

SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

697 481 B1

(51) Int. Cl.: G04F 10/04 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

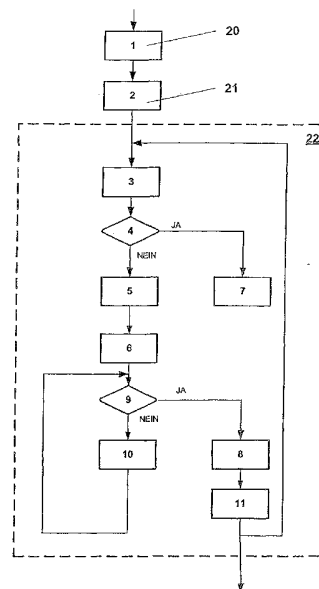
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTCHRIFT**

<p>(21) Anmeldenummer: 01949/04</p> <p>(22) Anmeldedatum: 26.11.2004</p> <p>(30) Priorität: 23.12.2003 AT A2077/2003</p> <p>(24) Patent erteilt: 14.11.2008</p> <p>(45) Patentschrift veröffentlicht: 14.11.2008</p>	<p>(73) Inhaber: Riegler Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburg Strasse 48 3580 Horn (AT)</p> <p>(72) Erfinder: Ullrich, Andreas, Dr., 3003 Gablitz (AT) Ederer, Gerhard, 3841 Windigsteig (AT) Dipl. Ing. Andreas Friedl, 3900 Schwarzenau (AT) Peter Hammer, 3813 Dietmanns (AT)</p> <p>(74) Vertreter: Büchel, von Révy & Partner, Im Zedernpark 9500 Wil SG (CH)</p>
--	--

(54) **Verfahren zur Messung von Zeitintervallen.**

(57) Verfahren zur Messung von Zeitintervallen im Pico-Sekundenbereich, wobei Impulse in einem Analog-Digital-Konverter (21) abgetastet und digitalisiert werden und die vom Analog-Digital-Konverter (21) erzeugten digitalen Abtastwerte einem Prozessor zugeführt und in einem Speicher abgelegt werden und zu jedem Ereignis ein zugeordneter Block von Abtastwerten gebildet wird und zu jedem Block zumindest für einen Abtastwert desselben eine zugehörige Pulszahl des Clock-Generators bzw. Zeit aufgezeichnet wird, und der Prozessor aus diesen gültigen Blöcken von Abtastwerten zunächst jeweils einen Maximalwert ermittelt und symmetrisch zu diesen Maximalwerten eine definierte Zahl von benachbarten Abtastwerten vor und nach dem Maximalwert aus dem Speicher auswählt, worauf für diese und den zugehörigen Maximalwert eine Schwerpunktbildung durchgeführt wird und aus der Zeitordinate des damit gewonnenen Schwerpunktes ein hochaufgelöster Zeitwert zu jedem Ereignis ermittelt wird und über eine Differenzbildung des Zeitwertes des ersten Ereignisses von den Zeitwerten der nachfolgenden Ereignissen Zeitintervalle berechnet werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Messung von Zeitintervallen mit Auflösung und Genauigkeit im Pico-Sekundenbereich zwischen zumindest zwei einander zugeordneten Signal-Ereignissen in Form von Signal-Impulsen, als Differenz von Messungen der Zeiten jedes Ereignisses in Bezug auf den Startzeitpunkt eines mit hoher Genauigkeit arbeitenden Clock-Generators. Ein Ziel der Erfindung ist, solche Messungen mit einer geringen Totzeit zwischen den Impulsen durchzuführen, ferner eine hohe maximalmögliche Anzahl von Ereignissen zu erfassen. Ein weiteres Ziel der Erfindung ist, eine hohe Messrate, d.h. eine hohe Wiederholrate des jeweils ersten Ereignisses, zu erreichen.

[0002] Zeitmesseinrichtung der oben beschriebenen Art werden in Mikrowellen- und Laser-Entfernungsmesssystemen und Radargeräten, aber auch in vielen anderen Bereichen der Physik, wie z.B. bei Teilchenbeschleunigern, benötigt. Bei Laser-Entfernungsmessern für geodätische Zwecke, die mit Retro-Reflektoren als Ziel arbeiten, wird eine Auflösung im Millimeterbereich und darunter durch eine Phasenmessung zwischen ausgesandtem und reflektiertem Signal erreicht. Diese Technik ist bei Entfernungsmessern und Radargeräten, die ohne Reflektoren arbeiten, nicht anwendbar. Bei diesen Geräten werden zur Entfernungsmessung kurze Impulse oder Impulsfolgen ausgesandt, wobei die sogen. «Time of Flight» (TOF) der Impulse gemessen wird, das heisst also die Laufzeit eines Impulses vom Zeitpunkt der Aussendung derselben bis zum Eintreffen des entsprechenden Echo-Pulses. Um mit solchen Geräten eine vergleichbare Auflösung zu erreichen, ist eine Zeitmessung im Bereich von Pico-Sekunden erforderlich. Beispielsweise entspricht die TOF von 6 psec einer Entfernung von 1 mm, für eine Entfernungsauflösung von 0,1 mm ist also eine Genauigkeit von 0,6 psec erforderlich.

