



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 30 255 T2 2006.11.16

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 098 442 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 30 255.2

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/JP99/03048

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 923 952.8

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2000/004643

(86) PCT-Anmeldetag: 08.06.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 27.01.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 09.05.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 08.03.2006

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 16.11.2006

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: H03M 1/08 (2006.01)  
G06F 17/17(2006.01)

(30) Unionspriorität:

21853298 16.07.1998 JP

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR

(73) Patentinhaber:

Niigata Seimitsu Co., Ltd., Niigata, JP

(72) Erfinder:

KOYANAGI, Yukio, Jouetsu-shi, Niigata 943-0834,  
JP; TORAICHI, Kazuo, Sayama-shi, Saitama  
350-1305, JP

(74) Vertreter:

Grommes, K., Dr.-Ing., Pat.-Anw., 56068 Koblenz

(54) Bezeichnung: DIGITAL-ZU-ANALOG KONVERTIERER

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft einen Digital/Analog-Konverter zur Umwandlung von diskreten digitalen Daten in kontinuierliche analoge Signale. In der vorliegenden Beschreibung wird angenommen, dass ein Fall, bei dem Funktionswerte endliche Werte mit Ausnahme von Null in einer lokalen Region aufweisen und in Regionen, die sich von dieser Region unterscheiden, Null werden, als eine "lokale Unterstützung" ("local support") bezeichnet wird.

Stand der Technik

**[0002]** Eine neuere digitale Audiovorrichtung, z. B. ein CD-Player (Compact Disk-Player) bedient sich eines D/A (Digital-Analog)-Konverters, auf den eine Oversampling-Technik angewandt wird, um ein kontinuierliches analoges Audiosignal aus diskreten Musikdaten (digitalen Daten) zu erhalten. Ein derartiger D/A-Konverter verwendet im allgemeinen einen digitalen Filter, um eine Pseudo-Samplingfrequenz durch Interpolation von digitalen Eingabedaten zu erhöhen, und gibt glatte analoge Sprachsignale aus, indem er die jeweiligen Interpolationswerte durch ein Tiefpassfilter nach Erzeugen einer Treppensignal-Wellenform leitet, wobei jeder Interpolationswert vom Sampling-Halte-Schaltkreis gehalten wird.

**[0003]** D/A-Konverter sind beispielsweise in US-3 543 009 und bei M. Kamada et al., "Quadratic spline interpolator", "International Journal of Systems Science", Bd. 27, Nr. 10 (1996), S. 977–983, beschrieben.

**[0004]** Ein Dateninterpolationsvorgang wird mit einem digitalen Filter, der in einem D/A-Konverter enthalten ist, unter Anwendung einer Samplingfunktion, die im allgemeinen als eine Si-Funktion bezeichnet wird, durchgeführt. [Fig. 13](#) ist ein beispielhaftes Diagramm einer Si-Funktion. Diese Si-Funktion wird erhalten, wenn eine Dirac-delta-Funktion einer umgekehrten Fourier-Transformation unterzogen wird. Sie ist als  $\sin(\pi ft)/(\pi ft)$  definiert, wobei die Samplingfrequenz f ist. Diese Si-Funktion erreicht nur am Samplingpunkt, wo t = 0, den Wert 1, während sie an sämtlichen übrigen Samplingpunkten den Wert Null hat.

**[0005]** Herkömmlicherweise wird ein Oversampling-Vorgang unter Verwendung eines Digitalfilters durchgeführt, bei dem die Wellenformdaten der Si-Funktion auf einen Abgriffkoeffizienten eines FIR-Filters (Filter mit begrenztem Impulsansprechverhalten) eingestellt werden.

**[0006]** Bei der Oversampling-Technik zur Durchfüh-

rung eines Interpolationsvorgangs an diskreten Sprachdaten unter Verwendung eines digitalen Filters kann ein Tiefpassfilter mit einer mäßigen Dämpfungscharakteristik verwendet werden. Daher kann sich die Phasencharakteristik mit einem Tiefpassfilter einer linearen Phasencharakteristik annähern und das Sampling-Aliasing-Geräusch kann verringert werden. Ein derartiger Effekt wird bei einer höheren Psuedosampling-Frequenz ausgeprägter. Wenn jedoch die Samplingfrequenz höher wird, nimmt auch die Verarbeitungsgeschwindigkeit des digitalen Filters und der Samplinghalteschaltung zu. Daher sind teure Bauteile für den Hochgeschwindigkeitsvorgang erforderlich, was zu einer Erhöhung der gesamten Bauteilkosten führt. Wenn ferner eine hohe Samplingfrequenz (z. B. mehrere MHz) für Bilddaten und dergl. erforderlich ist, müssen ein digitaler Filter für das Oversampling und eine Samplinghalteschaltung angebracht werden, wobei Bauteile verwendet werden, die im Bereich von einigen Zehn MHz bis mehrere Hundert MHz betrieben werden, was nicht leicht zu realisieren ist.

**[0007]** Ferner wird selbst bei Anwendung der Oversampling-Technik ein glattes analoges Signal erzeugt, indem man eine Treppensignal-Wellenform durch ein Tiefpassfilter leitet. Daher lässt sich bei Verwendung eines Tiefpassfilters eine lineare Phasencharakteristik im strengen Sinn nicht erwarten. Außerdem handelt es sich bei der vorerwähnten Si-Funktion um eine Funktion, die bei  $\pm\infty$  nach Null konvergiert. Wenn daher ein korrekter Interpolationswert berechnet wird, sollten sämtliche digitalen Datenwerte berücksichtigt werden. Jedoch wird im Hinblick auf die Schaltungsgröße und dergl. die Anzahl an Abgriffkoeffizienten eines digitalen Filters so eingestellt, dass der Bereich von digitalen Daten, die zu berücksichtigen sind, begrenzt ist. Daher enthält ein erhaltener Interpolationswert einen Abschneidefehler.

**[0008]** Somit benötigt der herkömmliche D/A-Konverter unter Einsatz der Oversampling-Technik Bauenteile für einen Hochgeschwindigkeitsbetrieb, um eine Psuedosamplingfrequenz zu erhöhen, wodurch hohe Kosten entstehen oder das erforderliche System nur schwer zu realisieren ist. Zudem ergibt sich aus der Verwendung eines Tiefpassfilters eine Beeinträchtigung der Phasencharakteristik und es ist ein Abschneidefehler enthalten, da der digitale Filter, auf den eine Si-Funktion angewandt wird, verwendet wird. Somit kommt es zu einer Verzerrung der ausgegebenen Wellenform entsprechend der Beeinträchtigung der Phasencharakteristik und dem Abschneidefehler.

Kurze zusammenfassende Darstellung der Erfindung

**[0009]** Die vorliegende Erfindung wurde auf der Grundlage der vorerwähnten Probleme entwickelt,

wobei die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin besteht, einen Digital/Analog-Konverter bereitzustellen, der dazu befähigt ist, eine Ausgabewellenform mit einer geringeren Verzerrung zu erzielen, ohne dass die Geschwindigkeit der Funktionsteile zunimmt.

**[0010]** Die Erfindung betrifft einen Digital/Analog-Konverter nach Anspruch 1.

**[0011]** Der erfindungsgemäße Digital/Analog-Konverter erzeugt vorgegebene Stufenfunktionen mit Werten, die den jeweiligen digitalen Eingabedaten entsprechen, und addiert die Stufenfunktionen zu einer stufenweisen analogen Spannung, wobei er die analogen Integrationsvorgänge mehrfach vornimmt, um ein kontinuierliches analoges Signal zu erzeugen, das die Spannungen, die den nacheinander eingegebenen digitalen Daten entsprechen, glatt verbindet. Auf diese Weise wird eine Stufenfunktion, die den einzelnen Daten aus einer Mehrzahl von nacheinander eingegebenen digitalen Daten entspricht, erzeugt. Die Werte der Stufenfunktionen werden addiert. Anschließend wird das Additionsergebnis in eine analoge Spannung umgewandelt und integriert, um ein kontinuierliches analoges Signal zu erhalten. Daher besteht keine Notwendigkeit zur Verwendung eines Tiefpassfilters, um ein endgültiges analoges Signal zu erhalten. Somit ergibt sich keine Beeinträchtigung der Gruppenverzögerungscharakteristik, die durch eine variable Phasencharakteristik in Abhängigkeit von der Frequenz eines zu verarbeitenden Signals verursacht wird, so dass eine ausgegebene Wellenform mit geringerer Verzerrung resultiert. Da ferner keine Notwendigkeit zur Beschleunigung der Betriebsgeschwindigkeit von Teilen und zur Verwendung von teuren Teilen besteht, ist es im Gegensatz zum herkömmlichen Verfahren, mit dem das Oversampling durchgeführt wird, möglich, die Kosten für die Bauteile zu senken. Insbesondere wird die vorstehend beschriebene Stufenfunktion vorzugsweise erhalten, indem man eine Samplingfunktion, die aus einem stückweisen Polynom besteht, mehrfach differenziert. Dagegen lässt sich die Wellenform, die einer vorgegebenen Samplingfunktion entspricht, erhalten, indem man diese Stufenfunktion mehrfach integriert. Daher lässt sich der Faltungsvorgang unter Verwendung der Samplingfunktion in gleichwertiger Weise unter Erzeugung der Stufenfunktion durchführen, so dass der Bearbeitungsinhalt vereinfacht werden kann und das Verarbeitungsvolumen, das zur Umwandlung von digitalen Daten in analoge Signale erforderlich ist, verringert werden kann.

**[0012]** Die vorstehend beschriebene Samplingfunktion ist vorzugsweise über den gesamten Bereich nur einmal differenzierbar und weist Werte einer lokalen Unterstützung auf. Es wird angenommen, dass es erforderlich ist, dass verschiedene Signale, die in der natürlichen Welt existieren, differenzierbar sind, da

sich die Signale glatt verändern. Dennoch wird angenommen, dass nicht notwendigerweise die Differenzierbarkeit nicht immer unbegrenzt ist und dass es möglich ist, sich in ausreichender Weise natürlichen Erscheinungen zu nähern, so lange die Signale nur einmal differenziert werden können. Somit wird angenommen, dass zwar herkömmlicherweise zahlreiche Vorteile durch Verwendung einer Samplingfunktion von lokaler Unterstützung, die einer endlichen Anzahl von Differenzivorgängen unterzogen werden kann, gegeben sind, dass aber eine Samplingfunktion, die diese Bedingungen erfüllt, nicht existiert. Trotzdem wurde aufgrund der Untersuchungen des Erfinders eine Funktion, die die vorstehend beschriebenen Bedingungen erfüllt, aufgefunden.

**[0013]** Speziell handelt es sich bei der vorstehend beschriebenen Samplingfunktion um eine Funktion von lokaler Unterstützung mit von Null abweichenden Werten in einem Bereich, in dem der Samplingpunkt  $t$  von  $-2$  bis  $+2$  geht. Diese Samplingfunktion ist so definiert, dass folgendes gilt:

$$(-t^2 - 4t - 4)/4 \text{ für } -2 \leq t < -3/2,$$

$$(3t^2 + 8t + 5)/4 \text{ für } -3/2 \leq t < -1,$$

$$(5t^2 + 12t + 7)/4 \text{ für } -1 \leq t < -1/2,$$

$$(-7t^2 + 4)/4 \text{ für } -1/2 \leq t < 1/2,$$

$$(5t^2 - 12t + 7)/4 \text{ für } 1/2 \leq t < 1,$$

$$(3t^2 - 8t + 5)/4 \text{ für } 1 \leq t < 3/2 \text{ und}$$

$$(-t^2 + 4t - 4)/4 \text{ für } 3/2 \leq t \leq 2$$

**[0014]** Oder eine Stufenfunktion-Wellenform, die einer derartigen Samplingfunktion entspricht, kann aus acht stückweisen Abschnitten in gleicher Breite mit einem Gewicht von  $-1, +3, +5, -7, -7, +5, +3$  und  $-1$  in einem vorgegebenen Bereich bestehen, der fünf digitalen Daten, die in einem gleichen Abstand angeordnet sind, entspricht. Dieser Gewichtungsvorgang wird vorzugsweise ausgeführt, indem man den digitalen Datenwert selbst zum Multiplikationsergebnis von  $-2, +2, +4, -8, -8, +4, +2, -2$  mit einer Bitverschiebung addiert. Da der Multiplikationsvorgang durch die Bitverschiebung durchgeführt wird, lässt sich die Bearbeitung einfach und rasch vornehmen.

**[0015]** Auf diese Weise kann durch Anwendung einer Samplingfunktion, die nur einmal über den gesamten Bereich differenzierbar ist, die Anzahl an Integriervorgängen nach Addition einer Mehrzahl von Stufenfunktionen verringert werden und der Rechenaufwand lässt sich vermindern. Ferner ist es aufgrund der Verwendung einer Samplingfunktion mit Werten einer lokalen Unterstützung möglich, nur digitale Daten handzuhaben, die einem Abschnitt für die

lokale Unterstützung entsprechen, so dass der Rechenaufwand noch weiter vermindert werden kann. Außerdem ist es möglich, den Abschneidefehler, der entsteht, wenn der Vorgang für die endliche Zahl von digitalen Daten durchgeführt wird, zu verhindern.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0016] [Fig. 1](#) ist ein erläuterndes Diagramm für eine Samplingfunktion, die bei einer Interpolationsoperation eines D/A-Konverters gemäß einer Ausführungsform verwendet wird.

