



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 651 683 A5

⑤① Int. Cl.⁴: G 06 G 7/22

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

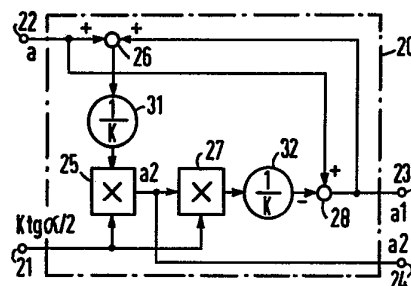
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

⑳ Gesuchsnummer:	46/79	㉓ Inhaber:	Siemens Aktiengesellschaft Berlin und München, München 2 (DE)
㉒ Anmeldungsdatum:	04.01.1979		
㉔ Priorität(en):	17.04.1978 DE 2816614	㉖ Erfinder:	Blaschke, Felix, Dr., Erlangen (DE)
㉒ Patent erteilt:	30.09.1985		
㉔ Patentschrift veröffentlicht:	30.09.1985	㉖ Vertreter:	Siemens-Albis Aktiengesellschaft, Zürich

⑤④ Koordinatenwandler zur Umwandlung von polaren Vektorgrößen in kartesische Koordinaten.

⑤⑦ Der Koordinatenwandler zeichnet sich durch einen geringen Geräteaufwand aus und lässt sich bei der feldorientierten Regelung einer Drehfeldmaschine einsetzen. Das Grundgerät enthält zwei Multiplizierglieder (25, 27), ein Additionsglied (26) und ein Subtraktionsglied (28) in definierter Schaltverknüpfung. Gegebenenfalls können hierzu noch zwei Proportionalglieder (31, 32) treten. Mit diesem Koordinatenwandler lassen sich die beiden kartesischen Koordinaten (a_1 , a_2) ermitteln. Ist der Betrag (a) konstant, so kann der Koordinatenwandler als Sinus-Cosinus-Geber verwendet werden. Weiterhin wird auch eine Ergänzungsschaltung zur Erzeugung eines umlaufenden Vektors angegeben.



PATENTANSPRÜCHE

1. Wandler zur Umwandlung einer vorgegebenen, zu $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ proportionalen ersten Grösse und einer vorgegebenen zweiten Grösse a , wobei α der zwischen $-\pi$ und $+\pi$ veränderlichen Winkelkoordinate und a der Betragskoordinate eines in polaren Koordinaten festgelegten Vektors entsprechen, in eine dritte und eine vierte Grösse, die den kartesischen Koordinaten dieses Vektors entsprechen, gekennzeichnet durch ein erstes und ein zweites Multiplizierglied (25, 27), ein Additions- und ein Subtraktionsglied (26, 28), wobei dem ersten Eingang des ersten Multipliziergliedes (25) die erste Grösse $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ und dem zweiten Eingang des ersten Multipliziergliedes (25) die Ausgangsgrösse des Additionsgliedes (26) zugeführt, das Additionsglied (26) von der zweiten Grösse a und der Ausgangsgrösse des Subtraktionsgliedes (28) beaufschlagt, die Ausgangsgrösse (a_2) des ersten Multipliziergliedes (25) zum einen als vierte Grösse (a_2) abgegriffen und zum anderen dem einen Eingang des zweiten Multipliziergliedes (27) zugeführt, der andere Eingang des zweiten Multipliziergliedes (27) von der ersten Grösse $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ beaufschlagt, dem Subtraktionsglied (28) die zweite Grösse a additiv und die Ausgangsgrösse des zweiten Multipliziergliedes (27) subtraktiv zugeführt, und die Ausgangsgrösse des Subtraktionsgliedes (28) als dritte Grösse (a_1) abgegriffen ist (Figur 4).

2. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangsgrösse des Additionsgliedes (26) dem zweiten Eingang des ersten Multipliziergliedes (25) über ein erstes Proportionalglied (31) und dass die Ausgangsgrösse des zweiten Multipliziergliedes (27) dem Subtraktionsglied (28) über ein zweites Proportionalglied (32) zugeführt ist (Figur 4).

3. Polarkoordinatenwandler zur Umwandlung eines Winkels α und einer Grösse a , wobei α der zwischen $-\pi$ und $+\pi$ veränderlichen Winkelkoordinate und a der Betragskoordinate eines in polaren Koordinaten festgelegten Vektors entspricht, in Grössen, die den kartesischen Koordinaten dieses Vektors entsprechen, enthaltend einen Wandler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass dem Eingang für die erste Grösse eine Eingabeeinrichtung (60) vorgeschaltet ist, welche aus der zugeführten Winkelkoordinate α als fünfte Grösse den Tangens der halben Winkelkoordinate bildet, wobei die Eingabeeinrichtung (60Z) zwei weitere Proportionalglieder (51, 54) und ein zweites Subtraktionsglied (52) enthält und ferner die erste Grösse $K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$, wobei K eine Proportionalitätskonstante ist, über das dritte Proportionalglied (51) vom Ausgang des zweiten Subtraktionsgliedes (52) abgegriffen ist, das seinerseits von der fünften Grösse (d) additiv und über das vierte Proportionalglied (54) von einer aus der vierten Grösse (a_2) abgeleiteten Grösse subtraktiv beaufschlagt ist (Figur 6).

4. Polarkoordinatenwandler nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Subtraktionsglied (52) über das vierte Proportionalglied (54) direkt von der vierten Grösse (a_2) beaufschlagt ist (Figur 6).

