

صلى الله عليه وسلم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه رازی است.



دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان پایان نامه:

**کنترل هیبریدی ارتعاشات توسط مواد پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو
به روش نیمه اکتیو**

استاد راهنما:

دکتر صابر محمدی

استاد مشاور:

دکتر اکرم خدایاری

نگارش:

رامین سلیمی

مهر ماه ۱۳۹۲

تقدیر و تشکر

خداوند متعال را شکر می‌گویم که توفیق به سرانجام رساندن این پایان نامه را نصیب من کرد تا گوشه‌ای ناچیز از زحمات فراوان استاذید
گراقتدرم، جناب آقای دکتر صابر محمدی و سرکار خانم دکتر اکرم خدیاری را ارج نهم که همانند پدر و مادری دلسوز مراد مسیر این پایان نامه
یاری نمودند.

بی نهایت سپاس از محبت های بی دریغشان

تقدیم به :

خدایی که آفرید جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را و عشق را

و تقدیم به پدر و مادر عزیز و مهربانم که هر چه دارم از برکت دعای خیر آنها است که در همه حال یار و همراهم بوده اند.

چکیده

هدف از این تحقیق کنترل هیبریدی ارتعاشات توسط دو ماده پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو به روش نیمه فعال می باشد. برای این منظور کنترل ارتعاشات به روش پالس سوئیچینگ و ویژگی های آن مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار دو ماده پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو به طور مشابه روی تیر یک سر گیرداری چسبانده شده اند. سپس با مرتعش شدن تیر، این دو ماده نیز مرتعش شده و در نتیجه پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو به ترتیب ولتاژ الکتریکی و میدان مغناطیسی ایجاد می کنند. میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط مگنتواسترکتیو به وسیله سیم پیچ گیرنده ای به ولتاژ الکتریکی تبدیل می شود. این دو ولتاژ تولید شده برای کنترل ارتعاشات تیر به کار می روند که میزان میرایی ارتعاشی بیشتری را نسبت به حالت استفاده از هر کدام از مواد پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو به تنهایی ایجاد می کند.

تخمین بیشینه ولتاژ جهت انجام سوئیچ در ارتعاشات تصادفی کاری دشوار است. بنابراین با مطالعه آماری سیگنال جابجایی یا ولتاژ توسط مقدار میانگین و انحراف از معیار سیگنال در یک پنجره زمانی کوچک معیاری جهت تخمین اکسترمم سیگنال در آینده و تصمیم جهت انجام سوئیچ معرفی می شود. هم چنین اثرات مقاومت بار، تعداد دورهای سیم پیچ گیرنده و ضخامت لایه های پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو بررسی شده و مقادیر بهینه ای برای هر کدام از پارامترهای ذکر شده بدست آمده است. در واقع در این پایان نامه سعی شده است که بیشترین میزان کنترل ارتعاشات را با استفاده از این مواد به دست آوریم. کنترل هیبریدی ارتعاشات در همه فرکانس ها عملکرد خوبی دارد، در حالی که پیزوالکتریک در فرکانس های پایین و مگنتواسترکتیو در فرکانس های بالا عملکرد بهتری دارند. تا کنون کنترل ارتعاشات به روش نیمه فعال فقط با استفاده از ماده پیزوالکتریک انجام شده است. در کار حاضر این روش کنترلی توسط ماده مگنتواسترکتیو به تنهایی و هم چنین با استفاده از مواد پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو به صورت هیبریدی مورد بررسی قرار گرفته است. سوئیچ با استفاده از مطالعه آماری سیگنال خیز تیر انجام شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهند که میزان میرایی به دست آمده در حالت هیبریدی بسیار بیشتر از حالت پیزوالکتریک تنها می باشد.

واژگان کلیدی: کنترل ارتعاشات نیمه اکتیو - روش کنترلی پالس سوئیچینگ - مواد پیزوالکتریک - مواد مگنتواسترکتیو

فصل اول: مروری بر کارهای گذشته

۲	۱-۱ مقدمه
۳	۱-۲ تاریخچه

فصل دوم: مواد مگنتواسترکتیو و پیزوالکتریک

۱۴	۱-۲ مواد هوشمند
۱۴	۲-۲ مواد مگنتواسترکتیو
۱۵	۱-۲-۲ اثر ژول و اثر ویلاری
۱۶	۲-۲-۲ انواع مواد مگنتواسترکتیو
۱۷	۳-۲ مواد پیزوالکتریک
۱۷	۱-۳-۲ سرامیک های پیزوالکتریک
۱۸	۲-۳-۲ رفتار سرامیک های پیزوالکتریک
۱۹	۳-۳-۲ پلاریزاسیون مواد پیزوالکتریک

فصل سوم: کنترل ارتعاشات با مواد پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو (مدل سازی تئوری مسأله)

۲۲	۱-۳ مقدمه
۲۳	۲-۳ روش های میرایی SSD
۲۳	۱-۲-۳ روش SSDI
۲۷	۳-۳ معرفی معادلات ساختاری پیزوالکتریک
۲۸	۴-۳ معرفی مدل مورد بررسی با استفاده از لایه پیزوالکتریک
۳۰	۱-۴-۳ محاسبات مقطع معادل
۳۱	۲-۴-۳ محاسبه تابع شکل مود(تابع ویژه)
۳۴	۵-۳ مدل سوئیچ در روش SSD
۳۶	۶-۳ کنترل ارتعاشات به روش نیمه فعال بر پایه تحلیل آماری رفتار سیستم
۳۷	۷-۳ روش کنترل بر مبنای آمار

