




EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG


 Anmeldenummer: **91104137.4**


 Int. Cl.⁵: **G10H 7/08, G10H 1/12**


 Anmeldetag: **18.03.91**


 Priorität: **20.03.90 DE 4008875**
20.03.90 DE 4008872
20.03.90 DE 4008873

W-5401 Emmelshausen(DE)
 Erfinder: **Scheidegger, Christian, Dipl.-Phys.**
Schützenweg 26
CH-9470 Buchs(DE)
 Erfinder: **Wachter, Heino, Dipl.-Ing.**
Am Wiesengrund 10
W-5449 Norath(DE)
 Erfinder: **Spindeler, Udo, Dipl.-Inform.**
St.-Georg-Strasse 15
W-5449 Leiningen-Lamscheid(DE)


 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.09.91 Patentblatt 91/39


 Benannte Vertragsstaaten:
AT CH ES FR GB IT LI SE


 Anmelder: **WERSI GMBH & CO.**
Am Eichelgärtchen
W-5401 Halsenbach(DE)


 Vertreter: **Knoblauch, Andreas, Dr.-Ing. et al**
Kühhornshofweg 10
W-6000 Frankfurt 1(DE)


 Erfinder: **Franz, Reinhard**
Tulpenstrasse 15


Verfahren zur Klangerzeugung mit einem elektronischen Musikinstrument und elektronisches Musikinstrument.


 Es wird ein Verfahren zur Klangerzeugung mit einem elektronischen Musikinstrument und ein elektronisches Musikinstrument angegeben, bei dem in einem Vorbereitungsabschnitt Klangmuster in einer Speichereinrichtung (7) in Form von Abtastwerten digital gespeichert werden und in einem Klangerzeugungsabschnitt die Abtastwerte aus der Speichereinrichtung (7) ausgelesen werden, in einem Interpolationsfilter digital interpoliert werden und digital-analog gewandelt werden, wobei bei der digitalen Interpolation eine Dämpfung unterhalb der Sperrfrequenz des Interpolationsfilters zugelassen wird und im Vorbereitungsabschnitt die früher frequenten Anteile der Klangmuster, die im Interpolationsfilter gedämpft werden, vor der Speicherung verstärkt werden.

tionsfilter digital interpoliert werden und digital-analog gewandelt werden, wobei bei der digitalen Interpolation eine Dämpfung unterhalb der Sperrfrequenz des Interpolationsfilters zugelassen wird und im Vorbereitungsabschnitt die früher frequenten Anteile der Klangmuster, die im Interpolationsfilter gedämpft werden, vor der Speicherung verstärkt werden.

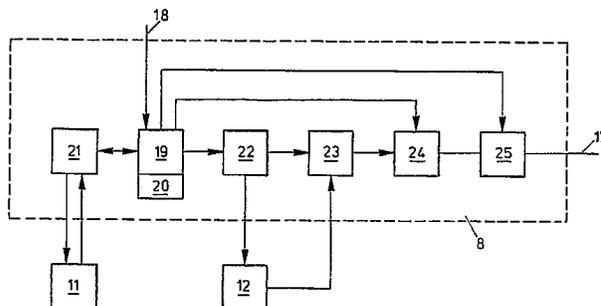


Fig. 2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Klangerzeugung mit einem elektronischen Musikinstrument, ein elektronisches Musikinstrument und eine Vorrichtung zur Beschickung einer Speichereinrichtung für ein elektronisches Musikinstrument.

Das Musikinstrument kann hierbei beispielsweise als Tastenmusikinstrument (Keyboard) oder als reines Klangerzeugungsmodul (Expander) ausgeführt sein, das über externe Signale gesteuert werden kann.

Vor der Wiedergabe von Klängen, d.h. beispielsweise bei der Fertigung eines entsprechenden Musikinstruments, werden Klangmuster in einer Speichereinrichtung in Form von Abtastwerten digital gespeichert. Bei der Erzeugung der Klänge, beispielsweise bei einem Vortrag eines Musikers, werden die Abtastwerte aus der Speichereinrichtung ausgelesen, verarbeitet, digital-analog gewandelt und über eine Audioeinrichtung als Klänge wiedergegeben.

Dabei tritt das Problem auf, daß nach der Wandlung der digital abgespeicherten Abtastwerte in Analogwerte diese in nachfolgenden Schritten mehrfach wieder in Digitalwerte und zurückverwandelt werden müssen, um digital berechnete Effekte, z.B. einen digitalen Hall, anzuwenden. Um die mehrfache Wandlung von Digitalwerten in Analogwerte und umgekehrt zu vermeiden, müssen alle Abtastwerte im System in absolut gleichen Intervallen zur Verfügung stehen. Wenn aber alle Klangmuster mit der gleichen, für das gesamte Musikinstrument gültigen Abtastrate, der sogenannten Systemabtastrate, abgetastet und abgespeichert sind, lassen sich diese Klangmuster nicht bei anderen Frequenzen wiedergeben. Beispielsweise hat der Kammerton a mit 440 Hz bei einer Abtastrate von 44,1 kHz 100,2 Abtastwerte pro Wellenzug. Will man diesen Ton einen halben Ton tiefer mit der gleichen Abtastfrequenz abspielen, so werden 106,2 Abtastwerte pro Wellenzug benötigt. Daher ist es erforderlich, bei der Wiedergabe eine Umwandlung von der abgespeicherten Abtastrate auf die dem Musikinstrument eigene Systemabtastrate vorzunehmen. Hierzu wird ein Verfahren verwendet, das unter dem Namen "Sample Rate Conversion" bekannt ist (s. z.B. Chamberlin "Musical Applications of Microprocessors", Seiten 470 bis 477, Haydn Book Company, Inc., 1980). Allerdings ist es in vielen Fällen nicht möglich, mehr als drei benachbarte Halbtöne aus einem einzigen "Sample", d.h. Klangmuster, das durch die Folge von Abtastwerten dargestellt ist, ohne größere Qualitätsverluste zu erzeugen. Wenn man einen Pianoklang, d.h. das Klangbild eines Klaviers oder eines Flügels mit einem Umfang von 88 Tasten, nachbilden will, sind also ca. 30 Samples oder Klangmuster erforderlich. Der Klang eines Pianos ist aber nicht nur von der Tonhöhe, sondern auch von der Anschlagstärke

abhängig. Weiterhin klingen tiefere Töne erheblich länger aus als hohe Töne. Nimmt man eine Unterteilung in acht Dynamikstufen an und eine mittlere Aufnahmedauer von ca. 20 sek. pro Ton, so ergibt sich ein Speicherbedarf von ca. 420 Megabytes, wobei hierbei lediglich ein einziges Instrument, nämlich das Piano, abgedeckt ist. Dabei ist noch nicht berücksichtigt, daß bei einem Piano der Klang durch das Dämpfer- und das Sustainpedal weiter verändert werden kann, so daß für die vollständige Nachbildung des Pianoklanges ein Vielfaches des angegebenen Speicherbedarfs notwendig wird. Die mittlere Aufnahmedauer eines Tones läßt sich zwar durch Loopen, d.h. repetitives Ausgeben eines Teilstücks des Tones, unter Inkaufnahme einer Qualitätseinbuße verringern, bei einer mittleren Aufnahmedauer von ca. 3 sek. ist aber immer noch ein Speicherbedarf von ca. 60 Megabytes erforderlich. Für andere Instrumente ist der Speicherbedarf höher oder niedriger. Da man mit einem modernen elektronischen Musikinstrument jedoch eine Vielzahl von Klängen erzeugen will, wächst der Speicherbedarf praktisch ins Unermeßliche. Auch unter Berücksichtigung der Tatsache, daß Speichermedien immer preiswerter werden, sind derartig große Datenmengen nur schwer mit der geforderten hohen Geschwindigkeit verarbeitbar, die das virtuose Spielen des elektronischen Musikinstruments erfordert.

Die der Sample Rate Conversion zugrundeliegende mathematische Operation läßt sich durch ein digitales Interpolationsfilter realisieren, d.h. die Interpolation im Zeitbereich kann auch als Filterung im Frequenzbereich betrachtet werden. Die für diesen Zweck am besten geeignete Filterfunktion ist ein Tiefpaßfilter, das bis zur halben Abtastfrequenz, mit der das Klangmuster abgetastet worden ist, alles passieren läßt, darüber hinaus jedoch alle Frequenzanteile total unterdrückt. Die Abschneidekante soll hier also praktisch senkrecht auf der Sperrfrequenz verlaufen. Ein ideales Filter läßt sich bekanntlich nicht realisieren. Das ideale Tiefpaßfilter läßt sich jedoch recht gut approximieren, wenn man ein Filter mit einer großen Anzahl von Filterpolen verwendet. Je höher die Anzahl der Filterpole ist, desto besser ist die Annäherung an die ideale Filtercharakteristik. Eine große Polanzahl hat jedoch im digitalen Fall den Nachteil, daß pro Pol eine vorbestimmte Anzahl von Rechenoperationen notwendig ist, d.h. beispielsweise eine Addition und eine Multiplikation pro Filterpol, so daß bei vielen Filterpolen eine entsprechend große Anzahl von mathematischen Operationen durchzuführen ist, die das Musikinstrument trotz eines hohen Aufwands relativ langsam machen. Dieser Nachteil tritt insbesondere dann sehr deutlich zutage, wenn das Musikinstrument polyphon betrieben werden soll, also gleichzeitig eine Vielzahl von verschiedenen Klang-

mustern wiedergegeben werden soll. In diesem Fall müssen die vielen mathematischen Operationen nicht nur für ein Klangmuster, sondern parallel für eine ganze Reihe von Klangmustern durchgeführt werden. Auch bei Verwendung von ausgesprochen schnellen Bauteilen gerät das Musikinstrument über kurz oder lang an eine Grenze, über die hinaus eine Erweiterung der Klangvielfalt nicht mehr möglich ist, insbesondere auch unter dem Aspekt, daß sehr große Speicher verwendet werden müssen.

Es ist deswegen die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren anzugeben, bei dem mit geringem Aufwand die Klänge möglichst naturgetreu wiedergegeben werden.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren zur Klangerzeugung mit einem elektronischen Musikinstrument, bei dem in einem Vorbereitungsabschnitt Klangmuster in einer Speichereinrichtung in Form von Abtastwerten digital gespeichert werden und in einem Klangerzeugungsabschnitt die Abtastwerte aus der Speichereinrichtung ausgelesen werden, in einem Interpolationsfilter digital interpoliert werden und digital-analog gewandelt werden, gelöst, wobei bei der digitalen Interpolation eine Dämpfung unterhalb der Sperrfrequenz des Interpolationsfilters zugelassen wird und im Vorbereitungsabschnitt die höherfrequenten Anteile der Klangmuster, die im Interpolationsfilter gedämpft werden, vor der Speicherung verstärkt werden.

Bei diesem Verfahren wählt man einen Kompromiß in der Filtereigenschaft, es wird nämlich eine Dämpfung in einem Bereich zugelassen, der eigentlich noch der Durchlaßbereich ist. Frequenzanteile, die in diesen Bereich fallen, werden unerwünschterweise stark gedämpft. Die Dämpfung wird umso stärker, je näher die Frequenzen an die Sperrfrequenz heranrücken. Aus diesem Grunde hat man bisher die Filter mit einer relativ steilen Abschnidecharakteristik gewählt. Man kann jedoch die Dämpfung durch eine Preemphasis kompensieren, die bereits vor dem Abspeichern der Klangmuster die höherfrequenten Anteile verstärkt oder anhebt. Bei der Interpolation werden diese Anteile entsprechend gedämpft, so daß am Ausgang des Interpolationsfilters trotz der schlechten Filtereigenschaften ein Klangmuster zur Verfügung steht, das praktisch dem Original entspricht.

Bevorzugterweise erfolgt die Verstärkung der höherfrequenten Anteile vor der Abspeicherung mit einer frequenzabhängigen Verstärkungskennlinie, die der frequenzabhängigen Durchlaßkennlinie im Durchlaßbereich im wesentlichen umgekehrt proportional ist. Mit anderen Worten werden die höherfrequenten Anteile frequenzabhängig umso stärker verstärkt, je größer die Dämpfung im Interpolationsfilter ist. Dadurch läßt sich eine fast rechteckförmige Filtercharakteristik im Frequenzbereich er-

zielen, d.h. die Abschnidekante des Filters steht fast senkrecht auf der Sperrfrequenz des Filters. Durch die Preemphasis nimmt man natürlich den Nachteil einer um die zusätzliche Verstärkung verminderten Aussteuerbarkeit in Kauf. Dies spielt jedoch in den betrachteten Frequenzbereichen praktisch keine Rolle, da der Energieanteil für die höherfrequenten Anteile in der Regel so klein ist, daß sie ohnehin nicht in den Aussteuerbereich kommen.

