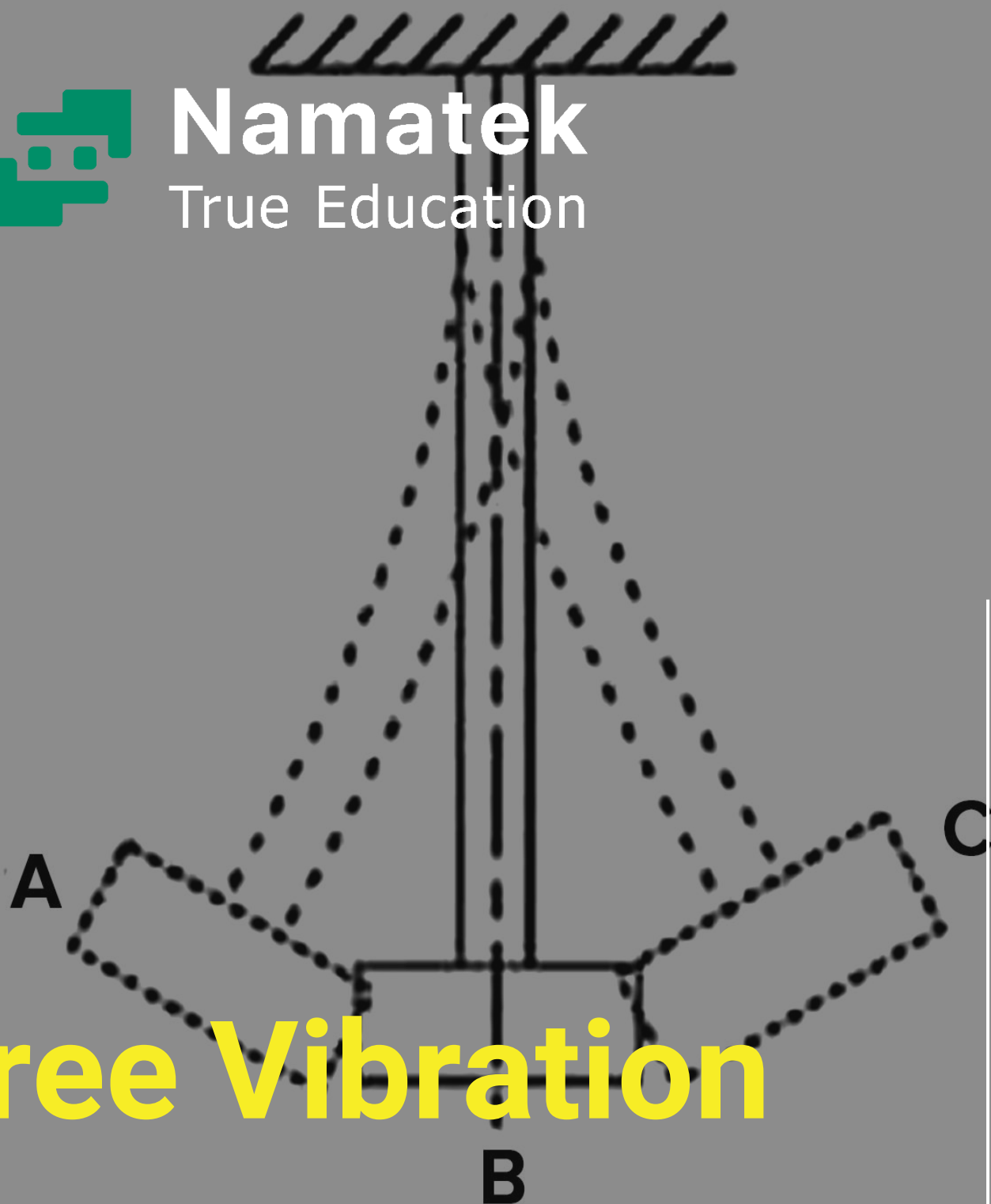




Namatek
True Education



www.namatek.com

Free Vibration

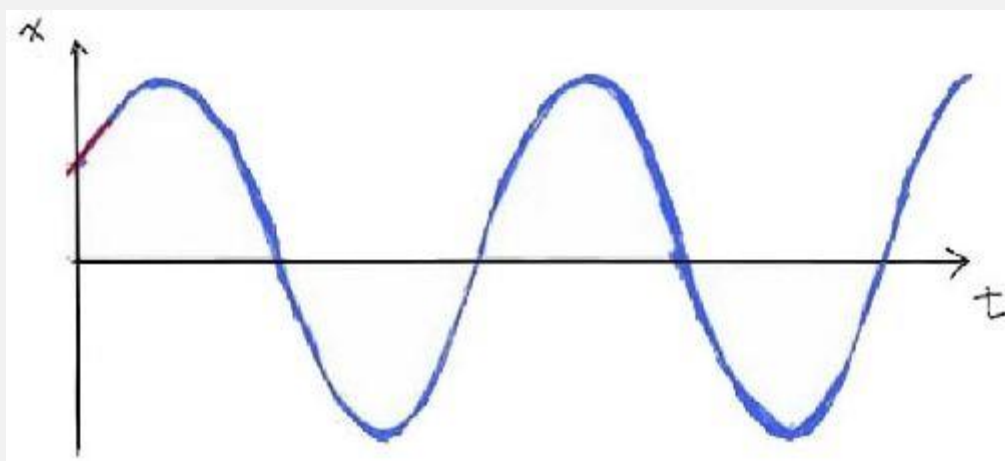
ارتعاش آزاد

فهرست مطالب

۱. ارتعاش آزاد چیست؟
۲. اهمیت ارتعاش آزاد در تحلیل سازه
۳. تأثیر ارتعاش آزاد بر سازه
۴. کاربرد ارتعاش آزاد
۵. ارتعاش آزاد در مهندسی
۶. ارتعاش آزاد در برابر ارتعاش اجباری
۷. نکاتی در مورد ارتعاش آزاد

ارتعاش آزاد، یک مفهوم اساسی در مهندسی و فیزیک است که به منظور درک رفتار سازه‌ها، ماشین‌ها و سیستم‌ها ضروری است. ارتعاش آزاد به نوسان طبیعی یک جسم در غیاب هرگونه نیروی میرایی یا مقاومتی اشاره دارد. به عبارت ساده‌تر، نوسان طبیعی و دست نخورده یک سیستم است که پس از جابه‌جایی به حال خود رها می‌شود. در این مقاله به بررسی ارتعاش آزاد، ویژگی‌های آن، اهمیت، کاربرد و اثر این ارتعاش بر سازه‌ها خواهیم پرداخت.

ارتعاش آزاد چیست؟



ارتعاش آزاد که به آن ارتعاش طبیعی نیز می‌گویند، به نوسان طبیعی یک سیستم در غیاب هرگونه نیرو یا اختلال خارجی اشاره دارد. هنگامی که یک سیستم از حالت تعادلی خود جا به جا شده و سپس آزاد می‌شود، در فرکانس طبیعی خود در اطراف آن موقعیت به جلو و عقب نوسان می‌کند. به بیان ساده‌تر این که وضعیتی را در نظر بگیرید که در آن یک سیستم ارتعاشی در ابتدا توسط نیروی خارجی به حرکت در می‌آید و متعاقباً هیچ نیروی خارجی دیگری را تجربه نمی‌کند، ارتعاش سیستم شامل حرکات نوسانی منظم است و دامنه آن به تدریج کاهش پیدا می‌کند تا در نهایت

