(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
24. Oktober 2002 (24.10.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/084883 A2

(51) Internationale Patentklassifikation[7]: H03M 1/10

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE02/01246

(22) Internationales Anmeldedatum:
5. April 2002 (05.04.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 18 000.4 10. April 2001 (10.04.2001) DE
102 12 461.2 20. März 2002 (20.03.2002) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Königsbacher Strasse 15, 94496 Ortenburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **HRUBES, Franz** [DE/DE]; Karpfham-Bhf. 16, 94094 Rotthalmünster (DE). **WISSPEINTNER, Karl** [DE/DE]; Passauer Strasse 55, 94496 Ortenburg (DE).

(74) Anwalt: **ULLRICH & NAUMANN**; Luisenstrasse 14, 69115 Heidelberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(national)*: JP, US.

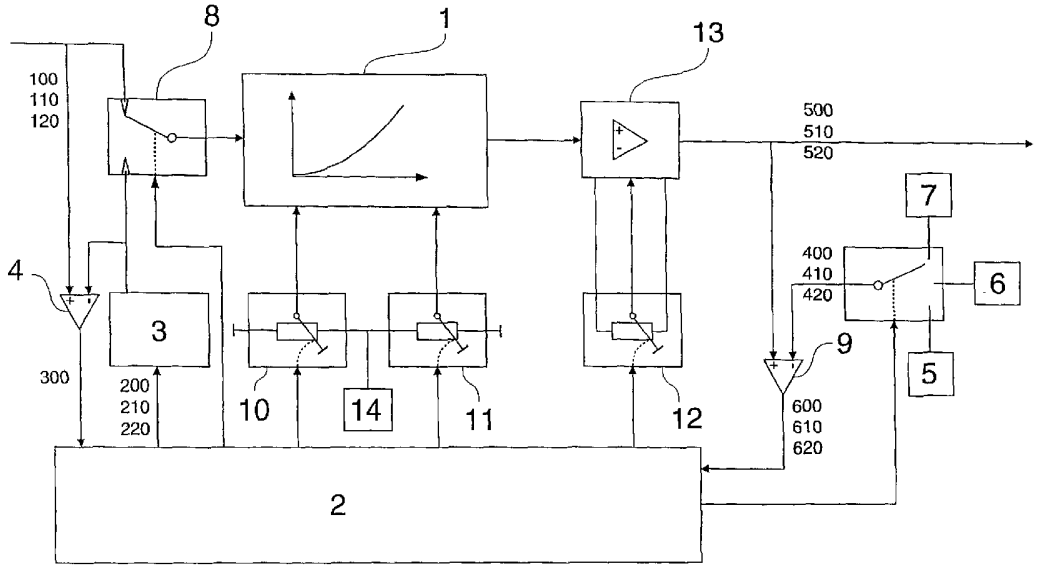
(84) Bestimmungsstaaten *(regional)*: europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:
— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND CIRCUIT FOR LINEARISING NON-LINEAR CURVES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND SCHALTUNG ZUR LINEARISIERUNG VON NICHTLINEAREN KENNLINIEN



(57) Abstract: A method for linearising non-linear curves with a linearisation circuit (1), said curves representing the relationship between input signals and output signals of a component, in particular a sensor, with an output signal (100, 110, 120) for each input signal. Said linearisation is embodied with regard to a simple and economic linearisation, such that the linearisation circuit (1) is essentially automatically operated, by means of a run-off control. The invention further relates to a corresponding circuit for use with said method.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/084883 A2

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.

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien mit einer Linearisierungsschaltung (1), wobei die Kennlinie die Beziehung zwischen Eingangssignalen und Ausgangssignalen eines Bauteils, insbesondere eines Sensors, darstellt und wobei ein Ausgangssignal (100, 110, 120) jeweils einem Eingangssignal zugeordnet ist, ist im Hinblick auf eine einfache und kostengünstige Linearisierung derart ausgestaltet, dass das Einstellen der Linearisierungsschaltung (1) im Wesentlichen automatisiert mittels einer Ablaufsteuerung (2) erfolgt. Des Weiteren ist eine entsprechende Schaltung zur Verwendung mit dem Verfahren angegeben.

"Verfahren und Schaltung zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien"

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien mit einer Linearisierungsschaltung, wobei die Kennlinie die Beziehung zwischen Eingangssignalen und Ausgangssignalen eines Bauteils, insbesondere eines Sensors, darstellt und wobei ein Ausgangssignal jeweils einem Eingangssignal zugeordnet ist,.

Verfahren und Schaltungen zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien sind in der Praxis seit langem bekannt, da Bauteile häufig keinen linearen Zusammenhang zwischen dem Eingangssignal und dem Ausgangssignal liefern. Dies gilt insbesondere für Sensoren, bei denen im Allgemeinen zwischen der zu messenden physikalischen Größe, d.h. dem Eingangssignal des Sensors, und der Änderung des elektrischen Signals, das der für die Messung verwendete Sensor als Ausgangssignal liefert, ein nichtlinearer Zusammenhang besteht. In den meisten Fällen ergeben sich über dem Messwert nichtlineare stetig steigende oder stetig fallende Signale, in der Regel Spannungen und/oder Ströme.

Mit den Möglichkeiten heutiger A/D-Wandler – Analog-Digital-Wandler – und D/A-Wandler – Digital-Analog-Wandler – und bei der Verwendung von Mikroprozessoren ist eine verhältnismäßig einfache rechnerische Linearisierung von Kennlinien dann möglich, wenn die Kennlinienform genau bekannt ist. Alternativ hierzu ist es auch möglich, mit wenigen Referenzwerten und einer gegebenen Grundformel eine rechnerische Linearisierung von Kennlinien mittel eines Mikroprozessors durchzuführen.

Diese Verfahren sind jedoch dahingehend problematisch, dass es merkliche Einschränkungen im Hinblick auf die Auflösung und die Geschwindigkeit der Linearisierung gibt. Ist die Kennlinie nämlich stark gekrümmt, so ist eine entsprechend hohe Auflösung des A/D-Wandlers erforderlich. Derartige Präzisions-A/D-Wandler mit einer Auflösung von mehr als 16 Bit sind verhältnismäßig teuer. Ferner steigt der Preis solcher Präzisions-A/D-Wandler stark mit der Verarbei-

tungsgeschwindigkeit des A/D-Wandlers. Soll nun ein Signal mit einer Auflösung von 17 oder mehr Bit bei gleichzeitig hoher Signalfrequenz, d. h. bis über 200 kHz, verarbeitet werden, so ist dies mit den zur Zeit erhältlichen A/D-Wandlern bei extrem hohen Kosten oder zum Teil sogar gar nicht möglich.

Alternativ werden Kennlinien auch seit langem mit analogen Linearisierungsschaltungen linearisiert, da mit analogen Bauteilen eine hohe Auflösung und Genauigkeit bei gleichzeitig hoher Verarbeitungsgeschwindigkeit realisierbar ist. Dieses Verfahren ist jedoch dahingehend problematisch, dass der Abgleich der Linearisierungsschaltung eine genaue Einstellung der Arbeitspunkte der Linearisierungsschaltung erfordert, was nur durch einen manuellen iterativen Abgleich, d. h. durch vielfach wiederholtes Eingeben verschiedener über den Messbereich verteilter Eingangssignale mit jeweils verbundenen Einstellungen von Potentiometern für den Nullpunkt, die Verstärkung und geringster Linearitätsabweichung der linearisierten Kennlinie, möglich ist. Dieser Vorgang kann besonders bei ungeübten und unerfahrenen Bedienern sehr lange dauern und bei Fehlbedienung sogar scheitern. Zudem ist es nur sehr schwer oder teilweise sogar gar nicht möglich, bei jedem Abgleichsschritt immer wieder exakt die selben physikalischen Eingangssignale einzustellen, beispielsweise den Abstand eines Sensors zu einem Messobjekt, wodurch sich der Abgleichsaufwand entsprechend stark vergrößert.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Schaltung zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien der eingangs genannten Art anzugeben, wonach eine einfache und kostengünstige Linearisierung ermöglicht ist.

Erfindungsgemäß wird die voranstehende Aufgabe durch ein Verfahren und eine Schaltung zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien mit den Merkmale des Patentanspruches 1 bzw. des Patentanspruchs 42 gelöst. Danach ist das in Rede stehende Verfahren und ist die in Rede stehende Schaltung derart ausgestaltet und weitergebildet, dass das Einstellen der Linearisierungsschaltung im Wesentlichen automatisiert mittels einer Ablaufsteuerung erfolgt.

In erfindungsgemäßer Weise ist erkannt worden, dass das Einstellen der Linearisierungsschaltung in einer im Wesentlichen automatisierten Weise mittels einer Ablaufssteuerung eine besonders gute Auflösung bei hoher Genauigkeit und hoher Bearbeitungsgeschwindigkeit erreicht, wie dies bei einer analogen Linearisierungsschaltung möglich ist. Hohe Kosten, wie diese für sehr präzise A/D- oder D/A-Wandler anfallen, fallen in erfindungsgemäßer Weise nicht an. Zudem ermöglicht die Ablaufsteuerung einen im Wesentlichen automatisierten Abgleich der Kennlinie, wobei der Abgleich nunmehr nicht von dem Geschick des Bedieners abhängt und deshalb nicht mehr derart zeitaufwendig ist bzw. nicht mehr scheitern kann. Das erfindungsgemäße Verfahren vereinigt daher die Vorteile der bekannten Verfahren und dass ohne ihre Nachteile aufzuweisen.