[0003] Es sind verschiedene Verfahren zur Messung von kurzen Zeitintervallen bekannt. Üblich bei Zeitmessungen im Nano-Sekunden-Bereich ist beispielsweise das Auszählen der Zeitintervalle mittels hochfrequenter Zähler. Sollen mit dieser Technik Zeiten im Picosekunden-Bereich aufgelöst werden, sind Zähltaaktfrequenzen von über 100 Ghz erforderlich. Ein weiterer Ansatz zur Ermittlung solcher kurzer Zeitintervalle besteht im Auszählen und der Analyse der Restzeiten zwischen Ereignissen und Zähltaaktflanken über Zeit-Zeit- oder Zeit-Spannungs-Wandlung. Ein Problem dieser Technik besteht darin, dass Analogelektronik mit schnellen Schaltvorgängen erforderlich ist, wodurch sich grosse Totzeiten und eine grosse Anfälligkeit für systematische Fehler ergibt. Schliesslich ist es möglich, zur Zeitmessung eines Ereignisses die Position einer in einem Ring umlaufenden Pulsflanke zu bestimmen, welcher Ring aus einer ungeraden Anzahl von Invertiern besteht. Nachteilig bei dieser Lösung ist die Begrenzung der möglichen Auflösung durch die Schaltzeit der Gatter (~100 psec) und durch Inhomogenitäten in dem Ring.

[0004] Erfindungsgemäss wird dieses Problem dadurch gelöst, dass bei Vorliegen von für die weitere Verarbeitung ungeeigneten Signalformen von den ansteigenden bzw. den abfallenden Flanken der Signal-Impulse Impulse definierter Form und Amplitude abgeleitet werden. Die ursprünglich vorhandenen bzw. auf die beschriebene Weise erzeugten Impulse werden anschliessend in einem Analog-Digital-Konverter (ADC) abgetastet und digitalisiert. Die vom ADC erzeugten digitalen Abtastwerte werden dann einem Prozessor zugeführt und in einem Speicher abgelegt. Zu jedem Ereignis wird, gegebenenfalls nach Durchlaufen eines Schwellwertfilters, ein Block von Abtastwerten gebildet, wobei zu jedem Block zumindest zu einem, vorzugsweise zum ersten, Abtastwert des Blockes eine zugehörige Pulszahl des Clock-Generators bzw. die entsprechende Zeit aufgezeichnet wird. Der Prozessor ermittelt aus diesen gültigen Blöcken von Abtastwerten zunächst jeweils einen Maximalwert. Anschliessend werden symmetrisch zu diesen Maximalwerten eine definierte Zahl von benachbarten Abtastwerten vor und nach dem Maximalwert aus dem Speicher ausgewählt, worauf für diese und den zugehörigen Maximalwert eine Schwerpunktbildung durchgeführt wird und aus der Zeitcoordinate des damit gewonnenen Schwerpunktes ein hochaufgelöster Zeitwert zu jedem Ereignis ermittelt wird und abschliessend über eine Differenzbildung des Zeitwertes des ersten Ereignisses von den Zeitwerten der nachfolgenden Ereignisse Zeitintervalle berechnet werden.

[0005] Durch das neue Verfahren ist es möglich, bei einer gegebenen Abtastrate die Zeitauflösung gegenüber konventionellen Zeitmessverfahren um 2–3 Zehnerpotenzen zu verbessern. Ermöglicht wird dies durch schnelle ADCs mit grosser Digitalisierungstiefe und einer leistungsfähigen Digitalelektronik, z.B. in Form von Field programmable gate arrays (FPGAs) oder ASISc. Selbst bei einer moderaten Abtastrate von 1 Giga Samples pro Sekunde (GSPS) und einer 8-bit Digitalisierung ist eine Standardabweichung in der Zeitintervallmessung von 5 ps erzielbar, entsprechend einer Entfernungsmessgenauigkeit von besser als 1 mm. Mit den gegenwärtig leistungsfähigsten, am Markt verfügbaren ADCs mit 2 GSPS und einer 10-bit-Digitalisierungstiefe ist sogar eine Genauigkeit von 0,6 ps, entsprechend einer Entfernungsmessgenauigkeit 0,1 mm erzielbar. Zum Vergleich: mit der o.a. konventionellen Zeitmesstechnik basierend auf einem Auszählen der Takte mittels hochfrequenter Zähler wäre zur Erzielung einer vergleichbaren Genauigkeit ein Messtakt von 600 GHz erforderlich.