متوقف شود. این نوع حرکت را ارتعاش آزاد گویند. ارتعاشات می‌توانند در طیف وسیعی از فرکانس‌ها رخ دهند. ارتعاش آزاد معمولاً به صورت سینوسی است. معمولاً یک یا چند فرکانس وجود دارد که دامنه آن در حال افزایش است. در حالت پایداری، یک ارتعاش آزاد دارای دامنه ثابتی است؛ نه رشد می‌کند و نه کم می‌شود. هنگام ارتعاش آزاد، هیچ نیروی خارجی پس از یک اختلال اولیه روی سیستم وارد نمی‌شود و حتی نیروهای مقاومتی که ناشی از اصطکاک با ذرات و مولکول‌های هوا یا مکانیک داخلی است، نیز نادیده گرفته می‌شوند. درک این ارتعاش در زمینه‌های مختلفی مانند موارد زیر بسیار مهم است؛ زیرا به تجزیه و تحلیل رفتار سازه در شرایط مختلف کمک خواهد کرد:

- مهندسی مکانیک
- مهندسی عمران
- فیزیک
- دینامیک سازه

ویژگی‌های ارتعاش آزاد

ویژگی‌های ارتعاش آزاد به صورت زیر هستند:

- **حرکت تناوبی:** در طول ارتعاش آزاد، یک سیستم در اطراف موقعیت تعادل خود به جلو و عقب نوسان می‌کند و در نتیجه یک حرکت تکراری و دوره‌ای ایجاد می‌شود.
- **بدون نیروی خارجی:** مشخصه کلیدی ارتعاش آزاد این است که پس از به حرکت درآمدن سیستم، هیچ نیرو یا عامل خارجی روی آن اثر

نخواهد گذاشت. حرکت سیستم صرفاً با شرایط و ویژگی‌های اولیه آن تعیین می‌شود.

