein annähernd geschlossener und mit mindestens einem Luftspalt (11) versehener ferromagnetischer Kern (2, 121; 10) vorhanden ist, der durch den Strom (i) erregt ist, dass das Hallelement (3) in dem Luftspalt (11) des ferromagnetischen Kerns (2, 121; 10) angeordnet ist, dass der Spannungs/Frequenz-Wandler (7) einen einen Kondensator (C) enthaltenden Integrator (14; C) und mindestens zwei Signalquellen (19, 20) aufweist und dass eine Umschaltvorrichtung (4; 18 bzw. 4; 15; 18) vorhanden ist zur periodischen Umpolung des Nutzsinal und zur Umschaltung der Signalquellen (19; 20) zum Zweck der Kompensation von in der Anordnung intern erzeugten Nullspannungen.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Hallelement (3) aus Halbleitermaterial (46) eines vorgegebenen Leitfähigkeitstyps (N) besteht, an dessen Oberfläche annähernd geradlinig nebeneinander und in der angegebenen Reihenfolge mindestens eine erste äussere Stromelektrode (41), eine erste Sensorelektrode (42), eine mittlere Stromelektrode (43), eine zweite Sensorelektrode (44) und eine zweite äussere Stromelektrode (45) angeordnet sind, wobei sowohl die beiden Sensorelektroden (42, 44) als auch die beiden äusseren Stromelektroden (41, 45) jeweils annähernd symmetrisch zur mittleren Stromelektrode (43) angeordnet sind, und dass mindestens die Anschlusskontakte der Stromelektroden (41, 43, 45) je eine Kontakt diffusion (51, 53, 55) besitzen, die stark mit Fremdatomen dotiert ist und die aus Material besteht, das vom gleichen Leitfähigkeitstyp (N) ist wie das Halbleitermaterial (46).

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der aktiven Zone (67) des Hallelementes (3) und der Oberfläche des Hallelementes (3) eine Sperrschicht (68; 67) angeordnet ist, die mindestens die aktive Zone (67) des Hallelementes (3) nach oben hin abdeckt.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Sperrschicht (68; 67) gebildet ist durch die Grenzschicht zwischen der aktiven Zone (67) des Hallelementes (3) und einer an der Oberfläche im Hallelement (3) angeordneten Oberflächenschicht (68), die aus Material besteht, das den entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp (P) besitzt als das Halbleitermaterial (46), und die mindestens die aktive Zone (67) nach oben hin abdeckt, wobei sie durch die vorhandenen Kontakt diffusionen (51 bis 55) der Strom- und Sensorelektroden (41 bis 45) voll durchquert wird, und dass die Oberflächenschicht (68) eine Anschlussverbindung (R) besitzt.

5. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontakt diffusionen (51, 55) der beiden äusseren Stromelektroden (41, 45) ringförmig sind und jeweils eine Kontakt diffusion (51a, 55a) eines Gateanschlusses (OL, OR) in einem Abstand seitlich umgeben, wobei die Kontakt diffusionen (51a, 55a) der Gateanschlüsse (OL, OR) stark mit Fremdatomen dotiert und im Vergleich zum Halbleitermaterial (46) vom entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp (P) sind.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine an der Oberfläche in das Halbleitermaterial (46) eindiffundierte tiefe, länglich-ringförmige

Isolationsschicht (69) vorhanden ist, die mindestens die Kontakt diffusionen (52 bis 54) der drei mittleren Strom- bzw. Sensorelektroden (42 bis 44) seitlich und von ihnen getrennt umgibt, wobei ihr Zentrum annähernd von der Kontakt diffusion (53) der mittleren Stromelektrode (43) gebildet wird, ihre Längsachse annähernd parallel zur Verbindungsgeraden der Strom- und Sensorelektroden (41 bis 45) verläuft und ihre Tiefe grösser ist als die Tiefe der Kontakt diffusionen (51 bis 55) der Strom- und Sensorelektroden (41 bis 45), und dass die Isolationsschicht (69) im Vergleich zum Halbleitermaterial (46) vom entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp (P) ist, wobei sie räumlichen Kontakt mit der Oberflächenschicht (68) besitzt, falls diese vorhanden ist.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass an der Oberfläche im Halbleitermaterial (46) eine stark mit Fremdatomen dotierte Diffusionsschicht (70) vorhanden ist, welche die Isolationsschicht (69) seitlich ringförmig und von ihr getrennt umgibt, wobei die Diffusionsschicht (70) vom gleichen Leitfähigkeitstyp (N) ist wie das Halbleitermaterial (46).

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Umschaltvorrichtung (4; 18) aus einem Polumschalter (4) und einer Schalteinrichtung (18) gebildet ist, wobei der Polumschalter (4) in den Speisestrom-Zuleitungen des Hallelementes (3) angeordnet ist und die Schalteinrichtung (18) aus zwei Schaltern (31, 32) besteht, die einen gemeinsamen Anschluss besitzen, der mit einem nicht an Masse liegenden Anschluss des Kondensators (C) verbunden ist, während der andere Anschluss der Schalter (31, 32) jeweils auf einen Anschluss einer der beiden Signalquellen (19, 20) geführt ist, die beide Konstantstromquellen sind und einen gleichwertigen, aber in der Polarität umgekehrten Referenzstrom ($\pm I_R$) liefern.

9. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Umschaltvorrichtung (4; 15; 18) aus zwei von einem gleichen periodischen Umschalt signal (A bzw. B) gesteuerten Polumschaltern (4, 15) und einem einpoligen Umschalter (33) besteht, wobei ein erster Polumschalter (4) in den Speisestrom-Zuleitungen des Hallelementes (3) und ein zweiter Polumschalter (15) nach einem im Spannungs/Frequenz-Wandler (7) enthaltenen weiteren Spannungs/Strom-Wandler (14) angeordnet ist, dass der weitere Spannungs/Strom-Wandler (14) zusammen mit dem dem zweiten Polumschalter (15) nachgeschalteten Kondensator (C) den Integrator (14; C) bildet, dass beim weiteren Spannungs/Strom-Wandler (14) eine erste (19) der beiden Signalquellen (19, 20) derart angeordnet und angeschlossen ist, dass der Eingangsstrom ($\pm i_H \pm I_R/2$) des zweiten Polumschalters (15) proportional einem Summensignal ($\pm u_H + U_R/2, \pm u_H + U_R/2 - U_0, \pm i_H + I_R/2$) ist, welches gleich der Summe eines von der ersten Signalquelle (19) erzeugten Referenzsignals ($U_R/2, U_R/2 - U_0, I_R/2$) und eines dem Ausgangssignal ($\pm u_H$) des Hallelementes (3) proportionalen Signals ($\pm u_H \pm i_H$) ist, dass ein Anschluss der zweiten Signalquelle (20), die eine Konstantstromquelle ist, über den Umschalter (33), je nach dessen Stellung, mit dem einen oder dem andern Anschluss des Kondensators (C) verbunden ist und dass am Ausgang des Spannungs/Frequenz-Wandlers (7) ein Vorwärts/Rückwärts-Zähler (17; 85) vorhanden ist zwecks Subtraktion einer Referenzfrequenz ($f_R/2$).

10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das von der ersten Signalquelle (19) erzeugte Referenzsignal ($U_R/2 - U_0, I_R/2$) und die Referenzfrequenz ($f_R/2$) mindestens annähernd dem halben Wert des von der zweiten Signalquelle (20) gelieferten Referenzstromes (I_R) entspricht.

11. Anordnung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Signalquelle (19) eine Konstantstrom-

quelle ist und am Ausgang des weiteren Spannungs/Strom-Wandlers (14) angeschlossen ist.

12. Anordnung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Signalquelle (19) eine Konstantspannungsquelle ist und über ein Addierglied (13) an den Eingang des weiteren Spannungs/Strom-Wandlers (14) angeschlossen ist.

13. Anordnung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Signalquelle (19) ein Regler (27; 28; 29; 30) ist, der aus einem Exklusiv-Oder-Gatter (27), einem weiteren Vorwärts/Rückwärts-Zähler (28), einem Zwischenspeicher (29) und einem Digital/Analog-Wandler (30) besteht, und über ein Addierglied (13) an den Eingang des weiteren Spannungs/Strom-Wandlers (14) angeschlossen ist.

14. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungs/Frequenz-Wandler (7) einen Ausgangsfrequenzteiler (17) enthält, der mindestens ein Exklusiv-Oder-Gatter (83), einen Vorwärts/Rückwärts-Zähler (85), zwei Flip Flop (86, 87) und zwei Und-Gatter (84, 89) enthält.

15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgangsfrequenzteiler (17) eine Leerlauf-Verhinderungsschaltung (88; 90a; 95) enthält.

16. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Leerlauf-Verhinderungsschaltung (88; 90a; 95) aus einem monostabilen Multivibrator (95), einem Flip Flop (88) und einem Und-Gatter (90a) besteht.

17. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der monostabile Multivibrator (95) aus einem Und-Gatter (93) und einem Zähler (94) besteht.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 9 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Spannungs/Strom-Wandler (14) drei Stromquellen (109, 110, 111) enthält.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass eine jede vorhandene Stromquelle (19, 20, 109, 110, 111) aus einem Operationsverstärker (102, 103, 104, 114, 117), einem Feldeffekttransistor (105, 107, 112, 115, 118) und mindestens einem Widerstand (106, 108, 113, 116, 119) besteht.

20. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Hallelement (3) und dem Spannungs/Frequenz-Wandler (7) ein Hochpassverstärker (9) angeordnet ist.

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 8 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass dem Integrator (14; C) ein Überwachungs- und Steuergerät (16) nachgeschaltet ist, welches mindestens einen Komparator (71) zur Überwachung der Spannung (u_c) am Kondensator (C) und ein Flip Flop (75) zur Steuerung der Schalteinrichtung (18) bzw. des Umschalters (33) enthält.

22. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass ein Regelverstärker (5) zur Kompensation des Bezugspotentials der Ausgangsspannung ($\pm u_H$) des Hallelementes (3) vorhanden ist, wobei ein das Bezugspotential führender Ausgangsanschluss (26) des Hallelementes (3) auf einen invertierenden Eingang des Regelverstärkers (5) geführt ist, dessen nichtinvertierender Eingang an Masse liegt und dessen Ausgang in einer Stellung eines Polumschalters (4) mit einem ersten Eingangsanschluss (23) des Hallelementes (3) verbunden ist, während er in der anderen Stellung des Polumschalters (4) mit einem zweiten Eingangsanschluss (24) des Hallelementes (3) verbunden ist.

23. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der ferromagnetische Kern (2, 121; 10) dreischenklig ist, sein Mittelschenkel (10) mindestens teilweise vom elektrischen Leiter (1) umgeben ist und mindestens drei Luftspalte (11, 124, 125) besitzt, von denen

der mittlere Luftspalt (11) das Hallelement (3) enthält und die beiden äusseren Luftspalte (124, 125) je an einem der beiden Enden des Mittelschenkels (10) angeordnet sind, dass der Mittelschenkel (10) und das Hallelement (3) zusammen eine Baueinheit bilden und dass jeder der beiden äusseren Luftspalte (124, 125) in der Längsrichtung des Mittelschenkels (10) gemessen länger ist als der mittlere Luftspalt (11).

24. Anordnung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Mittelschenkel (10) aus zwei flachen Blechstreifen (10a, 10b) besteht, die zusammen mit dem Hallelement (3) in einem Gehäuse (126) aus nichtferromagnetischem Material angeordnet sind, und dass die beiden äusseren Luftspalte (124, 125) durch je eine Wand des Gehäuses (126) ausgefüllt sind.

25. Anordnung nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Joch und die beiden Aussenschenkel des ferromagnetischen Kerns (2, 121; 10) durch einen Ring (121) gebildet sind, der aus mindestens einem ringförmig gebogenen Blech besteht.

26. Anordnung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Breite (L) des Ringes (121) grösser ist als seine grösste Lichtweite.

27. Anordnung nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Länge des mittleren Luftspaltes (11) in Längsrichtung des Mittelschenkels (10) gemessen annähernd gleich gross ist, wie die in gleicher Richtung gemessene Breite des Hallelementes (3).

28. Anordnung nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Leiter (1) einen rechteckförmigen Querschnitt besitzt und dass der Ring (121) rechteckförmig ist.

29. Anordnung nach einem der Ansprüche 23 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass der Mittelschenkel (10) zwischen je einem in der Nähe parallel zueinander verlaufenden Hin- und Rückleiter (1a, 1b) des elektrischen Leiters (1) angeordnet ist.

30. Anordnung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Leiter (1) eine U-förmige Schleife (12) bildet und dass deren Hin- und Rückleiter die parallel zueinander verlaufenden Hin- und Rückleiter (1a, 1b) des elektrischen Leiters (1) sind.

31. Anordnung nach einem der Ansprüche 23 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Leiter (1) mindestens zwei U-förmige Schleifen (12a, 12b) bildet, die seitlich parallel nebeneinander angeordnet und elektrisch in Reihe geschaltet sind, wobei beide Leiter (129, 130 bzw. 131, 132) einer jeden Schleife (12a bzw. 12b) parallel deckend übereinander und die beiden Hinleiter (129, 131) einerseits und die beiden Rückleiter (130, 132) andererseits der beiden Schleifen (12a, 12b) jeweils in einer gleichen Ebene nebeneinander angeordnet sind, und dass der Mittelschenkel (10) mit dem Hallelement (3) zwischen den beiden Hinleitern (129, 131) einerseits und den beiden Rückleitern (130, 132) andererseits angeordnet sind.

32. Anordnung nach einem der Ansprüche 23 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Leiter (1) mindestens zwei U-förmige Schleifen (12a, 12b) bildet, die deckend ineinander geschoben angeordnet und elektrisch in Reihe geschaltet sind, wobei die Leiter (129, 130, 131, 132) aller Schleifen (12a, 12b) parallel deckend übereinander zugeordnet sind, und dass der Mittelschenkel (10) mit dem Hallelement (3) zwischen den beiden Hinleitern (129, 131) einerseits und den beiden Rückleitern (130, 132) andererseits angeordnet sind.

33. Anordnung nach einem der Ansprüche 25 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Leiter (1) mindestens innerhalb des Ringes (121) aus zwei parallelen Leitern (133, 134) besteht, die mindestens einmal derart

angeordnet sind, dass sie den Ring (121) zuerst in einer Richtung durchqueren, sich dann elektrisch isoliert kreuzen um anschliessend den Ring (121) in umgekehrter Richtung erneut zu durchqueren, wobei der Mittelschenkel (10) jeweils für beide Richtungen zwischen den beiden Leitern (133, 134) angeordnet ist.

34. Anordnung nach einem der Ansprüche 24 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass der Mittelschenkel (10) und das Hallelement (3) auf einem Träger aus Isoliermaterial angeordnet sind.

35. Anordnung nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass der Träger ein Boden (126a) des Gehäuses (126) ist.

36. Anordnung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse (126) aus Keramik besteht.

37. Anordnung nach einem der Ansprüche 34 bis 36, dadurch gekennzeichnet, dass auf dem Träger noch zusätzlich elektronische Bauelemente angeordnet sind.

38. Anordnung nach einem der Ansprüche 23 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der ferromagnetische Kern (2, 121; 10) aus einer Eisen-Nickel-Legierung besteht.

39. Anordnung nach einem der Ansprüche 25 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass der Ring (121) auf seiner Mantelfläche von einer annähernd parallelen, ringförmigen und breiteren Aussenabschirmung (128) umgeben ist.

40. Anordnung nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussenabschirmung (128) aus Tiefziehstahl besteht.

41. Anordnung nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussenabschirmung (128) aus einer Eisen-Nickel-Legierung besteht.

42. Anordnung nach einem der Ansprüche 39 bis 41, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ring (121) und der Aussenabschirmung (128) ein räumlicher Abstand besteht.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur Messung elektrischer Leistung gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der DE-OS 2 749 784 ist eine Anordnung der eingangs genannten Art bekannt. In ihr wird am Ausgang eines Hallelementes ein Differentialverstärker benötigt, der einerseits einen grossen Eingangs-Gleichtaktbereich («Common mode voltage») und andererseits eine grosse Gleichtaktunterdrückung («Common mode rejection») aufweisen muss. Derartige Differentialverstärker sind kompliziert, aufwendig und teuer. Eine dem Hallelement nachgeschaltete Verarbeitungselektronik, unter anderem der Differentialverstärker und ein dem Differentialverstärker nachgeschalteter Spannungs/Frequenz-Wandler, müssen bei präzisen Messungen eine gute Linearität und eine hohe Störsignal-Unterdrückung, insbesondere eine hohe Nullspannungseinfluss-Unterdrückung besitzen, die Massnahmen bedingt, die in der DE-OS 2 749 784 nicht beschrieben sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine langzeitstabile Anordnung zur Messung elektrischer Leistung zu schaffen, die eine hohe Empfindlichkeit und ein sehr grosses Nutzsignal/Störsignal-Verhältnis besitzt.

Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben, die teilweise den Vorteil besitzen, keinen teuren und komplizierten Differentialverstärker am Ausgang des Hallelementes zu benötigen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben. Es zeigen:

- 5 Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Anordnung zur Messung elektrischer Leistung,
 Fig. 2 ein Blockschaltbild eines als Signalquelle dienenden Reglers,
 10 Fig. 3 ein Schaltbild einer ersten Variante einer Schalteinrichtung,
 Fig. 4 ein Schaltbild einer zweiten Variante einer Schalteinrichtung,
 Fig. 5 eine Draufsicht eines Hallelementes,
 Fig. 6 einen Querschnitt des in der Fig. 5 dargestellten Hallelementes,
 15 Fig. 7 ein Schaltbild einer ersten Variante eines Überwachungs- und Steuergerätes,
 Fig. 8 ein Schaltbild einer zweiten Variante eines Überwachungs- und Steuergerätes,
 20 Fig. 9 Impulsdiagramme, die zur zweiten Variante gehören,
 Fig. 10 ein Schaltbild eines Ausgangsfrequenzteilers,
 Fig. 11 ein Schaltbild des Eingangsteils eines Spannungs/Frequenz-Wandlers,
 25 Fig. 12 einen ersten Querschnitt A-B des Aufbaus einer ersten Variante eines Messwandlers,
 Fig. 13 einen zweiten Querschnitt C-D des Aufbaus der ersten Variante eines Messwandlers,
 Fig. 14 einen Aufbau einer zweiten Variante eines Messwandlers,
 30 Fig. 15 einen Aufbau einer dritten Variante eines Messwandlers und
 Fig. 16 ein Blockschaltbild eines Elektrizitätszählers.
- 35 Gleiche Bezugszahlen bezeichnen in allen Figuren der Zeichnung gleiche Teile.
- Alle Komponenten der beschriebenen Einrichtungen sind z. B. in CMOS-Technologie aufgebaut und werden dann von einer positiven Speisegleichspannung V_{DD} und einer negativen Speisegleichspannung $-|V_{SS}|$ gespeist, die beide die Masse als Bezugspotential besitzen. Die Speisegleichspannungen V_{DD} und $-|V_{SS}|$ werden z. B. mit Hilfe eines Netzgleichrichters auf an sich bekannte Weise von der Spannung u_N eines elektrischen Versorgungsnetzes abgeleitet. In der
 45 Zeichnung sind der Netzgleichrichter und die Speisegleichspannungen V_{DD} und $-|V_{SS}|$, obwohl immer vorhanden, aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit nicht dargestellt.
- In der Zeichnung sind alle fakultativ vorhandenen Verbindungen und Komponenten gestrichelt gezeichnet. Alle Takteingänge, die mit positivgehenden Flanken gesteuert werden, sind in der Zeichnung symbolisch mit je einem weissen Dreieck gekennzeichnet, während alle Takteingänge, die mit negativgehenden Flanken gesteuert werden, symbolisch mit je einem schwarzen Dreieck versehen sind.
- 55 Die in der Fig. 1 dargestellte Anordnung besteht aus einem von einem elektrischen Strom i durchflossenen Leiter 1, einem durch den Strom i erregten ferromagnetischen Kern 2, einem Hallelement 3 als Magnetfeldsensor und Multiplizierer, einem ersten Polumschalter 4, einem Regelverstärker
 60 5, einem ersten Spannungs/Strom-Wandler 6, einem Spannungs/Frequenz-Wandler 7, einem Steuergerät 8 und fakultativ einem Hochpassverstärker 9. Der ferromagnetische Kern 2 ist annähernd geschlossen und vorzugsweise dreischenklig. Sein Mittelschenkel 10 besitzt mindestens einen
 65 Luftspalt 11, in dem das Hallelement 3 angeordnet ist. Der Mittelschenkel 10 mit dem Hallelement 3 ist ausserdem mindestens teilweise vom elektrischen Leiter 1 umgeben. Er ist vorzugsweise zwischen einem Hin- und einem Rückleiter des

Leiters 1 angeordnet. Der Leiter 1 bildet vorzugsweise eine U-förmige Schleife 12. In diesem Fall sind der Hin- und der Rückleiter der U-förmigen Schleife 12 der Hin- und der Rückleiter des Leiters 1, zwischen denen das Hallelement 3 angeordnet ist. Der Strom I , der aus dem Versorgungsnetz mit der Spannung U_N in die Lastimpedanz Z_L gespeist wird, fließt durch die U-förmige Schleife 12. Der Spannungs/Frequenz-Wandler 7 besteht seinerseits aus einem fakultativ vorhandenen Addierglied 13, einem zweiten Spannungs/Strom-Wandler 14, einem fakultativ vorhandenen zweiten Polumschalter 15, einem Kondensator C, einem Überwachungs- und Steuergerät 16, einem Ausgangsfrequenzteiler 17, einer Schalteinrichtung 18, einer ersten Signalquelle 19, einer zweiten Signalquelle 20, einem Taktgenerator 21 und einem Frequenzteiler 22.

Die beiden Polumschalter 4 und 15 sind gleich aufgebaut und bestehen je aus einem zweipoligen Umschalter, d. h. je aus zwei Umschaltkontakten 4a und 4b bzw. 15a und 15b, die z. B. mit Hilfe bekannter Halbleiter-Analogschalter in CMOS-Technologie aufgebaut sind. Dabei ist (siehe Fig. 1, Symbole in den Blöcken 4 und 15) ein erster Eingangspol der Polumschalter 4 und 15 sowohl über einen Ruhekontakt des ersten Umschaltkontaktes 4a bzw. 15a mit einem ersten ihrer Ausgangspole als auch über einen Arbeitskontakt des ersten Umschaltkontaktes 4a bzw. 15a mit einem zweiten ihrer Ausgangspole verbunden, während ihr zweiter Eingangspol sowohl über einen Ruhekontakt des zweiten Umschaltkontaktes 4b bzw. 15b mit dem zweiten ihrer Ausgangspole als auch über einen Arbeitskontakt des zweiten Umschaltkontaktes 4b bzw. 15b mit dem ersten ihrer Ausgangspole verbunden ist.

Der nicht an Masse liegende Anschlusspol der Spannung U_N ist sowohl mit dem Eingang des Spannungs/Strom-Wandlers 6 als auch mit demjenigen des Steuergerätes 8 verbunden. Das Hallelement 3 besitzt zwei Eingangsanschlüsse 23 und 24, die zusammen einen Speiseeingang 23; 24 des Hallelementes 3 bilden, sowie zwei Ausgangsanschlüsse 25 und 26. Der erste Ausgangsanschluss 25 ist der einpolige Ausgang des Hallelementes 3. Das am zweiten Ausgangsanschluss 26 anstehende Spannungspotential ist das Bezugspotential der Ausgangsspannung des Hallelementes 3. Der das Bezugspotential führende Ausgangsanschluss 26 ist auf einen invertierenden Eingang des Regelverstärkers 5 geführt, dessen nicht-invertierender Eingang an Masse liegt und dessen Ausgang über den zweiten Umschaltkontakt 4b mit dem Eingangsanschluss 23 bzw. 24 des Hallelementes 3 verbunden ist. Der Polumschalter 4 ist an seinem Ausgang derart verdrahtet und an dem Hallelement 3, dem Spannungs/Strom-Wandler 6 und dem Regelverstärker 5 derart angeschlossen, dass er in seiner ersten Stellung, d. h. in der in der Figur 1 dargestellten Position, mit seinem ersten Umschaltkontakt 4a den Ausgang des Spannungs/Strom-Wandlers 6 mit dem ersten Eingangsanschluss 23 verbindet, so dass dieser Eingangsanschluss 23 einpolig am Spannungs/Strom-Wandler 6 angeschlossen ist, und dass er mit seinem zweiten Umschaltkontakt 4b den Ausgang des Regelverstärkers 5 mit dem zweiten Eingangsanschluss 24 verbindet. In der zweiten Stellung des Umschalters 4 ist dagegen umgekehrt der Ausgang des Spannungs/Strom-Wandlers 6 über den ersten Umschaltkontakt 4a mit dem zweiten Eingangsanschluss 24 verbunden, so dass diesmal der Eingangsanschluss 24 einpolig am Spannungs/Strom-Wandler 6 angeschlossen ist, und der Ausgang des Regelverstärkers 5 über den zweiten Umschaltkontakt 4b mit dem ersten Eingangsanschluss 23 verbunden. Zwischen dem Ausgangsanschluss 25 des Hallelementes 3 und dem Eingang des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 ist der nur fakultativ vorhandene Hochpassverstärker 9 angeordnet.

In der Fig. 1 sind gleichzeitig zwei Varianten der Anord-

nung und von der zweiten Variante drei Untervarianten dargestellt. In allen Varianten und Untervarianten ist die Signalquelle 20 eine Konstantstromquelle, deren erster Anschluss an der negativen Speisegleichspannung $-|V_{SS}|$ liegt und deren zweiter Anschluss gemäss der Fig. 1 mit einem ersten Anschluss 18a der Schalteinrichtung 18 verbunden ist. In der ersten Variante und in der ersten Untervariante der zweiten Variante ist die Signalquelle 19 ebenfalls eine Konstantstromquelle, deren erster Anschluss diesmal an der positiven Speisegleichspannung V_{DD} liegt und deren zweiter Anschluss den Ausgang der Signalquelle 19 bildet, der bei dieser Variante und dieser Untervariante an einem zweiten Anschluss 18b der Schalteinrichtung 18 bzw. an einem nicht an Masse liegenden Ausgangsanschluss des Spannungs/Strom-Wandlers 14 angeschlossen ist (siehe Fig. 1). In der zweiten und dritten Untervariante der zweiten Variante ist die Signalquelle 19 dagegen eine Spannungsquelle, nämlich eine Konstantspannungsquelle in der zweiten Untervariante oder ein Regler 27; 28; 29; 30 (siehe Fig. 2) in der dritten Untervariante, deren negativer Anschluss jeweils an Masse liegt und deren positiver Anschluss jeweils den Ausgang der Signalquelle 19 bildet, der diesmal jeweils mit einem ersten Eingang des Addiergliedes 13 verbunden ist. Das Addierglied 13 ist nur bei diesen beiden letzten Untervarianten der zweiten Variante und der zweite Polumschalter 15 nur bei der zweiten Variante vorhanden. In der dritten Untervariante der zweiten Variante kann der Hochpassverstärker 9 weggelassen werden, während der in dieser Untervariante als Signalquelle 19 verwendete Regler 27; 28; 29; 30 vorzugsweise den in der Fig. 2 dargestellten Aufbau besitzt. Der Regler 27; 28; 29; 30 besteht gemäss der Fig. 2 aus einem Exklusiv-Oder Gatter 27, einem Vorwärts/Rückwärts-Zähler 28, einem Zwischenspeicher 29 und einem Digital/Analog-Wandler 30, die in der angegebenen Reihenfolge in Kaskade geschaltet sind, wobei zwischen dem Vorwärts/Rückwärts-Zähler 28 und dem Zwischenspeicher 29 einerseits und zwischen dem Zwischenspeicher 29 und dem Digital/Analog-Wandler 30 andererseits je eine Datenbus-Verbindung vorhanden ist. Der Ausgang des Steuergerätes 8 (siehe Fig. 1), an dem ein Umschaltsignal A ansteht, ist bei dieser dritten Untervariante über einen ersten Eingang 19a der Signalquelle 19 mit einem ersten Eingang des Exklusiv-Oder-Gatters 27 und mit einem Takteingang des Zwischenspeichers 29 verbunden (siehe Fig. 2). Ein vom Frequenzteiler 22 geliefert Takt signal P und ein vom Ausgangsfrequenzteiler 17 geliefert Signal W (siehe Fig. 1) ist über einen zweiten Eingang 19b der Signalquelle 19 auf einen zweiten Eingang des Exklusiv-Oder-Gatters 27 bzw. über einen dritten Eingang 19c der Signalquelle 19 auf einen Takteingang des Vorwärts/Rückwärts-Zählers 28 geführt (siehe Fig. 2). Der Ausgang des Exklusiv-Oder-Gatters 27 ist mit einem «Up/Down»-Eingang U/D des Vorwärts/Rückwärts-Zählers 28 verbunden. Der Ausgang des Digital/Analog-Wandlers 30 bildet den Ausgang des Reglers 27; 28; 29; 30 und damit auch den Ausgang der Signalquelle 19.

In der ersten Variante ist der Ausgangsanschluss 25 des Hallelementes 3 über den fakultativ vorhandenen Hochpassverstärker 9 direkt mit dem Eingang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 verbunden, dessen Ausgang seinerseits zweipolig direkt mit dem Kondensator C und dem zweipoligen Eingang des Überwachungs- und Steuergerätes 16 verbunden ist, da sowohl das Addierglied 13 als auch der Polumschalter 15 bei dieser Variante nicht vorhanden sind.

In allen drei Untervarianten der zweiten Variante ist der Ausgang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 dagegen zweipolig über den nachgeschalteten Polumschalter 15 mit dem diesem nachgeschalteten Kondensator C und dem zweipoligen Eingang des Überwachungs- und Steuergerätes 16 ver-

bunden. Bei der ersten Untervariante fehlt das Addierglied 13, so dass der Ausgangsanschluss 25 des Hallelementes 3 wieder über den fakultativ vorhandenen Hochpassverstärker 9 direkt mit dem Eingang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 verbunden ist. In der zweiten und der dritten Untervariante der zweiten Variante dagegen, bei der der Ausgang der Signalquelle 19 auf den ersten Eingang des Addiergliedes 13 geführt ist, ist der Ausgangsanschluss 25 des Hallelementes 3 mit einem zweiten Eingang des Addiergliedes 13 verbunden, wobei, wie bereits erwähnt, nur in der zweiten Untervariante der Hochpassverstärker 9 fakultativ vorhanden ist. Der Ausgang des Addiergliedes 13 ist dabei auf den Eingang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 geführt. Ein Ausgangsanschluss des letzteren liegt immer bei allen Varianten und Untervarianten an Masse.

In der ersten Variante besteht die Schalteinrichtung 18 gemäss der Fig. 3 aus zwei steuerbaren Schaltern 31 und 32, die einen gemeinsamen Anschluss besitzen, der mit einem dritten Anschluss 18c der Schalteinrichtung 18 verbunden ist. Der andere, nicht gemeinsame Anschluss des Schalters 31 ist dagegen auf den zweiten Anschluss 18b und derjenige des Schalters 32 auf den ersten Anschluss 18a jeweils der Schalteinrichtung 18 geführt. Der Steuereingang des Schalters 31 wird von einem Steuersignal F und derjenige des Schalters 32 von einem Steuersignal F gesteuert, die beide vom Überwachungs- und Steuergerät 16 geliefert werden (siehe Fig. 1). Der Aufbau des letzteren für diese erste Variante ist aus der Fig. 7 ersichtlich, die später noch beschrieben werden wird. Gemäss der Fig. 1 ist der dritte Anschluss 18c der Schalteinrichtung 18 mit dem nicht an Masse liegenden Anschluss des Kondensators C verbunden, während der erste und zweite Anschluss 18a und 18b jeweils auf einen Anschluss einer der beiden Signalquellen 20 bzw. 19 geführt ist.

In den drei Untervarianten der zweiten Variante besteht die Schalteinrichtung 18 gemäss der Fig. 4 nur aus einem einpoligen Umschalter 33, dessen Ruhekontakt den ersten Anschluss 18a der Schalteinrichtung 18 mit einem vierten Anschluss 18d und dessen Arbeitskontakt den ersten Anschluss 18a mit dem dritten Anschluss 18c jeweils der Schalteinrichtung 18 verbindet. In allen drei Untervarianten sind der dritte und der vierte Anschluss 18c und 18d der Schalteinrichtung 18 gemäss der Fig. 1 mit je einem Anschluss des Kondensators C direkt verbunden. Ein Anschluss der Signalquelle 20 ist somit über den Umschalter 33 je nach dessen Stellung mit dem einen oder dem andern Anschluss des Kondensators C verbunden. Der Steuereingang des Umschalters 33 wird von dem Steuersignal F gesteuert, welches gemäss der Fig. 1 vom Überwachungs- und Steuergerät 16 geliefert wird, das diesmal einen in der Fig. 8 dargestellten Aufbau besitzt, der später noch beschrieben werden wird.

Der Ausgang des Steuergerätes 8, an dem ein periodisches Umschaltsignal A ansteht, ist in der ersten Variante mit einem Steuereingang 16a des Überwachungs- und Steuergerätes 16 verbunden, in dem das Umschaltsignal A aufbereitet und einem Hilfssteuerausgang 16b zugeführt wird, der seinerseits mit dem Steuereingang des Polumschalters 4 verbunden ist. In den drei Untervarianten der zweiten Variante ist der Ausgang des Steuergerätes 8 mit je einem Steuereingang der beiden Polumschalter 4 und 15 direkt verbunden und in der dritten Untervariante noch zusätzlich, wie bereits erwähnt, mit dem Eingang 19a der als Regler 27; 28; 29; 30 verwendeten Signalquelle 19 verbunden. Die beiden Polumschalter 4 und 15 werden somit vom gleichen Umschaltsignal A gesteuert.

Das Umschaltsignal A kann auch durch ein im Frequenzteiler 22 erzeugtes periodisches Umschaltsignal B ersetzt werden. In diesem Fall kann das Steuergerät 8 eingespart

werden und muss das Umschaltsignal B mittels nicht dargestellter Verbindungen auf alle jene Anschlüsse geführt werden, worauf das Umschaltsignal A geführt war.

Der Signalausgang des Überwachungs- und Steuergerätes 16, an dem ein Signal F ansteht, ist auf einen ersten Signaleingang des Ausgangsfrequenzteilers 17 geführt, der zwei Signalausgänge besitzt, an denen ein Signal M bzw. M_1 ansteht und die gleichzeitig die Signalausgänge 7a und 7b des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 sind.

Der Ausgang des Taktgenerators 21 ist mit einem Eingang des Frequenzteilers 22 verbunden, der z. B. sechs Ausgänge besitzt. Der erste Ausgang des Frequenzteilers 22, an dem ein Taktsignal P der Frequenz $f_r/2$ ansteht, ist in der zweiten Variante auf einen zweiten Signaleingang des Ausgangsfrequenzteilers 17 geführt, der zweite Ausgang, an dem ein Taktsignal L der Frequenz f_r ansteht, ist in allen Varianten mit einem Takteingang des Überwachungs- und Steuergerätes 16 sowie in der zweiten Variante mit einem ersten Takteingang des Ausgangsfrequenzteilers 17 verbunden, während der dritte Ausgang, an dem ein Taktsignal T der Frequenz $f_r/128$ ansteht, in der zweiten Variante auf einen zweiten Takteingang des Ausgangsfrequenzteilers 17 geführt ist. Der vierte Ausgang, an dem ein Taktsignal Y der Frequenz $2f_r$ ansteht, ist in der zweiten Variante mit einem dritten Takteingang des Ausgangsfrequenzteilers 17 verbunden. Der fünfte Ausgang des Frequenzteilers 22, an dem ein Taktsignal E der Frequenz $f_r/32$ ansteht, ist fakultativ vorhanden und wird z. B. in dem in der Fig. 16 dargestellten Elektrizitätszähler verwendet. Er ist mit einem fakultativ vorhandenen Taktausgang 7c des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 verbunden. Am sechsten Ausgang des Frequenzteilers 22 steht das bereits erwähnte Umschaltsignal B an. In der dritten Untervariante der zweiten Variante ist ausserdem, wie ebenfalls bereits erwähnt, das Taktsignal P und ein das Signal W führender Ausgang des Ausgangsfrequenzteilers 17 mit je einem Eingang 19b bzw. 19c der als Regler 27; 28; 29; 30 eingesetzten Signalquelle 19 verbunden.

