



(10) **DE 10 2015 209 160 A1** 2016.11.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 209 160.0**

(22) Anmeldetag: **20.05.2015**

(43) Offenlegungstag: **24.11.2016**

(51) Int Cl.: **G06F 17/50** (2006.01)

G10K 11/16 (2006.01)

G10K 15/02 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft,
80809 München, DE**

(72) Erfinder:

Rachor, Julius, 80807 München, DE

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verbessertes Simulationsverfahren zum Auslegen einer aktiven Abgasanlage**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung offenbart ein computerimplementiertes Simulationsverfahren zum Simulieren einer Abgasanlage mit einer aktiven Geräuschdämmung:

– Modellieren der akustischen Eigenschaften der Abgasanlage;

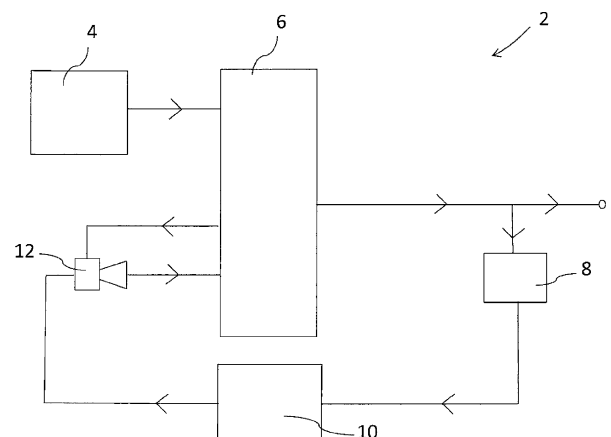
– Modellieren der Schallabgabe eines Verbrennungsmotors in die daran angeschlossene Abgasanlage als Eingangssignal für die Simulation;

– Modellieren der akustischen Eigenschaften zumindest eines Sensors, der ein akustisches Signal der Abgasanlage erfasst;

– Modellieren der akustischen Eigenschaften zumindest eines Aktors, der ein akustisches Signal in die Abgasanlage abgibt;

– Modellieren eines Dämpfungsalgorithmus, der die Abgabe des akustischen Signals des Aktors auf Grundlage des vom Sensor erfassten akustischen Signal steuert; und

– Ermitteln des durch die Abgasanlage abgegebenen Geräusches als Ausgangssignal der Simulation in Abhängigkeit der modellierten Schallabgabe des Verbrennungsmotors in die Abgasanlage, der akustischen Eigenschaften des Sensors, des Dämpfungsalgorithmus und des akustischen Signals, das der Aktor in die Abgasanlage abgibt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein verbessertes Verfahren zum Auslegen einer aktiven Abgasanlage insbesondere für ein Kraftfahrzeug.

[0002] Ein Verbrennungsmotor, beispielsweise ein Hubkolbenmotor, erfordert für seinen umweltgerechten Betrieb eine Abgasanlage. Eine Abgasanlage transportiert das heiße Abgas vom Motor ab. Die Abgasanlage dämpft den pulsierenden Gasstrom, der vom Motor abgegeben wird. Dieser pulsierende Abgasstrom muss gedämpft werden und auf eine umweltverträgliche Schallemission reduziert werden. Bei modernen Fahrzeugen hängt ferner die akustische Ausprägung der Antriebsakustik wesentlich von der Gestaltung der Abgasanlage ab.

[0003] Die zunehmenden Anforderungen hinsichtlich Verbrauch und Leistung moderner Verbrennungsmotoren führen zu höheren Leistungsdichten, d. h. zu mehr Motorleistung bei weniger Hubraum bzw. weniger Zylindern, was auch als Downsizing bezeichnet wird. Dies bedeutet, dass in akustischer Hinsicht in einer Abgasanlage Anregungen mit einer höheren Amplitude und einer niedrigeren Frequenz gedämpft werden müssen. Um derartige Anregungen ausreichend gut dämpfen zu können, sind entweder größere Schalldämpfervolumen oder kleinere Rohrdurchmesser erforderlich. Dies stellt jedoch einen Zielkonflikt mit den Anforderungen wie Gegendruckoptimierung, Verbrauchsoptimierung, Leistungsoptimierung und Bauraumoptimierung dar.

[0004] Es sind aktive Abgasanlagen bekannt, die Schallanteile gezielt reduzieren.

