

⑫ **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

⑰ Anmeldenummer: 83107156.8

⑤① Int. Cl.³: **G 10 K 11/00**

⑱ Anmeldetag: 21.07.83

⑳ Priorität: 27.08.82 DE 3231925

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.03.84 Patentblatt 84/10

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH GB IT LI LU NL

⑦① Anmelder: **WERSI-electronic GmbH & Co. KG**
Industriestrasse
D-5401 Halsenbach(DE)

⑦② Erfinder: **Franz, Reinhard**
Tulpenstrasse 15
D-5401 Emmelshausen(DE)

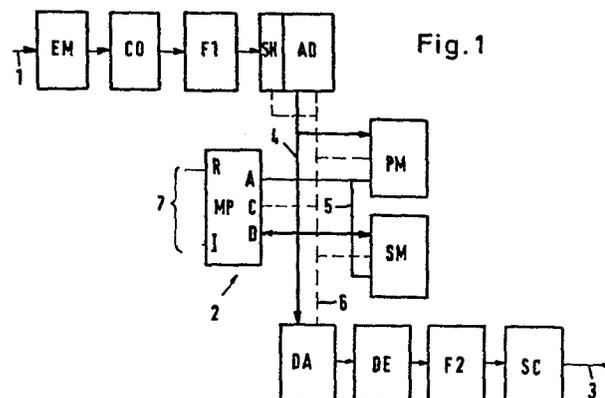
⑦② Erfinder: **Dittmar, Wilfried, Dipl.-Ing.**
Feldstrasse 18
D-5401 Halsenbach(DE)

⑦② Erfinder: **Scheidegger, Christian, Dipl.-Phys.**
Henchenstrasse 39
D-5401 Emmelshausen(DE)

⑦④ Vertreter: **Knoblauch, Ulrich, Dr.-Ing.**
Kühhornshofweg 10
D-6000 Frankfurt am Main 1(DE)

⑤④ **Vorrichtung zur Erzeugung von Hall für analoge Tonsignale und Verfahren zu deren Betrieb.**

⑤⑦ Bei einer Vorrichtung zur Erzeugung von Hall für analoge Tonsignale gibt es einen A/D-Wandler (AD) zur Umwandlung der analogen Tonsignale in digitale Tondaten, eine Verarbeitungseinheit (2) zur Behandlung der digitalen Tondaten und einen D/A-Wandler (DA) zur Rückwandlung der behandelten digitalen Tondaten. Ein Mikroprozessor (MP) ist mit Leitungen (4) für die digitalen Tondaten verbunden und wird als Rechner verwendet, der Multiplikationen durch Verschieben und gegebenenfalls Addieren von Digitalwerten ausführt.



- 1 -

WERSI-electronic GmbH & Co. KGVorrichtung zur Erzeugung von Hall für analoge
Tonsignale und Verfahren zu deren Betrieb

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Erzeugung von Hall für analoge Tonsignale, mit einem A/D-Wandler zur Umwandlung der analogen Tonsignale in digitale Tondaten, einer Verarbeitungseinheit zur Behandlung der digitalen Tondaten, einem D/A-Wandler zur Rückwandlung der behandelten digitalen Tondaten und einem Mikroprozessor, wobei die Verarbeitungseinheit einen Tondaten-Speicher und einen Rechner für Additionen und Multiplikationen aufweist, die mit Leitungen für die digitalen Tondaten verbunden sind, und ein Verfahren zum Betrieb dieser Vorrichtung.

Bei einer bekannten Vorrichtung dieser Art (digitales Hallgerät "Lexicon 224") wird der gewünschte Hall dadurch erzeugt, daß mehrere Allpaß-Filter-Berechnungen nacheinander erfolgen, wobei die Tondaten, die zu unterschiedlichen Zeiten gespeichert worden sind, addiert werden, nachdem sie teilweise zuvor mit einem Verstärkungsfaktor kleiner 1 multipliziert worden sind. Sämtliche Rechenarbeitsgänge müssen

