



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑤1 Int. Cl.²: H 04 L 27/22

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



⑫ PATENTCHRIFT A5

⑪

616 795

②1 Gesuchsnummer: 3658/77

②2 Anmeldungsdatum: 23.03.1977

③0 Priorität(en): 30.04.1976 DE 2619392

②4 Patent erteilt: 15.04.1980

④5 Patentschrift
veröffentlicht: 15.04.1980

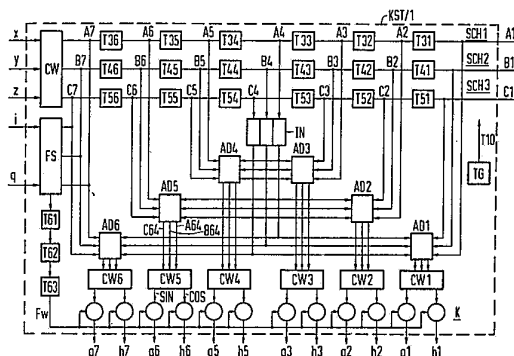
⑦3 Inhaber:
Siemens Aktiengesellschaft, Berlin und München,
München 2 (DE)

⑦2 Erfinder:
Dipl.-Ing. Robert Lindner, München (DE)

⑦4 Vertreter:
SIEMENS-ALBIS Aktiengesellschaft, Zürich

⑤4 Entzerrer zur adaptiven Basisband-Entzerrung eines phasenmodulierten Signals.

⑤7 Mit einer Entscheidungsstufe gewonnene Sektor-signale (X, Y, Z) werden je einem Schieberegister (SCH1, SCH2, SCH3) mit mehreren Zellen (T31-36, T41-46, T51-56) zugeführt, und die Differenzen der Signale gebildet, die einerseits an den Hauptabgriffen (A4, B4, C4) der Schieberegister und andererseits an allen Nebenabgriffen (A1-A3, A5-A7; B1-B3, B5-B7; C1-C3, C5-C7) der Schieberegister anliegen. Die auf diese Weise gewonnenen Differenzsignale werden mit Fehlersignalen (Fw) korreliert und mit den gebildeten Korrelatorsignalen (h1, g1 ... h7, g7) werden die Entzerrkoeffizienten zweier Filter eingestellt. Der Entzerrer erlaubt eine befriedigende Entzerrung der nach der Demodulation auftretenden Signale.



PATENTANSPRÜCHE

1. Entzerrer zur adaptiven Basisband-Entzerrung eines phasenmodulierten Signals, wonach von einem Demodulator nach kohärenter Demodulation zwei zueinander orthogonale Signale abgeleitet werden, wobei unter Verwendung zweier Filter mit Hauptabgriffen und Nebenabgriffen und daran angeschlossenen Koeffizientengliedern zwei entzerrte Signale gewonnen werden, die beide zusammen pro Modulationsperiode je einen Signalvektor darstellen, mit Hilfe dessen in einer Entscheidungsstufe digitale Sektorsignale abgeleitet werden, welche die Sektoren charakterisieren, in denen die Signalvektoren der entzerrten Signale liegen, wobei unter Verwendung einer Fehlerstufe aus den entzerrten Signalen und aus den Sektorsignalen ein Fehlersignal abgeleitet wird und wobei einerseits das Fehlersignal und andererseits digital dargestellte Werte von Sinussignalen und Cosinussignalen Korrelatoren zugeführt werden, über deren Ausgänge Korrelatorsignale zur Steuerung der Koeffizientenglieder abgegeben werden, gekennzeichnet durch die Kombination der folgenden Merkmale:

A) Jedem Sektor (000 bis 111) ist eine mehrstellige im Dualcode ausgedrückte Binärzahl zugeordnet, die durch die Sektorsignale (A1, B1, C1 bis A7, B7, C7) dargestellt ist;

B) pro Bit der Binärzahlen ist je ein Schieberegister (SCH1 bzw. SCH2 bzw. SCH3 und SCH11 bzw. SCH21 bzw. SCH31) vorgesehen, deren Verzögerungsglieder (T31 bis T36 bzw. T41 bis T46 bzw. T51 bis T56 und K31 bis K36 bzw. K41 bis K46 bzw. K51 bis K56) über je einen Hauptabgriff (A4 bzw. B4 bzw. C4) – entsprechend den Hauptabgriffen (P4, R4) der Filter – und je über mehrere Nebenabgriffe (A1 bis A3, A5 bis A7 bzw. B1 bis B3, B5 bis B7 bzw. C1 bis C3, C5 bis C7) – entsprechend den Nebenabgriffen der Filter – miteinander verbunden sind;

C) die Sektorsignale werden den Schieberegistern zugeführt, wobei die an den Hauptabgriffen (A4, B4, C4) anliegenden Sektorsignale eine Hauptabgriff-Binärzahl darstellen, wobei die an den Nebenabgriffen anliegenden Sektorsignale je eine Nebenabgriff-Binärzahl darstellen und wobei Differenzsignale (A64, B64, C64) abgeleitet werden, welche die Differenzen Nebenabgriff-Binärzahl minus Hauptabgriff-Binärzahl signalisieren;

D) die Differenzsignale (A64, B64, C64) werden Codewandlern (CW1 bis CW6) zugeführt, welche Codeworte des Dualcodes in Codeworte des Gray-Codes umsetzen (Tabelle 2);

E) die Ausgangssignale der Codewandler (CW1 bis CW6) bilden die digital dargestellten Werte der Sinussignale (SIN) bzw. Cosinussignale (COS) und werden den Korrelatoren zugeführt;

F) der Fehlerstufe (FS) werden einerseits die Binärzahlen darstellenden Sektorsignale und andererseits die beiden entzerrten Signale (i, q) zugeführt und daraus wird das Fehlersignal (Fw) abgeleitet, das den Winkelfehler signalisiert, mit dem der jeweilige Signalvektor (VS) behaftet ist.

2. Entzerrer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass pro Schieberegister und pro Nebenabgriff je eine Subtrahierstufe (IN, AD1 bis AD6) vorgesehen ist, die einerseits an die Hauptabgriffe der Schieberegister und andererseits an die Nebenabgriffe der Schieberegister angeschlossen ist und die über ihre Ausgänge die Differenzsignale abgibt (Fig. 4).

3. Entzerrer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster Taktgeber (TG1) vorgesehen ist, der ein erstes Taktsignal (T1) erzeugt, dessen Periodendauer gleich einem Modulationsabschnitt (T) ist und das während einer ersten bzw. zweiten Dauer innerhalb des Modulationsabschnittes (T) einen ersten bzw. zweiten Binärwert (0 bzw. 1) annimmt, dass eine Serie von Schaltern (SW11, SW12, SW13) vorgesehen sind, die je einen Ruhekontakt und je zwei Arbeitskontakte besitzen, deren Ruhekontakte an die ersten Verzögerungsglieder (T36, T46, T56) der Schieberegister (SCH1, SCH2, SCH3) ange-

schlossen sind, deren erste bzw. zweite Arbeitskontakte während der ersten bzw. zweiten Dauer des ersten Taktsignals (T1) die Zuführung der Sektorsignale (A7, B7, C7) zu den ersten Verzögerungsgliedern (T36, T46, T56) der Schieberegister (SCH1, SCH2, SCH3) bewirken bzw. die Ausgänge der letzten Verzögerungsglieder (T31, T41, T51) der Schieberegister (SCH1, SCH2, SCH3) mit den ersten Verzögerungsgliedern (T36, T46, T56) verbinden, dass ein zweiter Taktgeber (TG2) vorgesehen ist, der Schiebepulse (T2) während der Modulationsabschnitte (T) zum Betrieb der Schieberegister (SCH1, SCH2, SCH3) erzeugt, dass ein dritter Taktgeber (TG3) vorgesehen ist, der ein drittes Taktsignal (T3) erzeugt, das aus einem Rechteckimpuls besteht, der während der ersten Dauer des ersten Taktsignals (T1) auftritt, dass pro Schieberegister (SCH1, SCH2, SCH3) je eine bistabile Kippstufe (KA, KB, KC) vorgesehen ist, deren Eingänge an die Hauptabgriffe (A4, B4, C4) der Schieberegister angeschlossen sind, deren Steuereingänge das dritte Taktsignal (T3) des dritten Taktgebers (TG3) erhalten und die beim Auftreten des Rechteckimpulses des dritten Taktsignals (T3) die am Eingang anliegenden verzögerten Sektorsignale (A4, B4, C4) speichern und über entsprechende Ausgänge abgeben, dass eine Subtrahierstufe (IA, IB, IC, AD) vorgesehen ist, die einerseits an die Ausgänge der Kippstufen (KA, KB, KC) und andererseits an die ersten Verzögerungsglieder (T36, T46, T56) der Schieberegister (SCH1, SCH2, SCH3) angeschlossen ist und über deren Ausgänge die Differenzsignale (A64, B64, C64) abgegeben werden (Fig. 6).

