

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102011901963024A1

Publication Date

20130113

Applicant

MARPOSS SOCIETA' PER AZIONI

Title

METODO E APPARECCHIATURA DI CONTROLLO PER VERIFICARE LA
PRESENZA DI UN ELEMENTO ROTANTE.

D E S C R I Z I O N E

dell'invenzione industriale dal titolo

«METODO E APPARECCHIATURA DI CONTROLLO PER VERIFICARE
LA PRESENZA DI UN ELEMENTO ROTANTE»

a nome MARPOSS SOCIETÀ PER AZIONI,

di nazionalità italiana,

con sede in VIA SALICETO 13

40010 BENTIVOGLIO (BO)

Inventori: MALPEZZI Domenico, BARBIERI Nicola

Depositata il:

*** **

SETTORE DELLA TECNICA

La presente invenzione è relativa ad un metodo e ad una apparecchiatura di controllo per verificare la presenza di un elemento rotante.

La presente invenzione trova vantaggiosa applicazione alla verifica della presenza di un utensile rotante in una macchina utensile a controllo numerico, cui la trattazione che segue farà esplicito riferimento senza per questo perdere di generalità.

ARTE ANTERIORE

In una macchina utensile a controllo numerico il mandrino può montare diversi tipi di utensili che vengono presi e rilasciati in un magazzino automatico

ed in uso vengono fatti ruotare per eseguire sul pezzo lavorazioni che prevedono l'asportazione di materiale. Quando è necessario eseguire un cambio dell'utensile, il mandrino si posiziona in corrispondenza del magazzino automatico in cui deposita il vecchio utensile e, successivamente, preleva il nuovo utensile. A volte il prelievo del nuovo utensile da parte del mandrino può non avere luogo; dopo un cambio utensile è quindi necessario verificare che il mandrino abbia effettivamente prelevato il nuovo utensile, cioè è necessario verificare che l'utensile sia effettivamente presente nel mandrino.

Inoltre, durante l'utilizzo l'utensile potrebbe spezzarsi (tipicamente, ma non solo, quando l'utensile è una punta di piccolo diametro per forare) e quindi è necessario verificare che l'utensile portato dal mandrino sia integro (ovvero sia provvisto della sua parte terminale, cioè della sua punta).

Per verificare che il mandrino porti effettivamente un utensile (ed in particolare un utensile rotante, cioè un utensile che viene fatto ruotare dal mandrino) e che l'utensile sia integro (cioè sia provvisto della sua parte terminale) la macchina utensile a controllo numerico può comprendere una apparecchiatura o dispositivo di controllo che può essere del tipo a

contatto (non impiegabile però per controlli durante la rotazione dell'utensile) o senza contatto. Dispositivi senza contatto, possono ad esempio rilevare la presenza dell'utensile rotante mediante l'interruzione di un raggio luminoso (soluzione che spesso presenta problemi di ingombro) o l'osservazione e l'analisi di una radiazione riflessa dall'utensile stesso. Un'apparecchiatura di controllo di quest'ultimo tipo comprende un emettitore di una radiazione elettromagnetica (tipicamente, ma non obbligatoriamente, un raggio laser) che viene puntata verso la zona in cui si dovrebbe trovare l'utensile rotante, ed un ricevitore che è disposto in prossimità dell'emettitore e riceve la radiazione elettromagnetica riflessa dall'utensile rotante. Una unità di elaborazione della apparecchiatura di controllo analizza la radiazione elettromagnetica riflessa rilevata dal ricevitore ed in funzione di tale analisi determina se l'utensile rotante è o meno effettivamente presente.

L'analisi della radiazione elettromagnetica riflessa rilevata dal ricevitore è complessa per potere garantire una elevata affidabilità nella determinazione della presenza dell'utensile rotante; in particolare, tale analisi deve evitare sia i falsi positivi (cioè di

determinare che l'utensile rotante è presente quando invece nella realtà non è presente), sia i falsi negativi (cioè di determinare che l'utensile rotante non è presente quando invece nella realtà è presente). Il rischio di falsi positivi è abbastanza elevato, in quanto il ricevitore può rilevare dei disturbi che potrebbero venire scambiati per una riflessione da parte dell'utensile rotante; ad esempio i disturbi possono comprendere la radiazione elettromagnetica emessa dall'emettitore e riflessa da altri oggetti diversi dall'utensile rotante (ad esempio il liquido refrigerante che viene spruzzato verso l'utensile rotante, la polvere o i trucioli generati dalla lavorazione, oppure altre superfici riflettenti disposte dietro l'utensile), oppure i disturbi possono comprendere la radiazione elettromagnetica emessa da altre fonti (ad esempio lampade a fluorescenza che forniscono l'illuminazione ambientale).

Esiste anche il rischio di falsi negativi, in quanto per cercare di evitare i falsi positivi è necessario utilizzare dei criteri stringenti per l'analisi della radiazione elettromagnetica captata dal ricevitore e quindi c'è la concreta possibilità di non riconoscere come riflessione dell'utensile rotante una radiazione elettromagnetica che è stata effettivamente

riflessa dall'utensile rotante, ma che, per motivi accidentali, presenta dei disturbi.

DESCRIZIONE DELLA INVENZIONE

Scopo della presente invenzione è di fornire un metodo ed una apparecchiatura di controllo per verificare la presenza di un elemento rotante, i quali metodo e apparecchiatura di controllo permettano di individuare con estrema affidabilità la presenza dell'elemento rotante, e siano nel contempo di facile ed economica realizzazione.

Secondo la presente invenzione vengono forniti un metodo ed una apparecchiatura di controllo per verificare la presenza di un elemento rotante secondo quanto rivendicato dalle rivendicazioni allegate.

BREVE DESCRIZIONE DEI DISEGNI

La presente invenzione verrà ora descritta con riferimento ai disegni annessi, che ne illustrano un esempio di attuazione non limitativo, in cui:

- la figura 1 è una vista schematica e con parti asportate per chiarezza di una macchina utensile a controllo numerico provvista di una apparecchiatura di controllo per verificare la presenza di un utensile rotante realizzata in accordo con la presente invenzione;
- la figura 2 è una vista schematica dell'utensile

rotante e della apparecchiatura di controllo per verificare la presenza dell'utensile rotante;

- la figura 3 è uno schema costruttivo della apparecchiatura di controllo per verificare la presenza dell'utensile rotante; e
- le figure 4-7 illustrano quattro grafici che mostrano dei dati elaborati dalla apparecchiatura di controllo per verificare la presenza dell'utensile rotante.

FORME DI ATTUAZIONE PREFERITE DELL'INVENZIONE

Nella figura 1, con il numero 1 è indicata nel suo complesso una macchina utensile a controllo numerico (in particolare una macchina foratrice automatica per forare circuiti stampati) comprendente un mandrino 2 che porta un utensile 3 rotante (una punta per forare nel caso particolare illustrato nella figura 1) ed una tavola portapezzo 4 motorizzata che alloggia un pezzo 5 in lavorazione.

La macchina 1 utensile comprende, inoltre, una apparecchiatura 6 di controllo che verifica la presenza (e quindi, indirettamente, l'integrità) dell'utensile 3 rotante. L'integrità dell'utensile 3 rotante viene verificata "puntando" l'apparecchiatura 6 di controllo verso la parte terminale (cioè verso la punta) dell'utensile 3 rotante: se è effettivamente presente

la parte terminale dell'utensile 3 rotante viene dedotto che l'utensile 3 rotante è presente ed è anche integro. Ovviamente, l'apparecchiatura 6 di controllo potrebbe venire utilizzata per verificare la sola presenza dell'utensile 3 rotante "puntando" l'apparecchiatura 6 di controllo verso una parte centrale dell'utensile 3 rotante stesso.

