



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 661 997 A5

⑤① Int. Cl.⁴: G 10 H 7/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENT SCHRIFT** A5

⑫① Gesuchsnummer: 4889/80

⑫② Anmeldungsdatum: 26.06.1980

⑫③ Priorität(en): 30.06.1979 DE 2926548

⑫④ Patent erteilt: 31.08.1987

⑫⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 31.08.1987

⑫⑦ Inhaber:
Rainer Josef Gallitzendörfer, Karlsfeld (DE)

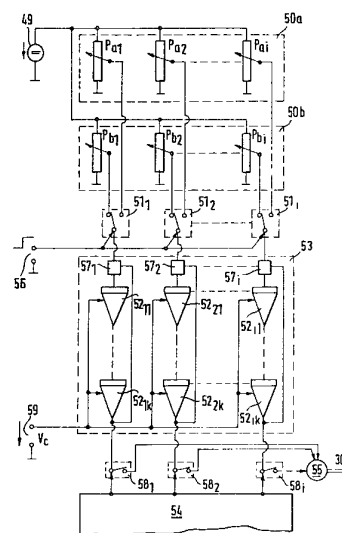
⑫⑦② Erfinder:
Gallitzendörfer, Rainer Josef, Karlsfeld (DE)

⑫⑦④ Vertreter:
Ernst Ackermann, Egg/Flawil

⑫⑤④ **Wellenformgenerator zur Klangformung in einem elektronischen Musikinstrument.**

⑫⑤⑦ In einem Wellenformgenerator zur Klangformung in einem elektronischen Musikinstrument wird die Einstellbarkeit gewünschter Funktionsverläufe erleichtert, insbesondere eine Umblendung von einer voreingestellten Wellenform auf eine andere Wellenform dadurch ermöglicht, dass wenigstens zwei Funktionsspeicher (50a, 50b) vorgesehen sind, jeder Funktionsspeicher (50a, 50b) zur Speicherung einer Wellenform einen Satz Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i$, $Pb_1 \dots Pb_i$) aufweist, in jeder Speicherzelle ($Pa_1 \dots Pb_i$) ein anderer Abtastwert der Wellenform gespeichert ist und die Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pb_i$) über die den Abtastwerten zugeordneten Abtastpunkte dadurch einander zugeordnet sind, dass für alle Wellenformen dieselben Abtastpunkte vorgesehen sind. Hierbei sind die demselben Abtastpunkt jeweils zugeordneten Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pb_i$) der verschiedenen Funktionsspeicher (50a, 50b) über einen gemeinsamen Umschalter ($51_1 \dots 51_i$) ansteuerbar, wobei jedem Umschalter ($51_1 \dots 51_i$) eine Interpolationsschaltung (53) und der Interpolationsschaltung (53) eine Glättungseinheit (30) nachgeschaltet ist. Die Umblendung von einer Wellenform auf eine andere wird durch Betätigung der Umschalter herbeigeführt. Die Auslegung der Interpolationsschaltung bestimmt hierbei die Art des Überganges von einer Wellenform auf eine andere.

Es wird auch eine Umblendung von einer Wellenform auf eine andere unter Einsatz eines Prozessors vorgeschlagen.



PATENTANSPRÜCHE

1. Wellenformgenerator zur Klangformung in einem elektronischen Musikinstrument, mit

a. einem wenigstens zwei Speicherbereiche (50a, 50b) enthaltenden Datenspeicher (50, 66), wobei

a.1. jeder Speicherbereich (50a, 50b) zur Speicherung einer Wellenform einen Satz Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) aufweist,

a.2. in den Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) Abtastwerte einer Wellenform, die vorgegebenen Abtastpunkten dieser Wellenform zugeordnet sind, gespeichert sind und

a.3. hierbei jedem Abtastpunkt der Wellenform eine andere Speicherzelle zugeordnet ist,

b. einer ansteuerbaren Speicherausleseeinrichtung (54, 65, 67) und

c. einer dem Wellenformgeneratorausgang vorgeschalteten Glättungseinheit (30, 65, 67, 69), dadurch gekennzeichnet, dass

d. die Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) der verschiedenen Speicherbereiche (50a, 50b) dadurch derselben Folge von Adressenwerten zugeordnet sind, dass die Anzahl der Abtastpunkte für alle Wellenformen gleich ist,

e. die denselben Adressenwert zugeordneten Speicherzellen ($Pa_1 Pb_1 \dots Pa_i, Pb_i$ der verschiedenen Speicherbereiche (50a, 50b) mit Eingängen eines jeweils dem Adressenwert zugeordneten elektronischen Umschalters ($51_1 \dots 51_i$, 65, 67) verbunden sind,

f. die Umschalter ($51_1 \dots 51_i$) mit den Eingängen einer nachgeschalteten Interpolationsschaltung (53, 65, 67) verbunden sind und

g. die Ausgangssignale der Interpolationsschaltung (53, 65, 67) nacheinander der Glättungseinheit (30, 65, 67, 69) zuführbar sind.

2. Wellenformgenerator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass den Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) jedes Speicherbereiches (50a, 50b) des Datenspeichers (50, 66) eine Einrichtung zugeordnet ist, die sichtbar angeordnete und mit den Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) verbindbare Einzelelemente ($Sa_1 \dots Sa_i, Sb_1 \dots Sb_i, S5_1 \dots S5_n$) aufweist, derart, dass die Gesamtanordnung (Fig. 2, Fig. 4) der Einzelelemente ($Sa_1 \dots Sa_i, Sb_1 \dots Sb_i, S5_1 \dots S5_n$) jeweils eine umkehrbar eindeutige Abbildung der gespeicherten Abtastwerte ($A_1 \dots A_n$) der Wellenform darstellt.

3. Wellenformgenerator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) der Speicherbereiche (50a, 50b) mittels der Einzelelemente ($Sa_1 \dots Sa_i, Sb_1 \dots Sb_i, S5_1 \dots S5_n$) extern beschreibbar, insbesondere mit den Abtastwerten ($A_1 \dots A_n$) beschreibbar sind.

4. Wellenformgenerator nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass

a. die Einzelelemente ($Sa_1 \dots Sa_i, Sb_1 \dots Sb_i$)

a.1. nebeneinander angeordnet sind,

a.2. jeweils längs einer im wesentlichen geraden Bewegungsbahn ($O_1 \dots O_i$) bewegbar sind und

a.3. den Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) in der Reihenfolge aufeinanderfolgender Abtastpunkte umkehrbar eindeutig zugeordnet sind, wobei

b. die Bewegungsbahnen ($O_1 \dots O_i$)

b.1. parallel zueinander liegen,

b.2. von einer zu ihnen orthogonalen gemeinsamen Bezugslinie ausgehen und

b.3. seitlich Abstände voneinander haben, die denen der Abtastpunkte für die Abtastwerte ($A_1 \dots A_n$) entsprechen, und

c. der Abstand jedes Einzelelementes ($Sa_1 \dots Sa_i, Sb_1 \dots Sb_i$) von der Bezugslinie dem Informationsinhalt der jeweils zugeordneten Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) entspricht.

5. Wellenformgenerator nach einem der vorstehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Umschalter ($51_1 \dots 51_i$) gemeinsam von den einen Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i$) auf die anderen Speicherzellen ($Pb_1 \dots Pb_i$) umschaltbar sind.

6. Wellenformgenerator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) der Speicherbereiche (50a, 50b) Analog-speicherzellen sind.

7. Wellenformgenerator nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) veränderbare Widerstände sind.

8. Wellenformgenerator nach den Ansprüchen 2 und 7, dadurch gekennzeichnet, dass die veränderbaren Widerstände gemeinsam mit den Einzelelementen ($Sa_1 \dots Sa_i, Sb_1 \dots Sb_i$) zu Flachbahnreglern ausgebildet sind, die in ihrer geraden Reihe seitlich nebeneinander und deren Bahnen rechtwinklig zur Längsrichtung dieser Reihe angeordnet sind.

9. Wellenformgenerator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Interpolationsschaltung (53) jeweils eine jedem Umschalter ($51_1 \dots 51_i$) in Reihe nachgeschaltete erste Integratorreihenschaltung aufweist, wobei die ersten Integratorreihenschaltungen jeweils aus einem oder mehreren in Reihe geschaltete(n) erste(n) Integrator(en) ($52_{11} \dots 52_{1k}, 52_{i1} \dots 52_{ik}$) aufgebaut und mit der Glättungseinheit (30) verbindbar sind.

10. Wellenformgenerator nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Speicherausleseeinrichtung (54) zur sequentiellen Adressierung der Speicherzellen ($Pa_1 \dots Pa_i, Pb_1 \dots Pb_i$) mit den Steuereingängen von den Ausgängen der Reihen von ersten Integratoren ($52_{11} \dots 52_{1k}, 52_{i1} \dots 52_{ik}$) nachgeschalteter Schalter ($58_1 \dots 58_i$) verbunden ist.