Es ist bevorzugt, daß das Frequenzspektrum der Klangmuster auf Frequenzen unterhalb einer Grenzfrequenz beschränkt wird, wobei die Grenzfrequenz kleiner als die Sperrfrequenz des Interpolationsfilters ist. Die Klangmuster werden beispielsweise auf das hörbare Spektrum, das sogenannte Audiospektrum, begrenzt. Durch die doppelte Maßnahme vor dem Abspeichern der Klangmuster, d.h. die Preemphasis einerseits und die Beschränkung des Frequenzspektrums andererseits, erhält man nach der Wiedergabe Klangmuster, die bis zur Grenzfrequenz praktisch ungedämpft, darüber hinaus aber praktisch vollständig unterdrückt sind.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Klangmuster aus einzelnen Klangmerkmalen zusammengesetzt, die in Form von Abtastwerten digital gespeichert sind, gesteuert ausgelesen, einer Abtastratenwandlung unterworfen, nach der alle Klangmerkmale mit einer einheitlichen Systemabstrakte zur Verfügung stehen, und dann zusammengesetzt, wobei zumindest einige Klangmerkmale Komponenten unterschiedlicher Frequenz aufweisen, alle Klangmerkmale zum Startzeitpunkt eines Klanges eine vorbestimmte Phasenbeziehung zueinander aufweisen und die Komponenten eines Klangmerkmals zu diesem Startzeitpunkt eine vorbestimmte Phasenbeziehung zu den anderen Komponenten des gleichen Klangmerkmals aufweisen. Diese Ausführungsform kann auch ohne die Merkmale der Preemphasis verwirklicht werden. Ein Klangmerkmal ist also ein Frequenzgemisch, das in Form einer vorbestimmten Anzahl von Abtastwerten in dem Speicher abgelegt ist. Würde ein Klangmerkmal lediglich eine einzige Frequenz enthalten, könnte man aus einer Vielzahl von Klangmerkmalen praktisch jeden Ton zusammensetzen, wie dies von der harmonischen Synthese bekannt ist. Hierbei wird jedoch für jeden Oberton ein eigener Sinusoszillator mit eigener Amplitudensteuerung benötigt. Bei einem obertonreichen, aber tiefen Ton von z.B. 40 Hz mit Obertönen bis zu 10 kHz kommen somit ca. 250 Oszillatoren zusammen. Diese müssen jeweils angesteuert und verwaltet werden. Erfindungsgemäß werden nicht nur Sinusschwingungen erzeugt, sondern Frequenzgemische, die bereits eine Vielzahl von Oberschwingungen enthalten können. Man nutzt dabei die Tatsache aus, daß bei den vielen Klangmustern, die in dem Speicher ab-

gelegt sind, gewisse Gemeinsamkeiten vorherrschen, die beispielsweise das charakteristische Klangbild eines Instruments bestimmen. Wenn man den "Grundklang" eines Instruments als Klangmerkmal extrahiert und speichert, benötigt man für die Klangmuster, die den einzelnen Tönen des Instruments entsprechen, nur noch einige wenige weitere Klangmerkmale, um die Töne mit hoher Ähnlichkeit nachzubilden. Das Erstaunliche dabei ist, daß die akustische Wiedergabe des Grundklangmerkmals nicht unbedingt eine Ähnlichkeit mit dem Klang des nachzubildenden Instruments aufweisen muß. Ähnlichkeiten, die für die Zusammenfassung von Teilen unterschiedlicher Klangmuster in gemeinsame Klangmerkmale ausgenutzt werden können, bestehen aber nicht nur zwischen den Tönen eines einzelnen Instruments, sondern auch zwischen Klangmustern verschiedener Instrumente, beispielsweise im Fall von Instrumentenfamilien, wie Blechbläser, Holzbläser oder Streicher. Man kann jedoch auch Instrumentenfamilienübergreifende Klangmerkmale finden, die weiter zur Verminderung des Speicherbedarfs verwendet werden können. Die Klangmerkmale können beispielsweise manuell, d.h. aufgrund von Hörproben, herausgefunden werden. Eine andere Möglichkeit ist die Betrachtung von Wellenzügen, die durch die einzelnen Instrumente erzeugt worden sind. Auch hierbei lassen sich gewisse Ähnlichkeiten erkennen, die dann in Form von Klangmerkmalen extrahiert werden können. Schließlich kann man geeignete Rechenverfahren entwickeln, um die Ähnlichkeiten zwischen einzelnen Klängen als Klangmerkmale zu extrahieren.

Wichtig bei der Zusammensetzung von einzelnen Klangmerkmalen zu den gewünschten Klängen ist die Tatsache, daß die einzelnen Klangmerkmale zum Startzeitpunkt, d.h. beim erstmaligen Zusammensetzen des Klanges, eine vorbestimmte Phasenbeziehung zueinander haben. Gleiches gilt für die einzelnen Frequenzkomponenten eines einzelnen Klangmerkmals. Nur in diesem Fall führt nämlich die Überlagerung der einzelnen Klangmerkmale zu der gewünschten Synthese, d.h. zu dem nachzubildenden Ton. Haben die einzelnen Klangmerkmale diese vorbestimmte Phasenbeziehung nicht, d.h. hängt es vom Zufall ab, wann die einzelnen Klangmerkmale starten, kann es vorkommen, daß sich einzelne Obertöne verstärken oder auslöschen und damit das Klangbild verfälschen. Die Klangmerkmale sind hierbei nicht auf eine Periode der Grundwelle beschränkt. Wie beim normalen Sampling, d.h. Abtasten, können praktisch beliebig lange Klangmuster abgespeichert werden.

Bevorzugterweise weisen alle Klangmerkmale zum Startzeitpunkt einen Nulldurchgang auf. Dies erleichtert die Herstellung der gewünschten Phasenbeziehung. Außerdem entspricht dieser Aufbau

im wesentlichen auch dem Vorbild eines natürlichen Musikinstruments. Auch bei den herkömmlichen Musikinstrumenten beginnt der Ton mit einem Amplitudenwert von Null.

5 Bevorzugt ist auch, daß alle Komponenten eines Klangmerkmals zum Startzeitpunkt einen Nulldurchgang aufweisen. Die Amplitude einer Komponente kann sich nach dem Startzeitpunkt positiv oder negativ entwickeln. Wenn sich die Amplitude im Zeitbereich nach dem Start negativ entwickelt, die erste Ableitung nach der Zeit also negativ ist, bedeutet dies, daß die betreffende Komponente gleicher Frequenz, die nach dem Startzeitpunkt zunächst eine Amplitude größer als Null annimmt, um 10 180° phasenverschoben ist. Eine solche Komponente kann man im Frequenzspektrum mit negativer Amplitude darstellen. Ein Klangmerkmal mit einer solchen Komponente wird also die Komponente eines weiteren Klangmerkmals mit der gleichen Frequenz ganz oder teilweise auslöschen. Die "negative" Amplitude dient hier natürlich nur als Rechengröße, da für das Ohr der Betrag der Amplitude entscheidend ist.

25 Bevorzugterweise wird jedes Klangmerkmal mit einer Anzahl von Abtastwerten gespeichert, die eine vorbestimmte Beziehung mit der höchsten in dem Klangmerkmal vorkommenden Frequenz aufweist, wobei die Sperrfrequenz des Interpolationsfilters abhängig von der Abtastfrequenz gewählt wird, mit der die Abtastwerte aus den Klangmustern erzeugt worden sind und bevorzugterweise in der Größenordnung von 50 % bis 60 % der Abtastfrequenz gewählt. In diesem Bereich hat man die größte Sicherheit, daß kein Aliasing auftritt. Dabei ist es vorteilhaft, daß die Grenzfrequenz in der Größenordnung von 30 % bis 50 % der Abtastfrequenz gewählt wird. Damit lassen sich praktisch beliebige Sperr- oder Grenzfrequenzen realisieren, so daß auch über die Charakteristik des Interpolationsfilters eine Beeinflussung der Wiedergabe der Klangmuster möglich ist. Insbesondere kann durch eine geschickte Wahl der Sperrfrequenz des Interpolationsfilters oder der Grenzfrequenz der sogenannte Alias-Effekt unterdrückt werden, der gerade mit hohen Frequenzen unerwünschte Störungen bei der Wiedergabe des Klangmusters bewirkt. Es ist also nicht notwendig, alle Klangmerkmale mit der gleichen, hohen Abtastfrequenz, also der System-Abtastrate, abzutasten und die daraus resultierende hohe Anzahl von Abtastwerten abzuspeichern. Vielmehr wird die Anzahl der Abtastwerte auf das absolut Notwendige beschränkt.

55 Vorteilhafterweise werden die Klangmerkmale vor dem Zusammensetzen einer Amplitudensteuerung unterworfen. Beispielsweise kann ein Klangmerkmal, das überwiegend Obertöne enthält, in einem Fall verstärkt werden, um einen sehr obertonreichen Klang zu erzeugen, in einem anderen

Fall aber nur mit einer geringen Verstärkung verwendet werden, so daß die Obertöne nicht so deutlich hörbar sind. Mit dem gleichen Klangmerkmal lassen sich also bereits durch die Amplitudensteuerung unterschiedliche Klänge erzeugen. Dies gilt auch bei einem einzigen Klang, um dessen zeitliche Veränderung darzustellen.

Bevorzugterweise erfolgt die Amplitudensteuerung mit Hilfe von digital gespeicherten Amplituden-Hüllkurven. In einem Klang lassen sich dann auch wechselnde Frequenzgemische realisieren. Dies kann zu interessanten Schwebungseffekten führen.

Dabei wird bevorzugt, daß die Amplituden-Hüllkurven aus Hüllkurven-Merkmalen zusammengesetzt werden. Die Technik, die Gemeinsamkeiten in den einzelnen Kurven oder Schwingungen nur einmal abzuspeichern und mehrfach zu verwenden, läßt sich also auch bei den Hüllkurven verwenden.

Mit Vorteil werden einzelne Klangmerkmale zur Erzeugung einer Mehrzahl von Klängen verwendet. Dies ist auch gleichzeitig möglich, da die Klangmerkmale durch das Auslesen aus dem Speicher ja nicht verlorengehen. Vielmehr läßt sich ein Klangmerkmal, das gerade ausgelesen wird, auch in mehreren parallel angeordneten Bearbeitungsstrecken weiter verarbeiten. Auch läßt sich ein Klangmerkmal, von dem bereits einige Komponenten ausgelesen sind, wieder von Beginn an auslesen, ohne daß das erste Auslesen des Klangmerkmals gestört wird. Dies ist letztendlich lediglich eine Frage der Speicherverwaltung oder der Auslesesteuerung. Dadurch läßt sich ein polyphones Spiel realisieren.

Bevorzugterweise ist durch das Zusammensetzen der Klangmerkmale sowohl eine Verstärkung als auch eine Abschwächung von Frequenzkomponenten im resultierenden Signal erzielbar. Diese Verstärkung oder Abschwächung läßt sich einerseits durch das einfache Überlagern der Klangmerkmale erzielen. Wenn ein Klangmerkmal eine der oben erwähnten Komponenten mit negativer Amplitude aufweist, wird die entsprechende Frequenz, sofern sie in dem anderen Klangmerkmal ebenfalls vorkommt, abgeschwächt werden. Der gleiche Effekt, allerdings nicht auf eine einzelne Frequenz beschränkt, läßt sich dadurch erzielen, daß das Klangmerkmal mit einer negativen Amplituden-Hüllkurve versehen wird. Der Begriff der negativen Amplituden-Hüllkurve wird hier ebenfalls nur zu Anschauungszwecken eingeführt. Damit soll ausgedrückt werden, das Klangmerkmale, die mit einer negativen Amplituden-Hüllkurve versehen sind, beim Zusammenfügen nicht zu einem anderen Klangmerkmal addiert, sondern von diesem subtrahiert werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt das Auslesen und die Abtastraten-

wandlung von mehreren Klangmerkmalen durch für jeweils mehrere Klangmerkmale gemeinsame Einrichtungen, die die Klangmerkmale seriell oder im Multiplexverfahren abarbeiten. Dies läßt sich aufgrund der im Verhältnis zu den Frequenzen der Klangmerkmale hohen Verarbeitungsfrequenzen leicht realisieren. Streng genommen müssen lediglich innerhalb einer Periode der System-Abtastrate von beispielsweise 44,1 kHz alle Verarbeitungen abgeschlossen sein, um dem Musikinstrument den Augenblickswert des nachzubildenden Klanges zur Verfügung zu stellen. Bei einer angenommenen System-Abtastrate von 44,1 kHz sind dies mehr als 20 μ s.

Mit Vorteil wird während des Auslesens eines Abtastwerts eines Klangmerkmals aus dem Speicher die Abtastratenbearbeitung eines Abtastwerts eines anderen Klangmerkmals durchgeführt, das im vorausgehenden Zugriff auf den Speicher ausgelesen worden ist. Die Berechnung von einzelnen Werten erfolgt also zeitlich hintereinander, wodurch sich ein gewisses Pipelining realisieren läßt.

Bevorzugterweise erfolgt das Zusammensetzen der einzelnen Klangmerkmale mit Hilfe eines Akkumulators, in den Augenblickswerte der mit der einheitlichen Systemabtastrate versehenen Klangmerkmale seriell addiert bzw. subtrahiert werden, wobei der Inhalt zu einem vorbestimmten Zeitpunkt ausgelesen wird. Für das "Füllen" des Akkumulators steht dabei eine komplette Periode der Systemabtastrate zur Verfügung. Es ist also nicht notwendig, daß alle Klangmerkmale eines Klanges gleichzeitig bearbeitet werden. Vielmehr eröffnet diese bevorzugte Ausführungsform die Möglichkeit einer seriellen Bearbeitung von einzelnen Klangmerkmalen hintereinander, wobei durch den Akkumulator die Möglichkeit gegeben ist, die einzelnen Klangmerkmale zusammensetzen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist jeder Klang aus maximal sechzehn Klangmerkmalen zusammengesetzt. In vielen Fällen werden auch zwei bis acht Klangmerkmale ausreichen. Die Entscheidung, wie viele Klangmerkmale verwendet werden, ist letztlich eine Frage des Gehörempfindens. Durch die Beschränkung auf sechzehn Klangmerkmale wird eine Beschränkung der abzuspeichernden und zu verwaltenden Datenmengen bewirkt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden für einen Klang parallel mehrere Sätze von Klangmerkmalen zusammengesetzt, die mit gegenläufigen Amplitudensteuerkurven überlagert werden. Damit läßt sich auf einfache Art und Weise der Klang eines Instruments nachbilden, der sich auch mit einer Vielzahl von Klangmerkmalen ansonsten schwer nachbilden ließe. Als Beispiel sei auf eine Trompete verwiesen, in die während des Blasens ein Dämpfer eingeführt wird. Ein anderes

Beispiel ist eine Klarinette oder ein Saxophon, deren Spieler beim Spielen die Spannung der Unterlippe stark verändert.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Interpolationsfilter verwendet, dessen Grenzfrequenz sich in Abhängigkeit von der Abtastfrequenz selbsttätig verändert. Damit läßt sich eine Speicherplatzersparnis bei den Abtastwerten für die Klangmuster erreichen. Wenn beispielsweise der Kammerton a nur einen geringen Obertongehalt aufweist, z.B. dann, wenn das Klangmuster von einer Flöte stammt, die im wesentlichen nur die dritte Oberwelle (1760 Hz) hat, so genügt zur Erzeugung der Abtastwerte eine Abtastfrequenz von ca. 3,5 kHz, also nur ca. acht Abtastwerte pro Wellenzug. Dies ergibt in diesem Beispiel eine Speicherersparnis von mehr als 90 %. Bei der Wiedergabe mit der Systemabtastrate des Musikinstruments von beispielsweise 44,1 kHz müssen dann natürlich wieder 100,2 Abtastwerte erzeugt bzw. errechnet werden. In diesem Zusammenhang zeigt sich auch der Vorteil der selbsttätigen Anpassung der Grenzfrequenz des digitalen Interpolationsfilters besonders deutlich. Die Grenzfrequenz stellt sich bei einer Abtastfrequenz von 3,5 kHz beispielsweise auf einen Wert in der Größenordnung von 1,4 kHz ein.