[0017] [Fig. 2](#) ist ein Diagramm zur Darstellung der Beziehung zwischen den Samplingwerten und dem dazwischen liegenden Interpolationswert.

[0018] [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3D](#) sind Diagramme zur Erklärung der Dateninterpolation unter Verwendung der in [Fig. 1](#) dargestellten Samplingfunktion.

[0019] [Fig. 4](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer Wellenform, bei der die in [Fig. 1](#) dargestellte Samplingfunktion einmal differenziert ist.

[0020] [Fig. 5](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer Wellenform, bei der eine polygonale Funktion gemäß Darstellung in [Fig. 4](#) weiter differenziert wird.

[0021] [Fig. 6](#) ist ein Blockdiagramm zur Darstellung der Konfiguration eines D/A-Konverters gemäß einer Ausführungsform.

[0022] [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7L](#) sind Diagramme zur Darstellung der Operationszeitgebung des D/A-Konverters einer Ausführungsform.

[0023] [Fig. 8](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer detaillierten Konfiguration des in [Fig. 6](#) dargestellten D/A-Konverters.

[0024] [Fig. 9](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer detaillierten Konfiguration des Stufenfunktionsgenerators.

[0025] [Fig. 10](#) ist ein Diagramm zur Darstellung der Beziehung zwischen einer varierten Stufenfunktion und den AN/AUS-Schaltzeiten jedes Dreizustandpuffers innerhalb des Stufenfunktionsgenerators.

[0026] [Fig. 11](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer detaillierten Konfiguration einer Zeitgebungssteuereinheit.

[0027] [Fig. 12](#) ist ein Diagramm zur Darstellung der Operationszeitgebung der in [Fig. 12](#) dargestellten Zeitgebungssteuereinheit.

[0028] [Fig. 13](#) ist ein erläuterndes Diagramm für eine Si-Funktion.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsform

[0029] Nachstehend wird der D/A-Konverter gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. [Fig. 1](#) ist ein erläuterndes Diagramm für eine Samplingfunktion, die für eine Interpolationsoperation eines D/A-Konverters gemäß einer Ausführungsform verwendet wird. Bei der in [Fig. 1](#) dargestellten Samplingfunktion  $H(t)$  handelt es sich um eine Funktion von lokaler Unterstützung, bei der auf die Differenzierbarkeit geachtet wird. Beispielsweise kann die Funktion  $H(t)$  im gesamten Bereich nur einmal differenziert werden und stellt eine Funktion von lokaler Unterstützung mit endlichen Werten, die nicht Null betragen, dar, wenn eine Samplingposition entlang einer horizontalen Achse zwischen  $-2$  und  $+2$  liegt. Da es sich um eine Samplingfunktion handelt, ist die Funktion  $H(t)$  ferner dadurch gekennzeichnet, dass sie nur an einem Samplingpunkt mit  $t = 0$  den Wert 1 annimmt und an Samplingpunkten mit  $t = \pm 1$  und  $\pm 2$  den Wert Null annimmt.

[0030] Durch Untersuchungen des Erfinders wurde bestätigt, dass eine Funktion  $H(t)$ , die die vorstehend beschriebenen verschiedenen Bedingungen erfüllt (eine Samplingfunktion, die einmal differenzierbar ist und von lokaler Unterstützung ist), existiert. Konkret ausgedrückt, kann dann, wenn es sich bei einer B-Spline-Funktion dritter Ordnung um  $F(t)$  handelt, eine derartige Samplingfunktion  $H(t)$  folgendermaßen definiert werden:

$$H(t) = -F(t + 1/2)/4 + F(t) - F(t - 1/2)/4 \quad (1)$$

wobei es sich bei  $F(t)$  um eine B-Spline-Funktion dritter Ordnung handelt. Hier wird die B-Spline-Funktion  $F(t)$  von dritter Ordnung folgendermaßen ausgedrückt:

$$\begin{aligned} &(4t^2 + 12t + 9)/4; -3/2 \leq t < -1/2 \\ &-2t^2 + 3/2; -1/2 \leq t < 1/2 \\ &(4t^2 - 12t + 9)/4; 1/2 \leq t < 3/2 \end{aligned} \quad (2)$$

[0031] Bei der vorstehend beschriebenen Samplingfunktion  $H(t)$  handelt es sich um ein quadratisches stückweises Polynom, wobei die B-Spline-Funktion  $F(t)$  von dritter Ordnung verwendet wird. Daher handelt es sich bei der Funktion  $H(t)$  um eine Funktion von lokaler Unterstützung, deren einmalige Differenzierbarkeit über den gesamten Bereich garantiert ist. Ferner wird die Funktion  $H(t)$  bei  $t = \pm 1$  und  $\pm 2$  Null.

[0032] Setzt man den Ausdruck (2) in (1) ein, wird die Samplingfunktion  $H(t)$  in Form eines stückweisen Polynoms wiedergegeben, so dass folgendes gilt:

$$\begin{aligned} &(-t^2 - 4t - 4)/4; -2 \leq t < -3/2 \\ &(3t^2 + 8t + 5)/4; -3/2 \leq t < -1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &(5t^2 + 12t + 7)/4; -1 \leq t < -1/2 \\
 &(-7t^2 + 4)/4; -1/2 \leq t < 1/2 \\
 &(5t^2 - 12t + 7)/4; 1/2 \leq t < 1 \\
 &(3t^2 - 8t + 5)/4; 1 \leq t < 3/2 \\
 &(-t^2 + 4t - 4)/4; 3/2 \leq t \leq 2
 \end{aligned} \tag{3}$$

**[0033]** Somit handelt es sich bei der vorstehend beschriebenen Funktion  $H(t)$  um eine Samplingfunktion und eine Funktion von lokaler Unterstützung, die über den gesamten Bereich nur einmal differenziert werden kann und beim Samplingzeitpunkt  $t = \pm 2$  nach Null konvergiert. Daher ist es möglich, eine Interpolation eines Werts zwischen Probenwerten unter Verwendung einer Funktion, die nur einmal differenzierbar ist, vorzunehmen, indem man eine Faltung auf der Basis des entsprechenden Samplingwerts unter Verwendung dieser Samplingfunktion  $H(t)$  durchführt.

**[0034]** [Fig. 2](#) zeigt die Beziehung zwischen dem Samplingwert und Interpolationswerten zwischen den Samaplingwerten. Um einen Interpolationswert  $y$ , der einer Zwischenposition zwischen einzelnen Samplingwerten entspricht, zu erhalten, wird der Wert einer Samplingfunktion für jedes Stück der gegebenen Samplingwerte an der Position des Interpolationswerts erhalten und eine Faltungsoperation wird unter Verwendung des erhaltenen Wertes durchgeführt.

**[0035]** Um den Interpolationswert  $y$  genau zu erhalten, ist es aufgrund der Tatsache, dass die Si-Funktion, die üblicherweise verwendet wird, an den Samplingpunkten  $t = \pm\infty$  nach Null konvergiert, erforderlich, einen Wert der Si-Funktion an einer Interpolationsposition entsprechend den einzelnen Samplingwerten zwischen  $t = \pm\infty$  zu berechnen und eine Faltungsoperation unter Verwendung dieser Werte durchzuführen. Da aber die bei dieser Ausführungsform verwendete Samplingfunktion  $H(t)$  an Samplingpunkten mit  $t = \pm 2$  nach Null konvergiert, ist es ausreichend, jeweils zwei Samplingwerte vor und nach einer Interpolationsstelle zu berücksichtigen. Daher ist es möglich, den Operationsaufwand drastisch zu verringern. Da es ferner theoretisch nicht notwendig ist, Samplingwerte zu berücksichtigen (mit der Ausnahme, dass ohne Vernachlässigung des Samplingwerts im Hinblick auf Operationsaufwand, Genauigkeit und dergl. der Probenwert zwar berücksichtigt werden sollte), tritt kein Abschneidefehler auf.

**[0036]** Die [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3D](#) sind Diagramme zur Erläuterung der Dateninterpolation unter Verwendung der in [Fig. 1](#) dargestellten Samplingfunktion. Nachstehend wird beispielsweise der Samplingwert  $Y(t_1)$  an der Samplingposition  $t_1$ , die in [Fig. 3A](#) dargestellt ist, konkret beschrieben. Der Abstand von einer Interpolationsstelle  $t_0$  zu einer Samplingposition  $t_1$  wird  $1 + a$ , wenn der Abstand zwischen zwei benachbarten Samplingpositionen auf 1 normiert wird. Wenn demgemäß die zentrale Position der Samp-

lingfunktion  $H(t)$  auf die Samplingposition  $t_1$  ausgerichtet wird, ergibt sich die Samplingfunktion an der Interpolationsstelle  $t_0$  den Wert von  $H(1 + a)$ . Da in der Praxis die Peakhöhe der zentralen Position der Samplingfunktion  $H(t)$  so eingestellt wird, dass die Peakhöhe mit dem Samplingwert  $Y(t_1)$  zusammenfallen kann, wird der zu ermittelnde Wert  $H(1 + a) \cdot Y(t_1)$  durch Multiplikation des vorstehend beschriebenen Funktionswerts  $H(1 + a)$  mit  $Y(t_1)$  erhalten.

**[0037]** Auf die gleiche Weise werden die berechneten Ergebnisse  $H(a) \cdot Y(t_2)$ ,  $H(1 - a) \cdot Y(t_3)$  und  $H(2 - a) \cdot Y(t_4)$ , die den übrigen drei Samplingwerten entsprechen, an der Interpolationsposition  $t_0$  erhalten, wie in den [Fig. 3B](#) bis [Fig. 3D](#) gezeigt ist. Anschließend werden die vier berechneten Werte  $H(1 + a) \cdot Y(t_1)$ ,  $H(a) \cdot Y(t_2)$ ,  $H(1 - a) \cdot Y(t_3)$  und  $H(2 - a) \cdot Y(t_4)$  addiert und gefaltet, wodurch man einen interpolierten Wert  $y$  an der Interpolationsstelle  $t_0$  erhält.

**[0038]** Im Prinzip wird der Wert der Samplingfunktion  $H(t)$  entsprechend den einzelnen Samplingwerten berechnet und gefaltet, so dass ein interpolierter Wert, der einer Zwischenposition zwischen den Samplingwerten entspricht, erhalten werden kann, wie vorstehend beschrieben wurde. Jedoch handelt es sich bei der Samplingfunktion von [Fig. 1](#) um ein quadratisches stückweises Polynom, das über den gesamten Bereich einmal differenzierbar ist. Unter Verwendung dieses Merkmals lässt sich der interpolierte Wert gemäß anderen gleichwertigen Verarbeitungsverfahren erhalten.

**[0039]** [Fig. 4](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer Wellenform, bei der die Samplingfunktion von [Fig. 1](#) einmal differenziert ist. Da es sich bei der Samplingfunktion  $H(t)$  von [Fig. 1](#) um ein quadratisches stückweises Polynom handelt, das über den gesamten Bereich nur einmal differenzierbar ist, lässt sich eine polygonale Funktion, die aus kontinuierlichen polygonalen Wellenformen gemäß der Darstellung in [Fig. 4](#) besteht, durch einmaliges Differenzieren der Samplingfunktion  $H(t)$  erhalten.

**[0040]** [Fig. 5](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer Wellenform, bei der die polygonale Funktion von [Fig. 4](#) weiter differenziert ist. Jedoch lässt sich die polygonale Wellenform, die eine Mehrzahl von Eckpunkten enthält, nicht über den gesamten Bereich differenzieren. Sie wird für einen linearen Abschnitt zwischen zwei benachbarten Eckpunkten differenziert. Durch Differenzieren der in [Fig. 4](#) dargestellten polygonalen Wellenform lässt sich eine Stufenfunktion, die aus treppenartigen Wellenformen besteht, erhalten, wie in [Fig. 5](#) dargestellt ist.

**[0041]** Auf diese Weise wird die Samplingfunktion zur Verwendung beim Interpolationsvorgang im D/A-Konverter dieser Ausführungsform über den ge-

samten Bereich einmal differenziert, wodurch man eine polygonale Funktion erhält. Ferner wird diese polygonale Funktion über jeden linearen Abschnitt unter Bildung einer Stufenfunktion differenziert. Demgemäß wird in umgekehrter Reihenfolge die Stufenfunktion von [Fig. 5](#) erzeugt und zweimal integriert, so dass eine Samplingfunktion  $H(t)$  von [Fig. 1](#) erhalten werden kann.

