



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 019 705 B3 2007.06.14**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 019 705.4**
 (22) Anmeldetag: **27.04.2006**
 (43) Offenlegungstag: –
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **14.06.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 21/35 (2006.01)**
G01D 3/02 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Tyco Electronics Raychem GmbH, 85521
 Ottobrunn, DE**

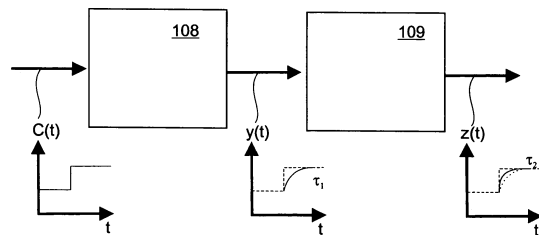
(72) Erfinder:
Frodl, Robert, 81825 München, DE

(74) Vertreter:
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
 Schwanhäusser, 80538 München**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 31 29 827 A1
EP 05 03 511 A2
EP 02 52 578 A2
D102 0050 558607

(54) Bezeichnung: **Dynamisches Messwertfilter für eine Gassensoranordnung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Verarbeitung von zeitdiskreten Messwerten, die in ihrem Zeitverlauf mittels einer Exponentialfunktion beschreibbar sind, wobei das Verfahren ein Messwertfilter einsetzt. Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein derartiges Verfahren zur Anwendung in einer Gassensoranordnung (100) und auf eine zugehörige Gassensoranordnung. Um ein Verfahren zur Verarbeitung von zeitdiskreten Messwerten anzugeben, durch das ohne Veränderung der konstruktiven Gegebenheiten das Ansprechverhalten verbessert werden kann, wird ein Filterschritt durchgeführt, bei dem die im zeitlichen Abstand Δt erfassten Messwerte $y(t)$ der Detektoreinheit (108) in eine zeitdiskrete Ausgabefunktion $z(t)$, die ebenfalls einer Exponentialfunktion gehorcht, aber eine veränderte Zeitkonstante aufweist, umgerechnet werden. Erfindungsgemäß wird zur Berechnung des Ausgabewerts eine Summe aus einem ersten Messwert und einer gewichteten Differenz zwischen einem zweiten Messwert und dem ersten Messwert berechnet und der Summenwert als Ausgabewert verwendet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Verarbeitung von zeitdiskreten Messwerten, die in ihrem Zeitverlauf mittels einer Exponentialfunktion beschreibbar sind, wobei das Verfahren ein Messwertfilter einsetzt.

[0002] Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf ein derartiges Verfahren zur Anwendung in einer Gassensoranordnung und auf eine zugehörige Gassensoranordnung.

[0003] Bekannte Gassensoranordnungen umfassen eine strahlungsemitternde Strahlungsquelle, einen Gasmessraum, der mit einem Messgas, das mindestens einen zu messenden Analyten enthält, befüllbar ist, und mindestens eine Strahlung detektierende Detektoreinrichtung, die ein von der Anwesenheit und/oder der Konzentration des Analyten abhängiges Ausgangssignal erzeugt. Derartige Gassensoranordnungen sind für den Nachweis verschiedenster Analyte, beispielsweise Kohlendioxid oder Methan, bekannt. Herkömmliche Gassensoren basieren auf der Eigenschaft vieler polarer Gase, Strahlung im Infrarotwellenlängenbereich zu absorbieren. Dabei ist das IR-Licht in der Lage, die Moleküle durch Anregung von Rotations- und Vibrationschwingungen in angeregte Zustände zu bringen, indem es mit dem Dipolmoment des polaren Moleküls zusammenwirkt. Auf diese Weise wird die Wärmeenergie des IR-Lichts auf das Gas übertragen und in gleicher Weise die Intensität eines durch das Gasvolumen passierenden IR-Strahls verringert. Dabei tritt entsprechend der Anregungszustände die Absorption in einer jeweils für das betreffende Gas charakteristischen Wellenlänge auf, im Fall von CO₂ beispielsweise bei 4,25 µm.

[0004] Insbesondere die Kohlendioxiddetektion gewinnt heute in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen zunehmend an Bedeutung. So kann beispielsweise im Kraftfahrzeugbereich die Kohlendioxiddetektion dazu dienen, für eine Erhöhung der Energieeffizienz bei Heizung und Klimatisierung den CO₂-Gehalt der Innenraumluft zu überwachen, um nur bei Bedarf, d. h. bei erhöhter CO₂-Konzentration, eine Frischluftzufuhr über eine entsprechende Lüfterklappenansteuerung zu veranlassen. Darüber hinaus basieren moderne Kraftfahrzeugklimaanlagen auch auf CO₂ als Kühlmittel, so dass CO₂-Gassensoren im Kraftfahrzeugbereich eine Überwachungsfunktion im Zusammenhang mit austretendem CO₂ bei eventuellen Defekten erfüllen können. Insbesondere im Kraftfahrzeugbereich müssen Gassensoren höchsten Anforderungen an Robustheit, Zuverlässigkeit und Miniaturisierbarkeit genügen. Für Sicherheitsanwendungen darf außerdem die Ansprechzeit des Sensors bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten.

[0005] Das Ausgangssignal bekannter Detektoreinrichtungen, wie sie beispielsweise in der deutschen Patentanmeldung DE 10 2005 055.860.7 gezeigt sind, kann ganz allgemein als Antwort auf eine sprunghafte Konzentrationsänderung durch eine Exponentialfunktion gemäß der nachfolgenden Gleichung (1) beschrieben werden.

$$y(t) = y_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1)$$

[0006] Dabei bezeichnet $y(t)$ das vom Detektor ausgegebene Detektorsignal zu einem Zeitpunkt t , y_0 den Endwert, an den sich das Detektorsignal annähert, und τ die Zeitkonstante der Exponentialfunktion.

[0007] Um das Ansprechverhalten des Gassensors zu charakterisieren, wird in der Praxis meist nicht die Zeitkonstante τ , welche die Tangente an die Exponentialfunktion im Nullpunkt bezeichnet, sondern die so genannte t_{90} -Zeit verwendet, die denjenigen Zeitpunkt beschreibt, zu dem das Detektorsignal 90 % des Endwerts y_0 erreicht hat. Üblicherweise wird eine t_{90} -Zeit von weniger als 10 Sekunden bei Sicherheitsanwendungen eines Gassensors gefordert.

[0008] Verschiedene konstruktive Randbedingungen, auf die im Folgenden noch genauer eingegangen werden soll, haben aber zur Folge, dass die t_{90} -Zeit bei bekannten Gassensoren oft zu lang ist.

[0009] Beispielsweise verursacht der Einsatz einer Filtermembran an der Einlassöffnung, wie dies zum Schutz vor Verschmutzungen erforderlich ist, grundsätzlich durch die verlangsamte Eindiffusion ein langsameres Ansprechen des Gassensors. Die stringenten Anforderungen an die Miniaturisierung des Gassensors verringern weiterhin die Abmessungen der Eintrittsöffnung für das Messgas und führen ebenfalls zu erhöhten Ansprechzeiten.

[0010] Um die Empfindlichkeit des Sensors zu erhöhen, wird in der deutschen Patentanmeldung DE 10 2005 055 860.7 vorgeschlagen, eine rotationssymmetrische Küvette zu verwenden. Dies impliziert aber eine verlängerte Gasmischzeit und damit nochmals eine Erhöhung der Ansprechzeit. Somit haben bekannte Gassensoren den Nachteil, dass die t_{90} -Zeit über den für Sicherheitsanwendungen geforderten Grenzwerten liegt.

[0011] Demgegenüber soll an den konstruktiven Gegebenheiten möglichst wenig geändert werden, da ansonsten wieder andere Nachteile, wie eine unzureichende Empfindlichkeit, in Kauf genommen werden müssen.

