(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. Februar 2003 (20.02.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/014848 A1

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: G05B 19/4103

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/12270

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. Oktober 2001 (24.10.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 39 638.4 11. August 2001 (11.08.2001) DE

(71) Anmelder: DR. JOHANNES HEIDENHAIN GMBH [DE/DE]; Postfach 12 60, 83292 Traunreut (DE).

(72) Erfinder: KOHLER, Frieder; Zeller Strasse 5, 83362 Lauter (DE). FAUSER, Matthias; Hinter den Höfen 2a, 30938 Burgwedel (DE).

(81) Bestimmungsstaat *(national)*: JP.

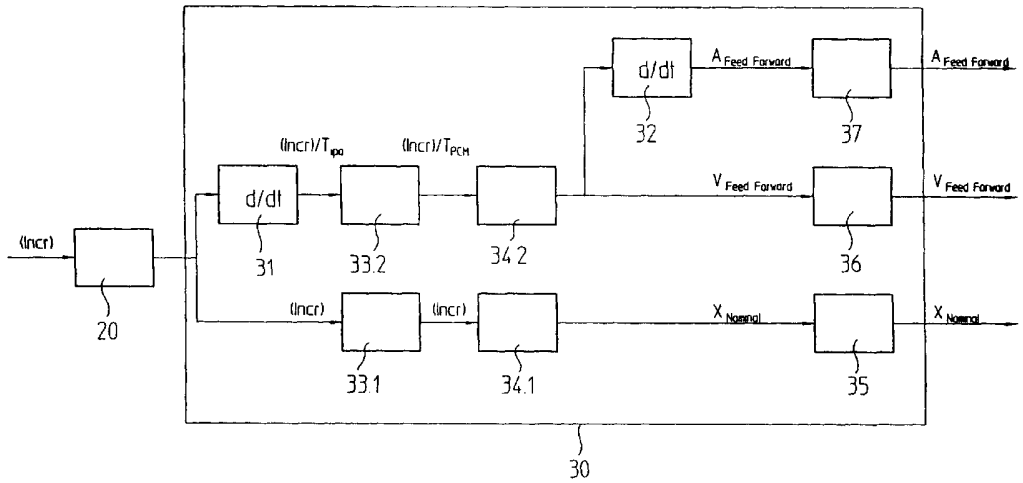
(84) Bestimmungsstaaten *(regional)*: europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:
— *mit internationalem Recherchenbericht*

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ARRAY FOR GENERATING REFERENCE INPUT VARIABLES FOR REGULATING CIRCUITS OF A NUMERICALLY CONTROLLED MACHINE

(54) Bezeichnung: ANORDNUNG ZUR ERZEUGUNG VON FÜHRUNGSGRÖßEN FÜR REGELKREISE EINER NUMERISCH GESTEUERTEN MASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to an array for generating reference input variables for regulating circuits of a numerically controlled machine. Said array comprises an interpolator unit for inputting position setpoints with a given interpolator sampling rate. A fine interpolator unit is connected downstream of the interpolator unit, said fine interpolator unit generating output-side reference input variables for one or several downstream regulating circuits on the basis of input-side position setpoints. The fine interpolator unit generates the reference input variables with the regulating circuit sampling rate in the time-slot pattern of the regulating circuits and comprises a sampling rate converter and a downstream digital low-pass filter.

(57) Zusammenfassung: Es wird eine Anordnung zur Erzeugung von Führungsgrößen für Regelkreise einer numerisch gesteuerten Maschine angegeben. Diese umfasst eine Interpolatoreinheit zur Vorgabe von Lagesollwerten mit einer bestimmten Interpolator-Abtastrate. Der Interpolatoreinheit ist eine Feininterpolatoreinheit nachgeordnet, die aus eingangsseitigen Lagesollwerten ausgangsseitige Führungsgrößen für einen oder mehrere nachgeordnete Regelkreise

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/014848 A1

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Anordnung zur Erzeugung von Führungsgrößen für Regelkreise einer numerisch gesteuerten Maschine

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erzeugung von Führungsgrößen für Regelkreise einer numerisch gesteuerten Maschine nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

In numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen oder Robotern erfolgt die Erzeugung von Sollwerten für Lage, Geschwindigkeit und Beschleunigung als Führungsgrößen für die Regelkreise der jeweiligen Antriebe üblicherweise in Interpolatoreinheiten, die den Regelkreisen vorgeordnet sind. Den Interpolatoreinheiten werden zu diesem Zweck die gewünschten geometrischen Achsbewegungsfunktionen und Geschwindigkeitsprofile eingangsseitig vorgegeben. Ausgangsseitig liefert die Interpolatoreinheit diskrete Folgen von Sollwerten bzw. Abtastwerten auf einer Bahnkurve. Die Sollwerte werden mit einer definierten, üblicherweise festen Interpolator-Abtastzeit T_{IPO} als Führungsgrößen an die nachgeordneten Regelkreise ausgegeben. Ferner werden die von der Interpolatoreinheit erzeugten Sollwerte vor der Übergabe an den Lageregelkreis noch in einem Sollwert-Filter gefiltert, in der Regel in Form einer digitalen Tiefpassfilterung, um damit eine Glättung der Bahnkurve zu erreichen.