Der Erfindung liegt auch die Aufgabe zugrunde, ein elektronisches Musikinstrument zur Erzeugung von Klängen anzugeben, bei dem mit geringem Aufwand die Klänge möglichst naturgetreu wiedergegeben werden. Diese Aufgabe wird bei einem elektronischen Musikinstrument zur Erzeugung von Klängen mit einer Speichereinrichtung, in der Klangmuster in Form von Abtastwerten digital gespeichert sind, einer Ausleseeinrichtung, die die Abtastwerte gesteuert aus der Speichereinrichtung ausliest, einem digitalen Interpolationsfilter, das eine Abstratenwandlung durchführt und an seinem Ausgang die Klangmerkmale mit einer für das gesamte Musikinstrument einheitlichen Systemabtastrate zur Verfügung stellt, und einem Digital/Analog-Wandler, der an den Ausgang des Interpolationsfilters angeschlossen ist, gelöst, bei dem das Interpolationsfilter eine ausgeprägte Dämpfung unterhalb der Sperrfrequenz aufweist, und die Abtastwerte Klangmustern entsprechen, deren höherfrequente Anteile, die im Interpolationsfilter gedämpft werden, verstärkt sind.

Das Musikinstrument hat also die Information, die es zur Erzeugung der Klänge benötigt, in sich gespeichert. Bei einem Tastendruck oder bei Auftreten eines Erzeugungssignals liest die Ausleseeinrichtung die gespeicherten Abtastwerte aus, die dann nachfolgend verarbeitet werden. Dadurch daß die gespeicherten Werte ein anderes Frequenzspektrum aufweisen als die wiederzugebenden Werte - sie sind nämlich erfindungsgemäß in den

oberen Frequenzbereichen verstärkt -, läßt sich problemlos das Interpolationsfilter mit der ausgeprägten Dämpfung verwenden, ohne daß am Ausgang des Interpolationsfilters bzw. des nachgeschalteten Digital/Analog-Wandlers unerwünschte Verzerrungen hörbar werden.

Bevorzugterweise weist das Musikinstrument einen Akkumulator, der mit dem Ausgang des Interpolationsfilters verbunden ist und seriell eingelesene Werte aufsummiert und die Summe ausgibt, wobei das Aufsummieren und das Ausgeben innerhalb einer Periode der Systemabtastrate erfolgt, und eine Audio-Einrichtung auf, die das Ausgangssignal des Digital/Analog-Wandlers hörbar macht. In einem derartigen Musikinstrument lassen sich die einzelnen Klangmerkmale deswegen überlagern, weil das Interpolationsfilter für eine Abstratenwandlung sorgt. Die Klangmerkmale stehen beim Ausgang des Interpolationsfilters zwar nach wie vor in digitaler Form zur Verfügung, jedoch sind sie dort alle mit der Systemabtastrate abgetastet, d.h. innerhalb jeder Periode der Systemabtastrate steht ein Augenblickwert jedes Klangmerkmals stabil zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

In jeder Periode der Systemabtastrate lassen sich also die einzelnen Augenblickswerte überlagern. Das Ausgangssignal beinhaltet dann die Addition bzw. Subtraktion der einzelnen Frequenzen, was zum Frequenzspektrum des nachzubildenden Klanges führt.

Bevorzugterweise weist das Interpolationsfilter 32 oder weniger Pole auf. Dies ist gegenüber den üblicherweise verwendeten Interpolationsfiltern, die größenordnungsmäßig 100 oder mehr Pole aufweisen, eine erhebliche Rechen- und Verarbeitungszeitersparnis und ermöglicht eine schnelle Verarbeitung der ausgelesenen Werte, da bei einer geringeren Anzahl von Polen eine geringere Anzahl von Rechenoperationen notwendig sind. Für den Fall, daß das Filter für mehrere Klänge gleichzeitig zur Verfügung stehen muß, also beispielsweise die Rechenoperationen für einen polyphonen Klang durchführen muß, läßt sich bei den angegebenen 32 oder weniger Polen eine entsprechend größere Klangvielfalt gleichzeitig erzeugen. Im Vergleich zu den ansonsten üblichen hundert- oder mehrpoligen Filtern läßt sich die Klangvielfalt praktisch mehr als verdreifachen. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist das Interpolationsfilter acht Pole auf. Man erhält hier zwar einen relativ breiten Übergangsbereich, d.h. die Dämpfung setzt relativ frühzeitig ein. Durch die vorgesehene Preemphasis läßt sich dieser Effekt jedoch problemlos ausgleichen.

Bevorzugterweise ist zwischen dem Interpolationsfilter und dem Akkumulator eine Amplitudensteuereinrichtung angeordnet. Diese Amplitudensteuereinrichtung sorgt dafür, daß einzelne Klang-

merkmale stärker oder schwächer bei der Zusammensetzung der Klänge Einfluß nehmen.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind Ausleseeinrichtung, Interpolationsfilter, Akkumulator und gegebenenfalls Amplitudensteuereinrichtung in einem Klangerzeugungsmodul zusammengefaßt und mehrere Klangerzeugungsmodule sind parallel angeordnet. Dies erweitert die Möglichkeit der Polyphonie. Mehrere parallel angeordnete Klangerzeugungsmodule können eine ungleich größere Anzahl von Klängen parallel erzeugen, ohne daß sich eine Beschränkung in Bezug auf Rechen- oder Verarbeitungszeit ergibt.

Ein weiterer vorteilhafter Effekt läßt sich erzielen, wenn die einzelnen Klangmerkmale eine vorbestimmte zusätzliche Veränderung der Phasenverschiebung zueinander aufweisen. Hierdurch läßt sich erreichen, daß sich beim Zuhörer der Eindruck einstellt, es spielten eine Vielzahl von Instrumenten gleichzeitig, wie bei einem Orchester.

Bevorzugterweise weist die Klangerzeugungseinrichtung mindestens einen Transputer zur Verarbeitung der Klangmerkmale zu Klangsignalen auf. Ein Transputer, wie er z.B. von der Firma Inmos vertrieben wird, ist eine programmierbare Schaltungskomponente, die die parallele Bearbeitung von Prozessen mit hoher Geschwindigkeit ermöglicht. "Transputer" ist ein Kunstwort, das aus der Zusammenziehung von "Transistor" und "Computer" entstanden ist. Ein Transputer verhält sich also einerseits wie ein Computer, andererseits aber auch physikalisch wie ein Halbleiterschaltungselement. Ein Transputer ist eine in sich geschlossene Einheit, die Prozesse intern verwaltet und lediglich die Eingänge und die Ausgänge des Prozesses nach außen führt. Transputer ermöglichen die parallele Bearbeitung von Prozessen mit hoher Geschwindigkeit. Dabei ist es unerheblich, ob tatsächlich mehrere Einheiten in dem Transputer vorgesehen sind, die parallel arbeiten, oder ob in einer speziellen Ausführungsform eine Einheit, d.h. ein einzelner Transputer, die Parallelität simuliert. Dies ist einmal darauf zurückzuführen, daß jeder Transputer einen lokalen Speicher aufweist, auf den er zurückgreifen kann. Der Transputer kann sich also in hohem Maße selbst verwalten, ohne auf die Beschränkungen eines Bus oder eines Controllers für einen externen Speicher, auf den möglicherweise auch noch andere Prozessoren zugreifen müssen, angewiesen zu sein. Ein anderer Grund für die hohe Geschwindigkeit bei Parallelverarbeitung ist, daß der Transputer über eine sehr schnelle Schnittstelle, einen sogenannten Link, verfügt, über den er mit anderen Transputern, anderen Schnittstellen oder anderen Komponenten kommunizieren kann. Hierbei müssen lediglich die Endergebnisse der Prozesse, also der Datenbearbeitung, und die Eingangsdaten nach außen gelangen bzw. von außen

zugeführt werden. Kommunikationsprobleme, wie sie bei der herkömmlichen Verwendung von Prozessoren als Haupt- und Unterprozessoren oder als parallele Prozessoren auftraten, kommen bei Transputern nicht vor. Da sich die Verarbeitung von Signalen zur Klangerzeugung in den meisten Fällen in parallele Prozesse aufteilen läßt, steigt mit zunehmender Zahl von Transputern die Leistungsfähigkeit des Musikinstruments nahezu linear an. Gerade bei der Nachbildung von Klängen laufen insbesondere bei polyphonem Spiel eine Vielzahl von parallelen Prozessen ab. Dies entspricht in vielen Fällen auch dem Original der Nachbildung, beispielsweise wenn ein Orchester mit vielen parallel arbeitenden Instrumenten oder ein Piano, das vollgriffig gespielt wird, nachgebildet werden soll. Die parallelen Prozesse sind beispielsweise die Erzeugung von Einzeltönen, die parallel zueinander erzeugt werden. Darüber hinaus laufen aber auch bei der Erzeugung eines Einzeltones eine Vielzahl von parallelen Prozessen ab, beispielsweise wenn der Ton durch ein mehrpoliges digitales Filter interpoliert wird. Im Extremfall kann man jeden Pol als eigenen Prozeß betrachten.

Bevorzugterweise ist eine Vielzahl von Klangerzeugungsmodulen vorgesehen, wobei die Kommunikation zwischen der Ausleseeinrichtung und den Klangerzeugungsmodulen mit Hilfe mindestens eines Transputers erfolgt. Auch hier sind die Vorteile eines Transputers wieder ersichtlich. Die Kommunikation zwischen der Dateneingangseinrichtung und den Modulen war bisher immer durch die Leistungsfähigkeit eines Prozessors begrenzt, der entweder viele Eingangssignale aufnehmen konnte oder viele Module gleichzeitig verwalten konnte. Durch die Verwendung von Transputern läßt sich nun der Datenfluß zwischen der Dateneingangseinrichtung und den Modulen der Verarbeitungseinrichtung wesentlich besser steuern, ohne daß man darauf beschränkt ist, bestimmte Signalpfade von der Dateneingangseinrichtung bestimmten Modulen in der Verarbeitungseinrichtung zuzuweisen. Vielmehr können alle Module mit allen Elementen der Dateneingangseinrichtung verbunden werden, um der Klangerzeugung zu dienen.

Bevorzugterweise bildet der Transputer in jedem Modul mindestens ein digitales Interpolationsfilter. Mit Hilfe des Interpolationsfilters lassen sich aus den Abtastwerten, die hier als Stützstellen dienen, die zeitlichen Amplitudenfolgen eines jeden Klanges nachbilden. Die Verwendung des Interpolationsfilters hat den Vorteil, daß am Ausgang des Interpolationsfilters alle Klänge mit einer für das gesamte Musikinstrument einheitlichen Abtastrate, der sogenannten System-Abtastrate, zur Verfügung stehen. Die Weiterverarbeitung der noch in digitaler Form zur Verfügung stehenden Daten kann dann ebenfalls in digitaler Form erfolgen, ohne daß eine

Wandlung in analoge Form und wieder zurück, unter Umständen sogar mehrfach, erforderlich wäre. Durch die Interpolation wird also eine Abtastraten-Wandlung ("Sample Rate Conversion") durchgeführt. Das digitale Interpolationsfilter besteht aus einer Hintereinanderschaltung von mehreren Addierern und Multiplizierern. Die Verwendung des Transputers hat den Vorteil, daß jede Addition und jede Multiplikation als eigener Prozeß aufgefaßt und realisiert werden kann. Da der Transputer mehrere Prozesse parallel durchführen kann, lassen sich also auch die einzelnen für jeden Pol erforderlichen mathematischen Operationen parallel durchführen. Aufeinanderfolgende Werte können dann in Form einer Pipeline gleichzeitig berechnet werden.

Dabei ist bevorzugt, daß der Transputer in jedem Modul mehrere parallel angeordnete digitale Interpolationsfilter bildet, die mehrere Klangmuster parallel bearbeiten. Bereits mit einem Modul lassen sich also mehrere Klänge parallel erzeugen, ohne daß eine Zeitscheiben-Verwaltung notwendig ist, die jedem Interpolationsfilter nur einen Bruchteil der in einer Periode der System-Abtastrate zur Verfügung stehenden Zeit zuweist.