5. Polarkoordinatenwandler nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingabeeinrichtung (60Z) ein fünftes Proportionalglied (57), ein Dividiertglied (55) und ein zweites Additionsglied (56) enthält, wobei das zweite Subtraktionsglied (52) über das vierte Proportionalglied (54) von der Ausgangsgrösse des Dividiertgliedes (55) subtraktiv beaufschlagt ist, wobei ferner dem Dividendeneingang des Dividiertgliedes (55) die vierte Grösse (a_2) und dem Divisoreingang die Ausgangsgrösse des zweiten Additionsgliedes (56) zugeführt sind, und wobei dem zweiten Additionsglied (56) einerseits eine konstante Eingangsgrösse und andererseits über das fünfte Proportionalglied (57) die dritte Grösse (a_1) zugeleitet sind (Figur 5).

6. Anordnung mit einem Polarkoordinatenwandler nach einem der Ansprüche 3 bis 5 zur Erzeugung eines umlaufenden

den Vektors, dadurch gekennzeichnet, dass der Eingabeeinrichtung am Eingang für die fünfte Grösse (d) ein Dreiecksgenerator (81) vorgeschaltet und den Ausgangsklemmen des Koordinatenwandlers eine Schaltung (88, 89) zur eingangsorientierten Wechselrichtung nachgeschaltet ist, dass der Dreiecksgenerator (81) aus einem zugeführten Frequenzsignal (α) die fünfte Grösse (d) aufbereitet und an die Klemme (22) für die zweite Grösse eine konstante Spannung angelegt ist, und dass das Hinauf- und Herablaufsignal (s) des Dreiecksgenerators über eine Steuerleitung (86) die eingangsorientierte Wechselrichtung der unipolaren dritten Grösse (a_1) am Ausgang des Koordinatenwandlers steuert (Figur 8).

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schaltung (88, 89) zur eingangsorientierten Wechselrichtung einen Umschalter (88) umfasst, der nach Massgabe eines Steuersignals (s) die unipolare dritte Grösse (a_1) positiv oder aber negativ an eine Ausgangsklemme (23') weiterleitet (Figur 8).

Die Erfindung bezieht sich auf einen Wandler zur Umwandlung einer vorgegebenen, zu $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ proportionalen ersten Grösse und einer zweiten vorgegebenen Grösse a , wobei α der zwischen $-\pi$ und $+\pi$ veränderlichen Winkelkoordinate und a der Betragskoordinate eines in polaren Koordinaten festgelegten Vektors entsprechen, in eine dritte und eine vierte Grösse, die den kartesischen Koordinaten dieses Vektors entsprechen. Die Erfindung bezieht sich ferner auf einen derartigen Wandler enthaltenden Polarkoordinatenwandler zur Umwandlung von α und a in die kartesischen Koordinaten, und auf eine Anordnung mit einem derartigen Polarkoordinatenwandler zur Erzeugung eines umlaufenden Vektors.

Ein Koordinatenwandler zur Umwandlung von polaren Vektorgrössen in kartesische Vektorgrössen wird für verschiedene Zwecke benötigt, beispielsweise für die Prüfung von Rechenbausteinen, wie Vektoranalysator (z.B. DE-PS 1 941 312, Figur 5) und Vektordreher (z.B. DE-PS 1 941 312, Figur 6), oder auch zur Prüfung von Schaltungen, die aus solchen Rechenbausteinen zusammengesetzt sind. Ein anderes Anwendungsgebiet ist beispielsweise die frequenzunabhängige Bildung des Zündwinkels bei der Zündung der elektrischen Ventile eines Stromrichters (vergl. z.B. DE-AS 2 620 992, Figur 1, Bildung der Grössen e_1 und e_2). Der benötigte Koordinatenwandler sollte imstande sein, bei Vorgabe der polaren Koordinaten Betrag und Winkel eines Vektors dessen kartesische Koordinaten zu bilden, wobei die eine Koordinatenachse mit der Bezugsachse für den Winkel identisch ist.

Aus der Siemens-Zeitschrift 45 (1971) H. 10, Seiten 757 bis 760, insbesondere Bild 7 auf Seite 759, ist eine Rechenschaltung bekannt, die aus den drei Eingangsgrössen $\sin \alpha$, $\cos \alpha$ und a zwei Ausgangsgrössen a_1 und a_2 bildet. Dabei repräsentieren die beiden Eingangsgrössen $\sin \alpha$ und $\cos \alpha$ den Winkel α und die Eingangsgrösse a den Betrag eines vorgegebenen Vektors. Die Ausgangsgrössen a_1 und a_2 stellen die kartesischen Koordinaten dieses Vektors dar. Die Rechenschaltung besteht in diesem Fall aus zwei Multipliziergliedern; Additionsglieder werden nicht benötigt. Bei der bekannten Rechenschaltung müssen aber die beiden Eingangsgrössen $\sin \alpha$ und $\cos \alpha$, also zwei Winkelfunktionen des Winkels α , vorgegeben sein. Die Winkelfunktionen müssen z.B. durch zwei Funktionsgeneratoren erzeugt werden, was schon bei den üblichen Genauigkeitsanforderungen einen hohen Aufwand erfordert. Man ist daher bestrebt, solche Funktionsgeneratoren zu vermeiden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, für die Verarbeitung eines Vektors einen Koordinatenwandler der eingangs genannten Art anzugeben, der mit nur zwei Eingangsgrössen auskommt und sich dennoch durch geringen Geräte-