La macchina 1 utensile può comprendere un sensore 7 di velocità meccanicamente accoppiato al mandrino 2 per misurare una frequenza di rotazione (ovvero una velocità di rotazione), in particolare una frequenza reale RF di rotazione, dell'utensile 3 rotante e fornire la propria lettura ad un ingresso (digitale o analogico) della apparecchiatura 6 di controllo (come illustrato nella figura 3). Secondo una equivalente forma di attuazione, la macchina 1 utensile è priva del sensore 7 di velocità. In tal caso, la frequenza reale RF di rotazione dell'utensile 3 rotante viene stimata con precisione, a partire da una frequenza nominale di per sé nota come parametro di controllo di un motore elettrico che porta in rotazione il mandrino 2, mediante opportune elaborazioni, quale ad esempio quelle descritte nel seguito con riferimento alla figura 5.

Secondo quanto illustrato nella figura 3, l'apparecchiatura 6 di controllo comprende un emettitore 8 ottico per indirizzare una radiazione 9 elettromagnetica principale verso l'utensile 3 rotante; secondo una preferita forma di attuazione, la radiazione 9 elettromagnetica principale è costituita da un fascio laser pulsante (cioè che ciclicamente alterna fasi di presenza del fascio laser con fasi di assenza del fascio laser) che oscilla (pulsava) con una frequenza dell'ordine di 10-500 kHz. Inoltre, l'apparecchiatura 6 di controllo comprende un ricevitore 10 ottico per ricevere una radiazione 11 elettromagnetica riflessa che è stata riflessa dall'utensile 3 rotante; in altre parole, il ricevitore 10 ottico "cattura" la riflessione operata dall'utensile 3 rotante della radiazione 9 elettromagnetica principale emessa dall'emettitore 8 ottico.

Secondo quanto illustrato nella figura 3, l'apparecchiatura 6 di controllo comprende una unità 12 di elaborazione che acquisisce la radiazione 11 elettromagnetica riflessa (cioè acquisisce il segnale elettrico fornito dal ricevitore 10 ottico che viene "colpito" dalla radiazione 11 elettromagnetica riflessa) per determinare un segnale S grezzo da

analizzare (illustrato nella figura 4). Secondo una preferita forma di attuazione, l'acquisizione della radiazione 11 elettromagnetica riflessa avviene mediante un circuito di "*sample and hold*" che è sincronizzato con la frequenza di oscillazione della radiazione 9 elettromagnetica principale.

Conoscendo la frequenza reale RF di rotazione dell'utensile 3 rotante (fornita alla unità 12 di elaborazione dal sensore 7 di velocità oppure, in assenza del sensore 7 di velocità, elaborata sulla base della frequenza nominale nota), l'unità 12 di elaborazione determina la durata del segnale S grezzo in funzione della frequenza reale RF di rotazione in modo tale che il segnale S grezzo contenga almeno due rotazioni complete dell'utensile 3 rotante e, preferibilmente, contenga almeno tre rotazioni complete dell'utensile 3 rotante (ovviamente il segnale S grezzo può contenere anche più di tre rotazioni complete dell'utensile 3 rotante, l'importante è che il segnale S grezzo non contenga mai meno di due rotazioni complete dell'utensile 3 rotante). E' importante osservare che tanto maggiore è il numero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo, tanto più semplice e precisa è l'analisi del segnale S grezzo per determinare la presenza

dell'utensile 3 rotante, ma, per contro, tanto maggiore è il tempo richiesto. Le elaborazioni descritte nel seguito consentono di ottenere ottimi risultati con un ridotto numero di rotazioni complete dell'utensile, ovvero in tempi estremamente rapidi.

Nel calcolare la durata del segnale S grezzo, l'unità 12 di elaborazione tiene conto della differenza fra la frequenza reale RF di rotazione e quella nominale nota, e stabilisce la durata del segnale S grezzo in modo tale che anche nel caso peggiore, cioè nel caso in cui la frequenza reale RF di rotazione sia più bassa di quella nominale, con una differenza massima all'interno di un intervallo di variabilità pure noto, il segnale S grezzo contenga almeno due rotazioni complete dell'utensile 3 rotante (almeno tre rotazioni complete dell'utensile 3 rotante nella forma di attuazione preferita).

Nell'esempio illustrato nella figura 4, con linea tratteggiata è illustrato il segnale S grezzo che è composto da 1536 campioni; tale segnale S grezzo è stato ottenuto demodulando la radiazione 11 elettromagnetica riflessa con una frequenza di campionamento di 1.6 kHz ed in corrispondenza di una frequenza nominale di rotazione dell'utensile 3 rotante pari a 200 RPM (cioè pari a $200/60 = 3.333$ Hz). Se la

frequenza reale RF di rotazione corrispondesse a quella nominale, campionando a 1.6 kHz una rotazione completa dell'utensile 3 rotante comprenderebbe 480 campioni. E' però necessario tenere conto del fatto che la frequenza reale RF di rotazione può in genere variare, rispetto a quella nominale alla quale viene pilotato il motore elettrico che porta in rotazione il mandrino 2, tipicamente in un intervallo di variabilità di $\pm 5\%$. Questo è generalmente vero e non influisce in alcun modo sulle corrette lavorazioni effettuate dalla macchina utensile mediante l'utensile 3. Da ciò deriva che nel caso peggiore (cioè nel caso in cui la frequenza reale RF di rotazione è del 5% più bassa di quella nominale) una rotazione completa dell'utensile 3 rotante comprende 512 campioni (cioè 480 campioni + 5% + arrotondamento per avere un quantità "comoda" da memorizzare in quanto 512 è una potenza del numero due). Di conseguenza, il segnale S grezzo deve essere composto da 1536 ($= 512 \times 3$) campioni per avere la garanzia che il segnale S grezzo si riferisca ad almeno tre rotazioni complete dell'utensile 3 rotante.

Secondo una possibile forma di attuazione, la frequenza di acquisizione della radiazione 11 elettromagnetica riflessa viene variata in funzione della frequenza di rotazione dell'utensile 3 rotante in

modo tale che la frequenza di acquisizione sia crescente al crescere della frequenza di rotazione. Ad esempio, quando la frequenza nominale di rotazione dell'utensile 3 rotante è compresa tra 200 RPM e 1000 RPM la frequenza di acquisizione della demodulazione può essere pari a 1.6 kHz, mentre quando la frequenza nominale di rotazione dell'utensile 3 rotante è compresa tra 1000 RPM e 5000 RPM la frequenza di acquisizione della demodulazione può essere pari a 8 kHz. L'aumento della frequenza di acquisizione al crescere della frequenza di rotazione dell'utensile 3 rotante permette di mantenere abbastanza costante la precisione della acquisizione (cioè disporre di un numero di campioni per ogni rotazione completa dell'utensile 3 rotante all'incirca costante e quindi non troppo grande quando l'utensile 3 rotante ruota lentamente e/o non troppo piccolo quando l'utensile 3 rotante ruota velocemente).

Secondo una possibile forma di attuazione, il numero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo non è costante ma è crescente al crescere della frequenza di rotazione dell'utensile 3 rotante; in questo modo la durata temporale della acquisizione del segnale S grezzo è all'incirca costante (per potere mantenere all'incirca

costante il tempo necessario ad eseguire la verifica della presenza dell'utensile 3 rotante).

