

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 835 039 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

08.04.1998 Patentblatt 1998/15

(51) Int Cl.⁶: H04R 3/04

(21) Anmeldenummer: 97402066.1

(22) Anmeldetag: 04.09.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC
NL PT SE

(30) Priorität: 07.09.1996 DE 19636414

(71) Anmelder: ALCATEL ALSTHOM COMPAGNIE
GENERALE D'ELECTRICITE
75008 Paris (FR)

(72) Erfinder:

- Tomsu, Marco
88069 Tettang (DE)

• Matt, Jans-Jürgen

71696 Remseck (DE)

• Walker, Michael

73666 Baltmannsweiler (DE)

(74) Vertreter: Müller, Joachim, Dipl.-Ing. et al
Alcatel Alsthom
Intellectual Property Department,
Postfach 30 09 29
70449 Stuttgart (DE)

(54) Verfahren und Anordnung zur Korrektur des Frequenzganges eines Schallsenders

(57) Bei Schallsendern, die aus einem in einem Gehäuse eingebauten elektroakustischen Wandler bestehen, treten Eigenresonanzen des elektroakustischen Wandlers und vom Gehäuse abhängige Systemresonanzen im Frequenzgang der Übertragungsfunktion des Schallsenders auf. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird automatisch der Frequenzgang bei unterschiedlichen Eigenschaften von elektroakustischen Wandlern und deren Gehäuse korrigiert. Dazu wird die

Eingangsimpedanz (Z) oder die Eingangsadmittanz (Y) des Schallsenders (1) von einem zu modellierenden System (8, 12) nachgebildet, aus dem über eine Fast Fourier Transformation (10, 14) die Übertragungsfunktion ($E(\omega)$) des Schallsenders (1) geschätzt wird. Daraus wird ein Koeffizientensatz eines digitalen Filters (6) derart berechnet, daß die Kettenschaltung aus dem digitalen Filter (6) und dem Schallsender (1) eine von Resonanzüberhöhungen freie Übertragungsfunktion aufweist.

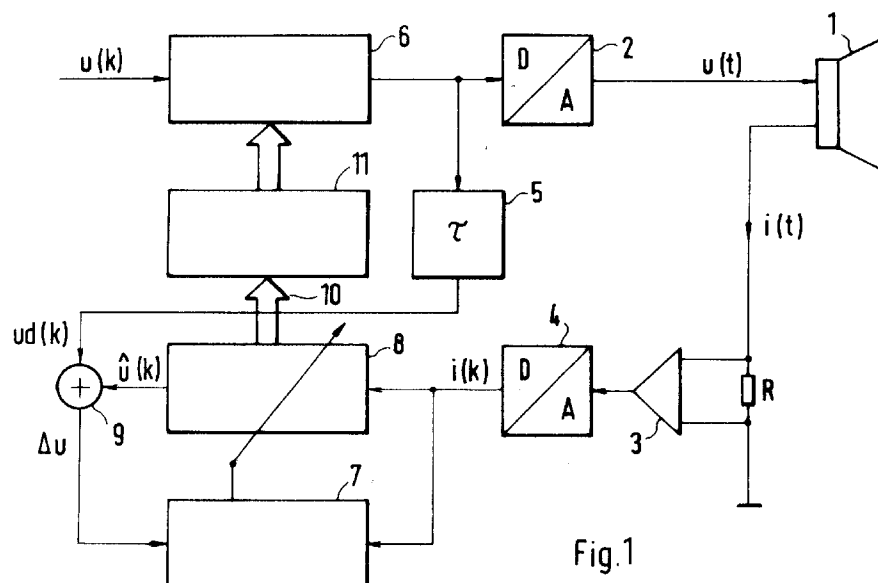


Fig.1

EP 0 835 039 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Korrektur des Frequenzganges eines Schallsenders, der aus einem in einem Gehäuse eingebauten elektroakustischen Wandler besteht. Bei einer derartigen Anordnung treten Eigenresonanzen des elektroakustischen Wandlers und vom Gehäuse abhängige Systemresonanzen im Frequenzgang des Schalldrucks des Schallsenders auf. Wünschenswert ist jedoch, daß bei Ansteuerung des elektroakustischen Wandlers mit konstanter elektrischer Leistung in einem großen Frequenzbereich ein von der Frequenz unabhängiger Schalldruck des Schallsenders entsteht.