[0012] Die Aufgabe, die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegt, besteht daher darin, ein Verfahren zur Verarbeitung von zeitdiskreten Messwerten anzugeben, durch das ohne Veränderung der konstruktiven Gegebenheiten das Ansprechverhalten verbessert werden kann.

[0013] Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Patentansprüche.

[0014] Dabei basiert die vorliegende Erfindung auf der Idee, dass ein verbessertes Zeitverhalten der gesamten Gassensoranordnung durch Verwendung eines Filterschritts erreicht werden kann, bei dem die im zeitlichen Abstand Δt erfassten Messwerte der Detektoreinheit umgerechnet werden in eine zeitdiskrete Ausgabefunktion, die ebenfalls einer Exponentialfunktion gehorcht, aber eine veränderte Zeitkonstante aufweist. Aufgrund der exponentiellen Sprungantwort und der zeitdiskreten Arbeitsweise des Gassensors kann dabei auf eine einfache Art und Weise ein zusätzlicher differentieller Anteil in das Messsignal eingebracht werden, so dass das Sensorsystem als solches eine schnellere Zeitkonstante aufweist.

[0015] Erfindungsgemäß wird zur Berechnung des Ausgabewerts eine Summe aus einem ersten Messwert und einer gewichteten Differenz zwischen einem zweiten Messwert und dem ersten Messwert berechnet und der Summenwert als Ausgabewert verwendet. Das heißt, der Ausgabewert berechnet sich als die Summe aus dem vorherigen Messwert und der mit einem Gewichtungsfaktor D multiplizierten Differenz aus dem aktuellen Messwert und dem vorherigen Messwert. Diesen Zusammenhang beschreibt die nachfolgende Gleichung (2):

$$z(t_i) = y_{i-1} + D \cdot (y_i - y_{i-1}) \quad (2)$$

[0016] Dabei bezeichnet $z(t_i)$ in einer zeitdiskreten Folge von Ausgabewerten den aktuell auszugebenden Wert, y_{i-1} den Detektorwert zu einem ersten Zeitpunkt, y_i den Detektorwert zu einem zweiten Zeitpunkt, der um die Zeitdistanz Δt von dem ersten Zeitpunkt verschieden ist, und D den Gewichtungsfaktor.

[0017] Der Gewichtungsfaktor D kann entweder ein fester Wert sein, mit dem sich ein $\tau_2 \rightarrow 0$ einstellen lässt. Alternativ kann der Gewichtungsfaktor D auch eine Funktion sein, die von der Differenz Δy , d. h. der Differenz aus dem aktuellen Messwert und dem vorherigen Messwert, abhängig ist. Durch Verwendung eines solchen angepassten Gewichtungsfaktors kann beispielsweise eine neue konstante Zeitkonstante τ_2 eingestellt werden und es kann zusätzlich z. B. verhindert werden, dass bei kleinen Änderungen das Rauschen übermäßig erhöht wird.

[0018] Verwendet man beispielsweise $D = 0,5$ als konstanten Gewichtungsfaktor, so entspricht dies einer Mittelwertbildung und vermindert das Rauschen.

[0019] Die erfindungsgemäße Lösung hat den Vorteil, dass auf einen sprunghaften Anstieg der Gaskonzentration ein schnelleres Ansprechen des Sensors gewährleistet werden kann, ohne konstruktive Maßnahmen ergreifen zu müssen.

[0020] Die vorteilhaften Eigenschaften der erfindungsgemäßen Messwertverarbeitung können insbesondere bei Gassensoranordnungen ausgenutzt werden, die für die Detektion von Kohlendioxid, beispielsweise im Kraftfahrzeugbereich, sowohl zur Überwachung auf aus Leckstellen austretendes CO_2 wie auch zur Überprüfung der Luftqualität im Fahrgastinnenraum. Selbstverständlich können die erfindungsgemäßen Prinzipien aber auch in Zusammenhang mit der Detektion beliebiger anderer Gase eingesetzt werden und sind für alle Sensoren von Bedeutung, bei denen ein Messsignal einer Exponentialfunktion mit einer ersten Zeitkonstante gehorcht und Ausgabewerte gewonnen werden sollen, die einer Exponentialfunktion mit veränderter Zeitkonstante gehorchen.

[0021] Anhand der in den beiliegenden Zeichnungen dargestellten vorteilhaften Ausgestaltungen wird die Er-

findung im Folgenden näher erläutert. Ähnliche oder korrespondierende Einzelheiten des erfindungsgemäßen Gegenstands sind mit denselben Bezugszeichen versehen. Es zeigen:

[0022] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung einer Detektoreinheit mit einem erfindungsgemäßen Filter;

[0023] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung einer Gassensoreinheit, die ein Filterverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung einsetzt;

[0024] [Fig. 3](#) eine Darstellung des Zeitverlaufs des Detektorsignals, der Ausgabewerte und der tatsächlich auftretenden Konzentrationsänderung in Abhängigkeit von der Zeit;

[0025] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung des Zeitverlaufs für verschiedene Gewichtungsfaktoren D ;

[0026] [Fig. 5](#) einen Ausschnitt der [Fig. 4](#) mit verändertem Maßstab;

[0027] [Fig. 6](#) verschiedene Gewichtungsfaktoren in Abhängigkeit von der Differenz zwischen zwei Detektorsignalen;

[0028] [Fig. 7](#) eine schematische Darstellung einer Gassensoranordnung mit zwei Strahlungsquellen.

[0029] Der Aufbau der erfindungsgemäßen Gassensoranordnung und die Wirkungsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verarbeitung von zeitdiskreten Messwerten soll im Folgenden mit Bezug auf die Figuren näher erläutert werden.

[0030] Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, erfasst eine Detektoreinheit **108** eine Gaskonzentration $C(t)$, die hier näherungsweise als Sprungfunktion angenommen werden kann. Selbstverständlich muss es sich bei dem Eingangssignal für die Detektoreinheit **108** aber nicht speziell um eine Gaskonzentration handeln, sondern es kann jeder beliebige Sensor gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung in seinem Zeitverhalten beeinflusst werden.

[0031] Die Detektoreinheit **108** liefert ein zeitdiskretes Detektorsignal, das einer ersten Exponentialfunktion $y(t)$ gehorcht und eine im Vergleich zur Sprungfunktion verlangsamtete Antwort mit einer Zeitkonstante τ_1 aufweist. Analog zu der allgemeinen Formulierung der Gleichung (1) lässt sich die Gleichung für das Detektorsignal gemäß der nachfolgenden Gleichung (3) formulieren:

$$y(t) = y_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \quad (3)$$

[0032] Dabei ist das erfindungsgemäße Detektorsignal dadurch definiert, dass es aus zeitdiskreten Messwerten $y(t_i)$ besteht, die mit einem zeitlichen Abstand von Δt gewonnen werden.

[0033] Um ein schnelleres Sensorverhalten erzielen zu können, wird erfindungsgemäß nicht unmittelbar das Detektorsignal als Ausgabesignal verwendet, sondern das Detektorsignal wird einer Filtereinheit **109** zugeführt, die eine Umrechnung des Detektorsignals $y(t)$ in das Ausgabesignal $z(t)$ vornimmt. Wie in [Fig. 1](#) angedeutet, besitzt das Ausgabesignal $z(t)$ vorzugsweise eine kürzere Einschwingzeit τ_2 .

