



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 064 127.8**

(22) Anmeldetag: **23.12.2010**

(43) Offenlegungstag: **28.06.2012**

(51) Int Cl.: **G01F 1/696 (2006.01)**
G01F 1/68 (2006.01)

(71) Anmelder:
Endress + Hauser Flowtec AG, Reinach, CH

(74) Vertreter:
Andres, Angelika, 79576, Weil am Rhein, DE

(72) Erfinder:
**Arnold, Martin, Birsfelden, CH; Wagner, Michel,
Basel, CH**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

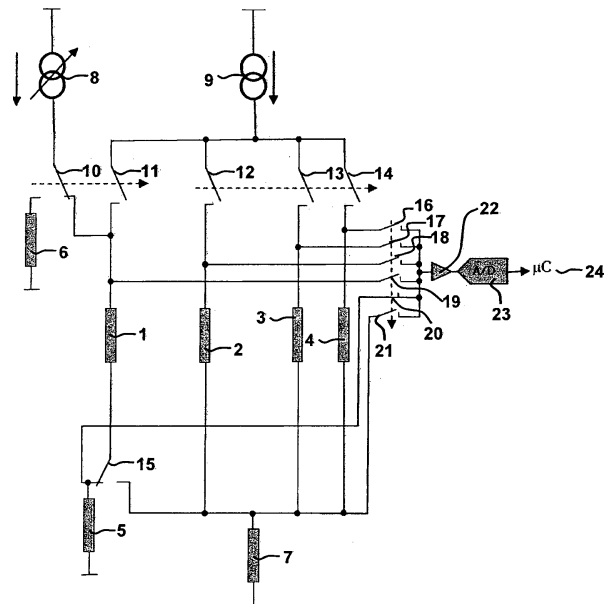
DE	199 48 135	A1
US	6 230 560	B1
US	4 753 111	A
US	3 603 147	A
WO	2007/ 063 111	A2

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines thermischen Durchflussmessgeräts**

(57) Zusammenfassung: Thermisches Durchflussmessgerät und Verfahren zum Betreiben eines thermischen Durchflussmessgeräts zum Ermitteln des Durchflusses eines Messmediums durch ein Messrohr, wobei während einer Heizphase vorgegebener Länge t_h während eines ersten Messzyklus' ein konstanter Heizstrom I_h einer ersten Stromquelle durch einen ersten Widerstand fließt, welcher erste Widerstand dem Messmedium ausgesetzt wird, wobei während einer ersten Messphase vorgegebener Länge $t_{r,1}$ während des ersten Messzyklus' ein konstanter Messstrom I_m einer zweiten Stromquelle durch den ersten Widerstand fließt, wobei während der ersten Messphase $t_{r,1}$ über dem ersten Widerstand eine erste Spannung $U_{r,1}$ abfällt, wobei während einer zweiten Messphase vorgegebener Länge $t_{r,2}$ während des ersten Messzyklus' der konstante Messstrom I_m der zweiten Stromquelle durch einen zweiten Widerstand fließt, welcher erste Widerstand dem Messmedium ausgesetzt wird, wobei während der zweiten Messphase $t_{r,2}$ über dem zweiten Widerstand eine zweite Spannung $U_{r,2}$ abfällt, wobei während der Heizphase t_h der konstante Heizstrom I_h der ersten Stromquelle durch einen Shunt-Widerstand fließt, wobei während der Heizphase t_h über dem Shunt-Widerstand eine fünfte Spannung $U_{h,5}$ abfällt, wobei zumindest die erste Spannung $U_{r,1}$, die zweite Spannung $U_{r,2}$ und die fünfte Spannung $U_{r,5}$ in die Berechnung des Durchflusses mit einfließen und wobei während der ersten Messphase $t_{r,1}$ der konstante Heizstrom I_h der ersten Stromquelle durch einen Bypass-Widerstand fließt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein thermisches Durchflussmessgerät und ein Verfahren zum Betreiben eines thermischen Durchflussmessgeräts zum Ermitteln des Durchflusses eines Messmediums durch ein Messrohr, wobei während einer Heizphase vorgegebener Länge t_h während eines ersten Messzyklus' ein konstanter Heizstrom I_h einer ersten Stromquelle durch einen ersten Widerstand fließt, welcher erste Widerstand dem Messmedium ausgesetzt wird, wobei während einer ersten Messphase vorgegebener Länge $t_{r,1}$ während des ersten Messzyklus' ein konstanter Messstrom I_m einer zweiten Stromquelle durch den ersten Widerstand fließt, wobei während der ersten Messphase $t_{r,1}$ über dem ersten Widerstand eine erste Spannung $U_{r,1}$ abfällt, wobei während einer zweiten Messphase vorgegebener Länge $t_{r,2}$ während des ersten Messzyklus' der konstante Messstrom I_m der zweiten Stromquelle durch einen zweiten Widerstand fließt, welcher zweite Widerstand dem Messmedium ausgesetzt wird, wobei während der zweiten Messphase $t_{r,2}$ über dem zweiten Widerstand eine zweite Spannung $U_{r,2}$ abfällt.

[0002] Aus dem Stand der Technik bekannt sind Temperatursensoren für die industrielle Prozesstechnik. Ihr Aufbau ist dem von thermischen Durchflussmessgeräten ähnlich, mit dem Unterschied, dass herkömmliche thermische Durchflussmessgeräte üblicherweise zwei möglichst gleichartig ausgestaltete Temperatursensoren verwenden, die in, meist stiftförmigen, Metallhülsen, so genannten Stingers oder Prongs, angeordnet sind und die in thermischem Kontakt mit dem durch ein Messrohr oder durch die Rohrleitung strömenden Medium sind. Meist sind sie in das Medium eingetaucht. Für die industrielle Anwendung sind beide Temperatursensoren üblicherweise in ein Messrohr eingebaut; die Temperatursensoren können aber auch direkt in der Rohrleitung montiert sein. Einer der beiden Temperatursensoren ist ein sog. aktiver Temperatursensor, der mittels einer Heizeinheit beheizt wird. Als Heizeinheit ist entweder eine zusätzliche Widerstandsheizung vorgesehen, oder bei dem Temperatursensor selbst handelt es sich um ein Widerstandselement, z. B. um einen RTD-(Resistance Temperature Device)Sensor, der durch Umsetzung einer elektrischen Leistung, z. B. durch eine entsprechende Variation des Heizstroms, erwärmt wird. Bei dem zweiten Temperatursensor handelt es sich um einen sog. passiven Temperatursensor: Er misst die Temperatur des Mediums bei möglichst geringer Eigenerwärmung durch den Messstrom.