innerhalb eines Arbeitstaktes der Wandler durch-
geführt sein. Da zur einwandfreien Nachbildung
der Analogsignale durch Digitaldaten die Taktzeiten
klein gehalten werden müssen, andererseits
5 aber die Rechengänge wegen der zahlreichen
Multiplikationen eine große Zahl von Einzelschrit-
ten erfordern, weist die Verarbeitungseinheit
einen als Arithmetik-Prozessor ausgebildeten
Rechner mit sehr hoher Taktfrequenz und einen
10 dieser Frequenz angepaßten Tondaten-Speicher
auf. Beides sind sehr aufwendige Baugruppen,
so daß die Hallvorrichtung insgesamt sehr teuer
ist. Außerhalb des Leitungssystems der digitalen
Tondaten gibt es einen Mikroprozessor, der
15 mit einem Fernbedienungsteil, der Zeitsteuerung
der Verarbeitungseinheit, einem Programmspeicher-
teil und ggf. weiteren Steuereinrichtungen
verbunden ist. Er dient zur Auswahl und Beeinflus-
sung des Hallprogramms unter Berücksichtigung
20 der Einstellungen des Fernbedienungsteils.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine
Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art
anzugeben, die zur Erzeugung des gewünschten
25 Halls einen wesentlich einfacheren Aufbau hat
und daher auch preiswerter hergestellt werden
kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch
30 gelöst, daß der Mikroprozessor mit Leitungen
für die digitalen Tondaten verbunden und als
Rechner verwendet ist, der die Multiplikationen
durch Verschieben und gegebenenfalls Addieren
von Digitalwerten ausführt.

35 Mikroprozessoren haben eine vergleichsweise

geringe Taktfrequenz. Wenn mit ihrer Hilfe zwei Digitalwerte multipliziert werden sollen, könnten innerhalb eines Arbeitstakts der Wandler höchstens ein oder zwei Multiplikationen durchgeführt werden, was für die Hallerzeugung unzureichend ist. Wenn aber die Multiplikation auf bestimmte Werte beschränkt wird, nämlich diejenigen, die sich durch Verschieben und ggf. Addieren, also Summieren oder Subtrahieren, ergeben, erfordern diese Multiplikationen nur ganz wenige Schritte. Die Taktfrequenz eines üblichen Mikroprozessors reicht daher aus, die erforderliche Zahl von Multiplikationen und sonstigen Rechenarbeitsgängen innerhalb eines Arbeitstaktes der Wandler durchzuführen.

Da der Mikroprozessor nicht nur Steuerungsaufgaben versieht, sondern auch als Rechner arbeitet, kann der bisher verwendete Spezialrechner (Arithmetik-Prozessor) hoher Taktfrequenz entfallen.

Darüber hinaus kann mit einem normalen, lediglich der Taktfrequenz eines Mikroprozessors angepaßten Tondaten-Speicher gearbeitet werden. Infolgedessen kommt man mit einfachen Bauelementen aus, die in großer Stückzahl am Markt zur Verfügung stehen. Dementsprechend kann die Vorrichtung mit geringerem Kostenaufwand hergestellt werden.

Günstig ist es, wenn der Mikroprozessor für eine interne 16 bit-Verarbeitung ausgelegt ist. Da es zur ausreichenden Auflösung der Analogsignale erforderlich ist, mindestens 8 bit-Tondaten zu verwenden, kann das Verschieben und Addieren der Digitalwerte jeweils in einem Arbeitsschritt durchgeführt werden.

Besonders günstig ist es, wenn die Wandler für die Verarbeitung von 12 bis 14 bit-Tondatei ausgelegt sind. Dies ergibt eine besonders genaue Nachbildung der analogen Tonsignale durch digitale Tondatei. Der Mikroprozessor mit der internen 16 bit-Verarbeitung kann auch mit diesen 12 bis 14 bit-Tondatei die erforderlichen Berechnungen durchführen.

10 Auf der anderen Seite genügt es, wenn der Mikroprozessor Anschlüsse für 8 Tondatei-Leitungen aufweist. 12 bit-Tondatei werden dann mittels einer einzigen Instruktion in zwei Schritten übertragen.

