



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۱۶۲۴۸-۲

چاپ اول

اردیبهشت ۱۳۹۲

INSO

16248-2

1st.Edition

May.2013

لرزش و شوک مکانیکی - اندازه گیری قدرت
لرزش انتقالی از دستگاه ها به سازه های
پشتیبان متصل شده -
قسمت ۲: روش غیرمستقیم

**Mechanical vibration and shock—
Measurement of vibration power flow
from machines into connected support
structures—
Part 2:
Indirect method**

ICS: 17.160

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
« لرزش و شوک مکانیکی - اندازه‌گیری قدرت لرزش انتقالی از دستگاه‌ها به سازه‌های پشتیبان متصل شده - قسمت ۲: روش غیر مستقیم »

رئیس:

حاجی نایب، علی
(دکتری مکانیک)

سمت و/یا نمایندگی

عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

دبیر:

بهرامی، راحیل
(لیسانس برق - الکترونیک)

کارشناس

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

بهرامی، فریبرز
(لیسانس عمران - عمران)

مدیر دفتر رسیدگی سازمان آب و برق
خوزستان

بهرامی قلعه سفیدی، مهدی
(فوق لیسانس مکانیک - طراحی کاربردی)

عضو هیئت علمی پژوهشکده تکنولوژی تولید
جهاد دانشگاهی اهواز

پیر مرادی، رمضان
(لیسانس مکانیک)

کارشناس مسئول اداره کل استاندارد استان
خوزستان

جنتی، حسین
(لیسانس مکانیک)

کارشناس

جهانیان، محسن
(لیسانس مکانیک - جامدات)

کارشناس اجرای استاندارد اداره کل
استاندارد استان خوزستان

چراغی، حسین
(فوق لیسانس متالوژی)

کارشناس اداره کل استاندارد استان
خوزستان

شعبانپور فولادی، زینب
(فوق لیسانس شیمی)

مدرس دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

مال میر، مریم
(لیسانس برق - الکترونیک)

کارشناس مسئول مخابرات و تله متری
شرکت توزیع برق خوزستان

محسنی، خلیل
(فوق لیسانس متالوژی)

کارشناس اداره کل استاندارد استان
خوزستان

مکوندی، مهدی
(لیسانس برق - قدرت)

سرپرست ایمنی سازمان برق خوزستان

موزرم نیا، ایمان
(فوق لیسانس تاسیسات آب)

مدیر دفتر سازه و هیدرولیک سازمان آب و
برق خوزستان

مهر افشار، علی
(لیسانس مکانیک)

مدیر عامل شرکت سرد مهر

یاقوتیان، امین
(دکتری مکانیک)

عضو هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
و	پیش گفتار
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۵	۴ اصول
۵	۴-۱ موارد کلی برای تعیین قدرت لرزش انتشار یافته
۱۱	۴-۲ بیان قدرت لرزش در قالب‌های متفاوت
۱۱	۵ اندازه گیری
۱۱	۵-۱ چینش مبدل‌های لرزش
۱۱	۵-۱-۱ نصب مبدل
۱۱	۵-۱-۲ عایق لرزش با یک اتصال پیچ شده روی دستگاه و پی
۱۳	۵-۱-۳ عایق لرزش با چندین اتصال پیچ شده روی دستگاه و پی
۱۵	۵-۱-۴ تعیین حد بالای فرکانس
۱۵	۵-۲ پردازش سیگنال معمول برای ارزیابی طیف عرضی شتاب
۱۷	۵-۳ ویژگی‌های اندازه شناختی
۱۷	۶ روش‌های آزمون
۱۷	۶-۱ انتخاب تعداد عایق‌های لرزش برای شروع اندازه گیری
۱۸	۶-۲ جایگذاری مبدل و تعیین بیشترین فرکانس
۱۸	۷ عدم قطعیت اندازه گیری
۱۹	۸ نمایش داده‌ها و گزارش آزمون
۲۱	پیوست الف (اطلاعاتی) ساختار ماتریس سختی دینامیکی عایق لرزش
۲۲	پیوست ب (اطلاعاتی) مثال‌هایی از هندسه ساده و مولفه‌های خطی ماتریس سختی دینامیکی عایق‌های بی جرم

پیش گفتار

استاندارد " لرزش و شوک مکانیکی - اندازه گیری قدرت لرزش انتقالی از دستگاه ها به سازه های پشتیبان متصل شده - قسمت ۲: روش غیر مستقیم " که پیش نویس آن در کمیسیون های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ، تهیه و تدوین شده و در یکصد و نود و چهارمین اجلاس کمیته ملی استاندارد اندازه شناسی، اوزان و مقیاس ها مورخ ۹۱/۱۰/۷ مورد تصویب قرار گرفته است ، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ ، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت . بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 18312-2:2012, Mechanical vibration and shock - Measurement of vibration power flow from machines into connected support structures — Part 2: Indirect method

شوک و لرزش مکانیکی - اندازه‌گیری قدرت لرزش انتقالی از دستگاه‌ها به سازه‌های پشتیبان متصل شده - قسمت ۲: روش غیر مستقیم

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روشی برای ارزیابی قدرت لرزش منتشر شده از دستگاه‌ها یا خطوط لوله (که در ادامه از آنها به عنوان دستگاه‌ها یاد می‌شود)، به سازه‌های پشتیبانی می‌باشد که از طریق عایق‌های لرزش به دستگاه متصل هستند.

این استاندارد برای ارزیابی مولفه‌های قدرت لرزش منتشر شده با شش درجه آزادی در دستگاه مختصات دکارتی در هر اتصال کاربرد دارد، برای مثال سه جابجایی و سه چرخش. قدرت لرزش بوسیله پردازش سیگنال‌هایی از دو مجموعه مبدل‌های سرعت (یا شتاب) قرار گرفته بر نقطه اتصال عایق تعیین می‌شود، یک مجموعه در طرف دستگاه (ورودی) و دیگری در طرف پی (خروجی). این استاندارد برای دستگاه‌هایی که لرزش آنها می‌تواند بوسیله یک فرآیند تصادفی ایستا توصیف شود، کاربرد دارد.

مولفه‌های قدرت لرزش منتشر شده با استفاده از طیف‌های عرضی دو مجموعه سرعت در باند باریک (یا یک سوم گام) و مشخصات سختی دینامیکی عایق در محدوده فرکانس مورد نظر محاسبه می‌شوند. حدود بالای فرکانس این روش در این قسمت از استاندارد مشخص می‌شود.

این استاندارد برای موارد زیر کاربرد دارد :

الف- ارزیابی سیستم ماشین آلات از نظر طراحی عایق (لرزه گیر)؛

ب- به دست آوردن داده‌ها به منظور آماده سازی تجهیزات فنی برای میزان مجاز انتشار قدرت لرزش دستگاه؛

پ- تعیین نمودن فرآیندهای کنترل لرزش مناسب و مقرون به صرفه؛

ت- رفع نمودن مشکلات تشخیص عیب.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است :

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴۰۱۹، شوک و ارتعاش مکانیکی، پایش وضعیت- واژه نامه

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۸۰۲، ارتعاش مکانیکی و شوک نصب مکانیکی شتاب سنج‌ها

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۲۹-۱، آکوستیک و لرزش- اندازه گیری آزمایشگاهی خصوصیات انتقال لرزه آکوستیکی عناصر کشسان - قسمت ۱: اصول و رهنمودها

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۲۹-۲، آکوستیک و لرزش - اندازه گیری آزمایشگاهی خصوصیات انتقال لرزه آکوستیکی عناصر کشسان - قسمت ۲: روش مستقیم برای تعیین سختی دینامیکی نگه دارنده های کشسان در حرکت انتقالی

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ملی ایران شماره ۴۰۱۹، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌روند:

۱-۳

بردار سرعت

$$v^{n,m}$$

بردار سرعت لرزش در n امین عایق روی دستگاه، شامل سه مولفه جابجایی و سه مولفه چرخش در راستای محورهای مختصات x ، y و z

یادآوری- نماد $v^{n,f}$ نشان دهنده بردار سرعت در همان عایق روی پی می‌باشد.

