

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) EP 0 774 749 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
21.05.1997 Patentblatt 1997/21

(51) Int. Cl.⁶: G10K 11/178

(21) Anmeldenummer: 96116233.6

(22) Anmeldetag: 10.10.1996

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE ES FR GB IT SE

(30) Priorität: 18.11.1995 DE 19543128

(71) Anmelder: Bayerische Motoren Werke
Aktiengesellschaft
80788 München (DE)

(72) Erfinder:
• Spannheimer, Helmut
85630 Neukeferloh (DE)
• Waldinger, Johannes
81243 München (DE)

(74) Vertreter: Bücken, Helmut
Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft
Patentabteilung AJ-3
80788 München (DE)

(54) Aktives Schallabsorptionssystem für ein Kraftfahrzeug

(57) Bei einem aktiven Schallabsorptionssystem für ein Kraftfahrzeug mit zumindest einem Lautsprecher zur Erzeugung von Schalldruck, der von einem als Eingangsgroße den Schalldruck im Innenraum verarbeitenden Regler angesteuert wird, wird ein zuverlässiges Kriterium erfaßt, das eine genaue Aussage über die Wirksamkeit bzw. Anfachung des Systems zuläßt, um damit die optimale Verstärkung einzustellen und den Fall der wesentlich zu großen Verstärkung, der zur Regelkreisinstabilität führt, zu vermeiden. Hierzu wird zeitweilig die Regler-Verstärkung verändert, wobei mit den verschiedenen Regler-Verstärkungen die Differenz der jeweiligen Schalldruckspektren gebildet wird und die optimale Regler-Verstärkung im Hinblick auf eine gewisse Differenz eingestellt wird.

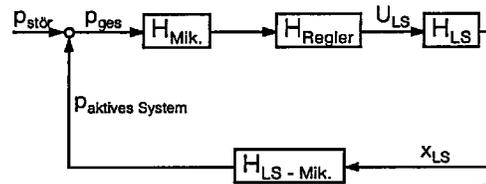


Fig. 2

EP 0 774 749 A2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein aktives Schallabsorptionssystem, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit zumindest einem Lautsprecher zur Erzeugung von Schalldruck, der von einem als Eingangsgröße den Schalldruck im Kraftfahrzeug-Innenraum verarbeitenden Regler angesteuert wird. Zum bekannten Stand der Technik wird beispielshalber auf die DE 42 26 885 A1 verwiesen, sowie auf die noch nicht veröffentlichte deutsche Patentanmeldung 44 46 080, die eine vorteilhafte Weiterbildung des in der erstgenannten Schritt beschriebenen Schallabsorptionssystems beinhaltet. In diesem Zusammenhang soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß sich die vorliegende Erfindung auf jedes aktive Schallabsorptionssystem insbesondere für ein Kraftfahrzeug bezieht und nicht auf einen sog. aktiven Helmholtz-Resonator, der Inhalt der erstgenannten Schritt ist, beschränkt ist.

Ein aktives Schallabsorptionssystem für ein Kraftfahrzeug besteht im wesentlichen aus zumindest einem Mikrofon als Sensor zur Erfassung des Schalldruckes im Fahrzeug-Innenraum. Das Ausgangssignal dieses Mikrophones wird dann über einen Regler mit einem geeigneten Frequenzgang zumindest einem Lautsprecher zugeführt, der daraufhin Schall in den Fahrzeug-Innenraum abstrahlt, der über das Übertragungsverhalten des Lautsprecher zum Mikrofon rückkoppelt. Einen grundsätzlichen Aufbau eines derartigen aktiven Schallabsorptionssystems zeigt Fig. 1. Dabei ist mit der Bezugsziffer 11 ein Schalldrucksensor oder auch Mikrofon bezeichnet, der Regler trägt die Bezugsziffer 12 und der Lautsprecher die Bezugsziffer 13. Der eben beschriebene Regelkreis dieses aktiven Schallabsorptionssystems ist in Fig. 2 dargestellt. Dabei bezeichnet $p_{\text{stör}}$ den störenden Schalldruck im Fahrzeug-Innenraum, $p_{\text{aktives System}}$ den Schalldruck, der vom aktiven Schallabsorptionssystem erzeugt wird, sowie p_{ges} den tatsächlichen Schalldruck im Fahrzeug-Innenraum. Mit H_{Mik} ist die Übertragungsfunktion des Mikrophons bezeichnet, mit H_{Regler} die Übertragungsfunktion des Reglers und mit H_{LS} die Übertragungsfunktion des Lautsprechers. Wie ersichtlich gibt der Regler 12 ein Ausgangssignal ab, das Eingangsgröße für den Lautsprecher 13 ist, diese Eingangsgröße ist dabei die am Lautsprecher angelegte Spannung, nämlich U_{LS} . Im Sinne eines Regelkreises wirkt sich die Membranauslenkung des Lautsprechers, die mit x_{LS} bezeichnet ist, über die Übertragungsfunktion $H_{\text{LS-Mik}}$ als der bereits eingangs genannte Schalldruck $p_{\text{aktives System}}$ rückkoppelnd im Regelkreis aus. Dabei müssen für eine wirkungsvolle Schallabsorption im gesamten Regelkreis gewisse Stabilitätsbedingungen erfüllt sein, die wesentlich von den eben genannten Übertragungsfunktionen der einzelnen Regelkreisglieder abhängen.