4. Entzerrer nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgänge der Subtrahierstufe an einen der Codewandler (CW5) angeschlossen sind, der die digital dargestellten Werte der Sinussignale (SIN) bzw. der Cosinussignale (COS) an einen ersten Korrelator (K1) bzw. zweiten Korrelator (K2) abgibt, dass das Fehlersignal (Fw) je einem zweiten Eingang des ersten Korrelators (K1) bzw. einem zweiten Eingang des zweiten Korrelators (K2) zugeführt wird, dass die Ausgänge des ersten Korrelators bzw. des zweiten Korrelators an den Mittelkontakt eines ersten Schalters (SW21) bzw. an den Mittelkontakt eines zweiten Schalters (SW22) angeschlossen sind, dass die Arbeitskontakte des ersten Schalters bzw. des zweiten Schalters an je eine Kippstufe (K11 bis K16 bzw. K17 bis K22) angeschlossen sind, über deren Ausgänge die Korrelatorsignale zur Steuerung der Koeffizientenglieder abgegeben werden und dass unter Verwendung eines vierten Taktgebers (TG4) ein viertes Taktsignal (T4) erzeugt wird, mit dessen Hilfe die Schaltstellungen des ersten Schalters (SW21) und des zweiten Schalters (SW22) eingestellt werden.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Entzerrer zur adaptiven Basisband-Entzerrung eines phasenmodulierten Signals, wonach von einem Demodulator nach kohärenter Demodulation zwei zueinander orthogonale Signale abgeleitet werden, wobei unter Verwendung zweier Filter mit Hauptabgriffen und Nebenabgriffen und daran angeschlossenen Koeffizientengliedern zwei entzerrte Signale gewonnen werden, die beide zusammen pro Modulationsperiode je einen Signalvektor darstellen, mit Hilfe dessen in einer Entscheidungsstufe digitale Sektorsignale abgeleitet werden, welche die Sektoren charakterisieren, in denen die Signalvektoren der entzerrten Signale liegen, wobei unter Verwendung einer Fehlerstufe aus den entzerrten Signalen und aus den Sektorsignalen ein Fehlersignal abgeleitet wird und wobei einerseits das Fehlersignal und andererseits digital dargestellte Werte von Sinussignalen und Cosinussignalen Korrelatoren zugeführt werden, über deren Ausgänge Korrelatorsignale zur Steuerung der Koeffi-

zientenglieder abgegeben werden.

Aus der DE-OS 2 529 030 ist ein Entzerrer zur automatischen Basisbandentzerrung eines phasenmodulierten Signals bekannt. In einem dem Entzerrer vorgeschalteten Demodulator werden die empfangenen Signale in zwei orthogonale Signale aufgespalten, die jeweils einer aus mehreren hintereinandergeschalteten Verzögerungselementen gebildeten Verzögerungsleitung zugeführt werden. Die Ausgangssignale der Verzögerungselemente werden Multiplizierern zugeführt, denen Addierer nachgeschaltet sind. An den Ausgängen der Addierer werden die entzerrten Basisbandsignale abgegeben. Ein nachgeschalteter Phasendetektor ermittelt aus den entzerrten Basisbandsignalen den jeder Modulationsperiode zugeordneten Signalvektor.

In der DE-OS 2 544 124 ist ein Entzerrer zur adaptiven Basisbandentzerrung beschrieben, dem ebenfalls die orthogonalen Basisbandsignale zugeführt werden und bei dem die Beseitigung der Verzerrung der orthogonalen Basisbandsignale auf der Basis einer Entscheidung erfolgt, die von einer Entscheidungsstufe durchgeführt wird. Die Entscheidungsstufe enthält einen Festwertspeicher, mit dessen Hilfe der charakteristische Winkel der Signalphase erkannt wird und den Winkelfunktionen dieses Winkels zugeordnete Signale abgibt, mit denen die Verzerrungen der orthogonalen Signale beseitigt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde einen adaptiven Entzerrer anzugeben, der eine befriedigende Entzerrung der nach der Demodulation auftretenden Signale ermöglicht.

Die erfindungsgemässe Aufgabe wird gelöst durch die Kombination der folgenden Merkmale:

A) Jedem Sektor ist eine mehrstellige im Dualcode ausgedrückte Binärzahl zugeordnet, die durch die Sektorsignale dargestellt ist;

B) pro Bit der Binärzahlen ist je ein Schieberegister vorgesehen, deren Verzögerungsglieder über je einen Hauptabgriff – entsprechend den Hauptabgriffen der Filter – und je über mehrere Nebenabgriffe – entsprechend den Nebenabgriffen der Filter – miteinander verbunden sind;

C) die Sektorsignale werden den Schieberegistern zugeführt, wobei die an den Hauptabgriffen anliegenden Sektorsignale eine Hauptabgriff-Binärzahl darstellen, wobei die an den Nebenabgriffen anliegenden Sektorsignale je eine Nebenabgriff-Binärzahl darstellen und wobei Differenzsignale abgeleitet werden, welche die Differenzen Nebenabgriff-Binärzahl minus Hauptabgriff-Binärzahl signalisieren;

D) die Differenzsignale werden Codewandlern zugeführt, welche Codeworte des Dualcodes in Codeworte des Gray-Codes umsetzen;

E) die Ausgangssignale der Codewandler bilden die digital dargestellten Werte der Sinussignale bzw. Cosinussignale und werden den Korrelatoren zugeführt;

F) der Fehlerstufe werden einerseits die Binärzahlen darstellenden Sektorsignale und andererseits die beiden entzerrten Signale zugeführt und daraus wird das Fehlersignal abgeleitet, das den Winkelfehler signalisiert, mit dem der jeweilige Signalvektor behaftet ist.

Da der erfindungsgemässe Entzerrer zur Entzerrung von Signalen nach der Demodulation geeignet ist, kann dieser Entzerrer mit Vorteil in all jenen Fällen verwendet werden, in denen Daten mit fallweise verschiedenen Geschwindigkeiten über die Übertragungsstrecke übertragen werden. Der erfindungsgemässe Entzerrer kann in digitaler Weise betrieben werden, so dass er durch Änderung einiger Taktfrequenzen in einfacher Weise auf verschiedene Datenübertragungsgeschwindigkeiten umstellbar ist. Im Gegensatz dazu wäre es viel schwieriger, Entzerrer, die zur Entzerrung eines Signals vor der Demodulation geeignet sind, auf fallweise verschiedene Datenübertragungsgeschwindigkeiten umzustellen, weil dies

bei der analogen Betriebsweise derartiger Entzerrer schwierig wäre. Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemässen Entzerrers ist darin zu sehen, dass er Winkelfehler weitgehend verringert, wodurch eine rasche und genaue Ausregelung der Verzerrungen gewährleistet ist.

Wenn der Entzerrer in integrierter Bauweise erstellt werden soll, ist es zweckmässig, dass pro Schieberegister und pro Nebenabgriff je eine Subtrahierstufe vorgesehen ist, die einerseits an die Hauptabgriffe der Schieberegister und andererseits an die Nebenabgriffe der Schieberegister angeschlossen ist und die über ihre Ausgänge die Differenzsignale abgibt.