Um diesen Zustand zu erreichen, ist ein Verfahren bekannt, das als Maß für die Impedanz des Schallsenders den durch den Schallsender fließenden Strom verwendet, der den Frequenzverlauf der Impedanz des Schallsenders abbildet.

Durch entsprechende Stromgegenkopplung über eine Nachbildung der Eingangsimpedanz des Schallsenders wird eine Linearisierung des Frequenzganges des Schalldrucks erreicht, vgl. DE 38 36 745. Voraussetzung ist allerdings die manuelle Einmessung der Nachbildung der Eingangsimpedanz des Schallsenders.

Das Verfahren ist jedoch ungeeignet, wenn die Übertragung von Sprache und/oder Musik in digitaler Form erfolgt und der Schallsender die letzte analoge Komponente in einer ansonsten digitalen Übertragungskette ist. Die für den Schallsender erforderliche D/A-Wandlung beansprucht eine bestimmte Gruppenlaufzeit, so daß dadurch der auf der analogen Seite des D/A-Wandlers gemessene Strom derart verzögert ist, daß eine zeitgerechte Gegenkopplung wie bei dem zuvor beschriebenen Verfahren nicht möglich ist.

Weiterhin ist ein Verfahren bekannt, bei dem die akustisch zu wandelnde elektrische Eingangsfunktion mit der Eigenfunktion des Schallsenders überlagert wird, wobei die Eingangsfunktion iterativ so lange verändert und mit der Eigenfunktion überlagert wird, bis die Abweichungen der überlagerten Funktion von der unveränderten Eingangsfunktion eine vorgegebene Größe unterschritten haben und daß die auf diese Weise veränderte Eingangsfunktion an den Schallsender übertragen wird, vgl. DE 44 10 671. Mit einem solchen Verfahren wird zwar erreicht, daß die Auswirkungen von Resonanzen kompensiert werden, das Verfahren setzt jedoch voraus, daß die Eigenfunktion des Schallsenders bekannt ist. Da aber elektroakustische Wandler und das System elektroakustischer Wandler und Gehäuse erhebliche Fabrikationstoleranzen haben, wäre eine individuelle Messung der Eigenfunktion des Schallsenders erforderlich, so daß das Verfahren einen beträchtlichen Kostenaufwand verursacht und deshalb für eine Massenproduktion ungeeignet ist.

Daraus resultiert nun die Aufgabe, ein Verfahren zur Korrektur des Frequenzganges eines Schallsenders

anzugeben, mit dem automatisch eine Anpassung an unterschiedliche Eigenschaften von elektroakustischen Wandlern und deren Gehäuse ermöglicht wird.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit dem im ersten Anspruch beschriebenen Verfahren und mit der im fünften Anspruch beschriebenen Anordnung gelöst.

Das Wesen der Erfindung besteht darin, daß in der digitalen Übertragungsstrecke ohnehin vorhandene Mittel zur Echokompensation und zum Freisprechen, insbesondere ein digitaler Signalprozessor, benutzt werden, um zusätzlich ein Kompensationsfilter zu berechnen, das so eingestellt wird, daß störende Resonanzen des Schallsenders im wesentlichen beseitigt werden. Dabei kann die Berechnung des Kompensationsfilters je nach Bedarf in bestimmten Zeitabständen wiederholt werden, um Veränderungen am elektroakustischen Wandler, beispielsweise durch Alterung, oder durch Veränderungen am Wandlergehäuse bei der Berechnung des Kompensationsfilters zu berücksichtigen.