۲-۳

مولفه سرعت

$$v_i^{n,m}$$

مولفه بردار سرعت لرزش در درجه آزادی i و n امین عایق روی دستگاه؛ $i=1,2,3$ برای مولفه‌های خطی به ترتیب در جهت‌های x ، y و z ، $i=4,5,6$ برای مولفه‌های زاویه ای به ترتیب در جهت x ، y و z

یادآوری- نماد $v_i^{n,f}$ نمایانگر سرعت‌های لرزش در همان عایق روی پی می‌باشد.

۳-۳

مولفه شتاب

$$a_i^{n,m}$$

مولفه شتاب لرزش در درجه آزادی i و n امین عایق روی دستگاه

۴-۳

مقدار ریشه میانگین مربعات مولفه شتاب

مقدار $r.m.s^1$ مولفه شتاب

$$a_{i:rms}^{n,m}$$

مقدار ریشه میانگین مربعات مولفه شتاب در درجه آزادی i و n امین عایق روی دستگاه

۵-۳

بردار نیرو

$$F^{n,m}$$

"روش غیرمستقیم" بردار نیرو لرزش موثر بوسیله دستگاه در n امین عایق، شامل سه مولفه خطی نیرو و سه

مولفه زاویه ای نیرو یا گشتاور، در راستای محورهای مختصات x ، y و z

یادآوری- نماد $F^{n,f}$ نمایانگر بردار نیرو موثر در همان عایق بوسیله پی می باشد که اگر عایق های لرزش بی جرم باشند همانند $F^{n,m}$ - است.

۶-۳

مولفه نیرو

$$F_i^{n,m}$$

"روش غیر مستقیم" مولفه بردار نیروی لرزش در درجه آزادی i و n امین عایق روی دستگاه؛ $i=1,2,3$ برای

مولفه های نیرو به ترتیب در جهت های x ، y و z ، $i=4,5,6$ برای مولفه های گشتاور به ترتیب در جهت x ، y و

z

۷-۳

مولفه قدرت لرزش

$$P_i^{n,m}$$

"روش غیر مستقیم" مولفه قدرت لرزش انتشار یافته از دستگاه به n امین عایق در درجه آزادی i ، بوسیله

میانگین زمانی حاصل ضرب داخلی بردار نیرو و بردار سرعت در n امین عایق روی دستگاه در درجه آزادی i

بدست آمده

یادآوری ۱- مولفه قدرت لرزش بر حسب "وات" بیان می شود.

یادآوری ۲- نماد $P_i^{n,f}$ نمایانگر مولفه های قدرت لرزش انتقال یافته به پی بوسیله n امین عایق می باشد.

۸-۳

قدرت لرزش در یک پایه

$$P^{n,m}$$

حاصل جمع قدرت لرزش انتشار یافته از دستگاه به n امین عایق در تمامی درجه های آزادی

یادآوری - نماد $P^{n,f}$ نمایانگر قدرت لرزش انتشار یافته به پی بوسیله همان عایق می باشد.

۹-۳

قدرت لرزش

$$P^m$$

"روش غیر مستقیم" قدرت لرزش انتشار یافته کل از دستگاه به عایق ها، بوسیله حاصل جمع قدرت لرزش انتشار یافته از دستگاه به تمامی عایق ها در تمامی درجه های آزادی بدست آمده
یادآوری - نماد P^f نمایانگر قدرت لرزش انتشار یافته کل به پی بوسیله تمامی عایق ها می باشد.

۱۰-۳

طیف قدرت لرزش

$$P^m(f, \Delta f)$$

"روش غیر مستقیم" تجزیه قدرت لرزش کل از دستگاه، P^m ، در حوزه فرکانسی با فرکانس مرکز معین f و پهنای باند Δf

۱۱-۳

مولفه طیف قدرت لرزش

$$P_i^{n,m}(f, \Delta f)$$

"روش غیر مستقیم" طیف قدرت لرزش انتقال یافته از دستگاه در درجه آزادی i و n امین عایق

۱۲-۳

طیف قدرت لرزش در عایق

$$P^{n,m}(f, \Delta f)$$

طیف قدرت لرزش انتشار یافته از دستگاه در n امین اتصال

۱۳-۳

طیف عرضی سرعت

$$G_{v_j^{n,m} v_i^{n,f}}(f, \Delta f)$$

طیف عرضی سرعت لرزش، $v_j^{n,m}(t)$ ، در n امین عایق و درجه آزادی زروی دستگاه به عنوان ورودی و سرعت لرزش، $v_i^{n,t}(t)$ ، در درجه آزادی i روی پی بعنوان خروجی
یادآوری - طیف عرضی سرعت بر حسب "متر بر مجذور ثانیه" بیان می شود.

۱۴-۳

سطح قدرت لرزش

$$L_w = 10 \lg \frac{P}{P_0} \text{ dB}$$

۱۰ برابر لگاریتم نسبت قدرت لرزش اندازه گیری شده ، P ، به مقدار مرجع، $P_0 = 1 \text{ pW}$ ، برحسب دسی بل

۱۵-۳

ماتریس سختی دینامیکی ورودی عایق لرزش

$$K^{n,in}(f)$$

ماتریس سختی دینامیکی مختلط وابسته به فرکانس n امین عایق لرزش در ورودی یا دستگاه

۱۶-۳

ماتریس سختی دینامیکی خروجی عایق لرزش

$$K^{n,out}(f)$$

ماتریس سختی دینامیکی مختلط وابسته به فرکانس n امین عایق لرزش در خروجی یا پی

۱۷-۳

ماتریس سختی دینامیکی انتقالی عایق لرزش

$$K^{n,tr}(f)$$

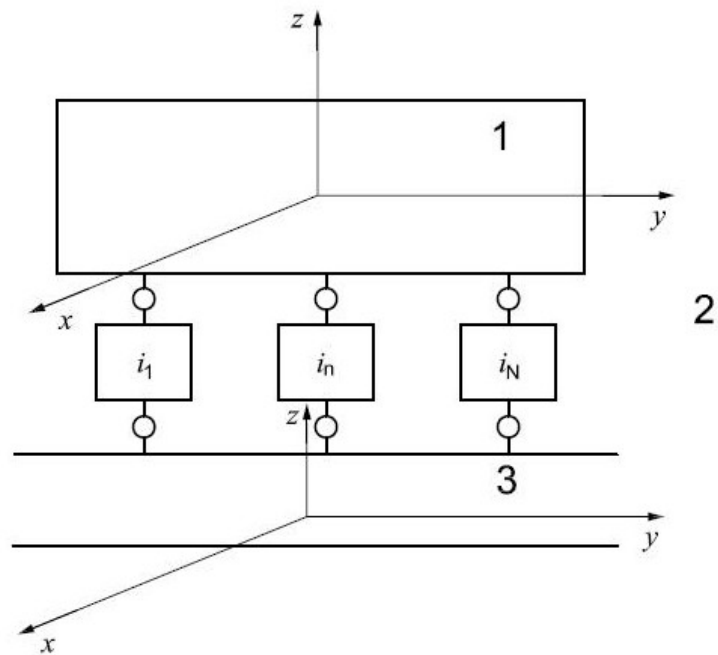
ماتریس سختی دینامیکی مختلط وابسته به فرکانس از میان n امین عایق لرزش بین دستگاه و پی

۴ اصول

۴-۱ موارد کلی جهت تعیین قدرت لرزش انتشار یافته

شکل ۱ نمودار شمای دستگاه قرار گرفته روی N عایق لرزش را که سپس به سازه پی^۱ متصل شده است نشان می‌دهد، بطوریکه مختصات ماشین برای عایق‌های لرزش و نیز پی تحت فرض کم بودن حرکات چرخشی قابل استفاده است.

شکل ۲ شناسه گذاری‌ها برای اندازه گیری‌های نیرو، گشتاور، سرعت خطی و سرعت زاویه ای در n امین اتصال روی دستگاه یا ورودی و خروجی یا پی را نشان می‌دهد، بطوریکه گشتاورها و سرعت‌های زاویه ای در جهت ساعتگرد هنگامی که از مبدا مختصات به راستای محورها نگاه می‌کنیم بصورت مثبت تعریف می‌شوند.