[0003] Bisher wurden hauptsächlich RTD-Elemente mit wendelförmig gewickelten Platindrähten in thermischen Durchflussmessgeräten eingesetzt. Bei Dünnschicht-Widerstandsthermometern (TF-RTDs) wird herkömmlicherweise eine mäanderförmige Platin-

schicht auf ein Substrat aufgedampft. Darüber wird eine weitere Glasschicht zum Schutz der Platin-schicht aufgebracht. Der Querschnitt der Dünnschicht-Widerstandsthermometer ist im Unterschied zu den, einen runden, Querschnitt aufweisenden RTD-Elementen, rechteckig. Die Wärmeübertragung in das Widerstandselement und/oder aus dem Widerstandselement erfolgt demnach über zwei gegenüberliegende Oberflächen, welche zusammen einen Großteil der Gesamtoberfläche eines Dünnschicht-Widerstandsthermometers ausmachen.

[0004] Aus dem US-Patent 6,230,560 ist ein thermisches Durchflussmessgerät bekannt, mit zwei Widerständen, welche der Strömung des Messmediums durch ein Messrohr ausgesetzt sind. Allen Ausführungsformen gemein ist, dass beide Widerstände mit einem Heizstrom beheizt werden, und dass die Temperatur des Messmediums mit einem dritten Widerstand gemessen wird. Die Berechnung des Durchflusses des Messmediums durch das Messrohr erfolgt dabei mittels den sich aus den Widerständen errechneten Temperaturen der beiden beheizten Widerstände und der Temperatur des dritten Widerstands. Die beiden beheizten Widerstände werden mittels einer Konstant-Stromquelle dauerhaft beheizt. Aus $R = U/I$ mit dem Heizstrom I und dem gemessenen Spannungsabfall U über dem beheizten Widerstand ergibt sich dessen Widerstand R . Mittels $R = R_0 + (1 + \alpha\Delta T)$ ergibt sich dessen Temperatur $T = \Delta T + T_G$, mit T_G der Temperatur des dritten, unbeheizten Widerstands.

[0005] Es ist jedoch in einer Ausführungsform vorgeschlagen, eine Spannungsquelle zur Versorgung der beheizten Widerstände mit dem Heizstrom zu nutzen. Dann sind Hilfswiderstände mit den beheizten Widerständen in Reihe geschaltet, deren Widerstand sich nicht durch den Heizstrom verändert – ihr Widerstand ist im Wesentlichen temperaturunabhängig. Zusätzlich sind Strommessgeräte vorgeschlagen, die den aktuellen Heizstrom über den Hilfswiderständen messen.

[0006] Dieser fließt anschließend in die Berechnung der Temperaturen der beheizten Widerstände, wie bereits oben beschrieben, mit ein.

[0007] Nachteilig ist die Verwendung von mindestens drei Widerständen, zwei beheizten und einem unbeheizten, welche so zum Lumen des Messrohrs ausgerichtet sind, dass sie in gutem thermischen Kontakt mit dem Messmedium stehen, zum Ermitteln des Durchflusses des Messmediums im Messrohr.

[0008] In der Offenlegungsschrift WO 2007/063111 A2 ist eine Schaltung eines thermischen Durchflussmessgeräts gezeigt, dessen erster und zweiter Widerstand im Lumen des Messrohrs angeordnet sind. Die Schaltung weist weiterhin ei-

ne erste Stromquelle und eine zweite Stromquelle auf. Die erste Stromquelle liefert einen Heizstrom, die zweite Stromquelle erzeugt über den Widerständen eine Messspannung. Zumindest ein Schalter zwischen dem ersten Widerstand und den Stromquellen regelt die Versorgung des ersten Widerstands mit dem Heizstrom oder mit dem Messstrom, indem er den ersten Widerstand entweder mit der ersten Stromquelle oder mit der zweiten Stromquelle in Reihe schaltet. Ist nur der erste Widerstand beheizt, wird der zweite Widerstand mit der zweiten Stromquelle über einen Schalter zumindest zeitweise in Reihe geschaltet. Sind beide Widerstände beheizt, gilt das für den ersten Widerstand gesagte auch für den zweiten Widerstand.

[0009] Der erste Widerstand wird dabei mit einer konstanten Wärmemenge beheizt. Die Zufuhr der konstanten Wärmemenge wird mittels des Schalters, welcher den ersten und/oder den zweiten Widerstand mit der ersten Stromquelle in Reihe schaltet, gesteuert. Nachteilig an dieser Vorrichtung ist, dass die erste Stromquelle keinen konstanten Strom bereitstellt. Es handelt sich vielmehr um eine Spannungsquelle mit konstanter Spannung. Die Heizleistung am ersten Widerstand hängt somit stark von der Heizphasenlänge ab. Sie errechnet sich gemäß $P = (t_h/T_1) \cdot (U^2/R)$, mit der Spannung U , dem Widerstandswert R , der Heizperiodenlänge t_h und der Messperiodendauer T_1 .

[0010] Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein thermisches Durchflussmessgerät vorzuschlagen, welches einfach aufgebaut und hochgenau misst.

[0011] Die Aufgabe wird gelöst durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche 1 und 5. Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung finden sich in den Merkmalen der jeweils abhängigen Ansprüche wider.

[0012] Die Erfindung lässt zahlreiche Ausführungsformen zu. Einige davon sollen hier kurz anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert werden. Gleiche Elemente sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0013] [Fig. 1](#) zeigt einen Schaltungsplan eines erfindungsgemäßen thermischen Durchflussmessgeräts,

[0014] [Fig. 2](#) zeigt einen zeitlichen Ablauf der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit der Schaltung gemäß [Fig. 1](#),

[0015] [Fig. 3](#) zeigt einen alternativen Schaltungsplan eines erfindungsgemäßen thermischen Durchflussmessgeräts,

[0016] [Fig. 4](#) zeigt einen weiteren alternativen Schaltungsplan eines erfindungsgemäßen thermischen Durchflussmessgeräts.

[0017] In [Fig. 1](#) ist ein Ersatz-Blockschaltbild einer Schaltung eines erfindungsgemäßen thermischen Durchflussmessgeräts zum Ermitteln des Durchflusses eines Messmediums durch ein Messrohr dargestellt. Ein zeitlicher Ablauf der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit der beschriebenen Schaltung ist in [Fig. 2](#) veranschaulicht. Daher wird die Funktionsweise der Schaltung aus [Fig. 1](#) zusammen mit dem zeitlichen Ablauf aus [Fig. 2](#) dargelegt. [Fig. 2](#) zeigt schematisch die Phasen in denen Ströme durch einzelne Bauteile der Schaltung fließen. Die Höhe der Ausschläge korreliert dabei nicht mit der Stromstärke. Es soll nur ein Eindruck von Schaltzeiten und vom sequentiellen Ablauf des Verfahrens vermittelt werden.

[0018] Die Schaltung weist einen ersten Widerstand **1** und einen zweiten Widerstand **2** auf, welche jeweils in einem Gehäuse angeordnet sind, welches das Lumen des Messrohrs begrenzt. Dabei ist eine Variante, jeden der beiden Widerstände **1** und **2** in einem separaten Gehäuse, z. B. die im Stand der Technik beschriebenen Metallhülsen, anzuordnen. In einer anderen Variante sind beide Widerstände **1** und **2** in einem gemeinsamen Gehäuse anzuordnen. Die beiden Widerstände **1** und **2** sind in beiden Fällen der Strömung des Messmediums im Messrohr indirekt ausgesetzt.