Secondo una preferita forma di attuazione, l'unità 12 di elaborazione applica preventivamente (cioè prima di ulteriori elaborazioni descritte in seguito) al segnale S grezzo un filtraggio software passa basso. Inoltre, secondo una preferita forma di attuazione, l'unità 12 di elaborazione applica preventivamente (cioè prima di ulteriori elaborazioni descritte in seguito) al segnale S grezzo una scalatura dei valori sottraendo un valore costante pari al valore minimo del segnale S grezzo. Nella figura 4 con linea tratteggiata è illustrato il segnale S grezzo non filtrato e non scalato mentre con linea continua è illustrato il segnale S grezzo filtrato e scalato.

Nella realizzazione preferita, dove la frequenza reale RF di rotazione non viene fornita dal sensore 7 di velocità, la prima elaborazione che viene svolta dall'unità 12 di elaborazione sul segnale S grezzo filtrato e scalato è determinare il periodo esatto di rotazione del segnale S grezzo (quindi dell'utensile 3 di rotazione) mediante una analisi nel dominio del tempo. Successivamente, dopo avere determinato il periodo esatto di rotazione del segnale S grezzo, l'unità 12 di elaborazione taglia una parte del segnale

S grezzo in funzione del periodo esatto di rotazione del segnale S grezzo in modo tale che il segnale S grezzo tagliato comprenda esattamente un numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante. In altre parole, normalmente il segnale S grezzo contiene un numero frazionario di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante e quindi il segnale S grezzo viene tagliato (cioè vengono eliminati una parte dei campioni presenti nel segnale S grezzo) in modo tale che dopo il taglio il segnale S grezzo tagliato contenga esattamente un numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante (ad esempio esattamente tre rotazioni complete dell'utensile 3 rotante come nell'esempio di attuazione illustrato nelle figure 4-7). Il taglio del segnale S grezzo può avvenire solo in capo al segnale S grezzo, solo in coda al segnale S grezzo, oppure sia in capo, sia in coda al segnale S grezzo.

L'unità 12 di elaborazione determina il periodo esatto di rotazione del segnale S grezzo mediante una analisi nel dominio del tempo eseguita con un algoritmo di determinazione del periodo ("*pitch detection*") che permette di stimare il periodo della frequenza fondamentale di un segnale quasi-periodico e virtualmente periodico. Preferibilmente, l'unità 12 di elaborazione utilizza la funzione di autocorrelazione

AMDF (*"Average Magnitude Difference Function"*) che è basata sulla seguente equazione:

$$AMDF(k) = \sum_{M=k}^{N-1} |S(m) - S(m-k)|$$

Nella figura 5 è illustrato il valore della funzione AMDF dei campioni del segnale S grezzo illustrato nella figura 4.

Al posto della funzione di autocorrelazione AMDF potrebbe essere possibile utilizzare la funzione di autocorrelazione ASMDF (*"Average Squared Mean Difference Function"*) oppure una altra funzione di autocorrelazione.

L'unità 12 di elaborazione determina il periodo esatto di rotazione del segnale S grezzo (quindi dell'utensile 3 di rotazione) individuando il più piccolo dei minimi locali della funzione AMDF presenti in un intorno di ricerca che viene determinato in funzione della frequenza nominale di rotazione dell'utensile 3 rotante ed in funzione dell'intervallo di variabilità della frequenza reale RF di rotazione rispetto a quella nominale. Con riferimento all'esempio di attuazione illustrato nelle figure 4 e 5, la frequenza nominale di rotazione dell'utensile 3 rotante è pari a 200 RPM (3.333 Hz) e se questo fosse il valore

della frequenza reale RF di rotazione, campionando a 1.6 kHz una rotazione completa dell'utensile 3 rotante comprenderebbe 480 campioni; tenendo conto dell'intervallo di variabilità della frequenza reale RF di rotazione ($\pm 5\%$ della frequenza nominale) l'intorno di ricerca è centrato su 480 campioni e presenta una ampiezza pari a $\pm 5\%$ di 480 campioni, cioè pari a ± 24 campioni. Quindi l'intorno di ricerca è compreso tra $480-24=456$ campioni e $480+24=504$ campioni. Il periodo esatto di rotazione del segnale S grezzo (quindi dell'utensile 3 di rotazione) che corrisponde alla frequenza reale RF di rotazione può venire quindi ricercato tra il campione 456 ed il campione 504. La periodicità si presenta nella funzione AMDF come il più piccolo dei minimi locali presenti tra il campione 456 ed il campione 504.

E' importante osservare che se non è presente nessun minimo locale nell'intorno di ricerca (nel caso illustrato nella figura 5 tra il valore 456-esimo ed il valore 504-esimo della funzione AMDF) l'unità 13 di elaborazione determina che l'utensile 3 rotante non è riconoscibile e quindi non è presente.

Come detto in precedenza, una volta determinato il periodo esatto di rotazione del segnale S grezzo l'unità 12 di elaborazione taglia il segnale S grezzo

in modo tale che il segnale S grezzo contenga esattamente un numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante (ad esempio esattamente tre rotazioni complete dell'utensile 3 rotante come nell'esempio di attuazione illustrato nelle figure 4-7).

Dopo avere eseguito il taglio del segnale S grezzo, l'unità 12 di elaborazione decima/espande, applicando un ricampionamento ad esempio tramite interpolazione lineare, il segnale S grezzo tagliato in modo tale che il segnale S grezzo tagliato comprenda un numero di campioni pari ad una potenza del numero due (ad esempio 1024, cioè 2^{10} , come nell'esempio di attuazione illustrato nelle figure 4-7). Una decimazione/espansione del segnale S grezzo tagliato per avere un numero di campioni pari ad una potenza del numero due non è strettamente necessaria, ma permette l'applicazione della FFT ("*Fast Fourier Transform*") al posto di una DFT ("*Discrete Fourier Transform*") che è meno efficiente dal punto di vista computazionale. Nella figura 6 è illustrato con linea continua il segnale S grezzo tagliato e, in questo caso, decimato (quindi comprendente 1024 campioni) mentre con linea tratteggiata è illustrato il segnale S grezzo prima del

taglio e della decimazione (cioè unicamente filtrato e scalato).

Dopo avere eseguito la decimazione/espansione del segnale S grezzo tagliato, l'unità 12 di elaborazione applica al segnale S grezzo tagliato e decimato/espanso la FFT per passare dal dominio del tempo al dominio della frequenza quindi eseguire una analisi nel dominio della frequenza. Nella figura 7 è illustrato il risultato della applicazione della FFT al segnale S grezzo tagliato e decimato (illustrato con linea continua nella figura 6).

Una volta applicata la FFT, l'unità 12 di elaborazione analizza le armoniche del segnale S grezzo per verificare se il segnale S grezzo contiene una periodicità avente una frequenza corrispondente (correlata) alla frequenza di rotazione dell'utensile 3 rotante, preferibilmente alla frequenza reale RF di rotazione, e quindi l'unità 12 di elaborazione determina che l'utensile 3 rotante è effettivamente presente se il segnale S grezzo contiene una periodicità avente una frequenza corrispondente (correlata) alla frequenza di rotazione dell'utensile 3 rotante. E' importante osservare che la frequenza di una periodicità del segnale S grezzo è corrispondente (correlata) alla frequenza di rotazione dell'utensile 3

rotante quando è un multiplo intero (che prevede anche l'uguaglianza, ovvero un multiplo di ordine 1) della frequenza di rotazione dell'utensile 3 rotante.