aufwand auszeichnet. Der Wandler soll es also ermöglichen, aus $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ und dem Betrag eines vorgegebenen Vektors die zugehörigen kartesischen Koordinaten zu berechnen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass ein erstes und ein zweites Multiplizierglied, ein Additions- und ein Subtraktionsglied vorgesehen sind, dass dem ersten Eingang des ersten Multipliziergliedes die erste Grösse und dem zweiten Eingang des ersten Multipliziergliedes die Ausgangsgrösse des Additions- und des Subtraktionsgliedes beaufschlagt ist, dass die Ausgangsgrösse des ersten Multipliziergliedes zum einen als vierte Grösse abgegriffen und zum anderen dem einen Eingang des zweiten Multipliziergliedes zugeführt ist, dass der andere Eingang des zweiten Multipliziergliedes von der ersten Grösse beaufschlagt ist, dass dem Subtraktionsglied die zweite Grösse additiv und die Ausgangsgrösse des zweiten Multipliziergliedes subtraktiv zugeführt sind, und dass die Ausgangsgrösse des Subtraktionsgliedes als dritte Grösse abgegriffen ist.

Dieser erfindungsgemässe Wandler stellt ein Grundgerät dar. Er bildet aus $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ und dem Betrag eines Vektors die kartesischen Koordinaten. Mit einem solchen sogenannten PT/K-Wandler (PT für «polar-tangens», K für «kartesisch»), der sehr einfach aufgebaut ist, können bestimmte Aufgaben schon zufriedenstellend gelöst werden. Der Arbeitsbereich des Winkels liegt hierbei zwischen $+90^\circ$ und -90° . Allerdings lassen sich mit einem solchen Wandler noch keine umlaufenden Vektoren verarbeiten.

Zur Erweiterung des Arbeitsbereichs kann vorgesehen sein, dass die Ausgangsgrösse des Additions- und des Subtraktionsgliedes über ein erstes Proportionalglied, und dass die Ausgangsgrösse des zweiten Multipliziergliedes dem Subtraktionsglied über ein zweites Proportionalglied zugeführt ist. Die Faktoren der beiden Proportionalglieder bestimmen hierbei die Grösse des wirksamen Winkelbereiches.

Häufig steht als erste Grösse nicht der Tangens des halben Winkels, sondern eine diesem Winkel direkt proportionale Grösse zur Verfügung. In einem solchen Fall und auch dann, wenn der nichtlineare Zusammenhang zwischen der Eingangsgrösse am Winkeleingang und dem Winkel des Ausgangsvektors als störend empfunden wird, kann das Grundgerät durch ein Zusatzgerät ergänzt werden. Dieses dient als Eingabeeinrichtung des beschriebenen Wandlers zur Ermittlung des erwähnten Tangens des halben Winkels aus einer fünften Grösse, die dem Winkel des Vektors proportional ist.

Der dadurch entstehende Polarkoordinatenwandler ist durch die Merkmale des Anspruchs 3 gekennzeichnet. Gemäss vorteilhafter Weiterbildung dieses Polarkoordinatenwandlers ist vorgesehen, dass das zweite Subtraktionsglied entweder direkt von der vierten Grösse oder von der Ausgangsgrösse des Dividiertgliedes subtraktiv beaufschlagt ist, wobei dem Dividendeingang des Dividiertgliedes die vierte Grösse und dem Divisoreingang die Ausgangsgrösse des zweiten Additions- und des Subtraktionsgliedes zugeführt sind, und wobei dem Additions- und dem Subtraktionsglied einerseits eine konstante Eingangsgrösse und andererseits über das fünfte Proportionalglied die dritte Grösse zugeleitet sind.

Diese Eingabeeinrichtung bildet an ihrem Ausgang die erste Grösse als Hilfsgrösse. Dabei wird der Winkel α des Vektors der fünften Grösse bis auf einen Fehler von $\pm 0,5^\circ$ genau zugeordnet.

Der bisher erwähnte Polarkoordinatenwandler eignet sich besonders für die Verarbeitung eines nichtumlaufenden Vektors. Durch Ergänzung um einige weitere Bauelemente kann er jedoch auch zur Umwandlung eines umlaufenden Vektors eingesetzt werden. Eine derart ergänzte Anordnung ist in An-

spruch 6 angegeben. Dabei ist letztlich die an Ausgangsklemme abgegriffene unipolare dritte Grösse einer Schaltung zur eingangsorientierten Wechselrichtung zugeführt, an deren Ausgang eine bipolare dritte Grösse abgegriffen ist.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung liefert somit ein analoges Rechengerät, das für die Verarbeitung von nichtumlaufenden oder auch von umlaufenden Vektoren eingesetzt werden kann. Es kommt mit wenigen und einfachen Baugliedern, im wesentlichen mit Addier- und Multipliziergliedern, aus. Als weiterer Vorteil wird angesehen, dass es, sofern die zweite Grösse eine konstante Grösse ist, als Sinus-Cosinus-Geber eingesetzt werden kann. Schliesslich stellt es einen erheblichen Vorteil dar, dass Kennliniengeneratoren (= Funktionsgeneratoren) nicht benötigt werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand von 8 Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Vektor im zweiaxigen kartesischen und im polaren Koordinatensystem,

Figur 2 eine besonders einfach aufgebaute Ausbildung eines Wandlers gemäss der Erfindung,

Figur 3 die Verwendung des Wandlers nach Figur 2 als Sinus-Cosinus-Geber,

Figur 4 einen Polarkoordinatenwandler, bestehend aus einem Grundgerät und einem Zusatzgerät, mit Einzeldarstellung der verwendeten Bauteile,

Figur 5 einen Koordinatenwandler, bestehend aus einem Grundgerät und einem Zusatzgerät, in Prinzipdarstellung,

Figur 6 einen Koordinatenwandler, dessen Zusatzgerät gegenüber demjenigen von Figur 5 vereinfacht ausgebildet ist,

Figur 7 einen Koordinatenwandler mit vorgeschaltetem Integrator und

Figur 8 eine Anordnung mit einem Koordinatenwandler zur Erzeugung eines umlaufenden Vektors in einem besonderen bevorzugten Anwendungsfall.

