

یک محرکه خطی با استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار

محسن لطیفی^۱، مهدی مدبری فر^۲، کوروش خورشیدی^۲، یوسف پاینده^۳

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، mohsen.latifii@yahoo.com

۲ استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک

۳ استادیار گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۵

چکیده

این پژوهش به بررسی سازوکار ضربه با بهره‌گیری از ویژگی انقباض سریع یک سیم آلیاژ حافظه‌دار به‌عنوان یک محرکه جدید می‌پردازد. در این مقاله یک محرکه نمونه، شامل بدنه اصلی، بدنه اینرسی، یک سیم آلیاژ حافظه‌دار و یک فنر بایاس، طراحی و ساخته شده است. به‌منظور بررسی کاربرد این محرکه به‌عنوان دستگاه موقعیت‌دهی، آزمایش‌هایی تحت شرایط مختلف روی آن انجام شده است. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که این محرکه قادر به انجام حرکت در دو جهت با چندین اندازه گام و با تغییر مشخصات ولتاژ اعمال‌شده از قبیل دامنه نوسان و چرخه وظیفه می‌باشد. ویژگی‌ها و کاربردهای هر یک از روش‌های تغییر اندازه گام نیز مورد بحث قرار گرفته است. این نتایج نشان می‌دهد که این محرکه پتانسیل کافی برای اینکه به‌عنوان یک محرکه خطی در ابعاد کمتر از میلی‌متر فعالیت کند را داراست.

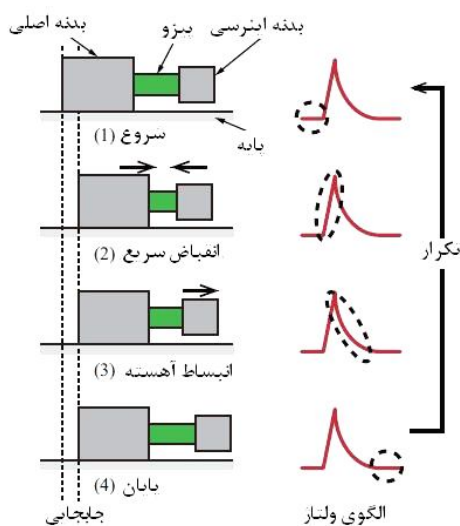
واژگان کلیدی: آلیاژ حافظه‌دار^۱، محرکه خطی، سازوکار ضربه، موقعیت‌دهی

۱. مقدمه

اینرو محرکه‌های جایگزین، که کوچکترین اما بازده بالاتری دارند، در آینده نیاز است [۱]. محرکه‌هایی همچون پیزوالکتریک‌ها، مگنتواستریکتیوها و آلیاژهای حافظه‌دار برای دستیابی به بازده بالا در ابعاد کوچک پیشنهاد شده‌اند. از میان این مواد، محرکه‌های پیزوالکتریک به دلیل نیروی زیاد تولیدی، جابه‌جایی‌های دقیق زیرمیکرون و پاسخ سریع توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است و محرکه‌های بسیاری براساس خواص پیزوالکتریک برای استفاده در کاربری‌های مختلف پیشنهاد شده‌اند. مثلاً بعضی از محرکه‌های با سازوکار ضربه - پیشران^۲ که به‌عنوان وسائلی جهت موقعیت‌دهی دقیق

در سال‌های اخیر پیشرفت‌های فناوری روند کاهش اندازه و ابعاد محصولات الکتریکی را شتاب داده است. برای توسعه محصولات کم‌حجم با کاربری‌های متعدد به محرکه‌ای با بازده بالا و حجم کم نیاز است که حرکت در فضای محدود از ویژگی‌های آن باشد. موتورهای الکترومغناطیسی به دلیل آسانی دسترسی، بازده بالا و کنترل‌پذیری خوب به‌طور گسترده‌ای در محرکه‌ها استفاده شده‌اند. اما ساختار تشکیل‌شده از آهنربا و سیم‌پیچ موتورهای الکترومغناطیسی امکان کاهش اندازه را به آنها نمی‌دهد و بنابراین استفاده از این موتورها وقتی محصولات الکتریکی کوچک می‌شود، به‌طور فزاینده‌ای سخت می‌شود. از

