



مواد پیزوالکتریک در نظارت و تعمیرات سلامت سازه

اخیراً مواد پیزوالکتریک به طور گسترده در تشخیص آسیب سازه‌های مختلف از جمله تیرها، صفحات و لوله‌ها به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد حس‌گری و محرکی استفاده شده‌اند. امواج در جامدات معمولاً توسط نیروی ضربه‌ای بر سطح رسانه آغاز می‌شوند که می‌تواند به عنوان یک پالس مدل شود. ارزیابی عملکرد سازه‌ها از نظر وضعیت نهایی و حد سرویس دهی، دوام و خرابی همواره موضوع مهمی بوده است. تشخیص زودهنگام ناهنجاری‌هایی مانند نقص یا آسیب در سازه برای تصمیم‌گیری بهینه در رابطه با بازسازی و مقاوم سازی آن ضروری است. این امر منجر به دو موضوع تحقیقاتی مرتبط با هم شده است، یعنی نظارت بر سلامت سازه و تعمیر سازه.

بسیاری از تکنیک‌های ارزیابی غیرمخرب عملی و قوی (NDE) برای پایش سلامت سازه در سطح عنصر بر اساس سیگنال‌های انتشار موج توسعه یافته‌اند. این تکنیک‌ها شامل:

- نظارت بر تغییرات در پارامترهای مودال (به عنوان مثال، فرکانس‌های طبیعی، میرایی مودال، شکل حالت)
- اسکن اولتراسونیک با استفاده از انتشار امواج در سازه‌ها (به عنوان مثال، تکنیک پالس-اکوی)
- تکنیک‌های تصویربرداری اخیر با استفاده از تجهیزات پیشرفته مانند مادون قرمز (بازرسی ترموگرافی)
- اسکن لیزری (بازرسی رادیوگرافی)

با این وجود، تشخیص آسیب در هر دو سطح ساختاری و عنصری هنوز چالش قابل توجهی را ایجاد می‌کند. تکنیک بازرسی اولتراسونیک با استفاده از سیگنال‌های امواج انتشاری را می‌توان به عنوان یکی از رایج‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده در نظر گرفت. کاربرد آن در دو دهه گذشته به دلیل پیشرفت‌های مربوط در تجهیزات الکترونیکی به سرعت ترویج شده است، که این تکنیک را کاربردی، ارزان‌تر و به آسانی در دسترس می‌سازد.

مواد و کاربردهای پیزوالکتریک

پیزوالکتریک پدیده‌ای است که در آن انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی و بالعکس تبدیل می‌شود. طبق تعریف، ماده‌ای که دارای پیزوالکتریک است، هنگامی که فشار مکانیکی به آن وارد شود، بار الکتریکی تولید می‌کند. به همین ترتیب، زمانی که بار الکتریکی روی آن اعمال می‌شود، ماده تغییر هندسی را تجربه می‌کند. مواد طبیعی کمی وجود دارند که پیزوالکتریک را نشان می‌دهند، که سرامیک‌های پیزوالکتریک (سرب زیروکوندات تیتانات یا به طور خلاصه PZT)، پلیمرهای پیزوالکتریک (پلی وینیلیدین فلوراید، مشخص شده به عنوان PVDF) و سرامیک پیزوالکتریک به عنوان سنسورهای پیزوالکتریک و ترکیبات پیزوالکتریک استفاده می‌شوند. مزایا و معایب هر نوع ماده را میتوان خلاصه کرد: (۱) سرامیک‌ها ارزان‌تر و آسان‌تر از پلیمرها ساخته می‌شوند. آنها ثابت دی الکتریک نسبتاً بالایی دارند و کوپلینگ الکترومکانیکی خوبی دارند. از آنجایی که سرامیک‌های یکپارچه سفت و شکننده هستند، نمی‌توانند روی سطوح منحنی پوشانده شوند، که انعطاف‌پذیری طراحی در مبدل را محدود می‌کند. (۲) پلیمرهای پیزوالکتریک بسیار منعطف هستند، اما دارای محدودیت‌های جفت الکترومکانیکی کم و ثابت دی الکتریک پایین و هزینه ساخت



بالا هستند. (۳) کامپوزیت های سرامیک/پلیمر پیزوالکتریک در مقایسه با مواد تک فاز خواص برتری از خود نشان داده اند. آنها کوپلینگ بالا، امپدانس کم، حالت های کاذب کم و یک ثابت دی الکتریک متوسط دارند.