Aus der internationalen Patentanmeldung WO 01/18622 der Anmelderin ist eine derartige, gattungsgemäße Anordnung bekannt. In dieser Anmeldung werden insbesondere Maßnahmen vorgeschlagen, wie mit möglichst geringem Rechenaufwand ein geeignetes Lagesollwert-Filter in Form eines FIR-Filters realisiert werden kann. Darüberhinaus ist in dieser Anmeldung noch offenbart, dass zur Erzeugung von Führungsgrößen im Zeitraster der Regelkreise eine Feininterpolatoreinheit zwischen dem Lagesollwert-Filter und den Regelkreisen, z.B. dem Lageregelkreis, anzuordnen ist. Mit Hilfe der Feininterpolatoreinheit wird die Interpolator-Abtastzeit T_{IPO}, die typischerweise im

Bereich T_{IPO} = [1...6ms] liegt bzw. die Interpolator-Abtastrate, der Regelkreis-Abtastzeit T_{Ctrl} des nachgeordneten Regelkreises bzw. der Regelkreis-Abtastrate angepasst. Die Regelkreis-Abtastzeit T_{Ctrl} liegt etwa im Bereich T_{Ctrl} = [100...800µs] und ist damit deutlich kleiner als die Interpolator-Abtastzeit T_{IPO} bzw. die Regelkreis-Abtastrate ist deutlich größer als die Interpolator-Abtastrate. Details zur konkreten Ausbildung der Feininterpolatoreinheit sind dieser Druckschrift jedoch nicht zu entnehmen.

Eine ähnliche Architektur einer numerischen Steuerung wird darüberhinaus auch bereits in der Beschreibungseinleitung der DE 43 03 090 A1 offenbart; auch in dieser Druckschrift finden sich jedoch keine Hinweise, wie die Feininterpolator-Einheit geeignet auszubilden ist.

Üblicherweise erfolgt eine Anpassung der Interpolator-Abtastzeit T_{IPO} an die Regelkreis-Abtastzeit T_{Ctrl} des nachgeordneten Regelkreises durch sehr aufwendige Verfahren. Beispielsweise ist hierzu aus der EP 0 917 033 A2 bekannt, eine sog. polynomiale Interpolation oder aber eine Spline-Interpolation vorzunehmen. Neben dem enormen Rechenaufwand liefert diese Art der Feininterpolation jedoch auch resultierende Bahnkurven mit unerwünschten Überschwingern.

Desweiteren wird an dieser Stelle auch mit linearer Feininterpolation gearbeitet. Dieses Verfahren führt jedoch zu unerwünschten Anregungen der Antriebssysteme an den jeweiligen Segmentübergängen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, für eine gattungsgemäße Anordnung zur Erzeugung von Führungsgrößen für Regelkreise einer numerisch gesteuerten Maschine eine zweckmäige Realisierung einer Feininterpolatoreinheit anzugeben. Die Feininterpolatoreinheit soll hierbei die von einer Interpolatoreinheit mit einer bestimmten Interpolator-Abtastrate erzeugten Lagesollwerte derart verarbeiten, dass Führungsgrößen für nachgeordnete Regelkreise im Zeitraster der Regelkreis-Abtastrate resultieren. Gefordert ist neben einem möglichst geringen Rechenaufwand für die Feininterpolation eine möglichst gute Qualität der resultierenden Bahnkurven.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Anordnung mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruches 1.

Vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung ergeben sich aus den Maßnahmen, die in den von Anspruch 1 abhängigen Ansprüchen aufgeführt sind.

Erfindungsgemäß ist nunmehr vorgesehen, die Feininterpolatoreinheit mit Hilfe eines Abtastraten-Wandlers und eines nachgeordneten digitalen Filters zu realisieren. Besonders vorteilhaft erweist sich hierbei die Maßnahme, das digitale Filter als FIR-Filter auszubilden. Derart ist es möglich, die ablaufenden arithmetischen Operationen des Abtastraten-Wandlers und des FIR-Filters zusammenzufassen. Aufgrund des vom Abtastraten-Wandler vorgenommenen Einfügens von Zwischenwerten mit dem Wert Null im Zeitraster der Regelkreis-Abtastrate zwischen die eingangsseitigen Sollwerte, enthält der Eingangsvektor des FIR-Filters sehr viele Nullwerte. Jeder am FIR-Filtereingang anliegende Wert Null führt auf Seiten des FIR-Filters zu arithmetischen Operationen, deren Ausgangswert wiederum Null ist. Erfindungsgemäß wird nunmehr dieser Umstand ausgenutzt, d.h. es müssen die arithmetischen Operationen mit dem Eingangswert Null nicht durchgeführt zu werden. Es werden vielmehr für eine Folge von Eingenagswerten mit Hilfe mehrerer Filterkoeffizientensätze mehrere interpolierte Ausgangswerte berechnet, wobei die Anzahl hierzu erforderlicher Filterkoeffizientensätze dem gewünschten Interpolationsfaktor entspricht. Auf diese Art und Weise ist ein lediglich geringer Rechenaufwand auf Seiten der Feininterpolatoreinheit erforderlich.

Als weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung ist eine sehr gute Qualität der letztlich resultierenden Bahnkurve zu erwähnen. Grund hierfür ist, dass durch die gewählte Art der Feininterpolation eine nahezu exakte Rekonstruktion des Ausgangssignales möglich ist, sofern bei der Interpolation das Abtasttheorem nicht verletzt wurde.

Weitere Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispieles anhand der beiliegenden Figuren.

Dabei zeigt

Figur 1	ein schematisiertes Blockschaltbild eines Teiles einer numerischen Werkzeugmaschinensteuerung;
Figur 2	ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispieles der erfindungsgemäßen Anordnung;
Figur 3	eine schematisierte Darstellung des in der erfindungsgemäßen Anordnung in Fig. 2 eingesetzten digitalen FIR-Filters.

In Figur 1 ist in schematischer Form ein Teil einer numerischen Werkzeugmaschinensteuerung gezeigt, in der eine erfindungsgemäß ausgestaltete Feininterpolatoreinheit eingesetzt wird.