وقتی به محرکه یک انقباض یا انبساط سریع وارد می‌گردد، بلافاصله یک نیروی اینرسی تولید شده و بدنه اصلی در خلاف جهت اصطکاک ایستایی حرکت می‌کند. سپس وقتی محرکه این بار به صورت آهسته به حالت اولیه خود بازگشت می‌کند (انبساط آهسته یا انقباض آهسته) نیروی اینرسی از نیروی اصطکاک کوچکتر می‌شود و بنابراین بدنه اصلی در جای خود ثابت می‌ماند. با تکرار این جابه‌جایی‌های سریع و آهسته محرکه، حرکت مورد نظر انجام می‌شود. با معکوس شدن سرعت‌های انقباض و انبساط امکان حرکت در جهت معکوس نیز فراهم می‌شود. سازوکارهای ضربه می‌توانند حرکات بسیار جزئی در ابعاد نانومتری را ارائه دهند؛ درحالی‌که این سازوکارها قادر به ارائه حرکات در بازه‌ای نامحدود نیز هستند. سازوکارهای ضربه به دلیل ساختار بسیار ساده‌ای که دارند برای استفاده در ابعاد میکرو بسیار مناسب می‌باشند.



شکل ۱. اصول حرکت سازوکار ضربه - پیشران

در یک نمونه با تحریک پیزوالکتریک

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ترکیب انقباض سریع و انبساط تدریجی (یا برعکس) برای این سازوکار ضروری است. معادلات حرکتی و روابط حاکم بر این سازوکار در مرجع [۳] به تفصیل آمده است. این انقباض سریع را می‌توان با گرم کردن سیم‌های آلیاژ حافظه‌دار نیز به دست آورد. سرد شدن طبیعی با جریان هوا نیز سبب انبساط سیم می‌شود. بنابراین المان پیزوالکتریک شکل ۱ را می‌توان با سیم آلیاژ حافظه‌دار جایگزین نمود. با توجه به اینکه سرعت سرد شدن با جریان

مشهور شده‌اند از یک المان پیزوالکتریک جهت ایجاد ضربه و حرکت استفاده می‌کنند [۲-۴]. سازوکار ضربه - پیشران عمدتاً از این اصل فیزیکی استفاده می‌کنند که حرکت یک شی شتاب داده شده به واسطه یک نیروی ضربه خارجی روی یک سطح اصطکاکی، به دلیل نیروی اصطکاک بین سطح و شی متوقف خواهد شد. در مطالعات انجام شده قبلی انواع متعددی از این نوع محرکه با استفاده از نیروی ضربه تولید شده توسط نیروی الکترومغناطیس، نیروی اینرسی تولید شده به وسیله تغییر شکل‌های سریع المان‌های تشکیل شده از مواد پیزوالکتریک یا مگنتواستریکتیو، فشار هوا و انبساط‌های گرمایی توسعه داده شده‌اند [۵-۸].

این مقاله به بررسی امکان استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار به عنوان منبع تحریک در یک سازوکار ضربه - پیشران می‌پردازد. در آلیاژهای هوشمند تغییر شکل پلاستیک ایجاد شده در آلیاژ با استفاده از افزایش دما جبران می‌شود. کرنش و تنش ایجاد شده توسط یک آلیاژ حافظه‌دار خیلی بزرگتر از مواد پیزوالکتریک و مگنتواستریکتیو است، اما پاسخ‌های آن سریع نیست (فرکانس تحریک آلیاژهای حافظه‌دار زیر ۱۰۰ هرتز است). از آلیاژهای حافظه‌دار، به دلیل اینکه نسبت نیرو به حجم بالا دارند و به راحتی تحریک می‌شوند، به طور گسترده‌ای در ساخت محرکه‌هایی با سایز کوچک استفاده می‌شود. در این مقاله یک محرکه ضربه - پیشران با استفاده از سیم‌های آلیاژ حافظه‌دار پیشنهاد و نمونه‌ای از آن ساخته می‌شود. در ادامه اصول عملکرد و مشخصه‌های این محرکه توصیف و نتایج آزمایشات انجام شده نشان داده می‌شود.

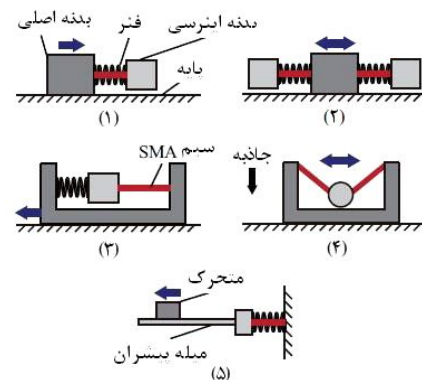
۲. سازوکار ضربه - پیشران

سازوکار ضربه - پیشران روشی برای حرکت دادن اجسامی است که نیروی اصطکاک با آنها مقابله می‌کند. در این روش، این حرکت به وسیله نیروی ضربه انجام می‌شود. در این سازوکار، از نیروی اصطکاک ایستایی و نیروی ضربه‌ای، که از طریق جابه‌جایی سریع یک محرکه ایجاد می‌شود، استفاده می‌شود. حرکت این سازوکار بر مبنای سه قسمت است: یک بدنه اصلی متصل به پایه، یک محرکه و یک بدنه اینرسی. شکل ۱ اصول حرکت و توالی فرایند را در یک نمونه با محرکه پیزوالکتریک نشان می‌دهد.

