



**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

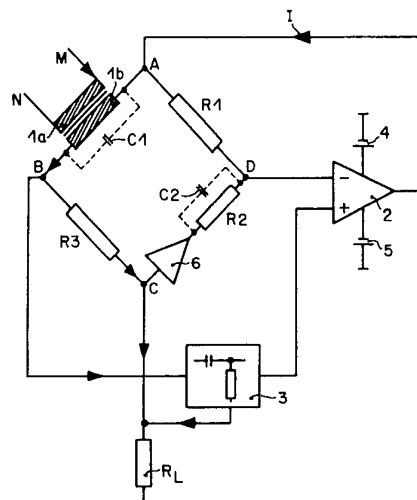
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

<p>⑳ Gesuchsnummer: 3965/83</p> <p>㉓ Anmeldungsdatum: 20.07.1983</p> <p>㉕ Patent erteilt: 31.03.1987</p> <p>④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 31.03.1987</p>	<p>⑦③ Inhaber: LGZ Landis &amp; Gyr Zug AG, Zug</p> <p>⑦② Erfinder: Halder, Mathis, Baar</p>
---	--

⑤④ **Stromwandler mit Fehlerkompensation.**

⑤⑦ Zur Fehlerkompensation des Stromwandlers (1a; 1b) dient eine abgeglichene Wheatstone-Messbrücke (ABCD), in deren Seitenzweigen die Sekundärwicklung (1b) des Stromwandlers (1a; 1b) und drei Widerstände (R1, R2, R3) angeordnet sind und deren erster Diagonalzweig (BD) mit einem Differenzeingang eines Verstärkers (2) verbunden ist, während deren zweiter Diagonalzweig (AC) vom Ausgang des Verstärkers (2) über einen Lastwiderstand (R<sub>L</sub>) gespeist ist. Die Verbindung eines der beiden Pole des ersten Diagonalzweiges (BD) mit dem Differenzeingang des Verstärkers (2) führt über ein Hochpassfilter (3). Ein Kondensator (C1 bzw. C2) ist entweder der Sekundärwicklung (1b) oder dem in der Wheatstone-Messbrücke (ABCD) diametral gegenüberliegenden Widerstand (R2) parallelgeschaltet.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Stromwandler mit einer Schaltung zur Fehlerkompensation, die einen Verstärker mit Differenzeingang und Widerstände enthält, und einem Lastwiderstand, wobei die Sekundärwicklung des Stromwandlers und drei Widerstände die vier Seitenzweige einer Messbrücke bilden, deren erster Diagonalzweig mit dem Differenzeingang des Verstärkers verbunden ist und deren zweiter Diagonalzweig vom Ausgang des Verstärkers gespeist ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung eines der beiden Pole des ersten Diagonalzweiges (BD) mit dem Differenzeingang des Verstärkers (2) über ein Hochpassfilter (3) geführt ist und die Messbrücke eine abgegliche Wheatstone-Messbrücke (ABCD) ist.

2. Stromwandler nach Anspruch 1 mit einem der Sekundärwicklung parallelgeschalteten Kondensator, dadurch gekennzeichnet, dass die Streuinduktivität ( $L_s$ ) der Sekundärwicklung (1b) kompensiert ist durch den Kondensator (C1), dessen Impedanzwert im Absolutwert gleich dem Impedanzwert der Streuinduktivität ( $L_s$ ) der Sekundärwicklung (1b) ist, und dass beim Abgleich der Wheatstone-Messbrücke (ABCD) von der Sekundärwicklung (1b) ausschliesslich der Kupferwiderstand ( $R_s$ ) berücksichtigt worden ist.

3. Stromwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Streuinduktivität ( $L_s$ ) der Sekundärwicklung (1b) kompensiert ist durch einen Kondensator (C2), der demjenigen Widerstand (R2) von den drei Widerständen (R1, R2, R3) parallelgeschaltet ist, der der Sekundärwicklung (1b) in der Wheatstone-Messbrücke (ABCD) diametral gegenüberliegend angeordnet ist und dessen Impedanzwert im Absolutwert gleich dem Impedanzwert der Streuinduktivität ( $L_s$ ) der Sekundärwicklung (1b) ist, und dass beim Abgleich der Wheatstone-Messbrücke (ABCD) von der Sekundärwicklung (1b) ausschliesslich der Kupferwiderstand ( $R_s$ ) berücksichtigt worden ist.

4. Stromwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sein Lastwiderstand ( $R_L$ ) konstant ist und in Reihe geschaltet ist zu seiner Sekundärwicklung (1b) bzw. in Reihe geschaltet ist zur Parallelschaltung bestehend aus seiner Sekundärwicklung (1b) und dem parallelgeschalteten Kondensator (C1).

5. Stromwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Speisung des zweiten Diagonalzweiges (AC) der Wheatstone-Messbrücke (ABCD) durch den Ausgang des Verstärkers (2) über den Lastwiderstand ( $R_L$ ) des Stromwandlers (1a; 1b) erfolgt, dass ein Pol dieses Lastwiderstandes ( $R_L$ ) am Bezugspotential des Verstärkers (2) liegt und dass der andere Pol des Lastwiderstandes ( $R_L$ ) mit dem Potentialbezugspunkt des Hochpassfilters (3) und mit dem Eingang eines Spannungsfolgers (6) verbunden ist, wobei der Spannungsfolger (6) in der Wheatstone-Messbrücke (ABCD) in Reihe geschaltet ist mit demjenigen Widerstand (R2) von den drei Widerständen (R1, R2, R3), der in der Wheatstone-Messbrücke (ABCD) diametral gegenüberliegend zur Sekundärwicklung (1b) angeordnet ist, bzw. in Reihe geschaltet ist zu dessen Parallelschaltung mit einem Kondensator (C2).

6. Stromwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Hochpassfilter (3) ein RC-Filter ist, bestehend aus einem einzigen Widerstand und einem einzigen Kondensator.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Stromwandler mit einer Schaltung zur Fehlerkompensation gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Solche Stromwandler sind bekannt aus der Doktor-Dissertation «Untersuchung des Fehler- und Stabilitätsverhaltens von elektronisch fehlerkompensierten Stromwandlern», Hans Bach-

mair, Technische Universität Carolo-Wilhelmina, Braunschweig. Zur Vermeidung eines Magnetisierungsstromes regeln die dort beschriebenen fehlerkompensierten Stromwandler die induzierte Spannung auf Null, entweder indem sie diese induzierte Spannung mittels einer zweiten Sekundärwicklung (siehe Fig. 3) oder gar eines zweiten Stromwandlers (siehe Fig. 1) messen, oder indem sie mittels zweier einpolig an Masse liegender Widerstände den Primär- und den Sekundärstrom des Stromwandlers und damit auch deren Differenz ermitteln (siehe Fig. 10), die bekanntlich dem Magnetisierungsstrom entspricht. Die letzte Methode hat den Nachteil, dass die Primär- und die Sekundärwicklung des Stromwandlers nicht mehr galvanisch voneinander getrennt sind.

Zusätzlich ist aus der DE-OS 27 30 874 ein Strommesssystem mit einem Fehlerstrom-Detektionssystem bekannt, bei welchem die Sekundärwicklung eines Stromwandlers und drei Widerstände die Seitenzweige einer Brückenschaltung bilden, wobei deren erster Diagonalzweig mit einem Differentialeingang eines Verstärkers verbunden ist, während der Ausgang des Verstärkers den anderen Diagonalzweig speist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen fehlerkompensierten Stromwandler mit unkritischer Stabilisierung zu realisieren, der keinen zweiten Stromwandler bzw. keine zweite Sekundärwicklung benötigt und dessen Primär- und Sekundärwicklung galvanisch voneinander getrennt sind. Ausserdem soll bei Bedarf der fehlerkompensierte Stromwandler auch mit nichtkonstantem Lastwiderstand einwandfrei arbeiten. Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

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

Es zeigen:

Fig. 1 ein Schaltbild eines fehlerkompensierten Stromwandlers ohne Darstellung eines vorhandenen Lastwiderstandes,

Fig. 2 ein Schaltbild eines fehlerkompensierten Stromwandlers mit nichtkonstantem Lastwiderstand,

Fig. 3 ein T-förmiges Ersatzschaltbild eines Stromwandlers ohne Fehlerkompensation und

Fig. 4 ein vereinfachtes Ersatzschaltbild eines Stromwandlers ohne Fehlerkompensation.

