



(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2004 013 966 B4 2008.06.19

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 013 966.0**
(22) Anmeldetag: **19.03.2004**
(43) Offenlegungstag: **13.10.2005**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **19.06.2008**

(51) Int Cl.⁸: **F16F 15/02 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

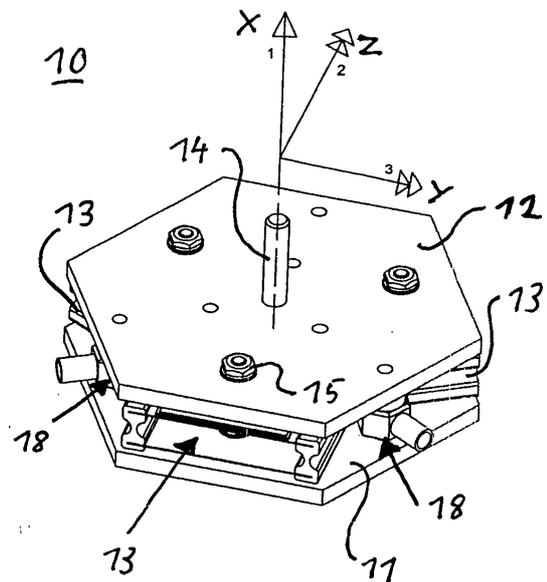
(73) Patentinhaber:
EADS Deutschland GmbH, 85521 Ottobrunn, DE

(72) Erfinder:
Maier, Rudolf, Dr., 83714 Miesbach, DE; Tewes, Stephan, Dipl.-Ing., Ste. Genevieve des Bois, FR

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 197 02 518 C2
DE 195 27 514 C2
DE10 2004 002519 B3
DE 40 08 568 A1
DE 39 39 822 A1
EP 09 27 313 B1
WO 02/23 062 A1
JP 08-1 35 728 A

(54) Bezeichnung: **Aktives Element zur Schwingungsreduktion von Bauteilen, insbesondere für Flugzeugkomponenten**

(57) Hauptanspruch: Aktives Element zur Schwingungsreduktion von Bauteilen, insbesondere für Flugzeugkomponenten, das eine Tragestruktur zur Befestigung eines ersten Bauteils (19) an einem zweiten Bauteil (20) und eine mehrere Aktoren (13) umfassende Aktoreinheit enthält, die mit der Tragestruktur mechanisch gekoppelt ist, um die Tragestruktur mit wechselnden Kräften zu beaufschlagen, und die durch eine Regeleinrichtung (21) auf der Grundlage ein oder mehrerer Sensorsignale zu Schwingungen in drei Freiheitsgraden derart anregbar ist, dass sie durch Bewegung in Richtung ihrer Flächennormalen und Verkippen in zwei Raumrichtungen der Übertragung störender Schwingungen auf einem Übertragungspfad (2, 3) durch die Tragestruktur zwischen den beiden Bauteilen (19, 20) entgegenwirkt, dadurch gekennzeichnet, dass die Tragestruktur durch zwei parallel zueinander angeordnete Trägerplatten (11, 12), von denen jede zur flächigen Befestigung an einem der Bauteile (19, 20) ausgestaltet ist, und die Aktoren (13) gebildet ist, wobei die Aktoren (13) zwischen den Trägerplatten (11, 12) angeordnet und zur Lastübertragung an diesen befestigt (15,...



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein aktives Element zur Schwingungsreduktion von Bauteilen, insbesondere für Flugzeugkomponenten, gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

[0002] In vielen Strukturen werden Störungen durch Luft- und Körperschall von einem Bauteil auf ein angrenzendes Bauteil übertragen und dort als Lärm abgestrahlt oder führen zu erhöhten, unerwünschten Schwingungspegeln. Insbesondere im Flugzeugbau ist es ein vorrangiges Ziel, derartige störende Schwingungspegel von Bauteilen zu reduzieren und dadurch den Komfort im Innenraum sowie die Haltbarkeit und Sicherheit noch weiter zu erhöhen. Als ein Beispiel ist hier die Rumpf-Trimmpaneeel-Doppelpaneel eines modernen Flugzeuges zu nennen. Dabei werden äußere Anregungen, wie z. B. Buzz-Saw-Noise, Grenzschichtlärm und Jet-Noise sowie Vibrationen, die vom Triebwerk oder anderen mechanischen Komponenten des Flugzeugs ausgehen, über den Rumpf nach innen auf die Paneele der Innenverkleidung bzw. Trimmpaneele weitergeleitet. Dies hat zur Folge, dass die Trimmpaneele zu Schwingungen angeregt werden und dadurch Lärm abstrahlen, was von den Passagieren als störend empfunden wird.

[0003] Auch im Bereich von Hubschraubern müssen vielfältige Maßnahmen ergriffen werden, um Schwingungen, beispielsweise im Bereich der Kabine, zu reduzieren und die Lärmabstrahlung zu verringern.

[0004] In der Raumfahrt können Schwingungen vom Trägersystem auf die Nutzlast übertragen werden, was zu Störungen im späteren Betrieb, beispielsweise bei Satelliten, führen kann. Weiterhin ist auch im Bereich von Fahrzeugen eine Reduktion von Schwingungen notwendig, um den Komfort zu erhöhen und Lärm zu reduzieren.

[0005] Im Stand der Technik sind zur Reduktion von Schwingungen passive Absorber bekannt, wie z. B. Gummielemente, Federn usw. Die passiven Absorber haben jedoch den Nachteil, erst ab bestimmten Frequenzen eine isolierende Wirkung zu erzielen. Die Druckschrift EP 0 927 313 B1 zeigt einen Schwingungsisolierungseinsatz für Flugzeuggöden, bei dem eine Elastomer-Aufhängung zur Befestigung einer Bodenpaneele in Flugzeugen beschrieben wird. Durch die Isolierung des Bodens vom Rest der Struktur soll eine Reduzierung des SIL (Speech interference Level) bzw. des Lärms in der Flugzeugkabine erzielt werden.