[0006] Gemäss einem weiteren Merkmal der Erfindung werden vor der Schwerpunktbildung die ausgewählten Abtastwerte auf Plausibilität geprüft, wobei der betreffende Block gelöscht wird, wenn eine aus den Abtastwerten rekonstruierte Impulsform von einer vorgegebenen Form unter Berücksichtigung eines definierten Toleranzbandes abweicht.

[0007] Zur Reduktion der Totzeiten zwischen den Ereignissen können in einer vorteilhaften Weiterentwicklung der Erfindung die Analog-Digitalwandlerstufen mehrkanalig ausgeführt sein.

[0008] Vorteilhaft erfolgt zur Maximierung der Messrate die Schwerpunktbildung durch eine festverdrahtete Logik.

[0009] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einiger Ausführungsbeispiele und unter Bezugnahme auf die Zeichnung.

- Die Fig. 1A und 1B zeigen ein Flussdiagramm mit den wesentlichen Verfahrensschritten der Erfindung.
- Die Fig. 2a veranschaulicht ein Diagramm mit den digitalisierten Abtastwerten eines Impulses.
- Die Fig. 2b gibt die Formel zur Berechnung der Schwerlinie eines Blockes von Abtastwerten wieder.
- Die Fig. 3 zeigt in Form eines Blockdiagrammes eine Variante der Erfindung.

[0010] Das Ausführungsbeispiel gemäss der Zeichnung bezieht sich auf einen Laserentfernungsmesser, der eine Auflösung im mm-Bereich und darunter aufweist. Bekanntlich weisen diese Geräte einen Laser-Transmitter auf, der kurze Laser-Impulse aussendet. Diese Impulse werden von den Zielen, welche in der Regel das Laserlicht diffus reflektieren, zurückgeworfen und in einem Empfangssystem in ein elektrisches Signal umgewandelt. Im Allgemeinen sind diese Echoimpulse gegenüber den Sendeimpulsen stark gedämpft und in der Regel durch die Struktur der Zieloberfläche auch in der Pulsform mehr oder weniger stark verändert. Da auch ein kleiner Teil des Sendeimpulses dem Empfangssystem zugeführt wird, kann aus dem Zeitintervall zwischen Aussenden eines Impulses und dem Empfang des zugehörigen Echo-Impulses der Abstand zwischen dem Entfernungsmesser und dem Ziel ermittelt werden. Bei diesem Laufzeit- oder TOF-(time of flight)-Verfahren bestimmt die Genauigkeit und Auflösung der Zeit- bzw. der Zeitintervallmessung unmittelbar die Genauigkeit und Auflösung der Entfernungsmessung.

[0011] Wird die Entfernungsmessung gemäss einem bekannten Verfahren durch Auszählen von Impulsen eines Clockgenerators durchgeführt, so erzielt man beispielsweise mit einer Zählrate von 1 GHz eine Entfernungsauflösung von 15 cm, dementsprechend benötigt man für eine Auflösung besser als 1 mm Zählraten von 150 bis 200 GHz. Geräte für so hohe Frequenzen sind aber mit dem heutigen Stand der Technik wirtschaftlich nicht herstellbar und auch vom Energieverbrauch her nicht beherrschbar.

[0012] Die Erfindung basiert auf einem TOF-Prinzip mit digitalisierten Impulsen, wobei der AD-Konverter von einem Clockgenerator getaktet wird. Aus den Abtastwerten werden Impulse rekonstruiert. Zur Zeitmessung werden die Impulse des Clockgenerators zwischen dem Reset eines Zählers und den rekonstruierten ausgezählt, wobei diese Messung allerdings nur als eine Grobmessung genutzt wird. Durch ein off-line-Processing sowohl des Sende- als auch des Empfangsimpulses werden die Zeitpunkte der entsprechenden Ereignisse mit hoher Auflösung ermittelt. Würde man diese Werte als Absolutzeitwerte benutzen, so würde die Genauigkeit durch die geringe Auflösung des Anfangswertes der Zeitmessung beeinträchtigt. Gemäss der Erfindung wird aber das Zeitintervall durch eine Differenzbildung aus den für die beiden Ereignisse ermittelten Werten gebildet, wodurch der Anfangswert der Zeitmessung mit seiner geringen Auflösung in der Rechnung unberücksichtigt bleibt. Es ist mit dem neuen Verfahren daher möglich, mit einer Frequenz des Clockgenerators von nur 1 GHz eine Standardabweichung in der Zeitintervallmessung von 5 ps, entsprechend einer Entfernungsmessgenauigkeit von kleiner 1 mm zu erzielen, d.h. also, dass durch das neue Verfahren gegenüber dem Stand der Technik eine Verbesserung in der Zeit- bzw. Entfernungsmessung von 2–3 Zehnerpotenzen möglich wird. Durch das neue Verfahren ist es damit auch möglich, das Shannon'sche Abtasttheorem (auch als Nyquist-Kriterium bezeichnet) zu umgehen, gemäss welchem der Verlauf eines frequenzbandbegrenzten Signals nur dann rekonstruiert werden kann, wenn die Abtastrate grösser als die doppelte im Signal enthaltene Frequenz ist.