In besonders vorteilhafter Weise könnte mindestens ein Ausgangssignal – Ist-Eingangswert – mittels der Ablaufsteuerung erfaßt und/oder gespeichert werden. Der Ist-Eingangswert entspricht demnach dem Ausgangssignal des Bauelements. Dies wäre insbesondere dahingehend vorteilhaft, dass die das Ausgangssignal erzeugenden Eingangssignale, z. B. bei einem Wegsensor der kleinste Messabstand, der mittlere Messabstand oder maximale Messabstand, nur jeweils einmal eingestellt werden müßten, wodurch beim Abgleich der Linearisierungsschaltung kein weiterer Aufwand zur exakten Wiedereinstellung der Eingangssignale bzw. der Messabstände anfällt.

Alternativ hierzu könnte mindestens ein Soll-Eingangswert, vorzugsweise über eine Eingabeeinheit, in die Ablaufsteuerung eingegeben werden. Bei der Eingabeeinheit könnte es sich hierbei beispielsweise um eine Tastatur oder ähnliches handeln. Dies wäre von besonderem Vorteil, wenn das Eingangssignal des Bauteils, beispielsweise der kleinste, der mittlere oder der maximale Messabstand, sowie das Ausgangssignal des Bauteils bzw. der Ist-Eingangswert bei diesen Messabständen bekannt ist. Der Soll-Eingangswert würde dann gleich dem Ausgangssignal gewählt werden. Der Soll-Eingangswert könnte allerdings auch von der Ablaufsteuerung generiert werden, beispielsweise unter Berücksichtigung des jeweiligen Ausgangssignals des Bauteils.

Der Soll-Eingangswert könnte besonders vorteilhafter Weise analogisiert werden, um mit dem Ist-Eingangswert verglichen zu werden und sodann an den Ist-Eingangswert angeglichen werden zu können. Hinsichtlich einer besonders einfachen Ausgestaltung könnte der Soll-Eingangswert dabei mittels eines D/A-Wandlers analogisiert werden. Bei dem D/A-Wandler könnte es sich hierbei um einen hochauflösenden D/A-Wandler handeln, der allerdings nicht besonders stabil sein muss und langsam sein darf. Alternativ könnte der Soll-Eingangswert mittels mindestens einer einstellbaren Signalquelle analogisiert werden. Dies wäre eine besonders kostengünstige Alternative, da kein teuer D/A-Wandler zur Analogisierung benötigt wird.

Im Rahmen einer besonders einfachen Ausgestaltung könnte die Signalquelle durch mindestens eine Referenzspannung und/oder mindestens einen vorzugsweise digital ansteuerbaren Potentiometer gebildet werden. Das Potentiometer könnte in besonders vorteilhafter Weise vorzugsweise mittels der Ablaufsteuerung in äquidistanten Stufen eingestellt werden.

In weiter vorteilhafter Weise könnte der Soll-Eingangswert mittels drei vorzugsweise digital ansteuerbaren Potentiometer eingestellt werden. Die Ausgangssignale der Potentiometer könnten dann mittels eines Summierers addiert werden. Hierbei könnte mittels eines der Potentiometer zunächst ein Grobabgleich, mittels des zweiten Potentiometers ein Feinabgleich und schließlich mittels des dritten Potentiometers ein Feinstabgleich erfolgen. Dabei könnte der Einstellbereich des Potentiometers für den Feinabgleich einer Stufe des Potentiometers für den Grobabgleich und der Einstellbereich des Potentiometers für den Feinstabgleich einer Stufe des Potentiometers für den Feinabgleich entsprechen.

Bei der Verwendung von digital ansteuerbaren Potentiometern mit beispielsweise 64 wählbaren äquidistanten Stufen, d. h. mit 6 Bit, könnte der Potentiometer für den Grobabgleich eine Spannung von beispielsweise 0 bis 10 Volt in 64 Stufen á 156,25 mV liefern. Der Potentiometer für den Feinabgleich könnte dann eine Spannung von 0 bis 157 mV in 64 Stufen á 2,45 mV liefern und der Potentiometer für den Feinstabgleich könnte eine Spannung von 0 bis 2,45 mV in 64 Stufen

liefern. Damit würde sich die feinste Auflösung zu 0,0383 mV ergeben. Dies würde auf den 10 Voltbereich bezogen einer Auflösung von ca. 1 : 260.000 und damit 18 Bit entsprechen. Die Ausgangssignale der digitalen Potentiometer könnten mittels des Summierers addiert werden und somit den Soll-Eingangswert ergeben. Der abzuspeichernde Digitalwert des Soll-Eingangswerts würde sich dann aus den einzelnen Einstellungen der digitalen Potentiometer ergeben, die 3 x 6 Bit entsprechen. Ferner könnten auf diese Weise durch weitere digitale Potentiometer oder durch digitale Potentiometer mit mehr Stufen eine noch höhere Auflösung erreicht werden, es könnte beispielsweise bei 1024 und 256 Stufen ein Potentiometer eingespart werden.

Die beschriebene besonders vorteilhafte Ausgestaltung einer treppenförmigen Signaleinstellung des Soll-Eingangswerts mit exakt gleich großen Stufen ist jedoch dahingehend problematisch, da die Bauteiltoleranzen häufig zu groß sind. Daher müssen gewisse Überschneidungen der Teilbereiche realisiert werden, damit immer gewährleistet ist, dass beim Abgleich auch tatsächlich immer eine ganze Stufe abgedeckt ist. Da bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kein exakter Messwert benötigt wird, sondern nur eine Vergleichsspannung – Soll-Eingangswert, die im Wesentlichen gleich dem Ist-Eingangswert ist, spielen solche Toleranzen, die lediglich Linearitäts- und Genauigkeitsfehlern entsprechen, keine Rolle, solange die erforderliche Auflösung gegeben ist.

Hinsichtlich eines besonders einfachen Abgleichs könnten die Einstellungen der Potentiometer, insbesondere in Verbindung mit dem zugehörigen Soll-Eingangswert und/oder einem Soll-Ausgangswert gespeichert werden. Auch wäre es möglich die Einstellungen in Verbindung mit dem Ist-Eingangswert zu speichern, so dass ein Abruf der Einstellungen in Verbindung mit den verschiedenen Werten möglich ist.

Im Hinblick auf einen besonders genauen und einfachen Abgleich könnten die Ist-Eingangswerte und/oder die Soll-Eingangswerte an ein vergleichendes Bauelement, vorzugsweise einen Komparator, angelegt werden. Der Soll-Eingangs-

wert könnte sodann mittels des vergleichenden Bauelements mit dem Ist-Eingangswert verglichen werden.

Hinsichtlich einer besonders einfachen Ausgestaltung könnte die Ablaufsteuerung solange den Soll-Eingangswert, insbesondere iterativ, abgleichen, bis eine vorgegebene Abweichung zwischen dem Ist-Eingangswert und dem Soll-Eingangswert unterschritten wird. Somit wäre mittels dieses Verfahrens sowohl eine D/A-Wandlung als auch eine A/D-Wandlung von Signalen, d.h. von dem Ausgangssignal des Bauteils bzw. des Sensors, auf besonders kostengünstige Art und Weise möglich, da durch Aufruf der abgespeicherten Einstellwerte am Ausgang des D/A-Wandlers bzw. Summierers wieder dasselbe Signal anliegt, das dem jeweiligen Ausgangssignal des Bauteils entspricht. Prinzipiell könnten somit beliebig viele Ausgangssignale – Spannungen oder Ströme – gespeichert und wieder aufgerufen werden, ohne dass das Bauteil selbst wieder auf den gleichen Wert – z. B. den gleichen Messabstand – eingestellt werden muß. Hierdurch wäre es innerhalb eines gewissen Bereichs möglich, ein digitales in ein analoges sowie ein analoges in ein digitales Signal umzuwandeln. In besonders vorteilhafter Weise wären zur Linearisierung hierbei nur drei abgespeicherte Ausgangssignale bzw. Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaare nötig.

Die Soll-Eingangswerte könnten in besonders vorteilhafter Weise als Anfangspunkt und/oder als Mittelpunkt und/oder als Endpunkt der linearisierten Kennlinie gewählt werden. Dies könnte dann beispielsweise dem kleinsten bzw. dem mittleren oder maximalen Messabstand des Sensors zu einem Messobjekt entsprechen. Alternativ hierzu könnten die Soll-Eingangswerte aus einem Teilbereich von Eingangssignalen der nichtlinearen Kennlinie gewählt werden. Dies wäre insbesondere dann von Vorteil, wenn nur Teilbereiche der Kennlinie linearisiert werden sollen, da nur die Messungen in diesem Bereich von Interesse sind.