- **فرکانس طبیعی:** فرکانس ارتعاش سیستم در حین ارتعاش آزاد را فرکانس طبیعی می‌گویند. این عامل به جرم، میزان سختی و خواص میرایی سیستم بستگی دارد. سیستم‌های مختلف، فرکانس‌های طبیعی متفاوتی دارند و می‌توان آن‌ها را با استفاده از مدل‌های ریاضی محاسبه کرد.
- **بقای انرژی:** در ارتعاش آزاد، کل انرژی مکانیکی سیستم ثابت می‌ماند. انرژی بین انرژی پتانسیل (در صورت جا به جایی از حالت تعادل) و انرژی جنبشی (در حین حرکت) منتقل می‌شود.

تئوری پشت ارتعاش آزاد

برای درک بهتر مفهوم ارتعاش آزاد، باید به بررسی تئوری پشت آن پرداخت. در تئوری این ارتعاش، یکی از جنبه‌های حیاتی که باید در نظر گرفته شود، فرکانس طبیعی سازه است. فرکانس طبیعی به ویژگی‌های خود سیستم مانند موارد زیر بستگی دارد:

- جرم
- سفتی
- سختی

و در فرمول زیر نشان داده شده است:

$$\text{فرکانس طبیعی (w)} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

جایی که:

• **K:** سفتی و سختی سیستم است.

• **M:** جرم سیستم است.

یکی از جوانب جالب این ارتعاش این است که جابه‌جایی اولیه هر چقدر که بزرگ یا کوچک باشد، مهم نیست و سیستم همواره در همان فرکانس (یعنی فرکانس طبیعی خود) می‌لرزد. هنگامی که سیستم از حالت تعادل خود خارج شود و اجازه ارتعاش آزادانه را دهد، حرکت حاصل به صورت سینوسی خواهد بود و به صورتی نامحدود ادامه پیدا می‌کند؛ البته مشروط بر اینکه هیچ مقاومت یا میرایی در برابر حرکت آن وجود نداشته باشد. در صورت وجود میرایی، به تدریج انرژی از سیستم حذف می‌شود و دامنه نوسان به مرور کاهش می‌یابد تا در نهایت به صورت کامل متوقف شود. درک عمیق‌تر از رفتار ارتعاش آزاد می‌تواند برای طراحی و تجزیه و تحلیل چندین کاربرد مهندسی مانند موارد زیر و به صورت کلی در تمامی جاهایی که این اصول اعمال می‌شوند، ارزشمند باشند:

• پل‌ها

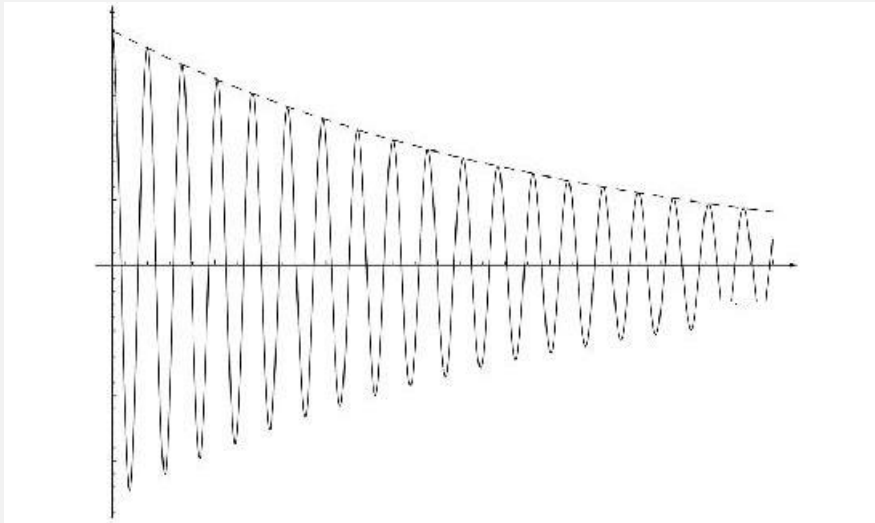
• ساختمان‌ها

• سیستم تعلیق خودرو

• موتورهای

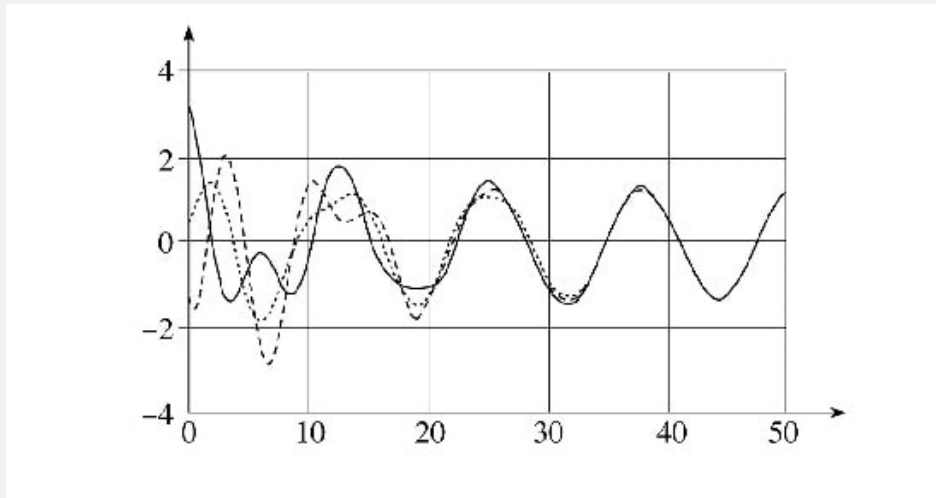
• توربین‌ها

ارتعاش آزاد میرا



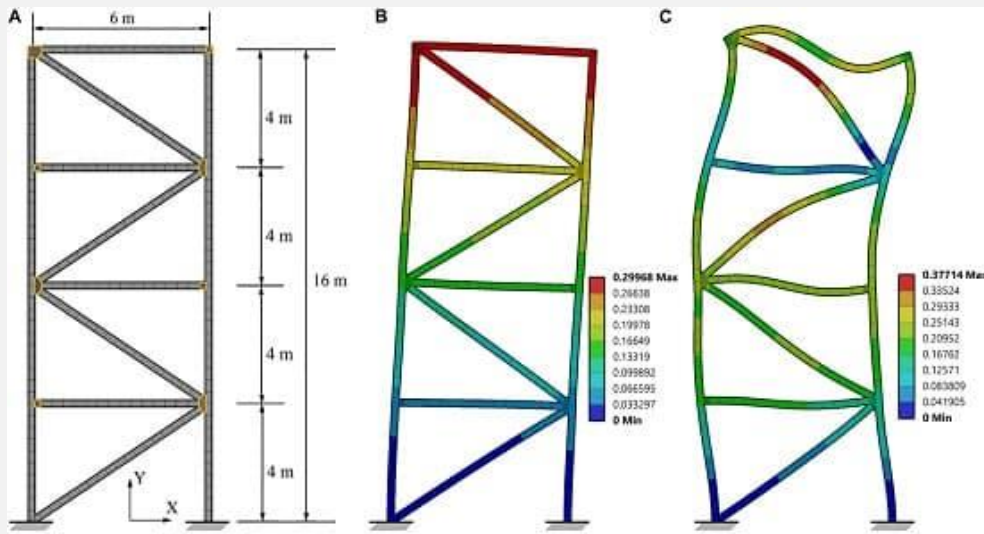
نیروی مقاومت خارجی روی جسم در حال ارتعاش وارد می‌شود، جسم در اثر مقاومت، انرژی خود را از دست می‌دهد و در نتیجه دامنه ارتعاشات به صورت تصاعدی کاهش می‌یابد. می‌توان نیروی میرایی را به گونه ای مدل سازی کرد که با سرعت جسم در آن زمان، نسبتی مستقیم داشته باشد. میرایی محو می‌شود، با هر مقاومتی، دامنه کاهش یافته تا زمانی که به صفر یا یک هدف تعیین شده دیگر برسد. نوسان میرایی بحرانی یک مورد خاص از میرایی است که در آن، هدف سریع‌تر و عموماً نرم‌تر به دست می‌آید.

