sina-pub.ir

یک سیستم پیزو فعال حلقه بسته MEMS برای تاخیر فعال انتقال

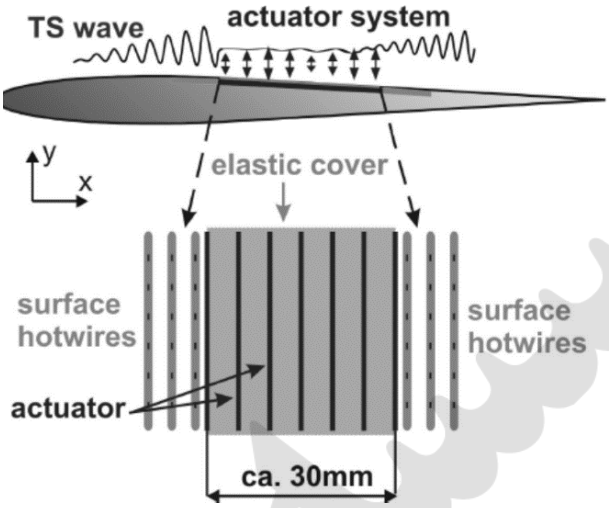
خلاصه

این مقاله طراحی، ساخت و کاربرد سیستم MEMS حلقه بسته بسیار مجتمع را برای کنترل فعال بی ثباتی جریان آیرودینامیکی در سراسر مقطع آیرومکانیکی ارائه می دهد.تکنولوژی خاص پیزو polymercomposite (PPC) برای ساخت پیزوهای microactuators قدرتمند که با سنسورهای سیم داغ و یک سیستم کنترل دیجیتال مجتمع شدند،استفاده میشد. این کار در ابتدا با آزمایش های تونل باد نشان داده شد که تناسب اصلی دستگاه توسعه یافته برای کاهش اختلالات در لایه مرزی را اثبات می کنند. دامنه محلی اختلالات طبیعی،به اصطلاح امواج Tollmien-Schlichting(TS) نامیده می شوند، 42 درصد کاهش یافته اند.

مقدمه

تاخیر فعال انتقال،یک موضوع مهم درتحقیقات هوا فضا در سراسر دهه های گذشته بوده است. ناپایداری لایه های مرزی (امواج TS) در لایه های مرزی مقطع آیرودینامیکیD2 می تواند باعث انتقال جریان از آرام به آشفته شود که باعث افزایش قابل توجه کشش می شود. با راه اندازی موج سطحی مخالف داخل لایه مرزی، دامنه امواج TS می توانند به طور موضعی کاهش یابند و بنابرین، انتقال جریان از آرام به آشفته می تواند به تاخیر بیفتد [1]. تحقیقات حاضر از بلندگوهایی که باعث جابجایی غشاء انعطاف پذیر برای ایجاد موج مخالف در لایه مرزی می شوند،استفاده می کنند [2،3]. این آزمایش ها موفق بوده اند اما رویکرد استفاده از بلندگوها در مورد پتانسیل کوچک سازی آن ها محدود است. برای ایجاد یک موج سطحی رونده، یک آرایه ی اتصال آبشاری به سمت پایین تحریک کننده مورد نظر است. بلندگو نمی توانند اتصال آبشاری به صورت متراکم داشته باشند که مورد نیاز است.نیاز برای یک راه کار محرک کوچک و جدید می آفرینند.

