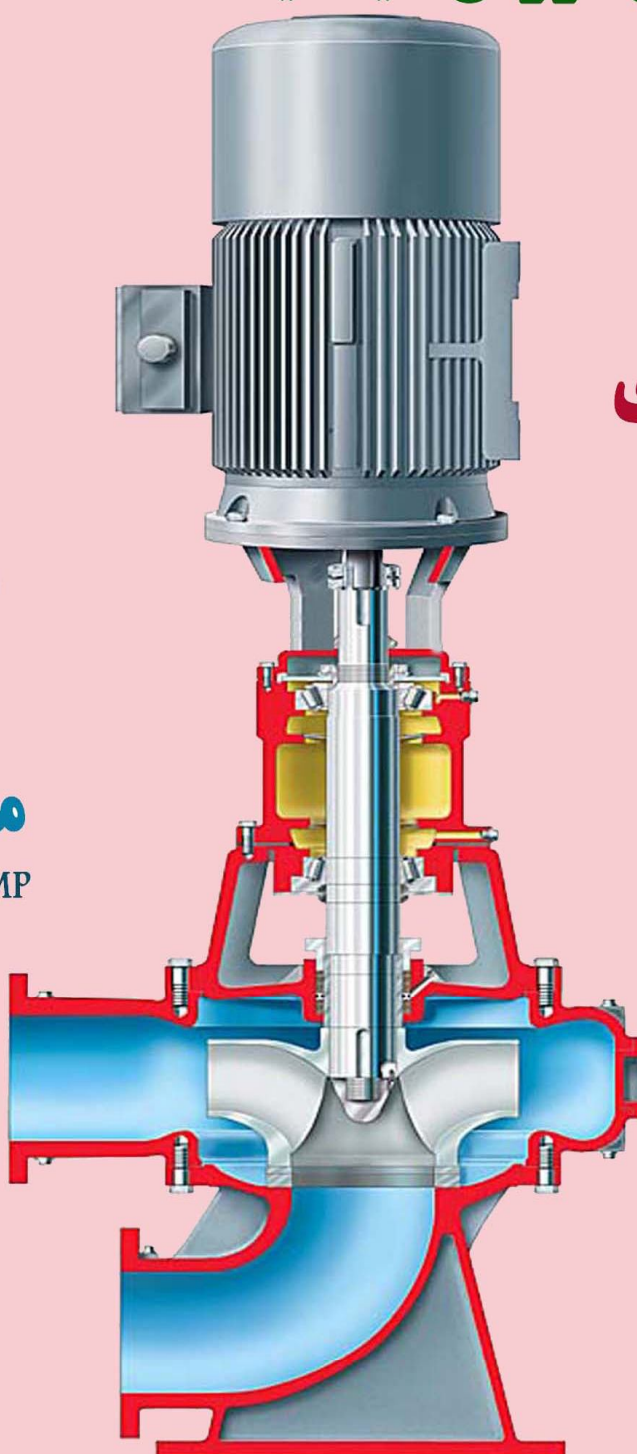


جذب کننده های لرزش دینامیک

مرجع کاربردی
پمپ و پمپاژ



www.mashhadpump.com

www.mptools.ir

<http://mashhadpump.blogfa.com>

Email: pump.mp@gmail.com

جذب کننده های لرزش دینامیک - استفاده در دستگاه های سرعت متغیر

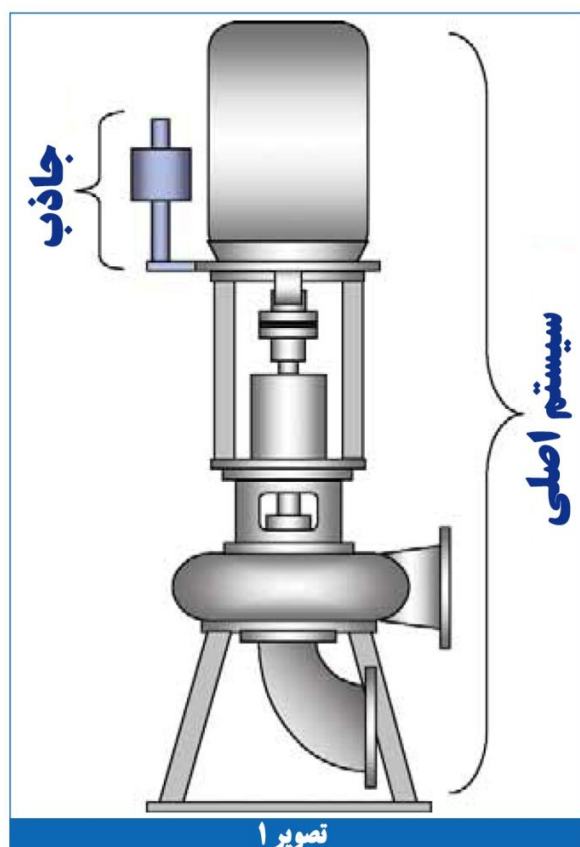
اگر شرایط تشدید در محل روی می دهد، یک روش موثر و کم هزینه برای تخفیف آن نصب جاذب لرزش دینامیک است. این بحث توضیح می دهد جاذب لرزش دینامیک چگونه می تواند لرزش را در محدوده سرعت عملیاتی گستره تعدیل کند.

با استفاده گسترده از گرداننده های فرکانس متغیر در صنعت پمپ و افزایش اندازه واحد، طراحی سیستم های مکانیکی بدون فرکانس های طبیعی در گستره سرعت عملیاتی، دشوارتر می شود. اگر این چنین رخدادی در محل وجود داشته باشد، شرایط تشدید برآمده از آن تهدید قابل توجهی برای عملکرد ضربه و طول عمر تجهیزات است.

روش های برخورد سنتی که شامل اصلاحات ساختاری است اغلب وقت گیر و هزینه بر هستند. نگه داشتن فرکانس های مشکل زا در گرداننده فرکانس متغیر استفاده از سیستم توسط کاربر را محدود می کند. یک راه حل ممکن نصب جاذب لرزش دینامیک (DVA) است.

DVA مزیت های خاصی در برابر سایر روش های تعدیل لرزش دارد. نسبت به ساختار دستگاه خارجی است بنابراین نصب مجدد تجهیزات لازم نیست. برخلاف اصلاحات ساختاری، وقتی اثر نهایی مشخص می شود تا وقتی ویژگی های جرمی-الاستیک اجزای دستگاه اصلاح می شوند، DVA می تواند پیش از نصب طراحی و تست شود. می تواند در محیط با نتایج میدانی قابل پیش بینی تنظیم شود.

