

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۲۲۱۰۲۶۰

۱۴۰۰/۲

کنترل منابع مرجع و لتاژ میکروالکترومکانیکی

تألیف:

دکتر امیر ابوالفضل صورتگر

دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

سرشناسه	صورتگر، امیرابوالفضل، ۱۳۵۳-
عنوان و نام پدیدآور	کنترل منابع مرجع ولتاژ میکرو الکترومکانیکی / تألیف امیرابوالفضل صورتگر.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	۱۴۱ ص.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۳۵-۰۰
وضعیت فهرست‌نویسی	فیپا
موضوع	سیستم‌های میکروالکترومکانیکی.
موضوع	Micro electromechanical systems :
موضوع	میکرو تکنولوژی.
موضوع	Microtechnology :
موضوع	برق - سیستم‌ها - پایداری.
موضوع	Electric power system stability :
موضوع	برق - سیستم‌ها - کنترل.
شناسه افزوده	Electric power systems -- Control :
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر.
شناسه افزوده	Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing : Center.
رده‌بندی کنگره	TK ۷۸۷۵:
رده‌بندی دیویی	۶۲۱.۳۸۲۲:
شماره کتابشناسی ملی	۷۶۵۶۷۱۲:



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۹۹/۰۹/۰۹ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.

عنوان کتاب	کنترل منابع مرجع ولتاژ میکروالکترومکانیکی
تألیف	امیرابوالفضل صورتگر
ناشر	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ اول	پاییز ۱۴۰۰
قیمت	۳۶۰۰۰ تومان
تیراژ	۱۰۰
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۸۳۵-۰۰
	ISBN : 978-964-463-835-0

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	I
فصل ۱: اثر مقیاس در دینامیک سیستم های میکروالکترو مکانیکی.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۱-۲- اثر مقیاس در یک تیر یک سر گیردار.....	۳
۱-۳- اثر ابعاد در انرژی یک عملگر.....	۵
۱-۴- اثر ابعاد در اندازه گیری شتاب.....	۵
۱-۵- بررسی اثر مقیاس در عملگرهای الکتروستاتیکی.....	۷
فصل ۲: مقدمه ای بر منابع مرجع ولتاژ.....	۱۱
۲-۱- مقدمه.....	۱۱
۲-۲- آشنایی با منابع مرجع ولتاژ.....	۱۶
۲-۲-۱- منابع مرجع ولتاژ جوزفسون.....	۱۷
۲-۲-۲- منابع مرجع زنری.....	۱۸
۲-۲-۳- منابع مرجع ولتاژ باند-کپ.....	۲۰
۲-۲-۴- تکنولوژی گذرگاه شناور.....	۲۱
۲-۲-۵- مراجع ولتاژ متناوب.....	۲۲
۲-۳- مقدمه ای بر ساخت در سیستم های میکروالکترومکانیکی.....	۲۴
۲-۳-۱- مقدمه ای بر فرآیند ساخت ادوات میکروالکترومکانیکی.....	۲۷
۲-۳-۱-۱- لیتوگرافی.....	۲۷
۲-۳-۱-۲- فرآیندهای افزایشی و کاهشی.....	۳۳
فصل ۳: نحوه عملکرد مراجع ولتاژ متناوب برپایه سیستم های میکروالکترومکانیکی.....	۴۱
۳-۱- مقدمه.....	۴۱
۳-۲- خازن متغیر میکروالکترومکانیکی [۶۸].....	۴۲
۳-۲-۱- تحلیل استاتیک عملکرد خازن متغیر میکروالکترومکانیکی [۴۲].....	۴۳
۳-۲-۲- تحلیل استاتیک عملکرد خازن متغیر میکروالکترومکانیکی با در نظر گرفتن ولتاژ مستقیم [۷۵].....	۴۸
۳-۲-۳- تحلیل دینامیک عملکرد خازن متغیر میکروالکترومکانیکی [۴۳].....	۵۱
۳-۳- مقدار مرجع ولتاژ متناوب میکروالکترومکانیکی.....	۵۳
فصل ۴: کنترلرهای کلاسیک و هوشمند برای منابع مرجع میکروالکترومکانیکی.....	۵۷

