

اصول کنترل ارتعاش در تجهیزات سرمایشی و تهویه مطبوع

Basic of vibration isolation in HVAC Equipment

مهندسی جداسازی ارتعاشات www.mjerteash.ir

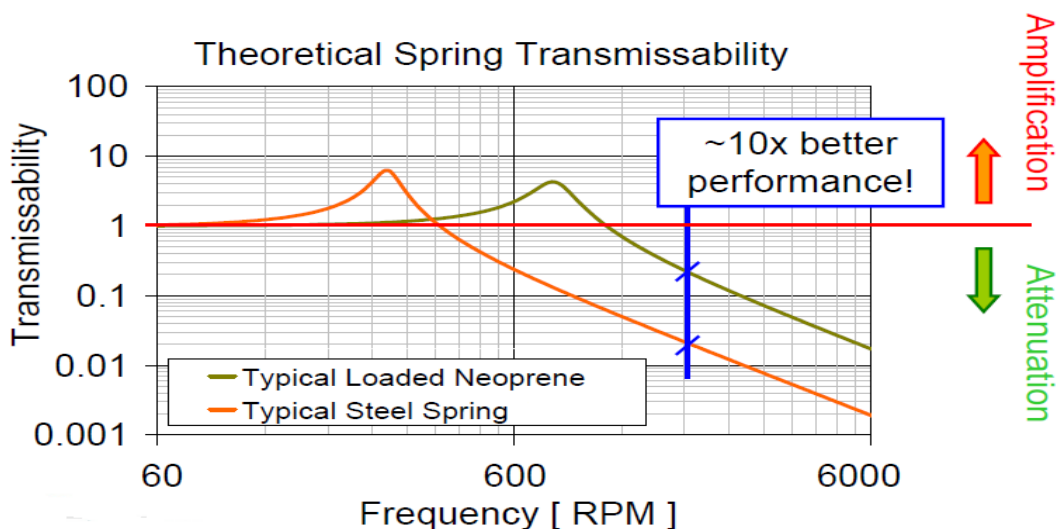
مقدمه

امروزه با افزایش شهرنشینی و توسعه کلان شهرها و رشد تکنولوژی سبک سازی و بلند مرتبه سازی ، سطح ارتعاش و نویز در ساختمانها از میزان مجاز و قابل تحمل ان فراتر رفته است.

اکثر ساختمانهای بزرگ نظیر هتلها ، بیمارستانها و مجتمع های تجاری و مسکونی در معرض الودگی صوتی و ارتعاشی هستند. الودگی صوتی باعث ایجاد مشکلات زیادی در مردم میگردد که در این زمینه بطور مفصل تحقیق و بحث شده است (مرجع 6 و 7)

خوشبختانه در زمینه اطلاع رسانی در باره اثرات زیانبار نویز بر مردم کلان شهرها، تحقیقات و کارهای میدانی خوبی در بعضی دانشگاهها و چند سازمان خصوصی انجام شده است ولی با توجه به حجم بسیار بالای الودگی صوتی در چند کلان شهر کشور، به نظر میرسد که این تلاشها هرگز کافی نیست.

در زمینه شناخت و کنترل الودگی ارتعاشی در کشور ما کار کمتری انجام شده است. فرهنگ سازی و رفع این مشکلات ، وظیفه کارشناسان و مشاوران اکوستیک میباشد.



پایش وضعیت (CM):

اولین و مهم‌ترین قدم پایش، اندازه‌گیری و آنالیز ارتعاشات ماشین است. پس از مشخص شدن ایرادات قدم دوم رفع عیوب فوق است. عیوبی نظیر نامیزانی (نابالانسی) - عدم هم محوری - لقی مکانیکی و سایر اشکالات ساختاری.

وظیفه مهندس CM آن است که تا آن جا که مقدورست میزان ارتعاشات را از سرچشمه^۱ کاهش دهد. پس از رفع موارد یاد شده بالا، اگر باز هم دامنه ارتعاشات بالاتر از حد مجاز استاندارد بود، دستگاه به سیستم لرزه‌گیر نیاز دارد. پس شرط لازم و کافی برای اینکه یک تجهیز دوار، سال‌های سال بتواند خوب کار کند آن است که علاوه بر رفع تمامی اشکالات ساختاری، مجهز به لرزه‌گیر گردد. بایستی توجه داشت که در طول عمر مفید یک دستگاه ممکن است از حداکثر یک یا دو سری لرزه‌گیر استفاده شود اما پایش وضعیت ارتعاش به طور منظم و همیشگی ادامه خواهد داشت. علاقمندان جهت مطالعه بیشتر به مرجع (4) مراجعه کنند.