In particolare, l'unità 12 di elaborazione analizza il segnale S grezzo nel dominio della frequenza e determina che il segnale S grezzo contiene una periodicità avente una frequenza corrispondente (correlata) alla frequenza reale RF di rotazione dell'utensile 3 rotante se il contenuto frequenziale del segnale S grezzo presenta delle componenti preponderanti in corrispondenza di multipli interi della frequenza reale RF di rotazione dell'utensile 3 rotante.

Secondo un primo approccio, l'unità 12 di elaborazione determina il modulo e l'ordine della armonica avente il modulo massimo (nella figura 7 l'armonica avente il modulo massimo è la terza armonica che presenta un modulo di circa 170) e quindi l'unità 12 di elaborazione determina che l'utensile 3 rotante è effettivamente presente se l'ordine della armonica avente il modulo massimo è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo tagliato (cioè un multiplo intero di tre nell'esempio illustrato nelle figure 4-7). Secondo una alternativa forma di

attuazione, l'unità 12 di elaborazione determina che l'utensile 3 rotante è effettivamente presente se l'ordine della armonica avente il modulo massimo è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo tagliato e se, nello stesso tempo, il modulo massimo della armonica avente il modulo massimo è superiore ad un primo valore di soglia.

Secondo un diverso approccio, l'unità 12 di elaborazione calcola un rapporto segnale/rumore in funzione del numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo tagliato (cioè in funzione del numero tre nell'esempio illustrato nelle figure 4-7) e quindi determina che l'utensile 3 rotante è effettivamente presente se il rapporto segnale/rumore è superiore ad un secondo valore di soglia. In altre parole, nel calcolo del rapporto segnale/rumore vengono considerati segnale utile tutti i moduli delle armoniche il cui ordine è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo tagliato e vengono considerati rumore tutti i moduli delle armoniche il cui ordine non è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo tagliato. Ad

esempio, una prima modalità di calcolo del rapporto segnale/rumore prevede di calcolare il rapporto segnale/rumore come frazione il cui numeratore è la somma (ad esempio quadratica) dei moduli delle armoniche il cui ordine è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo tagliato ed il cui denominatore è la somma (ad esempio quadratica) di tutti i moduli delle armoniche il cui ordine non è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo tagliato. Una altra modalità di calcolo del rapporto segnale/rumore (perfettamente equivalente alla prima modalità sopra descritta) prevede di calcolare il rapporto segnale/rumore come frazione il cui numeratore è la somma (ad esempio quadratica) dei moduli delle armoniche il cui ordine è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'utensile 3 rotante contenute nel segnale S grezzo tagliato ed il cui denominatore è la differenza tra la somma (ad esempio quadratica) di tutti i moduli ed il numeratore.

Secondo una diversa forma di attuazione, l'unità 12 di elaborazione non determina il periodo esatto di rotazione del segnale S grezzo e quindi non esegue il taglio del segnale S grezzo; in questo caso, prima di

eseguire la decimazione/espansione (e quindi prima di applicare la FFT) l'unità 12 di elaborazione può applicare al segnale S grezzo una finestrazione (ad esempio di Hanning) in modo tale da scongiurare (o almeno limitare) il fenomeno della dispersione spettrale (spectral leakage). Questa forma di attuazione presenta una precisione/affidabilità minore rispetto alla preferita forma di attuazione sopra descritta.

Secondo una ulteriore forma di attuazione, l'unità 12 di elaborazione non esegue la decimazione/espansione del segnale S grezzo e quindi invece di applicare al segnale S grezzo la FFT applica al segnale S grezzo la DFT (cioè la trasformata di Fourier tradizionale); questa forma di attuazione non presenta una minore precisione/affidabilità rispetto alla preferita forma di attuazione sopra descritta, ma per contro rispetto alla preferita forma di attuazione sopra descritta richiede una potenza di calcolo più elevata (oppure, a parità di potenza di calcolo, un tempo di calcolo più lungo).

Il metodo di controllo sopra descritto per verificare la presenza di un elemento rotante presenta numerosi vantaggi.

In primo luogo, il metodo di controllo sopra descritto permette di determinare con rapidità ed estrema affidabilità (cioè escludendo la possibilità di falsi positivi o di falsi negativi) la presenza o l'assenza (rottura) dell'utensile 3 rotante.

Inoltre, il metodo di controllo sopra descritto non richiede né una potenza di calcolo elevata, né una grande occupazione di memoria e quindi risulta di semplice ed economica implementazione.

Nell'esempio di attuazione sopra descritto ed illustrato nelle figure allegate, il metodo di controllo sopra descritto viene utilizzato per verificare la presenza/rottura dell'utensile 3 rotante. Ovviamente, il metodo di controllo sopra descritto può venire utilizzato per verificare la presenza/rottura di un qualsiasi altro tipo di elemento rotante diverso da un utensile rotante.

R I V E N D I C A Z I O N I

1) Metodo di controllo per verificare la presenza di un elemento (3) rotante; il metodo di controllo comprende le fasi di:

acquisire una frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante;

indirizzare una radiazione (9) elettromagnetica principale verso l'elemento (3) rotante mediante un emettitore (8);

ricevere una radiazione (11) elettromagnetica riflessa che è stata riflessa dall'elemento (3) rotante mediante un ricevitore (10);

acquisire la radiazione (11) elettromagnetica riflessa per determinare un segnale (S) grezzo da analizzare;

analizzare il segnale (S) grezzo per verificare se il segnale (S) grezzo contiene una periodicità avente una frequenza corrispondente alla frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante; e

determinare che l'elemento (3) rotante è effettivamente presente se il segnale (S) grezzo contiene una periodicità avente una frequenza corrispondente alla frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante;

il metodo di controllo è **caratterizzato dal fatto**
di comprendere le ulteriori fasi di:

analizzare il segnale (S) grezzo nel dominio della
frequenza; e

determinare che il segnale (S) grezzo contiene una
periodicità avente una frequenza corrispondente alla
frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante
se il contenuto frequenziale del segnale (S) grezzo
presenta delle componenti preponderanti in
corrispondenza di multipli interi della frequenza (RF)
di rotazione dell'elemento (3) rotante.

2) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 1
e comprendente le ulteriori fasi di:

determinare un periodo esatto di rotazione del
segnale (S) grezzo mediante una analisi nel dominio del
tempo del segnale (S) grezzo;

tagliare una parte del segnale (S) grezzo in
funzione del periodo esatto di rotazione del segnale
(S) grezzo in modo tale che il segnale (S) grezzo
tagliato comprenda esattamente un numero intero di
rotazioni complete dell'elemento (3) rotante; ed

analizzare nel dominio della frequenza il segnale
(S) grezzo tagliato.

3) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 2
e comprendente l'ulteriore fase di determinare il

periodo esatto di rotazione del segnale (S) grezzo mediante una analisi nel dominio del tempo eseguita con un algoritmo di determinazione del periodo.

4) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 3 e comprendente l'ulteriore fase di determinare il periodo esatto di rotazione del segnale (S) grezzo mediante una analisi nel dominio del tempo eseguita con un algoritmo di determinazione del periodo che utilizza la funzione di autocorrelazione AMDF.

5) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 2, 3 o 4 e comprendente l'ulteriore fase di determinare il periodo esatto di rotazione del segnale (S) grezzo ricercando il periodo esatto di rotazione stesso in un intorno di ricerca che viene determinato in funzione di una frequenza nominale di rotazione dell'elemento (3) rotante ed in funzione di un intervallo di variabilità rispetto alla frequenza nominale di rotazione.

6) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 5 e comprendente l'ulteriore fase di determinare che l'elemento (3) rotante non è riconoscibile e quindi non è presente se non è possibile determinare il periodo esatto di rotazione del segnale (S) grezzo all'interno dell'intorno di ricerca.

7) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 2 a 6 e comprendente l'ulteriore fase

di decimare/espandere, applicando un ricampionamento, il segnale (S) grezzo tagliato prima di eseguire l'analisi nel dominio della frequenza.

8) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 7 e comprendente l'ulteriore fase di decimare/espandere il segnale (S) grezzo in modo tale che il segnale (S) grezzo comprenda un numero di campioni pari ad una potenza del numero due.

9) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 8 e comprendente l'ulteriore fase di applicare una trasformazione di Fourier, preferibilmente una FFT ("Fast Fourier Transform"), al segnale (S) grezzo per passare dal dominio del tempo al dominio della frequenza.

10) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 9 e comprendente le ulteriori fasi di:

determinare il modulo e l'ordine della armonica avente il modulo massimo; e

determinare che l'elemento (3) rotante è effettivamente presente se l'ordine della armonica avente il modulo massimo è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo.

11) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 10 e comprendente l'ulteriore fase di determinare che

l'elemento (3) rotante è effettivamente presente se l'ordine della armonica avente il modulo massimo è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo e se, nello stesso tempo, il modulo massimo della armonica avente il modulo massimo è superiore ad un primo valore di soglia.

12) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 9 e comprendente le ulteriori fasi di:

calcolare un rapporto segnale/rumore in funzione del numero intero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo; e

determinare che l'elemento (3) rotante è effettivamente presente se il rapporto segnale/rumore è superiore ad un secondo valore di soglia.

13) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 12, in cui nel calcolo del rapporto segnale/rumore vengono considerati segnale utile tutti i moduli delle armoniche il cui ordine è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo e vengono considerati rumore tutti i moduli delle armoniche il cui ordine non è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo.

14) Metodo di controllo secondo la rivendicazione 12 o 13 e comprendente l'ulteriore fase di calcolare il rapporto segnale/rumore come frazione il cui numeratore è una combinazione dei moduli delle armoniche il cui ordine è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo ed il cui denominatore è una combinazione di tutti i moduli delle armoniche il cui ordine non è un multiplo intero del numero intero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo.

15) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 14 e comprendente l'ulteriore fase di determinare la durata del segnale (S) grezzo in funzione della frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante in modo tale che il segnale (S) grezzo contenga almeno due rotazioni complete dell'elemento (3) rotante.

16) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 15 e comprendente l'ulteriore fase di variare la frequenza di acquisizione della radiazione (11) elettromagnetica riflessa in funzione della frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante in modo tale che la frequenza di acquisizione

sia crescente al crescere della frequenza (RF) di rotazione.

17) Metodo di controllo secondo una delle rivendicazioni da 1 a 16 e comprendente l'ulteriore fase di variare il numero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo in funzione della frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante in modo tale che il numero di rotazioni complete dell'elemento (3) rotante contenute nel segnale (S) grezzo sia crescente al crescere della frequenza (RF) di rotazione.

18) Apparecchiatura (6) di controllo per verificare la presenza di un elemento (3) rotante ad una frequenza (RF) di rotazione nota o determinabile; l'apparecchiatura (6) di controllo comprende:

un emettitore (8) per indirizzare una radiazione (9) elettromagnetica principale verso l'elemento (3) rotante;

un ricevitore (10) per ricevere una radiazione (11) elettromagnetica riflessa che è stata riflessa dall'elemento (3) rotante; ed

una unità (12) di elaborazione che campiona la radiazione (11) elettromagnetica riflessa per determinare un segnale (S) grezzo da analizzare, analizza il segnale (S) grezzo per verificare se il

segnale (S) grezzo contiene una periodicità avente una frequenza corrispondente alla frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante, e determina che l'elemento (3) rotante è effettivamente presente se il segnale (S) grezzo contiene una periodicità avente una frequenza corrispondente alla frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante;

l'apparecchiatura (6) di controllo è **caratterizzata dal fatto che:**

l'unità (12) di elaborazione analizza il segnale (S) grezzo nel dominio della frequenza; e

l'unità (12) di elaborazione determina che il segnale (S) grezzo contiene una periodicità avente una frequenza corrispondente alla frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante se il contenuto frequenziale del segnale (S) grezzo presenta delle componenti preponderanti in corrispondenza di multipli interi della frequenza (RF) di rotazione dell'elemento (3) rotante.

CLAIMS

1. Checking method for checking the presence of a rotating element (3), the checking method includes the steps of:

- obtaining a rotational frequency (RF) of the rotating element (3);
- directing a main electromagnetic radiation toward the rotating element (3) by means of an emitter (8);
- receiving a reflected electromagnetic radiation (11) that has been reflected by the rotating element (3) by means of a receiver (10);
- collecting the reflected electromagnetic radiation (11) for determining a rough signal (S) to be analyzed;
- analyzing the rough signal (S) for verifying whether the rough signal have a periodicity with a frequency corresponding to the rotational frequency (RF) of the rotating element (3); and
- determining that the rotating element (3) is actually present if the rough signal (S) has a periodicity with a frequency corresponding to the rotational frequency (RF) of the rotating element (3);

the checking method is characterized in that it includes the further steps of:

- analyzing the rough signal (S) in the frequency domain ; and
- determining that the rough signal (S) has a periodicity with a frequency corresponding to the rotational frequency (RF) of the rotating element (3) if the frequency content of the rough signal (S) has preponderant components at integral multiples of the rotational frequency (RF) of the rotating element (3).

2. Checking method according to claim 1 and including the further steps of:

- determining an exact rotational period of the rough signal (S) by means of an analysis in the time domain of the rough signal (S);
- cutting a part of the rough signal (S) as a function of the exact rotational period of the rough signal (S) in such a way that the cut rough signal (S) exactly includes a whole number of complete rotations of the rotating element (3); and
- analyzing the cut rough signal (S) in the frequency domain.

3. Checking method according to claim 2 and including the further step of determining the exact rotational period of the rough signal (S) by means of an analysis in the time domain that is carried out with an algorithm for determining the period.
4. Checking method according to claim 3 and including the further step of determining the exact rotational period of the rough signal (S) by means of an analysis in the time domain that is carried out with an algorithm for determining the period using the AMDF (Average Magnitude Difference Function) autocorrelation function.
5. Checking method according to claim 2, 3 or 4 and including the further step of determining the exact rotational period of the rough signal (S) by searching for the exact rotational period within a searching neighbourhood that is determined as a function of a nominal rotational frequency of the rotating element (3) and as a function of a variability interval with respect to the nominal rotational frequency.
6. Checking method according to claim 5 and including the further step of determining that the rotating element (3) can not be recognized and thus is not present if it is not possible to determine the exact rotational period of the rough signal (S) within the searching neighbourhood.
7. Checking method according to any one of claims 2 to 6 and including the further step of decimating/expanding, by performing resampling, the cut rough signal (S) before carrying out the analysis in the time domain.
8. Checking method according to claim 7 and including the further step of decimating/expanding the rough signal (S) in such a way that the rough signal (S) includes a number of samples that is equal to a power of the number two.
9. Checking method according to any one of claims 1 to 8 and including the further step of applying a Fourier Transform, preferably a FFT (Fast Fourier Transform), to the rough signal (S) to move on from the time domain to the frequency domain.