[0013] Sind bei bestimmten Anwendungen die verwendeten Impulse so kurz, dass sie mit einer Abtastrate von beispielsweise 1 GHz nicht digitalisiert werden können, wird der Impulsverarbeitung eine Impulserzeuger- bzw. Impulswandlerstufe vorausgestellt. Um eine ausreichende Anzahl von Abtastwerten zu erzielen, weisen die erzeugten Impulse in dem vorliegenden Beispiel eine Breite von mindestens 10–20 ns auf. Langen nun im Abstand von Pico-Sekunden Echoimpulse ein, so ist die AD-Wandlung des ersten Pulses noch nicht abgeschlossen, wenn der nächste eintrifft. Das System hat also eine Totzeit, die von der Pulslänge und der Abtastrate bestimmt wird.

[0014] Die einlangenden oder die auf die o.a. Weise erzeugten Impulse werden einer kontinuierlichen Analog-Digital-Wandlung unterworfen. Das neue Verfahren setzt schnelle ADCs (Analog-Digital-Converter) mit einer relativ grossen Digitalisierungstiefe und eine leistungsfähige Digitalelektronik voraus. Die Letztere kann beispielsweise aus FPGAs (field programmable gate arrays) oder einem ASIC bestehen. Durch die Digitalelektronik werden Gruppen D von N aufeinanderfolgenden Abtastwerten gebildet. Die Abtastwerte werden über einen Schwellwertfilter der weiteren Verarbeitung zugeführt. Sind alle N Abtastwerte kleiner als der Schwellwert A, so bleiben die Werte unberücksichtigt. Ist mindestens ein Abtastwert grösser als A, wird aus den N Abtastwerten der Gruppe D ein Block B von Abtastwerten erstellt, zu welchem in einem weiteren Schritt der Sample-Index des ersten Abtastwertes ermittelt und abgespeichert wird. Anschliessend werden die nächsten N Abtastwerte über das Schwellwertfilter geführt. Ist mindestens ein Abtastwert grösser als A, werden die Abtastwerte dieser Gruppe dem Block B angefügt. Sind die N Abtastwerte der nächsten Gruppe kleiner als A, wird der Block B zur Weiterverarbeitung weitergereicht. (Fig. 1B). Bei Auftreten der nächsten Gruppe von Abtastwerten mit zumindest einem Wert $>A$ wird ein neuer Block (B+1) angelegt.

[0015] Die weitere Verarbeitung der Blöcke erfolgt off-line in einem μP : In einem ersten Schritt wird überprüft, ob die Impulsform plausibel ist, da sporadisch auftretende Störungen des ADCs nicht ausgeschlossen werden können. Entspricht die Impulsform nicht der Erwartung beziehungsweise einer definierten Pulsform unter Berücksichtigung eines entsprechenden Toleranzbandes, so wird der fragliche Block von Abtastwerten gelöscht. Entspricht die Impulsform der Erwartung,

so wird im nächsten Schritt innerhalb des Blockes B der Abtastwert mit maximaler Amplitude ermittelt und es werden 3 Abtastwerte vor und 3 Abtastwerte nach diesem Maximalwert ausgewählt. Es ist nicht erforderlich, dass alle diese Abtastwerte über dem Schwellwert A liegen. Von diesen 7 Werten wird im Folgenden der Schwerpunkt bzw. die Schwerlinie berechnet. Die auf diese Weise ermittelte Zeitkoordinate T_{est} eines ersten Ereignisses bzw. Impulses wird von dem eines zweiten Ereignisses subtrahiert. Die Differenz stellt das Zeitintervall zwischen den beiden Ereignissen dar.

[0016] Anhand der Fig. 2a wird das oben beschriebene Verfahren an einem Diagramm verdeutlicht. Man erkennt die Definition eines Blockes sowie den Schwellwert A des Schwellwertfilters.

[0017] Die Zeitwerte T_0 und T_{est} beziehen sich auf einen Nullpunkt, der durch das letzte Reset des Zählers gegeben ist. Bei der Ermittlung der Zeitintervalle müssen sich alle Messungen der Einzel-Ereignisse auf den gleichen Null- bzw. Resetpunkt beziehen.

[0018] Wie oben erwähnt, wird für den ersten Abtastwert jedes Blockes der Sample-Index I_0 ermittelt. Dieser Index ergibt multipliziert mit Wert T_{sample} die entsprechende Zeit des ersten Abtastwertes T_0 .

