

شتاب‌سنج



bahram0321@yahoo.com

بهرام ناصری‌پور

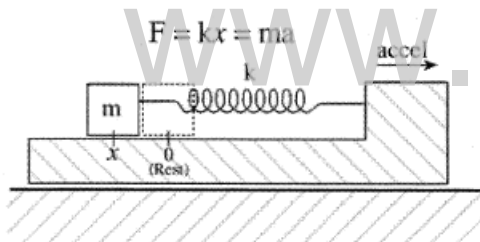
لرزه‌نگاری، هوافضا، خودروسازی، پزشکی، زیست‌شناسی، زمین‌شناسی، پایش و عیب‌یابی ماشین‌های دوار (موتور و ژنراتور)، روبات‌ها، موبایل‌های هوشمند، کنسول‌های بازی، لپ‌تاپ (جهت محافظت از هارد دیسک و قطع آن در هنگام اعمال ضربه به لپ‌تاپ)، لوازم خانگی (لباسشویی، اتو، فن‌گرم‌کننده جهت پیشگیری از خرابی یا حادثه) و ...

بعضی از سازندگان محصولات شتاب‌سنج خود را جهت راحتی انتخاب در گروه‌هایی مانند گروه‌های زیر بر حسب کاربرد شتاب‌سنج دسته‌بندی می‌کنند:

شتاب‌سنج‌های مصرف عمومی^۴، شوک، پیرو شوک^۵، فرکانس بالا، فرکانس پایین، مودال، مینیا توری، مرجع^۶، خازنی و ...

این شتاب‌سنج‌ها در انواع تک محوره، دومحوره و سه‌محوره تولید می‌شوند و می‌توانند خروجی‌های بارالکتريکی^۷ (شارژ)، ولتاژ، جریان و ... داشته باشند.

در بیشتر موارد اندازه‌گیری شتاب بر اساس اندازه‌گیری جابجایی یا نیرو می‌باشد. جرم متحرک در شتاب‌سنج‌ها به عنوان جرم محک^۸ نیز شناخته می‌شود.



شتاب می‌تواند به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری شود که مهم‌ترین روش‌های آن عبارتند از:

پیزوالکتریک^۹، پیزورزیستيو^{۱۰}، کرنش‌سنج^{۱۱} (استرین‌گیج)، خازنی، پتانسیومتر، لیزری، نیمه‌هادی (MEMS^{۱۲})، مغناطیسی، اثر هال^{۱۳}، حرارتی رزونانسی و ...

در ادامه به شرح بعضی از متداول‌ترین روش‌های فوق پرداخته می‌شود:

شتاب‌سنج پتانسیومتری

ساده‌ترین نوع شتاب‌سنج می‌باشد؛ که شامل یک جرم محک، یک فنر و یک پتانسیومتر است که جرم محک به سر متغیر پتانسیومتر وصل است و با تغییر شتاب، نیروی وارده بر فنر تغییر کرده و در نتیجه طول فنر نیز تغییر می‌کند. با تغییر طول فنر و جابجایی جرم محک، مقدار مقاومت تغییر کرده و شتاب اندازه‌گیری می‌شود. این روش برای شتاب‌های ثابت

4. General Purpose
5. Pyro Shock
6. Reference Sensor for calibration applications
7. Charge output
8. Proof Mass
9. Piezo Electric
10. Piezo Resistive
11. Strain Gauge
12. Micro Electro Mechanical Systems
13. Hall Effect

بهرام ناصری‌پور متولد سال ۱۳۵۲ کارشناس مهندسی برق کنترل از دانشگاه تهران در سال ۱۳۷۶ و کارشناس ارشد رشته برق الکترونیک دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۷۹ می‌باشد. وی از سال ۱۳۷۵ شروع به فعالیت در زمینه طراحی و تامین تجهیزات آزمون و اندازه‌گیری نمود و پس از ثبت چندین اختراع (سازمان ثبت اختراعات و مالکیت صنعتی کشور) و ابتکار (سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی کشور) و دیپلم اختراع (جامعه‌مخترعین و مبتکرین ایران)، با طراحی و ساخت سیستم‌های آزمون لرزش و شوک (برای اولین بار در کشور)، در سال ۱۳۸۰ برگزیده جشنواره بین‌المللی خوارزمی گردید. وی از سال ۱۳۸۶ در دانشگاه‌های مختلف کشور مشغول به تدریس می‌باشد و مقالات و کارگاه‌های آموزشی زیادی در حوزه آزمون و اندازه‌گیری در کنفرانس‌های بین‌المللی کشور ارائه نموده است.