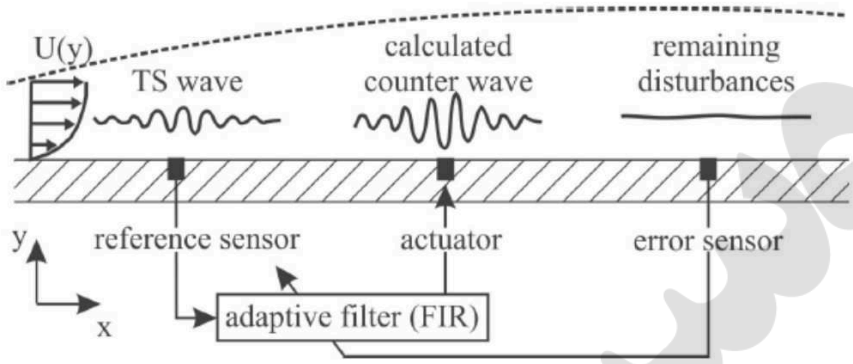
sina-pub.ir



تصویر 1. تنظیمات مورد نظر اصلی برای لغو فعال امواج TS با سنسورهای Hotwire ، پوشش الاستیک، وتحریک کننده های آبشاری در یک طول موج از موج TS.

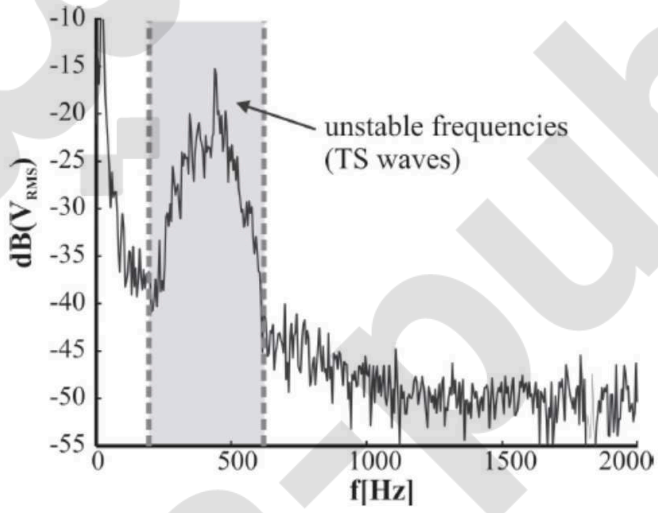
تاخیر فعال گذار نیازمند یک سیستم تحریک سنسور ترکیبی برای شناسایی الگوی موج TS و لغو آنها با یک جابجایی مناسب موج مانند جناح سطح است. راه اندازی اصلی در شکل 1 نشان داده شده است.دامنه TS-امواج در حالی که به سمت پایین در سراسر ایرفویل عبور می کنند،افزایش می یابند. آرایه ای از سنسورهای سیم دغ،امواج TS ورودی را شناسایی می کنند. سمت پایین از اولین آرایه حسگر (سنسور مرجع)، یک سیستم محرک قرار داده شده است. این سیستم به صورت موضعی پوشش الاستیک را جابجا می کند. به منظور افزایش موج سطحی رونده واقعی داخل لایه مرزی، چندین محرک که با یک طول موج TS (در آزمایش های انجام شده به طور معمول در محدوده چند سانتی متر) سری شدند،مورد نیاز است.سمت پایین سیستم محرک، حداقل یک سنسور دیگر (حسگر خطا) لازم است. این حسگر میزان موفقیت کاهش اختلال دامنه وفیدبک اطلاعات برای کنترل را اندازه می گیرد. یک شماتیک از کنترل اصلی در شکل 2 با استفاده از کنترل نشان داده شده است.کنترل از یک رویکرد مبتنی بر فیلتر (پاسخ ضربه محدود، FIR)[4] برای محاسبه کردن یک سیگنال محرک استفاده می کند که دامنه سیگنال یک حسگر خطا را کاهش می دهد. هنگامی که TS-امواج به طور تصادفی رخ می دهند، تابع انتقال محاسبه شده کنترل برای کنترل محرک به طور مداوم پذیرفته شده است.

sina-pub.ir



تصویر 2. شماتیک از اصل کنترل [5].