[0034] Die Rechenvorschrift für die Umrechnung des Detektorsignals in das Ausgabesignal ist dabei erfindungsgemäß durch Gleichung (2) gegeben:

$$z(t_i) = y_{i-1} + D \cdot (y_i - y_{i-1}) \quad (2)$$

[0035] [Fig. 2](#) zeigt im Überblick eine Gassensoranordnung, welche die erfindungsgemäße Filtereinheit verwendet. Wie in dieser Figur dargestellt, umfasst die erfindungsgemäße Gassensoranordnung **100** eine Strahlungsquelle **102**, hier eine breitbandige Infrarotstrahlungsquelle. Prinzipiell handelt es sich bei der gezeigten Gassensoranordnung **100** um einen sogenannten NDIR (non-dispersive infrared)-Sensor. Die wesentlichen Komponenten sind neben der Infrarotstrahlungsquelle **102** der Gasmessraum **104**, ein Wellenlängenfilter **106** sowie als Detektoreinheit **108** ein Infrarotdetektor. Das Messgas **110**, das auf die zu detektierende Gaskomponente überprüft werden soll, wird in den Gasmessraum **104** gepumpt oder diffundiert in ihn hinein, was durch die Ein- und Auslässe **112**, **114** symbolisiert ist. Das Vorhandensein und/oder die Konzentration des gesuchten

Gases kann, wie oben erläutert elektrooptisch über die Absorption einer spezifischen Wellenlänge im Infrarotbereich bestimmt werden. Wie in [Fig. 2](#) angedeutet, kann die Konzentration des gesuchten Gases im Zeitbereich durch eine Sprungfunktion angenähert werden.

[0036] Dabei wird die ausgesendete Infrarotstrahlung **116** durch den Gasmessraum **104** hindurch zu der Detektoreinheit **108** geleitet. An der Detektoreinheit **108** ist ein optisches Filter angeordnet, das nur den Wellenlängenbereich hindurchlässt, in welchem die zu detektierenden Gasmoleküle absorbieren. Andere Gasmoleküle absorbieren normalerweise bei dieser spezifischen Wellenlänge kein Licht und beeinflussen daher auch nicht die Strahlungsmenge, die zu der Detektoreinheit **108** gelangt. Als Detektoreinheit können alle geeigneten Infrarotdetektoren verwendet werden und das erfindungsgemäße kann einem jeweiligen Detektortyp angepasst werden.

[0037] Beispielsweise kann es sich bei dem Detektor um ein Pyroelement, einen Infrarotthermopile oder um eine Photodiode handeln. Dabei sollte der jeweils geeignete Detektor entsprechend den jeweiligen Anforderungen gewählt werden. So bietet die Photodiode den Vorteil, dass sie ein vergleichsweise kostengünstiges Bauteil darstellt, während die Thermosäule, wie der Thermopiledetektor auch genannt wird, den Vorteil einer besonders hohen und gleichmäßigen Absorption der Strahlung im selektierten Spektralbereich bietet. Pyroelektrische Sensoren schließlich haben den Vorteil einer sehr hohen Empfindlichkeit und einer miniaturisierten Herstellbarkeit.

[0038] Erfindungsgemäß wird das Infrarotsignal von der Strahlungsquelle **102** gepulst, um thermische Hintergrundsignale aus dem gewünschten Signal herausfiltern zu können. Somit liegen die von der Detektoreinheit gelieferten Messwerte in Form von zeitdiskreten Werten $y(t)$ vor, die, wie in [Fig. 2](#) angedeutet, einer Exponentialfunktion mit einer ersten Zeitkonstante τ_1 genügen.

[0039] Eine Steuerung **120** steuert zum einen die Strahlungsquelle **102** an und empfängt zum anderen die Detektorsignale der Detektoreinheit **108** und verarbeitet diese gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung weiter. Insbesondere umfasst die Steuerung eine Filtereinheit **109**, welche die Umrechnung des Detektorsignals $y(t)$ in ein Ausgabesignal $z(t)$ mit kürzerer Zeitkonstante τ_2 durchführt. Wie in [Fig. 2](#) schematisch angedeutet, umfasst die Filtereinheit **109** eine Speichereinheit **122** zum Speichern der Messwerte und eine Berechnungseinheit **124**, in der die Umrechnung gemäß der Filterfunktion stattfindet. Selbstverständlich können diese beiden Einheiten aber auch in bereits in der Steuerung **120** anderweitig verwendeten Speichereinheiten und Berechnungseinheiten, z. B. Mikrocontrollern, implementiert sein.

[0040] [Fig. 3](#) zeigt die in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) statisch dargestellten Zeitfunktionen $C(t)$, $y(t)$ und $z(t)$ im Detail. Mit Bezug auf diese Grafik soll der Gewichtungsfaktor D in der Gleichung (2) im Folgenden hergeleitet werden.

[0041] Zunächst ist anzumerken, dass die vorliegende Erfindung von der Randbedingung ausgeht, dass nur ein aktueller und der zuletzt gemessene Wert zur Verfügung stehen. Wie in [Fig. 3](#) dargestellt, sind die einzelnen Messwerte jeweils durch einen definierten zeitlichen Abstand Δt , beispielsweise 2,5 Sekunden, voneinander getrennt. Für die folgenden Berechnungen wird angenommen, dass sich die Gaskonzentration $C(t)$ sprunghaft innerhalb eines Zeitintervalls Δt von 0 auf 100 % ändert. Dabei ist zu beachten, dass die in [Fig. 3](#) eingezeichneten Signalverläufe aus Gründen der Übersichtlichkeit auf $y_0 = 100$ normiert sind. Die Kurve $y(t)$ gehorcht der bereits erwähnten Gleichung (3), wobei die Zeitkonstante τ_1 , wie dies allgemein bekannt ist, über die folgende Beziehung (4) mit der t_{90} -Zeit korreliert ist:

$$\tau_1 = -\frac{t_{90}}{\ln 0,1} \quad (4)$$

[0042] Das heißt, um erfindungsgemäß eine kürzere t_{90} -Zeit zu erreichen, muss die Einschwingzeit τ ebenfalls verkürzt werden. Schematisch ist eine solche Funktion mit verringertem τ_2 als Ausgabewertfunktion $z(t)$ in [Fig. 3](#) dargestellt. Die Funktion $z(t)$ gehorcht der nachfolgenden Gleichung (5):

$$z(t) = y_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) \quad (5)$$

[0043] Da erfindungsgemäß der erreichte Endwert y_0 unverändert bleiben soll, entspricht er in Gleichung (5) dem Endwert y_0 aus Gleichung (3). Der grundsätzliche exponentielle Funktionsverlauf ist ebenfalls durch denselben Funktionsterm gegeben wie in Gleichung (1). Erfindungsgemäß wird lediglich das durch die Detektor-

einheit erzielte τ_1 durch das kürzere τ_2 der Gleichung (5) ersetzt. Wie im Folgenden hergeleitet werden soll, wird die Umrechnung von einem aktuellen Messwert $y(t_i)$ unter Verwendung des vorangegangenen Messwerts $y(t_{i-1})$ in einen aktuellen Ausgabewert $z(t_i)$ über die Gleichung (2) durchgeführt.

[0044] Hierzu werden die folgenden Definitionen verwendet: $t = t_{i-1}$ ist ein erster Zeitpunkt, zu dem eine Messung durchgeführt wird; $t + \Delta t = t_i$ ist ein zweiter Zeitpunkt, der um Δt später als t_{i-1} liegt, und zu dem eine zweite Messung durchgeführt wird. Die Differenz der Messwerte zu den beiden Zeitpunkten wird mit Δy bezeichnet.

[0045] Unter Verwendung dieser Nomenklatur und unter Verwendung der Gleichungen (3) und (5) soll im Folgenden der Ausdruck für den Gewichtungsfaktor D hergeleitet werden. Für die zu den jeweiligen ersten und zweiten Zeitpunkten gemessenen ersten und zweiten Messwerte kann man schreiben:

$$y_1 = y_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \quad (6)$$

$$y_2 = y_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{(t+\Delta t)}{\tau_1}} \right) \quad (7)$$

[0046] Daraus folgt für die Differenz Δy der beiden Messwerte:

$$\Delta y = y_0 \cdot \left(e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{(t+\Delta t)}{\tau_1}} \right) \quad (8)$$

[0047] Setzt man nun Gleichungen (6) und (8) sowie den aus Gleichung (5) gewonnenen Ausdruck

$$z_2 = y_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{(t+\Delta t)}{\tau_2}} \right) \quad (5')$$

in Gleichung (2) ein, so ergibt sich nach entsprechendem Auflösen der folgende allgemeine Ausdruck für D :

$$D = \frac{e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{(t+\Delta t)}{\tau_2}}}{e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{(t+\Delta t)}{\tau_1}}} \quad (9)$$

[0048] Ein wesentlicher Grenzfall ist der Fall, in dem τ_2 als 0 angenommen wird, d. h. der Fall, dass ein idealer Sensor erreicht wird, der die Sprungfunktion $C(t)$ exakt nachbildet.

