

(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
5. Oktober 2017 (05.10.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/167492 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 19/41 (2006.01) **G05B 13/04** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/053208
- (22) Internationales Anmeldedatum:
14. Februar 2017 (14.02.2017)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2016 205 301.9 31. März 2016 (31.03.2016) DE
- (71) Anmelder: **WAGO VERWALTUNGSGESELLSCHAFT MBH** [DE/DE];
Hansastr. 27, 32423 Minden (DE).
- (72) Erfinder: **BARINBERG, Viktor**; Dr.-Carlo-Schmid-Str.
42, 90491 Nürnberg (DE). **HANSEN, Dirk**; Unterm Berge
163, 32429 Minden (DE). **HELLER, Ulrich**; Föhrenstr. 1,
90552 Röthenbach a.d.Pegnitz (DE).
- (74) Anwalt: **HESS, Peter K.**; BARDEHLE PAGENBERG
Partnerschaft mbB Patentanwälte, Rechtsanwälte,
Prinzregentenplatz 7, 81675 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING AN ELECTRICAL MACHINE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM REGELN EINER ELEKTRISCHEN MASCHINE

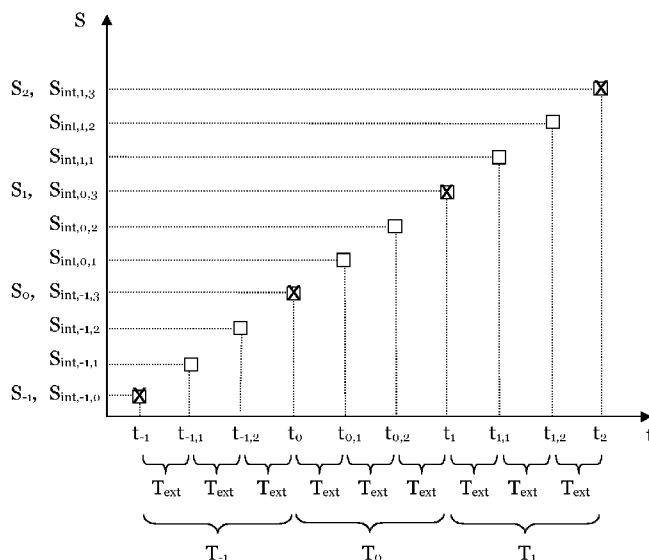


Fig. 3

(57) Abstract: The present invention relates to a method and to an apparatus for controlling an electrical machine. In this case, the method comprises providing an instantaneous input signal for an instantaneous input interval. The method further comprises calculating intermediate values for future intermediate intervals based on the instantaneous input signal and either a past input signal or at least one past intermediate value. The method further comprises controlling the machine in a control interval based on an intermediate value which is applicable to the control interval. The respective intermediate intervals are shorter than the input interval and the control interval in this case.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Regeln einer elektrischen Maschine. Das Verfahren umfasst dabei ein Bereitstellen eines momentanen Eingangssignals für ein momentanes Eingangsintervall. Ferner umfasst das Verfahren ein Berechnen von Zwischenwerten für in der Zukunft liegende Zwischenintervalle basierend auf dem momentanen Eingangssignal und entweder einem in der Vergangenheit liegenden Eingangssignal oder mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Zwischenwert. Ferner umfasst das Verfahren ein Regeln der Maschine in einem Regelintervall basierend auf

einem für das Regelintervall gültigen Zwischenwert. Die jeweiligen Zwischenintervalle sind dabei kürzer als das Eingangsintervall und das Regelintervall.



Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Verfahren und Vorrichtung zum Regeln einer elektrischen Maschine

1. Technischer Bereich

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Regeln einer elektrischen Maschine.

2. Technischer Hintergrund

Moderne elektrische Antriebe mit beispielsweise Gleichstrom-, Wechselstrom- oder Drehstrommaschinen werden mittels entsprechender elektrischer Antriebsregler geregelt. Die Antriebsregler ermöglichen es, die Drehzahl der Maschinen zu verstellen, oder auch eine Regelung der Drehzahl durchzuführen um z.B. Drehmomente zu begrenzen.

An einen Antriebsregler wird dabei häufig eine speicherprogrammierbare Steuerung (engl.: Programmable Logic Controller, PLC) angeschlossen, die eine Schnittstelle aufweist, über die ein Anwenderprogramm geladen werden kann. Viele gängige PLC-Steuerungen arbeiten zyklusorientiert, wobei das vom Hersteller fest eingespeicherte Betriebssystem die Zykluszeit vorgibt. Typische Zykluszeiten liegen dabei zwischen 1-10 ms. Bei leistungsstärkeren Modellen können die Zykluszeiten auch im Bereich von 100 μ s liegen.

Ferner umfassen elektrische Antriebssysteme häufig Drehzahl- und Lagegeber. Solche Sensorsysteme erfassen die mechanischen Größen, wie Drehzahl und Lage der Maschine. Das präzise Erfassen dieser Werte ist erforderlich, um den Regler mit Ist-Werten des Zustandes der Maschine zu versorgen, und die vorhandenen entsprechenden Regelkreise zu schließen. Als Lagegeber können z.B. Resolver, Inkremental-, Sinus-Cosinus- oder EndDat-Geber verwendet werden. Der Arbeitstakt eines Sinus-Cosinus-Gebers, zum Beispiel, kann dabei typischerweise in dem Bereich von 1-62,5 μ s liegen.

Der Zyklus der Ist-Wert-Erfassung hängt im Wesentlichen von dem verwendeten Sensorsystem ab. Eine Regelung kann dabei mehrere Sensoreingänge für verschiedene Sensorsysteme aufweisen, um die Maschine basierend auf den unterschiedlich erfassten Ist-Werten zu regeln. Ein analoger Sinus-Cosinus-Geber kann die entsprechenden Ist-Werte dem Antriebsregler vergleichsweise schnell zur Verfügung stellen. Digitale Sensorsysteme übertragen hingegen die Ist-Werte über serielle Schnittstellen, was eine gewisse Übertragungszeit erfordert. Weiterhin arbeitet jedes Sensorsystem typischerweise mit einer eigenen Zykluszeit, die insbesondere auch von der Schnelligkeit der internen Auswerteelektronik des Sensorsystems abhängt. Beispielsweise kann der Arbeitstakt eines beispielhaften EnDat-Positionssensors 25 μ s betragen.

Die Positions-/ Drehzahl- oder Stromregelung einer elektrischen Maschine erfolgt typischerweise mithilfe eines pulsbreitenmodulierten Wechselrichters. Diese Regelung wird häufig nach der benötigten Bandbreite eingestellt. Der entsprechende Arbeitstakt kann dabei im Bereich von 15,75 - 500 μ s liegen. Auch der Feldbustakt, bzw. der Takt mit dem Sollwerte an die Umrichter übergeben werden, kann individuell sein und beispielsweise zwischen 31,25 μ s und 10 ms liegen.

Um die verschiedenen Takte der einzelnen Komponenten miteinander zu koppeln, wird üblicherweise eine Komponente des gesamten Systems als Master ausgewählt, welcher einen Mastertakt vorgibt. Die Zyklen der übrigen Komponenten werden daraufhin entsprechend eingestellt. Bei der Konfiguration des Mastertaktes müssen somit die Eigenschaften aller Komponenten berücksichtigt werden. Dies kann zu unerwünschten Einschränkungen führen, insbesondere wenn einzelne Komponenten nicht kontinuierlich, sondern im Start/Stopp-Betrieb arbeiten müssen, um dem Mastertakt zu folgen.

Es ist somit eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, welche eine effiziente Regelung einer elektrischen Maschine ermöglichen. Der Erfindung liegt dabei insbesondere die Aufgabe zugrunde, ein Regelungsverfahren und Vorrichtung zum Steuern einer elektrischen Maschine bereitzustellen, bei denen möglichst viele Komponenten

wie z.B. Sensorsysteme unabhängig voneinander arbeiten können und insbesondere einzelne Systemtakte der Komponenten problemlos variiert werden können.

5 Diese und weitere Aufgaben, die aus der folgenden Beschreibung ersichtlich werden, werden durch das Verfahren gemäß Anspruch 1 und durch die Vorrichtung gemäß Anspruch 11 gelöst.

3. Inhalt der Erfindung

10 Die oben genannte Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Regeln einer elektrischen Maschine. Prinzipiell kann mittels dieses Verfahrens jede elektrische Maschine, und insbesondere Elektromotoren und elektrische Antriebe geregelt werden. Das Verfahren umfasst dabei ein Bereitstellen eines momentanen Eingangssignals für ein momentanes Eingangsintervall. Das momentane Eingangssignal kann dabei ein von einem Sensorsystem erfasster Ist-Wert der Maschine sein, wie beispielsweise eine Ist-Lage der Maschine. Das momentane
15 Eingangssignal kann von einem Sensorsystem oder auch von einer PLC bereitgestellt werden.