ویژگی های تبدیل انرژی متقابل پیزوالکتریک مواد پیزوالکتریک را قادر می سازد تا به عنوان سنسور، محرک یا مبدل عمل کنند. هنگامی که آنها به عنوان سنسور استفاده می شوند، سیگنال مکانیکی ورودی به سیگنال الکتریکی تبدیل می شود که می تواند از طریق تجهیزات الکتریکی ارزیابی شود. هنگامی که آنها به عنوان محرک اعمال می شوند، کرنش هایی برای کنترل رفتار بستر با توجه به ولتاژ اعمال شده تولید می شود. در نهایت، هنگامی که آنها به عنوان مبدل استفاده می شوند، سیگنال ورودی الکتریکی فرکانس بالا به موج مکانیکی تبدیل می شود. اگر فرکانس ورودی الکتریکی باند باریک باشد، باند فرکانس موج مکانیکی خروجی باریک می ماند.

E/M •

رفتار منحصر به فرد مواد پیزوالکتریک باعث می شود که آنها به عنوان مبدلی برای تحریک موج روی بستر پیوند شده یا سنسور برای تشخیص موج مکانیکی منتشر شده در بستر باشد. اخیراً تجزیه و تحلیل الکتریکی - مکانیکی جفت شده (E/M) سیستم های تطبیقی را که توسط یک ویفر پیزوالکتریک متصل به سطح متصل می شوند، به صورت تجربی انجام دادند و نشان داد که پاسخ پذیرش E/M به دقت پاسخ دینامیکی سیستم را منعکس می کند. محققان مدل سازی نظری روی دینامیک سنسور پیزوالکتریک برای شرایط مرزی مختلف و تعامل آن با ساختار میزبان انجام دادند، که نشان می دهد که پذیرش E/M یا طیف های فرکانس امپدانس می توانند به درستی تغییرات در دینامیک محلی ناشی از آسیب های ساختاری اولیه را ثبت کنند. در نتیجه در دسترس بودن مواد پیزوالکتریک با اثر جفت الکترومکانیکی قوی، سنسورها و محرک های جدید شامل عناصر پیزوالکتریک کاربردهای گسترده ای پیدا کرده اند و تقاضای بیشتری دارند. به عنوان مثال می توان به موتورهای اولتراسونیک پیزوالکتریک، مبدل های پیزوالکتریک برای نظارت بر سلامت سازه، و کنترل ارتعاش یا سرکوب نویز با استفاده از لایه پیزوالکتریک اشاره کرد. پس از آن، اثرات جفت ساختاری بین ماده پیزوالکتریک و ماده میزبان به موضوعی از اهمیت عملی تبدیل می شود.

مواد پیزوالکتریک اجازه انجام تعمیرات فعال را می دهند، زیرا استحکام و تعامل آنها با ساختار تعمیر شده می تواند برای جبران تغییرات محیطی تنظیم شود. تکه های پیزوالکتریک نیز بسیار سبک تر از مواد معمولی هستند و استرس متمرکز کمتری بر ساختار آسیب دیده ایجاد می کنند.

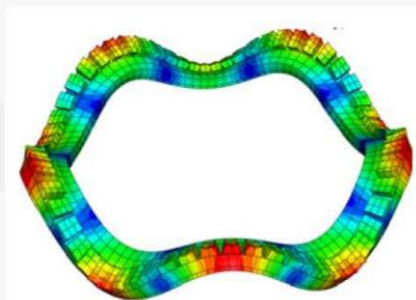
تجزیه و تحلیل و کاربردهای حسگرها و محرک های پیزوالکتریک

• سنسورها و محرک های پیزوالکتریک ساده

نتایج تحلیلی و تجربی محرک های پیزوالکتریک به عنوان عناصر سازه های هوشمند، یعنی سازه هایی با محرک های توزیع شده، حسگرها و شبکه های پردازشی ارائه شد. مدل های تحلیلی برای پاسخ دینامیکی برای تکه هایی از محرک های پیزوالکتریک متصل به یک زیرساخت الاستیک یا تعبیه شده در یک کامپوزیت چند لایه به دست آمد. مدل های آنها قادر به پیش بینی پاسخ عضو سازه در یک ولتاژ معین اعمال شده به محرک ها و ارائه راهنمایی در مورد مکان بهینه محرک ها بودند. تجزیه و تحلیل پوسته



پوسته شدن برای ارزیابی اثربخشی مواد پیزوالکتریک مختلف در انتقال کرنش به زیر سازه انجام شد. محققان مجموعه ای از دستگاه های پیزو پلیمری را بر اساس تئوری ورقه ورقه کامپوزیت پلیمری پیزوالکتریک توسعه دادند. با ترکیب های مختلف زوایای لایه و الگوهای الکتروود، یک ساختار صفحه نازک پیزوپلیمر/فلزی ساخته شد که هم تغییر شکل خمشی و هم پیچشی را تحت یک میدان الکتریکی نشان می داد. مجموعه ای از ساختارهای حسگر پرتو پیچشی نیز گنجانده شده اند که می توانند بین حالت های ارتعاش خمشی و پیچشی تمایز قائل شوند. آنها همچنین آزمایش هایی را انجام دادند و نتایجی را مطابق با پیش بینی های نظری به دست آوردند.

