E VIBRAZIONI - Rev. 000

Le vibrazioni Vibrations

IL CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI

Vibration control

ENERGIA E VIBRAZIONI
Energy and vibrations

Il controllo e la riduzione delle vibrazioni trasmesse dai macchinari alle strutture sta diventando sempre più importante sia in ambito industriale che in ambito residenziale.

Per realizzare l'obiettivo della riduzione delle vibrazioni bisogna conoscere a fondo il fenomeno.

Questa parte tecnica ha lo scopo di illustrare i concetti principali dell'isolamento dalle vibrazioni nel modo più semplice ovvero di guidare nella scelta dell'antivibrante più adatto alle specifiche esigenze.

Le vibrazioni non sono altro che una delle tante manifestazioni dell'energia che ci circonda. Questa, come sappiamo, non si crea e non si distrugge, passa semplicemente da uno stato all'altro. Questo accade per esempio ad una pressa o ad un maglio, non tutta l'energia immagazzinata è utilizzata per la deformazione del pezzo da lavorare. Una parte si scarica inevitabilmente sul suolo, per cui l'impatto può provocare delle vibrazioni che si propagano nei dintorni. Per eliminare questo disturbo, si può allontanare la sorgente di vibrazioni dal confinante che è disturbato o controllare, "addomesticare" questa energia che si disperde al suolo.

Lo scopo di un buon isolamento è di interporre una barriera nella propagazione dell'energia vibratoria tra macchina e terreno circostante. Si devono quindi interporre tra il sistema vibrante e il resto della struttura, degli elementi che riflettano una parte di questa energia e che ne attenuino l'intensità, affinché la vibrazione risultante che si scarica al suolo non rechi disturbo. Si tratta di un problema di interfaccia la cui unica soluzione va ricercata mediante l'impiego di intermediari elastici, siano questi supporti a molle o elastomeri.

VIBRAZIONI Vibrations Le vibrazioni sono una propagazione di energia sotto forma di onde che si trasmettono attraverso le strutture solide. Le vibrazioni sono caratterizzate da due grandezze: l'ampiezza dell'oscillazione e la sua frequenza, ossia il numero di oscillazioni al secondo. Queste due grandezze sono, in genere, inversamente proporzionali: all'aumentare della frequenza diminuisce l'ampiezza e viceversa.

Il tempo che intercorre tra due oscillazioni, è detto periodo e si esprime in secondi. L'inverso del periodo, la frequenza, esprime il numero di oscillazioni che abbiamo in un secondo e la sua unità di misura è l'Hertz (Hz).

Vibration control and reduction is becoming more and more a necessity both in industrial and residential places.

To efficiently reduce vibrations it's necessary to know the phenomenon very well.

This technical part would like to show you the main concepts of insulation from vibrations in the easiest way in order to help you to choose the most suitable antivibration mountings.

Vibrations are just a kind of energy that surrounds us. As we know, nothing is created and nothing is destroyed, the energy simply changes.

Not all the stored energy is employed for the deformation of the material to work as it happens for a press or for a hammer.

It unavoidably discharges on the ground and that is why the impact can produce some vibrations spreading nearby. In order to avoid this problem it is possible to remove the source of vibrations from the entity annoyed, or to control, "to train" the energy spread on the ground.

A good insulation has to interpose a barrier in the spreading of the vibrating energy between the machine and the soil around.

To reach this goal some elements, that reflect part of this energy and weaken its intensity, are fixed between the vibrating system and the rest of the structure.

In this way the resultant vibration, which arrives on the ground, can not cause any troubles; and so the only solution to this problem is the use of elastic mountings such as springs or elastomers.

Vibrations are a propagation of energy in the form of waves transmitted through solid structures.

Vibrations are characterized by two parameters: amplitude of oscillation and its frequency that is the number of cycles per second. These two parameters are usually inversely proportional: the more the frequency increases the more the amplitude decreases and vice-versa.

The time that passes between two oscillations is called period and it is expressed in seconds; while frequency, the inverse of the period, expresses the number of cycles per second, it is measured in Hertz (Hz).

LA RIGIDEZZA E LE VIBRAZIONI MECCANICHE Stiffness and mechanical vibrations

Grafico delle caratteristiche dell'antivibrante AA Diagram of the characteristic of A.V. mountings AA

VIBRAZIONI LIBERE
Free vibrations

Schema massa-molla

Mass-Spring Scheme

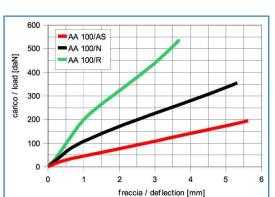
VIBRAZIONI SMORZATE

Damped vibrations

La rigidezza (K) è una caratteristica interna sia delle molle sia della gomma. Per le molle più comuni, essa fornisce una proporzionalità diretta dello schiacciamento rispetto ad un carico statico applicato. Nel caso degli antivibranti in gomma invece, le caratteristiche di freccia in funzione dello schiacciamento non sono più perfettamente lineari ma vi è una caratteristica approssimativamente parabolica, come mostra la figura.