۳۷	۱-۷-۳ اصول و تعاریفات پایه.....
۳۷	۲-۷-۳ تحلیل سیگنال جابجایی با استفاده از روش آماری.....
۳۸	۸-۳ آنالیز عملکرد کنترل ارتعاشات.....
۳۹	۹-۳ استراتژی بهبود کنترل ارتعاشات به روش پالس سوئیچینگ.....
۳۹	۱۰-۳ معرفی اثرها و معادلات ساختاری متالیک گلاس.....
۴۰	۱۱-۳ معرفی مدل مورد بررسی با استفاده از لایه متالیک گلاس.....
۴۱	۱-۱۱-۳ محاسبات مقطع معادل.....
۴۲	۱۲-۳ مدل تیر با لایه متالیک گلاس.....
۴۳	۱۳-۳ معرفی مدل مورد بررسی در حالت هیبریدی.....
۴۴	۱-۱۳-۳ محاسبات مقطع معادل.....
۴۵	۲-۱۳-۳ مدل مربوط به حالت هیبریدی.....

فصل چهارم: بحث و نتایج

۴۸	۱-۴ مقدمه.....
۴۸	۲-۴ نتایج کنترل ارتعاشات تحت تحریک هارمونیک.....
۴۸	۱-۲-۴ تیر با لایه پیزوالکتریک.....
۵۷	۲-۲-۴ تیر با لایه متالیک گلاس.....
۶۹	۳-۲-۴ تیر در حالت هیبریدی.....
۸۵	۳-۴ کنترل ارتعاشات تیر تحریک شده با نیروی تصادفی.....
۹۶	۴-۴ بررسی میرایی برای تحریک تصادفی مقطعی.....

فصل پنجم: نتیجه گیری

۱۰۷	۱-۵ نتیجه گیری.....
۱۰۹	۲-۵ پیشنهادها برای ادامه کار حاضر.....
۱۱۰	منابع.....

- شکل (۱-۱) تیر آلومینیومی که در هر انتها توسط عملگر خطی مگنتواسترکتیو مهار شده است..... ۴
- شکل (۲-۱) المان بندی تیر مورد آزمایش..... ۵
- شکل (۳-۱) پاسخ تغییر مکان و شتاب در نقطه W_5 ۶
- شکل (۴-۱) پاسخ آزمایش ضربه روی تیر مورد مطالعه..... ۶
- شکل (۵-۱) پاسخ به آزمایش سینوسی در حالت با کنترل و بدون کنترل..... ۷
- شکل (۶-۱) عملکرد کنترلی عملگر خطی در حالت تحریک سینوسی برای مودهای مختلف..... ۹
- شکل (۷-۱) سیگنال تحریک ضربه ای $white\ noise$ ۹
- شکل (۸-۱) تغییر مکان انتهای تیر برای نیروی ضربه ای $white\ noise$ در حالت بدون کنترل..... ۹
- شکل (۹-۱) تغییر مکان انتهای تیر برای نیروی ضربه ای $white\ noise$ در حالت با کنترل..... ۱۰
- شکل (۱۰-۱) تغییر مکان انتهای تیر برای یک نیروی پالسی. حالت (a) بدون کنترل، (b)..... ۱۱
- شکل (۱۱-۱) مقدار میرایی تغییر مکان برای تحریک های مختلف. (۱) هارمونیک، (۲) ضربه ای..... ۱۱
- شکل (۱-۲) تغییر شکل مواد مگنتواسترکتیو تحت میدان مغناطیسی..... ۱۵
- شکل (۲-۲) شکل های مختلف تر فنول-دی..... ۱۶
- شکل (۳-۲) نوارهای باریک متالیک گلاس..... ۱۷
- شکل (۴-۲) نحوه قرارگیری یون های پیزوالکتریک (۱- قبل از پلاریزاسیون ۲- در حین پلاریزاسیون..... ۱۸
- شکل (۵-۲) رفتار مواد پیزوالکتریک..... ۱۹
- شکل (۶-۲) نحوه پلاریزاسیون در حالت ۳۱ و ۳۳..... ۲۰
- شکل (۱-۳) عمل سوئیچ کردن و رابطه آن با سیگنال جابجایی سازه در روش $SSDS (a)$, $SSDI (b)$ ۲۴
- شکل (۲-۳) مدار بسته در حالت $SSDI$ ۲۵
- شکل ۳-۳ مدل مورد بررسی برای تیر با المان های پیزوالکتریک..... ۲۸
- شکل ۴-۳ مقطع تبدیل یافته برای تیر با لایه پیزوالکتریک..... ۳۰
- در حالت مدار باز ولتاژ پیزوالکتریک در اثر مود I ام ارتعاشات مکانیکی سازه به صورت زیر است..... ۳۲
- شکل (۶-۳) نحوه سوئیچ کردن و تبدیل ولتاژ..... ۳۵
- شکل (۷-۳) شماتیک مدار الکتریکی در روش $SSDI$ ۳۶
- شکل (۸-۳) مدل تیر مورد مطالعه همراه با لایه متالیک گلاس..... ۴۰
- شکل (۹-۳) مقطع معادل تیر و لایه متالیک گلاس..... ۴۱
- شکل (۱۰-۳) مدل تیر مورد مطالعه در حالت هیبریدی..... ۴۴
- شکل (۱۱-۳) مقطع معادل برای حالت هیبریدی..... ۴۴
- شکل (۱-۴) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار در مود اول..... ۵۰
- شکل (۲-۴) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک..... ۵۲
- شکل (۳-۴) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار در مود دوم..... ۵۳
- شکل (۴-۴) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک..... ۵۴
- شکل (۵-۴) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار در مود سوم..... ۵۵