با توجه به رسالت علمی نشریه در زمینه معرفی فناوری آزمون و اندازه‌گیری برآینم تا در سلسله مقالاتی به قلم آقای مهندس ناصری‌پور به معرفی انواع حسگرها به همراه اصول کارکرد و روش کالیبراسیون و کاربرد آنها بپردازیم.

حسگر (سنسور) وسیله‌ای است که یک نوع انرژی را به شکل دیگری تبدیل می‌کند. یک شتاب‌سنج^۲ حسگری می‌باشد که شتاب مکانیکی را به سیگنال الکتریکی متناسب با آن تبدیل می‌کند. شتاب^۳ نرخ تغییرات سرعت در واحد زمان می‌باشد که می‌تواند ثابت (شتاب استاتیک) و یا متغیر (شتاب دینامیک) و یا گذرا باشد.

شتاب بر حسب m/s^2 و یا بر حسب نیروی گرانش زمین در سطح دریا یعنی g اندازه‌گیری می‌شود.

$$1g = 9.80665 m/s^2$$

شتاب‌سنج برای اندازه‌گیری ارتعاش، شوک و ضربه به کار می‌رود؛ ولی می‌تواند برای کاربردهای دیگری نیز به کار رود. به کمک انتگرال‌گیری از شتاب می‌توان سرعت و جابجایی را اندازه‌گیری نمود. به کمک مقدار شتاب استاتیک می‌توان زاویه قرارگیری محصول نسبت به محور جاذبه زمین و یا میزان تراز سطح را اندازه‌گیری نمود.

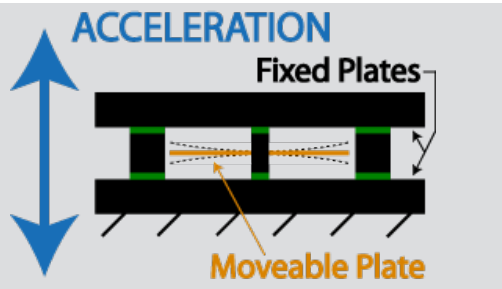


از مهم‌ترین کاربردهای شتاب‌سنج می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

اندازه‌گیری و کنترل ارتعاش و شوک، سیستم‌های ناوبری و هدایت، آزمایش و تحلیل مودال سازه‌ها، پایش پل‌ها و سازه‌های بزرگ،

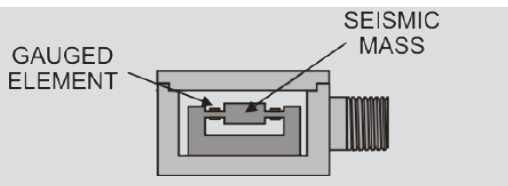
1. Sensor
2. Accelerometer
3. Acceleration

و یا فرکانس پائین تا ۳۰ Hz بکار می‌رود.



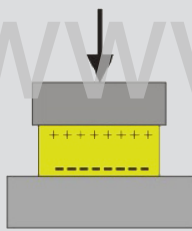
شتاب‌سنج استرین‌گیجی

در این شتاب‌سنج اندازه‌گیری شتاب با تغییر فرم یک جرم معلق بوسیله یک استرین‌گیج سیلیکونی یا فویلی و به صورت پل وتستون^{۱۵} انجام می‌شود و می‌تواند شتاب ثابت تا چند صد هرتز را اندازه‌گیری کند.