Nessun elemento in realtà è indeformabile, quindi possiede una sua elasticità.

Tecnicamente si rappresenta il sistema sospeso come una massa sotto la quale sono fissati una molla e uno smorzatore.



Stiffness (K) is an internal characteristic of both springs and rubbers.
For the most common metallic springs there is a

For the most common metallic springs there is a linear proportion between deflection and applied static load.

In the case of rubber mounts, displacement response to applied loads is no more linear.

As we can see in the diagram there is a more or less parabolic characteristic.

Every fixture can be deformed and so it has its own elasticity.

Technically speaking the suspended system could be represented by a mass mounted on a spring and a damper.

Si può rappresentare il

nostro sistema come un sistema Massa – Molla. Consideriamo che la massa M possa spostarsi

solamente sull'asse verticale, tecnicamente si afferma che il nostro sistema ha un "solo grado di libertà" che è lo spostamento verticale: se noi spostiamo la massa verso il basso e poi la lasciamo libera, si parlerà di oscillazioni libere. poichè non agiscono forze esterne. Il sistema oscillerà con una determinata frequenza detta propria:

è una proprietà intrinseca del sistema dinamico, essa dipende dalla rigidezza ed dalla massa secondo la relazione

M

, int a de

It is possible to describe a suspended system as a Mass-Spring system. Considering that the mass can move just on the

> vertical axis, we can affirm in technical terms that our system has a "single degree of freedom", the vertical shifting. If we move the mass to the bottom and then we let it free we talk about free oscillation because there are no external forces acting. The system will oscillate at its natural frequency that is an

intrinsic characteristic of the dynamic system depending on stiffness and mass:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

L'esperienza ci dice però che nella realtà le ampiezze delle oscillazionidiminuiscono finchè il sistema non si ferma: questo perchè nei sistemi reali non si può prescindere dal fatto che uno smorzamento dato dagli attriti interni, sia posseduto in maggiore o in minor parte da tutti i corpi; ciò dipende soprattutto dal materiale con il quale sono costruiti.

La forza di smorzamento, esercita un'azione frenante del moto vibratorio, principalmente riducendone progressivamnete le oscillazioni.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

Experience teaches us that in reality the oscillations amplitude decreases until the system stops. In real systems there is always damping generated by internal frictions of the structures; it mainly depends on the material they are made of. The damping force stops the vibrating motion by reducing progressively its

The previous diagram needs therefore to be completed because it is not precise.

VIBRAZIONI FORZATE E RISONANZA Forced vibrations and resonance

Schema Massa-Molla-Smorzatore Mass-Spring-Damper scheme

TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI Vibration trasmission Lo schema massa-molla va quindi completatato aggiungendo alla massa M e alla rigidezza K, uno smorzatore D, che rappresenta la resistenza dissipativa offerta dal sistema. Lo smorzatore D, è in grado di fornire una forza dissipativa che tiene conto degli attriti interni. Nel caso di oscillazioni smorzate, la frequenza propria del sistema risulterà leggermente ridotta (in modo trascurabile per i normali valori di smorzamernto).

Ora vediamo quello che succede nella maggior parte dei problemi di dinamica e di conseguenza nella realtà, esaminiamo quindi le vibrazioni che hanno luogo sotto l'azione di una forza esterna e che sono chiamate vibrazioni forzate.

Esse sono generate da elementi interni alla macchina ed hanno una frequenza generalmente correlata, ad esempio, con il

numero di giri del motore o di altri organi rotanti.

Quando la forzante agisce sul sistema, questo oscilla con una frequenza uguale a quella della forzante stessa.

Se la frequenza di eccitazione coincide con la frequenza propria del sistema, parliamo di risonanza, in cui vi è un

amplificazione delle oscillazioni, tale per cui, le forze trasmesse all'esterno del sistema, generalmente alle base della macchina, sono molto alte.

Lo scopo dell'isolamento dalle vibrazioni è di ridurre l'energia trasmessa dal macchinario all'ambiente circostante. L'indice di efficacia di questo isolamento è dato dalla trasmissibilità: essa rappresenta il rapporto tra la forza (o accelerazione) trasmessa alla fondazione e la forza (o accelerazione) prodotta dalla macchina. Tanto è minore quest'indice tanto maggiore sarà l'efficacia dell'isolamento dalle vibrazioni.

Sul valore della trasmissibilità ha un'influenza predominante il rapporto tra la frequenza naturale del sistema sospeso (fn) e la frequenza della vibrazione da isolare, chiamata frequenza di eccitazione del sistema (fd).