طبیعی هوا سریع نیست و افزودن سیستم خنک‌کننده به این سازوکار سبب حجیم‌شدن آن می‌شود، این محرکه با استفاده از سیم آلیاژ حافظه‌دار فقط در یک جهت قابلیت حرکت خواهد داشت؛ یعنی حرکت به سمت بدنهٔ اینرسی که در این مقاله از آن به‌عنوان جهت مثبت یاد می‌شود.

۳. طراحی سازوکار ضربه - پیشران با استفاده از سیم آلیاژ حافظه‌دار

به‌طور کلی کاربرد نیروی بایاس برای تکرار انقباض و انبساط سیم آلیاژ حافظه‌دار به‌دلیل احتمال شل‌شدن آن نیاز است. این نیروی بایاس می‌تواند با استفاده از یک نیروی خارجی مانند جاذبه، فنر یا کشش یک سیم آلیاژ حافظه‌دار دیگر تأمین شود. با استفاده از این روش‌های تأمین نیروی بایاس چندین طراحی ممکن سازوکار ضربه - پیشران با استفاده از سیم آلیاژ حافظه‌دار براساس ساختارهای تحریک پیزوالکتریک در شکل ۲ آمده است [۹-۱۰].

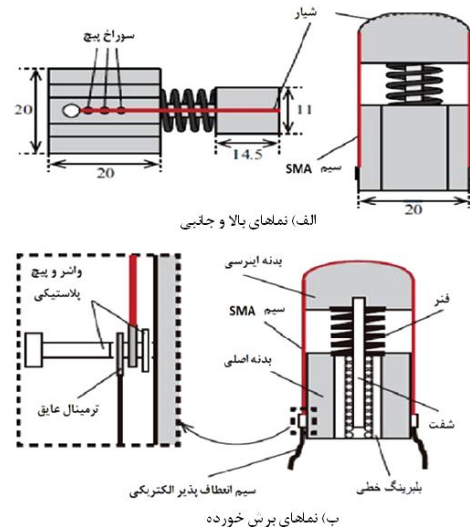


شکل ۲. ساختارهای ممکن سازوکار ضربه - پیشران با استفاده از سیم‌های آلیاژ حافظه‌دار

در شکل ۱-۲ یک ساختار معمولی استفاده‌شده برای یک سازوکار پیزوالکتریک را نشان می‌دهد که المان پیزوالکتریک آن با یک سیم آلیاژ حافظه‌دار و یک فنر برای ایجاد نیروی بایاس جایگزین شده است. در این ساختار به‌دلیل آنکه امکان انبساط سریع وجود ندارد، این انتظار می‌رود که حرکت یک‌طرفه در جهت جسم اینرسی بوجود آید. شکل ۲-۲ طرح دیگری را نشان می‌دهد که قابلیت به‌دست آوردن حرکت دوطرفه را به‌وسیلهٔ تغییر فعالیت‌های دو سیم SMA را دارد. اگرچه وجود دو سیم SMA، فنر و راه‌انداز برای محرکه در این طرح ضروری هستند.