انواع شاسی‌های دستگاه : (vibration isolation support)

1- شاسی فلزی (steel Base): شاسی فلزی عمومی‌ترین مدل فریم برای تجهیزات دوار می‌باشد و در اکثر موارد قابل استفاده است. در صورتی که نصاب احساس کند که در اثر بار سنگین فریم دچار خمش و نرمی می‌شود باستی توسط افزودن تیرک‌های ضرری فولادی سختی سازه فوق را افزایش دهد. تقویت شاسی بدین روش باعث افزایش سختی و صلبیت و فرکانس طبیعی مجموعه می‌باشد.

2- شاسی بتونی (inertia Block Base): برای دستگاه‌های سنگین و مشکل‌دار از این مدل

بتونی استفاده می‌شود. مزایای این شاسی عبارت‌اند از:

الف- افزایش جرم تجهیز (کمک به ایزولاسیون بهتر)

ب- پایین آوردن مرکز ثقل دستگاه و ایجاد پایداری بهتر

ج- جلوگیری از پیچش فریم

د- استفاده در تجهیزاتی که مستقیماً به موتور کوئل می‌شوند

معمولاً جرم شاسی بتونی بین (3.0-1.50) برابر وزن تجهیز در نظر گرفته می‌شود. هرچه

وزن مجموعه بیشتر شود درجه ایزولاسیون سیستم بالاتر می‌رود.

نکته: در هنگام ساخت فریم دستگاه بایستی به توزیع بار در طول شاسی دقت شود چون

توزیع جرمی اکثر دستگاه‌ها ناهمگون و نامتقارن است برای حل این مشکل سه راه وجود

دارد:

1- استفاده از چند نوع لرزه‌گیر در نقاط مختلف شاسی دستگاه

2- تغییر فواصل لرزه‌گیر و استفاده از یک نوع لرزه‌گیر

3- استفاده از یک نوع لرزه‌گیر به صورت متقارن و تغییر نوع فنرها

معمولاً روش اول به دلیل متغیر بودن ابعاد و ارتفاع لرزه‌گیرها بسیار مشکل‌است روش

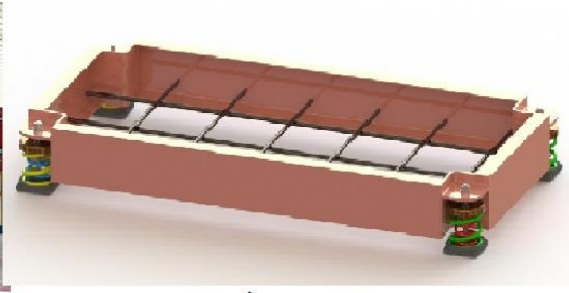
دوم هم نیاز به محاسبات و حدس و خطا دارد. بهترین روش توزیع منظم یک نوع لرزه‌گیر

است. در جاهایی که وزن کمتر است با تغییر دادن المان فنر این مشکل حل می‌شود

(اکثراً استفاده از یک فرم لرزه‌گیر با فنرهای مختلف راحت‌ترین راه می‌باشد).



شاسی بتنی



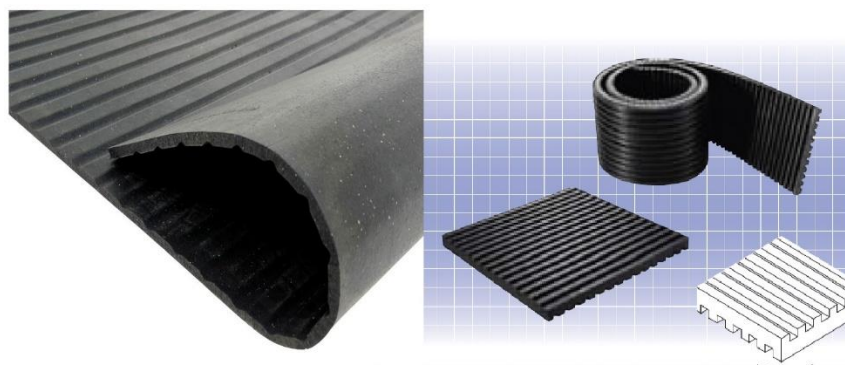
شاسی فولادی

انواع لرزه گیرهای ماشین آلات:

- 1- ورق لاستیکی Rubber Sheet and pad
- 2- لرزه گیرهای لاستیکی (Rubber Isolator)
- 3- لرزه گیرهای فنری (فنری ساده - تلسکوپی - مهاردار - اسپرینگ هنگر - دمپر مرکب افقی تراست)

1- ورق های لاستیکی:

پدهای لاستیکی در اندازه های بزرگ تولید می گردند. معمولاً مصرف کنندگان این قطعات را به ابعاد دلخواه برش داده و سوراخکاری می کنند. ورق های لاستیکی در ضخامت های 10 و 20 و 30 میلی متر در بازار موجوداند. میزان بازی آن ها (1-3)mm می باشد. پدها برای تجهیزاتی که فرکانس کار آن ها بالاتر از 3000 باشد مناسب می باشند.



ورق لاستیک

2- لرزه گیرهای لاستیکی: این قطعات تنوع شکلی و ابعادی زیادی دارند اما عمده آنها استوانه‌ای شکل با دو عدد پلیت فولادی که به طرفین لاستیک چسبیده‌اند می‌باشند. نقش پلیت‌های فولادی کمک به یکنواخت کردن توزیع بار در تمام سطح لرزه گیر می‌باشد. قطعات فوق معمولاً در سختی 35 الی 80 شورا طراحی و تولید می‌گردند. بهترین راندمان در محدوده سختی 65 - 55 شورا حاصل می‌شود⁽³⁾. ضخامت لرزه گیرهای لاستیکی قرقره شکل (40 - 100) mm و میزان بازی (3 - 8) mm متغیر می‌باشد. لرزه گیرهای لاستیکی برای فرکانس های پایین مناسب نیستند. در یک مطالعه فروهر مجد (1) و همکاران به بررسی نقش به بررسی نقش ایزولاتور لاستیکی در کاهش میزان ارتعاشات فن پرداختند.

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که ایزولاتورهای لاستیکی در فن‌های با دور موتور بالاتر از 1200 Rpm خوب عمل می‌کنند برای نمونه سرعت ارتعاش را از 8200 به 3100 میکرواینچ بر ثانیه می‌رساند. فن مورد مطالعه دارای دور موتور 2500 Rpm بوده است.



3- لرزه گیرهای فنری: تمام مشکلات ارتعاش با استفاده از لاستیک حل نمی شود. می دانیم که فرکانس تشدید لرزه گیرهای لاستیکی (8 - 20)Hz است و این نشان می دهد که از حدود 20 هرتز و پایین تر جوابگو نیستند. مطابق فورمول:

$$r = \frac{f}{f_n} \quad (r \geq 4 \text{ با فرض})$$

3-1 - لرزه گیری فنری ساده (free stand spring): این نوع لرزه گیرها دارای قابلیت بازی بین (10 - 40) میلی متر بوده و در ظرفیت های (50 - 2000) کیلوگرم تولید و عرضه می گردند. بنا به توصیه استاندارد اشری فقط در مناطق غیر زلزله خیز قابل استفاده هستند به دلیل اینکه نیروی افقی زلزله و وزن دستگاه تمامی در نهایت به فنر وارد

می‌شود و باعث شکستن فنر و واژگونی تجهیز می‌گردد. برای رفع این مشکل در طرفین دستگاه مهار بند زلزله^۲ نصب می‌شود.

3-2- لرزه‌گیر تلسکوپی: این مدل دارای بدنه (هوزینگ) فولادی بوده و طراحی بدنه

آن به شکلی است که در مقابل نیروهای افقی زلزله مقاومت می‌نماید. سایر مشخصات آن‌ها شبیه فنری ساده می‌باشد. از لرزه‌گیرهای تلسکوپی برای فن‌های سنگین در روی زمین و فن‌های با وزن متوسط و سبک در طبقات بالا استفاده می‌شود

3-3- لرزه‌گیر مهاردار (Restrained spring mount): این قطعات با نام مخفف

RSM شناخته می‌شوند و شامل یک فنر ساده و فاصله انداز و مهار در یک بدنه فولادی می‌باشند. مزایای لرزه‌گیرهای RSM عبارت‌اند از:

1- مقاومت در برابر نیروهای برشی و قائم زلزله

2- قابلیت درجا برای تعویض فنر (بدون نیاز به جرثقیل و بلند کردن دستگاه)

3- قابلیت تحمل بار حداکثر تا 10/000 کیلو و 100 میلی‌متر بازی

4- قابلیت تنظیم ارتفاع لرزه‌گیر (تراز کردن دستگاه)

توصیه استاندارد اشری این است که در طبقات بالا و در سازه‌هایی که عرض دهانه

بالاتر از 6 متر دارند و نیز دستگاه‌های گران قیمت و سنگین حتماً از مدل فنری

مهاردار استفاده شود.

