

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 10/2024
(22) Anmeldetag: 18.01.2024
(43) Veröffentlicht am: 15.04.2025
(51) Int. Cl.: **B29C 48/92** (2019.01)
B29C 45/76 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 524053 B1
WO 2004026559 A1
EP 0525551 A2
DE 102019122499 A1
DE 102013108335 A1

(71) Patentanmelder:
Pro2Future GmbH
4040 Linz (AT)

(74) Vertreter:
Peham Alois Dipl.-Ing.
1080 Wien (AT)

(54) **Verfahren zur Bestimmung des axialen Drehmomentenverlaufes in Schneckenextrudern**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des axialen Drehmomentenverlaufes in Extrudern, welche zumindest eine angetriebene Extruderschnecke (1) und einen dieselbe umgebenden Zylindermantel (2) umfasst, wobei mittels zumindest eines an einem Messpunkt an der Außenseite des Zylindermantels angebrachten Sensorelementes ($S_1, S_2, \dots, S_n$) der Durchgang eines Schneckensteges an dem Messpunkt festgestellt wird und aus der zeitlichen Abfolge der Durchgänge die Verdrilling der Extruderschnecke am Messpunkt und daraus das anliegende Drehmoment bestimmt wird. Der Verlauf der durch die Reibung eingebrachten Leistung über die Schneckenlänge ist eine wichtige Prozessgröße für die Optimierung des Extrusionsprozesses und der Anlagen.

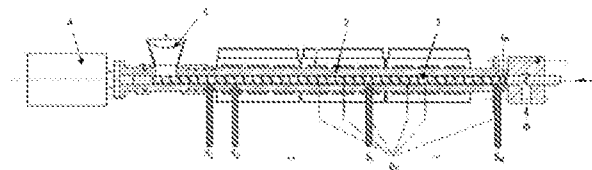


Fig. 1

Verfahren zur Bestimmung des axialen Drehmomentenverlaufes in Schneckenextrudern

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des axialen Drehmomentenverlaufes in Extrudern, welche zumindest eine angetriebene Extruderschnecke (1) und einen dieselbe umgebenden Zylindermantel (2) umfasst, wobei mittels zumindest eines an einem Messpunkt an der Außenseite des Zylindermantels angebrachten Sensorelementes ($S_1, S_2, \dots S_n$) der Durchgang eines Schneckensteges an dem Messpunkt festgestellt wird und aus der zeitlichen Abfolge der Durchgänge die Verdrilling der Extruderschnecke am Messpunkt und daraus das anliegende Drehmoment bestimmt wird.

15

Der Verlauf der durch die Reibung eingebrachten Leistung über die Schneckenlänge ist eine wichtige Prozessgröße für die Optimierung des Extrusionsprozesses und der Anlagen.

20

Fig. 1

Bezeichnung der Erfindung/ Titel

Verfahren zur Messung des axialen Drehmomentenverlaufes in
5 Schneckenextrudern.

Beschreibung / Description

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung des axialen
10 Drehmomentenverlaufes in Schneckenextrudern.

Mit Extrudern werden feste bis zähflüssige Massen (Extrudate)
unter Druck kontinuierlich durch eine formgebende Öffnung ge-
presst. Dabei entstehen Körper mit dem Querschnitt der Öffnung
15 in theoretisch beliebiger Länge.

Bei Schneckenextrudern wird der Druck mittels Extruderschne-
cken erzeugt. Sie sind von einem Zylinder ummantelt, an dessen
vorderem Ende sich vorzugsweise eine formgebende Auslassöff-
20 nung (Werkzeug) befindet. Am gegenüberliegenden, hinteren Ende
des Zylinders befindet sich der Antrieb, in den meisten Fällen
ein Elektromotor mit Getriebeeinheit, der für die Rotation der
Schnecken sorgt.

25 Die zu verarbeitenden Materialien werden den Schnecken meist
kontinuierlich über einen Trichter zugeführt.

Die Extruderschnecken haben verschiedenste Aufgaben, welche
sich je nach Anwendungsgebiet unterscheiden können. Zu diesen
30 Aufgaben gehören, das zu extrudierende Material zu fördern, zu
plastifizieren bzw. aufzuschmelzen, zu homogenisieren und die-
ses durch eine Düse zu pumpen. Design und Anzahl der Extruder-
schnecken können je nach Anforderungen stark variieren.