Der Taktgenerator 21 ist z. B. quarzstabilisiert und erzeugt rechteckförmige Taktimpulse z. B. der Frequenz 2^{15} Hz = 32,768 kHz. Diese Frequenz wird im nachgeschalteten Frequenzteiler 22 z. B. durch m geteilt, wobei m in der zweiten Variante die Werte 2^4 , 2^5 , 2^6 , 2^{10} , 2^{11} und 2^{12} besitzt, zur Erzeugung der Frequenzen $2f_r = 2^{11}$ Hz des Taktsignals Y, $f_r = 2^{10}$ Hz des Taktsignals L, $f_r/2 = 2^9$ Hz des Taktsignals P, $f_r/32 = 2^5$ Hz des Taktsignals E, $f_r/64 = 2^4$ Hz = 16 Hz des Umschaltsignals B und $f_r/128 = 2^3$ Hz des Taktsignals T. In der ersten Variante dagegen besitzt der Frequenzteiler 22 nur die Ausgänge an denen die Taktsignale L und E anstehen.

Das Steuergerät 8, falls vorhanden, wandelt die sinusförmige Spannung u_N des elektrischen Versorgungsnetzes um in rechteckförmige Impulse des Umschaltsignals A. Das Steuergerät 8 besteht vorzugsweise aus einer nicht dargestellten Kaskadenschaltung eines Schmitt-Triggers und eines nachgeschalteten weiteren Frequenzteilers. Die Spannung u_N wird im Schmitt-Trigger in ein periodisches rechteckförmiges Impulssignal der gleichen Frequenz umgewandelt. Die beiden Schaltwellen des Schmitt-Triggers sind vorzugsweise so gewählt, dass die Umschaltung im nachgeschalteten Frequenzteiler genau bei den Nulldurchgängen der Spannung u_N erfolgt. Im Frequenzteiler wird dann anschliessend die z. B. 50 Hz- bzw. 60 Hz-Frequenz dieses rechteckförmigen Impulssignals durch n geteilt, wobei n z. B. den Wert 2 besitzt, zur Erzeugung einer Frequenz von 12,5 Hz bzw. 15 Hz des Umschaltsignals A.

In der ersten Variante wird über die Anschlüsse 16a und 16b des Überwachungs- und Steuergerätes 16 der Polumschalter 4 und in der zweiten Variante werden die beiden Polumschalter 4 und 15 direkt und synchron durch das

Umschaltensignal A der Frequenz 12,5 Hz oder 15 Hz bzw. durch das Umschaltensignal B der Frequenz 16 Hz periodisch umgeschaltet.

In allen Varianten wandelt der Spannungs/Strom-Wandler 6 die elektrische Spannung u_N in einen proportionalen Strom i_N um, der durch den in den Speisestrom-Zuleitungen des Hallelementes 3 angeordneten Polumschalter 4 periodisch umgepolt als Speisestrom das Hallelement 3 erreicht, welches gleichzeitig einem durch den Strom i_N erzeugten Magnetfeld ausgesetzt ist, wobei dieses Magnetfeld dem Strom i_N proportional ist. Die vom Hallelement 3 erzeugte Ausgangsspannung $\pm u_H$ dient als Nutzsignal, das während der ungeradzahli- gen Halbperioden des Umschaltensignals A bzw. B z. B. proportional dem Produkt $u_N \cdot i$ und während der geradzahli- gen Halbperioden proportional dem Produkt $(-u_N) \cdot i$ ist. Bei $\pm u_H$ entspricht somit das Pluszeichen den ungeradzahli- gen und das Minuszeichen den geradzahli- gen Halbperioden des Umschaltensignals A bzw. B, wenn u_H dem Produkt $u_N \cdot i$ aus Spannung u_N und Strom i proportional ist. Mit dem gegebenenfalls aufbereiteten Umschaltensignal A bzw. B kann somit das Vorzeichen der durch das Hallelement 3 realisierten Multiplikation umgeschaltet werden.

Der Regelverstärker 5 besitzt die Referenzspannung 0 Volt als Sollwert und das Spannungspotential am zweiten Ausgangsanschluss 26 des Hallelementes 3 als Istwert. Letzteres ist gleichzeitig das Bezugspotential der Ausgangsspannung des Hallelementes 3 und wird mit Hilfe des Regelverstärkers 5 kompensiert, d. h. auf null Volt heruntergeregelt. Um dies zu erreichen, vergleicht der Regelverstärker 5 den Soll- und den Istwert miteinander und erzeugt an seinem Ausgang eine Spannung, die proportional der Sollwert/Istwert-Differenz ist und die über den Umschaltkontakt 4b und das Hallelement 3 dem Spannungspotential am Ausgangsanschluss 26 des Hallelementes 3 derartig entgegenwirkt, dass die Sollwert/Istwert-Differenz gleich null wird. Wenn dies der Fall ist, dann ist das Spannungspotential des Ausgangsanschlusses 26 gleich der Referenzspannung, d. h. gleich null Volt. Die Polarität der Störanteile, auf die die periodische Umschaltung des Polumschalters 4 keinen Einfluss hat, wie z. B. die Nichtlinearität des Innenwiderstandes des Hallelementes 3 und die Thermospannungen der Anschlusskontakte des Hallelementes 3, ist somit unabhängig von der periodischen Polaritätsumschaltung des Speisestromes i_N und damit des Produktes $u_N \cdot i$.

Der Aufbau des Hallelementes 3 ist aus den Figuren 5 und 6 ersichtlich. Er ist derart realisiert, dass ein langzeitstabiles Hallelement 3 entsteht, dessen Empfindlichkeit in der Größenordnung von 1 Volt/(mA.Tesla) liegt und dessen Störanteile mit Hilfe zusätzlicher Gateanschlüsse annulliert oder zumindestens stark reduziert werden können.

Das in den Figuren 5 und 6 dargestellte Hallelement 3 besitzt mindestens eine erste äussere Stromelektrode 41, eine erste Sensorelektrode 42, eine mittlere Stromelektrode 43, eine zweite Sensorelektrode 44 und eine zweite äussere Stromelektrode 45, die alle annähernd geradlinig nebeneinander und in der angegebenen Reihenfolge an der Oberfläche eines Halbleitermaterials 46 angeordnet sind, das einen vorgegebenen Leitfähigkeitstyp, z. B. N, besitzt. Dabei sind sowohl die beiden Sensorelektroden 42 und 44 als auch die beiden äusseren Stromelektroden 41 und 45 jeweils annähernd symmetrisch zur mittleren Stromelektrode 43 angeordnet. Die Anschlusskontakte der Elektroden 41 bis 45 können als ohmsche Kontakte, als Schottky-Dioden oder als P/N-Dioden ausgebildet sein. Mindestens die Anschlusskontakte der Stromelektroden 41, 43 und 45 sind vorzugsweise als ohmsche Kontakte ausgebildet. In den Figuren 5 und 6 wurde einfachshalber angenommen, dass auch die Anschlusskontakte der Sensorelektroden 42 und 44

ohmsche Kontakte sind. In diesem Fall besteht der Anschlusskontakt einer jeden Elektrode 41 bis 45 aus einer Kontaktdiffusion 51 bis 55, die stark mit Fremdatomen dotiert ist und die aus Material besteht, das vom gleichen Leitfähigkeitstyp N ist wie das Halbleitermaterial 46, sowie aus einem metallischen Anschlusskontakt 61 bis 65. Alle Diffusionskontakte 51 bis 55 bestehen somit aus N⁺-Material.

Die erste äussere Stromelektrode 41 besitzt einen ersten äusseren Stromanschluss C'₁ und einen Anschlusskontakt 51; 61, der aus einer Kontaktdiffusion 51 und einem metallischen Anschlusskontakt 61 besteht.

Die erste Sensorelektrode 42 besitzt einen ersten Sensoranschluss S₁ und einen Anschlusskontakt 52; 62, der aus einer Kontaktdiffusion 52 und einem metallischen Anschlusskontakt 62 besteht.

Die mittlere Stromelektrode 43 besitzt einen mittleren Stromanschluss C₁ und einen Anschlusskontakt 53; 63, der aus einer Kontaktdiffusion 53 und einem metallischen Anschlusskontakt 63 besteht.

Die zweite Sensorelektrode 44 besitzt einen zweiten Sensoranschluss S₂ und einen Anschlusskontakt 54; 64, der aus einer Kontaktdiffusion 54 und einem metallischen Anschlusskontakt 64 besteht.

Die zweite äussere Stromelektrode 45 besitzt einen zweiten äusseren Stromanschluss C''₂ und einen Anschlusskontakt 55; 65, der aus einer Kontaktdiffusion 55 und einem metallischen Anschlusskontakt 65 besteht.

Der Teil des Halbleitermaterials 46, der unterhalb der mittleren Stromelektrode 43 und der beiden Sensorelektroden 42 und 44 liegt, bildet die aktive Zone 67 des Hallelementes 3. Zur Verbesserung der Langzeitstabilität des Hallelementes 3 ist zwischen der aktiven Zone 67 des Hallelementes 3 und der Oberfläche des Hallelementes 3 eine Sperrschicht 68; 67 angeordnet, die mindestens die aktive Zone 67 des Hallelementes 3 nach oben hin abdeckt. Vorzugsweise ist die Sperrschicht 68; 67 gebildet durch die Grenzschicht zwischen der aktiven Zone 67 des Hallelementes 3 und einer an der Oberfläche im Hallelement 3 angeordneten Oberflächenschicht 68, die aus Material besteht, das den entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp P besitzt als das Halbleitermaterial 46, und die mindestens die aktive Zone 67 nach oben hin abdeckt. Die Oberflächenschicht 68 ist höchstens so dick wie die Tiefe der Kontaktdiffusionen 51 bis 55, so dass diese die Oberflächenschicht 68 voll durchqueren und eine Verbindung herstellen zwischen der Oberfläche des Hallelementes 3 und dem Halbleitermaterial 46. Die Oberflächenschicht 68 besitzt eine Anschlussverbindung R. Im Betrieb ist an der Anschlussverbindung R eine elektrische Spannung derart anzulegen, dass die Grenzschicht 68; 46 in Sperrichtung gepolt ist.

Die Kontaktdiffusionen 51 bis 55 sind z. B. rechteckförmig und haben z. B. alle eine gleiche Tiefe. In einer bevorzugten Ausführung sind die Kontaktdiffusionen 51 und 55 der beiden äusseren Stromelektroden 41 und 45 ringförmig und sie umgeben seitlich in einem Abstand jeweils eine Kontaktdiffusion 51a bzw. 55a eines Gateanschlusses OL bzw. OR. Die Kontaktdiffusionen 51a und 55a sind dabei stark mit Fremdatomen dotiert und bestehen aus Material, das den entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp P besitzt als das Halbleitermaterial 46. Sie bestehen somit aus P⁺-Material. Ihre Tiefe ist z. B. gleich der Tiefe der Kontaktdiffusionen 51 bis 55 und sie sind z. B. ebenfalls rechteckförmig. In diesem Fall sind die Kontaktdiffusionen 51 und 55 vorzugsweise rechteckig-ringförmig.

Vorzugsweise ist an der Oberfläche in das Halbleitermaterial 46 eine eindiffundierte tiefe, länglich-ringförmige Isolationsschicht 69 vorhanden, die mindestens die Kontaktdiffusionen 52 bis 54 der drei mittleren Strom- bzw. Sensorelek-

troden 42 bis 44 seitlich und von ihnen getrennt umgibt. Dabei wird das Zentrum der Isolationsschicht 69 annähernd von der Kontaktdiffusion 53 der mittleren Stromelektrode 43 gebildet. Die Längsachse der Isolationsschicht 69 verläuft annähernd parallel zur Verbindungsgeraden der Strom- und Sensorelektroden 41 bis 45. Die Tiefe der Isolationsschicht 69 ist grösser als die Tiefe der Kontaktdiffusionen 51 bis 55 der Strom- und Sensorelektroden 41 bis 45. Die Isolationsschicht 69 besteht aus Material, das den entgegengesetzten Leitfähigkeitstyp P besitzt als das Halbleitermaterial 46. Falls eine Oberflächenschicht 68 vorhanden ist, hat diese räumlichen Kontakt mit der Isolationsschicht 69.

An der Oberfläche ist in vorteilhafter Weise im Halbleitermaterial 46 eine stark mit Fremdatomen dotierte Diffusionsschicht 70 vorhanden, welche die Isolationsschicht 69 seitlich ringförmig und von ihr getrennt umgibt. Dabei ist die Diffusionsschicht 70 vom gleichen Leitfähigkeitstyp N wie das Halbleitermaterial 46. Sie besteht somit aus N⁺-Material. Im Betrieb sind die beiden äusseren Stromanschlüsse C'2 und C''2 extern miteinander verbunden. Der mittlere Stromanschluss C1 einerseits und die miteinander verbundenen äusseren Stromanschlüsse C'2 und C''2 andererseits bilden dann zusammen den zweipoligen Speisestromanschluss des Hallelementes 3, wobei der Speisestrom i_N z. B. beim mittleren Stromanschluss C1 in das Hallelement 3 hineinfließt und sich innerhalb des Hallelementes 3 in zwei gleichen Hälften teilt, wobei die beiden Stromhälften $i_N/2$ dann bei je einem äusseren Stromanschluss C'2 bzw. C''2 das Hallelement 3 verlassen.

Die Hallausgangsspannung $\pm u_H$ wird, nach dem sie gegebenenfalls im fakultativ vorhandenen Hochpassverstärker 9 verstärkt und gefiltert wurde, im nachgeschalteten Spannungs/Frequenz-Wandler 7 in eine proportionale Impulsfrequenz umgewandelt. Der Hochpassverstärker 9 besteht z. B. aus einer nicht dargestellten Kaskadenschaltung eines Verstärkers und eines nachgeschalteten Hochpassfilters. Der Spannungs/Frequenz-Wandler 7 weist einen Integrator 14; C auf, der aus dem Spannungs/Strom-Wandler 14 und dem Kondensator C besteht, und dem das Überwachungs- und Steuergerät 16 nachgeschaltet ist. In der ersten Variante bilden der Polumschalter 4 und die Schalteinrichtung 18 eine Umschaltvorrichtung 4; 18, während in allen Untervarianten der zweiten Variante die Polumschalter 4 und 15 sowie die Schalteinrichtung 18 eine Umschaltvorrichtung 4; 15; 18 bilden. Die Umschaltvorrichtung 4; 18 bzw. 4; 15; 18 dient dazu, das Nutzsignal, also die Hallausgangsspannung, periodisch umzupolen und die mindestens zwei vorhandenen Signalquellen 19 und 20 umzuschalten zum Zweck der Kompensation von in der Anordnung intern erzeugten Nullspannungen. Insbesondere wird die Nullspannung des Spannungs/Strom-Wandlers 14 kompensiert.

Nachfolgend wird nun die Arbeitsweise des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 für beide Varianten näher beschrieben. Bei hohen Anforderungen an die Genauigkeit, z. B. bei der Messung elektrischer Leistung insbesondere bei Anwendungen in statischen Elektrizitätszählern, werden das Ladungsmengenkompensationsverfahren und das Umladeverfahren in Spannungs/Frequenz-Wandlern bevorzugt verwendet. Beim Ladungsmengenkompensationsverfahren wird ein Messtrom in einem Integrator integriert, und jeweils beim Erreichen einer bestimmten Integratorspannung wird dem Integrator eine konstante Kompensationsladung entzogen. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der zugeführten und der entzogenen Ladung ein, wobei die Anzahl Kompensationsladungen je Zeiteinheit zum Messtrom proportional ist. Der Ladungsinhalt der einzelnen Kompensationsimpulse stellt eine Messkonstante dar und kann mit einfachen Mitteln mit hoher Genauigkeit konstant gehalten

werden. Hingegen sind besondere Massnahmen erforderlich, um einen Leerlauf des Spannungs/Frequenz-Wandlers zu verhindern. Beim Umladeverfahren wird der Messtrom ebenfalls in einem Integrator integriert; jeweils beim Erreichen eines bestimmten oberen Schwellwertes und eines bestimmten unteren Schwellwertes der Integratorspannung wird der Messtrom umgepolt und dadurch die Integrationsrichtung umgekehrt. Die Anzahl Umladungen je Zeiteinheit ist zum Messtrom proportional. Die Kapazität des Integrator-kondensators sowie die Differenz zwischen dem oberen und dem unteren Schwellwert stellen beim Umladeverfahren Messkonstanten dar, die nur schwer mit der erforderlichen Langzeitstabilität konstant gehalten werden können.

Dagegen wird ein Leerlauf des Spannungs/Frequenz-Wandlers selbsttätig verhindert und vor allem können beim Einsatz eines solchen Spannungs/Frequenz-Wandlers in einem statischen Elektrizitätszähler von einer Polaritätsumschaltung unabhängige Fehlerströme durch die periodische Polaritätsumschaltung teilweise kompensiert und dadurch der Messbereich erweitert werden.

In der ersten Variante werden die Vorteile des Ladungskompensationsverfahrens und des Umladeverfahrens vereinigt und somit ein Spannungs/Frequenz-Wandler 7 realisiert, dessen Messkonstante durch den Ladungsinhalt von Kompensationsimpulsen gegeben ist und bei dem Fehlerströme kompensiert werden sowie ein Leerlauf selbsttätig verhindert wird.