Die Wirkungsweise der Erfindung wird nachstehend an einem Ausführungsbeispiel erläutert. In der dazugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1 ein Schaltbild für eine Schaltungsanordnung mit einer Nachbildung der Lautsprecherimpedanz und

Fig. 2 ein Schaltbild für eine Schaltungsanordnung mit einer Nachbildung der Lautsprecheradmittanz.

Gemäß Fig. 1 besteht die Schaltungsanordnung im wesentlichen aus einem Lautsprecher 1, einem D/A-Wandler 2, einem Widerstand R mit einem Differenzverstärker 3, einem A/D-Wandler 4, einer Verzögerungsschaltung 5 sowie einem Digitalfilter 6 und einer Modellierungsanordnung aus einer Baugruppe zur Durchführung eines NLMS (Normalized Least Mean Square) - Algorithmus 7, einem zu modellierenden System 8, einer Summierschaltung 9 und einer Baugruppe zur Bestimmung der Filterkoeffizienten 11 für das Digitalfilter 6.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht im wesentlichen darauf, daß ein Eingangssignal auf ein unbekanntes System, hier der Lautsprecher 1, und auf das zu modellierende System 8 gegeben wird, daß aus den Ausgangssignalen des unbekannten Systems und des zu modellierenden Systems ein Fehlersignal gebildet wird, das mit einem Adaptionsalgorithmus minimiert wird und daß aus dem so nachgebildeten System ein Digitalfilter 6 derart geschätzt wird, daß eine Linearisierung des Frequenzganges der Kettenschaltung aus Digitalfilter 6 und Lautsprecher 1 erzielt wird.

Das Verfahren wird nunmehr im einzelnen beschrieben.

Um mit dem zu modellierenden System 8 die Eingangsimpedanz eines Lautsprechers 1 als Zeitfunktion nachbilden zu können, müssen Spannung und Strom als Abtastsignale $u(k)$ und $i(k)$ in digitaler Form vorlie-

gen. In modernen Fernsprechengeräten mit einer Freisprecheinrichtung steht die Spannung allgemein in digitaler Form zur Verfügung und gelangt über einen D/A-Wandler 2 als analoge Spannung $u(t)$ zum Lautsprecher 1.

Ein dem analogen Strom $i(t)$ proportionaler Spannungsabfall wird über einem Meßwiderstand R erzeugt, mittels eines Differenzverstärkers 3 verstärkt und durch einen A/D-Wandler 4 als Abtastwert $i(k)$ für die weitere Verarbeitung bereitgestellt. Um die Abtastwerte für die Spannung $u(k)$ und für den Strom $i(k)$ zeitgerecht miteinander verknüpfen zu können, ist es erforderlich, die von dem D/A-Wandler 2 und dem A/D-Wandler 4 verursachten Gruppenlaufzeiten bei der Signalverarbeitung zu berücksichtigen. Dazu wird der Abtastwert der Spannung $u(k)$ mit einer Verzögerungsschaltung 5 um eine Zeit τ verzögert, die gleich der Summe der Gruppenlaufzeit des D/A-Wandlers 2 und der Gruppenlaufzeit des A/D-Wandlers 4 ist. Am Ausgang der Verzögerungsschaltung 5 steht dann der um τ verzögerte Abtastwert der Spannung $ud(k)$ zur Verfügung, der nunmehr mit dem Abtastwert des Stromes $i(k)$ zeitsynchron weiterverarbeitet wird.

Um die Eingangsimpedanz Z des Lautsprechers 1 nachzubilden, wird das zu modellierende System 8 mit dem Abtastwert des Stromes $i(k)$ angesteuert und liefert gemäß

$$\hat{u}(k) = Z i(k)$$

einen Abtastwert der Spannung $\hat{u}(k)$, der von dem Abtastwert der Spannung $u(k)$, mit dem der Lautsprecher 1 angesteuert wird, gemäß

$$\Delta u = u(k) - \hat{u}(k)$$

subtrahiert wird.