Das momentane Eingangsintervall kann dabei im Wesentlichen durch den Arbeitstakt des entsprechenden Systems definiert bzw. bestimmt sein, welches das momentane Eingangssignal bereitstellt. Wenn der Arbeitstakt des
20 entsprechenden bereitstellenden Systems beispielsweise 40 μ s beträgt, entspricht das momentane Eingangsintervall diesen 40 μ s. Das Eingangssignal kann somit periodisch in 40- μ s-Intervallen bereitgestellt werden, der Arbeitstakt des Sensorsystems kann also beispielsweise 25 kHz betragen. Die Zeitpunkte, zu denen zwei Eingangssignale periodisch nacheinander bereitgestellt werden,
25 können dabei das entsprechende Eingangsintervall definieren.

Das Verfahren umfasst ferner ein Berechnen von Zwischenwerten für in der Zukunft liegende Zwischenintervalle. Die jeweiligen Zwischenintervalle sind dabei kürzer als das Eingangsintervall. Vorzugsweise ist das Eingangsintervall ein ganzzahliges Vielfaches eines Zwischenintervalls. Zum Beispiel, wenn das

momentane Eingangsintervall $40\ \mu\text{s}$ lang ist, werden 80 Zwischenwerte für zukünftige Zwischenintervalle berechnet, wobei die Zwischenintervalle jeweils $500\ \text{ns}$ lang sein können und in dem Eingangsintervall liegen können.

Das Berechnen der Zwischenwerte erfolgt dabei basierend auf dem momentanen Eingangssignal, welches für das momentane Eingangsintervall bereitgestellt wurde. Ferner erfolgt das Berechnen basierend auf entweder mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Eingangssignal oder mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Zwischenwert. Somit wird die Berechnung basierend auf einer entsprechenden Historie der den Signalen bzw. Werten zugeordneten Daten bzw. Informationen durchgeführt, um zusammen mit dem bereitgestellten momentanen Eingangssignal Zwischenwerte für in der Zukunft liegende Zwischenintervalle zu berechnen.

Ferner umfasst das Verfahren ein Regeln der Maschine in einem Regelintervall basierend auf einem für das Regelintervall gültigen Zwischenwert. So kann eine entsprechende Regelung der Maschine beispielsweise mit einer Regelfrequenz von $4\ \text{kHz}$ erfolgen. Dementsprechend kann die Regelung der Maschine mit einem Regelintervall von $250\ \mu\text{s}$ erfolgen. Dabei kann beispielsweise eine Positions-, Drehzahl- oder Stromregelung, oder auch die Regelung einer pulsbreitenmodulierten Spannung der Maschine alle $250\ \mu\text{s}$ erfolgen. Das Regelintervall ist dabei länger als die jeweiligen Zwischenintervalle. Vorzugsweise ist das Regelintervall ein ganzzahliges Vielfaches eines Zwischenintervalls. Für das Regeln der Maschine kann ein zuvor berechneter Zwischenwert verwendet werden, welcher für das Regelintervall und vorzugsweise zu Beginn des Regelintervalls gültig ist.

Mittels der Erfindung kann somit vorteilhaft jede Komponente mit einem individuellen Takt arbeiten, welcher für die jeweilige Komponente optimal ist. Der individuelle Takt ist dabei unabhängig von dem jeweiligen Takt der anderen Komponenten. Da das Berechnen von Zwischenwerten mit einem Takt erfolgt, der schneller ist als die übrigen Systemzyklen, kann zum Regeln der Maschine jederzeit auf einen Zwischenwert zurückgegriffen werden, welcher wesentlich präziser ist, als ein zeitlich zurückliegendes zuletzt bereitgestellte momentanes

Eingangssignal. Es muss ferner kein Mastertakt vorgegeben werden, welcher die unterschiedlichen Komponenten des Systems koppelt. Jedes Sensorsystem kann zum Beispiel in seinem eigenen Takt oder kontinuierlich Messwerte liefern, und muss nicht im Start-/Stopp-Betrieb arbeiten. Basierend auf diesen regelmäßig
5 bereitgestellten Messwerten werden Zwischenwerte berechnet, welche dann zum Regeln der elektrischen Maschine verwendet werden. Hierbei ist der Interpolationstakt zur Erzeugung der Zwischenwerte bevorzugt wesentlich kürzer als alle anderen Takte im System. Somit bilden die in den Interpolationstakten bzw. Zwischenintervallen berechneten Zwischenwerte ein quasikontinuierliches
10 Informationsspektrum für die Regelung. Entsprechend erfolgt das Regeln der Maschine basierend auf einem jeweils zum Regelungszeitpunkt aktuellen Zwischenwert. Vorteilhaft können damit Ist- und Sollwerte der Regelung mit einer hohen Frequenz generiert werden, und somit quasikontinuierlich für das Regeln der Maschine verwendet werden.

15 Vorzugsweise umfasst das Berechnen von Zwischenwerten ein Extrapolieren zumindest eines Zwischenwertes für zumindest ein in der Zukunft liegendes Zwischenintervall. So kann basierend auf dem bereitgestellten momentanen Eingangssignal und einem oder mehreren bereitgestellten Eingangssignalen in einem oder mehreren in der Vergangenheit liegenden Eingangsintervallen ein
20 Zwischenwert für ein in der Zukunft liegendes Zwischenintervall extrapoliert werden.

Bevorzugt erfolgt das Extrapolieren von Zwischenwerten auf der Basis einer Interpolation, die auf dem momentanen Eingangssignal und mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Eingangssignal basiert ist.

25 Diese Extrapolation kann beispielsweise aufgrund einer linearen Interpolation oder einer auf einem höhergradigen Polynom basierenden Interpolation von Eingangswerten aus der Vergangenheit durchgeführt werden. Somit ist es möglich, Zwischenwerte für zumindest ein in der Zukunft liegendes Zwischenintervall schnell zu berechnen. Dadurch können mit einer kleinen
30 Zeitrasterung viele Zwischenwerte berechnet werden, anhand derer die Maschine präzise, effizient und dynamisch geregelt werden kann.

Vorzugsweise umfasst das momentane Eingangsintervall mehrere Zwischenintervalle. Dabei wird für jedes Zwischenintervall des momentanen Eingangsintervalls ein Zwischenwert berechnet. Dabei kann das momentane Eingangsintervall vorzugsweise ein ganzzahliges Vielfaches eines

5 Zwischenintervalls sein. Dabei sind ferner vorzugsweise die Zwischenintervalle gleich lang und haben beispielsweise jeweils eine Länge von 500 ns. Durch Berechnen von Zwischenwerten für jedes in dem momentanen Eingangssignal liegendes Zwischenintervall, können präzise Werte zum Regeln der Maschine bereitgestellt werden, welche unabhängig von dem momentanen

10 Eingangsintervall abgerufen werden können. Wenn sich das momentane Eingangsintervall beispielsweise über 40 μ s erstreckt und jedes Zwischenintervall 500 ns lang ist, kann ein Zwischenwert für jedes der 80 Zwischenintervalle berechnet werden, welche in dem momentanen Eingangsintervall liegen. Daher kann quasi zu jedem Zeitpunkt in dem Eingangsintervall ein momentan gültiger

15 bzw. aktueller Zwischenwert zum Regeln der Maschine herangezogen werden.

Vorzugsweise ersetzt ein momentanes Eingangssignal, das in einem momentanen Zwischenintervall bereitgestellt wird, einen entsprechenden zuvor berechneten Zwischenwert für das momentane Zwischenintervall. Das Bereitstellen des momentanen Eingangssignals kann dabei in einem momentanen

20 Zwischenintervall erfolgen, für welches zuvor bereits ein entsprechender Zwischenwert berechnet wurde. Durch Ersetzen dieses zuvor berechneten Zwischenwertes durch das momentane Eingangssignal wird der zuvor berechnete Zwischenwert auf den tatsächlichen Wert des Eingangssignals (z.B. ein aktueller, tatsächlich gemessener Wert) korrigiert. Damit wird der momentane Ist-Zustand

25 der Maschine in dem entsprechenden momentanen Zwischenintervall so gut wie möglich beschrieben.