[0049] Es wird der Grenzwert des Ausdrucks D für τ_2 gegen 0 gebildet und es ergibt sich der folgende vereinfachte Ausdruck für D , der nicht mehr von dem Zeitpunkt t abhängig ist:

$$\lim_{\tau_2 \rightarrow 0} D = \frac{1}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_1}}} \quad (10)$$

[0050] Setzt man für τ_1 beispielsweise 9,8 Sekunden und für Δt 2,5 Sekunden ein, so nimmt der Gewichtungsfaktor D den Wert 4,17 an.

[0051] Für beliebige τ_2 ist eine weitere Umformung zweckmäßig, damit die Berechnung von D möglich ist. Zunächst stellt man Gleichung (6) so um, dass der Zeitpunkt t in Abhängigkeit von y_0 und y_1 ausgedrückt ist:

$$e^{-\frac{t}{\tau_1}} = 1 - \frac{y_1}{y_0} \quad (11)$$

und nach beidseitigem Logarithmieren:

$$t = -\tau_1 \cdot \ln\left(1 - \frac{y_1}{y_0}\right) \quad (12)$$

[0052] Setzt man die Gleichungen (11) und (12) für die Ausdrücke

$$e^{-\frac{t}{\tau_1}}$$

beziehungsweise t in Gleichung (9), so ergibt sich für den Gewichtungsfaktor D der allgemeine Ausdruck:

$$D = \frac{1 - \frac{y_1}{y_0} - e^{-\frac{\tau_1}{\tau_2} \cdot \ln\left(1 - \frac{y_1}{y_0}\right)} \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau_2}}}{\left(1 - \frac{y_1}{y_0}\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_1}}\right)} \quad (13)$$

[0053] Der Ausgabewert wird also mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert, der wiederum von dem vorhergehenden Messwert abhängig ist.

[0054] Die [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#) zeigen Simulationsergebnisse mit zwei verschiedenen Werten für den Gewichtungsfaktor D im Vergleich zu dem tatsächlichen Messwertverlauf **401** des Detektors, wobei die [Fig. 5](#) einen vergrößerten Ausschnitt der [Fig. 4](#) darstellt. Dabei entspricht die Kurve **402** einem Gewichtungsfaktor $D = 4,17$, der annähernd dem Grenzwert für $\tau_2 \rightarrow 0$ entspricht, so dass die Kurve **402** eine wesentlich kürzere Zeitkonstante aufweist als das Detektorsignal **401**. Die Simulationsergebnisse zeigen allerdings für diesen Fall ein leichtes Überschwingen, so dass eine Anpassung mit geringeren D -Werten sinnvoll erscheint. Die Kurve **403** repräsentiert die Ausgabewerte für einen solchen Gewichtungsfaktor $D = 2,23$.

[0055] Eine weitere Randbedingung beim Betrieb eines Gassensors in einer Kraftfahrzeuganwendung ist die Sicherheitsanforderung, dass eine Anstiegsflanke mit der Konzentrationsänderung von 1000 ppm pro Sekunde mindestens noch erkennbar sein muss. Andererseits sollte die Umrechnung auf das beschleunigte Ausgabesignal bei sehr geringen Abweichungen zwischen dem ersten und dem zweiten Messwert Δy möglichst noch nicht erfolgen, um ein zu starkes Rauschen zu verhindern.

[0056] Es lässt sich zeigen, dass in Abhängigkeit von dem absoluten Wert für Δy verschiedene Gewichtungsfaktoren D sinnvoll sein können. Diese Zusammenhänge sind in [Fig. 6](#) dargestellt. Für Werte unterhalb eines definierten Δy_{\min} werden zweckmäßigerweise niedrigere D -Werte gewählt, um den Sensor träger zu gestalten, und so ein übermäßiges Rauschen und Überschwingen zu vermeiden.

[0057] Oberhalb des definierten Wertes Δy_{\min} ist erstrebt, dass die Ansprechzeit schnell ist, daher erfolgt oberhalb dieses Minimalwertes die Filterung mit höheren D -Werten. Näherungsweise kann man den minimalen Δy -Wert, bis zu dem der Sensor eher träge sein soll, mit der folgenden Gleichung (14) berechnen.

$$\Delta y_{\min} = y_s \cdot \left(1 - e^{-\frac{-\Delta t}{\tau_1}}\right) \quad (14)$$

[0058] Für den Fall, dass eine Flanke von 1000 ppm pro Sekunde erreicht werden soll und der Abstand zwischen zwei Messungen 2,5 Sekunden beträgt, ist $y_s = 2500$ ppm und es ergibt sich mit $\tau_1 = 22,5$ s der Wert Δy_{\min} zu 564 ppm. Wenn der reale Zeitkonstantenwert τ_1 noch niedriger liegt, beispielsweise bei 40 Sekunden, erniedrigt sich Δy_{\min} auf 335 ppm.

[0059] Wie in [Fig. 6](#) dargestellt, muss erfindungsgemäß der D -Wert, der zu einer beschleunigten Systemantwort führt, spätestens für $\Delta y = \Delta y_{\min}$ erreicht werden. Dabei kann dies, wie beispielhaft als Kurve **601** dargestellt, durch eine einfache Stufenfunktion erreicht werden, es können aber auch komplexere Abhängigkeiten $D(\Delta y_{\min})$, die im folgenden unter Bezug auf die Kurven **602** bis **605** erläutert werden sollen, gewählt werden.

[0060] Die Stufenfunktion **601** verwendet einen konstanten Wert von $D = 0,5$ solange, bis sich Δy aus dem Rauschen **610** (hier wird beispielhaft der Wert 2σ gewählt) hervorhebt. Die Filterung mit $D = 0,5$ entspricht einer einfachen Mittelwertbildung. Für $\Delta y > \Delta y_{\min}$ wird für D ein Wert zwischen $D = 1$ und

$$D = \frac{1}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_1}}}$$

gesetzt, so dass die Ausgabewerte eine verringerte Zeitkonstante τ_2 aufweisen.

[0061] Die Kurve **602** skizziert den Fall, in dem der neue D-Wert bereits nach 1σ langsam in Form einer linear ansteigenden Abhängigkeit von Δy angenähert wird.

[0062] Eine solche lineare Abhängigkeit könnte auch, wie als Kurve **603** skizziert, bereits bei $\Delta y = 0$ beginnen und bis zu einem Wert von

$$D = \frac{1}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_1}}},$$

der spätestens für $\Delta y = \Delta y_{\min}$ erreicht sein muss, ansteigen. Grundsätzlich lassen sich in der Berechnungseinheit **224** des erfindungsgemäßen Filters **109** beliebige Abhängigkeiten realisieren, wie dies durch den geschwungenen Verlauf der Kurve **605** angedeutet ist.

[0063] Für D-Werte

$$D > \frac{1}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_1}}}$$

(gekennzeichnet durch den Bereich **606** in [Fig. 6](#)) zeigt das System ein starkes Überschwingen, während in dem Bereich **607**, d. h. für

$$1 < D < \frac{1}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_1}}},$$

die erfindungsgemäße Verkürzung der Einschwingzeit erreicht wird. In dem Bereich **608**, d. h. für D-Werte zwischen 1 und 0,5, wird das System träger, als es die Einschwingzeit des Detektors eigentlich vorgibt, und für Werte unter $D = 0,5$ (Bereich **609**) „hängt“ der Sensor an dem jeweils vorangegangenen Messwert.