[0019] In Bezug auf den Sample-Index I_0 des ersten Abtastwertes des Blockes wird die Lage des Abtastwertes des Blockes ermittelt (I_{max}) der die grösste Amplitude aufweist (Maximalwert). Von diesem ausgehend werden je 3 Abtastwerte vor und nach dem Maximalwert bestimmt. In dem konkreten Beispiel ist der Index des Maximalwertes (R+11), ausgewählt werden daher die Werte mit dem Index (R+8), (R+ 9) und (R+10) sowie (R+12), (R+13) und (R+14). Für diese 7 Werte wird gemäss der Formel nach Fig. 2b der Index bzw. die Zeitkoordinate des Schwerpunktes bzw. die Schwerlinie berechnet. Dieser Absolut-Wert weist eine relativ geringe Genauigkeit auf, da der Startzeitpunkt des Ereignisses in der Regel vom Indexraster der Abtastung abweichen wird. Da zur Ermittlung des Zeitintervalles zwischen zwei zusammengehörigen Ereignissen die Differenz der entsprechenden Zeitkoordinaten gebildet wird, fällt der mit einer deutlichen Ungenauigkeit behaftete Startzeitpunkt des Zählers aus der Rechnung. Das Zeitintervall weist daher eine um Grössenordnungen höhere Genauigkeit auf, wie die zuvor ermittelten absoluten Zeitwerte.

[0020] Folgen die Impulse in sehr rascher Folge aufeinander, wie dies bei einem Laserentfernungsmesssystem bzw. einem Laserradar der Fall sein kann, wenn das Ziel eine flach strukturierte Oberfläche aufweist, dann ist die Digitalisierung des ersten Wertes noch nicht abgeschlossen, wenn der nächste eintrifft. Um eine solche Totzeit des Systems zu vermeiden, wird der Eingang des Systems mit den (optionalen) Impulserzeugungsstufen 20, der DAC 21 und die Digitalelektronikstufe 22 zweikanalig ausgeführt. Ein De-Multiplexer 19 schaltet bei Bedarf von Kanal 1 auf den Kanal 2 um und umgekehrt.

[0021] Der vom Sendeimpuls abgeleitete Impuls und die Echoimpulse werden, wenn die Impulse typisch nicht für die weitere Verarbeitung geeignet sind, in Pulse von definierter Form, Breite und Amplitude verwandelt. Dazu wird entweder von der aufsteigenden oder der abfallenden Flanke der zu verarbeitenden Impulse ein Signal abgeleitet, das in der Stufe 20 die Erzeugung der entsprechenden Pulse auslöst. In dem nachfolgenden ADC 21 wird der Impuls digitalisiert. Der im Wesentlichen kontinuierliche Strom von Abtastwerten wird einer weiteren Stufe 22 zugeleitet. Durch diese werden Gruppen von jeweils N Abtastwerten gebildet. Es folgt darauf ein Vergleich mit einem Schwellwert A: sind alle N-Abtastwerte einer Gruppe kleiner als A, so werden die entsprechenden Gruppen von Abtastwerten verworfen. Überschreitet hingegen zumindest ein Abtastwert einer Gruppe den Schwellwert A, so wird ein Block B angelegt. Der Index-Zählerwert des ersten Abtastwertes des Blockes wird zusammen mit dem Block gespeichert. Enthält die nächste Gruppe von N Abtastwerten keinen Wert $> A$, so wird der Block B zur weiteren Verarbeitung an den μP übergeben (Fig. 1B). Sind hingegen in den folgenden Gruppen von jeweils N Abtastwerten Abtastwerte $> A$ enthalten, so werden die entsprechenden Gruppen dem Block B hinzugefügt, bis schliesslich in einer Gruppe von N Abtastwerten sämtliche Werte $< A$ sind. Da in dieser Stufe 22 die sehr grossen, vom ADC gelieferten Datenmengen in Echtzeit bearbeitet werden müssen, sind die entsprechenden Funktionen hardwaremässig in die Bausteine implementiert. Bewährt haben sich für diesen Zweck sogen. «field programmable gate arrays», FPGAs und ASISc. Anschliessend werden die im Folgenden einlangenden Gruppen D von jeweils N Abtastwerten wieder auf das Auftreten eines Abtastwertes $> A$ überprüft, im positiven Fall wird die Bildung eines Blockes (B+1) ausgelöst.

[0022] Nachdem der Block B an den μP übergeben worden ist, wird dieser im μP off-line weiterverarbeitet. Im Besonderen werden im μP die Plausibilitätsprüfung, die Maximalwertbestimmung, die Auswahl der je 3 Abtastwerte vor und nach dem Maximalwert und die Berechnung des Schwerpunktes bzw. der Schwerlinie durchgeführt. Als Ergebnis dieser Verarbeitung werden an die folgende Stufe die Werte T_{est} weitergereicht, wo aus diesen Werten die entsprechenden Zeitintervalle berechnet werden.

[0023] Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Beispiele beschränkt: gemäss den o.a. Beispielen werden beidseits der Maximalwerte je drei Abtastwerte ausgewählt. Diese Zahl kann selbstverständlich im Rahmen der Erfindung in weiten Grenzen verändert werden.