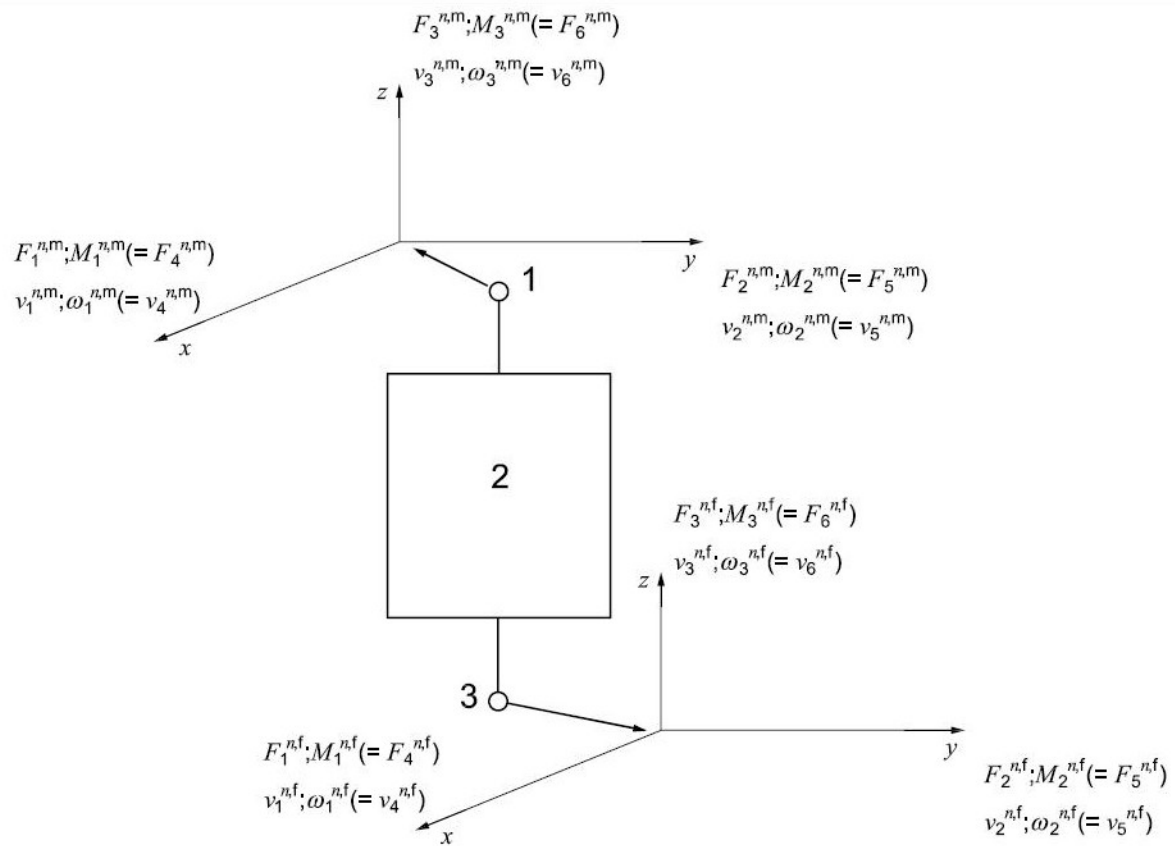
راهنما :

1 دستگاه

2 عایق

3 پی

شکل ۱- نمودار قرارگیری دستگاه روی پی بوسیله چندین عایق و دستگاه‌های مختصات



راهنما :

- 1 ورودی (بوسیله دستگاه)
- 2 n امین عایق لرزش
- 3 خروجی (بوسیله پی)

شکل ۲- دستگاه‌های مختصات برای اندازه‌گیری‌های n امین عایق و شناسه گذاری نیرو، F ، گشتاور، M ، مولفه‌های سرعت خطی، v ، و زاویه ای، ω ، ورودی (دستگاه) و خروجی (پی)

قدرت لرزش انتقال یافته به پی در n امین عایق لرزش به شکل میانگین زمانی حاصل ضرب داخلی بردار نیرو $F^{n,f}(t)$ و بردار سرعت $v^{n,f}(t)$ در n امین عایق روی پی بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$P^{n,f} = \frac{1}{L} \int_0^L F^{n,f}(t) v^{n,f}(t) dt = \frac{1}{L} \int_0^L \sum_{i=1}^6 F_i^{n,f}(t) v_i^{n,f}(t) dt = \sum_{i=1}^6 \frac{1}{L} \int_0^L F_i^{n,f}(t) v_i^{n,f}(t) dt \quad (۱)$$

که در آن L مدت میانگین گیری زمانی است و

$$\frac{1}{L} \int_0^L F_i^{n,f}(t) v_i^{n,f}(t) dt \equiv P_i^{n,f}$$

قدرت لرزش انتقال یافته به پی در درجه آزادی i بوسیله n امین عایق را نشان می‌دهد. قدرت لرزش کل در پی بوسیله N پایه به سادگی با یک حاصل جمع قدرت لرزش بر پی بوسیله هر پایه بصورت زیر بدست می‌آید:

$$P^f = \sum_{n=1}^N P^{n,f} \quad (۲)$$

تجزیه قدرت لرزش در n امین عایق و درجه آزادی i ، $P_i^{n,f}$ ، در حوزه فرکانسی بوسیله طیف قدرت لرزش با پهنای باند معین، Δf ، $P_i^{n,f}(f, \Delta f)$ ، تعریف شده است، که می‌توان آنرا از قسمت حقیقی طیف عرضی فرآیندهای تصادفی آماری نیرو $F_i^{n,f}$ و سرعت $v_i^{n,f}$ بصورت زیر بدست آورد:

$$P_i^{n,f}(f, \Delta f) = \text{Re}[G_{F_i v_i}^{n,f}(f, \Delta f)] \quad (۳)$$

بطور مشابه، طیف قدرت لرزش انتشار یافته از دستگاه در n امین عایق و درجه آزادی i می‌تواند بصورت زیر بیان شود:

$$P_i^{n,m}(f, \Delta f) = \text{Re}[G_{F_i v_i}^{n,m}(f, \Delta f)] \quad (۴)$$

رابطه بین نیروهای عملیاتی تصادفی لرزشی بر عایق $F^{n,m}$ اعمالی از دستگاه و نیروهای عملیاتی تصادفی لرزشی بر عایق $F^{n,f}$ عکس العمل از پی و سرعت‌های تصادفی لرزشی متناظر در دستگاه و پی، $v^{n,m}$ و $v^{n,f}$ ، به ترتیب بصورت زیر:

$$F^{n,f}(f) = \frac{1}{j2\pi f} [K^{n,tr}(f)v^{n,m}(f) + K^{n,out}(f)v^{n,f}(f)] \quad (5)$$

$$F^{n,m}(f) = \frac{1}{j2\pi f} [K^{n,in}(f)v^{n,m}(f) + K^{n,tr}(f)v^{n,f}(f)]$$

که در آن $K^{n,tr}$ ماتریس سختی دینامیکی انتقالی مسدود شده n امین عایق بین خروجی جاییکه پی متصل شده است و ورودی جاییکه دستگاه متصل شده است را نشان می‌دهد، $K^{n,out}$ ، نقطه رانش ماتریس سختی دینامیکی در خروجی زمانی که سمت ورودی مسدود شده است، برای مثال $v^{n,m} = 0$ ، $K^{n,in}$ نقطه رانش ماتریس سختی دینامیکی در ورودی زمانی که سمت خروجی مسدود شده است، برای مثال $v^{n,f} = 0$ و $j = \sqrt{-1}$. روش مبنا برای اندازه گیری خصوصیات لرزش آکوستیکی عناصر کشسان بر حسب سختی دینامیکی، که رابطه بین نیروها و جابجایی‌ها است، باید استاندارد ISO 10846-1 باشد. اگرچه، ماتریس‌های سختی دینامیکی نیز می‌توانند با استفاده از یک روش عددی مانند روش المان محدود براساس هندسه عایق‌ها و خصوصیات دینامیکی مکانیکی مواد کشسان برآورد شوند. یادآوری می‌شود که نیروی موثر بر پی از عایق بصورت $F^{n,f}$ بدست می‌آید، طیف‌های قدرت لرزش در روابط (۳) و (۴) را می‌توان با استفاده از رابطه (۵) به شکل زیر بیان کرد:

$$P_i^{n,f}(f, \Delta f) = -\frac{1}{2\pi f} \text{Im} \left\{ \sum_{j=1}^6 [K_{ij}^{n,tr}(f)G_{v_j^{n,m}v_i^{n,f}}(f, \Delta f) + K_{ij}^{n,out}(f)G_{v_j^{n,f}v_i^{n,m}}(f, \Delta f)] \right\} \quad (6)$$

$$P_i^{n,m}(f, \Delta f) = -\frac{1}{2\pi f} \text{Im} \left\{ \sum_{j=1}^6 [K_{ij}^{n,in}(f)G_{v_j^{n,m}v_i^{n,m}}(f, \Delta f) + K_{ij}^{n,tr}(f)G_{v_j^{n,f}v_i^{n,m}}(f, \Delta f)] \right\} \quad (7)$$