10. Checking method according to claim 9 and including the further steps of:
 - determining the amplitude and the order of the harmonic having the highest amplitude; and
 - determining that the rotating element (3) is actually present if the order of the harmonic having the highest amplitude is an integral multiple of the whole number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S).
11. Checking method according to claim 10 and including the further step of determining that the rotating element (3) is actually present if the order of the harmonic having the highest amplitude is an integral multiple of the whole number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S), and if, at the same time, the highest amplitude of the harmonic with the highest amplitude is higher than a first threshold value.
12. Checking method according to claim 9 and including the further steps of
 - calculating a signal-to-noise ratio as a function of the whole number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S); and
 - determining that the rotating element (3) is actually present if the signal-to-noise ratio is higher than a second threshold value.
13. Checking method according to claim 12, wherein in calculating the signal-to-noise ratio all the amplitudes of the harmonics whose order is an integral multiple of the whole number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S) are considered as usable signal, and all the amplitudes of the harmonics whose order is not an integral multiple of the whole number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S) are considered as noise.
14. Checking method according to claim 12 or 13 including the further step of calculating the signal-to-noise ratio as a fraction where the numerator is a combination of the amplitudes of the harmonics whose order is an integral multiple of the whole number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S), and the denominator is a combination of all the

amplitudes of the harmonics whose order is not an integral multiple of the whole number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S).

15. Checking method according to any one of claims 1 to 14 and including the further step of determining the length of the rough signal (S) as a function of the rotational frequency (RF) of the rotating element (3) in such a way that the rough signal (S) includes at least two complete rotations of the rotating element (3).
16. Checking method according to any one of claims 1 to 15 and including the further step of varying the capture frequency of the reflected electromagnetic radiation (11) as a function of the rotational frequency (RF) of the rotating element (3) in such a way that the capture frequency increases as the rotational frequency (RF) increases.
17. Checking method according to any one of claims 1 to 16 and including the further step of varying the number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S) as a function of the rotational frequency (RF) of the rotating element (3) in such a way that the number of complete rotations of the rotating element (3) included in the rough signal (S) increases as the rotational frequency (RF) increases.
18. Checking apparatus for checking the presence of a rotating element (3) at a known or determinable rotational frequency (RF); the checking apparatus (6) comprises:
 - an emitter (8) for directing a main electromagnetic radiation (9) toward the rotating element (3);
 - a receiver (10) for receiving a reflected electromagnetic radiation (11) that has been reflected by the rotating element (3); and
 - a processing unit (12) that samples the reflected electromagnetic radiation (11) for determining a rough signal (S) to be analyzed, analyzes the rough signal (S) to verify whether the rough signal (S) has a periodicity with a frequency corresponding to the rotational frequency (RF) of the rotating element (3), and determines that the rotating element (3) is actually present if the rough signal (S) has a periodicity with a frequency corresponding to the rotational frequency (RF) of the rotating element (3);

the checking apparatus (6) is characterized in that

- the processing unit (12) analyzes the rough signal (S) in the frequency domain; and
- the processing unit (12) determines that the rough signal (S) has a periodicity with a frequency corresponding to the rotational frequency (RF) of the rotating element (3) if the frequency content of the rough signal (S) has preponderant components at integral multiples of the rotational frequency (RF) of the rotating element (3).