[0005] Herkömmliche, passive Abgasanlagen können mittels geeigneter Simulationswerkzeuge ausgelegt werden. Für die Auslegung einer aktiven Abgasanlage sind derzeit keine Werkzeuge vorhanden. Dadurch ist es für den Fachmann schwierig, in einer frühen Entwicklungsphase Aussagen über das System zu treffen.

[0006] Die Erfindung stellt sich daher zur Aufgabe, ein Simulationsverfahren für eine aktive Abgasanlage für einen Verbrennungsmotor zu schaffen.

[0007] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein computerimplementiertes Simulationsverfahren nach Anspruch 1 gelöst. Die abhängigen Ansprüche beanspruchen bevorzugte Ausführungsformen.

[0008] Das computerimplementierte Simulationsverfahren zum Simulieren einer Abgasanlage mit einer aktiven Geräuschkämpfung umfasst das Modellieren der akustischen Eigenschaften der Abgasanlage, das Modellieren der Schallabgabe eines Verbrennungsmotors in die daran angeschlossene Ab-

gasanlage als Eingangssignal für die Simulation, beispielsweise unter Berücksichtigung der entsprechenden akustischen Quellimpedanz des Motors bzw. Lastimpedanz der Abgasanlage, das Modellieren der akustischen Eigenschaften zumindest eines Sensors, der ein akustisches Signal der Abgasanlage erfasst, das Modellieren der akustischen Eigenschaften zumindest eines Aktors, der ein akustisches Signal in die Abgasanlage abgibt und das Modellieren eines Dämpfungsalgorithmus, der die Abgabe des akustischen Signals des Aktors auf Grundlage des vom Sensor erfassten akustischen Signal steuert. Dabei werden beispielsweise akustisch relevante Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur, Dichte und Strömungsgeschwindigkeit des Abgases berücksichtigt, welche sich je nach Betriebspunkt des Motors in der Abgasanlage ausbilden. Der Verbrennungsmotor kann ein Hubkolbenmotor mit gesteuerten Auslassventilen sein.

[0009] Das computerimplementierte Simulationsverfahren ermittelt das durch die Abgasanlage abgegebene Geräusch als Ausgangssignal der Simulation in Abhängigkeit der modellierten Schallabgabe des Verbrennungsmotors in die Abgasanlage, der akustischen Eigenschaften des Sensors, des Dämpfungsalgorithmus und des akustischen Signals, das der Aktor in die Abgasanlage abgibt. Das computerimplementierte Simulationsverfahren kann beim Ermitteln des Ausgangssignals der Simulation auch die akustischen Eigenschaften der (aktiven) Abgasanlage ermitteln. Das computerimplementierte Simulationsverfahren ermittelt neben der akustischen Emission des Gesamtsystems auch die elektrische Leistungsaufnahme des Aktors unter Berücksichtigung der elektrischen, mechanischen, geometrischen und regelungstechnischen Eigenschaften des Gesamtmodells. Das computerimplementierte Simulationsverfahren wird von einem handelsüblichen Computer mit einem Speicher und einem Prozessor ausgeführt.

[0010] Herkömmliche Abgasmodelle werden erfindungsgemäß um mehrere aktive Komponenten erweitert, die beispielsweise elektrische, elektromechanische sowie elektroakustische Komponenten umfassen und ferner eine Signalverarbeitungseinheit umfassen, die einen Regelungsalgorithmus implementieren. Durch diese zusätzlichen Elemente wird ein zur Motoranregung gegenphasiges Sekundärsignal berechnet und in die herkömmliche Abgasanlage eingekoppelt. Die zusätzlichen aktiven Elemente können entweder in das verwendete Gasdynamiksimulationssystem eingebunden werden oder aber über eine Schnittstelle mit einem zweiten Simulationstool im Sinne einer Co-Simulation gekoppelt werden.