In der numerischen Werkzeugmaschinensteuerung werden zur Erzeugung der Werkzeug-Bahndaten die NC-Daten zunächst von einem Interpolator 10 in eine Folge von Lagesollwerten $X_{nominal,INCR}$ mit einer definierten Interpolator-Abtastrate bzw. Interpolator-Abtastzeit T_{IPO} umgesetzt. Üblicherweise liegt die Interpolator-Abtastzeit T_{IPO} hierbei in der Größenordnung T_{IPO} = [1ms....6ms]. Die Lagesollwerte $X_{nominal}$ werden nach der - nachfolgend zu beschreibenden - Weiterverarbeitung als Führungsgrößen $X_{nominal}$, $V_{Feedforwar}$ und $A_{Feedforward}$ an Regelkreise 50, 60 in Form eines Lagereglers und eines Geschwindigkeitsreglers übergeben. Die Regelkreise 50, 60 weisen hierbei deutlich kleinere Abtastzeiten T_{Ctrl} in der Größenordnung T_{Ctrl} = [100µs....800µs] auf. Über die Regelkreise 50, 60 erfolgt im vorliegenden Beispiel letztlich in bekannter Art und Weise die Steuerung der Bewegung

entlang der gewünschten Bahnkurve auf Basis der übergebenen Führungsgrößen.

Vor der Übergabe der NC-Daten an den Interpolator 10 erfolgt unter anderem eine Vorverarbeitung der NC-Daten dahingehend, dass ein geeigneter Bahngeschwindigkeitsverlauf unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen ermittelt wird. Um hierbei insbesondere eine dynamische Überlastung des Antribessystemes zu vermeiden, wird bei der Vorverarbeitung der NC-Daten sichergestellt, dass physikalische Grenzen der Antriebssysteme durch die Führungsgrößen nicht überschritten werden. Letztlich resultiert hierbei eine Bandbegrenzung des Geschwindigkeitsprofiles, indem an kritischen Stellen im Bewegungsablauf eine zeitliche Streckung des Bewegungsablaufs erfolgt. In Bezug auf hierzu geeignete Verfahren sei an dieser Stelle auf Kap. 7 (S. 60 - 108) der Dissertation von M. Fauser, Steuerungstechnische Maßnahmen für die Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung, Shaker-Verlag, Aachen, 1997 verwiesen.

Auf die Bedeutung dieser Maßnahme wird im Verlauf der folgenden Beschreibung noch näher eingegangen. Daraufhin werden die vom Interpolator 10 erzeugten Lagesollwerte $X_{nominal,\ INCR}$ mittels eines als FIR-Filters ausgebildeten Lagesollwert-Filters 20 digital gefiltert, um sicherzustellen dass die an die Regelkreise 50, 60 übergebenen Führungsgrößen keine Frequenzanteile mehr aufweisen, die ggf. Maschinenresonanzen anregen könnten. Das an dieser Stelle eingesetzte digitale Filter 20 wirkt als Tiefpass-Filter, das Frequenzanteile bis zu einer Grenzfrequenz f_G durchlässt und Frequenzanteile ab der Grenzfrequenz f_G sperrt. Die Filter-Grenzfrequenz f_G wird hierbei in der Regel kleiner als die Resonanzfrequenz f_{Res} der Werkzeugmaschine gesetzt, $f_G = f_{Res}$. In Bezug auf das Lagesollwert-Filter 20 sei auf die bereits erwähnte WO 01/18622 verwiesen.

Die gefilterten Lagesollwerte $X_{nominal,\ INCR}$ werden anschließend mit Hilfe der Feininterpolatoreinheit 30 weiterverarbeitet, wobei über die Feininterpolatoreinheit 30 im wesentlichen die Erzeugung von Führungsgrößen $X_{nominal}$, $V_{Feedforward}$ und $A_{Feedforward}$ für die nachgeordneten Regelkreise 50, 60 im Zeit-

raster der Regelkreise 50, 50 erfolgt bzw. die Erzeugung von Führungsgrößen mit der Regelkreis-Abtastrate erfolgt. Als Führungsgrößen seien hierbei die Sollwerte $X_{nominal}$ für den nachgeordneten Lageregelkreis 50 sowie die Vorsteuerwerte $V_{Feedforward}$ und $A_{Feedforward}$ für den Lageregelkreis 50 und Drehzahlregelkreis 60 bezeichnet. Die erfindungsgemäß ausgebildete Feininterpolatoreinheit 30 übernimmt demzufolge die Aufgabe, die niedrige Abtastrate des Interpolators 10 an die höhere Abtastrate der Regelkreise 50, 60 anzupassen; das Verhältnis aus Interpolator-Abtastrate und Regelkreis-Abtastrate sei hierbei nachfolgend als Interpolationsfaktor bezeichnet. Üblicherweise erfolgt hierbei eine Erhöhung der Interpolator-Abtastrate um den Interpolationsfaktor IF auf die Regelkreis-Abtastrate. Typische Interpolationsfaktoren IF liegen z.B. im Bereich IF = [2...60].

Die Interpolator-Abtastrate wird hierbei auch deshalb nicht so hoch gewählt wie die Regelkreis-Abtastrate, da wie aus der WO 01/18622 der Anmelderin bekannt, die Wahl der Interpolator-Abtastrate unter Berücksichtigung bzw. in Abhängigkeit der jeweiligen maschinenspezifischen Resonanzfrequenz f_{Res} eine einfachere Realisierung des FIR-Filters 20 ermöglicht. Bei üblichen Resonanfrequenzen im Bereich f_{Res} = [20Hz....100Hz] resultieren die oben angegebenen typischen Interpolator-Abtastzeiten T_{IPO} = [1msec....6msec].