Wenn der Entzerrer in nicht integrierter Bauweise und mit vergleichsweise geringem technischen Aufwand erstellt werden soll, dann ist es zweckmässig, dass ein erster Taktgeber vorgesehen ist, der ein erstes Taktsignal erzeugt, dessen Periodendauer gleich einem Modulationsabschnitt ist und das während einer ersten bzw. zweiten Dauer innerhalb des Modulationsabschnittes einen ersten bzw. zweiten Binärwert annimmt, dass eine Serie von Schaltern vorgesehen sind, die je einen Ruhekontakt und je zwei Arbeitskontakte besitzen, deren Ruhekontakte an die ersten Verzögerungsglieder der Schieberegister angeschlossen sind, deren erste bzw. zweite Arbeitskontakte während der ersten bzw. zweiten Dauer des ersten Taktsignals die Zuführung der Sektorsignale zu den ersten Verzögerungsgliedern der Schieberegister bewirken bzw. die Ausgänge der letzten Verzögerungsglieder der Schieberegister mit den ersten Verzögerungsgliedern verbinden, dass ein zweiter Taktgeber vorgesehen ist, der Schieberegister während der Modulationsabschnitte zum Betrieb der Schieberegister erzeugt, dass ein dritter Taktgeber vorgesehen ist, der ein drittes Taktsignal erzeugt, das aus einem Rechteckimpuls besteht, der während der ersten Dauer des ersten Taktsignals auftritt, dass pro Schieberegister je eine bistabile Kippstufe vorgesehen ist, deren Eingänge an die Hauptabgriffe der Schieberegister angeschlossen sind, deren Steuereingänge das dritte Taktsignal des dritten Taktgebers erhalten und die beim Auftreten des Rechteckimpulses des dritten Taktsignals die am Eingang anliegenden verzögerten Sektorsignale speichern und über entsprechende Ausgänge abgeben, dass eine Subtrahierstufe vorgesehen ist, die einerseits an die Ausgänge der Kippstufen und andererseits an die ersten Verzögerungsglieder der Schieberegister angeschlossen ist und über deren Ausgänge die Differenzsignale abgegeben werden.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren 1 bis 8 beschrieben, wobei in mehreren Figuren dargestellte gleiche Gegenstände mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet sind. Es zeigen:

Fig. 1 ein System zur Übertragung von Daten mit Hilfe von phasenmodulierten Signalen,

Fig. 2 ein Diagramm zur Erläuterung einzelner Signalvektoren,

Fig. 3 Filter zur Verarbeitung zweier orthogonaler Signale,

Fig. 4 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Korrekturstufe,

Fig. 5 ein Diagramm zur Erläuterung von Fehlerdefinitionen,

Fig. 6 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Korrekturstufe,

Fig. 7 Signale zur Erläuterung der Wirkungsweise der in Fig. 6 dargestellten Korrekturstufe,

Fig. 8 ein Ausführungsbeispiel einer Fehlerstufe.

Fig. 1 zeigt sendeseitig die Datenquelle DQ, den Codierer CD, den Sender und Modulator MOD. Die Datenquelle DQ gibt eine Folge einzelner Bits ab, die mit den Bezugszeichen 0 bzw. 1 bezeichnet werden. Mit Hilfe des Codierers CD werden einzelnen Bitgruppen Phasen eines Trägers zugeordnet. Beispielsweise können den Dreierbitgruppen 000, 001, 010, 011 ... Phasen eines Trägers zugeordnet werden. Aufeinanderfolgende Dreierbitgruppen werden somit durch Phasendifferenzen

zen signalisiert, wobei sich diese Phasendifferenzen entweder auf eine feste Bezugsphase oder auf die jeweils vorhergehende Phase beziehen. Der Codierer CD gibt an den Sender und Modulator MOD ein Signal ab, das die einzelnen Bitgruppen und die entsprechenden Phasendifferenzen signalisiert und mit diesem Signal wird ein Träger phasenmoduliert. Das phasenmodulierte Signal wird über die Übertragungsstrecke UST übertragen.

Empfangsseitig sind vorgesehen der Demodulator DEM, die Filter FIL, die Korrekturstufe KST, der Decodierer DC und die Datensenke DS. Der Demodulator DEM demoduliert das empfangene phasenmodulierte Signal nach Art einer kohärenten Demodulation und liefert zwei zueinander orthogonale Signale I, Q an einen adaptiven Entzerrer, der aus den Filtern FIL und der Korrekturstufe KST besteht. Im Zuge der Entzerrung werden die entzerrten Signale i und q gewonnen, welche als Komponenten eines Signalvektors VS angesehen werden können.

Fig. 2 zeigt einen Signalvektor VS mit den Komponenten i und q. In Fig. 2 sind insgesamt acht Sektoren 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 eingezeichnet. Jeder Signalvektor VS liegt in einem der eingezeichneten Sektoren. Insbesondere liegt der dargestellte Signalvektor VS im Sektor 000. Mit Hilfe der in Fig. 1 dargestellten Korrekturstufe KST und mit Hilfe einer nicht dargestellten Entscheidungsstufe wird in Abhängigkeit vom Signalvektor VS derjenige Sektor ermittelt, in dem der jeweilige Signalvektor liegt und diese Sektoren werden mit den Sektorsignalen A1, B1, C1 signalisiert. Im dargestellten Fall sind die Sektorsignale A1, B1, C1 gleich dem Wort 000. Die Sektoren 000 bis 111 lassen sich auch durch Sektorvektoren VK0, VK1, VK2, VK3, VK4, VK5, VK6, VK7 kennzeichnen. Gemäss Fig. 2 ist dem Sektor 000 der Sektorvektor VK0 mit den Komponenten u und v zugeordnet.

Der in Fig. 1 dargestellte Decodierer DC erhält mit den Sektorsignalen A1, B1, C1 die Information, in welchem Sektor der jeweilige Signalvektor VS eines Modulationsabschnittes liegt. Aus der Reihenfolge zweier aufeinanderfolgender Sektoren ermittelt der Decodierer DC wieder die Dreierbitgruppen, die gemäss Fig. 1 von der Datenquelle DQ dem Codierer CD eingegeben wurden. Diese Dreierbitgruppen werden der Datensenke DS zugeleitet. Als Datenquelle DQ und als Datensenke DS können beispielsweise Lochkartenleser oder Schnelldrucker vorgesehen sein.

Fig. 3 zeigt ausführlicher die in Fig. 1 schematisch dargestellten Filter FIL, die Teile eines adaptiven Entzerrers sind. Eines der beiden Filter wird gebildet durch die Verzögerungsglieder T11, T12, T13, T14, T15, T16, T111, T112, T113, durch die Koeffizientenglieder c11, c12, c13, c14, c15, c16, c17, d11, d12, d13, d15, d16, d17, durch die Digital-Analog-Wandler D/A11, D/A12, D/A13 und durch die Summierer S1, S2, S3. Das andere Filter wird gebildet durch die Verzögerungsglieder T21, T22, T23, T24, T25, T26, T111, T112, T113, durch die Koeffizientenglieder d21, d22, d23, d25, d26, d27, c21, c22, c23, c24, c25, c26, c27, durch die Digital-Analog-Wandler D/A21, D/A22, D/A23, durch die Inverter I1, I2, I3 und durch die Summierer S11, S22, S33. Die Koeffizientenglieder haben mit Ausnahme der Koeffizientenglieder c14 und c24 je einen mit einem Pfeil dargestellten Regeleingang. Mit Hilfe dieser Koeffizientenglieder ist die Dämpfung oder die Verstärkung änderbar, in Abhängigkeit von Regelsignalen, die den Regelsignaleingängen zugeführt werden. Je zwei Regelsignaleingänge sind miteinander an je einen Schaltungspunkt g1, h1, g2, h2, g3, h3, g5, h5, g6, h6, g7, h7 angeschlossen, über die Regelsignale zugeführt werden. Die Koeffizientenglieder c14 und c24 sind nicht regelbar und haben einen Verstärkungsfaktor 1. Die Eingänge der Summierer sind mit Plus- und Minuszeichen gekennzeichnet, um die mit den Summierern vorgenommenen Operationen zu kennzeichnen. Vom Ausgang des Summierers S3 wird das entzerrte Signal i

und vom Ausgang des Summierers S33 wird das entzerrte Signal q abgegeben. Die entzerrten Signale i und q sind, wie bereits erwähnt, die Komponenten des in Fig. 2 dargestellten Signalvektors VS. Mit Hilfe der Entscheidungsstufe E wird derjenige Sektor 000 bis 111 ermittelt, in dem der jeweilige Signalvektor VS liegt. Der ermittelte Sektor wird durch die Sektorsignale x, y, z signalisiert, aber in anderer Darstellung auch durch die in Fig. 4 eingezeichneten Sektorsignale A7, B7, C7 und durch die Sektorsignale A1, B1, C1.

Tabelle 1

x	y	z	A7	B7	C7	
0	0	0	0	0	0	VK0
0	0	1	0	0	1	VK1
0	1	1	0	1	0	VK2
0	1	0	0	1	1	VK3
1	1	0	1	0	0	VK4
1	1	1	1	0	1	VK5
1	0	1	1	1	0	VK6
1	0	0	1	1	1	VK7

Fig. 4 zeigt ausführlicher die Korrekturstufe KST/1, die anstelle der in Fig. 1 schematisch dargestellten Korrekturstufe KST verwendbar ist. Der schematisch dargestellte Codewandler CW erhält eingangs die Sektorsignale x, y, z und gibt die Sektorsignale A7, B7, C7 ab. Die Arbeitsweise des Codewandlers CW ist aus der Tabelle 1 ersichtlich, die ausserdem auch die Zuordnung der Sektorsignale zu den Sektorvektoren VK0 bis VK7 zeigt.

