

Sistema de Absorción de Vibraciones de amplio Espectro basado en un nuevo Muelle de Rigidez variable.

Angel G. Gonzalez-Rodriguez^{1,*}, Antonio Gonzalez-Rodriguez¹, Jesus M. Chacon^c, Fernando J. Castillo^d

^a Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática, Universidad de Jaén, 23071, Jaén, España

^b Departamento de Mecánica Aplicada, Universidad de Castilla-La Mancha, 13071, Ciudad Real, España

^c Instituto de Matemática Aplicada en Ciencia e Ingeniería (IMACI), Universidad de Castilla-La Mancha, 13071, Ciudad Real, España

^d Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad de Castilla-La Mancha, 45071, Toledo, España

Resumen

Este artículo presenta un sistema de absorción de vibraciones ajustable. Las vibraciones son absorbidas por una masa secundaria que se añade al sistema mediante un muelle de rigidez variable, que consta de dos pares de láminas elásticas trabajando en oposición. El amplio rango de valores de rigidez que presenta (entre 1 kN m^{-1} y 16 kN m^{-1}) permite al sistema de absorción cancelar vibraciones en el rango de 1.43 – 5.73 Hz. Ante vibraciones de frecuencia variable en este rango, un motor de corriente continua permite ajustar la rigidez de dicho muelle en función de la frecuencia para que la atenuación de la vibración sea máxima en todo momento. El sistema de absorción de vibraciones ha sido incluido en una bancada que modela un sistema de segundo orden, y se han desarrollado un conjunto de experimentos que muestran una buena concordancia con los resultados teóricos para excitaciones de baja magnitud. Sin embargo, al aumentar la magnitud de la excitación, la desviación respecto del comportamiento lineal impide aplicar escalabilidad y superposición.

Palabras Clave:

Rigidez variable, sistema de absorción de vibraciones, muelle no lineal, muelle de láminas, sistemas no lineales, modelado y simulación.

1. Introducción

La necesidad de cancelar la vibración, cuando ésta es indeseable, ha sido constante desde los primeros mecanismos. El carácter de la fuente de la vibración origina que el movimiento oscilatorio de la vibración sea periódico, como la vibración que originan las palas en la torre de una turbina eólica, o no periódico, como en terremotos.

Un cierto grado de vibraciones es inevitable en la mayoría de los dispositivos, y hasta cierto valor es aceptable. Sin embargo, valores elevados pueden ocasionar vibraciones en los soportes y equipos cercanos o fallos por fatiga que incrementan la frecuencia de mantenimiento. El caso es especialmente nocivo cuando al sistema se aplican fuerzas a una frecuencia cercana a la natural del sistema. En esta situación, el sistema responde a esta excitación con unas amplitudes muy elevadas, teóricamente infinitas en ausencia de amortiguación.

En el caso de vibraciones periódicas de frecuencia fija, la atenuación de dichas vibraciones se consigue incorporando una masa adicional unida por un muelle, lo que constituye el sistema de absorción de vibraciones. Esto incrementa el número de grados de libertad del sistema, añadiendo un modo más de vibración, y modificando la respuesta del sistema resultante (masa primaria más sistema de absorción).

Ajustando la rigidez del sistema de absorción, puede conseguirse una característica en la que se reduzcan las vibraciones a una frecuencia determinada w_{canc} , típicamente la frecuencia prevista de excitación (Rao, 2004). En el caso de sistemas no amortiguados, la cancelación de vibraciones puede ser total. En contrapartida, existirán dos frecuencias de resonancia en torno a la frecuencia de anulación de vibraciones w_{canc} . En el caso de que la frecuencia de excitación varíe y se aproxime a alguna de estas frecuencias, el sistema de absorción, en vez de cancelar vibraciones, las amplificará. Este efecto también puede producirse por una deriva en las características del sistema primario.

Este problema se evita utilizando sistemas de absorción de vibraciones ajustables, que son capaces de modificar su característica tal que la frecuencia $\omega_{max,atn}$ en que se produce la atenuación de vibración máxima coincida continuamente con la

* Autor en correspondencia

Correos electrónicos: agaspar@ujaen.es (Angel G. Gonzalez-Rodriguez), Antonio.Gonzalez@uclm.es (Antonio Gonzalez-Rodriguez), JesusMiguel.Chacon@uclm.es (Jesus M. Chacon), Fernando.Castillo@uclm.es (Fernando J. Castillo)

frecuencia de excitación.

La forma más exitosa de modificar $\omega_{\max,atn}$ es mediante el ajuste de la rigidez de un elemento elástico. Brennan (2006), Liu and Liu (2006) y Acar and Yilmaz (2013) revisan diferentes técnicas para modificar la rigidez en los sistemas de absorción ajustables:

- Cambiar el número efectivo de bobinas en un muelle helicoidal (Franchek et al., 1996).
- Variar la longitud de una barra flexible en voladizo con una masa en su extremo libre (Nagaya et al., 1999). En (Zhu et al., 2013), la modificación de la masa secundaria y de la rigidez (o de magnitudes equivalentes) de la barra en voladizo se obtiene incluyendo en la barra un conjunto de tubos flexibles de composites de matriz fluida.
- Modificar la curvatura de las láminas de un muelle (Walsh and Lamancusa, 1992).
- Aplicar un campo magnético variable a bloques de elastómero magnetorreológico (MRE) (Ginder et al., 2001).
- Utilizar electroimanes (EM), alimentados con una corriente variable, en conjunción con un elemento elástico (Waterman, 1988) (Liu and Liu, 2006). Una solución similar son los muelles magnéticos (Trimboli et al., 1994).
- Usar aleaciones con memoria de forma (SMA), que permiten al sistema de absorción aumentar su rigidez mediante el aumento de su temperatura (Williams et al., 2002).