Aus dieser Abweichung Δu wird ein Gütekriterium G_u gemäß der folgenden Gleichung abgeleitet:

$$G_u = \frac{\Delta u}{u(k)}$$

Die Eingangsimpedanz Z des unbekannten Systems Lautsprecher 1 wird mit dem zu modellierenden System 8 dadurch ermittelt, daß das Gütekriterium G_u mit einem Adaptionsverfahren nach dem NLMS-Algorithmus minimiert wird. Dazu wird die Baugruppe zur Durchführung des NLMS-Algorithmus 7 sowohl von dem Fehlersignal Δu als auch von dem Abtastwert des Stromes $i(k)$ angesteuert. Der Nachbildungsvorgang der Eingangsimpedanz Z des Lautsprechers 1 mit dem zu modellierenden System 8 gilt als erfolgreich abgeschlossen, wenn das Gütekriterium G_u für eine bestimmte Zeitdauer unter einer definierten Schwelle bleibt.

Um Veränderungen der Eingangsimpedanz Z des Lautsprechers 1 zu erfassen, wird das Approximationsverfahren in definierten Zeitabständen wiederholt. Aus der nachgebildeten Eingangsimpedanz Z des Lautsprechers 1 wird durch eine Fast Fourier Transformation 10 näherungsweise der Frequenzgang der Übertragungsfunktion $E(\omega)$ des Lautsprechers 1 berechnet. Die so geschätzte Übertragungsfunktion $E(\omega)$ stimmt in der Nähe der Resonanzen mit dem vor dem Lautsprecher 1 gemessenen Frequenzgang des Schalldrucks sehr gut überein. Aus der Übertragungsfunktion $E(\omega)$ wird nunmehr der Kehrwert der Übertragungsfunktion $E^{-1}(\omega)$ berechnet.

Mit Hilfe der Baugruppe zur Bestimmung der Filterkoeffizienten 11 werden aus dem Kehrwert der Übertragungsfunktion $E^{-1}(\omega)$ die Filterkoeffizienten für ein Digitalfilter 6 so eingestellt, daß die Verzerrungen des Frequenzgangs der Übertragungsfunktion $E(\omega)$ des Lautsprechers 1 weitgehend beseitigt werden.

In Fig. 2 ist eine Schaltungsanordnung dargestellt, mit der erfindungsgemäß die Eingangsadmittanz Y des Lautsprechers 1 nachgebildet werden kann. Dabei werden Baugruppen verwendet, die bereits bei der Nachbildung der Eingangsimpedanz Z eingesetzt wurden. Sie tragen in Fig. 1 und Fig. 2 gleiche Bezeichnungen.

Um die Eingangsadmittanz Y des Lautsprechers 1 nachzubilden, wird das zu modellierende System 12 mit dem um die Zeit τ verzögerten Abtastwert der Spannung $ud(k)$ angesteuert und liefert gemäß

$$\hat{i}(k) = Y ud(k)$$

einen Abtastwert des Stromes $\hat{i}(k)$, der von dem Abtastwert des Stromes $i(k)$, der durch den Lautsprecher 1 fließt, gemäß

$$\Delta i = i(k) - \hat{i}(k)$$

subtrahiert wird. Aus dieser Abweichung Δi wird ein Gütekriterium gemäß der folgenden Gleichung abgeleitet:

$$G_i = \frac{\Delta i}{i(k)}$$

Die nachfolgenden Verfahrensschritte sind die gleichen, wie sie bei der Ermittlung der Eingangsimpedanz durchgeführt werden, nämlich

- Minimierung des Gütekriteriums G_i durch ein Adaptionsverfahren nach dem NLMS-Algorithmus mit Baugruppe 13,
- aus der nachgebildeten Eingangsadmittanz Y des Lautsprechers 1 wird durch eine Fast Fourier Transformation 14 näherungsweise der Frequenzgang der Übertragungsfunktion $E(\omega)$ des Lautsprechers

1 berechnet,

- daraus wird der Kehrwert des Frequenzganges der Übertragungsfunktion $E^{-1}(\omega)$, und aus diesem wird mit Hilfe der Baugruppe zur Bestimmung der Filterkoeffizienten 15 das Digitalfilter 6 eingestellt.