Nach Figur 1 ist ein Vektor $\vec{a}$ durch seine Winkelkoordinate α und seine Betragskoordinate a vorgegeben. Die Winkelkoordinate α beschreibt dabei den Winkel zwischen dem Vektor $\vec{a}$ und der Koordinatenachse x eines kartesischen Koordinatensystems x, y . Der Vektor $\vec{a}$ ist somit gleichzeitig im kartesischen Koordinatensystem x, y durch die beiden Grössen a_1 und a_2 festgelegt. Hierbei soll es sich insbesondere um zwei analoge elektrische Grössen handeln, z.B. um die Komponenten des magnetischen Flusses, die bei der feldorientierten Regelung einer Drehfeldmaschine benötigt werden. Es stellt sich die Aufgabe, aus einer winkelähnlichen Grösse $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ oder aus der Winkelkoordinate α selbst sowie aus der Betragskoordinate a , die durch eine entsprechende erste bzw. zweite Grösse vorgegeben sind, eine dritte und eine vierte Grösse a_1 bzw. a_2 zu berechnen, die ein Mass für die x -Komponente bzw. y -Komponente des Vektors $\vec{a}$ sind. Im folgenden werden die (elektrischen) Grössen genauso bezeichnet wie die entsprechenden Komponenten des Vektors $\vec{a}$.

Der im folgenden beschriebene Wandler ist eine analoge Rechenschaltung, die auf den bekannten Beziehungen

$$\operatorname{tg}(\alpha/2) = \sin \alpha / (1 + \cos \alpha) \quad (1)$$

und

$$\operatorname{tg}(\alpha/2) = (1 - \cos \alpha) / \sin \alpha \quad (2)$$

beruht. Erweitert man diese Beziehungen (1) und (2) mit dem Betrag a , so erhält man unter Berücksichtigung der in Figur 1 angegebenen Beziehungen $\sin \alpha = a_2/a$ und $\cos \alpha = a_1/a$ die Beziehungen

$$\operatorname{tg}(\alpha/2) = a_2/(a + a_1)$$

und

$$\operatorname{tg}(\alpha/2) = (a - a_1)/a_2$$

Durch Umstellen erhält man aus Gleichung (3) die Beziehung

$$a_2 = \operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot (a + a_1),$$

und aus Gleichung (4) erhält man die Beziehung

$$a_1 = -\operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot a_2 + a$$

Man geht nun in der Rechenschaltung so vor, dass man zunächst gemäss Beziehung (5) aus $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ und a sowie der noch nicht bekannten Grösse a_1 die Grösse a_2 ermittelt. Hierbei wird die noch unbekannte Grösse a_1 quasi als bekannt vorausgesetzt und vom Ausgang des Koordinatenwandlers abgegriffen. Aus diesem Ergebnis für die Grösse a_2 erhält man aus der Beziehung (6) die Grösse a_1 , die man wiederum in die Gleichung (5) eingibt.

Bei Berücksichtigung einer Proportionalitätskonstanten K , die einen Massstabsfaktor darstellt, wird aus den Beziehungen (5) und (6):

$$a_2 = K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot (a + a_1)/K$$

$$a_1 = -K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot a_2/K + a$$

Auf die Gleichungen (7) und (8) beruht der in Figur 2 gezeigte Wandler 20, der für die Koordinatenumwandlung bei einem nichtumlaufenden Vektor $\vec{a}$ vorgesehen ist.

Nach Figur 2 werden dem Wandler 20 an einer ersten Eingangsklemme 21 die erste Grösse $K \cdot \operatorname{tg} \alpha/2$ und an einer zweiten Eingangsklemme 22 die zweite Grösse a zugeführt. Die erste Grösse $K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$ ist eine veränderliche bipolare Grösse, die z.B. im Bereich von -10 V bis $+10 \text{ V}$ liegt; und die zweite Grösse a ist eine veränderliche unipolare positive Grösse, die z.B. im Bereich von 0 bis $+10 \text{ V}$ liegt. In einem Sonderfall können beide Grössen auch konstant sein. Verändert sich z.B. die erste Grösse von -10 V auf $+10 \text{ V}$, so entspricht das bei $K = 1$ einer Änderung des Winkels α von -90° auf $+90^\circ$. An den Ausgangsklemmen 23 und 24 werden die dritte Grösse a_1 bzw. die vierte Grösse a_2 abgegriffen. Diese Grössen a_1, a_2 sind entsprechend veränderlich und im genannten Sonderfall konstant.