In Bezug auf die konkrete, erfindungsgemäße Ausbildung der Feininterpolatoreinheit 30 sei auf die nachfolgende Beschreibung der Figuren 2 und 3 verwiesen.

Im Beispiel der Figur 1 ist zwischen der Feininterpolatoreinheit 30 und den Regelkreisen 50, 60 desweiteren noch eine Synchronisationseinheit 40 angeordnet. Die Aufgabe der Synchronisationseinheit 40 besteht hierbei in der zeitlichen Synchronisation der verschiedenen erzeugten Führungsgrößen $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ für unterschiedliche Maschinenachsen. Eine derartige Synchronisation ist in einer mehrachsigen Werkzeugmaschine erforderlich, da die von der Feininterpolatoreinheit übergebenen Führungsgrößen $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ auf einen anderen Zeitpunkt bezogen sind, als diese in den nachgeordneten Regelkreisen 50, 60 benötigt werden; ins-

besondere wenn etwa die Regelung verschiedener Achsen sequentiell erfolgt. Es ist daher über die Synchronisationseinheit 30 eine geeignete Verzögerung der an die Regelkreise übergebenen Führungsgrößen $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ für die verschiedenen Achsen vorzunehmen.

Der prinzipielle Aufbau eines Ausführungsbeispiels der Feininterpolatoreinheit 30 ist in Figur 2 schematisch dargestellt. Die Feininterpolatoreinheit 30 wird hierbei vorzugsweise auf einem digitalen Signalprozessor (DSP) realisiert, dessen Architektur zur Berechnung von digitalen Filtern optimiert ist. Alternativ hierzu ist auch die Realisierung auf einer CPU möglich.

Im dargestellten Beispiel weist die Feininterpolatoreinheit 30 zwei Bearbeitungskanäle auf, in denen die Führungsgrößen $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$ bzgl. Lage und Geschwindigkeit für die nachgeordneten Lage- und Geschwindigkeits-Regelkreise erzeugt werden. Aus dem Bearbeitungskanal zur Erzeugung der geschwindigkeitsbezogenen Führungsgröße $V_{Nominal}$ wird desweiteren durch Differentiation über das Differenzierglied 32 auch die beschleunigungsbezogene Führungsgröße $A_{Feedforward}$ abgeleitet. Es sei an dieser Stelle jedoch betont, dass es alternativ hierzu möglich wäre, die Feininterpolatoreinheit 30 lediglich einkanalig auszubilden und die Führungsgrößen $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ bzgl. Geschwindigkeit und Beschleunigung durch ein- bzw. zweimaliges Differenzieren aus den Lage-Sollwerten $X_{Nominal}$ abzuleiten.

Mit Ausnahme des Differenziergliedes 31 weisen die beiden Verarbeitungskanäle der Feininterpolatoreinheit 30 den prinzipiell identischen Aufbau auf, der nachfolgend erläuert sei. So umfasst jeder der beiden Verarbeitungskanäle der Feininterpolatoreinheit 30 je einen Abtastraten-Wandler 33.1, 33.2 sowie ein nachgeordnetes digitales Filter 34.1, 34.2. Mit Hilfe des Abtastraten-Wandlers 33.1, 33.2 sowie des digitalen Filters 34.1, 34.2 erfolgt jeweils die oben erwähnte Anpassung der niedrigen Interpolator-Abtastrate an die deutlich höhere Regelkreis-Abtastrate.

Über den Abtastraten-Wandler 33.1, 33.2 wird zunächst die Abtastrate der eingangsseitigen Sollwerte von der Interpolator-Abtastrate auf die Regel-

kreis-Abtastrate erhöht. Hierzu werden vom Abtastraten-Wandler 33.1, 33.2 in das Zeitraster der eingangsseitigen Sollwerte Zwischenwerte mit dem Wert Null im Zeitraster der Regelkreis-Abtastrate eingefügt. Am Ausgang des Abtastraten-Wandlers 33.1, 33.2 liegt in den beiden Verarbeitungskanälen demzufolge jeweils ein Signal mit der gewünschten bzw. erforderlichen Abtastrate des nachgeordneten Regelkreises vor, das zur Glättung bzw. zur Eliminierung unerwünschter Frequenzkomponenten anschließend jeweils dem digitalen Filter 34.1, 34.2 zugeführt wird.

Das digitale Filter 34.1, 34.2 wiederum ist als FIR-Filter ausgebildet, dem verschiedene Filterkoeffizientensätze zugeordnet sind. Beispielsweise können die verschiedenen Filterkoeffizientensätze in einer Speichereinheit abgelegt werden, die dem FIR-Filter zugeordnet ist. Im FIR-Filter erfolgt nunmehr jeweils eine Berechnung mehrerer Ausgangswerte für eine bestimmte Folge von Eingangswerten, indem die jeweilige Folge von Eingangswerten unter Verwendung der verschiedenen Filterkoeffizientensätze gefiltert wird.

Am Ausgang der FIR-Filter 34.1, 34.2 liegen dann jeweils die gewünschten Signale mit den erhöhten Abtastraten respektive den Regelkreis-Abtastraten vor, die schließlich als Sollwert bzw. Führungsgrößen $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ an die entsprechenden nachgeordneten Regelkreise übergeben werden.