Der beschriebene Regelkreis bzw. der Regler 12 kann zunächst auf einfache Weise derart ausgelegt werden, daß sich das gewünschte schalldrucksenkende Verhalten einstellt. Diese grundlegende Auslegung ist

jedoch nur so lange gültig, als die Übertragungsglieder des Regelkreises die bei der Auslegung ermittelten Eigenschaften aufweisen. Über die Dauer des Betriebes eines derartigen aktiven Schallabsorptionssystems ist es aber nicht gewährleistet, daß diese Eigenschaften der einzelnen Übertragungsglieder auch konstant bleiben. So ändern sich beispielsweise die Parameter des Lautsprechers 13 oder des Mikrophones 11 erheblich mit deren Temperatur oder auch durch Alterung. Auch kann das Übertragungsverhalten $H_{\text{LS-Mik}}$ erheblich variieren, beispielsweise durch verschiedene Beladungs- oder Besetzungszustände des Kraftfahrzeuges. Tatsächlich ist es von wesentlichem Einfluß, wieviele Personen beispielsweise sich im Innenraum des Kraftfahrzeuges befinden. Diese möglichen Variationen können dazu führen, daß sich die Eigenschaften des gesamten Regelkreises so weit ändern, daß das aktive System unwirksam wird oder daß schlimmstenfalls sogar der Schalldruck p_{ges} im Fahrzeug-Innenraum erhöht wird. In diesem Falle könnten sogar instabile Rückkopplungen auftreten.

Um die eben genannten Fehlfunktionen des Regelkreises so gut als möglich auszuschließen, könnte grundsätzlich die gesamte Übertragungstrecke inklusive aller Regelkreisglieder immer wieder neu eingemessen werden. Dies bedingt jedoch das Einspielen eines geeigneten Anregungssignales. Letzteres muß selbstverständlich hörbar sein und kann daher zum einen die Insassen des Fahrzeuges irritieren. Ferner erhält man hiermit nur indirekt Aussagen über die Wirksamkeit des aktiven Schallabsorptionssystems, tatsächlich erhält man nur Aussagen über das Übertragungsverhalten des gesamten Regelkreises. Es ist hiermit also nicht ableitbar, ob das aktive Schallabsorptionssystem den Schalldruck im Fahrzeug-Innenraum bei irgendeiner Frequenz auch hörbar verstärkt.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, Maßnahmen aufzuzeigen, mit Hilfe derer ein aktives Schallabsorptionssystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 unter allen Umständen und Randbedingungen im Hinblick auf eine bestmögliche Schallabsorption selbsttätig eingestellt werden kann. Zur Lösung dieser Aufgabe ist vorgesehen, daß zeitweilig eine Regler-Kenngröße verändert wird, daß mit den verschiedenen Regler-Kenngrößen die Differenz der jeweiligen Schalldruckspektren (im Fahrzeug-Innenraum) gebildet wird, und daß die optimale Regler-Kenngröße im Hinblick auf eine gewisse Differenz eingestellt wird. Vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen sind Inhalt der Unteransprüche.

Erfindungsgemäß wird der Regler ausgehend von seiner Grundeinstellung selbsttätig quasi verstimmt. Hierzu wird eine Regler-Kenngröße verändert, so beispielsweise bzw. bevorzugt die Regler-Verstärkung. Alternativ kann es sich bei dieser zu verändernden Regler-Kenngröße jedoch auch um eine einstellbare Phasenverschiebung oder um zumindest einen einstellbaren Regler-Filterkoeffizienten handeln. Des besseren Verständnisses wegen wird jedoch in den folgenden Erläuterungen die Regler-Verstärkung als zu verän-

dernde Regler-Kenngröße zugrundegelegt.