تصویر ۱ به صورت شماتیک روش محتمل نصب DVA روی پمپ را نشان می دهد.



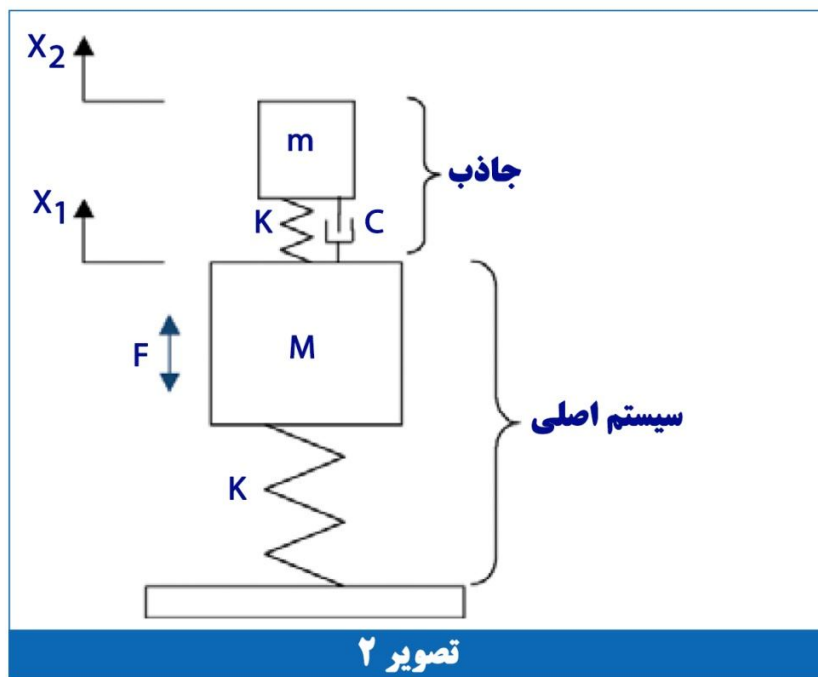
سابقه و اصول عملیات

در صنعت، اساساً برای تخفیف لرزش‌های ایجاد شده توسط شرایط تشدید در دستگاه به کار رفته است، DVA، که گاهی به عنوان تعدیل کننده جرم میزان شده خوانده می شود، متشکل از سیستم فنر-جرمی نصب شده روی دستگاه لرزشی است. در فرم کلاسیک آن، فرکانس طبیعی برای مطابقت با فرکانس طبیعی دستگاهی که روی آن نصب شده است تنظیم می گردد. به دلیل این تنظیم DVA نیروی اضافی را روی سیستم اصلی اعمال می کند که برابر و مخالف نیروی برانگیختگی است و لرزش را در فرکانس تشدید خنثی می کند.

در کاربردهای مدرن، هدف تضمین عملکرد در محدوده مشخصات در گستره وسیع فرکانسی است در حالی که اندازه دستگاه حداقل می شود. DVA از نظر بسیاری از مهندسين به عنوان دستگاه تک فرکانس دیده می شود. نمونه تحلیل و کاربرد (ارائه شده در زیر) نشان می دهد تعدیل لرزش چطور می تواند در محدوده فرکانس گسترده به دست آید.

مدل دینامیک

برای سادگی، مدل دینامیک را برای دستگاهی با یک درجه آزادی سیستم متشکل از جرم منفرد و فنر منفرد در نظر می گیریم. مدل مشابهی را برای جاذب لرزش دینامیک به کار می بریم. وقتی DVA روی سیستم اصلی نصب می شود، نتیجه دو درجه آزادی سیستم است که مدل دینامیک آن در تصویر ۲ نشان داده شده است.



در این سیستم، مختصات x_1 متناظر با جابجایی جرم اصلی M و مختصات x_2 متناظر با جابجایی جرم جاذب m است. استحکام سیستم اصلی با فنر هم ارز K نشان داده می شود در حالی که سیستم جاذب فنر k را دارا می باشد. سیستم جاذب المان تعدیل ویسکوز c را دارا می باشد در حالی که سیستم اصلی بدون تعدیل در نظر گرفته می شود. سیستم اصلی توسط نیروی دوره ای F که در دستگاه چرخشی معمولاً با نیروی عدم تعادل باقیمانده نشان داده می شود، اما می تواند هر تحریک دوره ای منشأ گرفته از دستگاه مثل تحریک پره عبوری در پمپ های گریز از مرکز باشد، تحریک می گردد.

سیستم بالا به صورت ریاضی توسط سیستمی با دو معادله دیفرانسیلی معمولی شرح داده می شود. با به کارگیری ریاضی استاندارد، می توان فرمولی را برای پاسخ سیستم به دست آورد. نتایج این فرمول را با تغییر پارامترهای جاذب ترسیم خواهیم کرد.

ابتدا، متغیرهای معدود و نسبت های بدون بُعد باید معرفی شوند زیرا نتایج برای استفاده در این فرم ساده تر هستند (فرمول های ۱ را ببینید).

فرمول های ۱:

$$\mu = \frac{m}{M} \quad \text{نسبت جرم جاذب به جرم اصلی}$$

$$f = \frac{\omega_n}{\Omega_n} \quad \text{نسبت فرکانس طبیعی جاذب به فرکانس طبیعی سیستم اصلی (نسبت میزان سازی)}$$

$$x_{st} = \frac{F}{K} \quad \text{انحراف استاتیک سیستم اصلی تحت نیرویی با بزرگی } F$$