35 Physikalisch betrachtet, werden Förderung und Druckaufbau
durch die Reibung der mit der Schnecke rotierenden Masse an

der stehenden Gehäusewand (Zylinder) bewirkt – man spricht in diesem Zusammenhang von Friktionsförderung. Die so in der Rotation zurückbleibende Masse wird von den wendelförmigen Schneckengängen zur Auslassdüse geschoben.

5

Der Verlauf der durch die Reibung eingebrachten Leistung über die Schneckenlänge ist eine wichtige Prozessgröße und bietet Antworten auf viele Detailfragen beispielsweise zu den Themen Schneckendesign, Prozesseinstellung, -regelung, Energiemanagement, Qualitäts- und Wartungsmanagement.

10

Als Grundlage zur Bestimmung der mechanischen Leistung kann der Verlauf des Drehmoments herangezogen werden.

15

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem der Verlauf des Drehmoments bestimmt werden kann.

Erfindungsgemäß geschieht dies mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1.

20

Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

25

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass sich eine Extruderschnecke im Betrieb durch die aufgebrachte Torsionslast elastisch verdreht. Der Zusammenhang zwischen Drehmoment M_t und der Verdrillung $d\varphi/dz$ ist durch folgenden Zusammenhang gegeben:

30

$$M_t = G I_t \frac{d\varphi}{dz} ,$$

wobei G das Schubmodul, I_t das Torsionsträgheitsmoment und z die axiale Koordinate (Drehachse) ist. Die Verdrillung $d\varphi/dz$ ist die Ableitung der Verdrehung φ nach der axialen Koordinate

z. Bei einem Doppelschneckenextruder kann jede Schnecke als ein eigener Torsionsstab betrachtet werden, welcher am Schaft fest mit dem Antrieb verbunden ist und am Extruderende freischwimmt. Durch die Bestimmung der lokalen Verdrillung kann
5 auf das Drehmoment entsprechend der oben angeführten Gleichung geschlossen werden.

Bei sich ändernder Geometrie entlang der axialen Schneckenposition muss vorab das polare Flächenträgheitsmoment als Funktion der axialen Position ermittelt werden.
10

Dies kann beispielsweise durch eine statische FEM Analyse erfolgen, welche es auch ermöglicht, Schnecken zu untersuchen, bei denen die einzelnen Schneckenelemente auf einem Schaft platziert sind und beispielsweise mit einer Splineverbindung (Spline Shaft) mit dem Schaft verbunden sind.
15

Durch die Rotation der Schnecke im Extrusionsbetrieb erfolgt der Durchgang des Schneckensteges durch eine definierte Position am Zylindergehäuse in regelmäßigen Abständen. Die Frequenz f ist hier direkt proportional zur Drehzahl N und der Anzahl der Schneckenstege i . Für eingängige Schnecken ist die Frequenz gleich der Drehzahl, für mehrgängige Schnecken und jeweils gleich breiten Schneckengängen ist die Frequenz f gegeben durch:
20
25

$$f = i N.$$

Bei ungleich breiten Schneckengängen ist dies die Durchschnittsfrequenz, wobei der zeitliche Abstand zwischen den Stegsignalen direkt mit den Gangbreiten korreliert.
30

Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf den Spezialfall gleich breiter Schneckengänge, können aber durch entsprechende Berücksichtigung der zu erwartenden ungleichen Signalabstände auf ungleiche Schneckengänge erweitert werden.

Der Zeitpunkt, wann der Schneckensteg die Sensorposition am Zylindergehäuse passiert, kann mittels geeigneter Sensoren bestimmt werden, die unterschiedlichste physikalische Eigenschaften erfassen können.

Die Erfindung wird anhand von Figuren näher erläutert.

Es zeigen beispielhaft:

Fig. 1 schematisch einen Einschneckenextruder,
Fig. 2a, 2b schematisch einen Doppelschneckenextruder,
Fig.3a, 3b zeitliche Verläufe von Sensorsignalen.