[0019] Die Schaltung weist weiterhin einen ersten Schalter **10** auf. Der erste Schalter verbindet in einer, hier mit einer durchgezogenen Linie veranschaulichten, ersten Schalterstellung, den ersten Widerstand **1** mit einer ersten Stromquelle **8**. In der ersten Schalterstellung ist der erste Widerstand mit einer ersten Stromquelle in Reihe geschaltet. Während eines Messzyklus' t_M geschieht dies während einer Heizphase t_h . Die erste Stromquelle **8** ist dabei regelbar, insbesondere softwaregesteuert. Jedoch liefert sie einen während einer Heizphase t_h konstanten Heizstrom I_h .

[0020] Neben dem ersten Schalter **10**, weist die Schaltung weitere Schalter **11**, **12**, **13**, **14** und **15** auf, und die Schalter **16**, **17**, **18**, **19**, **20** und **21**. Die Schalter **16**, **17**, **18**, **19**, **20** und **21** können dabei einzelne Schalter oder Schalter eines Mehrfachschalters oder Multiplexers sein, wie hier dargestellt.

[0021] Die Schalter **11**, **12**, **13** und **14** sind in der hier dargestellten ersten Schalterstellung offen, d. h. eine zweite Stromquelle ist nicht mit den Widerständen **1**, **2**, **3** und **4** verbunden. Über den sechsten Schalter **15** sind in der, hier mit der durchgezogenen Linie veranschaulichten, ersten Schalterstellung, der erste Widerstand **1** und ein Shunt-Widerstand **5** in Reihe geschaltet. Somit sind in der ersten Schalterstellung

die erste Stromquelle **8**, der erste Widerstand **1** und der Shunt-Widerstand **5** in Reihe geschaltet. Der Shunt-Widerstand **5** ist seinerseits mit einem Bezugspotential verbunden, beispielsweise mit dem Massepotential.

[0022] Auch die Schalter **16**, **17**, **18**, **19** und **21** des Multiplexers sind in der ersten Schalterstellung offen. Nur Schalter **20** ist während der gesamten Heizphase t_h geschlossen, um eine fünfte Spannung $U_{n,5}$, welche während der Heizphase t_h in zumindest der ersten Schalterstellung über dem Shunt-Widerstand **5** abfällt, den dem Schalter **20** nach geschalteten Signalverarbeitungselementen **22**, **23** und **24** zuzuführen, damit diese dort weiterverarbeitet werden kann. Die Spannung $U_{n,5}$ ist ein Maß für den durch den ersten Widerstand **1** fließenden Heizstrom I_h . Der Shunt-Widerstand **5**, oder auch Strommesswiderstand genannt, weist üblicherweise einen geringen Widerstandswert auf. Er ist im Wesentlichen temperaturunabhängig. Darüber hinaus kann er in einem Gehäuse thermisch isoliert von der umgebenden Umwelt und insbesondere thermisch isoliert vom Messmedium angeordnet sein und/oder er ist beispielsweise ebenfalls hochpräzise.

[0023] Somit fließt während der Heizphase t_h während eines ersten Messzyklus' der konstante Heizstrom I_h der ersten Stromquelle **8** durch den ersten Widerstand **1** und die fünfte Spannung $U_{n,5}$ fällt über dem Shunt-Widerstand **5** ab.

[0024] Während einer ersten Messphase $t_{r,1}$ wird hier der erste Schalter **10** in einer zweiten Schalterstellung in die hier angedeutet gestrichelte Position geschaltet. Dann ist der erste Widerstand **1** getrennt von der ersten Stromquelle **8**. Diese ist hier dann direkt verbunden mit einem Bypass-Widerstand **6**. Der Bypass-Widerstand **6** weist dabei einen Widerstandswert auf, der im Wesentlichen dem eines ersten Messpfads aus erstem Widerstand **1**, Shunt-Widerstand **5** und der dazwischen liegenden Schalter **11** und **15** entspricht, zumindest bei einer mittleren erwarteten Temperatur und damit einem mittleren Widerstandswert des ersten Widerstands **1**. Durch das Umschalten der ersten Stromquelle **8** vom ersten Widerstand **1** auf den Bypass-Widerstand **6** wird der Heizstrom I_b auf den Bypass-Widerstand **6** abgeleitet und die erste Stromquelle **8** erfährt keinen signifikanten Lastsprung. Dies verkürzt die Einregelzeit der ersten Stromquelle **8** beim Umschalten des ersten Schalters **10** und vermindert zudem Über- bzw. Unterschwingen während der Einregelzeit. Dies hat eine Verbesserung der Messgenauigkeit des Heizstromes I_h und damit der Ermittlung des Durchflusses des Messmediums durch das Messrohr zu Folge.

[0025] In der zweiten Schalterstellung ist weiterhin der zweite Schalter **11** geschlossen. Der erste und der zweite Schalter **10** und **11** werden hier gleich-

zeitig umgeschaltet. Somit ist die zweite Stromquelle **9** mit dem ersten Widerstand **1** in Reihe geschaltet. Während der ersten Messphase $t_{r,1}$ während des ersten Messzyklus' fließt ein konstanter Messstrom I_m der zweiten Stromquelle **9** durch den ersten Widerstand **1** und es fällt über dem ersten Widerstand eine erste Spannung $U_{r,1}$ ab. Diese wird den Signalverarbeitungselementen **22**, **23** und **24** zugeführt, indem der sechste Schalter **15** auf die gestrichelt angedeutete Position geschaltet ist und die Schalter **19** und **21** geschlossen sind. Der in der Heizphase t_h geschlossene Schalter **20** ist in der zweiten Schalterstellung während der ersten Messphase $t_{r,1}$ geöffnet. Alternativ könnten auch die Schalter **19** und **20** geschlossen sein, bei geöffnetem Schalter **21**. Der Unterschied zwischen diesen beiden illustrierten Alternativen besteht hier darin, dass der erste Widerstand **1** einerseits über einen Offset-Widerstand **7** mit dem Bezugspotential verbunden ist und andererseits über den Shunt-Widerstand **5**.