- شکل (۴-۶) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک ۵۶
- شکل (۴-۷) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار در مود اول ۵۹
- شکل (۴-۸) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تعداد دورهای سیم پیچ در مود اول ۶۰
- شکل (۴-۹) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه متالیک گلاس ۶۱
- شکل (۴-۱۰) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار در مود دوم ۶۲
- شکل (۴-۱۱) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تعداد دورهای سیم پیچ در مود دوم ۶۳
- شکل (۴-۱۲) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه متالیک ۶۴
- شکل (۴-۱۳) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار در مود سوم ۶۵
- شکل (۴-۱۴) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تعداد دورهای سیم پیچ در مود سوم ۶۶
- شکل (۴-۱۵) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه متالیک ۶۷
- شکل (۴-۱۶) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار پیزوالکتریک ۷۰
- شکل (۴-۱۷) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار متالیک گلاس ۷۱
- شکل (۴-۱۸) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تعداد دورهای سیم پیچ در مود اول ۷۲
- شکل (۴-۱۹) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک ۷۳
- شکل (۴-۲۰) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه متالیک گلاس ۷۳
- شکل (۴-۲۱) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار پیزوالکتریک در مود دوم ۷۵
- شکل (۴-۲۲) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار متالیک گلاس ۷۶
- شکل (۴-۲۳) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تعداد دورهای سیم پیچ در مود دوم ۷۷
- شکل (۴-۲۴) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک به ضخام ۷۸
- شکل (۴-۲۵) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه متالیک ۷۹
- شکل (۴-۲۶) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار پیزوالکتریک در مود سوم ۸۰
- شکل (۴-۲۷) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تغییرات مقاومت بار متالیک گلاس ۸۱
- شکل (۴-۲۸) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) نسبت به تعداد دورهای سیم پیچ در مود سوم ۸۱
- شکل (۴-۲۹) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه پیزوالکتریک ۸۲
- شکل (۴-۳۰) تغییرات میزان میرایی ارتعاشی (A_{ua}) بر حسب نسبت ضخامت لایه متالیک ۸۳
- شکل (۴-۳۱) نیروی تصادفی وارد شده به انتهای تیر فولادی، آلومینیومی و مسی در حالت هیبریدی ۸۴
- شکل (۴-۳۲) تغییر مکان انتهای تیر فولادی با لایه پیزوالکتریک در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با ۸۷
- شکل (۴-۳۳) تغییر مکان انتهای تیر آلومینیومی با لایه پیزوالکتریک در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) ۸۸
- شکل (۴-۳۴) تغییر مکان انتهای تیر مسی با لایه پیزوالکتریک در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) ۸۹
- شکل (۴-۳۵) تغییر مکان انتهای تیر فولادی با لایه متالیک گلاس در دو حالت الف) بدون کنترل ۹۰
- شکل (۴-۳۶) تغییر مکان انتهای تیر آلومینیومی با لایه متالیک گلاس در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) ۹۱

- شکل (۴-۳۷) تغییر مکان انتهای تیر مسی با لایه متالیک گلاس در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با کنترل ۹۲
- شکل (۴-۳۸) تغییر مکان انتهای تیر فولادی با شرایط هیبریدی در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با کنترل ۹۲
- شکل (۴-۳۹) تغییر مکان انتهای تیر آلومینیومی با شرایط هیبریدی در دو حالت الف) بدون کنترل و ۹۴
- شکل (۴-۴۰) تغییر مکان انتهای تیر مسی با شرایط هیبریدی در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با کنترل ۹۵
- شکل (۴-۴۱) نیرو تصادفی مقطعی وارد شده به انتهای آزاد تیر ۹۶
- شکل (۴-۴۲) تغییر مکان انتهای تیر فولادی با لایه پیزوالکتریک در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با ۹۷
- شکل (۴-۴۳) تغییر مکان انتهای تیر آلومینیومی با لایه پیزوالکتریک در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با ۹۸
- شکل (۴-۴۴) تغییر مکان انتهای تیر مسی با لایه پیزوالکتریک در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با کنترل ۹۹
- شکل (۴-۴۵) تغییر مکان انتهای تیر فولادی با لایه متالیک گلاس در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) ۱۰۰
- شکل (۴-۴۶) تغییر مکان انتهای تیر آلومینیومی با لایه متالیک گلاس در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) ۱۰۱
- شکل (۴-۴۷) تغییر مکان انتهای تیر مسی با لایه متالیک گلاس در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) ۱۰۲
- شکل (۴-۴۸) تغییر مکان انتهای تیر فولادی با شرایط هیبریدی در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با کنترل ۱۰۳
- شکل (۴-۴۹) تغییر مکان انتهای تیر آلومینیومی با شرایط هیبریدی در دو حالت الف) ۱۰۴
- شکل (۴-۵۰) تغییر مکان انتهای تیر مسی با شرایط هیبریدی در دو حالت الف) بدون کنترل و ب) با کنترل ۱۰۵