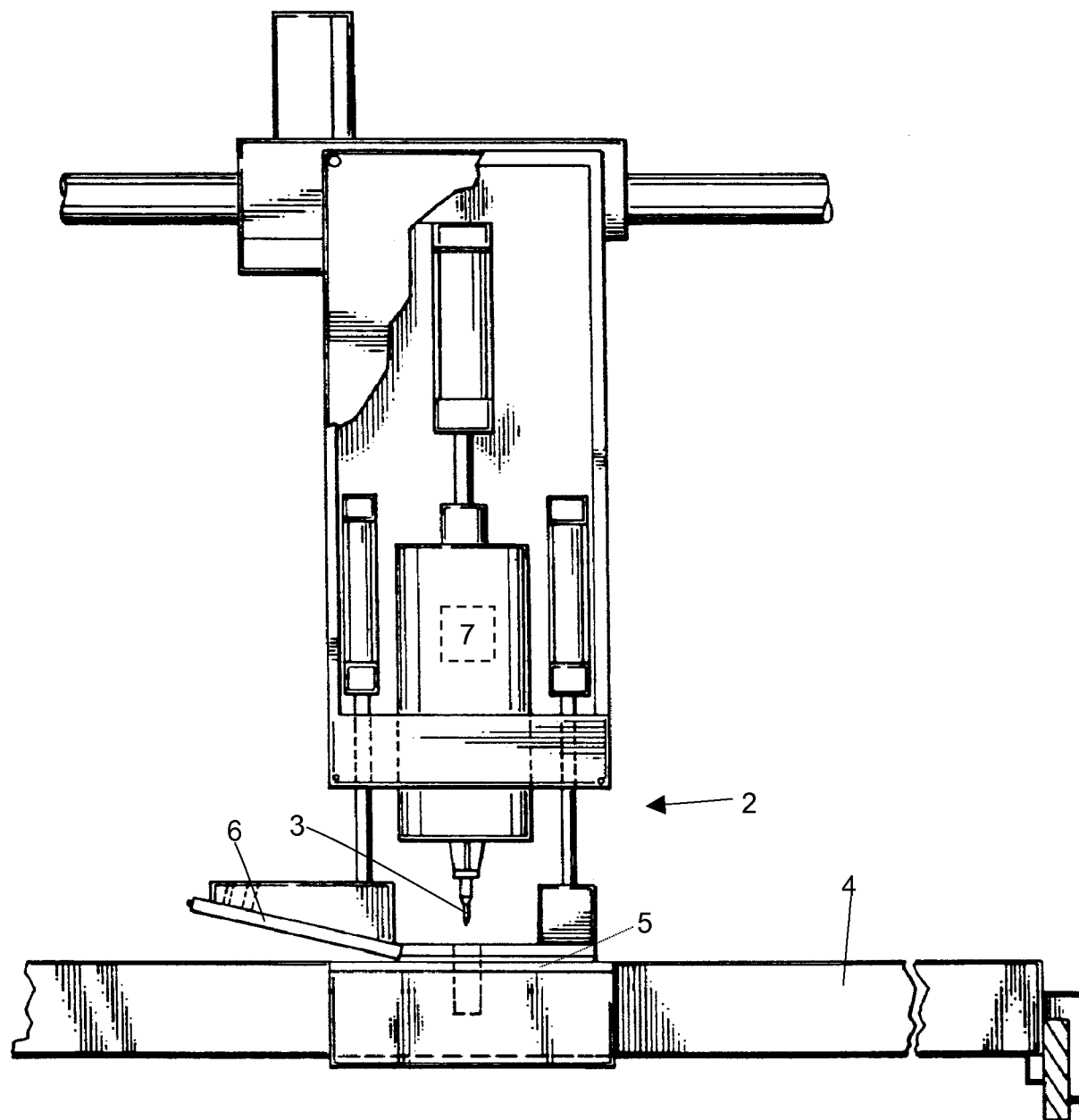


Fig. 1

Fig. 2

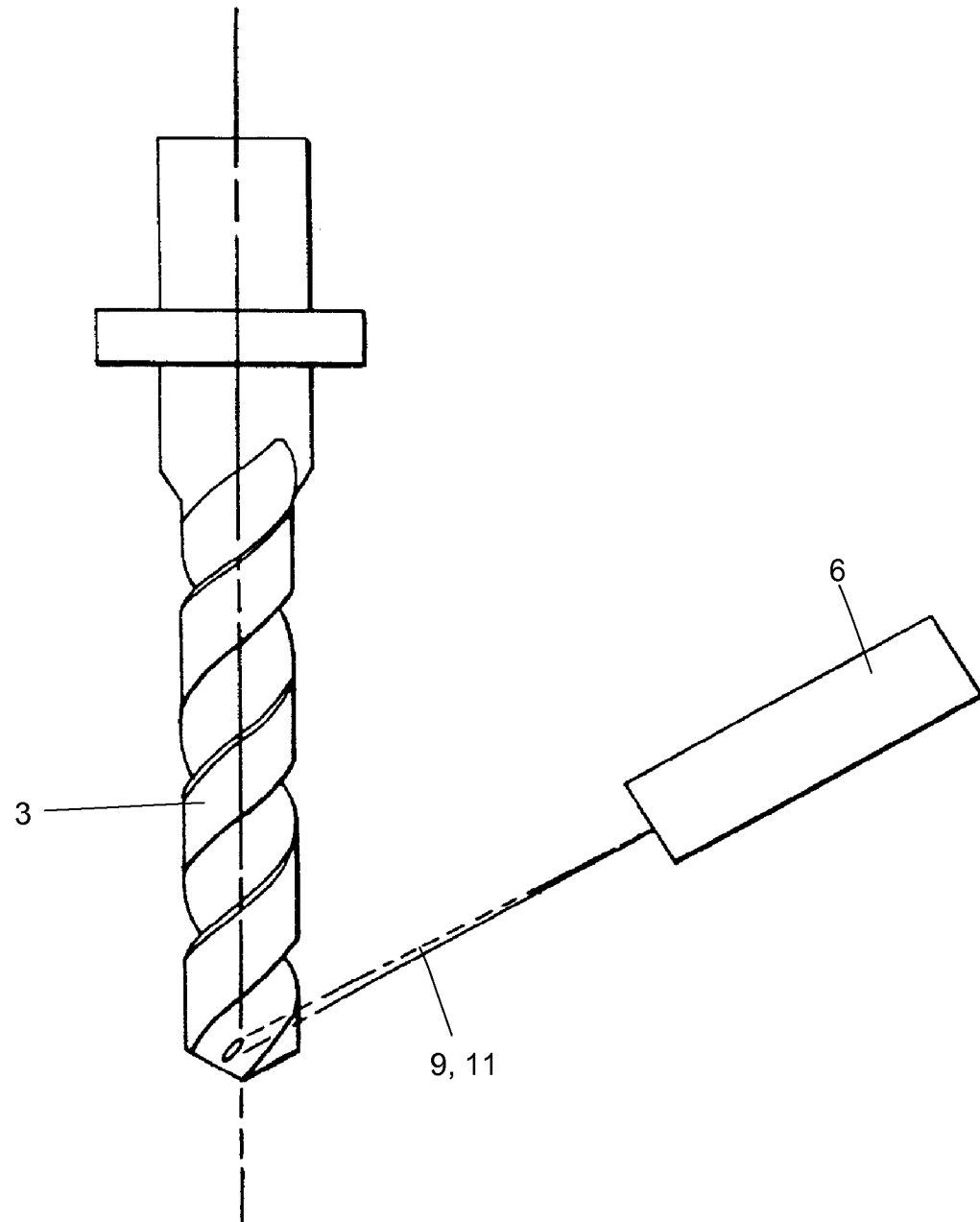


Fig. 3

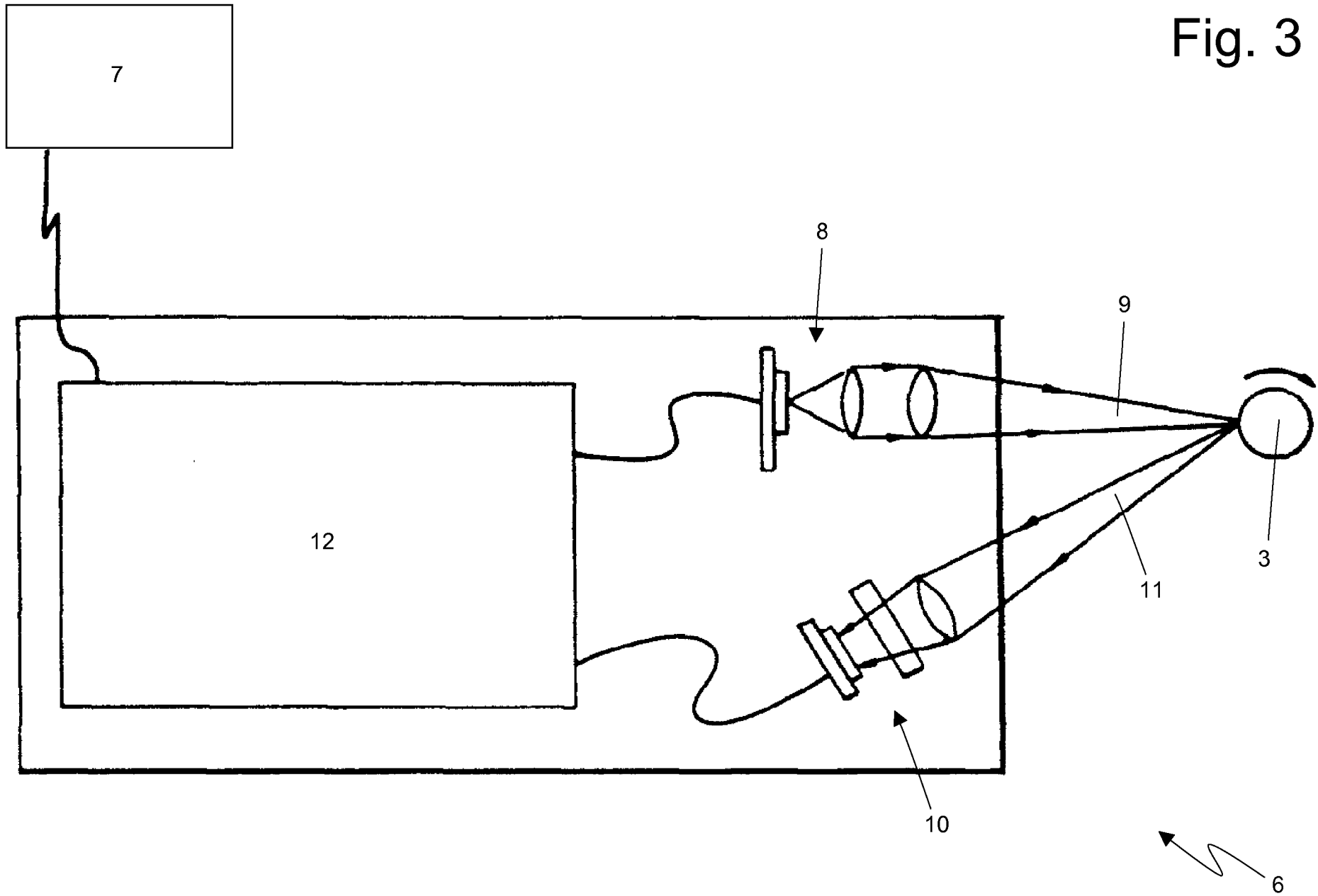