ساختار نشان داده‌شده در شکل ۲-۳ در مقایسه با شکل ۱-۲ دارای پایداری بیشتری است. در این ساختار نیاز به نگرانی دربارهٔ عدم پایداری به‌سبب اختلاف وزن بین بدنهٔ اصلی و بدنهٔ اینرسی نیست، اما تنظیم پارامترها و سرهم‌بندی آن مشکلتر خواهد بود. شکل ۲-۴ یک ساختار متفاوت را نشان می‌دهد که از گرانش روی بدنهٔ اینرسی استفاده می‌کند. در این طرح بدنهٔ اینرسی با استفاده از دو سیم SMA که به‌واسطهٔ وزن بدنهٔ اینرسی منبسط می‌شود معلق است. این ساختار می‌تواند یک حرکت دوطرفه را با استفاده از کنترل عملکرد دو سیم SMA ارائه دهد. شکل ۲-۵ یک ساختار بر پایهٔ سازوکار ضربه‌ای هموار را نشان می‌دهد. این محرکه از یک شیء قابل حرکت و یک شفت که با فنر حمایت می‌شود و به‌وسیلهٔ یک سیم SMA در جهت افقی حرکت می‌کند، تشکیل شده است. جسم متحرک در جهت افقی به‌سمت سر شفت به‌وسیلهٔ تکرار انقباض سریع و انبساط آهسته سیم SMA حرکت می‌کند. در این مقاله یک محرکه با استفاده از آلیاژ حافظه‌دار بر پایهٔ ساده‌ترین ساختار یعنی مشابه شکل ۱-۲ طراحی و ساخته می‌شود. دلیل انتخاب این طرح این است که در این پژوهش تمرکز بر امتحان کاربردی بودن یک سیم آلیاژ حافظه‌دار به‌عنوان منبع راه‌اندازی یک سازوکار ضربه - پیشران است. شکل ۳ یک نمونهٔ محرکه با سازوکار ضربه‌ای، متشکل شده از یک بدنهٔ اصلی و یک بدنهٔ اینرسی و یک فنر و یک سیم SMA را نشان می‌دهد. بدنهٔ اصلی شامل ۱۸ گرم و بدنهٔ اینرسی شامل ۸ گرم از آلومینیم است. گفتنی است سطوح محرکه به‌منظور عایق الکتریکی بین سیم SMA و بدنهٔ آنده شده است؛ زیرا چون مقاومت قطعه ساخته‌شده از سیم SMA مورد استفاده کمتر است، بنابراین وقتی سیم با بدنه در تماس است، جریان اعمالی به‌جای عبور از سیم، از قطعه عبور خواهد کرد و همین امر موجب می‌شود تا سیم به مقدار کافی گرم نشود و میزان انقباض آن کاهش یابد. بنابراین برای جلوگیری از این اتفاق نیاز است تا سطحی از قطعه که در تماس با سیم است عایق گردد تا کرنش بیشتری در سیم ایجاد شود. در این پژوهش از آلیاژ NiTi به‌عنوان آلیاژ حافظه‌دار استفاده شده است. دمای انتقال فاز برحسب سلسیوس در هر حالت به‌ترتیب برابر است با $As=71.1$ ، $Af=76.2$ ، $Ms=47.6$ و $Mf=33.6$ ، تحت ۱۶۰ مگاپاسکال بار است. قطر و طول سیم به‌ترتیب، ۰.۱ میلی‌متر و ۱۰۰ میلی‌متر و مقاومت در آن در

حدود ۷ اهم در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. علاوه بر این یک فنر با سختی ۰.۵ نیوتن بر میلی‌متر نیز اعمال شده است. این فنر برای ایجاد نیروی بایاس در سازوکار محرکه استفاده شده است. چند سوراخ پیچ روی بدنه اصلی تنظیم طول سیم را تسهیل می‌کند. قسمت بدنه اینرسی به شکل U طراحی شده است. این طراحی به دلیل جلوگیری از شکست سیم و همچنین سهولت در استفاده صورت گرفته است.



شکل ۳. شکل شماتیک از نماهای بالا، جانبی و برش خورده محرکه پیشنهادی با استفاده از سیم‌های آلیاژ حافظه‌دار (ابعاد به میلی‌متر)

بر روی سطح این قسمت U شکل یک شیار به صورت نیم‌دایره با قطر 0.3 میلی‌متر تعبیه شده است. از این شیار به منظور جلوگیری از سرخوردن سیم SMA روی سطح صیقلی بدنه اینرسی استفاده می‌شود که این کار سبب ساده‌تر شدن مونتاژ قطعه شده است. بدنه اینرسی به منظور عدم برخورد با سطح حرکت، نسبت به بدنه اصلی ارتفاع کمتری دارد. همچنین به دلیل پایداری سازوکار، وزن و ابعاد بدنه اینرسی تا حد کافی کوچکتر از بدنه اصلی در نظر گرفته شده است تا حول مرکز جرم قطعه گشتاور ایجاد نکند. در طراحی بدنه اصلی گوشه‌هایی مورب، در چهار طرف آن ایجاد شده است. این کار به دو دلیل انجام شد: دلیل اول داشتن تقارن در بدنه اصلی و دوم اینکه با ایجاد گوشه‌های مورب که نسبت به هم زاویه 90° درجه دارند بتوان از دو طرف دلخواه، بدنه اصلی را روی بلوک V شکلی که جهت راهنمای مسیر حرکتی محرکه استفاده می‌شود، قرار داد. گرم کردن سریع اجازه انقباض سریع را به سیم SMA می‌دهد.

سیم SMA با اعمال ولتاژ یا شدت جریان گرم می‌شود. گرم شدن سریع با اعمال ولتاژ زیاد قابل حصول است، اما این ممکن است سبب گرم شدن زیاد از حد سیم و یا حتی سوختن آن شود. بنابراین یک زمان کوتاه گرم کردن و سپس زمان کافی برای خنک شدن سیم جهت جلوگیری از گرم شدن زیاد سیم لازم است. علاوه بر این رانش سیکلی سیم SMA برای حصول حرکت پیوسته گام به گام نیاز است. شکل ۴ ولتاژ ورودی و نحوه تحریک و حرکت این محرکه را نشان می‌دهد. مراحل حرکت محرکه مطابق شکل ۴ به ترتیب زیر می‌باشد:

مرحله اول: در حالت اولیه بدنه اصلی در شرایط ثابت خود باقی می‌ماند.