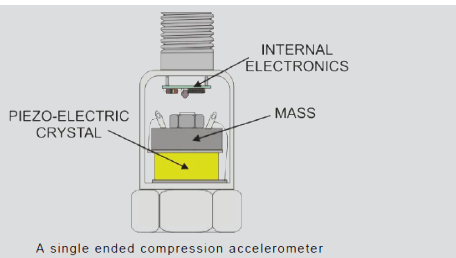


شتاب‌سنج پیزو الکتریک

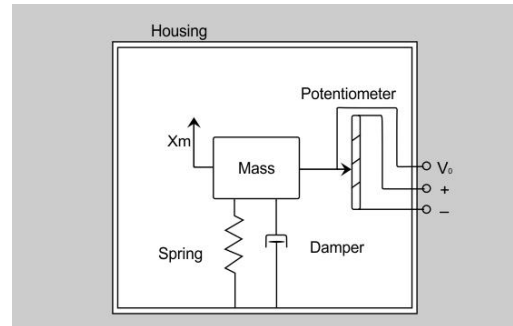
در این شتاب‌سنج جرم متحرک بصورت فنری به یک کریستال پیزو الکتریک وصل می‌شود. با تغییر شتاب، نیروی وارده از جرم به کریستال پیزو الکتریک تغییر می‌کند و در اثر تنش ناشی از این نیرو، کریستال بار الکتریکی تولید می‌کند که شارژ نامیده می‌شود. برای تبدیل آن به ولتاژ یا جریان از شارژ آمپلی فایر استفاده می‌شود.



این شتاب‌سنج پر مصرف‌ترین و متداول‌ترین سنسور در اندازه‌گیری ارتعاشات و شوک بوده و دارای عرض باند مناسب و نویز کم و حساسیت مطلوب می‌باشند. با توجه به تولید شارژ توسط کریستال پیزو الکتریک، نیاز به منبع تغذیه ندارند. قطعات متحرک و بالطبع سایشی نیز ندارند تا به مرور مستهلک شوند. این شتاب‌سنج در شتاب ثابت خروجی ندارد. این شتاب‌سنج‌ها می‌توانند در بازه چند هرتز تا ۳۰ KHZ با حساسیت خروجی، وزن، اندازه و شکل مناسب برای کاربرد مورد نظر ساخته شوند. کریستال پیزو در این شتاب‌سنج‌ها به دو روش فشاری^{۱۶} و برشی^{۱۷} نصب می‌شوند.

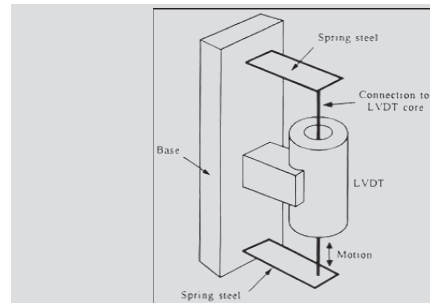


- 15. Wheatstone Bridge
- 16. Compression Type
- 17. Shear Type



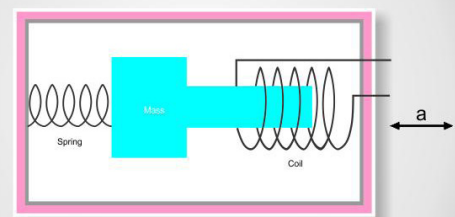
شتاب‌سنج LVDT^{۱۴}

این نوع شتاب‌سنج مانند شتاب‌سنج پتانسیومتری می‌باشد ولی بجای پتانسیومتر از LVDT برای اندازه‌گیری جابجایی جرم استفاده شده است. جرم در این نوع شتاب‌سنج، همان هسته LVDT می‌باشد. این روش نیز برای شتاب ثابت و فرکانس پائین تا ۸۰ Hz کاربرد دارد.



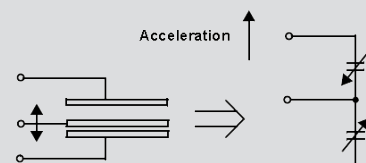
شتاب‌سنج مغناطیسی متغیر

مانند شتاب‌سنج LVDT می‌باشد جرم متحرک یک ماده مغناطیسی دائم می‌باشد که در یک سیم‌پیچ القایی حرکت کرده و در اثر حرکت ولتاژ القا می‌کند. در شتاب ثابت خروجی ندارد و فقط برای شتاب متغیر و برای فرکانس‌های کمتر از ۱۰۰ Hz بکار می‌رود.