Für die Realisierung ist es vorteilhaft, die Eingangsadmittanz Y nachzubilden. Die Funktion des zu modellierenden Systems 12 besitzt dann Tiefpaßcharakter und damit weniger Frequenzanteile nahe der Nyquistfrequenz. Somit wird bei gleichem Aufwand das Gütekriterium G_i kleiner als das Gütekriterium G_u , so daß eine bessere Nachbildung der Eingangsadmittanz des Lautsprechers 1 im Vergleich zur Nachbildung der Eingangsimpedanz Z des Lautsprechers 1 erzielt wird.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird auch bei kostengünstigen Lautsprechern der Konsumgüterindustrie eine natürliche Sprach- und Musikwiedergabe erreicht.

Das beim Herstellungsprozeß eines Endgerätes berechnete digitale Filter 6 zur Entzerrung des Frequenzganges der Lautsprecher 1 kann je nach Bedarf in bestimmten Zeitabständen neu berechnet werden, so daß das digitale Filter 6 an alle Veränderungen des Gehäuses, des Lautsprechers und deren Zusammenwirken aktuell angepaßt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Korrektur des Frequenzganges eines Schallsenders (1),

dadurch gekennzeichnet, daß eine Eingangszweipolkenngroße des Schallsenders (1) von einem zu modellierenden System (8, 12) nachgebildet wird, daß daraus eine Übertragungsfunktion ($E(\omega)$) des Schallsenders (1) geschätzt wird und daß aus dem Kehrwert ($E^{-1}(\omega)$) der geschätzten Übertragungsfunktion ($E(\omega)$) des Schallsenders (1) ein digitales Filter (6) derart berechnet wird, daß die Kettenschaltung aus dem digitalen Filter (6) und dem Schallsender (1) einen Frequenzgang der Übertragungsfunktion aufweist, der frei von Resonanzüberhöhungen ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Eingangszweipolkenngroße des Schallsenders (1) die elektrische Eingangsimpedanz (Z) oder die elektrische Eingangsadmittanz (Y) gewählt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangszweipolkenngroße des Schallsenders (1) adaptiv nach dem NLMS-Algorithmus durch die Eingangszweipolkenngroße des zu modellierenden Systems (8, 12) so nachgebildet wird, daß die Abweichung der beiden Eingangs-

zweipolgrößen eine definierte Schwelle unterschreitet.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem zu modellierenden System (8, 12) mittels einer Fast Fourier Transformation (10, 14) die Übertragungsfunktion ($E(\omega)$) des Schallsenders (1) geschätzt wird.

5. Anordnung zur Korrektur des Frequenzganges eines Schallsenders (1), **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Schallsender (1) ein zu modellierendes System (8, 12) parallel geschaltet ist, das über eine Baugruppe zur Bestimmung von Filterkoeffizienten (11, 15) für ein digitales Filter (6) mit dem digitalen Filter (6) verbunden ist, das dem Schallsender (1) vorgeschaltet ist.

6. Anordnung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Schallsender (1) über einen Digital/Analog-Wandler (2) mit dem digitalen Filter (6) verbunden ist und daß das zu modellierende System (8, 12) über einen Analog/Digital-Wandler (3) mit dem Schallsender (1) verbunden ist.