11. Wellenformgenerator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Integrationszeitkonstanten der ersten Integratoren ($52_{11} \dots 52_{1k}, 52_{i1} \dots 52_{ik}$) steuerbar, insbesondere spannungssteuerbar, und grösser als die Taktimpulsperiode der Speicherausleseeinrichtung (54) sind.

12. Wellenformgenerator nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ansteuerung der Schalter ($58_1 \dots 58_i$) ein Schieberegister (54) vorgesehen ist.

13. Wellenformgenerator nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Glättungseinheit (30)

a. ein erstes eingangsseitiges Abtast-Halteglied (35) und

b. eine aus einem oder mehreren zweiten Integratoren ($34_1 \dots 34_n$) aufgebaute zweite Integratorreihenschaltung aufweist, wobei

c. der Ausgang des ersten Abtast-/Haltegliedes (35) über einen zwischen diesem und dem Eingang der zweiten Integratorreihenschaltung liegenden Schaltungspunkt (38) mit dem Eingang der zweiten Integratorreihenschaltung verbunden und der Ausgang der zweiten Integratorreihenschaltung zum Schaltungspunkt (38) rückgekoppelt ist, insbesondere über ein zweites Abtast-/Halteglied (36) rückgekoppelt ist, derart, dass zum Eingang der zweiten Integratorreihenschaltung die Differenz zwischen dem Ausgangssignal der Interpolationsschaltung (53) und dem Ausgangssignal der zweiten Integratorreihenschaltung anliegt.

14. Wellenformgenerator nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingänge der Speicherausleseeinrichtung (54) sowie des ersten und zweiten Abtast-/Haltegliedes (35, 36) parallel zueinander mit dem Ausgang eines Taktgenerators (15) verbunden sind und hierbei den Abtast-/Haltegliedern (35, 36) eine Verzögerungsstufe, insbesondere eine monostabile Kippstufe (12), vorgeschaltet ist.

15. Wellenformgenerator nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Taktfrequenz des Taktgenerators (15) und die Integrationszeitkonstante des oder der zweiten

Integrator(en) (34₁ ... 34_m) spannungssteuerbar und die Steuereingänge des Taktgenerators (15) sowie des oder der zweiten Integrator(en) (34₁ ... 34_m) mit dem Ausgang eines gemeinsamen Spannungsgenerators (20), insbesondere Exponentialfunktionsgenerators, verbunden sind.

16. Wellenformgenerator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass

- a. als Datenspeicher ein digitaler Schreib-/Lesespeicher (66) vorgesehen ist,
- b. zwischen den Wellenformgeneratoreingang und den Schreib-/Lesespeicher (66) eine Kodiereinrichtung (62₁ ... 62_n) geschaltet ist,
- c. die Umschalter (51₁ ... 51_i, 65, 67), die Interpolationschaltung (53, 65, 67) und die Glättungseinheit (30, 65, 67, 69) in einem mit dem Schreib-/Lesespeicher (66) zusammenwirkenden und zwischen den Wellenformgeneratoreingang und die Kodiereinrichtung (62₁ ... 62_n) geschalteten Mikroprozessor mit nachgeschaltetem D/A-Wandler (69) zusammengefasst sind, wobei der Mikroprozessor aufweist
 - c.1. eine Zentraleinheit (65), einen die Zentraleinheit (65) steuernden Festwertspeicher (67), eine mit der Kodiereinrichtung (62₁ ... 62_n) verbundene, von der Zentraleinheit (65) gesteuerte Abfrageeinheit (63) und eine die Zentraleinheit (65) steuernde Steuertastatur (64)
 - c.2. und hierbei die Zentraleinheit (65), der Festwertspeicher (67), die Abfrageeinheit (63) und die Steuertastatur (64) zur sequentiellen Abfrage der am Wellenformgeneratoreingang anstehenden Abtastwerte jeder Wellenform, Berechnung von zwischen diesen Abtastwerten liegenden Zwischenwerten sowie ferner zur Berechnung von zwischen den eingegebenen Wellenformen liegenden Übergangswerten und sequentiellen Einspeicherung dieser Werte in die Speicherbereiche des Schreib-/Lesespeichers (66) ausgelegt sind,
 - d. ein Taktgenerator (72) und eine Steuereinrichtung (Vc, 68) zur Festlegung der Frequenz des Auslesezyklus, mit welcher mittels der Zentraleinheit (65) die Werte im Schreib-/Lesespeicher (66) ausgelesen werden, vorgesehen sind und
 - e. der D/A-Wandler (69) dem Ausgang des Wellenformgenerators vorgeschaltet ist.

17. Wellenformgenerator nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Zentraleinheit (65) mittels einer weiteren Eingabetastatur (70) zur Änderung des zeitlichen Verlaufes der Übergangswerte zwischen den vorgegebenen Wellenformen ansteuerbar ist.

Die Erfindung bezieht sich auf einen Wellenformgenerator zur Klangformung in einem elektronischen Musikinstrument, mit einem wenigstens zwei Speicherbereiche enthaltenden Datenspeicher, wobei jeder Speicherbereich zur Speicherung einer Wellenform einen Satz Speicherzellen aufweist, in den Speicherzellen Abtastwerte einer Wellenform, die vorgegebenen Abtastpunkten dieser Wellenform zugeordnet sind, gespeichert sind und hierbei jedem Abtastpunkt der Wellenform eine andere Speicherzelle zugeordnet ist, einer ansteuerbaren Speicherausleseeinrichtung und einer dem Wellenformgeneratoreingang vorgeschalteten Glättungseinheit.

Ein derartiger Wellenformgenerator ist bereits aus der deutschen Offenlegungsschrift 2 830 483 (K.K. Suwa Seikosha, Anmeldetag 11. Juli 1978) bekannt. Bei diesem bekannten Wellenformgenerator werden in einem der beiden Funktionsspeicher die Abtastwerte der Wellenform für eine Solomelodie und im anderen Funktionsspeicher die Abtastwerte der Wellenform einer Begleitmusik gespeichert.

Zur weiteren Beeinflussung der Klangqualität ist jedem Funktionsspeicher eine Enveloppenschaltung nachgeschaltet. Die dem Ausgang des Wellenformgenerators vorgeschaltete Glättungseinheit weist insbesondere einen D/A-Wandler oder einen Tiefpassfilter auf. Sie dient der Verminderung des Oberwellengehaltes einer stufenförmigen Wellenform. Hierdurch wird in der Regel eine bessere Stimulation natürlicher Töne erreicht. Eine Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf der mittels der Funktionsgeneratoren und/oder der Enveloppenschaltung eingestellten Kurvenform zu ändern, ist bei diesem bekannten Wellenformgenerator nicht vorgesehen.

Aus der deutschen Auslegeschrift 2 237 594 (Nippon Gakki Seizo K.K., Anmeldetag 31. Juli 1972) ist bereits ein Wellenformerzeugungsgerät für ein elektronisches Musikinstrument bekannt, welches einen auslesbaren Wellenform- bzw. Funktionsspeicher und einen Satz von Widerstandselementen aufweist, wobei im Funktionsspeicher Abtastwerte einer Wellenform gespeichert und die Widerstandswerte der Widerstandselemente derart eingestellt sind, dass sie – in analoger Form – die Amplituden der Wellenform als Abtastwerte darstellen. Durch diese Art der Speicherauslegung werden die Nachteile digitaler Speicher, wie sie beispielsweise aus der deutschen Offenlegungsschrift 1 935 306 (Allen Organ Corporation, Anmeldetag 15. April 1976) bekannt sind, behoben. Eine Möglichkeit, eine Umblendung von einer einmal eingestellten Kurvenform zur Festlegung der spektralen Zusammensetzung eines Tones auf eine andere Kurvenform ist bei diesem bekannten Wellenformgenerator nicht vorgesehen.

Im übrigen ist es bekannt, dass Kurvenformen mit beliebigem Verlauf unter Zuhilfenahme von – z.B. als Ringzähler (1 aus N-Zähler) geschalteten – Schieberegistern erzeugbar sind. Hierbei wird dem Spannungswert zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Platz im Schieberegister zugeordnet. Meist liegt der Spannungswert als Parallel-Binärwort vor. In diesem Fall handelt es sich also um ein Schieberegister, das mehrere Bits parallel verarbeiten kann. Als Ausgang dient in diesem Fall eine beliebige Stelle zwischen zwei Schieberegister-Zellen, an denen während einer Periode nacheinander alle vorkommenden, d.h. in den Schieberegisterzellen eingeschriebenen Spannungswerte (binär codiert) anstehen. Zweckmässig wird man als Ausgang die N-te, d.h. die letzte Schieberegister-Zelle wählen. Nach dem Ende der Periode beginnt der Vorgang von Neuem, der der N-te Ausgang auf den ersten Eingang rückgekoppelt ist. Die in jeder Speicherzelle einmal eingespeicherte Spannungswert-Information läuft also ständig reihum. Die Periodendauer ergibt sich aus dem Produkt:

Taktfrequenz-Kehrwert $\times$ Zahl der Speicherzellen, nämlich $T = \Delta t \times N$,

mit $\Delta t = \frac{1}{f}$ (Takt), N = Zahl der Speicherzellen.