3) snubbers



فنری ساده



لرزه گیر تلسکوپی



لرزه گیر مهاردار

3-4- اسپرینگ هنگر (spring hanger): جهت تعلیق خطوط لوله و داکت از

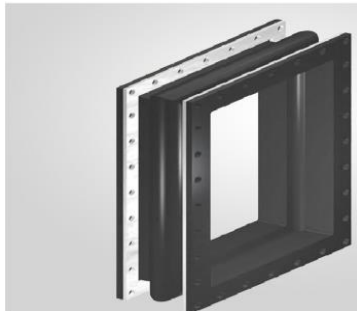
دیواره‌ها و سقف از لرزه‌گیرهای آویزانی استفاده می‌شود. این لرزه‌گیرها در ظرفیت و اشکال متفاوت تولید می‌گردند. مزیت این قطعات هنوز چنانکه باید برای صنایع (در ایران) شناخته شده نیست.

3-5- دمپر افقی مهاردار (Horizontal thrust restraint) این اتصالات شکل

یک المان افقی انعطاف‌پذیر بوده و از انتقال لرزش و صدا و حرکات فن به اطراف جلوگیری می‌کنند. در واقع تراست یک سیستم لرزه‌گیر مرکب از چند هنگر و لرزه‌گیر فنری ساده و یک دمپر لاستیکی یا پارچه‌ای نسوز می‌باشد. به دلیل طراحی هوشمندانه‌اش از انتقال حرکات و لرزش و سروصدا به اطراف جلوگیری می‌کند



لرزه گیر داکت



اسپرینگ هنگر

چگونه یک لرزه‌گیر مناسب دستگاه را انتخاب کنیم؟

تیتز چگونگی انتخاب لرزه‌گیر، یک اشتباه مرسوم و رایج است جمله بهتر شاید این باشد « چگونه لرزه‌گیر مناسب دستگاه‌مان را تعیین کنیم»

محققان جهت افزایش کارایی لرزه‌گیرها در کشورهای توسعه یافته در حال کارند. هم اکنون صحبت از حذف صددرصدی ارتعاشات یک ماشین، دیگر ایده‌ای جاه طلبانه نیست.

بیات (6) و همکاران (که در زمینه اکوستیک و ارتعاش در تجهیزات دقیق کار می‌کنند) در یک پروژه جدید توانستند میزان ارتعاش را از 16000 میکرواینچ بر ثانیه به سطح (80 - 10) برسانند که حدود 50٪ کمتر از کمترین حد مجاز ارتعاش توصیه شده توسط استاندارد آشری می‌باشد. ساخت ایزولاتور فنری با ارتفاع زیاد (680 میلی‌متر) به همراه فاصله‌انداز³ های لاستیکی و یک سری تمهیدات فنی دیگر این امکان را فراهم کرده است.

هدف از نوشتن این مقاله آشنایی با انواع لرزه‌گیر و مقایسه آن‌ها با یکدیگر و نحوه درست کاربرد آن‌ها در تجهیزات دوارست. به همین سبب مجموعه‌ای کامل در قالب یک مثال کاربردی را تهیه کردیم که در عین سادگی بسیار کارآمد و مفید است.