فهرست جداول

صفحه

جدول

جدول (۱-۱) نتایج چهار فرکانس طبیعی اول تیر مورد مطالعه.....	۵
جدول (۱-۳) ثابت های تابع شکل مد تیر یک سر گیردار	۳۲
جدول (۱-۴) مشخصات پیزوالکتریک.....	۴۹
جدول (۲-۴) مشخصات جنس تیر.....	۴۹
جدول (۳-۴) مقادیر بهینه مقاومت بار، ضخامت لایه پیزوالکتریک و میزان میرایی ارتعاشی برای تیرهای	۵۷
جدول (۴-۴) مشخصات متالیک گلاس $SC 2605$	۵۸
جدول (۵-۴) مقادیر بهینه مقاومت بار، تعداد دورهای سیم پیچ، ضخامت لایه پیزوالکتریک	۶۸
جدول (۶-۴) مقادیر بهینه مقاومت بار، تعداد دورهای سیم پیچ، ضخامت لایه پیزوالکتریک و لایه	۶۸

فصل اول

مروری بر کارهای گذشته

۱-۱ مقدمه

اکثر سیستم های مکانیکی در معرض تحریک های ارتعاشی هستند. این ارتعاشات منجر به خستگی مواد، صدمه به ساختار و شکست، بدتر شدن عملکرد سیستم و افزایش سطح صدا می شود. این آثار معمولاً در نزدیکی فرکانس های طبیعی سیستم برجسته تر هستند. چنین ارتعاشاتی مضر هستند، بنابراین توسعه یک راه کار برای کاهش این ارتعاشات مورد توجه محققان قرار گرفته است. این موضوع دستاوردهای صنعتی قابل توجهی هم دارد. کنترل ارتعاشات و آکوستیک در خودروها، دانش هوانوردی، فضای ماوراء جو، ابزارآلات ماشین ها و ... کاربرد دارد. در کنترل ارتعاشات هدف محدودیت دامنه ارتعاش سازه برای بهبود قابلیت اطمینان کارکرد است. کنترل ارتعاشات یک سازه هم چنین باعث افزایش مقاومت خستگی آن و در نتیجه افزایش طول عمر سازه می شود. یکی از روش های کنترل ارتعاشات و آکوستیک در سال های اخیر، کنترل بوسیله مواد هوشمند بوده است.

برای مستهلک کردن ارتعاشات روش های متنوعی با عناوین فعال^۱، نیمه-فعال^۲ یا غیر فعال^۳ ابداع شده اند. در بعضی از این روش ها از المان های پیزوالکتریک جهت میرا کردن ارتعاشات استفاده می شود [۷-۱]. در کنترل ارتعاشات به روش فعال در زمان های مناسبی، نیرویی در خلاف جهت ارتعاشات سازه مرتعش، به آن وارد می گردد و در اثر این عمل، ارتعاشات سازه کاهش یافته و میرایی قابل توجهی حاصل می گردد. انرژی مورد نیاز این روش از یک منبع انرژی خارجی تامین می گردد که باید به سازه ارتعاش کننده متصل گردد. مزیت اصلی استفاده از این روش میرایی بالا است که در ارتعاشات سازه حاصل می گردد، اما تامین انرژی از یک منبع انرژی خارجی، استفاده از این روش را تا حدی محدود می کند. به عنوان مثال برای کنترل ارتعاشات بدنه وسایل پرنده با استفاده از این روش، باید یک منبع انرژی نیز با وسیله پرنده به پرواز درآید که همین امر باعث افزایش وزن سازه و محدودیت در حرکت و قدرت مانور آن می گردد. روش دیگر در کنترل ارتعاشات روش غیرفعال نام دارد که شامل اتصال مدار الکتریکی غیرفعال (خازن، سلف و مقاومت) به المان های پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو است. در این روش می توان با چسباندن موادی مخصوص به سازه ارتعاش کننده، تا حدی ارتعاشات آن را میرا نمود. مواد ویسکو الاستیک^۴ از این دسته بوده و دارای خاصیت ذاتی میرا کنندگی ارتعاشات هستند. از مزایای این روش میرا کردن ارتعاشات

^۱ Active

^۲ Semi-passive

^۳ Passive

^۴ Viscoelastic

فرکانس بالا است اما تاثیر این روش در مقایسه با روش کنترل فعال کمتر بوده و میرایی ارتعاشات کمتری حاصل می گردد.