Aus der deutschen Zeitschrift «Elrad» 1979, Heft 5, Seite 28, Titel «Harmonisierung von digitalisierten Kurven», ist es bekannt, einen sogenannten «Deglitcher» als Glättungs- bzw. Interpolationseinheit zur Harmonisierung digitalisierter Kurvenformen zu verwenden. Der bekannte Deglitcher weist zwei parallel auf einen gemeinsamen Schaltungspunkt arbeitende Abtast-/Halteglieder (Sample-and-hold-Glieder) auf, wobei der gemeinsame Schaltungspunkt dem einen Eingang eines Integrators zugeführt und der Integratoreingang zum Eingang des einen Abtast-/Haltegliedes rückgekoppelt ist. Die Rückkoppelung ist hierbei so geführt, dass am gemeinsamen Schaltungspunkt die Differenz zwi-

schen den Signalwerten am Integratorausgang und Abtast-/Halteglied-Ausgang ansteht.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den eingangs genannten gattungsgemässen Funktionsgenerator unter weitestgehender Beibehaltung seiner bisherigen Vorteile derart weiterzuentwickeln, dass die Einstellbarkeit gewünschter Funktionsverläufe erleichtert wird, insbesondere eine Umblendung einer einmal eingestellten Kurvenform zur Festlegung der spektralen Zusammensetzung eines Tones auf eine andere Kurvenform ermöglicht wird.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass die Speicherzellen der verschiedenen Speicherbereiche dadurch derselben Folge von Adressenwerten zugeordnet sind, dass die Anzahl der Abtastpunkte für alle Wellenformen gleich ist, die demselben Adressenwert zugeordneten Speicherzellen der verschiedenen Speicherbereiche mit Eingängen eines jeweils dem Adressenwert zugeordneten elektronischen Umschalters verbunden sind, die Umschalter mit den Eingängen einer nachgeschalteten Interpolationsschaltung verbunden sind und die Ausgangssignale der Interpolationsschaltung nacheinander der Glättungseinheit zuführbar sind.

Die neue Lösung hat den Vorteil, dass der zeitliche Verlauf einer vorgegebenen bzw. voreingestellten Wellenform geändert, insbesondere die vorgegebene Wellenform in eine andere vorgegebene Wellenform überführt werden kann. Durch diese Massnahme kann einerseits ein Enveloppen-speicher weitestgehend ersetzt werden. Statt dessen kann aber auch der Übergang von einem natürlichen Instrument auf ein anderes natürliches Instrument bzw. der Übergang von der dem einen Instrument zugeordneten Klangfarbe auf eine dem anderen Instrument zugeordnete Klangfarbe stimuliert werden. Die gemäss dem zweiten Erfindungsgedanken, auf digitaler Technik aufbauende Lösung hat den Vorteil, dass man sich hochintegrierter Schaltkreise bedienen und hierdurch eine erhebliche Platzersparnis erzielen kann. Eine erste Glättung der zunächst durch den vorgegebenen Satz von Abtastwerten festgelegten Wellenform wird bei der einen Mikroprozessor verwendenden Lösung zunächst dadurch erreicht, dass die Zentraleinheit mittels des Festwertspeichers Zwischenwerte für den zwischen den Abtastwerten liegenden Bereich errechnet und diese dann zwischen den Abtastwerten im Schreib-/Lesespeicher ablegt. Nach Ablage der Abtastwerte und der Zwischenwerte im Schreib-/Lesespeicher werden sämtliche Werte mit der durch die Steuereinrichtung und Taktfrequenz vorgegebenen Frequenz zyklisch ausgelesen. Die Zwischenwerte zwischen den Abtastwerten und damit die Ordnung der Interpolationstücke sind durch entsprechende Auslegung des Mikroprozessors reproduzierbar steuerbar. Auch die Ordnung der Übergangswerte zwischen den beiden Wellenformen ist mittels des mit der Zentraleinheit verbundenen Festwertspeichers vorgebbbar und über eine Eingabetastatur steuerbar.

Bei entsprechender Auslegung der Interpolationsschaltung kann die Art des Überganges von einer vorgegebenen Wellenform auf die nächste festgelegt werden. Vorzugsweise ist hierbei die Interpolationsschaltung so ausgelegt, dass jeweils jedem Umschalter ein oder mehrere in Reihe angeordnete Integratoren nachgeschaltet sind, wobei die Ausgänge der so gebildeten Integratorenreihen jeweils nacheinander mit der Glättungseinheit verbindbar sind. Durch die Anzahl der Integratoren pro Integratorenreihe ist hierbei die Ordnung des Überganges von einer vorgegebenen Wellenform auf die nächste festlegbar.

Gemäss einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die den einzelnen Speicherzellen nachgeordneten Umschalter alle gemeinsam umschaltbar. Selbstverständlich sind jedoch auch einzeln umschaltbare

Umschalter verwendbar. Einzeln umschaltbare Umschalter haben den Vorteil, dass aus zunächst zwei vorgegebenen Sätzen von Abtastwerten bzw. den diesen Abtastwerten entsprechenden Wellenformen eine Vielfalt von Sätzen von Abtastwerten bzw. Wellenformen der Interpolationsschaltung zuführbar sind. Denn die eine vorgegebene Wellenform wird bereits durch Umschalten eines einzigen Umschalters in eine andere Wellenform überführt. Die Umschaltung jedes weiteren Umschalters führt jeweils zu einer weiteren neuen Wellenform. Demnach kann mit bereits zwei vorgegebenen Wellenformen durch nacheinander erfolgreiches Umschalten der einzelnen Umschalter eine Vielfalt von Wellenformen erzeugt werden. Zur sequentiellen Adressierung der Speicherzellen ist die Speicherausleseeinrichtung vorzugsweise mit den Ausgängen der Interpolationsschaltung bzw. mit den Ausgängen der durch die mehreren Integratoren gebildeten Integratorreihen verbunden.

Bei der durch die Integratoren realisierten Interpolationsschaltung wird der Verlauf des Überganges von einer vorgegebenen Wellenform auf die nächste Wellenform durch die Integrationszeit-Konstante bzw. -Konstanten der Integratoren beeinflusst. Um einen allmählichen Übergang zu gewährleisten, sind hierbei die Integratoren so ausgelegt, dass deren Integrationszeitkonstante relativ gross zur Breite bzw. Dauer der Taktimpulse der Speicherausleseeinrichtung ist. Vorzugsweise sind die Integratoren so ausgelegt, dass deren Integrationszeitkonstanten steuerbar, insbesondere spannungssteuerbar sind. Auch hierdurch wird eine einfache Möglichkeit realisiert, die Veränderbarkeit der Übergänge zwischen den vorgegebenen Wellenformen zu erleichtern. Die Integratoren können beispielsweise als RC-Glieder mit spannungssteuerbarem Widerstand ausgelegt sein.

Gemäss einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel ist den Speicherzellen des bzw. der Funktionsspeicher jeweils eine Einrichtung zugeordnet, die sichtbar angeordnete und mit den Speicherzellen verbindbare Einzelelemente aufweist. Die jedem Funktionsspeicher zugeordnete Einrichtung mit den Einzelelementen ist hierbei so ausgelegt, dass die Gesamtanordnung der Einzelelemente jeweils eine umkehrbar eindeutige (ein - eindeutige bzw. injektive) Abbildung der Gesamtanordnung der Abtastwerte der gespeicherten Wellenform darstellt. Diese Massnahme hat den Vorteil, dass der Verlauf der Wellenform, soweit er durch seine Abtastwerte festgelegt ist, unmittelbar graphisch vom Bild der Gesamtanordnung der Einzelelemente ablesbar ist. Durch diese Art der Bestimmung des Kurvenverlaufes einer erzeugten Schwingung ist auch der technische Laie in der Lage, auf einfache Weise gewünschte Wellenformen einzustellen bzw. zu reproduzieren. Denn bekanntlich lässt sich eine visuelle oder graphische Anordnung leicht merken bzw. mit einer Schablone vergleichen, sofern die Anzahl der Einzelelemente eine Maximalzahl zwischen 15 und 50, vorzugsweise zwischen 15 und 30, nicht übersteigt.