[0006] Weiterhin sind eine Vielzahl von aktiven Elementen zur Schwingungsisolierung und Lärmreduzierung bekannt. In der Druckschrift WO 02/23062 A1

ist ein schwingungsisolierendes Befestigungselement beschrieben, das einen elektromagnetischen Aktor umfasst. Dabei soll durch Betätigung des Aktors die Übertragung von Schwingungen zwischen aneinandergrenzenden Bauteilen reduziert werden. Das Befestigungselement kann beispielsweise als Aufhängungselement zwischen Flugzeugzelle und Paneel verwendet werden. Das bekannte Aufhängungs- bzw. Befestigungselement hat jedoch den Nachteil, dass insbesondere bei flächigen Leichtbaustrukturen keine oder nur eine sehr geringe isolierende Wirkung erzielt werden kann.

[0007] Die Druckschrift DE 197 02 518 C2 zeigt ein Verfahren zur aktiven Beeinflussung von schwingungsbeanspruchten Fugestellen, bei denen Fugendruckungen mit einem Aktuator gezielt verändert werden. Eine Tragestruktur, an der Bauteile befestigt werden können, wird mit wechselnden Kräften beaufschlagt, um die Übertragung von Schwingungen durch die Tragestruktur zu minimieren.

[0008] Die Druckschrift JP 08135728 A zeigt ein schwingungsreduzierendes Gerät, bei dem eine Aktoreinheit zwischen zwei Platten angeordnet ist, um die Platten gegeneinander zu bewegen.

[0009] DE 39 39 822 A1 zeigt ein schwingungsdämpfendes System für ein Kraftfahrzeug mit einer Trägerplatte, auf der eine Fahrzeugbatterie als Schwingkörper gelagert ist. Durch einen Aktuator wird die Fahrzeugbatterie in Schwingungen versetzt, um an der Lagerstelle Schwingungen effektiv in das Kraftfahrzeug einzuleiten.

[0010] Die DE 40 08 568 A1 beschreibt eine Vorrichtung zur aktiven Schwingungssteuerung in einer Stange. Dazu sind an der Stange Flansche befestigt, zwischen denen Aktuatoren angeordnet sind, welche Verformungen der Stange bewirken, um eine Übertragung von Schwingungen durch die Stange zu verhindern.

[0011] Die DE 195 27 514 C2 beschreibt eine Schnittstelle für die Schwingungsreduktion in strukturellen Systemen, die ein basisseitiges und ein strukturseitiges Bauteil, die durch zwei Rohrflansche gebildet sind, und eine Mehrzahl von in einer ringförmigen Anordnung um die Rohrachse vorgesehenen Aktuatoren umfasst, deren Erstreckungen in einer Hauptrichtung zwischen einem ersten Angriffspunkt an dem basisseitigen Bauteil und einem zweiten Angriffspunkt an dem strukturseitigen Bauteil durch ein Ansteuersignal kontrolliert veränderbar sind. Bei der bekannten Schnittstelle sind die durch die Rohrflansche gebildeten basis- und strukturseitigen Bauteile durch Dehnschrauben miteinander verbunden, zwischen denen die Aktuatoren ringförmig um die die Hauptrichtung definierende Rohrachse angeordnet sind. Weiter ist innerhalb des

Rings der Aktuatoren ein elastisches Element vorgesehen, das zwischen dem basisseitigen Bauteil und dem strukturseitigen Bauteil parallel zu den Aktuatoren angeordnet ist und das ebenfalls rohrförmig ausgebildet ist und eine Rohrachse aufweist, die mit der besagten Hauptrichtung der Aktuatoren zusammenfällt. Dieses elastische Element, welches eine hohe Quersteifigkeit senkrecht zur Rohrachse und eine geringe Längssteifigkeit in Richtung der Rohrachse aufweisen und gegen die beiden Rohrflansche spielfrei abgestützt sein soll, ist dazu vorgesehen, zu verhindern, dass Kräfte quer zu den Hauptrichtungen auf die Aktuatoren einwirken und zu einer Schub- oder Scherbelastung derselben führen. Gleichzeitig verhindert eine mittels der besagten Dehnschrauben aufgebrachte Druckvorspannung auf die Aktuatoren, dass diese auf Zug beansprucht werden, so dass ausschließlich eine in der DE 195 27 514 C2 als unschädlich angesehene Druckbelastung der Aktuatoren verbleibt. Dabei sei auch die verbleibende Längssteifigkeit des den Aktuatoren parallel geschalteten elastischen Elements bei der Abstimmung der absoluten mittels der Dehnschrauben erzeugten Vorspannkraft zwischen dem basisseitigen und dem strukturseitigen Bauteil zu berücksichtigen.

[0012] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein aktives Element zur Schwingungsreduktion von Bauteilen zu schaffen, mit dem eine effektive Schwingungsreduzierung und/oder Minderung von abgestrahltem Schall erzielt werden kann, die insbesondere auch bei flächigen Strukturen oder Leichtbaustrukturen wirksam ist und möglichst einfach aufgebaut und kostengünstig herstellbar ist und ein geringes Gewicht hat.

[0013] Die Aufgabe wird gelöst durch das aktive Element zur Schwingungsreduktion von Bauteilen gemäß Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen aktiven Elements zur Schwingungsreduktion sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0014] Durch die Erfindung wird ein aktives Element zur Schwingungsreduktion von Bauteilen, insbesondere für Flugzeugkomponenten geschaffen, das eine Tragestruktur zur Befestigung eines ersten Bauteils an einem zweiten Bauteil und eine mehrere Aktoren (oder auch "Aktuatoren") umfassende Aktoreinheit enthält, die mit der Tragestruktur mechanisch gekoppelt ist, um die Tragestruktur mit wechselnden Kräften zu beaufschlagen, und die durch eine Regeleinrichtung auf der Grundlage ein oder mehrerer Sensorsignale zu Schwingungen in drei Freiheitsgraden derart anregbar ist, dass sie durch Bewegung in Richtung ihrer Flächennormalen und durch Verkippfen in zwei Raumrichtungen der Übertragung störender Schwingungen auf einem Übertragungspfad durch die Tragestruktur zwischen den beiden Bauteilen entgegengewirkt. Erfindungsgemäß ist die Trage-

struktur durch zwei parallel zueinander angeordnete Trägerplatten, von denen jede zur flächigen Befestigung an einem der Bauteile ausgestaltet ist, und die Aktoren gebildet, wobei die Aktoren zwischen den Trägerplatten angeordnet und zur Lastübertragung an diesen befestigt sind.