In der ersten Variante sind, wie bereits erwähnt, das Addierglied 13 und der Polumschalter 15 nicht vorhanden. In diesem Fall ist der Spannungs/Strom-Wandler 14 das Eingangsbauelement des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7. Der Spannungs/Strom-Wandler 14 wandelt die gegebenenfalls durch den Hochpassverstärker 9 verstärkte und gefilterte Hallausgangsspannung $\pm u_H$ um in einen proportionalen Strom $\pm i_H$, der den Kondensator C lädt oder entlädt. Das Überwachungs- und Steuergerät 16 und die Schalteinrichtung 18 haben in der ersten Variante, wie bereits erwähnt, den in der Fig. 7 bzw. der Fig. 3 dargestellten Aufbau. Die beiden Signalquellen 19 und 20 sind in dieser ersten Variante beide Konstantstromquellen, die beide einen gleichwertigen, aber in der Polarität umgekehrten Referenzstrom I_R bzw. $-I_R$ liefern. Gemäss der Fig. 7 besteht das Überwachungs- und Steuergerät 16 aus einem Komparator 71, einer Kippstufe 72, einem ersten Und-Tor 73, einem zweiten Und-Tor 74, einem ersten D-Flip Flop 75, einem zweiten D-Flip Flop 76, einem Oder-Tor 77 und einem dritten Und-Tor 78. Die Kippstufe 72 besteht ihrerseits aus einem RS-Flip Flop 72a und zwei gegenseitig verriegelten Eingangstoren 72b und 72c, die derart verknüpft sind, dass an den beiden Eingängen des RS-Flip Flops 72a nie gleichzeitig ein Logikwert «1» erscheinen kann. Die Eingangstore 72b und 72c sind Und-Tore. Die beiden Eingänge des Komparators 71 bilden einen zweipoligen Eingang des Überwachungs- und Steuergerätes 16. Der Ausgang des Komparators 71 ist auf je einen ersten Eingang der Kippstufe 72 und der beiden Und-Tore 73 und 74 geführt. Der Ausgang der Kippstufe 72 ist mit je einem zweiten Eingang der Und-Tore 73 und 74, sowie mit dem Hilfssteuerzugang 16b des Überwachungs- und Steuergerätes 16 verbunden, dessen Steuereingang 16a seinerseits auf je einen dritten Eingang der Und-Tore 73 und 74, sowie auf einen zweiten Eingang der Kippstufe 72 geführt ist. Alle drei Eingänge des Und-Tors 73 sind nichtinvertierend und alle drei Eingänge des Und-Tors 74 sind invertierend. Innerhalb der Kippstufe 72 ist dessen erster Eingang mit je einem ersten Eingang der Eingangstore 72b und 72c und dessen zweiter Eingang mit je einem zweiten Eingang der Eingangstore 72b und 72c verbunden. Der erste Eingang des Eingangstors 72c und der zweite Eingang des Eingangstors 72b sind invertie-

rende Eingänge. Der Ausgang des Eingangstors 72b ist auf einen Rückstelleingang und der Ausgang des Eingangstors 72c auf einen Setzeingang des RS-Flip Flops 72a geführt, dessen Q-Ausgang den Ausgang der Kippstufe 72 bildet. Der Ausgang des Und-Tors 73 und des Und-Tors 74 ist jeweils auf einen D-Eingang des D-Flip Flops 75 bzw. 76 geführt. Der Q-Ausgang des D-Flip Flops 75 ist mit einem ersten Eingang des Oder-Tors 77 und dem Steuerausgang 16e des Überwachungs- und Steuergerätes 16 verbunden, während der Q-Ausgang des D-Flip Flops 76 auf einen zweiten Eingang des Oder-Tors 77 und auf den Steuerausgang 16f des Überwachungs- und Steuergerätes 16 geführt ist, dessen Takteingang 16d mit den Takteingängen der D-Flip Flop 75 und 76 sowie mit einem ersten Eingang des Und-Tors 78 verbunden ist. Der Ausgang des Oder-Tors 77 ist auf einen zweiten Eingang des Und-Tors 78 geführt, dessen Ausgang den Signalausgang 16c des Überwachungs- und Steuergerätes 16 bildet.

Die Kondensatorspannung u_C des Kondensators C (siehe Fig. 1) wird durch den im Überwachungs- und Steuergerät 16 enthaltenen Komparator 71 überwacht, der einerseits in bekannter Weise zur Auslösung der Ladungskompensationsimpulse dient und andererseits Bestandteil einer das Umschalt-signal A bzw. B aufbereitenden Steuerschaltung 71; 72 ist, die ausserdem noch die Kippstufe 72 enthält. Der Ausgang der Kippstufe 72 leitet das aufbereitete Umschalt-signal A bzw. B zum Hilfssteuerausgang 16b und damit zum Steuereingang des Polumschalters 4 (siehe Fig. 1). Das Ausgangssignal des Und-Tors 73 löst positive Ladungsimpulse und das Ausgangssignal des Und-Tors 74 negative Ladungsimpulse mit Hilfe des D-Flip Flops 75 bzw. 76 aus. Die D-Flip Flop 75 und 76 dienen der Synchronisation der Ausgangssignale der Und-Tore 73 und 74 mit dem Taktsignal L, das vom Frequenz-teiler 22 (siehe Fig. 1) über den Takteingang 16d die Takteingänge der D-Flip Flop 75 und 76 erreicht. Am Q-Ausgang des D-Flip Flops 75 bzw. 76 entsteht ein Steuersignal F_1 bzw. F_2 , das über den Steuerausgang 16e bzw. 16f den Schalter 31 bzw. 32 der Schalteinrichtung 18 (siehe Fig. 3) steuert. Dadurch wird die Signalquelle 19 bzw. 20 (siehe Fig. 1) eingeschaltet. Die Signalquelle 19 liefert einen positiven Referenzstrom I_R und die Signalquelle 20 einen negativen Referenzstrom $-I_R$ an den Kondensator C. Das Und-Tor 78 ist ein Impulsformer, der die Dauer der Ausgangsimpulse des Oder-Tors 77 auf diejenige der Impulse des Taktsignals L beschränkt (siehe Fig. 7).

Das am Hilfssteuerausgang 16b des Überwachungs- und Steuergerätes 16 erscheinende aufbereitete Umschalt-signal A bzw. B schaltet den Polumschalter 4 periodisch um. Während der ungeradzahigen Halbperioden ist dann der der Hallausgangsspannung $\pm u_H$ proportionale Strom $\pm i_H$ positiv und während der geradzahigen Halbperioden negativ. Ist der Integrator 14; C als Miller-Integrator aufgebaut, d. h. besteht der Spannungs/Strom-Wandler 14 aus einem Operationsverstärker, in dessen invertierenden Eingangskreis ein Widerstand angeordnet ist, und ist der an Masse liegende Anschluss des Kondensators C mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers verbunden und somit nicht mehr direkt, sondern nur mehr virtuell an Masse liegend, dann integriert der Integrator 14; C seine Eingangsspannung und invertiert ausserdem das integrierte Signal. Infolge eines z. B. negativen Stromes $-i_H$ steigt die Kondensatorspannung u_C während einer ungeradzahigen Halbperiode des Umschalt-signals A bzw. B kurzzeitig an. Die Ausgangssignale des Komparators 71 und des Und-Tors 73 weisen einen logischen Wert «1» auf, bis die nächste Anstiegsflanke des Taktsignals L das D-Flip Flop 75 kippt, der Schalter 31 (siehe Fig. 3) schliesst und die positive Signalquelle 19 eingeschaltet wird. Von diesem Zeitpunkt an sinkt die Kondensatorspannung u_C infolge des gegenüber dem negativen Strom $-i_H$ dominie-

renden positiven Referenzstrom I_R ; beim Unterschreiten des Schwellwertes des Komparators 71 gehen die Ausgangssignale des Komparators 71 und des Und-Tors 73 auf den logischen Wert «0», was sich vorerst nicht weiter auswirkt. Die nächste Anstiegsflanke des Taktsignals L kippt das D-Flip Flop 75 in die Ruhelage zurück und die Signalquelle 19 wird dadurch abgeschaltet. Das Ein- und Abschalten der Signalquelle 19 wiederholt sich fortlaufend während einer jeden ungeradzahigen Halbperiode des Umschalt-signals A bzw. B. Während des bis hierher beschriebenen Arbeitsablaufs wurden jeweils während der Impulsüberlappungszeit der Signale L und F_1 Ausgangsimpulse als Signal F an den Signalausgang 16c des Überwachungs- und Steuergerätes 16 abgegeben. Während der nächsten geradzahigen Halbperiode des Umschalt-signals A bzw. B bewirkt die erste Überschreitung des Schwellwertes des Komparators 71, dass die Kippstufe 72 kippt, dass das aufbereitete Umschalt-signal A bzw. B auf einen Logikwert «0» geht und dass der Strom von $-i_H$ auf i_H umgepolt, d. h. positiv wird. Gleichzeitig wird das Und-Tor 73 gesperrt und das bisher gesperrte Und-Tor 74 freigegeben. Während der geradzahigen Halbperiode des Umschalt-signals A bzw. B wiederholt sich der geschilderte Ablauf, diesmal allerdings mit positivem Strom i_H und negativem Referenzstrom $-I_R$, wobei das Und-Tor 74, das D-Flip Flop 76 und der Schalter 32 (siehe Fig. 3) diesmal in Betrieb sind.

Das aufbereitete Umschalt-signal A bzw. B, die Polarität des Stromes $\pm i_H$ sowie des Referenzstromes $\pm I_R$ wechseln ihren logischen Wert immer beim gleichen Pegel der Kondensatorspannung u_C , so dass die Ladungsbilanz der durch den Strom $\pm i_H$ und den Referenzstrom $\pm I_R$ zu- und abfließenden Ladungen nach jeder Halbperiode des Umschalt-signals A bzw. B genau stimmt. Dadurch ist gewährleistet, dass durch die periodische Polaritätsumschaltung kein Messfehler durch Ladungsverluste auftreten kann. Die Polaritätsumschaltung bewirkt ausserdem eine selbsttätige Leerlaufunterdrückung. Wenn nämlich der Strom $\pm i_H$ im Absolutwert unter den Wert eines polaritätsunabhängigen Fehlerstromes sinkt, wird der Integrator 14; C spätestens nach der nächsten Polaritätsumschaltung in die Sättigung getrieben. Durch die periodische Polaritätsumschaltung wird der Einfluss eines dem Strom $\pm i_H$ überlagerten, z. B. durch die Nullspannung des Spannungs/Strom-Wandlers 14 verursachten Fehlerstromes auf die Ausgangsfrequenz des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 weitgehend kompensiert.

In der ersten Variante ergibt die Integration der Nullspannung des Spannungs/Strom-Wandlers 14 über eine ganzzahlige Anzahl Perioden des Umschalt-signals A bzw. B den Wert Null nur unter der Bedingung, dass beide Halbperioden des Umschalt-signals A bzw. B genau gleich lang dauern, was in der ersten Variante nur im statistischen Mittel der Fall ist. Dies führt zu einer unregelmässigen Modulation der Ausgangsfrequenz des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7. Ausserdem ist die erste Variante nur verwendbar, wenn das Nutz-signal u_H grösser ist als das Störsignal. Bei der zweiten Variante wird eine solche Modulation vermieden, so dass eine schnelle und präzise Eichung der Anordnung möglich ist. Ausserdem ist die zweite Variante auch verwendbar, wenn das Nutz-signal u_H kleiner ist als das Störsignal. In der zweiten Variante ist der Polumschalter 15, der synchron mit dem Polumschalter 4 periodisch umgeschaltet wird, immer vorhanden. Das Überwachungs- und Steuergerät 16 und die Schalteinrichtung 18 haben in dieser Variante, wie bereits erwähnt, den in der Fig. 8 bzw. Fig. 4 dargestellten Aufbau. Die erste Signalquelle 19 ist beim Spannungs/Strom-Wandler 14 derart angeordnet und angeschlossen, dass der Eingangsstrom des Polumschalters 15 immer proportional einem Summensignal ist, welches gleich der Summe eines von der Signalquelle 19 erzeugten Referenzsignals und eines dem

Ausgangssignal $\pm u_H$ des Hallelementes 3 proportionalen Signals $\pm u_H$ oder $\pm i_H$ ist. Der Wert dieses Referenzsignals entspricht mindestens annähernd dem halben Wert des von der Signalquelle 20 gelieferten Referenzstromes I_R .

In der zweiten Variante besteht das Überwachungs- und Steuergerät 16 gemäss der Fig. 8 aus dem Komparator 71 und dem D-Flip Flop 75. Die beiden Eingänge des Komparators 71 bilden wieder den zweipoligen Eingang des Überwachungs- und Steuergerätes 16. Der Ausgang des Komparators 71 ist auf den D-Eingang des D-Flip Flops 75 geführt, dessen zeitig den Signalausgang 16c und den Steuerausgang 16e des Überwachungs- und Steuergerätes 16 bildet, dessen Takteingang 16d seinerseits mit dem Takteingang des D-Flip Flops 75 verbunden ist. Das D-Flip Flop 75 wird z. B. mit negativgehenden Flanken gesteuert. Auch hier wird, genau wie in der ersten Variante, die Kondensatorspannung u_C des Kondensators C (siehe Fig. 1) durch den im Überwachungs- und Steuergerät 16 enthaltenen Komparator 71 überwacht.

In der ersten Untervariante der zweiten Variante ist das Addierglied 13 nicht vorhanden, so dass der Spannungs-/Strom-Wandler 14 wieder das Eingangsbauelement des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 ist, der die gegebenenfalls durch den Hochpassverstärker 9 verstärkte und gefilterte Hallausgangsspannung $\pm u_H$ in einen proportionalen Strom $\pm i_H$ umwandelt. Die Signalquelle 19 ist wie die Signalquelle 20 eine Konstantstromquelle, die allerdings statt den Referenzstrom I_R einen Strom $I_R/2$ liefert. Das von der Signalquelle 19 erzeugte Referenzsignal ist somit $I_R/2$. Bedingt durch die Verdrahtung addiert sich der von der Signalquelle 19 erzeugte Strom $I_R/2$ am Ausgang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 zum Strom $\pm i_H$, so dass der Eingangsstrom des Polumschalters 15 gleich dem Summensignal $\pm i_H + I_R/2$ ist.

In der zweiten und der dritten Untervariante der zweiten Variante ist das Addierglied 13 jeweils vorhanden, so dass das Addierglied 13 das Eingangsbauelement des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 bildet. Die Signalquelle 19 ist in diesen beiden Untervarianten eine Spannungsquelle, die jeweils über das Addierglied 13 an den Eingang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 angeschlossen ist. In der zweiten Untervariante besitzt die Signalquelle 19 eine konstante Spannung $U_R/2$ als Referenzsignal, das im Addierglied 13 zur Hallausgangsspannung $\pm u_H$ addiert wird zur Bildung des Summensignals $\pm u_H + U_R/2$, welches anschliessend durch den Spannungs/Strom-Wandler 14 in einen proportionalen Strom $\pm i_H + I_R/2$ umgewandelt wird, der gleichzeitig der Eingangsstrom des Polumschalters 15 ist. In der dritten Untervariante hat die Signalquelle 19 eine Ausgangsspannung $U_R/2 - U_0$ des Reglers 27; 28; 29; 30 als Referenzsignal, das wieder im Addierglied 13 zur Hallausgangsspannung $\pm u_H$ addiert wird zur Bildung des Summensignals $\pm u_H + U_R/2 - U_0$. Der Spannungs/Strom-Wandler 14 wandelt anschliessend dieses Summensignal in einen proportionalen Strom $\pm i_H + I_R/2 - I_0$ um. Die Referenzsignale $U_R/2$ und $U_R/2 - U_0$, wobei U_0 die Nullspannung des Spannungs/Strom-Wandlers 14 bezeichnet, entsprechen mindestens annähernd dem halben Wert $I_R/2$ des Referenzstromes I_R der Signalquelle 20. Der Polumschalter 15, der in allen drei Untervarianten der zweiten Variante zwischen dem Spannungs/Strom-Wandler 14 und dem Kondensator C angeordnet ist, polt nachfolgend den Strom $\pm i_H + I_R/2$ bzw. $\pm i_H + I_R/2 - I_0$ synchron zur periodischen Umpolung des Signals u_H ebenfalls periodisch um, so dass der Kondensator C vom Polumschalter 15 her dauernd einen Strom $i_H \pm I_R/2$ bzw. $i_H \pm I_R/2 \pm I_0$ geliefert bekommt, der dort integriert wird. Da der Spannungs/Strom-Wandler 14 an seinem Eingang in der Regel eine Nullspannung U_0 besitzt, der am Ausgang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 der proportionale Strom I_0 entspricht, ist der Eingangsstrom des Polumschalters 15 in Wirklichkeit nicht ideal gleich $\pm i_H +$

$I_R/2$, sondern in den zwei ersten Untervarianten gleich $\pm i_H + I_R/2 + I_0$ und in der dritten Untervariante gleich $\pm i_H + I_R/2 + I_0 - I_0 = \pm i_H + I_R/2$.

Der Wert des Referenzsignals $U_R/2$ bzw. $I_R/2$ entspricht dem halben Wert des von der Signalquelle 20 gelieferten Referenzstromes I_R und muss gleichzeitig die Bedingung $U_R/2 > |\pm u_H + U_0|$ bzw. $I_R/2 > |\pm i_H + I_0|$ erfüllen. Anders ausgedrückt: Der Wert des konstanten Referenzsignals $U_R/2$ bzw. $I_R/2$ ist grösser zu wählen als der um den Einfluss U_0 bzw. I_0 der Nullspannung U_0 erhöhte, am Ort der Addition vorhandene Wert der Amplitude u_H bzw. i_H des periodisch umgepolten Signals $\pm u_H$ bzw. $\pm i_H$.