[0024] Die Erfindung kann auch nicht nur in Laserentfernungsmessern, sondern auch in Mikrowellen-Entfernungsmessern und -Radargeräten angewendet werden. Es ist auch möglich, die Erfindung in anderen Messsystemen, beispielsweise für Teilchenbeschleuniger, einzusetzen.

Legende zum Flussdiagramm gemäss Fig. 1A:**[0025]**

- 1 Impulserzeugung
- 2 Analog-Digitalwandlung
- 3 Bildung einer Gruppe D von jeweils N Abtastwerten
- 4 Alle Abtastwerte der Gruppe D < A
- 5 Erstelle neuen Block B von Abtastwerten
- 6 Abspeichern des Sample-Index des 1. Abtastwertes von B
- 7 Verwerfe Gruppe D von Abtastwerten
- 8 Verwerfe Gruppe (D+1) von Abtastwerten
- 9 Abtastwerte der nächsten Gruppe (D+1) < A
- 10 Füge Gruppe (D+1) zu Block B
- 11 Übergebe Block B an μP

Legende zum Flussdiagramm gemäss Fig. 1B:**[0026]**

- 12 Übernahme von Block B
- 13 Pulsform plausibel
- 14 Ermittlung von Abtastwert mit maximaler Amplitude
- 15 Auswahl von je 3 Abtastwerten vor und nach Maximum
- 16 Berechnung Zeitkoordinate T_{est} von Schwerpunkt
- 17 Weitergabe von T_{est} für jedes Ereignis
- 18 Verwerfe Block B

Legende zum Blockdiagramm gemäss Fig. 3:**[0027]**

- 19 De-Multiplexer
- 20 Impulserzeugung
- 21 AD-Konverter
- 22 FPGA
- 23 Clock-Generator
- 24 Prozessor μP

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung von Zeitintervallen mit Auflösung und Genauigkeit im Pico-Sekundenbereich zwischen zumindest zwei einander zugeordneten Signal-Ereignissen in Form von Signal-Impulsen, als Differenz von Messungen der Pulszahlen bzw. der Zeiten jedes Ereignisses in Bezug auf den Reset-Zeitpunkt eines Zählers, der die Impulse eines mit Genauigkeit arbeitenden Clock-Generators (23) erfasst, dadurch gekennzeichnet, dass bei Vorliegen von für die weitere Verarbeitung ungeeigneten Signalformen von den ansteigenden bzw. den abfallenden Flanken der Signal-Impulse Impulse definierter Form und Amplitude abgeleitet werden, und dass die ursprünglich vorhandenen bzw. auf die beschriebene Weise erzeugten Impulse in einem von dem Clockgenerator getakteten Analog-Digital-Konverter (21) abgetastet und digitalisiert werden, und die vom Analog-Digital-Konverter erzeugten digitalen Abtastwerte einem Prozessor (24) zugeführt und in einem Speicher abgelegt werden und dass, gegebenenfalls nach Durchlaufen eines Schwellwertfilters, zu jedem Ereignis ein zugeordneter Block (B) von Abtastwerten gebildet wird und zu jedem Block (B) zumindest für einen, vorzugsweise für den ersten Abtastwert desselben aus dem Zähler die zugehörige Pulszahl des Clock-Generator (23) bzw. die entsprechende Zeit aufgezeichnet wird und der Prozessor (24) aus diesen gültigen Blöcken (B) von Abtastwerten zunächst jeweils den Abtastwert mit der maximalen Signalamplitude ermittelt und zeitlich symmetrisch zu diesen Maximalwerten eine definierte Zahl von benachbarten Abtastwerten vor und nach dem Maximalwert aus dem Speicher auswählt, worauf für diese und den zugehörigen Maximalwert eine Schwerpunktbildung durchgeführt wird und aus der Zeitkoordinate des damit gewonnenen Schwerpunktes ein hochaufgelöster Zeitwert zu jedem Ereignis ermittelt wird und abschliessend über eine Differenzbildung des Zeitwertes des ersten Ereignisses von den Zeitwerten der nachfolgenden Ereignisse Zeitintervalle berechnet werden.
2. Verfahren zur Messung von Zeitintervallen nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor der Schwerpunktbildung die ausgewählten Abtastwerte auf Plausibilität geprüft werden, wobei der betreffende Block (B) gelöscht wird, wenn eine aus den Abtastwerten rekonstruierte Impulsform von einer vorgegebenen Form unter Berücksichtigung eines definierten Toleranzbandes abweicht.
3. Verfahren zur Messung von Zeitintervallen nach Patentanspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Reduktion der Totzeiten zwischen den Ereignissen die Analog-Digitalwandlerstufen (21) mehrkanalig ausgeführt sind.

CH 697 481 B1

4. Verfahren zur Messung von Zeitintervallen nach einem der Patentansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur Maximierung der Messrate die Schwerpunktbildung durch eine festverdrahtete Logik erfolgt.
5. Verfahren zur Messung von Zeitintervallen nach einem der Patentansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erhöhung des Dynamikbereiches die Signale vor der Analog-Digital-Konversion einen logarithmierenden Verstärker durchlaufen und die Digitalwerte vor der Schwerpunktbildung entlogarithmiert werden.