[0015] Durch die Erfindung wird eine Übertragung störender Vibrationen von einem Bauteil zum anderen Bauteil wirksam verhindert oder minimiert. Besonders aufgrund der aktiven Regelung in drei Freiheitsgraden innerhalb des aktiven Elements können störende Schwingungen besonders auch bei flächigen Strukturen oder Leichtbaustrukturen, beispielsweise Wänden, Innenwänden, Trimmpanelen usw. sehr wirksam vermieden werden. Bei der Erfindung wird die Tatsache berücksichtigt, dass die Schallabstrahlung durch drei Störungskomponenten verursacht wird, nämlich die Normalkraft in Richtung der Flächennormalen sowie Biegemomente in der Flächenebene. Da durch das erfindungsgemäße aktive Element zur Schwingungsreduktion alle drei Komponenten durch die Aktoren gleichzeitig beeinflussbar sind, wird eine besonders effektive Schwingungsreduzierung bzw. Minderung des abgestrahlten Schalls erzielt. Strukturen und insbesondere flächige Strukturen, die mit dem erfindungsgemäßen aktiven Element an anderen Bauteilen oder Trägerstrukturen punktuell befestigt sind, werden wirksam von störenden Schwingungen und Vibrationen isoliert. An den Befestigungspunkten kann durch das aktive Element keine oder nur noch eine sehr geringe Übertragung von dreidimensionalen Schwingungen auf das isolierte Bauteil erfolgen. Durch die Ausgestaltung der Tragestruktur durch Trägerplatten bzw. plattenförmige Trageelemente kann eine besonders wirksame Ausregelung von störenden Schwingungen am Befestigungspunkt des zu isolierenden Bauteils erfolgen.

[0016] Vorteilhafterweise umfaßt die Aktoreinheit drei oder mehr Aktoren, wobei eine Lastübertragung über drei oder mehr Pfade erfolgt. Dadurch können zur Anregung bzw. Kraftübertragung auf die Tragestruktur jeweils eindimensionale Aktoren verwendet werden, um damit die dreidimensionale Regelung der Tragestruktur oder der Trägerplatten zu bewirken.

[0017] Die Aktoreinheit kann beispielsweise piezoelektrische, elektromagnetische, hydraulische und/oder pneumatische Aktoren umfassen. Dadurch können entsprechend der jeweiligen Anwendung die am besten geeigneten Aktoren ausgewählt werden.

[0018] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind auf mindestens einer der Trägerplatten Sensoren zur Erzeugung des Sensorsignals integriert angeordnet. Dadurch kann eine einfache und schnelle Montage von Bauteilen mittels des aktiven

Elements erfolgen, ohne dass beispielsweise separate Sensoren zusätzlich an den zu befestigten Bauteilen angebracht werden müssen.

[0019] Vorteilhafterweise ist mindestens eine der Trägerplatten zu Translationsbewegungen in Richtung ihrer Flächennormalen anregbar.

[0020] Weiterhin ist vorteilhafterweise mindestens eine der Trägerplatten zu Rotationsbewegungen um Achsen senkrecht zu ihrer Flächennormalen anregbar, wobei die Achsen der Rotationsbewegungen beispielsweise orthogonal zueinander ausgerichtet sein können. Dadurch kann auf besonders geeignete Weise die dreidimensionale aktive Regelung oder Bewegung der Trägerplatte erfolgen.

[0021] Vorteilhaft ist mindestens ein Befestigungselement zur Befestigung des aktiven Elements an dem ersten Bauteil und/oder an dem zweiten Bauteil vorgesehen. Dadurch ist eine schnelle und sichere Montage der Bauteile mittels des aktiven Elements möglich.

[0022] Vorteilhafterweise sind ein oder mehrere der Elemente Trägerplatte, Befestigungselement und Sensoren in mindestens eines der miteinander verbindenden Bauteile integriert oder integrierbar. Dadurch kann eine besonders raumsparende Montage oder Befestigung von Bauteilen erfolgen, wobei dennoch eine besonders wirksame Vibrationsisolierung am Aufhängungspunkt erzielt wird.

[0023] Insbesondere kann das aktive Element zwischen einer im Betrieb vibrierenden Trägerstruktur und einer vor Schall oder Vibration zu isolierenden Struktur, beispielsweise einer Innenverkleidung oder einer Wand, befestigt werden, so dass es gleichzeitig als Aufhängung oder Befestigungselement dient. Dadurch können Innenräume geschaffen werden, die weitgehend frei von Lärm sind, obwohl die Wände an vibrierenden Trägerstrukturen befestigt sind.

[0024] Vorteilhafterweise ist das aktive Element im Bereich einer Doppelwand, insbesondere eines Flugzeugs, integriert oder integrierbar, um die Schwingungsübertragung von einer Wand und/oder Trägerstruktur auf die andere Wand zu minimieren. Dadurch kann in Flugzeugen oder anderen Verkehrsmitteln der Komfort erheblich erhöht werden.

[0025] Im Folgenden wird die Erfindung beispielhaft anhand der Figuren beschrieben, von denen

[0026] [Fig. 1](#) eine perspektivische Darstellung eines aktiven Elements zur Schwingungsreduktion gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung zeigt;

[0027] [Fig. 2a](#) eine Draufsicht auf das aktive Ele-

ment von [Fig. 1](#) zeigt;

[0028] [Fig. 2b](#) einen Schnitt entlang der Linie A-A' durch das aktive Element gemäß [Fig. 2a](#) zeigt;

[0029] [Fig. 3](#) eine Seitenansicht des in [Fig. 1](#) dargestellten aktiven Elements zeigt;

[0030] [Fig. 4](#) einen Schnitt durch das aktive Element entlang der Linie B-B' in [Fig. 3a](#) zeigt;

[0031] [Fig. 5](#) eine Anordnung eines aktiven Elements zwischen zwei Wandbauteilen mit einer Regelungseinheit in schematischer Darstellung zeigt;

[0032] [Fig. 6](#) den Verlauf des Schalldämmmaßes R gegenüber der Frequenz mit und ohne aktive Regelung zeigt; und

[0033] [Fig. 7](#) den Verlauf der mittleren Trimpaanel-Beschleunigung gegenüber der Frequenz mit und ohne aktive Regelung zeigt.