Es ist weiterhin eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung zur Beschickung einer Speichereinrichtung für ein elektronisches Musikinstrument anzugeben, bei dem mit geringem Aufwand die Klänge möglichst naturgetreu wiedergegeben werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist die Vorrichtung mit einer Aufnahmeeinrichtung zum Erzeugen von Klangmustern in Gestalt von elektrischen oder magnetischen Signalen aus Schallwellen, einer Abtasteinrichtung, die die Klangmuster mit einer Abtastfrequenz zu vorbestimmten Zeitpunkten abtastet und Abtastwerte erzeugt, und mit einer Speichereinrichtung, die die Abtastwerte in die Speichereinrichtung einschreibt, versehen, wobei zwischen der Aufnahmeeinrichtung und der Abtasteinrichtung eine Preemphasis-Einrichtung angeordnet ist, die die Klangmuster in vorbestimmten Frequenzbereichen verstärkt.

Die Beschickungsvorrichtung sorgt also im voraus dafür, daß die durch das digitale Filter erfolgte Dämpfung wieder kompensiert wird.

Dabei ist bevorzugt, daß die Preemphasis-Einrichtung die Klangmuster in einem Frequenzbereich verstärkt, der unter 50 % der Abtastfrequenz liegt. Die Verstärkung erfolgt also in einem relativ breiten Frequenzband, so daß die abgespeicherten Abtastwerte, wenn sie nicht durch das elektronische Musikinstrument ausgelesen werden, wahrscheinlich gar nicht als zu den Klangmustern zugehörig erkannt werden könnten.

Mit Vorteil weist die Preemphasis-Einrichtung eine frequenzabhängige Verstärkungskennlinie auf,

die im wesentlichen umgekehrt proportional, im besten Fall sogar genau umgekehrt proportional, zur frequenzabhängigen Durchlaßkennlinie des Interpolationsfilters ist. Je stärker die Dämpfung im Interpolationsfilter in Abhängigkeit von der Frequenz ist, desto stärker ist die Verstärkung bzw. die Anhebung der gleichen Frequenzen in der Preemphasis-Einrichtung. Nachdem das Signal, d.h. die ausgelesenen Abtastwerte, durch das Interpolationsfilter gelaufen sind, ist die vorher aufgebraachte Preemphasis durch die Dämpfung des Filters kompensiert worden.

Es ist auch bevorzugt, daß die Preemphasis-Einrichtung Frequenzanteile oberhalb der Grenzfrequenz abschwächt. Die Preemphasis-Einrichtung schneidet also Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz ab bzw. dämpft sie erheblich.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung beschrieben. Darin zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung der Komponenten eines Musikinstruments,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Tonerzeugungsmoduls,
- Fig. 3 Klangmerkmale und Klangmuster im Frequenzbereich,
- Fig. 4 ein Klangmerkmal im Zeitbereich,
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Beschickungseinrichtung,
- Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Filters,
- Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Filterelements,
- Fig. 8 Frequenzabhängigkeiten von Filterdämpfung und Preemphasis-Verstärker und
- Fig. 9 eine nähere Darstellung der Verwendung von Transputern.

Ein elektronisches Musikinstrument weist in der Regel eine Tastatur 1, Bedienungselemente 2 und Schnittstellen 3 auf. Die Tastatur, die ein oder mehrere Manuale mit einem Umfang von vier bis acht Oktaven und/oder ein Pedal umfaßt, dient dem ausübenden Musiker zur Erzeugung von Tonfolgen. Beim Niederdrücken einer Taste erklingt in der Regel auch ein Ton. Das gleichzeitige Niederdrücken mehrerer Tasten bewirkt die polyphone Erzeugung von mehreren Tönen. Die Klangfarbe kann über die Bedienungselemente 2 eingestellt bzw. verändert werden. Über die Schnittstellen 3 können Signale von anderen Geräten, beispielsweise anderen elektronischen Musikinstrumenten, Computern oder Speichermedien, in das elektronische Musikinstrument eingekoppelt werden. Tastatur 1, Bedienungselement 2 und Schnittstellen 3 sind mit einem Schnittstellenprozessor 4 verbunden, der seinerseits einen Speicher 5 aufweist. Der Schnittstellenprozessor 4 verwaltet die von der Tastatur 1,

den Bedienungselementen 2 und den Schnittstellen 3 empfangenen Signale und erzeugt einen geeigneten Code, der an einen Hauptprozessor 6 weitergegeben wird. Der Hauptprozessor 6 weist einen Speicher 7 auf, in dem unter anderem die Verarbeitungsvorschriften für die vom Schnittstellenprozessor 4 empfangenen Signale abgelegt sind. Nachdem der Hauptprozessor 6 die vom Schnittstellenprozessor 4 empfangenen Signale bearbeitet hat, sendet er über einen Steuerbus 18 Adressen und/oder Befehle, mit deren Hilfe Tonerzeugungsmodule 8-10 Töne erzeugen können. Es können eine Vielzahl von Tonerzeugungsmodulen 8-10 vorgesehen sein. Ihre Anzahl wird im Prinzip lediglich durch die Kapazität des Hauptprozessors 6 begrenzt. Jedes Tonerzeugungsmodule 8-10 ist in der Lage, einen oder mehrere Töne gleichzeitig zu erzeugen. Die Tonerzeugung erfolgt dabei digital, wobei jedes Tonerzeugungsmodule 8-10 auf einen Steuerkurvenspeicher 11 und auf einen Abtastwertspeicher 12, die beide für alle Tonerzeugungsmodule 8-10 gemeinsam sind, zugreifen kann. Das elektronische Musikinstrument bildet durch die Tonerzeugungsmodule 8-10 andere Musikinstrumente, beispielsweise ein Piano, ein Streichinstrument oder ein Blasinstrument oder auch eine Schlagzeuggruppe, nach. Die Informationen für den Klang sind im Steuerkurvenspeicher 11 und dem Abtastwertspeicher 12 abgelegt.

Die Tonerzeugungsmodule 8-10 erzeugen digitale Signale, die sie auf einen Audiobus 17 legen. Mit dem Audiobus 17 sind auch Effektprozessoren 13-15 verbunden, die, falls gewünscht, die digitalen Ausgangssignale der Tonerzeugungsmodule 8-10 einer digitalen Effekt-Behandlung unterwerfen, beispielsweise der Erzeugung eines Halls, eines Verzerrers, eines Vibratos oder anderer Effekte.

Der Aufbau eines Tonerzeugungsmoduls ist schematisch in Fig. 2 dargestellt. Im Prinzip haben alle Tonerzeugungsmodule 8-10 den gleichen Aufbau. Sie können auch durch die gleichen Bedienungsanweisungen, d.h. Programme in den einzelnen Prozessoren, gesteuert werden.

Das Tonerzeugungsmodule 8 weist einen Steuerprozessor 19 mit Speicher 20 auf, der über den Steuerbus 18 Informationen vom Hauptprozessor 6 erhält. Der Steuerprozessor 19 ist einerseits mit einem Steuerkurvenprozessor 21 und andererseits mit einem Phasenprozessor 22 verbunden. Der Steuerkurvenprozessor 21 greift nach Anforderung des Steuerprozessors 19 auf den für alle Tonerzeugungsmodule 8-10 gemeinsamen Steuerkurvenspeicher zu, bestimmt den Wert einer Steuerkurve an der geforderten Stelle durch Interpolation und berechnet gegebenenfalls aus mehreren solcher Werte einen Endwert, den er an den Steuerprozessor 19 zurückgibt. Die Steuerkurven werden eingesetzt, um den Frequenzablauf, den Lautstärkeab-

lauf und die gehörmäßige Wichtigkeit einzelner Komponenten der zu erzeugenden Klänge für eine Vielzahl von Klanganteilen zu steuern. Die Berechnung der einzelnen Werte kann dabei hintereinander erfolgen, wobei die Auftrennung von Speicherzugriff und Verarbeitung die gleichzeitige Durchführung beider Funktionen für aufeinanderfolgende Aufrufe zuläßt.

Die Speicherung der Steuerkurvenwerte im Steuerkurvenspeicher 11 kann beispielsweise in Form von aufeinander folgenden Stützwerten erfolgen. Wenn der Ordinaten-Abstand aller Stützwerte gleich ist, erfolgt nur die Abspeicherung der Abszissen-Werte. Andernfalls können Wertepaare aus Ordinaten und Abszisse abgespeichert werden.

Die Zugriffe der verschiedenen Tonerzeugungsmodule 8-10 auf den Steuerkurvenspeicher können zyklisch in festgelegten zeitlichen Abständen erfolgen, um Zugriffskonflikte auszuschließen. In einer anderen Ausführungsform können einzelne Tonerzeugungsmodule 8-10 unterschiedliche Prioritäten haben, wobei das prioritätshöchste Tonerzeugungsmodule vor allen anderen auf den Steuerkurvenspeicher 11 zugreifen kann, wenn es einen Bedarf dazu hat.

Der Steuerprozessor 19 übergibt seine Ausgangsdaten an einen Phasenprozessor 22. Der Phasenprozessor 22 hat die Aufgabe, aus den vom Steuerprozessor 19 erhaltenen Informationen die Phase für jede der Klangkomponenten jeweils für ein festes Zeitintervall nachzuführen. Aus den Phasenwerten berechnet der Phasenprozessor eine Adresse und greift damit auf den Abtastwertspeicher 12 zu. Im Abtastwertspeicher 12 sind sogenannte Klangmerkmale in Form von Abtastwerten abgelegt. Die Abtastwerte können dabei lediglich eine Periode eines Klanges umfassen, sogenannte "waves", sie können aber auch Klangmerkmale eines gesamten Tones sein, d.h. des Tones vom Anfang bis zum Ende, sogenannte "samples". Dies kann beispielsweise dann sinnvoll sein, wenn sich ein Ton vom Start bis zum Ausklingen unregelmäßig verändert. Dies ist beispielsweise bei einem Schlagzeugbeckenklang der Fall. Ein anderes Beispiel ist das Anblasverhalten von Pfeifenorgeln, die im Moment des Anblasens ein sehr viel reichhaltigeres Frequenzspektrum als im eingeschwungenen Zustand aufweisen.

Die vom Abtastwertspeicher 12 mit Hilfe der vom Phasenprozessor 22 erzeugten Adressen ausgelesenen Daten werden direkt an ein Interpolationsfilter 23 weitergeleitet. Die Berechnung der einzelnen Phasenwerte kann hier ebenfalls hintereinander erfolgen, wobei durch die Auftrennung von Speicherzugriff durch den Phasenprozessor 22 und Verarbeiten durch das Interpolationsfilters 23 die gleichzeitige Durchführung beider Funktionen für aufeinanderfolgende Werte möglich ist. Das In-

terpolationsfilter 23 errechnet aus den im Abtastwertspeicher 12 abgelegten Abtastwerten an einer von durch den Phasenprozessor vorgegebenen Anzahl Stützstellen Amplitudenwerte. Die Stützstellen sind dabei durch eine System-Abtastrate bestimmt. Nach dem Durchlaufen des Interpolationsfilters stehen also alle Töne mit einer einheitlichen System-Abtastrate zur Verfügung. An den durch die Abtastrate bestimmten Zeitpunkten stehen also im gesamten Musikinstrument immer die Augenblickswerte der digital nachzubildenden Klänge zur Verfügung. Sie können dann einfach addiert oder subtrahiert werden, ohne daß man auf unterschiedliche Phasenbeziehungen achten müßte.

Mit dem Ausgang des Interpolationsfilters 23 ist ein Amplitudenprozessor 24 verbunden, der ebenfalls durch den Steuerprozessor 19 gesteuert wird. Der Amplitudenprozessor 24 hat die Aufgabe, die Amplitude des Ausgangssignals des Interpolationsfilters 23 zu steuern. Da der Ausgang des Interpolationsfilters 23 in digitaler Form zur Verfügung steht, bedeutet dies, daß die einzelnen Digitalwerte vorbestimmten mathematischen Operationen unterworfen werden. Eine Verstärkung der Amplitude kann beispielsweise durch Multiplikation mit einem Faktor größer als 1 vorgenommen werden. Eine Abschwächung erfolgt durch eine Multiplikation mit einem Faktor kleiner als 1. Möglich ist auch die Ausbildung einer "negativen" Amplitude durch Multiplikation mit einem negativen Faktor. Eine negative Amplitude ist hier natürlich nur als Rechengröße zu verstehen, da ein Unterschied zwischen einer positiven und einer negativen Amplitude nicht hörbar gemacht werden kann.

Mit dem Ausgang des Amplitudenprozessors 24 ist ein Akkumulator verbunden, der ebenfalls vom Steuerprozessor 19 gesteuert werden kann. Der Akkumulator hat die Aufgabe, digitale Signale, die ihm an aufeinanderfolgenden Zeitpunkten zugeführt werden, aufzusummieren und an einem auf die einzelnen Summationszeitpunkte folgenden Zeitpunkt an den Audiobus 17 weiterzugeben. Im Akkumulator 25 lassen sich also Klänge "zusammensetzen". Dargestellt ist ein Akkumulator für jedes Tonerzeugungsmodul. Es ist aber auch möglich, nur einen Akkumulator für das gesamte Musikinstrument vorzusehen. Der Akkumulator kann auch durch einen Addierer ersetzt werden, der die an seinen Eingängen austretenden digitalen Größen zu vorbestimmten Zeitpunkten aufsummiert.