Der Wandler 20 enthält ein erstes Multiplizierglied 25, ein Additionsglied 26, ein zweites Multiplizierglied 27 und ein Subtraktionsglied 28, wozu noch ein erstes und zweites Proportionalglied 31 bzw. 32 mit dem Proportionalfaktoren $1/K$ ungleich 1 treten. Wird bei beiden Proportionalgliedern 31 und 32 jeweils die Proportionalitätskonstante K gleich 1 gewählt, so erhält man einen Koordinatenwandler 20, der entsprechend den angegebenen Beziehungen (5) und (6) arbeitet. Mit Hilfe des ersten Multipliziergliedes 25 und des Additionsgliedes 26 wird die vierte Grösse a_2 gemäss Gleichung (7) gebildet. Dazu ist der erste Eingang des ersten Multipliziergliedes 25 mit der ersten Grösse $K \cdot \operatorname{tg} \alpha/2$ und der zweiten Eingang mit der über das Proportionalglied 31 geleiteten Ausgangsgrösse des Additionsgliedes 26 beaufschlagt. Den beiden Eingängen des Additionsgliedes 26 wiederum sind die zweite Grösse a sowie die an der Ausgangsklemme 23 abgegriffene dritte Grösse a_1 zugeführt. Die Ausgangsgrösse a_2 des ersten Multipliziergliedes 25 wird auf zwei Wegen weitergeleitet. Zum einen ist sie an die Ausgangsklemme 24 geführt, wo sie zur weiteren Verarbeitung bereitsteht, und zum anderen

- (3) wird sie dem einen Eingang des zweiten Multipliziergliedes 27 zugeleitet. Der andere Eingang dieses Multipliziergliedes 27 wird von der ersten Grösse $K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$ beaufschlagt. Dem Ausgang des Multipliziergliedes 27 ist über das zweite Proportionalglied 32 das Subtraktionsglied 28 nachgeschaltet. Die Aufschaltung erfolgt hier negativ. Das Subtraktionsglied 28 ist weiterhin von der zweiten Grösse a positiv beaufschlagt. Die Ausgangsgrösse des Subtraktionsgliedes 28 wiederum ist als dritte Grösse a_1 an die Ausgangsklemme 23 geleitet. Das zweite Multiplizierglied 27, das Proportionalglied 32 und das Subtraktionsglied 28 realisieren in der angegebenen Schaltverknüpfung die Gleichung (8).

- (6) Der in Figur 2 dargestellte Wandler 20 ist besonders einfach aufgebaut. Er kommt mit nur wenigen Bauelementen aus.

- Prinzipiell kann man die Proportionalkonstante K in den Gleichungen (7) und (8) gleich 1 wählen, d.h. die Proportionalglieder 31 und 32 weglassen; das wurde bereits oben erwähnt. Als Funktionsglieder 25 bis 28 wird man insbesondere entsprechend beschaltete Operationsverstärker heranziehen. Die Ausgangsgrössen von integrierten Schaltungen dürfen jedoch nur in einem bestimmten Arbeitsbereich liegen, dessen oberer Grenzwert z.B. 10 V beträgt. Da die einzelnen Ausgangsgrössen im allgemeinen diesen Grenzwert, der für die weitere Betrachtung auf den Wert 1 nominiert sei, nicht überschreiten dürfen, reicht der Rechenbereich des dargestellten Koordinatenwandlers 20 ohne die Proportionalglieder 31 und 32 bezüglich der Grösse $\operatorname{tg} \alpha/2$ nur über einen Bereich von -1 bis $+1$; d.h. der Winkel α reicht über einen Bereich von -90° bis $+90^\circ$ für $K = 1$. Ordnet man aber in der dargestellten Weise der Eingangsklemme 21 nicht die Grösse $\operatorname{tg} \alpha/2$, sondern die Grösse $K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$ mit der Konstanten $K \leq 1$ zu, so erweitert sich der Rechenbereich auf

$$-1/K \leq \operatorname{tg}(\alpha/2) \leq +1/K \quad (9)$$

Beispielsweise ergibt sich daraus für $K = 0,7$ ein Arbeitsbereich für den Winkel α von -110° bis $+110^\circ$ und für $K = 0,466$ ergibt sich ein Arbeitsbereich von -130° bis $+130^\circ$.

Gemäss Figur 3 kann der Wandler von Figur 2 bevorzugt als Sinus-Cosinus-Geber angewendet werden, wobei die zweite Grösse a gleich einer Konstante p ist, die im normierten Fall gleich 1 gesetzt wird. Dieser Wandler ist mit 20a bezeichnet.

Eine besonders einfache gerätetechnische Ausführung des Wandlers 20a für den Fall $a = 1$ ist in Figur 4 dargestellt. Dieser repräsentiert dabei ein Grundgerät, dem eine Eingabeeinrichtung als ein Zusatzgerät 60z zugeordnet sein kann. Dieses Zusatzgerät 60z wird erst später näher erläutert.

Aus Figur 4 geht hervor, dass der Wandler 20a mit Hilfe von entsprechend beschalteten Operationsverstärkern aufgebaut ist. Die einzelnen Funktionsglieder sind mit denselben Bezugszeichen versehen wie in Figur 2. Auch ist jeweils der Widerstandswert der einzelnen ohmschen Widerstände angegeben. Dabei ist jeweils ein Grundwert R zugrundegelegt, der z.B. $20 \text{ k}\Omega$ betragen kann.

Zwischen den beiden Multipliziergliedern 25 und 27 ist vorliegend ein Umkehrverstärker 40 angeordnet. In dessen Rückführung liegt ein Widerstand, der auf den Wert R/K eingestellt ist. Dieser Widerstand dient somit als erstes Proportionalglied 31. Aus einem Vergleich von Figur 2 und Figur 4 wird deutlich, dass es letztlich gleichgültig ist, ob dieses Proportionalglied 31 an einem der Eingänge oder am Ausgang des ersten Multipliziergliedes 25 angeordnet ist. Der Umkehrverstärker 40 bewirkt gleichzeitig eine Signalanpassung.