مرحله دوم: بدنه اینرسی زمانی که سیم آلیاژ حافظه‌دار به واسطه اعمال ولتاژ انقباض سریع انجام می‌دهد. با شتاب بالا به سمت بدنه اصلی حرکت می‌کند. در این زمان بدنه اصلی نیز به سمت جسم اینرسی حرکت می‌کند. با شرط آنکه نیروی اینرسی به نیروی اصطکاک بین بدنه اصلی و پایه غلبه کند.

مرحله سوم: سیم آلیاژ حافظه‌دار شروع به انبساط آهسته می‌کند تا به طول اصلی خود برگردد.

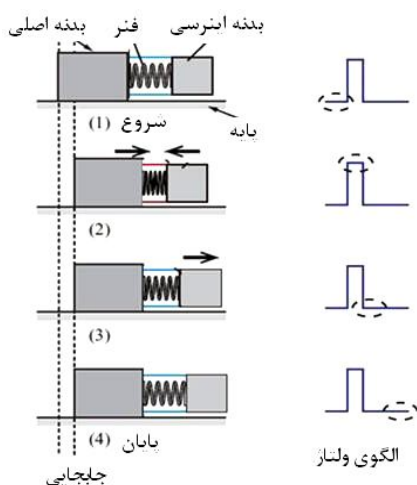
مرحله چهارم: در انتها محرکه به حالت اولیه با یک لغزش کوچک به سمت بدنه اینرسی بازمی‌گردد.

مراحل یک تا چهار تولید یک گام کوچک به سمت جسم اینرسی را توصیف می‌کند. طول گام به نیروی اصطکاک و نیروی ضربه بستگی دارد که معادل نیروی اینرسی تولیدشده به وسیله کرنش سیم آلیاژ حافظه‌دار است. با تکرار این فرایند محرکه یک حرکت خطی شامل گام‌های پیوسته را ارائه می‌دهد.

۴. ساخت و ارزیابی عملکرد محرکه ساخته شده

شکل ۵ محرکه ساخته شده را نشان می‌دهد. ولتاژ ورودی با یک دستگاه فانکشن ژنراتور تأمین و بعد از تقویت به سیم آلیاژ حافظه‌دار ارسال می‌شود. جابه‌جایی‌های محرکه نیز به وسیله یک دوربین فیلم‌برداری ضبط گردید. بدنه محرکه بر روی یک بلوک V شکل استاندارد اندازه‌گیری قرار داشته و از یک روانکار جهت کاهش اصطکاک استفاده گردید. برای کنترل زمان گرم شدن و جلوگیری از افزایش بیش از حد آن، پارامترهای به نام چرخه وظیفه^۳ و فرکانس باید کنترل شود. در این پژوهش نیز زمان

همچنین مشخصات سیم استفاده شده نیز در این تصمیم‌گیری نقش مهمی ایفا می‌کند. با جمع‌بندی سه عامل ذکر شده، تنش اعمالی به سیم جهت آموزش آن ۱۵۰ مگاپاسکال مشخص می‌گردد. با توجه به نکات ذکر شده، هرچه تعداد چرخه‌های آموزش سیم بیشتر باشد، پاسخ عملکرد آن پایدارتر خواهد بود. در این پروژه، ۳۶۰ چرخه آموزش برای سیم تکرار شد و تا حد زیادی از پایداری پاسخ عملکردی اطمینان حاصل شد.