Altro fattore determinante è lo smorzamento D espresso come rapporto rispetto allo smorzamento critico.

Fondamentalmente, D è una percentuale dipendente dal rapporto tra l'energia assorbita e dissipata sotto forma di calore dall'antivibrante e l'energia trasmessa.

A damper D, representing the dissipative resistance offered by the system, has to be added to mass M and to stiffness K. Damper D can supply a dissipative force, which takes into account internal friction.

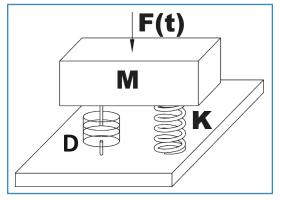
In case of damped oscillations, the frequency of the system will be slightly reduced (for usual damping values the difference from undamped system is quite negligible).

Now we are going to consider forced vibrations caused by an external force; it is what happens in most of cases concerning dynamics, or, in other words, in reality.

Forced vibrations are generated by elements inside the machine and they have a frequency generally correlated to the engine or to other

rotating mechanism rpm.

When the force acts on the system, this one oscillates with which freauency is equal to the force frequency. lf the forcing frequency coincides with the natural frequency of the system the machine operates in resonance condition.



In such a condition there is an amplification of oscillations and high level of vibration are transmitted outside the system, generally at the base of the machine.

The aim of vibration isolation is to reduce the energy transmitted from the machinery to the foundation.

Transmissibility determines the level of efficiency: the lower this index is, the higher vibration isolation is. It represents the ratio between force (or acceleration) transmitted to the foundation and force (or acceleration) generated by the machine.

Transmissibility depends mainly on the ratio between the natural frequency of the suspended system (fn) and the frequency of the vibration to be isolated, that is the forcing frequency of the system (fd).

Another important element is damping D espressed as ratio between the system damping and its critical damping.

D is a percentage depending on the ratio between the energy absorbed and dissipated as heat by the isolator and the total energy transmitted.

Quindi, in un corpo perfettamente elastico, D sarà uguale a zero, mentre per D uguale a 1, il corpo compierà solamente una oscillazione e poi si fermerà. Come ordine di grandezza si può ritenere che in supporti di gomma D vari dal 3 all'8% (a seconda delle caratteristiche della mescola e della temperatura di esercizio), mentre, per le molle in acciaio D si può ritenere trascurabile. L'isolamento percentuale è l'inverso della trasmissibilità.

La trasmissibilità è quindi espressa dalla:

$$T = \sqrt{\frac{1 + (2\frac{f_d}{f_n}D)^2}{(1 - \frac{f_d^2}{f_n^2})^2 + (2\frac{f_d}{f_n}D)^2}}$$

che per valori di smorzamento trascurabili si riduce a:

$$T = \left| \frac{1}{1 - \left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2} \right|$$

Il grafico ci illustra come varia la trasmissibilità al variare della frequenza propria rispetto alla

frequenza eccitatrice che generalmente è fissa. Consideriamo diversi gradi di smorzamento: per D=0% e per fd/fn=1, cioè nel caso della risonanza, la trasmissibilità diviene infinita e anziché un isolamento si ha un delle esaltazione Per vibrazioni. un rapporto fd/fn maggiore di radice di due, l'effetto dell'isolamento comincia a farsi sentire, un buon isolamento lo si ottiene per fd/fn superiore a 3.

valore Un smorzamento alto riduce le amplificazioni in risonanza ma ha un minor grado di isolamento alle la frequenze oltre risonanza: mentre un valore di basso smorzamento consente un ottimo isolamento alle alte frequenze

comporta una significativa amplificazione alla risonanza.

Therefore, in a perfectly elastic body, D is 0, while if D is 1, the body will perform a single oscillation before stopping.

The order of magnitude of D in rubber mounts ranges from 3 to 8% (depending on rubber composition and temperature), while for steel springs D can be considered negligible.

The percent isolation is the opposite of transmissibility.

Trasmissibility can be calculated as:

$$T = \sqrt{\frac{1 + (2\frac{f_d}{f_n}D)^2}{(1 - \frac{f_d^2}{f_n^2})^2 + (2\frac{f_d}{f_n}D)^2}}$$

or, for negligible damping values, as:

$$T = \left| \frac{1}{1 - \left(\frac{f_d}{f_n}\right)^2} \right|$$

The following plot shows how the transmissibility changes depending on the ratio between the

forcing frequency (generally fixed) and the natural frequency. Let's consider different damping values: when D=0% and fd/fn=1, that is the case of resonance,

transmissibility tends infinity and vibrations are exalted rather than insulated. For an fd/fn ratio higher than the square-root of two, the effect of insulation begins to become evident, a good degree isolation it's obtained with a fd/fn ratio higher than 3.