Aufgrund der erfindungsgemäßen Ausgestaltung der Feininterpolatoreinheit 30 resultiert neben einer sehr guten Qualität der erzeugten Bahnkurve desweiteren auch eine lediglich geringer Rechenaufwand. Dies wird insbesondere durch die Ausbildung des bzw. der digitalen Filter 34.1, 34.2 als FIR-Filter sichergestellt. Dadurch ist es möglich, die arithmetischen Operationen des bzw. der Abtastraten-Wandler 33.1, 33.2 und des FIR-Filters zusammenzufassen. Aufgrund des vom Abtastraten-Wandler 33.1, 33.2 vorgenommenen Einfügens von Zwischenwerten mit dem Wert Null im Zeitraster der Regelkreis-Abtastrate zwischen die eingangsseitigen Sollwerte enthält der Eingangsvektor des FIR-Filters 34.1, 34.2 sehr viele Nullwerte. Jeder am FIR-Filtereingang anliegende Wert Null führt auf Seiten des FIR-Filters 34.1,

34.2 zu arithmetischen Operationen, deren Ausgangswert wiederum Null ist. Erfindungsgemäß wird nunmehr dieser Umstand ausgenutzt, d.h. es müssen die arithmetischen Operationen mit dem Eingangswert Null nicht durchgeführt zu werden. Es werden vielmehr für eine bestimmte Folge von Eingangswerten mit Hilfe mehrerer Filterkoeffizientensätze mehrere interpolierte Ausgangswerte bzw. Zwischenwerte berechnet, wobei die Anzahl hierzu erforderlicher Filterkoeffizientensätze dem gewünschten Interpolationsfaktor IF entspricht. Jeder der verwendeten Filterkoeffizientensätze besitzt den gleichen Amplitudengang; demgegenüber variiert aber der Phasengang bzw. die Gruppenlaufzeit als Ableitung des Phasenganges von Filterkoeffizientensatz zu Filterkoeffizientensatz um eine Abtastperiode der Regelkreis-Abtastrate. Es resultieren ausgangsseitig die Zwischenwerte im erforderlichen Abtastraster.

Um diese Art der Feininterpolation in Form einer digitalen Filterung vornehmen zu können, ist die bereits oben erwähnte Vorverarbeitung der NC-Daten in Form einer Bandbegrenzung der Signale erforderlich, die an das Lagesollwert-Filter 20 und anschließend an die Feininterpolatoreinheit 30 übergeben werden. Erst eine derartige Bandbegrenzung ermöglicht letztlich die erfindungsgemäße digitale Filterung in der Feininterpolatoreinheit 30; ansonsten würden durch die Filterung unerwünschte Aliasing-Effekte zur Verfälschung des feininterpolierten Signalverlaufes führen.

Bei der Übergabe der von der Feininterpolatoreinheit 30 erzeugten Führungsgrößen $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ an die verschiedenen Regelkreise muss nunmehr noch sichergestellt werden, dass die verschiedenen Führungsgrößen $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ jeweils allesamt auf den gleichen Zeitpunkt bzw. die gleiche Zeitbasis bezogen sind. Dies wird durch ausgangsseitige Kompensationsglieder 35, 36, 37 in der Feininterpolatoreinheit 30 erreicht, die jeweils eine bestimmte Totzeit in den Verarbeitungskanälen verursachen und letztlich die gleiche Zeitbasis für die erzeugten Führungsgrößen $X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$ gewährleisten.

Derartige Kompensationsglieder können im übrigen auch in einer einkanaligen Ausbildung der Feininterpolatoreinheit vorgesehen werden, um den Bezug der erzeugten Führungsgrößen auf die gleiche Zeitbasis sicherzustellen.

Eine schematische Darstellung des digitalen Filters 34.1, 34.2 der Feininterpolatoreinheit 30 ist schließlich in Figur 3 dargestellt. Wie aus Figur 3 erkennbar, entspricht das verwendete FIR-Filter üblicherweise bekannten FIR-Filterstrukturen.

Neben dem erläuterten Ausführungsbeispiel gibt es selbstverständlich noch alternative Möglichkeiten, die erfindungsgemäße Anordnung auszubilden.

Ansprüche

1. Anordnung zur Erzeugung von Führungsgrößen für Regelkreise einer numerisch gesteuerten Maschine, bestehend aus einer Interpolatoreinheit zur Vorgabe von Lagesollwerten mit einer bestimmten Interpolator-Abtastrate und einer der Interpolatoreinheit nachgeordneten Feininterpolatoreinheit, die aus eingangsseitigen Lagesollwerten ausgangsseitige Führungsgrößen für ein oder mehrere nachgeordnete Regelkreise erzeugt, wobei die Feininterpolatoreinheit die Führungsgrößen im Zeitraster der Regelkreise mit der Regelkreis-Abtastrate erzeugt,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Feininterpolatoreinheit (39) einen Abtastraten-Wandler (33.1, 33.2) sowie ein nachgeordnetes digitales Tiefpassfilter (34.1, 34.2) umfasst.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abtastraten-Wandler (33.1, 33.2) die Interpolator-Abtastrate der eingangsseitigen Signale um einen bestimmten Interpolationsfaktor auf die Regelkreis-Abtastrate erhöht.

3. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das digitale Tiefpassfilter (34.1, 34.2) als FIR-Filter ausgebildet ist.

4. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass dem FIR-Filter verschiedene Filterkoeffizientensätze zugeordnet sind.

5. Anordnung nach Anspruch 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Filterkoeffizientensätze dem Interpolationsfaktor entspricht.

6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Interpolator-Abtastrate (T_{IPO}) in Abhängigkeit einer maschinenspezifischen Resonanzfrequenz gewählt ist.

7. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das der Interpolatoreinheit (20) zugeführte Signal bandbegrenzt ist.

8. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Feininterpolatoreinheit (30) auf einem digitalen Signalprozessor oder auf einer CPU ausgebildet ist.

9. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Feininterpolatoreinheit (30) mindestens zwei parallele Verarbeitungskanäle umfasst, in denen jeweils Führungsgrößen ($X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$) für Lage und Geschwindigkeit erzeugbar sind, die von nachgeordneten Lage- und Geschwindigkeitsregelkreisen (50, 60) verarbeitbar sind und wobei jeder der Verarbeitungskanäle einen Abtastraten-Wandler (33.1, 33.2) sowie ein nachgeordnetes digitales Tiefpassfilter (34.1, 34.2) umfasst.