**[0042]** Ein Merkmal der in [Fig. 5](#) dargestellten Stufenfunktion besteht darin, dass sie im positiven Bereich und im negativen Bereich eine gleiche Fläche aufweist, wobei die Summe der Flächen Null beträgt. Mit anderen Worten, wenn die Stufenfunktion mit einem derartigen Merkmal mehrfach integriert wird, lässt sich eine Samplingfunktion einer lokalen Unterstützung, deren Differenzierbarkeit über den gesamten Bereich gewährleistet ist, erhalten, wie in [Fig. 1](#) dargestellt ist.

**[0043]** Im übrigen wird bei Berechnung des Interpolationswerts unter Anwendung einer Faltungsoperation gemäß der Darstellung in den [Fig. 3A](#) bis [Fig. 3D](#) der Wert der Samplingfunktion  $H(t)$  mit jedem Samplingwert multipliziert. Jedoch wird in dem Fall, bei dem die in [Fig. 5](#) dargestellte Stufenfunktion zur Erzielung einer Samplingfunktion  $H(t)$  zweimal integriert wird, der durch diese Integration erhaltene Wert der Samplingfunktion mit jedem Samplingwert multipliziert, wobei aber in gleichwertiger Weise bei Erzeugung einer Stufenfunktion vor den Integrationsoperationen die Stufenfunktion mit jedem Samplingwert multipliziert und anschließend gefaltet werden kann, wonach das erhaltene Ergebnis zweimal integriert wird, um einen Interpolationswert zu erhalten. Der D/A-Konverter dieser Ausführungsform berechnet den Interpolationswert auf diese Weise, was nachstehend ausführlich erläutert wird.

**[0044]** [Fig. 6](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer Konfiguration des D/A-Konverters dieser Ausführungsform. Der in [Fig. 6](#) dargestellte D/A-Konverter umfasst vier Datenhalteabschnitte **10-1**, **10-2**, **10-3**, **10-4**, vier Stufenfunktionsgeneratoren **11-1**, **11-2**, **11-3**, **11-4**, einen Addierabschnitt **12**, einen D/A-Konverter **14**, zwei Integratoren **16**, **18** und eine Zeitgebungssteuereinrichtung **20**.

**[0045]** Jeder Datenhalteabschnitt **10-1** bis **10-4** wählt und akzeptiert in zyklischer Weise die nacheinander in einem vorgegebenen Zeitabstand eingegebenen diskreten digitalen Datenwerte und hält diese Werte, bis der nächste Empfangszeitpunkt erreicht ist. Beispielsweise wird der zunächst eingegebene digitale Datenwert im Datenhalteabschnitt **10-1** gehalten; der an zweiter Stelle eingegebene digitale Datenwert wird im Datenhalteabschnitt **10-2** gehalten; der an dritter Stelle eingegebene digitale Datenwert wird im Datenhalteabschnitt **10-3** gehalten; und der an vierter Stelle eingegebene digitale Datenwert wird

im Datenhalteabschnitt **10-4** gehalten. Wenn die Datenhalteoperation in jedem der Datenhalteabschnitte **10-1** bis **10-4** im Kreislauf geführt worden ist, wird der fünfte eingegebene diskrete Datenwert anschließend akzeptiert und in dem Datenhalteabschnitt **10-1** gehalten, der als erster den Datenwert gehalten hatte. Auf diese Weise werden die eingegebenen digitalen Daten nacheinander in zyklischer Weise in den Datenhalteabschnitten **10-1** bis **10-4** gehalten.

**[0046]** Die einzelnen Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** erzeugen eine Stufenfunktion mit einer Amplitude (Scheitelwert), die proportional zum Wert eines gehaltenen Datenwerts in Synchronisation mit der Haltezeitgebung von digitalen Daten im entsprechenden Datenhalteabschnitt **10-1** bis **10-4** ist. Die Stufenfunktion selbst weist eine Gestalt gemäß der Darstellung in [Fig. 5](#) auf. Der Wert dieser Stufenfunktion ist proportional zum Wert des in jedem Datenhalteabschnitt **10-1** bis **10-4** gehaltenen digitalen Datenwerts. Spezielle Werte der Stufenfunktion, die in [Fig. 5](#) dargestellt ist, lassen sich durch zweimaliges Differenzieren der einzelnen stückweisen Polynome des vorstehenden Ausdrucks (3) erhalten und folgendermaßen wiedergeben:

-1;	$-2 \leq t < -3/2$
3;	$-3/2 \leq t < -1$
5;	$-1 \leq t < -1/2$
-7;	$-1/2 \leq t < 0$
-7;	$0 \leq t < 1/2$
5;	$1/2 \leq t < 1$
3;	$1 \leq t < 3/2$
-1;	$3/2 \leq t \leq 2$

**[0047]** Der Addierabschnitt **12** addiert in digitaler Weise die Werte der Stufenfunktionen, die von den vier Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** ausgegeben worden sind. Der D/A-Konverter **14** erzeugt eine analoge Spannung entsprechend den aus dem Addierabschnitt **12** eingegebenen stufenweisen digitalen Daten. Da dieser D/A-Konverter **14** eine konstante analoge Spannung erzeugt, die proportional zum eingegebenen Wert von digitalen Daten ist, wird eine Ausgangsspannung erhalten, wobei sich das Spannungs niveau stufenweise entsprechend den eingegebenen digitalen Daten ändert.

**[0048]** Zwei Integratoren **16**, **18**, die tandemartig verbunden sind, führen zwei Integrationsoperationen für die stufenweise Veränderung der Ausgangsspannung, die am Ausgangsende des D/A-Konverters **14** auftritt, durch. Eine sich linear verändernde (entsprechend einer linearen Funktion) Ausgangsspannung wird aus einem ersten Integrator **16** erhalten und eine Ausgangsspannung, die sich entsprechend einer quadratischen Funktion verändert, wird aus einem zweiten Integrator **18** erhalten. Wenn auf diese Wei-

se mehrere digitale Daten in einem fixierten Zeitabstand eingegeben werden, gibt der zweite Integrator **18** ein kontinuierliches analoges Signal mit einer glatten Kurve aus, die nur einmal differenzierbar ist, wobei die Spannungen entsprechend den digitalen Daten verbunden werden.

**[0049]** Da im übrigen der Wert einer Stufenfunktion, der von einem Stufenfunktionsgenerator **11-1** ausgegeben wird, proportional zum digitalen Datenwert ist, der im Datenhalteabschnitt **10-1** gehalten wird, wird der Spannungswert, der dem Wert dieser Stufenfunktion entspricht, durch die zwei Integratoren **16**, **18** zweimal integriert, so dass der zweite Integrator **18** ein Signal einer Spannungswellenform entsprechend dem Ergebnis der Multiplikation der in [Fig. 1](#) dargestellten Stufenfunktion mit dem eingegebenen digitalen Datenwert ausgibt. Ferner addiert der Addierabschnitt **12** die Werte der Stufenfunktionen, die von den Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** ausgegeben worden sind. Dies kann gleichermaßen durch den Faltungsvorgang unter Verwendung einer Stufenfunktion gemäß der Darstellung in [Fig. 1](#) erfolgen, wobei auf ein Ausgangssignal aus dem zweiten Integrator **1B** geachtet wird.

**[0050]** Demgemäß wird unter Berücksichtigung des Falls, bei dem der digitale Datenwert in einem konstanten Zeitabstand in den D/A-Konverter dieser Ausführungsform eingegeben wird, der Startzeitpunkt der Erzeugung der Stufenfunktionswellenform in jeder der Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** entsprechend diesem Eingabezeitabstand verschoben. Anschließend werden die in den Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** erzeugten Stufenfunktionen addiert und eine resultierende Wellenform wird in eine analoge Spannung umgewandelt und zweimal integriert, wodurch man ein analoges Signal erhält, wobei die Spannungen, die den in einem fixierten Zeitabstand eingegebenen digitalen Daten entsprechen, glatt verbunden werden.

**[0051]** Die [Fig. 7A](#) bis [Fig. 7L](#) sind Diagramme zur Darstellung der Operationszeitgebung des D/A-Konverters dieser Ausführungsform. Wie in [Fig. 7A](#) dargestellt, werden dann, wenn die digitalen Daten  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ , ... in einem konstanten Zeitabstand eingegeben werden, diese digitalen Daten  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ , ... in zyklischer Weise von den Datenhalteabschnitten **10-1** bis **10-4** aufgenommen und gehalten. Speziell nimmt der Datenhalteabschnitt **10-1** zunächst einen digitalen Datenwert  $D_1$  auf und hält diesen digitalen Datenwert  $D_1$ , bis der eingegebene digitale Datenwert im Kreislauf geführt wird (oder bis ein fünfter digitaler Datenwert  $D_5$  eingegeben wird) ([Fig. 7B](#)). Der Stufenfunktionsgenerator **11-1** erzeugt eine Stufenfunktion mit einem Wert, der proportional zu diesem digitalen Datenwert  $D_1$  in Entsprechung zur Haltezeitgebung des ersten digitalen Datenwerts  $D_1$  ist ([Fig. 7C](#)).

**[0052]** Gleichermaßen nimmt der Datenhalteabschnitt **10-2** einen an zweiter Stelle eingegebenen digitalen Datenwert  $D_2$  auf und hält diesen digitalen Datenwert  $D_2$ , bis der eingegebene digitale Datenwert im Kreislauf geführt wird (oder ein sechster digitaler Datenwert  $D_6$  eingegeben wird) ([Fig. 7D](#)). Der Stufenfunktionsgenerator **11-2** erzeugt eine Stufenfunktion mit einem Wert, der proportional zu diesem digitalen Datenwert  $D_2$  in Entsprechung zur Haltezeitgebung des zweiten digitalen Datenwerts  $D_2$  ist ([Fig. 7E](#)).

**[0053]** Der Datenhalteabschnitt **10-3** nimmt einen an dritter Stelle eingegebenen digitalen Datenwert  $D_3$  auf und hält den digitalen Datenwert  $D_3$  bis der eingegebene digitale Datenwert im Kreislauf geführt wird (oder ein siebter digitaler Datenwert  $D_7$  eingegeben wird) ([Fig. 7F](#)). Der Stufenfunktionsgenerator **11-3** erzeugt eine Stufenfunktion mit einem Wert, der proportional zu diesem digitalen Datenwert  $D_3$  in Entsprechung zur Haltezeitgebung des dritten digitalen Datenwerts  $D_3$  ist ([Fig. 7G](#)).

**[0054]** Der Datenhalteabschnitt **10-4** nimmt einen an vierter Stelle eingegebenen digitalen Datenwert  $D_4$  auf und hält den digitalen Datenwert  $D_4$ , bis der eingegebene digitale Datenwert  $D_4$  im Kreislauf geführt wird (oder ein achter digitaler Datenwert  $D_8$  eingegeben wird) ([Fig. 7H](#)). Der Stufenfunktionsgenerator **11-4** erzeugt eine Stufenfunktion mit einem Wert, der proportional zu diesem digitalen Datenwert  $D_4$  in Entsprechung zur Haltezeitgebung des vierten digitalen Datenwerts  $D_4$  ist ([Fig. 7I](#)).

**[0055]** Der Addierabschnitt **12** addiert die Werte der Stufenfunktion, die von jeder der vier Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** auf diese Weise ausgegeben worden sind. Im übrigen handelt es sich bei der Stufenfunktion, die von den Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** erzeugt worden sind, gemäß der Darstellung in [Fig. 5](#) um eine Funktion von lokaler Unterstützung mit acht stückweisen Abschnitten, die bei jeweils 0,5 von einem Bereich der Samplingstelle  $t = -2$  bis  $+2$  unterteilt sind, worin die Samplingfunktion von [Fig. 1](#) endliche Werte hat. Beispielsweise werden ein erster stückweiser Abschnitt, ein zweiter stückweiser Abschnitt, ... und ein achter stückweiser Abschnitt in einer Richtung von der Samplingstelle  $t = -2$  bis  $+2$  definiert.

**[0056]** Speziell addiert der Addierabschnitt **12** zunächst einen Wert ( $3D_1$ ) entsprechend dem siebten stückweisen Abschnitt, der vom Stufenfunktionsgenerator **11-1** erzeugt wird, einen Wert ( $-7D_2$ ) entsprechend dem fünften stückweisen Abschnitt, der vom Stufenfunktionsgenerator **11-2** erzeugt wird, einen Wert ( $5D_3$ ) entsprechend dem dritten stückweisen Abschnitt, der vom Stufenfunktionsgenerator **11-3** erzeugt wird, und einen Wert ( $-D_4$ ) entsprechend dem ersten stückweisen Abschnitt, der vom Stufenfunktionsgenerator **11-4** erzeugt wird.

onsgenerator **11-4** erzeugt wird, um ein Additionsergebnis ( $3D_1 - 7D_2 + 5D_3 - D_4$ ) auszugeben.