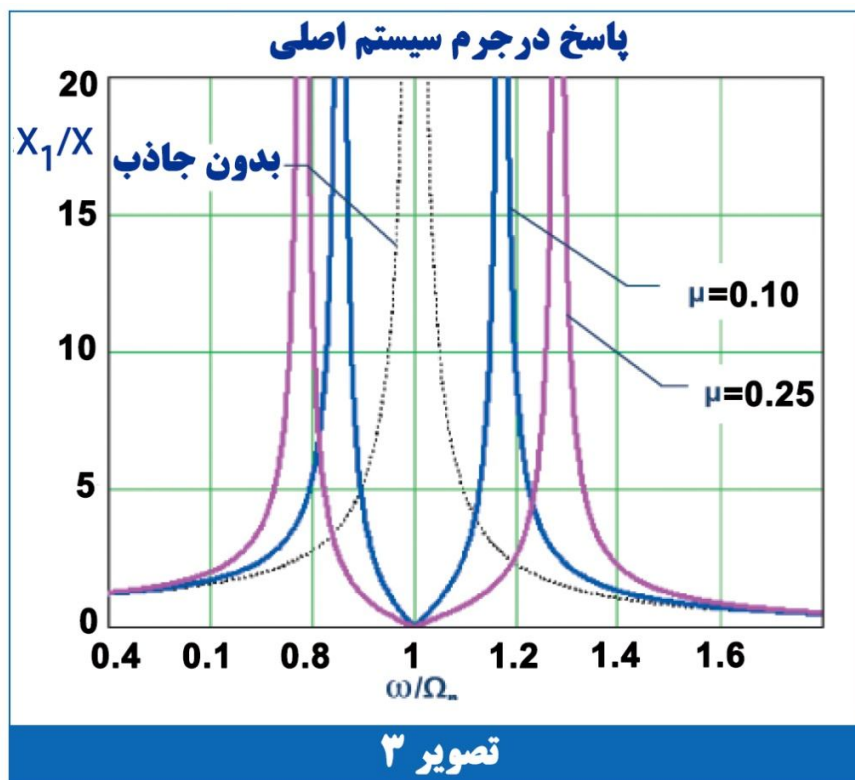
$$\xi = \frac{c}{c_c} \quad \text{نسبت تعدیل جاذب به تعدیل بحرانی (نسبت تعدیل)؛ تعدیل بحرانی به صورت } c_c = 2 \cdot m \cdot \omega_n \text{ تعریف می شود که در آن } m \text{ جرم جاذب و } \omega_n \text{ فرکانس طبیعی جاذب است.}$$

$$g = \frac{\omega}{\Omega_n} \quad \text{نسبت فرکانس تحمیلی به فرکانس طبیعی سیستم اصلی (سرعت عملیاتی بدون بُعد)}$$

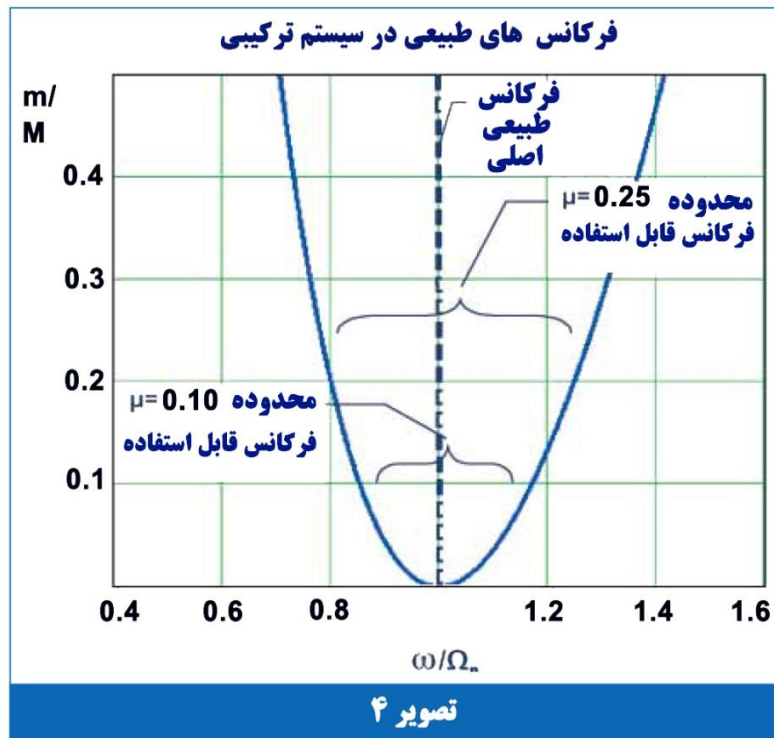
$$X = \frac{x_1}{x_{st}} \quad \text{نسبت جابجایی جرم اصلی به انحراف استاتیک (پاسخ بدون بُعد در جرم } M \text{ یا فاکتور تقویت)}$$

حالا، آماده ترسیم نتایج هستیم. ابتدا اثر جاذب دینامیک تعدیل نشده را با جاذب میزان شده برای فرکانس طبیعی سیستم اصلی ارزشیابی می کنیم بنابراین نسبت میزان سازی $f = 1$ (نسبت تعدیل $\xi = 0$). این نتایج در تصویر ۳ نشان داده شده است.

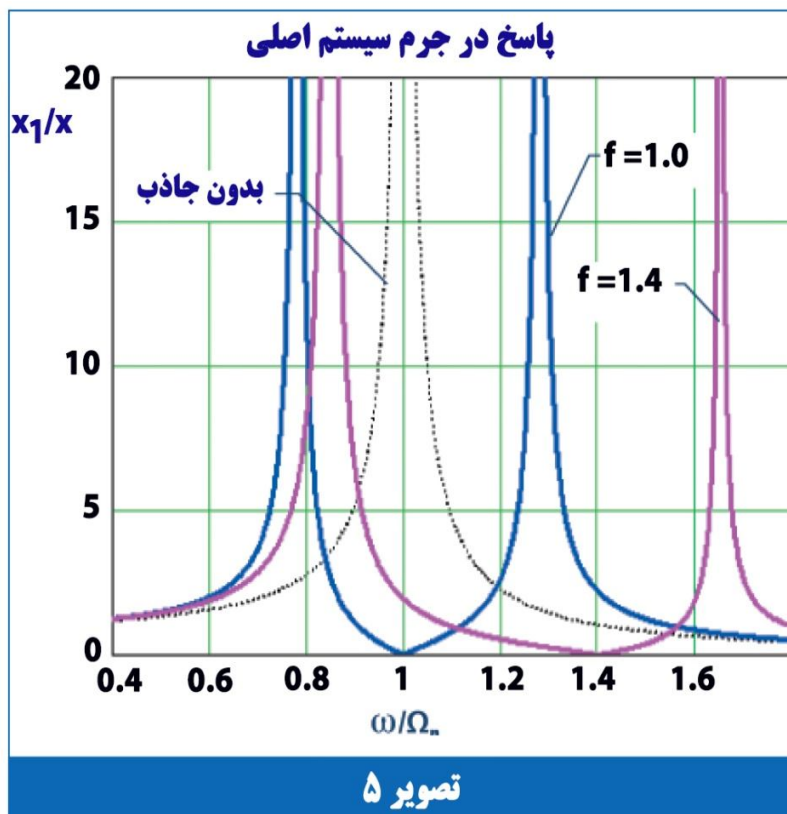
قابل توجه است که چطور جاذب دینامیک لرزش در فرکانس تشدید را خنثی می کند. در عوض، دو فرکانس طبیعی جدید، یکی زیر و یکی بالای فرکانس طبیعی اصلی را ایجاد می کند. این شرایط رخ می دهد چرا که با جاذب سیستم دو درجه آزادی دارد و بنابراین دو فرکانس طبیعی متناظر دارد. پهنای بین دو فرکانس طبیعی جدید به نسبت جرم μ بستگی دارد. تصویر ۳ پاسخ با دو نسبت جرمی مختلف را نشان می دهد.