Das US-Patent 3 859 884 (Dillon Ross Grable, vom 14. Januar 1975) geht von der Aufgabe aus, einen Wellenformgenerator zur Klangformung in einem elektronischen Musikinstrument derart weiterzuentwickeln, dass der Einstellungsbereich der einen Klang bestimmenden Parameter vergrössert, die Einstellung der Parameter erleichtert und der Klang verbessert wird. Zur Lösung dieser Aufgabe sind u.a. Einrichtungen mit sichtbar angeordneten Einzelelementen derart vorgesehen, dass die Gesamtanordnung der Einzelelemente jeweils eine eindeutige Abbildung der Gesamtanordnung von Abtastwerten innerhalb der gewünschten Funktion darstellt. Zur Erhöhung der Klangqualität ist ferner im genannten US-Patent eine dem Funktionsgeneratorausgang vorgeschaltete Glättungseinheit vorgesehen. Hinweise auf das der Erfindung zugrundeliegende Problem und demzu-

folge Anregungen zur Lösung eines derartigen Problems sind diesem US-Patent nirgends entnehmbar. Der im US-Patent vorgesehene Enveloppenpeicher verändert zwar die im Funktionsspeicher abgelegte Wellenform, er gestattet jedoch nicht eine Umblendung zwischen unterschiedlichen Wellenformen.

Vorzugsweise sind die Einzelelemente derart den Speicherzellen zugeordnet und mit diesen verbunden, dass die Gesamtanordnung der Einzelelemente bzw. das Bild dieser Gesamtanordnung eine massstabsgetreue Wiedergabe der Gesamtanordnung der Abtastwerte bzw. des Bildes der Abtastwerte innerhalb der Wellenformen darstellt. Besonders die massstabsgetreue Wiedergabe des Bildes der Gesamtheit der Abtastwerte lässt einen einfachen Rückschluss bei bekannter, vorzugsweise konstanter Kennlinie der Glättungseinheit auf den Verlauf der Wellenform zu.

Statt der massstabsgetreuen Wiedergabe kann unter bestimmten Fällen auch eine Vergrösserung bestimmter Kurvenabschnitte der Wellenform erwünscht und über die Zuordnung zwischen den Einzelelementen und den Speichereinheiten festgelegt sein.

Eine weitere Vereinfachung der reproduzierbaren Einstellbarkeit eines gewünschten Wellenformverlaufes wird dadurch erzielt, dass die Speicherzellen mittels der Einzelelemente extern ansteuerbar sind, vorzugsweise mit den Abtastwerten (direkt) beschreibbar sind.

Gemäss einer einfachen Ausführungsform sind die Einzelelemente nebeneinander angeordnet, jeweils längs einer im wesentlichen geraden Bewegungsbahn – jede dieser Bewegungsbahnen kann als Ordinate aufgefasst werden – beweglich und den Speicherzellen in der Reihenfolge aufeinanderfolgender Abtastpunkte, die vorzugsweise gleichen Abstand untereinander haben, umkehrbar eindeutig zugeordnet. Die Bewegungsbahnen sind hierbei parallel zueinander ausgerichtet, gehen von einer zu ihnen orthogonalen gemeinsamen Bezugslinie – diese Bezugslinie kann als Abszisse betrachtet werden – aus und haben voneinander seitliche Abstände, die denen der Abtastpunkte für die Abtastwerte entsprechen. Die Zuordnung zwischen Einzelelementen und Speicherinhalten ist hierbei ferner so ausgelegt, dass der Abstand jedes Einzelelementes von der allen Einzelelementen gemeinsamen Bezugslinie (Abszisse) dem Inhalt der jeweils zugeordneten Speicherzelle entspricht. Beispielsweise durch einfaches Verschieben der Einzelelemente längs ihrer Bewegungsbahn können hierbei die Abtastwerte unmittelbar in die Speicherzellen eingeschrieben werden.

Die Vorteile der analogen Speicherung von Abtastwerten werden dadurch erzielt, dass der Funktionsspeicher aus Analogspeicherzellen aufgebaut ist und hierbei vorzugsweise die Speicherzellen im wesentlichen aus veränderbaren Widerständen bestehen.

Vorzugsweise sind hierbei die veränderbaren Widerstände gemeinsam mit den Einzelelementen als Flachbahnregler ausgebildet, die in einer geraden Reihe seitlich nebeneinander angeordnet sind. Die Einzelelemente sind hierbei rechtwinklig zur Längsrichtung (Abszisse) dieser Reihe verschieblich.

Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform sind die sichtbaren Teile der Einzelelemente als längliche Bügel ausgebildet, deren Längsrichtung in Längsrichtung der Reihe weist. Das Gesamtbild der Flachbahnregler bzw. der sichtbaren Teile der Einzelelemente gibt demnach unmittelbar eine graphische Darstellung einer durch die Abtastwerte erzeugten Stufenfunktion.

Zur sequentiellen Adressierung der Speicherzellen weist die Speicherausleseeinrichtung vorzugsweise ein Schieberegister auf, das in vorzugsweise zeitlich gleichen Abständen die Abtastwerte aus den Speicherzellen ausliest. Auch hier-

durch wird eine Zuordnung zwischen Abtastwerten und Verlauf der Wellenform erleichtert.

Bei Beschränkung auf eine endliche Zahl von Speicherzellen, veränderbaren Widerständen bzw. Flachbahnregler erhält man im einfachsten Fall einen sich sprunghaft ändernden Kurvenverlauf, da die Momentanwerte der Wellenform innerhalb des pro Abtastpunkt vorgesehenen Zeitintervalles gleich bleiben. In der Erfindung wird daher das den Abtastwerten entsprechende, zunächst treppenförmige Ausgangssignal auf eine als Interpolationsschaltung ausgebildete Glättungseinheit (Deglitcher) gegeben, welche – je nach Ordnung der zugrundeliegenden Interpolationskurve – die zu Beginn (durch eine entsprechende Einstellung der Einzelelemente) festgelegten Momentwerte bzw. Abtastwerte der Funktion durch kontinuierliche Kurvenstücke verbindet. Auf diese Weise lässt sich mit dem erfindungsgemässen Wellenformgenerator in einem elektronischen Musikinstrument der Aufwand zur Simulation konventioneller Musikinstrumente geringhalten. Anmelderseitig vorgenommene Untersuchungen ergeben nämlich, dass schon eine begrenzte Anzahl von Wendepunkten im zeitlichen Kurvenlauf eines Tonsignals eine grosse klangliche Vielfalt ermöglicht.

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens weist vorzugsweise die als Interpolationsschaltung ausgebildete Glättungseinheit ein erstes eingangsseitiges Abtast-/Halteglied auf, wobei dessen Ausgang mit dem Eingang eines oder mehrerer hintereinander geschalteter Integrator(en) verbunden und der Ausgang des oder der Integrator(en) zu einem zwischen dem ersten Abtast-/Halteglied und dem Integratoreingang liegenden Schaltungspunkt rückgekoppelt ist, derart, dass am Integratoreingang die Differenz zwischen dem Ausgangssignal des Funktionsspeichers und dem der Integratorreihe anliegt. Vorzugsweise ist in der Rückkopplungsschleife ein zweites Abtast-/Halteglied vorgesehen.

Es sei noch bemerkt, dass sich durch die Anzahl der jeweils verwendeten Integratoren die Ordnung der Interpolationskurve auf einfache Weise festlegen lässt.

Um sicherzustellen, dass die Differenz jeweils zwischen genau einem Abtastwert und dem Integratorausgangswert gebildet wird, sind vorzugsweise die Eingänge der Speicherausleseeinrichtung und des ersten und zweiten Abtast-/Haltegliedes parallel zueinander mit dem Ausgang eines Taktgenerators verbunden und hierbei den Eingängen der Abtast-/Halteglieder eine monostabile Kippstufe vorgeschaltet. Diese Kippstufe kann dazu verwendet werden, dass die Breite der vom Taktgenerator ausgehenden Impulse verkürzt und hierbei die Glättungseinrichtung vorzugsweise zeitlich verzögert angetaktet wird.

Um auch bei veränderlicher Taktfrequenz sicherzustellen, dass stets die Differenz zwischen nur einem Abtastwert und dem Integrationsausgangswert gebildet wird, sind der Taktgenerator und der bzw. die Integrator(en) so ausgelegt, dass die Taktfrequenz und die Integrationszeitkonstante spannungssteuerbar sind, wobei die Steuereingänge des Taktgenerators sowie des oder der Integratoren am Ausgang eines gemeinsamen Spannungsgenerators liegen. Für den erfindungsgemässen Wellenformgenerator eignet sich als Spannungsgenerator ein Exponentialfunktionsgenerator.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen noch näher erläutert.

Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 ein Schaltschema für eine dem Ausgang des erfindungsgemässen Wellenformgenerators vorgeschaltete Glättungseinheit;

Fig. 2a, 2b, 2c eine Draufsicht auf die Gesamtanordnung der Einzelelemente sowie den Zusammenhang zwischen Einzelelementen und Kurvenverlauf;

Fig. 3 ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Fig. 4a, 4b, 4c, 4d, den Zusammenhang zwischen Einzelelementen und Kurvenverlauf gemäss dem ersten Ausführungsbeispiel, und

Fig. 5 ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Die anhand des Schaltungsschemas gemäss Fig. 1 und 2 erläuterten Ausführungsbeispiele bedienen sich der Analogtechnik. Hierbei werden von einem als Ringzähler geschalteten Schieberregister 10 ständig nacheinander an den Schieberregisterausgängen 1 bis n Rechteckimpulse erzeugt. Diese Rechteckimpulse haben alle konstante Spannung und dienen quasi als kurzzeitig angelegte Konstantspannungsquelle für die mit den Schieberregisterausgängen 1 bis n verbundenen Potentiometer $P_1, \dots, P_n$. Jeder Schieberregisterausgang 1 bis n versorgt also die als Flachbahnregler ausgestalteten Potentiometer $P_1, \dots, P_n$ mit einer Spannung. Durch Verstellen bzw. Verschieben der Flachbahnregler sind unterschiedliche Spannungswerte von den Potentiometern $P_1, \dots, P_n$ abgreifbar. Diese unterschiedlichen Spannungswerte entsprechen den in Fig. 2 näher dargestellten Abtastwerten $A_1, \dots, A_n$. Die Gesamtheit der in Fig. 1 dargestellten Potentiometer $P_1, \dots, P_n$ stellt einen Funktionsspeicher 11 dar, wobei die Potentiometer den einzelnen Speicherzellen entsprechen. Das Schieberregister 10 dient gemeinsam mit einem noch zu besprechenden spannungssteuerbaren Taktgenerator 15 und einer Glättungseinheit 30 als Ausleseeinrichtung für den Funktionsspeicher 11.

Gemäss Fig. 2 sind die in den Funktionsspeicher 11 eingespeicherten Abtastwerte der Stellung der Verschiebebügel $S_1, \dots, S_n$ der Flachbahnregler zu entnehmen. Dies geht besonders deutlich aus den Fig. 2a und 2b hervor. Im dargestellten Ausführungsbeispiel zeigt ein Vergleich der Fig. 2a und 2b, dass die Gesamtordnung der Einzelelemente bzw. Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ eine massstabsgetreue Wiedergabe der Gesamtanordnung der Abtastwerte $A_1, \dots, A_n$ innerhalb einer Periode der Funktion darstellt. Im einzelnen sind die Flachbahnregler bzw. Potentiometer $P_1, \dots, P_n$ in einer geraden Reihe seitlich nebeneinander angeordnet und die Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ längs einer Geraden verschiebbar, die rechtwinklig zur Längsrichtung der Potentiometerreihe ausgerichtet ist. Hierbei sind die Flachbahnregler so ausgelegt, dass die Bewegungsbahnen $O_1, \dots, O_n$ für die Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ parallel zueinander liegen, wobei die Verschiebebügel $S_1, \dots, S_n$ in Nullstellung auf einer gemeinsamen, orthogonal zu den Bewegungsbahnen der $O_1, \dots, O_n$ der Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ angeordneten Geraden liegen. Die seitlichen Abstände der Schieberbügel entsprechen hierbei den seitlichen Abständen der für die Funktion vorgesehenen Abtastwerte $A_1, \dots, A_n$. Zwar ändern sich die zeitlichen Abstände der Abtastwerte $A_1, \dots, A_n$ bei einer Änderung der Grundfrequenz der Kurve. Das Verhältnis der Abstände bzw. der Zeitspannen zwischen zwei Abtastwerten bleibt jedoch konstant. Dies hat zur Folge, dass auch bei sich ändernder Frequenz die Gesamtanordnung der Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ eine massstabsgetreue Wiedergabe der Gesamtanordnung der Abtastwerte $A_1, \dots, A_n$ innerhalb einer Periode der Funktion darstellt. Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Abtastwerte durch Verschieben der Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ extern unmittelbar einstellbar. Hierbei entspricht der Abstand jedes Schieberbügels $S_1, \dots, S_n$ von der Nullstellung dem Inhalt der jeweils zugeordneten Speicherzelle bzw. dem vom jeweiligen Potentiometer $P_1, \dots, P_n$ abgreifbaren Spannungswert.

Beim dargestellten Ausführungsbeispiel sind die Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ rechteckig ausgebildet und haben quer zu ihrer

Verschieberichtung eine relativ grosse Ausdehnung. Durch diese Massnahme vermittelt die Gesamtanordnung der Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ den unmittelbaren Eindruck einer Treppenfunktion, die derjenigen in Fig. 2b entspricht. Die Bewegungsbahnen $O_1, \dots, O_n$ für die Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ sind hierbei als Führungsschlitze innerhalb des Tableaus 25 eines Schaltpultes ausgebildet. Statt der Ausbildung der Einzelelemente als Schieberbügel $S_1, \dots, S_n$ von Flachbahnreglern ist gemäss einem weiteren Ausführungsbeispiel vorgesehen, den Inhalt der Speicherzellen durch Lichtzeiger oder Elektronenstrahl anzuzeigen, wobei beispielsweise die Speicherzellen wieder als Potentiometer, vorzugsweise Drehpotentiometer ausgebildet sind und die jeweilige Stellung der Abgriffklemme durch einen Lichtzeiger auf einem Tableau angezeigt wird.

Die Ausgänge der Potentiometer $P_1, \dots, P_n$ werden einem gemeinsamen Entkopplungselement 13 zugeführt. Das Entkopplungselement 13 stellt sicher, dass keine Wechselwirkung zwischen den einzelnen Potentiometern stattfindet. Der Ausgang des Entkopplungselementes 13 ist einem Eingang der Glättungseinheit 30 zugeführt. Der Steuereingang der Glättungseinheit 30 ist mit dem Ausgang des spannungssteuerbaren Taktgenerators 15 verbunden. Der Taktgenerator 15 liefert Taktimpulse konstanter Spannung, die mittels des Schieberregisters 10 nacheinander den Potentiometern $P_1, \dots, P_n$ zugeführt werden. Die vom Entkopplungselement 13 abgreifbaren Spannungswerte werden zunächst einem ersten Abtast-/Halteglied 35 in der Glättungseinheit 30 zugeführt. Der Ausgang dieses Abtast-/Haltegliedes 35 wird über einen Schaltungspunkt 38 dem Eingang eines spannungssteuerbaren ersten Integrators 34_1 zugeführt. Dem ersten Integrator 34_1 sind beim dargestellten Ausführungsbeispiel weitere (m-1-Integratoren $34_2, \dots, 34_m$ nachgeschaltet. Der Ausgang dieser Integratorkette ist zum Eingang eines zweiten Abtast-/Haltegliedes 36 rückgeführt, welche das Integratorausgangssignal invertiert und das invertierte Signal dem Schaltungspunkt 38 zuführt. Hierdurch wird am Schaltungspunkt 38 die Differenz zwischen dem vom Entkopplungselement 13 und dem Integratorausgang kommenden Signalen gebildet.

Die Glättungseinheit 30 vergleicht demnach in bestimmten Zeitintervallen – diese sind durch die Taktfrequenz des Taktgenerators 15 sowie durch die Kippdauer einer monostabilen Kippstufe 12, welche die beiden Abtast-/Halteglieder 35, 36 ansteuert, bestimmt – die vom Entkopplungselement 13 abgegriffenen Momentan- bzw. Abtastwerte mit dem Ausgangswert der Glättungseinheit 30. Auf diese Weise werden mittels der Integratoren $34_1, \dots, 34_m$ jeweils nur die Differenzen zwischen den zeitlich unmittelbar nacheinander abgegriffenen und durch die Potentiometer $P_1, \dots, P_n$ festgelegten Momentanamplituden integriert. Die Ordnung der zugrundeliegenden Interpolations-Kurvenform ist durch die Anzahl der in Reihe liegenden Integratoren $34_1, \dots, 34_m$ festgelegt. Bei Frequenzänderung, d.h. Änderung der Periodendauer des Taktgenerators 15, muss gleichzeitig die Integrationszeitkonstante umgekehrt proportional zur Frequenzänderung verändert werden. Dies ist bei den spannungssteuerbaren Integratoren $34_1, \dots, 34_m$ und dem spannungssteuerbaren Taktgenerator 15 dadurch möglich, dass die Steuereingänge des Taktgenerators 15 und der Integratoren $34_1, \dots, 34_m$ parallel zueinander am Ausgang eines gemeinsamen Spannungsgenerators 20 anliegen. Bei Verwendung des erfindungsgemässen Funktionsgenerators als Wellenformgenerator in einem elektronischen Musikinstrument eignet sich als Spannungsgenerator ein Exponentialfunktions-Generator.