Im Abtastwertspeicher 12 sind die Klänge in Form von Klangmerkmalen abgespeichert. Ein Klang wird im Akkumulator 25 aus einer Vielzahl von einzelnen Klangmerkmalen zusammengesetzt. Mindestens ein Klangmerkmal davon weist Komponenten unterschiedlicher Frequenzen auf. In der Regel werden aber die meisten oder sogar alle

Klangmerkmale aus einem Frequenzgemisch bestehen. Die einzelnen Klangmerkmale sind dabei in zeitlich aufeinanderfolgenden Abtastwerten gespeichert. Eine Besonderheit dabei ist, daß alle Klangmerkmale mit einer vorbestimmten Phasenbeziehung zueinander abgespeichert sind. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel beginnen alle Klangmerkmale mit einem Nulldurchgang der Amplitude. Innerhalb des Klangmerkmals haben auch alle Frequenzkomponenten eine vorbestimmte Phasenbeziehung zueinander. Auch hierbei ist bevorzugt, daß alle Frequenzkomponenten am Startzeitpunkt einen Nulldurchgang haben. Durch diese spezielle Vorschrift ist es möglich, die einzelnen Klangmerkmale problemlos zu überlagern und dabei gezielte Überlagerungseffekte zu erzeugen. In Fig. 3a ist ein erstes Klangmerkmal mit drei Frequenzen f_1 , f_3 und f_7 dargestellt, die jeweils die Wertigkeit 80, 30 und 10 haben. Beispielsweise handelt es sich hier um ein Frequenzspektrum mit der Grundwelle f_1 und der dritten und siebten Oberwelle f_3 bzw. f_7 . Ein derartiges Klangmerkmal muß beim Hören nicht unbedingt eine Erinnerung an das mit Hilfe dieses Klangmerkmals nachzubildende Instrument wecken. Fig. 3b zeigt ein weiteres Klangmerkmal, das allerdings keine Grundwelle, sondern nur die dritte und siebte Oberwelle f_3 und f_7 enthält. Bemerkenswert hierbei ist, daß die siebte Oberwelle mit einer negativen Amplitude dargestellt ist. Dies bedeutet nichts anderes, als daß die siebte Oberwelle f_7 im Startzeitpunkt eine negative Steigung hat, d.h. ihre Amplitude unmittelbar nach dem Startzeitpunkt kleiner als Null wird. Sie hat gegenüber einer siebten Oberwelle, die zum Startzeitpunkt eine positive Steigung hat, eine Phasenverschiebung von 180° .

Fig. 3c zeigt die Überlagerung der beiden Klangmerkmale aus den Fig. 3a und 3b. Durch die negative Klangkomponente f_7 in Fig. 3b wird die positive Frequenzkomponente f_7 in Fig. 3a ausgelöscht. Die Überlagerung führt also zu einem Frequenzspektrum, das nur noch die Grundwelle und die dritte Oberwelle enthält, wobei die Amplitude der dritten Oberwelle die Summe der entsprechenden Frequenzkomponenten aus dem Klangmerkmal von Fig. 3a und dem Klangmerkmal aus Fig. 3b ist.

Fig. 3d zeigt ein weiteres zusammengesetztes Frequenzspektrum, bei dem ebenfalls nur die Klangmerkmale aus Fig. 3a und 3b verwendet worden sind. Im Unterschied zu Fig. 3c, wo die beiden Klangmerkmale von Fig. 3a und b addiert worden sind, wurde für das Frequenzspektrum aus Fig. 3d das Klangmerkmal aus Fig. 3b vom Klangmerkmal nach Fig. 3a abgezogen. Die dritte Oberwelle f_3 steht also nur noch mit der Differenz zur Verfügung. Die siebte Oberwelle f_7 steht hingegen mit der Summe ihrer Amplituden zur Verfügung, da das Subtrahieren einer negativen Größe der Addi-

tion ihres Betrages entspricht. Die Subtraktion kann beispielsweise dadurch erfolgen, daß der Ausgangswert des Interpolationsfilters 23 im Amplitudenprozessor 24 mit einem Faktor (- 1) multipliziert wird.

Fig. 3e zeigt ein drittes Frequenzspektrum, das ebenfalls aus den beiden Klangmerkmalen nach Fig. 3a und b erzeugt worden ist. Während das Klangmerkmal nach Fig. 3a unverändert in den Akkumulator 25 eingelesen wurde, wurde das Klangmerkmal nach Fig. 3b im Amplitudenprozessor 24 mit einem Faktor 0,5 multipliziert. Folglich werden die Frequenzkomponenten der dritten und siebten Oberwelle auch nur um einen um den Faktor 0,5 abgeschwächten Betrag vergrößert bzw. verkleinert.

Die Verwendung einzelner Klangmerkmale ist nicht unbedingt auf die Nachbildung eines Klanges eines einzigen Instruments beschränkt. Natürlich ist zu erwarten, daß alle Töne eines nachzubildenden Instruments eine gewisse Gemeinsamkeit aufweisen. Das Frequenzspektrum wird jedoch nicht für alle Töne identisch sein. In diesem Fall kann man beispielsweise das für alle Töne eines Instruments gemeinsame Klangmerkmal extrahieren und in weiteren Klangmerkmalen lediglich die Differenzen zu den einzelnen Tönen, die über den Tonumfang des Instruments unterschiedlich sein werden, zusätzlich abspeichern. Überraschenderweise hat sich aber herausgestellt, daß man durchaus auch einzelne Klangmerkmale herausfinden kann, die für eine Gruppe von Instrumenten gleich sind. Weiterhin kann man durch geschickte Wahl der Klangmerkmale erreichen, daß praktisch alle Klangmerkmale für mehrere Töne oder sogar Klänge eingesetzt werden können. Im vorliegenden Fall wurden der Einfachheit halber lediglich zwei Klangmerkmale miteinander kombiniert. Der besondere Effekt zeigt sich jedoch besser, wenn eine größere Anzahl von Klangmerkmalen, beispielsweise drei oder vier, miteinander kombiniert wird. Die Verwendung von mehr als sechzehn Klangmerkmalen zur Erzeugung eines Klanges ist jedoch in den meisten Fällen nicht besonders vorteilhaft, da einerseits jedes Klangmerkmal zusätzlichen Speicherplatz erfordert, andererseits die Unterschiede, die durch das Hinzufügen eines siebzehnten Klangmerkmals erzeugt werden sollen, praktisch nicht mehr hörbar sind. Würde man ein einzelnes Klangmerkmal direkt hörbar machen, ließen sich wahrscheinlich keine oder nur wenige Gemeinsamkeiten mit dem nachzubildenden Instrument feststellen. Erst durch die Überlagerung von mehreren Klangmerkmalen ergibt sich der gewünschte Klang.

Die einzelnen Klangmerkmale sind im Abtastwertspeicher 12 in Form von Abtastwerten abgelegt. Dabei sind Klangmerkmale mit nur wenigen Obertönen auch nur mit relativ wenigen Abtastwer-

ten abgespeichert. Aus dem Klangmerkmal selbst läßt sich auch noch keine Information über die in dem Klangmerkmal vorkommende höchste Frequenz entnehmen. Die Frequenz, mit der das einzelne Klangmerkmal wiedergegeben wird, ergibt sich erst durch die Abtastratenwandlung im Interpolationsfilter 23. Dies soll an einem in Fig. 4 dargestellten Beispiel deutlich gemacht werden. Im Abtastwertspeicher 12 sind lediglich die mit einem x gekennzeichneten Abtastwerte abgelegt. Das Interpolationsfilter 23 berechnet an durch den Phasenprozessor 22 vorgegebenen Stellen, die durch eine senkrechte Linie gekennzeichnet sind, Zwischenwerte. Diese Zwischenwerte werden mit der System-Abtastrate in den Akkumulator eingelesen. Nimmt man beispielsweise eine System-Abtastrate von 44,1 kHz an, so summiert der Akkumulator 25 alle Werte auf, die ihm an diskreten Zeiten innerhalb von 22,7 μ s an den Eingang angelegt werden. Am Ende dieser 22,7 μ s wird der aufsummierte Werte dann ausgelesen. In der nicht maßstäblichen Darstellung der Fig. 4 wird der Ton nach Fig. a innerhalb von 15 Perioden der System-Abtastrate ausgelesen, in Fig. 4b hingegen innerhalb von 30 Perioden. Der Ton nach Fig. 4b erklingt also eine Oktave tiefer als der Ton nach Fig. 4a. In einer maßstäblichen Darstellung müßten die senkrechten Striche wesentlich dichter liegen. Darunter würde allerdings die Übersicht leiden. Beispielsweise wäre für eine Darstellung eines Tones mit der Frequenz 440 Hz etwa 100 Perioden der Systemabtastrate in der Figur darzustellen.

Ein einzelnes Klangmerkmal kann also durchaus für verschiedene Tonhöhen eines einzelnen Klangs verwendet werden. Die im Klangmerkmal abgespeicherten Frequenzen geben dabei nur die Relation der Frequenzen, also beispielsweise die Beziehung einer Grundfrequenz zu den Oberwellen, an. Die Umsetzung dieser relativen Frequenzen in ein absolutes Frequenzspektrum erfolgt erst durch die Abtastratenwandlung im Interpolationsfilter 23. Die Information, die in einem Klangmerkmal abgespeichert ist, beschränkt sich auf das notwendigste. Die Anzahl der gespeicherten Abtastwerte entspricht dem Doppelten der höchsten in dem Klangmerkmal vorkommenden Frequenz.

Klangmuster, die sich über die Zeit stark verändern, können als Klangmerkmals-Sätze abgelegt werden, die mit Hilfe der Amplitudensteuerung im Verlauf der Zeit unterschiedlich, also zeitabhängig, gemischt werden. Auch die Überblendung von einem Klang zu einem anderen ist möglich. Dabei sind die Amplitudensteuerkurven so aufgebaut, daß ihre Summe immer konstant bleibt. Die einzelnen Amplitudensteuerkurven sind also gegenläufig.

Das Interpolationsfilter 23 führt eine "Sample Rate Conversion" durch, wie sie beispielsweise aus "Musical Applications of Microprocessors" von

Chamberlin bekannt ist. Auch das Interpolationsfilter 23 kann über einen Bus mit dem Schnittstellenprozessor 4 verbunden sein. Dieser Prozessor 4 versorgt das Interpolationsfilter 23 mit Informationen über die zu erzeugende Tonhöhe, z.B. über die Frequenz, mit der die Abtastwerte aus der Speichereinrichtung 7 wiedergegeben werden sollen. Die Frequenzinformation wird dem Interpolationsfilter 23 in Form einer Phaseninformation übermittelt, d.h. das Interpolationsfilter 23 erhält über den Schnittstellenprozessor 4 die Information, welchen Phasenabstand die einzelnen Stützstellen voneinander haben sollen. Das Interpolationsfilter 23 führt eine Interpolation zwischen den einzelnen Abtastwerten gemäß seiner gespeicherten Filterkoeffizienten durch.

Das fertig bearbeitete digitale Signal wird einem Digital/Analog-Wandler 26 zugeführt, der das digitale Signal in ein analoges wandelt. Das analoge Signal wird einer Audioeinheit 16 zugeführt, die das analoge, aber elektrische Signal hörbar macht, also daraus Schallwellen erzeugt und diese an die Luft ankoppelt.

Fig. 6 zeigt den schematischen Aufbau des Interpolationsfilters 23, wobei acht im Prinzip gleich aufgebaute Pole 31 dargestellt sind. Jeder Pol erhält über einen Bus 32 die Phaseninformation, d.h. die Information über die Lage der Stützstelle innerhalb des Klangmusters bei der gewünschten Frequenz, an der aus den Abtastwerten der Augenblickswert berechnet werden soll. Über den Bus 33 werden die aus der Speichereinrichtung 7 mit Hilfe einer Ausleseeinrichtung ausgelesenen Abtastwerte dem digitalen Interpolationsfilter 23 zugeführt. Die Abtastwerte, die über den Bus 33 zugeführt werden, stehen jedem Filterpol, gegebenenfalls zeitlich versetzt, zur Verfügung. Der Ausgang eines Filterpols wird zum Eingang des jeweils nächsten Filterpols weitergegeben.

Fig. 7 zeigt schematisch den Aufbau eines einzelnen Filterpols. In einem Speicher 38, der als RAM oder als ROM ausgebildet sein kann, sind Filterkoeffizienten abgelegt, die unter der Steuerung des über den Bus 32 zugeführten Phasenwerts ausgelesen werden können. Der Filterkoeffizientenspeicher 38 ist über Busleitungen 39, 40 mit einem Interpolator 41 verbunden, der ebenfalls die Phasenwert-Information erhält. Der Filterkoeffizientenspeicher 38 stellt über die Busleitungen 39, 40 jeweils zwei aufeinanderfolgende Filterkoeffizienten zur Verfügung, mit deren Hilfe der Interpolator 41 beispielsweise eine lineare Interpolation durchführen kann.

Der Ausgang des Interpolators 41 ist mit einem Multiplizierer 36 verbunden, der den Ausgang des Interpolators 41 mit den Abtastwerten, die über den Bus 33 zugeführt werden, multipliziert. Der Ausgang des Multiplizierers 36 ist mit einem Addierer

37 verbunden, der den Ausgangswert des Multiplizierers 36 zum Ausgangswert des vorherigen Filterpols addiert. Zu diesem Zweck wird der Ausgang des vorherigen Filterpols über einen Bus 34 dem zweiten Eingang des Addierers 37 zugeführt. Der Ausgang des Addierers 37 wird über einen Bus 35 zum nächsten Filterpol weitergegeben. Beim letzten Filterpol (Filterpol 8) entspricht der Bus 35 dem Ausgang 42.