با جرم جاذب بزرگ تر، فرکانس های طبیعی از هم دورتر می شوند بنابراین محدوده عملیاتی ایمن گسترده ای حول فرکانس تشدید اصلی می تواند به دست آید. هرچند، جرم جاذب زیاد به سرعت غیرکاربردی می شود، مخصوصاً برای ماشین آلات بزرگ. تصویر ۴ دو فرکانس طبیعی جدید را در رابطه با نسبت جرم جاذب نشان می دهد.

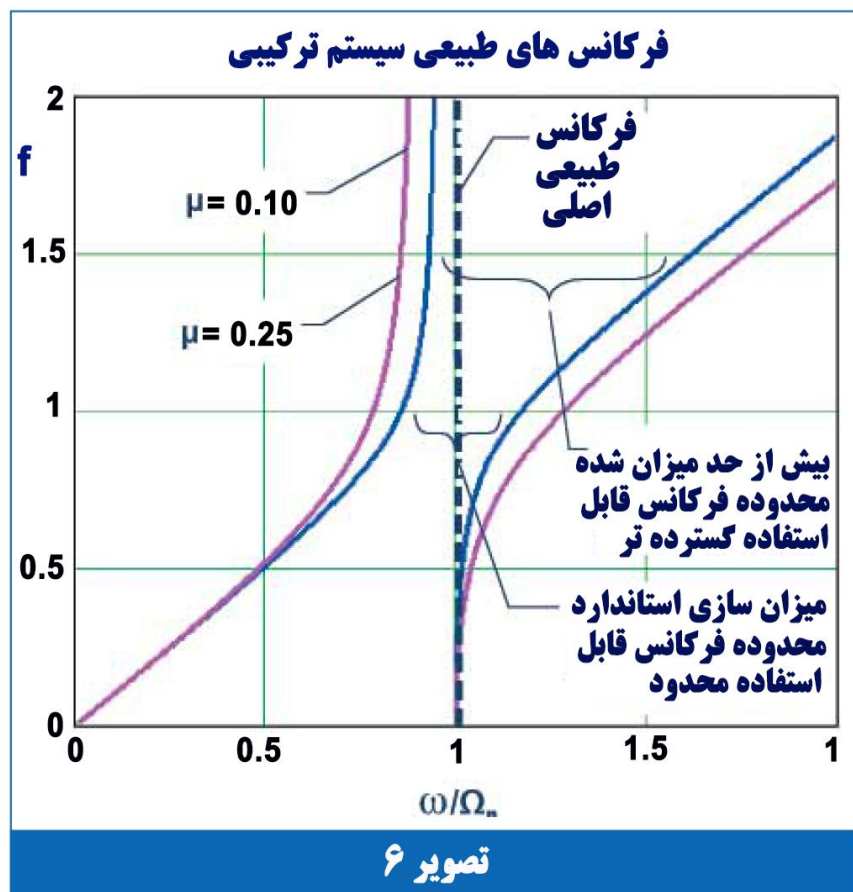


با تغییر نسبت میزان سازی جاذب، موقعیت دو فرکانس طبیعی و گستره سرعت عملیاتی قابل استفاده بین آن ها را می توان تنظیم کرد. تصویر ۵ اثر میزان سازی فرکانس های طبیعی سیستم ترکیبی با جاذب تعدیل نشده (نامیرا) را نشان می دهد (نسبت تعدیل $\zeta = 0$).



دو منحنی در واقع دو سیستم جاذب را ارائه می کند: یکی با نسبت میزان سازی استاندارد $f = 1$ (خطوط آبی) و دیگری با نسبت میزان سازی $f = 1.4$ ، که نشان دهنده سیستم جاذب بیش از حد میزان شده است (خطوط مایل به قرمز). جاذب بیش از حد میزان شده فرکانس طبیعی پایین با فرکانس بالاتری نسبت به شرایط دیگر را ایجاد می کند اما تا حد زیادی محدوده را به ناحیه فرکانس های بالا گسترش می دهد.

تصویر ۶ دو فرکانس طبیعی سیستم ترکیبی در رابطه با نسبت میزان سازی را نشان می دهد. با تغییر نسبت میزان سازی و جرم، می توان محدوده سرعت عملیاتی لازم بدون فرکانس طبیعی را با DVA تعدیل نشده به دست آورد.