10. Anordnung nach Anspruch 1 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass in der Feininterpolatoreinheit (30) jeweils ein oder mehrere Verzögerungsglieder (35, 36, 37) angeordnet sind, die sicherstellen, dass die an den Lageregelkreis (50) und den Geschwindigkeitsregelkreis (60) übergebenen Führungsgrößen ($X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$) für Lage und Geschwindigkeit jeweils auf eine definierte Zeitbasis bezogen sind.

11. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Feininterpolatoreinheit (30) und den nachgeordneten Regelkreisen (50, 60) ferner eine Synchronisationseinheit (40) angeordnet ist, die eine zeitliche Synchronisation der erzeugten Führungsgrößen ($X_{Nominal}$, $V_{Feedforward}$, $A_{Feedforward}$) für verschiedene Maschinenachsen vornimmt.

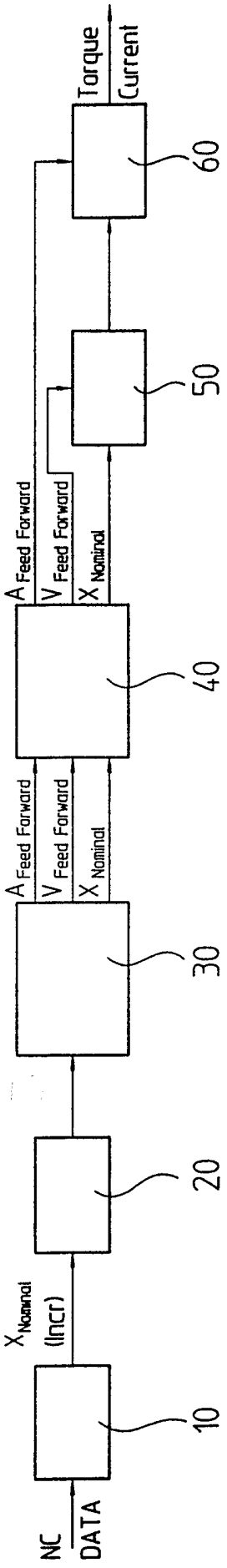

NC
DATA
10
X Nominal
(Incr)
20
30
A Feed Forward
V Feed Forward
X Nominal
40
50
60
Torque
Current

FIG. 1

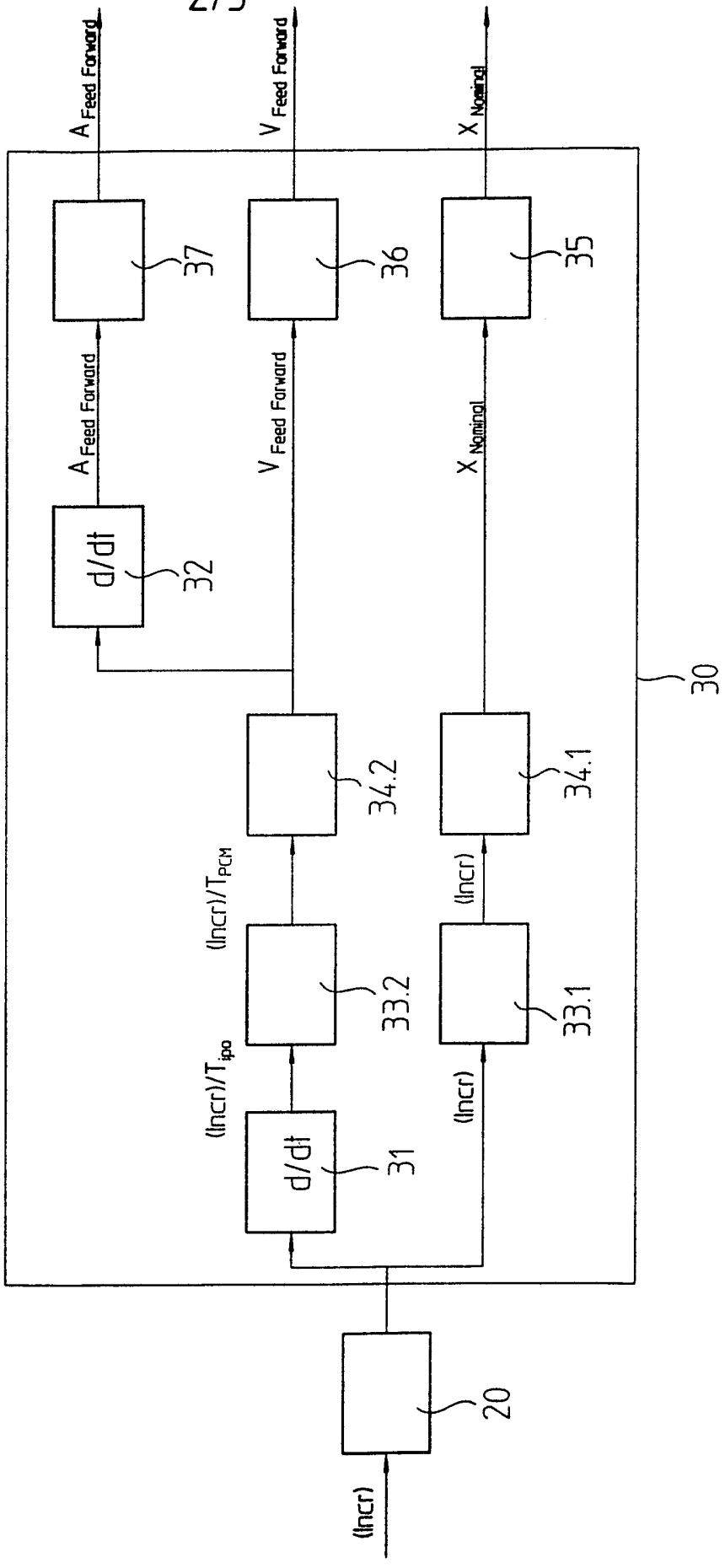

A Feed Forward
V Feed Forward
X Nominal
37
36
35
A Feed Forward
V Feed Forward
X Nominal
d/dt
32
30
34.2
34.1
(Incr)/T PCM
(Incr)
33.2
33.1
(Incr)/T ipo
(Incr)
d/dt
31
20
(Incr)