Das Interpolationsfilter 23 ist ein Filter mit relativ niedriger Ordnung, d.h. es weist nur 32 oder weniger, im vorliegenden Fall sogar nur 8 Pole, auf. Filter mit einer derart niedrigen Ordnung schneiden bei ihrer Sperrfrequenz f_A nicht scharf ab, sondern haben unterhalb davon schon eine teilweise erhebliche Dämpfung. Dieser Sachverhalt ist schematisch in Fig. 8 dargestellt. Hier ist im oberen Teil die Abhängigkeit der Amplitude A von der Frequenz f dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, daß es sich bei dem vorliegenden Filter 23 um ein Tiefpaßfilter handelt, das am Ende eines Durchlaßbereichs 43 bereits eine maximale Dämpfung D auf das Eingangssignal ausübt. Der Durchlaßbereich endet hier bei der Grenzfrequenz f_G , d.h. der höchsten im Klangmuster vorkommenden Frequenz. In einem darin anschließenden Bereich 44, der im folgenden der Einfachheit halber "Übergangsbereich" bezeichnet werden soll, werden die Signalanteile mit den entsprechenden Frequenzen zwar noch durchgelassen, aber schon stärker als mit der Dämpfung D gedämpft. An den Übergangsbereich 44 schließt sich ein Sperrbereich 45 an. Frequenzen in diesem Bereich werden praktisch vollständig unterdrückt.

Mit der Tiefpaßfilter-Eigenschaft des Interpolationsfilters 23 soll erreicht werden, daß störende Frequenzanteile, die durch die Abtastung des ursprünglichen Klangmusters entstehen, unterdrückt werden. Dazu muß die Grenzfrequenz f_G so gelegt werden, daß sie mindestens so weit unter der halben Abtastfrequenz $f_S/2$ des ursprünglichen Klangmusters liegt, wie die Sperrfrequenz f_A über $f_S/2$. Hierbei ergibt sich nun durch die "billige" Ausführung des Filters das Problem, daß man in dem Fall, wo man den Sperrbereich 45 in der Nähe der Grenzfrequenz f_G beginnen läßt, eine zu starke Dämpfung der Frequenzanteile erhält, die eigentlich noch vollständig in dem wiederzugebenden Klangmuster enthalten sein müßten. Verschiebt man hingegen den Durchlaßbereich 44 weiter in Richtung einer höheren Frequenz, d.h. läßt man die Grenzfrequenz f_G innerhalb des Übergangsbereichs oder sogar an dessen linker Seite liegen, werden auch störende Frequenzen durchgelassen, die die Wiedergabe des Klangmusters hörbar und störend verändern.

Man kann jedoch die Dämpfung im Durchlaßbereich 43, also bei Frequenzen unterhalb der

Grenzfrequenz f_G , dann zulassen, wenn man dafür sorgt, daß die entsprechenden Frequenzen der Klangmuster vor der Abspeicherung entsprechend angehoben oder verstärkt worden sind. Fig. 5 zeigt eine dafür geeignete Anordnung. Mit Hilfe eines Mikrophons 46 werden Klangmuster, beispielsweise von einem herkömmlichen musikalischen Instrument, aufgenommen und in elektrische Signale umgewandelt. Der Ausgang des Mikrophons 46 wird einer Preemphasis-Einrichtung 47 zugeführt, die ausgewählte Frequenzanteile des vom Mikrophon 46 erzeugten elektrischen Signals verstärkt.

Fig. 8 zeigt die Abhängigkeit des Verstärkungsfaktors V von der Frequenz f . Es ist zu sehen, daß die Verstärkung umso stärker wird, je stärker die Dämpfung im Durchlaßbereich 43 ist. Die derart veränderten Klangmuster werden einer Abtasteinrichtung 40 zugeführt, die die Klangmuster mit einer Abtastfrequenz abtastet, die dem Doppelten der höchsten in dem Klangmuster vorkommenden Frequenz entspricht. Die derart abgetasteten Abtastwerte werden in dem Speicher 7 abgelegt.

Bei der "Sample Rate Conversion" nach dem Auslesen mit Hilfe des Interpolationsfilters 23 werden die höher frequenten Anteile der Klangmuster zwar gedämpft, diese Dämpfung wird jedoch durch die vorherige Anhebung kompensiert, so daß ein Signal am Ausgang des Interpolationsfilter zur Verfügung steht, das alle Frequenzen bis zur Grenzfrequenz f_G ungedämpft, höhere Frequenzen aber nahezu vollständig gedämpft enthält.

Durch den Aufbau des Interpolationsfilters erfolgt eine automatische Anpassung der Grenzfrequenz f_G an die ursprüngliche Abtastrate, mit der das Klangmuster in der Abtasteinrichtung 48 abgetastet worden ist. Das Interpolationsfilter 23 interpoliert entsprechend der Filterkoeffizienten zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abtastwerten, wobei unerheblich ist, ob die Abtastwerte ursprünglich zeitlich dicht aufeinander gefolgt sind oder zeitlich weiter voneinander entfernt waren. Die zeitliche Beziehung wird erst durch die Phaseninformation über die Leitung 32 hergestellt, mit deren Hilfe das Interpolationsfilter 23 die nötige Anzahl von Stützstellen berechnet, die für die weitere Verarbeitung mit der System-Abtastrate notwendig sind. Die Tiefpaßfilter-Eigenschaft des Interpolationsfilters 23 ergibt sich aus der Art der Interpolation zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Abtastwerten, d.h. die "relative" Grenzfrequenz, also die auf die ursprüngliche Abtastrate bezogene Grenzfrequenz und wird durch die im Speicher 38 abgelegten Filterkoeffizienten bestimmt.

Der Hauptprozessor 6 besteht aus mehreren Transputern 50, 51, 52. Die einzelnen Transputer dieses Hauptprozessors 6 bearbeiten die eintreffenden Eingangsdaten im wesentlichen parallel, wobei

die Bearbeitung der einzelnen Eingangsdaten in einem der Transputer 50-52 unabhängig von der Bearbeitung in den anderen Transputern 50-52 erfolgt. Es ist also nur ein sehr geringes Maß an Kommunikation zwischen den einzelnen Transputern 50-52 notwendig. Nachdem der Hauptprozessor 6 die vom Schnittstellenprozessor 4 empfangenen Signale bearbeitet hat, sendet er über den Steuerbus 18 Adressen und/oder Befehle, mit deren Hilfe die Tonerzeugungsmodule 8-10, die ebenfalls mit dem Steuerbus 18 verbunden sind, Töne erzeugen können. Es können eine Vielzahl von Tonerzeugungsmodulen 8-10 vorgesehen sein. Ihre Kapazität wurde bisher durch die Leistungsfähigkeit des verwaltenden Prozessors begrenzt. Durch den Einsatz des Hauptprozessors 6, der eine beliebige Anzahl von Transputern 50-52 aufweisen kann, ergeben sich praktisch keine Beschränkungen mehr in der Anzahl der zu verwaltenden Tonerzeugungsmodule 8-10.

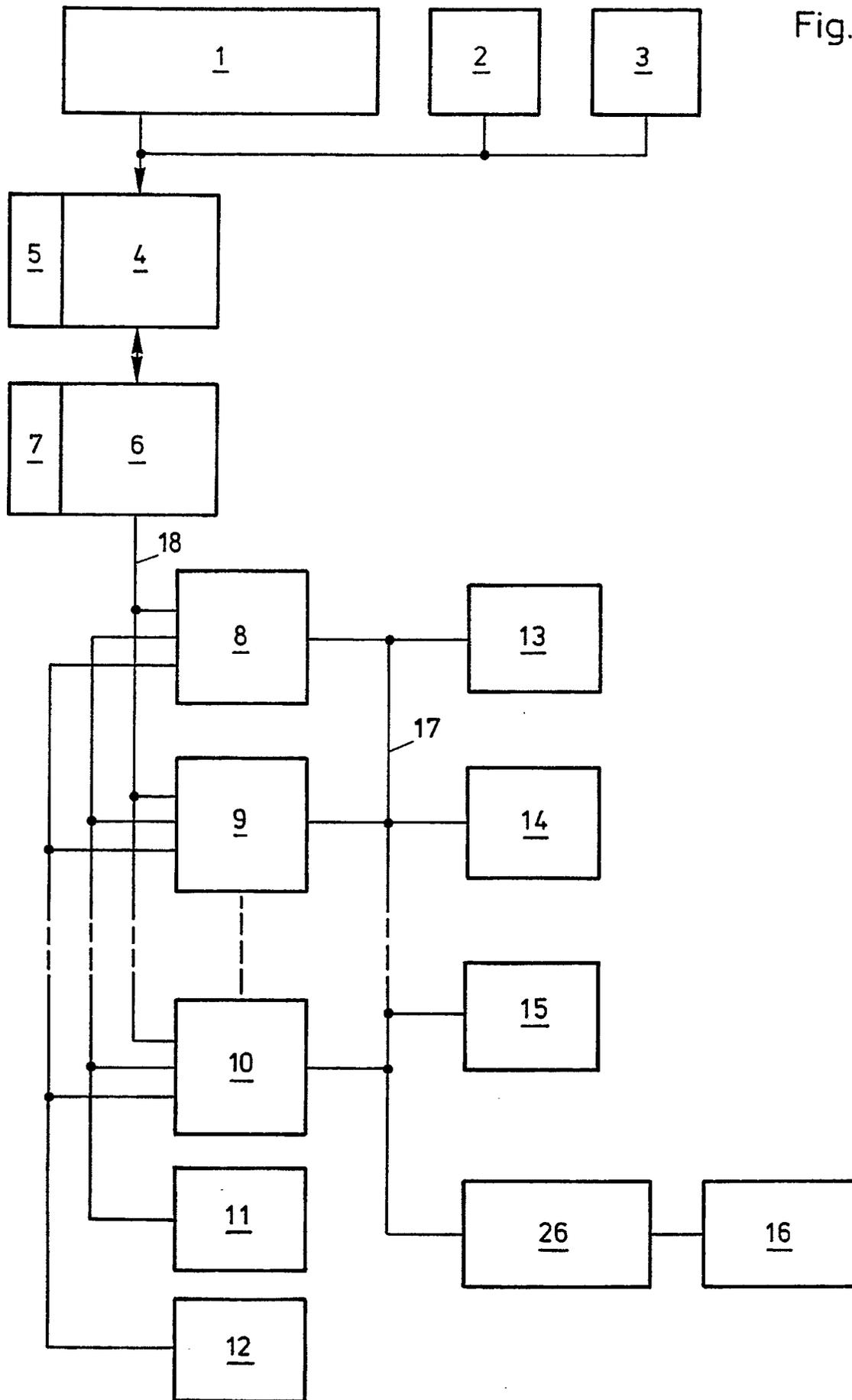
Patentansprüche

1. Verfahren zur Klangerzeugung mit einem elektronischen Musikinstrument, bei dem in einem Vorbereitungsabschnitt Klangmuster in einer Speichereinrichtung (7) in Form von Abtastwerten digital gespeichert werden und in einem Klangerzeugungsabschnitt die Abtastwerte aus der Speichereinrichtung (7) ausgelesen werden, in einem Interpolationsfilter (23) digital interpoliert werden und digital-analog gewandelt werden, wobei bei der digitalen Interpolation eine Dämpfung unterhalb der Sperrfrequenz des Interpolationsfilters (23) zugelassen wird und im Vorbereitungsabschnitt die höherfrequenten Anteile der Klangmuster, die im Interpolationsfilter (23) gedämpft werden, vor der Speicherung verstärkt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkung der höherfrequenten Anteile vor der Abspeicherung mit einer frequenzabhängigen Verstärkungskennlinie erfolgt, die der frequenzabhängigen Durchlaßkennlinie im Durchlaßbereich (43) im wesentlichen umgekehrt proportional ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Frequenzspektrum der Klangmuster auf Frequenzen unterhalb einer Grenzfrequenz beschränkt wird, wobei die Grenzfrequenz kleiner als die Sperrfrequenz des Interpolationsfilters (23) ist.
4. Verfahren zur Klangerzeugung, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Klangmuster aus ein-

