



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/014325**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 003 767.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2021/024669**
(86) PCT-Anmeldetag: **30.06.2021**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **20.01.2022**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **27.04.2023**

(51) Int Cl.: **H04R 9/06** (2006.01)
H04R 3/00 (2006.01)
H04R 29/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2020-120706 **14.07.2020** **JP**

(74) Vertreter:
**2SPL Patentanwälte PartG mbB Schuler Schacht
Platzer Lehmann, 81373 München, DE**

(71) Anmelder:
Sony Group Corporation, Tokyo, JP

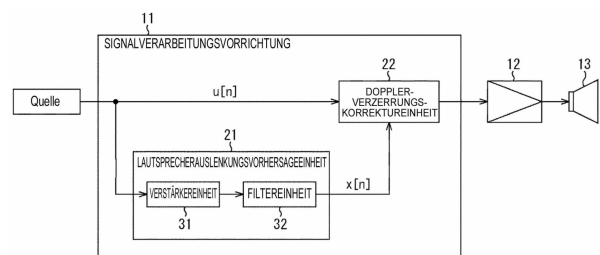
(72) Erfinder:
Yoneda, Michiaki, Tokyo, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Signalverarbeitungsvorrichtung und -Verfahren und Programm**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Technik betrifft eine Signalverarbeitungsvorrichtung, ein Signalverarbeitungsverfahren und ein Programm, die in der Lage sind, eine Dopplerverzerrung zu reduzieren.

Die Signalverarbeitungsvorrichtung weist Folgendes auf: eine Auslenkungsvorhersageeinheit, die eine Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, wiedergibt, basierend auf dem Audiosignal vorhersagt; und eine Korrekturereinheit, die eine Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der aus der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit durchführt. Die vorliegende Technik kann in Audio-wiedergabesystemen angewendet werden.



Beschreibung

[Technisches Gebiet]

[0001] Die vorliegende Technik betrifft eine Signalverarbeitungsvorrichtung, ein Signalverarbeitungsverfahren und ein Programm und betrifft insbesondere eine Signalverarbeitungsvorrichtung, ein Signalverarbeitungsverfahren und ein Programm, die in der Lage sind, eine Dopplerverzerrung zu reduzieren.

[Stand der Technik]

[0002] Bei der Musikwiedergabe über Lautsprecher kann beispielsweise ein Phänomen auftreten, bei dem hochfrequente Signale durch niederfrequente Signale beeinflusst werden, wodurch die Klangbildlokalisierung undeutlich wird oder schwankend klingt.

[0003] Als ein verursachender Faktor für dieses Phänomen kann die Dopplerverzerrung angegeben werden, bei der die Membran eines Lautsprechers aufgrund niederfrequenter Signale vor- und zurückschwingt und sich die Schallquellenposition des von der Membran abgestrahlten Signals aufgrund der Vor- und Zurückbewegung der Membran ändert. Besonders ausgeprägt ist dies bei Breitbandlautsprechern, die tiefe bis hohe Frequenzen von einer einzigen Membran ausgeben.

[0004] Dementsprechend wurde eine Technik vorgeschlagen, bei der die Dopplerverzerrung aufgehoben wird, indem ein Taktoszillator mit einem zweifach integrierten Signal gesteuert wird und die Verzögerungszeit des Signals unter Verwendung einer variablen Verzögerungsvorrichtung variiert wird (siehe beispielsweise PTL 1).

[0005] Es wurde auch eine Technik vorgeschlagen, bei der bei der digitalen Signalverarbeitung eine nichtlineare Verzerrung eines Lautsprechers korrigiert wird, indem die Auslenkung des Lautsprechers unter Verwendung eines Parameters einer Auslenkung von 0 [mm] linear vorhergesagt wird (siehe beispielsweise PTL 2). Mit dieser Technik wird die Dopplerverzerrung unter Verwendung einer linearen Vorhersage der Auslenkung korrigiert, die verwendet wird, um eine nichtlineare Verzerrung im Lautsprecher zu korrigieren.

[Liste der Anführungen]

[Patentliteratur]

[PTL 1] JP 1556673 B

[PTL 2] US-Patentschrift Nr. 5438625

[Kurzdarstellung]

[Technisches Problem]

[0006] Bisher war es jedoch schwierig, die Dopplerverzerrung unter Verwendung der oben beschriebenen Techniken ausreichend zu reduzieren.

[0007] Zum Beispiel wird bei der in PTL 1 beschriebenen Technik die Integration einfach zweimal als Verfahren zum Erhalten der Bewegung (Auslenkung) der Lautsprechermembran durchgeführt, aber eine durch Integration erhaltene Bewegung unterscheidet sich oft von der tatsächlichen Bewegung der Lautsprecher-auslenkung, was den gegenteiligen Effekt zunehmender Verzerrung hat.

[0008] Darüber hinaus wird mit der in PTL 2 beschriebenen Technik eine Phasenmodulation durch Steuern der Verzögerungszeit als Verfahren zum Korrigieren einer Dopplerverzerrung durchgeführt, und eine lineare Interpolation wird verwendet, um die Daten zwischen Abtastintervallen bei der Steuerung der Verzögerungszeit diskreter Signale zu berechnen.

[0009] Insbesondere nimmt die Dopplerverzerrung bei 6 dB/Oct zu, wenn die Frequenz eines hochfrequenten Signals zunimmt, aber eine lineare Interpolation kann große Fehler erzeugen, und in solchen Fällen treten neue, durch solche Fehler verursachte Verzerrungen auf. Außerdem erfolgt keine Berücksichtigung der Zeitkorrektur, wenn der Betrag der Auslenkung der Lautsprechermembran groß ist und ein einzelnes Abtastintervall überschreitet.

[0010] Die vorliegende Technik wurde angesichts solcher Umstände erreicht und ist in der Lage, Dopplerverzerrung zu reduzieren.

[Lösung des Problems]

[0011] Eine Signalverarbeitungsvorrichtung gemäß einem Aspekt der vorliegenden Technik weist Folgendes auf: eine Auslenkungsvorhersageeinheit, die eine Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, wiedergibt, basierend auf dem Audiosignal vorhersagt; und eine Korrekturereinheit, die eine Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der aus der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit durchführt.

[0012] Ein Signalverarbeitungsverfahren oder Programm gemäß einem Aspekt der vorliegenden Technik weist eine Signalverarbeitungsvorrichtung auf, die die folgenden Schritte durchführt: Vorhersage einer Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, wiedergibt, basierend auf dem Audiosignal; und Durchführen einer Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der aus der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit.

[0013] In einem Aspekt der vorliegenden Technik wird eine Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, wiedergibt, basierend auf dem Audiosignal vorhersagt; und es wird eine Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der aus der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit durchführt.

Figurenliste

[Fig. 1] Fig. 1 ist ein Diagramm, das eine Dopplerverzerrung darstellt.

[Fig. 2] Fig. 2 ist ein Diagramm, das eine Dopplerverzerrung darstellt.

[Fig. 3] Fig. 3 ist ein Diagramm, das eine Dopplerverzerrung darstellt.

[Fig. 4] Fig. 4 ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Konfiguration eines Audiowiedergabesystems darstellt.

[Fig. 5] Fig. 5 ist ein Diagramm, das einen Verarbeitungsfluss darstellt, wenn eine Dopplerverzerrung korrigiert wird.

[Fig. 6] Fig. 6 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Ersatzschaltung eines Lautsprechers darstellt.

[Fig. 7] Fig. 7 ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Konfiguration eines IIR-Filters dritter Ordnung darstellt.

[Fig. 8] Fig. 8 ist ein Diagramm, das Charakteristiken eines Kraftkoeffizienten in Bezug auf eine Lautsprecherauslenkung darstellt.

[Fig. 9] Fig. 9 ist ein Diagramm, das Charakteristiken der Nachgiebigkeit des mechanischen Systems in Bezug auf eine Lautsprecherauslenkung darstellt.

[Fig. 10] Fig. 10 ist ein Diagramm, das Induktivitätscharakteristiken in Bezug auf die Lautsprecherauslenkung darstellt.

[Fig. 11] Fig. 11 ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Konfiguration eines IIR-Filters dritter Ordnung darstellt.

[Fig. 12] Fig. 12 ist ein Diagramm, das ein Vorhersageergebnis, wenn eine nichtlineare Vorhersage durchgeführt wird, und einen tatsächlichen Auslenkungswert darstellt.

[Fig. 13] Fig. 13 ist ein Diagramm, das ein Vorhersageergebnis, wenn eine lineare Vorhersage durchgeführt wird, und einen tatsächlichen Auslenkungswert darstellt.

[Fig. 14] Fig. 14 ist ein Diagramm, das eine Dopplerverzerrungskorrektur darstellt.

[Fig. 15] Fig. 15 ist ein Diagramm, das einen Effekt einer Dopplerverzerrungskorrektur darstellt.

[Fig. 16] Fig. 16 ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Konfiguration einer Dopplerverzerrungskorrektur-einheit darstellt.

[Fig. 17] Fig. 17 ist ein Flussdiagramm, das eine Wiedergabeverarbeitung veranschaulicht.

[Fig. 18] Fig. 18 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Ersatzschaltung eines Lautsprechers darstellt.

[Fig. 19] Fig. 19 ist ein Diagramm, das ein Beispiel einer Ersatzschaltung eines Lautsprechers darstellt.

[Fig. 20] Fig. 20 ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Konfiguration eines Audiowiedergabesystems darstellt.

[Fig. 21] Fig. 21 ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Konfiguration eines Computers darstellt.

[Beschreibung von Ausführungsformen]

[0014] Nachfolgend werden Ausführungsformen, auf die die vorliegende Technik angewendet wird, unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.

<Erste Ausführungsform>

<Vorliegende Technik>

[0015] Die vorliegende Technik reduziert eine Dopplerverzerrung durch Durchführen einer Korrektur, die ein Audiosignal in der Zeitrichtung durch Interpolationsverarbeitung unter Verwendung eines Polynomausdrucks zweiter Ordnung oder höher verschiebt. Die vorliegende Technik ist auch in der Lage, die Genauigkeit der Vorhersage der tatsächlichen Bewegung in einer Lautsprechermembran zu verbessern und die Dopplerverzerrung weiter zu reduzieren, indem eine nichtlineare Vorhersage der Auslenkung in der Membran durchgeführt wird.

[0016] Bei der Wiedergabe von Tönen wie Musik über einen Lautsprecher kann ein Phänomen auftreten, bei dem hochfrequente Signale durch niederfrequente Signale beeinflusst werden, wodurch die Klangbildlokalisierung undeutlich wird oder schwankend klingt, und die Dopplerverzerrung ist ein Faktor, der dieses Phänomen verursacht.

[0017] Wie beispielsweise in Fig. 1 dargestellt, entsteht eine Dopplerverzerrung aufgrund von Änderungen der Schallquellenposition eines von einer Membran D11 eines Lautsprechers abgestrahlten Signals, die dadurch verursacht werden, dass die Membran D11 aufgrund niederfrequenter Signale vor- und zurückschwingt.

[0018] Insbesondere bewegt sich beispielsweise die Schallquellenposition, d. h. die Position, an der Schallwellen erzeugt werden, wenn sich die Membran D11 nach vorne bewegt, wie durch den Pfeil Q11 in Fig. 1 angegeben, d. h. in Richtung eines Hörpunkts P11, nach vorne, und die Phase des durch die Membran D11 ausgegebenen Schalls (Signals) rückt nach vorne vor. Als Ergebnis wird die Wellenlänge des von der Membran D11 ausgegebenen Schalls kürzer.

[0019] Wenn sich dagegen die Membran D11 nach hinten bewegt, wie durch den Pfeil Q12 angegeben, d. h. in der dem Hörpunkt P11 entgegengesetzten Richtung, bewegt sich die Schallquellenposition nach hinten und die Phase des durch die Membran D11 ausgegebenen Schalls (Signals) wird verzögert. Als Ergebnis wird die Wellenlänge des von der Membran D11 ausgegebenen Schalls länger.

[0020] So ändert sich, wenn ein Hochfrequenzsignal (Schall) von der Membran D 11 ausgegeben wird, während sich die Membran D 11 aufgrund eines Niederfrequenzsignals vor- und zurückbewegt, die Wellenlänge des Schalls.

[0021] Dieses Phänomen wird als „Dopplerverzerrung“ bezeichnet, und die Dopplerverzerrung ist besonders ausgeprägt in Breitbandlautsprechern, die niedrige bis hohe Frequenzen von einer einzigen Membran ausgeben.

[0022] Breitbandlautsprecher werden häufig bei der sogenannten normalen Zweikanal-Stereowiedergabe, 5.1-Kanal-Surround-Sound, Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) mit mehreren Lautsprechern und Wellenfrontsynthese verwendet, um den Lautsprecher als ideale Punktschallquelle zu behandeln.

[0023] Die Dopplerverzerrung in Lautsprechern beeinflusst die Position, die Lautstärke und dergleichen der beabsichtigten Schallquelle und der tatsächlich wiedergegebenen Schallquelle.

[0024] Eine Dopplerverzerrung tritt beispielsweise auf, wenn ein niederfrequentes und ein hochfrequentes Signal gleichzeitig wiedergegeben werden, wie in **Fig. 2** dargestellt.

[0025] Mit anderen Worten, wie oben beschrieben, bewirkt das niederfrequente Signal, dass die Membran des Lautsprechers vor- und zurückschwingt, was die Schallquellenposition des hochfrequenten Signals ändert, und dies wiederum ändert die Ankunftszeit des Schalls am Hörpunkt. Dadurch wird die Wellenlänge des hochfrequenten Signals (Schall) verkürzt oder verlängert, wodurch das Signal verzerrt wird.

[0026] Wenn zum Beispiel Nieder- und Hochfrequenzsignale, die gleichzeitig ausgegeben werden, wenn eine Dopplerverzerrung auftritt, auf der Frequenzachse betrachtet werden, ist die Situation wie in **Fig. 3** dargestellt. Es sei angemerkt, dass in **Fig. 3** die vertikale Achse die Amplitude des Signals darstellt und die horizontale Achse die Frequenz darstellt.

[0027] In diesem Beispiel ist die Komponente einer Frequenz f_1 die niederfrequente Signalkomponente und die Komponente einer Frequenz f_2 ist die hochfrequente Signalkomponente. Insbesondere werden hier sowohl das Niederfrequenzsignal als auch das Hochfrequenzsignal als Sinuswellensignal betrachtet.

[0028] In diesem Beispiel werden das Niederfrequenzsignal und das Hochfrequenzsignal gleichzeitig von dem Lautsprecher ausgegeben, was zu einer Dopplerverzerrung führt. Mit anderen Worten, hier handelt es sich bei einer Frequenzkomponente ($f_2 - f_1$) und einer Frequenzkomponente ($f_2 + f_1$), die Frequenzkomponenten im Seitenband sind, um durch Dopplerverzerrung erzeugte Signalkomponenten.

[0029] Als Verfahren zum Reduzieren der oben beschriebenen Dopplerverzerrung ist ein Verfahren zum Vorhersagen einer Vor- und Zurückbewegung (Auslenkung) der Lautsprechermembran und Verwenden der vorhergesagten Auslenkung zum Steuern der Verzögerungszeit zum Invertieren in Bezug auf die Vor- und Zurückbewegung der Lautsprechermembran vorstellbar. Mit anderen Worten, als Verzögerungszeitsteuerung wird eine Steuerung durchgeführt, um den Zeitpunkt der Signalausgabe (Wiedergabe) um eine Zeit zu verzögern, die der durch die Vorhersage erhaltenen Auslenkung der Membran entspricht.

[0030] Auf diese Weise wird die Ankunftszeit des Schalls am Hörpunkt, die aufgrund der Vor- und Zurückbewegung der Lautsprechermembran variiert, so gesteuert, dass sie gleichmäßig ist, was es ermöglicht, die Dopplerverzerrung zu reduzieren.

[0031] Basierend auf dem Obigen kann zum Aufheben der Dopplerverzerrung die Bewegung der Lautsprechermembran durch Vorhersage oder tatsächliche Messung erhalten werden, und eine Zeitkorrektur für das Signal kann in entgegengesetzter Richtung um einen Betrag, der der durch die Bewegung verursachten Änderung der Ankunftszeit des Schalls (Signal) entspricht, vorgenommen werden.

[0032] Bisher war es jedoch schwierig, die Dopplerverzerrung unter Verwendung der gegenwärtigen und vorgeschlagenen Techniken ausreichend zu reduzieren.

[0033] Es wurde ein weiteres Verfahren zum Reduzieren der Dopplerverzerrung durch Modifizieren der Form der Membran des Lautsprechers vorgeschlagen. Beispielsweise wurde ein Verfahren zum Reduzieren der Dopplerverzerrung vorgeschlagen, indem die Membranform in nicht kreisförmiger Form gestaltet wird, wie etwa einer asymmetrischen Ellipse, sodass höherfrequente Signale ungleichmäßig von der Membran abgestrahlt werden und die Phasenmodulation gestreut wird. Jedoch war selbst mit einem solchen Verfahren die Verbesserung der Dopplerverzerrung gering und konnte nicht als ausreichend bezeichnet werden.

[0034] Dementsprechend kann mit der vorliegenden Technik die Dopplerverzerrung reduziert werden, indem eine nichtlineare Vorhersage durchgeführt wird, um die Bewegung (Auslenkung) der Lautsprechermembran mit höherer Genauigkeit vorherzusagen, und das Audiosignal durch Interpolationsverarbeitung unter Verwendung eines Polynomausdrucks zweiter Ordnung oder höher zeitkorrigiert wird.

[0035] Beispielsweise kann die Auslenkung des Lautsprechers durch Durchführen einer nichtlinearen Vorhersage genauer vorhergesagt werden als durch eine lineare Vorhersage. Darüber hinaus kann, wenn eine Interpolationsverarbeitung unter Verwendung eines Polynomausdrucks zweiter Ordnung oder höher durchgeführt wird, die Interpolation genauer durchgeführt werden, als wenn eine lineare Interpolation an zwei Punkten durchgeführt wird. Dadurch ist es möglich, die Dopplerverzerrung weiter zu reduzieren.

<Beispiel der Konfiguration eines Audiowiedergabesystems>

[0036] Fig. 4 ist ein Diagramm, das ein Beispiel der Konfiguration einer Ausführungsform eines Audiowiedergabesystems darstellt, auf das die vorliegende Technik angewendet wird.

[0037] Das in Fig. 4 dargestellte Audiowiedergabesystem weist eine Signalverarbeitungsvorrichtung 11, eine Verstärkereinheit 12 und einen Lautsprecher 13 auf.

[0038] Die Signalverarbeitungsvorrichtung 11 führt eine Korrektur zum Reduzieren der Dopplerverzerrung an einem Audiosignal eines wiederzugebenden Inhalts oder dergleichen durch, und ein als Ergebnis erhaltenes korrigiertes Audiosignal wird der Verstärkereinheit 12 geliefert.

[0039] Im Folgenden wird das in die Signalverarbeitungsvorrichtung 11 eingegebene Audiosignal, d. h. ein Quellensignal des wiederzugebenden Tons, insbesondere auch als „Eingangsaudiosignal“ bezeichnet. Darüber hinaus wird die Korrektur zum Reduzieren der Dopplerverzerrung im Folgenden auch als „Dopplerverzerrungskorrektur“ bezeichnet.

[0040] Das in die Signalverarbeitungsvorrichtung 11 eingegebene Eingangsaudiosignal ist ein Audiosignal, das eine Hochfrequenzkomponente und eine Niederfrequenzkomponente enthält, d. h. ein Audiosignal, das eine Mischung aus Hochfrequenzsignalen und Niederfrequenzsignalen enthält.

[0041] Die Verstärkereinheit 12 verstärkt das von der Signalverarbeitungsvorrichtung 11 gelieferte korrigierte Audiosignal um eine Verstärkerverstärkung, die eine vorbestimmte Ausgangsspannung ist, und das verstärkte korrigierte Audiosignal wird dann dem Lautsprecher 13 geliefert, um den Lautsprecher 13 anzusteuern.

[0042] Der Lautsprecher 13 ist beispielsweise ein Breitbandlautsprecher, der Schall in einem Frequenzband von niedrigen bis zu hohen Frequenzen ausgibt. Da die Dopplerverzerrung in anderen Lautsprechern als Breitbandlautsprechern auftritt, sei angemerkt, dass der Lautsprecher 13 nicht auf einen Breitbandlautsprecher beschränkt ist und ein beliebiger Lautsprecher sein kann.

[0043] Der Lautsprecher 13 vibriert eine Membran durch Ansteuern der Membran basierend auf dem von der Verstärkereinheit 12 gelieferten korrigierten Audiosignal und gibt Töne basierend auf dem korrigierten Audiosignal aus.