[0034] [Fig. 1](#) zeigt in einer perspektivischen Ansicht ein aktives Element **10** zur Schwingungsreduktion von Bauteilen gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung. Das aktive Element **10** hat eine untere Trägerplatte **11** und eine obere Trägerplatte **12**, die parallel zueinander ausgerichtet sind. Die beiden Trägerplatten **11**, **12** bilden eine Tragestruktur, die dazu dient, zwei Bauteile aneinander zu befestigen.

[0035] An die Tragestruktur **11**, **12** ist eine Aktoreinheit mechanisch gekoppelt, die im vorliegenden Fall durch mehrere Aktoren **13** gebildet wird, die zwischen der unteren Trägerplatte **11** und der oberen Trägerplatte **12** angeordnet sind. Die Aktoreinheit dient dazu, die Tragestruktur mit wechselnden Kräften zu beaufschlagen. Zu diesem Zweck wird die Aktoreinheit durch eine in der Figur nicht dargestellte Regeleinrichtung auf der Grundlage eines Sensorsignals angesteuert, so dass durch die aktive Regelung der Tragestruktur eine Übertragung von störenden Schwingungen auf einem Übertragungspfad, der durch die Tragestruktur **11**, **12** verläuft, minimiert wird. Dabei ist die durch die untere Trägerplatte **11** und die obere Trägerplatte **12** gebildete Tragestruktur durch die Aktoreinheit in drei Freiheitsgraden aktiv regelbar, um der Übertragung der störenden Schwingungen entgegenzuwirken.

[0036] An der oberen Trägerplatte **12** ist ein länglich ausgestaltetes Befestigungselement **14** angeordnet, das zur Befestigung des aktiven Elements **10** an einem Bauteil, beispielsweise an einer zu isolierenden Struktur, dient.

[0037] Die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) zeigen das aktive Element **10** in einer Draufsicht von oben auf die obe-

re Trägerplatte **12** bzw. in einer Schnittansicht entlang der Linie A-A' von [Fig. 2a](#). An der oberen Trägerplatte **12** befinden sich drei Aktorenbefestigungen **15**, die sich durch die obere Trägerplatte **12** erstrecken und jeweils einen Aktor halten. In der Schnittansicht von [Fig. 2b](#) ist erkennbar, dass jeder Aktor **13** zusätzlich auch an der unteren Trägerplatte **11** befestigt ist, wobei sich weitere Befestigungselemente **16** durch die untere Trägerplatte **11** erstrecken, um den Aktor **13** zu halten. Daher wird jeder Aktor **13** zwischen der unteren Trägerplatte **11** und der oberen Trägerplatte **12** durch die Befestigungselemente **15**, **16** gehalten.

[0038] Auch an der unteren Trägerplatte **11** befindet sich ein weiteres Befestigungselement **17**, das zur Befestigung des aktiven Elements **10** an einem weiteren Bauteil dient, beispielsweise an einer Trägerstruktur, die im Betrieb Vibrationen ausgesetzt ist. Die Befestigungselemente **14**, **17** für die miteinander zu verbindenden Bauteile erstrecken sich jeweils durch die zugehörige Trägerplatte **11**, **12** und sind länglich ausgestaltet, im vorliegenden Fall als Schrauben. Es sind jedoch die verschiedensten Möglichkeiten der Befestigung an den miteinander zu verbindenden Bauteilen möglich, die je nach den Erfordernissen des Einzelfalls ausgewählt werden. Somit dient die Trägerstruktur, die aus den Trägerplatten **11**, **12** gebildet wird, zur Befestigung oder Aufhängung eines ersten Bauteils an einem zweiten Bauteil, wobei sich im eingebauten Zustand des aktiven Elements **10** die beiden Bauteile auf gegenüberliegenden Seiten des aktiven Elements **10** befinden und über die Befestigungselemente **14** bzw. **17** mit den Trägerplatten **12** bzw. **11** verbunden sind.

[0039] Die einzelnen Aktoren **13** sind beispielsweise Piezoaktoren. Es können aber auch elektromagnetische, hydraulische, pneumatische oder sonstige Aktoren verwendet werden. Die Aktoren **13** sind geometrisch so angeordnet, dass drei Freiheitsgrade aktiv geregelt werden können, wie z. B. die Translation in Normalrichtung des Aktors sowie beide Rotationen in der Ebene senkrecht zur normalen Richtung. Durch die geometrische Anordnung der Aktoren **13** in Form eines Dreiecks, die eine zweidimensionale Anordnung in Bezug auf die daran angeschlossenen Trägerplatten bildet, kann beispielsweise die obere Trägerplatte **12** Bewegungen in drei Raumrichtungen ausführen, die in [Fig. 1](#) durch die Pfeile x, y und z gekennzeichnet sind. Bei entsprechender Regelung der Aktoren **13** kann sich beispielsweise die obere Trägerplatte **12** in Richtung ihrer Flächennormalen hin und her bewegen. Die obere Trägerplatte **12** kann jedoch bei entsprechender Ansteuerung auch um die Rotationsachse y und um die Rotationsachse z verkippt werden, wobei sich die Achsen y und z in Flächenrichtung der oberen Trägerplatte **12** erstrecken und senkrecht zueinander gerichtet sind. Diese Bewegungen der oberen Trägerplatte **12** sind im vorlie-

genden Beispiel relativ zur unteren Trägerplatte **11** ausführbar.

[0040] Die Regelung der Bewegung bzw. Schwingungsbewegung der oberen Trägerplatte **12** erfolgt aufgrund eines Sensorsignals, das durch mehrere Messaufnehmer oder Sensoren **18** erzeugt wird, die elektrisch an die Regeleinrichtung gekoppelt sind. Die Sensoren **18** erfassen dreidimensionale Bewegungen der Trägerplatte **12** und erzeugen daraus ein Sensor- bzw. Fehlersignal, das der Regeleinrichtung zugeführt wird. Die Regeleinrichtung steuert aufgrund des Sensorsignals die Aktoren **13** derart, dass die dreidimensionale Bewegung der Trägerplatte **12** minimiert oder vollständig ausgegeregelt wird. Zu diesem Zweck sind mehrere Sensoren **18** bzw. Aufnehmer für das Fehlersignal auf den Trägerplatten **11**, **12** direkt integriert, die zur Regelung verwendet werden.