Die von der Ablaufsteuerung ausgegebenen Soll-Eingangswerte, könnten, vorzugsweise über einen Schalter, an den Eingang der Linearisierungsschaltung angelegt werden. Bei dem Schalter könnte sich um einen mittels der Ablaufsteuerung steuerbaren Schalter handeln, der wechselweise den von der Ablauf-

steuerung ausgegeben Soll-Eingangswert oder das Ausgangssignal des Bauteils an die Linearisierungsschaltung anlegt. Das Ausgangssignal des Bauteils entspricht demnach auch dem Ist-Eingangswert der Linearisierungsschaltung.

Im Hinblick auf eine wiederum sehr einfache Ausgestaltung könnte mindestens ein zum Ist-Eingangswert zugehöriger Soll-Ausgangswert mittels der Ablaufsteuerung erfasst und/oder gespeichert werden. Der Soll-Ausgangswert könnte hierbei in den Arbeitspunkten, die gleichzeitig die Stützpunkte der linearisierten Kennlinie sind – d.h. für die Wertepaare in denen die nichtlineare Kennlinie gleich der linearisierten Kennlinie ist –, dem Ausgangssignal des Bauteils entsprechen. Das Erfassen und/oder das Speichern des Soll-Ausgangswerts könnte hierbei im Wesentlichen gleichzeitig mit dem Erfassen bzw. Speichern des zugehörigen Ist-Eingangswert erfolgen.

In Rahmen einer abermals besonders einfachen Ausgestaltung könnte ein Soll-Ausgangswert mittels Referenzsignalquellen eingestellt werden. Diese Referenzsignalquellen könnten hierbei die Soll-Ausgangswerte liefern, wenn diese exakt bekannt sind. Dies könnten beispielsweise der Messbereichsanfang, die Messbereichsmitte sowie das Messbereichsende, beispielsweise 0 Volt, 5 Volt bzw. 10 Volt, sein. Die einzelnen Soll-Ausgangswerte könnten dann mittels eines von der Ablaufsteuerung steuerbaren Schalters entsprechend dem anliegenden Soll-Eingangswerts aufgeschaltet werden. Alternativ hierzu könnten die Referenzsignalquellen einstellbar sein, wenn der Messbereichsanfang, die Messbereichsmitte und das Messbereichsende nicht exakt, sondern annähernd eingestellt werden können, jedoch die tatsächlichen Werte bekannt sind und somit auch die entsprechenden Soll-Ausgangswerte feststehen. Ein zum Ist-Eingangswert zugehöriger Soll-Ausgangswert könnte z.B. über eine Eingabeeinheit in die Ablaufsteuerung eingegeben werden. Dies wäre dann von besonderem Vorteil, wenn der Soll-Ausgangswert bekannt ist.

Im Hinblick auf eine abermals sehr einfache Ausgestaltung könnten die Soll-Eingangswerte mittels eines D/A-Wandlers analogisiert werden. Der D/A-Wandler könnte hierbei eine geringe Auflösung und Genauigkeit aufweisen, bei-

spielsweise 13 bis 14 Bit, weshalb der D/A-Wandler keine hohen Kosten verursachen würde.

Im Hinblick auf eine besonders gute Linearisierung könnten mittels eines vergleichenden Bauelements, insbesondere eines Komparators, die auf die Soll-Eingangswerte von der Linearisierungsschaltung ausgegebenen Ist-Ausgangswerte mit den Soll-Ausgangswerten verglichen werden. Das Ausgangssignal des vergleichenden Bauelements könnte dann durch die Ablaufsteuerung ausgewertet werden. Mittels der Ablaufsteuerung könnte sodann mindestens ein Abgleichsmittel eingestellt werden. Die Abgleichsmittel dienen hierbei zum Abgleichen der Linearisierungsschaltung, d.h. zum Einstellen der linearisierten Kennlinie.

Im Rahmen einer besonders einfachen Linearisierung könnte mindestens ein Abgleichsmittel zum Abgleich des Nullpunkts und/oder mindestens ein Abgleichsmittel zum Abgleich der Linearität und/oder mindestens ein Abgleichsmittel zum Abgleich der Steigung der linearisierten Kennlinie dienen. Hinsichtlich eines besonders einfachen Abgleichs der Linearisierungsschaltung könnte die Ablaufsteuerung die Abgleichsmittel mit Digitalimpulsen ansteuern.

Zum Abgleich der Linearisierungsschaltung könnte nunmehr die Ablaufsteuerung mittels der Abgleichsmittel für jedes Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaar einen Abgleich der Linearisierungsschaltung solange durchführen, bis eine vorgegebene Abweichung zwischen dem Ist-Ausgangswert und dem Soll-Ausgangswert unterschritten wird.

In besonders vorteilhafter Weise könnte zunächst für ein erstes Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaar das Abgleichsmittel zur Einstellung des Nullpunkts der linearisierten Kennlinie derart eingestellt werden, dass der Ist-Ausgangswert im Wesentlichen gleich dem Soll-Ausgangswert ist.

Ferner könnte sodann ein weiterer von der Ablaufsteuerung ausgegebener Soll-Eingangswert an die Linearisierungsschaltung angelegt werden. Im Wesentli-

chen gleichzeitig könnte der zugehörige von der Ablaufsteuerung ausgegebene Soll-Ausgangswert an das vergleichende Bauelement angelegt werden.

Nunmehr könnte wiederum der Ist-Ausgangswert der Linearisierungsschaltung des weiteren Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaars an das vergleichende Bauelement angelegt werden. Das Ausgangssignal des vergleichenden Bauelements könnte wiederum durch die Ablaufsteuerung ausgewertet werden.

Nunmehr könnte aufgrund der Auswertung des Ausgangssignals des vergleichenden Bauelements das Abgleichsmittel zur Einstellung der Steigung der linearisierten Kennlinie derart eingestellt werden, dass der Ist-Ausgangswert im Wesentlichen gleich dem Soll-Ausgangswert ist.

Zum weiteren Abgleich der Linearisierungsschaltung könnte nun ein weiterer von der Ablaufsteuerung ausgegebener Soll-Eingangswert an die Linearisierungsschaltung angelegt werden. Im Wesentlichen gleichzeitig könnte der zugehörige von der Ablaufsteuerung ausgegebene Soll-Ausgangswert an das vergleichende Bauelement angelegt werden. Zum Abgleich könnte dann der Ist-Ausgangswert des weiteren Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaars an das vergleichende Bauelement angelegt werden.

Das Ausgangssignal des vergleichenden Bauelements könnte wiederum in besonders vorteilhafter Weise durch die Ablaufsteuerung ausgewertet werden. Nach dieser Auswertung könnte das Abgleichsmittel zur Einstellung der Linearität der Kennlinie derart eingestellt werden, dass der Ist-Ausgangswert im Wesentlichen gleich dem Soll-Ausgangswert ist. Dies würde aufgrund der Auswertung des Ausgangssignals des vergleichenden Bauelements durch die Ablaufsteuerung und mittels der Ablaufsteuerung erfolgen. Ein erster Abgleich der Linearisierungsschaltung wäre somit erfolgt. Alternativ hierzu könnte aber auch der Abgleich derart erfolgen, dass ein Abgleich aller Abgleichsmittel zunächst für das erste Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaar erfolgt und dann ein Abgleich aller Abgleichsmittel für die weiteren Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaare erfolgt.

Hinsichtlich einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung könnte nunmehr zum vollständigen Abgleich der Linearisierungsschaltung der Abgleich der Abgleichsmittel für die Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaare solange wiederholt werden, bis für alle Soll-Ausgangswerte eine vorgegebene Abweichung zwischen dem Ist-Ausgangswert und dem Soll-Ausgangswert unterschritten wird.

Im Rahmen einer besonders universellen Ausgestaltung könnten in der Ablaufsteuerung unterschiedliche linearisierte Kennlinien gespeichert werden. Diese unterschiedlichen Kennlinien könnten dabei mittels des obig beschriebenen Verfahrens linearisiert worden sein. Zusätzlich oder alternativ hierzu könnten die linearisierten Kennlinien aber auch über die Eingabeeinheit in die Ablaufsteuerung eingegeben und dann gespeichert worden sein. Hierdurch könnte für bestimmte Anwendungen eine bereits linearisierte Kennlinien wieder abgerufen werden, beispielsweise bei einer Abstandsmessung gegen unterschiedliche Materialien, die jeweils eine andere Kennlinienform des Ausgangssignals des Bauteils mit sich bringt und die damit einen anderen Abgleich der Linearisierungsschaltung erfordert. Eine neue Einstellung von bekannten Abstandswerten wäre dabei nicht mehr erforderlich, da die entsprechenden Ausgangssignale des Bauelements bereits bekannt wären.

Hinsichtlich einer abermals einfachen Ausgestaltung könnte nach der Linearisierung der Kennlinie das Ausgangssignal des Bauteils mittels des Schalters als Eingangswert an die Linearisierungsschaltung angelegt werden.

Zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens könnte eine Schaltung zur Linearisierung gemäß Patentanspruch 42 verwendet werden. Bei der Schaltung ist besonders vorteilhaft, dass eine einfache Eingabe von Soll-Eingangswerten und den zugehörigen Soll-Ausgangswerten in die Ablaufsteuerung ermöglicht ist.