Vorzugsweise umfasst das Verfahren ferner ein Bereitstellen eines folgenden Eingangssignals für ein folgendes Eingangsintervall, welches dem momentanen Eingangsintervall folgt. Vorzugsweise weist das Verfahren weiter ein Bestimmen

30 auf, ob eine Differenz aus dem folgenden Eingangssignal und einem zeitlich zugehörigen berechneten Zwischenwert größer ist, als ein definierter Schwellenwert. Es wird also ein bereitgestelltes Eingangssignal mit einem

entsprechenden Zwischenwert verglichen. Der entsprechende Zwischenwert wurde dabei für das Zwischenintervall berechnet, in welchem das folgende Eingangssignal bereitgestellt wird. Der Fachmann wird dabei, etwa in Abhängigkeit der Messtoleranz, einen passenden Schwellenwert wählen. Dieser
5 kann dabei absolut oder relativ vorgegeben werden.

Vorzugsweise wird, falls bestimmt wurde, dass die Differenz größer ist, als der Schwellenwert, das folgende Eingangssignal verworfen. Die weitere Berechnung von Zwischenwerten erfolgt nun anhand des entsprechenden Zwischenwertes, und nicht anhand des folgenden Eingangssignals. Andernfalls wird vorzugsweise,
10 falls bestimmt wurde, dass die Differenz kleiner oder gleich dem Schwellenwert ist, der entsprechende, zeitlich zugehörige, berechnete Zwischenwert durch das folgende Eingangssignal ersetzt. Somit können auf effiziente Weise Ausreißer in dem Eingangssignal erkannt und verworfen werden, so dass diese sich nicht negativ auf die Regelung der Maschine auswirken können.

15 Vorzugsweise umfasst das Verfahren ferner den Schritt einer Kompensation einer Verzögerung des Eingangssignals aufgrund der Laufzeit.. Die laufzeitbezogene Verzögerung im Eingangssignal, welches durch eine entsprechende Systemkomponente bereitgestellt werden kann, wird somit kompensiert. Bekannte Verzögerungen einer Systemkomponente können somit ebenfalls
20 berücksichtigt werden, um präzise Werte zum Regeln der Maschine bereitzustellen.

Vorzugsweise umfasst das Bereitstellen des momentanen Eingangssignals ein Bereitstellen von mehreren momentanen Eingangssignalen für jeweils momentane Eingangsintervalle. Es können beispielsweise Eingangssignale von
25 zwei verschiedenen Sensorsystemen bereitgestellt werden, wobei jedes Sensorsystem mit einer beliebigen Arbeitsfrequenz arbeiten und in unterschiedlicher Frequenz entsprechende Eingangssignale bereitstellen kann. Der jeweilige Arbeitszyklus der bereitstellenden Systeme kann dabei gleich oder verschieden voneinander sein. Vorzugsweise erfolgt das Berechnen der jeweiligen
30 Zwischenwerte basierend auf den jeweiligen momentanen Eingangssignalen für ein gemeinsames in der Zukunft liegendes Zwischenintervall. Das gemeinsame

Zwischenintervall ist dabei kürzer als die jeweiligen momentanen Eingangsintervalle. So können beispielsweise Zwischenwerte für jedes Eingangssignal mit einem gemeinsamen Extrapolationstakt bereitgestellt werden. In jedem Zwischentakt, beispielsweise in jedem 500-ns-Intervall, liegen dann
5 entsprechend extrapolierte Zwischenwerte für die jeweiligen Eingangssignale vor. Damit kann die Regelung auf ein quasikontinuierliches Informationsspektrum zugreifen, so dass einerseits die Regelung der Maschine sehr genau ist und andererseits die Komponenten, welche die Eingangssignale bereitstellen, unabhängig voneinander operieren und problemlos an einen Antriebsregler
10 angeschlossen werden, oder von dieser entfernt werden, ohne den Antriebsregler aufwendig neu konfigurieren zu müssen. Zu jedem Zwischentakt wird dann für jedes Eingangssignal ein entsprechender extrapolierter Zwischenwert bereitgestellt, welcher zum Regeln der Maschine verwendet werden kann.

Vorzugsweise werden, wenn mehrere Systeme oder Antriebe synchrone Aktionen
15 ausführen sollen, die entsprechenden Sollwerte zeitgleich für die entsprechende Interpolation bereitgestellt und auf einen universellen gemeinsamen Zwischentakt interpoliert bzw. extrapoliert.

Vorzugsweise ist das Regelintervall kontinuierlich verstellbar. Beispielsweise kann somit eine Frequenz einer pulsbreitenmodulierten Regelung stufenlos
20 verstellt bzw. herabgesetzt werden. Dadurch können zum Beispiel temporär die Verluste im Umrichter reduziert werden und entsprechend seine Leistung erhöht werden. Ein Anpassen der Arbeitszyklen oder der Funktionsweise von beispielsweise Sensorsystemen ist dabei nicht erforderlich. So kann bei genügend kurzen Zwischenintervallen die Frequenz der pulsbreitenmodulierten Regelung
25 nahezu kontinuierlich, zumindest jedoch quasikontinuierlich verstellt werden.

Vorteilhafterweise erlaubt es die vorliegende Erfindung, dass eine Umschaltung einzelner Systemtakte jederzeit unabhängig voneinander durchgeführt werden kann. So können beispielsweise Sensoren beliebig ausgetauscht, entfernt oder
30 hinzugefügt werden, ohne dass andere Systeme bzw. deren Arbeitstakte hierdurch beeinflusst werden. Ferner kann jedes System kontinuierlich Eingangswerte bereitstellen und muss nicht eventgesteuert arbeiten. Dadurch

kann die größtmögliche und aktuellste Informationsmenge zur Regelung der Maschine bereitgestellt werden.

Vorzugsweise erfolgen das Bereitstellen von Eingangssignalen und das Regeln der Maschine periodisch. Insbesondere vorzugsweise ist jedes Zwischenintervall
5 gleich lang.

Weiterhin wird die oben genannte Aufgabe durch eine Vorrichtung zum Regeln einer elektrischen Maschine gelöst. Die Vorrichtung umfasst dabei zumindest einen Eingang, welcher eingerichtet ist, zum Bereitstellen eines momentanen Eingangssignals für ein momentanes Eingangsintervall.

10 Ferner weist die Vorrichtung ein Berechnungsmodul auf, welches eingerichtet ist, zum Berechnen von Zwischenwerten für in der Zukunft liegende Zwischenintervalle. Die jeweiligen Zwischenintervalle sind dabei kürzer als das Eingangsintervall. Das Berechnen erfolgt dabei basierend auf dem momentanen Eingangssignal. Ferner erfolgt das Berechnen basierend auf mindestens einem in
15 der Vergangenheit liegenden Eingangssignal oder mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Zwischenwert.

Ferner umfasst die Vorrichtung ein Regelungsmodul, welches eingerichtet ist, zum Regeln der Maschine in einem Regelintervall basierend auf einem für das Regelintervall gültigen Zwischenwert. Das Regelintervall ist dabei länger als die
20 jeweiligen Zwischenintervalle.

Vorzugsweise umfasst das Berechnungsmodul eine im Feld programmierbare Logik-Gatter-Anordnung (englisch: Field Programmable Gate Array, FPGA). Durch den Einsatz der FPGA-Technologie kann die Berechnungszeit zum Berechnen der Zwischenwerte erheblich reduziert werden. Somit können sehr
25 kurze Zwischenintervalle verwendet werden. Damit liegt jedem Zeitpunkt, zu dem das Regelungsmodul entsprechende Daten zum Regeln der Maschine benötigt, ein entsprechender aktueller Zwischenwert vor.

Vorzugsweise ist das Berechnungsmodul zum Extrapolieren zumindest eines Zwischenwertes für zumindest ein in der Zukunft liegendes Zwischenintervall eingerichtet.

5 Vorzugsweise ist das Berechnungsmodul eingerichtet zum Extrapolieren von Zwischenwerten auf der Basis einer Interpolation, die auf dem momentanen Eingangssignal und mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Eingangssignal basiert.

10 Vorzugsweise weist die Vorrichtung weiter ein Vergleichsmodul auf, welches eingerichtet ist zum Bestimmen, ob eine Differenz aus einem für ein in dem momentanen Eingangsintervall folgenden Eingangsintervall bereitgestellten folgenden Eingangssignal und einem zeitlich zugehörigen berechneten Zwischenwert größer ist, als ein definierter Schwellenwert.

15 Vorzugsweise weist die Vorrichtung weiterhin ein Kompensationsmodul auf, welches eingerichtet ist, zum Durchführen einer Kompensation der Verzögerung im Eingangssignal aufgrund der Laufzeit.

Vorzugsweise weist die Vorrichtung weiterhin ein Speichermodul auf, welches eingerichtet ist, zum Bereitstellen der Zwischenwerte an das Regelungsmodul. Weiter bevorzugt werden im Speichermodul auch die Eingangssignale gespeichert, um bereitgestellt zu werden. In dem Speichermodul sind somit alle
20 Zwischenwerte bereitgestellt. Das Regelungsmodul kann zum Regeln der Maschine in einem Regelintervall zu einem bestimmten Zeitpunkt auf das Speichermodul zugreifen, und einen momentan gültigen Zwischenwert auslesen. Das Regeln der Maschine erfolgt vorzugsweise anschließend basierend auf diesem aktuell gültigen Zwischenwert.