[0064] Mit der erfindungsgemäßen Messwertfilterung kann insbesondere im Zusammenhang mit Gassensoren ein schnelleres Ansprechen des gesamten Sensorsystems auf sprunghaft erhöhte Gaskonzentrationswerte erfolgen. Obwohl im Vorangegangenen stets der Spezialfall eines NDIR-CO₂-Sensors beschrieben wurde, ist klar, dass die vorliegende Erfindung an alle Sensorsysteme angepasst werden kann, bei denen eine exponentielle Annäherung an einen Endwert erfolgt und bei denen die Messwerte in zeitdiskreter Form vorliegen.

[0065] Weiterhin basieren die oben durchgeführten Berechnungen ausschließlich auf der Annahme, dass sich das Messsignal, ausgehend von dem Startwert 0, positiv ansteigend an den Endwert y_0 annähert. Es lässt sich aber zeigen, dass die erfindungsgemäßen Prinzipien analog auch auf den Fall eines exponentiellen Abklingens gemäß der allgemeinen Gleichung

$$y(t) = (b - a) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} + a \tag{15}$$

übertragen werden können, wobei b den Startwert des abklingenden Signals und a den Endwert, an den sich das Signal für $t \rightarrow \infty$ annähert, bezeichnet.

[0066] Schließlich wurde im Vorangegangenen stets von einer Gassensoranordnung mit nur einer Strahlungsquelle und nur einem Detektor ausgegangen. Selbstverständlich können auch alle bekannten Referenzierungsprinzipien, wie beispielsweise von zwei Strahlungsquellen oder von mehr als einem Detektor eingesetzt werden. Beispielhaft zeigt die [Fig. 7](#) schematisch eine solche Anordnung mit zwei Strahlungsquellen, die zum Eliminieren von Alterungserscheinungen in der Infrarotstrahlungsquelle verwendet werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verarbeitung von zeitdiskreten Messwerten, die in ihrem Zeitverlauf mittels einer ersten Exponentialfunktion, die eine erste Zeitkonstante hat, beschreibbar sind, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Erfassen der Messwerte in einem definierten zeitlichen Abstand und Speichern mindestens eines ersten Messwerts zu einem ersten Zeitpunkt und eines zweiten Messwerts zu einem zweiten Zeitpunkt, wobei der erste und der zweite Messwert den definierten zeitlichen Abstand zueinander haben;

Filtern der Messwerte zum Erzeugen von zeitdiskreten Ausgabewerten, die in ihrem Zeitverlauf mittels einer zweiten Exponentialfunktion beschreibbar sind, wobei die zweite Exponentialfunktion eine zu der ersten Zeitkonstante unterschiedliche zweite Zeitkonstante hat;

Ausgeben der Ausgabewerte;

wobei der Schritt des Filterns umfasst:

Berechnen einer Summe aus dem ersten Messwert und einer gewichteten Differenz zwischen dem zweiten Messwert und dem ersten Messwert, wobei die Summe den Ausgabewert bildet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die gewichtete Differenz durch Multiplizieren der Differenz mit einem konstanten Faktor gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die gewichtete Differenz durch Multiplizieren der Differenz mit einem einstellbaren Faktor gebildet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der einstellbare Faktor in Abhängigkeit von einem Wert der Differenz zwischen dem zweiten Messwert und dem ersten Messwert bestimmt wird.

5. Filter für ein Sensorsystem, das zeitdiskrete Messwerte, die in ihrem Zeitverlauf mittels einer ersten Exponentialfunktion, die eine erste Zeitkonstante hat, beschreibbar sind, liefert, wobei das Filter (**109**) umfasst: eine Speichereinheit (**122**) zum Speichern mindestens eines ersten Messwerts zu einem ersten Zeitpunkt und eines zweiten Messwerts zu einem zweiten Zeitpunkt, wobei der erste und der zweite Messwert einen definierten zeitlichen Abstand zueinander haben;

eine Berechnungseinheit (**124**) zum Erzeugen von zeitdiskreten Ausgabewerten, die in ihrem Zeitverlauf mittels einer zweiten Exponentialfunktion beschreibbar sind, wobei die zweite Exponentialfunktion eine zu der ersten Zeitkonstante unterschiedliche zweite Zeitkonstante hat;

wobei die Berechnungseinheit angepasst ist, eine Summe aus dem ersten Messwert und einer gewichteten Differenz zwischen dem zweiten Messwert und dem ersten Messwert zu berechnen, und wobei die Summe den Ausgabewert bildet.

6. Gassensoranordnung mit mindestens einer Strahlung emittierenden Strahlungsquelle (**102**), einem Gasmessraum (**104**), der mit einem Messgas (**110**), das mindestens einen zu messenden Analyten enthält, befüllbar ist, mindestens einer die Strahlung detektierenden Detektoreinrichtung (**108**), die ein von der Anwesenheit und/oder der Konzentration des Analyten abhängiges Detektorsignal ($y(t)$) erzeugt, und mit einer Steuerungseinheit (**120**) zum Erfassen des Detektorsignals und zum Ausgeben eines Ausgangssignals ($z(t)$), wobei die Steuerungseinheit eine Filtereinheit (**109**) umfasst, die angepasst ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 durchzuführen.

7. Gassensoranordnung nach Anspruch 6, die dazu eingerichtet ist, gasförmige Analyten, vorzugsweise Kohlendioxid, nachzuweisen und/oder deren Konzentration zu bestimmen.

8. Verfahren zum Betrieb einer Gassensoranordnung mit mindestens einer Strahlung emittierenden Strahlungsquelle (**102**), einem Gasmessraum (**104**), der mit einem Messgas (**110**), das mindestens einen zu messenden Analyten enthält, befüllbar ist, mindestens einer die Strahlung detektierenden Detektoreinrichtung (**108**), die ein von der Anwesenheit und/oder der Konzentration des Analyten abhängiges Detektorsignal ($y(t)$) erzeugt, und mit einer Steuerungseinheit (**120**) zum Erfassen des Detektorsignals und zum Ausgeben eines Ausgangssignals ($z(t)$),

Erfassen der Messwerte in einem definierten zeitlichen Abstand und Speichern mindestens eines ersten Messwerts zu einem ersten Zeitpunkt und eines zweiten Messwerts zu einem zweiten Zeitpunkt, wobei der erste und der zweite Messwert den definierten zeitlichen Abstand zueinander haben;

Filtern der Messwerte zum Erzeugen von zeitdiskreten Ausgabewerten, die in ihrem Zeitverlauf mittels einer zweiten Exponentialfunktion beschreibbar sind, wobei die zweite Exponentialfunktion eine zu der ersten Zeitkonstante unterschiedliche zweite Zeitkonstante hat;

Ausgeben der Ausgabewerte;

wobei der Schritt des Filterns umfasst:

Berechnen einer Summe aus dem ersten Messwert und einer gewichteten Differenz zwischen dem zweiten Messwert und dem ersten Messwert, wobei die Summe den Ausgabewert bildet.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei gasförmige Analyten, vorzugsweise Kohlendioxid, nachgewiesen werden und/oder deren Konzentration bestimmt wird.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