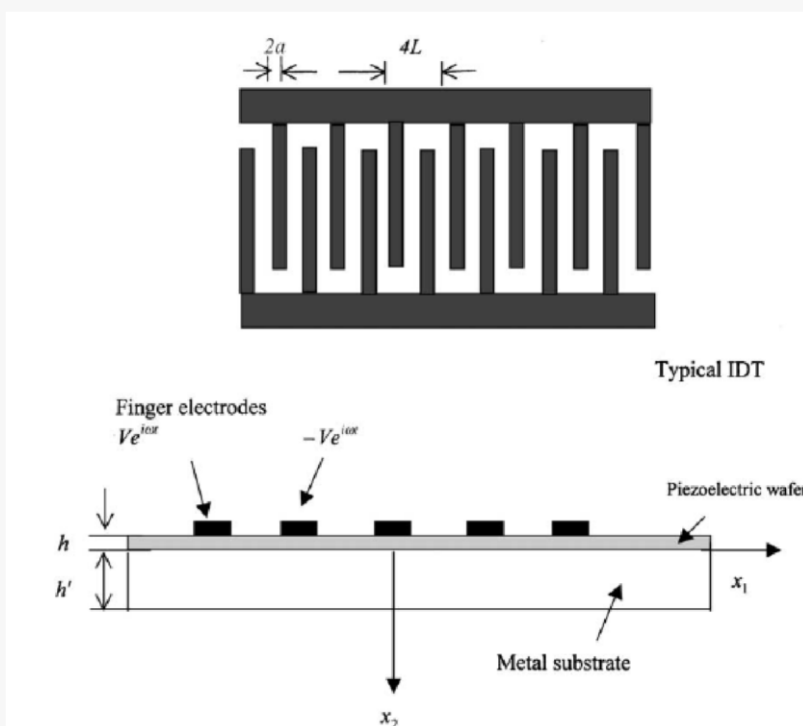


شکل ۱. عکس فوری از پاسخ گذرا یک حلقه پیزوالکتریک همراه با انتشار موج

• مبدل بین دیجیتالی

مبدل بین دیجیتالی Interdigital transducer (IDT) ابتدا برای بهبود عملکرد کامپوزیت های فیبر پیزوالکتریک و متعاقباً برای تحریک دستگاه های موج سطحی در تجهیزات ارتباطی رادار به عنوان فیلترها و خطوط تاخیر و برخی از مناطق مصرف کننده مانند پیچرها، استفاده شد. کاربردهای آن در جداسازی، تقویت، و ذخیره سیگنال ها و در دیگر کاربردهای پردازش سیگنال در آکوستو-الکترونیک نیز مهم در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در این کاربردها معمولاً از سه فرض مهم برای ساده سازی مدل های تحلیلی IDT استفاده می شود. اولاً، اثرات پیزوالکتریک به اندازه ای کوچک فرض می شود که می توان میدان الکتریکی را ابتدا محاسبه کرد و سپس برای بدست آوردن میدان مکانیکی اعمال کرد. ثانیاً، تعداد نامتناهی انگشت برای پذیرش یک راه حل کاملاً دوره ای فرض می شود. در نهایت، بستر پیزوالکتریک نیمه بی نهایت فرض می شود. بر اساس این سه فرض، ویژگی های پراکندگی انتشار موج در محیط های مختلف پیزوالکتریک به دست می آید.

امروزه یکی از زمینه های کاربردی مهم IDT در پایش سلامت سازه ها می باشد. یک IDT عملی با طول محدود متصل به صفحه فلزی در شکل ۲ نشان داده شده است. IDT یک سطح فیلم پیزوالکتریک نازک است که بر روی بستر پیزوالکتریک یا غیر پیزوالکتریک برای استفاده از تحریک موج یا دریافت سازه ها چسبانده شده است. روی سطح ویفر، الگویی از الکتروودها طراحی شده است که شامل دو مجموعه متناوب از انگشتان است که برای تامین انرژی به منابع برق خارجی متصل هستند.



شکل ۲. سطح صفحه جفت شده پیزوالکتریک متصل به مبدل بین دیجیتالی

مواد پیزوالکتریک به دلیل خواص استثنایی اتصال مکانیکی و الکتریکی خود، کاربردهای بالقوه زیادی در زمینه نظارت و تعمیرات سلامت سازه دارند. از مطالعات تحقیقاتی مشخص شده است که مواد پیزوالکتریک دارای ظرفیت های حسی و هیجان انگیز قابل توجهی هستند. می توان نتیجه گرفت که سنسورها و محرک های پیزوالکتریک ساده و IDT قابلیت تشخیص ترک های تیر، صفحه و لوله را با دقت معقولی دارند. علاوه بر این، به عنوان جایگزینی برای مواد معمولی برای تعمیر سازه، مواد پیزوالکتریک دارای ویژگی های امیدوارکننده ای (مانند وزن سبک) برای غلبه بر مشکلات ناشی از روش های تعمیر مرسوم هستند.