به عنوان اولین گام در این پروژه، یک نمونه اولیه محرک توسعه داده شده است که شامل تنها یک محرک پیزو polymercomposite(PPC) است. هدف اثبات شایستگی اصلی تکنولوژی PPC برای تاخیر فعال انتقال است. این مقاله توسعه یک نمونه اولیه و ارزیابی آن در آزمایشات تونل بادی اولیه را ارائه می دهد. بر اساس آزمایشات و مشاهدات بدست آمده، یک سیستم اتصال سری با محرک ها، مانند نمای کلی در شکل 1، در گام بعدی توسعه یافته است.



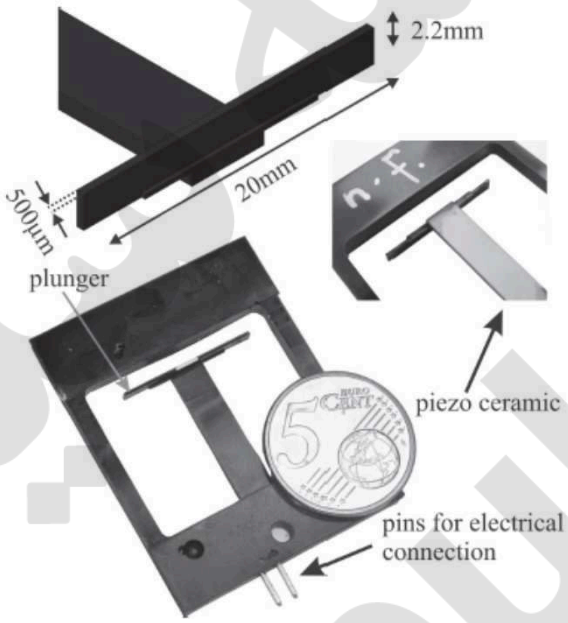
تصویر 3. رفتار طیف امواج TS مورد بررسی برای سرعت تونل باد از 20 m/s است.

تحریک کننده های PPC

موارد مورد نیاز بر روی محرک توسط راه اندازی آزمایشی و کاربردی تعریف شده اند. برای کنترل فعال انتقال یک محرک، برآورد کردن مشخصات مختلفی از آن مورد نیاز است. محدوده کاری بستگی به محدوده فرکانس امواج TS ورودی با سرعت جریان در تونل باد و توزیع فشار معین در سراسر سطح آیرودینامیکی دارد. قدرت معمولی طیف برای

sina-pub.ir

آزمایشات ارائه شده درشکل 3 نشان داده شده است. فرکانس های بی ثبات (امواج TS) بین 200 هرتز و 600 هرتزهستند که در نتیجه برای محدوده کاری محرک مورد نیاز است. در این محدوده کاری، باید برای جابجایی بسیار دقیق محرک امکان پذیر باشد. مانند دامنه سرعت محرک که باید در محدوده 10 درصد نوسانات سرعت در لایه مرزی (حدود تا 1 M / S) باشد، یک سرعت محرک 0.1 M / S مورد نیاز است. این مربوط به ضربه محرک در حدود 100 µm است. یک شیب فاز کوچک در محدوده کاری الزامی است. همان گونه که محرک باید یک پوشش انعطاف پذیر را جابجا کند، همین طور نیروی محرک نیز یک پارامتر تعیین کننده می شود.



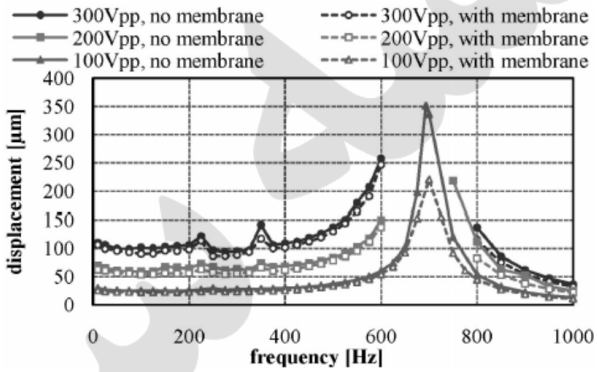
تصویر 4. عکس از محرک PPC-unimorph ساخته شده با سرامیک پیزو و پیستون