[0044] Die Signalverarbeitungsvorrichtung 11 weist auch eine Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 und eine Dopplerverzerrungskorrektureinheit 22 auf.

[0045] Basierend auf dem gelieferten Eingangsaudiosignal sagt die Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 eine Auslenkung des Lautsprechers 13 voraus, und sagt insbesondere eine Auslenkung der Membran des Lautsprechers 13 voraus, die das Ziel zum Korrigieren der Dopplerverzerrung ist, und liefert ein Vorhersageergebnis an die Dopplerverzerrungskorrektureinheit 22.

[0046] Mit anderen Worten, in der Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 wird die Auslenkung der Membran des Lautsprechers 13, wenn Töne durch den Lautsprecher 13 basierend auf dem Eingangsaudiosignal wiedergegeben werden, durch nichtlineare Vorhersage basierend auf dem Eingangsaudiosignal erhalten. Insbesondere wird in der Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 eine nichtlineare Vorhersage unter Verwendung einer Polynomnäherung (eines Näherungspolynoms) durchgeführt, und die Auslenkung des Lautsprechers 13 wird erhalten.

- [0047]** Die Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 weist eine Verstärkereinheit 31 und eine Filtereinheit 32 auf.
- [0048]** Die Verstärkereinheit 31 verstärkt das gelieferte Eingangsaudiosignal um die Ausgangsspannung (die Verstärkerverstärkung) an der Verstärkereinheit 12 und liefert das verstärkte Signal an die Filtereinheit 32.
- [0049]** Die Filtereinheit 32 besteht beispielsweise aus einem Filter mit unendlicher Impulsantwort (IIR) dritter Ordnung, führt eine nichtlineare Vorhersage durch Filtern des von der Verstärkereinheit 31 gelieferten Eingangsaudiosignals durch und liefert eine als Vorhersageergebnis erhaltene Auslenkung an die Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22.
- [0050]** Die Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22 führt eine Dopplerverzerrungskorrektur an dem gelieferten Eingangsaudiosignal basierend auf dem von der Filtereinheit 32 der Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 gelieferten Vorhersageergebnis durch und liefert ein als Ergebnis erhaltenes korrigiertes Audiosignal an die Verstärkereinheit 12.
- [0051]** In der Signalverarbeitungsvorrichtung 11 wird das korrigierte Audiosignal erzeugt, indem eine Verarbeitung grob wie in **Fig. 5** dargestellt durchgeführt wird.
- [0052]** Mit anderen Worten, zuerst wird eine Verstärkungsanpassung in der Verstärkereinheit 31 durchgeführt, indem das Eingangsaudiosignal (Quellsignal) mit der Verstärkerverstärkung multipliziert wird. Diese Verstärkerverstärkung ist ein Verstärkungswert, der zur Verstärkung, d. h. Verstärkungsanpassung, in der Verstärkereinheit 12 verwendet wird.
- [0053]** Als Nächstes wird in der Filtereinheit 32 eine Filterung an dem Eingangsaudiosignal nach der Verstärkungsanpassung unter Verwendung eines Filters wie beispielsweise eines IIR-Filters dritter Ordnung durchgeführt.
- [0054]** Diese Filterverarbeitung ist eine nichtlineare Auslenkungsvorhersageverarbeitung, die die Auslenkung der Membran des Lautsprechers 13 vorhersagt, und das durch eine solche Auslenkungsvorhersageverarbeitung erhaltene Vorhersageergebnis wird an die Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22 geliefert. Beispielsweise wird als Vorhersageergebnis für die Auslenkung der Membran eine Distanz erhalten, die den Betrag der Positionsänderung der Membran angibt, wie etwa eine Auslenkung x [mm].
- [0055]** In der Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22 wird die als Vorhersageergebnis gelieferte Auslenkung x [mm] basierend auf einer Schallgeschwindigkeit c [m/s] in eine der Auslenkung x [mm] entsprechende Korrekturzeit $d = x/c$ [s] umgewandelt (transformiert). Die Korrekturzeit d gibt eine Verzögerungszeit an, um die das Eingangsaudiosignal zu verzögern ist.
- [0056]** Bewegt sich beispielsweise die Membran des Lautsprechers 13 nach vorne, d. h. zum Hörpunkt hin, nimmt die Auslenkung x [mm] einen positiven Wert an. In einem solchen Fall nimmt die Korrekturzeit d zu (nimmt einen positiven Wert an), um den Zeitpunkt der Tonausgabe durch den Lautsprecher 13 zu verzögern.
- [0057]** Bewegt sich die Membran des Lautsprechers 13 dagegen nach hinten, d. h. in die dem Hörpunkt entgegengesetzte Richtung, nimmt die Auslenkung x [mm] einen negativen Wert an. In einem solchen Fall nimmt die Korrekturzeit d ab (nimmt einen negativen Wert an), um den Zeitpunkt der Tonausgabe durch den Lautsprecher 13 vorzuziehen.
- [0058]** Darüber hinaus wird in der Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22 die Korrekturzeit d [s] in eine Zeit in Abtasteinheiten entsprechend der Auslenkung x [mm], d. h. eine Korrekturabtastungszahl $d \times F_s$ [Abtastungen], basierend auf einer Abtastfrequenz F_s des Eingangsaudiosignals transformiert (umgewandelt).
- [0059]** Die auf diese Weise erhaltene Korrekturabtastungszahl gibt einen Korrekturbetrag zum Verzögern oder Vorziehen des Ausgabezeitpunkts des Eingangsaudiosignals in der Zeitrichtung, um die Dopplerverzerrung zu korrigieren, an. Insbesondere weist die Korrekturabtastungszahl auch Nachkommawerte auf.
- [0060]** Ferner wird in der Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22 das korrigierte Audiosignal durch Durchführen einer Korrektur zum Verschieben des Eingangsaudiosignals in der Zeitrichtung um die Korrekturabtastungszahl (den Korrekturbetrag) durch eine Interpolationsverarbeitung basierend auf der Korrekturabtas-

tungszahl und dem Eingangsaudiosignal, d. h. durch Durchführen einer Verzögerungszeitkorrekturverarbeitung, erzeugt.

[0061] In diesem Fall wird als die Verzögerungszeitkorrekturverarbeitung des Eingangsaudiosignals anstelle einer linearen Interpolation zwischen zwei Punkten für Nachkomma-Abtastungen beispielsweise die Interpolationsverarbeitung unter Verwendung eines Polynomausdrucks zweiter Ordnung oder höher, wie etwa als Lagrange-Interpolation zweiter Ordnung oder höher, unter Verwendung von mindestens drei Punkten, d. h. drei oder mehr Abtastungen des Eingangsaudiosignals, durchgeführt.

[0062] Durch diese Interpolationsverarbeitung unter Verwendung eines Polynomausdrucks zweiter Ordnung oder höher werden die Abtastungen der Eingangsaudiosignale korrigiert, was zu einer Verzögerungszeitkorrekturverarbeitung führt, die das Eingangsaudiosignal in der Zeitrichtung um die Korrekturabtastungszahl verschiebt.

[0063] In der Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22, in der eine solche Interpolationsverarbeitung durchgeführt wird, wird ein Versatz der Verzögerungszeit erstellt, wobei der Auslenkungsbetrag, um den sich die Membran des Lautsprechers 13 vor- und zurückbewegt, und die Abtastfrequenz des Eingangsaudiosignals berücksichtigt werden. Dieser Versatz ist eine verzögerte Abtastungszahl, für die der Ausgabezeitpunkt des korrigierten Audiosignals als Ganzes verzögert wird, ungeachtet des Korrekturbetrags der Dopplerverzerrung.

[0064] In der Signalverarbeitungsvorrichtung 11 wird eine Dopplerverzerrungskorrektur wie oben beschrieben durchgeführt. Eine solche Dopplerverzerrungskorrektur entspricht einer Phasenmodulation des Eingangsaudiosignals.

<Lautsprecherauslenkungsvorhersage>

[0065] Die Vorhersage der Auslenkung des Lautsprechers 13 in der Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 und die Dopplerverzerrungskorrektur in der Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22 werden detaillierter beschrieben.

[0066] In der Filtereinheit 32 wird die Auslenkung des Lautsprechers 13, wenn das Eingangsaudiosignal eingegeben wird, basierend auf einem Ersatzmodell, d. h. einer Ersatzschaltung, des Lautsprechers 13 vorhergesagt. Mit anderen Worten, die Vorhersage der Auslenkung des Lautsprechers 13 wird durch digitales Filtern der Ersatzschaltung des Lautsprechers 13 realisiert.

[0067] Wenn beispielsweise der Lautsprecher 13 ein geschlossener Lautsprecher ist, ist die Ersatzschaltung dieses Lautsprechers 13 wie in **Fig. 6** dargestellt.

[0068] In dem Beispiel in **Fig. 6** zeigt die Schaltung auf der linken Seite der Zeichnung die Ersatzschaltung des elektrischen Systems und die rechte Seite der Zeichnung zeigt die Ersatzschaltung des mechanischen Systems.

[0069] Außerdem bezeichnet jeder Buchstabe in **Fig. 6** jeden Parameter, die als TS-Parameter bezeichnet werden.

[0070] Mit anderen Worten, „Re“ gibt einen DC-Widerstand (Gleichstromwiderstand (DCR)) der Schwingspule an, „Le“ gibt die Induktivität der Schwingspule an und „BL“ gibt einen Kraftkoeffizienten, d. h. einen BL-Wert, an. Der Kraftkoeffizient BL ergibt sich aus dem Produkt der magnetischen Flussdichte in der Schwingspulen- und Magnetkreisteileinheit und der Spulenlänge der Schwingspule.

[0071] „Mms“ gibt eine äquivalente Masse des Schwingungssystems an, und diese äquivalente Masse des Schwingungssystems Mms ist die Masse der Membran und der Schwingspule des Lautsprechers 13.

[0072] „Cms“ gibt die Nachgiebigkeit des mechanischen Systems an, die ein Indikator der Weichheit der Aufhängung der Einheit ist; „Rms“ gibt den mechanischen Widerstand der Aufhängung der Einheit an; und „Cmb“ gibt die Nachgiebigkeit aufgrund der geschlossenen Aufhängung des Lautsprechers 13, d. h. des geschlossenen Lautsprechers, an.

[0073] Im Folgenden wird die Vorhersage der Auslenkung in dem Lautsprecher 13 unter Verwendung dieser TS-Parameter beschrieben.

[0074] Eine Geschwindigkeit $v(s)$ der Membran des Lautsprechers lässt sich durch die folgende Formel (1) unter Verwendung der oben beschriebenen TS-Parameter ausdrücken.

[Gl. 1]

$$v(s) = \frac{BI}{(Re + Le \cdot s) \left(Mms \cdot s + Rms + \frac{1}{Cms \cdot s} + \frac{1}{Cmb \cdot s} \right) + BI^2} \quad (1)$$

[0075] Eine Auslenkung $X(s)$ der Membran des Lautsprechers wird durch Integrieren der Geschwindigkeit $v(s)$ erhalten und lässt sich daher durch die folgende Formel (2) ausdrücken.

[Gl. 2]

$$X(s) = \frac{v(s)}{s} \quad (2)$$

[0076] Dementsprechend lässt sich anhand der obigen Formeln (1) und (2) die Auslenkung $X(s)$ durch die folgende Formel (3) unter Verwendung der TS-Parameter ausdrücken.

[Gl. 3]

$$X(s) = \frac{BI}{(Re + Le \cdot s) \left(Mms \cdot s^2 + Rms + \frac{1}{Cms \cdot s} + \frac{1}{Cmb \cdot s} \right) + BI^2 \cdot s} \quad (3)$$

[0077] Eine solche Auslenkung $X(s)$ ist eine analoge Übertragungsfunktion. Diese Auslenkung $X(s)$ wird unter Verwendung einer bilinearen Z-Transformation ($s = (1 - Z^{-1})/(1 + Z^{-1})$) oder dergleichen digital gefiltert, und die Auslenkung $X(s)$, d. h. die analoge Übertragungsfunktion, lässt sich durch das in **Fig. 7** dargestellte IIR-Filter dritter Ordnung ausdrücken, indem die Koeffizienten des digitalen Filters erhalten werden.

[0078] In dem Beispiel in **Fig. 7** weist das IIR-Filter dritter Ordnung Verstärkereinheiten 61-1 bis 61-4, Verzögerungseinheiten 62-1 bis 62-3, eine Addiereinheit 63, Verzögerungseinheiten 64-1 bis 64-3 und Verstärkereinheiten 65-1 bis 65-3 auf.

[0079] In diesem Beispiel wird das zu verarbeitende Signal an die Verstärkereinheit 61 - 1 und die Verzögerungseinheit 62-1 geliefert.

[0080] Die Verstärkereinheit 61-1 verstärkt das gelieferte Signal durch Multiplizieren des Signals mit einem Koeffizienten a_0 und liefert das resultierende Signal an die Addiereinheit 63. Darüber hinaus verzögert die Verzögerungseinheit 62-1 das gelieferte Signal und liefert das verzögerte Signal an die Verzögerungseinheit 62 - 2 und die Verstärkereinheit 61-2.

[0081] Die Verzögerungseinheit 62-2 verzögert das von der Verzögerungseinheit 62-1 gelieferte Signal und liefert das resultierende Signal an die Verzögerungseinheit 62-3 und die Verstärkereinheit 61-3, und die Verzögerungseinheit 62-3 verzögert das von der Verzögerungseinheit 62-2 gelieferte Signal und liefert das resultierende Signal an die Verstärkereinheit 61-4.

[0082] Die Verstärkereinheiten 61-2 bis 61-4 verstärken die von den Verzögerungseinheiten 62-1 bis 62-3 gelieferten Signale durch Multiplizieren der Signale mit den Koeffizienten a_1 bis a_3 und liefern die resultierenden Signale an die Addiereinheit 63.

[0083] Es sei angemerkt, dass, wenn keine besondere Notwendigkeit besteht, zwischen den Verstärkereinheiten 61-1 bis 61-4 zu unterscheiden, die Verstärkereinheiten 61-1 bis 61-4 im Folgenden auch einfach als „Verstärkereinheiten 61“ bezeichnet werden können. Zudem können, wenn keine besondere Notwendigkeit besteht, zwischen den Verzögerungseinheiten 62-1 bis 62-3 zu unterscheiden, die Verzögerungseinheiten 62-1 bis 62-3 im Folgenden auch einfach als „Verzögerungseinheiten 62“ bezeichnet werden.

[0084] Die Addiereinheit 63 addiert die von den Verstärkereinheiten 61-1 bis 61-4 und den Verstärkereinheiten 65-1 bis 65-3 gelieferten Signale und liefert das anhand der Addition erhaltene Signal an die nachfol-

gende Stufe als Ausgabe des IIR-Filters dritter Ordnung sowie an die Verzögerungseinheit 64-1. Die Ausgabe dieser Addiereinheit 63 gibt die Auslenkung des Lautsprechers an.

[0085] Die Verzögerungseinheit 64-1 verzögert das von der Addiereinheit 63 gelieferte Signal und liefert das resultierende Signal an die Verzögerungseinheit 64-2 und die Verstärkereinheit 65-1, und die Verstärkereinheit 65-1 verstärkt das von der Verzögerungseinheit gelieferte Signal 64-1 durch Multiplizieren des Signals mit einem Koeffizienten b_1 und liefert das verstärkte Signal an die Addiereinheit 63.

[0086] Die Verzögerungseinheit 64-2 verzögert das von der Verzögerungseinheit 64-1 gelieferte Signal und liefert das resultierende Signal an die Verzögerungseinheit 64-3 und die Verstärkereinheit 65-2, und die Verzögerungseinheit 64-3 verzögert das von der Verzögerungseinheit 64-2 gelieferte Signal und liefert das resultierende Signal an die Verstärkereinheit 65-3.

[0087] Die Verstärkereinheit 65-2 und die Verstärkereinheit 65-3 verstärken die von der Verzögerungseinheit 64-2 und der Verzögerungseinheit 64-3 gelieferten Signale durch Multiplizieren der Signale mit einem Koeffizienten b_2 und einem Koeffizienten b_3 und liefern die resultierenden Signale an die Addiereinheit 63.

[0088] Es sei angemerkt, dass, wenn keine besondere Notwendigkeit besteht, zwischen den Verzögerungseinheiten 64-1 bis 64-3 zu unterscheiden, die Verzögerungseinheiten 64-1 bis 64-3 im Folgenden auch einfach als „Verzögerungseinheiten 64“ bezeichnet werden können. Zudem können, wenn keine besondere Notwendigkeit besteht, zwischen den Verstärkereinheiten 65-1 bis 65-3 zu unterscheiden, die Verstärkereinheiten 65-1 bis 65-3 im Folgenden auch einfach als „Verstärkereinheiten 65“ bezeichnet werden.

[0089] Beispielsweise können die Koeffizienten a_0 bis a_3 und die Koeffizienten b_1 bis b_3 , die in dem in **Fig. 7** dargestellten IIR-Filter dritter Ordnung verwendet werden, mittels einer bilinearen Transformation berechnet werden. Mit anderen Worten, diese Koeffizienten können basierend auf den TS-Parametern berechnet werden.

[0090] Indes ändern sich unter den TS-Parametern der Ersatzschaltung des Lautsprechers 13 die Parameter der Lautsprechereinheit, d. h. der Kraftkoeffizient BL , die Nachgiebigkeit C_{ms} des mechanischen Systems und die Induktivität L_e , nichtlinear in Abhängigkeit von der Auslenkung x des Lautsprechers 13, wie beispielsweise in **Fig. 8** bis **Fig. 10** dargestellt.

[0091] **Fig. 8** veranschaulicht die Charakteristiken des Kraftkoeffizienten BL der Lautsprechereinheit in Bezug auf Änderungen der Auslenkung x . Das heißt, in **Fig. 8** stellt die vertikale Achse den Kraftkoeffizienten BL dar, und die horizontale Achse stellt die Auslenkung x dar.

[0092] In diesem Beispiel ist ersichtlich, dass der Kraftkoeffizient BL nichtlinear abnimmt, wenn der Absolutwert der Auslenkung x zunimmt.

[0093] Darüber hinaus veranschaulicht **Fig. 9** die Charakteristiken der Nachgiebigkeit C_{ms} des mechanischen Systems der Lautsprechereinheit in Bezug auf Änderungen der Auslenkung x . Das heißt, in **Fig. 9** stellt die vertikale Achse die Nachgiebigkeit C_{ms} des mechanischen Systems dar, und die horizontale Achse stellt die Auslenkung x dar.

[0094] In diesem Beispiel ist ähnlich wie in **Fig. 8** zu sehen, dass der Wert der Nachgiebigkeit C_{ms} des mechanischen Systems nichtlinear in Bezug auf die Auslenkung x variiert.

[0095] **Fig. 10** veranschaulicht die Charakteristiken der Induktivität L_e der Lautsprechereinheit in Bezug auf Änderungen der Auslenkung x . Das heißt, in **Fig. 10** stellt die vertikale Achse die Induktivität L_e dar, und die horizontale Achse stellt die Auslenkung x dar.

[0096] In diesem Beispiel ist ersichtlich, dass die Induktivität L_e nichtlinear abnimmt, wenn der Wert der Auslenkung x zunimmt.

[0097] Auf diese Weise ändern sich der Kraftkoeffizient BL , die Nachgiebigkeit C_{ms} des mechanischen Systems und die Induktivität L_e nichtlinear.

[0098] Dementsprechend können, wenn die Auslenkung x einschließlich dieser nichtlinearen Elemente vorhergesagt wird, die nichtlinearen Parameter, d. h. der Kraftkoeffizient BL , die Nachgiebigkeit Cms des mechanischen Systems und die Induktivität Le , aus der Ausgangsauslenkung x erhalten werden. Dann können die Koeffizienten des IIR-Filters dritter Ordnung unter Verwendung dieser erhaltenen nichtlinearen Parameter aktualisiert werden.

[0099] In einem solchen Fall ist, wenn beispielsweise die Filtereinheit 32 aus einem IIR-Filter dritter Ordnung besteht, das IIR-Filter dritter Ordnung wie in **Fig. 11** dargestellt konfiguriert. Es sei angemerkt, dass in **Fig. 11** Teile, die denen in **Fig. 7** entsprechen, durch die gleichen Bezugszeichen angegeben werden und auf eine Beschreibung dieser Teile gegebenenfalls verzichtet wird.

[0100] Das in **Fig. 11** dargestellte IIR-Filter dritter Ordnung weist die Verstärkereinheiten 61-1 bis 61-4, die Verzögerungseinheiten 62-1 bis 62-3, die Addiereinheit 63, die Verzögerungseinheiten 64-1 bis 64-3, die Verstärkereinheiten 65-1 bis 65-3 und eine Aktualisierungseinheit 91 auf.