Gleiche Bezugszahlen bezeichnen in allen Figuren der Zeichnung gleiche Teile.

In der Fig. 1 besitzt ein Stromwandler 1a; 1b eine Primärwicklung 1a und eine Sekundärwicklung 1b. Die letztere und drei Widerstände R1, R2 und R3 bilden die vier Seitenzweige einer abgeglichenen Wheatstone-Messbrücke, nachfolgend nur kurz Messbrücke genannt, deren vier Ecken in der Darstellung der Zeichnung von oben beginnend im Gegenuhrzeigersinn mit den Buchstaben A, B, C und D bezeichnet sind.

Die Sekundärwicklung 1b liegt dabei zwischen den Ecken A und B, der erste Widerstand R1 zwischen den Ecken A und D, der zweite Widerstand R2 zwischen den Ecken D und C und der dritte Widerstand R3 zwischen den Ecken C und B. Die Strecke BD stellt einen ersten und die Strecke AC einen zweiten Diagonalzweig der Messbrücke ABCD dar. Der erste Diagonalzweig BD ist mit einem Differenzeingang eines Verstärkers 2 verbunden und der zweite Diagonalzweig AC wird vom Ausgang des Verstärkers 2 gespeist. Da das Bezugspotential des Ausganges des Verstärkers 2 Masse ist, besitzt der Verstärkerausgang nur einen Pol und die Ecke C der Messbrücke ABCD ist direkt an Masse gelegt. Die Verbindung eines der beiden Pole des ersten Diagonalzweiges BD, nämlich der Ecke B, mit dem Differenzeingang des Verstärkers 2 erfolgt über ein Hochpassfilter 3, dessen Ausgang mit dem nichtinvertierenden Eingangspol des Differenzeinganges des Verstärkers 2 verbunden ist. Eingang und Ausgang des Hochpassfilters 3 haben einen gemeinsamen zweiten Pol als Potentialbezugspunkt. In der Fig. 1 ist die Masse das Bezugspotential des Hochpassfilters 3. Das Hochpassfil-

ter 3 besteht in einer bevorzugten Ausführung aus einem an sich bekannten RC-Filter, gebildet aus einem einzigen Widerstand im Querzweig und einem einzigen Kondensator im Längszweig.

Zur Kompensation der Streuinduktivität  $L_s$  der Sekundärwicklung 1b ist entweder ein erster Kondensator C1 der Sekundärwicklung 1b oder ein zweiter Kondensator C2 demjenigen Widerstand R2 parallelgeschaltet, der in der Messbrücke ABCD der Sekundärwicklung 1b diametral gegenüberliegend angeordnet ist. Beide Kondensatoren C1 und C2 besitzen einen gleichen Impedanzwert der im Absolutwert gleich dem Impedanzwert der sekundären Streuinduktivität  $L_s$  ist. Eine erste Gleichspannungsquelle 4 speist den Verstärker 2 mit einer positiven und eine zweite Gleichspannungsquelle 5 den Verstärker 2 mit einer negativen Speisespannung.

Die Schaltung der Fig. 2 ist annähernd gleich aufgebaut wie die Schaltung der Fig. 1, nur dass hier die Speisung des zweiten Diagonalzweiges AC der Messbrücke ABCD durch den Ausgang des Verstärkers 2 über einen Lastwiderstand  $R_L$  des Stromwandlers 1a; 1b erfolgt, wobei ein Pol des Lastwiderstandes  $R_L$  am Bezugspotential des Verstärkers 2, d.h. an Masse liegt. Der andere Pol des Lastwiderstandes  $R_L$  ist mit dem Potentialbezugspunkt des Hochpassfilters 3 und mit dem Eingang eines Spannungsfolgers 6 verbunden. Der Spannungsfolger 6 ist in der Messbrücke ABCD in Reihe geschaltet mit dem zweiten Widerstand R2, der in der Messbrücke diametral gegenüberliegend zur Sekundärwicklung 1b angeordnet ist, bzw. in Reihe geschaltet mit der Parallelschaltung bestehend aus diesem zweiten Widerstand R2 und dem zweiten Kondensator C2.