Der Wert der Nullspannung U_0 im Vergleich zum Wert des Signals u_H bzw. der Wert des Stromes I_0 im Vergleich zum Wert des Stromes i_H ist in der Regel sehr klein, so dass nur ein sehr kleiner Teil des Aussteuerungsbereichs der Einrichtung vom Strom I_0 belegt wird. In kritischen Anwendungen, wo der maximale Wert des Signals u_H im Vergleich zur Nullspannung U_0 sehr klein ist, kann der für das Signal u_H verbleibende Aussteuerungsbereich im Verhältnis zum maximal möglichen Aussteuerungsbereich $U_R/2$ bzw. $I_R/2$ unzulässig klein werden. Daher ist es vorteilhaft, zur Verbesserung der Dynamik in den beiden ersten Untervarianten das periodisch umgepolte Signal $\pm u_H$ im Hochpassverstärker 9 wechsellängsmässig zu verstärken, bevor es dem Spannungs/Frequenz-Wandler 7 zur weiteren Verarbeitung zugeleitet wird, wodurch das Verhältnis des Signalstromes i_H zum Strom I_0 bzw. des Signals u_H zur Nullspannung U_0 verbessert wird. Der Hochpassverstärker 9 hat keine oder nur eine sehr niedrige Gleichspannungsverstärkung, was z. B. durch das Vorhandensein eines Hochpassfilters im Hochpassverstärker 9 verwirklicht wird. Die Zeitkonstante des Hochpassverstärkers 9 muss genügend klein gewählt werden, damit das verstärkte, rechteckförmige Signal $\pm u_H$ mit ausreichend kleiner Verzerrung übertragen wird.

Der Komparator 71 überwacht die Kondensatorspannung u_C , zwecks Steuerung des Zu- und Abschaltens des von der Signalquelle 20 gelieferten, konstanten Referenzstromes I_R bei Über- bzw. Unterschreitung eines Schwellwertes unter gleichzeitiger Erzeugung rechteckförmiger Ausgangsimpulse. Der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung u_C ist für den Fall, dass das Signal u_H konstant und positiv ist und dass die Nullspannung U_0 null ist, in der zweiten Zeile der Fig. 9 dargestellt. In diesem Fall hat die Kondensatorspannung u_C einen sägezahnförmigen Verlauf, dessen Flanken alle konstante Neigungen besitzen und dessen positiv- und negativgehenden Flanken alle jeweils unter sich parallel verlaufen.

Der vom D-Flip Flop 75 (siehe Fig. 8) gesteuerte Umschalter 33 (siehe Fig. 4) dient dem Zu- und Abschalten des Referenzstromes I_R . Wie bereits erwähnt, wird in den beiden ersten Untervarianten dem Kondensator C vom Polumschalter 15 her ein Strom $i_H \pm I_R/2 \pm I_0$ geliefert, wobei sich das Pluszeichen auf ungeradzahlige und das Minuszeichen auf geradzahlige Halbperioden des Umschaltersignals A bzw. B bezieht. Wenn zu Beginn das Ausgangssignal F des D-Flip Flops 75 einen Logikwert «0» besitzt, dann nimmt zu Anfang der Umschalter 33 die in der Fig. 4 dargestellte Position ein. Dann ist die Signalquelle 20 während der ungeraden Halbperioden des Umschaltersignals A bzw. B, während der der Polumschalter 15 die in der Fig. 1 dargestellte Position einnimmt, immer nur mit dessen momentan an Masse liegendem Anschluss verbunden. Der Referenzstrom I_R der Signalquelle 20 fliesst in die Masse und kann den Kondensator C nicht laden. Während einer jeden ungeradzahligen Halbperiode des Umschaltersignals A bzw. B wird somit der Kondensator C nur vom Polumschalter 15 her mit dem Strom $i_H + I_R/2 + I_0$ geladen. Dadurch steigt die vom Komparator 71

überwachte Spannung u_C am Kondensator C an. Der Komparator 71 besitzt z. B. einen Eingangsschwellwert von 0 Volt. Überschreitet die Spannung u_C den Eingangsschwellwert des Komparators 71, dann ändert dessen Ausgangssignal K seinen Wert vom Logikwert «0» auf einen Logikwert «1». Der zeitliche Verlauf des Ausgangssignals K des Komparators 71 ist in der dritten Zeile der Fig. 9 dargestellt. Die Zustandsänderung des Ausgangssignals K wird mit der nächsten negativgehenden Flanke des hochfrequenten Taktsignals L in das den Komparator 71 nachgeschaltete D-Flip Flop 75 übernommen. Das D-Flip Flop 75 dient dazu, das rechteckförmige Ausgangssignal K des Komparators 71 mit dem rechteckförmigen Taktsignal L, dessen Frequenz, wie bereits erwähnt, z. B. 2^{10} Hz beträgt, zu synchronisieren. Der zeitliche Verlauf des Taktsignals L ist in der ersten Zeile und der zeitliche Verlauf des rechteckförmigen Ausgangssignals F des D-Flip Flops 75 in der vierten Zeile der Fig. 9 dargestellt. Die vom D-Flip Flop 75 übernommene Wertänderung steuert mit Hilfe des am Steuerausgang 16e des Überwachungs- und Steuergerätes 16 anstehenden Ausgangssignals F_1 , welches gleich dem Ausgangssignal F ist, den Umschalter 33 und schaltet diesen um, der jetzt die entgegengesetzte von der in der Fig. 4 dargestellte Position einnimmt. Dadurch wird jetzt zusätzlich der Referenzstrom I_R der Signalquelle 20 durch den Kondensator C fließen.

Der Ladestrom des Kondensators C ist damit gleich: $i_H + I_R/2 + I_0 - I_R = i_H - I_R/2 + I_0$, d. h. der Term $I_R/2$ hat sein Vorzeichen geändert. Da jedoch, wie bereits erwähnt, die Bedingung $I_R/2 > |i_H + I_0|$ gilt, ist der resultierende Ladestrom negativ.

Die Spannung u_C am Kondensator C sinkt und, wenn sie den Eingangsschwellwert des Komparators 71 unterschreitet, nimmt dessen Ausgangssignal K wieder seinen ursprünglichen Logikwert «0» an. Auch diese Wertänderung wird wieder durch die nächste negativgehende Flanke des Taktsignals L in das D-Flip Flop 75 übernommen, was dazu führt, dass der Umschalter 33 wieder seine ursprüngliche Position einnimmt, so dass ein neuer Zyklus beginnen kann. Dies wiederholt sich so oft, bis dass die ungeradzahlige Halbperiode des Umschaltsignals A bzw. B beendet ist. Jedem Impuls des Ausgangssignals F und F_1 entspricht dabei eine einzige, mit Hilfe des Referenzstromes I_R durchgeführte Entladung des Kondensators C.

Am Ende einer jeden ungeradzahligen Halbperiode des Umschaltsignals A bzw. B werden die beiden Polumschalter 4 und 15 vom Umschaltsignal A bzw. B synchron umgeschaltet, so dass sie beide die entgegengesetzte von der in der Fig. 1 dargestellten Position einnehmen. Durch das Umschalten des Polumschalters 15 wird sowohl der Kondensator C als auch der Einfluss der Signalquelle 20 umgepolt. Diesmal ist die Signalquelle 20 bei der in der Fig. 4 dargestellten Position des Umschalters 33 mit den beiden Polen des Kondensators C verbunden und somit in Betrieb. Unter der Annahme, dass zu Beginn der nun beginnenden geradzahligen Halbperiode des Umschaltsignals A bzw. B der Umschalter 33 z. B. wieder die in der Fig. 4 dargestellte Position einnimmt, wird der Kondensator C sowohl vom Polumschalter 15 her mit dem Strom $i_H - I_R/2 - I_0$ als auch von der Signalquelle 20 her mit dem Referenzstrom I_R geladen.

Der totale Ladestrom ist somit: $i_H - I_R/2 - I_0 + I_R = i_H + I_R/2 - I_0$.

Die Kondensatorspannung u_C steigt an und, wenn sie den Eingangsschwellwert des Komparators 71 überschreitet, ändert dessen Ausgangssignal K seinen Wert vom Logikwert «0» auf den Logikwert «1». Diese Wertänderung führt auf die bereits beschriebene Weise dazu, dass der Umschalter 33 umschaltet und dadurch die Signalquelle 20 mit dem an Masse liegenden Anschluss des Kondensators C verbunden

wird. Der Kondensator C wird jetzt nur mehr vom Polumschalter 15 her mit dem Strom $i_H - I_R/2 - I_0$ geladen, der negativ ist, da die Bedingung $i_R/2 > |i_H + I_0|$ gilt. Die Kondensatorspannung u_C nimmt ab und, wenn sie den Eingangsschwellwert des Komparators 71 unterschreitet, dann ändert dessen Ausgangssignal seinen Wert zurück auf den Logikwert «0», wodurch der Umschalter 33 in seine Ausgangsposition zurückgeschaltet wird, so dass ein neuer Zyklus beginnen kann. Dies wiederholt sich so oft, bis dass die ungeradzahlige Halbperiode des Umschaltsignals A bzw. B beendet ist.

Zusammengefasst gilt: Während einer ungeradzahligen Halbperiode des Umschaltsignals A bzw. B wird der Kondensator C abwechslungsweise mit einem Strom $i_H + I_R/2 - I_0$ geladen und mit einem Strom $i_H - I_R/2 + I_0$ entladen. Während einer geradzahligen Halbperiode des Umschaltsignals A bzw. B wird der Kondensator C dagegen abwechslungsweise mit einem Strom $i_H + I_R/2 - I_0$ geladen und mit einem Strom $i_H - I_R/2 - I_0$ entladen. Beide Arten Halbperioden unterscheiden sich somit nur durch das Vorzeichen des Stromes I_0 . Da die Umschaltsignale A und B durch die Art ihrer Erzeugung genau gleich lange Halbperioden besitzen und da das Vorzeichen des Stromes I_0 in zwei aufeinanderfolgenden Halbperioden unterschiedlich ist, eliminiert sich I_0 und damit auch der Einfluss der Nullspannung U_0 bei einer Integration über eine ganzzahlige Anzahl Perioden des Umschaltsignals A bzw. B oder bei einer Integration über eine genügend lange Zeit.

Die Ladung, die dem Kondensator C während einer jeden ungeradzahligen Halbperiode durch den Strom $i_H + I_R/2 + I_0$ vom Polumschalter 15 her dauernd zufließt, wird ihm jeweils fortlaufend in kleinen, konstanten, genau definierten Ladungsmengen $Q_R = I_R/f_R$ durch das Zuschalten der Signalquelle 20 entzogen unter gleichzeitiger Abgabe eines rechteckförmigen Impulses pro Quantum am Q-Ausgang des D-Flip Flops 75. Die Ladung, die dem Kondensator C während einer jeden geradzahligen Halbperiode durch den Strom $i_H - I_R/2 - I_0$ vom Polumschalter 15 her dauernd entzogen wird, wird ihm jeweils fortlaufend in kleinen, konstanten, genau definierten Ladungsmengen Q_R durch das Zuschalten der Signalquelle 20 wieder zugeführt, so dass der totale Ladestrom des Kondensators C dem Summenstrom $(i_H - I_R/2 - I_0) + I_R = i_H + I_R/2 - I_0$ entspricht, wobei auch diesmal wieder gleichzeitig ein rechteckförmiger Impuls pro Quantum am Q-Ausgang des D-Flip Flops 75 abgegeben wird. Jeder dieser Impulse ist somit ein Mass für das kleine, genau definierte Ladungsquantum, das dem Kondensator C mit Hilfe des Referenzstromes I_R entzogen bzw. zugeführt wird. Bedingt durch die Umpolung des Kondensators C ist die Polarität des Ladestromes $i_H + I_R/2 \pm I_0$ unverändert und somit wird die zur Zeit der periodischen Umpolung im Kondensator C noch anstehende Restladung in der nachfolgenden Halbperiode mit der richtigen Polarität berücksichtigt, so dass keine durch die Restladung bedingte Modulation der Ausgangsfrequenz entstehen kann.

Das mit Hilfe der Integration und des Komparators 71 erzeugte Ausgangssignal F des D-Flip Flops 75 besteht aus rechteckförmigen Impulsen. Die mittlere Frequenz f_F dieser Impulse ist proportional dem Summenstrom $i_H + I_R/2$ und damit um eine konstante Frequenz $f_R/2$ zu gross, wenn die Frequenz $f_R/2$ die Frequenz darstellt, die dem Wert des Referenzsignals $U_R/2$ bzw. $I_R/2$ entspricht. Die Frequenz $f_R/2$ ist auch die Frequenz der rechteckförmigen Impulse des Taktsignals P. Um eine Ausgangsfrequenz der Einrichtung zu erhalten, die nur proportional dem Signalstrom i_H und damit auch nur proportional dem Signal u_H ist, muss somit noch von der Frequenz f_F des Ausgangssignals F die konstante Referenzfrequenz $f_R/2$ des Taktsignals P subtrahiert werden.

Dies geschieht mit Hilfe eines in der Gestalt des Ausgangsfrequenzteilers 17 am Ausgang des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 (siehe Fig. 1) vorhandenen Vorwärts/Rückwärts-Zählers, indem dort die Impulse des Ausgangssignals F des D-Flip Flops 75 vorwärts und diejenigen des Taktsignals P rückwärts gezählt werden. Gleichzeitig teilt der Ausgangsfrequenzteiler 17 noch die Frequenzdifferenz $f_F - f_R/2$ durch eine Zahl k . Der Aufbau des Ausgangsfrequenzteilers 17 ist aus der Fig. 10 ersichtlich.

Der in der Fig. 10 dargestellte Ausgangsfrequenzteiler 17 besteht aus einem Exklusiv-Oder-Gatter 83, einem ersten Und-Gatter 84, einem ersten Zähler 85, einem ersten Flip Flop 86, einem zweiten Flip Flop 87, einem dritten Flip Flop 88, einem zweiten Und-Gatter 89, einem dritten Und-Gatter 90a, einem vierten Und-Gatter 90b, einem fünften Und-Gatter 90c, einem ersten Inverter 90d, einem zweiten Inverter 91, einem dritten Inverter 92, einem sechsten Und-Gatter 93 und einem zweiten Zähler 94. Der erste Zähler 85 ist ein binärer Vorwärts/Rückwärts-Zähler, der z. B. vorwärts zählt, wenn an seinem U/D-Eingang ein Logikwert «1» ansteht, und der rückwärts zählt, wenn an seinem U/D-Eingang ein Logikwert «0» ansteht. Alle Flip Flop 86 bis 88 sind z. B. D-Flip Flop. Das Und-Gatter 93 und der Zähler 94 bilden zusammen einen monostabilen Multivibrator 95. Die Takteingänge des Zählers 85, des Flip Flops 86 und des Flip Flops 87 werden z. B. mit positivgehenden Flanken und die Takteingänge des Flip Flops 88 und des Zählers 94 z. B. mit negativgehenden Flanken gesteuert. Das Flip Flop 88, das Und-Gatter 90a und der monostabile Multivibrator 95 bilden eine Leerlauf-Verhinderungsschaltung 88; 90a; 95, die insbesondere bei Verwendung der Einrichtung in einem Elektrizitätszähler von Bedeutung ist.

Der erste Signaleingang des Ausgangsfrequenzteilers 17 ist mit einem ersten Eingang des Exklusiv-Oder-Gatters 83 verbunden und wird vom Ausgangssignal F des D-Flip Flops 75 angesteuert. Sein zweiter Signaleingang ist auf einen zweiten Eingang des Exklusiv-Oder-Gatters 83, auf den U/D-Eingang des Zählers 85 und auf einen D-Eingang des Flip Flops 87 geführt. Er wird vom Taktsignal P mit einer Frequenz $f_R/2$ angesteuert. Der erste Takteingang des Ausgangsfrequenzteilers 17 ist mit einem ersten Eingang des Und-Gatters 84 und über den Inverter 92 mit einem ersten Eingang des Und-Gatters 89 verbunden. Er wird vom Taktsignal L mit der Frequenz f_R gespeist. Sein zweiter Takteingang ist auf einen ersten Eingang des Und-Gatters 93 geführt und wird vom Taktsignal T mit der Frequenz $f_R/128$ gespeist. Sein dritter Takteingang ist mit dem Takteingang des Flip Flops 86 verbunden und wird vom Taktsignal Y mit der Frequenz $2f_R$ gespeist.

Es sind miteinander verbunden:

- Der Ausgang des Exklusiv-Oder-Gatters 83 mit einem zweiten Eingang des Und-Gatters 84, dessen Ausgang auf einen Takteingang des Zählers 85 und auf einen Ausgang des Ausgangsfrequenzteilers 17 geführt ist,
- der «Carry Out»-Ausgang \overline{CO} des Zählers 85 mit einem D-Eingang des Flip Flops 86, dessen \overline{Q} -Ausgang auf einen zweiten Eingang des Und-Gatters 89, auf einen Takteingang des Flip Flops 87 und auf einen Takteingang des Flip Flops 88 geführt ist,
- der Ausgang des Und-Gatters 89 mit einem ersten Eingang des Und-Gatters 90a, mit dem Ladeingang PE des Zählers 85 und mit dem Rückstelleingang RE des Zählers 94,
- der Q-Ausgang des Flip Flops 87 mit den Paralleleingängen P1 bis P4 des Zählers 85 und dem ersten Eingang des Und-Gatters 90b sowie über den Inverter 91 mit dem Paralleleingang P5 des Zählers 85 und über den Inverter 90d mit dem ersten Eingang des Und-Gatters 90c,
- der Q-Ausgang des Flip Flops 88 mit einem zweiten Ein-

gang des Und-Gatters 90a, dessen Ausgang auf je einen zweiten Eingang der Und-Gatter 90b und 90c geführt ist, und
 - der Ausgang des Und-Gatters 93 mit einem Takteingang des Zählers 94, dessen Q_{12} -Ausgang auf einen zweiten Eingang des Und-Gatters 93 und auf einen invertierenden Rückstelleingang des Flip Flops 88 geführt ist.

Am D-Eingang des Flip Flops 88 liegt ein Logikwert «1». Die Ausgänge der Und-Gatter 90b und 90c bilden die beiden Ausgänge des Ausgangsfrequenzteilers 17, an dem die Signale M und M_1 anstehen.