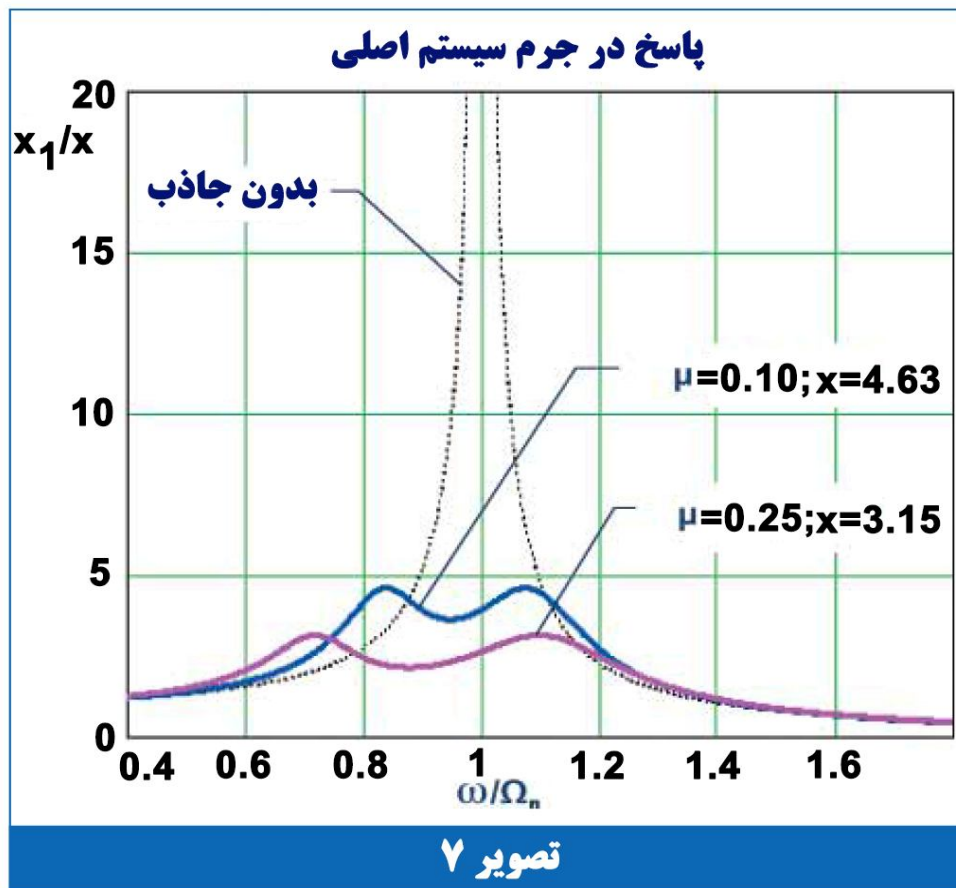


این امر مهم است زیرا جاذب تعدیل نشده طراحی و تولید ساده ای دارد و تنظیم آن پیچیدگی کمتری از جاذب تعدیل شده دارد که در زیر شرح داده می شود. تبادل بین این دو به این صورت است که برای محدوده فرکانس گسترده تر ممکن است جاذب تعدیل نشده مورد نیاز نسبتاً بزرگ شود.

جاذب لرزش دینامیک تعدیل شده (میرا)

با اضافه کردن تعدیل ویسکوز c به سیستم جاذب، تضعیف بهتر در محدوده فرکانس گسترده تر به دست می آید. میزان نسبتاً کم تعدیل برای کاهش لرزش در دو فرکانس طبیعی مورد نیاز است.

برای داشتن بهترین اثر، DVA تعدیل شده باید به صورتی بهینه شود که نسبت های میزان سازی و تعدیل آن برای نسبت جرم ویژه محاسبه و تنظیم شود. DVA تعدیل شده بهینه فاکتور تقویت مشابهی برای هر دو فرکانس طبیعی دارد. سپس می توان این فاکتور تقویت X را برای هر نسبت جرمی محاسبه کرد. پاسخ سیستم میزان و تعدیل شده بهینه در تصویر ۷ نشان داده شده است. مقدار X نیز نشان داده شده است.



این نتیجه نشان می دهد که جاذب دینامیک تعدیل شده بهینه لرزش تشدید را در محدوده فرکانس گسترده تضعیف می کند. این راه حل کلی است که برای هر محدوده فرکانسی کار می کند. فاکتور تقویت توسط نسبت جرمی کنترل می شود، بنابراین جاذب می تواند برای برآورده سازی محدوده لرزش ویژه طراحی شود.

نمونه کاربرد

برای کاربردهای پمپ سرعت متغیر، DVA می تواند با معیارهای بهینه سازی متنوعی طراحی شود. نمونه زیر سه نوع از بهینه سازی های محتمل را نشان می دهد.

اولین راه حل استفاده از DVA تعدیل نشده است. این راه حل طراحی و اجرای ساده ای دارد اما نیازمند جرم جاذب نسبتاً بزرگی است. راه حل دوم یک DVA میزان شده و تعدیل شده بهینه است. این راه حل کلی برای هر محدوده سرعت عملیاتی است. راه حل سوم برای کوچک ترین اندازه های جاذب بهینه شده است.

فرض کنید موتور پمپ تصویر ۱ با ۱۷۶۰ دور در دقیقه و کاهش سرعت ۳۰ درصد کار می کند. این محدوده سرعت ۱۲۳۰ دور در دقیقه تا ۱۷۶۰ دور در دقیقه را تعریف می کند. برای هدف این مثال، فرض می کنیم که سیستم فرکانس طبیعی در ۱۸۰۰ دور در دقیقه دارد. جرم موتور ۵۰۰ پوند و جرم روتور ۲۰۰ پوند است. روتور براساس ایزو ۱۹۴۰ تا درجه G6.3 متعادل شده است. محدوده لرزش مجاز حداکثر ۰.۲۵ اینچ/ثانیه RMS است.

جاذب لرزش دینامیکی برای آوردن لرزش موتور به محدوده های مشخص شده را طراحی می کنیم.

راه حل ها

محاسبه فاکتور تقویت حداکثر مجاز در محدوده سرعت عملیاتی برای هر سه روش مشترک است. به این دلیل، مرحله ۱ تا ۲ زیر به هر سه راه حل اعمال می شود.

مرحله ۱. نیروی عدم تعادل باقیمانده را بیابید. برای سادگی فرض می کنیم که عدم تعادل باقیمانده در یک صفحه منفرد است. فرمول زیر را می توان به کار برد:

$$F = m_r \cdot G \cdot \omega$$

که در آن:

F – نیروی گریز از مرکز به دلیل عدم تعادل استاتیک باقیمانده

M_r - جرم روتور

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot \text{RPM}$$

ω - سرعت زاویه ای روتور،

G - ۶.۳ میلیمتر/ثانیه - سرعت پیرامونی مرکز گرانش (درجه 6.3)

با تبدیل به واحدهای رایج و انجام محاسبات درمی یابیم که $F = ۲۳.۷$ پوند فوت

مرحله ۲. انحراف استاتیک جرم اصلی را تحت نیروی تحریک بیابید. این مقدار اندازه لرزش است در صورتی که هیچ تقویت ساختاری وجود نداشته باشد. برای انجام این کار ابتدا استحکام هم ارز سیستم را می یابیم:

$$K = M \cdot \Omega_n^2$$

که در آن:

M - جرم موتور

Ω_n - فرکانس طبیعی سیستم اصلی

انحراف استاتیک به صورت زیر پیدا می شود:

$$x_{st} = F/K$$

این محاسبه این نتیجه را به دست می دهد $x_{st} = ۰.۵۴$ مایل

مرحله ۳. فاکتور تقویت مجاز X را بیابید. برای انجام این کار ابتدا باید سطح لرزش را از طریق سرعت RMS به یک هزارم اوج تبدیل کنیم تا جابجایی مجاز حداکثر جرم M را بیابیم:

$$x_1 = \sqrt{2} \cdot \frac{v_{RMS}}{\omega}$$

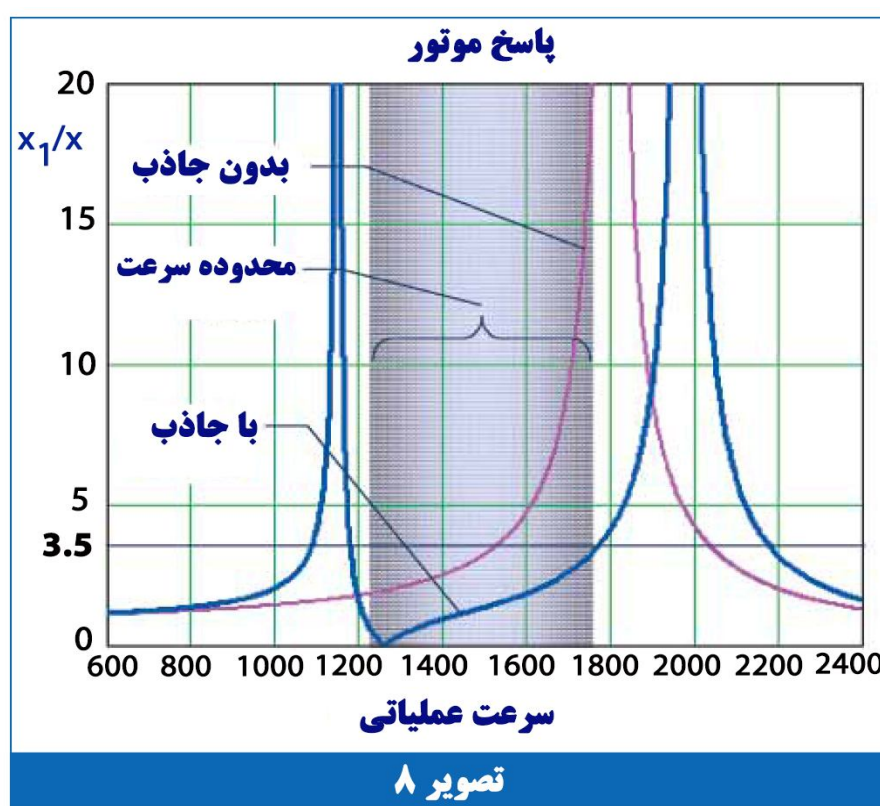
در این فرمول از سرعت موتور ۱۸۰۰ دور در دقیقه استفاده می کنیم تا ω را بیابیم که $x_1 = ۱.۸۸$ mils را می یابیم.

$X = x_1/x_{st}$ ، همان طور که در بالا شرح دادیم. این منجر به فاکتور تقویت مجاز $X = ۳.۵$ می شود.

راه حل ۱. DVA تعدیل نشده

ترسیم پاسخ برای راه حل DVA تعدیل نشده در تصویر ۸ نشان داده شده است. این جاذب از نسبت جرم $\mu = 0.25$ و نسبت میزان سازی $f = 0.70$ استفاده می کند.

هیچ فرمول تحلیلی وجود ندارد که برای رسیدن به این راه حل کمک کند؛ هرچند، تصویر ۶ ممکن است به عنوان نقطه شروع باشد. پارامترهای نهایی با ترسیم منحنی های پاسخ با استفاده از فرمول های پاسخ در جرم سیستم اصلی پیدا می شود. راه حل تصویر ۸ شامل حاشیه کوچکی روی هر دو جانب محدوده سرعت است تا تنظیم میدانی ممکن شود.



راه حل ۲: DVA تعدیل شده

مرحله ۴. پارامترهای جاذب بهینه شده را بیابید. نسبت های میزان سازی و تعدیل بهینه از طریق نسبت جرمی μ یافت می شود که می تواند با فاکتور تقویت X برای جاذب میزان شده و تعدیل شده بهینه مشخص شود. فرمول های تقریبی زیر را می توان به کار برد (فرمول های ۲ را ببینید).

فرمول های ۲:

$$X = \sqrt{1 + \frac{2}{\mu}} \quad \text{که در آن } \mu \text{ نسبت جرم به صورت تعریف شده در مرحله ۴ است. } \mu \text{ را از اینجا بیابید:}$$

$$\mu = \frac{2}{X^2 - 1} \quad , \text{ و برای } X = 3.5 \text{ محاسبه کنید، که } \mu = 0.18 \text{ حداقل را بدست می آوریم.}$$

$$f = \frac{1}{1 + \mu} \quad , \text{ نسبت میزان سازی بهینه } f = 0.85$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{3}{8} \cdot \frac{\mu}{(1 + \mu)^3}} \quad , \text{ نسبت تعدیل بهینه } \zeta = 0.2$$

فرمول ها در بخش فرمول های ۲ تقریب ابتدایی نزدیکی را به دست می دهد. تحلیل نتایج نشان می دهد که فاکتور تقویت حداکثر ۳.۶۴، اندکی بالاتر از فاکتور تقویت مجاز حداکثر ۳.۵، است. بعد از تنظیم، پارامترهای جدید به این صورت هستند: نسبت جرم $\mu = 0.20$ ، نسبت میزان سازی $f = 0.84$ و نسبت تعدیل $\zeta = 0.21$. پلات در تصویر ۹ نشان داده شده است.