Durch Verändern der Steuerspannung des Spannungsgenerators 20 sind demnach gleichzeitig die Taktfrequenz und die Integrationszeitkonstante in gewünschter Weise änderbar.

Am Ausgang des erfindungsgemässen Funktionsgenerators ist demnach eine Funktion abgreifbar, deren Ableitung nach der Zeit stetig ist. Mit Hilfe einer Nebenleitung 32 und einem zwischen dem Entkopplungselement 13 und dem Eingang der Glättungseinheit 30 angeordneten Umschalter 31 lässt sich am Ausgang des erfindungsgemässen Funktionsgenerators auch die durch die Abtastwerte festgelegte Stufenfunktion unmittelbar abgreifen. Für den Abgriff kann ein weiterer Umschalter 31a vorgesehen werden.

Die am Ausgang des Entkopplungselementes 13 anstehende Treppenfunktion und die am Ausgang des Funktionsgenerators anstehende Funktion mit stetiger Zeitabteilung sind in den Fig. 2b bzw. 2c dargestellt.

Ein Ausführungsbeispiel für eine Analog-Realisierung einer zeitlichen Überführung einer Kurvenform in eine andere ist in Fig. 3 dargestellt. Beim dargestellten Ausführungsbeispiel sind zwei Funktionsspeicher 50a und 50b zur Speicherung der Abtastwerte unterschiedlicher (Stufen-) Funktionen in den Speicherzellen $Pa_1, Pa_2, \dots, Pa_i$ und $Pb_1, Pb_2, \dots, Pb_i$ vorgesehen. Die zur Speicherung der Abtastwerte ein und desselben Abtastpunktes der Funktionen vorgesehenen beiden Speicherzellen in den beiden Funktionsspeichern sind jeweils paarweise mit einem Umschalter $51_1, 51_2, \dots, 51_i$ verbunden. Durch Umschalten dieser Umschalter ist jeweils eine von den beiden einem Abtastpunkt zugeordneten Speicherzellen in den beiden Funktionsspeichern 50a, 50b adressierbar.

Die Speicherzellen $Pa_1, \dots, Pa_i$ und $Pb_1, \dots, Pb_i$ sind wie beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 1 als Flachbahnregler ausgebildet und angeordnet. Als Konstantspannungsquelle dient hierbei eine ständig mit sämtlichen Flachbahnreglern verbundene Gleichspannungsquelle 49.

Auch in diesem Ausführungsbeispiel sind die durch die beiden Sätze von Abtastwerten festgelegten stufenförmigen Verläufe beider Funktionen unmittelbar von den Schiebebügeln $Sa_1, \dots, Sa_i$ und $Sb_1, \dots, Sb_i$ gemäss den Fig. 4a und 4b ablesbar.

Mit den Ausgängen der Umschalter $51_1, 51_2, \dots, 51_i$ sind die Eingänge einer Interpolationsschaltung 53 verbunden. Die Interpolationsschaltung 53 bewirkt nach Umschalten der Umschalter $51_1, \dots, 51_i$ von einem Funktionsspeicher 50a oder 50b auf den nächsten eine allmähliche Überführung der ersten Funktion in die zweite Funktion. Nach Auslösen einer Triggerschaltung 56 – bei Musikinstrumenten z.B. nach Drücken einer Taste – wechselt der Eingang «Trigger» sein Potential von z.B. negativ nach positiv, wodurch die Umschalter $51_1, \dots, 51_i$ gemeinsam von dem der Anfangskurve zugeordneten Funktionsspeicher 50a auf den der Endkurve zugeordneten Funktionsspeicher 50b umschalten. Die Umschalter $51_1, \dots, 51_i$ sind demnach spannungssteuerbare Umschalter. Die Triggerschaltung 56 weist vorzugsweise eine bistabile Kippstufe auf. Durch Umschalten der Umschalter wechselt demnach das vom ersten Funktionsspeicher 50a an der Interpolationsschaltung 53 anliegende Signal in das dem Inhalt des zweiten Funktionsspeichers 50b entsprechende Signal über.

Die Interpolationsschaltung 53 weist vorzugsweise eine der Anzahl der Speicherzellen gleiche Anzahl von Reihen hintereinandergeschalteter Integratoren $52_{11}, \dots, 52_{1k}, 52_{21}, \dots, 52_{2k}, \dots, 52_{i1}, \dots, 52_{ik}$ auf. Jeweils eine Integratorreihe ist mit dem Ausgang jeweils eines Umschalters verbunden. Die Integratorreihen sind so ausgelegt, dass der am Integratorreihenausgang abgreifbare Wert nach der Integration mit dem am Integratorreiheneingang anstehenden Wert übereinstimmt. Bei RC-Glied-Integratoren ist diese Bedingung erfüllt. Statt einer Verwendung von RC-Gliedern können zwischen die Umschalter $51_1, \dots, 51_i$ und die Integratorreihen $52_{11}, \dots, 52_{1k}, \dots, 52_{i1}, \dots, 52_{ik}$ auch jeweils Differenzglieder $57_1, \dots, 57_i$

geschaltet sein, welche die Differenzen der nacheinander am Umschalterausgang anstehenden Werte den Integratorreihen zuführen. Die Integratoren $52_{11}, \dots, 52_{ik}$ sind so ausgelegt, dass deren Integrationszeitkonstante mittels der Steuerspannungseinheit 59 veränderbar ist. Je nach Anzahl der in einer Integrationsreihe hintereinandergeschalteten Integratoren sowie nach Wahl der Spannung der Steuerspannungseinheit 59 erhält man einen mehr oder weniger schnellen, kontinuierlichen Übergang der Integratorenausgangsspannungen vom durch den Funktionsspeicher 50a festgelegten ersten treppenförmigen Kurvenverlauf zum ebenfalls treppenförmigen Kurvenverlauf gemäss den in den zweiten Speicher 50b eingeschriebenen Abtastwerten. Die Ausgänge der Integratorreihen werden mittels spannungssteuerbarer Schalter $58_1, 58_2, \dots, 58_i$ und eines Schieberegisters 54 der Reihe nach an das Entkopplungselement 55 geschaltet. Sie bewirken an dessen Ausgang eine im wesentlichen stufenförmig verlaufende Kurvenfunktion, die mittels der anhand Fig. 1 beschriebenen Glättungseinheit 30 zu einer Kurve mit stetiger Zeitableitung umgewandelt wird.

Die Integrationszeitkonstante der Integratoren $52_{11}, \dots, 52_{ik}$ ist gegenüber der Taktfrequenz des Schieberegisters 54 relativ gross. Vorzugsweise liegt sie im Sekundenbereich.

Je nach Anzahl der Schaltpunkte jedes Umschalters $51_1, \dots, 51_i$ und Anzahl der Funktionsspeicher 50a, 50b bzw. der Potentiometerreihen $Pa_1, \dots, Pa_i, Pb_1, \dots, Pb_i$ etc. kann durch entsprechende Ansteuerung mittels des Triggersignals am Triggereingang der Triggerschaltung 56 auch ein nacheinanderfolgendes Überwechseln auf mehrere beliebig unterschiedliche Kurvenformen erreicht werden. Wird hierbei beispielsweise in einem der Funktionsspeicher eine Sinusschwingung eingespeichert, dann kann durch diesen Speicher ein entsprechendes nachgeschaltetes – schmalbandiges – Filter, vorzugsweise Tiefpassfilter, eingespart werden.