Da der Zähler 85 nicht gleichzeitig vor- und rückwärts zählen kann, müssen alle Impulse des Ausgangssignals F und des Taktsignals P, die gleichzeitig an den beiden Signaleingängen des Ausgangsfrequenzteilers 17 erscheinen, mit Hilfe des Exklusiv-Oder-Gatters 83 eliminiert werden. Dies hat keinen negativen Einfluss auf den Zählwert des Zählers 85, da ein vorwärts- und ein rückwärtsgezählter Impuls sowieso einen Zählwert Null ergeben würden. Am Ausgang des Exklusiv-Oder-Gatters 83 erscheint nur ein Logikwert «1», wenn die beiden Signale F und P unterschiedlich sind. Das Und-Gatter 84 dient als Impulsformer, der die Impulsdauer der Ausgangsimpulse des Exklusiv-Oder-Gatters 83 auf diejenige des Taktsignals L reduziert. In der Fig. 9 sind der zeitliche Verlauf des Taktsignals P in der fünften Zeile, derjenige des Ausgangssignals S des Exklusiv-Oder-Gatters 83 in der sechsten Zeile und derjenige des Ausgangssignals W des Und-Gatters 84 in der siebten Zeile dargestellt. Der Zähler 85 zählt die Ausgangsimpulse des Und-Gatters 84 vorwärts, wenn das Taktsignal P, das an seinem U/D-Eingang ansteht, einen Logikwert «1» besitzt und rückwärts, wenn das Taktsignal P einen Logikwert «0» aufweist. Die negativgehenden Impulse am Ausgang \overline{CO} des Zählers 85 werden mit der nächsten positivgehenden Flanke des Taktsignals Y in das Flip Flop 86 übernommen und erscheinen somit in der Regel leicht verzögert als positive Impulse am Q-Ausgang des Flip Flops 86. Ihre Impulsdauer wird im nachfolgenden Und-Gatter 89 mit Hilfe des invertierten Taktsignals L auf die Dauer von dessen Impulsen beschränkt, d. h. das Und-Gatter 89 arbeitet ebenfalls als Impulsformer. Da wegen Rauschen oder der zeitweise wechselnden Polarität des Signals u_H , die Zählrichtung vorübergehend ändern kann, wird der Anfangszählwert des Zählers 85 nicht wie üblich gleich $0 = 00\ 000$ beim Vorwärtszählen bzw. in unserem Beispiel gleich dem Maximalwert $31 = 11\ 111$ beim Rückwärtszählen gewählt, sondern annähernd in der Mitte des Zählbereichs gelegt, nämlich z. B. bei einem Wert $16 = 10\ 000$, wenn vorher Zustand $00\ 000$ beim Rückwärtszählen erreicht wurde ($P = \langle 0 \rangle$), oder bei einem Wert $15 = 01\ 111$, wenn vorher Zustand $11\ 111$ beim Vorwärtszählen erreicht wurde ($P = \langle 1 \rangle$). Dies geschieht, indem mit jeder positivgehenden Flanke der Ausgangsimpulse des Flip Flops 86 der gerade anstehende Logikwert des Taktsignals P in das Flip Flop 87 übernommen wird, wodurch dessen Q-Ausgang, zur Vorbereitung eines Parallel-Ladevorganges des Zählers 85, bei $P = \langle 0 \rangle$ eine Binärzahl $10\ 000 = 16$ oder bei $P = \langle 1 \rangle$ eine Binärzahl $01\ 111 = 15$ an die Paralleleingänge P5, P4, P3, P2, P1 des Zählers 85 anlegt. Jeder Ausgangsimpuls des Und-Gatters 89 lädt mit Hilfe des Ladeeingangs PE diesen Anfangswert in den Zähler 85 und stellt gleichzeitig mit Hilfe des Rückstelleingangs RE den Zähler 94 auf Null zurück. Der Ladevorgang des Zählers 85 lässt erneut einen Logikwert «1» an dessen Ausgang \overline{CO} erscheinen, der, wieder in der Regel leicht verzögert, in das Flip Flop 86 übernommen wird und dadurch den positiven Impuls an dessen \overline{Q} -Ausgang beendet. Dadurch endet auch der Ausgangsimpuls des Und-Gatters 89. Falls das Flip Flop 88 noch nicht mit einem Logikwert «1» geladen war, geschieht dies jetzt durch die negativgehende Flanke des Ausgangsimpulses am Q-Ausgang des Flip

Flops 86, wodurch der \overline{Q} -Ausgang des Flip Flops 88 nun das Und-Gatter 90a freigibt. Da aber gleichzeitig, wie bereits erwähnt, der Ausgangsimpuls des Und-Gatters 89 endet, erreicht dieser Ausgangsimpuls nicht mehr die Ausgänge des Ausgangsfrequenzteilers 17, da das Und-Gatter 90a für ihn zu spät freigegeben wird. Die Rückstellung des Zählers 94 durch den Ausgangsimpuls des Und-Gatters 89 bedingt, dass der Q_{12} -Ausgang des Zählers 94 einen Logikwert «1» annimmt, der das Und-Gatter 93 freigibt. Sobald der Ausgangsimpuls des Und-Gatters 89 beendet ist, beginnt der Zähler 94 die Impulse des rechteckförmigen Taktsignals T zu zählen. Wird der Zähler 94 in der Zwischenzeit nicht durch einen Ausgangsimpuls des Und-Gatters 89 auf Null zurückgestellt, dann zählt er solange, bis ein Logikwert «0» an seinem \overline{Q}_{12} -Ausgang erscheint, der einerseits das Flip Flop 88 auf Null zurückstellt und der andererseits das Und-Gatter 93 sperrt und damit den Zählvorgang des Zählers 94 beendet. Ein Logikwert «0» erscheint am \overline{Q}_{12} -Ausgang des Zählers 94 nach $2^{12-1} = 2^{11}$ Perioden der Dauer $128/f_R$ des Taktsignals T, d. h. nach $2^{18}/f_R$ Sekunden, was mit $f_R = 2^{10}$ Hz eine Dauer von $2^8 = 256$ Sekunden ergibt.

Die Leerlauf-Verhinderungsschaltung 88; 90a; 95 verhindert, dass ein nach längerer Zeit t, mit $t > 256$ Sekunden, am Ausgang \overline{CO} des Zählers 85 erscheinender Impuls an die Ausgänge des Ausgangsfrequenzteilers 17 weitergegeben wird. Da nach 256 Sekunden das Flip Flop 88 durch das Ausgangssignal des Zählers 94 auf Null zurückgestellt wird, ist das Und-Gatter 90a für jeden ersten Impuls gesperrt. Im Normalbetrieb, wenn ein Signal u_H am Eingang der Einrichtung ansteht, wird somit der erste am \overline{Q} -Ausgang des Flip Flops 86 erscheinende positive Impuls nicht an die Ausgänge des Ausgangsfrequenzteilers 17 weitergegeben (Anfangsfehler), jedoch seine negativgehende Flanke lädt einen Logikwert «1» in das Flip Flop 88, dessen Q-Ausgang damit das Und-Gatter 90a freigibt, und zwar für alle nachfolgenden Impulse. Letzteres ist bedingt durch die Tatsache, dass jeder neue Ausgangsimpuls des Und-Gatters 89 den Zähler 94 vor Ablauf von 256 Sekunden wieder auf Null zurückstellt. Dadurch wird der Zähler 94 immer wieder gezwungen, seinen Zählvorgang erneut bei Null zu beginnen, so dass nie ein Logikwert «0» an seinem \overline{Q}_{12} -Ausgang erscheint und somit auch nie das Flip Flop 88 auf Null zurückgestellt wird. Die Freigabe des Und-Gatters 90a dauert somit so lange an, bis kein Impuls mehr vor Ablauf der 256 Sekunden erscheint. Die mittlere Frequenz der Ausgangsimpulse des Zählers 85, des Flip Flops 86, des Und-Gatters 89 und des Und-Gatters 90a ist in diesem Fall proportional dem Signalstrom i_H und damit auch proportional dem Signal u_H .

Im Leerlauf dagegen, wenn kein Signal u_H am Eingang der Einrichtung ansteht, ist es möglich, dass die Integration von sehr kleinen Störsignalen über eine sehr sehr lange Zeit schliesslich auch einen Impuls am Ausgang des Und-Gatters 89 erzeugt. Dieser erreicht wie alle ersten Impulse die Ausgänge des Ausgangsfrequenzteilers 17 nicht, da das Und-Gatter 90a gesperrt ist. Jedoch auch alle weiteren Leerlaufimpulse erreichen diese Ausgänge nicht, da ihr zeitlicher Abstand unter sich und zum ersten Impuls immer grösser als 256 Sekunden ist. D. h.: Der Zähler 94 hat jedesmal, bevor er durch den Impuls auf Null zurückgestellt wird, genügend Zeit, um an seinem Q_{12} -Ausgang einen Logikwert «0» erscheinen zu lassen, der jedesmal das Flip Flop 88 auf Null zurückstellt und damit jedesmal zeitig vor Erscheinen des nächsten Impulses das Und-Gatter 90a sperrt.

Das Ausgangssignal des Flip Flops 87 zeigt an, welche Polarität das Signal u_H besitzt. Bei positiven Werten des Signals u_H gibt es das Und-Gatter 90b frei, so dass das Ausgangssignal des Und-Gatters 90a als Signal M den Ausgang des Und-Gatters 90b erreicht. Bei negativen Werten des

Signals u_H gibt es dagegen das Und-Gatter 90c frei, so dass das Ausgangssignal des Und-Gatters 90a diesmal als Signal M den Ausgang des Und-Gatters 90c erreicht. Das Signal M entspricht einer positiven und das Signal M_1 einer negativen Leistung.

Für die erste Untervariante der zweiten Variante ist in der Fig. 11 eine bevorzugte monolytisch integrierte Ausführung des Eingangsteils des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 dargestellt. Insbesondere ist der Aufbau des Spannungs/Strom-Wandlers 14 und der Signalquellen 19 und 20 im Detail dargestellt, während der Rest des Eingangsteils nur angedeutet ist. Die beiden Signalquellen 19 und 20, die Konstantstromquellen sind, sowie im Spannungs/Strom-Wandler 14 enthaltene Stromquellen bestehen aus je einem Operationsverstärker, je einem Feldeffekttransistor und mindestens je einem Widerstand, wobei der Wert des Widerstandes jeweils den Wert des Ausgangsstromes der Stromquelle bestimmt. Der Aufbau derartiger Präzisions-Stromquellen ist an sich bekannt aus dem Buch *Advanced Electronic Circuits*, Tietze und Schenk, Springer Verlag, 1978, Seiten 57 bis 63. Drei der in der Fig. 11 verwendeten Konstantstromquellen benötigen eine gemeinsame Konstantspannungsquelle 101 von z. B. 1,235 Volt, deren positiver Pol an die positive Speisegleichspannung V_{DD} liegt und deren negativer Pol mit je einem nichtinvertierenden Eingang der drei Operationsverstärker 102, 103 und 104 verbunden ist. Die Konstantstromquelle 20 besteht aus dem Operationsverstärker 102, dessen Ausgang auf einen Gate-Anschluss eines Feldeffekttransistors 105 geführt ist, während ein zweiter Anschluss des Feldeffekttransistors 105 direkt mit einem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 102 und über einen Widerstand 106 mit der positiven Speisegleichspannung V_{DD} verbunden ist. Ein dritter Anschluss des Feldeffekttransistors 105 bildet den Ausgang der Konstantstromquelle 20 und liefert den Referenzstrom I_R . Der Ausgang der Konstantstromquelle 20 ist über die Schaltereinrichtung 18, die ein Umschalter ist, auf einen Ausgangspol des Polumschalters 15 sowie auf einen Pol des Kondensators C geführt. Die Konstantstromquelle 19 besteht aus dem Operationsverstärker 103, einem Feldeffekttransistor 107 und einem Widerstand 108. Der Spannungs/Strom-Wandler 14 enthält eine Konstantstromquelle 109 und zwei Stromquellen 110 und 111. Die Konstantstromquelle 109 besteht aus dem Operationsverstärker 104, einem Feldeffekttransistor 112 und einem Widerstand 113. Die Stromquelle 110 ist aus einem Operationsverstärker 114, einem Feldeffekttransistor 115 und einem Widerstand 116 zusammengesetzt, während die Stromquelle 111 ihrerseits aus einem Operationsverstärker 117, einem Feldeffekttransistor 118 und einem Widerstand 119 besteht. Der Aufbau aller Stromquellen 19, 109, 110 und 111 ist identisch wie derjenige der Konstantstromquelle 20, allerdings ist der zweite Anschluss des Feldeffekttransistors 115 über den Widerstand 116 nicht mit der positiven Speisegleichspannung V_{DD} , sondern mit Masse und derjenige des Feldeffekttransistors 118 über den Widerstand 119 mit der negativen Speisegleichspannung $-|V_{SS}|$ verbunden, statt mit der positiven Speisegleichspannung V_{DD} . Der nicht an Masse liegende Eingangspol des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 und der Ausgang der Konstantstromquelle 109 sind jeweils auf einen nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers 114 bzw. 117 geführt. Der nichtinvertierende Eingang des Operationsverstärkers 117 liegt ausserdem über einen Widerstand 120 an der negativen Speisegleichspannung $-|V_{SS}|$. Der Ausgang der Konstantstromquelle 19 liefert den halben Referenzstrom $I_R/2$ und ist mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 114 verbunden, während der Ausgang der Stromquelle 110 auf den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 117 geführt ist. Die Stromquelle 110 arbeitet

als Spannungs/Strom-Wandler, der das als Spannung anstehende Signal $\pm u_H$ in einen proportionalen Strom $\pm i_H$ umwandelt, der im Widerstand 116 fließt und im Feldeffekttransistor 115 vom halben Referenzstrom $I_R/2$, der von der Konstantstromquelle 19 geliefert wird, subtrahiert wird. Dieser Differenzstrom $I_R/2 \pm i_H$ am Ausgang der Stromquelle 110 wird in der Stromquelle 111, die im Widerstand 119 den Referenzstrom I_R erzeugt, von diesem Referenzstrom I_R subtrahiert, so dass am Ausgang der Stromquelle 111 und damit auch am Ausgang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 der geforderte Strom $\pm i_H + I_R/2$ entsteht. Der Ausgang der Stromquelle 111 und die Masse bilden zusammen den zweipoligen Ausgang des Spannungs/Strom-Wandlers 14 und sind mit dem zweipoligen Eingang des Polumschalters 15 verbunden.

Die dritte Untervariante entspricht annähernd der zweiten Untervariante, nur dass die Konstantspannungsquelle durch einen Regler 27; 28; 29; 30 als Spannungsquelle ersetzt ist. Die Ausgangsspannung $U_R/2 - U_0$ des Reglers 27; 28; 29; 30 ersetzt dabei das Referenzsignal $U_R/2$ der Konstantspannungsquelle und ist gleich der um die Nullspannung U_0 des Spannungs/Strom-Wandlers 14 reduzierten Referenzspannung $U_R/2$.

In der zweiten Untervariante wird nur der Mittelwert des Einflusses der Nullspannung U_0 auf die Ausgangsfrequenz der Einrichtung annulliert. In der dritten Untervariante wird dagegen noch zusätzlich eine durch die Nullspannung U_0 verursachte Frequenzmodulation der Ausgangssignale M und M_1 des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7 eliminiert. Der Vorwärts/Rückwärts-Zähler 28 (siehe Fig. 2) arbeitet ähnlich wie der Zähler 85 im Ausgangsfrequenzteiler 17 (siehe Fig. 10) mit dem Unterschied, dass die Zählrichtung des Vorwärts/Rückwärts-Zählers 28, dank des Vorhandenseins des Exklusiv-Oder-Gatters 27, während der geradzahigen Halbperioden umgekehrt ist von derjenigen, die während der ungeradzahigen Halbperioden des Umschaltsignals A bzw. B gilt. Während einer ungeradzahigen Halbperiode ergibt die Zählung des Vorwärts/Rückwärts-Zählers 28 einen Zählwert $-(f_H + f_0) \cdot T/2$ und während einer geradzahigen Halbperiode einen Zählwert $-(f_H - f_0) \cdot T/2$, so dass während einer ganzen Periode T des Umschaltsignals A bzw. B ein Zählwert $(f_H + f_0) \cdot T/2 - (f_H - f_0) \cdot T/2 = 2f_0 \cdot T/2 = f_0 \cdot T$ ermittelt wird. Dabei ist f_H der Anteil der Frequenz f_F , der dem Signal u_H entspricht, und f_0 der Anteil der Frequenz f_F , der der Nullspannung U_0 entspricht. Der Zählwert $f_0 \cdot T$ ist somit proportional der Nullspannung U_0 . Er wird am Ende einer jeden Periode T mit den positivgehenden Flanken des Umschaltsignals A bzw. B in den Zwischenspeicher 29 (siehe Fig. 2) geladen, um anschliessend mit Hilfe des Digital/Analog-Wandlers 30 in einen Analogwert umgewandelt zu werden. Im eingeschwingenen Zustand des Regelkreises 13; 14; 15; C; 16; 17; 27; 28; 29; 30 ist dieser Analogwert am Ausgang des Digital/Analog-Wandlers 30 gleich $U_R/2 - U_0$. Der Analogausgang des Digital/Analog-Wandlers 30 ist mit dem ersten Eingang des Addiergliedes 13 verbunden. Der Ausgangsstrom des Spannungs/Strom-Wandlers 14 ist somit wie gefordert proportional der Summenspannung $\pm u_H + U_R/2 - U_0 + U_0 = \pm u_H + U_R/2$, wobei die zweite Nullspannung U_0 durch den Spannungs/Strom-Wandler 14 in die Schaltung eingeführt wird. Im Ausgangsstrom des Spannungs/Strom-Wandlers 14 ist somit ideal kein Anteil der Nullspannung U_0 mehr vorhanden.