[0011] Ausgangspunkt der Simulation ist ein Modell des Verbrennungsmotors, das den Ladungswechselprozess des Motors in allen gasdynamisch relevanten physikalischen Größen in einem eindimensiona-

len Modell abbildet. An dieses Motormodell können virtuell Abgasanlagenkonfigurationen, beispielsweise in geometrische Varianten, angeschlossen werden und Aussagen hinsichtlich Schallemission und Abgasgegendruck erzeugt werden. Das Abgasanlagenmodell wird erfindungsgemäß um elektroakustische regelungstechnische Elemente erweitert. So kann der Aktor in seinen elektrischen, mechanischen und akustischen Eigenschaften abgebildet werden. Dies geschieht durch die Parametrierung des Aktormodells durch so genannte Thiele-Small-Parameter, die entweder aus messtechnischen Versuchen am Aktortreiber oder aus Herstellerangaben abgeleitet werden können. Bei der Implementierung des Aktormodells wird nicht nur der Schallfluss berücksichtigt, der durch den Aktor in die Abgasanlage eingekoppelt wird, sondern auch die Rückwirkungen auf den Aktor, die durch die Druckfelder entstehen, die sich in der Abgasanlage durch die primäre und sekundäre Schallanregung ausbilden. Die komplexe Übertragungsfunktion des Drucksensors wird ebenfalls messtechnisch bestimmt und unter der Berücksichtigung weiterer Eigenschaften, beispielsweise Messbereich, Auflösung und Messungenauigkeiten in das Gesamtmodell implementiert. Die Auslegung der aktiven Abgasanlage erfolgt dann im Gesamtverbund durch Variation der elektrischen, mechanischen, geometrischen und gasdynamischen Parameter. Je nach Zielvorgabe wird so das Gesamtsystem bezüglich Akustik, Bauraum oder Abgasgegendruck optimiert.

[0012] Das Modellieren der akustischen Eigenschaften des Sensors kann das Modellieren der Abmessungen des Sensors, der Geometrie des Sensors, der mechanischen Eigenschaften des Sensors, der elektrischen Eigenschaften des Sensors, eines Filters mit einer endlichen Impulsantwort, eines Filters mit einer unendlichen Impulsantwort, eines zeitdiskreten Modells des Sensors und/oder eines zeitkontinuierlichen Modells des Sensors umfassen.

[0013] Das Modellieren der akustischen Eigenschaften des Aktors kann das Modellieren der Abmessungen des Aktors, der Geometrie des Aktors, der mechanischen Eigenschaften des Aktors, der elektrischen Eigenschaften des Aktors, eines Filters mit einer endlichen Impulsantwort, eines Filters mit einer unendlichen Impulsantwort, eines zeitdiskreten Modells des Aktors und/oder eines zeitkontinuierlichen Modells des Aktors umfassen.

[0014] Das Modellieren des Dämpfungsalgorithmus kann das Modellieren eines Filters mit einer endlichen Impulsantwort, eines Filters mit einer unendlichen Impulsantwort, eines zeitdiskreten Modells des Dämpfungsalgorithmus und/oder eines zeitkontinuierlichen Modells des Dämpfungsalgorithmus umfassen.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst auch den Schritt des Ermitteln des durch die Abgas-

anlage abgegebenen Geräusches mittels der Methode der finiten Differenzen im Zeitbereich.

[0016] Die gesamte Gasdynamik und die akustische Wellenausbreitung mit allen relevanten physikalischen Größen, beispielsweise Druck, Dichte, Temperatur und Flussgeschwindigkeit wird durch die nicht lineare Simulationsumgebung im Zeitbereich gelöst. Dabei werden die Gradienten der Zustandsgrößen durch Differenzen benachbarter ortsdiskreter Punkte approximiert.

[0017] Der Dämpfungsalgorithmus kann ein Signal erzeugen, das zur Schallabgabe des Motors gegenphasig ist. Das Dämpfungssignal kann mittels eines ANC-Regelkreises (ANC – Active Noise Control – aktive Geräuschsteuerung) erzeugt werden.

[0018] Die Schritte des Modellierens der akustischen Eigenschaften zumindest eines Sensors, der ein akustisches Signal der Abgasanlage erfasst, des Modellierens der akustischen Eigenschaften des zumindest einen Aktors, der ein akustisches Signal in die Abgasanlage abgibt und des Modellierens des Dämpfungsalgorithmus der die Abgabe des akustischen Signals des Aktors auf Grundlage des vom Sensor erfassten akustischen Signals steuert, können in einer Co-Simulation simuliert werden.

[0019] Der Schritt des Ermitteln des durch die Abgasanlage abgegebenen Geräusches als Ausgangssignal der Simulation kann auf Grundlage der Gasdynamik in der Abgasanlage durchgeführt werden.