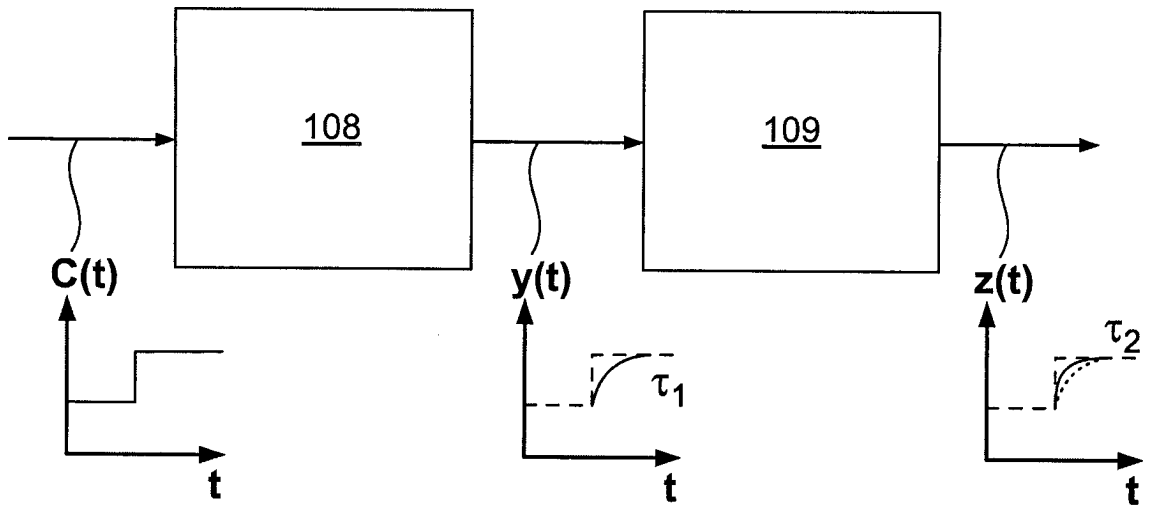


Fig. 1

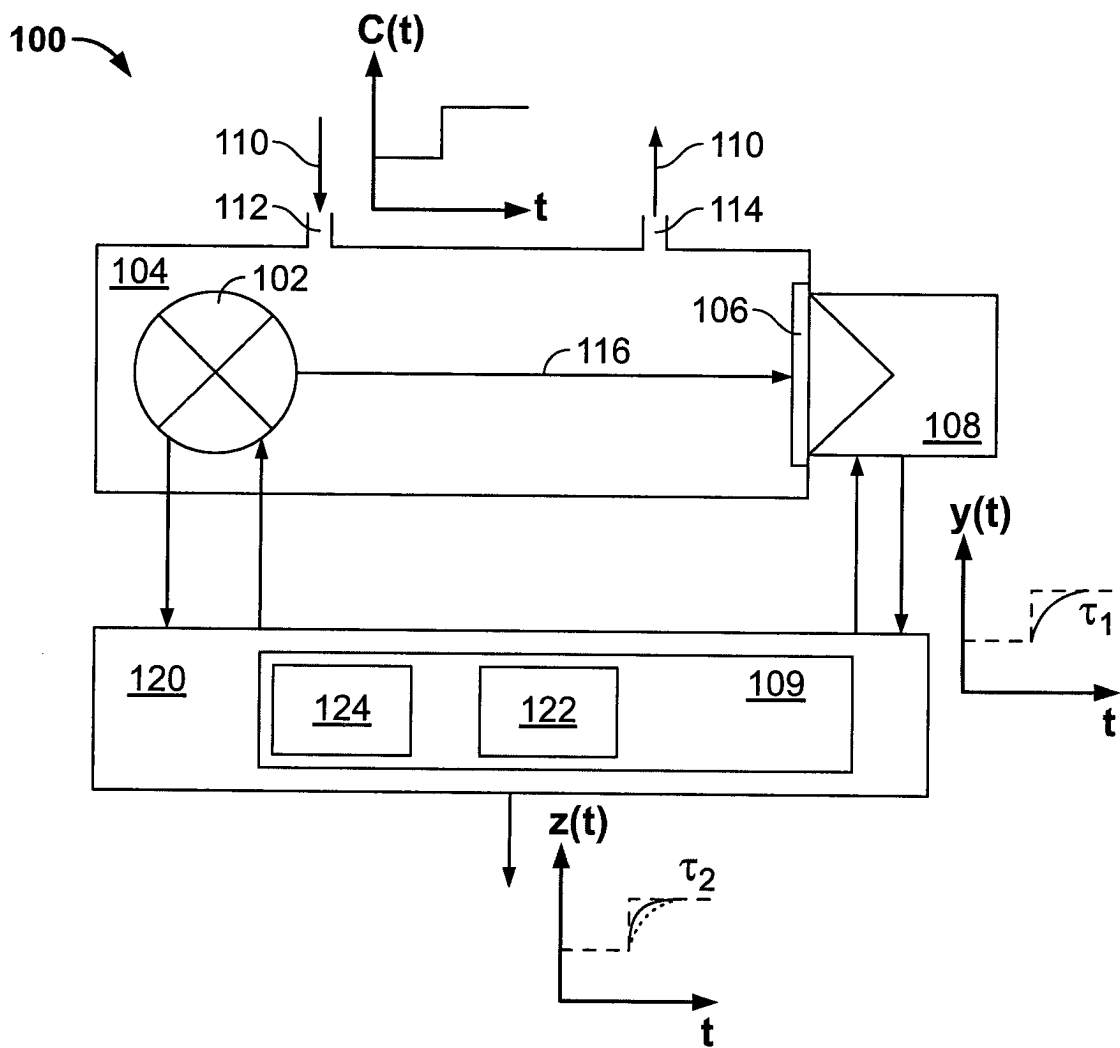


Fig. 2