Der in den Figuren 12 und 13 dargestellte Messwandler zum Messen des in einem elektrischen Leiter 1 fließenden Stromes i enthält das Hallelement 3 und als dreischenkligem ferromagnetischen Kern 2 einen Kern 121; 10, der vorzugsweise aus einem Ring 121 und einem Mittelschenkel 10 besteht. Die in der Darstellung der Zeichnung obere und

untere Fläche des Ringes 121 bilden die beiden Aussenschenkel und die beiden seitlichen Flächen des Ringes 121 das Joch des dreischenkligem ferromagnetischen Kerns 121; 10, wobei das Joch die drei Schenkel jeweils an ihren beiden Enden miteinander verbindet. Als Material für den ferromagnetischen Kern 2 bzw. 121; 10 eignet sich wegen der hohen Permeabilität vorzugsweise eine Eisen-Nickel-Legierung, wie z. B. Permenorm, Vacoperm, Trafoperm, Permax, Ultraperm oder Mumetall. Der Mittelschenkel 10 besitzt z. B. mindestens drei Luftspalten 11, 124 und 125, wovon der mittlere Luftspalt 11 das Hallelement 3 enthält und die beiden äusseren Luftspalten 124 und 125 je an einem der beiden Enden des Mittelschenkels 10 angeordnet sind. Die Länge des mittleren Luftspaltes 11 in Längsrichtung des Mittelschenkels 10 gemessen ist annähernd gleich gross wie die in gleicher Richtung gemessene Breite des Hallelementes 3, so dass sie genau durch diese Breite des Hallelementes 3 definiert ist. Jeder der beiden äusseren Luftspalten 124 und 125 ist vorzugsweise in Längsrichtung des Mittelschenkels 10 gemessen länger als der mittlere Luftspalt 11. Der Mittelschenkel 10 besteht vorzugsweise aus zwei flachen Blechstreifen 10a und 10b, die zusammen mit dem Hallelement 3 in einem Gehäuse 126 aus nichtferromagnetischem Material, mit Vorteil aus Keramik, angeordnet sind. Das Gehäuse 126 besitzt vorzugsweise einen Boden 126a und einen Gehäusedeckel 126b. Der Mittelschenkel 10 und der Hallelement 3 sind in vorteilhafter Weise auf einen Träger aus Isoliermaterial angeordnet, auf dem z. B. noch zusätzlich elektronische Bauelemente vorhanden sind, wobei vorzugsweise der Boden 126a des Gehäuses 126 dieser Träger ist. Dies gestattet eine einfache, präzise und zuverlässige Montage des Hallelementes 3 und des Mittelschenkels 10, die beide zusammen eine Baueinheit bilden, wobei diese beiden Komponenten so in einer andern Technologie hergestellt werden können als z. B. der restliche Teil des ferromagnetischen Kerns 2 bzw. 121; 10. Die beiden äusseren Luftspalten 124 und 125 sind durch je eine Wand des Gehäuses 126 ausgefüllt, so dass ihre Luftspatllängen genau durch die Wanddicke des Gehäuses 126 definiert werden können. Der Ring 121 besteht aus mindestens einem ringförmig gebogenen Blech, was seine Herstellung stark vereinfacht. Die Breite L des Ringes 121 ist grösser als seine grösste Lichtweite, so dass er das Hallelement 3 sehr gut gegen die Wirkung äusserer Fremdmagnetfelder \vec{H}_a abschirmt. Der elektrische Leiter 1 besitzt vorzugsweise einen rechteckförmigen Querschnitt und der Ring 121 ist dann auch in bevorzugter Weise rechteckförmig. Der Mittelschenkel 10 ist mindestens teilweise vom elektrischen Leiter 1 umgeben und vorzugsweise zwischen je einem in der Nähe parallel zueinander verlaufenden Hin- und Rückleiter 1a und 1b des elektrischen Leiters 1 angeordnet. Der elektrische Leiter 1 bildet z. B. die U-förmige Schleife 12, deren Hin- und Rückleiter die parallel zueinander verlaufenden Hin- und Rückleiter 1a und 1b des elektrischen Leiters 1 sind. Der rechteckförmige Querschnitt des elektrischen Leiters 1 beträgt z. B. $2 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}$ für einen Strom i von 100 A. Wird ein Hallelement verwendet, das Magnetfelder misst, die senkrecht zu seiner Oberfläche wirksam sind, dann füllt das Hallelement 3 z. B. den Luftspalt 11 vollständig aus. Wird dagegen ein Hallelement verwendet, das Magnetfelder misst, die parallel zu seiner Oberfläche wirksam sind, dann füllt das Hallelement 3 z. B. nur die untere Hälfte (siehe Fig. 12) des Luftspaltes 11 aus. Die Länge des Luftspaltes 11 beträgt z. B. 0,6 mm und diejenige der weiteren Luftspalte 124 und 125 z. B. je 1,7 mm. Auf dem Träger können innerhalb oder ausserhalb des Gehäuses 126a; 126b noch zusätzlich elektronische, nicht dargestellte Bauelemente angeordnet sein, die z. B. Teil der Beschaltungselektronik des Hallelementes 3 sind.

In der Fig. 12 wurde angenommen, dass die Breite des Gehäuses 126 grösser ist als die Breite des elektrischen Leiters 1. In diesem Fall füllt im Querschnitt A-B das Gehäuse 126 z. B. den Raum zwischen dem Hin- und Rückleiter 1a und 1b der Schleife 12 vollständig aus. Die Breite des Gehäuses 126 kann auch gleich oder kleiner sein als die Breite des elektrischen Leiters 1. Im letzten Fall füllt im Querschnitt A-B das Gehäuse 126 den Raum zwischen dem Hin- und Rückleiter 1a und 1b der Schleife 12 nur teilweise aus. In allen Fällen umgibt der Ring 121 der Breite L den Hin- und Rückleiter 1a und 1b der Schleife 12 sowie das Gehäuse 126 derart, dass der Mittelschenkel 10, parallel zu seiner Querrichtung gemessen, annähernd in der Mitte auf halber Entfernung $L/2$ vom Rand des Ringes 121 angeordnet ist (siehe Fig. 13). Der Hin- und der Rückleiter 1a und 1b der Schleife 12 durchqueren den Hohlraum zwischen dem Gehäuse 126 und dem Ring 121 z. B. derart, dass sie nach Möglichkeit sowohl räumlichen Kontakt mit dem Gehäuse 126a; 126b als auch elektrisch isolierten räumlichen Kontakt mit dem Ring 121 besitzen. Zwischen dem Ring 121 einerseits und dem Hin- und Rückleiter 1a und 1b der Schleife 12 andererseits ist somit eine Isolationschicht 127a vorhanden (siehe Fig. 12 und Fig. 13).

Der Ring 121 ist vorteilhaft auf seiner Mantelfläche vollständig von einer annähernd parallelen ringförmigen und breiteren Aussenabschirmung 128 umgeben. Zwischen dem Ring 121 und der Aussenabschirmung 128 befindet sich z. B. eine Isolierschicht 127b. Die Aussenabschirmung 128 hat eine Breite Z, die grösser ist als die Breite L des Ringes 121, damit dessen stirnseitige Flächen noch teilweise mit abgeschirmt werden. Die Breite Z beträgt z. B. 30 mm. Die Aussenabschirmung 128 besteht vorteilhaft aus Tiefziehstahl oder aus einer Eisen-Nickel-Legierung. Die Isolierschicht 127b zwischen Ring 121 und Aussenabschirmung 128 dient hier auch dazu, den räumlichen Abstand zwischen den beiden zu vergrössern, was die Schirmwirkung der Aussenabschirmung 128 verbessert. Dieser räumliche Abstand beträgt z. B. 0,05 mm. Die Aufgabe der Aussenabschirmung 128 ist es, den hochpermeablen, aber leicht sättigenden Ring 121, der ja auch als Schirm wirksam ist, bei starken äusseren Fremdmagnetfeldern \vec{H}_a zu entlasten. Der Ring 121 und die Aussenabschirmung 128 wirken somit als Doppelschirm. Ohne Aussenabschirmung 128 bleibt der durch den Ring 121 gebildete Schirm ungesättigt bis zu einem Wert des äusseren Fremdmagnetfeldes \vec{H}_a von etwa 50 A/cm. Beim Vorhandensein des Doppelschirms dagegen bleibt der durch den Ring 121 gebildete Schirm ungesättigt bis zu einem Wert des äusseren Fremdmagnetfeldes \vec{H}_a von etwa 200 A/cm.

Bei Verwendung einer Eisen-Nickel Legierung für den Kern 2 bzw. 121; 10 ist der magnetische Spannungsabfall am ferromagnetischen Material im Vergleich mit demjenigen am Luftspalt 11 bzw. an den Luftspalten 11, 124 und 125 vernachlässigbar. Dementsprechend wirken sich auch Nichtlinearität, Phasenfehler und Temperaturkoeffizient des hochpermeablen Materials nur geringfügig auf den Messwandler aus. Die Anordnung des Mittelschenkels 10 und des Hallelementes 3 auf einem Träger und/oder in einem Gehäuse 126 erlaubt eine besonders präzise, einfache und zuverlässige Montage des Messwandlers. Die Verwendung von drei Luftspalten 11, 124 und 125 gestattet es, alle Toleranzprobleme, der Luftspaltlänge in den beiden äusseren Luftspalten 124 und 125 zu konzentrieren, wo sie am wenigsten stören, da dort die Magnetflusslinien nicht mehr parallel und dicht gepackt sind, sondern bereits teilweise auseinanderlaufen und ihren Weg durch den am ferromagnetischen Kern 2 bzw. 121; 10 angrenzenden Luftraum suchen. Diese Toleranzprobleme sind um so geringer, je stärker das Auseinanderlaufen

der Magnetflusslinien ist, d. h. je länger die äusseren Luftspalte 124 und 125 sind.

Die zweite und dritte Variante unterscheiden sich von der ersten Variante nur durch die Formgebung des elektrischen Leiters 1.

In der in der Fig. 14 dargestellten Anordnung bildet der elektrische Leiter 1 mindestens zwei U-förmige Schleifen 12a und 12b, die seitlich parallel nebeneinander angeordnet und elektrisch in Reihe geschaltet sind. Dabei sind beide Leiter 129 und 130 bzw. 131 und 132 einer jeden Schleife 12a bzw. 12b parallel deckend übereinander angeordnet. Die beiden Hinleiter 129 und 131 einerseits und die beiden Rückleiter 130 und 132 andererseits der beiden Schleifen 12a und 12b sind jeweils in einer gleichen Ebene nebeneinander angeordnet. Das Gehäuse 126 und damit auch der Mittelschenkel 10 mit dem Hallelement 3 sind zwischen den beiden Hinleitern 129 und 131 einerseits und den beiden Rückleitern 130 und 132 andererseits angeordnet, wobei alle diese Hin- und Rückleiter in der Nähe des Gehäuses 126 verlaufen. Der Ring 121 und, falls vorhanden, die Aussenabschirmung 128 umgeben seitlich und von ihnen elektrisch isoliert die beiden U-förmigen Schleifen 12a und 12b. Die Anordnung ermöglicht es, ohne die Konfigurationen des Kerns 2 bzw. 121; 10 und des Gehäuses 126 zu ändern, den Kern 2 bzw. 121; 10 mit halbem Strom, z. B. mit 50 A, zu erregen. Dieser halbe Strom erzeugt mit zwei Schleifen 12a und 12b ein gleich grosses Magnetfeld \vec{H} wie der Strom i mit einer einzigen Schleife 12.

Selbstverständlich können die U-förmigen Schleifen 12a und 12b auch deckend ineinander geschoben angeordnet sein. In diesem Fall sind die beiden Hinleiter 129 und 131 einerseits und die beiden Rückleiter 130 und 132 andererseits deckend übereinander statt nebeneinander angeordnet. Die Hin- und Rückleiter 129 bis 132 können dann annähernd doppelt so breit und halb so dick sein.

Bei der in der Fig. 15 dargestellten dritten Variante besteht der elektrische Leiter 1 aus zwei Leitern 133 und 134, die mindestens innerhalb des Ringes 121 parallel sind und die mindestens einmal derart angeordnet sind, dass sie den Ring 121 zuerst in der einen Richtung durchqueren, sich dann elektrisch isoliert kreuzen um anschliessend den Ring 121 in umgekehrter Richtung erneut zu durchqueren. Dabei ist das Gehäuse 126 und damit auch der Mittelschenkel 10 jeweils für beide Richtungen zwischen den beiden Leitern 133 und 134 angeordnet. Die beiden Leiter 133 und 134 sind z. B. parallel deckend übereinander angeordnet. Eine Aussenabschirmung 128 umgibt auch hier in vorteilhafter Weise den Ring 121 seitlich. Diese Anordnung wird z. B. in Elektrizitätszählern der USA verwendet und ermöglicht es, ohne die Konfigurationen des Gehäuses 126 und des ferromagnetischen Kerns 2 bzw. 121; 10 zu ändern, den Kern 2 mit zwei unabhängigen einphasigen Strömen i_1 und i_2 von z. B. je 200 A zu erregen, wobei im Extremfall einer der beiden Ströme i_1 bzw. i_2 Null sein kann. Ein derartiger Gesamtaufbau der Leiter 133 und 134 gestattet es, die Übertragungskonstanten der beiden Ströme i_1 und i_2 genau gleich gross zu machen.

Die in der Fig. 1 dargestellte Anordnung zur Messung einer Leistung wird vorzugsweise zum Aufbau eines Elektrizitätszählers verwendet. Ein derartiger Aufbau eines Elektrizitätszählers ist in der Fig. 16 dargestellt und enthält, zusätzlich zu den anlässlich der Beschreibung der Fig. 1 bereits erwähnten Komponenten, noch einen fakultativ vorhandenen weiteren Frequenzteiler 140, eine Interfaceschaltung 141, einen Schrittmotor 142, eine Anzeige 143 und eine durch eine Leuchtdiode D_1 symbolisierte optische Schnittstelle. Aus Gründen der zeichnerischen Einfachheit sind in der Fig. 16 das Steuergerät 8 und der Spannungs/Frequenzwandler 7 zu einer Aufbereitungseinheit 7; 8 zusammengelegt worden, die einerseits durch die Hallausgangsspannung

$\pm U_H$ und andererseits durch die Netzversorgungsspannung U_N gespeist wird. Ausserdem besitzt die Aufbereitungseinheit 7; 8 einen Ausgang für das im Bedarfsfall aufbereitete Umschaltsignal A bzw. B, sowie die drei Ausgänge 7a, 7b und 7c des Spannungs/Frequenz-Wandlers 7. Der Ausgang, an dem das Umschaltsignal A bzw. B ansteht, ist mit dem Steuereingang des Polumschalters 4 verbunden. Der Signalausgang 7a der Aufbereitungseinheit 7; 8, an dem das einer positiven Leistung entsprechende Signal M ansteht, ist mit einem Takteingang des Frequenzteilers 140 und mit einem Rückstelleingang der Interfaceschaltung 141 verbunden. Der Taktausgang 7c der Aufbereitungseinheit 7; 8, an dem das Taktsignal E ansteht, ist auf einen Takteingang der Interfaceschaltung 141 geführt, dessen Signaleingang mit dem Ausgang des Frequenzteilers 140 verbunden ist. Ein zweipoliger Ausgang der Interfaceschaltung 141 ist mit den elektrischen Anschlüssen des Schrittmotors 142 verbunden, der die Anzeige 143 mechanisch antreibt. Ein zusätzlicher Ausgang der Interfaceschaltung 141 ist einpolig mit der Kathode der Leuchtdiode D_1 verbunden, dessen Anode an der positiven Speisegleichspannung V_{DD} liegt. Falls der Elektrizitätszähler nur positive Energie misst, ist der Signalausgang 7b der Aufbereitungseinheit 7; 8 nicht anzuschliessen. Der Frequenzteiler 140 ist z. B. programmierbar. Die Frequenz des Signals M am Signalausgang 7a, das aus rechteckförmigen Impulsen besteht, ist proportional der Leistung. Diese Frequenz wird im Frequenzteiler 140 durch eine Zahl h geteilt, und die so erhaltenen rechteckförmigen Impulse werden zeit- und spannungsmässig in der nachfolgenden Interfaceschaltung 141 so aufbereitet, dass sie den Schrittmotor 142 steuern können. Beim Empfang eines jeden Impulses schaltet der Schrittmotor 142 um einen Schritt vorwärts. Nach einer vorgegebenen Anzahl Schritte, z. B. 300 Schritte, wird der von der Anzeige 143 angezeigte Wert um eins inkrementiert. Statt einer elektromechanischen Anzeige 143 kann auch eine voll-
elektronische Leuchtdioden- oder Flüssigkristall-Anzeige
verwendet werden. In diesem Fall können der Schrittmotor
142 und seine Interfaceschaltung 141 wegfallen und muss
statt dessen ein zusätzlicher Frequenzteiler mit einem unver-

liebaren Speicher verwendet werden. Durch die Impulszählung wird die Leistung integriert, d. h. die Energie ermittelt. Die Leuchtdiode D_1 ihrerseits blinkt z. B. im Rhythmus der Impulse des Signals M und kann dazu benutzt werden, deren
5 Impulsfrequenz optisch zu messen.

Die in den Figuren 1 und 16 dargestellte Anordnungen haben folgende Vorteile:

- Durch Verwendung des annähernd geschlossenen ferromagnetischen Kerns 2 bzw. 121; 10 wird das Nutzsignal um
10 einen Faktor μ verstärkt, ohne dass dabei gleichzeitig Nullspannungen oder sonstige Störsignale verstärkt werden. Dabei bezeichnet der Faktor μ die Permeabilität des ferromagnetischen Materials.

- Durch Verwendung zweier Signalquellen 19 und 20 und
15 der Umschaltvorrichtung 4; 18 bzw. 4; 15; 18 wird die periodische Umpolung des Nutzsignals ermöglicht, ohne dass dabei gleichzeitig Nullspannungen oder sonstige Störsignale der Verarbeitungselektronik ebenfalls umgepolt werden. Dies gestattet es, den Einfluss der Nullspannungen und Stör-
20 signale zu eliminieren oder mindestens stark zu reduzieren.

Beide Vorteile führen dazu, dass das Nutzsignal/Stör-
signal-Verhältnis der beiden Anordnungen bedeutend besser ist. Durch Verwendung des in den Figuren 5 und 6 dargestellten Hallelementes, das einerseits eine sehr hohe Emp-
25 findlichkeit und andererseits eigene Störsignal-Kompensationsanschlüsse in Gestalt der Gateanschlüsse OL und OR besitzt, wird das Nutzsignal/Störsignal-Verhältnis noch zusätzlich stark verbessert.

Durch Verwendung des anspruchlosen Regelverstärkers 5
30 wird die Verwendung eines teuren und komplizierten Differentialverstärkers am Ausgang des Hallelementes 3 vermieden.