Das Additionsglied 26 und das Subtraktionsglied 28 sind gleichfalls als Operationsverstärker mit entsprechender Beschaltung ausgeführt. Parallel zum Rückführwiderstand des

Additionsglied 26 liegt noch ein Kondensator, der der Stabilisierung dient. Erwähnenswert ist weiter, dass die beiden Vorschaltwiderstände des Subtraktionsgliedes 28 ungleich bemessen sind. Der Vorschaltwiderstand am positiven Eingang besitzt den Widerstandswert R , während der Vorschaltwiderstand am negativen Eingang ebenso wie der Teilerwiderstand am positiven Eingang den Widerstandswert KR besitzt. Die beiden letztgenannten Widerstände 32a und 32b sind somit – entsprechend der gewünschten Proportionalitätskonstanten $1/K$ – als zweites Proportionalglied 32 anzusehen.

Bei den Wandlern 20 und 20a der Figuren 2 bis 4 war vorausgesetzt, dass eine erste Grösse $K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$ als Mass für den Winkel α zur Verfügung steht. Die Funktion $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ ist bekanntlich in einem recht weiten Bereich um den Winkel $\alpha = 0$ herum mit guter Näherung proportional zum Winkel α . In vielen Fällen steht aber eine solche erste Grösse $K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$, die dem Tangens des halben Winkels proportional ist, nicht unmittelbar zur Verfügung; vielmehr ist häufig eine fünfte Grösse d als Eingangsgrösse bereitgestellt, zu der der Winkel α direkt proportional sein soll. In einem solchen Fall kann die fünfte Grösse der Eingangsklemme 21 nicht direkt zugeführt werden, es muss eine Anpassung zwischen der fünften Grösse d und der Hilfsgrösse $\operatorname{tg}(\alpha/2)$ vorgenommen werden. Die Anpassung gelingt vorliegend mit Hilfe eines Zusatzgeräts zum Grundgerät. Dieses Zusatzgerät, mit dessen Hilfe der in den Figuren 2 bis 4 dargestellte Wandler 20 bzw. 20a zu einem echten P/K -Wandler ausgebaut werden kann, soll im folgenden näher beschrieben werden.

Zur Anpassung benutzt man die Beziehung

$$d = K_1 \operatorname{tg}(\alpha/2) + K_2 a (a + K_3 a_1) \quad (10)$$

Die Faktoren K_1 , K_2 und K_3 sind dabei wählbare Konstanten. Durch Umstellen der Beziehung (10) erhält man folgende Rechenvorschrift:

$$K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) = K_d/K_1 - K K_2/K_1 \cdot a/(a + K_3 a_1) \quad (11)$$

Aus der Beziehung (11) ist ersichtlich, dass die erste Grösse $K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$ aus zwei Summanden zusammengesetzt ist, wobei der erste Summand proportional zur fünften Grösse d ist. Die fünfte Grösse d spielt hierbei die Rolle einer proportional mit dem Winkel α ansteigenden Grösse. Für den Sonderfall $a = 1$, d.h. für eine Ausbildung als Sinus-Cosinus-Geber, wird aus der Beziehung (11):

$$K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) = K_d/K_1 - K K_2/K_1 \cdot \sin \alpha / (1 + K_3 \cos \alpha) \quad (12)$$

Damit ergibt sich für einen Sinus-Cosinus-Geber mit linearer Winkelvorgabe durch die fünfte Grösse d der in Figur 5 dargestellte Koordinatenwandler 50.

Nach Figur 5 ist der bereits zuvor beschriebene Koordinatenwandler 20 als Grundgerät durch ein Zusatzgerät 50z ergänzt. Dieses Zusatzgerät 50z enthält ein drittes Proportionalglied 51 (Proportionalitätskonstante K/K_1), ein zweites Subtraktionsglied 52, ein viertes Proportionalglied 54 (Proportionalitätskonstante K_2), ein Dividierglied 55, ein zweites Addierglied 56 und ein fünftes Proportionalglied 57 (Proportionalitätskonstante K_3).

Im einzelnen zeigt Figur 5, dass die Ausgangsgrösse des zweiten Subtraktionsgliedes 52 über das dritte Proportionalglied 51 der Eingangsklemme 21 des Koordinatenwandlers 20 zugeleitet ist. Der erste Eingang des Subtraktionsgliedes 52 ist von einer Eingangsklemme 53 positiv mit der fünften Grösse d beaufschlagt. Der zweite Eingang ist über das vierte Proportionalglied 54 vom Ausgang des Dividiergliedes 55 negativ beaufschlagt. Am einen Ausgang des Grundgeräts 20 wird die

vierte Grösse a_2 abgegriffen und dem Dividendeingang des Dividiergliedes 55 zugeführt. Dem Divisoreingang ist die Ausgangsgrösse des zweiten Additionsgliedes 56 zugeleitet. Das zweite Additionsglied 56 wiederum ist einerseits von einer konstanten Eingangsgrösse $p = 1$ und andererseits über das fünfte Proportionalglied 57 von der dritten Grösse a_1 beaufschlagt.