جهت مشخص کردن انواع لرزه‌گیر بایستی مراحل زیر به ترتیب انجام گیرند:

1- تعیین وزن دستگاه m

2- تعیین فرکانس کار دستگاه RPM

3- انتخاب تعداد پایه مناسب برای لرزه‌گیر n

4)spacer

4- انتخاب یک درجه ایزولاسیون دلخواه مناسب (مثلاً $90 = I$ درصد)

5- سپس با استفاده از فرمول‌های زیر میزان بازی و سختی لرزه‌گیر به دست می‌آید

$$I = (1 - T)100 \quad (1)$$

$$f_n = \frac{f_f}{\sqrt{\frac{1}{T} + 1}} \quad (2)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3)$$

$$X = \frac{mg}{K} \quad (4)$$

با توجه به چند پرسش زیر تیپ و نوع دقیق لرزه‌گیر را مشخص کنید

- آیا دستگاه روی زمین است؟

- آیا دستگاه دارای دور متغیر است؟

- آیا مرکز ثقل دستگاه در وسط است؟

- عرض دهانه سازه چقدر است؟

مثال 1: یک تجهیز دوار بوزن 4200 کیلوگرم و دور موتور 1200 دارای شش نقطه جای لرزه‌گیر

است. با فرض نصب دستگاه در کف سالن تولید و راندمان ایزولاسیون 90 درصد مطلوب است:

الف- فرکانس طبیعی سیستم

ب- میزان سختی و بازی لرزه‌گیر

حل: ابتدا با استفاده از فرمول (1) میزان انتقال $T = 0.1$ به دست می‌آید.

سپس با استفاده از فرمول (2) میزان فرکانس طبیعی سیستم $F_n = 6 \text{ Hz}$ تعیین می شود.

با استفاده از فرمول (3) و (4) ضریب فنریت کل سیستم $Kt = 5966$ به دست می آید

$$K = 5966 \div 6 = 994 \frac{N}{M}$$

ضریب فنریت هر لرزه گیر

میزان بازی نیز از فرمول (4) به مقدار $X = 7 \text{ mm}$ به دست می آید.

سپس از روی کاتالوگ لرزه های لاستیکی جداسازی ارتعاشات لرزه گیر لاستیکی تیپ D100 مناسب این کار است.

مثال 2: با فرض دور موتور $f_f = 750$ باشد مسئله (1) را دوباره حل کنید: در این صورت