Die vorliegende Erfindung geht somit von den folgenden Grundsätzen aus:

1. Es existiert eine optimale Regler-Verstärkung, bei der das aktive Schallabsorptionssystem den Schalldruck p_{ges} im Fahrzeug-Innenraum im gewünschten Frequenzbereich abbaut und gleichzeitig keine störende Anfachung in anderen Frequenzbereichen verursacht. Wie dem Fachmann bekannt ist, ist nämlich jeder Schalldruck-Abbau bzw. jede Schalldruck-Absorption in einem ersten Frequenzband zwangsläufig mit einer (wenn auch minimalen) Schalldruckverstärkung in einem anderen Frequenzband verbunden.
2. Wird nun diese optimale Regler-Verstärkung erhöht, so verstärkt sich nicht nur der Schalldruckabbau im ersten Frequenzband, sondern auch die Schalldruck-Anfachung im zweiten Frequenzband. Bei einer zu starken Erhöhung der Regler-Verstärkung wird schließlich der Regelkreis instabil.
3. Wird hingegen die optimale Regler-Verstärkung verringert (oder allgemein die zunächst optimale Regler-Kenngröße irgendwie verändert), so wird auch die Wirksamkeit des Schallabsorptionssystems und gleichzeitig die Anfachung im zweiten Frequenzband reduziert.

Die vorliegende Erfindung nutzt nun die Variation der Wirksamkeit im Hinblick auf eine Schallabsorption bzw. die Variation der Anfachung infolge einer Veränderung der Regler-Verstärkung, um Aussagen über die tatsächliche Wirksamkeit zur Schalldruckreduzierung bzw. zur Anfachung des Schalldruckes im Fahrzeug-Innenraum zu treffen. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen: Nachdem der Regler entsprechend den ursprünglichen Parametern der einzelnen Übertragungsglieder des Regelkreises optimal hinsichtlich der Wirksamkeit zur Schalldruckreduzierung ausgelegt wurde, hängt die absolute Schalldruckreduzierung von der optimalen Regler-Verstärkung ab. Geht man nun von einer gegebenen Regler-Verstärkung aus, so kann man diese in einem gewissen Bereich variieren, ohne daß eine störend hörbare Änderung der Schalldruckreduzierung auftritt. Stärkere Veränderungen der Regler-Verstärkung (oder allgemein einer Regler-Kenngröße) hingegen führen zu einer stärkeren Anfachung. Wird nun bei verschiedenen Regler-Verstärkungen das jeweilige Schalldruckspektrum ermittelt und wird anschließend daran die Differenz der jeweiligen Schalldruckspektren, die mit den verschiedenen Regler-Verstärkungen erzielt wurden, gebildet, so kann eine optimale Regler-Verstärkung im Hinblick auf eine gewisse Differenz eingestellt werden.

Erfindungsgemäß wird somit der Regelkreis zeitlich abwechselnd mit zumindest zwei verschiedenen Regler-Kenngrößen betrieben. Das damit erzielte Ergebnis wird analysiert, und zwar werden die jeweiligen Schalldruckspektren aufgenommen und deren Differenz

gebildet. Hat diese Differenz einen bestimmten Wert, so liegt dann eine optimale Regler-Kenngröße vor. Dabei kann diese Differenz ein fester Schwellwert sein, sie kann aber auch als beliebige Funktion abgelegt sein oder die jeweils optimale Regler-Kenngröße kann als experimentell ermittelter Wert in Abhängigkeit von der Differenz der Schalldruckspektren tabellarisch abgelegt sein.

Meßtechnisch kann die mit einer Veränderung einer Regler-Kenngröße einhergehende Wirksamkeitsveränderung der Schallabsorption und die damit verbundene Veränderung einer Anfachung einfach erfaßt werden. Beispielsweise durch eine FFT-Analyse kann hierzu das Schalldruckspektrum im Fahrzeug-Innenraum jeweils bei einem festen Wert der Regler-Verstärkung (oder Regler-Kenngröße) bestimmt werden. In Frage kommen hierbei sowohl die absoluten Beträge der Schalldruckspektren als auch logarithmierte Beträge o. ä. Ebenfalls denkbar ist es, anstelle der FFT-Werte mit spezifischen Lautheiten oder Terzspektren zu arbeiten oder mit gefilterten Schalldruckpegeln die Differenzen bei jeder Umschaltung der Regler-Kenngröße zu berechnen.