**[0057]** Anschließend addiert der Addierabschnitt **12** einen Wert ( $-D_1$ ) entsprechend dem achten stückweisen Abschnitt, der vom Stufenfunktionsgenerator **11-1** erzeugt wird, einen Wert ( $5D_2$ ) entsprechend dem sechsten stückweisen Abschnitt, der vom Stufenfunktionsgenerator **11-2** erzeugt wird, einen Wert ( $-7D_3$ ) entsprechend dem vierten stückweisen Abschnitt, der vom Stufenfunktionsgenerator **11-3** erzeugt wird, und einen Wert ( $3D_4$ ) entsprechend dem zweiten stückweisen Abschnitt, der vom Stufenfunktionsgenerator **11-4** erzeugt wird, um ein Additionsergebnis ( $-D_1 + 5D_2 - 7D_3 + 3D_4$ ) auszugeben.

**[0058]** Wenn anschließend das stufenweise Additionsergebnis aus dem Addierabschnitt **12** ausgegeben wird, erzeugt auf diese Weise der D/A-Konverter **14** die analoge Spannung auf der Grundlage des Additionsergebnisses (digitale Daten). Da der D/A-Konverter **14** eine konstante analoge Spannung proportional zum eingegebenen Wert des digitalen Datenwerts erzeugt, ist es möglich, eine Ausgabewellenform zu erreichen, die ein Spannungs niveau aufweist, das sich stufenweise entsprechend zum eingegebenen digitalen Datenwert ändert ([Fig. 7J](#)).

**[0059]** Wenn die Wellenform mit dem stufenweisen Spannungs niveau vom D/A-Konverter **14** ausgegeben wird, integriert der erste Integrator **16** die Wellenform unter Ausgabe einer polygonalen Wellenform ([Fig. 7K](#)). Der zweite Integrator **18** integriert ferner die polygonale Wellenform unter Erzeugung einer Ausgabespannung mit einer glatten Kurve, die einmal differenzierbar ist und die Spannungswerte, die den digitalen Daten  $D_2$  und  $D_3$  entsprechen, verbindet ([Fig. 7L](#)).

**[0060]** Auf diese Weise erzeugt der D/A-Konverter dieser Ausführungsform eine Stufenfunktion in Entsprechung zur Haltezeitgebung der eingegebenen digitalen Daten, addiert die Stufenfunktionen für vier digitale Daten unter Erzeugung einer analogen Spannung entsprechend diesem Additionsergebnis und integriert die erhaltene analoge Spannung zweimal, um ein kontinuierliches analoges Signal zu erhalten, das die den digitalen Daten entsprechenden Spannungswerte glatt verbindet.

**[0061]** Speziell werden vier Stufenfunktionen erzeugt, die den jeweils eingegebenen digitalen Daten zu verschiedenen Startzeitpunkten entsprechen. Die analoge Spannung, die dem Additionsergebnis entspricht, wird erzeugt und zweimal integriert, wodurch man ein kontinuierliches analoges Signal erhält. So mit besteht keine Notwendigkeit zur Bereitstellung einer Samplinghalteschaltung und eines Tiefpassfilters, die herkömmlicherweise erforderlich waren. Es ergibt sich keine Beeinträchtigung der linearen Pha-

sencharakteristik, wobei eine hervorragende Gruppenverzögerungscharakteristik erreicht werden kann. Da eine Samplingfunktion  $H(t)$  von lokaler Unterstützung, die bei einer Samplingstelle  $t = \pm 2$  nach Null konvergiert, verwendet wird, setzt ein Interpolationsvorgang zwischen digitalen Daten nur vier digitale Daten ein, so dass der für die Interpolation erforderliche Verarbeitungsaufwand verringert werden kann. Da ferner der Oversamplingvorgang, wie er herkömmlicherweise vorgenommen wird, nicht durchgeführt wird, ist es lediglich erforderlich, eine vorgegebene Operationsgeschwindigkeit zu gewährleisten, die in Abhängigkeit vom Zeitabstand des eingegebenen digitalen Datenwerts festgelegt wird. Es besteht keine Notwendigkeit zur Durchführung einer besonders schnellen Signalverarbeitung und zur Verwendung von teuren Bauteilen.

**[0062]** [Fig. 8](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer detaillierten Konfiguration eines in [Fig. 6](#) dargestellten D/A-Konverters. Wie in [Fig. 8](#) dargestellt, ist jeder der Datenhalteabschnitte **10-1** bis **10-4** durch ein Flip-Flop vom D-Typ (D-FF) konfiguriert und hält die eingegebenen Daten  $D_1, D_2, D_3, \dots$  in zyklischer Weise durch Verschieben der Zeitgebung beim Aufnehmen der über einen Puffer **22** eingegebenen Daten um eine Dateneingabeperiode. Wenn beispielsweise der digitale Datenwert von 8 Bit eingegeben wird, wird der 8 Bit-Datenwert, der in jedem der Datenhalteabschnitte **10-1** bis **10-4** gehalten wird, in das entsprechende Exemplar der Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** eingegeben.

**[0063]** [Fig. 9](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer detaillierten Konfiguration der einzelnen Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4**. Die vier Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** weisen die gleiche Konfiguration auf. Nachstehend wird nur ein Stufenfunktionsgenerator **11-1** ausführlich beschrieben.

**[0064]** Wie in [Fig. 9](#) dargestellt, umfasst der Stufenfunktionsgenerator **11-1** zwei Dreizustandspuffer **100, 102** mit umgekehrtem Ausgang, zwei Dreizustandspuffer **104, 106** mit nicht-umgekehrtem Ausgang und eine Addiereinrichtung (ADD) **108** zum Addieren der in den Stufenfunktionsgenerator **11-1** eingegebenen Daten und der über ein beliebiges Exemplar der Dreizustandspuffer **100** bis **106** eingegebenen Daten.

**[0065]** Im übrigen wird die in [Fig. 5](#) dargestellte Stufenfunktion in eine in [Fig. 10](#) dargestellte Stufenfunktion umgewandelt, indem die horizontale Achse um  $+1$  nach oben verschoben wird. Diese transformierte Stufenfunktion nimmt einen Wert von 2 in der  $n$ -ten-Potenz an. Somit kann in dem Fall, bei dem der eingegebene Datenwert um einen Multiplikationsfaktor eines jeden Werts multipliziert wird, die Multiplikation durch eine einfache Bitverschiebungsoperation durchgeführt werden. Anschließend wird die um  $+1$

nach oben verschobene horizontale Achse wieder hergestellt (oder der Eingabedatenwert wird zum multiplizierten Ergebnis addiert), um einen Ausgabewert für jeden Stufenfunktionsgenerator zu erhalten.

**[0066]** Speziell führt ein Dreizustandspuffer **100** eine Multiplikation um das (-2)-fache durch, indem der eingegebene Datenwert um 1 Bit verschoben wird und jedes Bit des verschobenen Datenwerts umgekehrt ausgegeben wird und ferner eine Addition mit 1 zu einer Übertragseingabe der Addiereinrichtung **108** durchgeführt wird. Zu dem in [Fig. 10](#) mit "S1" angegebenen Zeitpunkt wird der Datenwert, der einem multiplizierten Ergebnis entspricht, aus dem Dreizustandspuffer **100** ausgegeben, so dass die Datenwerte, die dem ersten und dem achten stückweisen Abschnitt der Stufenfunktion entsprechen, erhalten werden können.

**[0067]** Gleichermaßen führt ein Dreizustandspuffer **102** eine Multiplikation um das 2-fache durch, indem der eingegebene Datenwert um 1 Bit verschoben wird. Bei dem in [Fig. 10](#) mit "S2" angegebenen Zeitpunkt wird der Datenwert, der einem multiplizierten Ergebnis entspricht, aus dem Dreizustandspuffer **102** ausgegeben, so dass die Datenwerte, die dem zweiten und siebten stückweisen Abschnitt der Stufenfunktion entsprechen, erhalten werden können.

**[0068]** Ein Dreizustandspuffer **104** führt eine Multiplikation um das 4-fache durch, indem der eingegebene Datenwert um 2 Bit verschoben wird. Bei dem in [Fig. 10](#) mit "S3" angegebenen Zeitpunkt wird der Datenwert, der einem multiplizierten Ergebnis entspricht, aus dem Dreizustandspuffer **104** ausgegeben, so dass die Daten, die dem dritten und sechsten stückweisen Abschnitt der Stufenfunktion entsprechen, erhalten werden können.

**[0069]** Ein Dreizustandspuffer **106** führt eine Multiplikation um das (-8)-fache durch, indem der eingegebene Datenwert um 3 Bit verschoben wird, jedes Bit umgekehrt wird und zur Übertragseingabe der Addiereinrichtung **10B** der Wert 1 addiert wird. Bei dem in [Fig. 10](#) mit "S4" angegebenen Zeitpunkt wird der Datenwert, der einem multiplizierten Ergebnis entspricht, aus dem Dreizustandspuffer **106** ausgegeben, so dass die Daten, die dem vierten und fünften stückweisen Abschnitt der Stufenfunktion entsprechen, erhalten werden können.

**[0070]** Eine Addiereinrichtung **108** addiert positive oder negative Ausgabedaten selektiv von jedem der Dreizustandspuffer **100** bis **106** und die Dateneingabe zum Stufenfunktionsgenerator **11-1**. Der aus der Addiereinrichtung **10B** erhaltene Datenwert wird von der Stufenfunktion **11-1** ausgegeben.

**[0071]** Die Addiereinrichtung **108** folgt einem unterschiedlichen Verarbeitungsverfahren in Abhängigkeit

davon, ob der Ausgabedatenwert der Dreizustands puffer **100**, **102**, der einer Bitverschiebung unterzogen und umgekehrt ist, oder der Ausgabedatenwert der Dreizustandspuffer **104**, **106**, der nur einer Bitverschiebung unterzogen ist, eingegeben wird. Dies bedeutet, dass in dem Fall, bei dem die Addition unter Verwendung des Datenwerts ohne Bitverschiebung durchgeführt wird, lediglich zwei Daten addiert werden. Andererseits werden in dem Fall, bei dem die Addition unter Verwendung des Datenwerts mit Bitumkehr durchgeführt wird, zwei Daten addiert und anschließend das am wenigsten signifikante Bit  $b_0$  um +1 erhöht. Um zu wissen, zu welcher Kategorie der in die Addiereinrichtung **108** eingegebene Datenwert gehört, ist es lediglich erforderlich zu prüfen, ob das signifikanteste Bit den Wert 1 hat oder nicht.

**[0072]** Der in [Fig. 8](#) dargestellte Addierabschnitt **12** ist in Form von drei Addiereinrichtungen (ADD) **120**, **122**, **124** mit zwei Eingangsanschlüssen ausgestaltet. Die von vier Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** ausgegebenen Daten werden von diesen drei Addiereinrichtungen **120**, **122**, **124** addiert. Dieses Additionsergebnis wird in einen D/A-Konverter (DAC) **14** zur Umwandlung in eine stufenweise Spannungs wellenform eingegeben und dem ersten Integrator **16** von den zwei Integratoren **16**, **18**, die tandemartig verbunden sind, zugeführt.

**[0073]** Wie in [Fig. 8](#) dargestellt, umfasst der erste Integrator **16** zwei Operationsverstärker **140**, **141**, zwei Kondensatoren **142**, **143**, zwei Widerstände **144**, **145** und einen Schalter **146**. Eine Integrierschaltung wird von einem Operationsverstärker **140**, einem Kondensator **142** und einem Widerstand **144** gebildet. Sie führt eine vorgegebene Integrationsoperation für die Ausgabespannung des D/A-Konverters **14** durch, die dem nicht-umgekehrten Eingangsanschluss des Operationsverstärkers **140** über den Widerstand **144** zugeführt wird. Ferner umfasst der zweite Integrator **18** zwei Operationsverstärker **150**, **151**, zwei Kondensatoren **152**, **153**, zwei Widerstände **154**, **155** und einen Schalter **156**. Eine Integrierschaltung wird von einem Operationsverstärker **150**, einem Kondensator **152** und einem Widerstand **154** gebildet. Sie führt eine vorgegebene Integrieroperation für die Ausgabespannung des ersten Integrators **16** durch, die dem umgekehrten Eingangsanschluss des Operationsverstärkers **150** über den Widerstand **154** zugeführt wird.

**[0074]** Im übrigen eignet sich der D/A-Konverter dieser Ausführungsform für die Verwendung einer Schaltung zur Erfassung eines Videosignals, z. B. eines RGB-Signals oder Bildinhaltssignals eines Fernsehempfängers. Insbesondere umfasst der D/A-Konverter des Fernsehempfängers drei Schaltungen mit einer in [Fig. 8](#) dargestellten Konfiguration, die jeweils den R-, G- und B-Daten entsprechen. Die 8 Bit-R-, G- und B-Daten werden in einem vorgegebenen Zeitab-

stand für jede Abtastlinie, die einen Raster eines Bildschirms darstellt, eingegeben, um kontinuierliche analoge R-, G- und B-Spannungen zu erzeugen, die zwischen den Daten interpolieren.