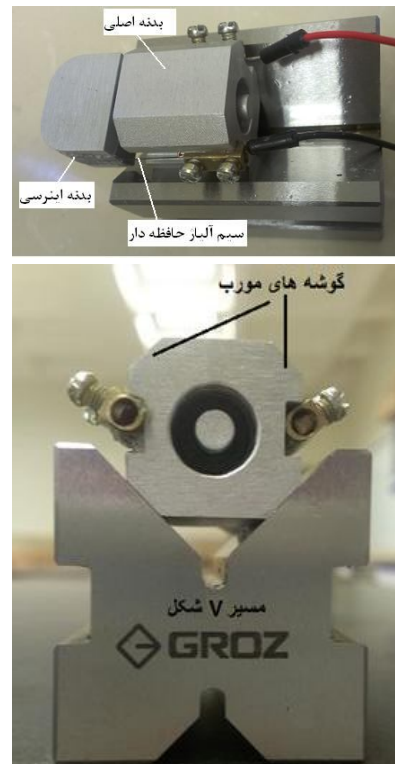


شکل ۴. الگوی ولتاژ و سازوکار حرکت محرکه SMA

شکل ۶ جابه‌جایی بدنه اصلی و بدنه اینرسی و شکل موج ورودی را نشان می‌دهد. در نمودار بالایی جابه‌جایی مثبت نشان‌دهنده حرکت بدنه اصلی به سمت بدنه اینرسی است. نمودار بالایی شکل ۵ همچنین نشان‌دهنده حرکت کل محرکه در یک پالس نیز است. این شکل نشان‌دهنده آن است که این محرکه با سیم آلیاژ حافظه‌دار به درستی عمل می‌کند. پس از انقباض سیم SMA چون سیم شروع به انبساط می‌کند تا تنش را از دست بدهد، نیروی بازگرداننده الاستیک نقشی عمده در بدنه اصلی ایفا می‌کند. طبق نتایج نشان داده شده در شکل ۴ فرض بر این است که در حرکت مثبت، نیروی بازگرداننده فنر کوچکتر از نیروی اینرسی است که به موجب انقباض سیم SMA به وجود می‌آید، در حالی که برای حرکت در جهت منفی رابطه عکس بین این دو عامل به چشم می‌خورد. جمع جابه‌جایی‌های مثبت و منفی در هر گام در نهایت اندازه گام را نتیجه می‌دهد این نتایج نشان می‌دهد که کنترل تعادل بین نیروی اینرسی، جهت حرکت به سمت مثبت یا منفی را مشخص می‌کند. این ویژگی‌ها مزیتی عمده در مقایسه با محرکه‌های بر پایه پیزو دارد و آن هم این

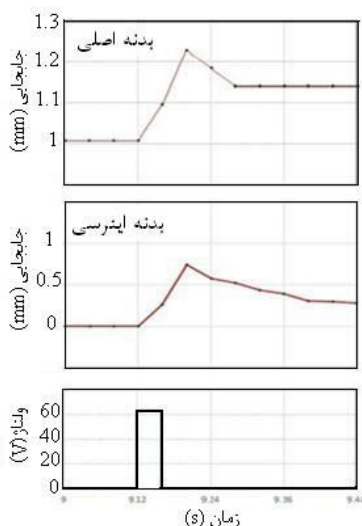
گرمایش در هر چرخه به مجموعه زمان سرمایش و گرمایش، در هر چرخه به عنوان چرخه وظیفه تعریف شده است. به عنوان مثال اگر در فرکانس ۱ هرتز، مقدار چرخه وظیفه را ۱ درصد در نظر بگیریم، به این معناست که گرمایش برای زمان ۰/۰۱ ثانیه است و زمان صرف شده برای فرایند سرمایش در یک چرخه ۰/۹۹ ثانیه است. قبل از اقدامات لازم برای حرکت سازوکار محرکه و استفاده از سیم آلیاژ حافظه‌دار موجود، باید سیم SMA را آموزش داد. اکثر آلیاژهای حافظه‌دار در شرایط بارگذاری متناوب رفتار ناپایداری از خود بروز می‌دهند. به همین دلیل باید اقداماتی در جهت پایداری رفتار آنها انجام گیرد. چنانچه آلیاژ حافظه‌دار در معرض تعداد زیادی چرخه ترمودینامیکی (یک زمان گرم کردن کوتاه و یک زمان سرد کردن کافی) قرار گیرد، پاسخ عملکردی آلیاژ پایدار می‌شود. در حین این چرخه ترمودینامیکی، سیم آلیاژ حافظه‌دار باید تحت بار ثابت قرار گیرد. این کار آموزش یا پایدارسازی نامیده می‌شود. آموزش آلیاژ حافظه‌دار، علاوه بر پایدارسازی رفتار آلیاژ، در صورتی که ولتاژ تحت چرخه‌های کنترل شده به آن اعمال گردد می‌تواند سبب ایجاد رفتار دورا به در یک آلیاژ یک‌راهه شود. روش آموزش سیم آلیاژ حافظه‌دار به این صورت است که با اعمال وزنه به انتهای سیم، تنش مورد نظر به سیم اعمال می‌شود. با اعمال جریان الکتریکی به دو انتهای آلیاژ، سیم هوشمند گرم شده و در این زمان استحاله مارتنزیت به استنیت اتفاق خواهد افتاد. در نتیجه این استحاله، طول سیم مقداری کاهش می‌یابد و آلیاژ تمایل دارد تا به طول اولیه خود، پیش از اعمال تنش بازگردد. جریان اعمالی به سیم که برای آموزش آن در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته، ۰/۷ آمپر هست و با توجه به این مقدار جریان، مدت زمان اعمال آن حدوداً ۳/۵ ثانیه خواهد بود. پس از این مدت زمان، با قطع جریان الکتریکی دمای سیم کاهش می‌یابد و مجدداً استحاله استنیت به مارتنزیت به وقوع می‌پیوندد. در این حین توسط نیروی کششی که وزنه به سیم اعمال می‌کند، سیم کشیده شده و کرنش در آن ایجاد می‌شود. مدت زمان قطع جریان نیز باید به اندازه کافی باشد تا سیم به طور کامل خنک شود. در این پروژه مدت زمان خنک شدن سیم هنگام آموزش حدود ۷ ثانیه است. با بررسی دو عامل پیشینه بار اعمالی و کرنش بازیابی و با توجه به اینکه کرنش بازیابی از اهمیت بیشتری در طی طراحی برخوردار است، باید تنش اعمالی به سیم مشخص گردد.