روش آخر و موثرترین روش، کنترل ارتعاشات به صورت نیمه-فعال است. تفاوت این روش با روش کنترل فعال تنها در این است که نیاز به هیچ گونه منبع انرژی خارجی نبوده و انرژی مورد نیاز جهت کاهش ارتعاشات سازه، از خود انرژی ارتعاشی سازه استخراج می گردد. میرایی حاصله در این روش کمی کمتر از روش فعال است، اما مزیت اصلی این روش عدم نیاز به هر گونه منبع انرژی خارجی جهت میرا کردن ارتعاشات می باشد. کنترل ارتعاشات به روش نیمه-فعال با استفاده از منطق آماری برای اولین بار در سال ۲۰۰۷ توسط دانیل گویومار و صابر محمدی ابداع و معرفی گردید [۸].

در روش پالس سوئیچینگ^۱ المانهای پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو به صورت یک مدار جانبی به سیستم مکانیکی اضافه می شوند. مدار جانبی در حالت عادی باز است و تنها در زمانهایی ویژه و بسیار کوتاه، مدار بسته شده و به اصطلاح سوئیچ انجام می شود. هنگامی که سوئیچ صورت می گیرد و مدار بسته می شود، بخشی از انرژی مکانیکی تبدیل یافته به انرژی الکتریکی توسط المانهای پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو را می توان تنها به وسیله این سوئیچ کردن ساده، به صورت حرارت به محیط اطراف منتقل نمود. اگر در مدار جانبی علاوه بر المان پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو از یک سلف نیز استفاده شود، در هنگام بسته شدن مدار می توان با استفاده از سلف، بخشی از انرژی مکانیکی سیستم را که به انرژی الکتریکی تبدیل شده در جهت عکس به خود سیستم اعمال نمود. در این صورت می توان به میرایی بهتری نسبت به حالت قبل دست پیدا کرد. اگر نیروی تحریک به صورت هارمونیک باشد، نشان داده شده است که میرایی بهینه با سوئیچ کردن بر روی هر اکستریم منحنی ولتاژ تولید شده توسط المانهای پیزوالکتریک و مگنتواسترکتیو، حاصل می شود [۹]. اما اگر تحریک تصادفی باشد، پیدا کردن اکستریم سیگنال دشوار بوده و استفاده از روشهای آماری جهت تخمین اکستریم ولتاژ به منظور انجام سوئیچ الزامی می باشد [۱۰].

۱-۲ تاریخچه

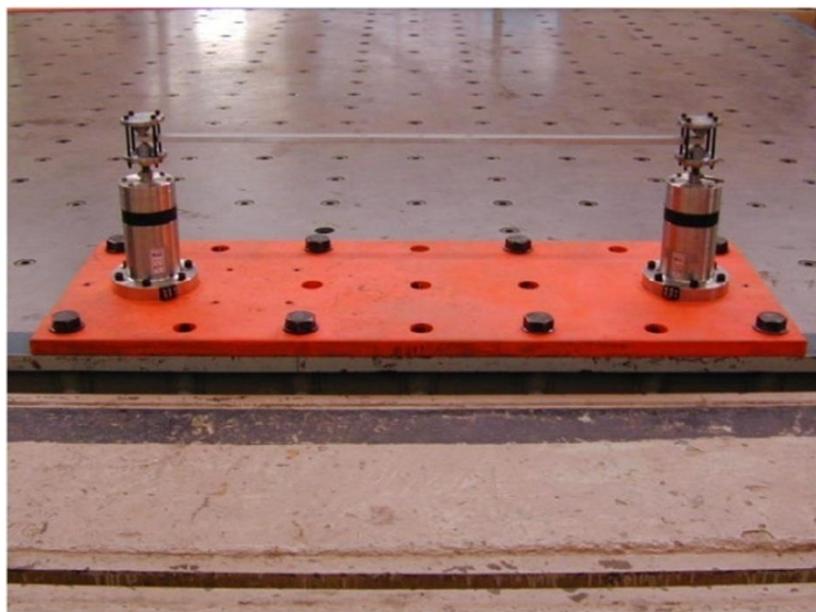
در روش ابداع شده توسط دی ویس و لزیتر در سال ۱۹۹۷ یک مدار جانبی شامل یک خازن الکتریکی به سیستم مکانیکی اضافه می شود و بدین وسیله سختی سیستم به صورت الکتریکی کنترل می شود [۱۱ و ۱۲]. در سال ۱۹۹۸، لزیتر مدارهایی را که شامل سلف، مقاومت و خازن هستند، دسته بندی کرد و تاکید کرد که مدارهای القایی که شامل یک سلف بصورت موازی با پیزوالکتریک هستند بطور وسیعی برای کنترل ارتعاشات استفاده می شوند [۱۳]. در سال ۱۹۹۹ کلارک روش مشابهی را ابداع نمود که در آن المانهای پیزوالکتریک به صورت تناوبی در مدار جانبی قرار می گیرند [۱۴]. تسای و وانگ در سالهای ۱۹۹۷ و ۱۹۹۹

^۱ Pulse switching

ترکیبی از کنترل فعال و غیرفعال را بطور همزمان برای میرا کردن ارتعاشات یک تیر با استفاده از مواد پیزوالکتریک استفاده کردند [۱۵ و ۱۶].

در سال ۱۹۹۹، پارک و اینمان نتایج المان های پیزوالکتریک را در مدار RL در حالت موازی و سری با هم مقایسه کردند [۱۷]. کومار و همکاران در سال ۲۰۰۳ مشخصه استهلاکی یک لایه مگنتواسترکتیو را که روی یک تیر آلومینیومی نصب شده بود، برای شرایط مرزی مختلف و اثر سیم پیچ گیرنده مورد مطالعه و بررسی قرار دادند [۱۸].