شتاب‌سنج خازنی

در این نوع شتاب‌سنج با تغییر شتاب، ظرفیت خازنی شتاب‌سنج تغییر می‌کند و به وسیله یک مدار الکتریکی خروجی متناسب با شتاب ارائه می‌شود. خازنها به روش پل قرار می‌گیرند و با تغییر شتاب، صفحه‌های الکترود میانی جابجا می‌شود و خروجی تغییر می‌کند و می‌تواند شتاب ثابت تا حدود ۱ KHZ را نمایش دهد.

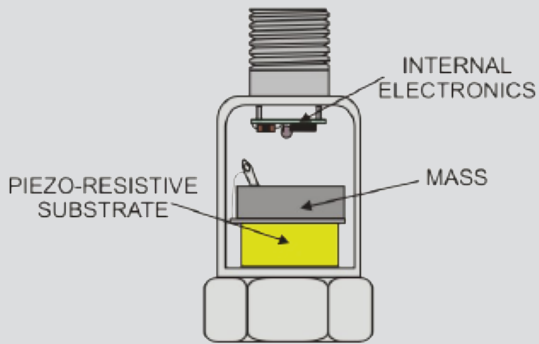


- 14. linear variable differential transformer

بعضی سازندگان مانند شرکت B&K این نوع سنسورهای دارای مدار داخلی را IEPه و بعضی سازندگان ICP نام گذاری نموده‌اند.

شتاب سنچ پیزو رزیستیو

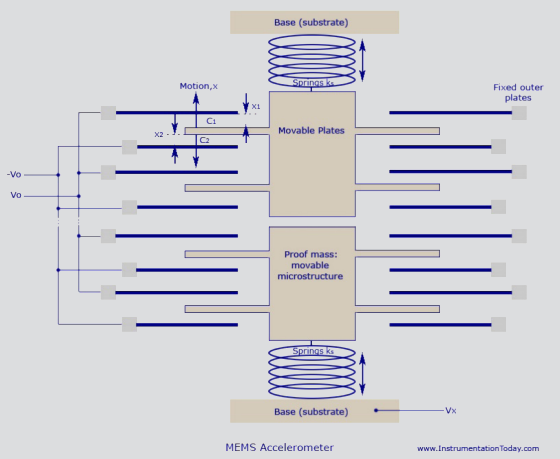
در این شتاب‌سنج جرم متحرک به یک لایه پیزورزیستیو که یک شبکه پل مقاومتی بر روی آن ایجاد شده است؛ وصل می‌شود و با تغییر شتاب، خروجی پل و تستون تغییر کرده و می‌تواند شتاب ثابت تا ۵ KHZ را نمایش دهد.



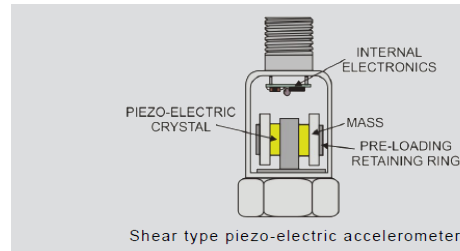
شتاب‌سنج خازنی MEMS

با پیشرفت صنایع نیمه‌هادی و آمدن تکنولوژی MEMS و نیاز گسترده صنایع خودروسازی و صنایع لوازم خانگی مصرفی به شتاب‌سنج‌های ارزان قیمت، روش‌های متنوعی برای طراحی و تولید شتاب‌سنج‌های نیمه‌هادی با سایز کوچک، وزن کم، مدار تقویت ساده و از همه مهم‌تر قیمت پایین ابداع شدند و باعث انقلابی در صنایع مصرف کننده شتاب‌سنج شدند. برای مثال امروزه در اکثر خودروها در سیستم ایمنی کیسه هوای سرنشین، سیستم ترمز ضد قفل و سیستم پایداری خودرو در پیچ جاده، از شتاب‌سنج‌های MEMS استفاده می‌شود.