ارتعاش آزاد نامیرا



ارتعاش آزاد نامیرا، پاسخ یک سیستم ارتعاشی است که جزء میرا یا اتلاف کننده نداشته باشد. در این نوع ارتعاش آزاد هیچ نیروی مقاومتی بر جسم در حال ارتعاش وارد نمی‌شود. با نوسانات جسم، انرژی موجود در جسم به صورت پیوسته از انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل تبدیل می‌شود و دوباره بازمی‌گردد و مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل یک مقدار ثابت خواهد بود. در عمل یافتن ارتعاش نامیرا بسیار دشوار است. به عنوان مثال، حتی یک جسم در حال ارتعاش در هوا به دلیل وجود مقاومت در مولکول‌های هوا در طول زمان، انرژی خود را از دست می‌دهد.

اهمیت ارتعاش آزاد در تحلیل سازه



درک و تجزیه و تحلیل ارتعاش آزاد، برای طراحی سیستم‌های کارآمد و ایمن بسیار مهم است. دانش فرکانس‌ها و حالت‌های طبیعی یک سازه به مهندسان این امکانات را می‌دهد:

- **اطمینان از ایمنی:** شناسایی فرکانس‌های طبیعی به مهندسان کمک می‌کند تا سازه‌هایی را طراحی کنند که بتوانند در برابر نیروهای خارجی بدون تشدید و تجربه ارتعاشات مخرب، مقاومت کنند.
- **بهینه سازی عملکرد:** مهندسان می‌توانند سیستم‌ها را به گونه ای تنظیم کنند تا در فرکانس‌های طبیعی و خاصی کار کنند یا از آن اجتناب کنند، کارایی را بهبود ببخشند و میزان سایش و پارگی را به حداقل میزان ممکن برسانند.
- **پیش بینی و جلوگیری از خرابی:** پیش بینی فرکانس‌های طبیعی، به منظور جلوگیری از رخ دادن خرابی‌های فاجعه بار، مانند مواردی که در تخریب و فروپاشی پل باریک تاکوما در سال ۱۹۴۰ مشاهده شد، ضروری است.

تأثیر ارتعاش آزاد بر سازه



تجزیه و تحلیل اثراتی که این ارتعاش روی سیستم‌ها و سازه‌ها در حوزه‌های مختلف دارد، بسیار مهم است. روشی که این ارتعاشات بر سیستم‌ها اثر می‌گذارد، می‌تواند بینش‌های مرتبطی را ارائه دهد که ممکن است سبب اخذ تصمیمات مهمی در طراحی و فرآیند ساخت سازه شود. ارتعاش آزاد، نقش بسزایی در تعیین فرکانس طبیعی یک سازه دارد. این ویژگی اساسی در طراحی و راه اندازی تعداد زیادی از سازه‌های مکانیکی مهم است. به عنوان مثال، در طراحی محفظه ماشین آلات یا پایه‌هایی که نیاز به جلوگیری از تشدید ارتعاش دارند، حیاتی است. فرکانس‌های طبیعی یک سازه همواره باید در طول مراحل طراحی در نظر گرفته شوند تا از پایداری و قابلیت اطمینان آن در شرایط عملیاتی مطمئن شوند.

اثراتی که ارتعاش آزاد دارد، در موارد زیر قابل توجه و بررسی است:

- ارزیابی پاسخ سازه به نیروها و ارتعاشات خارجی
- افزایش ایمنی و طول عمر سازه‌های مکانیکی و عمرانی

• پیشگیری یا مدیریت خطر بروز رزونانس

درک این تأثیرات می‌تواند به شکلی قابل توجه به مهندسان در طراحی و حفظ سیستم‌های ایمن و کارآمد که در برابر آسیب‌های احتمالی ناشی از اثرات ارتعاش مقاوم هستند، کمک کند و در نهایت اهمیت درک ارتعاش آزاد را تقویت کند. همچنین در طراحی سازه‌ها یا ماشین آلات به منظور جلوگیری از تشدید ارتعاش و ایجاد موارد فاجعه بار بالقوه کمک می‌کند.