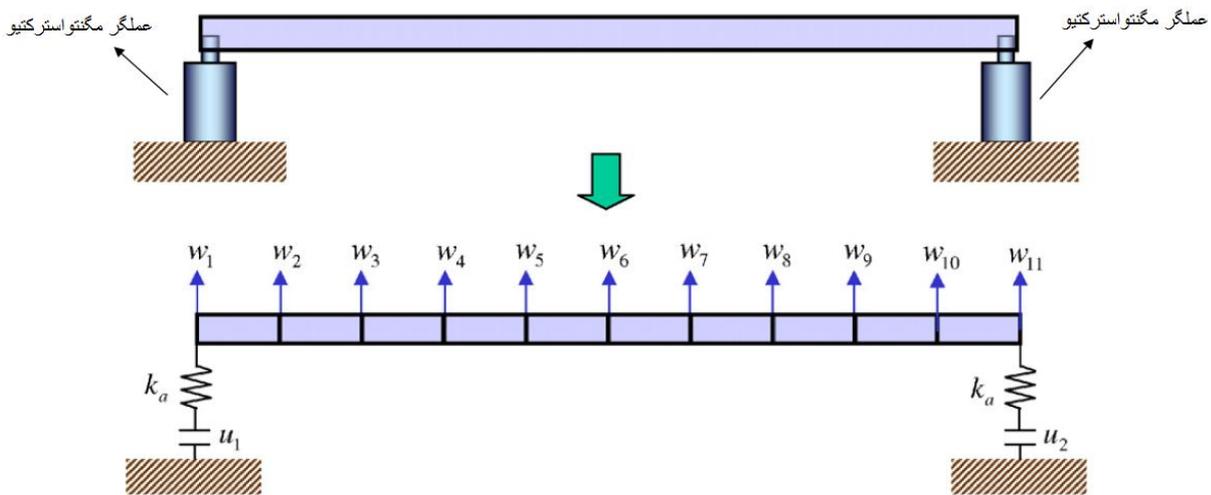
یونو و هیگوچی در سال ۲۰۰۶ با استفاده از عملگر مگنتواسترکتیو و پیزوالکتریک، نیروی مغناطیسی سیم پیچ را کنترل کردند [۱۹]. سئوک جون مون و همکاران در سال ۲۰۰۷ یک عملگر مگنتواسترکتیو را با استفاده از میله ترفنول-دی^۱ با قطر ۲۵ میلی متر و طول ۱۰۰ میلی متر طراحی و ساختند. سپس با انجام یک سری کارهای آزمایشگاهی و عددی بوسیله این عملگر روی یک تیر دوسر پین آلومینیومی، کارایی خوب آن را تایید کردند [۲۰]. در این تحقیق یک تیر آلومینیومی به طول ۱۰۰۰ میلی متر، عرض ۲۵ میلی متر و ارتفاع ۱۲ میلی متر که در هر انتها بوسیله عملگر مگنتواسترکتیو ساپورت شده است مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱) تیر آلومینیومی که در هر انتها توسط عملگر خطی مگنتواسترکتیو مهار شده است [۲۰].

^۱ Terfenol-D

ساختار آزمایش نشان داده شده در مرجع [۲۰] با تقسیم تیر به ۱۰ المان در شکل (۲-۱) مدل شده است.



شکل (۲-۱) المان بندی تیر مورد آزمایش [۲۰].

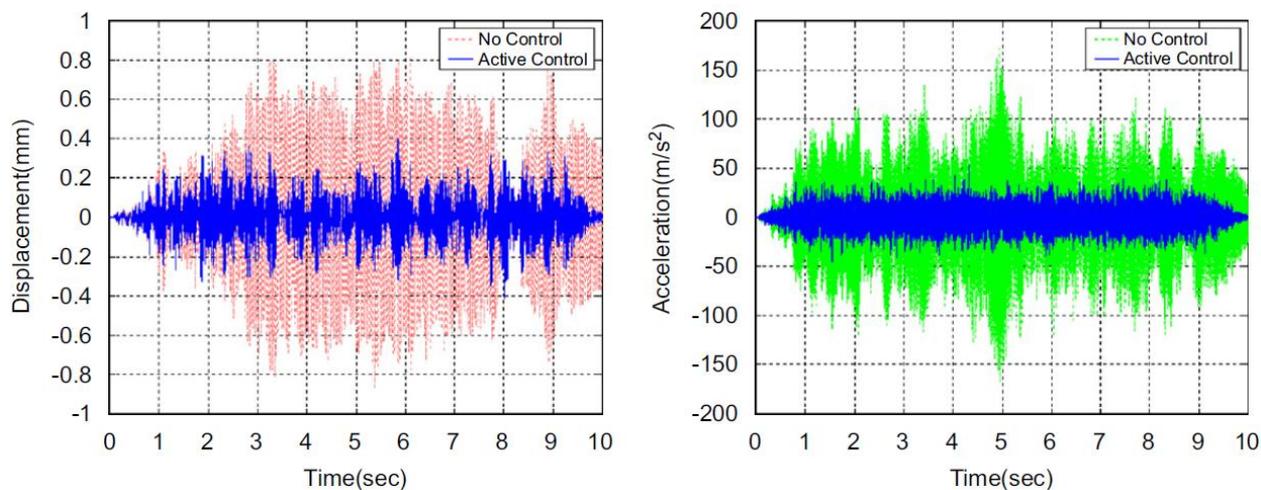
نتایج آزمایشگاهی برای چهار فرکانس طبیعی اول تیر مورد مطالعه، به صورت خلاصه در جدول (۱-۱) آمده است.