[0041] Die [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dienen zur weiteren Veranschaulichung des Aufbaus des erfindungsgemäßen aktiven Elements **10** als bevorzugtes Ausführungsbeispiel. Dabei zeigt [Fig. 4](#) einen Schnitt durch das aktive Element entlang der Linie B-B' von [Fig. 3](#). Die sich zwischen den Trägerplatten **11** bzw. **12** befindenden Aktoren **13** sind geometrisch so angeordnet, dass sie Kräfte auf die Trägerplatten **11**, **12** ausüben, die senkrecht zu deren Flächennormalen gerichtet sind. Durch die zweidimensionale Anordnung der Aktoren **13** im Zwischenraum zwischen den beiden voneinander beabstandeten Trägerplatten **11** und **12** sind die Trägerplatten **11**, **12** in der Lage, dreidimensionale Bewegungen in Bezug zueinander auszuführen. Im eingebauten Zustand des aktiven Elements **10**, bei dem das aktive Element **10** zwei Bauteile vibrationsisolierend miteinander verbindet, kann durch die relativ zueinander erfolgende Bewegung der Trägerplatten **11**, **12** in drei Freiheitsgrade eine Vibrationsisolierung erfolgen, die eine besonders wirksame Schallisolierung des daran angeschlossenen Bauteils zur Folge hat.

[0042] In [Fig. 4](#) ist die Anordnung der Aktoren **13** in Bezug auf die sechseckige Trägerplatte **12** noch detaillierter dargestellt. Die Aktoren **13** befinden sich jeweils an einer Außenkante der Trägerplatte **12**, so dass durch Ausdehnung oder Kontraktion der Aktoren **13** eine Verkipfung der Trägerplatte **12** in zwei Raumrichtungen oder eine Translation in Richtung ihrer Flächennormalen erfolgen kann. Die Sensoren **18** zur Erzeugung des Fehlersignals, das an die Regeleinrichtung weitergegeben wird, sind in die Trägerplatte **12** integriert und ebenfalls an drei Punkten der Trägerplatte **12** angeordnet.

[0043] [Fig. 5](#) zeigt das aktive Element **10** im eingebauten Zustand zwischen einer Trägerstruktur **19** und einer zu isolierenden Struktur **20**. In diesem Beispiel ist die zu isolierende Struktur **20**, beispielsweise eine Innenraumwandung bzw. ein Trimmpaneel einer

Flugzeugkabine, durch zwei aktive Elemente **10** an der Trägerstruktur **19** befestigt.

[0044] Im Betrieb wirken Störungen **1**, wie beispielsweise Außenlärm oder sonstige Vibrationen, auf die Trägerstruktur **19** ein, die auf verschiedenen Übertragungspfaden **2**, **3** auf die zu isolierende Struktur **20** übertragen werden. Der Übertragungspfad **2** ist beispielsweise ein Luftschallpfad, der Vibrationen der Trägerstruktur **19** durch Luftschall auf die zu isolierende Struktur **20** überträgt, während der Übertragungspfad **3** ein Körperschallpfad ist, der die Vibrationen an der Befestigungsstelle durch Körperschall überträgt. D. h., im Betrieb regen externe Störungen **1** wie Lärm und/oder äußere Lasten die Trägerstruktur **19**, die beispielsweise ein Flugzeugrumpf ist, zu Schwingungen an. Diese Schwingungen übertragen sich über den Luftschallpfad **2** und/oder den Körperschallpfad **3** auf die zu isolierende Struktur **20** bzw. das Trimmpaneel und erzeugen dort Schwingungen, die wiederum als störender Lärm abgestrahlt werden.

[0045] Die abgestrahlten Störungen sind durch den Pfeil **4** gekennzeichnet. Die Störungen **4** werden durch den Einbau des aktiven Elements **10** zwischen der Trägerstruktur **19** und der zu isolierenden Struktur **20** im Zusammenspiel mit der Regelungseinrichtung **21** und den Sensoren **18** minimiert bzw. erheblich verringert. Es können an unterschiedlichen Positionen Sensoren angeordnet werden, beispielsweise an der zu isolierenden Struktur **20**, dem aktiven Element **10** und/oder der Trägerstruktur **19**, und bilden eine entsprechende Sensorik. Von den Sensoren **18** führen Signalleitungen zur Regeleinrichtung **21**, um die aufgenommenen Fehlersignale als Sensorsignale der Regeleinrichtung **21** zuzuführen. Dabei können insbesondere auch die Schwingungen der zu isolierenden Struktur **20** durch Sensoren **28** erfasst werden und als Regelgröße dienen. Ebenso können Schwingungen der Trägerstruktur **19** durch Sensoren **38** erfasst werden und entsprechende Sensorsignale der Regeleinrichtung **21** zugeführt werden.

[0046] Über die Daten der Sensorik **18** werden von der Regeleinrichtung **21** Ansteuerungssignale **22** für die Aktoren **13** des jeweiligen aktiven Elements **10** erzeugt, so dass die Regelgröße minimiert wird.

[0047] Gemäß einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel ist es ein besonderes Merkmal der Sensorik, dass sowohl Signale der in die Aktoren **13** integrierten Aufnehmer bzw. Sensoren **18** verwendet werden, als auch Signale von Aufnehmern bzw. Sensoren **28** und **38**, die auf der zu isolierenden Struktur **20** bzw. der Trägerstruktur **19** angeordnet oder darin integriert sind. Durch diese besondere Sensorenanordnung ist es möglich, die störenden Vibrationen und die dadurch erzeugte Geräuschabstrahlung der zu isolierenden Struktur **20** noch wirksamer zu reduzieren.

[0048] In den [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) sind beispielhaft Ergebnisse eines Tests mit einer typischen Flugzeugdoppelwand bzw. eines Rumpf-Trimmpaneels aufgeführt. Das Trimmpaneel hat eine Größe von 1×1 m und ist über vier aktive Aufhängungselemente, die gemäß der vorliegenden Erfindung ausgestaltet sind, am Rumpf angebracht. Dabei zeigt die [Fig. 6](#) das Schalldämmmaß R mit aktiver Regelung (durchgezogene Linie) und im Vergleich dazu ohne aktive Regelung (gestrichelte Linie). Es zeigt sich, dass das Schalldämmmaß R mit der erfindungsgemäßen aktiven Regelung über einen weiten Frequenzbereich deutlich erhöht ist. Durch den Einsatz der aktiven Isolierung mit den oben beschriebenen Elementen kann das Schalldämmmaß einer Struktur, beispielsweise einer Flugzeugstruktur, und damit der Passagierkomfort, erheblich gesteigert werden.