با استفاده از فرمول های 1 و 2 و 3 و 4 موارد زیر به دست می آیند

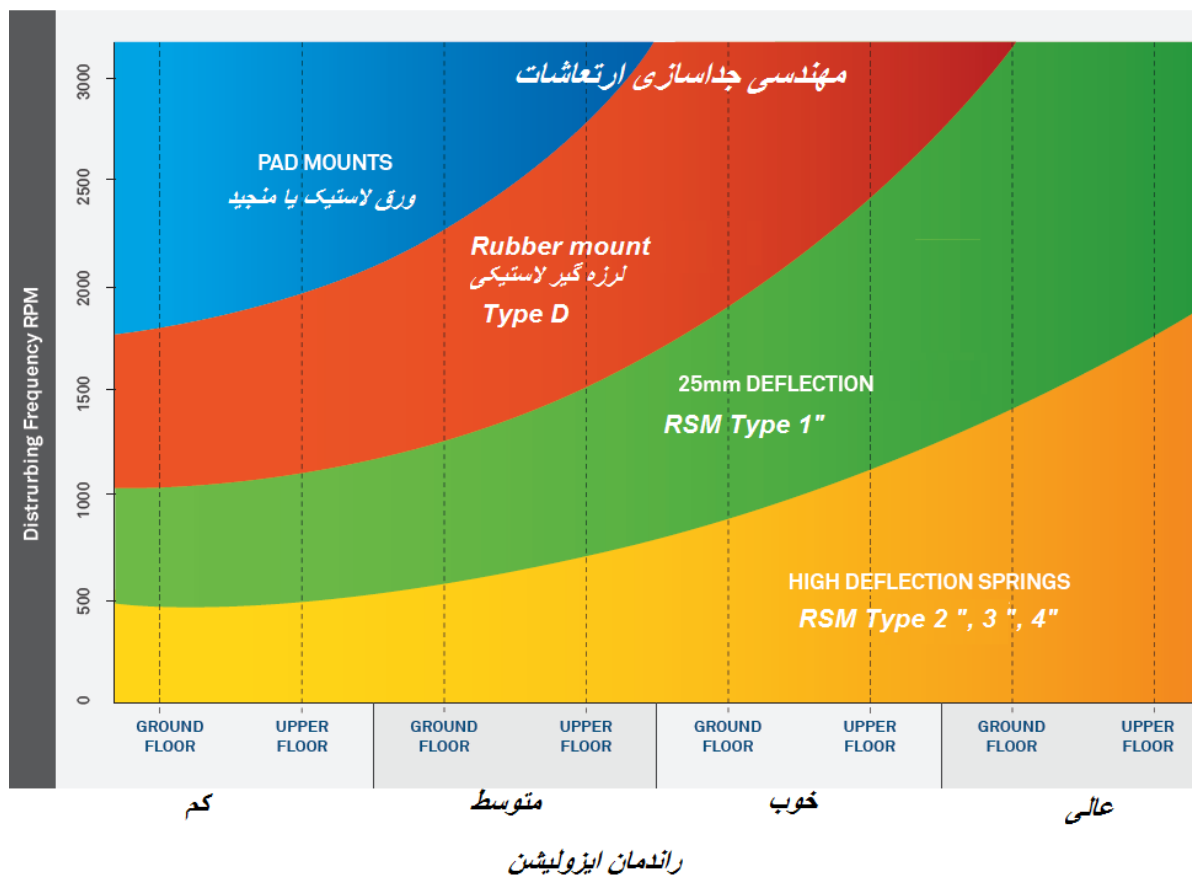
$$F_n = 3.7 \text{ Hz}$$

$$X = 17.5 \text{ mm} \quad K_1 = 390 \frac{N}{\text{mm}}$$

از روی کاتالوگ شرکت گرب آلمان لرزه گیر مدل D1-84 برای تجهیز مناسب میباشد. در این

مسئله اگر وزن تجهیز زیاد بوده و یا روی بام نصب شده باشد بایستی از لرزه گیر مهاردار مدل

RSM-800 استفاده کرد. در شکل زیر راندمان انواع لرزه گیرها با هم مقایسه شده اند .



لازم به ذکر است که در سیستم های پیچیده و با درجات آزادی بیشتر نیاز به محاسبه چندین ضریب فنریت و فرکانس طبیعی و ... میباشد. در این گونه موارد برای تحلیل و محاسبات ارتعاشی از نرم افزارهای مهندسی استفاده میشود

نتیجه گیری:

امروزه لرزه گیرها نقش انکار ناپذیری در صنعت ساختمان و کارخانجات (نظیر معادن - سیمان - نیروگاه و خودروسازی) دارا میباشند. در این مقاله به اختصار در مورد خواص فیزیکی و دینامیکی لرزه گیرها و چگونگی رفتار آنها در مقابل ارتعاشات و نحوه درست کاربرد آنها بحث شد. خوشبختانه هم اکنون دانش فنی طراحی و ساخت این قطعات در کشور ما نهادینه شده است.

امیدست با توجه به محدودیت های ارزی سالهای اخیر و لزوم صرفه جویی صنایع استفاده از این محصولات روزبروز در واحدهای صنعتی کشور گسترش یابد



مراجع فارسی :

1- برر سی نقش ایزولاتورهای لاستیکی در کاهش میزان ارتعاشات فن - مجله نظام سلامت/فرهاد فروهر
مجد - لیلا مقصودیان - سمیرا برکات/1394

2- پانزده عامل ایجاد سر و صدا و ارتعاش در تجهیزات دوار - ماهنامه فناوری سیمان - سال 1394

3- بررسی ویژگیهای لاستیک طبیعی با میرایی بالا در جداسازهای لرزه ای - مجله مهندس مشاور /
ابوالقاسم قادری / بهار 1390

4- آنالیز ارتعاشات در ماشین های الکتریکی دوار - شرکت ارتعاش صنعت کویر/ کرمان

5- مروری بر استانداردهای ارتعاش در ساختمان - زهرا هاشمی و صبا کلانتری/ مجله صوت و ارتعاش /
اذر ماه 1394

مراجع لاتین :

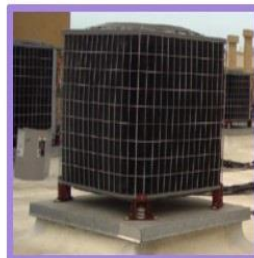
6- Small deviation and big failures in vibration & noise isolation . Bayat Ahmad .P.E
/san Francisco.www.va-consult.com.

7-Lord corporation vibration control.

8-WWWnovibes.com/*Vibration and Shock isolation products*.

9-Fan engineering / “ *vibration isolation of fans*” .Twin city fan.2019

10-Rivin.E.I / “*passive vibration isolation*” . ASME press New York 2005



مهندسی جداسازی ارتعاشات
طراح و تولیدکننده انواع لرزه گیر تجهیزات دوار

www.mjerteash.ir