An die Ausgänge des Codewandlers CW sind das Schieberegister SCH1 mit den Verzögerungsgliedern T31 bis T36, das Schieberegister SCH2 mit den Verzögerungsgliedern T41 bis T46 und das Schieberegister SCH3 mit den Verzögerungsgliedern T51 bis T56 angeschlossen. Die in Fig. 3 und in Fig. 4 dargestellten Verzögerungsglieder verzögern jeweils um eine Dauer T die gleich einem Modulationsabschnitt ist. Dabei wird als Modulationsabschnitt T jener Abschnitt des über die Übertragungsstrecke übertragenen modulierten Trägers bezeichnet, dem eine spezielle Bitgruppe und eine spezielle Phase zugeordnet ist. Den in Fig. 3 dargestellten Hauptabgriffen P4 und R4 entsprechen die in Fig. 4 dargestellten Hauptabgriffe A4, B4, C4 der Schieberegister. In ähnlicher Weise entsprechen den in Fig. 3 dargestellten Nebenabgriffen P1, R1, U1 bzw. P2, R2, U2 bzw. P3, R3, U3 bzw. P5, R5 bzw. P6, R6 bzw. P7, R7 die in Fig. 4 dargestellten Nebenabgriffe A1, B1, C1 bzw. A2, B2, C2 bzw. A3, B3, C3 bzw. A5, B5, C5 bzw. A6, B6, C6 bzw. A7, B7, C7. Mit Hilfe des Taktgebers TG werden die Taktimpulse T10 erzeugt, die allen Verzögerungsgliedern T31 bis T36, T41 bis T46, T51 bis T56 zugeführt werden und die jeweils eine Verzögerung um die Dauer T bewirken.

Die drei Inverter IN bilden zusammen mit den Addierern AD1, AD2, AD3, AD4, AD5, AD6 Subtrahierstufen, mit denen Differenzsignale gewonnen werden, welche die Differenzen von Binärzahlen signalisieren, die durch die an den Hauptabgriffen und Nebenabgriffen der Schieberegister abgenommenen Signale gegeben sind. Wenn wir die Signale mit dem gleichen Bezugszeichen wie die Hauptabgriffe bzw. Nebenabgriffe bezeichnen, an denen sie auftreten, dann wird beispielsweise mit Hilfe des Addierers AD5 und mit Hilfe der drei Inverter IN die Differenz A6, B6, C6 - A4, B4, C4 gebildet. Bei dieser Differenzbildung werden gegebenenfalls auch Überträge berück-

sichtigt. Die Sektorsignale A7, B7, C7 bzw. A6, B6, C6 bzw. A5, B5, C5 bzw. A4, B4, C4 bzw. A3, B3, C3 bzw. A2, B2, C2 bzw. A1, B1, C1 stellen somit Dualzahlen dar. Die an den Hauptabgriffen A4, B4, C4 auftretenden und mit gleichen Bezugszeichen bezeichneten Sektorsignale A4, B4, C4 stellen eine Hauptabgriff-Binärzahl dar. Die Sektorsignale der Nebenabgriffe stellen entsprechende Nebenabgriff-Binärzahlen dar. Durch Differenzbildung der Nebenabgriff-Binärzahlen minus der Hauptabgriff-Binärzahlen werden die Differenzsignale gebildet. Derartige Differenzsignale werden von allen Addierern AD1 bzw. AD2 bzw. AD3 bzw. AD4 bzw. AD5 bzw. AD6 an die entsprechenden Codewandler CW1 bzw. CW2 bzw. CW3 bzw. CW4 bzw. CW5 bzw. CW6 abgegeben.

Die Tabelle 2 zeigt die Wirkungsweise des Codewandlers CW5, dem eingangs die Differenzsignale A64, B64, C64 zugeführt werden und der über die beiden Ausgänge die Signale SIN und COS abgibt. Die übrigen Codewandler CW1, CW2, CW3, CW4, CW6 arbeiten in gleicher Weise und bewirken somit eine Codewandlung vom Dualcode in den Gray-Code. Es werden nur je zwei Bits der Gray-Codeworte verwendet.

Tabelle 2

Dual			Gray		
A64	B64	C64	SIN	COS	
0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	1

Die Korrelatoren K sind eingangs an die Codewandler CW1 bis CW6 angeschlossen, erhalten das Fehlersignal Fw und geben über ihre Ausgänge Korrelatorsignale ab, die zur Regelung der in Fig. 3 dargestellten Koeffizientenglieder verwendet werden.

Der Fehlerstufe FS werden einerseits die Signale i und q zugeführt zur Kennzeichnung der Signalvektoren VS und andererseits die Sektorsignale A7, B7, C7 zur Kennzeichnung desjenigen Sektors, in dem der betreffende Signalvektor liegt und zur Kennzeichnung desjenigen Sektorvektors, der dem Signalvektor am nächsten kommt. Mit Hilfe der Fehlerstufe FS wird der Winkelfehler Fw ermittelt, das mit Hilfe der Verzögerungsglieder T61, T62, T63 um insgesamt drei Modulationsperioden T verzögert wird.

Fig. 5 zeigt ein Diagramm zur Erläuterung mehrerer Fehlerdefinitionen. Die von den Ausgängen der in Fig. 3 dargestellten Summierer S3 bzw. S33 abgegebenen Signale i bzw. q sind die Komponenten des in Fig. 5 dargestellten Signalvektors VS. Mit Hilfe der in Fig. 3 dargestellten Entscheidungsstufe E wird der dem Signalvektor VS am nächsten gelegene Sektorvektor ermittelt. Gemäss Fig. 5 ist dies der Sektorvektor VK0 mit den Komponenten u und v. Es wird von einer normierten Darstellung dieses Sektorvektors VK0 ausgegangen, so dass dessen Betrag gleich 1 ist. Zur Kennzeichnung des gestrichelt dargestellten Fehlervektors VF können grundsätzlich der Inphasensignalfehler Fi, der Orthogonalsignalfehler Fr, der Winkelfehler Fw und der Amplitudenfehler Fa dienen. Diese Ausdrücke sind durch folgenden Gleichungen gegeben:

$$\begin{aligned} F_i &= i - u \\ F_r &= q - v \\ F_w &= qu - iv \\ F_a &= qv + iu - 1 \end{aligned}$$

Wenn der Signalvektor VS auf der Verbindungslinie P1, P2 liegt, dann ist der Inphasensignalfehler $F_i = 0$, wenn der Signalvektor VS auf der Linie P3, P4 liegt, dann ist der Orthogonalsignalfehler $F_r = 0$ und wenn der Signalvektor VS auf dem Einheitskreis liegt, dann ist der Amplitudenfehler $F_a = 0$, obwohl in allen drei Fällen eine Winkelabweichung des Signalvektors VS vom Sektorvektor VK0 auftritt. Es ist daher zweckmässig bei der Abschätzung des Fehlers den Winkelfehler Fw heranzuziehen, da nur er die richtige Zuordnung des Signalvektors VS zum zugehörigen Sektorvektor charakterisiert. Auch dann, wenn der Signalvektor VS beispielsweise auf den Punkt P5 gerichtet ist, signalisiert der Winkelfehler $F_w = 0$ den richtigen Sektorvektor VK0, obwohl der Inphasensignalfehler F_i , der Orthogonalsignalfehler F_r und der Amplitudenfehler F_a beträchtlich von 0 verschieden sind. Der anhand der Figuren 3 und 4 beschriebene adaptive Entzerrer zeichnet sich somit dadurch aus, dass er die jeweils auftretenden Winkelfehler Fw ermittelt, wodurch eine rasche und genaue Ausregelung der Verzerrungen gewährleistet ist.