[0049] [Fig. 7](#) zeigt als weitere Versuchsergebnisse die mittlere Trimmpaneel-Beschleunigung mit aktiver Regelung (durchgezogene Linie) und im Vergleich dazu ohne aktive Regelung (gestrichelte Linie). Dabei zeigt sich, dass sich auch der mittlere Beschleunigungspegel auf dem Trimmpaneel über einen weiten Frequenzbereich erheblich verringert.

[0050] Durch das erfindungsgemäße Verfahren und das erfindungsgemäße aktive Element können Störlasten aktiv beeinflusst werden, die von der Trägerstruktur **19** in die zu isolierende Struktur **20** eingeleitet werden, wodurch eine schall- bzw. vibrationsisolierende Wirkung erzielt wird.

[0051] Die Anordnung mit drei oder mehr Aktoren **13** und mit einer Lastübertragung über drei Pfade gewährleistet vor allem die Beibehaltung der strukturellen Integrität und Funktionalität des Aufhängungselements besonders auch für den Fall, dass ein oder zwei Aktoren durch Defekte ausfallen sollten.

[0052] In besonderen Ausgestaltungen der Erfindung können die Trägerplatte **11**, **12**, das Befestigungselement **14**, **17** zu den jeweiligen Strukturen sowie die Aufnehmer **18**, **28**, **38** für die Fehlersignale auch direkt in die zu isolierende Struktur **20** und/oder die Trägerstruktur **19** integriert werden.

[0053] Da bei vielen Anwendungen der Luftschallpfad **2** (s. [Fig. 5](#)) im Gegensatz zum Körperschallpfad **3** nur eine geringe Rolle spielt, kann es in derartigen Fällen genügen, dass zur Regelung, d. h. zur Minimierung der störenden Schwingungen, nur die in die Aktoren bzw. in die aktiven Elemente integrierten Sensoren **18** als Fehlersignalaufnehmer verwendet werden.

[0054] Durch die Erfindung wird besonders bei Flugzeugen eine Erhöhung des Passagierkomforts durch eine geringere Lärmabstrahlung erzielt. Die Erfindung führt zu geringeren Schwingungspegeln in den

zu isolierenden Strukturen und damit auch zu einer geringeren Strukturbelastung, was neben dem Komfort auch die Sicherheit und die Haltbarkeit erhöht. Weiterhin wird durch die Erfindung eine Gewichtsverringerung erreicht, da ansonsten zur Erzielung einer ähnlichen akustischen Wirkung eine erhebliche Erhöhung der Strukturmasse notwendig wäre. Darüberhinaus wird durch das erfindungsgemäße aktive Element und das erfindungsgemäße Verfahren eine besonders breitbandige Wirkung erzielt, was ein erheblicher Vorteil gegenüber passiven Elementen ist, die in der Regel nur in bestimmten Frequenzbereichen wirksam sind.

Patentansprüche

1. Aktives Element zur Schwingungsreduktion von Bauteilen, insbesondere für Flugzeugkomponenten, das eine Tragestruktur zur Befestigung eines ersten Bauteils (19) an einem zweiten Bauteil (20) und eine mehrere Aktoren (13) umfassende Aktoreinheit enthält, die mit der Tragestruktur mechanisch gekoppelt ist, um die Tragestruktur mit wechselnden Kräften zu beaufschlagen, und die durch eine Regelungseinrichtung (21) auf der Grundlage ein oder mehrerer Sensorsignale zu Schwingungen in drei Freiheitsgraden derart anregbar ist, dass sie durch Bewegung in Richtung ihrer Flächennormalen und Verkippen in zwei Raumrichtungen der Übertragung störender Schwingungen auf einem Übertragungspfad (2, 3) durch die Tragestruktur zwischen den beiden Bauteilen (19, 20) entgegenwirkt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Tragestruktur durch zwei parallel zueinander angeordnete Trägerplatten (11, 12), von denen jede zur flächigen Befestigung an einem der Bauteile (19, 20) ausgestaltet ist, und die Aktoren (13) gebildet ist, wobei die Aktoren (13) zwischen den Trägerplatten (11, 12) angeordnet und zur Lastübertragung an diesen befestigt (15, 16) sind.

2. Aktives Element nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoren drei oder mehr Aktoren (13) umfassen, wobei eine Lastübertragung über drei oder mehr Pfade erfolgt.

3. Aktives Element nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktoren piezoelektrische, elektromagnetische, hydraulische und/oder pneumatische Aktoren (13) umfassen.

4. Aktives Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass auf mindestens einer der Trägerplatten (11, 12) Sensoren (18) zur Erzeugung des Sensorsignals integriert angeordnet sind.

5. Aktives Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Trägerplatten (11, 12) zu Translationsbewegungen in Richtung ihrer Flächennormalen

anregbar ist.

6. Aktives Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Trägerplatten (11, 12) zu Rotationsbewegungen um Achsen senkrecht zu ihrer Flächennormalen anregbar ist.

7. Aktives Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens ein Befestigungselement (14, 17) zur Befestigung des aktiven Elements (10) an dem ersten Bauteil (19) und/oder dem zweiten Bauteil (20).

8. Aktives Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Elemente Trägerplatte (11, 12), Befestigungselement (14, 17) und/oder Sensoren (18) in mindestens eines der benachbarten Bauteile integriert oder integrierbar ist.

9. Aktives Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es zwischen einer im Betrieb vibrierenden Trägerstruktur (19) und einer vor Schall oder Vibrationen zu isolierenden Struktur (20) befestigt oder befestigbar ist.