FIG. 2

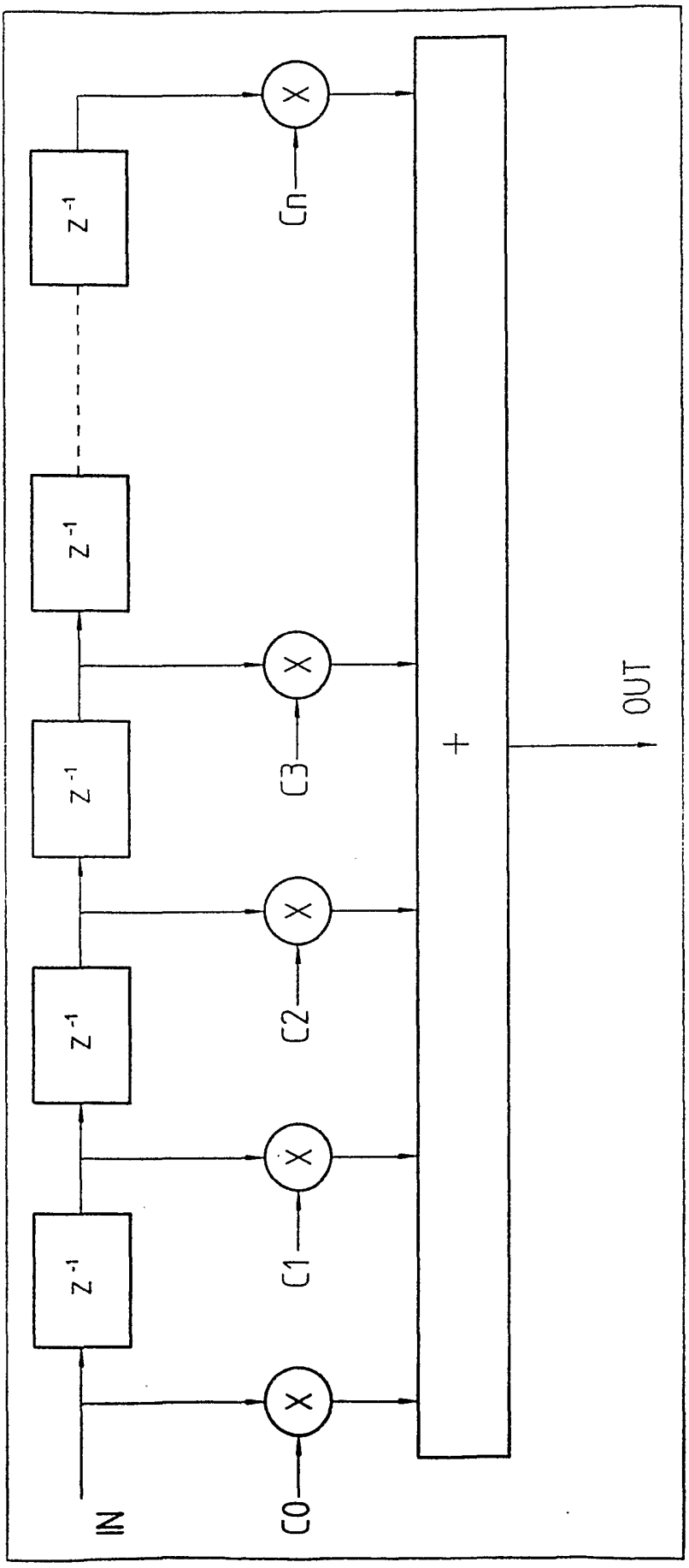


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 01/12270

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G05B19/4103

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 01 18622 A (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES ;FAUSER MATTHIAS (DE); KOHLER FRIEDER) 15 March 2001 (2001-03-15) cited in the application page 2, line 11 - line 28 abstract; figures 1,2A,2B page 3, line 31 -page 4, line 6 page 5, line 13 -page 6, line 26 page 7, line 31 -page 9, line 4 page 10, line 30 -page 11, line 2 ---	1-9
Y	US 4 603 286 A (SAKANO TETSURO) 29 July 1986 (1986-07-29) figure 4 column 2, line 2 - line 64 column 4, line 3 - line 35 --- -/--	1-9

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
24 July 2002	30/07/2002

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Cîrîc, G

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 01/12270

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication,where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 864 952 A (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES) 16 September 1998 (1998-09-16) abstract; figures 1,2 column 2, line 22 - line 43	8
A	column 3, line 3 -column 6, line 42	3-5
Y	US 4 772 831 A (CASLER JR RICHARD J ET AL) 20 September 1988 (1988-09-20) figure 3 column 5, line 46 - line 62; figure 3	9
A	DE 43 03 090 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11 August 1994 (1994-08-11) cited in the application the whole document	1-11
A	EP 0 917 033 A (FANUC LTD) 19 May 1999 (1999-05-19) cited in the application abstract; figure 5 column 3, line 8 - line 54 column 6, line 11 - line 40	1-11
A	EP 0 270 060 A (AGIE AG IND ELEKTRONIK) 8 June 1988 (1988-06-08) figures 1-4 page 4, line 5 -page 7, line 24	1-11
A	JP 06 180606 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 28 June 1994 (1994-06-28) abstract; figure 1	1-11