روابط (۶) و (۷) بر حسب اندازه گیری شتاب، که معمولاً در عمل مورد نظر است، بصورت زیر می‌توانند بازنویسی شوند:

$$P_i^{n,f}(f, \Delta f) = \frac{1}{(2\pi f)^3} \text{Im} \left\{ \sum_{j=1}^6 [K_{ij}^{n,tr}(f)G_{a_j^{n,m}a_i^{n,f}}(f, \Delta f) + K_{ij}^{n,out}(f)G_{a_j^{n,f}a_i^{n,m}}(f, \Delta f)] \right\} \quad (8)$$

$$P_i^{n,m}(f, \Delta f) = -\frac{1}{(2\pi f)^3} \text{Im} \left\{ \sum_{j=1}^6 [K_{ij}^{n,in}(f)G_{a_j^{n,m}a_i^{n,m}}(f, \Delta f) + K_{ij}^{n,tr}(f)G_{a_j^{n,f}a_i^{n,m}}(f, \Delta f)] \right\} \quad (9)$$

یادآوری- اگر اپراتور فقط دارای اطلاعات درباره تعداد معین از سختی‌های دینامیکی برای عایق‌های لرزش باشد در حالیکه قدرت لرزش جاری بوسیله روابط (۶)، (۷)، (۸) و (۹) ارزیابی می‌شود، تعداد عبارات برای مجموع بوسیله آن اطلاعات محدود می‌شود. برای مثال، اگر فقط اطلاعاتی درباره عناصر سختی دینامیکی موجود باشد "نیروهای خطی-سرعت‌های خطی"، زیر نویس‌های $\dot{I}_i$ در روابط (۶) تا (۹) فقط برابر ۱، ۲ و ۳ هستند.

یک ماتریس کلی 12×12 سختی دینامیکی یک عایق لرزش در شکل الف-۱ نشان داده شده است. در شکل الف-۲، یک ماتریس 6×6 سختی دینامیکی فقط برای مولفه‌های خطی شکل الف-۱ نشان داده شده است. در پیوست ب، دو شکل هندسی ساده از عایق‌ها به همراه مولفه‌های سختی دینامیکی خطی نشان داده شده است. شکل ب-۱ یک شش وجهی قائم و شکل ب-۲ یک چندوجهی با دو صفحه متقارن را نشان می‌دهد. در این مثال‌ها، بسیاری از مولفه‌های ماتریس سختی دینامیکی صفر هستند. برای عایق لرزش داده شده در شکل ب-۱، محورهای x, y, z داده شده محورهای اصلی می‌باشند، مولفه‌های خارج از قطر ماتریس‌های $K^{n, in}$ ، $K^{n, tr}$ و $K^{n, out}$ صفر می‌شوند. با صرف نظر از عبارات چرخشی، می‌توان طیف قدرت لرزش انتقال یافته به پی بوسیله n امین عایق لرزش و طیف قدرت لرزش انتشار یافته بوسیله دستگاه به n امین عایق لرزش به فرم آسان تری بصورت زیر ساده شود:

$$P_i^{n, f}(f, \Delta f) = -\frac{1}{2\pi f} \text{Im} \left[K_{ii}^{n, tr}(f) G_{v_j^{n, m} v_i^{n, f}}(f, \Delta f) + K_{ii}^{n, out}(f) G_{v_j^{n, f} v_i^{n, m}}(f, \Delta f) \right] \quad (10)$$

$$P_i^{n, m}(f, \Delta f) = -\frac{1}{2\pi f} \text{Im} \left[K_{ii}^{n, in}(f) G_{v_j^{n, m} v_i^{n, m}}(f, \Delta f) + K_{ii}^{n, tr}(f) G_{v_j^{n, f} v_i^{n, m}}(f, \Delta f) \right] \quad (11)$$

اگر اندازه گیری‌های لرزش بر حسب شتاب داده شده باشند، روابط زیر بکار می‌روند تا طیف قدرت لرزش انتقال یافته به پی بوسیله n امین عایق و طیف قدرت لرزش انتشار یافته بوسیله دستگاه به n امین عایق در درجه آزادی i را بیان کنند:

$$P_i^{n, f}(f, \Delta f) = \frac{1}{(2\pi f)^3} \text{Im} \left[Z_{ii}^{n, tr}(f) G_{a_j^{n, m} a_i^{n, f}}(f, \Delta f) + Z_{ij}^{n, out}(f) G_{a_j^{n, f} a_i^{n, m}}(f, \Delta f) \right] \quad (12)$$

$$P_i^{n, m}(f, \Delta f) = -\frac{1}{(2\pi f)^3} \text{Im} \left[Z_{ii}^{n, in}(f) G_{a_j^{n, m} a_i^{n, f}}(f, \Delta f) + Z_{ii}^{n, tr}(f) G_{a_j^{n, f} a_i^{n, m}}(f, \Delta f) \right] \quad (13)$$

فرآیندهای لرزش دستگاه در این قسمت از استاندارد تصادفی ایستا فرض شده اند و اندازه گیری‌های لرزش و قدرت لرزش بر حسب طیف‌ها در باند باریک فرکانسی، Δf ، بیان شده اند بطوریکه امپدانس‌های مکانیکی عایق‌های لرزش به عنوان کمیت‌هایی مختلط تلقی می‌شوند.

باند فرکانسی، Δf ، برای تحلیل باند باریک باید کمتر از کمترین فرکانس مشخصه پی دستگاه باشد.

۲-۴ بیان قدرت لرزش در قالب‌های متفاوت

هرگاه طیف‌های قدرت لرزش در باند باریک فرکانسی معین نشان داده شده در روابط (۱۲) و (۱۳) موجود باشد، می‌توان آنها را به راحتی در سایر فرم‌ها مانند یک سوم گام یا فرم‌های گام باند بوسیله جمع‌هایی ساده بیان نمود. پهنای باندها می‌توانند چنانچه مورد نیاز است انتخاب شوند و قدرت لرزش در پهنای باند انتخاب شده، برحسب هرتز، از $f_{\min}$ تا $f_{\max}$ بصورت زیر به دست می‌آید:

$$P_i^n(f_{\min} \rightarrow f_{\max}) = \sum_{k=1}^{N_f} P_i^n[f_{\min} + (k-1)\Delta f, \Delta f] \quad (14)$$

که در آن N_f تعداد نقاط در محدود فرکانسی مورد نظر است، که در حالت تحلیل باند باریک فرکانس بصورت زیر به دست می‌آید:

$$N_f = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\Delta f}$$

۵ اندازه گیری

۱-۵ چینش مبدل‌های لرزش

۱-۱-۵ نصب مبدل

برای تعیین شش مولفه قدرت لرزش انتشار یافته از دستگاه به عایق لرزش و شش مولفه قدرت لرزش انتقال یافته به پی بوسیله عایق لرزش، مبدل‌های لرزش باید مطابق استاندارد ISO 5348 هم روی دستگاه و هم پی بصورت نشان داده شده در شکل ۳ نصب شده باشند.