است که حرکت در دو جهت، با یک ورودی ساده امکان‌پذیر است.



شکل ۵. محرکه ساخته شده و بلوک V شکل پایه آن

وجود دارد که قابل مقایسه با نتایج مرجع [۱۰] می‌باشد. البته در این مرجع با افزایش ولتاژ به ۲۰ ولت حرکت مثبت می‌شود، اما در این مقاله به دلیل متفاوت بودن سیم و محدودیت منبع تغذیه موجود در اعمال ولتاژ نتایج جابه‌جایی مثبت مشاهده نگردید. پیش‌بینی می‌شود که در صورت امکان اعمال ولتاژ بالاتر برای چرخه وظیفه ۰/۵ درصد حرکت مثبت نیز مشاهده می‌شود. مقایسه این دو نتیجه در شکل ۸ نشان می‌دهد که روند در ناحیه خطی تقریباً یکسان بوده اما نقاط در چرخه وظیفه ۰/۵ درصد به سمت راست نقاط در چرخه وظیفه ۴ درصد منتقل شده است. نتایج همچنان نشان داد که حرکات متفاوت می‌توانند حتی در دامنه ولتاژ ورودی یکسانی که سیم SMA اعمال می‌شود محقق شود. مثلاً در ولتاژ ۶۳ ولت حرکت در چرخه وظیفه ۴ درصد مثبت بود و در مقابل در چرخه وظیفه ۰/۵ درصد حرکت در جهت منفی با اندازه گام متفاوت به دست آمد. شکل ۹ رابطه بین چرخه وظیفه و اندازه گام را تحت دامنه نوسان ۶۳ ولت و فرکانس ۱ هرتز نشان می‌دهد این نتیجه نشان داد که در یک دامنه ولتاژ ثابت، جهت حرکت و اندازه گام می‌تواند با تنظیم چرخه وظیفه کنترل شود.



شکل ۶. یک گام از حرکت محرکه در جهت مثبت در ثانیه نهم حرکت

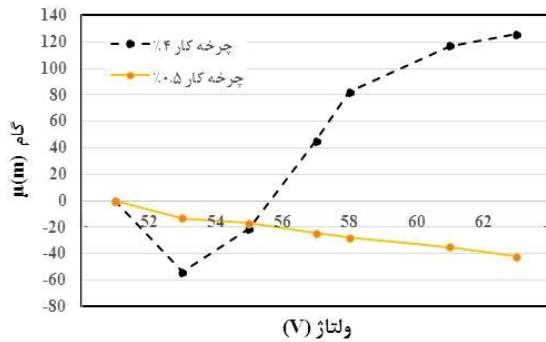
۵. نتیجه‌گیری

این پژوهش یک محرکه خطی را پیشنهاد می‌کند که از ویژگی انقباض سیم SMA در یک سازوکار ضربه - پیشران استفاده می‌کند. یک نمونه در مقیاس سانتی‌متر توسط یک سیم SMA ساخته شد و عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌های انجام شده عملکرد