[0101] In dem in **Fig. 11** dargestellten IIR-Filter dritter Ordnung wird ein Eingangsaudiosignal $u[n]$, das durch Durchführen einer Verstärkungsanpassung an dem Eingangsaudiosignal unter Verwendung der Verstärkerverstärkung erhalten wird, an die Verstärkereinheit 61-1 und die Verzögerungseinheit 62-1 geliefert, die das IIR-Filter dritter Ordnung bilden.

[0102] Es sei angemerkt, dass „ n “ in dem Eingangsaudiosignal $u[n]$ eine Abtastung angibt, und in jeder der Verzögerungseinheiten 62 und der Verzögerungseinheiten 64 wird das gelieferte Signal um eine Zeit verzögert, die einer Abtastung entspricht, und an die nachfolgende Stufe ausgegeben.

[0103] Die Aktualisierungseinheit 91 berechnet den Kraftkoeffizienten $BL[n]$, die Nachgiebigkeit $Cms[n]$ des mechanischen Systems und die Induktivität $Le[n]$, die verwendet werden, um die Auslenkung $x[n]$ der nächsten Abtastung zu erhalten, basierend auf der von der Addiereinheit 63 gelieferten Auslenkung $x[n-1]$.

[0104] Beispielsweise können der Kraftkoeffizient $BL[n]$, die Nachgiebigkeit $Cms[n]$ des mechanischen Systems und die Induktivität $Le[n]$ durch ein Näherungspolynom vierter Ordnung erhalten werden, wie nachstehend in Formel (4) angegeben.

[Gl. 4]

$$BL[n] = b|4 * x[n-1]^4 + b|3 * x[n-1]^3 + b|2 * x[n-1]^2 + b|1 * x[n-1] + b|0$$

$$Cms[n] = cms4 * x[n-1]^4 + cms3 * x[n-1]^3 + cms2 * x[n-1]^2 + cms1 * x[n-1] + cms0 \quad (4)$$

$$Le[n] = |e4 * x[n-1]^4 + |e3 * x[n-1]^3 + |e2 * x[n-1]^2 + |e1 * x[n-1] + |e0$$

[0105] Es sei angemerkt, dass in Formel (4) $b|0$ bis $b|4$ jeweils die Terme nullter Ordnung bis vierter Ordnung in dem Näherungsausdruck darstellen, der den Kraftkoeffizienten BL ausdrückt. In ähnlicher Weise stellen $cms0$ bis $cms4$ jeweils die Terme nullter bis vierter Ordnung in dem Näherungsausdruck dar, der die Nachgiebigkeit Cms des mechanischen Systems ausdrückt, und $le0$ bis $le4$ stellen jeweils die Terme nullter Ordnung bis vierter Ordnung in dem Näherungsausdruck dar, der die Induktivität Le ausdrückt.

[0106] Die Aktualisierungseinheit 91 führt die in Formel (4) angegebene Berechnung durch und aktualisiert basierend auf dem Kraftkoeffizienten $BL[n]$, der Nachgiebigkeit $Cms[n]$ des mechanischen Systems und Induktivität $Le[n]$, die als Ergebnis erhalten werden, die Koeffizienten $a0$ bis $a3$ und die Koeffizienten $b1$ bis $b3$, die oben beschrieben wurden. Die Aktualisierungseinheit 91 liefert diese aktualisierten Koeffizienten dann an die Verstärkereinheiten 61 und die Verstärkereinheiten 65.

[0107] Auf diese Weise wird, indem die Aktualisierungseinheit 91 den Kraftkoeffizienten $BL[n]$, die Nachgiebigkeit $Cms[n]$ des mechanischen Systems und die Induktivität $Le[n]$ basierend auf der unmittelbar vorangegangenen Auslenkung $x[n-1]$ berechnet, eine nichtlineare Auslenkungsvorhersage unter Verwendung eines Näherungspolynoms realisiert, wodurch sich eine genauere Auslenkung $x[n]$ erhalten lässt.

[0108] Hier wird ein Vergleich zwischen einem Vorhersageergebnis und einem tatsächlichen Wert, wenn für einen vorbestimmten Lautsprecher 13 eine lineare Vorhersage und eine nichtlineare Vorhersage der Auslenkung in dem Lautsprecher 13 durchgeführt werden, unter Bezugnahme auf **Fig. 12** und **Fig. 13** beschrieben.

[0109] Es sei angemerkt, dass in **Fig. 12** und **Fig. 13** die vertikale Achse die Auslenkung $x [n]$ des Lautsprechers 13 darstellt und die horizontale Achse die Frequenz des in den Lautsprecher 13 eingegebenen Signals darstellt. Insbesondere stellen positive Werte der Auslenkung $x [n]$ auf der vertikalen Achse in diesen Zeichnungen Auslenkungsbeträge in Richtung des Hörpunkts, d. h. in der Vorwärtsrichtung, dar, und negative Werte stellen Auslenkungsbeträge in der Rückwärtsrichtung dar.

[0110] **Fig. 12** veranschaulicht die durch nichtlineare Vorhersage ermittelten Vorhersageergebnisse der Auslenkung $x [n]$ und die tatsächlichen Werte. Insbesondere stellen in **Fig. 12** die durchgezogenen Kurven die durch nichtlineare Vorhersage ermittelten Vorhersageergebnisse dar, und die gepunkteten Linien stellen die tatsächlichen Werte dar. In diesem Beispiel ist die Differenz zwischen den Vorhersageergebnissen und den tatsächlichen Werten (Vorhersagefehler) ungeachtet des Signalpegels, d. h. des Auslenkungsbetrags des Lautsprechers 13, bei jeder Frequenz klein, was zeigt, dass sich die Auslenkung $x [n]$ mit hoher Genauigkeit vorhersagen lässt.

[0111] Im Gegensatz dazu veranschaulicht **Fig. 13** die durch lineare Vorhersage ermittelten Vorhersageergebnisse der Auslenkung $x [n]$ und die tatsächlichen Werte. Insbesondere stellen in **Fig. 13** die durchgezogenen Kurven die durch lineare Vorhersage ermittelten Vorhersageergebnisse dar, und die gepunkteten Linien stellen die tatsächlichen Werte dar. In diesem Beispiel ist ersichtlich, dass der Kraftkoeffizient BL , die Nachgiebigkeit C_{ms} des mechanischen Systems und die Induktivität L_e des Lautsprechers 13 (Lautsprechereinheit) einen hohen Grad an Nichtlinearität aufweisen und dass die Vorhersageergebnisse und die tatsächlichen Werte mit zunehmendem Signalpegel, d. h. Auslenkungsbetrag des Lautsprechers 13, voneinander abweichen, was zu einer Zunahme des Vorhersagefehlers führt.

[0112] Aus dem Obigen ist ersichtlich, dass für einen solchen Lautsprecher 13 (Lautsprechereinheit) eine nichtlineare Vorhersage erforderlich ist, um den Vorhersagefehler der Auslenkung $x [n]$ zu reduzieren.

[0113] Es sei angemerkt, dass, wenn der Lautsprecher 13 innerhalb eines Bereichs verwendet wird, in dem sich der Kraftkoeffizient BL , die Nachgiebigkeit C_{ms} des mechanischen Systems und die Induktivität L_e in Bezug auf Änderungen der Auslenkung $x [n]$ wenig ändern, die Auslenkung $x [n]$ durch lineare Vorhersage erhalten werden kann.

[0114] Dies entspricht einem Fall, in dem beispielsweise ein Hochpassfilter, das niedrige Frequenzen des Eingangsaudiosignals sperrt, in einem frühen Stadium dieser Auslenkungsvorhersageverarbeitung bereitgestellt wird, um das Frequenzband zu dämpfen, in dem die Nichtlinearität der Auslenkung groß wird, und der Lautsprecher 13 hauptsächlich in einem nahezu linearen Frequenzband verwendet wird.

[0115] Die Auslenkung $x [n]$ kann auch linear vorhergesagt werden, wenn der Kraftkoeffizient BL , die Nachgiebigkeit C_{ms} des mechanischen Systems und die Induktivität L_e einen geringen Grad an Nichtlinearität in Bezug auf Änderungen der Auslenkung $x [n]$ aufweisen und der Lautsprecher 13 in einem linearen Bereich verwendet wird.

<Dopplerverzerrungskorrektur>

[0116] Als Nächstes wird die Dopplerverzerrungskorrektur, d. h. Zeitkorrektur, an dem Eingangsaudiosignal beschrieben.

[0117] Beispielsweise ist, wie auf der linken Seite von **Fig. 14** dargestellt, die Auslenkung $x [n]$ positiv (plus), wenn sich die Membran $D11$ des Lautsprechers 13 nach vorne (zum Hörpunkt $P11$) bewegt. In diesem Fall wird die Ankunftszeit des von dem Lautsprecher 13 zu dem Hörpunkt $P11$ ausgegebenen Tons (Signal) verkürzt, und daher ist es erforderlich, die Tonausgabezeit um den positiven Betrag der Auslenkung $x [n]$ zu verzögern. Es sei angemerkt, dass in **Fig. 14** Teile, die denen in **Fig. 1** entsprechen, durch die gleichen Bezugszeichen angegeben werden und auf eine Beschreibung dieser Teile gegebenenfalls verzichtet wird.

[0118] Andererseits ist die Auslenkung $x [n]$ negativ (minus), wenn sich die Membran $D11$ des Lautsprechers 13 rückwärts bewegt. In diesem Fall wird die Ankunftszeit des von dem Lautsprecher 13 zu dem Hörpunkt $P11$ ausgegebenen Tons (Signal) verlängert, und daher ist es erforderlich, die Tonausgabezeit um den negativen Betrag der Auslenkung $x [n]$ vorzuziehen.

[0119] Daher kann zum Erzielen einer Dopplerverzerrungskorrektur während der Wiedergabe ein Versatz unter Verwendung einer Verzögerung für die Zeitdauer erstellt werden, um die das Eingangsaudiosignal vor-

gezogen wird, und als die Dopplerverzerrungskorrektur kann eine Zeitkorrektur zentriert auf den Versatz gemäß dem Auslenkungsbetrag (der Auslenkung x [n]) des Lautsprechers 13 durchgeführt werden.

[0120] Hier ist die als Dopplerverzerrungskorrektur durchgeführte Zeitkorrektur eine Verarbeitung zum Erhalten eines Signals als korrigiertes Audiosignal, bei dem das Eingangsaudiosignal in der Zeitrichtung um einen der Auslenkung x [n] entsprechenden Betrag verzögert oder vorgezogen ist.

[0121] Diese Verarbeitung kann bezeichnet werden als Verarbeitung zum Erhalten eines Abtastwerts einer zu verarbeitenden Abtastung in dem Signal, das aus einer Verzögerung oder einem Vorziehen des Eingangsaudiosignals in der Zeitrichtung um einen der Auslenkung x [n] entsprechenden Betrag resultiert, durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung basierend auf den Abtastwerten mehrerer Abtastwertungen des Eingangsaudiosignals. Mit anderen Worten, es kann gesagt werden, dass die als Dopplerverzerrungskorrektur durchgeführte Zeitkorrektur eine Korrekturverarbeitung an einem Amplitudenwert des Eingangsaudiosignals ist.

[0122] Der Versatz kann durch Umwandeln des maximalen Auslenkungsbetrags der Membran D11 des Lautsprechers 13 von Distanz in Zeit unter Verwendung der Schallgeschwindigkeit und dann Umwandeln in Abtasteinheiten unter Verwendung der Abtastfrequenz erhalten werden.

[0123] Insbesondere sei beispielsweise angenommen, dass der maximale Auslenkungsbetrag der Membran D11 des Lautsprechers 13 ± 10 [mm] beträgt und die Abtastfrequenz F_s des Eingangsaudiosignals 48 [kHz] beträgt.

[0124] In einem solchen Fall wird der maximale Auslenkungsbetrag von ± 10 [mm] zu $\pm 29,4$ [μ s], wenn er in Zeit mit der Schallgeschwindigkeit $c = 340$ [m/s] umgewandelt wird, und weiter zu $\pm 1,4118$ [Abtastung], wenn $\pm 29,4$ [μ s] in Abtasteinheiten mit der Abtastfrequenz von 48 [kHz] umgewandelt wird.

[0125] Dementsprechend beträgt in einem solchen Beispiel die Anzahl von Abtastungen, um die das Eingangsaudiosignal zu versetzen ist, zwei Abtastungen, und eine Verzögerungsschaltung, die aus vier Verzögerungseinheiten 121-1 bis 121-4 besteht, wie auf der rechten Seite der Zeichnung dargestellt, kann für maximal vier Abtastungen, also das Zweifache des Versatzes, erstellt werden.

[0126] Die Verzögerungseinheit 121-1 verzögert das gelieferte Eingangsaudiosignal um eine Zeit, die einer Abtastung entspricht, und liefert das resultierende Signal an die Verzögerungseinheit 121-2.

[0127] Darüber hinaus verzögern die Verzögerungseinheit 121-2 und die Verzögerungseinheit 121-3 das von der Verzögerungseinheit 121-1 und der Verzögerungseinheit 121-2 gelieferte Eingangsaudiosignal um eine Zeit, die einer Abtastung entspricht, und liefern die resultierenden Signale an die Verzögerungseinheit 121-3 bzw. die Verzögerungseinheit 121-4. In ähnlicher Weise verzögert die Verzögerungseinheit 121-4 das von der Verzögerungseinheit 121-3 gelieferte Eingangsaudiosignal um eine Zeit, die einer Abtastung entspricht, und gibt das resultierende Signal an die nachfolgende Stufe aus.

[0128] Es sei angemerkt, dass, wenn keine besondere Notwendigkeit besteht, zwischen den Verzögerungseinheiten 121-1 bis 121-4 zu unterscheiden, die Verzögerungseinheiten 121-1 bis 121-4 im Folgenden auch einfach als „Verzögerungseinheiten 121“ bezeichnet werden können.

[0129] In dem auf der rechten Seite von **Fig. 14** dargestellten Beispiel ermöglicht das Bereitstellen einer Verzögerungsschaltung für vier Abtastungen, eine Zeitvariation von 0,5882 (= 2 - 1,4118) Abtastungen bis 3,4118 (= 2 + 1,4118) Abtastungen abzudecken, und ermöglicht eine Zeitkorrektur, die Änderungen der Auslenkung x [n] der Membran D11 des Lautsprechers 13 entspricht.

[0130] Als Interpolationsverarbeitung zum Erhalten von Signalen an Zeitabtastungspunkten mit Nachkommawerten, die eine solche Zeitkorrektur realisiert, wird die Lagrange-Interpolation verwendet, die bei der Interpolation von Überabtastungsfiltren in Digital-Analog-Wandlern (DACs), wie etwa bei Compact Discs (CDs), verwendet werden.

[0131] Insbesondere wird eine Lagrange-Interpolation beispielsweise verwendet, um einen Versatz einzubeziehen, der einer Auslenkung von 0 [mm] des Lautsprechers 13 entspricht, und eine Interpolation wird unter Verwendung eines Polynomausdrucks ($n - 1$)-ter Ordnung durchgeführt, wobei n oder mehr Punkte den maximalen Auslenkungsbetrag des Lautsprechers 13 abdecken (z. B. $n = 3$), d. h. n Abtastungen oder mehr.

[0132] Als ein Beispiel sei angenommen, dass der maximale Auslenkungsbetrag der Membran des Lautsprechers 13 ± 10 [mm] beträgt und die Abtastfrequenz F_s des Eingangsaudiosignals 48 [kHz] beträgt.

[0133] In diesem Fall lässt sich beispielsweise, wie durch die folgende Formel (5) angegeben, ein korrigiertes Audiosignal $u_d[n]$, bei dem das Eingangsaudiosignal $u[n]$ um eine der Auslenkung $x[n]$ entsprechende Zeit verzögert oder vorgezogen ist, durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung durch einen Interpolationspolynomausdruck vierter Ordnung mit fünf Punkten (fünf Abtastungen) von einer Ordnung $n = 0$ zu einer Ordnung $n = 4$ erhalten.

[Gl. 5]

$$\begin{aligned}
 u_d[n] &= \frac{(x-1)(x-2)(x-3)(x-4)}{(0-1)(0-2)(0-3)(0-4)} u[n] \\
 &+ \frac{(x-0)(x-2)(x-3)(x-4)}{(1-0)(1-2)(1-3)(1-4)} u[n-1] + \frac{(x-0)(x-1)(x-3)(x-4)}{(2-0)(2-1)(2-3)(2-4)} u[n-2] \\
 &+ \frac{(x-0)(x-1)(x-2)(x-4)}{(3-0)(3-1)(3-2)(3-4)} u[n-3] + \frac{(x-0)(x-1)(x-2)(x-3)}{(4-0)(4-1)(4-2)(4-3)} u[n-4] \\
 &= \frac{(x-1)(x-2)(x-3)(x-4)}{24} u[n] \\
 &+ \frac{(x-0)(x-2)(x-3)(x-4)}{-6} u[n-1] + \frac{(x-0)(x-1)(x-3)(x-4)}{4} u[n-2] \\
 &+ \frac{(x-0)(x-2)(x-2)(x-4)}{-6} u[n-3] + \frac{(x-0)(x-1)(x-2)(x-3)}{24} u[n-4]
 \end{aligned} \tag{5}$$

[0134] Es sei angemerkt, dass in Formel (5) x eine Korrekturabtastungszahl angibt, die die der Auslenkung $x[n]$ entsprechende Korrekturzeit pro Abtasteinheit ist. Obgleich hier ein Beispiel der Verwendung der Lagrange-Interpolation als Interpolationsverarbeitung beschrieben wird, ist die Interpolationsverarbeitung nicht darauf beschränkt, und eine beliebige Interpolationsverarbeitung kann verwendet werden, solange es sich um eine Interpolationsverarbeitung handelt, die einen Polynomausdruck zweiter Ordnung oder höher verwendet, wie etwa Newtonsche Interpolation oder Spline-Interpolation.

[0135] Werden Töne durch den Lautsprecher 13 basierend auf dem durch die in Formel (5) oben angegebene Lagrange-Interpolation erzeugten korrigierten Audiosignal wiedergegeben, so wird die Dopplerverzerrung am Hörpunkt P11 aufgehoben und eine hohe Tonqualität wahrgenommen.

[0136] Beispielsweise führt das Erzeugen eines korrigierten Audiosignals durch die Dopplerverzerrungskorrektur der vorliegenden Technik aus dem Eingangsaudiosignal, das aus einem niederfrequenten Sinuswellensignal mit einer Frequenz f_1 und einem hochfrequenten Sinuswellensignal mit einer Frequenz f_2 besteht, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 3** beschrieben, und das Wiedergeben des erzeugten Signals über den Lautsprecher 13 zu der in **Fig. 15** dargestellten Situation. Es sei angemerkt, dass in **Fig. 15** die vertikale Achse die Amplitude des Signals darstellt und die horizontale Achse die Frequenz darstellt.

[0137] **Fig. 15** veranschaulicht jede der Frequenzkomponenten eines Audiosignals, das unter Verwendung eines Mikrofons zum Erfassen (Messen) des durch den Lautsprecher 13 wiedergegebenen Tons basierend auf dem anhand der Dopplerverzerrungskorrektur der vorliegenden Technik am Hörpunkt P11 erhaltenen korrigierten Audiosignal erhalten wird.

[0138] In diesem Beispiel sind ähnlich wie in **Fig. 3** Komponenten der Frequenz f_1 und der Frequenz f_2 , die in dem ursprünglichen Eingangsaudiosignal enthalten sind, sowie Komponenten einer Frequenz $(f_2 - f_1)$ und einer Frequenz $(f_2 + f_1)$, die Seitenbänder der Frequenz f_2 sind, enthalten.

[0139] Insbesondere geben in **Fig. 15** die gepunkteten Linienteile der Komponenten der Frequenz $(f_2 - f_1)$ und der Frequenz $(f_2 + f_1)$ eine durch Durchführen der Dopplerverzerrungskorrektur reduzierte Dopplerverzerrung an. Mit anderen Worten, diese gepunkteten Linienteile geben die Dopplerverzerrungsdifferenz zwischen dem Fall, in dem die Dopplerverzerrungskorrektur durchgeführt wird, und dem Fall, in dem die Dopplerverzerrungskorrektur nicht durchgeführt wird (dem in **Fig. 3** dargestellten Fall), an.

[0140] Das Durchführen einer Dopplerverzerrungskorrektur auf diese Weise macht es möglich, eine Dopplerverzerrung zu unterdrücken und eine Tonwiedergabe mit höherer Qualität zu realisieren.