25 Vorzugsweise weist die Vorrichtung mehrere Eingänge auf, die jeweils eingerichtet sind, zum Bereitstellen von mehreren momentanen Eingangssignalen für jeweilige momentane Eingangsintervalle. Vorzugsweise berechnet dabei das Berechnungsmodul die jeweiligen Zwischenwerte basierend auf den jeweiligen momentanen Eingangssignalen für ein gemeinsames in der

Zukunft liegendes Zwischenintervall. Die momentanen Eingangsintervalle können dabei gleich oder verschieden voneinander sein. Vorzugsweise ist das gemeinsame Zwischenintervall kürzer als die jeweiligen momentanen Eingangsintervalle.

- 5 Vorzugsweise ist die Vorrichtung eingerichtet, zum Durchführen eines der oben beschriebenen Verfahren zum Regeln einer elektrischen Maschine. Die Zwischenintervalle sind vorzugsweise kürzer als alle anderen Systemzyklen in dem System. Insbesondere sind die Zwischenintervalle signifikant kürzer als der kürzeste Takt aller Eingangssignale und Regelintervalle der Systemkomponenten.
- 10 Dabei können die jeweiligen Zwischenintervalle kleiner als 1 ms, vorzugsweise kleiner als 1 μ s, weiter vorzugsweise kleiner als 500 ns, weiter vorzugsweise kleiner als 100 ns, weiter vorzugsweise kleiner als 50 ns und am meisten bevorzugt kleiner als 10 ns sein.

- 15 Bevorzugt sind die momentanen Eingangsintervalle ganzzahlige Vielfache vom Zwischenintervall.

Bevorzugt ist das Regelintervall ein ganzzahliges Vielfaches vom Zwischenintervall.

20 **4. Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren näher beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 schematisch ein elektrisches Antriebssystem gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;

- 25 Fig. 2 schematisch den Aufbau einer Regelung des elektrischen Antriebssystems aus Fig. 1;

Fig. 3 schematisch den zeitlichen Verlauf von Werten und Signalen gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform;

Fig. 4 schematisch den zeitlichen Verlauf von Werten und Signalen gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform; und

- 5 Fig. 5 schematisch den zeitlichen Verlauf von Werten und Signalen gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform.

5. Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele

In der Figur 1 ist schematisch der Aufbau einer bevorzugten Ausführungsform eines elektrischen Antriebssystems dargestellt. Dieses umfasst eine elektrische
10 Maschine 30, welche beispielsweise als elektrischer Motor 30 ausgebildet sein kann. Der Motor 30 wird mittels eines Antriebsreglers 20 geregelt. Der Antriebsregler 20 wird unten unter Bezugnahme auf Figur 2 näher beschrieben.

Der Antriebsregler 20 empfängt Signale von verschiedenen Komponenten 11, 12, 13, 14, welche beispielsweise eine übergeordnete PLC und verschiedene Sensoren
15 bzw. Drehzahl- und Lagegeber umfassen können. Jede der Komponenten 11, 12, 13, 14 kann dabei intern mit einer eigenen, individuellen Zykluszeit arbeiten. Entsprechend diesen Zykluszeiten stellen die Komponenten 11, 12, 13, 14 Signale an entsprechende Eingänge des Antriebsreglers 20 bereit.

In diesem Beispiel arbeitet Komponente 11 mit einem 25-kHz-Takt, und stellt
20 somit ihre Signale S^A_0 in 40- μ s-Intervallen T^A_0 bereit, also einmal pro Takt. Komponente 12 arbeitet mit einem 50-kHz-Takt, und stellt somit in 20- μ s-Intervallen T^B_0 ihre Signale S^B_0 bereit. Komponente 13 arbeitet mit einem 20-kHz-Takt, und stellt somit in 50- μ s-Intervallen T^C_0 ihre Signale S^C_0 bereit. Komponente 14 arbeitet mit einem 10-kHz-Takt, und stellt somit in 100- μ s-
25 Intervallen T^D_0 ihre Signale S^D_0 bereit. Die Komponenten können daher jeweils mit unterschiedlichen Zykluszeiten arbeiten bzw. die Signale in jeweils unterschiedlichen Intervallen bereitstellen.

In der Figur 2 ist der Antriebsregler 20 aus Figur 1 schematisch dargestellt. Dieser umfasst Interpolationsmodule 211, 212, 213, 214, zur Interpolation von eingehenden Eingangssignalen T_0 , Kompensationsmodule 221, 222, 223, 224, zur Kompensation von Laufzeitunterschieden, ein Extrapolationsmodul 230, zur
5 Extrapolation von Zwischenwerten S_{int} , ein Bereitstellungsmodul 240, zum Zwischenspeichern der Zwischenwerte S_{int} und ein Regelungsmodul 250, zur Ansteuerung des elektrischen Motors 30.

Die Regelung des Motors 30 erfolgt dabei mittels des Regelungsmoduls 250, das auch eine Endstufe bzw. einen Wechselrichter zum Ansteuern der elektrischen
10 Maschine 30 enthält. Das Taktsystem des Regelungsmoduls 250 arbeitet in dem vorliegenden Beispiel mit einem 4-KHz-Takt, so dass ein Regelintervall von $T_c = 250 \mu s$ vorliegt. Das Regelungsmodul 250 kann selbstverständlich auch mit einer anderen Zykluszeit arbeiten.

Aufgrund der Takte T^{A-D}_0 bzw. Zykluszeiten der Komponenten 11, 12, 13, 14 und
15 des Regelungsmoduls 250 kann der Fall eintreten, dass zu Beginn eines Regelintervalls T_c noch keine aktuellen, präzisen Werte S^{A-D}_0 von den Komponenten 11, 12, 13, 14 vorliegen, sondern nur veraltete Werte S^{A-D}_{-1} . Dieses Problem wird durch die vorliegende Erfindung gelöst.

Zum Regeln der Maschine 30 werden von den Komponenten 11, 12, 13, 14
20 Eingangssignale S^{A-D}_0 an den Antriebsregler 20 bereitgestellt, wobei dies, wie oben beschrieben, mit unterschiedlichen Takten erfolgen kann. Die Komponente 11 stellt dabei alle $40 \mu s$ ein momentanes Eingangssignal S^A_0 an den Antriebsregler 20 bereit. Das Eingangssignal wird dem Interpolationsmodul 211 zugeführt, wo aufgrund seines momentanen bereitgestellten Wertes S_0 und
25 mindestens einem seiner Werte aus der Vergangenheit S^{A-D}_{-1} eine Interpolationsfunktion, beispielsweise ein Interpolationspolynom, festgelegt wird. Dabei wird eine lineare Interpolation bevorzugt, die außer dem momentanen bereitgestellten Eingangssignal nur das von der Komponente 11 einen Takt davor bereitgestellte Eingangssignal benötigt. Selbstverständlich sind
30 auch andere Interpolationsverfahren möglich, beispielsweise eine exponentielle oder logarithmische Extrapolation.

Anschließend wird in einem Kompensationsmodul 221 die Verzögerung der Signale aufgrund der Leitungslänge bzw. der Laufzeit kompensiert. Im Kompensationsmodul 221 können auch andere bekannten Verzögerungen der Komponente 11 kompensiert werden.

- 5 Gleichmaßen werden auch die von den Komponenten 12, 13, 14 bereitgestellten Eingangssignale jeweils mittels des entsprechenden Interpolationsmodule 212, 213, 214 und Kompensationsmodule 222, 223, 224 auf gleicher Weise bearbeitet, wie das von der Komponente 11 bereitgestellte Eingangssignal.

- 10 Anschließend werden die Eingangssignale, deren Laufzeitverzögerungen bereits kompensiert sind und deren Interpolationsfunktionen bereits bekannt sind, einem Extrapolationsmodul 230 übergeben. Mittels dieses Extrapolationsmoduls 230 werden die Signale der einzelnen Komponenten 11, 12, 13, 14 auf einen gemeinsamen Zwischentakt extrapoliert, beispielsweise mit einer gemeinsamen Zwischentaktfrequenz von 2 MHz, so dass ein entsprechendes Zwischenintervall
- 15 500 ns beträgt. Der Verlauf der Extrapolation wird nachfolgend unter Bezugnahme auf Figur 3 näher beschrieben. Anschließend werden die extrapolierten Zwischenwerte S^{A-D}_{ext} an ein Bereitstellungsmodul 240 ausgegeben, wobei alle Bus- bzw. Systemlaufzeiten berücksichtigt und korrigiert sind. Das Bereitstellungsmodul kann dabei als Datenspeichermodule ausgeführt
- 20 sein und die extrapolierten Zwischenwerte S^{A-D}_{ext} an das Regelungsmodul 250 bereitstellen. Der Zwischentakt des Extrapolationsmoduls 230 ist dabei erfindungsgemäß schneller als alle anderen Systemzyklen. Insbesondere ist der Zwischentakt schneller als der Regeltakt des Regelungsmoduls 250. Damit stellt das Bereitstellungsmodul quasikontinuierlich stets in jedem
- 25 Zwischenintervallaktuelle Zwischenwerte der Regelung der elektrischen Maschine zur Verfügung.