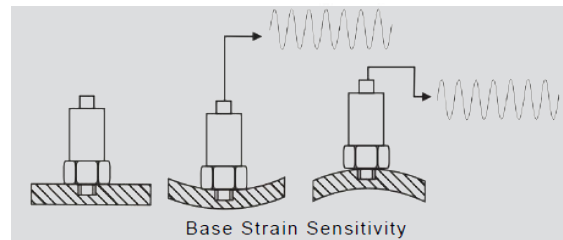
در این نوع سنسورها، صفحات خازنی میکرو ماشین شده و جرم متحرک، با تغییر شتاب و تغییر فاصله الکترودها ظرفیت خازنی متغیر ایجاد می‌کنند و شتاب اندازه‌گیری می‌شود. این نوع شتاب‌سنج در بازه شتاب ثابت تا ۳۰۰۰ دارای حساسیت بالا، دقت بالا و نویز کم می‌باشند و در سه نوع شانه جانبی، شانه محوری و صفحه‌ای ساخته می‌شوند.



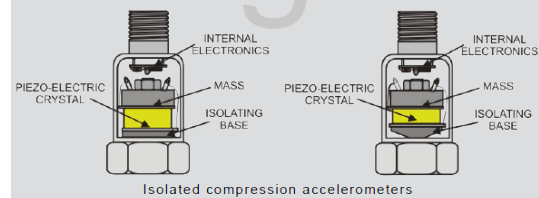
- 22. Integrated Electronics Piezo Electric
- 23. Integrated Circuit Piezoelectric



در صورتی که محل نصب شتاب‌سنج به خاطر تغییرات دما و یا ساختار انعطاف پذیر^{۱۸} آن و یا به هر دلیل دیگر دچار اعوجاج^{۱۹} شود، باعث تولید یک سیگنال ناخواسته در خروجی می‌گردد که می‌تواند باعث بروز خطای اندازه‌گیری و تحلیل گردد.



با توجه به آنکه شتاب‌سنج‌های پیزو به روش برشی نسبت به اعوجاج محل نصب حساسیت کمی دارند؛ در محل‌هایی که اعوجاج محل نصب زیاد است؛ مفید می‌باشند. در صورت استفاده از شتاب‌سنج‌های پیزو به روش فشاری برای این نوع کاربرد، لازم است که در مراحل ساخت شتاب‌سنج، کریستال پیزو از کف داخلی سنسور، ایزوله مکانیکی^{۲۰} شده باشد.



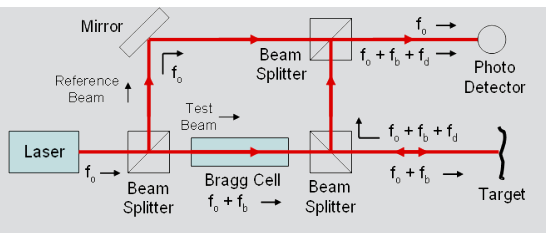
شتاب‌سنج‌های پیزوالکتریک می‌توانند با کریستال‌های طبیعی و یا سرامیک ساخته شوند. کریستال‌های طبیعی کوآرتز دارای حساسیت خروجی کم و قیمت بالاتر می‌باشند و می‌توانند در دماهای بالا نیز کار کنند و با گذشت زمان یا افزایش درجه حرارت، دچار تنزل درجه^{۲۱} نمی‌شوند و پایداری و دقت و تکرارپذیری بیشتری دارند. کریستال‌های سرامیک ساخت بشر می‌باشند و می‌توانند حساسیت خروجی بیشتر و قیمت کمتر داشته باشند ولی نمی‌توانند در دماهای بالا کار کنند و با گذشت زمان یا افزایش درجه حرارت نیز دچار تنزل درجه می‌شوند.

در بعضی مدل‌ها از یک مدار مجتمع الکتریکی، در داخل شتاب‌سنج استفاده می‌شود که خروجی شارژ را به سیگنال ولتاژ تبدیل می‌کند. این نوع شتاب‌سنج‌ها با منبع جریان ثابت تغذیه می‌شوند و یک خروجی ولتاژ که سوار بر یک ولتاژ DC می‌باشد؛ تولید می‌کنند، کلاً دارای دو سیم می‌باشند و خروجی، حساس به طول کابل نمی‌باشد. ولی این نوع سنسورها در کاربردهای دمای بالا و یا محیط‌های دارای تشعشعات بالا قابل استفاده نمی‌باشند.