[0020] Das Verfahren kann ferner den Schritt des Modellierens der Auswirkungen der Gasdynamik in der Abgasanlage auf den Aktor umfassen. Dadurch kann berücksichtigt werden, inwiefern sich die Eigenschaften des Aktors beispielsweise aufgrund des Druckes in der Abgasanlage und/oder aufgrund des pulsierenden Gases in der Abgasanlage, verändern. Ein vor der Membran des Aktors herrschendes zeitabhängiges Schalldruckfeld kann die Bewegung der Membran sowohl hemmen als auch verstärken. Dadurch ändert sich permanent die Abstrahlimpedanz des Aktors in die Abgasanlage und somit die eingekoppelte Schallenergie.

[0021] Zudem kann es bei der Ankoppelung des Aktors aufgrund des Abgasstroms zu einem statischen Überdruck oder Unterdruck vor der Membran kommen, die die Nulllage der Aktormembran verschieben und ungewollt vorspannen würde. Dies kann im späteren Betrieb zu Verzerrungen führen und muss deswegen von der Simulation mit berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wird der Druck vor der Membran in jedem Iterationsschritt als Kraft beim Schritt des Berücksichtigens der Verschiebung der Ruhelage einer Membran des Aktors aufgrund eines simulierten Drucks in der Abgasanlage zurückgekoppelt.

[0022] Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die beigefügte Figur detaillierter und nicht beschränkend beschrieben, wobei

[0023] Fig. 1 einen Signalfussplan des Simulationsverfahrens zeigt.

[0024] Ein Modell eines Verbrennungsmotors **4** gibt ein virtuelles bzw. simuliertes Signal an ein Modell einer Abgasanlage **6** ab, die als Ausgangsgeräusch ein simuliertes Geräusch abgibt. Gleichzeitig wird die Rückwirkung durch die Abgasanlage auf den Motor berücksichtigt. Das simulierte Geräusch wird in einem Modell eines Sensors **8** eingespeist, der ein Eingangssignal für einen Dämpfungsalgorithmus **10** erzeugt. Der Dämpfungsalgorithmus **10** erzeugt ein Dämpfungssignal, das einem Modell für einen Aktor **12** übergeben wird. Das Modell des Aktors **12** erzeugt ein simuliertes Ausgangssignal, das ebenso wie das simulierte Ausgangssignal des Verbrennungsmotors **4** als Eingangsgröße für das Modell der Abgasanlage **6** dient. Das Modell des Verbrennungsmotors **4** kann einen Hubkolbenmotor mit gesteuerten Einlassventilen und Auslassventilen aufweisen.

[0025] Das Simulationsprogramm kann beispielsweise ein herkömmliches Programm sein, das zur Berechnung der Gasdynamik von Verbrennungsmotoren, deren Ansaugakustik und/oder deren Abgasanlagenakustik verwendet wird. Ein derartiges herkömmliches Programm kann beispielsweise auf einer Berechnung im Zeitbereich basieren, beispielsweise mittels der Methode der finiten Differenzen im Zeitbereich. Der Verbrennungsmotor **4** wird auf herkömmliche Weise modelliert.

[0026] Der Verbrennungsmotor wird mit allen Zylindern, deren Ladungswechselorganen sowie Verbrennungsverlauf modelliert. Das Ergebnis der Simulation ist dann der komplette Arbeitsprozess des Motors inklusive Ladungswechsel und Verbrennung, was die relevanten Arbeitsprozessgrößen wie Druck, Temperatur, Energieumsetzung etc. liefert. Das Druckpotential im Zylinder liefert beim Öffnen der Auslassventile die erforderliche Volumenstromanregung der angeschlossenen Abgasanlage.

[0027] Auch die Abgasanlage **6** kann auf herkömmlicher Weise modelliert werden. Das an das Motormodell angeschlossene Abgasanlagenmodell wird unter Berücksichtigung der geometrischen Ausgestaltung unterteilt in gasführende Rohre und Schalldämpfer in Subelemente geringer Länge diskretisiert. Die Diskretisierung erfolgt in der Regel durch Preprozessoren auf Basis von Geometriedaten, welche häufig Bestandteil der Simulationsprogramme sind. Die Druckdynamik, Temperaturdynamik und Volumenstromdynamik wird für jedes Diskretisierungselement der Abgasanlage ermittelt, so dass am Ende der Abgasan-

lage im Mündungsquerschnitt die Schallemission in die Umgebung als Quellgröße bereit steht.