15 Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist dafür gesorgt, daß der Mikroprozessor zum Abruf verschiedener Hall-Programme aus einem Programmspeicher mit einer Fortschaltvorrichtung versehen ist, die einen Rückstell-Anschluß (Reset), 20 der zur Ansteuerung des ersten Programms dient, und einen Weiterschalt-Anschluß (Interrupt), der zur Ansteuerung des jeweils nächsten Programms dient, aufweist. Durch eine sehr einfache Ansteuerung ist es daher möglich, eines von mehreren 25 Hall-Programmen auszuwählen.

Es empfiehlt sich, daß im Eingangskreis der analogen Tonsignale eine Kompressorschaltung zur physiologischen Anpassung des Hallsignals vorgesehen ist. Auf diese Weise wird eine gehörrichtige Anhebung des Hallanteils bei kleinen Lautstärken bewirkt.

35 Günstig ist es auch, daß im Eingangskreis der analogen Tonsignale eine Emphasisschaltung und im Ausgangskreis der analogen Tonsignale

eine diese Emphasis kompensierende Deemphasis-schaltung vorgesehen ist. Dies ergibt eine optimale Ausnutzung der Wandler für mittlere und hohe Frequenzen.

5

Desweiteren kann im Ausgangskreis der analogen Tonsignale eine Squelch-Schaltung zur Unterdrückung kleinster Amplituden vorgesehen sein. Diese unterdrückt die Ausgangssignale sobald ein vorgegebener Pegel unterschritten ist. Damit wird ein unerwünschtes Quantisierungsrauschen und eine störende Quantisierungsverzerrung unterbunden.

15

Ein Verfahren zum Betrieb dieser Vorrichtung, bei dem jeweils mehrere Allpaß-Filter-Berechnungen unter Multiplikation mit einem Verstärkungsfaktor kleiner 1 erfolgen, ist dadurch gekennzeichnet, daß alle Multiplikationen mit demselben Verstärkungsfaktor erfolgen. Auf diese Weise können alle digitalen Tondaten in der gleichen Weise behandelt werden, was erhebliche Vereinfachungen mit sich bringt.

20

25

Insbesondere sollten die Multiplikationen mit dem Verstärkungsfaktor 0,75 erfolgen. Dieser Wert führt mit dem kleinstmöglichen Zeitaufwand, nämlich zweimaligem Verschieben der digitalen Tondaten und einmaligem Addieren der verschobenen Daten, zu sehr ansprechenden Hall-Ergebnissen. Es kommen aber auch andere Verstärkungsfaktoren, wie 0,5 oder 0,625 oder 0,875 u. dgl. in Betracht.

30

35

Empfehlenswert ist es, daß vier Allpaß-Filter-Berechnungen nacheinander erfolgen. Dies ergibt

einen sehr ausgeprägten Hall. Die vier Berechnungen lassen sich unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Maßnahmen bei heute auf dem Markt befindlichen Mikroprozessoren gerade
5 noch durchführen.

Eine weitere vorteilhafte Maßnahme besteht darin, daß die nacheinander am A/D-Wandler auftretenden digitalen Tondaten unter zyklisch
10 wiederkehrenden Adressen in den Tondaten-Speicher eingelesen werden, die Adressen der für die einzelnen Allpaß-Filter-Berechnungen aufzurufenden Tondaten durch eine fortschaltbare Basiszahl bzw. sich hiervon durch fest eingegebene Subtraktionswerte unterscheidende Hilfszahlen
15 bestimmt werden, die Basiszahl zyklisch bis zur doppelten Adressenzahl des Tonsignal-Speichers fortgeschaltet wird und als Adressen die um die erste Binärstelle verkürzten Basis- bzw.
20 Hilfszahlen verwendet werden. Durch die Ausnutzung unvollständiger Adressendekodierung vom Mikroprozessor zum Tondaten-Speicher gelingt es, während des gesamten Betriebes mit Hilfe desselben Subtraktions-Arbeitsganges aus der fortschaltbaren Basiszahl sämtliche erforderlichen Adressen
25 zu gewinnen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines in der Zeichnung dargestellten, bevorzugten
30 Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