<Konfigurationsbeispiel der Dopplerverzerrungskorrekturereinheit>

[0141] Bei Durchführung der vorstehend beschriebenen Dopplerverzerrungskorrektur ist die Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22 der Signalverarbeitungsvorrichtung 11 beispielsweise wie in **Fig. 16** dargestellt konfiguriert. Es sei angemerkt, dass in **Fig. 16** Teile, die denen in **Fig. 14** entsprechen, durch die gleichen Bezugszeichen angegeben werden und auf Beschreibungen dieser Teile gegebenenfalls verzichtet wird.

[0142] In dem in **Fig. 16** dargestellten Beispiel weist die Dopplerverzerrungskorrekturereinheit 22 die Verzögerungseinheiten 121-1 bis 121-4, eine Umwandlungseinheit 151 und eine Interpolationsverarbeitungseinheit 152 auf.

[0143] Die Umwandlungseinheit 151 wandelt die von der Filtereinheit 32 der Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 gelieferte Auslenkung $x[n]$ in eine Korrekturabtastungszahl x in Abtasteinheiten entsprechend dieser Auslenkung $x[n]$ um und liefert die Korrekturabtastungszahl x an die Interpolationsverarbeitungseinheit 152.

[0144] Die Umwandlungseinheit 151 weist eine Verzögerungseinheit 161-1, eine Verzögerungseinheit 161-2, eine Multiplikationseinheit 162, eine Multiplikationseinheit 163 und eine Addiereinheit 164 auf.

[0145] Die Verzögerungseinheit 161-1 verzögert die von der Filtereinheit 32 gelieferte Auslenkung $x[n]$ um eine Zeit, die einer Abtastung entspricht, und liefert die resultierende Auslenkung an die Verzögerungseinheit 161-2. Die Verzögerungseinheit 161-2 verzögert die von der Verzögerungseinheit 161-1 gelieferte Auslenkung $x[n]$ um eine Zeit, die einer Abtastung entspricht, und liefert die resultierende Auslenkung an die Multiplikationseinheit 162.

[0146] Es sei angemerkt, dass, wenn keine besondere Notwendigkeit besteht, zwischen der Verzögerungseinheit 161-1 und der Verzögerungseinheit 161-2 zu unterscheiden, diese Verzögerungseinheiten nachstehend auch einfach als „Verzögerungseinheiten 161“ bezeichnet werden können.

[0147] Die Multiplikationseinheit 162 multipliziert die von der Verzögerungseinheit 161-2 gelieferte Auslenkung $x[n]$ mit einem Kehrwert $1/c$ der Schallgeschwindigkeit $c = 340$ [m/s] und liefert eine der Auslenkung $x[n]$ entsprechende Korrekturzeit, die als Ergebnis erhalten wird, an die Multiplikationseinheit 163. Mit anderen Worten, in der Multiplikationseinheit 162 wird die Korrekturzeit berechnet, indem die Auslenkung $x[n]$ durch die Schallgeschwindigkeit c dividiert wird.

[0148] Die Multiplikationseinheit 163 multipliziert die von der Multiplikationseinheit 162 gelieferte Korrekturzeit mit der Abtastfrequenz F_s des Eingangsaudiosignals und liefert die Korrekturabtastungszahl, die die Korrekturzeit in Abtasteinheiten einschließlich Nachkommawerten ist, an die Addiereinheit 164.

[0149] Die Addiereinheit 164 erhält eine endgültige Korrekturabtastungszahl x durch Addieren der Versatzabtastungszahl zu der von der Multiplikationseinheit 163 gelieferten Korrekturabtastungszahl und liefert das Ergebnis an die Interpolationsverarbeitungseinheit 152. Beispielsweise wird in diesem Beispiel eine Anzahl von Abtastungen von 2 als Versatz zu der von der Multiplikationseinheit 163 gelieferten Korrekturabtastungszahl addiert, und das Ergebnis wird als die Korrekturabtastungszahl x verwendet.

[0150] Die Interpolationsverarbeitungseinheit 152 führt eine Interpolationsverarbeitung basierend auf dem eingegebenen Eingangsaudiosignal $u[n]$, den von den jeweiligen Verzögerungseinheiten 121 gelieferten Eingangsaudiosignalen $u[n-1]$ bis $u[n-4]$ und der von der Addiereinheit 164 gelieferten Korrekturabtastungszahl x durch und erzeugt ein korrigiertes Audiosignal $u_d[n]$.

[0151] Beispielsweise führt die Interpolationsverarbeitungseinheit 152 eine Lagrange-Interpolation mittels der oben durch Formel (5) angegebenen Berechnung durch. Die Interpolationsverarbeitungseinheit 152 liefert das korrigierte Audiosignal $u_d[n]$, erhalten durch die Interpolationsverarbeitung, an die Verstärkereinheit 12.

<Wiedergabeverarbeitung>

[0152] Als Nächstes werden Operationen des in **Fig. 4** dargestellten Audiowiedergabesystems beschrieben. Mit anderen Worten, die durch das Audiowiedergabesystem durchgeführte Wiedergabeverarbeitung wird nachstehend unter Bezugnahme auf das Flussdiagramm in **Fig. 17** beschrieben. Diese Wiedergabeverarbeitung beginnt, wenn das Eingangsaudiosignal, das ein Quellensignal ist, eingegeben wird und eine Anweisung gegeben wird, den Ton des Inhalts oder dergleichen wiederzugeben.

[0153] In Schritt S11 multipliziert die Verstärkereinheit 31 das gelieferte Eingangsaudiosignal $u[n]$ mit der Verstärkerverstärkung in der Verstärkereinheit 12 und liefert das resultierende verstärkte Eingangsaudiosignal $u[n]$ an die Filtereinheit 32.

[0154] In Schritt S12 führt die Filtereinheit 32 eine Filterung an dem von der Verstärkereinheit 31 gelieferten Eingangsaudiosignal $u[n]$ unter Verwendung eines IIR-Filters dritter Ordnung durch und liefert die resultierende Auslenkung $x[n]$ an die Verzögerungseinheit 161-1 der Umwandlungseinheit 151.

[0155] Beispielsweise berechnet in der Filtereinheit 32, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 11** beschrieben, die Aktualisierungseinheit 91 die obige Formel (4) basierend auf der Auslenkung $x[n-1]$, die von der Addiereinheit 63 geliefert wird, und berechnet den Kraftkoeffizienten $BL[n]$, die Nachgiebigkeit $Cms[n]$ des mechanischen Systems und die Induktivität $Le[n]$.

[0156] Darüber hinaus berechnet die Aktualisierungseinheit 91 basierend auf den TS-Parametern, die den erhaltenen Kraftkoeffizienten $BL[n]$, die Nachgiebigkeit $Cms[n]$ des mechanischen Systems und die Induktivität $Le[n]$ aufweisen, die Koeffizienten a_0 bis a_3 und die Koeffizienten b_1 bis b_3 und liefert diese Koeffizienten an die Verstärkereinheiten 61 bzw. die Verstärkereinheiten 65.

[0157] Ferner verzögert jede der Verzögerungseinheiten 62 und der Verzögerungseinheiten 64 die gelieferten Signale um eine Zeit, die einer Abtastung entspricht, und gibt die resultierenden Signale an die nachfolgenden Stufen aus, die Verstärkereinheiten 61 und die Verstärkereinheiten 65 multiplizieren die gelieferten Signale mit den von der Aktualisierungseinheit 91 gelieferten Koeffizienten und die erhaltenen Signale werden an die Addiereinheit 63 geliefert.

[0158] Die Addiereinheit 63 addiert die von den Verstärkereinheiten 61 und den Verstärkereinheiten 65 gelieferten Signale und nimmt das Ergebnis als die Auslenkung $x[n]$ und liefert diese Auslenkung $x[n]$ an die Aktualisierungseinheit 91 und die Verzögerungseinheit 161-1.

[0159] Daraufhin verzögert die Verzögerungseinheit 161-1 die von der Addiereinheit 63 gelieferte Auslenkung $x[n]$ und liefert diese Auslenkung $x[n]$ an die Verzögerungseinheit 161-2, und die Verzögerungseinheit 161-2 verzögert die von der Verzögerungseinheit 161-1 gelieferte Auslenkung $x[n]$ und liefert diese Auslenkung $x[n]$ an die Multiplikationseinheit 162.

[0160] Diese Filterung in der Filtereinheit 32 führt dazu, dass eine nichtlineare Vorhersage der Auslenkung $x[n]$ durchgeführt wird.

[0161] In Schritt S13 erhält die Multiplikationseinheit 162 die Korrekturzeit durch Multiplizieren der von der Verzögerungseinheit 161-2 gelieferten Auslenkung $x[n]$ mit dem Kehrwert $1/c$ der Schallgeschwindigkeit c und liefert die erhaltene Korrekturzeit an die Multiplikationseinheit 163.

[0162] In Schritt S14 erhält die Multiplikationseinheit 163 die Korrekturabtastungszahl durch Multiplizieren der von der Multiplikationseinheit 162 gelieferten Korrekturzeit mit der Abtastfrequenz F_s und liefert die Korrekturabtastungszahl an die Addiereinheit 164. Darüber hinaus erhält die Addiereinheit 164 eine endgültige Korrekturabtastungszahl x durch Addieren der Versatzabtastungszahl zu der von der Multiplikationseinheit 163 gelieferten Korrekturabtastungszahl und liefert das Ergebnis an die Interpolationsverarbeitungseinheit 152.

[0163] Außerdem verzögert jede der Verzögerungseinheiten 121 das gelieferte Eingangsaudiosignal und liefert das resultierende Signal an die Verzögerungseinheiten 121, die Interpolationsverarbeitungseinheit 152 und dergleichen in nachfolgenden Stufen.

[0164] In Schritt S15 führt die Interpolationsverarbeitungseinheit 152 eine Lagrange-Interpolation basierend auf dem eingegebenen Eingangsaudiosignal $u[n]$, den Eingangsaudiosignalen $u[n-1]$ bis $u[n-4]$, die von den jeweiligen Verzögerungseinheiten 121 geliefert werden, und der von der Addiereinheit 164 gelieferten Korrekturabtastungszahl x durch.

[0165] Mit anderen Worten, die Interpolationsverarbeitungseinheit 152 führt eine Lagrange-Interpolation durch Berechnen der obigen Formel (5) durch und liefert das korrigierte Audiosignal $u_d[n]$, der als Ergebnis erhalten wird, an die Verstärkereinheit 12.

[0166] In Schritt S16 führt die Verstärkereinheit 12 eine Verstärkungsanpassung durch Multiplizieren des von der Interpolationsverarbeitungseinheit 152 gelieferten korrigierten Audiosignals $u_d[n]$ mit der Verstärkerverstärkung durch und liefert das verstärkungsangepasste korrigierte Audiosignal $u_d[n]$ an den Lautsprecher 13.

[0167] In Schritt S17 gibt der Lautsprecher 13 Töne durch Ansteuern basierend auf dem von der Verstärkereinheit 12 gelieferten korrigierten Audiosignal $u_d[n]$ aus, wonach die Wiedergabeverarbeitung endet. In dem Audiowiedergabesystem wird die oben beschriebene Verarbeitung für jede Abtastung des Eingangsaudiosignals durchgeführt.

[0168] Auf diese Weise erhält das Audiowiedergabesystem die Auslenkung $x[n]$ durch nichtlineare Vorhersage und erhält das korrigierte Audiosignal $u_d[n]$ durch Durchführen einer Lagrange-Interpolation unter Verwendung eines Polynomausdrucks zweiter Ordnung oder höher basierend auf der Korrekturabtastungszahl x , die dieser Auslenkung $x[n]$ entspricht. Dadurch kann die Dopplerverzerrung weiter reduziert und eine Tonwiedergabe mit hoher Qualität realisiert werden.

[0169] Obgleich das Vorstehende ein Beispiel beschreibt, bei dem das Lautsprechersystem, d. h. der Lautsprecher 13, ein geschlossener Typ ist, ist der Typ nicht darauf beschränkt, und die vorliegende Technik kann auf jeden Lautsprecher angewendet werden, wie etwa einen Bassreflex-Typ, einen Passivstrahler-Typ oder dergleichen.

[0170] Wenn beispielsweise der Lautsprecher 13 ein Bassreflexlautsprecher ist, ist die Ersatzschaltung dieses Lautsprechers 13 wie in **Fig. 18** dargestellt.

[0171] In dem Beispiel in **Fig. 18** zeigt die Schaltung auf der linken Seite der Zeichnung die Ersatzschaltung des elektrischen Systems und die rechte Seite der Zeichnung zeigt die Ersatzschaltung des mechanischen Systems. Die jeweiligen Buchstaben in **Fig. 18** geben die jeweiligen Parameter an, die als „TS-Parameter“ bezeichnet werden, und diese TS-Parameter ähneln denen, die in **Fig. 6** dargestellt sind.

[0172] Zudem ist, wenn der Lautsprecher 13 beispielsweise ein Passivstrahlerlautsprecher ist, die Ersatzschaltung dieses Lautsprechers 13 wie in **Fig. 19** dargestellt.

[0173] In dem Beispiel in **Fig. 19** zeigt die Schaltung auf der linken Seite der Zeichnung die Ersatzschaltung des elektrischen Systems und die rechte Seite der Zeichnung zeigt die Ersatzschaltung des mechanischen Systems. Die jeweiligen Buchstaben in **Fig. 19** geben die jeweiligen Parameter an, die als „TS-Parameter“ bezeichnet werden, und diese TS-Parameter ähneln denen, die in **Fig. 6** dargestellt sind.

[0174] Auch in den in **Fig. 18** und **Fig. 19** dargestellten Beispielen lässt sich die Auslenkung $x[n]$ durch nichtlineare Vorhersage erhalten, wenn ein Filter zur Auslenkungsvorhersage, erhalten durch Durchführen einer digitalen Filterung basierend auf der Ersatzschaltung des Lautsprechers 13, verwendet wird.

<Zweite Ausführungsform>

<Beispiel der Konfiguration eines Audiowiedergabesystems>

[0175] Des Weiteren kann, obgleich das Vorstehende ein Beispiel beschreibt, bei dem das Eingangsaudiosignal, das ein Quellensignal ist, in die Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 eingegeben wird, wie in **Fig. 4** dargestellt, stattdessen das korrigierte Audiosignal nach der Dopplerverzerrungskorrektur eingegeben werden.

[0176] In einem solchen Fall ist das Audiowiedergabesystem wie in **Fig. 20** dargestellt konfiguriert. Es sei angemerkt, dass in **Fig. 20** Teile, die denen in **Fig. 4** entsprechen, durch die gleichen Bezugszeichen angegeben werden und auf Beschreibungen dieser Teile gegebenenfalls verzichtet wird.

[0177] Das in **Fig. 20** dargestellte Audiowiedergabesystem weist die Signalverarbeitungsvorrichtung 11, die Verstärkereinheit 12 und den Lautsprecher 13 auf, und die Signalverarbeitungsvorrichtung 11 weist die Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 und die Dopplerverzerrungskorrektureinheit 22 auf.

[0178] Darüber hinaus weist, obgleich dies nicht dargestellt ist, die Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 die Verstärkereinheit 31 und die Filtereinheit 32 auf, und die Dopplerverzerrungskorrektureinheit 22 weist die Verzögerungseinheiten 121-1 bis 121-4, die Umwandlungseinheit 151 und die Interpolationsverarbeitungseinheit 152 auf.

[0179] Dieses Audiowiedergabesystem unterscheidet sich von dem in **Fig. 4** dargestellten Audiowiedergabesystem darin, dass das korrigierte Audiosignal, das von der Dopplerverzerrungskorrektureinheit 22 ausgegeben wird, in die Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 eingegeben wird, und ist ansonsten das gleiche wie das in **Fig. 4** dargestellte Audiowiedergabesystem.

[0180] Dementsprechend verstärkt bei dem in **Fig. 20** dargestellten Audiowiedergabesystem die Verstärkereinheit 31 der Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit 21 das von der Interpolationsverarbeitungseinheit 152 der Dopplerverzerrungskorrektureinheit 22 gelieferte korrigierte Audiosignal unter Verwendung der Verstärkerverstärkung in der Verstärkereinheit 12 und liefert das resultierende Signal an die Filtereinheit 32.

[0181] Die Filtereinheit 32 führt eine nichtlineare Vorhersage durch Filtern des von der Verstärkereinheit 31 gelieferten korrigierten Audiosignals durch und liefert eine als Vorhersageergebnis erhaltene Auslenkung an die Umwandlungseinheit 151 der Dopplerverzerrungskorrektureinheit 22 und insbesondere an die Verzögerungseinheit 161-1 der Umwandlungseinheit 151.

[0182] Auf diese Weise kann, selbst wenn die in **Fig. 20** dargestellte Konfiguration verwendet wird, eine Dopplerverzerrung reduziert werden und eine hochqualitative Tonwiedergabe realisiert werden, ähnlich dem in **Fig. 4** dargestellten Fall.

[0183] Obgleich die vorstehende erste Ausführungsform und zweite Ausführungsform Beispiele beschreiben, bei denen der Lautsprecher 13 ein Breitbandlautsprecher ist, kann die vorliegende Technik auch auf Mehrwege-Mittelbandlautsprecher, Tieftöner und dergleichen angewendet werden.

[0184] Wenn beispielsweise der Lautsprecher 13 ein Mehrwege-Mittelbandlautsprecher, Tieftöner oder dergleichen ist und ein Bandbreitenteilungsfiler moderate Charakteristiken wie 12 dB/Oct aufweist, werden auch hohe Frequenzen wiedergegeben, die durch Dopplerverzerrung beeinflusst werden, wenn auch in geringerem Ausmaß. Dementsprechend kann durch Anwenden der vorliegenden Technik und Durchführen einer Dopplerverzerrungskorrektur die Qualität des von dem Mehrwegelautsprecher oder dergleichen abgestrahlten Schalls verbessert werden.

<Konfigurationsbeispiel für einen Computer>

[0185] Indes kann die oben beschriebene Verarbeitungsreihe auch durch Hardware oder Software ausgeführt werden. Wenn die Verarbeitungsreihe durch Software ausgeführt wird, wird ein Programm, das die Software darstellt, auf einem Computer installiert. Hier weist der Computer zum Beispiel einen Computer, der in dedizierte Hardware integriert ist, einen Allzweck-Personal-Computer, in dem verschiedene Programme installiert sind, sodass der Computer verschiedene Funktionen ausführen kann, und dergleichen auf.

[0186] **Fig. 21** ist ein Blockdiagramm, das ein Beispiel der Hardwarekonfiguration eines Computers darstellt, der ein Programm verwendet, um die oben beschriebene Verarbeitungsreihe auszuführen.

[0187] In dem Computer sind eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) 501, ein Nur-Lese-Speicher (ROM) 502 und ein Direktzugriffsspeicher (RAM) 503 durch einen Bus 504 miteinander verbunden.

[0188] Eine Eingabe/Ausgabe-Schnittstelle 505 ist ferner mit dem Bus 504 verbunden. Eine Eingabeeinheit 506, eine Ausgabeeinheit 507, eine Aufzeichnungseinheit 508, eine Kommunikationseinheit 509 und ein Laufwerk 510 sind mit der Eingabe/Ausgabe-Schnittstelle 505 verbunden.

[0189] Die Eingabeeinheit 506 ist eine Tastatur, eine Maus, ein Mikrofon, ein Bildsensor oder dergleichen. Die Ausgabeeinheit 507 ist eine Anzeige, ein Lautsprecher oder dergleichen. Die Aufzeichnungseinheit 508 besteht aus einer Festplatte, einem nichtflüchtigen Speicher oder dergleichen. Die Kommunikationseinheit 509 ist eine Netzwerkschnittstelle oder dergleichen. Das Laufwerk 510 treibt einen Wechseldatenträger 511 wie etwa eine magnetische Platte, eine optische Platte, eine magnetooptische Platte, einen Halbleiterspeicher oder dergleichen an.

[0190] In dem wie oben beschrieben konfigurierten Computer wird beispielsweise die oben beschriebene Verarbeitungsreihe durch die CPU 501 durchgeführt, die ein in der Aufzeichnungseinheit 508 aufgezeichnetes Programm durch die Eingabe/Ausgabe-Schnittstelle 505 und den Bus 504 in den RAM 503 lädt und das Programm ausführt.

[0191] Das durch den Computer (die CPU 501) ausgeführte Programm kann beispielsweise auf dem Wechseldatenträger 511 als Paketmedium aufgezeichnet und in einem solchen Zustand bereitgestellt werden. Das Programm kann auch über ein drahtgebundenes oder drahtloses Übertragungsmedium wie etwa ein lokales Netzwerk, das Internet oder digitalen Satellitenrundfunk bereitgestellt werden.