Im Hinblick auf eine besonders kostengünstige Ausgestaltung könnte die Linearisierungsschaltung als Analogschaltung ausgeführt sein. Die Verwendung von analogen Bauelementen ist gegenüber digitalen Bauelementen bei gleich guter

Auflösung und Genauigkeit sowie gleicher hoher Verarbeitungsgeschwindigkeit sehr viel kostengünstiger.

Im Rahmen einer besonders einfachen Ausgestaltung könnte die Ablaufsteuerung einen Mikroprozessor und/oder einen Speicher und/oder eine Eingabeeinheit und/oder Ausgabeeinheit umfassen. Dabei könnte es in besonders vorteilhafter Weise sich um einen handelsüblichen Computer handeln. Als Eingabeeinheit könnte eine Tastatur, eine Maus oder dergleichen dienen, aber auch ein Touch-Screen. Die Ausgabeeinheit könnte in besonders einfacher Weise ein Display oder Monitor oder dergleichen sein.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung könnte der Speicher als nichtflüchtiger Speicher ausgestaltet sein. Durch die Verwendung eines nichtflüchtigen Speichers könnten sämtliche Einstellungen sowie die verschiedenen zur Linearisierung verwendeten Eingangs- bzw. Ausgangswerte auch beim Ausschalten oder Ausfallen der Betriebsspannung beibehalten werden. Dies würde die Schaltung besonders robust und sehr universell einsetzbar machen.

Hinsichtlich einer besonders einfachen Ausgestaltung könnte eine Analogisierung von einem von der Ablaufsteuerung ausgegebenen Soll-Eingangswert mittels eines D/A-Wandlers erfolgen. Dieser D/A-Wandler könnte hierbei hochauflösend, müsste aber nicht besonders stabil sein. Auch sind keine besonderen Erfordernisse an die Schnelligkeit der Verarbeitungsgeschwindigkeit des D/A-Wandlers zu stellen. Der D/A-Wandler ermöglicht die Ermittlung der Soll-Eingangswerte in einem iterativen Vergleich, nämlich dahingehend, dass der Soll-Eingangswert solange durch die Ablaufsteuerung dem Ist-Eingangswert angenähert wird, bis keine Verbesserung mehr möglich ist, d. h. alle möglichen und erforderlichen Bits gesetzt sind. Der entsprechende Digitalwert wird dann in dem Speicher abgelegt und kann bei Aufruf die entsprechende Analogspannung wieder ausgeben werden.

Im Rahmen einer besonders kostengünstigen Ausgestaltung könnte eine Analogisierung von einem von der Ablaufsteuerung ausgegebenen Soll-Eingangswert

mittels mindestens einer einstellbaren Signalquelle erfolgen. Hierdurch könnte der hochauflösende und damit teuere D/A-Wandler durch preisgünstigerer Bauelemente gesetzt werden.

In einer besonders einfachen Ausgestaltung könnten die einstellbaren Signalquellen mindestens eine Referenzsignalquelle und/oder mindestens ein vorzugsweise digital ansteuerbares Potentiometer umfassen. Hierdurch wäre wiederum wie obig beschrieben eine A/D-Wandlung des Ausgangssignals des Bauteils ermöglicht. Dies wäre nämlich dadurch möglich, dass das Ausgangssignal, das dem Ist-Eingangswert und dem Eingangswert der Linearisierungsschaltung entspricht, am Eingang eines vergleichenden Bauelements, beispielsweise eines Komparators, anliegt. Am anderen Eingang des vergleichenden Bauelements würde dann das Ausgangssignal der einstellbaren Signalquelle anliegen, das dem Soll-Eingangswert entspricht. Sind mehr als ein digital ansteuerbares Potentiometer vorgesehen, so könnten die Ausgangsspannungen der Potentiometer mittels eines Summierers addiert werden. Das Ausgangssignal dieses Summierers entspricht dann dem Soll-Eingangswert und würde am anderen Eingang des Komparators angelegen werden. Die Auswertung des Ausgangssignals des vergleichenden Bauelements würde einen Abgleich der Summenspannung durch Einstellung der Potentiometer mittels der Ablaufsteuerung ermöglichen. Der dem Ist-Eingangswert entsprechende Digitalwert könnte im Speicher abgelegt und bei Bedarf könnte die entsprechende Analogspannung wieder ausgegeben werden. Eine A/D-Wandlung des analog vorliegenden Ist-Eingangswerts wäre somit ermöglicht.

Hinsichtlich einer besonders einfachen Linearisierung könnten zum Abgleich der Linearisierungsschaltung Abgleichsmittel angeordnet sein. Die Ansteuerung der Abgleichsmittel könnte im besonders einfacher Weise mittels der Ablaufsteuerung erfolgen.

Im Rahmen einer abermals besonders kostengünstigen Ausgestaltung könnten die Abgleichsmittel mindestens ein insbesondere digital ansteuerbares Potentiometer umfassen. Die Abgleichsmittel könnten in besonders vorteilhafter Weise

mindestens ein digital ansteuerbares Potentiometer zum Abgleich des Nullpunkts und/oder mindestens ein digital ansteuerbares Potentiometer zum Abgleich der Linearität und/oder mindestens ein digital ansteuerbares Potentiometer und/oder einen Verstärker zum Abgleich der Steigung der linearisierten Kennlinie umfassen.

Zum Abgleich eines von der Ablaufsteuerung ausgegebenen Soll-Ausgangswerts mit dem Ist-Ausgangswert der Linearisierungsschaltung könnte eine Analogisierung des Soll-Ausgangswerts mittels eines D/A-Wandlers erfolgen. Alternativ hierzu könnte zum Abgleich eines Soll-Ausgangswerts mit dem Ist-Ausgangswert der Linearisierungsschaltung die Einstellung des Soll-Ausgangswerts allerdings auch mittels fixer Referenzsignalquellen erfolgen. Insbesondere könnten drei fixe Referenzsignalquellen vorgesehen sein, die über einen mittels der Ablaufsteuerung ansteuerbaren Schalter wahlweise ausgegeben werden können.

Im Rahmen einer besonders einfachen Linearisierung könnte der Abgleich des von der Ablaufsteuerung ausgegebenen Soll-Ausgangswerts mit dem Ist-Ausgangswert der Linearisierungsschaltung mittels eines vergleichenden Bauteils, vorzugsweise eines Komparators, erfolgen. Das Ausgangssignal des Komparators könnte dann durch die Ablaufsteuerung ausgewertet werden und aufgrund des Ausgangssignals könnten die digitalen Potentiometer gemäß dem obig beschriebenen Verfahren zum Abgleich der Linearisierungsschaltung eingestellt werden.

In besonders vorteilhafter Weise könnte ein Schalter, insbesondere ein Wechsler oder ein Multiplexer oder dergleichen, zum wahlweise anlegen der von der Ablaufsteuerung ausgegebenen Soll-Ausgangswerte und des vom Bauteil ausgegebenen Ausgangssignals angeordnet sein. Das vom Bauteil ausgegebene Ausgangssignal entspricht hierbei dem Ist-Eingangswert.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 und dem nebengeordneten Patentanspruch 42 nachge-

ordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung bevorzugter Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Verfahrens und einer erfindungsgemäßen Schaltung zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Schaltung anhand der Zeichnung werden auch im Allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 in einer schematischen Darstellung, ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaltung zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien zur Verwendung mit einem erfindungsgemäßen Verfahren,

Fig. 2 in einer schematischen Darstellung, ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaltung zur Verwendung mit einem erfindungsgemäßen Verfahren und

Fig. 3 in einer schematischen Darstellung, ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Teils einer erfindungsgemäßen Schaltung zur Verwendung mit einem erfindungsgemäßen Verfahren.

In Fig.1 ist eine Schaltung bzw. Schaltungsanordnung zur Verwendung mit einem Verfahren zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien mit einer Linearisierungsschaltung 1 gezeigt, wobei die Kennlinie die Beziehung zwischen einem Eingangssignal und einem Ausgangssignal eines – hier nicht dargestellten – Bauteils darstellt, das als Sensor ausgestaltet ist. In diesem Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem Sensor um einen Wegmesssensor, der als Ausgangssignal eine elektrische Spannung liefert, die abhängig von einem physikalischen gemessenen Abstand ist.