Los sistemas de absorción de vibración centrífugos de péndulo (Monroe and Shaw, 2013) también utilizan una masa adicional, aunque en esta solución la masa secundaria no está unida a la masa primaria por medio de un muelle. Es una solución muy extendida en el caso de vibraciones en el par de torsión.

La mayoría de estas técnicas no añaden un amortiguamiento significativo en el sistema, y por lo tanto el sistema de absorción puede obtener una reducción máxima de la vibración a la frecuencia de trabajo. No obstante, presentan el inconveniente de que precisan de una masa secundaria para provocar una fuerza de reacción que reduzca la vibración en la masa primaria. Se puede evitar la adicción de una masa secundaria si el acoplamiento inherente/primario del sistema puede ser sustituido por un muelle de rigidez variable (MRV), aunque esta sustitución no suele ser posible. Otra opción para evitar la masa secundaria es incluir el MRV en paralelo con el eje primario; en este caso, la rigidez total aumentará, trasladando así la frecuencia de resonancia a frecuencias más altas.

Sin la adición de una masa secundaria, los muelles de rigidez ajustable también se han utilizado para hacer más segura la interacción entre robots y humanos, como en el caso de los robots cooperantes industriales, los juguetes robóticos, o los robots empleados en rehabilitación; o bien, para ajustar la dinámica natural de un sistema mecánico, como en las prótesis robóticas y en los robots caminantes/corredores (Ham et al., 2009).

Existen otras técnicas que no persiguen exactamente la modificación de la rigidez del sistema de absorción. En su lugar, reducen la vibración al actuar como amortiguadores variables:

- Amortiguadores semiactivos hidráulicos regulables (Patton et al., 1996), que se utiliza principalmente para grandes estructuras.
- Elementos piezoeléctricos (Davis and Lesieutre, 1995), con la capacidad de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, que se disipa en una resistencia de potencia.

Brennan (2006) proporciona una valiosa revisión de diferentes tipos de prototipos existentes, indicando el rango de frecuencias naturales de los sistemas de absorción correspondientes: 100 – 135 Hz y 36 – 56 Hz para dos prototipos de tipo muelle de lámina, 72 – 88 Hz para un sistema de absorción SMA, o 540 - 736 Hz para un sistema MRE. Williams et al. (2002) indican una variación relativa de $1 - 1.73 \omega_1$ en su sistema de absorción SMA, y Liu and Liu (2006) muestran un rango de 13.5 – 18.5 Hz para su sistema de absorción EM.

Como se aprecia, la mayoría de estos sistemas son capaces de modificar sólo levemente su rigidez y, por tanto, estas estrategias pueden cancelar vibraciones sólo en un rango reducido de frecuencias. Este artículo describe la actuación de un nuevo sistema de absorción de vibraciones ajustable. Como en otros modelos, la absorción de vibraciones se lleva a cabo incluyendo una masa secundaria que recibe la energía cinética no deseada. La cantidad de energía capturada por la masa secundaria depende de las características del MRV a través del cual se conecta a la masa primaria. En el sistema de absorción propuesto en este artículo se utilizará el muelle presentado en (Gonzalez-Rodriguez et al., 2011).

La teoría clásica de sistemas de absorción de vibraciones contempla el uso de muelles lineales. Sin embargo, el muelle incluido tiene un comportamiento no lineal, que impide usar técnicas lineales para predecir el comportamiento del sistema total en ciertas situaciones (p.ej. excitaciones simultáneas o de elevada magnitud).

En realidad, la mayoría de los sistemas de absorción de vibraciones exhiben un comportamiento no lineal, pero esta característica no suele ser tratada en los correspondientes estudios de dichos sistemas de absorción. Un análisis generalista de la no linealidad puede encontrarse en Viguie and Kerschen (2009) o en Oueini and Nayfeh (2000), éste último para excitaciones sinusoidales. En algunos otros estudios se realiza un análisis particularizado al tamaño y características del muelle en estudio (Grappasonni et al., 2014), (Ashour and Nayfeh, 2003).

En esta misma línea se ha efectuado un primer análisis para detectar las desviaciones en el muelle propuesto respecto de la característica lineal, a fin de establecer el rango de operación en el que no se modifica significativamente el comportamiento respecto del caso lineal.

A continuación, el sistema de absorción de vibraciones se ha sometido a diferentes simulaciones a fin de obtener las características dinámicas del conjunto, así como su respuesta esperada en caso de quedar fuera del rango de operación lineal.

Se ha construido una bancada de ensayo para realizar un conjunto de experimentos que han validado el análisis teórico y los resultados de simulación. Aprovechando su amplio rango

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050533>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050533>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)