Für den Fall $K_3 = 0$ in der Beziehung (12) reduziert sich die in Figur 5 gezeigte Schaltung auf den in Figur 6 dargestellten Koordinatenwandler 50a. Das hier verwendete Zusatzgerät 60z kommt ersichtlich mit weniger Bauelementen aus als das Zusatzgerät 50z von Figur 5. Im vorliegenden Fall ist das Dividierglied 55 weggefallen, und die vierte Grösse a_2 wird auf direktem Wege über das vierte Proportionalglied 54 dem zweiten Eingang des Subtraktionsgliedes 52 negativ aufgeschaltet.

Eine gerätetechnische Ausführung des Zusatzgeräts 60z ist aus Figur 4 ersichtlich. Als Funktionsglieder werden hier wiederum entsprechend beschaltete Operationsverstärker verwendet. Nach Figur 4 ist die fünfte Grösse d einem Operationsverstärker 56 zugeleitet, dem ein Addierverstärker 57 nachgeschaltet ist. Der eine Vorschaltwiderstand, der mit dem Ausgang des Operationsverstärkers 56 verbunden ist, besitzt den Widerstandswert R , und der andere Vorschaltwiderstand besitzt den Wert R/K_2 . Der Widerstand in der Rückführung des Addierverstärkers 57 besitzt den Widerstandswert KR/K_1 . Dieser Widerstand kann somit als Proportionalglied 51 angesehen werden, während der zuletzt erwähnte Vorschaltwiderstand das Proportionalglied 54 darstellt. Beide Verstärker 56, 57 repräsentieren somit das Subtraktionsglied 52 mitsamt den Proportionalgliedern 51, 54. Der Ausgang des Addierverstärkers 57 ist an die Eingangsklemme 21 geführt. Hier kann die erste Grösse $K \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)$ abgegriffen werden.

Für die beispielsweise angenommenen Werte $K_1 = 0,707$ und $K_2 = 0,293$ ergibt sich ein Arbeitsbereich für den Winkel α von -90° bis $+90^\circ$ und ein maximaler Fehler von $\pm 0,5^\circ$. Für die Werte $K_1 = 0,516$ und $K_2 = 0,280$ ergibt sich ein grösserer Arbeitsbereich für den Winkel α , der zwischen -110° und $+110^\circ$ liegt, und ein maximaler Fehler von $\pm 1,6^\circ$.

Aus Figur 7 geht hervor, dass der Koordinatenwandler 50 (oder auch der Koordinatenwandler 50a) durch Vorschalten eines Integriergliedes 71 vor die Eingangsklemme 53 zu einem Sinus-Cosinus-Geber mit vorgebbare Winkelgeschwindigkeit (Frequenz α) wird. Eine solche Schaltung ist insbesondere bei der Steuerung und Regelung einer Drehfeldmaschine einsetzbar.

Bisher war davon ausgegangen, dass der zu erzeugende Vektor $\vec{a}$ ein nichtumlaufender Vektor ist. Wenn der zu erzeugende Vektor $\vec{a}$ in Figur 1 jedoch ein mit vorgebbare Winkelgeschwindigkeit α umlaufender Vektor sein soll, kann man so vorgehen, dass man eine mit vorgebbare Winkelgeschwindigkeit α auf- und ablaufende Dreiecksspannung erzeugt, wobei man dem Hinauflauf die rechte Halbebene des in Figur 1 dargestellten Diagramms und dem Hinunterlauf die linke Halbebene zuordnet. Dies kann durch Umschalten der Grösse a_1 geschehen. Auf diesem Prinzip beruht die in Figur 8 dargestellte Schaltung. Sie wird als besonders bedeutsam angesehen und eignet sich ebenfalls für die Steuerung und Regelung einer Drehfeldmaschine.

Nach Figur 8 wird an einer Eingangsklemme 80 einem Dreiecksgenerator 81 ein Frequenzsignal α vorgegeben. Dieses Frequenzsignal α ist nur positiv; es ist ein Mass für die Frequenz des umlaufenden Vektors $\vec{a}$. Der Dreiecksgenerator 81 besteht im vorliegenden Fall aus einem Umschalter 82, einem Umkehrverstärker 83, einem Integrator 84 und einem Schwellwertglied 85, das eine vorgegebene Hysterese besitzt. Der Umschalter 82 wird durch ein Steuersignal s betätigt, das

das Ausgangssignal des Schwellwertgliedes 85 ist. In der dargestellten Schaltstellung läuft der Integrator 84 linear hoch, während er in der anderen Schaltstellung linear abwärtsläuft. Am Ausgang des Integrators 84 ergibt sich ein Dreieckssignal d mit positiver und negativer Steigung. Es ist als bipolares Signal d mit eingezeichnet. Dieses wird als fünfte Grösse d der Eingangsklemme 53 des P/K-Wandlers 50 zugeführt. Die Grösse d sorgt dafür, dass der Winkel α des Ausgangsvektors (entsprechend den Grössen a_1 , a_2 an den Ausgangsklemmen 23, 24) zwischen -90° und $+90^\circ$ bewegt wird. Eine Ausgangsklemme 23' kann mittels eines weiteren Umschalters 88 entweder direkt oder über einen Umkehrverstärker 89 an die Ausgangsklemme 23 gelegt werden. Mit Hilfe dieses Umschalters 88 und des Steuersignals s wird das Vorzeichen der

Ausgangsgrösse a_1' an der Ausgangsklemme 23' bestimmt. Diese Ausgangsgrösse a_1' ist bipolar. Der sich an den Ausgangsklemmen 23, 24 ergebende Ausgangsvektor ist ein zwischen -90° und $+90^\circ$ hin- und herlaufender Vektor. Durch entsprechende Vorzeichenwahl der Grösse a_1 mit Hilfe des Umschalters 88 wird der Hinauf- und Hinunterlauf des Dreiecksgenerators 81 z.B. in die rechte Halbebene, der Hinunterlauf des Dreiecksgenerators 81 dagegen in die linke Halbebene von Figur 1 abgebildet, so dass sich ein kontinuierlich umlaufender Ausgangsvektor an den Ausgangsklemmen 23', 24 ergibt. Dieser umlaufende Ausgangsvektor, repräsentiert durch die bipolaren Ausgangsgrössen a_1' und a_2 , wird somit durch eine eingangsorientierte Wechselrichtung gebildet.