**[0075]** Bei einer praxisgerechten Integrierschaltung kann die Ausgabespannung einem Drift unterliegen. Daher ist es bevorzugt, über eine Schaltung zu verfügen, mit der der Drifteinfluss beseitigt werden kann. Bei dieser Ausführungsform wird eine Schaltung zur Aufrechterhaltung des durchschnittlichen Werts auf dem Nullniveau durch den Operationsverstärker **141**, den Kondensator **143** und den Widerstand **145** gebildet, die im ersten Integrator **16** enthalten sind. Das Spannungsniveau des nicht-umgekehrten Eingangsanschlusses des Operationsverstärkers **140** wird so eingestellt, dass der durchschnittliche Ausgabewert der Integrierschaltung, die vom Operationsverstärker **140** und dergl. gebildet wird, zu jedem beliebigen Zeitpunkt auf dem Nullniveau gehalten werden kann.

**[0076]** Eine Schaltung zum Halten des Durchschnittsniveaus wird von einem Operationsverstärker **152**, einem Kondensator **153** und einem Widerstand **155**, die im zweiten Integrator **18** enthalten sind, gebildet. Das Spannungsniveau eines nicht-umgekehrten Eingangsanschlusses des Operationsverstärkers **150** wird so eingestellt, dass der durchschnittliche Ausgabewert der Integrierschaltung, die vom Operationsverstärker **150** und dergl. gebildet wird, dem Spannungsniveau, das an den nicht-umgekehrten Eingangsanschluss des Operationsverstärkers **151** angelegt wird, entsprechen kann. Das an den nicht-umgekehrten Eingangsanschluss des Operationsverstärkers **151** angelegte Spannungsniveau lässt sich erhalten, indem man den eingegebenen Datenwert in eine analoge Spannung umwandelt und ein Durchschnittsniveau der analogen Spannung berechnet. Um dieses Spannungsniveau zu erhalten, werden ein Datenhalteabschnitt **180**, der vom Flip-Flop vom D-Typ zum Halten der eingegebenen Daten, die nacheinander eingegeben werden, gebildet wird, ein D/A-Konverter **182** zur Erzeugung einer analogen Spannung, die dem gehaltenen digitalen Datenwert entspricht, und eine Integrierschaltung **184** zum Integrieren einer Ausgabespannung des D/A-Konverters **182** vorgesehen.

**[0077]** Um die elektrischen Ladungen, die in einem Integrationskondensator eines jeden der beiden Integritoren **16**, **18** für jeden Rahmen enthaltenen Integrationsschaltung angesammelt worden sind, zurückzusetzen, sind die Schalter **146**, **156** vorgesehen und werden während einer vertikalen Austastperiode angeschaltet, während ein vertikales Austastsignal durch eine Synchronisationsschaltung **186**, die durch den Flip-Flop vom D-Typ gebildet wird, synchronisiert wird. Anschließend werden der Kondensator **142**, der mit dem Operationsverstärker **140** verbunden ist, und der Kondensator **152**, der mit dem Operationsver-

stärker **150** verbunden ist, jeweils entladen, um die Integrationsschaltung zurückzusetzen.

**[0078]** [Fig. 11](#) ist ein Diagramm zur Darstellung einer genauen Konfiguration einer Zeitgebungssteuer-einrichtung **20**. Wie in [Fig. 11](#) gezeigt, umfasst die Zeitgebungssteuereinrichtung **20** einen Dreibitzähler **160**, drei exklusive ODER-Schaltungen **161** bis **163** mit dem nicht-umgekehrten Ausgang, zwei exklusive ODER-Schaltungen **164**, **165** mit dem umgekehrten Ausgang, drei UND-Schaltungen **166** bis **170** mit dem nicht-umgekehrten Ausgang und drei ODER-Schaltungen **171** bis **173** mit dem umgekehrten Ausgang.

**[0079]** [Fig. 12](#) ist ein Diagramm zur Darstellung der Operationszeitgebung der in [Fig. 11](#) dargestellten Zeitgebungssteuereinrichtung **20**. Wie in [Fig. 12](#) dargestellt, treten die Wellenformen von CLK, b0 bis b2, c1 bis c5 und d1 bis d5 an Positionen auf, die in [Fig. 11](#) mit entsprechenden Zeichen gekennzeichnet sind. Wie in den [Fig. 11](#) und [Fig. 12](#) dargestellt, führt der Dreibitzähler **160** eine Zähloperation in Synchronisation mit einem Eingangstaktsignal CLK durch. Der Dreibitzähler **160** zählt jedes Mal vorwärts, wenn das Taktsignal ansteigt und die Drebitausgänge b0, b1 und b2 werden aktualisiert.

**[0080]** Drei in jedem der Stufenfunktionsgeneratoren **11-1** bis **11-4** enthaltene Schalter werden aus- oder angeschaltet, wobei die vorstehend beschriebene Zeitgebungssteuereinrichtung **20** verwendet wird, um die einzelnen Stufenfunktionen, die in den [Fig. 7C](#), [Fig. 7E](#), [Fig. 7G](#) und [Fig. 7I](#) dargestellt sind, zu erzeugen. Speziell werden mit dem Ziel, den Stufenfunktionsgenerator **11-1** zur Erzeugung einer in [Fig. 7C](#) dargestellten Stufenfunktion zu befähigen, vier Dreizustandspuffer **100** bis **106** innerhalb dieses Stufenfunktionsgenerators **11-1** an- oder ausgeschaltet, und zwar in Abhängigkeit von den logischen Zuständen eines Ausgangs (d3) einer ODER-Schaltung **171**, eines Ausgangs (d7) einer UND-Schaltung **169**, eines Ausgangs (d2) einer UND-Schaltung **167** und eines Ausgangs (d1) einer UND-Schaltung **166**, wie in [Fig. 11](#) dargestellt ist.

**[0081]** Gleichermaßen werden mit dem Ziel, den Stufenfunktionsgenerator **11-2** zur Erzeugung einer in [Fig. 7E](#) dargestellten Stufenfunktion zu befähigen, vier Dreizustandspuffer **100** bis **106** innerhalb des Stufenfunktionsgenerators **11-2** an- oder ausgeschaltet, und zwar in Abhängigkeit von den logischen Zuständen eines Ausgangs (d6) einer ODER-Schaltung **173**, eines Ausgangs (d8) einer UND-Schaltung **170**, eines Ausgangs (d5) einer ODER-Schaltung **172** und eines Ausgangs (d4) einer UND-Schaltung **168**, wie in [Fig. 11](#) dargestellt ist. Ferner werden mit dem Ziel, den Stufenfunktionsgenerator **11-3** zur Erzeugung einer in [Fig. 7G](#) dargestellten Stufenfunktion zu befähigen, vier Dreizustandspuffer **100** bis **106**

innerhalb dieses Stufenfunktionsgenerators **11-3** an- oder ausgeschaltet, und zwar in Abhängigkeit von den logischen Zuständen eines Ausgangs (d7) einer UND-Schaltung **169**, eines Ausgangs (d3) einer ODER-Schaltung **171**, eines Ausgangs (d1) einer UND-Schaltung **166** und eines Ausgangs (d2) einer UND-Schaltung **167** gemäß Darstellung in [Fig. 11](#). Ferner werden mit dem Ziel, den Stufenfunktionsgenerator **11-4** zur Erzeugung einer in [Fig. 7I](#) dargestellten Stufenfunktion zu befähigen, vier Dreizustandspuffer **100** bis **106** innerhalb dieses Stufenfunktionsgenerators **11-4** an- oder ausgeschaltet, und zwar in Abhängigkeit von den logischen Zuständen eines Ausgangs (d8) einer UND-Schaltung **170**, eines Ausgangs (d6) einer ODER-Schaltung **173**, eines Ausgangs (d4) einer UND-Schaltung **168** und eines Ausgangs (d5) einer ODER-Schaltung **172** gemäß der Darstellung in [Fig. 11](#).

**[0082]** Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern kann auf verschiedenartige Weise modifiziert werden.

**[0083]** Beispielsweise handelt es sich in den vorstehend beschriebenen Ausführungsformen bei der Samplingfunktion um eine Funktion von lokaler Unterstützung, die über den gesamten Bereich nur einmal differenzierbar ist, jedoch kann die Samplingfunktion auch zweimal oder mehrmals differenzierbar sein. Ferner konvergiert die Samplingfunktion dieser Ausführungsform bei  $t = \pm 2$  nach Null, wie in [Fig. 1](#) dargestellt ist, wobei sie aber auch bei  $t = \pm 3$  oder darüber nach Null divergieren kann. Beispielsweise können in einem Fall einer Samplingfunktion, die bei  $t = \pm 3$  nach Null konvergiert, sechs Datenhalteabschnitte und sechs Stufenfunktionsgeneratoren in dem in [Fig. 6](#) dargestellten D/A-Konverter enthalten sein, um eine analoge Spannung zu erzeugen, die sechs diskrete Daten glatt verbindet, indem ein Interpolationsvorgang für die diskreten Daten durchgeführt wird.

**[0084]** Unter Anwendung einer Samplingfunktion, die endliche Male mit Werten über den Bereich von  $-\infty$  bis  $+\infty$  differenzierbar ist (anstelle einer Samplingfunktion von lokaler Unterstützung), können Interpolationsvorgänge nur für mehrere digitale Daten, die endlichen Samplingstellen entsprechen, durchgeführt werden. Wenn beispielsweise eine derartige Samplingfunktion durch ein quadratisches stückweises Polynom definiert ist, kann die Stufenfunktionswellenform durch zweimaliges Differenzieren eines jeden stückweisen Polynoms erhalten werden. Eine Spannung wird unter Verwendung dieser Stufenfunktionswellenform kombiniert und die erhaltene Spannung wird zweimal integriert, um ein analoges Signal zu erhalten, das glatt die Spannungen, die den digitalen Daten entsprechen, verbindet.

**[0085]** In der vorstehenden Ausführungsform wird ein Fernsehempfänger als ein Fall für die Verwendung des D/A-Konverters beispielhaft aufgeführt. Jedoch kann der erfindungsgemäß D/A-Konverter auch für andere Anwendungszwecke eingesetzt werden, z. B. dann, wenn digitale Audiodaten, die auf einer CD oder dergl. aufgezeichnet sind, in analoge Audiotöne umgewandelt werden.

#### Gewerbliche Anwendbarkeit

**[0086]** Wie vorstehend beschrieben, wird erfindungsgemäß eine Stufenfunktion, die jeweils einem von mehreren digitalen Datenwerten, die nacheinander eingegeben werden, entsprechen, erzeugt und addiert. Das Additionsergebnis wird in eine analoge Spannung umgewandelt und integriert, wodurch man eine analoge Spannung erhält, die sich kontinuierlich ändert. Demzufolge besteht keine Notwendigkeit zur Verwendung eines Tiefpassfilters, um schließlich ein analoges Signal zu erhalten. Somit ergibt sich keine Beeinträchtigung der Gruppenverzögerungscharakteristik, die durch variable Phasencharakteristiken in Abhängigkeit von der Frequenz eines zu verarbeitenden Signals verursacht werden, und es lässt sich eine geringere Verzerrung erreichen. Da ferner keine Notwendigkeit zur Beschleunigung der Betriebsgeschwindigkeit von Bauteilen und keine Notwendigkeit zur Verwendung von teuren Bauteilen besteht, ist es im Gegensatz zum herkömmlichen Verfahren, dass den Oversamplingvorgang durchführt, möglich, die Bauteilkosten zu verringern.

#### Patentansprüche

1. Digital/Analog-Konverter, umfassend:  
eine Mehrzahl von Datenhalteabschnitten (**10-1**, ..., **10-4**) zum Halten von jeweils mehreren digitalen Daten für eine vorgegebene Zeitspanne, wobei die mehreren digitalen Daten jeweils nacheinander in einem vorgegebenen Abstand eingegeben werden;  
eine Mehrzahl von Stufenfunktionsgeneratoren (**11-1**, ..., **11-4**) zur Erzeugung von vorgegebenen Stufenfunktionen, so dass jede erzeugte Stufenfunktion einem entsprechenden digitalen Datenwert, der in den Halteabschnitten (**10-1**, ..., **10-4**) gehalten wird, entspricht und in Synchronisation mit der Eingabezeitgebung des entsprechenden digitalen Datenwerts erzeugt wird;  
einen Addierabschnitt (**12**) zur Addition der Werte der einzelnen Stufenfunktionen, die durch jeden der Stufenfunktionsgeneratoren (**11-1**, ..., **11-4**) erzeugt werden;  
einen Stufenspannungs-Wellenformgenerator (**14**) zur Erzeugung einer stufenweisen analogen Spannung entsprechend dem digitalen Datenwert, der durch den vom Addierabschnitt (**12**) durchgeföhrten Addiervorgang erhalten worden ist; und  
eine Integrationseinrichtung (**16**, **18**) zum mehrfachen, analogen Integrieren der durch den Stufen-

spannungs-Wellenformgenerator (**14**) erzeugten stufenweisen analogen Spannung, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder der Datenhalteabschnitte (**10-1**, ..., **10-4**) dazu geeignet ist, zyklisch einen der nacheinander eingegebenen Datenwerte zu akzeptieren; wobei die Stufenfunktionsgeneratoren (**11-1**, ..., **11-4**) dazu geeignet sind, Stufenfunktionen zu erzeugen, die durch N-faches Differenzieren einer Abtastfunktion  $H(t)$  definiert ist, wobei die Abtastfunktion  $H(t)$  aus einer stückweisen Polynomfunktion des Grads N, der bei  $t = \pm M$  nach 0 konvergiert und bei  $t = 0$  einen Wert von 1 und bei  $t = \pm 1, \dots, \pm M$  einen Wert von 0 aufweist, wobei M und N jeweils ganze Zahlen mit einem Wert von mindestens 2 bedeuten; und die Integrationseinrichtung (**16**, **18**) zur N-fachen Integration der stufenweisen analogen Spannung geeignet ist.