[0028] Um die physikalischen Mechanismen möglichst realistisch nachzubilden, kann in einem ersten Schritt ein Modell des zu verwendenden Aktors **12**, beispielsweise eines elektroakustischen Aktors, erstellt werden. Das Modell kann alle relevanten elektrischen, geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Aktors **12** abbilden. Diese Eigenschaften bzw. Parameter des Aktors **12** können beispielsweise durch Abmessungen und/oder Versuche mit den Bauteilen des Aktors **12** oder aus Angaben des Herstellers hervorgehen. Wird beispielsweise ein elektrodynamischer Lautsprecher als Aktor eingesetzt, können diese Eigenschaften bzw. Parameter beispielsweise in Form der im Lautsprecherbau üblichen „Thiele-Small-Parameter“ eingesetzt werden.

[0029] Das Modell des Aktors kann schließlich in ein zeitkontinuierliches oder zeitdiskretes Modell transformiert werden. Dies kann mittels eines digitalen Filters erfolgen, beispielsweise eines Filters mit einer endlichen Impulsantwort (FIR-Filter), eines Filters mit einer unendlichen Impulsantwort (IIR-Filter). Wesentlich ist dabei auch, dass die Rückwirkung der Abgasanlage **6** auf den Aktor **12**, wie im schematischen Signalfussplan von Fig. 1 gezeigt ist, berücksichtigt wird. Beispielsweise kann der Druck oder Druckschwankungen, beispielsweise Turbulenzen, die Eigenschaften des Aktors **12** beeinflussen.

[0030] Das Aktormodell besteht aus einem elektrischen und einem mechanischen Submodell. Das elektrische Submodell, beispielsweise elektromagnetischer Treiber, umfasst ein elektrisches Spannungssignal als Eingangsgröße und eine magnetische (Lorentz-)Kraft als Ausgangsgröße. Das mechanische Submodell, beispielsweise der schwingungsfähige Membran, hat eine mechanische Kraft als Eingangsgröße und die Membrangeschwindigkeit als Ausgangsgröße. Die Rückwirkung des Druckfeldes in der Abgasanlage auf den Aktor wird durch die vorzeichenrichtige Addition der Druckkraft vor der Membran auf die treibende Lorentz-Kraft des elektrischen Subsystems erreicht.

[0031] Auf ähnliche Weise kann der für die aktive Geräuschregelung (ANC-Regelung Active Noise Control) erforderlicher Sensor **8** implementiert werden. Beispielsweise kann der Sensor **8** ein Drucksensor sein. Alle relevanten elektrischen, geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Modells des Sensors **8** können auf dessen Abmessungen oder Angaben des Herstellers beruhen. Eventuelle Ungenauigkeiten des Sensors können durch ein Amplitudenrauschen und/oder ein Phasenrauschen modelliert werden, um die Auswirkungen auf die Wirkung des gesamten Abgassystems **1** zu untersuchen und den Sensor **8** möglichst realistisch nachzubilden.

[0032] Der Dämpfungsalgorithmus **10**, der den Algorithmus für die aktive Geräuschregelung implementiert, kann ähnlich wie der Sensor **8** und der Aktor **12** modelliert werden, beispielsweise mittels eines Algorithmus der kleinsten Quadrate. Während der Simulation können unterschiedliche Dämpfungsalgorithmen verwendet werden und diese parametrisiert werden. Der aktive Geräuschregelungsalgorithmus kann beispielsweise ein nicht linearer Algorithmus sein.

[0033] Verwendet wird beispielsweise ein LMS- bzw. ein FxLMS-Algorithmus. Dabei kann durch die Vorfilterung und Skalierung des Fehlersignals jede Ordnung auf einen Zielpiegel geregelt (d. h. gemindert oder Verstärkt) werden.

[0034] Die vorliegende Erfindung kann verwendet werden, um einen gewünschten Klang des Kraftfahrzeuges zu simulieren, was auch als Sound Design bezeichnet wird.

[0035] Die vorliegende Erfindung hat den Vorteil, dass eine aktive Geräuschregelung zuverlässig und mit vergleichsweise wenig Aufwand für einen Verbrennungsmotor mit einem reduzierten Volumen und/oder einer reduzierten Zylinderanzahl trotz im Wesentlichen gleich bleibender Leistung bzw. Drehmomentes simulieren werden kann.