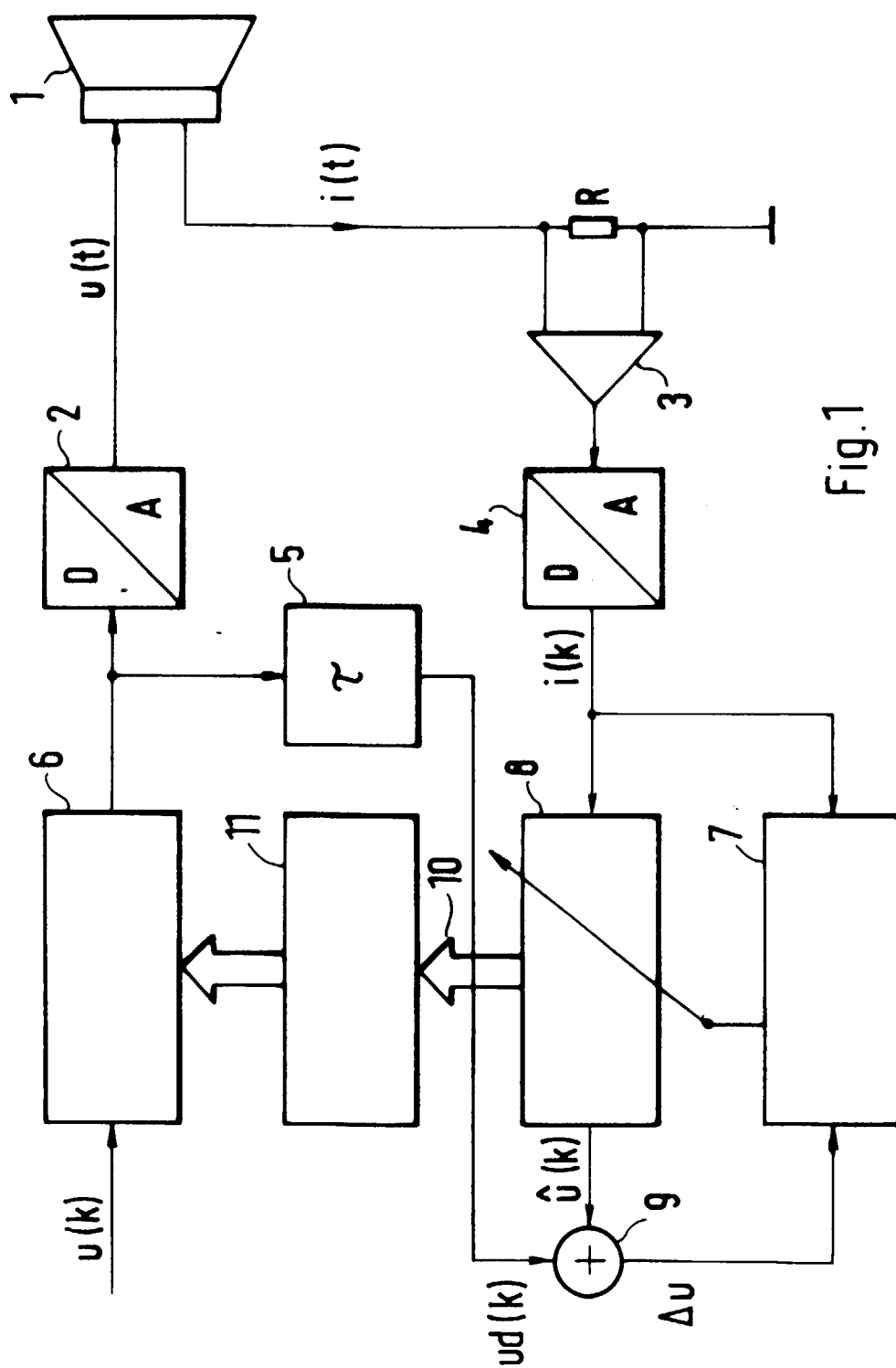


Fig.1