FIG. 1A

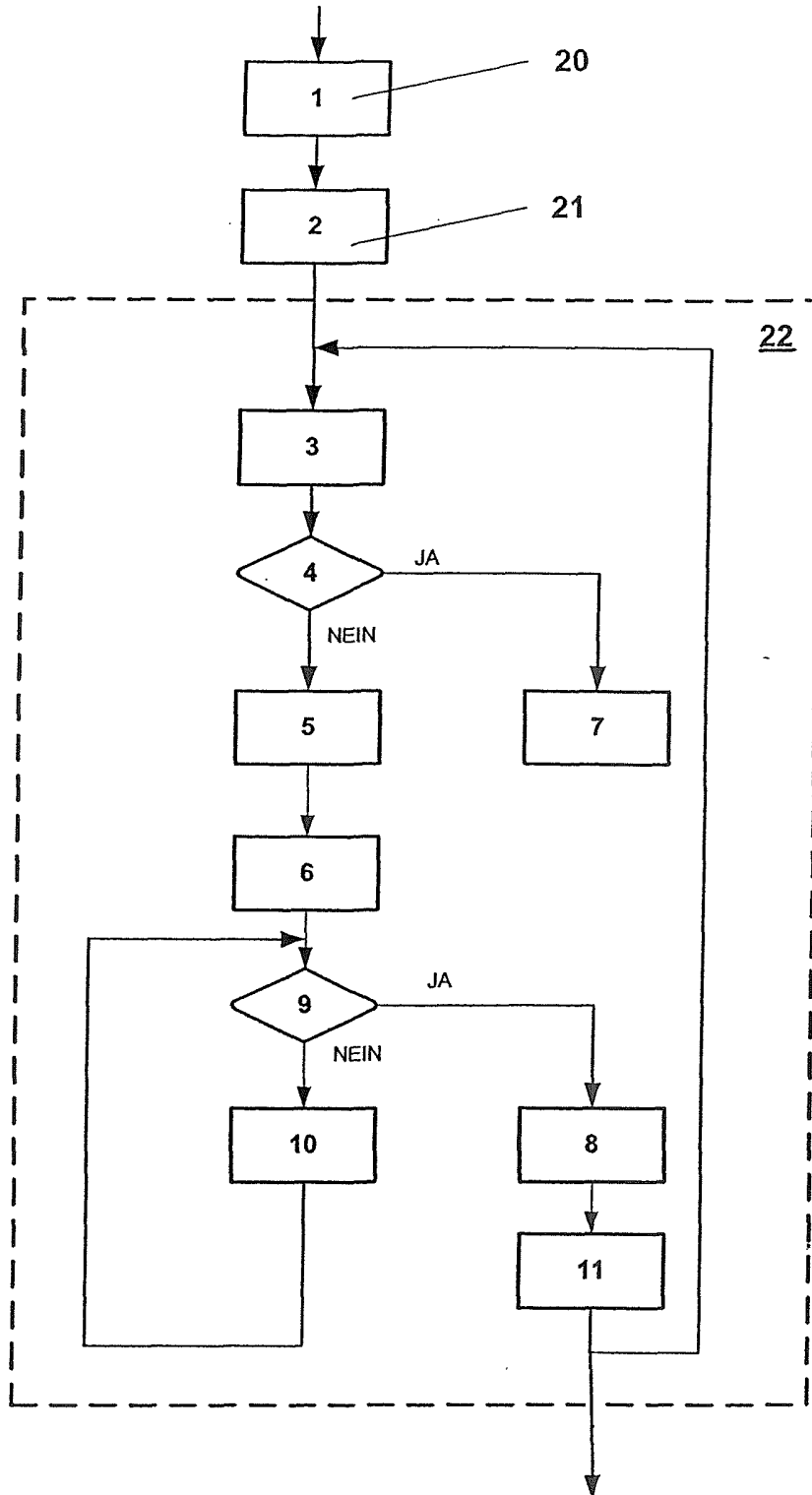


FIG. 1B

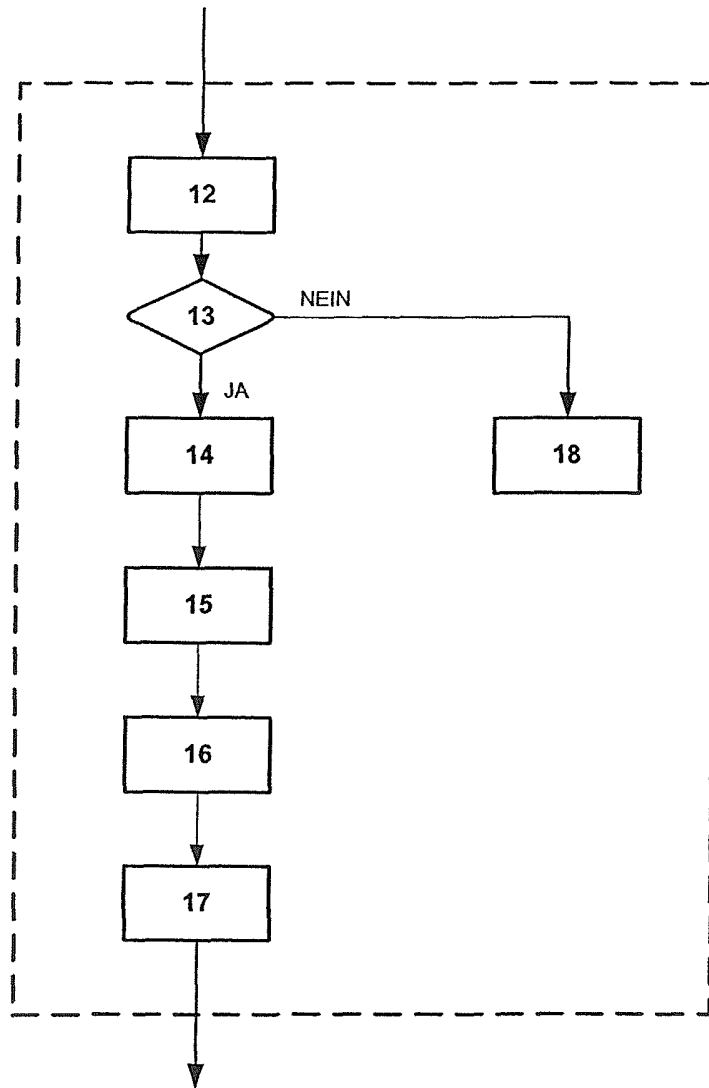


FIG. 2A

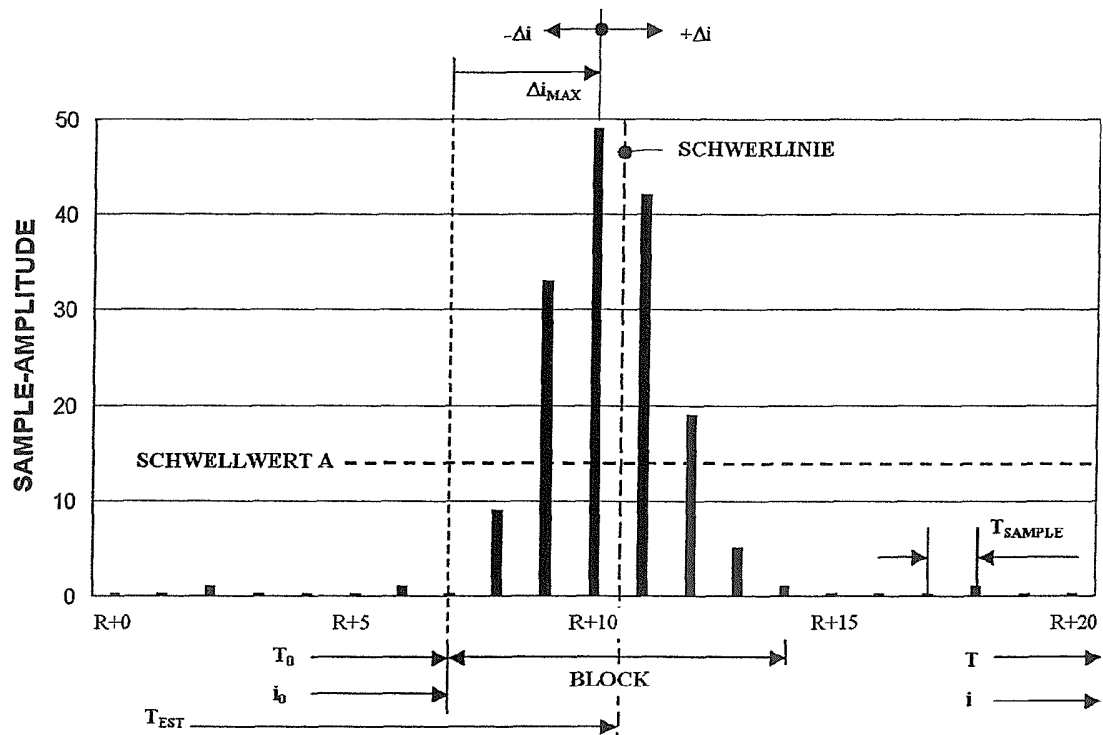


FIG. 2B

$$T_{EST} = \left(\frac{\sum_{\Delta i=-3}^{\Delta i=+3} \Delta i S_{\Delta i_{MAX} + \Delta i}}{\sum_{\Delta i=-3}^{\Delta i=+3} S_{\Delta i_{MAX} + \Delta i}} + \Delta i_{MAX} \right) T_{SAMPLE} + T_0$$

FIG. 3