Der Übergang der Kurvenformen ist in den Fig. 4c bis 4e veranschaulicht. Hierbei sind in Fig. 4c die am Funktionsgeneratorausgang abgreifbare Anfangsschwingungsform, in Fig. 4d eine Übergangsschwingungsform und in Fig. 4e die am Funktionsgenerator abgreifbare Endschwingungsform dargestellt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung in Digitaltechnik ist in Fig. 5 dargestellt. Im dargestellten Ausführungsbeispiel wird mittels eines Vielfach-Schiebeschalters $S_{51}, \dots, S_{5n}$ und nachgeschalteten Codierern $62_1, \dots, 62_n$ der jeweilige Abtastwert als Binär-Wort vorgegeben. Durch Drücken einer Steuertaste 64 wird die Zentraleinheit bzw. CPU 65 einer Mikroprozessoreinrichtung veranlasst, mit Hilfe einer Abfrage-Einheit 63, die mittels der Schiebeschalter $S_{51}, \dots, S_{5n}$ vorgegebenen, binär verschlüsselten Codeworte nacheinander in einen Schreib-/Lesespeicher 66 einzuschreiben. Die Zentraleinheit 65 des Mikroprozessors ist so ausgelegt, dass sie mit Hilfe eines Festwertspeichers 67 Zwischenwerte zwischen je zwei benachbarten, vorher in den Schreib-/Lesespeicher 66 eingeschriebenen Worten berechnet und diese unter einer anderen Speicheradresse im Schreib-/Lesespeicher 66 ablegt. Danach werden die Adressen der Binärworte im Schreib-/Lesespeicher 66 mittels der Zentraleinheit 65 derart geordnet, dass die errechneten Zwischenwerte jeweils zwischen zwei über die Schiebeschalter $S_{51}, \dots, S_{5n}$ eingegebenen Binärworten stehen. Dann wird das am Steuerspannungseingang V_c liegende frequenzbestimmende Signal über einen A/D-Wandler 68 in ein Binärwort umgewandelt und zur Festlegung eines Taktes verwendet, welcher von der Taktfrequenz eines Taktgenerators 72 ableitbar ist. Die Zentraleinheit 65 schaltet dann in zyklisch wiederkehrender Folge die im Schreib-/Lesespeicher 66 stehenden Momentan-Funktionswerte in der Weise an einem Digital/Analogwandler 69, dass die den Momentan-Funktionswerten

zugeordneten laufenden Adressen durch einen in der Zentraleinheit 65 realisierten Zähler mit der genannten Taktfrequenz immer wieder der Reihe nach an die Adressensammel-
leitung für den Schreib-/Lesespeicher 66 gelegt werden. Am
Ausgang dieses Funktionsgenerators ist dann – nach
Umwandlung der von der Zentraleinheit 65 ausgehenden
Digitalwerte in Analogwerte mittels des D/A-Wandlers 69 –
das gewünschte Signal bzw. die gewünschte Kurvenform
abgreifbar.

Um einen allmählichen Übergang von einer ersten Kurvenform in eine zweite Kurvenform mittels des in Digital-
technik ausgeführten Ausführungsbeispieles erreichen zu
können, ist eine Modifizierung der Auslegung des Mikropro-
zessors erforderlich. Auch hierbei ist der Mikroprozessor
widerum so ausgelegt, dass durch Drücken der Steuertaste
64, die mit den Schiebeschaltern $S_{S1}, \dots, S_{Sn}$ eingestellten
Momentanwerte der Funktion gemäss dem Vorstehenden in
den Schreib-/Lesespeicher 66 eingelesen und ferner mittels
des Festwertspeichers 67 und der Zentraleinheit 65 Zwi-
schenwerte errechnet und ebenfalls im Schreib-/Lese-
speicher 66 entsprechend abgelegt werden. Danach sind
durch erneutes Drücken der Steuertaste 64 die ebenfalls mit
Schiebeschaltern $S_{S1}, \dots, S_{Sn}$ vorgegebenen Werte einer
zweiten Schwingungsform einlesbar. Der Mikroprozessor ist
nun so ausgelegt, dass – nach Speicherung der Abtastwerte
der zweiten Schwingungsform im Schreib-/Lesespeicher 66
sowie Errechnung der Zwischenwerte und Speicherung auch
dieser Werte im Schreib-/Lesespeicher 66 – mittels der Zen-
traleinheit 65 und des Festwertspeichers 67 schrittweise für
die Momentanwerte, einschliesslich der nachträglich erre-
chneten Zwischenwerte, Übergangswerte errechnet und dann
zwischen die jeweils einander zugeordneten Momentanwerte
der ersten und zweiten eingegebenen Schwingungsform im
Schreib-/Lesespeicher abgelegt werden. Sämtliche Werte
werden also in ihrer für den Funktionsübergang errechneten
chronologischen Reihenfolge im Schreib-/Lesespeicher 66
abgelegt. Nach Festlegung der Taktfrequenz mittels des am
Steuereingang V_c anliegenden Spannungssignals und des
A/D-Wandlers 68 ist mit Hilfe eines Triggerimpulses am
Triggereingang 71 der Schreib-/Lesespeicher 66 – genauer
dessen Speicherzellen – der Reihe nach auslesbar. Um
Speicherplatz zu sparen, können hierbei je nach Auslegung
des Festwertspeichers 67 einzelne Adressenbereiche im
Schreib-/Lesespeicher 66 mehrfach hintereinander ausge-
lesen werden. Dies hängt von der gewünschten Feinheit der
Abstufung des Übergangs von einer Kurvenform zur
anderen ab.

Auch bei dieser Ausführungsform lässt sich der zeitliche
Verlauf des Überganges von einer Kurve in die andere
ändern. Hierzu ist eine Steuertastatur 70 vorgesehen, mittels
welcher ein vorgebbare Übergangskurvenverlauf in den
Mikroprozessor eingebbar ist.

In diesem Fall folgt der Übergang von einer Schwingungs-
form zur anderen nicht dem eventuell im Festwertspeicher
67 abgespeicherten, bei Musikinstrumenten vorzugsweise
exponentiellen Verlauf, sondern einem Verlauf, der wie-

derum mittels in der Steuertastatur 70 vorgesehenen Schiebe-
schalter nach Art der vorstehend geschilderten Schiebeschalt-
tung $S_{S1}, \dots, S_{Sn}$ vorgebbare ist. Demgemäss ist bei dieser Aus-
führungsform auch die Übergangskurve zwischen zwei

5 Funktionen extern steuerbar und anhand der Schiebe-
schalterstellungen von aussen ablesbar. Im einzelnen wird
hierbei die Stellung der Schiebeschalter in der Steuertastatur
70 in beschriebener Weise mittels der Abfrageeinheit 63 und
der Zentraleinheit 65 abgefragt und in den Schreib-/Lese-
10 speicher 66 eingespeichert. Werden besonders feine Abstufungen
erwünscht, sind mit Hilfe der Zentraleinheit 65 und
des Festwertspeichers 67 wiederum Zwischenwerte erre-
chenbar und zwischen die den Schalterstellungen entspre-
chenden Momentanwerte der Funktion in den Schreib-/
15 Lesespeicher 66 einschreibbar. Der so festgelegte Kurvenver-
lauf wird dann zur Bildung der Übergangswerte von einer
Kurve in die andere verwendet. Erst nachdem der gesamte
zeitliche Verlauf, einschliesslich des allmählichen Übergangs
von einer Kurvenform in die andere geordnet im Schreib-/
20 Lesespeicher vorliegt, kann nach Auswertung des frequenz-
bestimmenden Codewortes am Ausgang des A/D-Wandlers
68 der Verlauf der Kurvenfunktion in gewünschter Frequenz
nach Erhalt eines Triggerimpulses am Triggereingang 71
vom Funktionsgeneratorausgang abgegriffen werden.