In der Fig. 3 ist die Hauptinduktivität  $L_m$  des Stromwandlers 1a; 1b im Querzweig des T-förmigen Ersatzschaltbildes angeordnet. Eine Reihenschaltung bestehend aus dem Wirkwiderstand  $R_p$  und der Streuinduktivität  $L_p$  der Primärwicklung 1a des Stromwandlers 1a; 1b befindet sich in der Darstellung der Fig. 3 links vom Querzweig im Längszweig des T-förmigen Ersatzschaltbildes, während eine Reihenschaltung des Wirkwiderstandes  $R_s$  mit der Streuinduktivität  $L_s$  der Sekundärwicklung 1b rechts vom Querzweig im Längszweig angeordnet ist. Die Wirkwiderstände  $R_p$  und  $R_s$  stellen bekanntlich die Kupferwiderstände der betreffenden Wicklungen dar. MN ist der primäre Eingang und AB der sekundäre Ausgang des Stromwandlers 1a; 1b.

Die Fig. 4 entspricht der Fig. 3, nur dass hier der Eingang MN, der Wirkwiderstand  $R_p$  und die Streuinduktivität  $L_p$  des Stromwandlers 1a; 1b durch eine gleichwertige Stromquelle 7 ersetzt wurde, die somit parallel zur Hauptinduktivität  $L_m$  geschaltet ist. In den beiden Figuren 3 und 4 wurden aus Gründen der zeichnerischen Einfachheit die Eisenverlust-Widerstände nicht dargestellt.

Der Stromwandler 1a; 1b ist fehlerkompensiert, wenn der Magnetisierungsstrom  $i_m$  in der Hauptinduktivität  $L_m$  Null ist (siehe Fig. 3), d.h. wenn die Spannung  $u_m$  über der Hauptinduktivität  $L_m$  ebenfalls Null ist.

Der Verstärker 2 in den Figuren 1 und 2 regelt die Spannung über dem ersten Diagonalzweig BD auf Null. In diesem Fall ist bekanntlich in einer Wheatstone-Messbrücke folgende Gleichung erfüllt:

$$Z_{AB} \cdot Z_{DC} = R_1 \cdot R_3 \quad (1)$$

$Z_{AB}$  ist die Impedanz des Seitenzweiges AB und  $Z_{DC}$  diejenige des Seitenzweiges DC. Nur einer der beiden Kondensatoren ist in der Regel vorhanden und beeinflusst das Produkt  $Z_{AB} \cdot Z_{DC}$  dergestalt, dass die in  $Z_{AB}$  enthaltene Streuinduktivität  $L_s$  der Sekundärwicklung 1b mittels eines Resonanzkreiseffektes kompensiert wird. Die Werte des Kondensators C1 bzw. C2 und der Streuinduktivität  $L_s$  verschwinden somit aus dem Produkt  $Z_{AB} \cdot Z_{DC}$ , und die Gleichung (1) reduziert sich zu:

$$(R_s + u_m/i_s) \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3,$$

wobei  $i_s$  den Strom in der Sekundärwicklung 1b des Stromwandlers 1a; 1b darstellt.

$$\text{Es gilt somit: } R_s + u_m/i_s = (R_1 \cdot R_3)/R_2 \quad (2)$$

Erfolgte der Abgleich der Messbrücke ABCD unter der Annahme, dass der Wirkwiderstand der Sekundärwicklung 1b ausschliesslich aus ihrem Kupferwiderstand  $R_s$  besteht, ihre Streuinduktivität  $L_s$  also durch den Kondensator C1 kompensiert ist, so wurden die drei Widerstände R1, R2 und R3 so gewählt, dass folgende Gleichung gilt:

$$R_s = (R_1 \cdot R_3)/R_2 \quad (3)$$

Ein Vergleich der beiden Gleichungen (2) und (3) zeigt, dass diese beiden Gleichungen nur gleichzeitig erfüllt sind, wenn  $u_m/i_s = 0$ . Dies ist nur den Fall, wenn  $u_m = 0$ , da  $i_s$  verschieden und unendlich ist. Der Stromwandler 1a; 1b ist dann fehlerkompensiert.