[0026] Prinzipiell würde eine Verbindung mit dem Bezugspotential ohne einen der genannten Widerstände **5** oder **7** zur Funktion der Schaltung ausreichen, doch der bekannte Widerstandswert des Offset-Widerstands **7** respektive des Shunt-Widerstands **5** bietet den Vorteil, dass der Messstrom I_m der zweiten Stromquelle **9** dadurch messbar ist, dass eine erste Offset-Spannung $U_{o,1}$ über dem Offset-Widerstand **7** respektive eine Spannung $U_{r,5}$ über dem Shunt-Widerstand **5** abfällt. Die Offset-Spannung $U_{o,1}$, sowie die nachfolgend beschriebenen, während weiterer Messphasen $t_{r,2}$ bis $t_{r,4}$, über dem Offset-Widerstand **7** abfallenden Offset-Spannungen $U_{o,2}$ bis $U_{o,4}$, werden dem hier als Verstärker **22** gezeichneten Signalverarbeitungselement so zugeführt, dass diese Offset-Spannungen $U_{o,1}$ bis $U_{o,4}$ von den während den Messphasen $t_{r,1}$ bis $t_{r,4}$, über den Widerständen **1** bis **4** abfallenden Spannungen abgezogen werden. So wird zumindest ein erster Offset in der ersten Spannung $U_{r,1}$ mittels der zweiten Offset-Spannung $U_{o,1}$ korrigiert und zumindest ein zweiter Offset in der zweiten Spannung $U_{r,2}$ wird somit mittels der zweiten Offset-Spannung $U_{o,2}$ korrigiert. Üblicherweise wird dafür ein Differenzverstärker anstatt eines Operationsverstärkers verwendet. Der Einsatz weiterer oder anderer Signalverarbeitungselemente sind denkbar, wie beispielsweise der Einsatz von Filtern.

[0027] Der separate Offset-Widerstand **7** bietet darüber hinaus den Vorteil, dass während der Heizphase t_h , also während der Shunt-Widerstand **5** zur Messung des Heizstroms I_h dient, der Messstrom I_m der zweiten Stromquelle **9** weiterhin messbar ist. Die Messsignale, also die verschiedenen Offset-Spannungen $U_{o,1}$ bis $U_{o,4}$, können darüber hinaus zur Diagnose der Schaltung verwendet werden. So könnte beispielsweise ein Leitungsbruch an den Widerständen **1** bis **4** detektiert werden. Wird hingegen der Shunt-Widerstand **5** zur Messung des Messstroms ge-

nutzt, kann der Offset-Widerstand **7** kostengünstiger ausgestaltet sein. Es muss sich nicht um einen Präzisionswiderstand handeln.

[0028] Während einer zweiten Messphase $t_{r,2}$ wird somit in einer dritten Schalterstellung der zweite Widerstand **2** mit der zweiten Stromquelle **9** in Reihe geschaltet ist, wobei der konstante Messstrom I_m der zweiten Stromquelle **9** durch einen zweiten Widerstand **2** fließt und wobei über dem zweiten Widerstand eine zweite Spannung $U_{r,2}$ abfällt. Dazu ist im Vergleich zur zweiten Schalterstellung während der ersten Messphase $t_{r,1}$ der zweite Schalter **11** geöffnet und der dritte Schalter **12** geschlossen. Des Weiteren ist der neunte Schalter **18** geschlossen und der zehnte Schalter **19** offen. Der erste Schalter **10** und der sechste Schalter **15** sind wieder in der mit der durchgezogenen Linie veranschaulichten Position, wie in der ersten Schalterstellung. Auch der Schalter **20** ist zur Heizstrommessung wieder geschlossen. Theoretisch könnte auch während der Heizphase t_h mit geschlossenem Schalter **19** die über dem ersten Widerstand **1** abfallende Spannung gemessen werden. Jedoch ist die zuvor beschriebene Messung der ersten Spannung $U_{r,1}$ vorteilhaft.

[0029] Die dritte Schalterstellung unterscheidet sich somit von der in [Fig. 1](#) gezeigten ersten Schalterstellung dadurch, dass zusätzlich der dritte, der neunte und der zwölfte Schalter **12**, **18** und **21** geschlossen sind.

[0030] Der Durchfluss des Messmediums durch das Messrohr könnte sich anhand der ersten Spannung $U_{r,1}$, der zweiten Spannung $U_{r,2}$ und der fünfte Spannung $U_{r,5}$ errechnen lassen. Der Durchfluss Q errechnet sich z. B. aus dem Quotienten aus Heizleistung P_h und der Differenz der Temperaturen des beheizten, ersten Widerstands **1** und des unbeheizten, zweiten Widerstands **2**. Die Heizleistung P_h ergibt sich aus dem RMS-Wert, also dem gemessenen Effektivstromwert des Gesamtstroms I_1 am ersten Widerstand **1** und dem Widerstandswert des ersten Widerstands $P = I_1^2 \cdot R_1$. Effektivstromwert des Gesamtstroms I_1 setzt sich dabei zusammen aus dem Heizstrom I_h , repräsentiert durch die fünfte Spannung $U_{h,5}$, und dem Messstrom I_m , repräsentiert durch die erste Offset-Spannung $U_{o,1}$. Die Temperaturen des ersten und des zweiten Widerstands **1** und **2** ergeben sich aus den Widerstandswerten des ersten und des zweiten Widerstands **1** und **2**, welche sich wiederum aus der ersten Spannung $U_{r,1}$, der zweiten Spannung $U_{r,2}$ und der ersten Offset-Spannung $U_{o,1}$ und der zweiten Offset-Spannung $U_{o,2}$ ergeben. Ein Vorteil gegenüber dem Stand der Technik besteht eben einerseits darin und die Heizleistung aus den gemessenen Stromwerten zu ermitteln und andererseits den Messstrom dabei zu berücksichtigen.

[0031] In einer vierten und fünften Schalterstellung werden die ersten und zweiten Kalibrier-Widerstände mit der zweiten Stromquelle in Reihe geschaltet, wobei während einer dritten Messphase Messzeit $t_{r,3}$ der konstante Messstrom I_m der zweiten Stromquelle durch den ersten Kalibrier-Widerstand **3** fließt, wobei über dem ersten Kalibrier-Widerstand **3** eine dritte Spannung $U_{r,3}$ abfällt, und wobei während der vierten Messphase $t_{r,4}$ der konstante Messstrom I_m der zweiten Stromquelle durch den zweiten Kalibrier-Widerstand **4** fließt, wobei über dem zweiten Kalibrier-Widerstand **4** eine vierte Spannung $U_{r,4}$ abfällt. Neben den genannten zwei Kalibrier-Widerständen **3** und **4** können weitere Kalibrier-Widerstände vorgesehen sein, um bei einer Nicht-Linearität mehr Stützpunkte zur Kalibrierung zur Verfügung zu haben und damit die Messgenauigkeit steigern zu können.

[0032] Die vierte Schalterstellung unterscheidet sich von der ersten Schalterstellung dadurch, dass zusätzlich der vierte, der achte und der zwölfte Schalter **13**, **17** und **21** geschlossen sind. Die fünfte Schalterstellung unterscheidet sich von der ersten Schalterstellung dadurch, dass zusätzlich der fünfte, der siebte und der zwölfte Schalter **14**, **16** und **21** geschlossen sind.

[0033] Die Kalibrier-Widerstände **3** und **4** sind ebenfalls hochpräzise und im Wesentlichen temperaturunabhängige Widerstände. Sie entsprechen den in der WO 2007/063111 A2 offenbarten Präzisionswiderständen und dienen derselben Funktion. Daher soll hier nicht weiter auf deren Funktion eingegangen werden, nur soviel, dass die gemessenen Widerstandswerte mit den gemessenen Widerstandswerten der Kalibrier-Widerstände **3** und **4** normiert werden. Die gesamte Offenbarung hinsichtlich der Präzisionswiderstände der WO 2007/063111 A2 soll hiermit auch in diesem Dokument als offenbart gelten. Die Kalibrier-Widerstände **3** und **4** sind im Übrigen im selben Gehäuse nahe zusammen angeordnet und unterliegen somit denselben Temperaturschwankungen.