2. Digital-Analog-Konverter nach Anspruch 1, wobei die Stufenfunktion einen positiven Bereich und einen negativen Bereich aufweist, die so eingestellt sind, dass sie eine gleiche Fläche aufweisen.

3. Digital-Analog-Konverter nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Stufenfunktion aus 8 stückweisen Abschnitten in gleicher Breite mit einem Gewicht von  $-1, +3, +5, -7, -7, +5, +3$  und  $-1$  in einem vorgegebenen Bereich besteht, der den 5 digitalen Daten, die in einem gleichen Abstand angeordnet sind, entspricht.

4. Digital-Analog-Konverter nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Stufenfunktion die Gewichtung durchführt, in dem es eine Multiplikation von  $-2, +2, +4, -8, -8, +4, +2$  und  $-2$  durch eine Bit-Verschiebung vornimmt und den digitalen Datenwert zu einem Multiplikationsergebnis addiert.

5. Digital-Analog-Konverter nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei 2 analoge Integrationsvorgänge durchgeführt werden und ein kontinuierliches analoges Signal, das die den mehreren digitalen Datenwerten entsprechenden Spannungen glatt verbindet, erzeugt wird.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

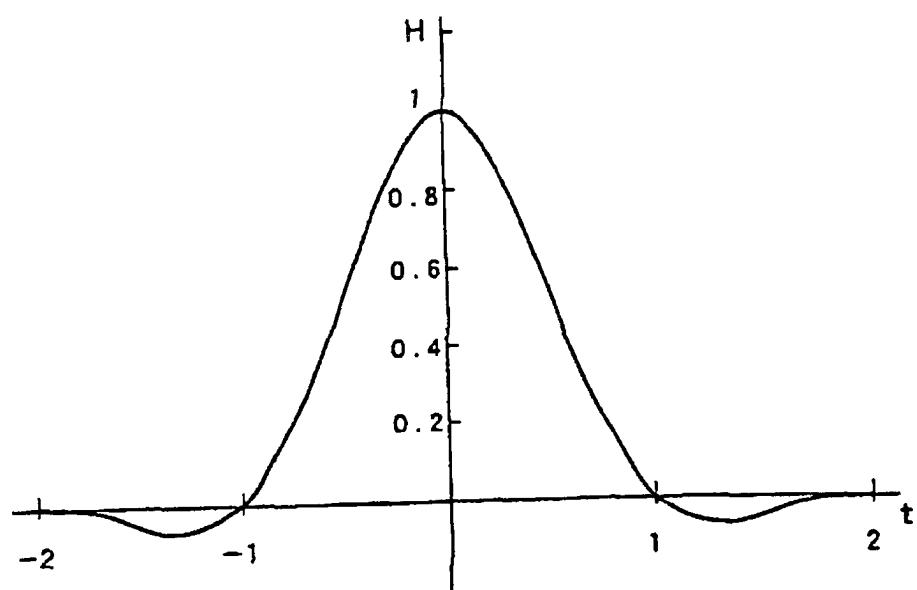
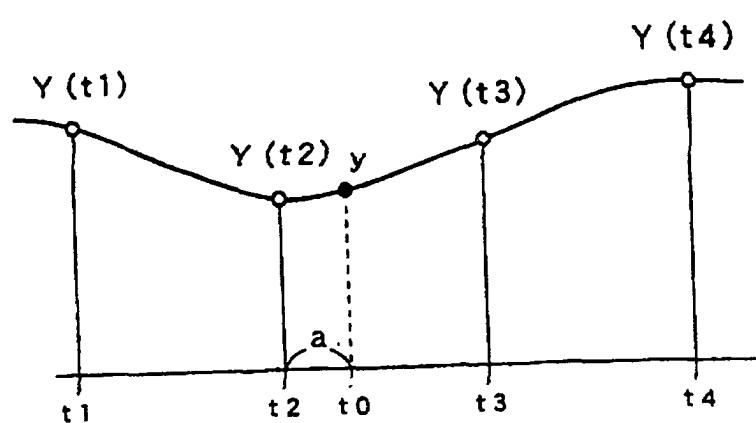


FIG. 2



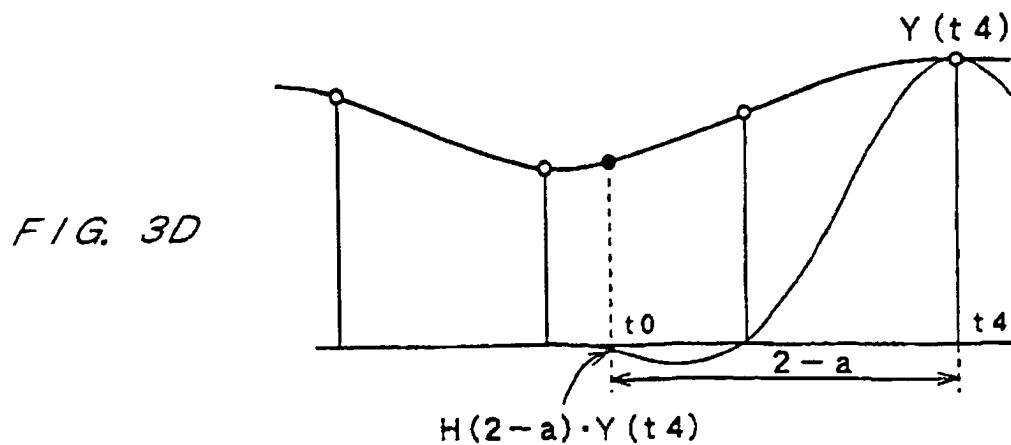
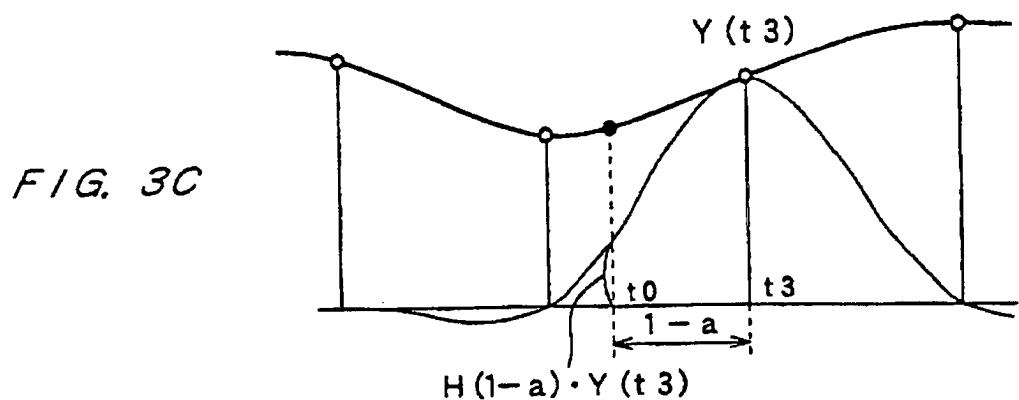
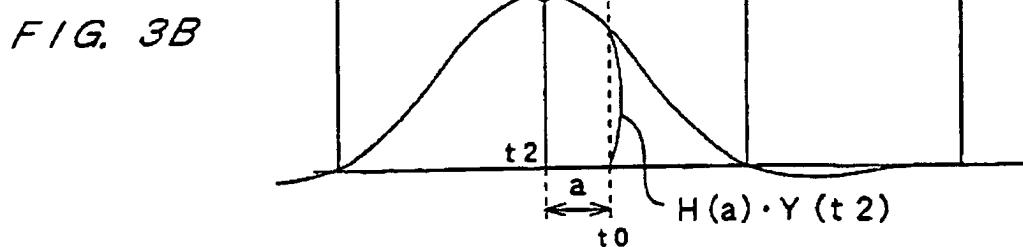
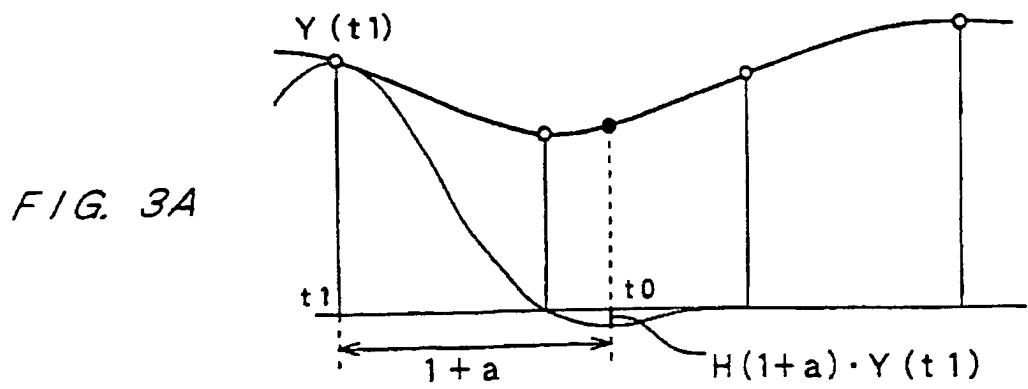