Fig. 6 zeigt die Korrekturstufe KST/2, die anstelle der in Fig. 1 schematisch dargestellten Korrekturstufe KST verwendbar ist. Der Codewandler CW erhält eingangs die Signale x, y, z und arbeitet gemäss Tabelle 1. Die Schalter SW11, SW12, SW13 werden mit dem Taktsignal T1 des Taktgebers TG1 gesteuert. Wenn das Taktsignal T1 die Binärwerte 0 bzw. 1 annimmt, dann sind die Schalter SW11, SW12, SW13 in der Stellung 0 bzw. 1. Die Mittelkontakte dieser Schalter sind an die Schieberegister SCH11, SCH21, SCH31 angeschlossen, die aus den Speicherzellen K31, bis K36, K41 bis K46, K51 bis K56 gebildet werden. Die Hauptabgriffe A4, B4, C4 entsprechen wieder den Hauptabgriffen P4, R4 gemäss Fig. 3. Die Nebenabgriffe A1, B1, C1 bzw. A2, B2, C2 bzw. A3, B3, C3 bzw. A5, B5, C5 bzw. A6, B6, C6 bzw. A7, B7, C7 entsprechen wieder den in Fig. 3 dargestellten Nebenabgriffen. Die Schieberegister SCH11, SCH21, SCH31 werden mit den Schrittimpulsen des Taktsignals T2 gesteuert.

Die Hauptabgriffe A4, B4, C4 sind an je einer Kippstufe KA, KB, KC angeschlossen, welche die Informationen zu Zeitpunkten übernehmen, die vom Taktsignal T3 abhängig sind. Die in diesen Kippstufen gespeicherten Informationen stehen dann als Signale A40 bzw. B40 bzw. C40 eine gewisse Dauer an den Eingängen der Inverter IA bzw. IB bzw. IC zur Verfügung. Die Ausgänge dieser Inverter sind an den Summierer AD angeschlossen, der mit den entsprechenden Invertern eine Subtrahierstufe bildet und die Differenzsignale A64 bzw. B64 bzw. C64 an den Codewandler CW5 abgibt. Mit Hilfe der Korrelatoren K1, K2 werden die vom Codewandler CW5 abgegebenen Signale SIN, COS mit dem Fehlersignal Fw korreliert und die korrelierten Signale werden an die Mittelkontakte der Schalter SW21 und SW22 abgegeben. Der Taktgeber TG4 erzeugt das Taktsignal T4, das die Schalter SW21, SW22 steuert. Die Kontakte dieser Schalter sind an die Kippstufen K11 bis K22 angeschlossen, die zur Speicherung der Korrelatorsignale dienen und über deren Ausgänge die Regelsignale zur Regelung der in Fig. 2 dargestellten Koeffizientenglieder abgegeben werden.

Im folgenden wird die Wirkungsweise der in Fig. 6 dargestellten Korrekturstufe anhand der in Fig. 7 dargestellten Diagramme erläutert. Die Abszissenachse bezieht sich auf die Zeit t. Zum Zeitpunkt t2 werden mit der negativen Flanke des Taktsignals T3 die Signale A4, B4, C4 in die Kippstufen KA, KB, KC übernommen, so dass an deren Ausgängen die Signale A40, B40, C40 abnehmbar sind. Da erst zum Zeitpunkt t18 wieder die Signale A4, B4, C4 in die Kippstufen KA, KB, KC übernommen

werden, bleiben die Binärwerte der Signale A40, B40, C40 ab dem Zeitpunkt t2 bis zum Zeitpunkt t18 konstant.

Es wird angenommen, dass vor dem Zeitpunkt t1 die dargestellten Sektorsignale A7, B7, C7 vom Codewandler CW abgegeben werden. Zum Zeitpunkt t1 werden mit der negativen Flanke des Signals T2 die Sektorsignale A7, B7, C7 in die Kippstufen K36, K46, K56 übernommen, so dass sich die Signale A6, B6, C6 ergeben. Zu den Zeitpunkten t4, t6, t8, t10, t12, t14 werden weitere Schiebepulse des Taktsignals T2 den Kippstufen der Schieberegister SCH11, SCH21, SCH31 zugeführt, so dass sich die zeitversetzten Signale A5 bis A1, B5 bis B1, C5 bis C1 ergeben. Am Summierer AD liegen einerseits die Ausgangssignale der Inverter IA, IB, IC und andererseits die Sektorsignale A1, B1, C1, da zum Zeitpunkt t4 mit Hilfe des Taktsignals T1 die Schalter SW11, SW12, SW13 in ihre 0-Schaltstellung versetzt wurden. Mit Hilfe der Inverter IA, IB, IC und des Summierers AD werden somit dauernd die Differenzen der Binärzahlen ermittelt, die einerseits durch die Signale A40, B40, C40 und andererseits durch die Signale A1, B1, C1 dargestellt werden. Bei der Ermittlung dieser Differenzen werden auch Überträge berücksichtigt und auf diese Weise werden die Differenzsignale A64, B64, C64 erzeugt. Zwischen den Zeitpunkten t4 und t6 wird beispielsweise mit Hilfe der Inverter IA, IB, IC und des Summierers AD die Differenz $011 - 011 = 000$ ermittelt. Ab dem Zeitpunkt t10 wird die Differenz $010 - 011 = 111$ ermittelt. Bei dieser Differenzermittlung werden Überträge berücksichtigt, weshalb wir näher darauf eingehen. Durch die Inverter IA, IB, IC wird das Einercomplement $111 - 011$ gebildet:

$$-011 = 111 - 011 = 111$$

Mit $111 - 011 = 100$ und $-111 = -1000 + 001$ ergibt sich:

$$-011 = 111 - 011 - 111 = 100 - 1000 + 001$$

Für die Differenz ergibt sich:

$$010 - 011 = 010 + 100 - 1000 + 001 = 111 - 1000$$

Die Zahl 001 wird dem Addierer AD als Eingangsübertrag fest eingegeben. Die Zahl 1000 reduziert das Ergebnis auf den Zahlenbereich 0 bis 7, falls ein Übertrag in der vierten Stelle auftritt. Die wesentlichen 3 Bit der Subtraktion sind somit 111. Zu dem gleichen Ergebnis hätte man auch anhand der Fig. 2 kommen können, wenn man vom Sektor 010 ausgeht und wenn man berücksichtigt, dass der Subtrahent -011 der Dezimalzahl 3 entspricht und eine Verdrehung in negativer Richtung und im Uhrzeigersinn um drei Sektoren erfordert. Wenn man somit vom Sektor 010 ausgeht, dann ergibt sich in negativer Richtung zunächst der Sektor 001, dann der Sektor 000 und als dritter Sektor ergibt sich der gesuchte Sektor 111.

Ab dem Zeitpunkt t12 bis zum Zeitpunkt t14 ergibt sich die Differenz $101 - 011 = 010$. Wenn man gemäss Fig. 2 wieder vom Sektor 101 ausgeht, ist der dritte Sektor in negativer Richtung der gesuchte Sektor 010.

Zum Zeitpunkt t16 nehmen die Schalter SW11, SW12, SW13 wieder ihre 1-Schaltstellungen ein, so dass mit dem zu diesem Zeitpunkt auftretenden Schiebepuls des Signals T2 neuerlich die Ausgänge des Codewandlers CW an die Kippstufen K36, K46, K56 angeschlossen sind, wodurch die an den Ausgängen der anliegenden Signale zum Zeitpunkt t17 übernommen werden. In weiterer Folge werden die an den Kippstufen K36, K46, K56 übernommenen Signale wieder, wie bereits beschrieben, weitergeschoben. Der Codewandler CW5 bewirkt eine Codewandlung der durch die Signale A64, B64, C64 gegebenen Dual-Codeworte in Gray-Codeworte gemäss der Tabelle 2. Es werden aber nicht die ganzen Gray-Codeworte benötigt, sondern nur die ersten beiden Stellen, die durch die Signale SIN bzw. COS dargestellt werden. Im Takt des Signals T4 werden die von den Korrelatoren K1 bzw. K2 abgegebenen Korrelatorsignale über die Schalter SW21 bzw. SW22 in die Kippstufen K11 bis K16 bzw. K17 bis K22 übernommen und bleiben dort bis zum nächsten Modulationsabschnitt T gespeichert.

Fig. 8 zeigt ein Ausführungsbeispiel der in den Fig. 4 und 6 schematisch dargestellten Fehlerstufe FS. Diese Fehlerstufe besteht aus den Invertern IN1, IN2, IN3, aus den Widerständen R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, aus den Schaltern SW1, SW2, SW3, SW4, aus dem Operationsverstärker OP und aus den Exklusiv-ODER-Gattern EX1, EX2, EX3. Die Schalter SW1 bis SW4 können je zwei Schalterstellungen einnehmen, von denen die voll eingezeichneten Schalterstellungen mit dem Bezugszeichen 1 und die gestrichelt dargestellten Schalterstellungen mit dem Bezugszeichen 0 bezeichnet sind. Diese Schalter SW1 bis SW4 werden der Reihe nach von den Ausgangssignalen des Gatters EX3 bzw. des Gatters EX2 bzw. des Gatters EX1 bzw. vom Signal A7 gesteuert, wobei die Schalter SW1 bis SW4 immer dann ihre 0- bzw. 1-Schalterstellung einnehmen, wenn die steuernden Signale einen 0- bzw. 1-Binärwert annehmen. Vom Ausgang des Operationsverstärkers OP wird das Signal Fw abgegeben, das, wie bereits erwähnt, den Winkelfehler darstellt.