۲-۱-۵ عایق لرزش با یک اتصال پیچ شده روی دستگاه و پی

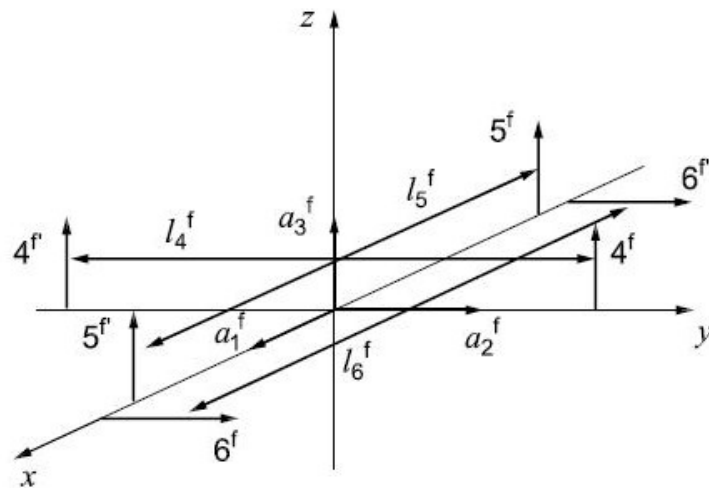
در مواردی که عایق لرزش به دستگاه و پی متصل شده است، هرکدام با یک اتصال پیچ شده، مولفه‌های خطی لرزش بوسیله قرار دادن مبدل‌های شتاب سه محوری روی سر پیچ‌ها اندازه گیری شده اند ($a_1^m, a_2^m, a_3^m; a_1^f, a_2^f, a_3^f$) بطوریکه بالانویس n به جهت سادگی در بیان حذف شده است). شتاب‌های زاویه ای $a_4^m, a_5^m, a_6^m; a_4^f, a_5^f, a_6^f$ می‌توانند از شتاب‌های خطی اندازه گیری شده بوسیله مبدل‌های قرار گرفته دور از مرکز پایه روی دستگاه و پی بصورت نشان داده شده در شکل ۳ و در ادامه محاسبه شوند:

$$a_4^m = (4^m - 4^{m'})/l_4^m; a_5^m = (5^m - 5^{m'})/l_5^m; a_6^m = (6^m - 6^{m'})/l_6^m \quad (15)$$

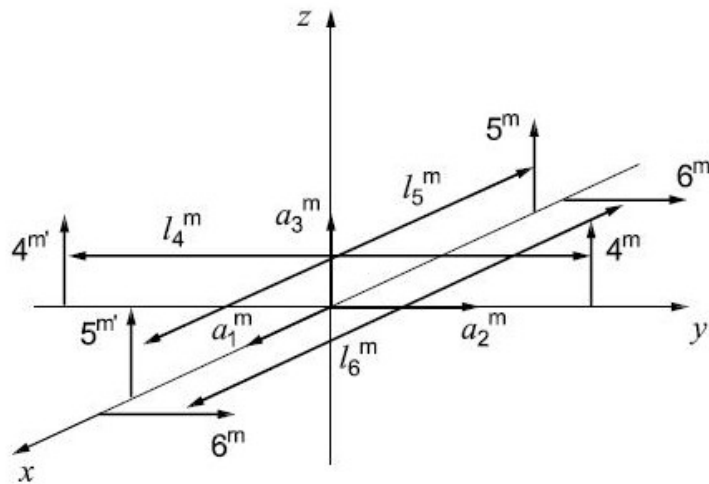
$$a_4^f = (4^f - 4^{f'})/l_4^f; a_5^f = (5^f - 5^{f'})/l_5^f; a_6^f = (6^f - 6^{f'})/l_6^f$$

که در آن l فاصله بین دو شتاب سنج می باشد.

یادآوری- اگر سختی دینامیکی چرخشی عایق لرزش موجود نباشد، نیازی به اندازه گیری مولفه های چرخشی لرزش نیست.



الف- ماشین



ب- پی

شکل ۳- شمای مبدل های لرزش برای عایق های لرزش با یک اتصال پیچ شده روی ماشین و پی

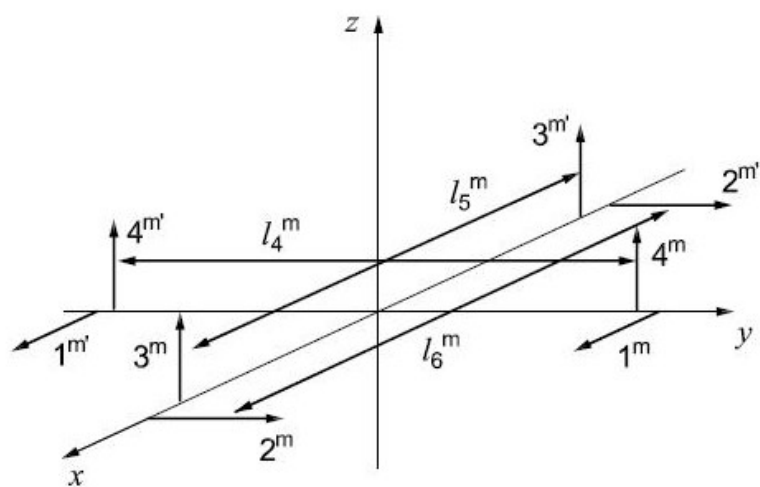
۵-۱-۳ عایق لرزش با چندین اتصال پیچ شده روی دستگاه و پی

در مواردی که تک عایق لرزش در چندین اتصال به دستگاه و پی پیچ شده است، اگر یکی از چندین اتصال در مرکز پایه قرار گرفته باشد، شمای ارائه شده در بند ۵-۱-۲ همچنان قابل استفاده است. در غیر اینصورت، مبدل‌های لرزش روی مکان‌هایی از دستگاه و پی قرار گرفته اند که عایق لرزش، طبق شماهای نشان داده شده در شکل ۴ پیچ شده است. مولفه‌های شتاب خطی در پایه دستگاه و پی می‌توانند بصورت زیر بدست آیند :

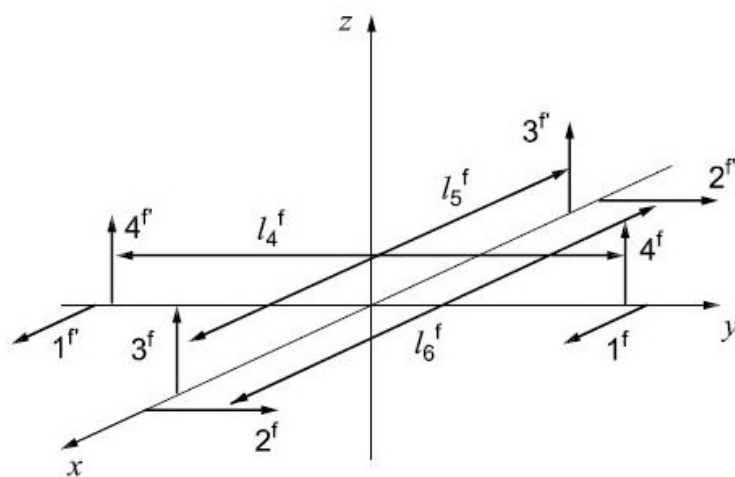
$$\begin{aligned} a_1^m &= \frac{1}{2}(1^m - 1^{m'}) ; a_2^m = \frac{1}{2}(2^m - 2^{m'}) ; a_3^m = \frac{1}{2}(3^m - 3^{m'}) \\ a_1^f &= \frac{1}{2}(1^f - 1^{f'}) ; a_2^f = \frac{1}{2}(2^f - 2^{f'}) ; a_3^f = \frac{1}{2}(3^f - 3^{f'}) \end{aligned} \quad (۱۶)$$

مولفه‌های شتاب زاویه ای در پایه دستگاه و پی می‌توانند بصورت زیر بدست آیند :

$$\begin{aligned} a_4^m &= (4^m - 4^{m'})/l_4^m ; a_5^m = (3^m - 3^{m'})/l_5^m ; a_6^m = (2^m - 2^{m'})/l_6^m \\ a_4^f &= (4^f - 4^{f'})/l_4^f ; a_5^f = (3^f - 3^{f'})/l_5^f ; a_6^f = (2^f - 2^{f'})/l_6^f \end{aligned} \quad (۱۷)$$



الف - ماشین



ب - پی

شکل ۴- شمای مبدل‌های لرزش برای عایق‌های لرزش با چندین اتصال پیچ شده روی ماشین و پی

۵-۱-۴ تعیین حد بالای فرکانس

حد بالای فرکانس در اندازه گیری‌های لرزش طوری انتخاب شده است که طول موج‌های برشی و/یا شکل مدهای خمش در نواحی چفت و بست بین دستگاه و عایق و طول موج‌های برشی و/یا حالت‌های خمش بین عایق لرزش و پی بطور قابل ملاحظه ای بزرگتر از فاصله بین مبدل‌ها خواهد بود. حد بالای فرکانس، بر حسب هرتز، مبدل‌های لرزش قرار گرفته شده بر سرپیچ‌ها ($a_1^m, a_2^m, a_3^m; a_1^f, a_2^f, a_3^f$ در شکل ۳) بصورت تقریبی زیر تعیین می‌شود:

$$f'_{\max} = \frac{300}{h_{pl}} \quad (18)$$

که در آن h_{pl} ضخامت، بر حسب متر، صفحه پشتیبان می‌باشد. حد بالای فرکانس، بر حسب هرتز، در برآورد خطی و زاویه ای مولفه‌های لرزش با استفاده از مبدل‌های لرزش خطی قرار گرفته شده در فواصل l_i^m روی دستگاه و l_i^f روی پی بصورت تقریبی زیر تعیین می‌شود:

$$f''_{\max} = \frac{10^4 h_{pl}}{64 l_i^2} \quad (19)$$

که در آن l_i ، بر حسب متر، مقدار بیشتری از l_i^f و l_i^m می‌باشد.