- Das Regelungsmodul 250 greift periodisch auf das Bereitstellungsmodul 240 zu, und kann quasi jederzeit aktuelle Zwischenwerte von dem Bereitstellungsmodul 240 entnehmen. Das Regelungsmodul 250 kann somit unabhängig von den
- 30 individuellen Eingangsintervallen bzw. Zyklen der Komponenten 11, 12, 13, 14 den Motor 30 steuern bzw. regeln.

Der Fachmann versteht, dass nicht bei jedem Eingangssignal die Laufzeit kompensiert werden muss. Wesentlich ist, dass die Eingänge auf einen gemeinsamen Zwischentakt extrapoliert werden, sodass dem Regelungsmodul 250 quasikontinuierlich Ist- und/oder Sollwerte zur Regelung des Motors 30 bereitgestellt werden. Ferner können bestimmte Module der Vorrichtung in einem Modul zusammengefasst oder anderweitig kombiniert werden. Beispielsweise können die Kompensationsmodule 221, 222, 223, 224 als Bestandteile des Extrapolationsmoduls 230 implementiert werden, oder die Interpolationsmodule 211, 212, 213, 214 mit den Kompensationsmodulen 221, 222, 223, 224 und dem Interpolationsmodul 230 gemeinsam als Berechnungsmodul im Sinne der vorliegenden Erfindung implementiert werden.

Figur 3 zeigt schematisch den zeitlichen Verlauf von Eingangssignalen und Zwischenwerten gemäß einer Ausführungsform. Zum Zeitpunkt t_0 wird ein momentanes Eingangssignal S_0 für ein momentanes Eingangsintervall T_0 bereitgestellt. Die Länge des Eingangsintervalls ist dabei abhängig von der jeweiligen signalbereitstellenden Komponente. Die Komponente, wie z.B. ein Sensor, stellt periodisch Eingangssignale S_0, S_1, S_2 , etc. bereit, und zwar zu den Zeitpunkten t_0, t_1, t_2 , etc., wodurch die Länge eines Eingangsintervalls als $T_0 = t_1 - t_0, T_1 = t_2 - t_1$, etc. definiert ist.

In dem dargestellten Beispiel umfasst ein Eingangsintervall drei Zwischenintervalle bzw. Extrapolationsintervalle T_{ext} . Die Zwischenintervalle T_{ext} sind dabei gleich lang, und können z.B. eine zeitliche Länge von 500 ns haben.

Basierend auf dem momentanen Eingangssignal S_0 und einem in der Vergangenheit liegenden Eingangssignal S_{-1} , welches zum Zeitpunkt t_{-1} für das vorherige Eingangsintervall T_{-1} bereitgestellt wurde, wird beispielsweise mittels linearer Interpolation ein Interpolationspolynom ersten Grades gebildet wie folgt:

$$S_{\text{int},0,k} = S_0 + [(S_0 - S_{-1})/T] \Delta t,$$

mit $\Delta t = t - t_0$, wobei t laufende Zeit ist.

Anschließend werden im Extrapolationsmodul 230 für die Zeitpunkte $t_{0,1}$, $t_{0,2}$ und t_1 entsprechende Zwischenwerte $S_{\text{int},0,1}$, $S_{\text{int},0,2}$ und $S_{\text{int},0,3}$ berechnet bzw. extrapoliert, indem in dem obigen Polynom $\Delta t = T_{\text{ext}k}$ mit $k = 1, 2, 3$ verwendet wird.

- 5 Zum Regeln der elektrischen Maschine 30, beispielsweise mit dem Regelungsmodul 250 aus Figur 2, greift dieses beispielsweise während des Zwischenintervalls $t_{0,2} < t < t_1$ auf das Bereitstellungsmodul 240 zu, und liest den entsprechenden, aktuell gültige Zwischenwert $S_{\text{int},0,2}$ aus. Anschließend wird basierend auf diesem Zwischenwert $S_{\text{int},0,2}$ die Maschine geregelt.
- 10 Zum Zeitpunkt t_1 wird ein neues, beispielsweise gemessenes Eingangssignal S_1 bereitgestellt, und ersetzt den entsprechenden, zuvor berechneten Zwischenwert $S_{\text{int},0,3}$. Anschließend erfolgt erneut ein Extrapolieren des Zwischenwertes $S_{\text{int},1,1}$, $S_{\text{int},1,2}$ und $S_{\text{int},1,3}$ für die Zwischenintervalle $t_{1,1} < t < t_{1,2}$ und $t_2 < t < t_{1,2}$.

- 15 Die Figur 4 zeigt eine ähnliche Situation wie die Figur 3. Ausgehend von dem Wert S_0 , der zum Zeitpunkt t_0 für das Eingangsintervall T_0 bereitgestellt wird, und einem oder mehreren in der Vergangenheit liegenden Werten (in Figur 3 nicht gezeigt), werden unter Anwendung einer Interpolation drei extrapolierte Werte $S_{\text{int},0,1}$, $S_{\text{int},0,2}$ und $S_{\text{int},0,3}$ berechnet. Die Werte $S_{\text{int},0,1}$, $S_{\text{int},0,2}$ sind für die Zeitpunkte $t_{0,1}$ und $t_{0,2}$ und dann für die entsprechenden Zwischenintervalle $t_{0,1} < t < t_{0,2}$ und $t_{0,2} < t < t_1$ gültig. Zum Zeitpunkt t_1 wird ein neues Eingangssignal S_1 für ein folgendes Eingangsintervall T_1 bereitgestellt. Dieses neue Eingangssignal S_1 stimmt jedoch nicht mit dem extrapolierten Wert $S_{\text{int},3,0}$ überein. Daher wird der extrapolierte Wert $S_{\text{int},3,0}$ auf den Wert des neuen Eingangssignals S_1 korrigiert. Für die Regelung der Maschine wird somit für das Zwischenintervall $t_1 < t < t_{1,1}$ der Regeleinheit 250 korrigierte Wert S_1 bereitgestellt. Eine nachfolgende Berechnung, z.B. des Zwischenwertes $S_{\text{int},1,1}$, basiert dann ebenfalls auf dem korrigierten Wert S_1 .
- 20
- 25

- Figur 5 zeigt eine ähnliche Situation wie die Figuren 3 und 4. Zum Zeitpunkt t_1 wird ein Eingangssignal S_1 für das Eingangsintervall T_1 bereitgestellt, und mittels Interpolation werden für die Zeitpunkte $t_{1,1}$, $t_{1,2}$ (bzw. für die Zwischenintervalle
- 30

$t_{1,1} < t < t_{1,2}$ und $t_{1,2} < t < t_2$) die Zwischenwerte $S_{\text{int},1,1}$ und $S_{\text{int},1,2}$ berechnet. Ebenso wird ein extrapolierter Wert $S_{\text{int},1,3}$ für den Zeitpunkt t_2 berechnet. Zum Zeitpunkt t_2 wird ein neues Eingangssignal S_2 bereitgestellt. Dieses Eingangssignal S_2 weicht jedoch deutlich von dem entsprechenden, aktuell gültigen, berechneten

5 Zwischenwert $S_{\text{int},1,3}$ ab. Durch einen Vergleich einer Differenz aus dem neuen Eingangssignal S_2 und dem zeitlich zugehörigen berechneten Zwischenwert $S_{\text{int},1,3}$ mit einem definierten Schwellenwert wird erkannt, dass das bereitgestellte neue Eingangssignal S_2 ein statistischer Ausreißer ist bzw. mit großer

10 Wahrscheinlichkeit ein fehlerhafte Eingangssignal ist. Als Schwellenwert kann beispielsweise eine absolute Differenz oder eine relative Änderung zwischen dem bereitgestellten Eingangssignal und dem hochgerechneten Zwischenwert verwendet werden.