Um die beschriebene Routine, d. h. die Differenzbildung zwischen zwei Schalldruckspektren sowie die davon abhängige Einstellung der Regler-Kenngröße möglichst einfach zu halten, um andererseits jedoch auch eine größtmögliche Änderung der jeweiligen Differenzwerte in Abhängigkeit von einer Änderung der Regler-Kenngröße zu erzielen, wird bevorzugt die Differenz zwischen den Schalldruckspektren in einem solchen Frequenzbereich analysiert, in dem eine Anfachung erfolgt. Für die Bewertung der Differenzspektren ist es somit hilfreich, die maximale Anfachung des Schalldruckes im Fahrzeug-Innenraum zu betrachten, die - wie bekannt - mit zunehmender Regler-Verstärkung wächst. Insbesondere wenn man mit der Regler-Verstärkung in die Nähe der Stabilitätsgrenze des Reglers gelangt, nimmt die Anfachung überproportional schnell mit einer Erhöhung der Regler-Verstärkung zu. Gibt man nun einen Maximalwert für die Anfachung vor, dann kann man bei Überschreiten dieses Anfachungs-Maximalwertes oder auch Anfachungs-Schwellwertes die Regler-Verstärkung wieder verringern. Eine darauffolgende Veränderung der Regler-Kenngröße bzw. Umschaltung zwischen zwei Regler-Verstärkungswerten kann dann auf einem insgesamt niedrigeren Regler-Verstärkungsniveau weiter durchgeführt werden. Generell wird somit die Regler-Kenngröße bei Überschreiten eines Anfachungs-Schwellwertes im Sinne einer Verringerung der Differenz der Schalldruckspektren verändert.

Andererseits kann dann, wenn ein bestimmter Anfachungs-Schwellwert noch nicht erreicht ist, das Reglerverstärkungsniveau erhöht werden. Die darauffolgende Umschaltung zwischen zwei Regler-Verstärkungen kann somit insgesamt auf einem höheren Niveau erfolgen. Allgemein kann somit die Regler-Kenngröße bei Unterschreiten eines Anfachungs-

Schwellwertes im Sinne einer Erhöhung der Differenz der Schalldruckspektren verändert werden.

Allgemein kann dabei die Erhöhung oder Verringerung der Regler-Verstärkung mit konstanten Faktoren erfolgen oder in Abhängigkeit vom Wert der ermittelten Anfachung. Dies bedeutet, daß beispielsweise die Regler-Verstärkung stärker reduziert wird, wenn eine größere Anfachung erfaßt wird. Der Faktor für die Modifikation der Regler-Verstärkung kann dann - wie oben bereits angegeben - eine Funktion sein, die abhängig ist von der Anfachung.

Dieser Faktor kann aber auch einer Tabelle entnommen werden, die die beste Veränderung der Regler-Verstärkung in Abhängigkeit von der Anfachung aus experimentell ermittelten Werten enthält.

Anstelle oder zusätzlich zur Auswertung in demjenigen Frequenzbereich, in dem eine Anfachung erfolgt, kann jedoch auch der Schalldruckabbau, d. h. die wirksame Schallabsorption analysiert werden. Das heißt, die Differenz der Schalldruckspektren kann auch in einem solchen Frequenzbereich analysiert werden, in dem die hauptsächliche Schalldruck-Reduzierung erfolgt. Selbstverständlich können auch gemittelte oder anderweitig gewichtete Werte aus dem Schalldruckspektrum herangezogen werden oder auch nur einzelne Frequenzbänder betrachtet werden. Generell erhält man durch das beschriebene Verfahren bei geeigneter Wahl der Schwellwerte automatisch eine optimale Regler-Verstärkung (oder allgemein Regler-Kenngröße), bei der der Regler 12 stabil und mit maximal erzielbarer Schalldruckreduktion arbeitet.

Wie bereits mehrfach erwähnt, liegt der Erfindung zugrunde, daß zeitweilig eine Regler-Kenngröße (bevorzugt die Regler-Verstärkung) verändert wird. Zeitweilig wird somit zwischen zumindest zwei Regler-Kenngrößen umgeschaltet. Dieses Umschalten (bevorzugt der Verstärkung) kann dabei sowohl in regelmäßigen zeitlichen Abständen als auch in unregelmäßigen zeitlichen Abständen erfolgen. Der Wechsel zwischen den einzelnen Regler-Verstärkungen/Regler-Kenngrößen kann dabei als Sprungfunktion ausgeführt werden, aber auch als Rampe oder anderweitig geglättet, um eine Hörbarkeit dieses Umschaltvorganges für die Fahrzeug-Insassen zu verhindern. Dabei kann - wie bereits erläutert - die zu verändernde Regler-Kenngröße nur geringfügig verändert werden, um bereits hinreichend genaue Aussagen zu erhalten. Abweichend davon ist es jedoch auch möglich, die zu verändernde Regler-Kenngröße maximal zu verändern und zwar durch Einschalten bzw. Ausschalten des gesamten Reglers 12 des aktiven Schallabsorptionssystemes. Auch hiermit können nach dem bereits beschriebenen Verfahren die Differenzen zwischen den jeweiligen Schalldruckspektren gebildet und ausgewertet werden. Auch hieraus resultiert eine absolute Aussage über die Auswirkung des aktiven Schallabsorptionssystemes auf den Schalldruck p_{ges} im Fahrzeug-Innenraum. Dabei kann dieses letztgenannte Verfahren des Ein- bzw. Ausschaltens des Reglers 12 auch für adaptive Regelsysteme

benutzt werden, um die Leistungsfähigkeit bzw. die korrekte Arbeitsweise eines adaptiven aktiven Schallabsorptionssystemes zu überprüfen, wobei sowohl feed-forward- als feed-back-Verfahren in Betracht kommen. Angemerkt sei noch, daß die Darstellung gemäß Fig. 1 und 2 sich jedoch auf nicht-adaptive aktive Schallabsorptionssysteme bezieht.