[0192] In dem Computer kann das Programm in der Aufzeichnungseinheit 508 durch die Eingabe/Ausgabe-Schnittstelle 505 installiert werden, indem der Wechseldatenträger 511 in dem Laufwerk 510 montiert wird. Ferner kann das Programm durch die Kommunikationseinheit 509 über ein drahtgebundenes oder drahtloses Übertragungsmedium empfangen und in der Aufzeichnungseinheit 508 installiert werden. Darüber hinaus kann dieses Programm vorab in dem ROM 502 oder der Aufzeichnungseinheit 508 installiert werden.

[0193] Es sei angemerkt, dass das durch den Computer ausgeführte Programm ein Programm sein kann, in dem die Verarbeitung chronologisch in der in der vorliegenden Beschreibung beschriebenen Reihenfolge durchgeführt wird, oder ein Programm sein kann, in dem die Verarbeitung parallel oder zu einem erforderlichen Zeitpunkt wie etwa bei Aufruf durchgeführt wird.

[0194] Außerdem sind die Ausführungsformen der vorliegenden Technik nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, und es können verschiedene Modifikationen vorgenommen werden, ohne von der Grundidee der vorliegenden Technik abzuweichen.

[0195] Beispielsweise kann die vorliegende Technik als Cloud-Computing konfiguriert sein, wobei sich mehrere Vorrichtungen eine Funktion über ein Netzwerk teilen und sie kooperativ verarbeiten.

[0196] Darüber hinaus kann jeder Schritt, der unter Bezugnahme auf die vorstehenden Flussdiagramme beschrieben wurde, durch eine einzelne Vorrichtung oder gemeinsam durch mehrere Vorrichtungen ausgeführt werden.

[0197] Ferner können, wenn ein einzelner Schritt mehrere Prozesse umfasst, die mehreren in dem einzelnen Schritt enthaltenen Prozesse durch eine einzelne Vorrichtung oder gemeinsam durch mehrere Vorrichtungen ausgeführt werden.

[0198] Ferner kann die vorliegende Technik auch wie folgt konfiguriert sein.

(1) Eine Signalverarbeitungsvorrichtung, die Folgendes aufweist:

eine Auslenkungsvorhersageeinheit, die eine Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal wiedergibt, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, basierend auf dem Audiosignal vorhersagt; und

eine Korrekturereinheit, die eine Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der anhand der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit durchführt.

(2) Die Signalverarbeitungsvorrichtung nach (1), wobei die Auslenkungsvorhersageeinheit die Auslenkung durch nichtlineare Vorhersage ermittelt.

(3) Die Signalverarbeitungsvorrichtung nach (2), wobei die Auslenkungsvorhersageeinheit die nichtlineare Vorhersage unter Verwendung einer Polynomnäherung durchführt.

(4) Die Signalverarbeitungsvorrichtung nach einem von (1) bis (3), wobei die Korrekturzeit eine Verzögerungszeit des Audiosignals ist, die Korrekturzeit zunimmt, wenn sich die Membran vorwärts bewegt, und die Korrekturzeit abnimmt, wenn sich die Membran rückwärts bewegt.

(5) Die Signalverarbeitungsvorrichtung nach einem von (1) bis (4), wobei die Korrektureinheit eine Anzahl von Abtastungen der Korrekturzeit basierend auf der anhand der Vorhersage erhaltenen Auslenkung, der Schallgeschwindigkeit und einer Abtastfrequenz des Audiosignals berechnet und die Interpolationsverarbeitung basierend auf der Anzahl von Abtastungen durchführt.

(6) Die Signalverarbeitungsvorrichtung nach (5), wobei die Korrektureinheit die Anzahl von Abtastungen einschließlich eines Nachkommawerts berechnet.

(7) Die Signalverarbeitungsvorrichtung nach einem von (1) bis (6), wobei die Korrektureinheit die Zeitrichtungskorrektur durch Korrigieren eines Abtastwerts des Audiosignals durch die Interpolationsverarbeitung durchführt.

(8) Die Signalverarbeitungsvorrichtung nach einem von (1) bis (7), wobei die Interpolationsverarbeitung eine Lagrange-Interpolation, eine Newtonsche Interpolation oder eine Spline-Interpolation ist.

(9) Die Signalverarbeitungsvorrichtung nach einem von (1) bis (8), wobei die Auslenkungsvorhersageeinheit die Auslenkung basierend auf einem durch die Interpolationsverarbeitung erhaltenen Audiosignal vorhersagt.

(10) Ein Signalverarbeitungsverfahren, das Folgendes aufweist:

eine Signalverarbeitungsvorrichtung, die Folgendes durchführt:

Vorhersagen einer Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal wiedergibt, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, basierend auf dem Audiosignal; und

Durchführen einer Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der anhand der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit.

(11) Ein Programm, das bewirkt, dass ein Computer eine Verarbeitung durchführt, die die folgenden Schritte aufweist:

Vorhersagen einer Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal wiedergibt, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, basierend auf dem Audiosignal; und

Durchführen einer Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der anhand der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit.

Bezugszeichenliste

11	Signalverarbeitungsvorrichtung
12	Verstärkereinheit
13	Lautsprecher
21	Lautsprecherauslenkungsvorhersageeinheit
22	Dopplerverzerrungskorrektureinheit
31	Verstärkereinheit
32	Filtereinheit
151	Umwandlungseinheit
152	Interpolationsverarbeitungseinheit

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 1556673 B [0005]
- US 5438625 [0005]

Patentansprüche

1. Signalverarbeitungsvorrichtung, die Folgendes umfasst:
eine Auslenkungsvorhersageeinheit, die eine Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal wiedergibt, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, basierend auf dem Audiosignal vorhersagt; und
eine Korrekturereinheit, die eine Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der anhand der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit durchführt.
2. Signalverarbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Auslenkungsvorhersageeinheit die Auslenkung durch nichtlineare Vorhersage ermittelt.
3. Signalverarbeitungsvorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Auslenkungsvorhersageeinheit die nichtlineare Vorhersage unter Verwendung einer Polynomnäherung durchführt.
4. Signalverarbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Korrekturzeit eine Verzögerungszeit des Audiosignals ist, die Korrekturzeit zunimmt, wenn sich die Membran vorwärts bewegt, und die Korrekturzeit abnimmt, wenn sich die Membran rückwärts bewegt.
5. Signalverarbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Korrekturereinheit eine Anzahl von Abtastungen der Korrekturzeit basierend auf der anhand der Vorhersage erhaltenen Auslenkung, der Schallgeschwindigkeit und einer Abtastfrequenz des Audiosignals berechnet und die Interpolationsverarbeitung basierend auf der Anzahl von Abtastungen durchführt.
6. Signalverarbeitungsvorrichtung nach Anspruch 5, wobei die Korrekturereinheit die Anzahl von Abtastungen einschließlich eines Nachkommawerts berechnet.
7. Signalverarbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Korrekturereinheit die Zeitrichtungskorrektur durch Korrigieren eines Abtastwerts des Audiosignals durch die Interpolationsverarbeitung durchführt.
8. Signalverarbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Interpolationsverarbeitung eine Lagrange-Interpolation, eine Newtonsche Interpolation oder eine Spline-Interpolation ist.
9. Signalverarbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Auslenkungsvorhersageeinheit die Auslenkung basierend auf einem durch die Interpolationsverarbeitung erhaltenen Audiosignal vorhersagt.
10. Signalverarbeitungsverfahren, das Folgendes umfasst:
eine Signalverarbeitungsvorrichtung, die Folgendes durchführt:
Vorhersagen einer Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal wiedergibt, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, basierend auf dem Audiosignal; und
Durchführen einer Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der anhand der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit.
11. Programm, das bewirkt, dass ein Computer eine Verarbeitung durchführt, die die folgenden Schritte aufweist:
Vorhersagen einer Auslenkung einer Membran eines Lautsprechers in einem Fall, in dem der Lautsprecher Töne basierend auf einem Audiosignal wiedergibt, in dem ein Hochfrequenzsignal und ein Niederfrequenzsignal gemischt sind, basierend auf dem Audiosignal; und
Durchführen einer Zeitrichtungskorrektur an dem Audiosignal durch Durchführen einer Interpolationsverarbeitung unter Verwendung von mindestens drei Abtastungen des Audiosignals basierend auf der anhand der Vorhersage erhaltenen Auslenkung und einer basierend auf einer Schallgeschwindigkeit erhaltenen Korrekturzeit.