Der Extruder nach Figur 1 umfasst eine Extruderschnecke 1, die von einem Motor 4 über eine Getriebeeinheit in Rotation versetzt wird. Sie ist von einem Zylindermantel 2 umgeben, an dessen vorderem Ende sich die formgebende Auslassöffnung (Werkzeug) befindet. Am hinteren Ende befindet sich ein Einfülltrichter 5.

Erfindungsgemäß sind auf dem Zylindermantel 2 Sensorelemente $S_1, S_2, \dots S_n$ angebracht, die beispielweise kapazitiv, induktiv, mittels Ultraschall oder mit anderen geeigneten Verfahren den Durchgang des Schneckenstegs durch den Messpunkt ermitteln und z.B. als elektrisches Signal $Sig1, Sig2, Sig2_{Last}$ darstellen, wie Fig.3a, 3b zeigen. Bei Einwirken einer Belastung auf die Schnecken durch den Widerstand des Extrudats kommt es wie bereits erläutert zu einer Deformation (Verdrillung) der Schnecken. Um diese Verdrillung über einen beliebigen Schneckenabschnitt zu ermitteln werden an Positionen entlang des Extruders die Sensoren mit einem definierten Abstand $\Delta z_{1,2} \dots \Delta z_{n-1,n}$ zueinander angebracht, wie es in Fig. 2 dargestellt ist. Dadurch kann die durchschnittliche Verdrillung im Schneckenabschnitt zwischen zwei Sensoren S_{n-1} und S_n ermittelt werden.

Beide Sensoren liefern in diesem Fall ein Signal Sig1, Sig2, der Schneckenstegerkennung, wie es in Abbildung 3a exemplarisch in einem belastungsfreien Zustand dargestellt ist. Für ein Förderelement ergibt sich der zeitliche Versatz Δt der beiden Schneckenstegsignale Sig1, Sig2, auf Grund der Frequenz f , der Schneckensteigung t_s , der Gangzahl i , sowie des Sensorabstandes Δz gemäß

$$\Delta t = f \frac{\text{mod} \left(\frac{i \Delta z}{t_s} \right)}{t_s},$$

mit mod als dem Rest der ganzzahligen Division. Für andere Schneckenelemente kann beispielsweise eine äquivalente Steigung ermittelt werden, um den erwarteten zeitlichen Versatz zu bestimmen. Um mögliche Fertigungstoleranzen, oder Spiele zu kompensieren, ist es auch möglich den lastfreien zeitlichen Versatz Δt für eine definierte Drehzahl im Leerlauf ohne Extrudat bzw. ohne zu transportierendes Material zu bestimmen.

Dieser lastfreie zeitliche Versatz kann mit folgendem Zusammenhang auf beliebige Drehzahlen umgerechnet werden:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{N_2}{N_1}.$$

Im Extrusionsbetrieb mit der Belastung durch das zu transportierende Material kommt es zu einer lokalen Verdrillung bzw. Verdrehung der Schnecke, welche eine Funktion der axialen Position ist und somit an den beiden, durch den Abstand Δz getrennten Messpositionen unterschiedliche Werte annimmt. Durch diese ungleiche Verdrehung der Schnecken an den beiden Messpositionen kommt es zu einer Änderung des zeitlichen Versatzes Δt der Sensorsignale Sig1, Sig2, Sig2_{Last}, wie in Abbildung 3b dargestellt, zu Δt_{Last} .

Diese Veränderung des zeitlichen Versatzes $\Delta\Delta t$ ergibt sich als Differenz aus dem Belastungszustand mit dem Referenzzustand (belastungsfreier Zustand): $\Delta\Delta t = \Delta t_{\text{Last}} - \Delta t$.

- 5 Aus dieser Änderung des zeitlichen Versatzes kann mit Hilfe der Drehzahl und des Schneckendurchmessers (Gehäusedurchmesser D) auf eine Änderung der Bogenlänge $\Delta\Delta a$ geschlossen werden:

$$\Delta\Delta a = D \pi N \Delta\Delta t.$$

10

Diese Bogenlänge entspricht einer Verdrehung zwischen den beiden Messpositionen S_1 und S_2 von

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta\Delta a}{D},$$

- 15 sowie einer durchschnittlichen Verdrillung von:

$$\varphi' = \frac{d\varphi}{dz} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta z} = \frac{2 \pi N}{\Delta z} \Delta\Delta t,$$