Wie bereits kurz erläutert, können die Schalldruckspektren bevorzugt mit dem ohnehin vorhandenen und notwendigen Mikrofon 11 des Reglers 12 aufgenommen werden. Dabei können sich jedoch gleichzeitig mit einem Umschalten der jeweils zu verändernden Regler-Kenngröße auch weitere Randbedingungen ändern. So kann sich beispielsweise der Fahrbahnbelag, auf welchem das Kraftfahrzeug dahinfährt, ändern, was gleichzeitig eine Veränderung des Schalldruckes p_{ges} im Fahrzeug-Innenraum bewirkt. Durch einen anderen Fahrbahnbelag nämlich oder auch durch Seitenwind, eine andere Fahrgeschwindigkeit o. ä. ändert sich nämlich selbstverständlich der störende Schalldruck $p_{stör}$ im Fahrzeug-Innenraum. Um Fehlmessungen, die sich durch derartige Änderungen ergeben würden, zu eliminieren, wird bevorzugt die Veränderung der Regler-Kenngröße (Regler-Verstärkung) mehrmals durchgeführt und aus den daraus resultierenden Differenz-Werten ein zu analysierender Differenz-Mittelwert gebildet. Dieser Differenz-Mittelwert ist dann gleichzusetzen mit der Differenz der Schalldruckspektren, wie sie im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegeben wurde. Somit werden also Veränderungen des Schalldruckes $p_{stör}$ bzw. p_{ges} , die durch eine veränderte Anregung von außen entstehen, dadurch eliminiert, daß die Umschaltung des Reglers zwischen verschiedenen Regler-Kenngrößen/Regler-Verstärkungen öfters wiederholt wird und daß diese mehreren Differenzspektren oder Differenzwerte, die sich durch Differenzbildung der dann jeweiligen Schalldruckspektren ergeben, gemittelt werden. Damit werden nämlich nur diejenigen Änderungen des Schalldruckes, die mit der Veränderung der Regler-Kenngröße/Regler-Verstärkungen zusammenhängen und somit mit den Differenzspektren korreliert sind, berücksichtigt, während sich alle anderen Schalldruck-Veränderungen infolge wechselnder Anregungen oder anderen wechselnder Schallquellen im Fahrzeug-Innenraum (beispielsweise durch ein Radio-Gerät) auslösen. Man erhält somit eine zuverlässige Aussage über die Wirksamkeit der Funktionsfähigkeit des aktiven Schallabsorptionssystemes. Diese Vorgehensweise der mehrmaligen Veränderung der Regler-Kenngröße wird im folgenden im Zusammenhang mit Fig. 3 noch näher erläutert.

Um festzustellen, wie oft die Regler-Kenngröße bzw. Regler-Verstärkung zwischen zwei Werten umgeschaltet werden sollte, um eine ausreichende Eliminierung von Störeinflüssen zu erhalten, kann wie folgt vorgegangen werden: Bei gleicher Regler-Kenngröße können zusätzlich die Differenzen der hierbei erzielten Schalldruckspektren gebildet und gemittelt werden. Wenn sich diese Differenzen gegen Null mitteln, ist eine

ausreichende Mittelungszahl erreicht und der Auswertungsprozeß kann beginnen. In anderen Worten kann somit zur Überprüfung der Konvergenz des Verfahrens die Differenz zwischen den eventuell gemittelten Spektren mit jeweils gleicher Regler-Verstärkung gebildet werden. Bei ausreichender Konvergenz müssen sich diese Differenzen zu Null mitteln. Dies läßt sich somit ausnutzen, um quasi online die Zahl der nötigen Mittelungen der Differenzen festzulegen, nach denen eine Auswertung erfolgt.

Im übrigen empfiehlt es sich, zur Erzielung optimaler Meßergebnisse bei jeder definierten Regler-Kenngröße nicht nur ein einziges Schalldruckspektrum zu ermitteln, sondern vielmehr einen Mittelwert aus mehreren Schalldruckspektren zu bilden. Auch dies zeigt die nunmehr erläuterte Fig. 3:

In Fig. 3 ist über der Zeit als Abszisse die Regler-Verstärkung - dies sei hier die zu verändernde Regler-Kenngröße - auf der Ordinate aufgetragen. Wie ersichtlich wird über der Zeit die Regler-Verstärkung zwischen zwei Verstärkungswerten A und B zeitweise umgeschaltet.