Das Einstellen der Linearisierungsschaltung 1 erfolgt in erfindungsgemäßer Weise mittels einer Ablaufsteuerung 2. Die Ablaufsteuerung 2 erfaßt drei Ausgangssignale, die dem Ist-Eingangswert der Linearisierungsschaltung 100, 110 und

120 entsprechen. Das Ausgangssignal bzw. der Ist-Eingangswert 100 entspricht dabei dem kleinsten Messabstand, wenn der Sensor dem Messobjekt am nächsten ist, der Ist-Eingangswert 110 entspricht dem mittleren Messabstand und der Ist-Eingangswert 120 entspricht einem maximalen Messabstand. Mittels der Ablaufsteuerung 2 sowie eines D/A-Wandlers 3 wird ein Soll-Eingangswert 200 von der Ablaufsteuerung 2 vorgegeben und analogisiert. Dies dient zur Digitalisierung der Ist-Eingangswerte 100, 110, 120 in derart, dass die entsprechenden Soll-Eingangswerte 200, 210, 220 ebenso wie die Ist-Eingangswerte 100, 110, 120 an ein vergleichendes Bauelement, das in diesem Ausführungsbeispiel als Komparator 4 ausgestaltet ist, angelegt wird und das Ausgangssignal 300 des Komparators 4 von der Ablaufsteuerung 2 dazu verwendet wird, die Soll-Eingangswerte 200, 210, 220 solange iterativ abzugleichen, bis eine vorgegebene Abweichung zwischen den Ist-Eingangswerten 100, 110, 120 und den Soll-Eingangswerten 200, 210, 220 unterschritten wird. Die Soll-Eingangswerte 200, 210, 220 entsprechen hierbei dem Anfangspunkt, dem Mittelpunkt und dem Endpunkt der linearisierten Kennlinie. Die den jeweiligen Ist-Eingangswerte 100, 110, 120 entsprechenden digitalen Werte werden in der Ablaufsteuerung 2 in einem Speicher abgelegt und bei Aufruf kann die entsprechende Analogspannung wieder ausgegeben werden. Somit ist eine besonders einfache A/D-Wandlung der Ist-Eingangswerte 100, 110, 120 und somit des Ausgangssignals des Sensors erreicht.

Zu den Ist-Eingangswerten 100, 110, 120 werden mittels der Ablaufsteuerung 2 Soll-Ausgangswerte 400, 410, 420 erfaßt und gespeichert. Diese Soll-Ausgangswerte 400, 410, 420 werden im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 mittels drei Referenzsignalquellen 5, 6, 7 eingestellt. Die Referenzsignalquellen 5, 6, 7 liefern hierbei drei feste Referenzspannungen, nämlich 0 Volt, 5 Volt sowie 10 Volt.

Zum Abgleich der Linearisierungsschaltung 1 werden nunmehr jeweils die von der Ablaufsteuerung ausgegebene Soll-Eingangswerte 200, 210, 220 mittels des D/A-Wandlers 3 analogisiert. Die von der Ablaufsteuerung ausgegebenen analogisierten Soll-Eingangswerte 200, 210, 220 werden über einen Schalter 8 an den Eingang der Linearisierungsschaltung 1 angelegt. Der Schalter 8 ist hierbei von

der Ablaufsteuerung 2 ansteuerbar. Die Linearisierungsschaltung 1 gibt daraufhin Ist-Ausgangswerte 500, 510, 520 aus.

Mittels eines vergleichenden Bauelements, dass in diesem Ausführungsbeispiel als Komparator 9 ausgestaltet ist, werden die auf die Soll-Eingangswerte 200, 210, 220 von der Linearisierungsschaltung 1 ausgegebenen Ist-Ausgangswerte 500, 510, 520 mit den Soll-Ausgangswerten 400, 410, 420 verglichen, wobei die Ausgangssignale 600, 610, 620 des Komparators 9 durch die Ablaufsteuerung 2 ausgewertet werden. Aufgrund der Abweichung zwischen den Ist-Ausgangswerten 500, 510, 520 und den Soll-Ausgangswerten 400, 410, 420 stellt die Ablaufsteuerung 2 nunmehr Abgleichsmittel 10, 11, 12, 13 ein, mit denen die Linearisierungsschaltung 1 abgeglichen wird.

In diesem speziellen Ausführungsbeispiel dient das Abgleichsmittel 10 zum Abgleich des Nullpunkts der linearisierten Kennlinie sowie das weitere Abgleichsmittel 11 zum Abgleich der Liniarität der linearisierten Kennlinie und die Abgleichsmittel 12, 13 zum Abgleich der Steigung der linearisierten Kennlinie. Bei den Abgleichsmitteln 10, 11, 12 handelt es sich in diesem Ausführungsbeispiel um digital ansteuerbare Potentiometer, die mittels der Ablaufsteuerung 2 angesteuert werden. Das Abgleichsmittel 12, 13 zum Abgleich der Steigung der Kennlinie umfaßt hierbei zusätzlich einen Verstärker 13.

Die Ablaufsteuerung 2 führt mittels der Abgleichsmittel 10, 11, 12, 13 für jedes Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaar 200, 400, 210, 410, 220, 420 einen Abgleich der Linearisierungsschaltung 1 solange durch, bis eine vorgegebene Abweichung zwischen den Ist-Ausgangswerten 500, 510, 520 und den Soll-Ausgangswerten 400, 410, 420 unterschritten wird. Zur Einstellung der Linearisierungsschaltung 1 mittels der Abgleichsmittel 10, 11, 12, 13 ist eine Referenzsignalquelle vorgesehen, die in diesem Ausführungsbeispiel als Spannungsquelle 14 ausgestaltet ist.

Im Konkreten wird nun der Soll-Eingangswert 200, der mittels des obig beschriebenen Verfahrens auf den Ist-Eingangswert 100 abgeglichen und durch den D/A-

Wandler 3 analogisiert wird, über den Schalter 8 an die Linearisierungsschaltung 1 angelegt. Im Wesentlichen gleichzeitig wird der entsprechende Soll-Ausgangswert 400 an den Komparator 9 angelegt. Das Ausgangssignal 600 des Komparators 9 wird nun mittels der Ablaufsteuerung 2 ausgewertet und das Potentiometer 10 mittels Digitalimpulsen von der Ablaufsteuerung 2 derart eingestellt, dass der Ist-Ausgangswert 500 im Wesentlichen gleich dem Soll-Ausgangswert 400 ist, also das Ausgangssignal 600 des Komparators 9 einen vorgegebenen Wert für eine zulässige Toleranz unterschreitet. Das Einstellen des Potentiometers 10 erfolgt hierbei iterativ.

Sobald das Ausgangssignal 600 des Komparators 9 einen vorgegebenen Wert, unterschreitet, wird ein weiterer von der Ablaufsteuerung 2 ausgegebener und durch den D/A-Wandler 3 analogisierter Soll-Eingangswert 210 an die Linearisierungsschaltung 1 angelegt. Der Soll-Eingangswert 210 ist wiederum mittels des obig beschriebenen Verfahrens auf den Ist-Eingangswert 110 abgeglichen und entspricht somit somit im Wesentlichen dem Ist-Eingangswert 110. Im Wesentlichen gleichzeitig wird der zugehörige von der Ablaufsteuerung 2 ausgegebene Soll-Ausgangswert 410 an den Komparator 9 angelegt. Zudem liegt der Ist-Ausgangswert 510 der Linearisierungsschaltung des weiteren Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaars 210, 410 am Komparator 9 an. Wiederum wird das Ausgangssignal 610 des Komparators 9 durch die Ablaufsteuerung 2 ausgewertet.

Aufgrund der Auswertung des Ausgangssignals 610 wird das Potentiometer 12 in Verbindung mit dem Verstärker 13 zur Einstellung der Steigung der linearisierten Kennlinie von der Ablaufsteuerung solange iterativ abgeglichen, dass der Ist-Ausgangswert 510 im Wesentlichen dem Soll-Ausgangswert 410 entspricht. Dies wird anhand des Ausgangssignals 610 des Komparators 9 durch die Ablaufsteuerung 2 erfaßt.

Nunmehr wird ein weiterer von der Ablaufsteuerung 2 ausgegebener und mittels des A/D-Wandlers 3 analogisierter Soll-Eingangswert 220 an die Linearisierungsschaltung 1 angelegt. Im Wesentlichen gleichzeitig wird der zugehörige von

der Ablaufsteuerung 2 ausgegebene Soll-Ausgangswert 420 an den Komparator 9 angelegt. Der zum weiteren Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaars 220, 420 gehörige Ist-Ausgangswert 520 wird ebenfalls an den Komparator 9 angelegt. Das Ausgangssignal 620 des Komparators 9 wird durch die Ablaufsteuerung 2 ausgewertet und dementsprechend das Potentiometer 11 zur Einstellung der Liniarität der Kennlinie derart und solange iterativ eingestellt, bis zulässige Toleranz unterschritten wird.

Die Einstellung der Potentiometer 10, 11, 12 sowie des Verstärkers 13 wird für alle Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaare 200, 400, 210, 410, 220, 420 solange wiederholt, bis für alle Soll-Ausgangswerte 400, 410, 420 eine vorgegebene Abweichung zwischen dem Ist-Ausgangswert 500, 510, 520 und dem Soll-Ausgangswert 400, 410, 420 unterschritten wird.

Dieser Vorgang zur Linearisierung wird nunmehr für verschiedene Messmaterialien wiederholt und die einzelnen unterschiedlichen linearisierten Kennlinien werden in der Ablaufsteuerung 2 gespeichert.

Zum Beginn der Messung wird nun nach der Linearisierung der Kennlinie das Ausgangssignal 100, 110, 120 des Sensors mittels des von der Ablaufsteuerung 2 gesteuerten Schalters 8 als Eingangswert an die Linearisierungsschaltung angelegt. Eine laufende Messung ist nunmehr möglich, wobei die Ausgangssignale des Sensors mittels der linearisierten Kennlinie linearisiert werden.