FIG. 4

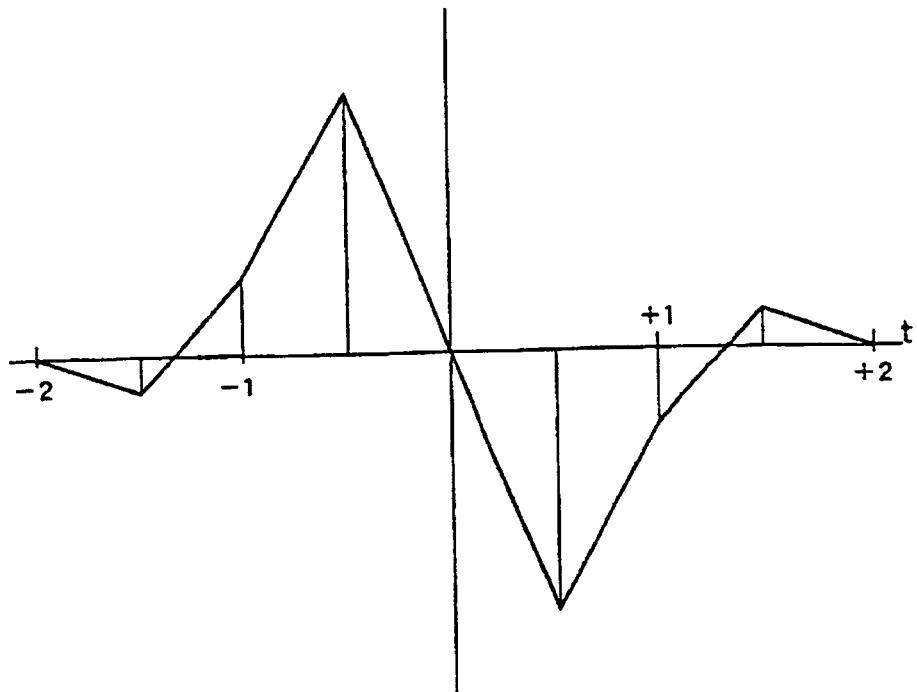


FIG. 5

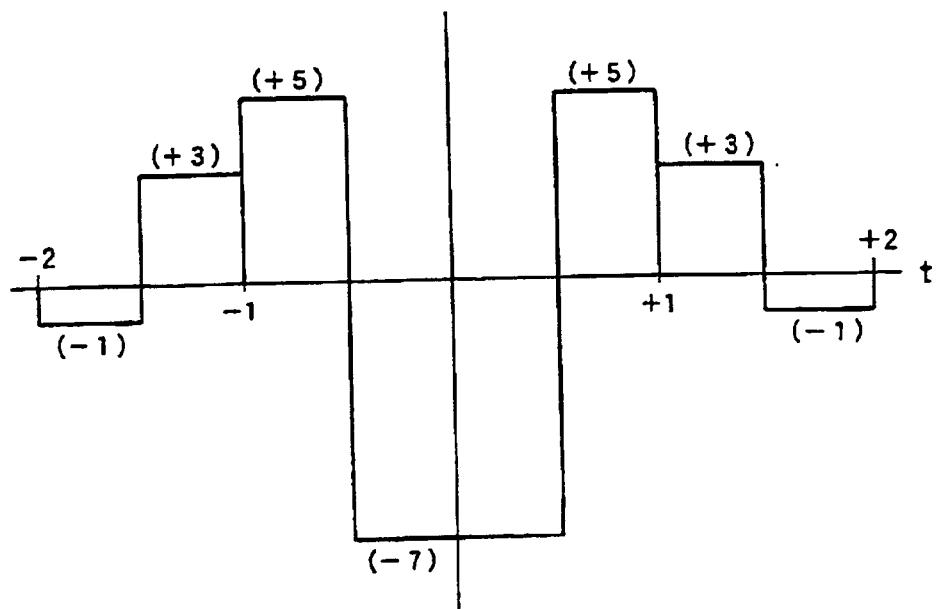
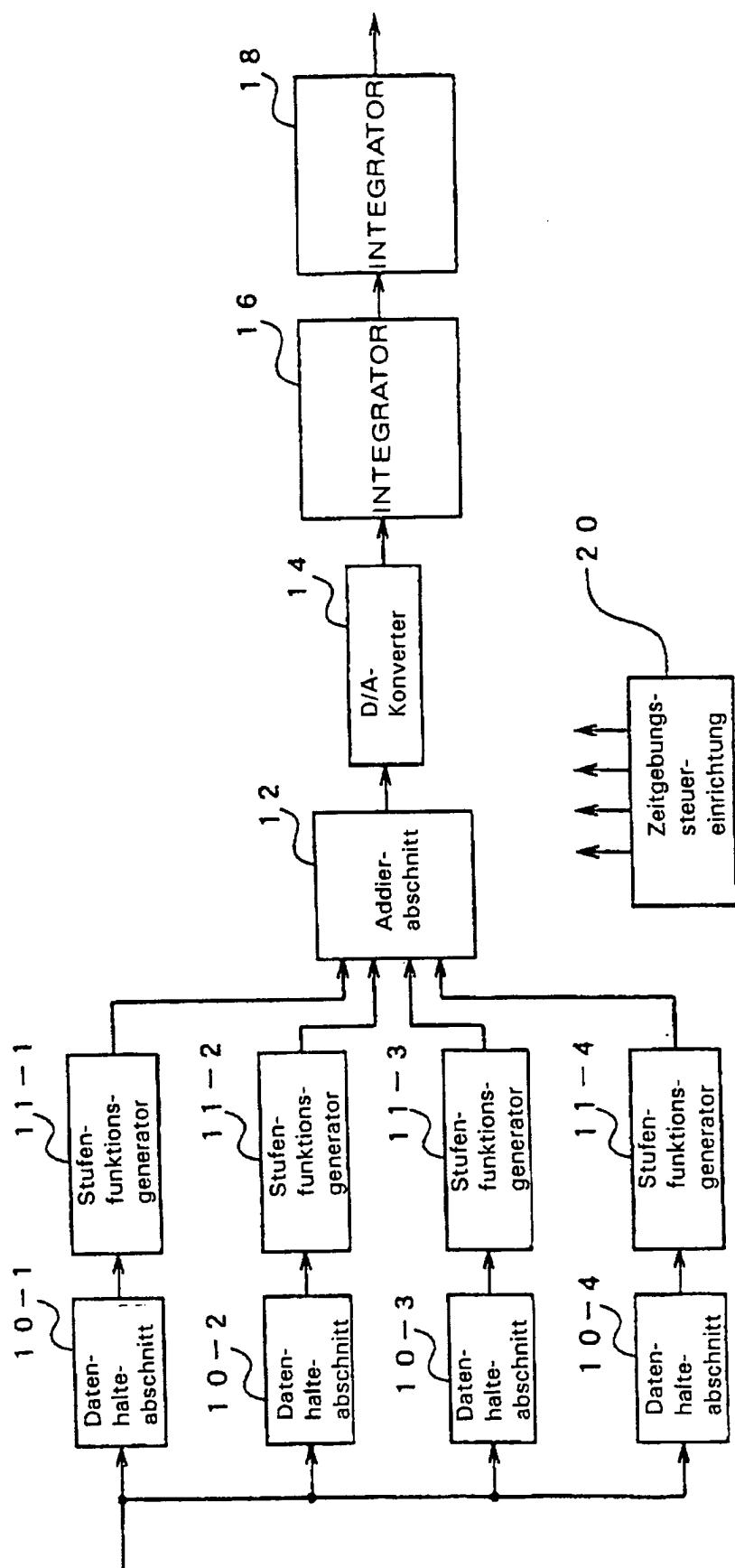