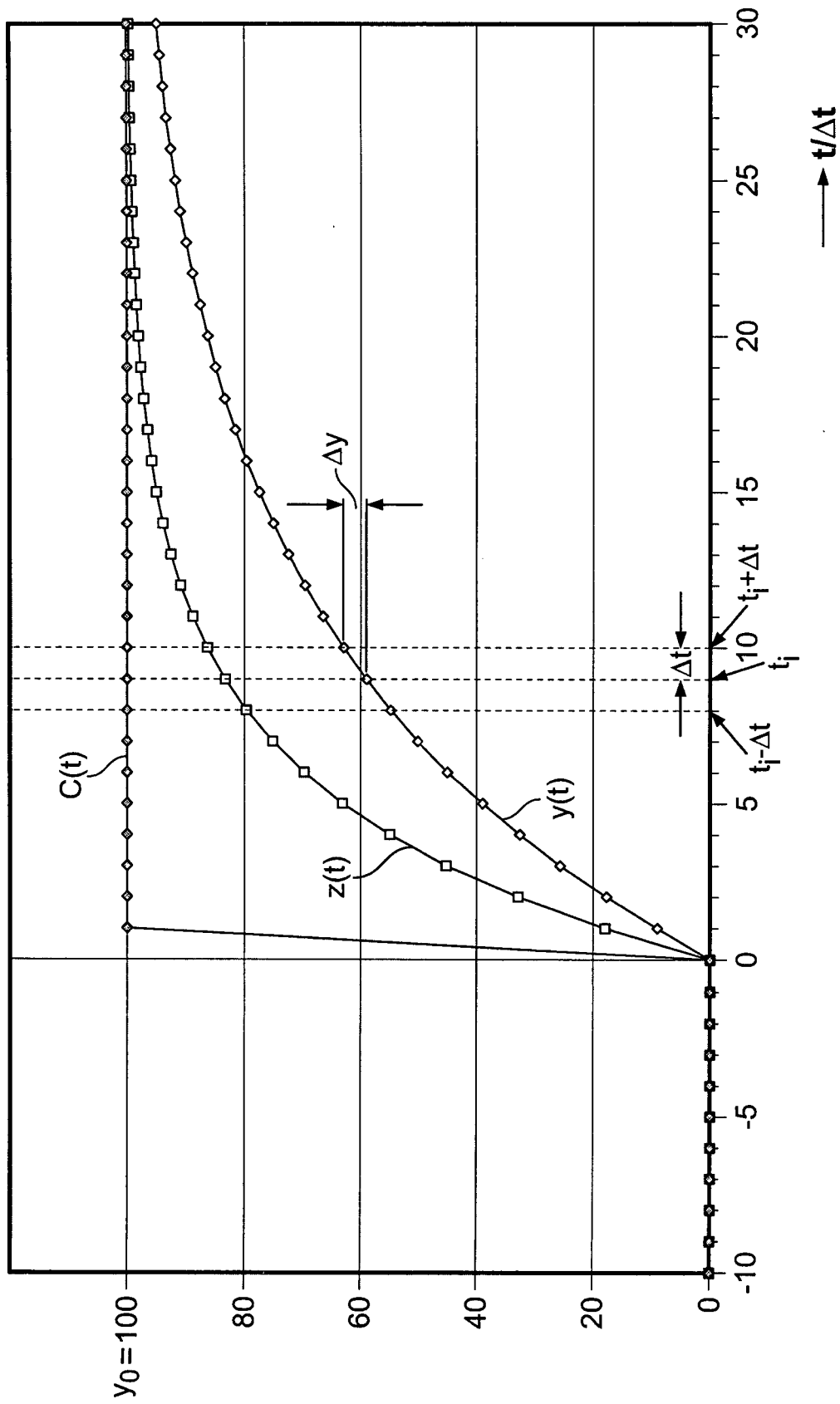


Fig. 3

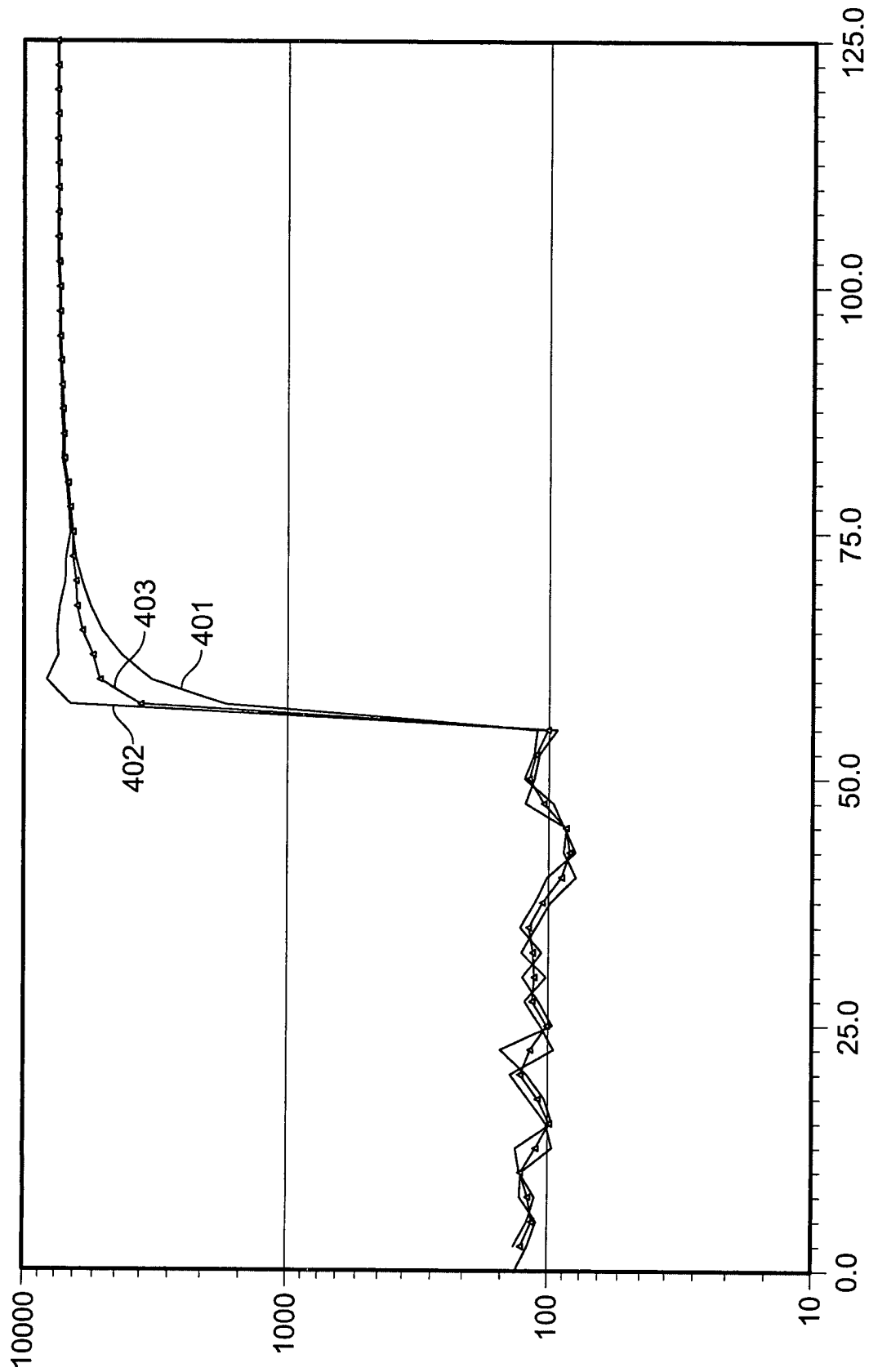


Fig. 4

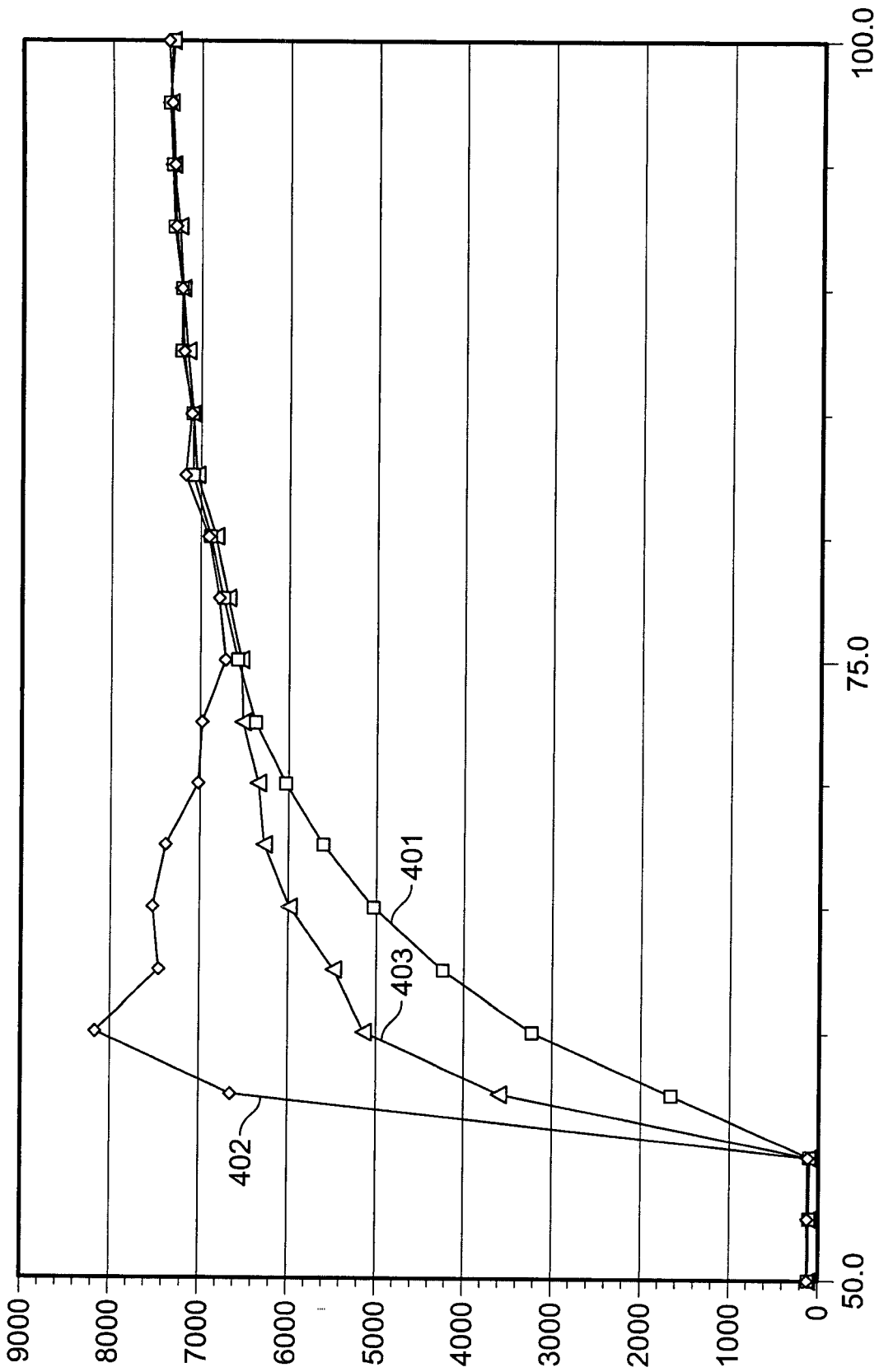