در این مدل u_1 و u_2 دارای یک جهت هستند.

جدول (۱-۱) نتایج چهار فرکانس طبیعی اول تیر مورد مطالعه [۲۰]

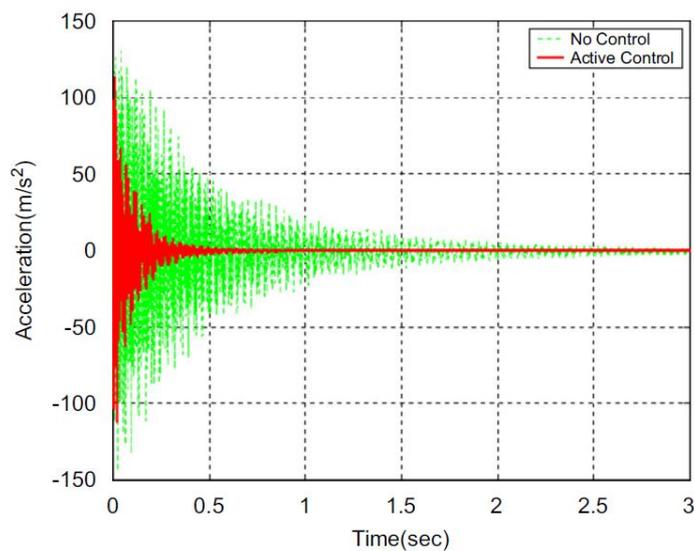
شماره مود	فرکانس طبیعی (Hz)	نسبت میرایی (%)
۱	۲۵/۶	۰/۵۰
۲	۹۸/۱	۰/۳۰
۳	۲۲۰/۰	۰/۱۴
۴	۳۸۷/۴	۰/۱۱

شکل (۳-۱) پاسخ تغییر مکان و شتاب نقطه W۵ را در اثر اعمال تحریک تصادفی در نقطه W۷ نشان می دهد [۱۹].



شکل (۳-۱) پاسخ تغییر مکان و شتاب در نقطه W۵ [۲۰].

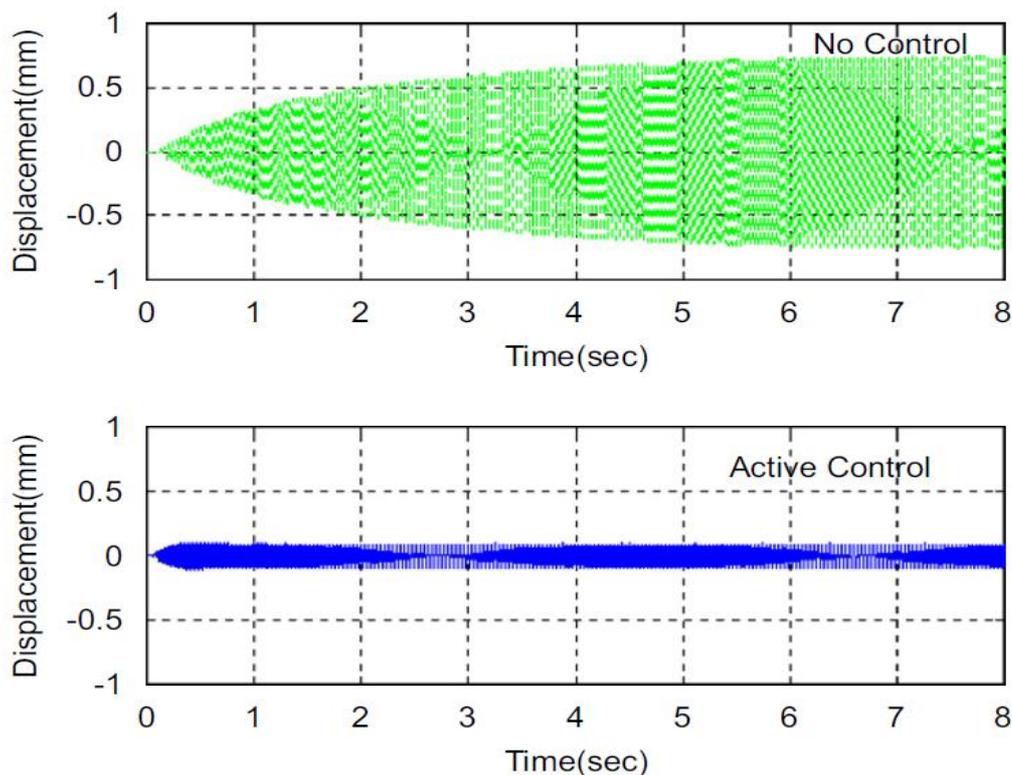
آزمایش و تئوری نشان می دهد که MSA^۱ کارایی خوبی دارد. یک آزمایش ضربه هم انجام شد که مشخص می کند پاسخ به ضربه سریعاً با کنترل فعال کاهش پیدا کرده است (شکل ۴-۱).