Da die Messbrücke ABCD nicht für Gleichstrom abgeglichen werden kann, weil ja in diesem Fall  $Z_{AB} = 0$ , wird jede Gleichspannung vom Differenzeingang des Verstärkers 2 ferngehalten durch die Verwendung des Hochpassfilters 3. Da der Eingangswiderstand des Hochpassfilters 3 dem dritten Widerstand R3 parallelgeschaltet ist, muss dieser Eingangswiderstand beim Abgleichen der Messbrücke ABCD natürlich mitberücksichtigt und der dritte Widerstand R3 dementsprechend korrigiert gewählt werden.

Normalerweise ist der Lastwiderstand  $R_L$  des Stromwandlers 1a; 1b in Reihe geschaltet mit der Sekundärwicklung 1b bzw. mit der Parallelschaltung bestehend aus dieser Sekundärwicklung 1b und dem ersten Kondensator C1. Da in diesem Fall der Lastwiderstand  $R_L$  den Abgleich der Messbrücke ABCD beeinflusst und die Widerstände R1, R2 und R3 konstante Werte besitzen, ist dies nur möglich, wenn der Lastwiderstand  $R_L$  konstant ist.

Bei nichtkonstantem Lastwiderstand  $R_L$  dagegen muss die Schaltung nach Fig. 2 verwendet werden, in der der Lastwiderstand  $R_L$  keinen Einfluss mehr auf den Abgleich der Messbrücke ABCD hat und somit unabhängig von den konstanten Widerständen R1, R2 und R3 ist. In diesem Fall wird jedoch der Spannungsfolger 6 benötigt, damit der Strom im Lastwiderstand  $R_L$  gleich gross ist wie der Strom  $i_s$  in der Sekundärwicklung 1b.

Fig. 1

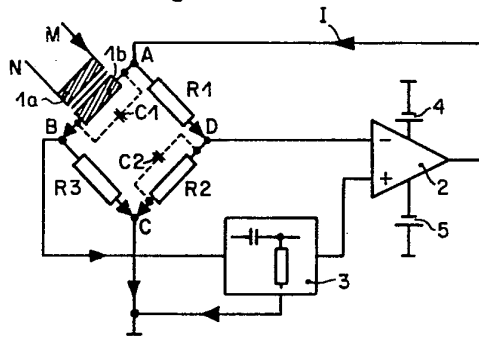


Fig. 2

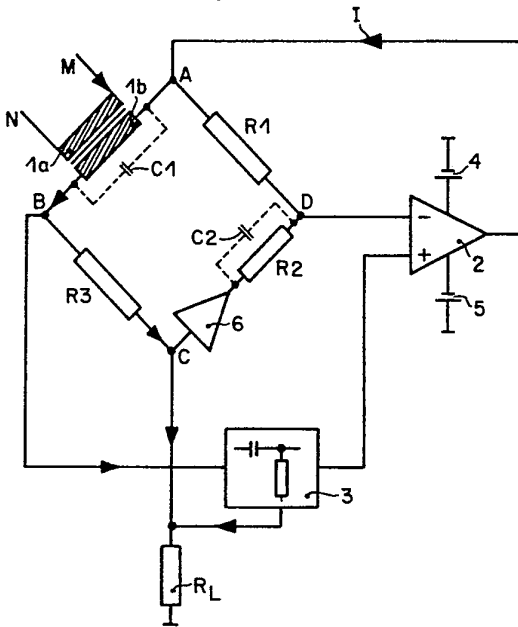


Fig. 3

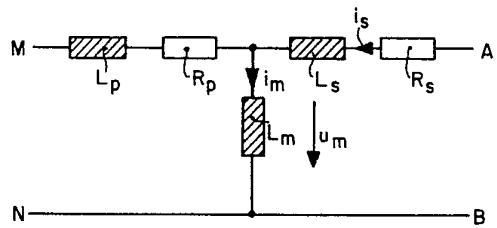


Fig. 4