Bei der Beschreibung der Ausführungsbeispiele anhand der Fig. 1 bis 7 wurde angenommen, dass die in Fig. 1 dargestellte Datenquelle DQ Dreierbitgruppen abgibt und dass der Decoder DC Dreierbitgruppen an die Datensenke DS weiterleitet. Aufgrund dieser Dreierbitgruppen wurden Sektorsignale erzeugt, die gemäss Fig. 2 insgesamt $2^3 = 8$ Sektoren 000 bis 111 signalisieren. Wenn allgemein Gruppen mit je n Bits einerseits von der Datenquelle DQ abgegeben und über den Decoder DC der Datensenke DS zugeführt werden, dann werden mit Sektorsignalen insgesamt 2^n Sektoren signalisiert.

Anhand der Fig. 4 und 6 wurde erläutert, dass mit Hilfe der Codewandler CW eine Codeumsetzung vorgenommen wird. Es wäre grundsätzlich denkbar, dass die in Fig. 3 dargestellte Entscheidungsstufe E anstelle der Signale x, y, z die Signale A7, B7, C7 abgibt, so dass die in den Fig. 4 und 6 dargestellten Codewandler CW entbehrlich sind.

Fig. 1

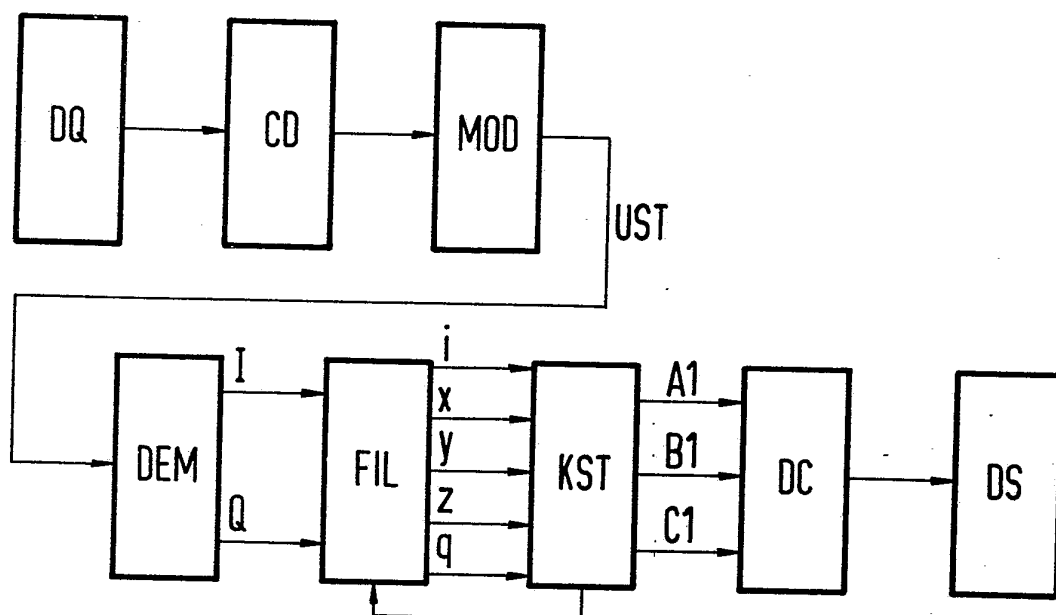


Fig. 2

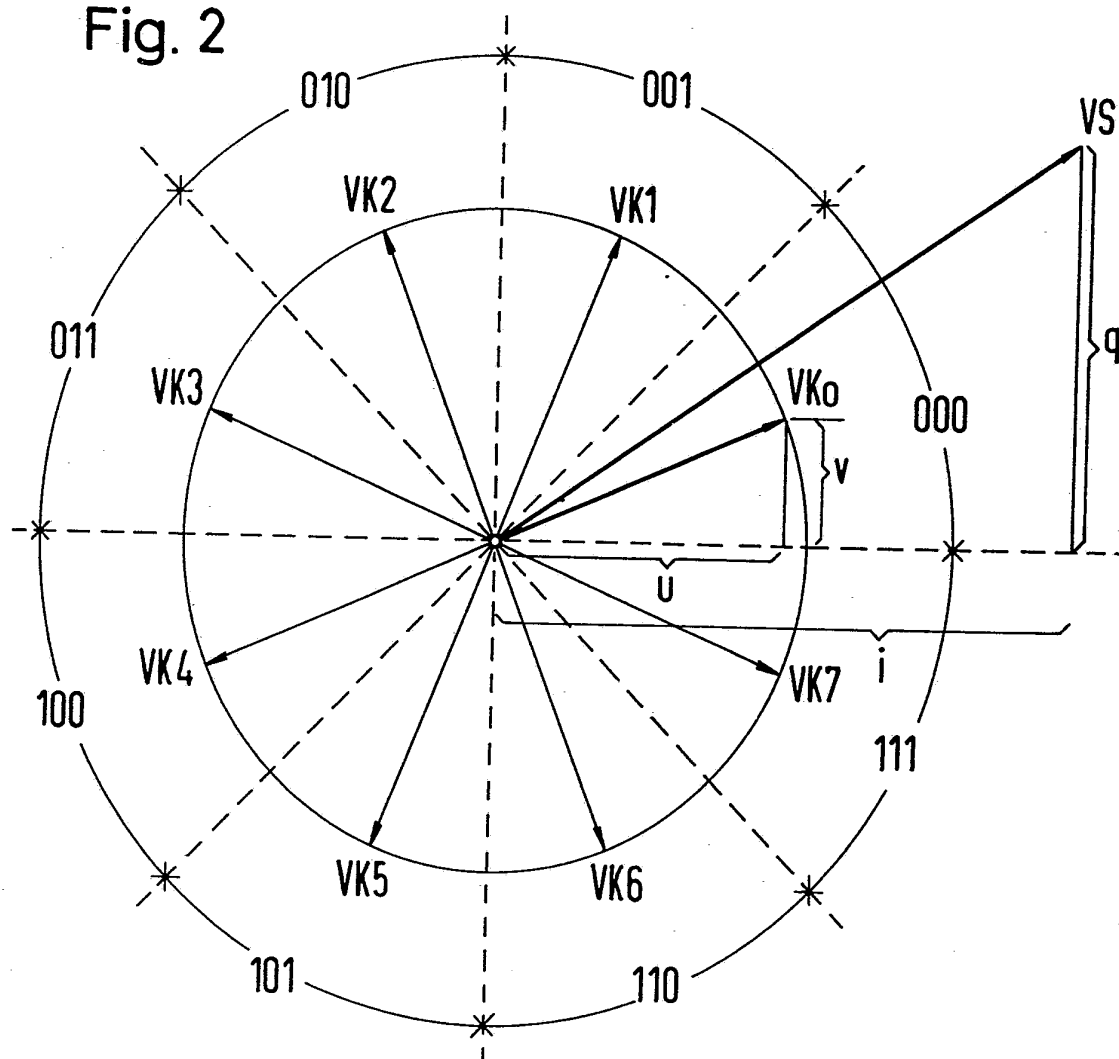


Fig. 3

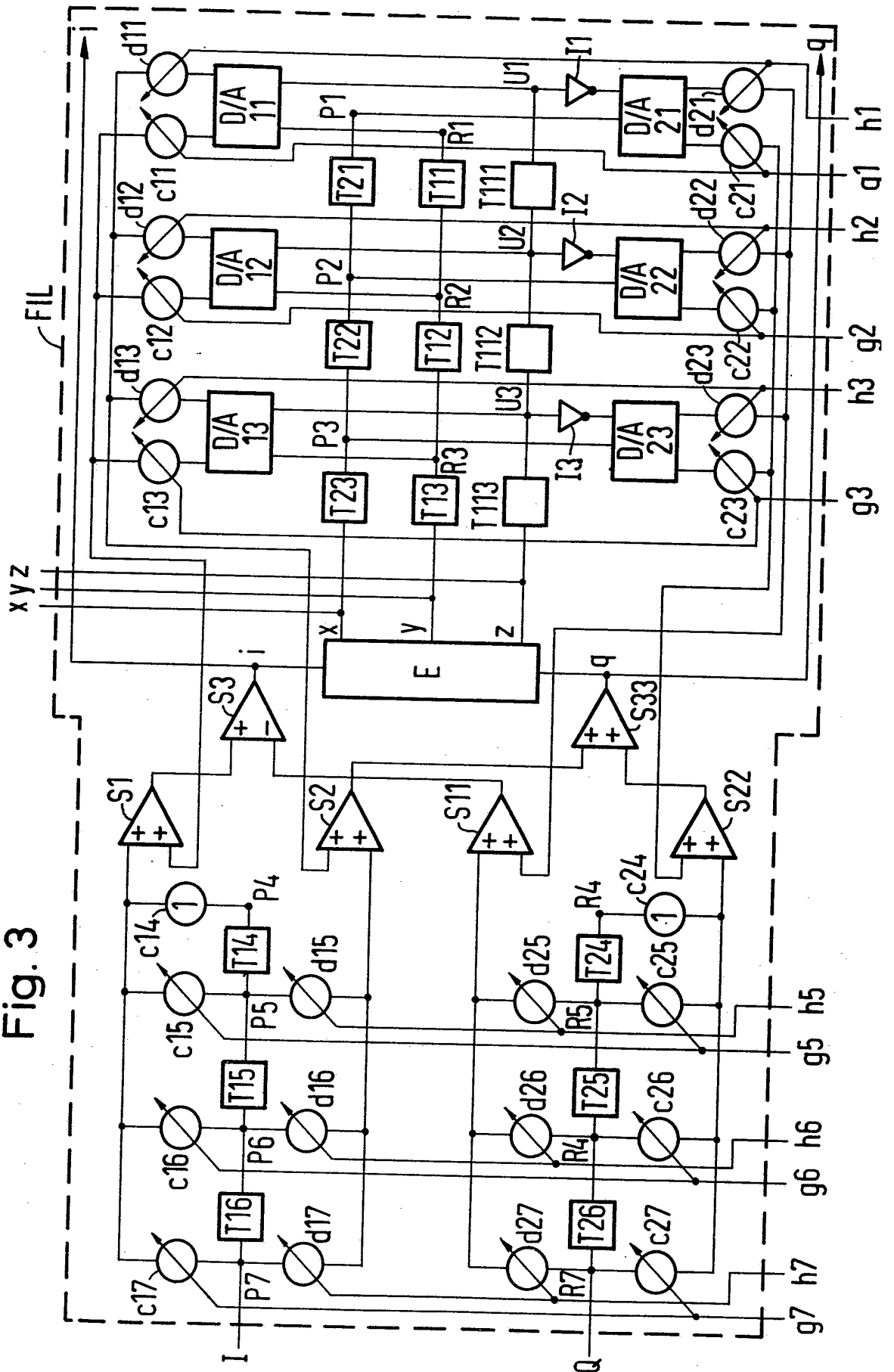


Fig. 4

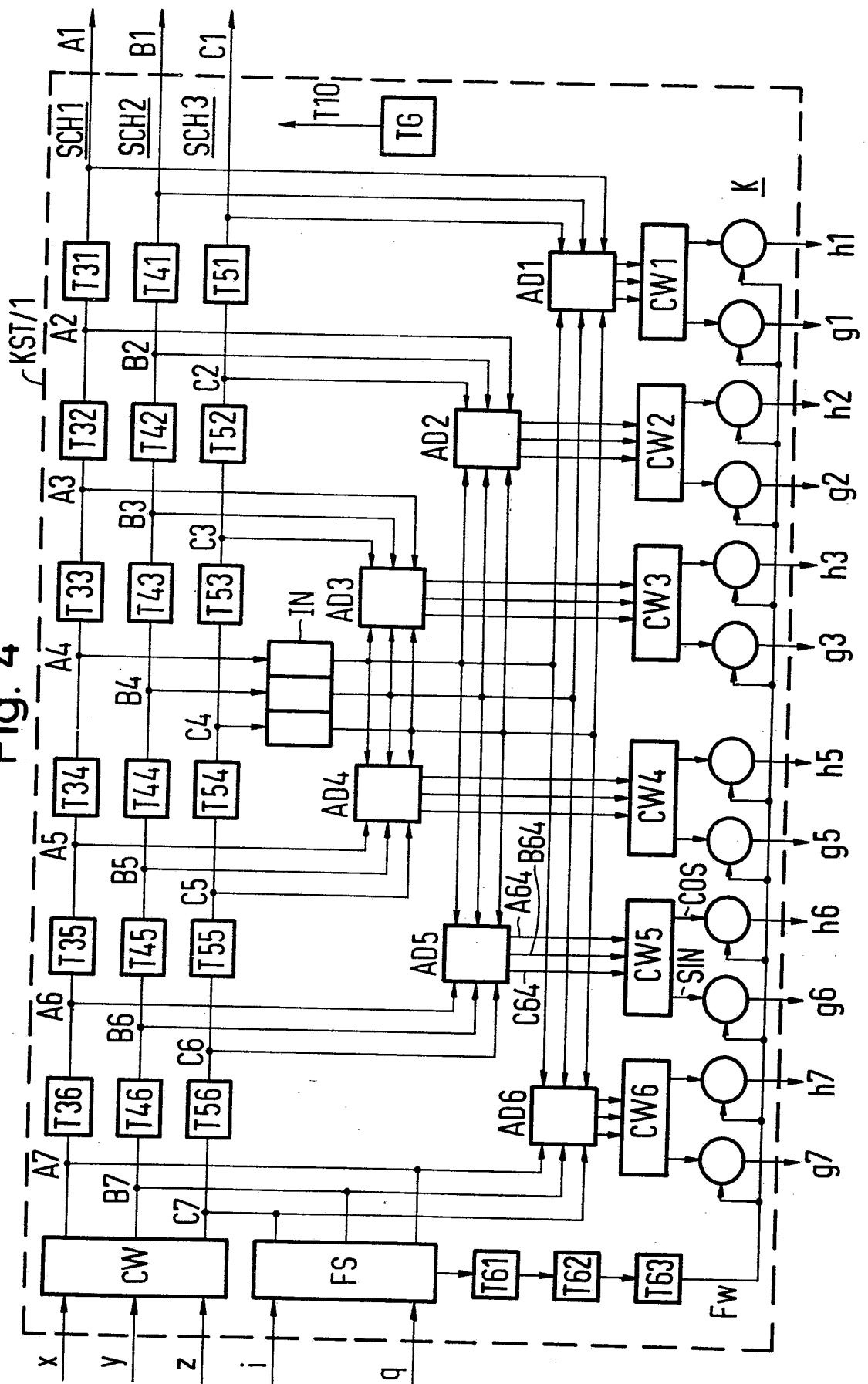


Fig. 5

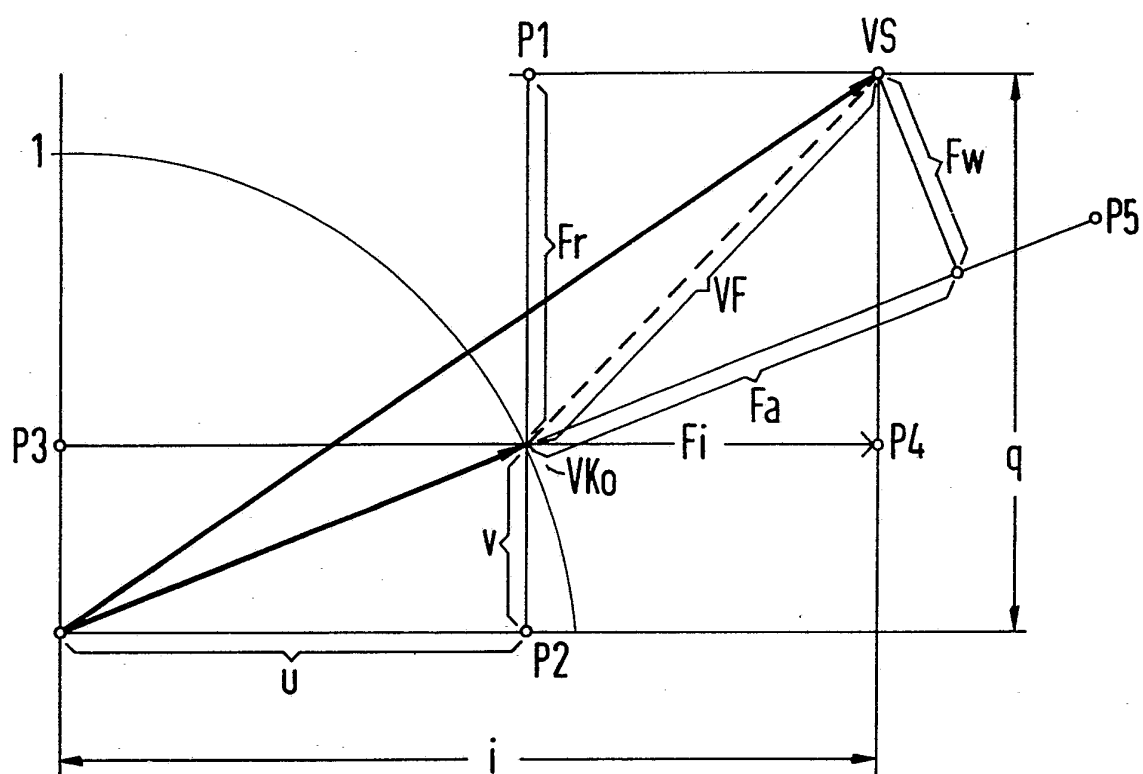


Fig. 6

KST/2

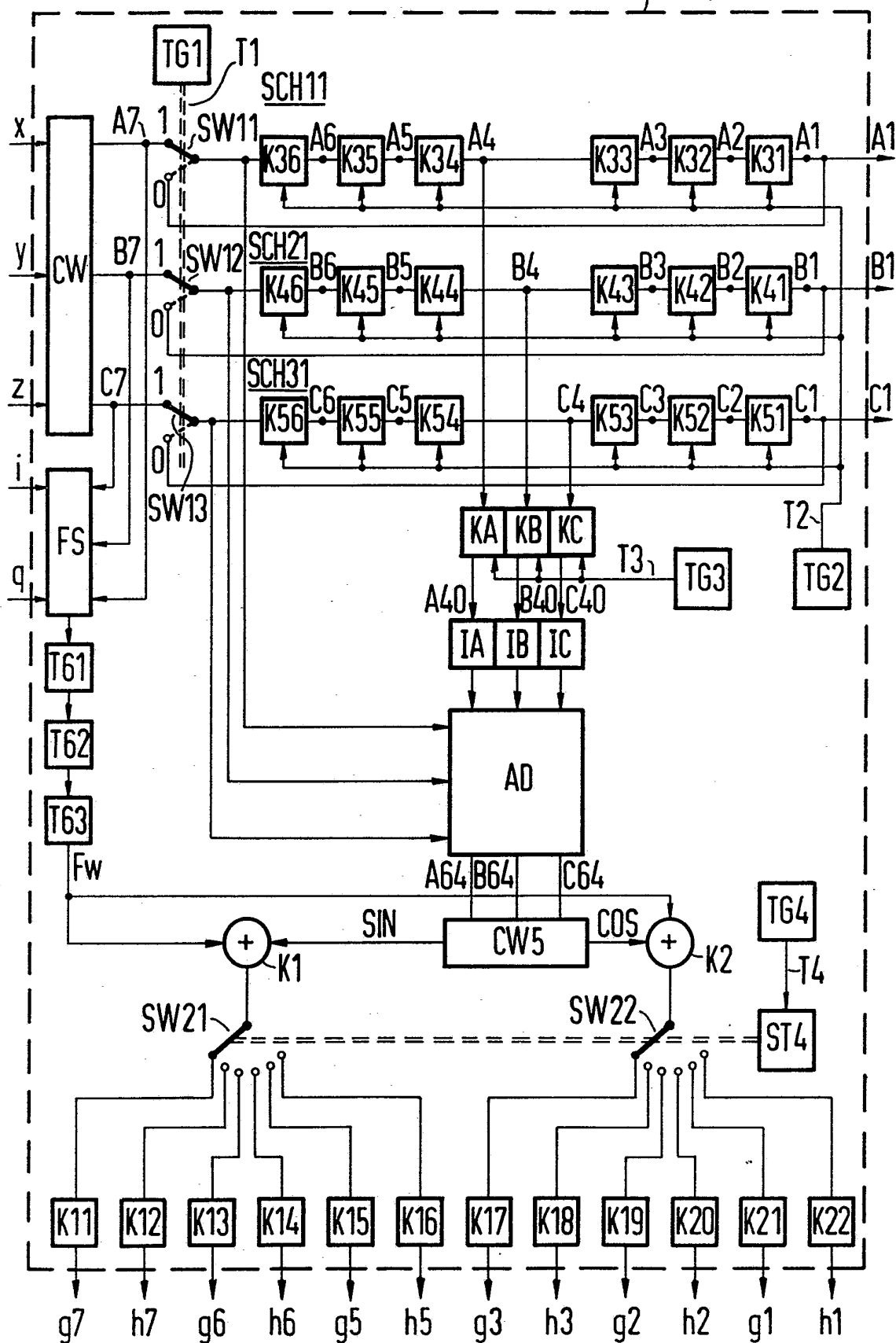


Fig. 7

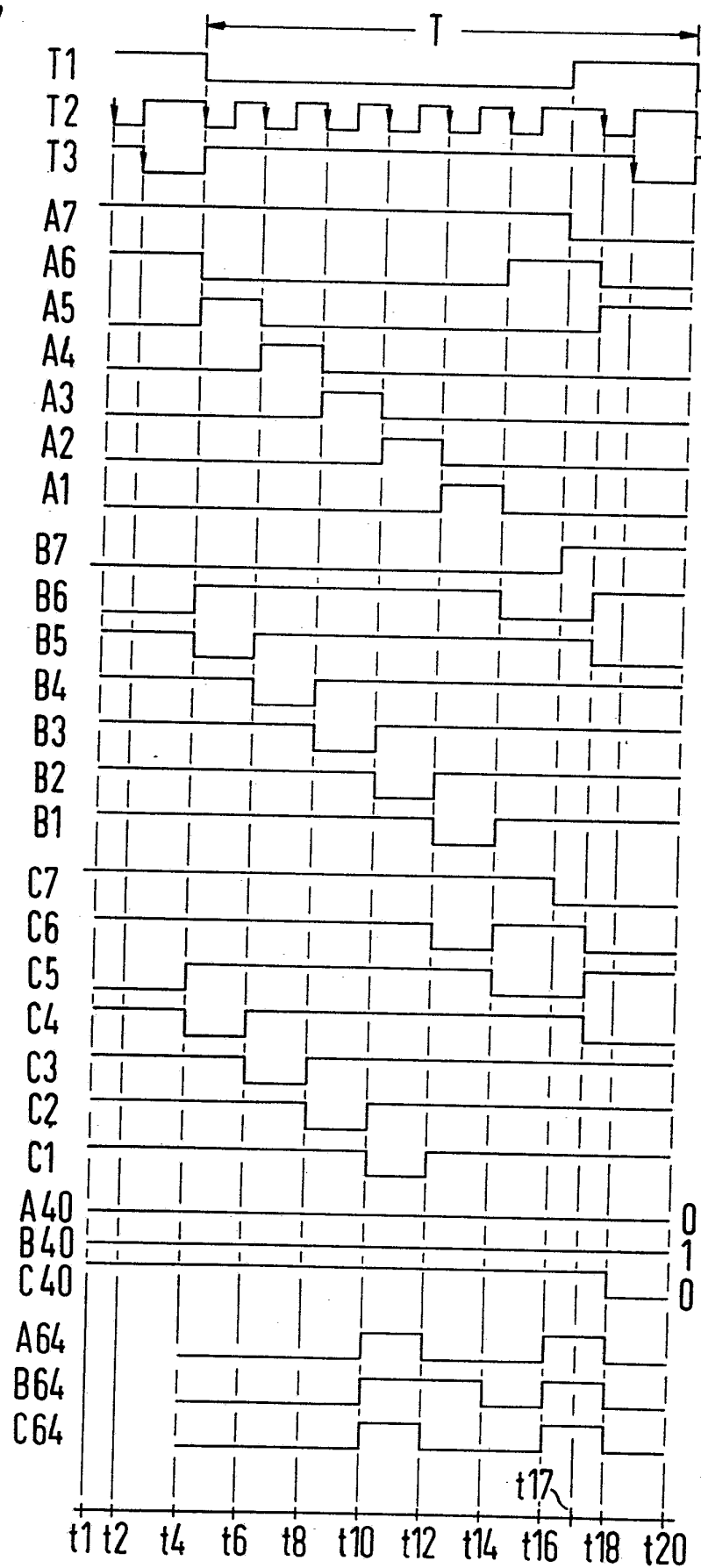


Fig. 8