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/EP 01/12270

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 0118622	A	15-03-2001	DE	10043636 A1	15-03-2001
			WO	0118622 A1	15-03-2001
US 4603286	A	29-07-1986	JP	59168513 A	22-09-1984
			EP	0139010 A1	02-05-1985
			WO	8403779 A1	27-09-1984
EP 0864952	A	16-09-1998	DE	19710268 A1	24-09-1998
			DE	59802116 D1	20-12-2001
			EP	0864952 A1	16-09-1998
US 4772831	A	20-09-1988	EP	0268491 A2	25-05-1988
DE 4303090	A	11-08-1994	DE	4303090 A1	11-08-1994
			CH	687165 A5	30-09-1996
			FR	2701128 A1	05-08-1994
			JP	6250718 A	09-09-1994
EP 0917033	A	19-05-1999	JP	11149306 A	02-06-1999
			EP	0917033 A2	19-05-1999
			US	6401006 B1	04-06-2002
EP 0270060	A	08-06-1988	DE	3640987 C1	29-04-1993
			CN	87107235 A ,B	15-06-1988
			CN	87107236 A ,B	15-06-1988
			DE	3644952 A1	16-06-1988
			DE	3789492 D1	05-05-1994
			DE	3789493 D1	05-05-1994
			EP	0270059 A2	08-06-1988
			EP	0270060 A2	08-06-1988
			JP	63211404 A	02-09-1988
			JP	63211405 A	02-09-1988
			KR	9205251 B1	29-06-1992
			KR	9205255 B1	29-06-1992
			US	4903213 A	20-02-1990
			US	4858140 A	15-08-1989
JP 06180606	A	28-06-1994	NONE		

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 01/12270

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G05B19/4103

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 01 18622 A (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES ;FAUSER MATTHIAS (DE); KOHLER FRIEDER) 15. März 2001 (2001-03-15) in der Anmeldung erwähnt Seite 2, Zeile 11 - Zeile 28 Zusammenfassung; Abbildungen 1,2A,2B Seite 3, Zeile 31 -Seite 4, Zeile 6 Seite 5, Zeile 13 -Seite 6, Zeile 26 Seite 7, Zeile 31 -Seite 9, Zeile 4 Seite 10, Zeile 30 -Seite 11, Zeile 2 ---	1-9
Y	US 4 603 286 A (SAKANO TETSURO) 29. Juli 1986 (1986-07-29) Abbildung 4 Spalte 2, Zeile 2 - Zeile 64 Spalte 4, Zeile 3 - Zeile 35 --- -/--	1-9

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
24. Juli 2002	30/07/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Cîrîc, G

1

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 01/12270

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 864 952 A (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES) 16. September 1998 (1998-09-16) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Spalte 2, Zeile 22 - Zeile 43	8
A	Spalte 3, Zeile 3 -Spalte 6, Zeile 42	3-5
Y	US 4 772 831 A (CASLER JR RICHARD J ET AL) 20. September 1988 (1988-09-20) Abbildung 3 Spalte 5, Zeile 46 - Zeile 62; Abbildung 3	9
A	DE 43 03 090 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11. August 1994 (1994-08-11) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-11
A	EP 0 917 033 A (FANUC LTD) 19. Mai 1999 (1999-05-19) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 5 Spalte 3, Zeile 8 - Zeile 54 Spalte 6, Zeile 11 - Zeile 40	1-11
A	EP 0 270 060 A (AGIE AG IND ELEKTRONIK) 8. Juni 1988 (1988-06-08) Abbildungen 1-4 Seite 4, Zeile 5 -Seite 7, Zeile 24	1-11
A	JP 06 180606 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 28. Juni 1994 (1994-06-28) Zusammenfassung; Abbildung 1	1-11

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP 01/12270

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0118622	A	15-03-2001	DE	10043636 A1	15-03-2001
			WO	0118622 A1	15-03-2001
US 4603286	A	29-07-1986	JP	59168513 A	22-09-1984
			EP	0139010 A1	02-05-1985
			WO	8403779 A1	27-09-1984
EP 0864952	A	16-09-1998	DE	19710268 A1	24-09-1998
			DE	59802116 D1	20-12-2001
			EP	0864952 A1	16-09-1998
US 4772831	A	20-09-1988	EP	0268491 A2	25-05-1988
DE 4303090	A	11-08-1994	DE	4303090 A1	11-08-1994
			CH	687165 A5	30-09-1996
			FR	2701128 A1	05-08-1994
			JP	6250718 A	09-09-1994
EP 0917033	A	19-05-1999	JP	11149306 A	02-06-1999
			EP	0917033 A2	19-05-1999
			US	6401006 B1	04-06-2002
EP 0270060	A	08-06-1988	DE	3640987 C1	29-04-1993
			CN	87107235 A ,B	15-06-1988
			CN	87107236 A ,B	15-06-1988
			DE	3644952 A1	16-06-1988
			DE	3789492 D1	05-05-1994
			DE	3789493 D1	05-05-1994
			EP	0270059 A2	08-06-1988
			EP	0270060 A2	08-06-1988
			JP	63211404 A	02-09-1988
			JP	63211405 A	02-09-1988
			KR	9205251 B1	29-06-1992
			KR	9205255 B1	29-06-1992
			US	4903213 A	20-02-1990
			US	4858140 A	15-08-1989
JP 06180606	A	28-06-1994	KEINE		