- zelen Klangmerkmalen zusammengesetzt werden, die in Form von Abtastwerten digital abgespeichert sind, gesteuert ausgelesen werden, einer Abtastratenwandlung unterworfen werden, nach der alle Klangmerkmale mit einer einheitlichen Systemabtastrate zur Verfügung stehen, und dann zusammengesetzt werden, wobei zumindest einige Klangmerkmale Komponenten unterschiedlicher Frequenz aufweisen, alle Klangmerkmale zum Startzeitpunkt eines Klanges eine vorbestimmte Phasenbeziehung zueinander aufweisen und die Komponenten eines Klangmerkmals zu diesem Startzeitpunkt eine vorbestimmte Phasenbeziehung zu den anderen Komponenten des gleichen Klangmerkmals aufweisen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Klangmerkmal mit einer Anzahl von Abtastwerten gespeichert ist, die eine vorbestimmte Beziehung mit der höchsten in dem Klangmerkmal vorhandenen Frequenz aufweist, wobei die Sperrfrequenz des Interpolationsfilters (4) abhängig von der Abtastfrequenz gewählt wird, mit der die Abtastwerte aus den Klangmustern erzeugt worden sind und insbesondere in der Größenordnung von 50 % bis 60 % der Abtastfrequenz gewählt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfrequenz (f_G) in der Größenordnung von 30 % bis 50 % der Abtastfrequenz gewählt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Klangmerkmale vor dem Zusammensetzen einer Amplitudensteuerung, insbesondere mit Hilfe von digital gespeicherten Amplituden-Hüllkurven, die aus Hüllkurven-Merkmalen zusammengesetzt werden, unterworfen werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß einzelne Klangmerkmale zur Erzeugung einer Mehrzahl von Klängen verwendet werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß durch das Zusammensetzen der Klangmerkmale sowohl eine Verstärkung als auch eine Abschwächung von Frequenzkomponenten im resultierenden Signal erzielbar ist.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Auslesen und die Abtastratenwandlung von mehreren Klangmerkmalen durch für jeweils mehrere Klangmerkmale gemeinsame Einrichtungen erfolgt, die die Klangmerkmale seriell oder im Multiplexverfahren bearbeiten, wobei insbesondere während des Auslesens eines Abtastwerts eines Klangmerkmals aus dem Speicher die Abtastratenbearbeitung eines Abtastwerts eines anderen Klangmerkmals durchgeführt wird, das im vorausgehenden Zugriff auf den Speicher ausgelesen worden ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Zusammensetzen der einzelnen Klangmerkmale mit Hilfe eines Akkumulators erfolgt, in den Augenblickswerte der mit der einheitlichen Systemabtastrate versehenen Klangmerkmale seriell addiert bzw. substrahiert werden, wobei der Inhalt zu einem vorbestimmten Zeitpunkt ausgelesen wird und insbesondere jeder Klang aus maximal sechzehn Klangmerkmalen zusammengesetzt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß für einen Klang parallel mehrere Sätze von Klangmerkmalen zusammengesetzt werden, die mit gegenläufigen Amplitudensteuerkurven überlagert werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Interpolationsfilter (23) verwendet wird, dessen Sperrfrequenz (f_A) sich in Abhängigkeit von der Abtastfrequenz (f_S) selbsttätig verändert.
14. Elektronisches Musikinstrument zur Erzeugung von Klängen mit einer Speichereinrichtung (7), in der Klangmuster in Form von Abtastwerten digital gespeichert sind, einer Ausleseeinrichtung (6) die die Abtastwerte gesteuert aus der Speichereinrichtung (1) ausliest, einem digitalen Interpolationsfilter (23), das eine Abtastratenwandlung durchführt und an seinem Ausgang die Klangmerkmale mit einer für das gesamte Musikinstrument einheitlichen Systemabtastrate zur Verfügung stellt, und einem Digital/Analog-Wandler (26), der mit dem Ausgang des Interpolationsfilters in Verbindung steht, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei das Interpolationsfilter (23) eine ausgeprägte Dämpfung aufweist, und die Abtastwerte Klangmustern entsprechen, deren höherfrequente Anteile, die in dem Interpolationsfilter (23) gedämpft werden, verstärkt sind.
15. Musikinstrument nach Anspruch 14, gekenn-

- zeichnet durch einem Akkumulator (25), der mit dem Ausgang des Interpolationsfilters (23) verbunden ist und eingelesene Werte aufsummiert und die Summe ausgibt, wobei das Aufsummieren und das Ausgeben innerhalb einer Periode der Systemabtastrate erfolgt, und eine Audio-Einrichtung (16), die das Ausgangssignal des Digital/Analog-Wandlers (26) hörbar macht.
16. Musikinstrument nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Interpolationsfilter (23) zweiunddreißig oder weniger Pole (31), insbesondere acht Pole (31), aufweist.
17. Musikinstrument nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Interpolationsfilter (23) und dem Akkumulator (25) eine Amplituden-Steuereinrichtung (24) angeordnet ist.
18. Musikinstrument nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß Auslese-einrichtung (22), Interpolationsfilter (23), Akkumulator (25) und gegebenenfalls Amplituden-steuereinrichtung (24) in einem Klangerzeugungsmodule (8-10) zusammengefaßt sind und mehrere Klangerzeugungsmodule (8-10) parallel angeordnet sind.
19. Musikinstrument nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangssignale der einzelnen Klangerzeugungsmodule (8-10) eine vorbestimmte Phasenverschiebung zueinander aufweisen.
20. Elektronisches Musikinstrument nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Klangerzeugungsmodule (4-14) mindestens einen Transputer (4-7) zur Verarbeitung der Klangmerkmale zu Klangsignalen aufweist.
21. Musikinstrument nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vielzahl von Klangerzeugungsmodule (8-10) vorgesehen sind, wobei die Kommunikation zwischen der Auslese-einrichtung (1-3) und den Klangerzeugungsmodule (8-10) mit Hilfe mindestens eines Transputers (5-7) erfolgt.
22. Musikinstrument nach Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Transputer (19, 21-24) in jedem Modul mindestens das digitale Interpolationsfilter (23), insbesondere mehrere parallel angeordnete digitale Interpolationsfilter (23), die mehrere Klangmuster parallel bearbeiten, bildet.
23. Vorrichtung zur Beschickung einer Speichereinrichtung für ein elektronisches Musikinstrument nach einem der Ansprüche 14 bis 22, mit einer Aufnahmeeinrichtung (24) zum Erzeugen von Klangmustern in Gestalt von elektrischen oder magnetischen Signalen aus Schallwellen, einer Abtasteinrichtung (26), die die Klangmuster mit einer Abtastfrequenz zu vorbestimmten Zeitpunkten abtastet und Abtastwerte erzeugt, und mit einer Speicherbeschickungseinrichtung, die die Abtastwerte in die Speichereinrichtung (1) einschreibt, wobei zwischen der Aufnahmeeinrichtung (24) und der Abtasteinrichtung (26) eine Preemphasis-Einrichtung (25) angeordnet ist, die die Klangmuster in vorbestimmten Frequenzbereichen verstärkt.
24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Preemphasis-Einrichtung (47) die Klangmuster in einem Frequenzbereich verstärkt, der unter 50 % der Abtastfrequenz liegt.
25. Vorrichtung nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Preemphasis-Einrichtung eine frequenzabhängige Verstärkungskennlinie aufweist, die im wesentlichen umgekehrt proportional zur frequenzabhängigen Durchlaßkennlinie des Interpolationsfilters (23) ist.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Preemphasis-Einrichtung (47) Frequenzanteile oberhalb der Grenzfrequenz (f_G) abschwächt.