Es folgen 21 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

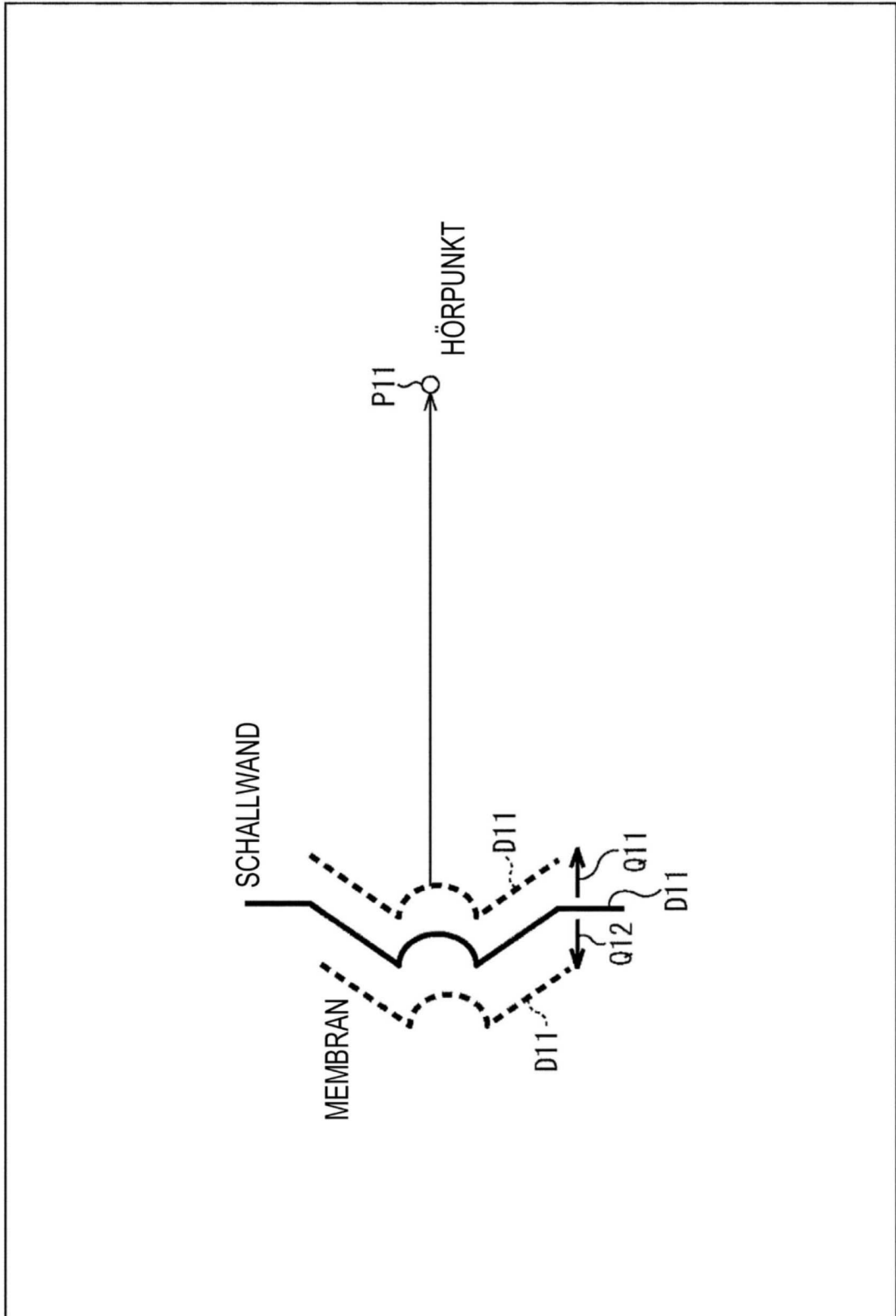


Fig. 2

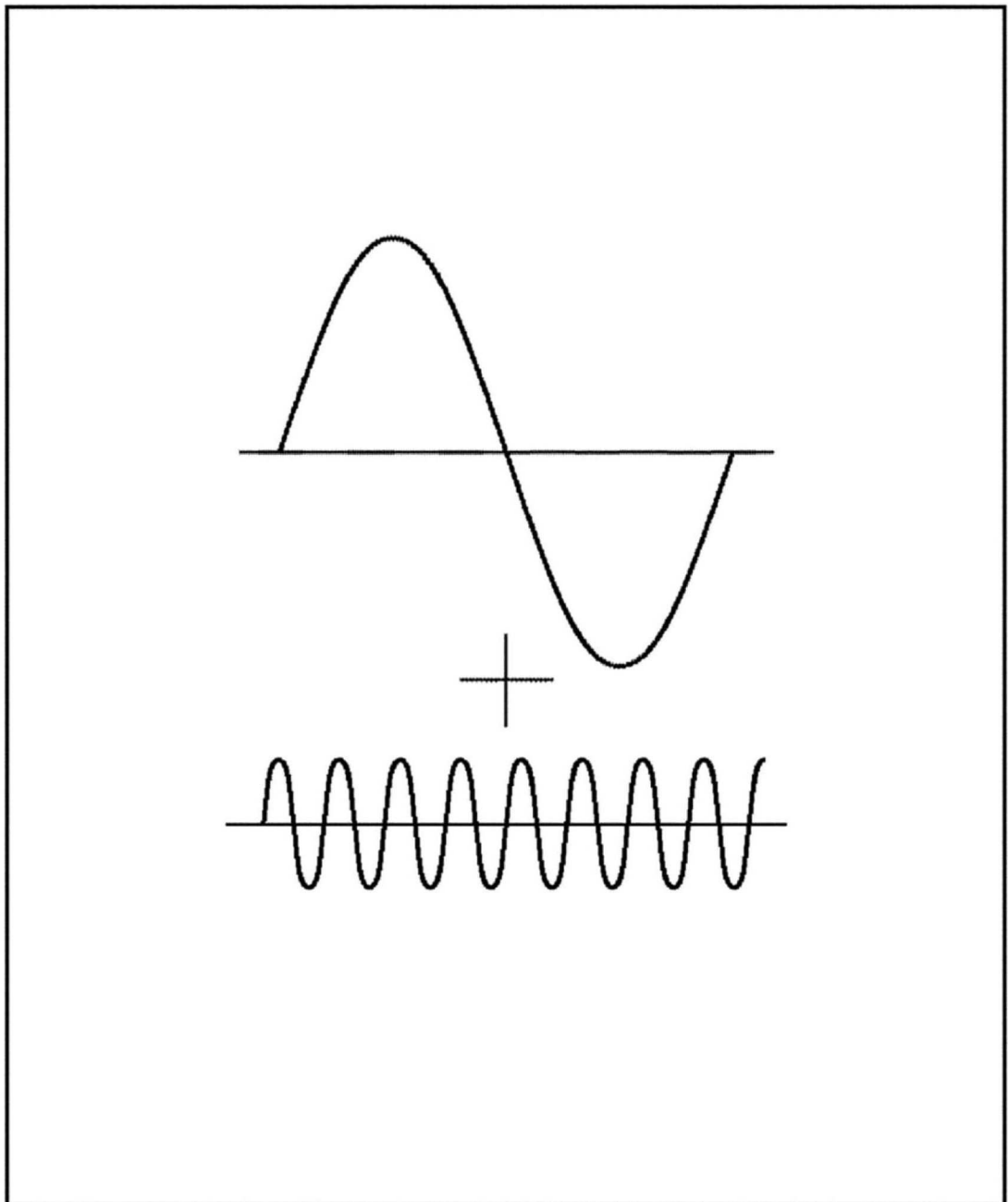


Fig. 3

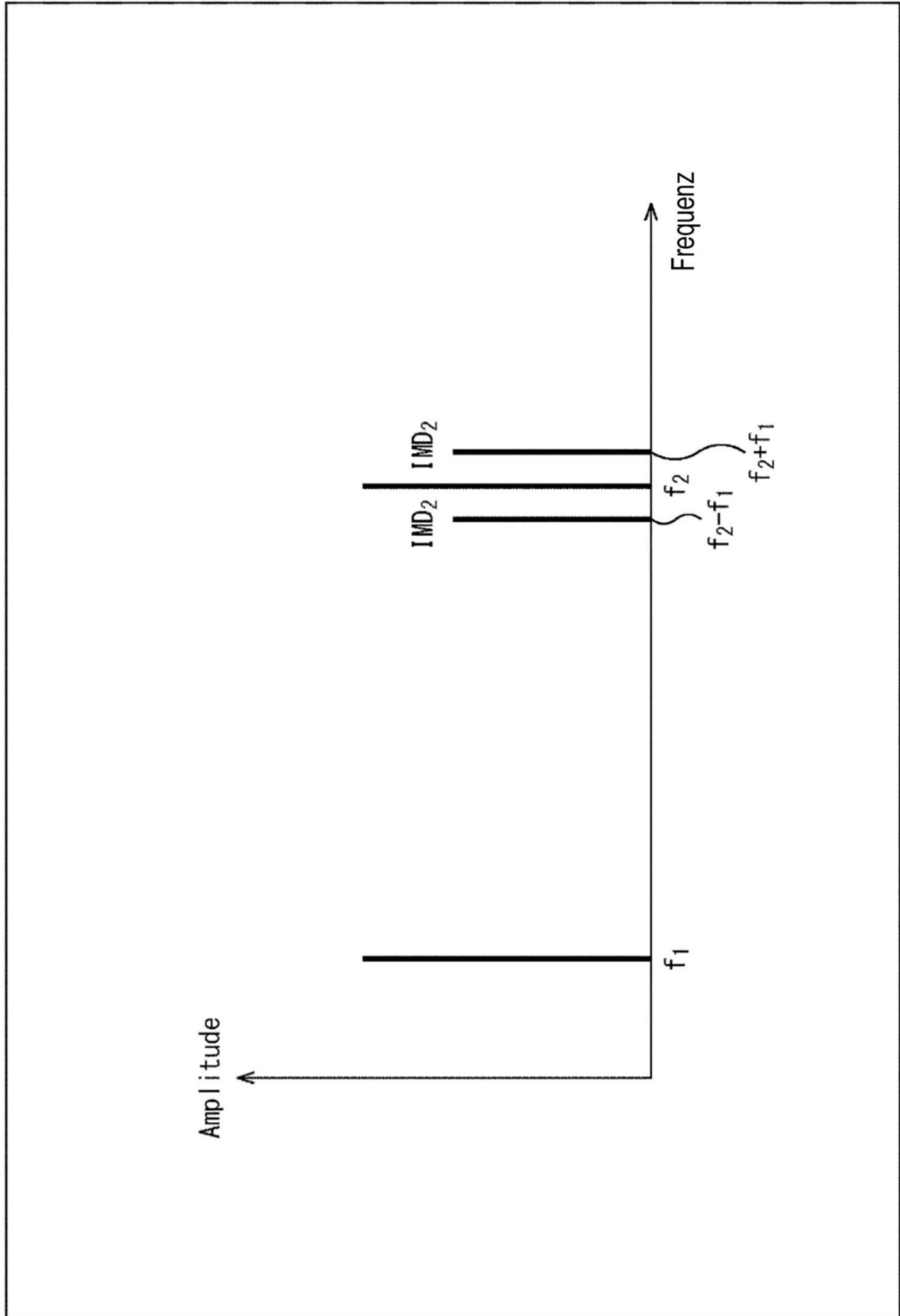


Fig. 4

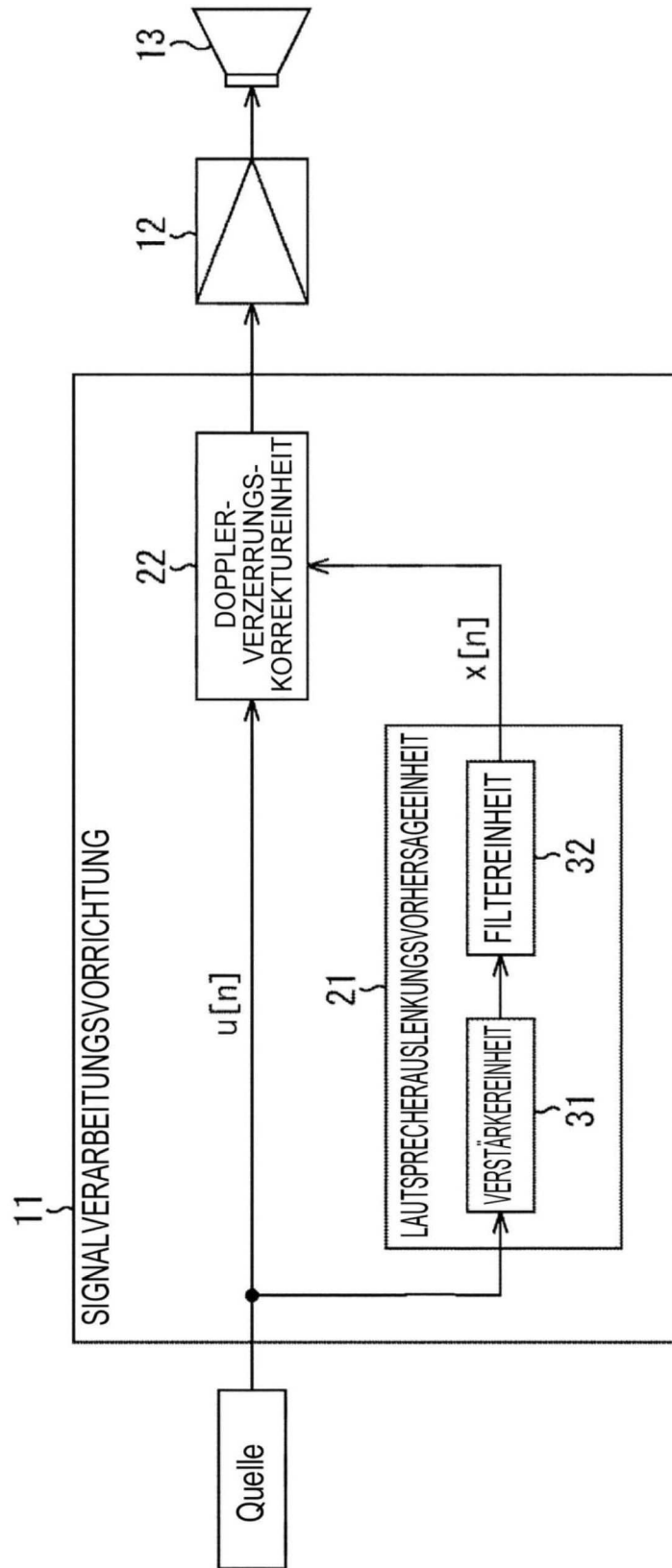


Fig. 5

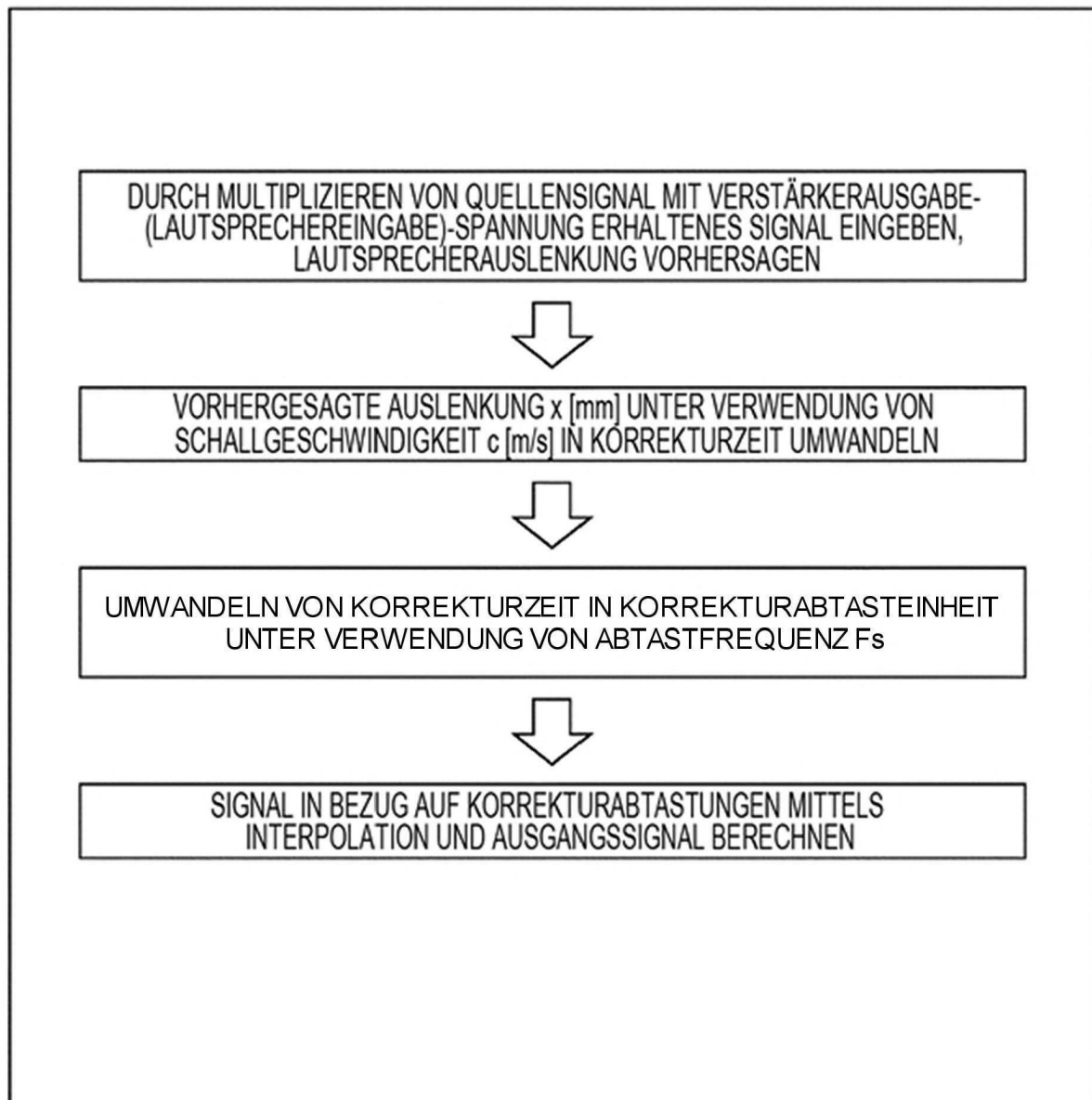


Fig. 6

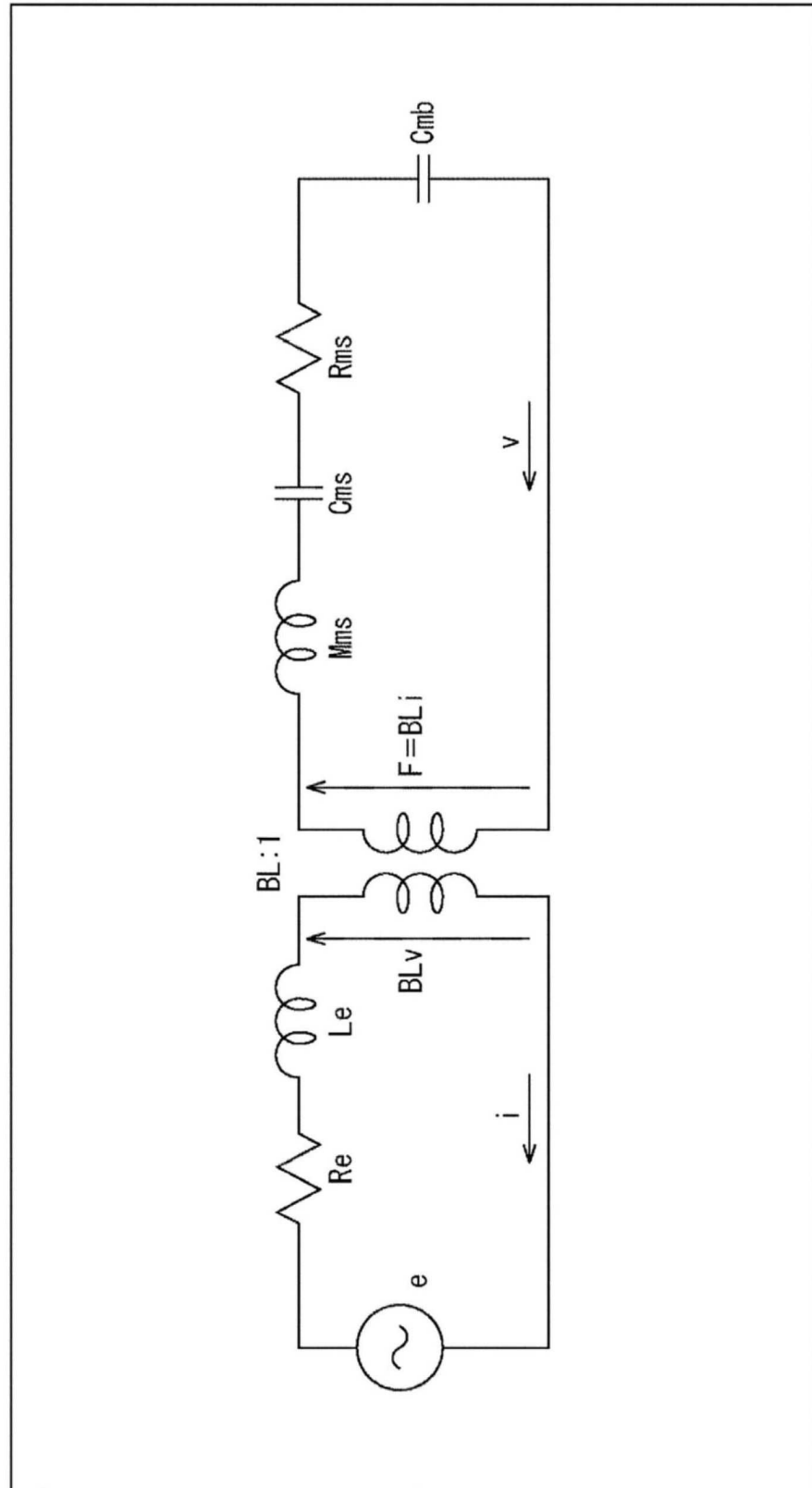