طراحی محرک

برای نمونه اولیه، اصل محرک انتخاب شده ،یک محرک unimorph ساخته شده از دولایه از مواد پیزو سرامیک و پلیمر اپوکسی است. پرتو طول 20 mm و عرض 5 mm دارد و لایه سرامیک پیزو (VIBRIT1100 از Argillon) دارای ضخامتی برابر 260 µmدارد.لایه پلیمر ضخامت 840 µm دارد. در نوک این پرتو خمیده، یک پیستون با 20 mm طول و 0.5 mm عرض تشخیص داده شده است. پیستون برای جابجایی موضعی پوشش قابل انعطاف مورد نیاز است. به گونه ای که به عنوان نوعی از حجم مرتعش برای محرک عمل می کند که باید به سبک ترین وزن ممکن باشد.یک عکس قدیمی از محرک ساخته شده در شکل 4 نشان داده شده است.محرک با استفاده از تکنولوژی (PPC)

sina-pub.ir

طراحی و ساخته شده است. پیزو سرامیک با یک پلیمر مایع (رزین های اپوکسی قالبی Stycast 2057) در قالب قرار داده شده است. این تکنولوژی برای انعطاف پذیری طراحی بالا، تغییرات طراحی سریع و نیاز به یک لایه چسب بین پیزو سرامیک و لایه کامپوزیت است،اجازه می دهد. با استفاده از تکنولوژی PPC ،پیستون بسیار شکننده به راحتی می تواند با محرک به صورت گام های ساخت مشابه ساخته شود. تکنولوژی PPC درابتدا توسط Friese و همکاران پیشنهاد شد [6]، کاربردهای اولیه در [7،8] ارائه شد.



تصویر 5. پاسخ فرکانسی محرک unimorph PPC ساخته شده بدون پوسته و با پوسته

مشخصات محرک

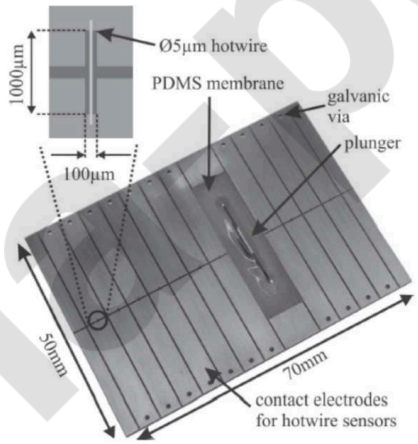
پاسخ فرکانس اندازه گیری شده محرک ساخته شده در ولتاژهای مختلف بکار برده شده در شکل 5 نشان داده شده است. به منظور دستیابی به ضربه مورد نیاز، یک ولتاژ تحریک 300 Vpp مورد نیاز است.فرکانس رزنانس محرک 700 هرتز است. این غیرممکن است که محرک را در فرکانس رزنانس با ولتاژ بالا کنترل کنیم، به طوری که این باعث یک آسیب دائمی، با توجه به ضریب کم damping (D ≈ 0.008) می شود.در1/3 و1/2 فرکانس رزونانس محرک مکانیکی،قله ها در پاسخ فرکانسی می توانند مشاهده شوند. این قله ها از اثر پسماند مواد پیزو نتیجه می دهند. محرک توسط یک منبع ولتاژ هدایت می شود. ولتاژ تحریک تک مکرر است، اما پسماند مواد پیزو بین ولتاژ اعمال شده و لیدهای بار منجر به نوسانات هارمونیک بالاتر در داخل سیگنال جریان می شود. این نوسانات هارمونیک بالا برابر حداقل 20 dB کوچکتر ازسیگنال فرکانس تحریک هستند. با این حال اگر نوسانات هارمونیک بالا در فرکانس رزونانس محرک هستند،این به طور مکانیکی تقویت شده و قابل مشاهده در جابجایی محرک می شوند. یک روش کنترل که نوسانات هارمونیک بالا را از بین می برد در حال حاضر توسعه داده شده است.شکل 5 نیز رفتار محرک هنگاه جابجایی در یک غشاء سیلیکون با