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Simulationsverfahren zum Simulieren einer Abgasanlage mit einer aktiven Geräuschdämmung:

- Modellieren der akustischen Eigenschaften der Abgasanlage (**6**);
- Modellieren der Schallabgabe eines Verbrennungsmotors (**4**) in die daran angeschlossene Abgasanlage (**6**) als Eingangssignal für die Simulation;
- Modellieren der akustischen Eigenschaften zumindest eines Sensors (**8**), der ein akustisches Signal der Abgasanlage (**6**) erfasst;
- Modellieren der akustischen Eigenschaften zumindest eines Aktors (**12**), der ein akustisches Signal in die Abgasanlage abgibt;
- Modellieren eines Dämpfungsalgorithmus (**10**), der die Abgabe des akustischen Signals des Aktors (**12**) auf Grundlage des vom Sensor (**8**) erfassten akustischen Signal steuert; und
- Ermitteln des durch die Abgasanlage (**6**) abgegebenen Geräusches als Ausgangssignal der Simulation in Abhängigkeit der modellierten Schallabgabe des Verbrennungsmotors (**4**) in die Abgasanlage (**6**), der akustischen Eigenschaften des Sensors (**8**), des Dämpfungsalgorithmus (**10**) und des akustischen Signals, das der Aktor (**12**) in die Abgasanlage (**6**) abgibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Modellieren der akustischen Ei-

genschaften des Sensor (**8**) zumindest eines von Folgendem umfasst:

- Modellieren der Abmessungen des Sensors (**8**);
- Modellieren der Geometrie des Sensors (**8**);
- Modellieren der mechanischen Eigenschaften des Sensors (**8**);
- Modellieren der elektrischen Eigenschaften des Sensors (**8**);
- Modellieren eines Filters mit einer endlichen Impulsantwort;
- Modellieren eines Filters mit einer unendlichen Impulsantwort;
- Modellieren eines zeitdiskreten Modells des Sensors (**8**);
- Modellieren eines zeitkontinuierlichen Modells des Sensors (**8**).

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Modellieren der akustischen Eigenschaften des Aktors (**12**) zumindest eines von Folgendem umfasst:

- Modellieren der Abmessungen des Aktors (**12**);
- Modellieren der Geometrie des Aktors (**12**);
- Modellieren der mechanischen Eigenschaften des Aktors (**12**);
- Modellieren der elektrischen Eigenschaften des Aktors (**12**);
- Modellieren eines Filters mit einer endlichen Impulsantwort;
- Modellieren eines Filters mit einer unendlichen Impulsantwort;
- Modellieren eines zeitdiskreten Modells des Aktors (**12**);
- Modellieren eines zeitkontinuierlichen Modells des Aktors (**12**).

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Modellieren Dämpfungsalgorithmus (**10**) zumindest eines von Folgendem umfasst:

- Modellieren eines Filters mit einer endlichen Impulsantwort;
- Modellieren eines Filters mit einer unendlichen Impulsantwort;
- Modellieren eines zeitdiskreten Modells des Dämpfungsalgorithmus (**10**);
- Modellieren eines zeitkontinuierlichen Modells des Dämpfungsalgorithmus (**10**).

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schritt des Ermitteln des durch die Abgasanlage (**6**) abgegebenen Geräusches mittels der Methode der finiten Differenzen im Zeitbereich durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Schritte 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Dämpfungsalgorithmus (**10**) ein Signal erzeugt, das zur Schallabgabe des Motors (**4**) gegenphasig ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schritte des Modellierens der akustischen Eigenschaften zumindest eines Sensors, der ein akustisches Signal der Abgasanlage erfasst, des Modellierens der akustischen Eigenschaften des zumindest einen Aktors, der ein akustisches Signal in die Abgasanlage abgibt und des Modellierens des Dämpfungsalgorithmus, der die Abgabe des akustischen Signals des Aktors auf Grundlage des vom Sensor erfassten akustischen Signals steuert, in einer Co-Simulation simuliert werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schritt des Ermitteln des durch die Abgasanlage abgegebenen Geräusches als Ausgangssignal der Simulation auf Grundlage der Gasdynamik in der Abgasanlage (6) durchgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch den Schritt des Modellierens der Auswirkungen der Gasdynamik in der Abgasanlage (6) auf den Aktor (12).