Fig. 5

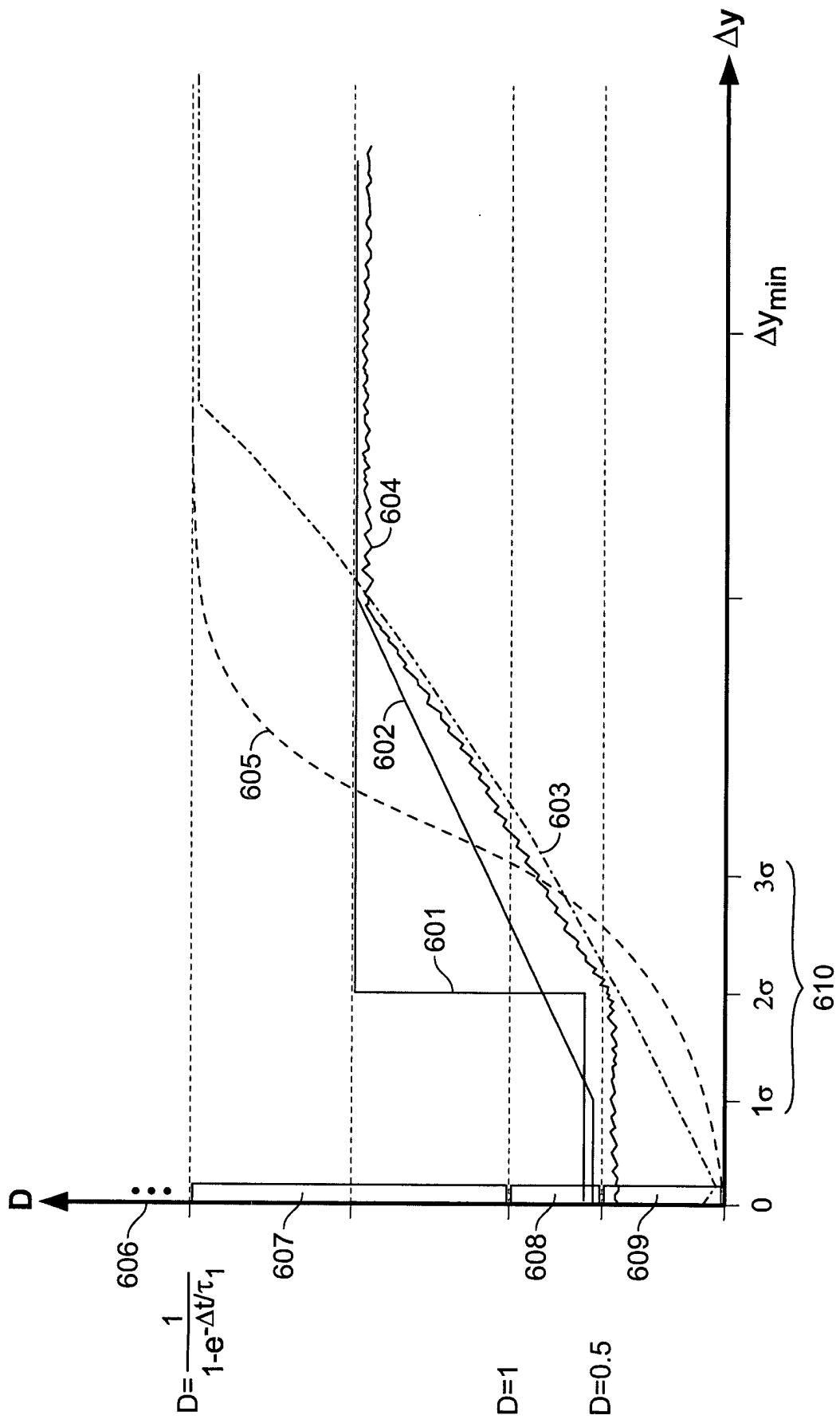


Fig. 6

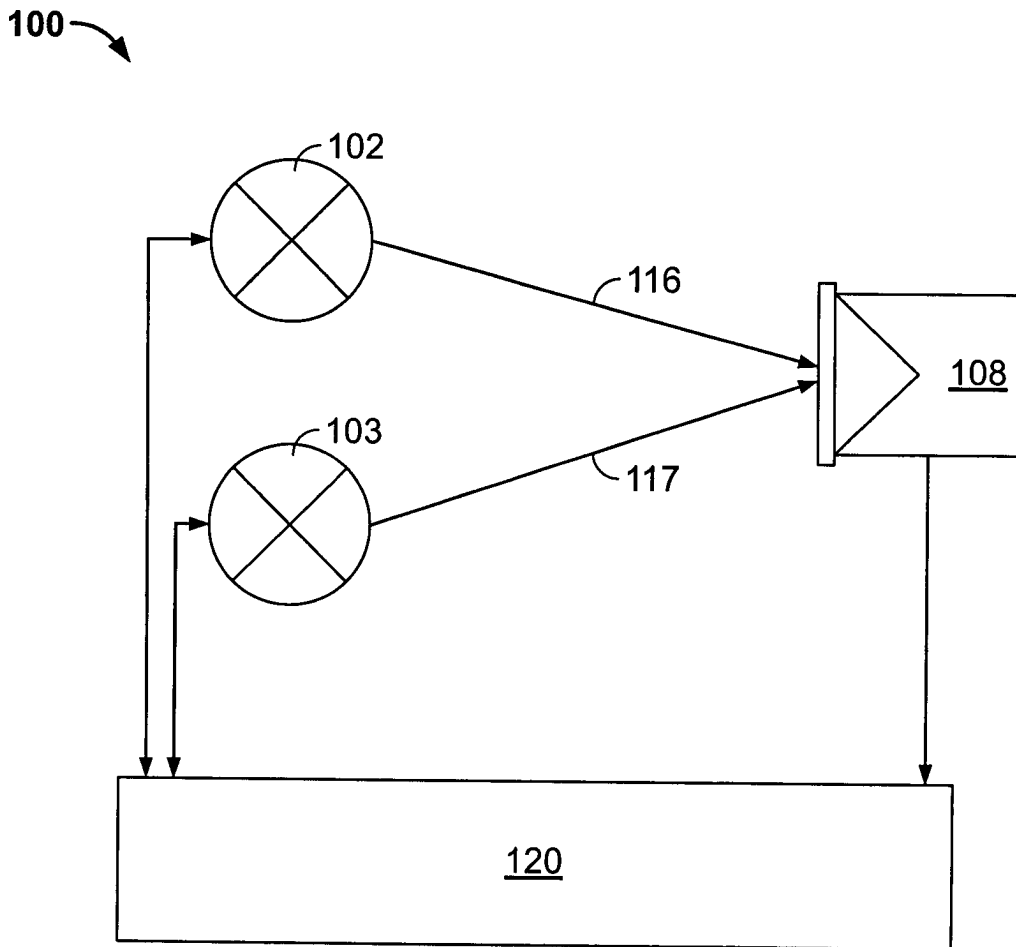


Fig. 7