sina-pub.ir

ضخامت 70 µm را نشان می دهد. این غشاء فقط یک اثر بسیار محدود در رفتار محرک دارد.این جابجایی استاتیک محرک حدود 5٪ کاهش یافته و فرکانس رزونانس به 710 هرتز افزایش یافته است.

پیاده سازی سیستم

محرک زیر یک تخته مدار چاپی (PCB) با ابعاد 700 میلی متر × 500 میلی متر چسبانده شده است. این PCB یک دهانه به بزرگی 25 میلی متر * 3 میلی متر برای پیستون دارد.علاوه بر این، لایه بالایی PCB چنین ساخته شده است که حفره های کوچک برای سنسورهای جریان به صورت آبشاری هستند و ضخامت سمت بالا و پایین دهانه ی سنسورهای جریان به ضخامت 5 µm ضخامت سیم داغ هستند که در سراسر این حفره های کوچک جوش داده شده اند. آنها با استفاده از گالوانیک در لبه های PCB متصل شدند.در بالای PCB، در سراسر دهانه برای پیستون، غشا به ضخامت 70 µm متصل است. غشاء با چرخش پوشش سیلیکون مایع (PDMS، Elastosil® M4642) بر روی یک وافر سیلیکونی ساخته شده است. ضخامت غشاء می تواند با تطبیق سرعت چرخش تنظیم شود. پس از بهبود دادن PDMS، غشا می تواند از وافر حذف شود و به اندازه مورد نظر برش داده شود. پیستون پرتو جلد به غشاء چسبانده شده است که به محرک اجازه می دهد تا غشا را به سمت بالا فشار دهد و نیز به سمت پایین باشد. شکل 6 سیستم کاملی را نشان می دهد.



تصویر 6. سیستم کامل برای تاخیر فعال انتقال با PCB، محرک، غشاء و سنسورهای جریان سیم داغ