10. Verfahren nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch den Schritt des Berücksichtigens der Verschiebung der Ruhelage einer Membran des Aktors (12) aufgrund eines simulierten Drucks in der Abgasanlage (6).

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

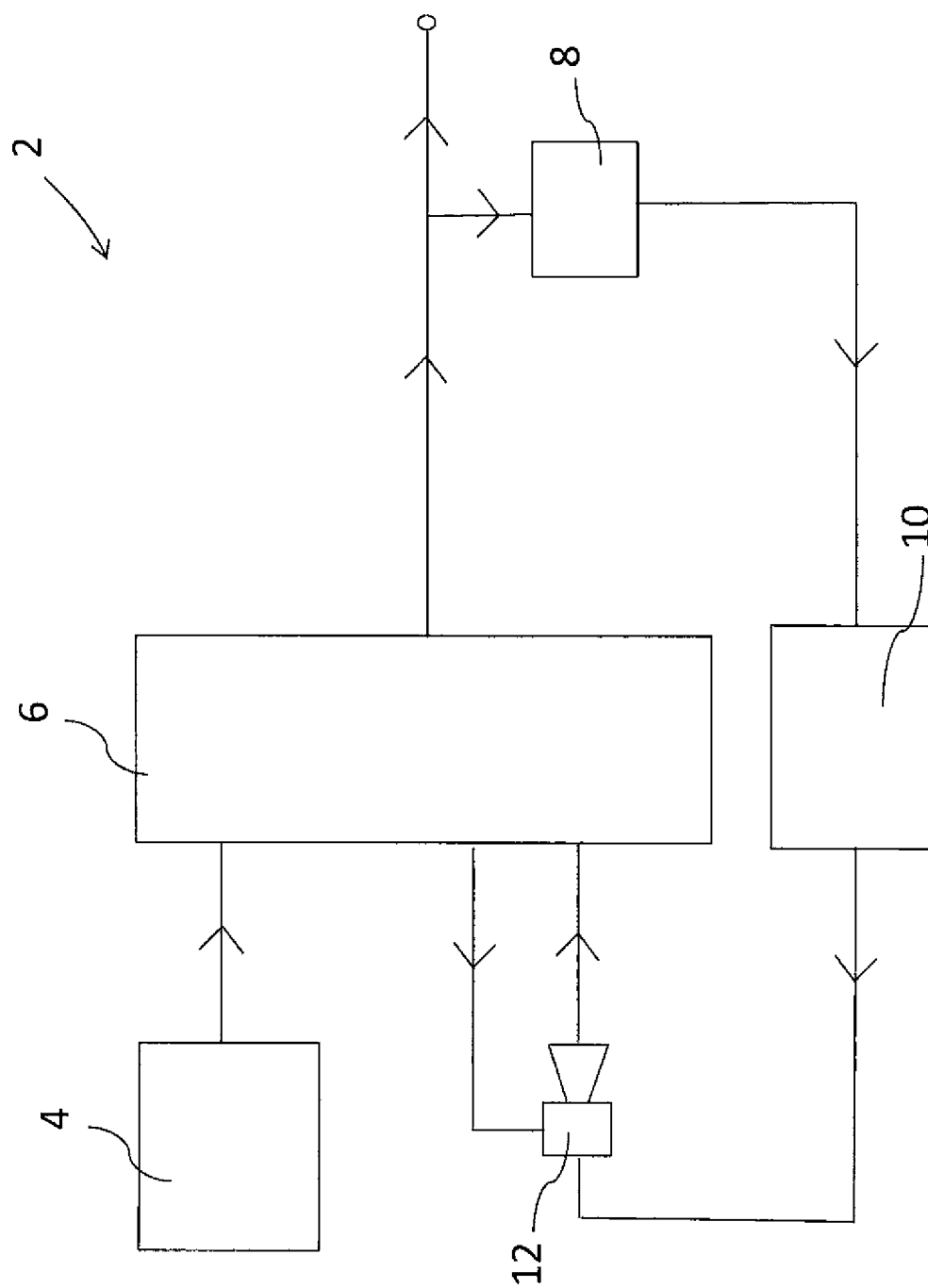


Fig. 1