10. Aktives Element nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es im Bereich einer Doppelwand, insbesondere eines Flugzeugs, integrierbar oder integriert ist, um die Schwingungsübertragung von einer Wand oder Trägerstruktur (19) auf die andere Wand zu minimieren.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

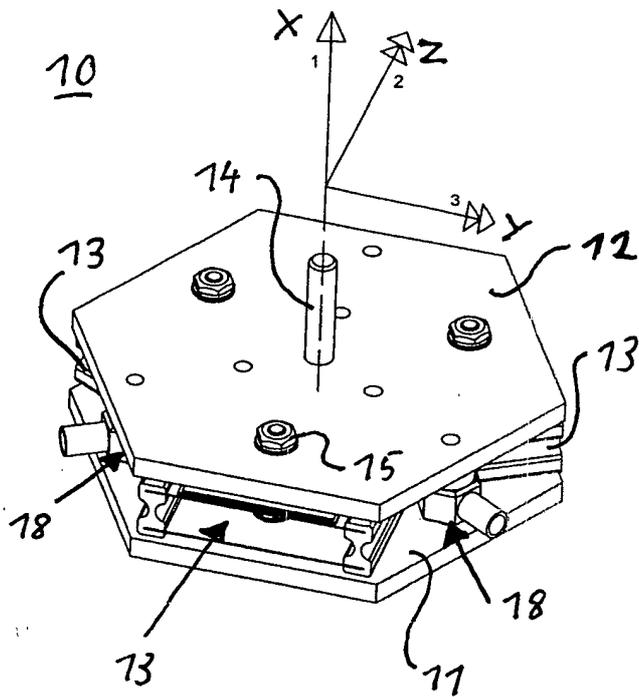