Dabei werde zunächst der Regelkreis gemäß Fig. 2 mit einer Regler-Verstärkung A betrieben. Innerhalb der Zeitspanne t_1 werden dabei mehrere Schalldruckspektren ermittelt - dies ist durch die vertikalen Striche auf der zugehörigen geraden Strecke dargestellt - wonach einige dieser Schalldruckspektren gemittelt werden. Dies ist durch die Zusammenfassung der einzelnen Schalldruckspektren in einer Ellipse, die mit der Ziffer 1 bezeichnet ist, dargestellt.

Anschließend wird auf die Regler-Verstärkung mit dem Wert B umgeschaltet. Nunmehr befinden wir uns in der Zeitspanne t_2 . Auch hier werden wieder mehrere Schalldruckspektren im Fahrzeug-Innenraum erfaßt und gemittelt, was durch die Ellipse 2 dargestellt ist. Zwischen diesen jeweils gemittelten Schalldruckspektren wird nun die Differenz gebildet, der entsprechende Differenz-Wert ist mit 7 bezeichnet.

Weiterhin wird in dieser Zeitspanne t_2 nochmalig ein gemittelttes Schalldruckspektrum aufgenommen, das durch die Ellipse 3 dargestellt ist. Anschließend wird wieder auf die Regler-Verstärkung A umgeschaltet, nunmehr befinden wir uns in der Zeitspanne t_3 . Hier wird abermalig ein gemittelttes Schalldruckspektrum ermittelt, dieses ist in der Ellipse 4 dargestellt. Die Differenz der Schalldruckspektren bzw. Ellipsen 4 und 3 wird abermals gebildet, der entsprechende Differenz-Wert ist mit 8 bezeichnet.

In der folgenden Zeitspanne t_4 wird der bereits beschriebene Vorgang nochmals wiederholt, d. h. es wird wieder auf die Regler-Verstärkung mit dem Wert B umgeschaltet. Abermalig wird ein Schalldruckspektrum 6 ermittelt, das mit dem zuvor noch in der Zeitspanne t_3 ermittelten Schalldruckspektrum 5 verglichen wird. Die entsprechende Differenz ist mit 9 bezeichnet. Nunmehr liegen drei Differenzwerte 7, 8, 9 vor, von denen abermals ein Mittelwert gebildet wird, um die oben erläuterten Störeinflüsse von außen zu eliminieren. Durch

Mittelung der einzelnen Differenzwerte 7, 8, 9 ergibt sich somit ein Differenz-Mittelwert 10, der nun zur erfindungsgemäßen Analyse herangezogen werden kann und erfindungsgemäß die Grundlage für die optimal einzustellende Regler-Verstärkung/Regler-Kenngröße bildet. Dabei können selbstverständlich auch mehrere Differenzwerte ermittelt werden, die hier erläuterte Zahl von 3 Stück ist lediglich beispielhaft.

Im Rahmen einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die beschriebene Routine zur Einstellung einer optimalen Regler-Kenngröße bei einer Fehlererkennung beendet wird. In diesem Zusammenhang wird quasi überprüft, ob der Regelkreis selbst nicht bereits instabil ist. Bei einer möglichen Instabilität fängt nämlich der Regelkreis an, mit zunehmender Amplitude zu schwingen, solange bis ein Übertragungsglied des Regelkreises aufgrund seiner Bauweise keine größere Amplitude mehr zuläßt. Durch eine Überprüfung des zeitlich gemittelten, vorher evtl. noch geeignet gefilterten Schalldruckes kann man den Zustand der Instabilität erkennen, wenn dieser einen Maximalwert überschreitet, der unterhalb des physikalisch maximal möglichen Schalldruckes und über einem üblicherweise sinnvollen Schalldruck liegt. Beim Überschreiten dieses Schwellwertes wird der Regler bevorzugt abgeschaltet, es kann jedoch auch ein anderer Fehlerbehandlungsalgorithmus eingeleitet werden. So kann beispielsweise die Regler-Verstärkung um mehrere 10er Potenzen erniedrigt werden oder es kann ein neuer Einmeßvorgang gestartet werden, welcher im wesentlichen einer Initialisierungsroutine entspricht, wie sie in der bereits eingangs erwähnten deutschen Patentanmeldung 44 46 080 kurz beschrieben ist. So kann vorgesehen sein, den Regler dann abzuschalten, wenn der Schalldruck im Fahrzeug-Innenraum unmaßig laut ist und das aktive Schallabsorptionssystem aufgrund seiner physikalisch maximal möglichen Amplitude nicht mehr ohne Beschädigung der Regelkreis-Übertragungsglieder oder ohne starke Verzerrungen den Schalldruck $p_{\text{stör}}$ reduzieren kann. Dabei kann zur Überprüfung anstelle des Schalldruck-Maximalwertes auch jedes andere Signal im Regelkreis benutzt werden, so beispielsweise die Ausgangsspannung des Reglers 12 bzw. ein Ansteuerungs-Maximalwert U_{LS} für den Lautsprecher. Wie bereits kurz angedeutet, kann auch dann, wenn der Algorithmus zur Fehlererkennung einen Fehlerfall erkennt, also wenn sich z. B. die Regler-Verstärkung auf einen wesentlich unter dem Vorgabewert liegenden Wert einstellt, ein Einmeßvorgang gestartet werden, der die Regelkreisparameter neu vermißt und die zugehörigen Reglerparameter, insbesondere alle, d. h. auch diejenigen, die nicht im Fehlererkennungsalgorithmus variiert werden, erneut richtig einstellt.