35 Fig. 2 die Darstellung eines Allpaß-Filters,

Fig. 3 im Blockschaltbild die Hintereinanderschaltung mehrerer Allpaß-Filter-Berechnungen und

5 Fig. 4 eine schematische Darstellung des Tonsignal-Speichers.

Bei der Hall-Vorrichtung der Fig. 1 wird ein analoges Tonsignal über einen Eingang 1 einer
10 Emphasis-Schaltung EM zugeführt, die eine Höhenanhebung und eine Baßabschwächung erzeugt, um bei allen Frequenzen dieses analogen Eingangssignals bei den jeweils zu erwartenden Maximalamplituden die A/D- und D/A-Wandlergenauigkeit auszunutzen. Das analoge Tonsignal wird danach
15 einer Compressor Schaltung Co zugeführt, in welcher das Tonsignal zwischen -30 dB und -50 dB um 10 dB zwecks physiologischer Anpassung komprimiert wird. Es folgt ein Filterkreis F1,
20 der einen sechspoligen Tschebyshev-Tiefpaß zur Erfüllung der Bedingung des Abtasttheorems (Bandbegrenzung) aufweist. Es folgt ein Abtast- und Haltekreis SH und ein Analog-Digital-Wandler AD. Der Abtast- und Haltekreis SH sorgt dafür,
25 daß während der A/D-Wandlung ein stabiles Signal am A/D-Wandler-Eingang vorhanden ist. Die Wandlung erfolgt mit einem 12 bit-Baustein bei einer Taktfrequenz von beispielsweise 10 kHz.

30 Zur Verarbeitungseinheit 2 gehört ein Mikroprozessor MP, dem ein Programm-Speicher PM zugeordnet ist, und ein Tondaten-Speicher SM.

Als Programm-Speicher kann beispielsweise
35 ein 2k x 8 ROM, als Tondaten-Speicher ein 8k x 8 RAM verwendet werden.

Ausgangsseitig ist ein Digital-Analog-Wandler DA vorgesehen, der wiederum ein 12 bit-Baustein ist. Es folgt eine Deemphasis-Schaltung DE, die die Wirkung der Emphasis-Schaltung EM kompensiert, so daß der Gesamtfrequenzgang linear wird. Es schließt sich ein Filterkreis F2 an, der wegen des Abtasttheorems einen sechspoligen Tschebyschev-Tiefpaß bei 4 kHz aufweist. Um das verbleibende Quantisierungsrauschen nach dem Ausklingen des Halls zu unterdrücken, ist eine Squelch-Schaltung SC vorgesehen, an welche die Ausgangsleitung 3 für das analoge Tonsignal anschließt.

Der Mikroprozessor MP besitzt acht Datenanschlüsse D, die mit einem 8 bit-Datenbus 4 verbunden sind. Dieser Datenbus ist mit dem Analog-Digital-Wandler AD, dem Digital-Analog-Wandler DA, dem Tondaten-Speicher SM und dem Programm-Speicher PM verbunden und führt daher nicht nur Programmsignale sondern dient auch als Tondaten-Leitung vor, bei und nach der Verarbeitung. Ferner gibt es zwölf Adressenanschlüsse A, die über einen 12 bit-Adressenbus 5 mit dem Programm-Speicher PM und dem Tonsignal-Speicher SM verbunden ist. Die Steueranschlüsse C sind über einen Steuerbus 6 mit dem Abtast- und Haltekreis SH, dem Analog-Digital-Wandler AD, dem Digital-Analog-Wandler DA, dem Programm-Speicher PM und dem Tondaten-Speicher SM verbunden. Aus Vereinfachungsgründen sind außerdem vorgesehene Decoder oder Schnittstellen nicht eingezeichnet. Der Mikroprozessor MP hat eine interne 16 bit-Verarbeitung und kann beispielsweise mit einer internen Rechengeschwindigkeit von 2 MHz betrieben werden. Er besitzt ferner

eine Fortschaltvorrichtung 7, um verschiedene Hall-Programme aus dem Programm-Speicher PM wirksam werden zu lassen. Zu diesem Zweck ist ein Rückstell-Anschluß R und ein Weiterschalt-Anschluß I vorgesehen. Wird an den Rückstell-Anschluß R ein Impuls gelegt, wird aus einem Programmzyklus das erste Programm angesteuert. Jedesmal wenn an den Weiterschalt-Anschluß I ein Impuls gelegt wird, wird auf das nächstfolgende Programm des Zyklus weitergeschaltet.