- welche direkt proportional zum durchschnittlichen Drehmoment an diesem Schneckenabschnitt ist. Es sei angemerkt, dass die Differenz $\Delta\Delta t$ in Abhängigkeit von der Schneckensteigung sowie der Wahl der Sensorpositionen S_1, S_2 positiv oder negativ sein kann.
- 20

- Bei einer Verwendung von mehr als zwei Sensoren $S_1, S_2, \dots, S_n$ ist es auch denkbar, einen davon als Referenz zu nehmen und die anderen auf diesen zu beziehen. Dabei erhält man zunächst an diskreten Punkten die Verdrehung. Diese Verdrehung kann in weiterer Folge durch eine Funktion wie z.B. ein Polynom approximiert werden und die Ableitung davon ergibt dann kombiniert mit dem Verlauf des polaren Flächenmoments 2ter Ordnung den Drehmomentenverlauf.
- 25
- 30

Fig. 2a und 2b zeigen Doppelschneckenextruder, die zwei Schneckenwellen 1 aufweisen, die ineinandergreifend in einem Zylinder 2 mit achtförmiger Bohrung liegen. Die Schnecken werden einseitig gelagert und werden über Keilwellenverbindungen oder Passfederverbindung mit der Getriebestufe verbunden.

Doppelschneckenextruder sind in ihrer Herstellung wesentlich teurer als Einschneckenextruder, haben aber deutlich bessere Mischwirkung und sehr gute selbstreinigende Eigenschaften.

Beim Betrieb eines Doppelschneckenextruders kann es vorkommen, dass die beiden Schnecken 1 ungleich belastet sind. Um die ungleiche Belastung zu identifizieren, werden erfindungsgemäß an beiden Schnecken jeweils zumindest zwei Sensoren $S_1, S_2, \dots S_n$ angebracht, wie dies in Fig. 2b dargestellt ist.

Bei Anbringung der Sensoren $S_1, S_2, \dots S_n$ an denselben axialen Positionen ist ein Vergleich der Drehmomente möglich.

Bezugszeichenliste

1	Extruderschnecke
2	Zylindermantel
$S_1, S_2, \dots S_n$	Sensorelement
4	Motor
5	Einfülltrichter
$\Delta t, \Delta t_{last}$	zeitlicher Versatz der Sensorsignale
Δz	Sensorabstand
$Sig1, Sig2, Sig2_{last}$	Sensorsignale

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des axialen Drehmomentenver-
laufes in Extrudern, welche zumindest eine angetriebene
5 Extruderschnecke und einen dieselbe umgebenden Zylindermantel umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass mittels zumindest eines an einem Messpunkt an der Außenseite des Zylindermantels (2) angebrachten Sensorelementes ($S_1, S_2, \dots S_n$) der Durchgang eines Schneckensteges an dem
10 Messpunkt festgestellt wird und aus der zeitlichen Abfolge der Durchgänge die Verdrilling der Extruderschnecke (1) am Messpunkt und daraus das anliegende Drehmoment bestimmt wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Messpunkte vorgesehen sind und die zeitlichen Abläufe der Durchgänge des Schneckensteges an den Messpunkten ermittelt und für die Bestimmung der Verdrilling der Extruderschnecke (1) und des Drehmoments herangezogen werden.
20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Extruder als Doppelschneckenextruder ausgeführt ist.
25
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Sensorelemente ($S_1, S_2, \dots S_n$) Ultraschallsensoren vorgesehen sind.
- 30 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Sensorelemente ($S_1, S_2, \dots S_n$) kapazitive Sensoren vorgesehen sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Sensorelemente kapazitive Sensoren vorgesehen sind.

5 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung des Drehmoments aus der Verdrillung der Extruderschnecke gemäß

$$M_t = G I_t \frac{d\varphi}{dz}$$

10

erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Doppelschneckenextruder mittels Sensorelementen ($S_1, S_2, \dots S_n$) an beiden Extruderschnecken (1) die Differenz der Drehmomente bestimmt wird.