Fig. 4

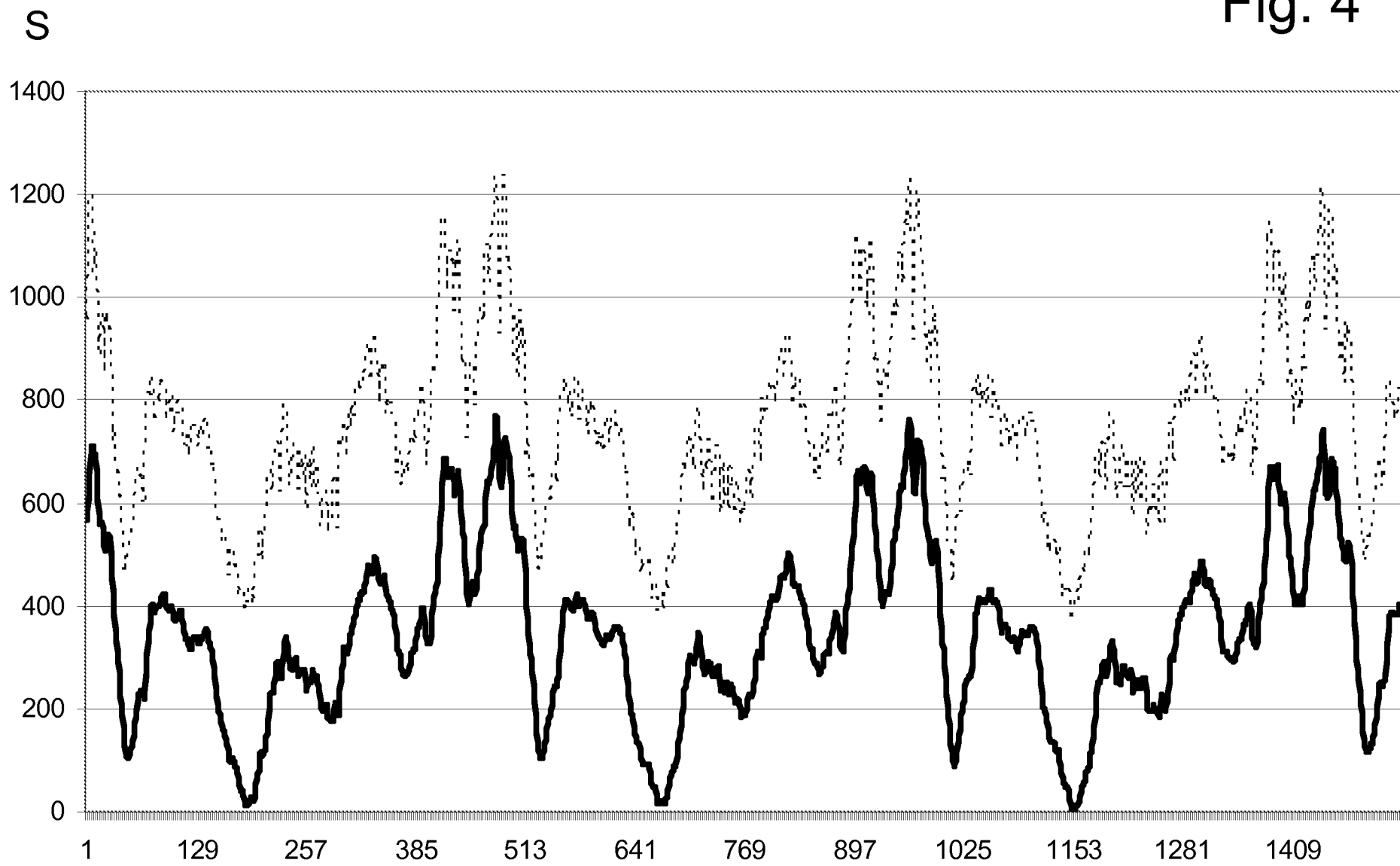


Fig. 5

AMDF



Fig. 6

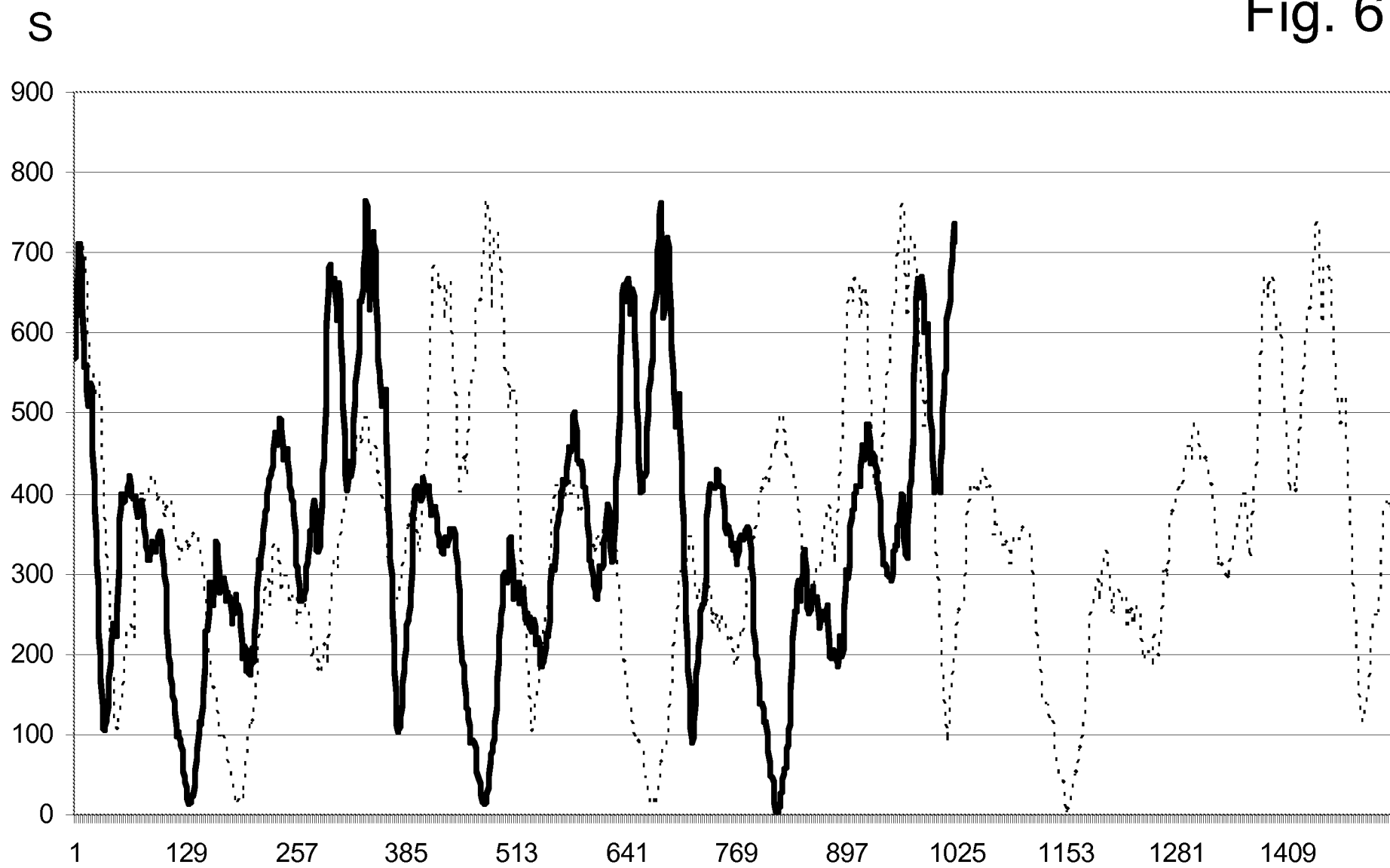


Fig. 7