Fig. 1



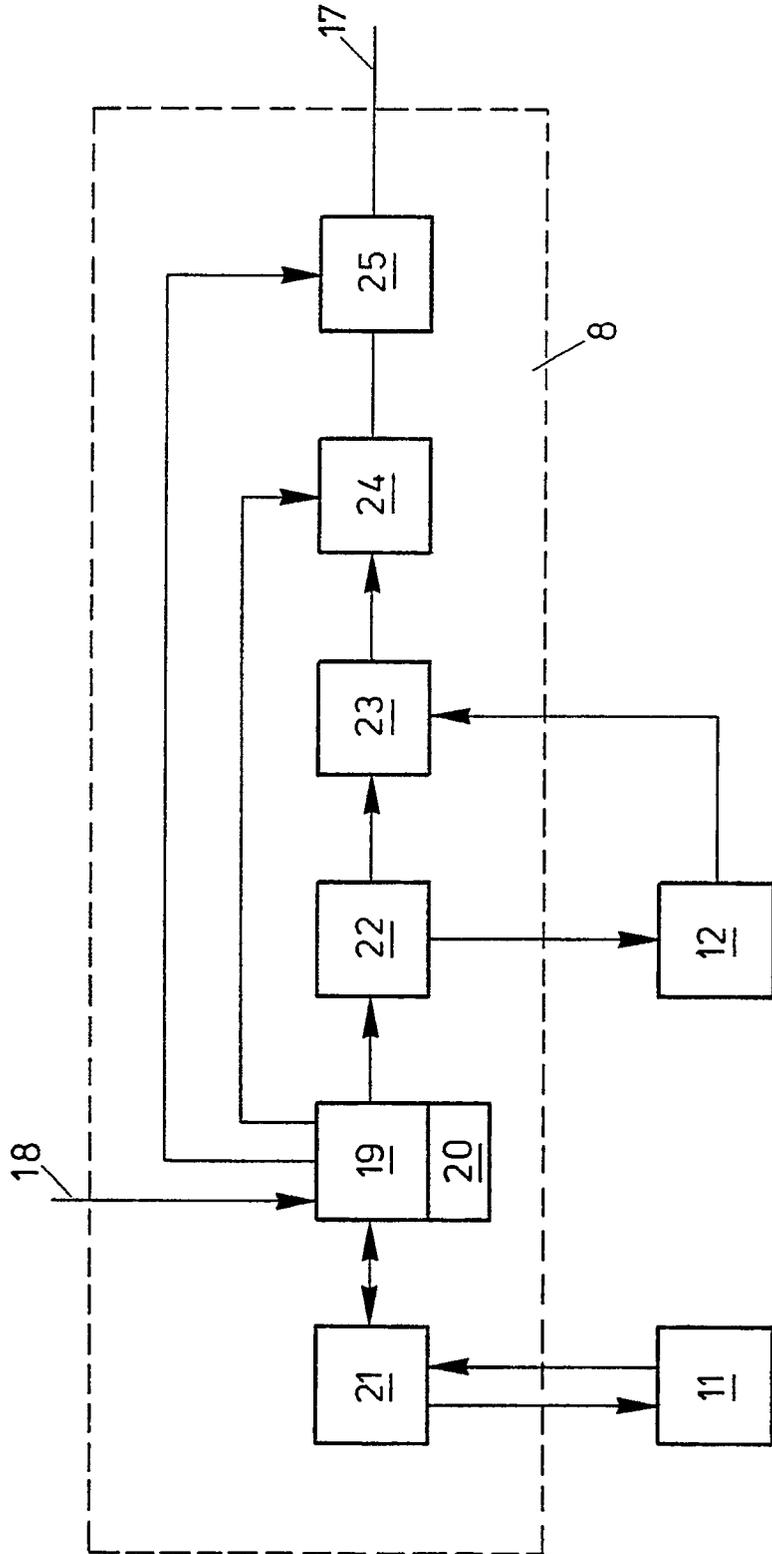


Fig. 2

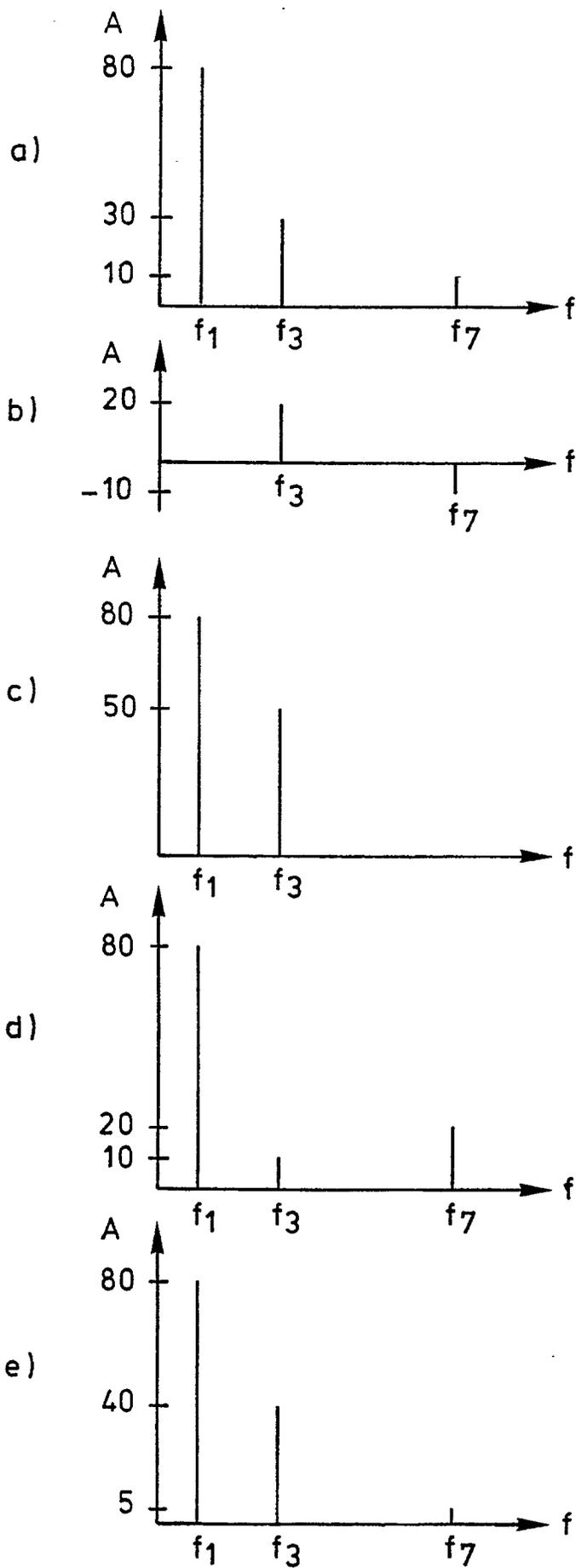


Fig. 3

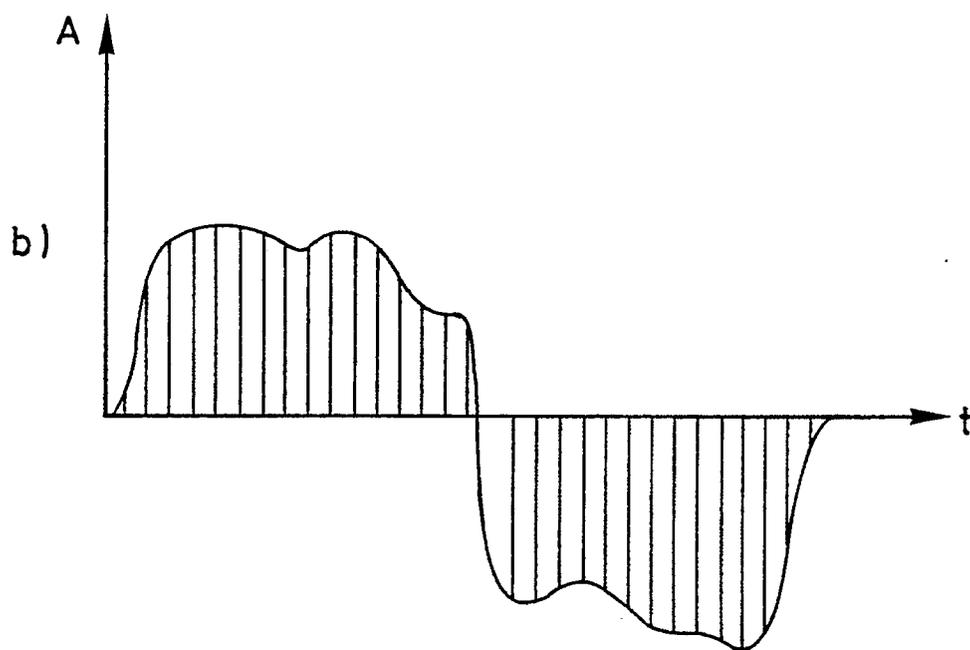
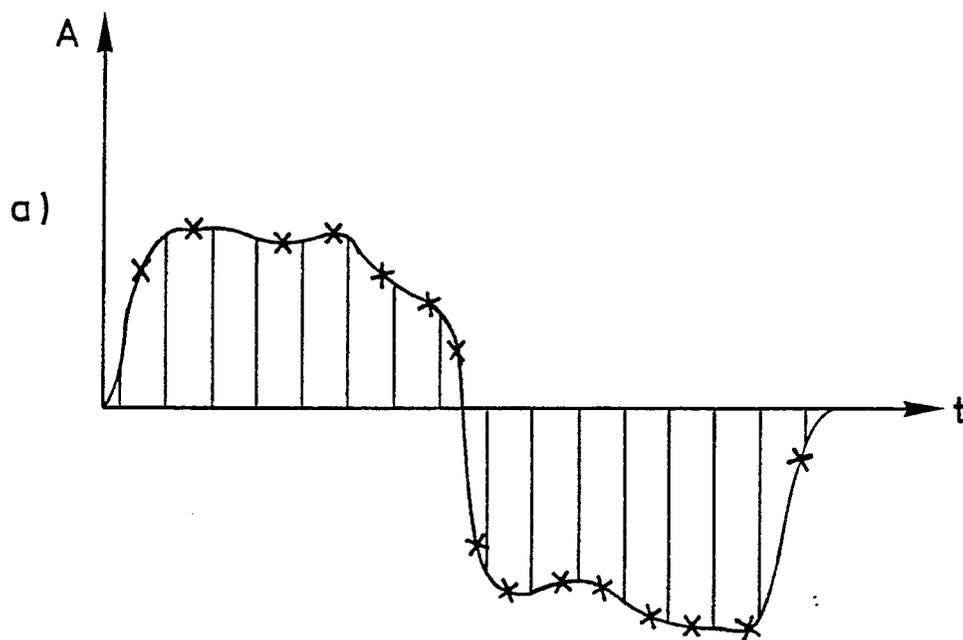


Fig. 4

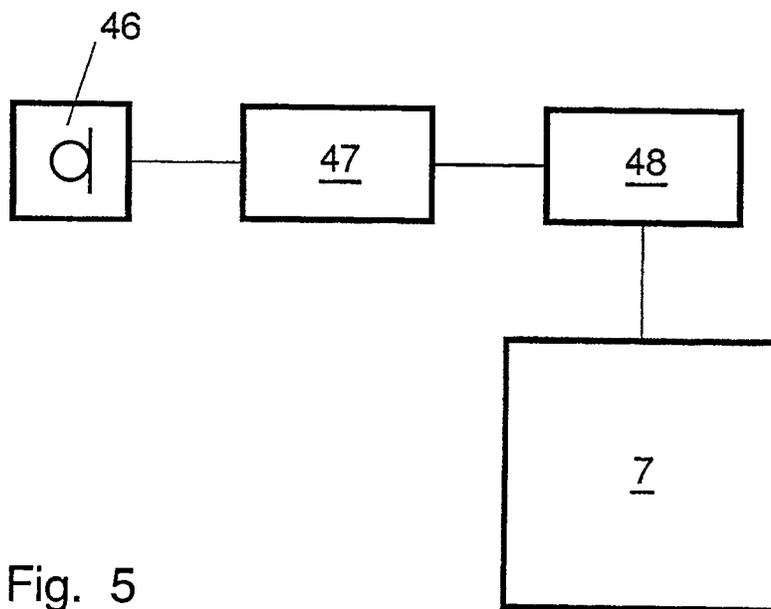


Fig. 5

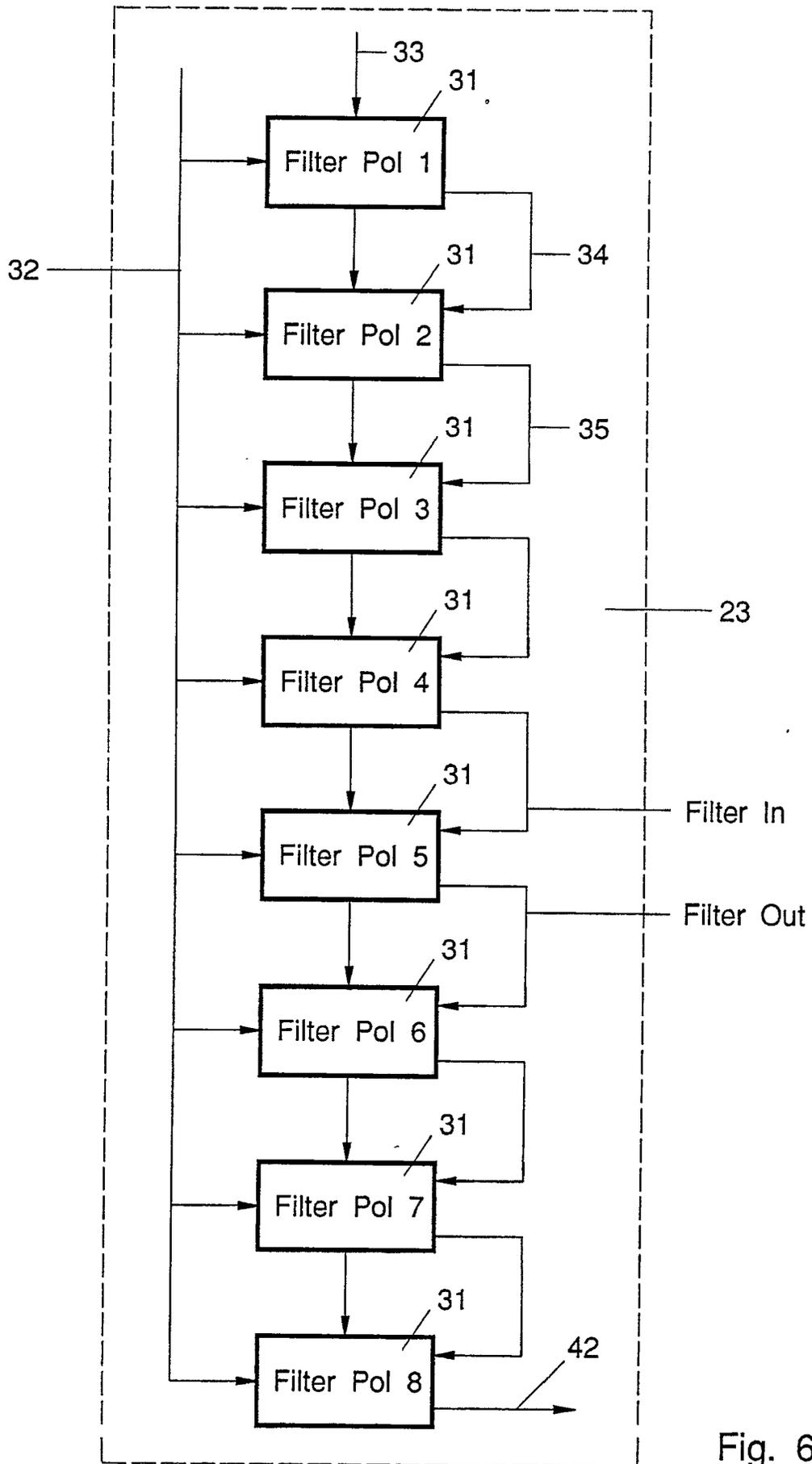


Fig. 6

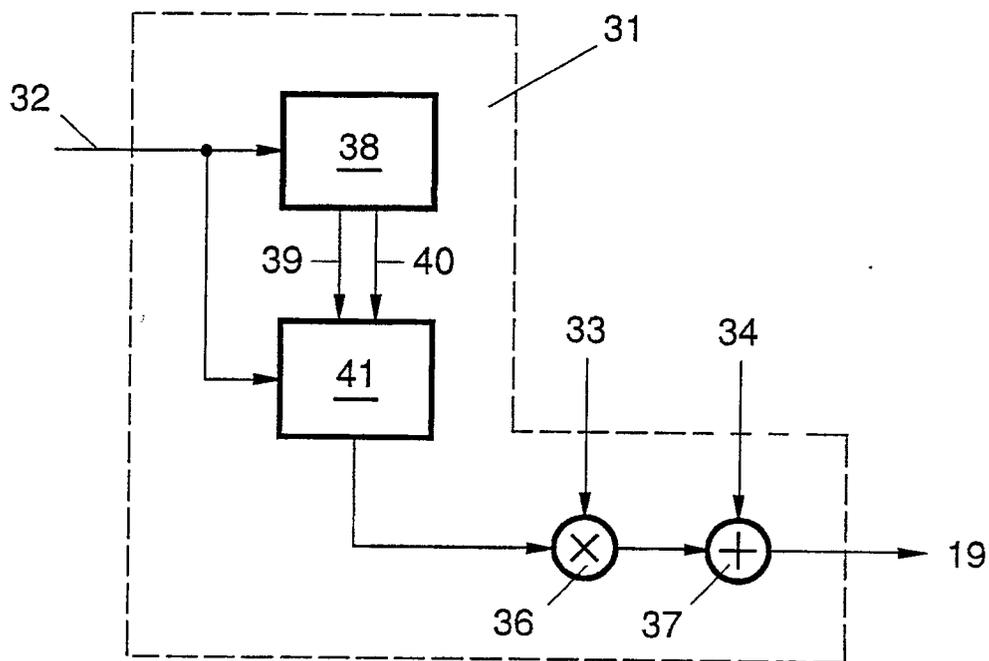


Fig. 7

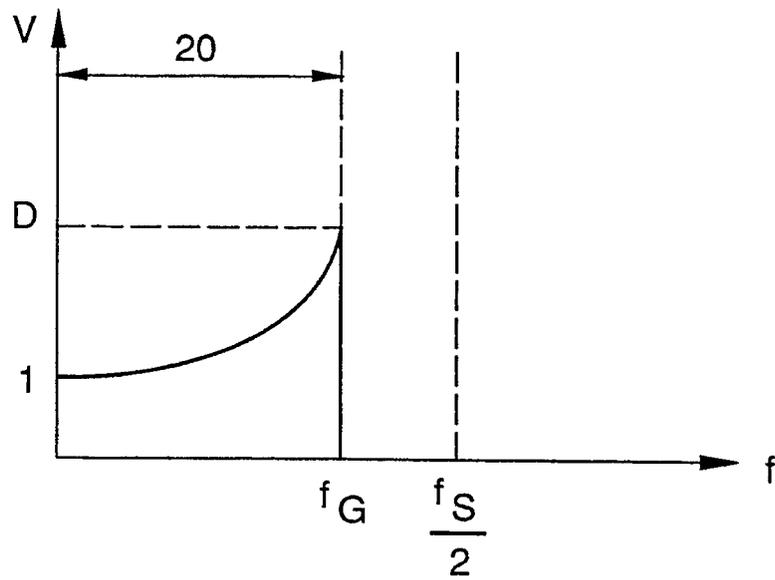
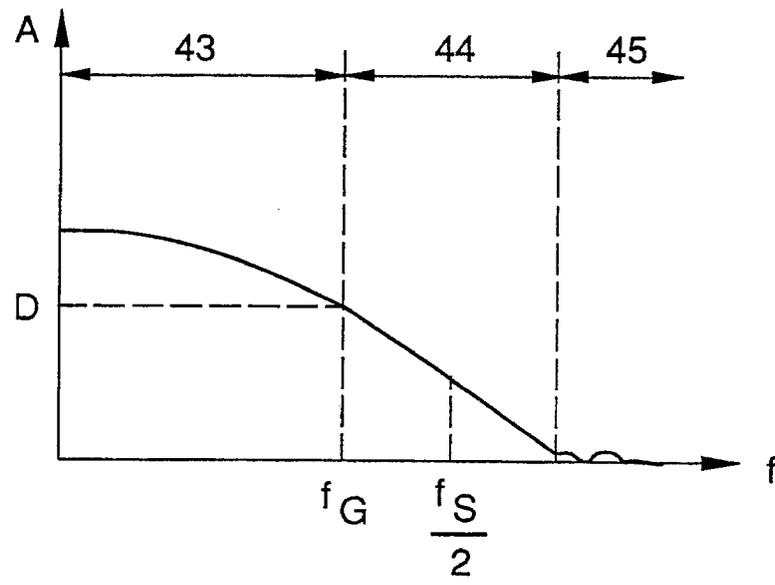


Fig. 8

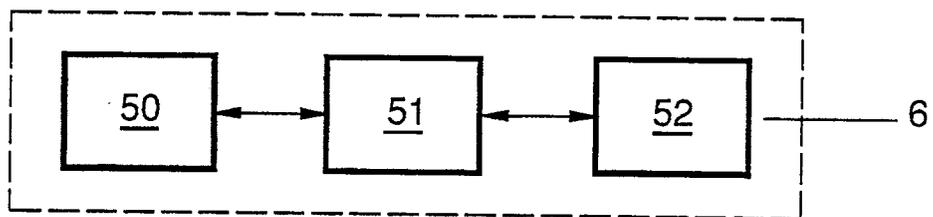


Fig. 9