- 18. Structure Flexibility
- 19. Distortion
- 20. Mechanically Isolated
- 21. Decay

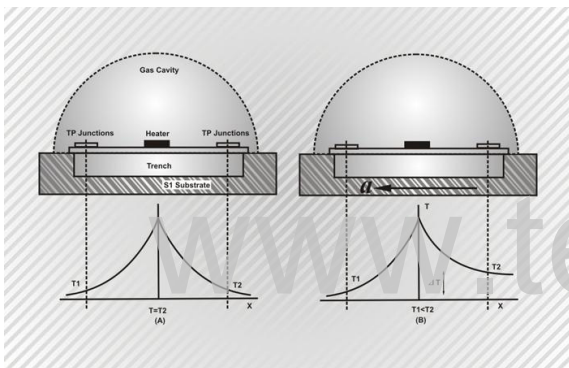
عیب‌یابی تجهیزات موسیقی، تست سازه‌ها و پل‌ها، آزمون‌های خودرو، عیب‌یابی هارد دیسک کامپیوتر، معدن‌یابی و مسائل امنیتی و جاسوسی کاربرد دارند.

این شتاب‌سنج‌ها دارای انواع نقطه‌ای، سه بعدی، زاویه‌ای، تفاضلی و ... می‌باشند.



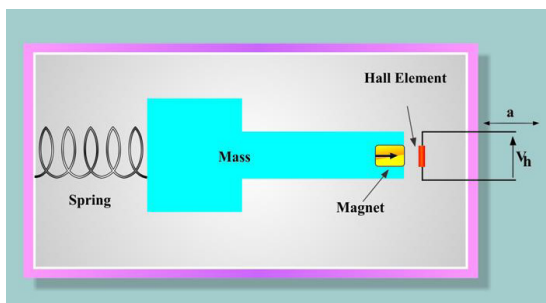
شتاب‌سنج گاز گرم

این نوع از شتاب‌سنج‌ها براساس تغییرات انتقال حرارت در داخل سنسور، شتاب را اندازه‌گیری می‌کنند. داخل محفظه سنسور گاز تزریق شده است و یک منبع حرارت در مرکز سنسور قرار دارد و تعدادی ترمیستور^{۲۵} در موقعیت‌های مشخص سنسور جهت اندازه‌گیری دما نصب شده‌اند. در حالت عادی دمای گاز در کل مخزن یکسان می‌باشد؛ ولی با اعمال شتاب، گاز در جهت مخالف حرکت، جابجا می‌شود و شرایط انتقال حرارت گاز داخل مخزن تغییر می‌کند و این تغییرات حرارتی^{۲۶} شتاب خروجی را تعیین می‌نماید.

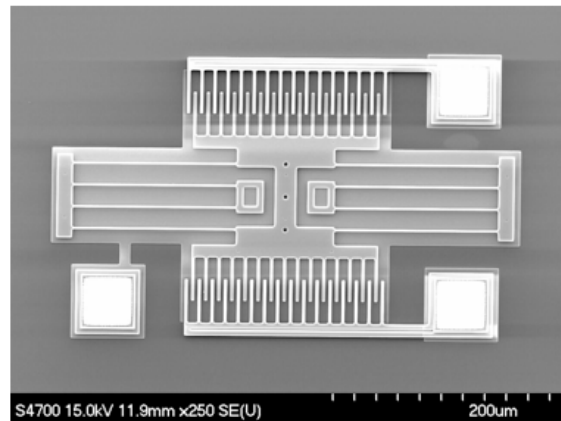


شتاب‌سنج‌های اثر هال

این شتاب‌سنج‌ها شتاب را از روی تغییرات ولتاژ در یک میدان مغناطیسی اندازه‌گیری می‌کنند. اگر یک آهنربا بر روی جرم محک نصب گردد، خروجی سنسور اثر هال بر اثر اعمال شتاب و تغییر موقعیت آهنربا تغییر کرده و مقدار متناسب با شتاب را در خروجی ظاهر می‌نماید. در بعضی موارد به جای سنسور اثر هال از مواد مگنتورزیستو استفاده می‌شود و شتاب‌سنج به عنوان نوع مگنتورزیستو شناخته می‌شود.