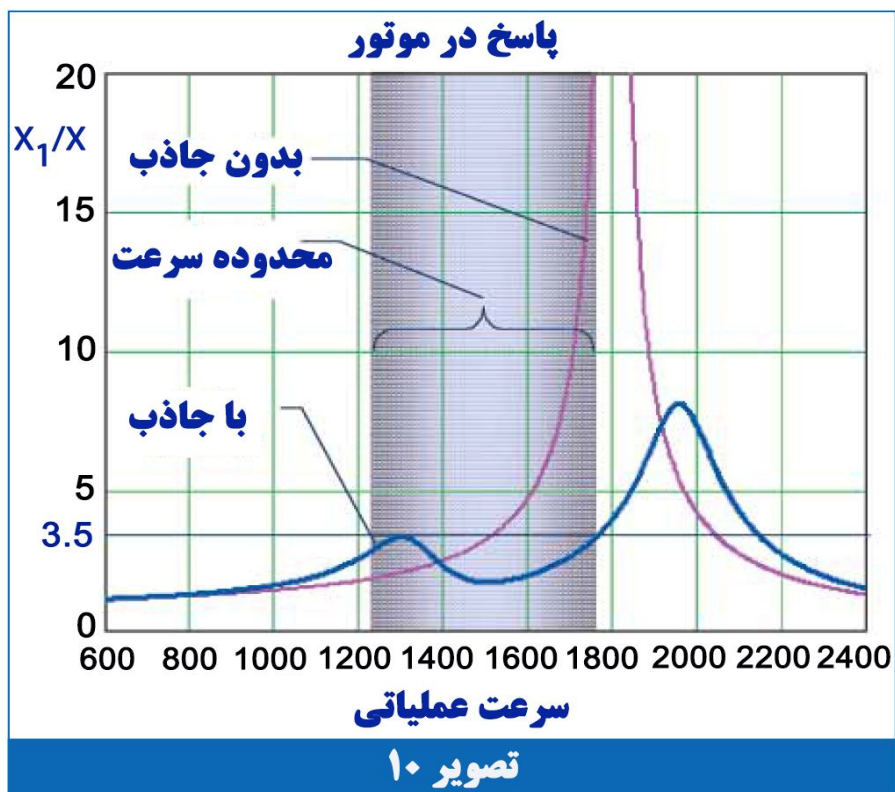
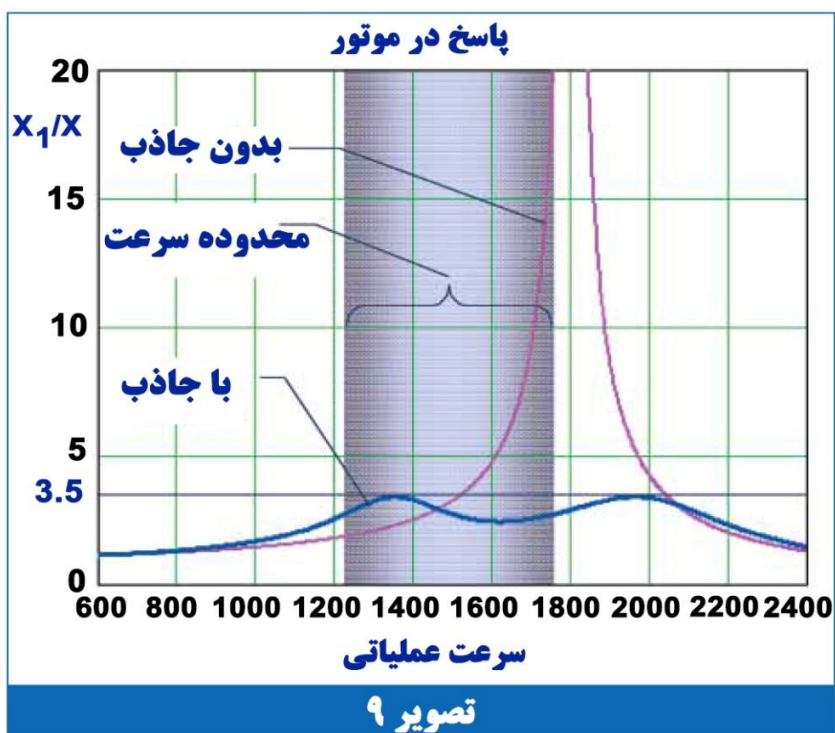
اهمیت این نتیجه این است که جاذب دارای جرم ۲۰ درصد جرم سیستم اصلی که تا ۸۴ درصد فرکانس طبیعی سیستم اصلی میزان شده و دارای نسبت تعدیل ۲۱ درصد است لرزش موتور را بدون در نظر گرفتن محدوده سرعت عملیاتی، در محدوده مشخصات می آورد.

راه حل ۳. DVA تعدیل شده بهینه برای کوچک ترین جرم جاذب

راه حل قبلی لرزش را در طیف فرکانس کامل کاهش می دهد. بهینه سازی بیشتری وقتی ممکن است که تضعیف را فقط به محدوده فرکانس مورد نظر محدود کنیم، به صورتی که در راه حل ۱ نشان دادیم.

در پلات راه حل ۲، منحنی پاسخ دو “برآمدگی” متناظر با دو فرکانس طبیعی سیستم دارد که هر دو زیر محدوده ۳.۵ برای فاکتور تقویت هستند. “برآمدگی” فرکانس بالا خارج از محدوده سرعت عملیاتی موتور است و نباید کنترل شود. به علاوه زیر پایین ترین فرکانسی است که می تواند توسط دو برابر سرعت چرخشی در ۲۴۶۰ cpm برانگیخته شود. با داشتن فاکتور تقویت بالاتر در این فرکانس، می توان جرم جاذب را بیشتر کاهش داد.

پارامترهای این راه حل را می توان فقط از طریق ترسیم سناریوهای متنوع پیدا کرد. راه حل نسبت جرم $\mu = 0.15$ ؛ نسبت میزان سازی $f = 0.80$ و نسبت تعدیل $\zeta = 0.11$ در تصویر ۱۰ نشان داده شده است.



نیروهای برانگیختگی در پمپ ها و سایر دستگاه های چرخشی معمولاً تابع سرعت چرخشی هستند. بهینه سازی بیشتر در صورتی ممکن است که این روابط مشخص باشند.

برای مثال، نیروی عدم تعادل متناسب با مربع سرعت چرخشی است. در این مثال کاربرد بالا به دلیل وضوح این مقدار ثابت در نظر گرفته شده بود. اگر رابطه مناسب برای نیروی عدم تعادل را در نظر بگیریم، جرم جاذب می تواند بیشتر کاهش یابد زیرا نیروی برانگیختگی برای انتهای پایین محدوده سرعت عملیاتی کمتر خواهد بود.