شکل (۴-۱) پاسخ آزمایش ضربه روی تیر مورد مطالعه [۲۰].

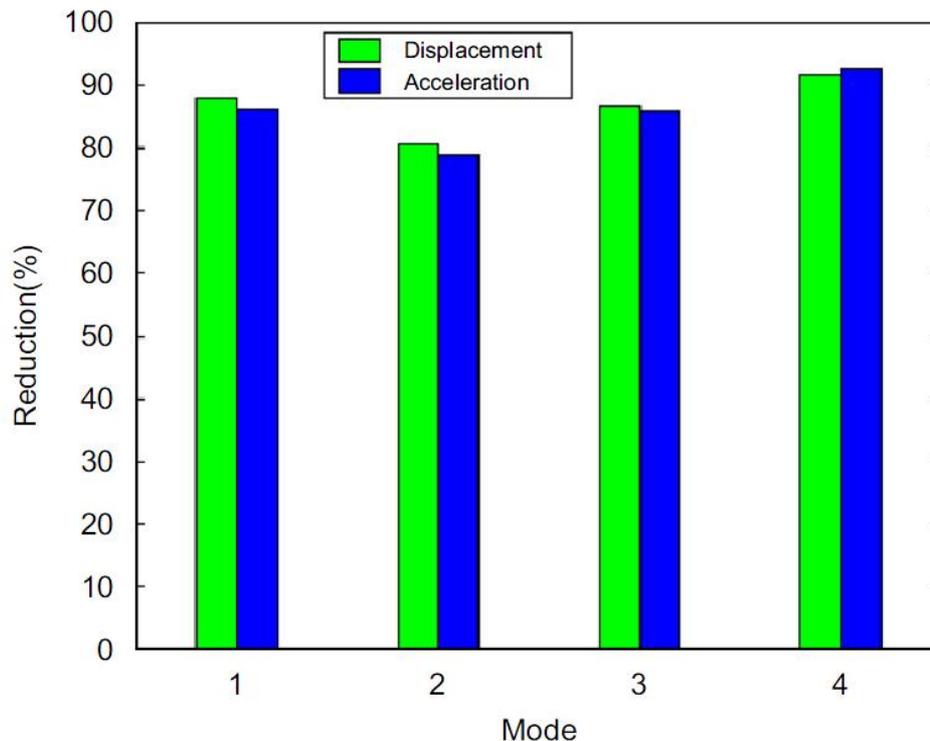
^۱ Magnetostrective Actuator

در آزمایش هارمونیک یکی از عملگرها بعنوان تحریک کننده و دیگری بعنوان کنترل کننده استفاده شده است. پاسخ برای نقطه W5 در حالت با کنترل و بدون کنترل در شکل (۵-۱) نشان داده شده است (برای اولین فرکانس طبیعی).



شکل (۵-۱) پاسخ به آزمایش سینوسی در حالت با کنترل و بدون کنترل [۲۰].

برای نشان دادن کارایی کنترل فعال در حالت تحریک هارمونیک نمودار شکل (۶-۱) رسم شده است که نشان می دهد این سیستم کنترلی حدود (۸۰٪) ارتعاشات تیر را کنترل می کند [۲۰].



شکل (۶-۱) عملکرد کنترلی عملگر خطی در حالت تحریک سینوسی برای مودهای مختلف [۲۰].

هم چنین در سال ۲۰۰۸، آلابی و گرانوالد آخرین پیشرفت ها و کاربردهای مواد مگنتواسترکتیو^۱ را ارائه کردند. (از قبیل: عملگر استاندارد تر فنول-دی، موتورهای چرخان بی سیم تر فنول-دی، میکروموتور بی سیم، تر فنول-دی در مبدل سونار) [۲۱].

گویومار، ریچارد و محمدی در سال ۲۰۰۷ برای اولین بار کنترل ارتعاشات به روش نیمه فعال را با استفاده از منطق آماری ابداع و معرفی کردند و میرایی ارتعاشی را با استفاده از مواد پیزوالکتریک^۲ با این روش بررسی کردند [۲۲ و ۲۳]. همین محققان در سال ۲۰۰۹ تاثیر شرایط مرزی در کنترل ارتعاشات در مدار SSDI را بررسی کردند که در این مقاله توالی سوئیچ ها بر پایه منطق آماری انجام شده [۲۴].

در سال ۲۰۰۹ میکایل لالارت یک روش جدید نیمه فعال به نام BSD^۳ برای میرا کردن ارتعاشات بوسیله عملگر پیزوالکتریک ارائه کرد و نشان داد که نتایج آزمایشگاهی برای کنترل ارتعاشات یک تیر یکسرگیردار با این روش تطابق خوبی با نتایج تئوری دارد [۲۵].

خدایاری، احمدی و محمدی در سال ۲۰۱۱ برای اولین بار یک روش اصلاح شده و یک ساختار مدار جدید برای پیشگویی زمان سوئیچ بر پایه منطق آماری پنجره های لغزان^۴ ارائه کردند [۲۶]. این محققان نتایج را

^۱ Magnetostrective
^۲ Piezoelectric
^۳ Blind Switch Damping
^۴ Sliding time window