Die folgende Berechnung von Zwischenwerten mittels Interpolation und Extrapolation, etwa des Zwischenwertes $S_{\text{int},2,1}$, erfolgt nun unter Verwendung des

15 Zwischenwertes $S_{\text{int},3,0}$. Das neue, als fehlerhaft erkannte Eingangssignal S_2 wird verworfen.

Der Fachmann versteht, dass die unter Bezugnahme auf Figuren 3 bis 5 beschriebenen Verfahren einzeln oder in Kombination in dem Antriebsregler 20 aus Figur 2 implementiert werden können. Zu jedem Zeitpunkt kann eine

20 elektrische Maschine 3 dabei basierend auf einem entsprechenden Zwischenwert S_{int} , unabhängig vom Arbeitstakt der signalbereitstellenden Komponenten geregelt werden. Der Antriebsregler 20 kann dazu um weitere Module ergänzt werden, um entsprechende Schritte durchzuführen.

Bezugszeichenliste:

25	11, 12, 13, 14	Komponente
	20	Antriebsregler
	30	Motor
	211, 212, 213, 214	Interpolationsmodul
	221, 222, 223, 224	Kompensationsmodul
30	230	Extrapolationsmodul
	240	Bereitstellungsmodul

250

Regelungsmodul

Ansprüche

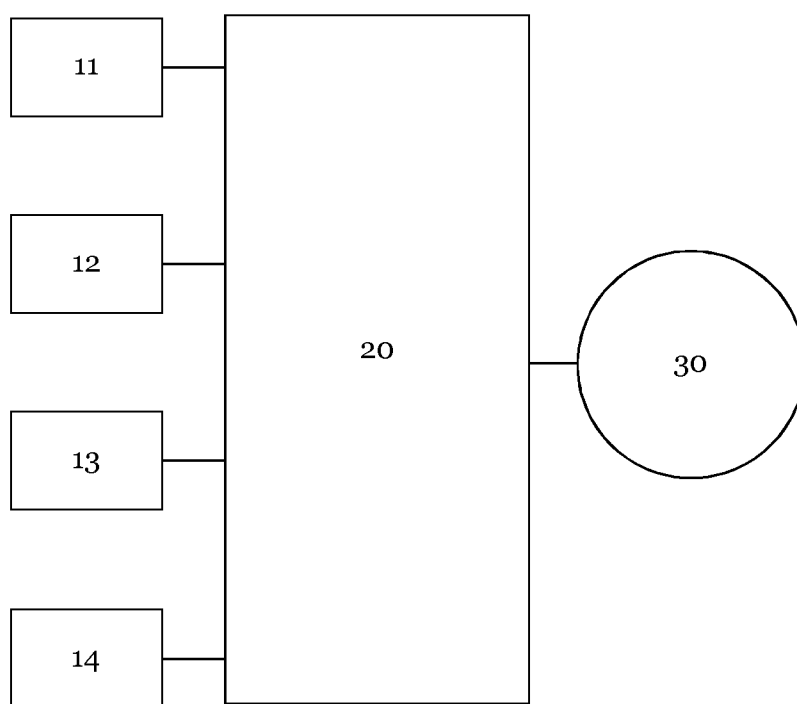
1. Verfahren zum Regeln einer elektrischen Maschine, aufweisend die
5 folgenden Schritte:
 - a. Bereitstellen eines momentanen Eingangssignals (S_o) für ein
momentanes Eingangsintervall (T_o);
 - b. Berechnen von Zwischenwerten (S_{int}) für in der Zukunft liegende
Zwischenintervalle (T_{ext}) basierend auf dem momentanen
10 Eingangssignal (S_o) und entweder mindestens einem in der
Vergangenheit liegenden Eingangssignal (S_{-1}) oder mindestens einem
in der Vergangenheit liegenden Zwischenwert (S_{int}), wobei die
jeweiligen Zwischenintervalle (T_{ext}) kürzer als das
Eingangsintervall (T_o) sind; und
 - 15 c. Regeln der Maschine in einem Regelintervall (T_c) basierend auf einem
für das Regelintervall (T_c) gültigen Zwischenwert (S_{int}), wobei das
Regelintervall (T_c) länger als die jeweiligen Zwischenintervalle (T_{ext})
ist.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Berechnen von Zwischenwerten
(S_{int}) ein Extrapolieren zumindest eines Zwischenwertes (S_{int}) für zumindest
ein in der Zukunft liegendes Zwischenintervall (T_{ext}) umfasst.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Extrapolieren von Zwischenwerten
25 (S_{int}) auf der Basis einer Interpolation erfolgt, die auf dem momentanen
Eingangssignal (S_o) und mindestens einem in der Vergangenheit liegenden
Eingangssignal (S_{-1}) basiert ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-3, wobei das momentane
30 Eingangsintervall (T_o) mehrere Zwischenintervalle (T_{ext}) umfasst, und
wobei für jedes Zwischenintervall (T_{ext}) des momentanen
Eingangsintervalls (T_o) ein Zwischenwert (S_{int}) berechnet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, wobei ein momentanes Eingangssignal (S_o), das in einem momentanen Zwischenintervall (T_{ext}) bereitgestellt wird, einen entsprechenden zuvor berechneten Zwischenwert (S_{int}) für das momentane Zwischenintervall (T_{ext}) ersetzt.
- 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-5, ferner aufweisend:
Bereitstellen eines folgenden Eingangssignals (S_i) für ein, dem momentanen Eingangsintervall (T_o) folgenden Eingangsintervall (T_i);
Bestimmen, ob eine Differenz aus dem folgenden Eingangssignal (S_i) und einem zeitlich zugehörigen berechneten Zwischenwert (S_{int}) größer ist, als ein definierter Schwellenwert, und
10 Verwerfen des folgenden Eingangssignals (S_i) falls bestimmt wurde, dass die Differenz größer ist, als der Schwellenwert, oder
Ersetzen des zeitlich zugehörigen berechneten Zwischenwerts (S_{int}) durch
15 das folgende Eingangssignal (S_i), falls bestimmt wurde, dass die Differenz kleiner oder gleich dem Schwellenwert ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-6, weiter aufweisend den Schritt einer Kompensation einer Verzögerung des Eingangssignals aufgrund der Laufzeit.
- 20
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-7, wobei das Bereitstellen des momentanen Eingangssignals (S_o) ein Bereitstellen von mehreren momentanen Eingangssignalen (S^A_o, S^B_o) für jeweilige momentane Eingangsintervalle (T^A_o, T^B_o) umfasst,
25 wobei das Berechnen der jeweiligen Zwischenwerte (S^A_{int}, S^B_{int}) basierend auf den jeweiligen momentanen Eingangssignalen (S^A_o, S^B_o) für ein gemeinsames in der Zukunft liegendes Zwischenintervall (T_{ext}) erfolgt, wobei die momentanen Eingangsintervalle (T^A_o, T^B_o) gleich oder
30 verschieden voneinander sein können, und
wobei das gemeinsame Zwischenintervall (T_{ext}) kürzer als die jeweiligen momentanen Eingangsintervalle (T^A_o, T^B_o) ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-8, wobei das Regelintervall (T_c) kontinuierlich verstellbar ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-9, wobei das Bereitstellen von Eingangssignalen und das Regeln der Maschine periodisch erfolgen.
11. Vorrichtung zum Regeln einer elektrischen Maschine, aufweisend:
- a. Zumindest einen Eingang, eingerichtet zum Bereitstellen eines momentanen Eingangssignals (S_o) für ein momentanes Eingangsintervall (T_o);
 - b. ein Berechnungsmodul, eingerichtet zum Berechnen von Zwischenwerten (S_{int}) für in der Zukunft liegende Zwischenintervalle (T_{ext}) basierend auf dem momentanen Eingangssignal (S_o) und mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Eingangssignal (S_{-1}) oder mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Zwischenwert (S_{int}), wobei die jeweiligen Zwischenintervalle (T_{ext}) kürzer als das Eingangsintervall (T_o) sind; und
 - c. ein Regelungsmodul (250), eingerichtet zum Regeln der Maschine in einem Regelintervall (T_c) basierend auf einem für das Regelintervall (T_c) gültigen Zwischenwert (S_{int}), wobei das Regelintervall (T_c) länger als die jeweiligen Zwischenintervalle (T_{ext}) ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei das Berechnungsmodul ein FPGA umfasst.
13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, wobei das Berechnungsmodul eingerichtet ist zum Extrapolieren zumindest eines Zwischenwertes (S_{int}) für zumindest ein in der Zukunft liegendes Zwischenintervall (T_{ext}).
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-13, wobei das Berechnungsmodul eingerichtet ist zum Extrapolieren von Zwischenwerten (S_{int}) aufgrund einer Interpolation, die auf dem momentanen Eingangssignal (S_o) und mindestens einem in der Vergangenheit liegenden Eingangssignal (S_{-1}) basiert ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-14, weiter aufweisend ein Vergleichsmodul eingerichtet zum Bestimmen, ob eine Differenz aus einem für ein dem momentanen Eingangsintervall (T_o) folgenden Eingangssignal (S_i) und einem zeitlich zugehörigen berechneten Zwischenwert (S_{int}) größer ist, als ein definierter Schwellenwert.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-15, weiter aufweisend ein Kompensationsmodul, eingerichtet zum Durchführen einer Kompensation einer Verzögerung im Eingangssignal aufgrund der Laufzeit.
17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-16, weiter aufweisend ein Bereitstellungsmodul (240), eingerichtet zum Bereitstellen der Zwischenwerte (S_{int}) an das Regelungsmodul (250).
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-17, wobei die Vorrichtung mehrere Eingänge aufweist, die jeweils eingerichtet sind zum Bereitstellen von mehreren momentanen Eingangssignalen (S^A_o, S^B_o) für jeweilige momentane Eingangsintervalle (T^A_o, T^B_o), wobei das Berechnungsmodul die jeweiligen Zwischenwerte (S^A_{int}, S^B_{int}) basierend auf den jeweiligen momentanen Eingangssignalen (S^A_o, S^B_o) für ein gemeinsames in der Zukunft liegendes Zwischenintervall (T_{ext}) berechnet, wobei die momentanen Eingangsintervalle (T^A_o, T^B_o) gleich oder verschieden voneinander sein können, und wobei das gemeinsame Zwischenintervall (T_{ext}) kürzer als die jeweiligen momentanen Eingangsintervalle (T^A_o, T^B_o) ist.
19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-18, wobei die Steuerung eingerichtet ist ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1-10 durchzuführen.