Fig. 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Verwendung mit dem erfindungsgemäßen Verfahren. In diesem speziellen Ausführungsbeispiel sind der Messbereichsanfang, die Messbereichsmitte und das Messbereichsende nicht exakt einstellbar, sondern können nur angenähert werden, es sind jedoch die tatsächlichen Werte bekannt und somit stehen auch die entsprechenden Soll-Ausgangswerte 400, 410, 420 fest. Diese Soll-Ausgangswerte 400, 410, 420 werden über eine Tastatur 15 in die Ablaufsteuerung 2 eingegeben, wobei die Soll-Ausgangswerte 400, 410, 420 mittels eines D/A-Wandlers 16 analogisiert werden. Der D/A-Wandler 16 weist eine geringe

Auflösung und Genauigkeit auf, nämlich ca. 13 bis 14 Bit. Der Abgleich der Linearisierungsschaltung 1 erfolgt wie bereits obig beschrieben.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Schaltung zur Linearisierung von Kennlinien zeigt Fig. 3. In diesem speziellen Ausführungsbeispiel erfolgt die Analogisierung der Soll-Eingangswerte 200, 210, 220 mittels einstellbarer Signalquellen. Die Signalquellen umfassen hierbei eine Referenzspannung 14 und drei digital ansteuerbare Potentiometer 17, 18, 19. Die Potentiometer 17, 18, 19 sind mittels der Ablaufsteuerung 2 in äquidistanten Stufen einstellbar und die Ausgangssignale der Potentiometer 17, 18, 19 werden mittels eines Summierers 20 addiert. Die Analogisierung erfolgt nun in derart, dass die Potentiometer 17, 18, 19 der Reihe nach so eingestellt werden, dass die Summenspannung 700, 710, 720 am Ausgang des Summierers 20 dem Ist-Eingangswert 100, 110, 120 entspricht. Zunächst erfolgt dabei ein Grobabgleich mittels des Potentiometers 17, dann mit ein Feinabgleich mittels des Potentiometers 18 und schließlich ein Feinstabgleich mittels des Potentiometers 19.

Dabei entspricht der Einstellbereich des Potentiometers 18 einer Stufe des Potentiometers 17 und der Einstellbereich des Potentiometers 19 einer Stufe des Einstellbereichs des Potentiometers 18. In diesem speziellen Ausführungsbeispiel wurden digitale Potentiometer mit 6 Bit vorgesehen, d. h. mit 64 wählbaren äquidistanten Stufen. Demnach liefert das Potentiometer 17 eine Spannung von 0 bis 10 Volt in 64 Stufen à 156,25 mV. Das Potentiometer 18 liefert eine Spannung von 0 bis 157 mV in 64 Stufen à 2,45 mV und das Potentiometer 19 liefert eine Spannung von 0 bis 2,45 mV in 64 Stufen, d.h. 0,0383 mV. Dies entspricht bei dem gegebenen 10-Voltbereich einer Auflösung von 18 Bit, d. h. 1 : 260.000.

Der abzuspeichernde Digitalwert des Ist-Eingangswert 100, 110, 120 ergibt sich aus den einzelnen Einstellungen der Potentiometer 17, 18, 19, d. h. 3 x 6 Bit. Durch die Analogisierung des Soll-Eingangswerts in Verbindung mit dem Abgleich mit dem Ist-Eingangswert 100, 110, 120 erfolgt somit eine Digitalisierung des Ist-Eingangswerts 100, 110, 120.

Hinsichtlich weiterer Details wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den allgemeinen Teil der Beschreibung sowie auf die beigefügten Patentansprüche verwiesen.

Schließlich sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die voranstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele lediglich zur Erörterung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien mit einer Linearisierungsschaltung (1), wobei die Kennlinie die Beziehung zwischen Eingangssignalen und Ausgangssignalen eines Bauteils, insbesondere eines Sensors, darstellt und wobei ein Ausgangssignal (100, 110, 120) jeweils einem Eingangssignal zugeordnet ist,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Einstellen der Linearisierungsschaltung (1) im Wesentlichen automatisiert mittels einer Ablaufsteuerung (2) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Ausgangssignal – Ist-Eingangswert – (100, 110, 120) mittels der Ablaufsteuerung (2) erfasst und/oder gespeichert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Soll-Eingangswert (200, 210, 220), vorzugsweise über eine Eingabeeinheit (15), in die Ablaufsteuerung (2) eingegeben wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Soll-Eingangswert (200, 210, 220) analogisiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Soll-Eingangswert (200, 210, 220) mittels eines D/A-Wandlers (3) analogisiert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Soll-Eingangswert (200, 210, 220) mittels mindestens einer einstellbaren Signalquelle analogisiert wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalquelle durch mindestens eine Referenzspannung (14) und/oder mindestens einen vorzugsweise digital ansteuerbaren Potentiometer (17, 18, 19) gebildet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Potentiometer (17, 18, 19) vorzugsweise mittels der Ablaufsteuerung (2) in äquidistanten Stufen eingestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Soll-Eingangswert (200, 210, 220) mittels drei vorzugsweise digital ansteuerbarer Potentiometer (17, 18, 19) eingestellt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangssignale der Potentiometer (17, 18, 19) mittels eines Summierers (20) addiert werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellungen der Potentiometer (17, 18, 19), insbesondere in Verbindung mit dem zugehörigen Soll-Eingangswert (200, 210, 220) und/oder einen Soll-Ausgangswert (400, 410, 420), gespeichert werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Eingangswerte (100, 110, 120) und/oder die Soll-Eingangswerte (200, 210, 220) an ein vergleichendes Bauelement, vorzugsweise einen Komparator (4), anlegt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Soll-Eingangswert (200, 210, 220) mittels des vergleichenden Bauelements mit dem Ist-Eingangswert (100, 110, 120) verglichen wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablaufsteuerung (2) solange den Soll-Eingangswert (200, 210, 220), insbesondere iterativ, abgleicht, bis eine vorgegebene Abweichung zwischen dem Ist-Eingangswert (100, 110, 120) und dem Soll-Eingangswert (200, 210, 220) unterschritten wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Eingangswerte (200, 210, 220) als Anfangspunkt (200) und/oder als Mittelpunkt (210) und/oder als Endpunkt (220) der linearisierten Kennlinie gewählt werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Eingangswerte (200, 210, 220) aus einem Teilbereich von Eingangssignalen der nichtlinearen Kennlinie gewählt werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebenen Soll-Eingangswerte (200, 210, 220), vorzugsweise über einen Schalter (8), an den Eingang der Linearisierungsschaltung (1) anlegt werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein zum Ist-Eingangswert (100, 110, 120) zugehöriger Soll-Ausgangswert (400, 410, 420) mittels der Ablaufsteuerung (2) erfasst und/oder gespeichert wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Soll-Ausgangswert (400, 410, 420) mittels Referenzsignalquellen (5, 6, 7) eingestellt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Soll-Eingangswerte (200, 210, 220) mittels des D/A-Wandlers (3) analogisiert werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein zum Ist-Eingangswert (100, 110, 120) zugehöriger Soll-Ausgangswert (400, 410, 420) über eine Eingabeeinheit (15) in die Ablaufsteuerung (2) eingegeben wird.

22. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines vergleichenden Bauelements, insbesondere eines Komparators (9), die auf die Soll-Eingangswerte (200, 210, 220) von der Linearisierungsschaltung (1) ausgegebenen Ist-Ausgangswerte (500, 510, 520) mit den Soll-Ausgangswerten (400, 410, 420) verglichen wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal (600, 610, 620) des vergleichenden Bauelements (9) durch die Ablaufsteuerung (2) ausgewertet wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Ablaufsteuerung (2) mindestens ein Abgleichsmittel (10, 11, 12, 13) eingestellt wird.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Abgleichsmittel (10) zum Abgleich des Nullpunkts und/oder mindestens ein Abgleichsmittel (11) zum Abgleich der Linearität und/oder mindestens ein Abgleichsmittel (12, 13) zum Abgleich der Steigung der linearisierten Kennlinie dient.

26. Verfahren nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablaufsteuerung (2) die Abgleichsmittel (10, 11, 12) mit Digitalimpulsen ansteuert.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablaufsteuerung (2) mittels der Abgleichsmittel (10, 11, 12, 13) für jedes Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaar einen Abgleich der Linearisierungsschaltung (1) solange durchführt, bis eine vorgegebene Abweichung zwischen dem Ist-Ausgangswert (500, 510, 520) und dem Soll-Ausgangswert (400, 410, 420) unterschritten wird.

28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27 und Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgleichsmittel (10) zur Einstellung des Nullpunkts der linearisierten Kennlinie derart eingestellt wird, dass der Ist-Ausgangswert (500, 510, 520) im Wesentlichen gleich dem Soll-Ausgangswert (400, 410, 420) ist.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass ein weiterer von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebener Soll-Eingangswert (210) an die Linearisierungsschaltung (1) angelegt wird.

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass der zugehörige von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebene Soll-Ausgangswert (410) an das vergleichende Bauelement (9) angelegt wird.

31. Verfahren nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Ist-Ausgangswert (510) der Linearisierungsschaltung des weiteren Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaars (210, 410) an das vergleichende Bauelement (9) angelegt wird.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal (610) des vergleichenden Bauelements (9) durch die Ablaufsteuerung (2) ausgewertet wird.