15

9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass an einem Zylindermantel (2) eines Extruders zumindest ein Sensorelement ($S_1, S_2, \dots S_n$) zur Bestimmung des Durchganges eines Schneckensteiges an dem Messpunkt festgestellt wird und dass Mittel zur Bestimmung der Verdrillung der Extruderschnecke (2) am Messpunkt des Drehmoments und des anliegenden Drehmoments vorgesehen sind.

20

25

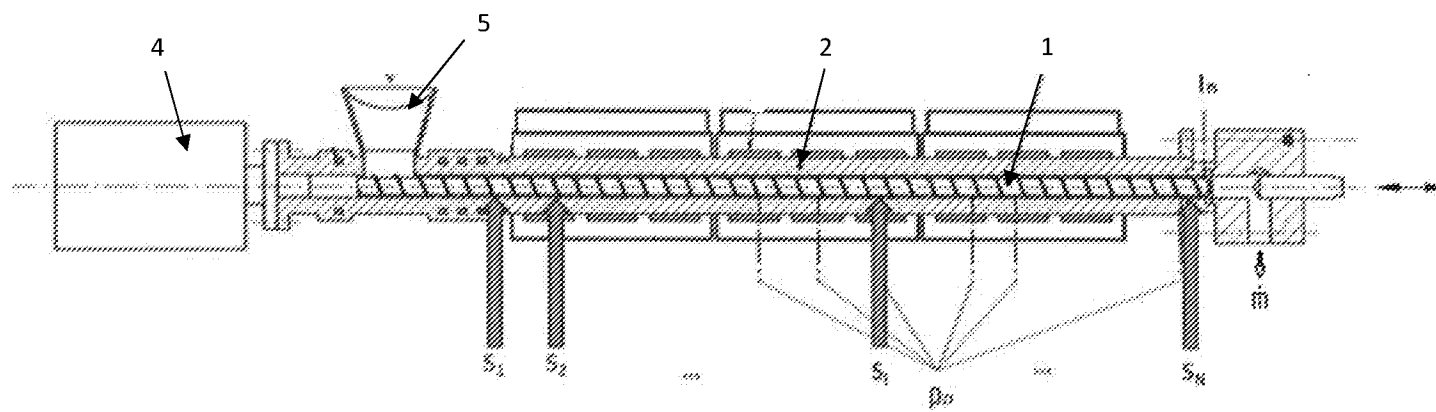


Fig.1

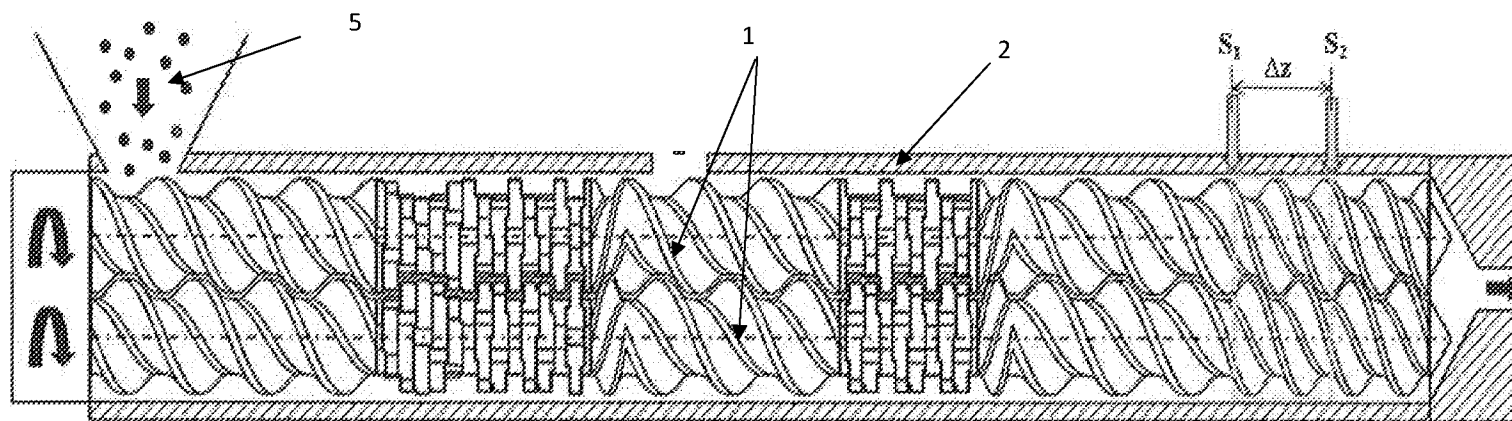


Fig.2a

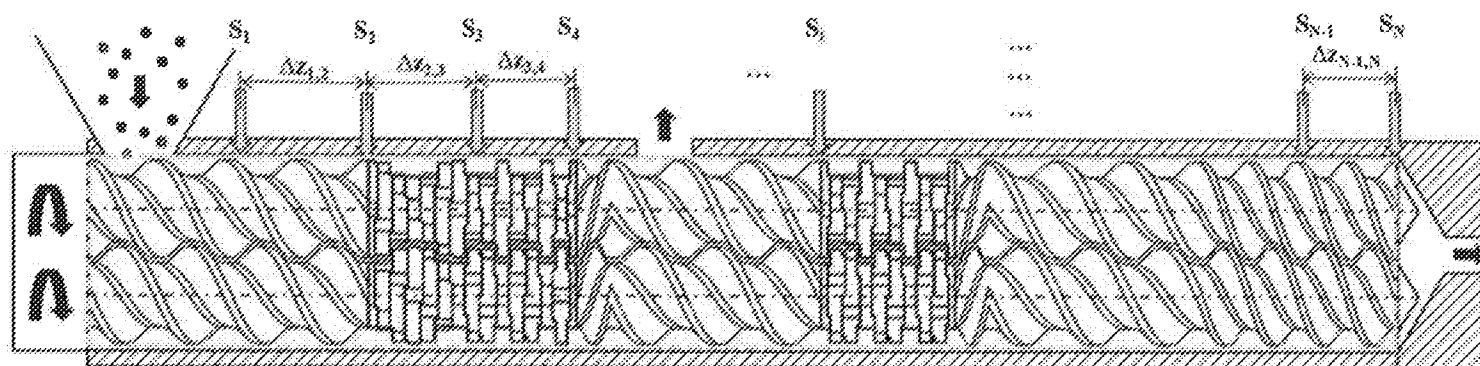


Fig.2.b

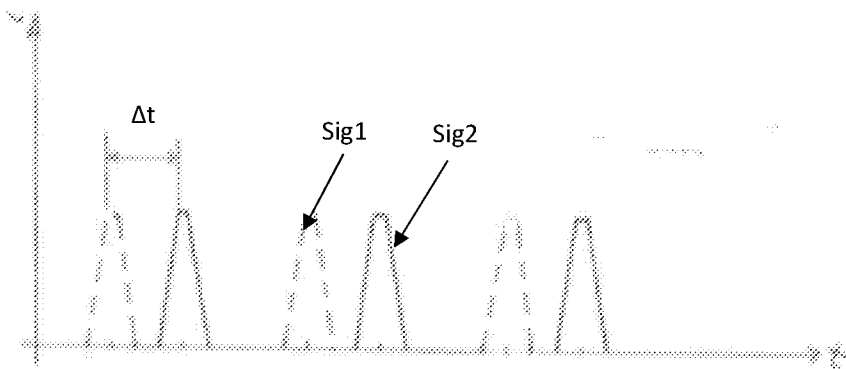


Fig.3a

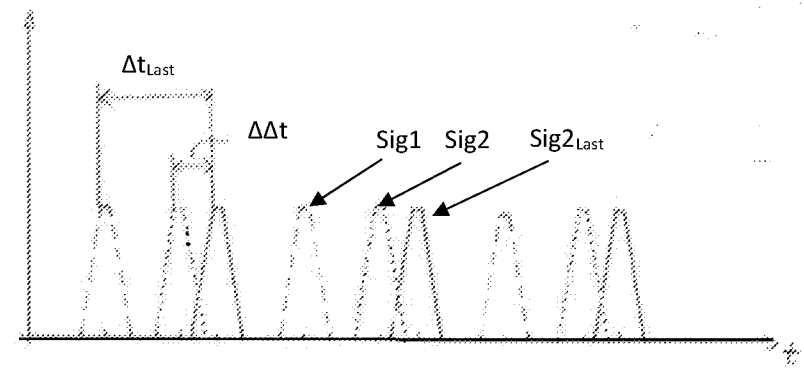


Fig.3b