Fig. 7

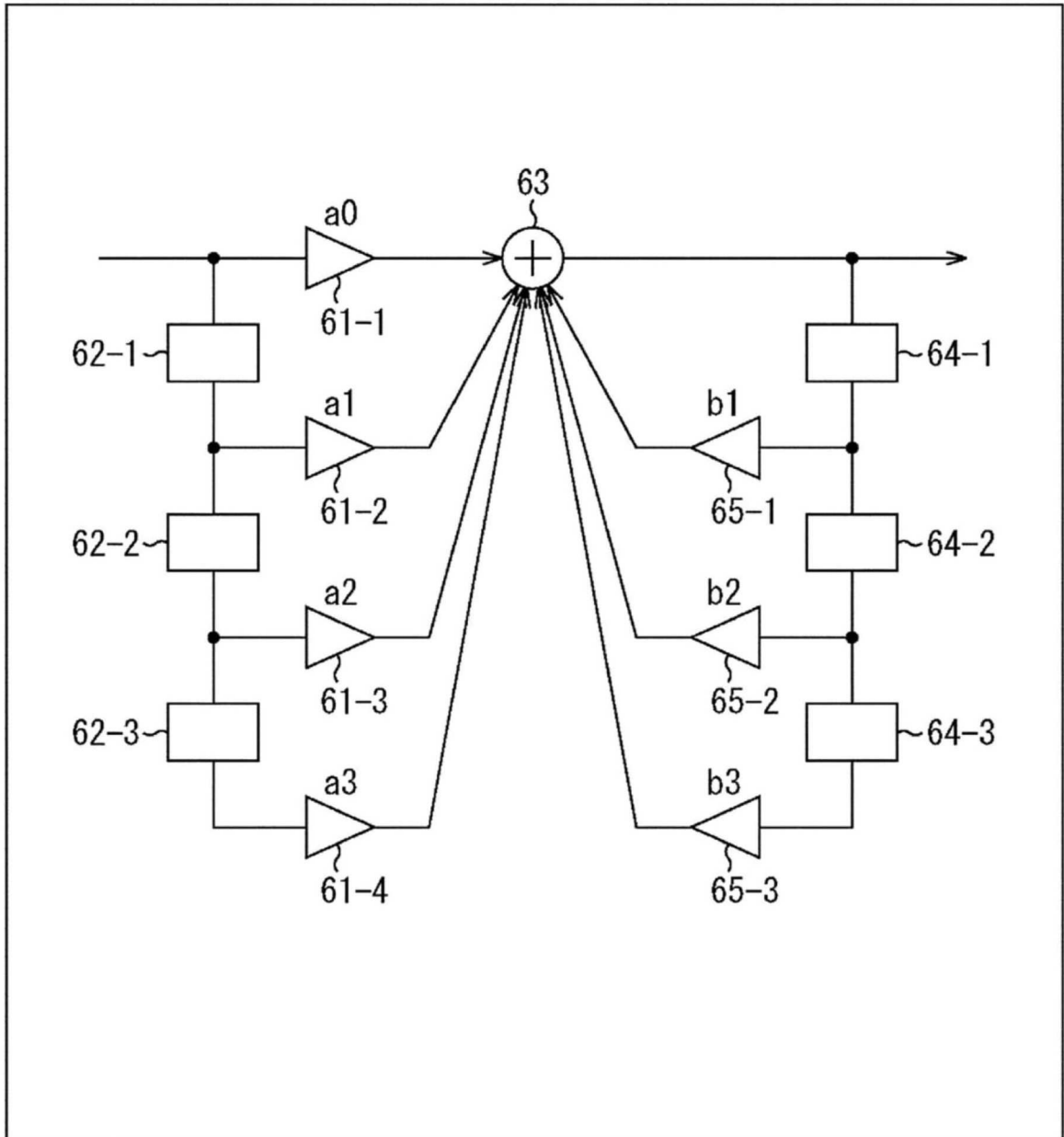


Fig. 8

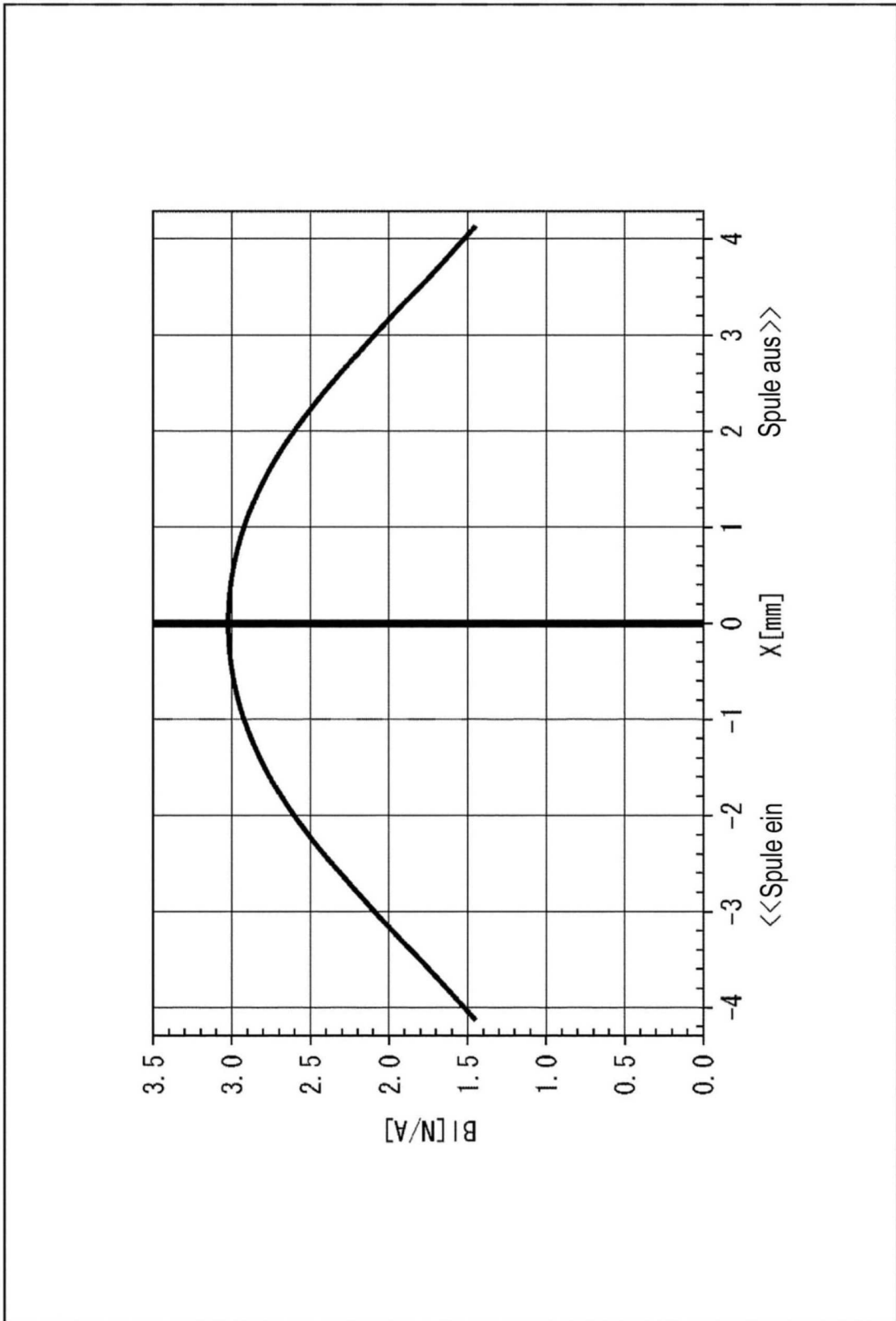


Fig. 9

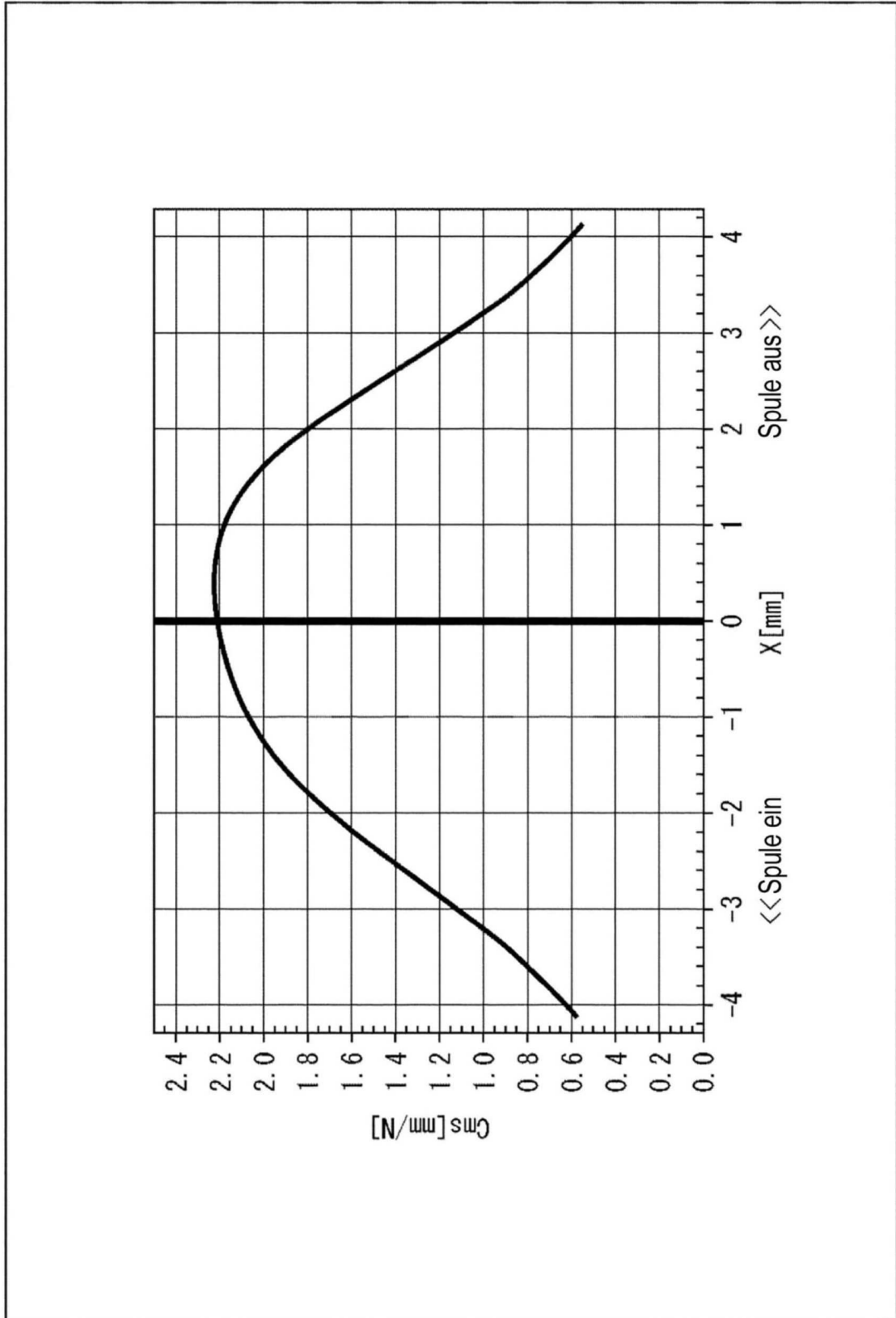


Fig. 10

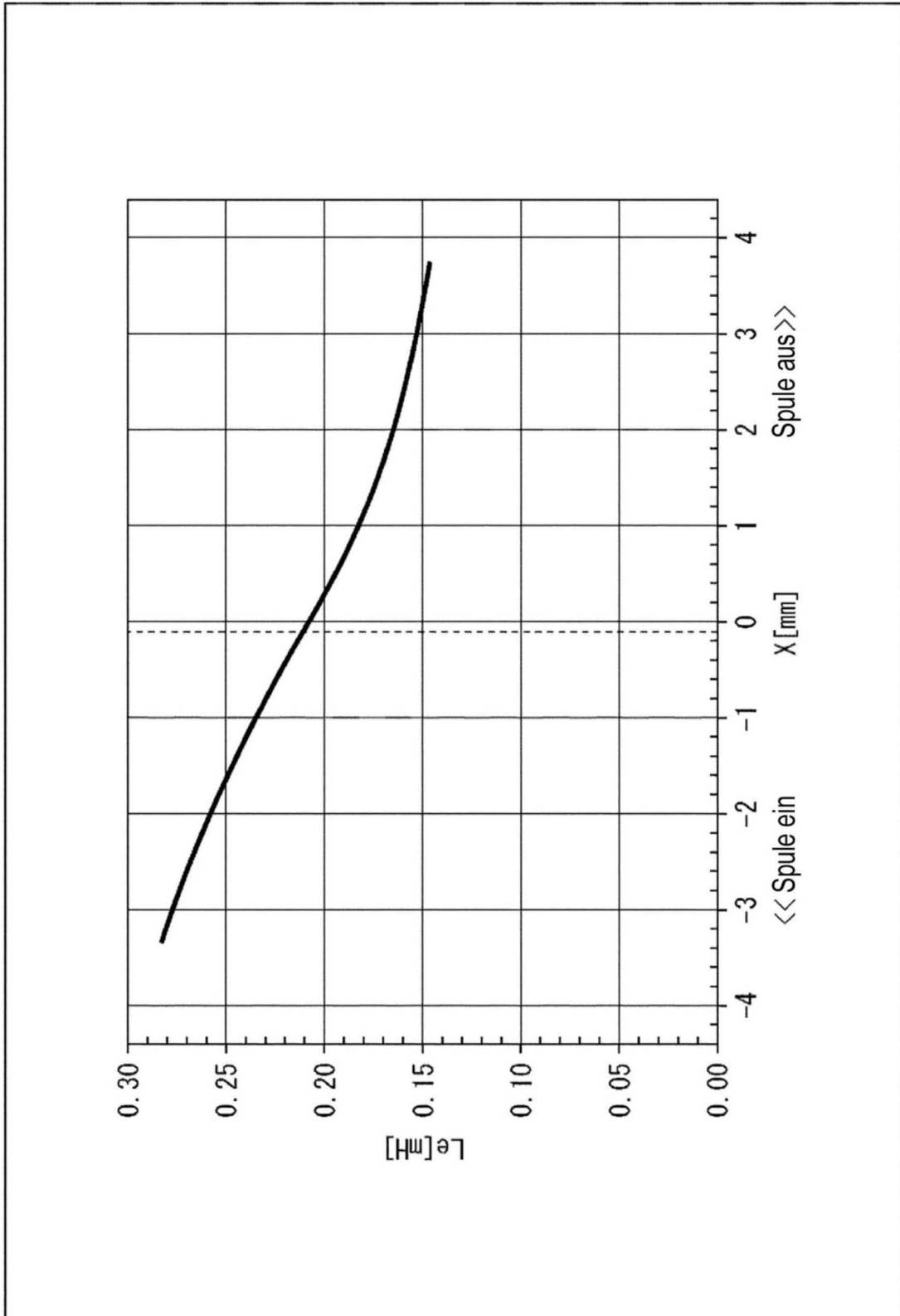


Fig. 11

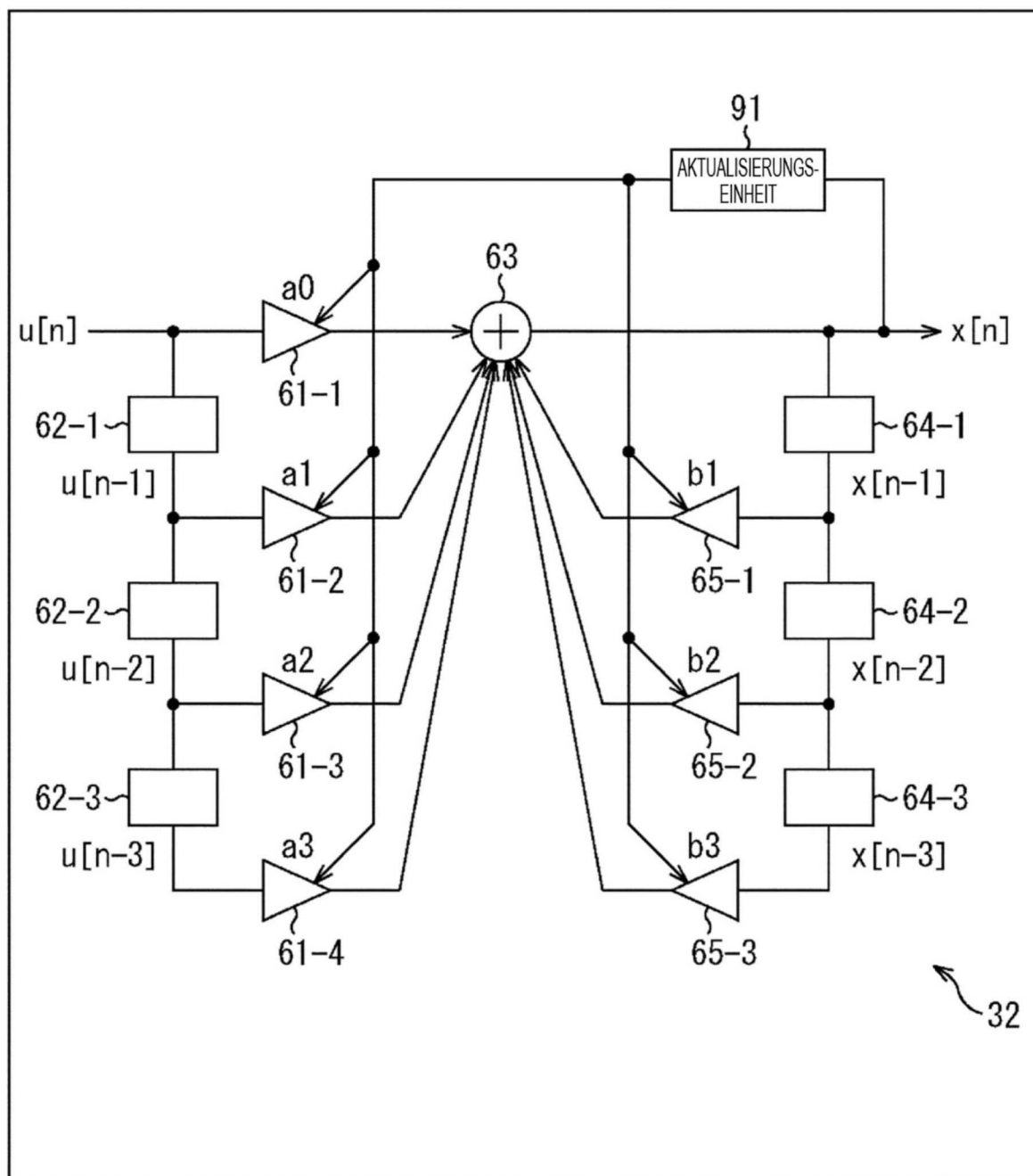


Fig. 12

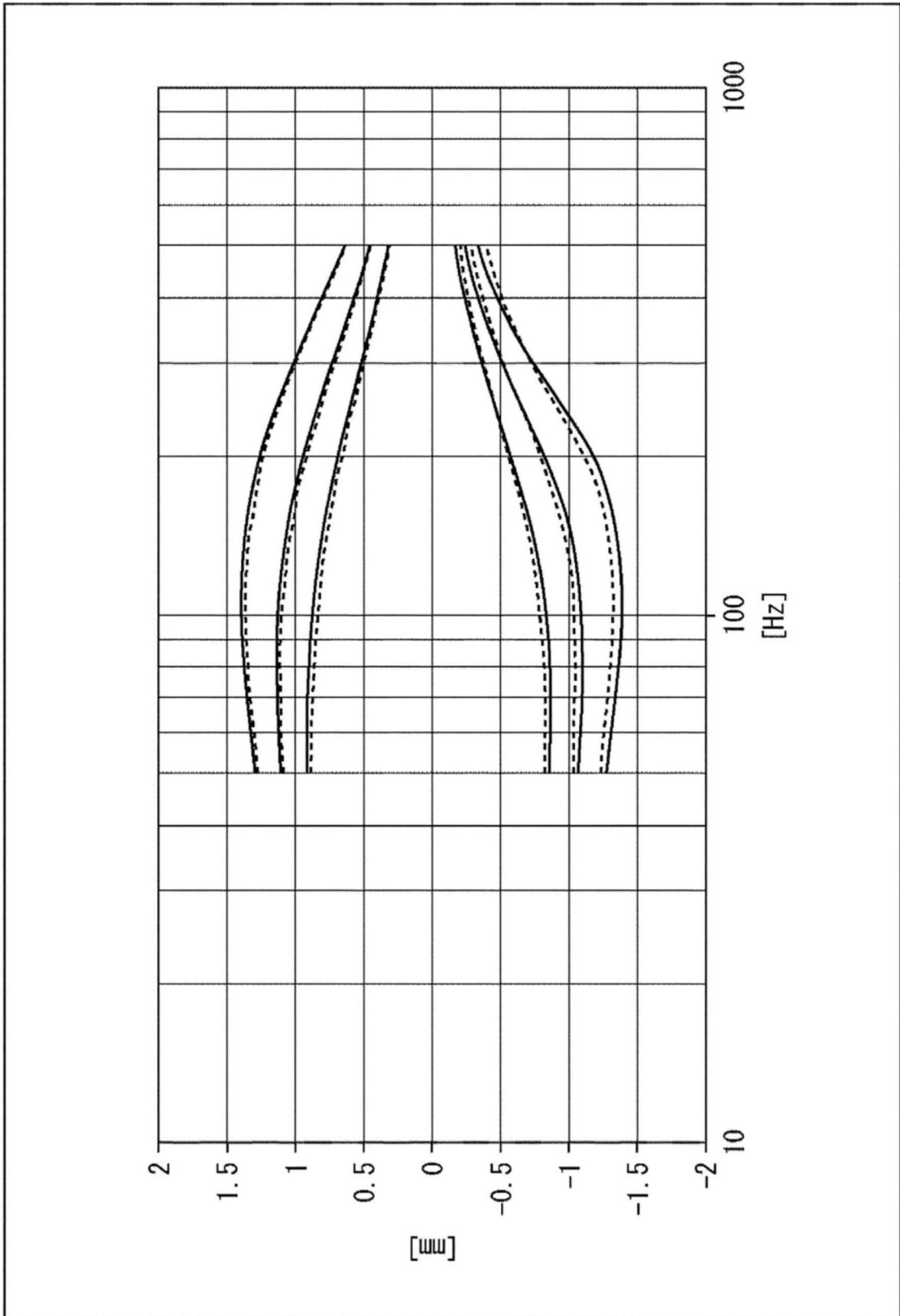


Fig. 13

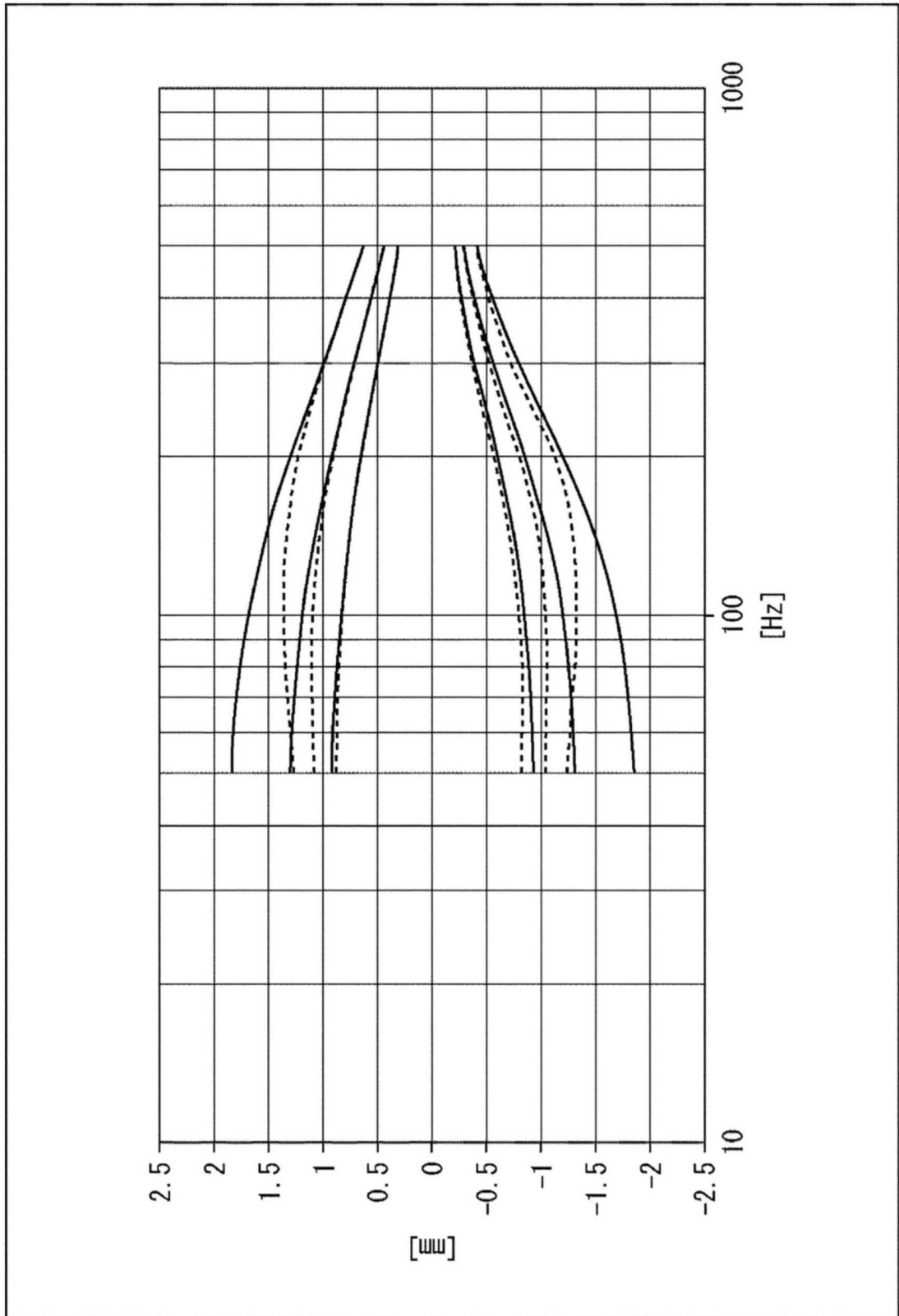


Fig. 14