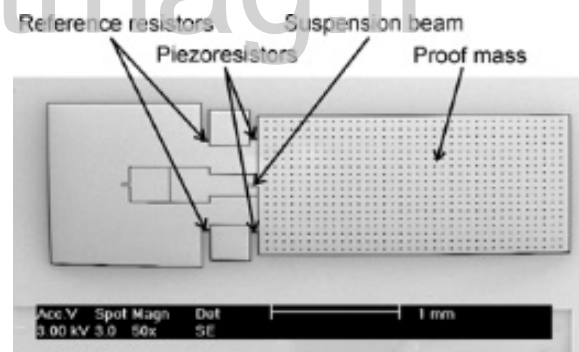
در شماره بعد نشریه به تعاریف و نحوه کالیبراسیون سنسورهای شتاب پرداخته خواهد شد.



شتاب‌سنج‌های میکرو ماشین شده از پر مصرف‌ترین وسایل MEMS هستند؛ که به خاطر حجم، وزن، قیمت کم، کیفیت و عملکرد بهبود یافته آنها در حال افزایش مصرف در صنعت و یافتن کاربردهای جدید می‌باشند. این شتاب‌سنج‌ها با چند نوع مکانیزم از قبیل خازنی، استرین‌جیجی، پیزوالکتریک و تونل‌الکتریک ساخته می‌شوند.

شتاب‌سنج پیزورزیستو MEMS

در این نوع سنسورها به کمک تغییر مقدار مقاومت سیلیکونی در یک پل وتستون، شتاب، اندازه‌گیری می‌شود. یک جرم سینوسی با روش میکرو ماشین بوسیله چند تیر از قاب سینوسی معلق می‌شود و با اعمال شتاب و حرکت جرم معلق در تیر، خمش ایجاد می‌کند. با تغییر کرنش، مقدار مقاومت‌های پیزویی قرار گرفته در تیرها تغییر کرده و مقدار شتاب اندازه‌گیری می‌شود. عرض باند این شتاب‌سنج‌ها از شتاب ثابت تا بیش از ۱۰۰ KHZ می‌باشد و می‌توانند شتاب‌های بسیار بزرگ در حد بیش از ۱۰۰ Kg را نیز اندازه‌گیری کنند.



شتاب‌سنج لیزری

شتاب‌سنج‌های لیزری به روش غیر تماسی ارتعاشات را اندازه‌گیری می‌نمایند. در این شتاب‌سنج‌ها یک اشعه لیزر به سطح مورد نظر تابیده و با اندازه‌گیری جابجایی داپلر فرکانس یا فاز اشعه برگشتی از سطح، دامنه و فرکانس ارتعاش به دست می‌آید.

معمولاً سیگنال خروجی این شتاب‌سنج‌ها که ویبرومتر لیزری داپلر^{۲۴} نیز نامیده می‌شوند، یک سیگنال ولتاژ آنالوگ پیوسته می‌باشد که متناسب با سرعت جسم در جهت ارتعاش مورد اندازه‌گیری می‌باشد. مهم‌ترین مزیت این نوع سنسورها استفاده در محل‌هایی است که امکان دسترسی به آنها خیلی مشکل می‌باشد یا خیلی کوچک هستند یا دارای حرارت خیلی بالا می‌باشند. در ضمن؛ این شتاب‌سنج‌ها هیچ‌گونه بارگذاری جرمی ندارند و برای اندازه‌گیری ارتعاش اقلام خیلی ریز مفید می‌باشند.

این شتاب‌سنج‌ها در بازرسی غیر مخرب هواپیماها، طراحی بلندگوها،

25. Thermistor
26. Heat Gradient

24. Laser Doppler Vibrometer