Die Fig. 2 und 3 erläutern, wie die im Analog-Digital-Wandler AD gewonnenen digitalen Tondaten in der Verarbeitungseinheit 2 behandelt werden. Fig. 2 zeigt den Berechnungsvorgang für ein Allpaß-Filter. Fig. 3 zeigt, daß vier derartige Filter-Berechnungen hintereinander durchgeführt werden.

Fig. 2 soll andeuten, daß ein zutretendes digital-Tonsignal s_1 in Form digitaler Tondaten und ein verzögertes Tonsignal s_2 durch Addition A1 zu einem Summensignal s_3 addiert werden. Das verzögerte Signal s_2 wird durch Multiplikation V1 eines Signals s_4 mit dem Faktor k erzeugt. Das Signal s_4 wird dem Tondaten-Speicher SM unter einer Adresse z^{-n} entnommen. n gibt an, um wieviel Wandler-Arbeitstakte früher das Tonsignal s_3 in den Speicher SM eingeschrieben worden ist. Das verzögerte Signal s_4 wird einer Addition A2 mit einem Signal s_5 unterworfen, das durch Multiplikation V2 des Signals s_3 mit dem Faktor $-k$ erzeugt wurde. Das austretende Summensignal s_6 wird dann weiterverarbeitet.

Fig. 3 zeigt, daß bei der hintereinander erfolgenden Berechnung von 4 solchen Allpaß-Filtern der Verstärkungsfaktor k immer den gleichen Wert 0,75 hat. Dieser wird beispielsweise
5 dadurch gewonnen, daß die jeweiligen Tondaten um eine Binärstelle und nochmals um eine Binärstelle verschoben werden (was jeweils einer Multiplikation mit dem Faktor 0,5 entspricht) und die beiden verschobenen Werte alsdann summiert
10 werden. Die Verzögerungszeiten entsprechen hier $n = 1285, 1120, 550$ und 450 Arbeitstakten. Auf diese Weise ergibt sich bei einer Taktzeit der Wandler AD und DA von $0,1$ ms eine Hallzeit von etwa 3 s. Durch Wahl anderer Kenngrößen
15 läßt sich die Hallzeit zwischen $0,1$ und 5 s einstellen, so daß alle sinnvollen Hallzeiten, die heute üblicherweise in der Musik eingesetzt werden, mit diesem System erzielt werden können.

20 Fig. 4 zeigt im Bereich I schematisch diejenigen Adressen, unter denen im Speicher SM Tondaten abgespeichert werden können. Beispielsweise gehen diese Adressen von 00000 bis 11111 . Im Bereich II ist dieser Speicher noch einmal
25 mit denselben Adressen dargestellt, der dieselben Adressen aufweist. Eine Basiszahl B , die vor der Adresse eine weitere Stelle besitzt, wird in Richtung des Pfeiles x fortgeschaltet. Durch Subtraktion mit fest eingegebenen Werten sind
30 mit der Basiszahl B mehrere Hilfszahlen H_1 , H_2 und H_3 verknüpft, welche daher die gleiche Fortschaltung wie die Basiszahl erfahren. Die Basiszahl B wird bis zum doppelten Speicherinhalt, d.h. bis ans Ende des Bereichs II,
35 gezählt. Da als Adresse aber jeweils die Basis- bzw. Hilfszahl ohne die erste Binärstelle dient,

(unvollständige Dekodierung), werden die digitalen
Tondaten lediglich aus dem tatsächlich vorhandenen
Speicher abgerufen, egal ob der Mikroprozessor
den Bereich I oder II adressiert. Es wird
5 daher nur eine geringe Arbeitskapazität des
Mikroprozessors für die Adressenverwaltung
benötigt.