۵-۲ پردازش سیگنال معمول برای ارزیابی طیف عرضی شتاب

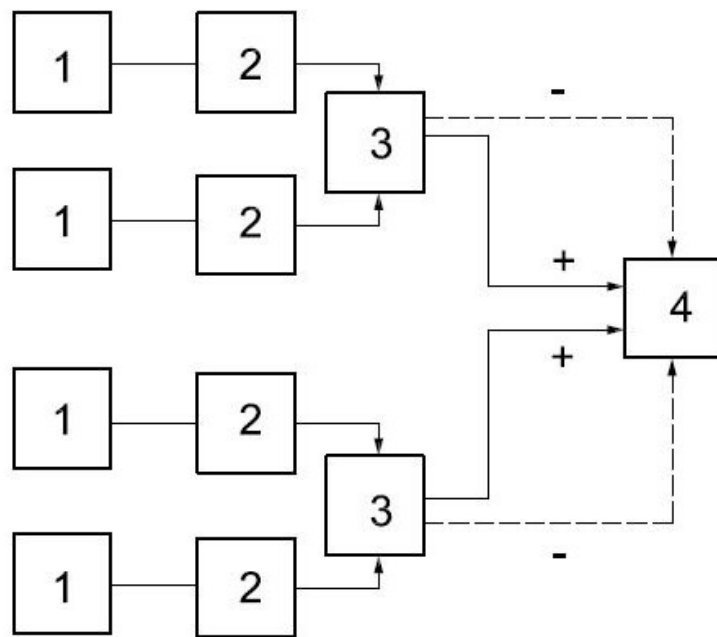
سیگنال‌های الکتریکی دو شتاب سنج خطی بوجود آورنده یک زوج باید برای تعیین مولفه‌های خطی در مرکز پایه جمع شده باشند و برای تعیین مولفه‌های چرخشی تفریق شده باشند. جمع و تفریق سیگنال‌های الکتریکی ممکن است با بکارگیری تجهیز آنالوگ یا تجهیز دیجیتال با استفاده از تبدیل فوریه سریع^۱ (FFT) تحقق یافته باشد.

قبل از جمع و تفریق سیگنال‌ها، لازم است شتاب سنج‌ها، کانال‌های تجهیزات آنالوگ و کانال‌های آنالیزور FFT از جهت حساسیت‌ها و مشخصات فاز موجود اصلاح شوند. اگر اختلاف فاز از $0/1^\circ$ کمتر باشد، نیاز به اعمال اصلاح نمی‌باشد. اگر یکی از شتاب سنج‌های بوجود آورنده زوج روی جهت عکس قرار گرفته باشد تفریق باید قابلیت جابجایی با جمع، و بلعکس، را داشته باشد.

شکل ۵ یک شما از مدار اندازه گیری دو کاناله برای گرفتن سیگنال‌های الکتریکی از شتاب سنج‌ها را جهت انجام دادن جمع و تفریق و تعیین مولفه‌های لرزش در یک پایه معین به منظور محاسبه طیف عرضی نشان می‌دهد. یک آنالیزور چند کاناله نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

۱- Fast Fourier Transform

یک روش جهت اصلاح مشخصات بین دو کانال عبارت است از: سیگنال نوفه سفید با باند محدود به هر دو کانال اعمال شده است و سپس تابع مختلط پاسخ فرکانسی بین دو کانال در باند باریک فرکانسی محاسبه شده است. معمولاً، آنالیزهای چند کاناله دارای یک برنامه تصحیح بین کانال‌ها از مبدل‌ها تا آنالیزور بوسیله تقویت کننده‌ها و فیلترها می‌باشند.



راهنما :

- 1 مبدل لرزش
- 2 پیش تقویت کننده
- 3 جمع کننده
- 4 آنالیزور دوکاناله

شکل ۵- جریان معمول سیگنال زوج مبدل‌ها برای ارزیابی طیف عرضی

۳-۵ ویژگی‌های اندازه‌شناختی

ویژگی‌های اندازه‌شناختی تجهیزات مورد استفاده در اندازه‌گیری‌های قدرت لرزش در جدول ۱ نشان داده شده است:

جدول ۱- ویژگی‌های اندازه‌شناختی

تجهیزات اندازه‌گیری	محدوده ولتاژ و فرکانس	درستی
آنالیزور دو یا چند کاناله FFT	۰.۵ - ۱۰۰۰ Hz ۱ μV - ۱۰۰ V(r.m.s)	ریپل دامنه ^۱ : ۲٪ اختلاف فاز بین کانال‌ها: $> ۰.۱^{\circ}$
آماده‌ساز سیگنال یا تقویت‌کننده عملیاتی	۰.۵ - ۱۰۰۰ Hz سطح نوفه الکتریکی $\geq 5 \mu V$	دامنه ریپل: ۲٪ اختلاف فاز بین کانال‌ها: $> ۰.۱^{\circ}$
مبدل شتاب	به کاربرد بستگی دارد.	عدم قطعیت کالیبراسیون: $> ۲.۵\%$

۶ روش انجام آزمون

۱-۶ انتخاب تعداد عایق‌های لرزش برای شروع اندازه‌گیری

به منظور بدست آوردن درست قدرت لرزش انتقال یافته بوسیله دستگاه، یا بادقت مشخص کردن محدوده بحرانی انتشار قدرت لرزش در طول امتداد دستگاه، بهتر است که شتاب در تمامی پایه‌ها اندازه‌گیری شوند. اگر این کار عملی نباشد، انتخاب تعداد محدودی از پایه‌ها برای شروع اندازه‌گیری لرزش آنها می‌تواند بصورت زیر انجام شود. زمانی که دستگاه روشن است، مقدار ریشه میانگین مربعات مقادیر شتاب لرزش، $a_{i,rms}^n$ ، برحسب دسی بل بر دستگاه در راستای محورهای $i=x,y,z$ ، از همه K اتصال پیچ شده گفته شده بدین صورت اندازه‌گیری می‌شود:

$$L_i^K = 20 \lg \left[\frac{\sqrt{\sum_{n=1}^K (a_{i,rms}^n)^2 / k}}{a_0} \right] dB \quad (20)$$

که در آن a_0 شتاب مرجع، 10^{-6} m/s^2 ، برای بیان برحسب دسی بل است. سپس انتخاب می‌کنیم، برای مثال، M عایق لرزش برای اینکه قدرت لرزش انتقالی اندازه‌گیری شود. فاصله بین اندازه‌گیری‌ها در راستای طرفین دستگاه باید کمتر از ۱m باشد.