33. Verfahren nach Anspruch 31 oder 32, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgleichsmittel (12, 13) zur Einstellung der Steigung der linearisierten Kennlinie derart eingestellt wird, dass der Ist-Ausgangswert (510) im Wesentlichen gleich dem Soll-Ausgangswert ist (410).

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass ein weiterer von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebener Soll-Eingangswert (220) an die Linearisierungsschaltung (1) angelegt wird.

35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass der zugehörige von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebene Soll-Ausgangswert (420) an das vergleichende Bauelement (9) angelegt wird.

36. Verfahren nach Anspruch 35 und Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Ist-Ausgangswert (520) des weiteren Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaars (220, 240) an das vergleichende Bauelement (9) angelegt wird.

37. Verfahren nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgangssignal (620) des vergleichenden Bauelements (9) durch die Ablaufsteuerung (2) ausgewertet wird.

38. Verfahren nach Anspruch 36 oder 37 und Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass das Abgleichsmittel (11) zur Einstellung der Linearität der Kennlinie derart eingestellt wird, dass der Ist-Ausgangswert (520) im Wesentlichen gleich dem Soll-Ausgangswert (420) ist.

39. Verfahren nach einem der Ansprüche 24 bis 38, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgleich der Abgleichsmittel (10, 11, 12, 13) für die Soll-Eingangs-/Soll-Ausgangswertepaare solange wiederholt wird, bis für alle Soll-Ausgangswerte (400, 410, 420) eine vorgegebene Abweichung zwischen dem Ist-Ausgangswert (500, 510, 520) und dem Soll-Ausgangswert (400, 410, 420) unterschritten wird.

40. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 39, dadurch gekennzeichnet, dass in der Ablaufsteuerung (2) unterschiedliche linearisierte Kennlinien gespeichert werden.

41. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 40 und Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Linearisierung der Kennlinie das Ausgangssignal (100, 110, 120) des Bauteils (2) mittels des Schalters (8) als Eingangswert an die Linearisierungsschaltung (1) angelegt wird.

42. Schaltung zur Linearisierung von nichtlinearen Kennlinien mit einer Linearisierungsschaltung (1), insbesondere zur Verwendung mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 41, wobei die Kennlinie die Beziehung zwischen Eingangssignalen und Ausgangssignalen eines Bauteils, insbesondere eines Sensors, darstellt und wobei ein Ausgangssignal (100, 110, 120) jeweils einem Eingangssignal zugeordnet ist,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Einstellen der Linearisierungsschaltung (1) im Wesentlichen automatisiert mittels einer Ablaufsteuerung (2) erfolgt.

43. Schaltung nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, dass die Linearisierungsschaltung (1) als Analogschaltung ausgeführt ist.

44. Schaltung nach Anspruch 42 oder 43, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablaufsteuerung (2) einen Mikroprozessor und/oder einen Speicher und/oder eine Eingabeeinheit (15) und/oder eine Ausgabeeinheit umfasst.

45. Schaltung nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, dass der Speicher als nichtflüchtiger Speicher ausgestaltet ist.

46. Schaltung nach einem der Ansprüche 42 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass eine Analogisierung von einem von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebenen Soll-Eingangswert (200, 210, 220) mittels eines D/A-Wandlers (3) erfolgt.

47. Schaltung nach einem der Ansprüche 42 bis 45, dadurch gekennzeichnet, dass eine Analogisierung von einem von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebenen Soll-Eingangswert (200, 210, 220) mittels mindestens einer einstellbaren Signalquelle (14, 17, 18, 19, 20) erfolgt.

48. Schaltung nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, dass die einstellbaren Signalquellen (14, 17, 18, 19, 20) mindestens eine Referenzsignalquelle (14) und/oder mindestens ein vorzugsweise digital ansteuerbares Potentiometer (17, 18, 19) umfasst.

49. Schaltung nach einem der Ansprüche 42 bis 48, dadurch gekennzeichnet, dass zum Abgleich der Linearisierungsschaltung Abgleichsmittel (10, 11, 12, 13) angeordnet sind.

50. Schaltung nach Anspruch 49, dadurch gekennzeichnet, dass die Ansteuerung der Abgleichsmittel (10, 11, 12, 13) mittels der Ablaufsteuerung (2) erfolgt.

51. Schaltung nach Anspruch 49 oder 50, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgleichsmittel (10, 11, 12, 13) mindestens ein insbesondere digital ansteuerbares Potentiometer (10, 11, 12) umfassen.

52. Schaltung nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, dass die Abgleichsmittel (10, 11, 12, 13) mindestens ein digital ansteuerbares Potentiometer (10) zum Abgleich des Nullpunkts und/oder mindestens ein digital ansteuerbares Potentiometer (11) zum Abgleich der Linearität und/oder mindestens ein digital ansteuerbares Potentiometer (12) und/oder einen Verstärker (13) zum Abgleich der Steigung der linearisierten Kennlinie umfassen.

53. Schaltung nach einem der Ansprüche 42 bis 52, dadurch gekennzeichnet, dass zum Abgleich eines von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebenen Soll-Ausgangswerts (400, 410, 420) mit dem Ist-Ausgangswert (500, 510, 520) der Linearisierungsschaltung eine Analogisierung des Soll-Ausgangswerts (400, 410, 420) mittels eines D/A-Wandlers (16) erfolgt.

54. Schaltung nach einem der Ansprüche 42 bis 52, dadurch gekennzeichnet, dass zum Abgleich eines Soll-Ausgangswerts (400, 410, 420) mit dem Ist-Ausgangswert (500, 510, 520) der Linearisierungsschaltung die Einstellung des Soll-Ausgangswerts (400, 410, 420) mittels fixer Referenzsignalquellen (5, 6, 7) erfolgt.

55. Schaltung nach Anspruch 53 oder 54, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgleich des von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebenen Soll-Ausgangswerts (400, 410, 420) mit dem Ist-Ausgangswert (500, 510, 520) der Linearisierungsschaltung mittels eines vergleichenden Bauteils (9), vorzugsweise eines Komparators, erfolgt.

56. Schaltung nach einem der Ansprüche 42 bis 55, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schalter (8), insbesondere ein Wechsler oder ein Multiplexer oder dergleichen, zum wahlweise Anlegen der von der Ablaufsteuerung (2) ausgegebenen Soll-Eingangswerte (200, 210, 220) und des vom Bauteil ausgegebenen Ausgangssignals (100, 110, 120) angeordnet ist.

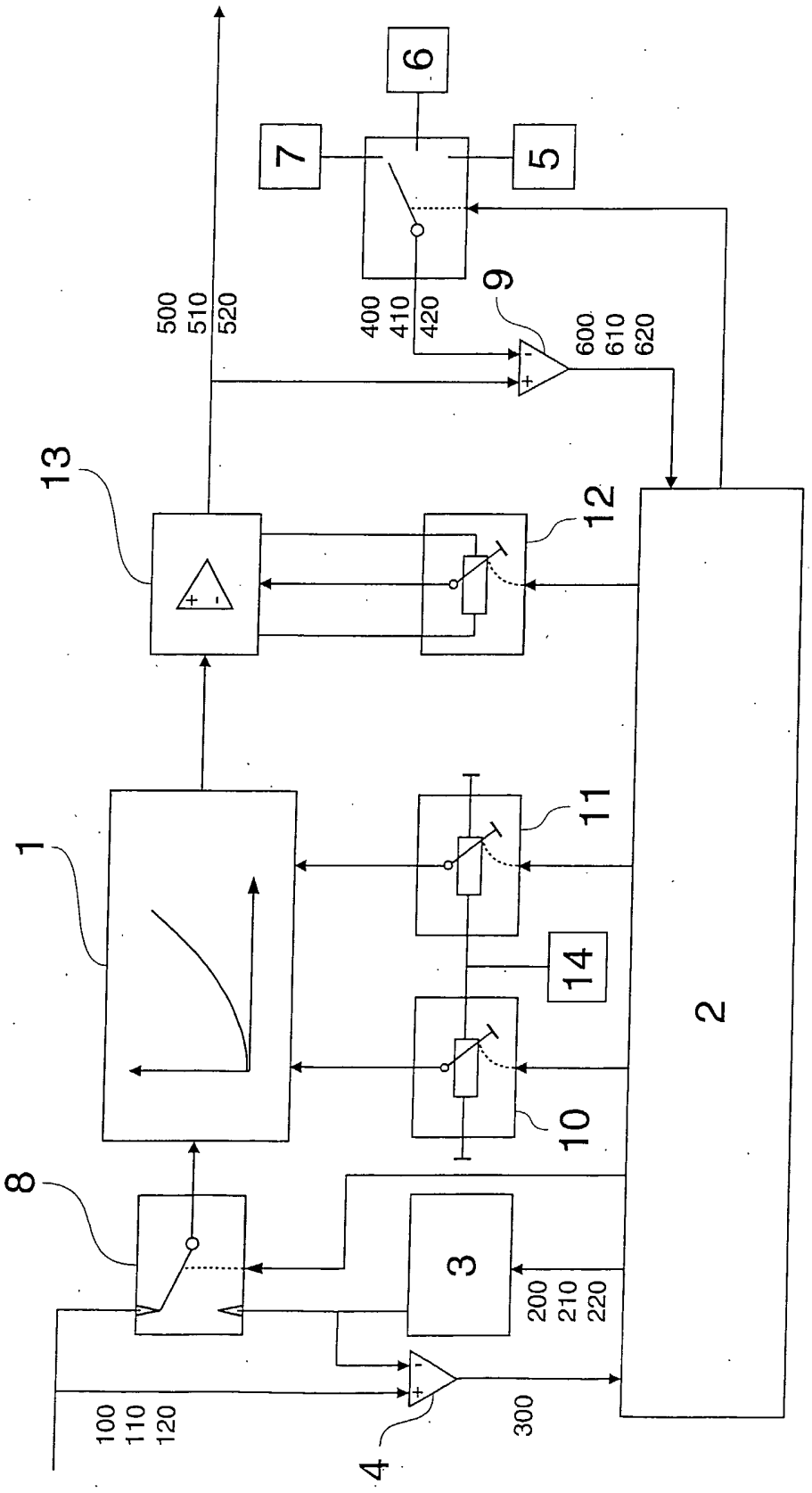

6
7
5
9
500
510
520
400
410
420
600
610
620
13
12
1
11
14
2
10
8
3
200
210
220
100
110
120
4
300