FIG. 6



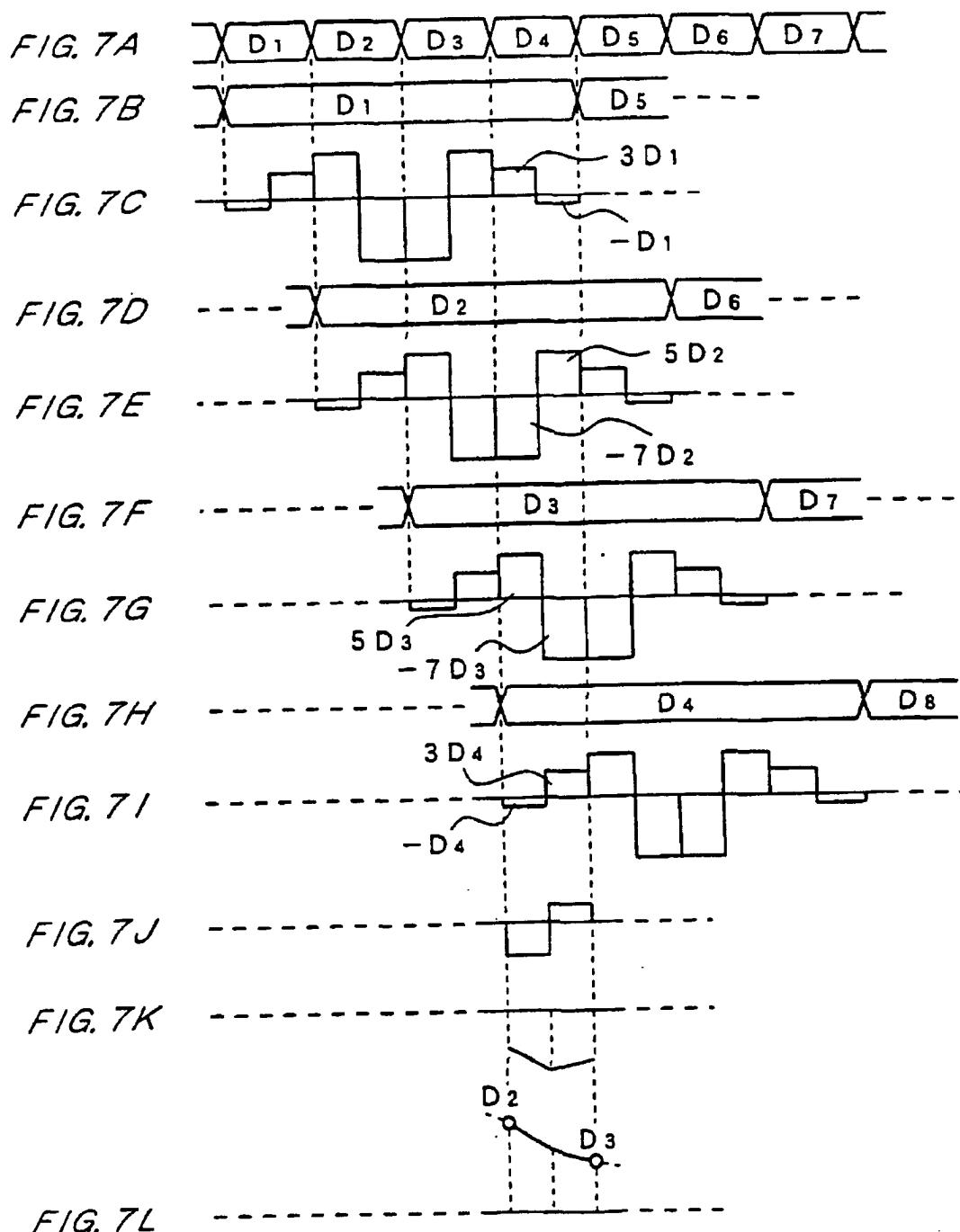


FIG. 8

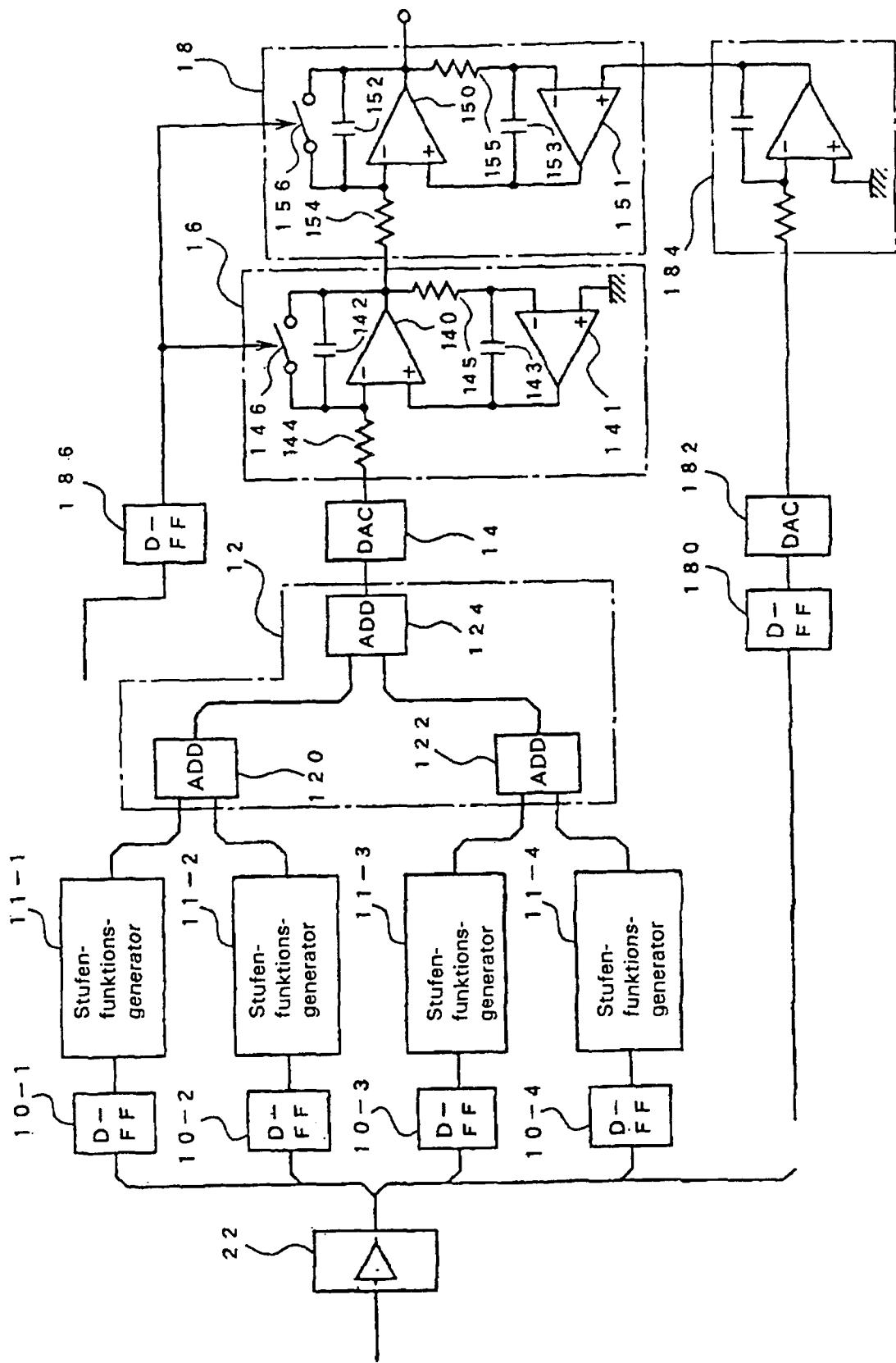


FIG. 9

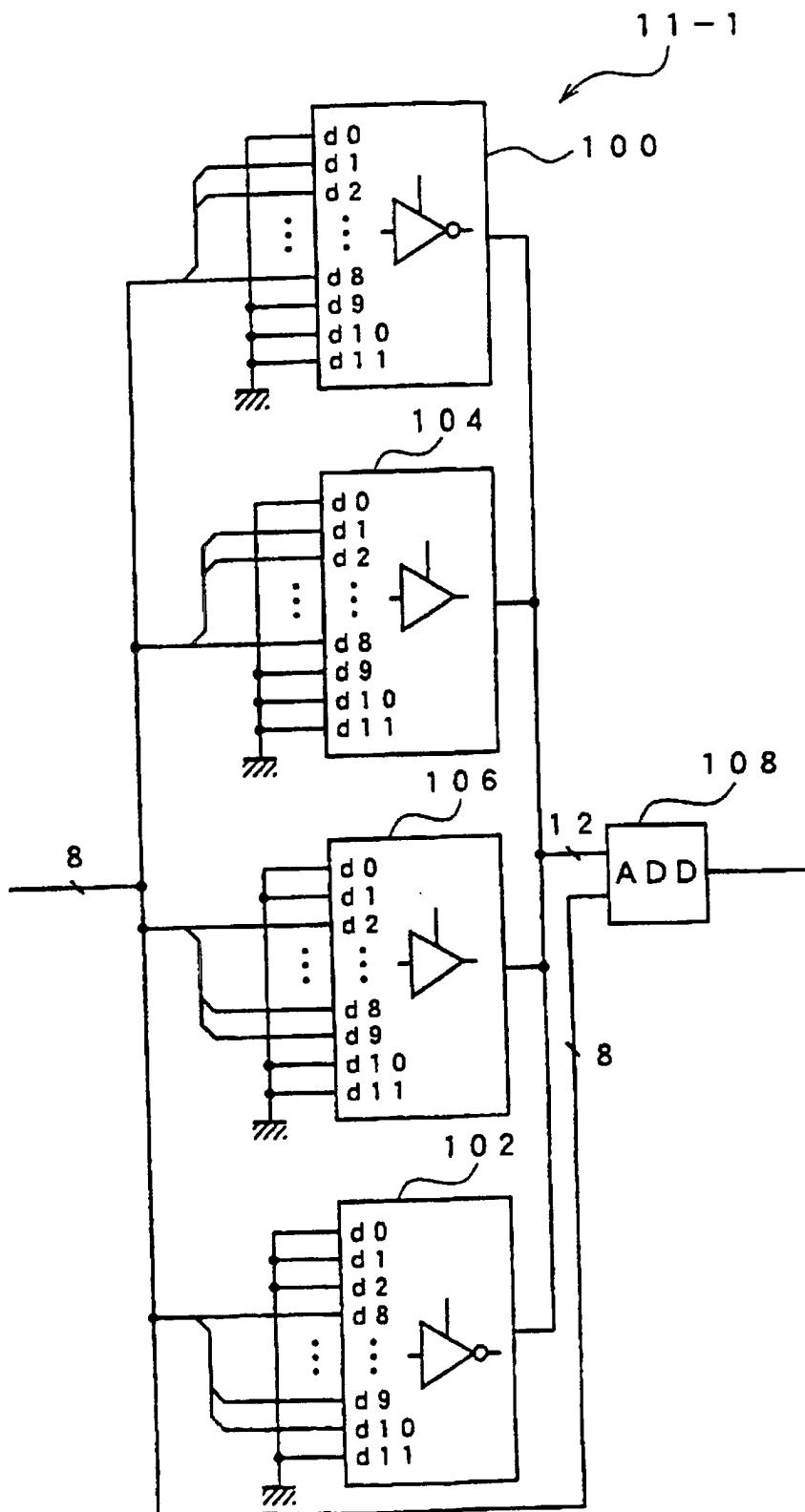
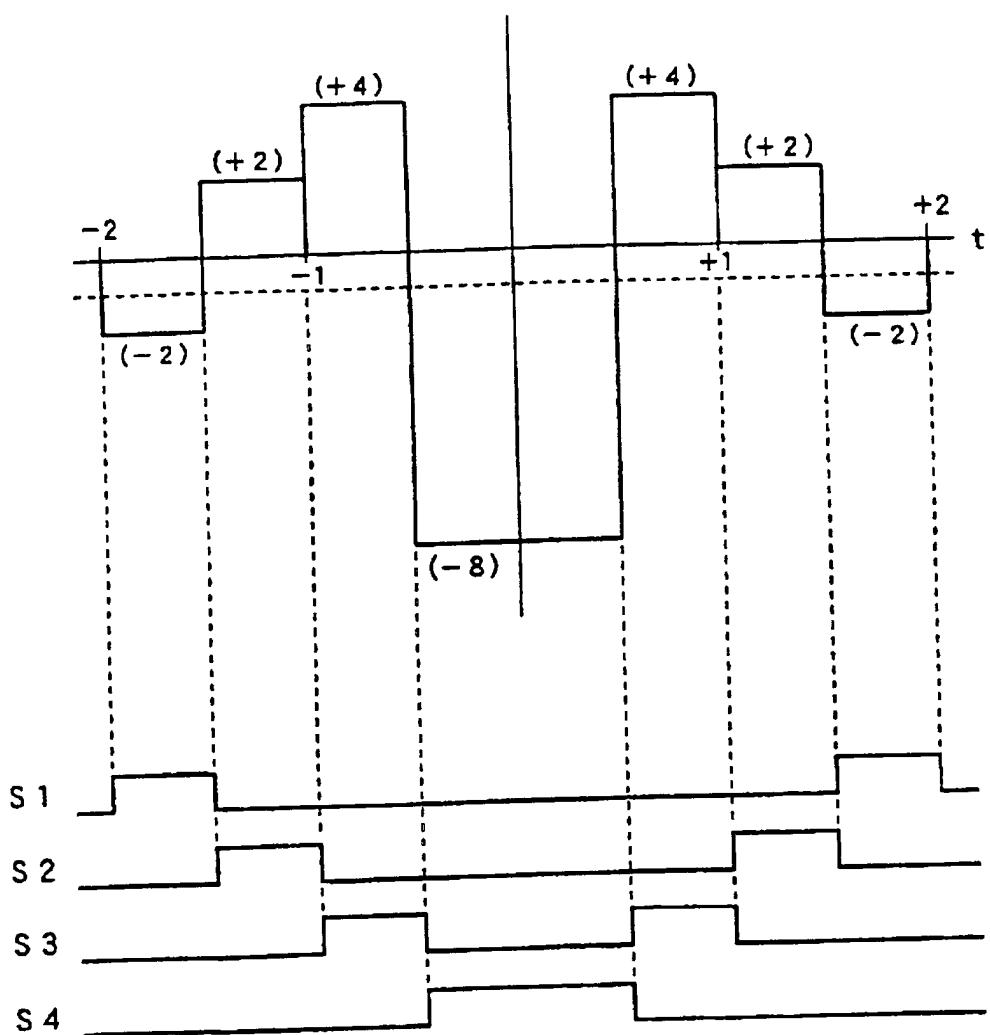


FIG. 10



F/G. 11

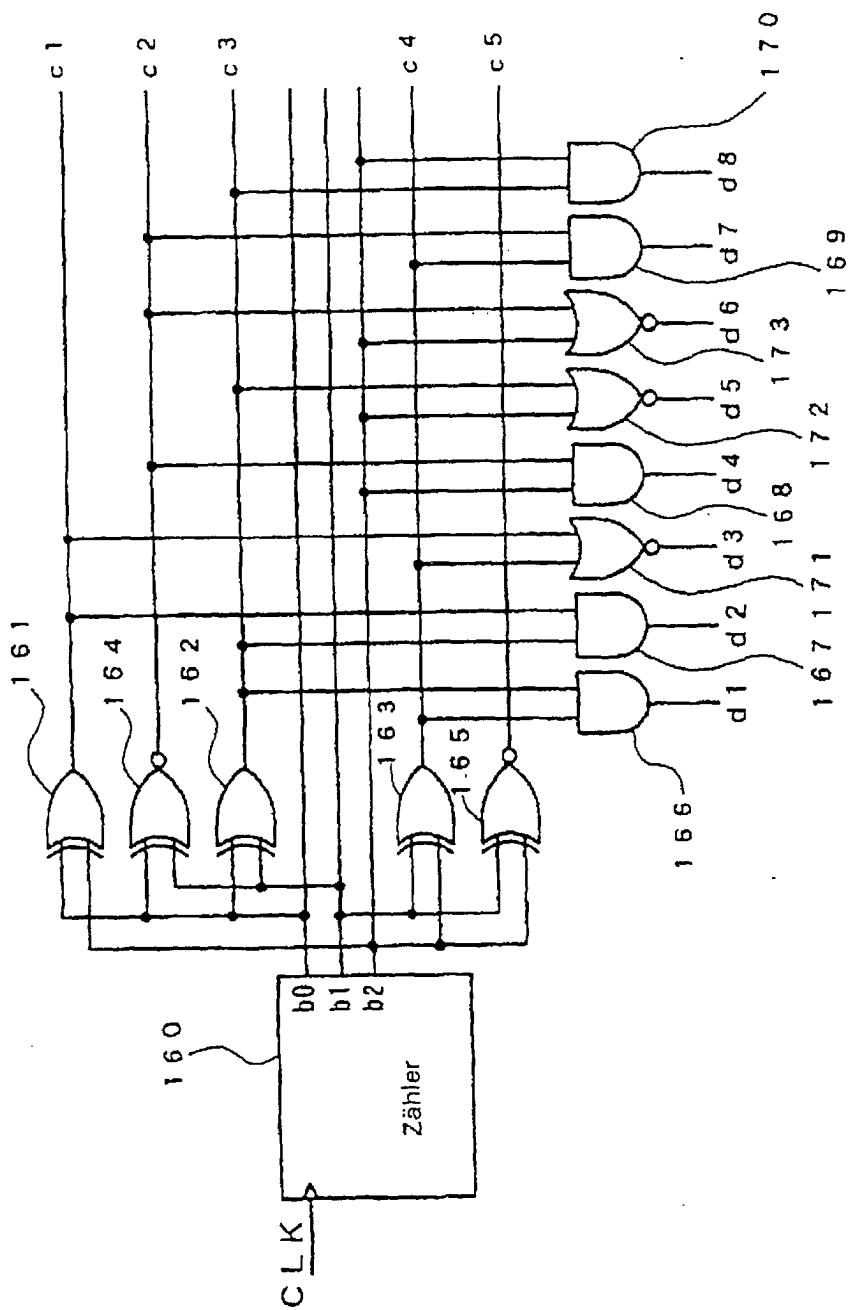


FIG. 12

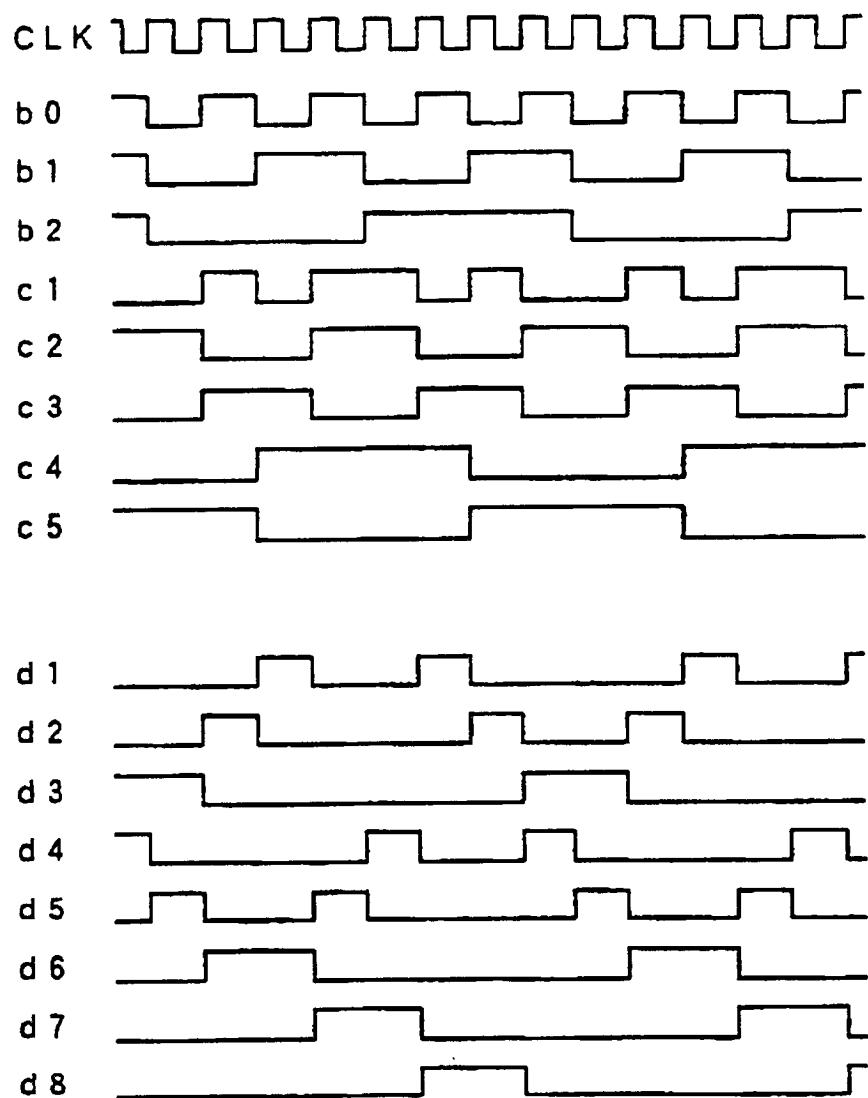


FIG. 13