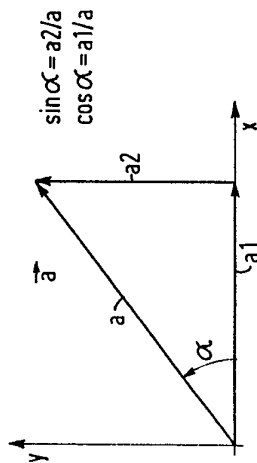


FIG 1

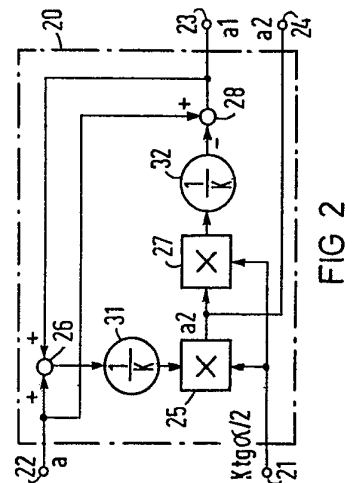


FIG 2

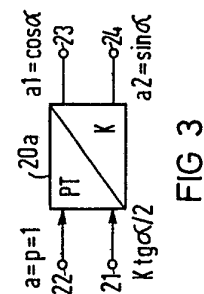


FIG 3

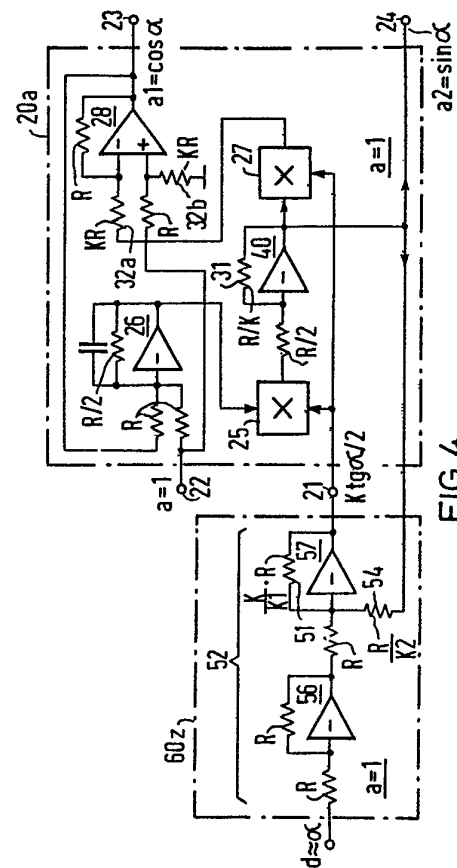


FIG 4

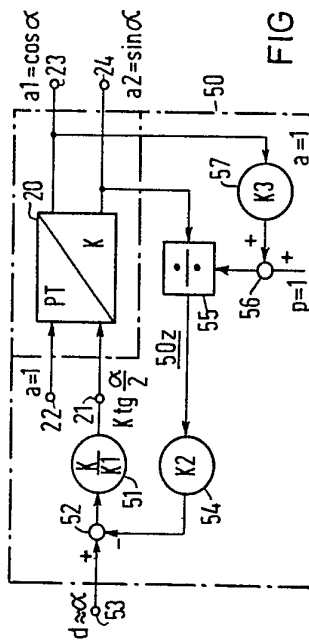


FIG 5

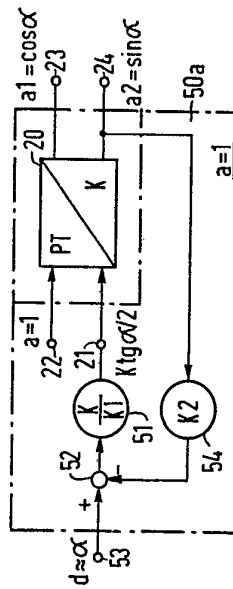


FIG 6

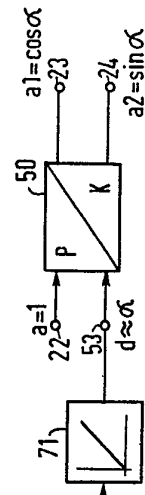


FIG 7

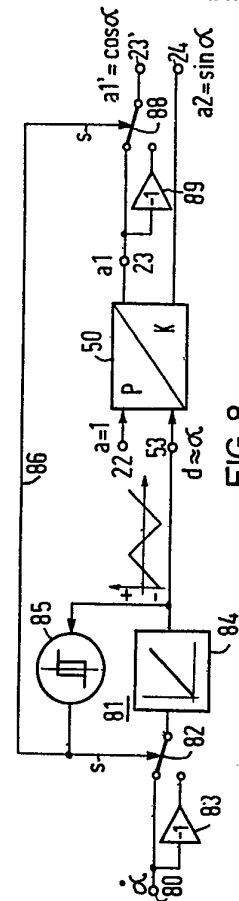


FIG 8