- 5 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-10 oder Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-19, wobei die jeweiligen Zwischenintervalle (T_{ext}) kleiner als 1 ms, vorzugsweise kleiner als 1 μs , weiter vorzugsweise kleiner als 500 ns, weiter vorzugsweise kleiner als 100 ns, weiter vorzugsweise kleiner als 50 ns, und am meisten bevorzugt kleiner als 10 ns sind.
- 10 21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-10 oder Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-19, wobei die momentanen Eingangsintervalle (T^{A}_{o} , T^{B}_{o}) ganzzahlige Vielfache vom Zwischenintervall (T_{ext}) sind.
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-10 oder Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11-19, wobei das Regelintervall (T_{c}) ein ganzzahliges Vielfaches vom Zwischenintervall (T_{ext}) ist.

**Fig. 1**

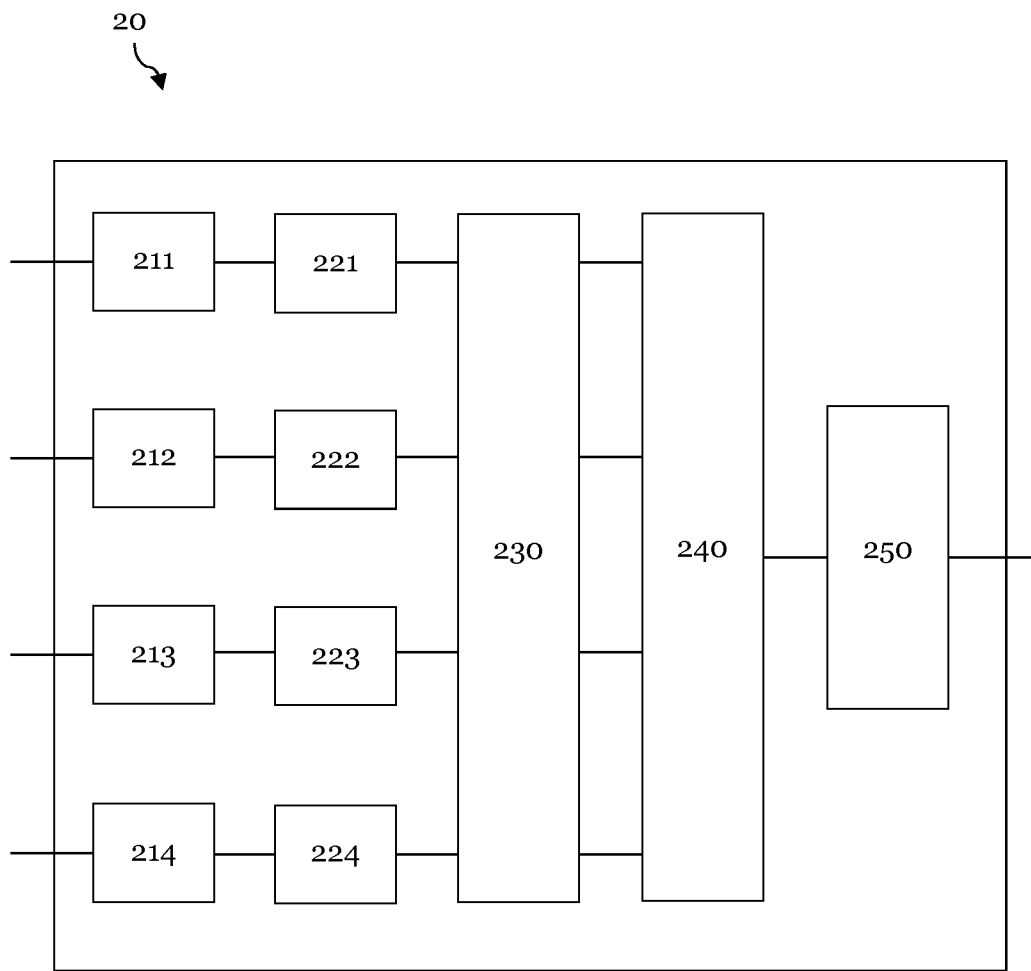


Fig. 2

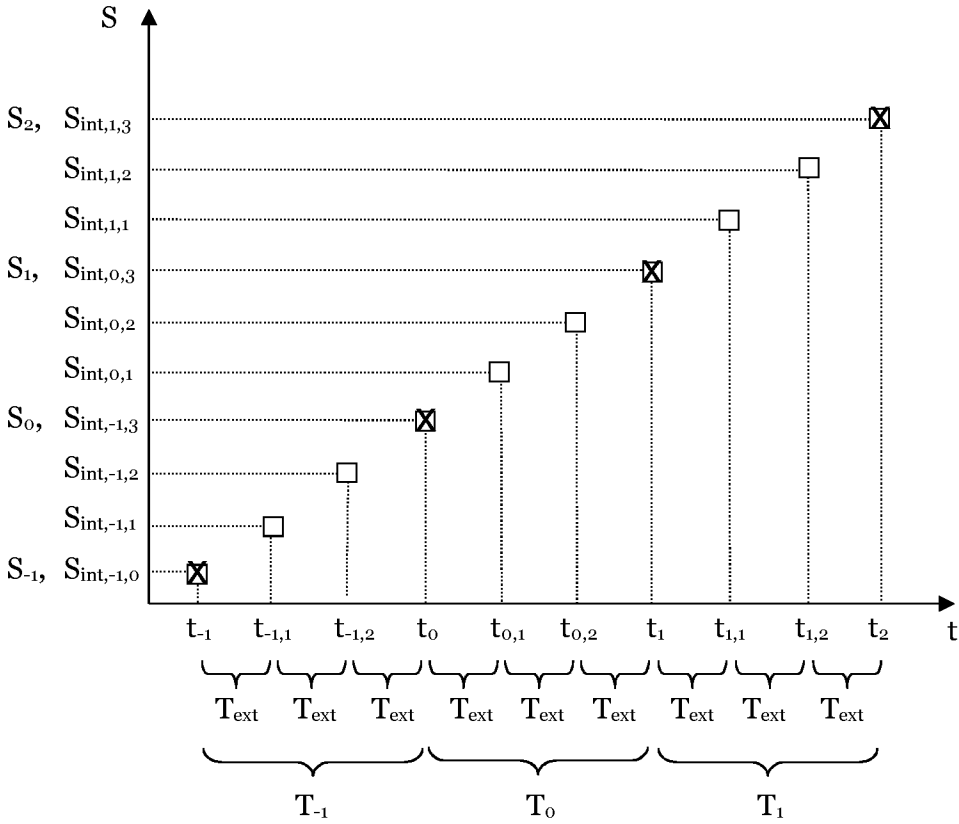


Fig. 3

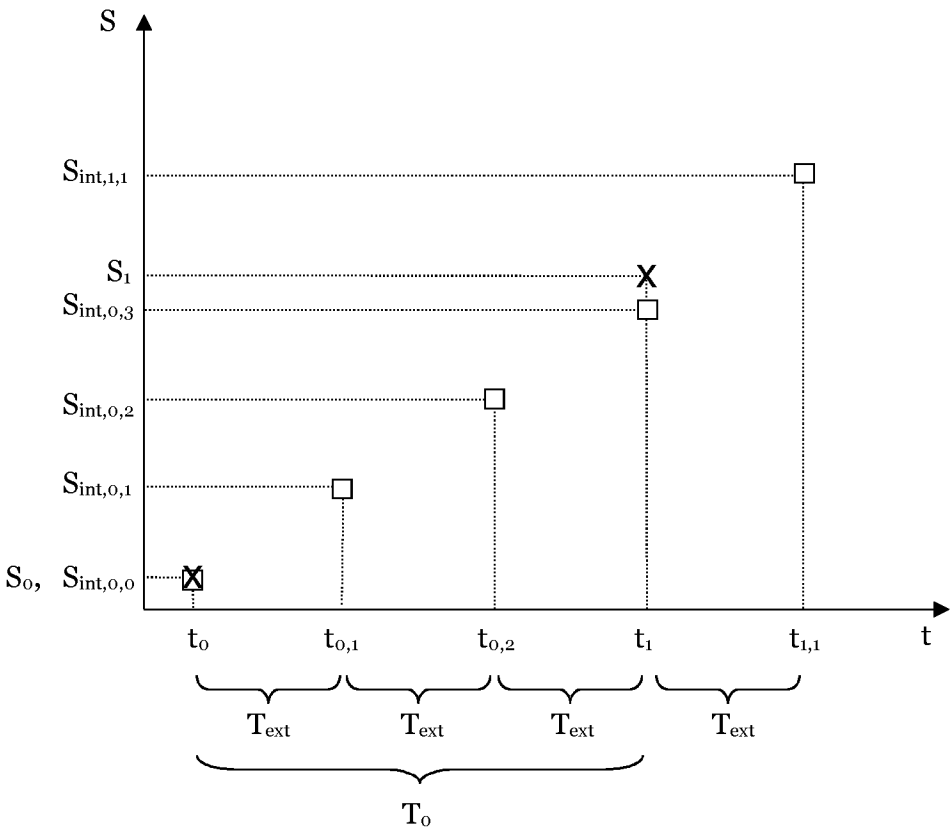


Fig. 4

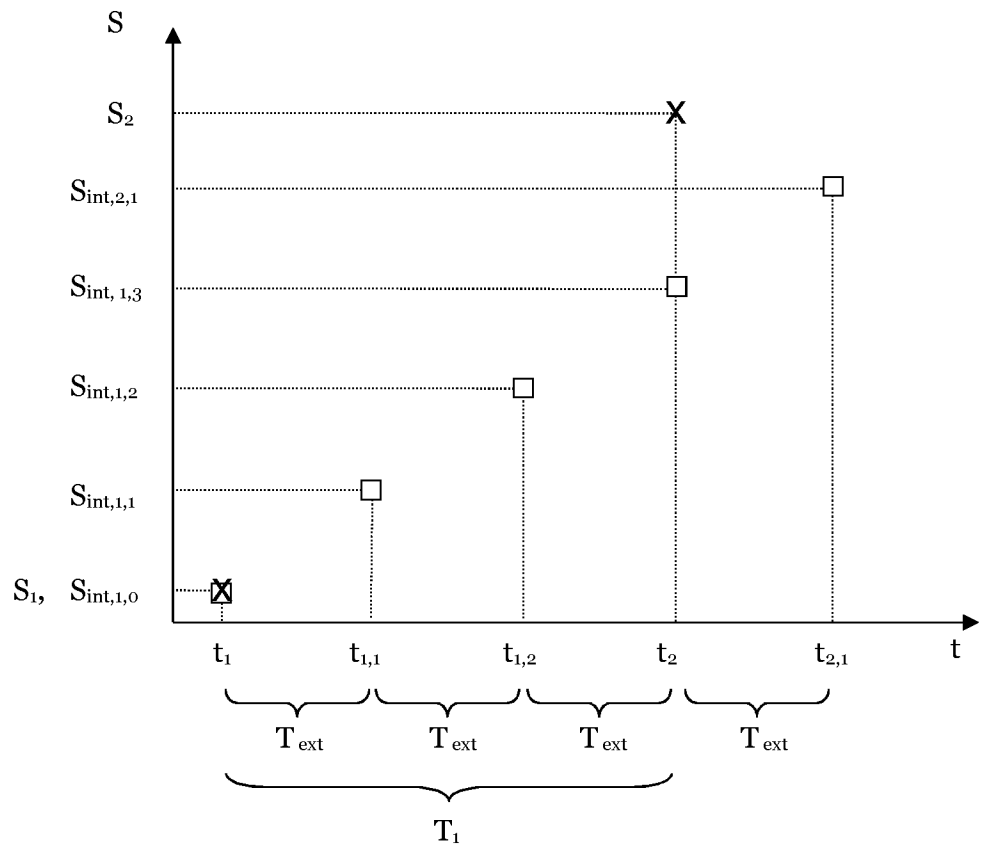


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/053208

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G05B19/41 G05B13/04
ADD.

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)
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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	RAMACHANDRAN P ET AL: "Intersample output estimation with multirate sampling", CONTROL APPLICATIONS, 1996., PROCEEDINGS OF THE 1996 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEARBORN, MI, USA 15-18 SEPT. 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 15 September 1996 (1996-09-15), pages 576-581, XP010199454, DOI: 10.1109/CCA.1996.558924 ISBN: 978-0-7803-2975-1 page 576 - page 581 ----- -/--	1-22



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family 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 application or patent 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

4 May 2017

Date of mailing of the international search report

16/05/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Marinica, Raluca

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/053208

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2016/048119 A1 (WOJSZNIS WILHELM K [US] ET AL) 18 February 2016 (2016-02-18) paragraph [0018] - paragraph [0020] paragraph [0034] paragraph [0038] - paragraph [0039] paragraph [0041] - paragraph [0045] paragraph [0056] - paragraph [0078] figures 5,11 -----	1-22
A	THOMAS KAUTZ ET AL: "A Robust Kalman Framework with Resampling and Optimal Smoothing", SENSORS, vol. 15, no. 3, 27 February 2015 (2015-02-27), pages 4975-4995, XP055369132, DOI: 10.3390/s150304975 page 4979 - page 4981 -----	6,15