Der in den Figuren 12 bis 15 verwendete Aufbau eines Messwandlers, insbesondere die Verwendung dreier Luft-
spalte und die besondere Lage der beiden äusseren Luft-
35 spalte, hat den Vorteil, dass seine Montage ohne Verschlechterung der Linearität und des Phasenfehlers und unter Verbesserung der Luftspalttoleranzen besonders präzise, einfach und zuverlässig ist.

Fig.1

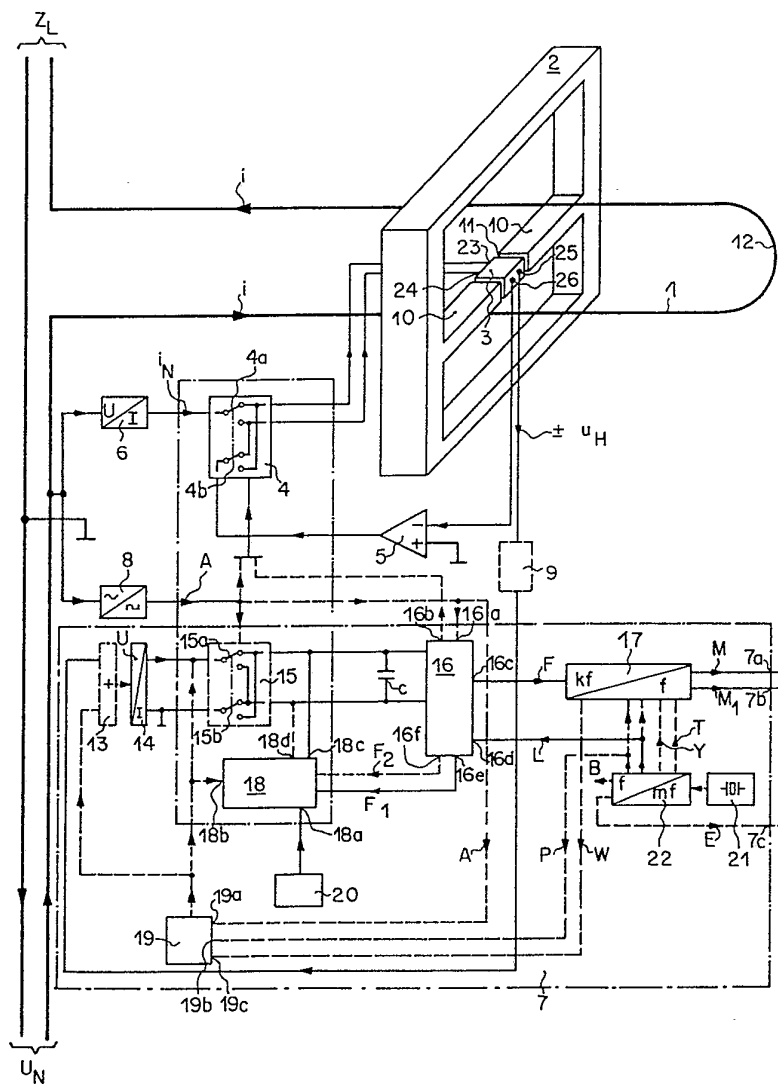


Fig. 2

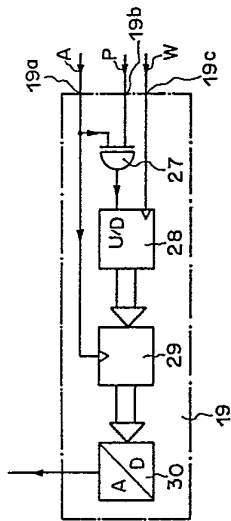


Fig. 3

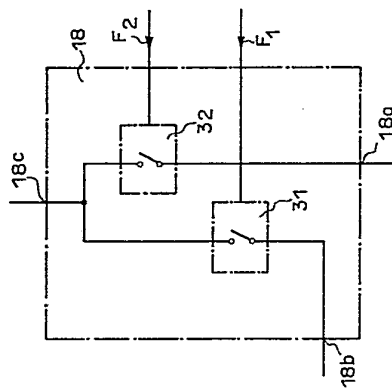


Fig. 4

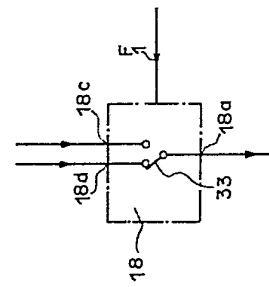


Fig. 5

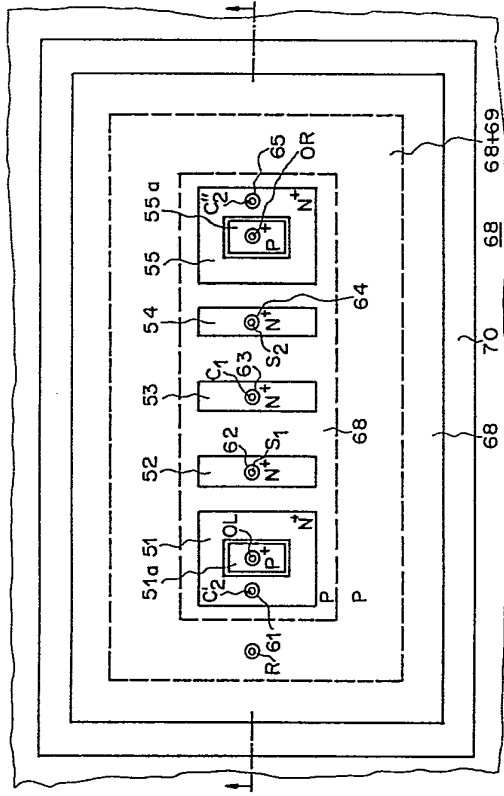


Fig. 6

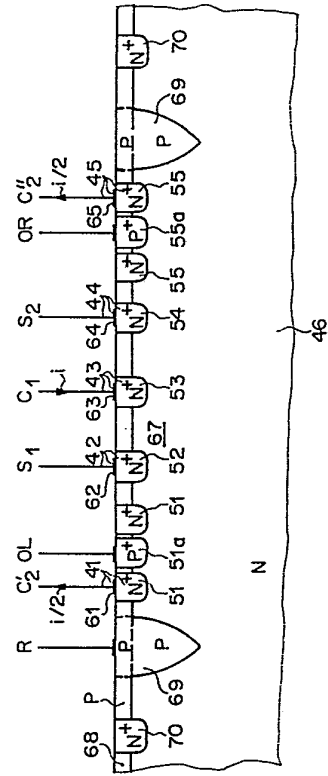


Fig. 7

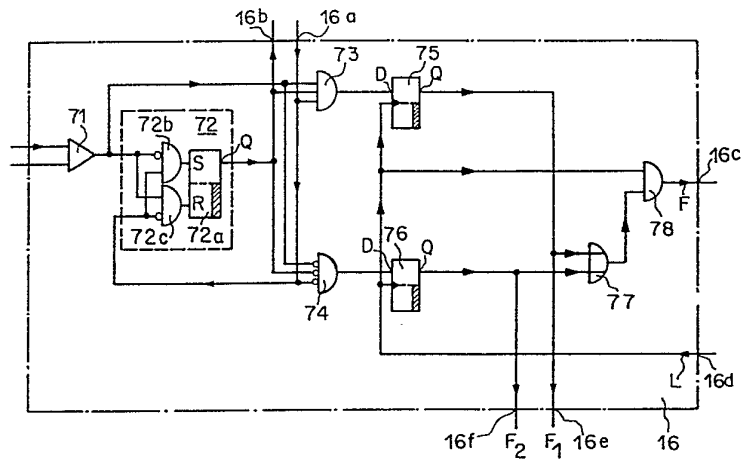


Fig. 8

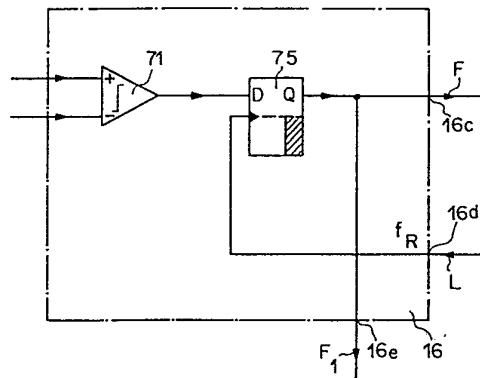


Fig. 9

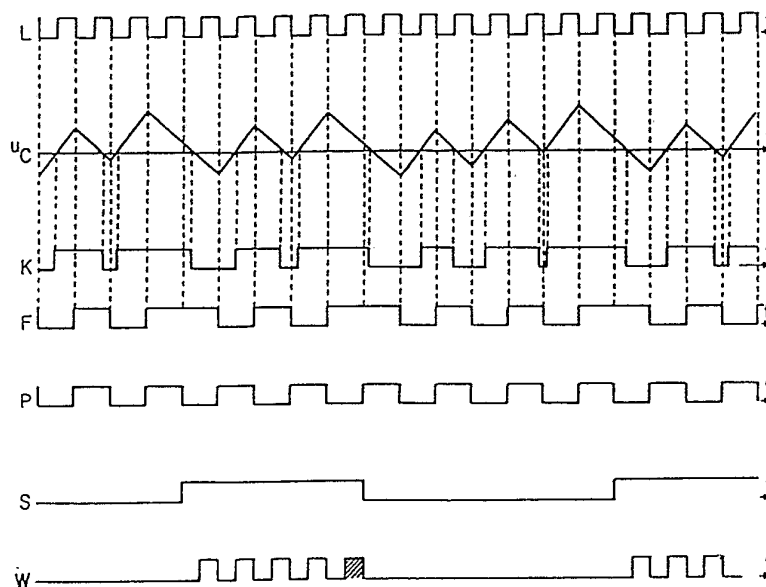


Fig.10

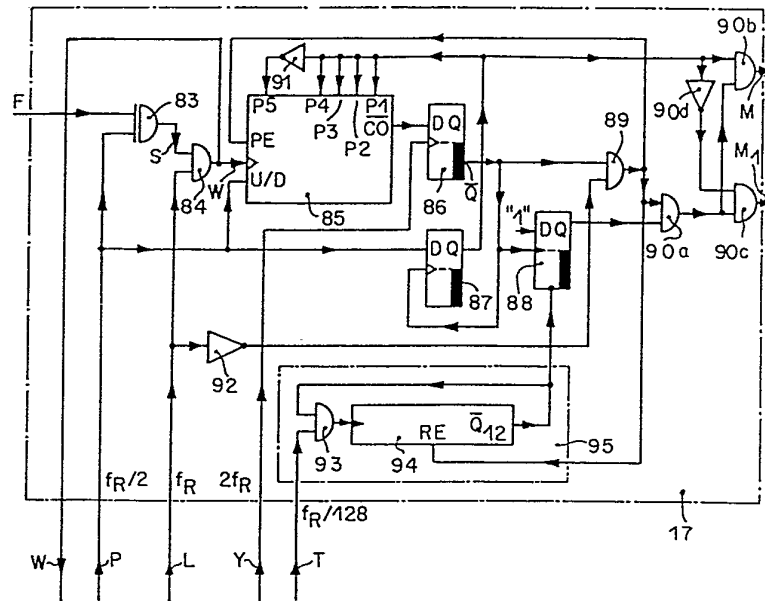


Fig.11

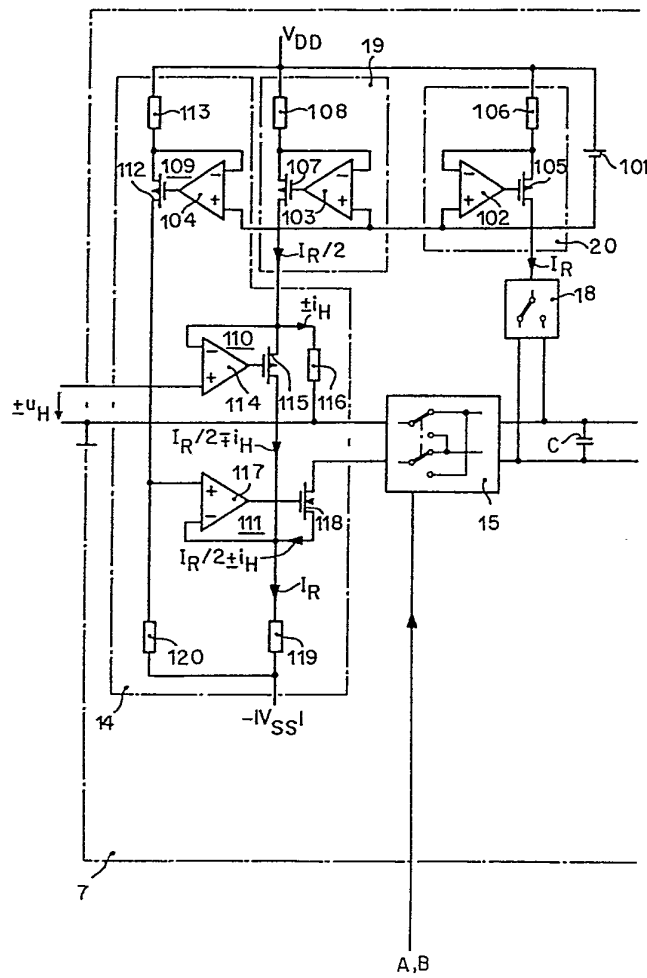


Fig.12

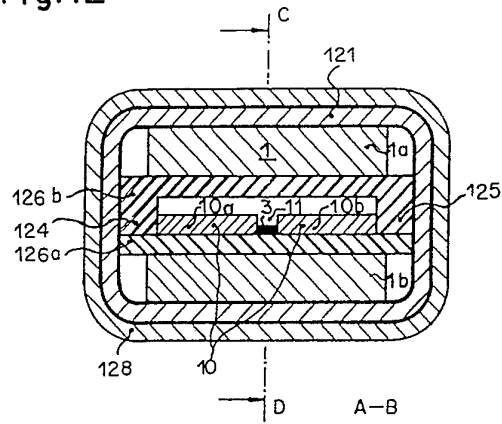


Fig.13

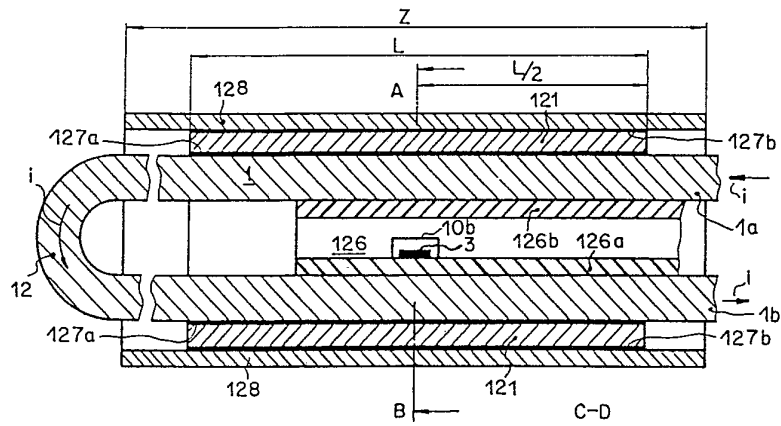
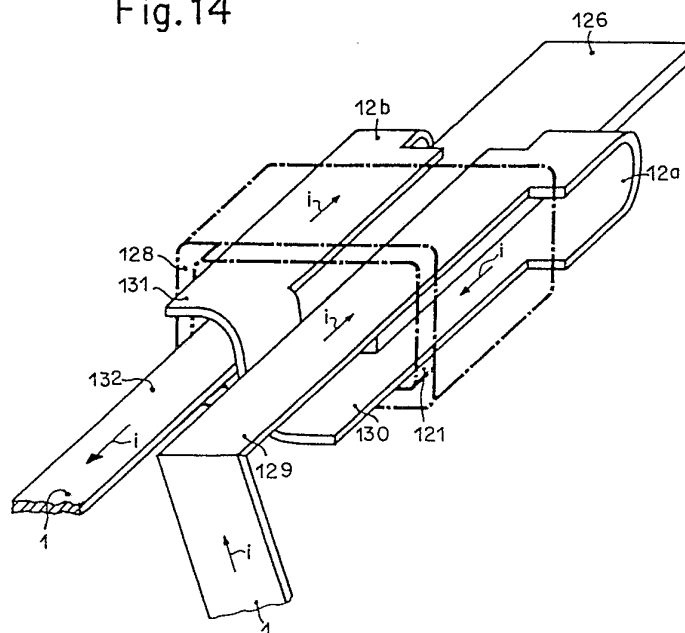


Fig.14



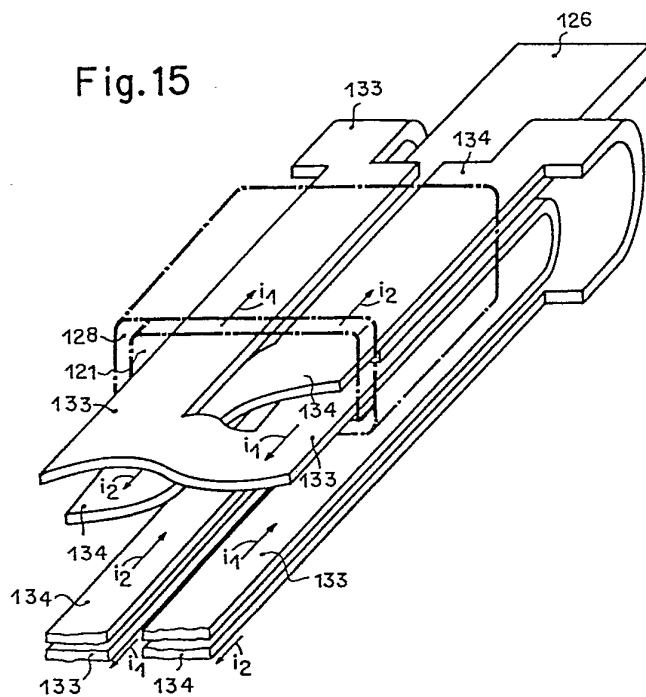


Fig. 16