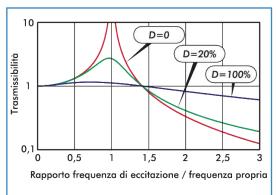
An high damping value leads to lower resonance

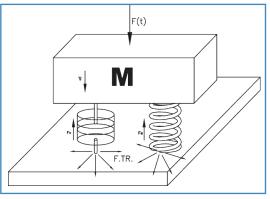
amplification but also to an higher trasmissibility for frquencies higher than the natural frequency; a low damping value

allows to obtain a very good isolation at higher frequencies but with an evident amplification in resonance.

Grafico Trasmissibilità vs. Frequenza propria Trasmissibility vs. Natural frequency diagram

Schema Massa-Molla-Smorzatore e forze in gioco Scheme considering Mass-Spring-Dumper and forces involved







GRADO DI ISOLAMENTO Insulation degree

INSTALLAZIONE DEGLI
ANTIVIBRANTI
Application of
A.V. Mounts

Il grado di isolamento (inverso della trasmissibilità), esprime il valore percentuale di energia vibratoria assorbita dall'antivibrante, e quindi non trasmessa all'ambiente. Un buon isolamento percentuale è tra il 70% e il 90%.

Per una corretta installazione degli antivibranti è utile sapere:

- Tutti gli antivibranti sotto uno stesso macchinario devono essere ugualmente caricati oppure devono essere scelti differenziati in base all'effettivo carico gravante sul punto in modo da subire lo stesso cedimento statico.
- F١ bene che nell'isolamento di più macchine collegate tra loro da cinematismi o tubazioni, queste siano poste su di un singolo basamento in modo da non avere squilibri durante il funzionamento dovuto alla diversa deformabilità degli antivibranti.



The insulation degree (opposite of transmissibility) represents the quantity of the vibratory energy absorbed by the antivibration mount, therefore not transferred to the environment. A good percent insulation ranges from 70% to 90%.

For proper installation of A.V. mountings is useful to know:

- The anti-vibration mounts under a machinery shall be equally loaded, or shall be chosen differenziated as a consequence of the effective punctual loads in order to have the same static deflection.
 - In the insulation of several machines connected by pipes or gears they should be assembled on a single basement in order to avoid misallignements during working caused by the different deflection of isolators.

- Gli antivibranti sono generalmente concepiti per sopportare maggiori portate in compressione, sarebbe quindi opportuno posizionarli in modo tale da non sollecitarli a forze trasversali.
- Bisogna tenere presente che gli antivibranti sono organi deformabili, quindi va prevista una configurazione di installazione il più stabile possibile. Ad esempio massimizzando le distanze tra i supporti o adottando montaggi con stabilizzatori a parete per macchinari molto alti rispetto alle dimensioni della base.
- Tutto il sistema deve essere isolato senza lasciare vie di fuga alle vibrazioni. Per questa
- ragione, si utilizzano isolatori gomma o a molla per quanto riguarda - il supporto della macchina e dei giunti antivibranti, per esempio una per pompa, per -il collegamento alle tubazioni.



- A.V. mounts are usually designed to bear most load in compression, therefore it would be better to place them so that transversal forces do not stress them.
- As A.V. mounts are obviously elastic attachments, it's important to realize a machine installation layout as stable as possible. You should maximize the distance between mounts or adopt installation with wall stabilizers if the machinery is very high compared to the basement dimensions.
- The whole system shall be insulated stopping every possible way of propagation for the
 - vibrations. For this reason, rubber or spring isolators are located under the machine basement and antivibrating joints, for instance for a pump, are adopted for pipes linking.

Bisogna eliminare qualunque sorta di percorso alternativo in modo da non rendere inutile l'isolamento per effetto di corto circuiti "rigidi".

• Bisogna ottenere la sospensione elastica dell'intero sistema. La scelta degli isolatori, il

tipo, il numero, la distribuzione e le modalità di sistemazione va fatta tenendo conto delle caratteristiche d'insieme da conferire alla sospensione per ottenere il risultato cercato. Per determinare la sospensione antivibrante è fondamentale conoscere tutte le

caratteristiche della macchina da isolare: in particolare masse e frequenze delle forzanti. In ogni caso è utile avere un disegno (anche schematico) che indichi la posizione del baricentro e dei punti di fissaggio della macchina.

• La superficie di appoggio degli antivibranti deve essere il più piana possibile.

Every kind of alternative transmission path shall be eliminated, in order to avoid stiffening bridges that could reduce the insulation efficiency

• It is necessary to realize the elastic suspension of the whole system. The choice of isolators,

regarding type, number, layout and interfaces should consider the general characteristics of the suspension to obtain the desired result. It is fundamental to know all the characteristics of the machine to be isolated: mainly masses $\it distribution$ and forcing frequencies. It is useful to have a draw (even

simplified) that indicates the position of the centre of gravity and of the fixing points of the machine.