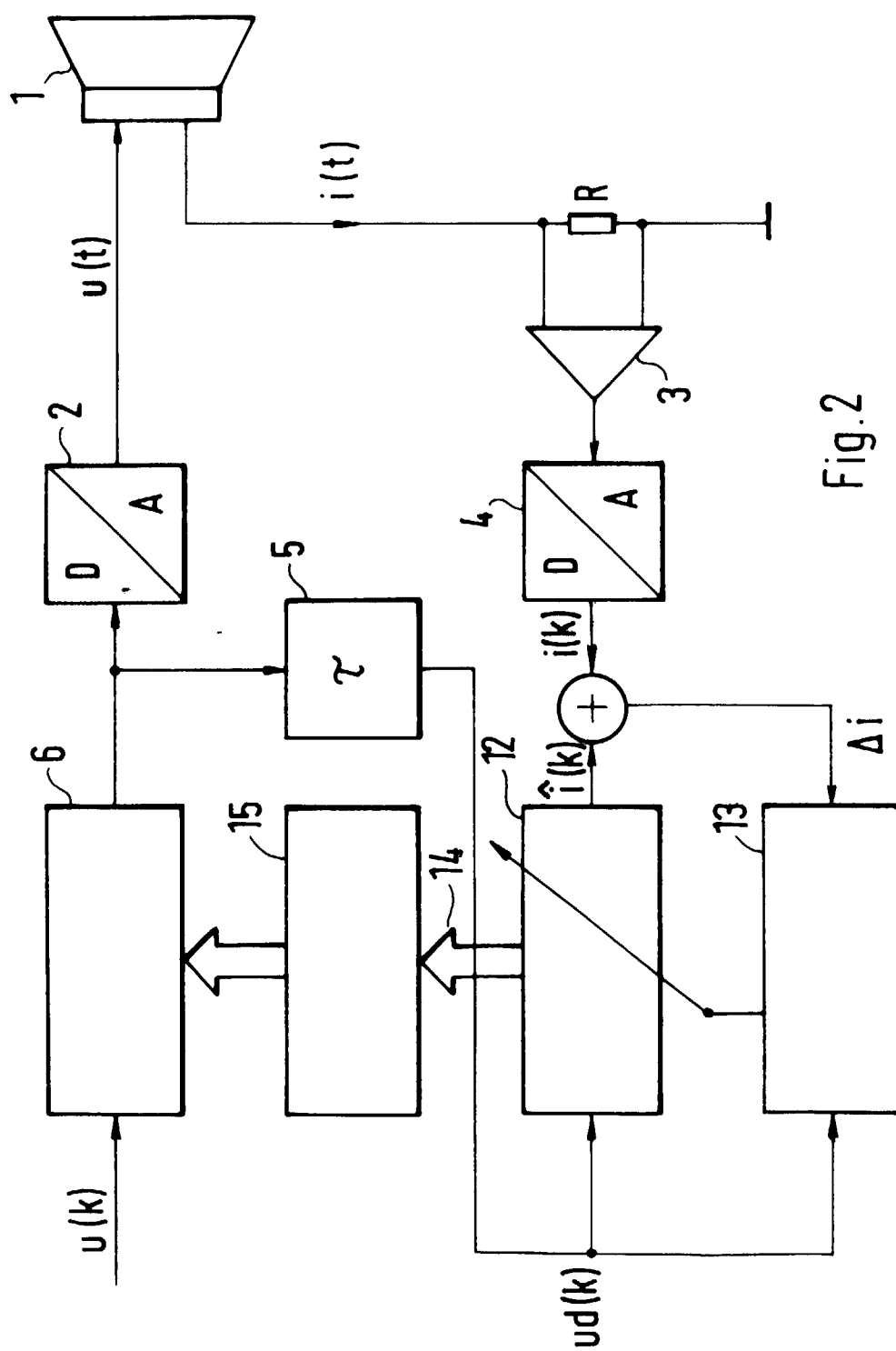


Fig. 2