[0034] Wie [Fig. 2](#) zu entnehmen ist, ist die Heizphase t_h länger wie jede der Messphasen $t_{r,1}$ bis $t_{r,4}$, insbesondere ist sie viel länger, z. B. zehn Mal so lang. Die Messphasen $t_{r,1}$ bis $t_{r,4}$ sind während eines Messzyklus' im Wesentlichen gleich lang. Auch der Messstrom I_m ist während eines Messzyklus' konstant. Die Messphasen $t_{r,1}$ bis $t_{r,4}$ sind im Vergleich zur Messzyklusdauer Messphasen t_M kurz, insbesondere sehr kurz. Über mehrere Messzyklen können sie variabel sein.

[0035] Werden zwei aufeinander folgende Messzyklen betrachtet, ist das Verhältnis $t_h/t_{r,1}$ der Länge der Heizphase t_h zur Länge der ersten Messphase $t_{r,1}$ über mindestens zwei aufeinander folgende Messzyklen konstant und größer 1, und das Verhältnis $t_h/t_{r,2}$

der Länge der Heizphase t_h zur Länge der zweiten Messphase $t_{r,2}$ ist über mindestens zwei aufeinander folgende Messzyklen konstant und größer 1.

[0036] Der Aufbau der Schaltung ist auch in anderer Weise möglich, insbesondere die Anordnung der Schalter zu den Widerständen. Die Erfindung soll nicht auf die gezeigte Ausgestaltung beschränkt sein. So lassen sich beispielsweise auch die Spannungen an anderen Orten als über den Widerständen messen. Das Verfahren findet in vorteilhafter Weise in einem Messzyklus statt, die Messphasen können jedoch auch einzeln nach jeweils einer Heizphase, wie in [Fig. 4](#) der WO 2007/063111 A2 gezeigt, stattfinden. Die hier gezeigte Abfolge der einzelnen Messzyklen ist ebenfalls nicht zwingend. So könnten die Messphase $t_{r,1}$ bis $t_{r,4}$ sequentiell nacheinander folgen, wie in [Fig. 5](#) gezeigt.

[0037] In [Fig. 3](#) ist eine alternative Ausgestaltung der Erfindung veranschaulicht. Hier werden die Widerstandswerte mit einer so genannten Vierleitermessung erfasst. Der Vorteil ist, eine im Vergleich zur Ausführungsform aus [Fig. 1](#) gesteigerte Messgenauigkeit. Die Signalpfade bei der Vierleitermessung, also hier zwischen den Abgriffen direkt an den Ein- und Ausgängen der jeweiligen Widerstände **1**, **2**, **3**, **4** und **5** und den Eingängen der Verstärker **22** sind sehr hochohmig im Vergleich zu herkömmlichen Signalpfaden. Dadurch fließt praktisch kein Strom. Ein Spannungsabfall über einem herkömmlichen Schalter, wie z. B. über den Schaltern **16** bis **21** aus [Fig. 1](#), beeinträchtigt die Messung. Bei der Vierleitermessung fällt praktisch keine Spannung über den Schaltern im oben beschriebenen Signalpfad zwischen den Widerständen **1** bis **5** und den Verstärkern **22** ab, wodurch die Messgenauigkeit erhöht wird.

[0038] In der skizzierten Ausgestaltung ist das Vorhandensein des Offset-Widerstands **7**, im Vergleich zur der in [Fig. 1](#) skizzierten Ausführungsform der Erfindung, zu einer Verbesserung der Messgenauigkeit wesentlich. Ohne den Offset-Widerstand **7** würde die Messgenauigkeit leiden. Werden jedoch die Verstärker **22** bipolar betrieben, kann wiederum auf den Offset-Widerstand **7** verzichtet werden.

[0039] In der beschriebenen Ausgestaltung sind zwei in Reihe geschaltete Shunt-Widerstände **5** und **25** vorgesehen. Die über dem ersten Shunt-Widerstand **5** abfallende Spannung wird differentiell gemessen. Der zweite Shunt-Widerstand **25** weist insbesondere einen wesentlich kleineren Widerstand als der erste Shunt-Widerstand **5** auf. Die Temperaturen des ersten und des zweiten Widerstands **1** und **2** sind proportional zu den Widerstandswerten des ersten und des zweiten Widerstands **1** und **2**, welche sich wiederum aus der ersten Spannung $U_{r,1}$, der zweiten Spannung $U_{r,2}$ ergeben. Durch die differentielle Messung sind die Werte der ersten Offset-Spannung

$U_{0,1}$ und der zweiten Offset-Spannung $U_{0,2}$ hier nun nicht weiter von Belang zur Temperaturbestimmung, verglichen mit der Ausgestaltung der Erfindung aus [Fig. 1](#).

[0040] Die Schaltung aus [Fig. 4](#) weist im Vergleich zur Schaltung aus [Fig. 3](#) statt zwei differentiellen Verstärkern vier Verstärkerelemente auf und einen A/D-Wandler mit differentiellem Eingang. In [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) ist keine Auswertung der Spannungsabfälle über den Widerständen möglich, da die Schalter zu den Signalverarbeitungselementen offen sind. Einem Fachmann geht die Funktionsweise dieser Schaltung durch die Beschreibung der Schaltung gemäß [Fig. 1](#) eindeutig hervor.

Bezugszeichenliste

1	Erster Widerstand
2	Zweiter Widerstand
3	Erster Kalibrierwiderstand
4	Zweiter Kalibrierwiderstand
5	Shunt-Widerstand
6	Bypass-Widerstand
7	Offset-Widerstand
8	Erste Stromquelle
9	Zweite Stromquelle
10	Erster Schalter
11	Zweiter Schalter
12	Dritter Schalter
13	Vierter Schalter
14	Fünfter Schalter
15	Sechster Schalter
16	Siebter Schalter
17	Achter Schalter
18	Neunter Schalter
19	Zehnter Schalter
20	Elfter Schalter
21	Zwölfter Schalter
22	Verstärker
23	A/D-Wandler
24	Mikrocontroller
25	Zweiter Shunt-Widerstand

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 6230560 [0004]
- WO 2007/063111 A2 [0008, 0033, 0036]

Patentansprüche

1. Thermisches Durchflussmessgerät zum Ermitteln des Durchflusses eines Messmediums durch ein Messrohr, mit einer elektrischen Schaltung, welche einen ersten Widerstand (1) und einen zweiten Widerstand (2) aufweist, welcher erste Widerstand (1) und welcher zweite Widerstand (2) jeweils in einem Gehäuse angeordnet sind, welches das Lumen des Messrohrs begrenzt, wobei die Schaltung weiterhin zumindest einen Schalter aufweist, welcher so schaltbar ist, dass der erste Widerstand (1) in einer ersten Schalterstellung einer ersten Stromquelle (8) in Reihe geschaltet ist, und dass der erste Widerstand (1) in einer zweiten Schalterstellung mit einer zweiten Stromquelle (9) in Reihe geschaltet ist, und dass der zweite Widerstand (2) in einer dritten Schalterstellung mit der zweiten Stromquelle (9) in Reihe geschaltet ist, und **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Shunt-Widerstand (5) in der ersten Schalterstellung mit dem ersten Widerstand (1) und mit der ersten Stromquelle (8) in Reihe geschaltet ist, zum Ermitteln eines Spannungsabfalls über dem Shunt-Widerstand (5), und dass in der zweiten Schalterstellung ein Bypass-Widerstand (6) mit der ersten Stromquelle (8) in Reihe geschaltet ist.