A	NGUYEN BINH MINH ET AL: "Dual rate Kalman filter considering delayed measurement and its application in visual servo", 2014 IEEE 13TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCED MOTION CONTROL (AMC), IEEE, 14 March 2014 (2014-03-14), pages 494-499, XP032599307, DOI: 10.1109/AMC.2014.6823331 [retrieved on 2014-05-29] page 494 - page 499 -----	7,16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/053208

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2016048119 A1	18-02-2016	CN 106575104 A	19-04-2017
		US 2016048119 A1	18-02-2016
		WO 2016025710 A1	18-02-2016

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G05B19/41 G05B13/04
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 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, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	RAMACHANDRAN P ET AL: "Intersample output estimation with multirate sampling", CONTROL APPLICATIONS, 1996., PROCEEDINGS OF THE 1996 IEEE INTERNATIONAL L CONFERENCE ON DEARBORN, MI, USA 15-18 SEPT. 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 15. September 1996 (1996-09-15), Seiten 576-581, XP010199454, DOI: 10.1109/CCA.1996.558924 ISBN: 978-0-7803-2975-1 Seite 576 - Seite 581 ----- -/--	1-22



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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

4. Mai 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/05/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Marinica, Raluca

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2016/048119 A1 (WOJSZNIS WILHELM K [US] ET AL) 18. Februar 2016 (2016-02-18) Absatz [0018] - Absatz [0020] Absatz [0034] Absatz [0038] - Absatz [0039] Absatz [0041] - Absatz [0045] Absatz [0056] - Absatz [0078] Abbildungen 5,11 -----	1-22
A	THOMAS KAUTZ ET AL: "A Robust Kalman Framework with Resampling and Optimal Smoothing", SENSORS, Bd. 15, Nr. 3, 27. Februar 2015 (2015-02-27), Seiten 4975-4995, XP055369132, DOI: 10.3390/s150304975 Seite 4979 - Seite 4981 -----	6,15
A	NGUYEN BINH MINH ET AL: "Dual rate Kalman filter considering delayed measurement and its application in visual servo", 2014 IEEE 13TH INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCED MOTION CONTROL (AMC), IEEE, 14. März 2014 (2014-03-14), Seiten 494-499, XP032599307, DOI: 10.1109/AMC.2014.6823331 [gefunden am 2014-05-29] Seite 494 - Seite 499 -----	7,16

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/053208

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2016048119	A1	18-02-2016	CN	106575104 A	19-04-2017
			US	2016048119 A1	18-02-2016
			WO	2016025710 A1	18-02-2016