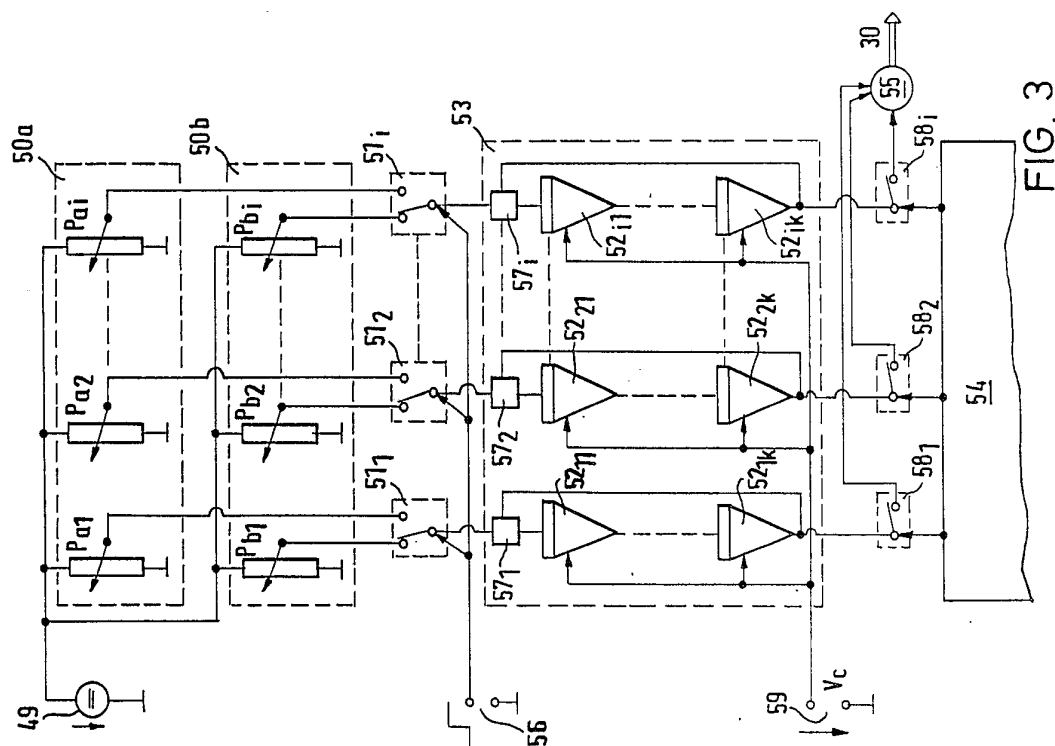
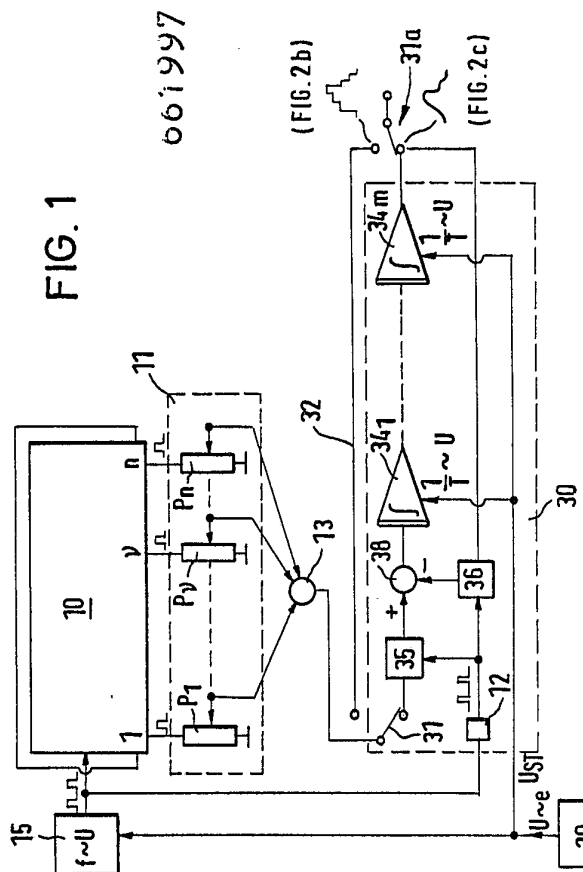
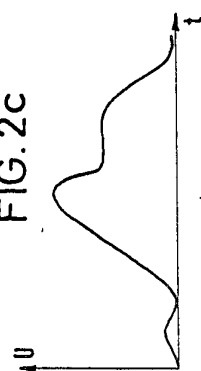
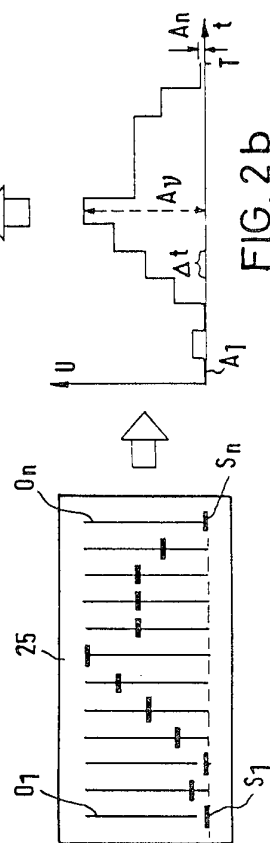
25 Zusammengefasst kann im Hinblick auf dieses Ausführungs-
beispiel gesagt werden, dass zunächst zu jeder der gra-
phisch an den Schaltern $S_{S1}, \dots, S_{Sn}$ eingestellten Kurven-
formen (Anfangs-Schwingungsform, End-Schwingungsform,
Kurvenverlauf des Überganges von einer Kurve zur
30 anderen) mathematisch Zwischenwerte errechnet werden.

In Fig. 5 ist nur eine Schaltergruppe $S_{S1}, \dots, S_{Sn}$ dargestellt.
Bei diesem Ausführungsbeispiel ist aber wie beim zweiten
Ausführungsbeispiel gemäss den Fig. 3 und 4 für jede Kur-
venform eine gesonderte Schaltergruppe vorgesehen.

35 Danach werden sämtliche Momentanwerte der Funktion,
angefangen bei den Werten der Anfangsschwingungsform
bis zu den Werten der Endschwingungsform der Reihe nach
im Schreib-/Lesespeicher 66 geordnet. Eventuell werden die
zu einer Schwingungsperiode gehörenden Adressen

40 mehrfach hintereinander ausgelesen, bevor die nachfol-
genden Adressen derjenigen Schwingungsform ausgelesen
werden, die auf der Zeitachse näher zum Verlauf der End-
schwingungsform steht. Die im Schreib-/Lesespeicher 66
vorliegenden Werte werden mit derjenigen Taktfrequenz der
45 Reihe nach an den Ausgang des D/A-Wandlers 69 gelegt, die
über die Steuerspannung am Steuerspannungseingang V_c und
den A/D-Wandler 68 festgelegt ist. Die Trennung zwischen
der rechnerischen Interpolation der Kurvenverlaufs-Zwi-
schenwerte und deren Ausgabe in der gewünschten Frequenz
50 berücksichtigt die im allgemeinen relativ geringe Rechenge-
schwindigkeit von Mikroprozessoren, welche eine Echtzeit-
Interpolation meistens nicht zulässt.

Es wird darauf hingewiesen, dass anstelle des erwähnten
Mikroprozessors auch ein Universalrechner oder ein sogenan-
55 nter Minikomputer zur Umblendung zwischen vorgege-
benen Kurvenformen eingesetzt werden kann.

**FIG. 2c****FIG. 2a****FIG. 2b**

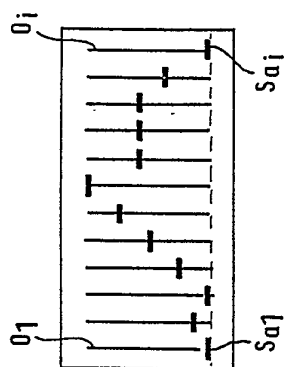


FIG. 4a

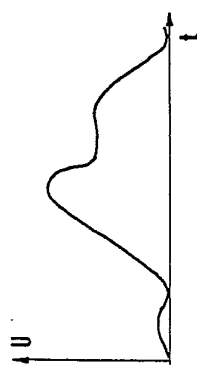


FIG. 4c

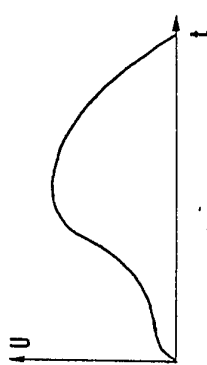


FIG. 4d

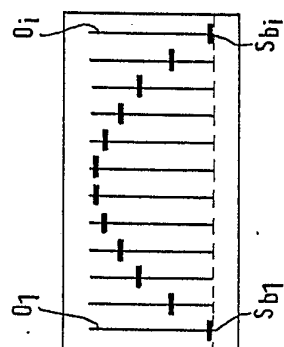


FIG. 4b

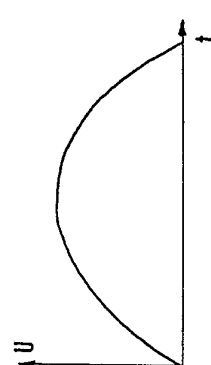


FIG. 4e

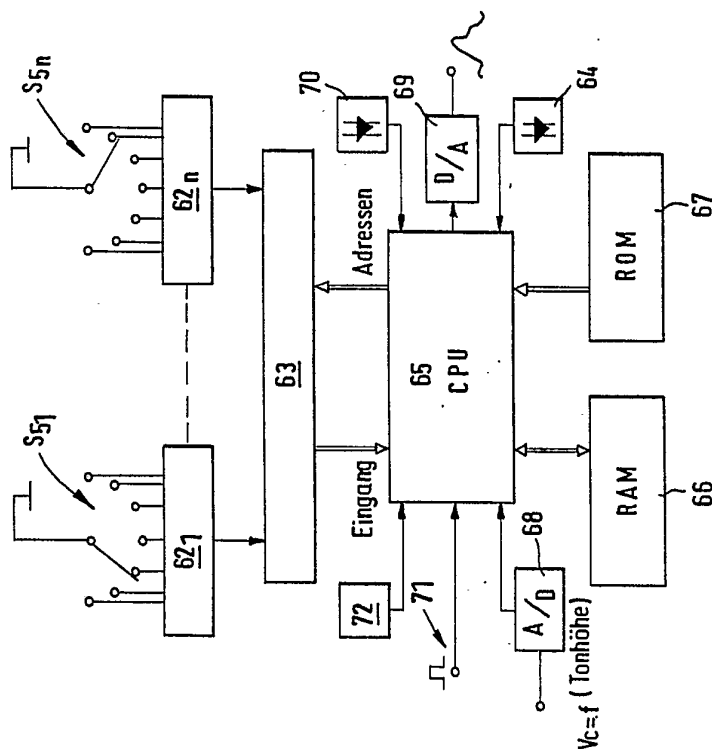


FIG. 5