Zusammenfassend wird somit mit der vorliegenden Erfindung ein zuverlässiges Kriterium erfaßt, das eine genaue Aussage über die Wirksamkeit der Schallabsorption bzw. über die Anfachung des Schallabsorptionssystems zuläßt, um damit eine Regler-Kenngröße,

insbesondere die Regler-Verstärkung optimal einzustellen und den unerwünschten Fall der zu großen Regler-Verstärkung, der zu einer Regelkreisinstabilität führen würde, zu vermeiden. Es ist somit möglich, das erfindungsgemäße aktive Schallabsorptionssystem auf korrektes Arbeiten hin zu überprüfen. Insbesondere wird eine Erhöhung des Schalldruckes im Fahrzeug-Innenraum bei Defekt des aktiven Schallabsorptionssystems oder bei veränderten Randbedingungen vermieden.

Patentansprüche

1. Aktives Schallabsorptionssystem, insbesondere für ein Kraftfahrzeug, mit zumindest einem Lautsprecher (13) zur Erzeugung von Schalldruck ($p_{\text{aktives System}}$), der von einem als Eingangsgröße den Schalldruck (p_{ges}) im Fahrzeug-Innenraum verarbeitenden Regler (12) angesteuert wird, dadurch gekennzeichnet, daß zeitweilig (Zeitspannen t_1, t_2, t_3, t_4) eine Regler-Kenngröße (Regler-Verstärkung A, B) verändert wird, daß mit den verschiedenen Regler-Kenngrößen (A, B) die Differenz (7, 8, 9, 10) der jeweiligen Schalldruckspektren gebildet wird, und daß die optimale Regler-Kenngröße im Hinblick auf eine gewisse Differenz eingestellt wird. 15
2. Schallabsorptionssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz zwischen den Schalldruckspektren in einem solchen Frequenzbereich analysiert wird, in dem eine Anfachung erfolgt. 20
3. Schallabsorptionssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Regler-Kenngröße bei Überschreiten eines Anfachungsschwellwertes im Sinne einer Verringerung der Differenz der Schalldruckspektren verändert wird. 25
4. Schallabsorptionssystem nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Regler-Kenngröße bei Unterschreiten eines Anfachungsschwellwertes im Sinne einer Erhöhung der Differenz der Schalldruckspektren verändert wird. 30
5. Schallabsorptionssystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz der Schalldruckspektren in einem solchen Frequenzbereich analysiert wird, in dem die hauptsächliche Schalldruck-Reduzierung erfolgt. 35
6. Schallabsorptionssystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweils optimale Regler-Kenngröße als experimentell ermittelter Wert in Abhängigkeit von der Differenz der Schalldruckspektren tabellarisch abgelegt ist. 40
7. Schallabsorptionssystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Veränderung der Regler-Kenngröße mehrmals durchgeführt und aus den daraus resultierenden Differenz-Werten (7, 8, 9) ein zu analysierender Differenz-Mittelwert (10) gebildet wird. 45
8. Schallabsorptionssystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei mehrmaliger Annahme zweier verschiedener Regler-Kenngrößen (Regler-Verstärkungswerte A, B) zusätzlich die Differenzwerte der Schalldruckspektren bei jeweils gleicher Kenngröße gebildet und gemittelt werden, und daß eine Annäherung dieses zusätzlichen gemittelten Differenzwertes gegen Null ein Hinweis auf einen ausreichend genauen Differenz-Mittelwert (10) aus Anspruch 7 ist. 50
9. Schallabsorptionssystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zu verändernde Regler-Kenngröße die Regler-Verstärkung ist. 55
10. Schallabsorptionssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die zu verändernde Regler-Kenngröße eine einstellbare Phasenverschiebung oder zumindest ein einstellbarer Regler-Filterkoeffizient ist.
11. Schallabsorptionssystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schalldruckspektren mit dem Mikrophon (11) des Reglers (12) aufgenommen werden.
12. Schallabsorptionssystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die beschriebene Routine bei einer Fehlererkennung, so bei Überschreiten eines Schalldruck-Maximalwertes oder eines Ansteuerungs-Maximalwertes des Lautsprechers (13) oder bei einem wesentlich vom Vorgabewert abweichenden Regler-Kenngrößenwert beendet wird.
13. Schallabsorptionssystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß im Falle einer Fehlererkennung ein neuer Einmeßvorgang gestartet wird.