2. Thermisches Durchflussmessgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in der zweiten Schalterstellung ein Offset-Widerstand (7) mit dem ersten Widerstand (1) und mit der zweiten Stromquelle (9) in Reihe geschaltet ist, und dass in der dritten Schalterstellung ein Offset-Widerstand (7) mit dem zweiten Widerstand (2) und mit der zweiten Stromquelle (9) in Reihe geschaltet ist.

3. Thermisches Durchflussmessgerät nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die erste Stromquelle (8) eine softwaregesteuerte Stromquelle ist.

4. Thermisches Durchflussmessgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur weiteren Signalverarbeitung zumindest ein Verstärker (22), ein A/D Wandler (23) und ein Mikrokontroller (24) in der Schaltung vorgesehen sind.

5. Verfahren zum Ermitteln des Durchflusses eines Messmediums durch ein Messrohr mit einer elektrischen Schaltung, wobei während einer Heizphase vorgegebener Länge t_h während eines ersten Messzyklus' ein konstanter Heizstrom I_h einer ersten Stromquelle durch einen ersten Widerstand fließt, welcher erste Widerstand dem Messmedium ausgesetzt wird,

wobei während einer ersten Messphase vorgegebener Länge $t_{r,1}$ während des ersten Messzyklus' ein konstanter Messstrom I_m einer zweiten Stromquelle durch den ersten Widerstand fließt, wobei während der ersten Messphase $t_{r,1}$ über dem ersten Widerstand eine erste Spannung $U_{r,1}$ abfällt, wobei während einer zweiten Messphase vorgegebener Länge $t_{r,2}$ während des ersten Messzyklus' der konstante Messstrom I_m der zweiten Stromquelle durch einen zweiten Widerstand fließt, welcher zweite Widerstand dem Messmedium ausgesetzt wird, wobei während der zweiten Messphase $t_{r,2}$ über dem zweiten Widerstand eine zweite Spannung $U_{r,2}$ abfällt, dadurch gekennzeichnet, dass während der Heizphase t_h der konstante Heizstrom I_h der ersten Stromquelle durch einen Shunt-Widerstand fließt, wobei während der Heizphase t_h über dem Shunt-Widerstand eine fünfte Spannung $U_{h,5}$ abfällt, und dass während der ersten Messphase $t_{r,1}$ der konstante Heizstrom I_h der ersten Stromquelle durch einen Bypass-Widerstand fließt, wobei zumindest die erste Spannung $U_{r,1}$, die zweite Spannung $U_{r,2}$ und die fünfte Spannung $U_{r,5}$ in die Berechnung des Durchflusses mit einfließen.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass während der ersten Messphase $t_{r,1}$ der konstante Messstrom I_m der zweiten Stromquelle durch einen Offset-Widerstand fließt, wobei während der ersten Messphase $t_{r,1}$ über dem Offset-Widerstand eine erste Offset-Spannung $U_{o,1}$ abfällt, und dass während der zweiten Messphase $t_{r,2}$ der konstante Messstrom I_m der zweiten Stromquelle durch den Offset-Widerstand fließt, wobei während der zweiten Messphase $t_{r,2}$ über dem Offset-Widerstand eine zweite Offset-Spannung $U_{o,2}$ abfällt, wobei die erste Offset-Spannung $U_{o,1}$ und die zweite Offset-Spannung $U_{o,2}$ in die Berechnung des Durchflusses mit einfließen und wobei die erste Offset-Spannung $U_{o,1}$ und die zweite Offset-Spannung $U_{o,2}$ zur Diagnose der elektrischen Schaltung dienen.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis $t_h/t_{r,1}$ der Länge der Heizphase t_h zur Länge der ersten Messphase $t_{r,1}$ über mindestens zwei Messzyklen konstant und größer 1 gehalten wird, und dass das Verhältnis $t_h/t_{r,2}$ der Länge der Heizphase t_h zur Länge der zweiten Messphase $t_{r,2}$ über mindestens zwei Messzyklen konstant und größer 1 gehalten wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Messphase $t_{r,1}$ unmittelbar der Heizphase t_h nachfolgt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