۱ - Amplitude ripple

تعیین نمودن $r.m.s$ سطح لرزش، بر حسب دسی بل، برای M عایق.

$$L_i^M = 20 \lg \left[\frac{\sqrt{\sum_{n=1}^M (a_{i:rms}^n)^2 / k}}{a_0} \right] dB \quad (21)$$

اختلاف بین $r.m.s$ سطوح لرزش از K و M عایق لرزش بهتر است کمتر از ۱ دسی بل باشد، برای مثال:

$$L_i^K - L_i^M \leq 1dB \quad (22)$$

در غیر این صورت، تعداد عایق‌های لرزش انتخابی به مقداری نزدیک تر به تعداد کل پایه‌ها K افزایش یابد. اگر قدرت لرزش انتشار یافته بوسیله دستگاه فقط از M پایه قابل اندازه‌گیری باشد، قدرت لرزش کل، انتشار یافته بوسیله تمامی K پایه به سادگی با استفاده از فرمول برون یابی زیر تعیین می‌شود:

$$P_i(f) = \frac{K}{M} \sum_{n=1}^M P_i^n(f) \quad (23)$$

۲-۶ جایگذاری مبدل و تعیین بیشترین فرکانس

مبدل‌ها را با عایق‌های لرزشی که تعداد آنها مطابق بند ۶-۱ انتخاب شده است در مکان‌های چفت و بست دستگاه و پی، مطابق با طرح‌ها در شکل ۳ و ۴، قرار دهید. طبق خواست مشتری، تعداد مولفه‌های لرزشی برای اندازه‌گیری ممکن کاهش یابد.

هرگاه ضخامت صفحه پشتیبان دستگاه و فاصله بین مبدل‌های لرزش جفت شده l_i^l یا l_i^f معلوم باشد، بیشترین فرکانس‌ها تا جاییکه برای این قسمت از استاندارد قابل اجراست می‌تواند با استفاده از روابط (۱۷) و (۱۸) تعیین شوند.

۷ عدم قطعیت اندازه‌گیری

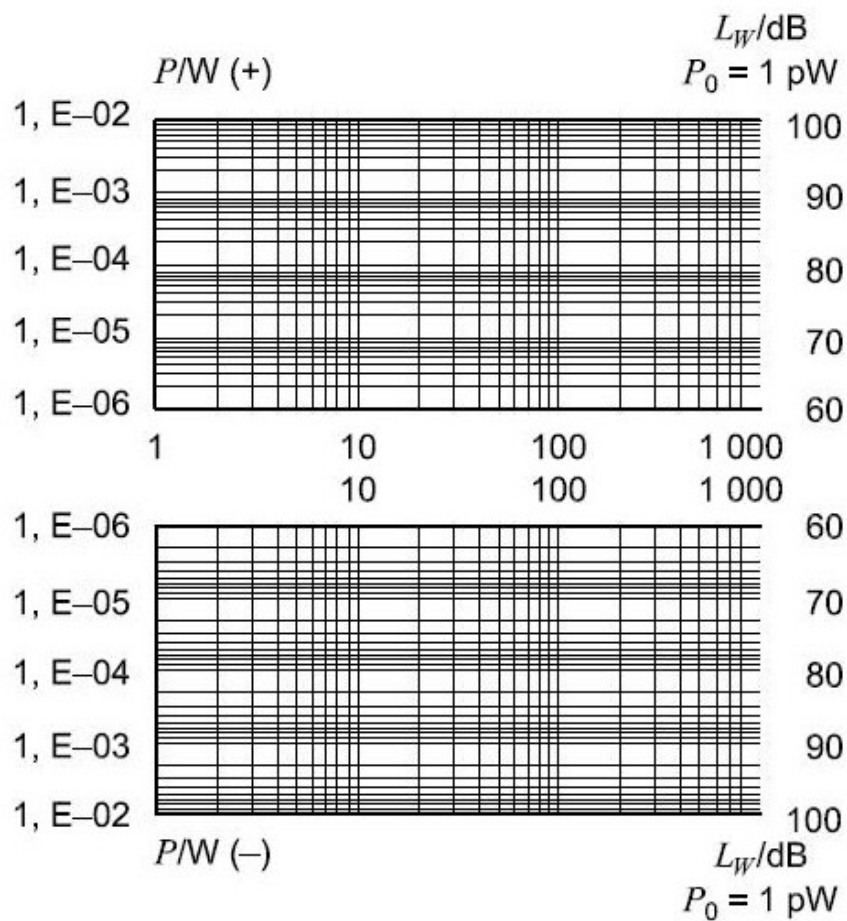
عدم قطعیت اندازه‌گیری‌های قدرت لرزش انتشار یافته بوسیله دستگاه به عایق‌های لرزش و انتقال یافتن آن به پی بوسیله عایق‌های لرزش، مطابق با این بخش از استاندارد اندازه‌گیری شده، عمدتاً از عدم قطعیت در اندازه‌گیری سختی دینامیکی عایق‌های لرزش ناشی می‌شود. سهم عدم قطعیت در اندازه‌گیری سختی دینامیکی، که نامعلوم است یا کنترل آنها سخت است، آنهایی می‌باشند که با لوازم آزمون آزمایشگاهی متفاوت و عناصر کشسان

مرتبط هستند. مطالعات اصولی و مقایسه‌های بین آزمایشگاهی کم است. برای اطلاعات بیشتر به پیوست ب از استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۲۹-۲ مراجعه شود.

۸ نمایش داده‌ها و گزارش آزمون

توصیه می‌شود گزارش آزمون حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

- ۸-۱ انجام آزمون با ارجاع به این استاندارد ملی؛
- ۸-۲ نام سازمانی که اندازه‌گیری‌ها را انجام داده است؛
- ۸-۳ تاریخ اندازه‌گیری؛
- ۸-۴ مشخصات دستگاه (نوع، جرم، ظرفیت، پشتیبان‌ها،...);
- ۸-۵ توصیف محل، شرایط و طرح آزمون بر عایق‌های لرزش؛
- ۸-۶ حالت‌های عملکرد دستگاه؛
- ۸-۷ سطوح نوفه لرزش در تجهیزات آزمون؛
- ۸-۸ مشخصات مبدل‌های نیرو و لرزش؛
- ۸-۹ مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری شامل نوع، شماره سریال، تولید کننده و مشخصه‌های کالیبراسیون؛
- ۸-۱۰ قدرت لرزش انتقال یافته کل بوسیله دستگاه با محدوده فرکانسی تعیین شده، طیف قدرت لرزش کل به همراه تحلیل پهنای باند فرکانسی مشخص، طیف قدرت لرزش در جهت‌های حرکت مربوطه؛
- ۸-۱۱ طیف قدرت لرزش کل با محدوده فرکانسی تعیین شده، طیف قدرت لرزش برای هر پیچ (بسته به خواسته مشتری یا محقق)؛
- ۸-۱۲ عدم قطعیت نتایج، در صورت وجود؛
- ۸-۱۳ نمودارهای طیف‌های قدرت لرزش به فرم لگاریتم-لگاریتم (یا دسی بل) بصورت نشان داده شده در شکل ۶ یا حالت خطی- لگاریتم (یا دسی بل).



راهنما :

P قدرت لرزش

L_w سطح قدرت لرزش

P_0 مقدار مرجع، متناظر با سطح صفر قدرت لرزش

(+) مثبت

(-) منفی

شکل ۶- نمودار گزارش قدرت لرزش انتقال یافته

پیوست الف

(اطلاعاتی)

ساختار ماتریس سختی دینامیکی عایق لرزش

$F_i^{n,morf} \setminus d_j^{n,morf}$	$d_1^{n,m}$	$d_2^{n,m}$	$d_3^{n,m}$	$d_4^{n,m}$	$d_5^{n,m}$	$d_6^{n,m}$	$d_1^{n,f}$	$d_2^{n,f}$	$d_3^{n,f}$	$d_4^{n,f}$	$d_5^{n,f}$	$d_6^{n,f}$
$F_1^{n,m}$	$K_{11}^{n,in}$	$K_{12}^{n,in}$	...	...	...	$K_{16}^{n,in}$	$K_{11}^{n,tr}$	$K_{12}^{n,tr}$	...	...	...	$K_{16}^{n,tr}$
$F_2^{n,m}$	$K_{21}^{n,in}$	$K_{22}^{n,in}$	...	...	...	$K_{26}^{n,in}$	$K_{21}^{n,tr}$	$K_{22}^{n,tr}$	...	...	...	$K_{26}^{n,tr}$
$F_3^{n,m}$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$
$F_4^{n,m}$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$
$F_5^{n,m}$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$
$F_6^{n,m}$	$K_{61}^{n,in}$	$K_{62}^{n,in}$	...	...	...	$K_{66}^{n,in}$	$K_{61}^{n,tr}$	$K_{62}^{n,tr}$	...	...	...	$K_{66}^{n,tr}$
$F_1^{n,f}$	$K_{11}^{n,out}$	$K_{12}^{n,out}$	...	...	...	$K_{16}^{n,out}$	$K_{11}^{n,out}$	$K_{12}^{n,out}$	...	...	...	$K_{16}^{n,out}$
$F_2^{n,f}$	$K_{21}^{n,out}$	$K_{22}^{n,out}$	...	...	...	$K_{26}^{n,out}$	$K_{21}^{n,out}$	$K_{22}^{n,out}$	...	...	...	$K_{26}^{n,out}$
$F_3^{n,f}$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$
$F_4^{n,f}$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$
$F_5^{n,f}$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	...	...	$\vdots$
$F_6^{n,f}$	$K_{61}^{n,out}$	$K_{62}^{n,out}$	...	...	...	$K_{66}^{n,out}$	$K_{61}^{n,out}$	$K_{62}^{n,out}$	...	...	...	$K_{66}^{n,out}$