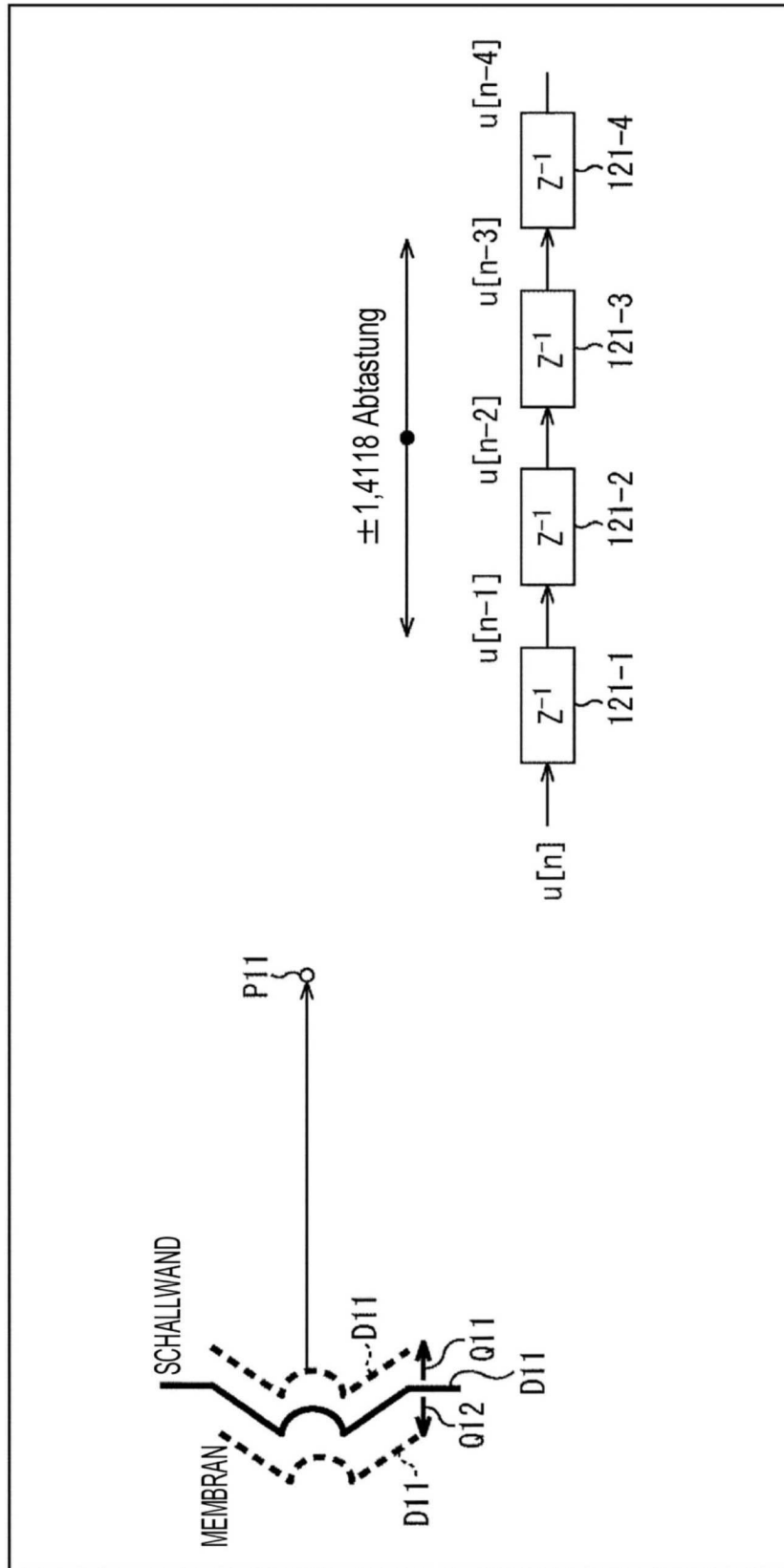


Fig. 15

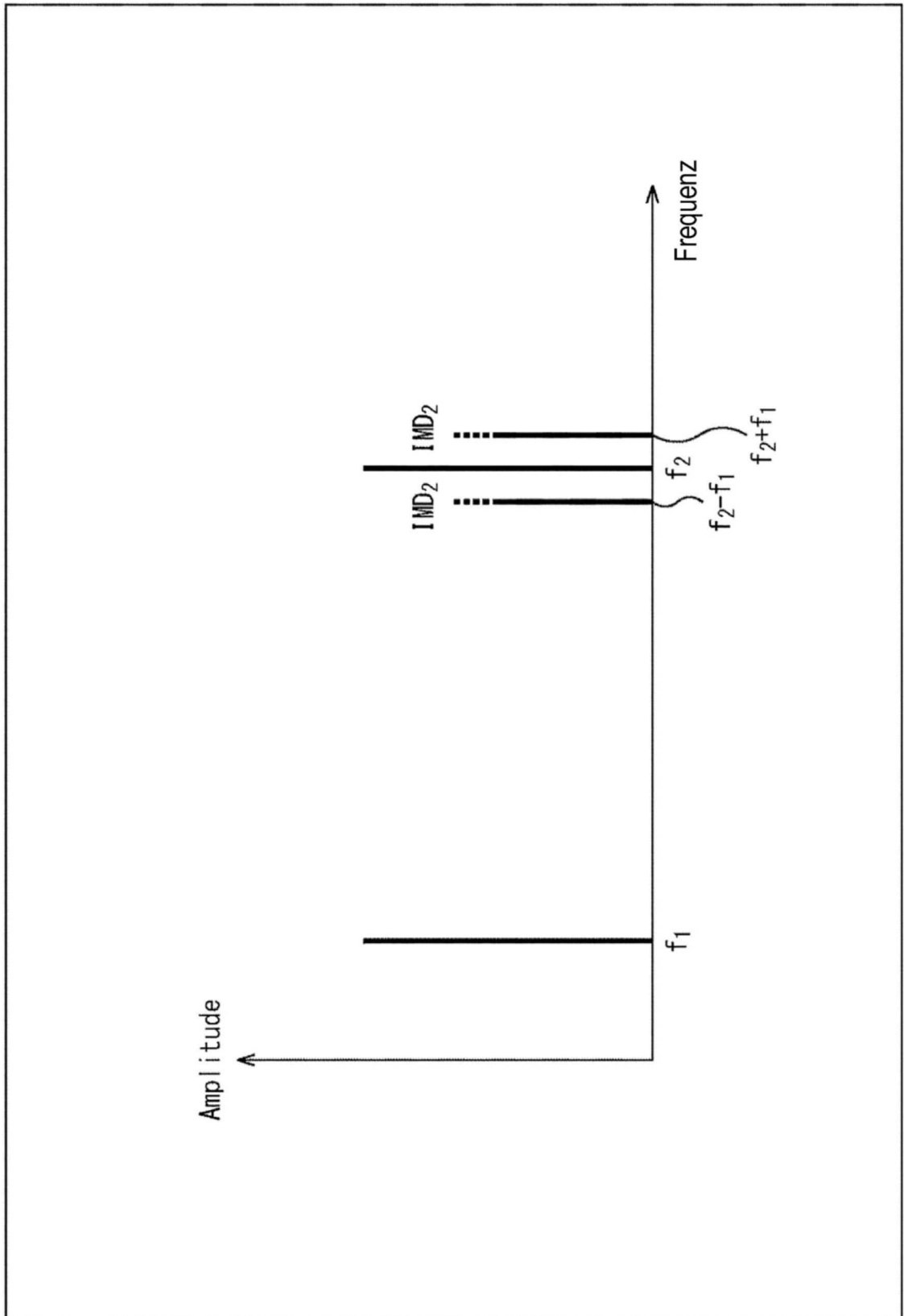


Fig. 16

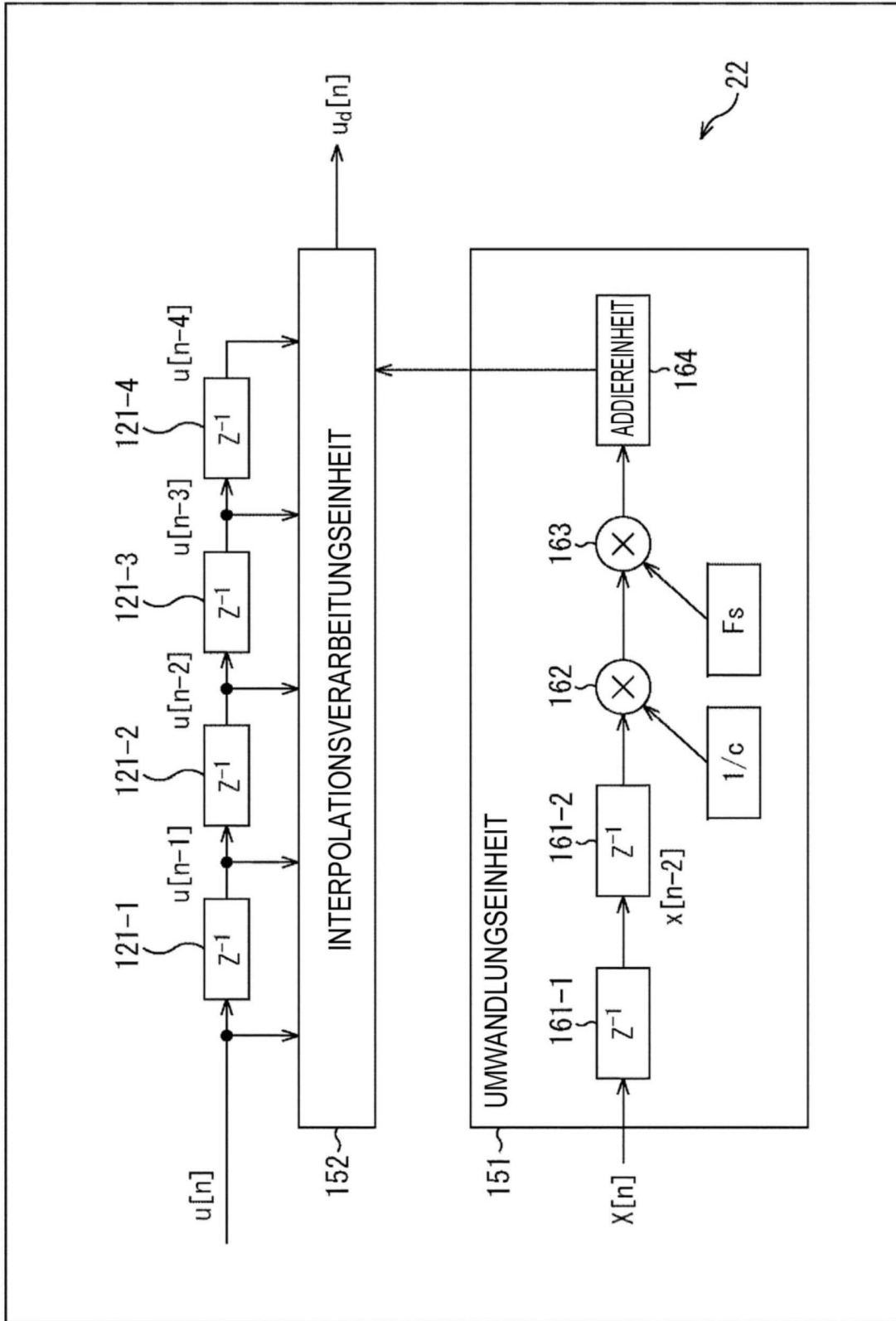


Fig. 17

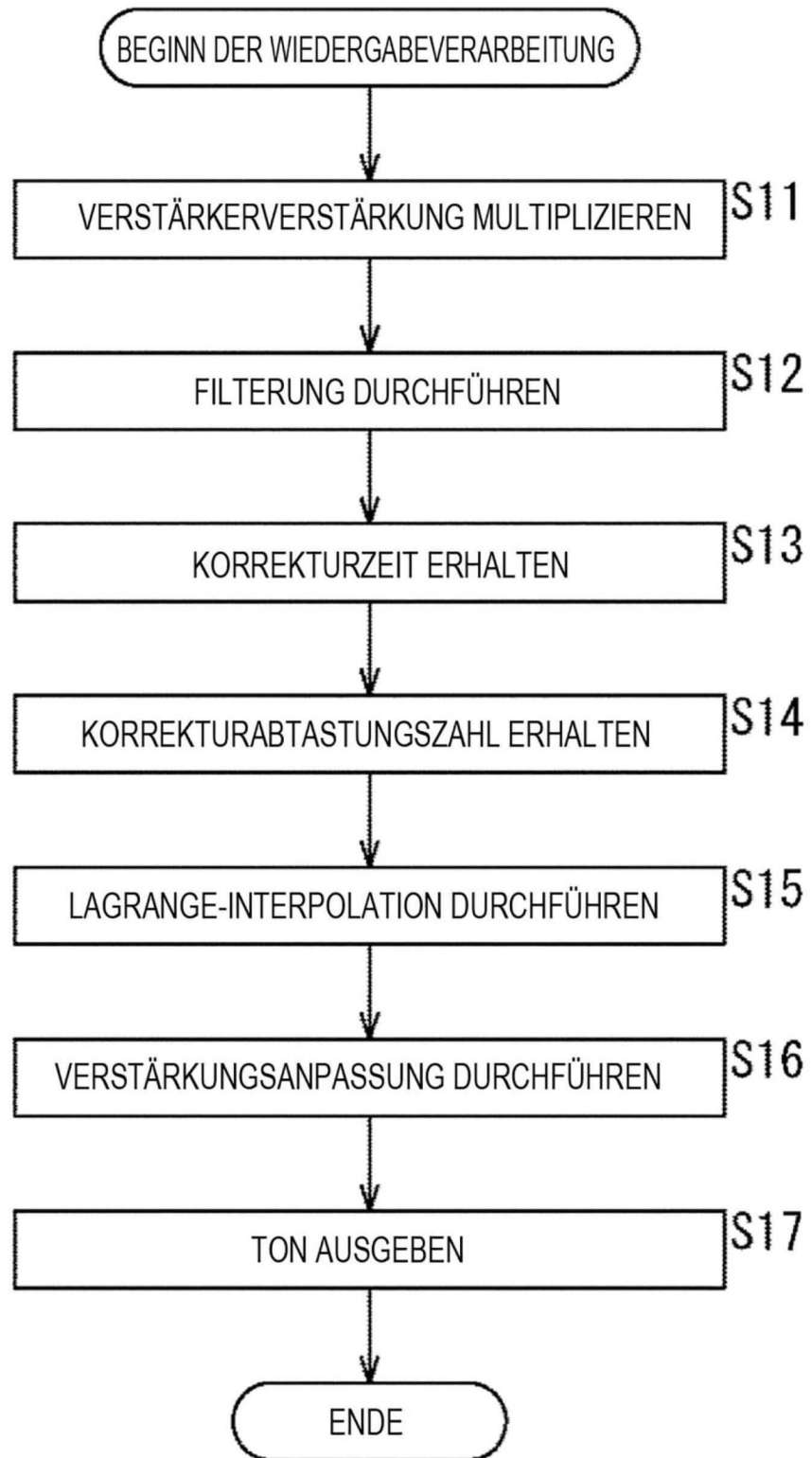


Fig. 18

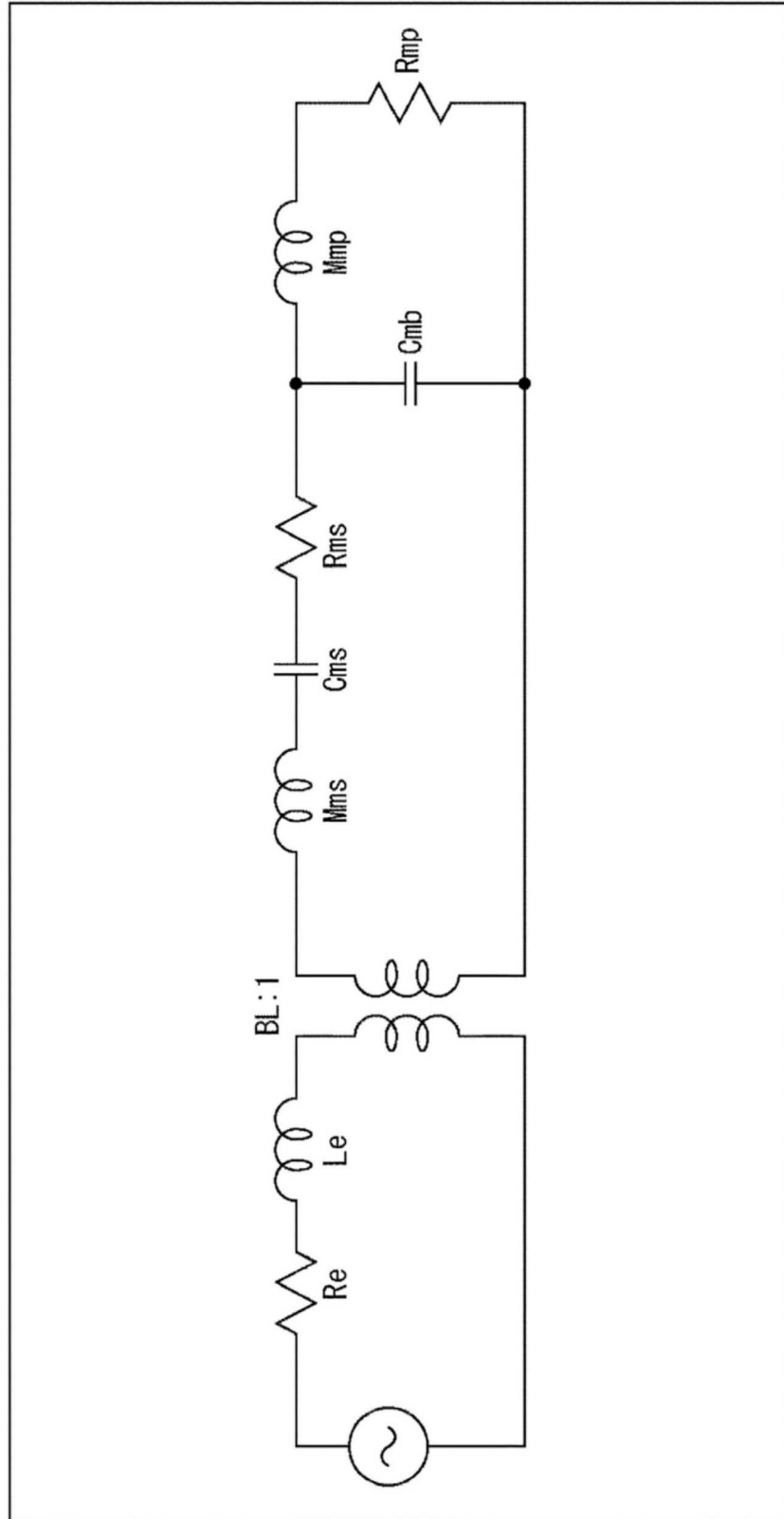


Fig. 19

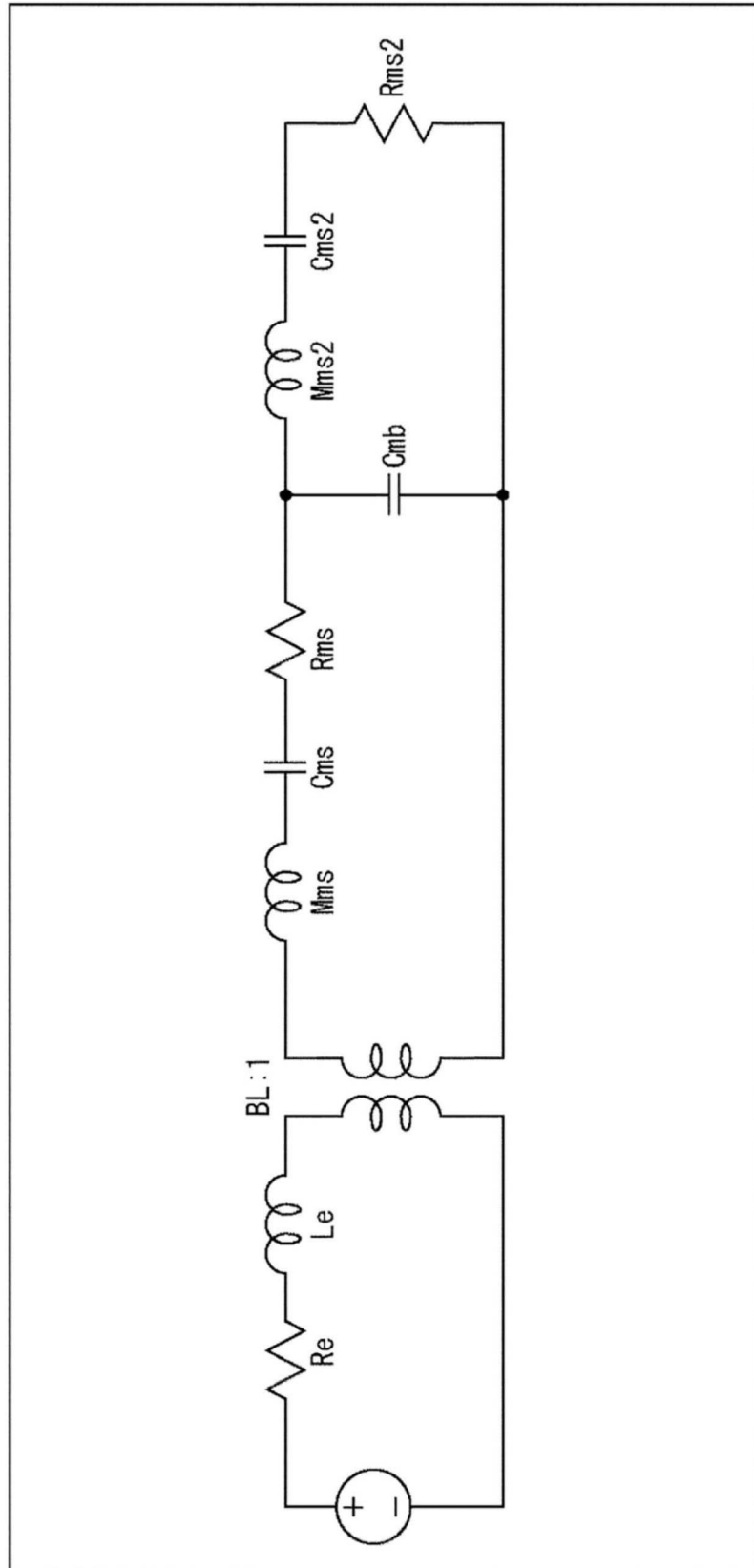


Fig. 20

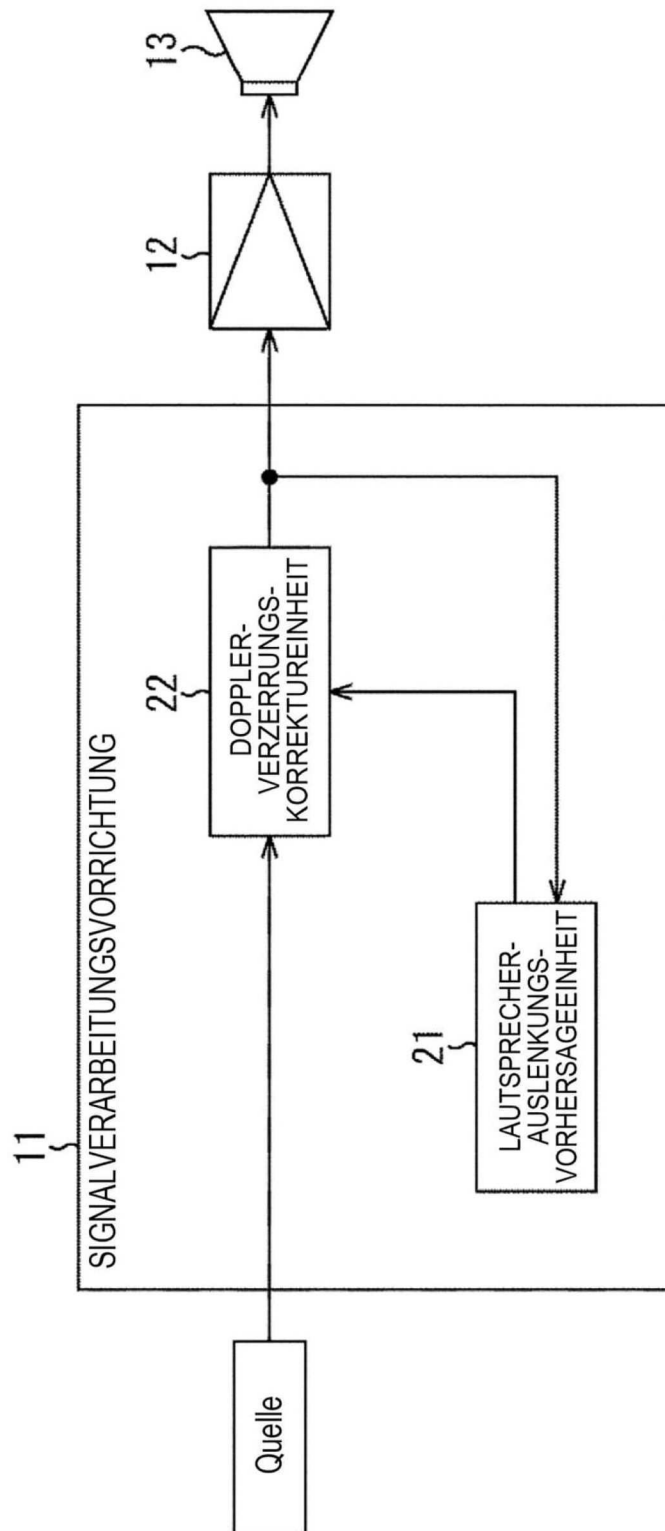


Fig. 21