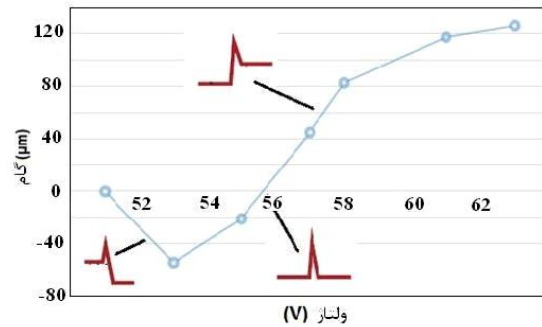
در ادامه به بررسی عملکرد حرکت مکانی محرکه با تغییر دامنه و چرخه وظیفه ولتاژ ورودی پرداخته می‌شود. دامنه نوسان به‌گونه‌ای در نظر گرفته شد که دما بیش از حد بالا نرود یا سیم SMA نسوزد که در نظر گرفتن آن بستگی به چرخه وظیفه و فرکانس ولتاژ ورودی دارد. در ابتدا دامنه نوسان ولتاژ ورودی در زمان‌های گوناگون تحت فرکانس یک هرتز و چرخه وظیفه ۴ درصد تغییر داده شده است. شکل ۷ ارتباط بین دامنه ولتاژ ورودی و اندازه گام را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، برای محرکه یک نقطه صفر که محرکه در آن نقطه حرکت نکرد در ولتاژ ۵۵/۷ پیدا شد. بر این اساس، دامنه نوسان حرکت در جهت مثبت هنگامی که دامنه ولتاژ بزرگتر اعمال شد ظاهر می‌شود، در حالی که دامنه ولتاژ کوچکتر سبب حرکت در جهت منفی می‌شود. در مرحله دوم اثر تغییرات در چرخه وظیفه روی حرکت مکانی بررسی گردید. شکل ۸ رابطه بین دامنه نوسان ولتاژ ورودی و اندازه گام در سیکل‌های وظیفه متفاوت ۰/۵ و ۴ درصد را نشان می‌دهد. شکل ۸ نشان می‌دهد که در چرخه وظیفه ۰/۵ درصد، حرکت فقط در جهت منفی

موفق سازوکار جدید را نشان داده و بنابراین می‌تواند به‌عنوان

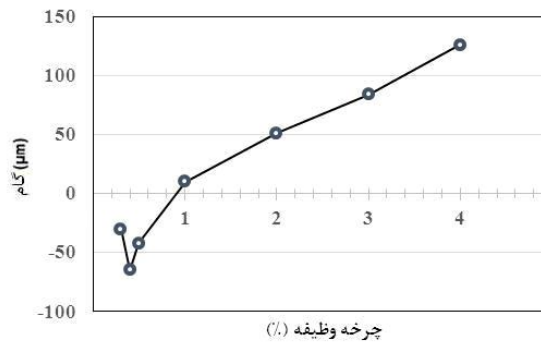
جایگزینی برای پیزوالکتریک در سازوکار ضربه-پیشران مطرح شود.



شکل ۸. تأثیر چرخه وظیفه ولتاژ ورودی روی اندازه گام



شکل ۷. تأثیر دامنه ولتاژ ورودی بر اندازه گام



شکل ۹. رابطه بین چرخه وظیفه و اندازه هر گام در زمانی که ولتاژ ۶۳ ولت تحت فرکانس ۱ هرتز است

۶. مآخذ

- [1] Micromotor, Namiki Precision Jewel Co. Ltd., <http://www.namiki.net>, accessed 07.06.13.
- [2] K. Uchino, *Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors, Electronic Materials: Science & Technology*, vol. 1, Springer, 1996.
- [3] T. Higuchi, Y. Yamagata, K. Furutani, K. Kudoh, *Precise positioning mechanism utilizing rapid deformations of piezoelectric elements*, in: Proceedings of IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, 1990, pp. 222-226.
- [4] H. Kawakatsu, T. Higuchi, A dual tunneling-unit scanning tunneling micro-scope, *J. Vac. Sci. Technol.* Vol. 8, No. 1, pp. 319-323, 1990.
- [5] M. Pozzi, T. King, Piezoelectric actuators in micropositioning, *Eng. Sci. Educ. J*, Vol. 10, No. 1, pp. 31-36, 2001.
- [6] H. Kawakatsu, T. Higuchi, A dual tunneling-unit scanning tunneling micro-scope, *J. Vac. Sci. Technol.* Vol. 8, No. 1, pp. 319-323, 1990.
- [7] T. Morita, Miniature piezoelectric motors, *Sens. Actuators*, Vol. 103, No. 3, pp. 291-300, 2003.
- [8] H. Kawakatsu, T. Higuchi, A dual tunneling-unit scanning tunneling micro-scope, *J. Vac. Sci. Technol.* Vol. 8, No. 1, pp. 319-323, 1990.
- [9] Zu Guang Zhang, T. Ueno, T. Higuchi, Magnetostrictive actuating device utilizing impact forces coupled with friction forces, *IEEE Int. Symp. Ind. Electron*, pp. 464-469, 2010.
- [10] Shinya Hattori, Masayuki Hara, Hiroyuki Nabae, Donghyun Hwang, Toshiro Higuchi, Design of an impact drive actuator using a shape memory alloy wire, *Sensors and Actuators*, Vol. 219, pp. 47-57, 2014.

-
1. shape memory alloy
 2. impact drive mechanism
 3. duty sycle