Fig. 1

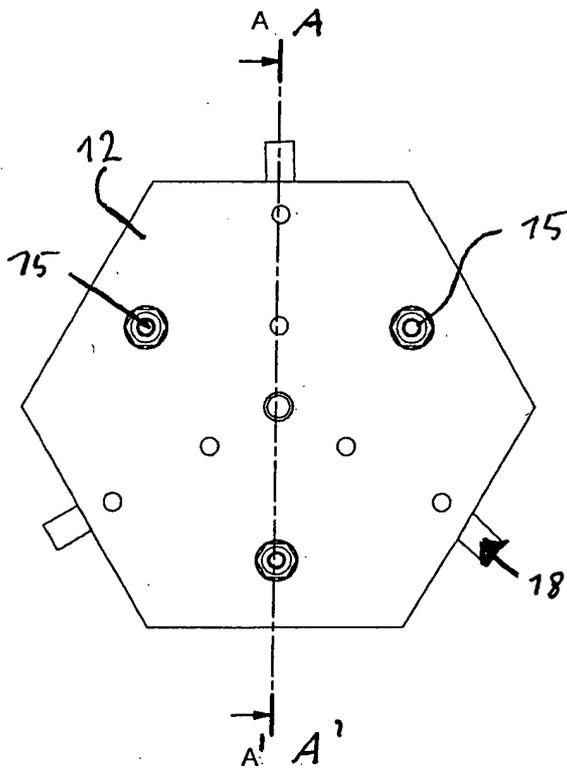


Fig. 2 a

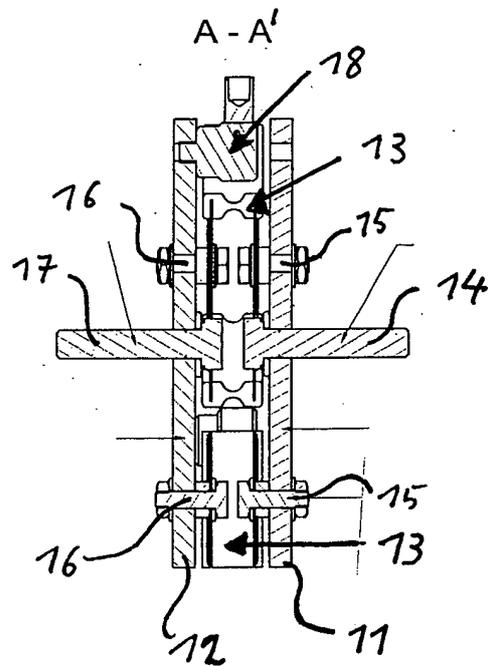


Fig. 2 b

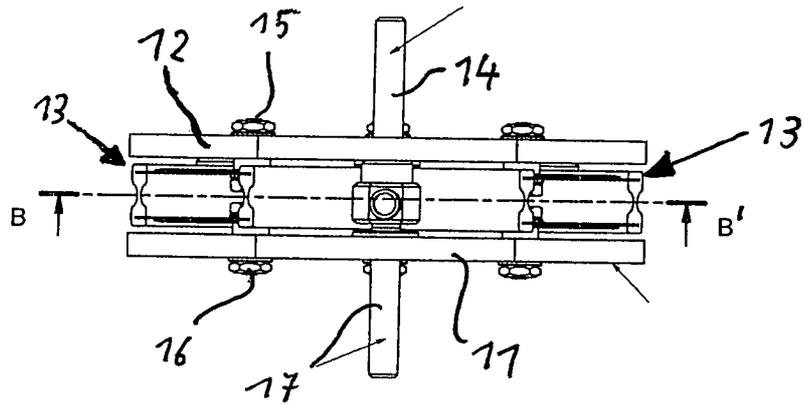


Fig. 3

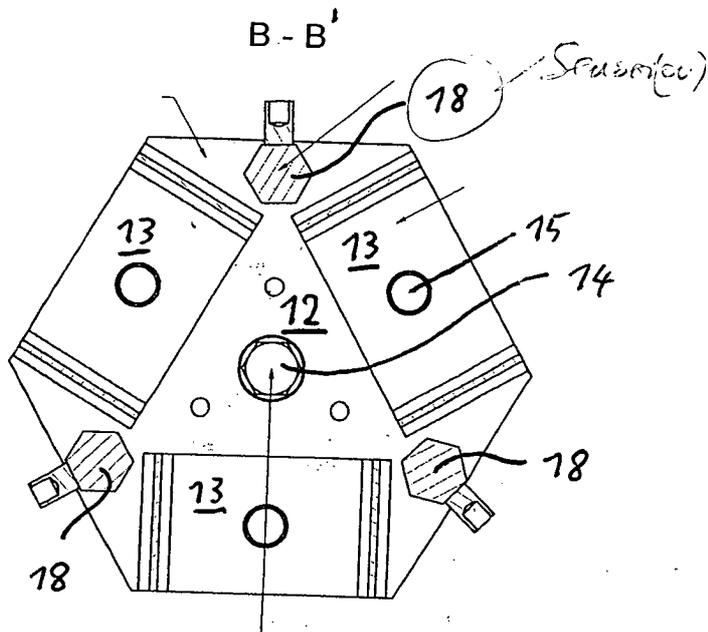


Fig. 4

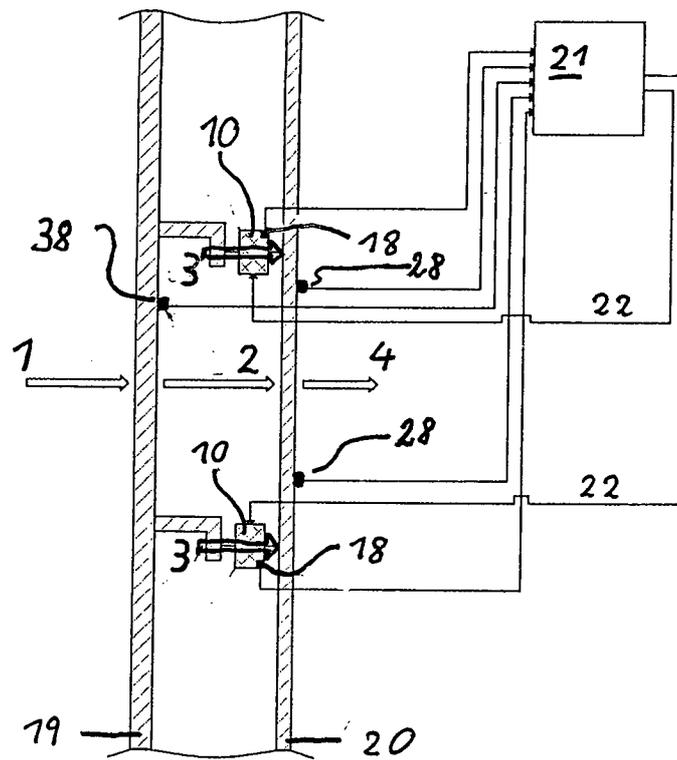


Fig. 5

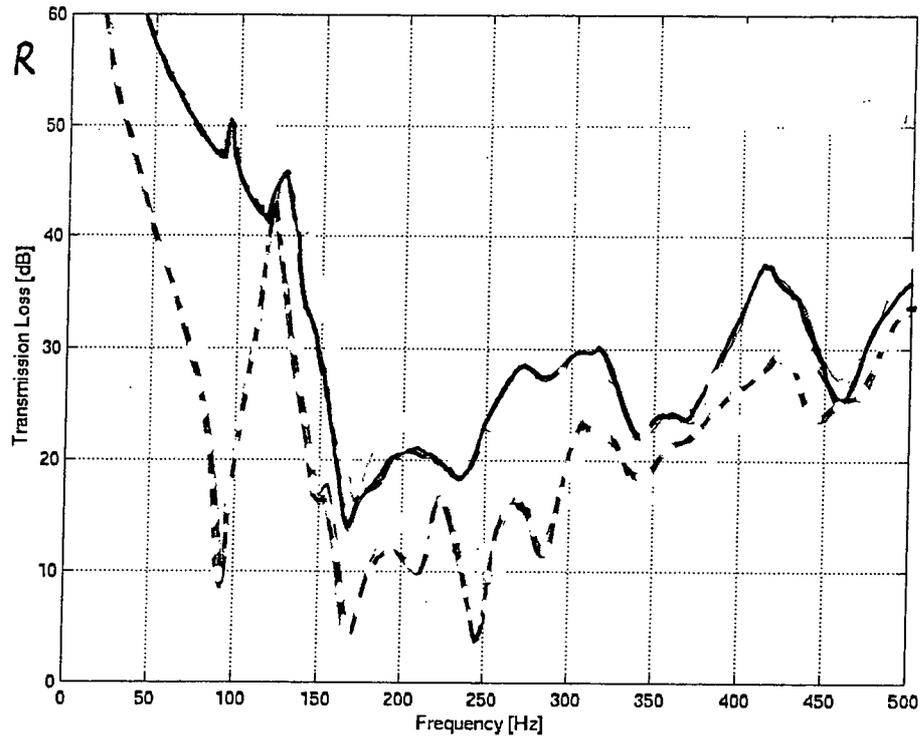


Fig. 6

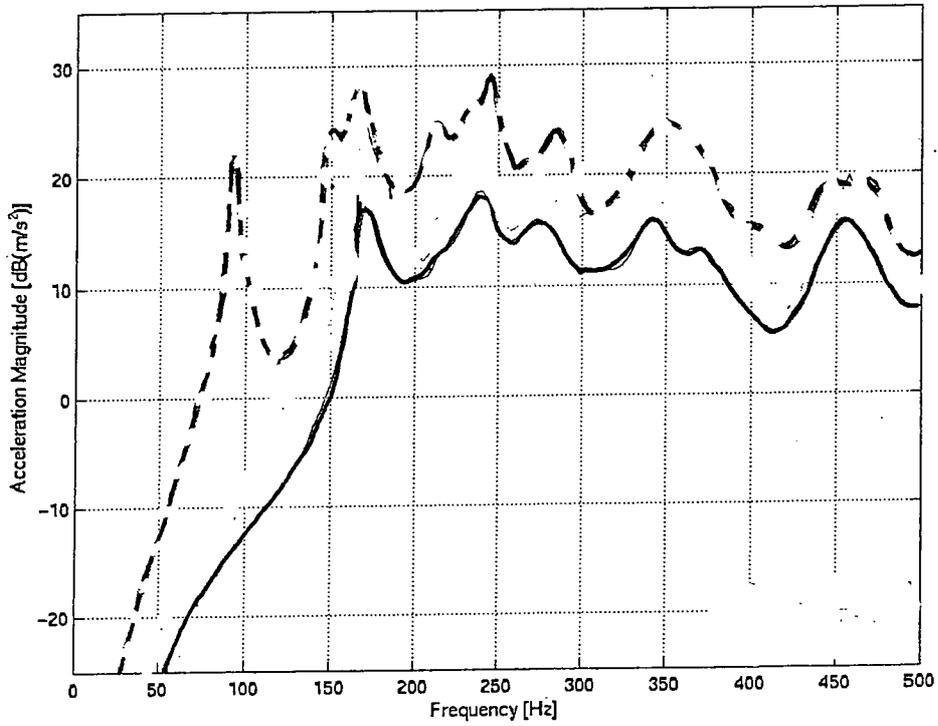


Fig. 7