تأثیر در ساختمان‌ها و پل‌ها

ارتعاش آزاد، نقش مهمی در طراحی ساختمان‌ها و پل‌ها دارد. این نوع سازه‌ها به گونه ای طراحی شده اند که فرکانس طبیعی بسیار متفاوتی با فرکانس بارهای خارجی بالقوه مانند باد و فعالیت‌های لرزه ای زمین داشته باشند تا از تشدید این ارتعاشات که ممکن است سبب تخریب سازه شود، جلوگیری کنند.

کاربرد ارتعاش آزاد



کاربردهای این ارتعاش در موارد زیر است:

- **مهندسی سازه:** تجزیه و تحلیل ارتعاش آزاد در تعیین فرکانس‌های طبیعی و حالت‌های ارتعاش برای ساختمان‌ها، پل‌ها و سایر سازه‌های مهندسی عمران بسیار مهم است. از این اطلاعات به منظور طراحی سازه‌هایی استفاده می‌شود که بتوانند در برابر نیروهای خارجی و شرایط محیطی مقاومت کنند.
- **مهندسی مکانیکی:** در سیستم‌های مکانیکی مانند سیستم تعلیق خودرو، بال‌های هواپیما و ماشین‌آلات، درک این ارتعاش به مهندسان کمک می‌کند تا سیستم‌هایی را طراحی کنند که میزان ارتعاشات را به حداقل برسانند و از تشدید آن‌ها تا حد امکان جلوگیری کنند که در نهایت می‌تواند منجر به شکست ساختاری شود.
- **لرزه شناسی:** زلزله شناسان از تحلیل این ارتعاش برای درک رفتار پوسته زمین، هنگام زلزله استفاده می‌کنند. این دانش به منظور پیش بینی حرکات زمین و طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله حیاتی است.
- **آلات موسیقی:** صدای تولید شده توسط آلات موسیقی مانند تار و سازهای کوبه ای، نتیجه ارتعاش آزاد است. نوازندگان فرکانس‌های طبیعی سازها را دستکاری می‌کنند تا آهنگ‌ها و ملودی‌های دلنشینی ایجاد کنند.
- **الکترونیک:** وجود ارتعاش آزاد در تجهیزات الکترونیکی دقیق می‌تواند نگران کننده باشد. مهندسان باید فرکانس‌های طبیعی را در طراحی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی‌های حساس به منظور جلوگیری از ایجاد ارتعاشات ناخواسته در نظر بگیرند.

کاربردهای صنعتی

کاربرد صنعتی ارتعاش آزاد بسیار گسترده است. از آن‌ها در طراحی، تحلیل و نگهداری سازه‌های مختلف مکانیکی و عمرانی استفاده می‌شود.

1) سیستم تعلیق خودرو

سیستم تعلیق خودروها به شدت به مفهوم این ارتعاش وابسته است. فنرهایی که در بخش زیرین خودرو وجود دارند، با فرکانس طبیعی خود هنگام برخورد با سرعت گیرها به سمت پایین و بالا حرکت می‌کنند. سیستم میرایی موجود به جذب تدریجی انرژی به منظور بازگرداندن فدر به حالت اولیه و ثابت خود کمک خواهد کرد.

2) طراحی ساختمان و پل

درک ارتعاش آزاد برای معماران و مهندسان عمران نیز بسیار مهم است؛ زیرا ساختمان‌ها و پل‌ها به گونه ای طراحی می‌شوند که فرکانس طبیعی بسیار متفاوتی با فرکانس بارهای ارتعاشی خارجی احتمالی مانند باد، ترافیک یا فعالیت‌های لرزه‌ای داشته باشند. این امر برای به حداقل رساندن رزونانس نیاز است. (رزونانس پدیده ای است که در آن حداکثر میزان ارتعاش می‌تواند اتفاق بیفتد).

3) بالانس روتور در صنایع

از تجزیه و تحلیل ارتعاش آزاد در بالانس کردن روتورها (Rotor) در ماشین آلات نیز استفاده می‌شود. در ماشین‌های دوار، یک روتور نامتعادل با سرعت کار ماشین به ارتعاش در خواهد آمد. این ارتعاش به منظور جلوگیری از خرابی ماشین آلات و خرابی‌های مرتبط با آن شناسایی و تصحیح می‌شود.