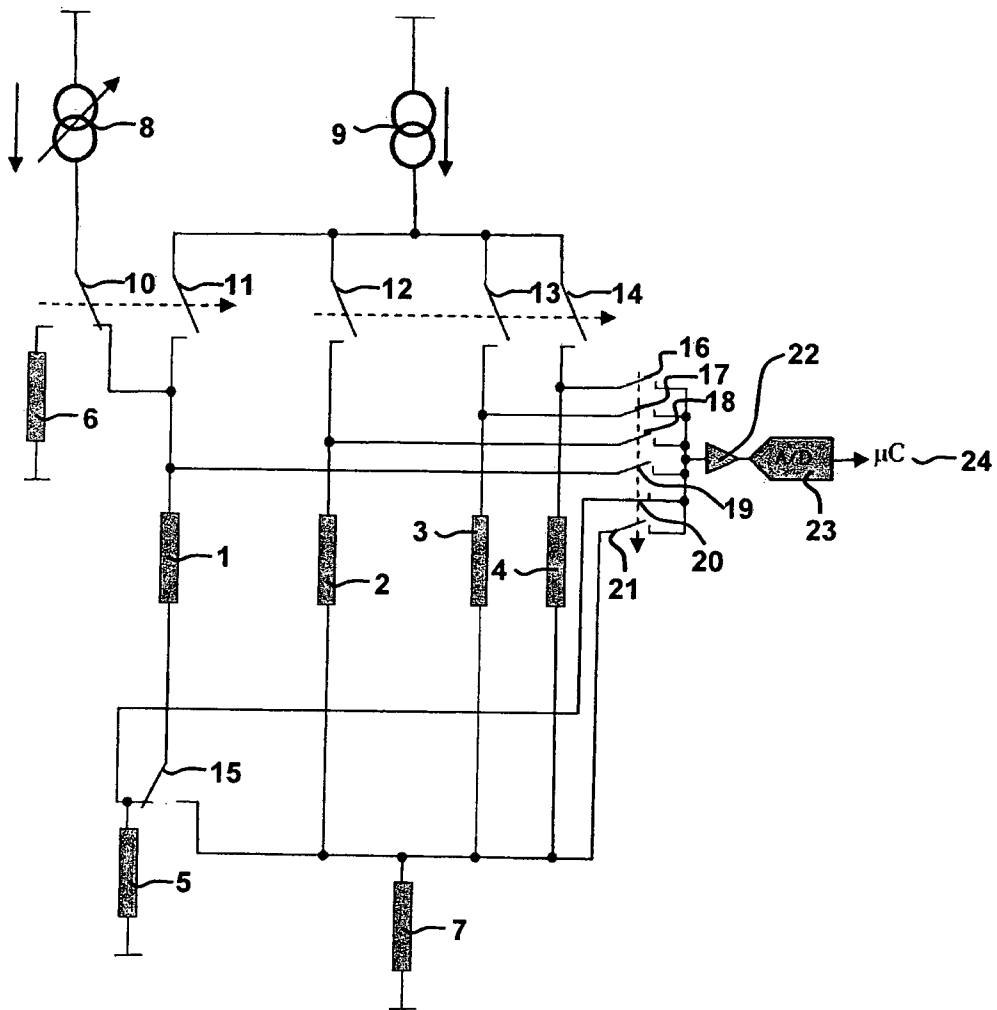


Fig. 1

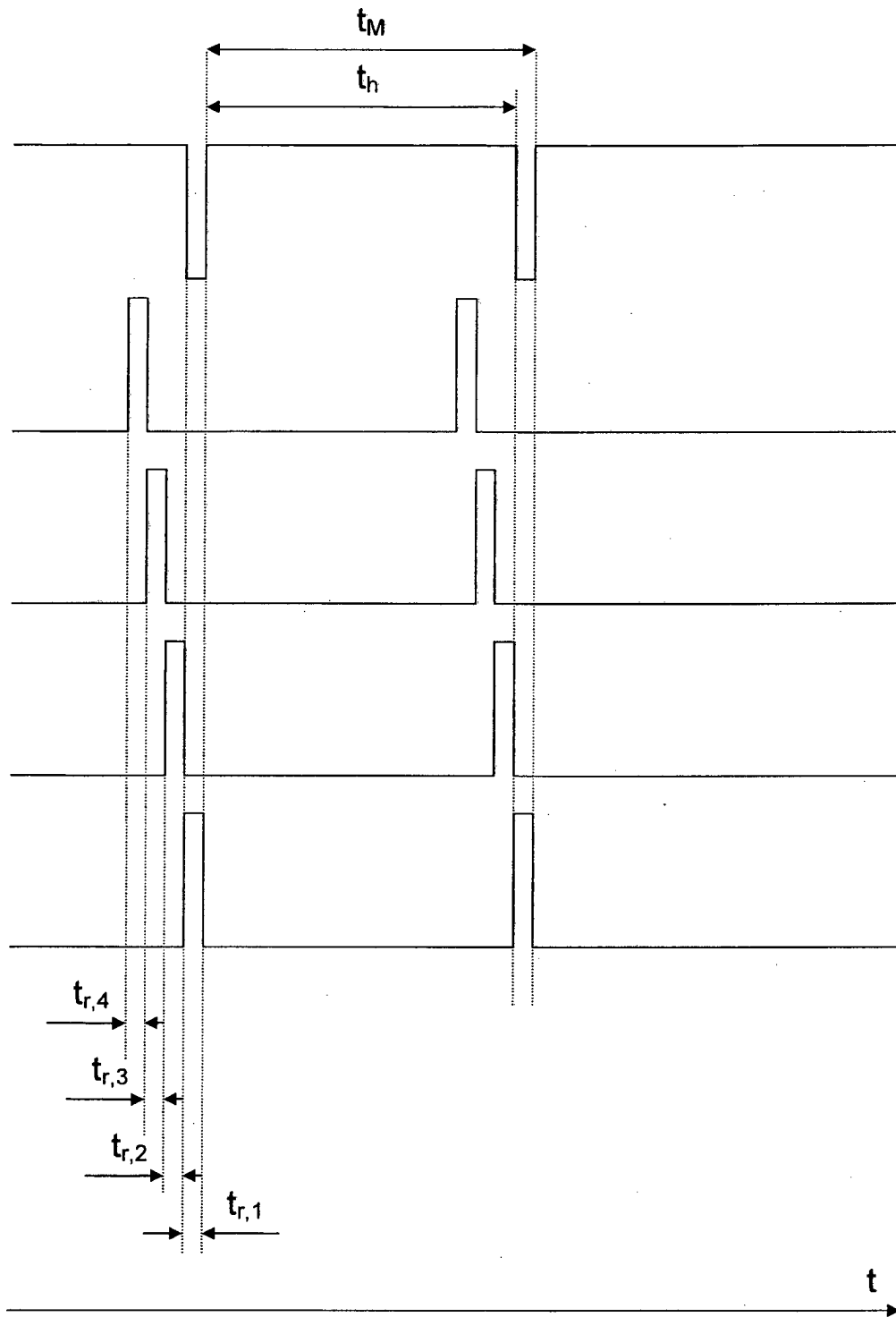


Fig. 2

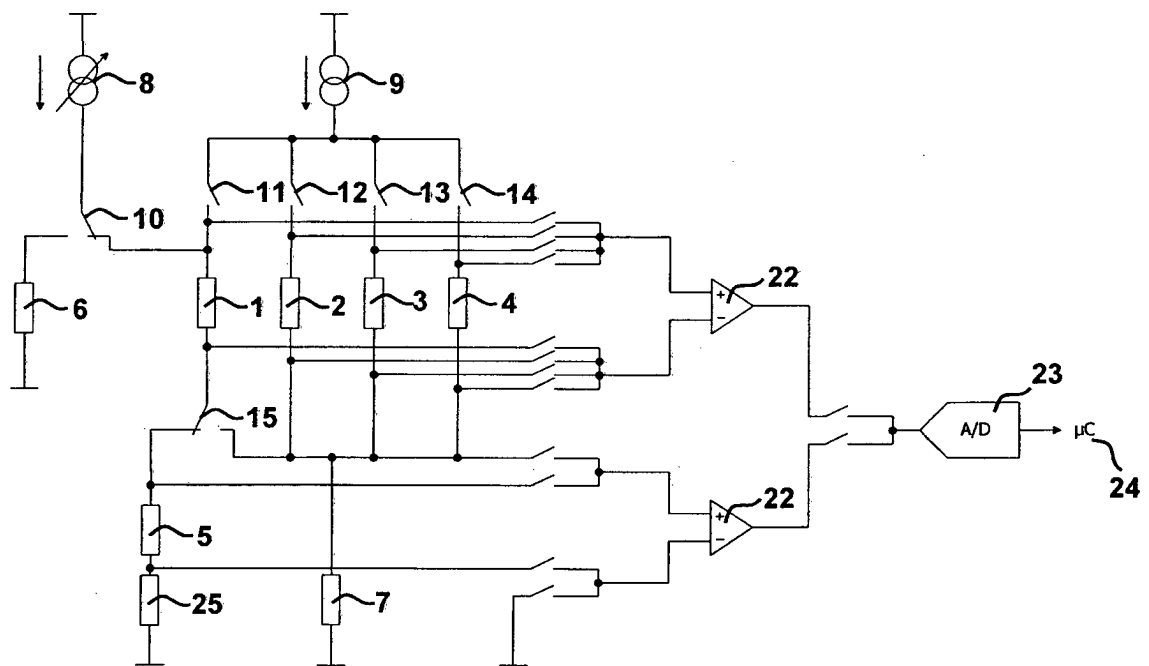