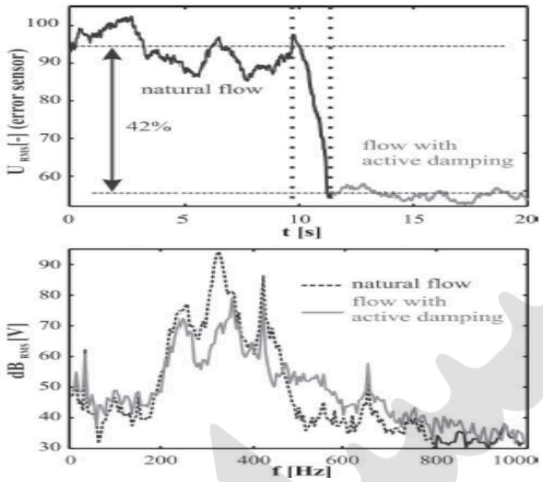
sina-pub.ir

این سیستم یکپارچه هم اکنون می تواند پیاده سازی شود. در راه اندازی تست تونل باد موجود دستگاه ورقه ورقه می شود داخل صفحه آلومینیومی که متناسب با مدل ایرفویل است.یک تقویت کننده ولتاژ بالا برای ساختن ولتاژ محرک لازم است.الگوریتم های کنترلی مختلف می تواند برای رسیدن به حداکثر تضعیف دامنه های TS-امواج محلی استفاده شود. نتایج ارائه شده با استفاده از یک کنترل مبتنی بر فیلتر (FIR) بدست آمده، در حال حاضر در بخش اول معرفی شده است. سیگنال سنسور خطا با استفاده از الگوریتم حداقل میانگین مجذور (LMS) کوچک شده است. برای آزمایشات بیشتر یک مدل کنترل پیش بینی (MPC) بر اساس تصویر در حال حاضر توسعه داده شده است [9]. این MPC می تواند پیشرفت امواج ورودی TS را پیش بینی کند و موج رونده مخالف برای سیستم محرک فقط بر اساس سیگنال های سنسور بالا(سنسور مرجع) را محاسبه کند. علاوه بر این،MPC می تواند آرایش آبشاری محرک (همان طور که در شکل 1 نشان داده شده) به صورت منحصر به فرد کنترل کند که برای ایجاد یک موج رونده اجباری است.

نتایج

در ابتدای تست های تونل باد، یک آزمایش کنترل شده انجام شد.یک اختلال شناخته شده و تک مکرر به لایه مرزی با بلندگوهایی که در بالا ایرفویل دستگاه توسعه یافته تحمیل شد. با وجود اختلال مصنوعی، لایه مرزی باید در محل سیستم محرک سنسور آرام باقی بماند. از انجا که اختلال تک مکرر و شناخته شده است برای کنترل موج مخالف مورد نیاز کمتر چالش برانگیز است. این آزمایش کنترل شده یک تایید مهم از عملکرد دستگاه توسعه یافته فراهم میکند . در این آزمایش زمانی که کنترل را روشن می کند،مقدار RMS دامنه سنسور خطا حدود 60٪ کاهش می یابد.حسگر خطا انتخاب شده در 30 MM پایین پیستون واقع شده بود.پس از اثبات کلی دستگاه توسعه یافته، آزمایش با امواج TS طبیعی انجام شد. نتایج بدست آمده در شکل 7 نشان داده شده است.نمودار بالا مقدار RMS بدست امده از حسگر خطا را ارائه می دهد. مقادیر با توجه به سیگنال اندازه گیری شده زمانی که تونل باد بسته شد،نرمال شدند. بعد از 10 ثانیه انجام آزمایش بدون کنترل، روشن شد و محرک امواج مخالف تولید کرد. این امر منجر به کاهش قابل توجه RMS به مقدار42 ٪ شد.نمودار پایین تر در شکل 7 طیف دامنه حسگر خطا مشابه بدون کنترل فعال را ارائه می دهد،طیف رفتار منطقه بی ثبات امواج TS بین 200 هرتز و 500 هرتز را نشان می دهد. روشن کردن کنترل باعث کاهش مجزا طیف فرکانس با فرکانس های ناپایدار است.

sina-pub.ir



تصویر 7. سیگنال سنسور سیم داغ MM30 میلی متری سنسور پایین دست محرک برای امواج TS طبیعی؛

بالا: سیگنال RMS؛پایین: طیف فرکانس

نتیجه گیری و نظریه

با توجه به مزایای تکنولوژی پیزو پلیمر کامپوزیت، توسعه دادن یک کار خوب محرک نمونه اولیه در یک دوره زمانی کوتاه ممکن بود.محرک یک کارایی با کیفیت بالا، قدرت و قابل کنترل را نشان می دهد.آزمایشات تونل بادی نخست باعث اثبات قابلیت محرک های PPC درترکیب با سیستم توسعه یافته برای سرکوب امواج TS طبیعی شد و از این رو،یک تاخیر فعال انتقال مخالف آیرودینامیک را توانا می سازد.سپس محرک گام به گام ادامه می دهد به سیستمی شامل محرک های آبشاری(دیده شده در شکل 1) که اجازه می دهد یک موج سطحی رونده با طول موج در حدود امواج TS داخل لایه مرزی راه اندازی شود. این کاهش دامنه محلی امواج TS در سراسر یک منطقه خاص را قادر می سازد و بنابراین عملکرد تضعیف سیستم مجتمع را افزایش می دهد.