Das Ausführungsbeispiel arbeitet mit Werten,
10 wie sie bei handelsüblichen Mikroprozessoren
verwirklicht werden können. So weit neuere
Mikroprozessoren höhere Taktfrequenzen haben,
lassen sich auch Multiplikationen durchführen,
bei denen das Verschieben und Addieren mehr
15 Schritte erfordert oder mehr als vier Allpaß-Fil-
ter- Berechnungen nacheinander durchgeführt
werden. Die Multiplikationen umfassen auch
solche Maßnahmen, bei denen verschobene Signale
nicht durch Summation sondern durch Subtraktion
20 addiert werden, beispielsweise vom Ursprungssignal.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Hall für analoge Tonsignale, mit einem A/D-Wandler zur Umwandlung der analogen Tonsignale in digitale Tondaten, einer Verarbeitungseinheit zur
5 Behandlung der digitalen Tondaten, einem D/A-Wandler zur Rückwandlung der behandelten digitalen Tondaten und einem Mikroprozessor, wobei die Verarbeitungseinheit einen Ton-
daten-Speicher und einen Rechner für Addi-
10 tionen und Multiplikationen aufweist, die mit Leitungen für die digitalen Tondaten verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikroprozessor (MP) mit Leitungen
(4) für die digitalen Tondaten verbunden
15 und als Rechner verwendet ist, der die Multiplikationen durch Verschieben und gegebenenfalls Addieren von Digitalwerten ausführt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekenn-
20 zeichnet, daß der Mikroprozessor (MP) für eine interne 16 bit-Verarbeitung ausgelegt ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandler (AD, DA) für die Verarbeitung von 12 bis 14 bit-Tondatein ausgelegt sind.
- 5
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikroprozessor (MP) Anschlüsse für 8 Tondatein-Leitungen (4) aufweist.
- 10
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Mikroprozessor (MP) zum Abruf verschiedener Hall-Programme aus einem Programmspeicher (PM) mit einer Fortschaltvorrichtung (7) versehen ist, die einen Rückstell-Anschluß (R), der zur Ansteuerung des ersten Programms dient, und einen Weiterschalt-Anschluß (I), der zur Ansteuerung des jeweils nächsten Programms dient, aufweist.
- 15
- 20
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß im Eingangskreis der analogen Tonsignale eine Kompressorschaltung (Co) zur physiologischen Anpassung des Hallsignals vorgesehen ist.
- 25
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß im Eingangskreis der analogen Tonsignale eine Emphasisschaltung (EM) und im Ausgangskreis der analogen Tonsignale eine diese Emphasis kompensierende Deemphasisschaltung (DE) vorgesehen ist.
- 30
- 35

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß im Ausgangskreis der analogen Tonsignale eine Squelch-Schaltung (SC) zur Unterdrückung kleinster Amplitudenvorgesehen ist.
- 5
9. Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem jeweils mehrere Allpaß-Filter-Berechnungen unter Multiplikation mit einem Verstärkungsfaktor kleiner als 1 erfolgen, dadurch gekennzeichnet, daß alle Multiplikationen mit demselben Verstärkungsfaktor (R) erfolgen.
- 10
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Multiplikationen mit dem Verstärkungsfaktor 0,75 erfolgen.
- 15
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß vier Allpaß-Filter-Berechnungen nacheinander erfolgen.
- 20
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die nacheinander am A/D-Wandler auftretenden digitalen Tondaten unter zyklisch wiederkehrenden Adressen in den Tondaten-Speicher eingelesen werden, die Adressen der für die einzelnen Allpaß-Filter-Berechnungen aufzurufenden Tondaten durch eine fortschaltbare Basiszahl bzw. sich hiervon durch fest eingegebene Subtraktionswerte unterscheidende Hilfszahlen bestimmt werden, die Basiszahl zyklisch bis zur doppelten Adressenzahl des Tondaten-Speichers fortgeschaltet wird und als Adressen die um die erste Binär-Stelle verkürzten Basis- bzw. Hilfszahlen verwendet werden (unvollständige Dekodierung).
- 25
- 30
- 35