Fig. 3

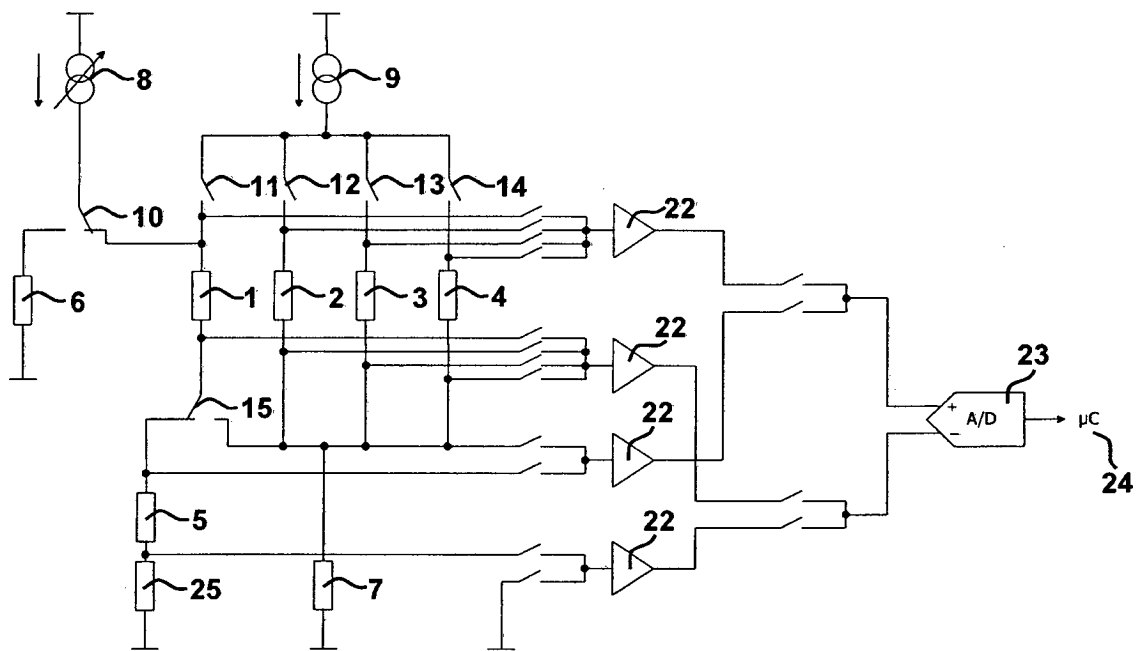


Fig. 4

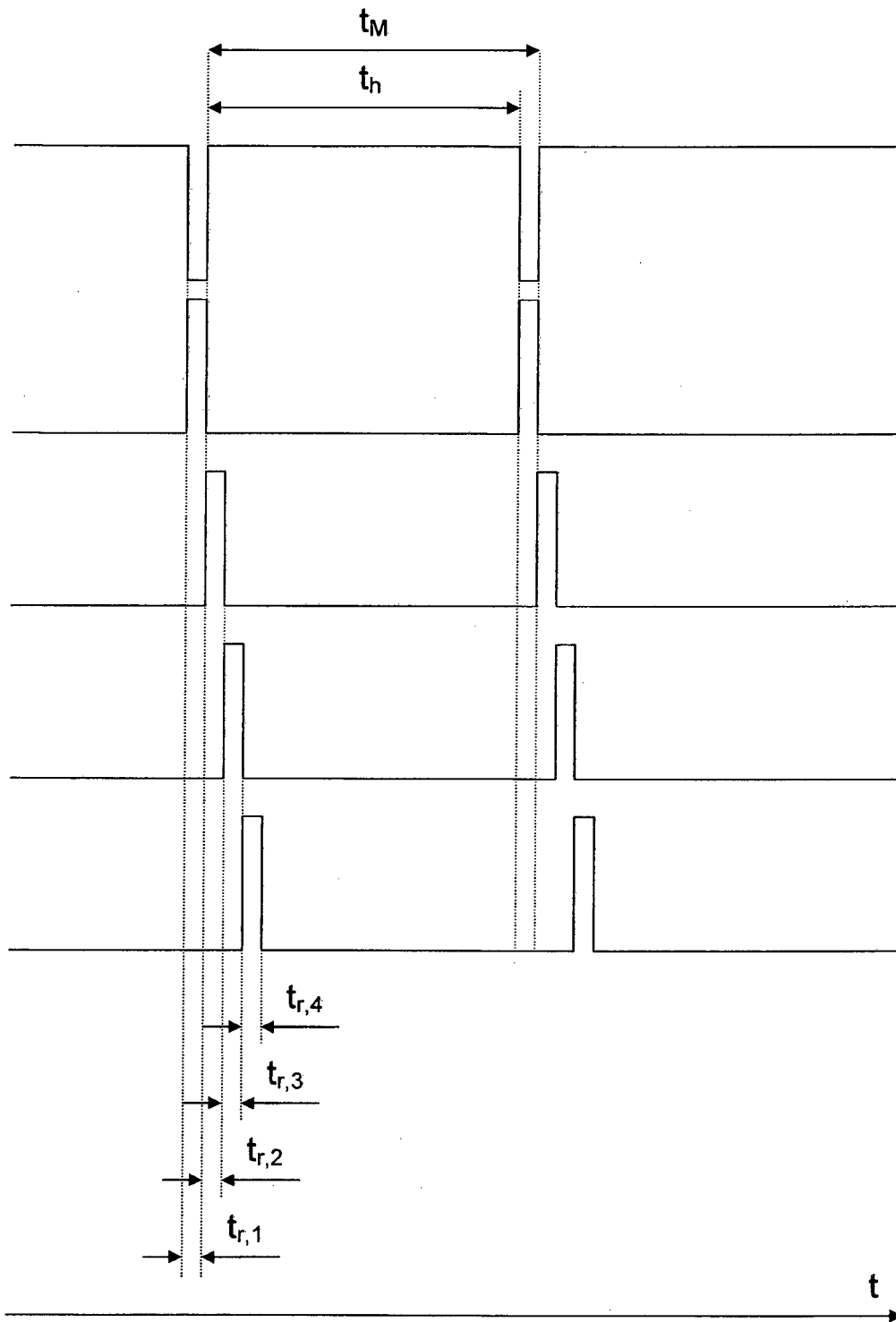


Fig. 5