ارتعاش آزاد در مهندسی

این ارتعاش در محدوده ای از وظایف مهندسان قرار دارد و بر جنبه‌های مختلفی که مربوط به دوام، ایمنی و انعطاف پذیری محصول است، تأثیر می‌گذارد. در ادامه چند مورد کلیدی را بررسی خواهیم کرد که دانش ارتعاش آزاد مورد استفاده در مهندسی را نشان می‌دهد.

طراحی محصول

در طول مرحله طراحی محصول، مهندسان باید مطمئن شوند، هرگونه لرزشی که محصول آن‌ها تجربه می‌کند، سبب ایجاد رزونانس نخواهد شد. به منظور جلوگیری از این اتفاق زیان بار، طراحان فرکانس طبیعی محصول که به کمک اصول ارتعاش آزاد به دست آمده را در فرآیند طراحی محصول مورد نظر قرار می‌دهند.

تعمیر و نگهداری

تعمیر، نگهداری یا سرویس محصولات و ماشین آلات مهندسی نیز می‌تواند شامل مفهوم ارتعاش آزاد باشد. مهندسان اغلب از اصول ارتعاش آزاد به منظور تشخیص مسائلی مانند عدم تعادل، ناهماهنگی یا سایر مشکلات مشابه در ماشین آلات خود استفاده می‌کنند که در مواردی ممکن است فرکانس طبیعی سیستم را تغییر دهد.

کنترل کیفیت

آزمایش‌های ارتعاش آزاد معمولاً در سراسر حوزه تولید به منظور اطمینان از کنترل کیفیت اجرا می‌شوند. محصولات تحت آزمایش‌های این ارتعاش قرار

خواهند گرفت تا استحکام، دوام و توانایی آن‌ها برای مقاومت در شرایط مختلف را تأیید کنند.

ارتعاش آزاد در برابر ارتعاش اجباری



هر دو مفهوم برای تجزیه و تحلیل ارتعاش مورد نیاز و ضروری هستند و برای درک چگونگی واکنش ساختارها و سیستم‌ها در شرایط ورودی مختلف ضروری هستند. ارتعاش آزاد و اجباری اگرچه از جهات خاصی به یکدیگر شبیه‌اند؛ اما اساساً از نظر عوامل برانگیختگی و پاسخ‌های سیستم متفاوت هستند. همان گونه که در بخش‌های قبلی گفته شد، ارتعاش آزاد زمانی رخ می‌دهد که یک سیستم در غیاب هیچگونه نیروی خارجی، پس از این که در ابتدا از موقعیت تعادلی خود جا به جا شود، ارتعاش یا نوسان کند. در این نوع ارتعاش، سیستم آزادانه در فرکانس طبیعی خود نوسان می‌کند. اما در مقابل، ارتعاش اجباری شامل یک نیروی خارجی است که سیستم را در حال ارتعاش نگه می‌دارد. فرکانس این ارتعاش برابر با فرکانس نیروی خارجی است، نه فرکانس طبیعی سیستم.

از جمله تفاوت‌های ارتعاش آزاد و ارتعاش اجباری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اولین تفاوت، وجود یا عدم وجود نیروی خارجی در هر یک از آن‌ها است.
- فرکانس لرزش سیستم در ارتعاش آزاد برابر است با فرکانس طبیعی خود سیستم؛ این در حالی است که در ارتعاش اجباری، فرکانس ارتعاش توسط نیروی خارجی اعمال شده، معین می‌شود.

نکاتی در مورد ارتعاش آزاد



در ادامه به بررسی نکات مهمی که در ارتباط با این ارتعاش هستند، خواهیم پرداخت:

- ارتعاش آزاد نوعی نوسان است که در آن سازه، بدون توجه به میزان بزرگی جابه‌جایی اولیه، در حد و حدود فرکانس طبیعی خود می‌لرزد.

- اگر میرایی وجود داشته باشد، به تدریج انرژی از سازه حذف شده و باعث می‌شود نوسانات در طول زمان کاهش یابند تا در نهایت متوقف شوند.
- نمونه‌هایی از ارتعاش آزاد عبارت‌اند از آونگ تاب‌دار یا ترامپولین که هر کدام با فرکانس طبیعی خود در حال ارتعاش هستند.
- ارتعاش آزاد، کاربردهای وسیعی در بخش‌های صنعتی دارد و معمولاً در سیستم‌های تعلیق خودرو، طراحی ساختمان‌ها و پل‌ها و بالانس کردن روتور در صنایع استفاده می‌شود.