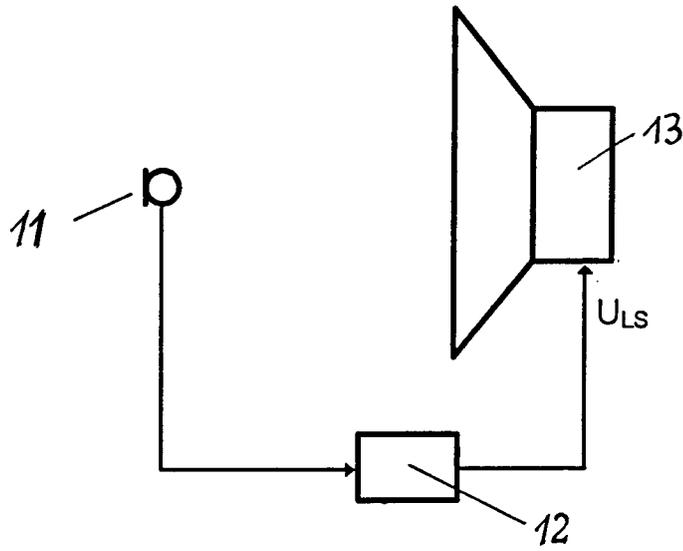


Fig. 1

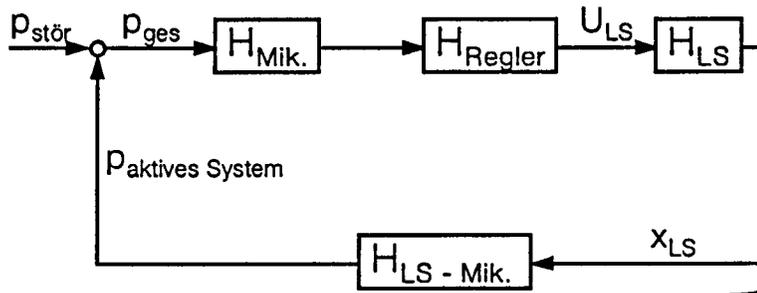


Fig. 2

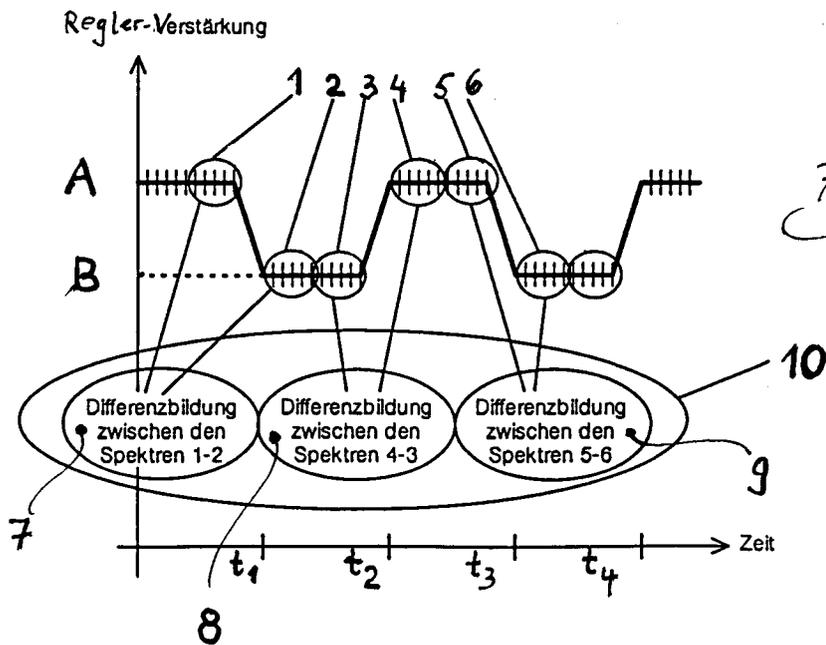


Fig. 3