شکل الف-۱- ساختار متداول ماتریس سختی دینامیکی n امین عایق

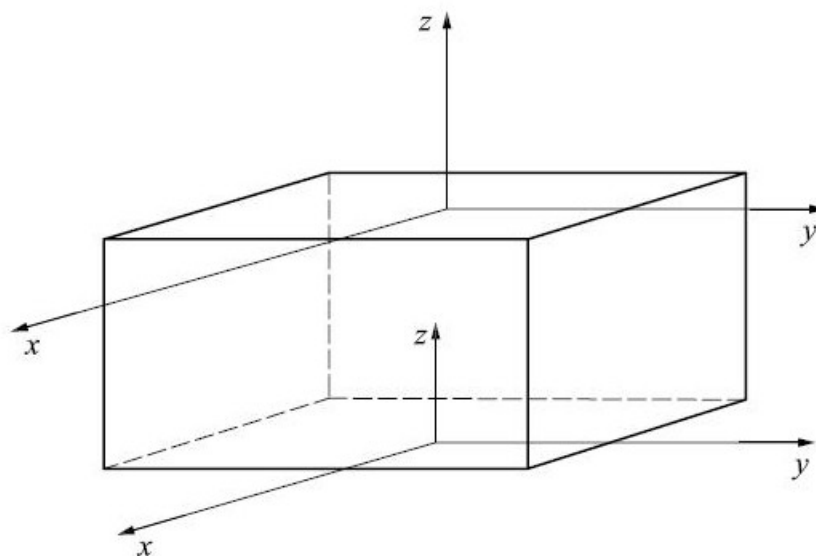
$F_i^{n,morf} \setminus d_j^{n,morf}$	$d_1^{n,m}$	$d_2^{n,m}$	$d_3^{n,m}$	$d_1^{n,f}$	$d_2^{n,f}$	$d_3^{n,f}$
$F_1^{n,m}$	$K_{11}^{n,in}$	$K_{12}^{n,in}$	$K_{13}^{n,in}$	$K_{11}^{n,tr}$	$K_{12}^{n,tr}$	$K_{13}^{n,tr}$
$F_2^{n,m}$	$K_{21}^{n,in}$	$K_{22}^{n,in}$	$K_{23}^{n,in}$	$K_{21}^{n,tr}$	$K_{22}^{n,tr}$	$K_{23}^{n,tr}$
$F_3^{n,m}$	$K_{31}^{n,in}$	$K_{32}^{n,in}$	$K_{33}^{n,in}$	$K_{31}^{n,tr}$	$K_{32}^{n,tr}$	$K_{33}^{n,tr}$
$F_1^{n,f}$	$K_{11}^{n,out}$	$K_{12}^{n,out}$	$K_{13}^{n,out}$	$K_{11}^{n,out}$	$K_{12}^{n,out}$	$K_{13}^{n,out}$
$F_2^{n,f}$	$K_{21}^{n,out}$	$K_{22}^{n,out}$	$K_{23}^{n,out}$	$K_{21}^{n,out}$	$K_{22}^{n,out}$	$K_{23}^{n,out}$
$F_3^{n,f}$	$K_{31}^{n,out}$	$K_{32}^{n,out}$	$K_{33}^{n,out}$	$K_{31}^{n,out}$	$K_{32}^{n,out}$	$K_{33}^{n,out}$

شکل الف-۲- مولفه‌های خطی ماتریس سختی دینامیکی n امین عایق

پیوست ب

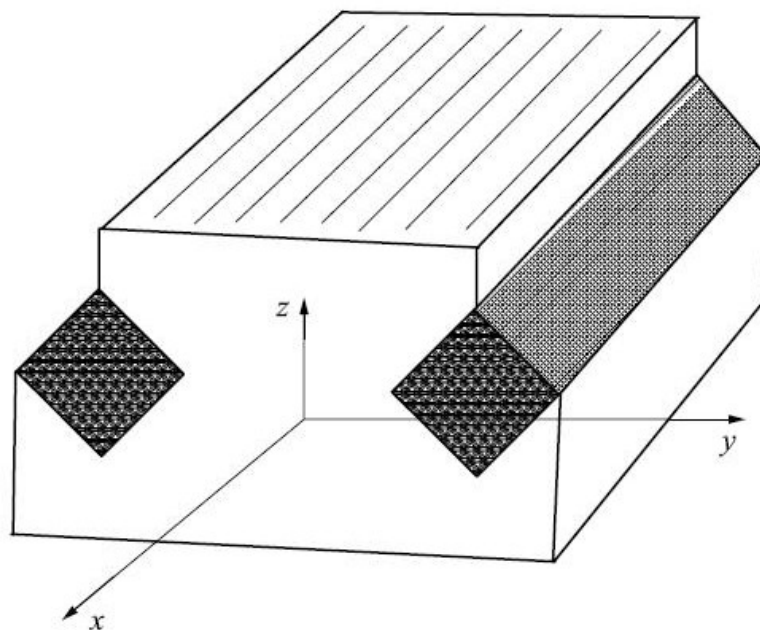
(اطلاعاتی)

مثال‌هایی از هندسه ساده و مولفه‌های خطی ماتریس سختی دینامیکی عایق‌های بی جرم



$F_i^{n,m \text{ or } f} \setminus d_j^{n,m \text{ or } f}$	$d_1^{n,m}$	$d_2^{n,m}$	$d_3^{n,m}$	$d_1^{n,f}$	$d_2^{n,f}$	$d_3^{n,f}$
$F_1^{n,m}$	K_{11}^n	0	0	K_{11}^n	0	0
$F_2^{n,m}$	0	K_{22}^n	0	0	K_{22}^n	0
$F_3^{n,m}$	0	0	K_{33}^n	0	0	K_{33}^n
$F_1^{n,f}$	K_{11}^n	0	0	K_{11}^n	0	0
$F_2^{n,f}$	0	K_{22}^n	0	0	K_{22}^n	0
$F_3^{n,f}$	0	0	K_{33}^n	0	0	K_{33}^n

شکل ب-۱- نما و مولفه‌های خطی سختی دینامیکی عایق لرزش با سه صفحه متقارن: xz, xy, yz



$F_i^{n,morf} \setminus d_j^{n,morf}$	$d_1^{n,m}$	$d_2^{n,m}$	$d_3^{n,m}$	$d_1^{n,f}$	$d_2^{n,f}$	$d_3^{n,f}$
$F_1^{n,m}$	K_{11}^n	0	K_{13}^n	K_{11}^n	0	K_{13}^n
$F_2^{n,m}$	0	K_{22}^n	K_{23}^n	0	K_{22}^n	K_{23}^n
$F_3^{n,m}$	K_{31}^n	K_{32}^n	K_{33}^n	0	K_{32}^n	K_{33}^n
$F_1^{n,f}$	K_{11}^n	0	K_{13}^n	K_{11}^n	0	K_{13}^n
$F_2^{n,f}$	0	K_{22}^n	K_{23}^n	0	K_{22}^n	K_{23}^n
$F_3^{n,f}$	K_{31}^n	K_{32}^n	K_{33}^n	0	K_{32}^n	K_{33}^n

شکل ب-۲- نما و مولفه‌های خطی سختی دینامیکی عایق لرزش با دو صفحه متقارن: xz, yz