نکات کاربرد

- منحنی ها در نمونه بالا پاسخ را در واحدهای جابجایی نشان می دهند. تحلیل مشابهی را می توان برای واحدهای سرعت یا شتاب انجام داد.
 - طراحی های شرایط واقعی ممکن است دقیقاً با مدل دینامیک به کار رفته در این مقاله تطابق نداشته باشد. تحلیل اضافی ممکن است مورد نیاز باشد.
 - در حالی که لرزش در جرم سیستم اصلی تضعیف می شود، این اتفاق برای لرزش جرم جاذب روی نمی دهد. این باید در طراحی المان فنر جاذب در نظر گرفته شود.
 - یکی از مزیت های جاذب لرزش دینامیک این است که می تواند بدون سیستم اصلی تست شده و تنظیم گردد. جرم جاذب، فرکانس طبیعی و نسبت تعدیل مستقل از سیستم اصلی هستند و می توانند به سادگی توسط تست پیش از نصب روی دستگاه، تعیین شوند.
- باید ذکر شود که استفاده از DVA در ماشین آلات نباید به عنوان تصحیح مشکل لرزش در نظر گرفته شود. در برخی موارد، وقتی ساختار دستگاه بلند همراه مرکز گرانش مرتفع باشد، DVA می تواند برای ساخت در دستگاه طراحی شود که بسیار شبیه به نصب آن در ساختمان مرتفع است.

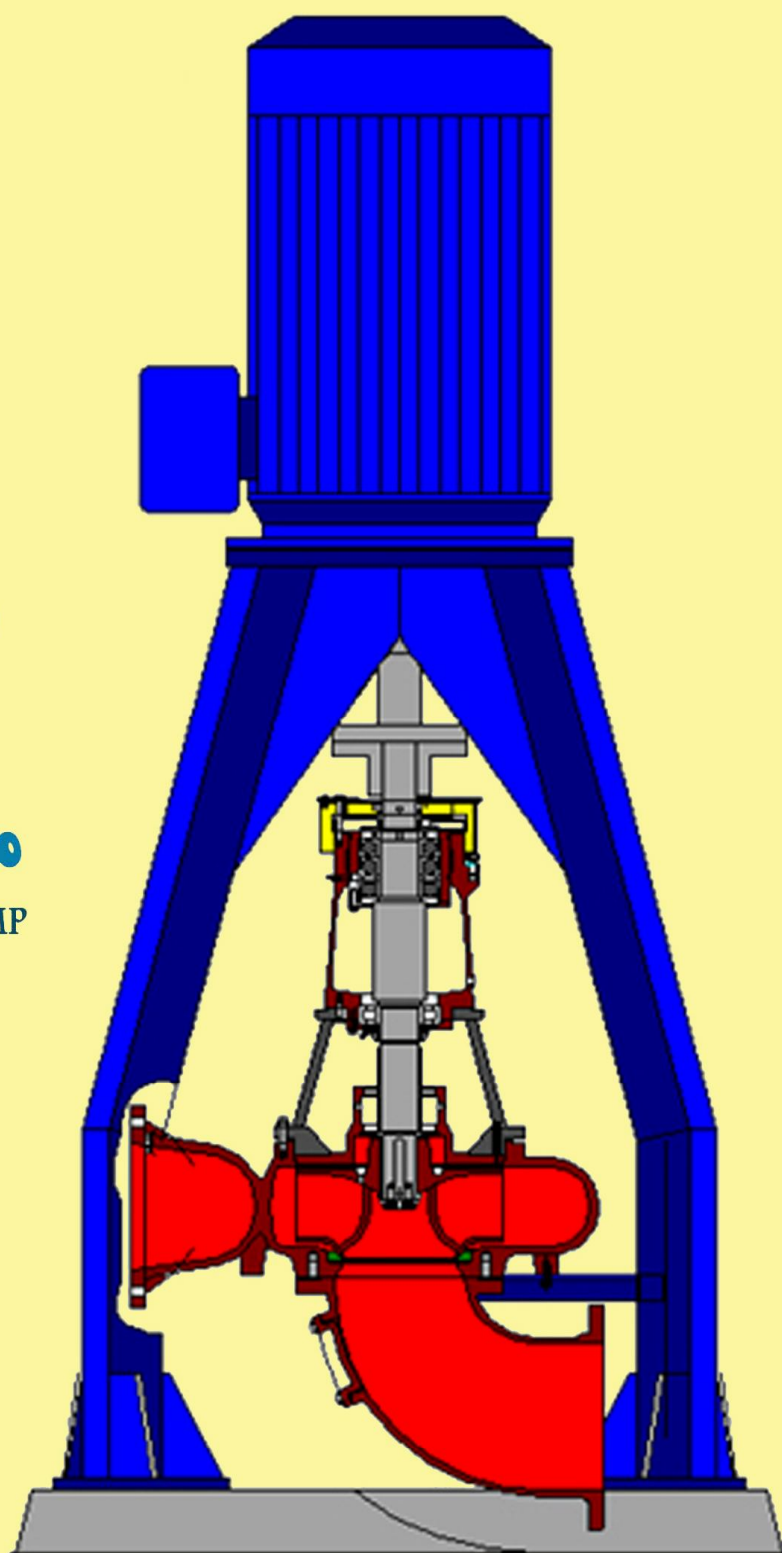
برای مثال، موتورهای سنگین طراحی شده برای نصب عمومی اغلب فرکانس طبیعی اصلی خود (اغلب به نام فرکانس رید) را اندکی بالاتر از سرعت عملیاتی نگه می دارند. اگر این چنین موتوری بالای پمپ روی یک پایه نصب شود، فرکانس طبیعی سیستم می تواند به صورت خطرناکی به محدوده عملیاتی نزدیک شود که باعث تشدید می شود.

DVA می تواند در ساختار موتور ترکیب شود و به صورت مناسب تنظیم شود تا از لرزش تشدیدی جلوگیری کند. برای این هدف المان ساختار موتور، مثل پوشش پنکه، ممکن است به عنوان جرم جاذب عمل کند در صورتی که با فنرهای الاستیک در موتور نصب شود.

نتیجه گیری ها

تحلیل پارامتری پاسخ جرم اصلی در سیستم تجهیز شده با جاذب لرزش دینامیک نشان می دهد که لرزش تشدید می تواند به صورت موفقیت آمیز در این چنین سیستمی برای محدوده سرعت عملیاتی گسترده، کنترل شود.

روش های بهینه سازی متنوع گستره وسیعی از گزینه ها برای استفاده در دستگاه های سرعت متغیر را فراهم می کند. نمونه استفاده امکان پذیر بودن راه حل دربردارنده جاذب لرزش دینامیک را تایید می کند.



آدرس کارخانه : مشهد- کیلومتر ۵ بزرگراه آسیایی- کدپستی ۰۲۸ تلفن : ۰۵۱-۳۶۵۱۶۶۱۶