Fig. 1

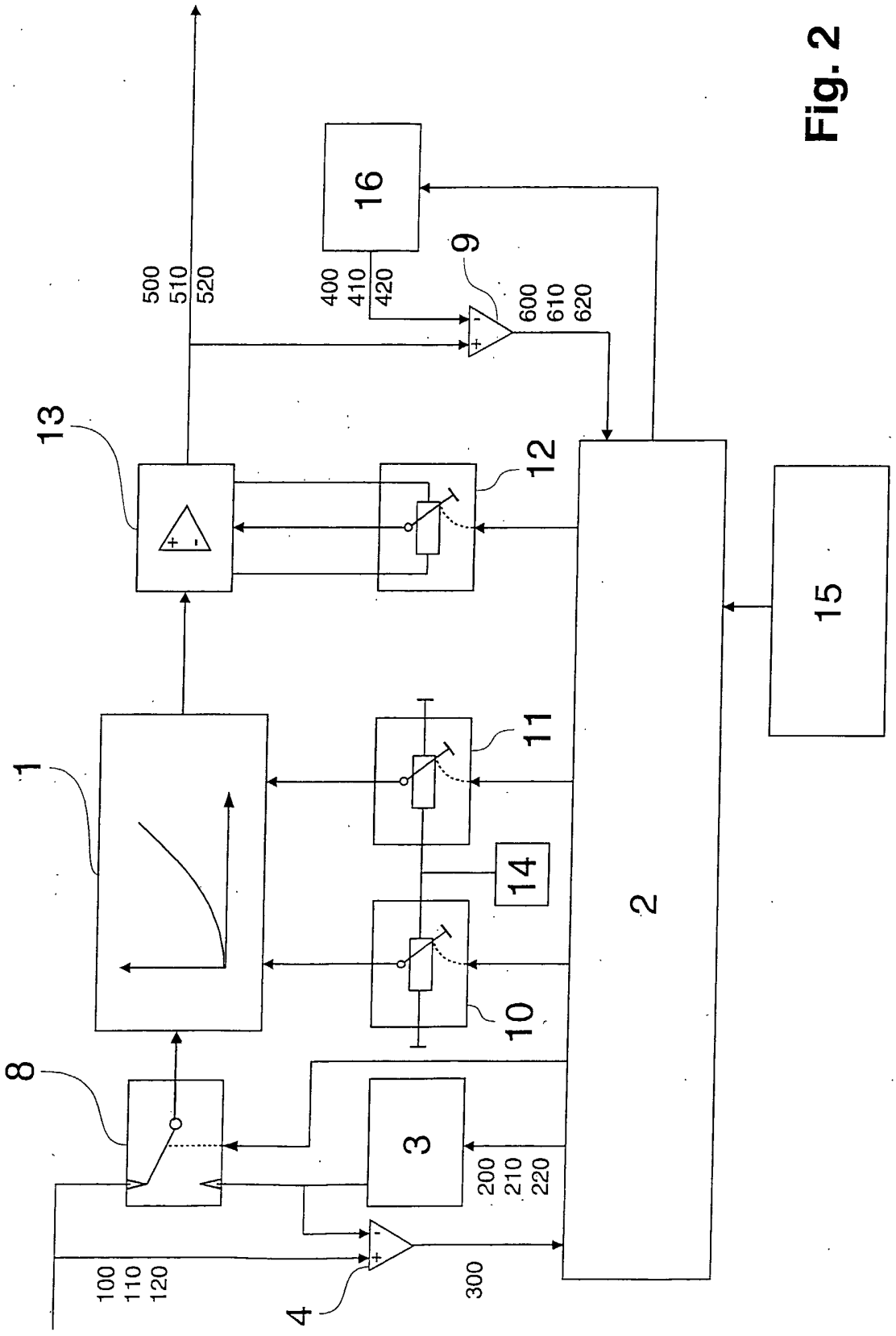

16
9
500
510
520
400
410
420
600
610
620
13
12
15
1
11
14
2
10
8
3
200
210
220
100
110
120
4
300

Fig. 2

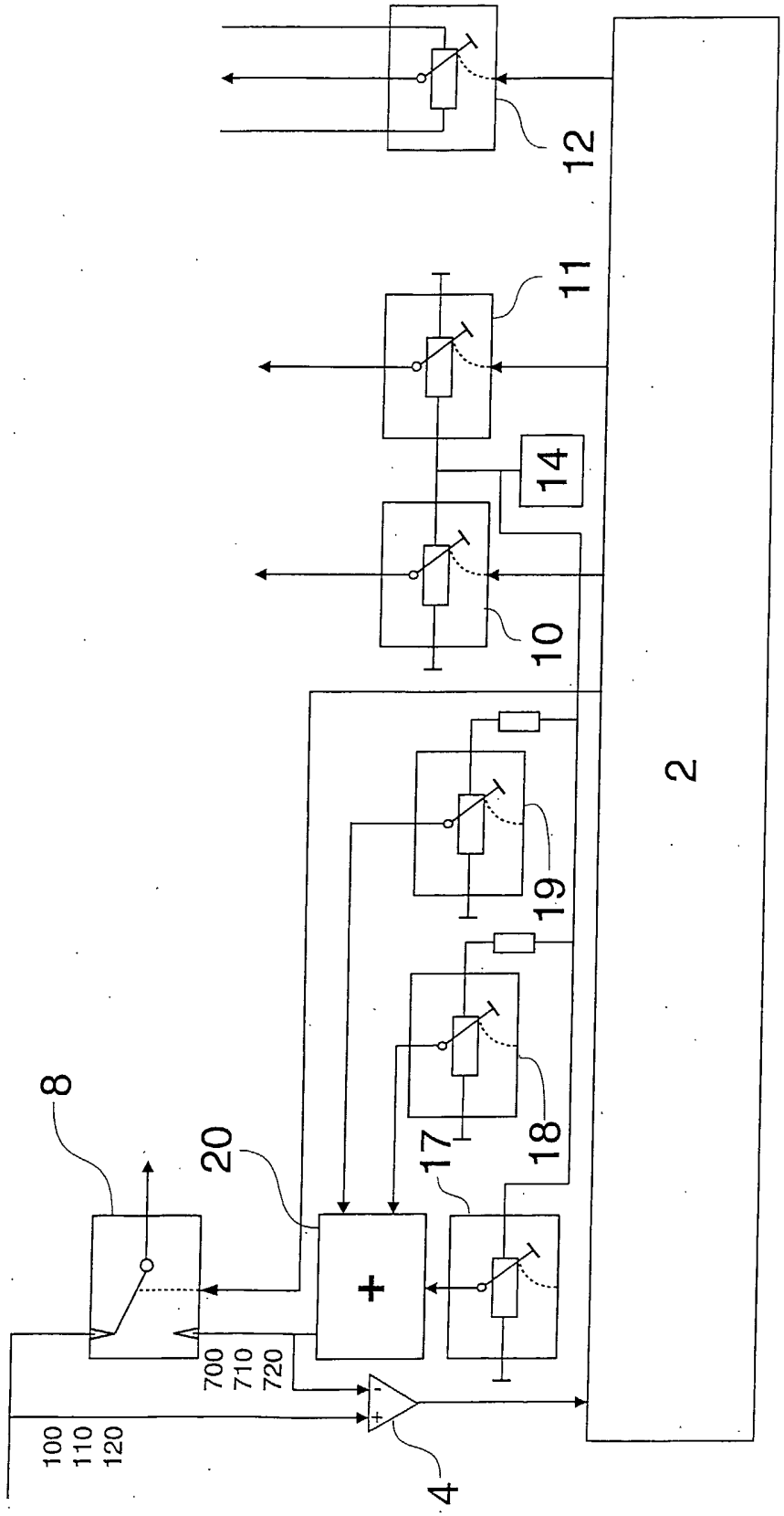


Fig. 3