۵۷	۱-۴- مقدمه
۵۷	۲-۴- مدل سازی دینامیک عملکرد خازن متغیر میکروالکترومکانیکی با در نظر گرفتن ولتاژ مستقیم [۳۸]
۵۹	۳-۴- طراحی کنترلر گین در مدار منبع مرجع ولتاژ [۴۳]
۶۱	۴-۴- نتایج شبیه سازی عملکرد خازن متغیر میکروالکترو مکانیکی در حالت حلقه باز [۳۸]
۶۳	۵-۴- طراحی کنترلر با روش جایگذاری قطبها [۴۳]
۶۵	۶-۴- طراحی کنترلر بهینه به منظور دستیابی به مرجع ولتاژ کم توان [۴۳]
۷۱	۷-۴- طراحی کنترلر تطبیقی برای منبع مرجع ولتاژ متناوب [۷۰]، [۷۵]
۷۷	۴-۷-۱- شبیه سازی کنترلر تطبیقی [۷۰]، [۷۱]
۷۹	۴-۸-۱- کنترل هوشمند منابع مرجع میکرو الکترومکانیکی [۴۵]، [۶۴]، [۵۱]، [۵۲]
۷۹	۴-۸-۱- مقدمه ای بر شبکه عصبی
۸۰	۴-۸-۲- شبیه سازی کاهش اثر نویز در ولتاژ خروجی [۵۱]
۸۲	۴-۸-۳- شبیه سازی کاهش اثر تغییرات دمایی با استفاده از شبکه های عصبی [۶۴]
۸۴	۴-۹-۱- طراحی مدل مرجع کنترل تطبیقی برای منبع مرجع [۷۰]، [۷۱]، [۷۵]
۸۵	۴-۹-۱- آنالیز استاتیک عملکرد سیستم [۶۸]، [۷۰]
۸۶	۴-۹-۲- مدل دینامیکی عملکرد سیستم [۷۰]، [۷۱]
۸۷	۴-۹-۳- مدل مرجع کنترل تطبیقی کنترل تطبیقی مستقیم [۴۲]، [۵۰]
۸۸	۴-۹-۳-۱- آنالیز پایداری [۴۲]، [۵۰]
۸۹	۴-۹-۳-۲- آنالیز همگرایی خطا [۴۲]، [۵۰]
۹۰	۴-۹-۳-۳- نتایج شبیه سازی کنترلر تطبیقی [۴۲]، [۵۰]
۹۳	پیوست الف
۱۰۷	پیوست ب
۱۱۵	پیوست ج
۱۱۷	منابع و مراجع
۱۲۳	نمایه
۱۲۵	واژه نامه فارسی به انگلیسی
۱۲۹	واژه نامه انگلیسی به فارسی

پیشگفتار

اگر ساخت نیمه هادی‌ها اولین انقلاب ساخت میکرونی باشد، بی‌تردید سیستم‌های میکروالکترومکانیکی دومین انقلاب به حساب می‌آیند. این فناوری با ترکیب میکروالکترونیک و میکرومکانیک، با استفاده از تکنولوژی میکروماشین‌کاری روی یک لایه سیلیکونی، نوع و شکل محصولات صنعتی و تجاری را به شدت تحت تاثیر قرار داده است. به عبارت دیگر این سیستم‌ها را می‌توان تلاشی برای بهره‌برداری و گسترش تکنیک‌های توسعه‌یافته ساخت، در صنعت مدار مجتمع برای اضافه نمودن عناصر مکانیکی مانند تیرها، چرخ‌دنده‌ها، دیافراگم‌ها و فنرها، به مدارات الکتریکی و تولید سیستم ابعاد میکرو یکپارچه برای ادراک و کنترل جهان فیزیکی دانست.

ابعاد تجهیزات میکروالکترومکانیکی از میکرومتر تا میلی‌متر متغیر است، با این وجود که این دستگاه‌ها توانایی حس، کنترل و عمل کردن در مقیاس میکرو را دارند موجب اثراتی در مقیاس ماکرو می‌شوند. درخصوص مزایای اصلی این فناوری می‌توان به موارد زیر اشاره نمود؛
اول اینکه سیستم‌های میکروالکترومکانیکی فناوری گسترده‌ای است که می‌تواند تاثیر مهمی بر انواع تولیدات تجاری بگذارد. گوناگونی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی به حدی است که محدوده‌ی گسترده‌ای از محصولات و کاربردها را دربر می‌گیرد. سیستم‌های میکروالکترومکانیکی در موارد مختلفی از جمله صنایع خودرو-سازی، تجهیزات پزشکی، الکترونیک، ارتباطات و کاربردهای دفاعی و فضایی یافت می‌شود. سیستم‌های میکروالکترومکانیکی کنونی شامل شتاب‌سنج‌ها برای حسگرهای کیسه هوای خودرو، هد چاپگرهای جوهرافشان، هدهای خواندن و نوشتن در دیسک‌های کامپیوتری، حسگرهای فشار خون، سویچ‌های نوری، میکروشیرها، حسگرهای زیستی، سیستم‌های تعلیق فعال^۱ و بسیاری دیگر از تولیداتی می‌باشند که در حجم‌های بالای تجاری ساخته و فروخته می‌شوند. لذا ماهیت این فناوری و کاربردهای متعددش، آن را از فناوری‌های مرسوم حتی مدارهای مجتمع و ریزتراشه‌ها فراگیرتر نموده است.

دوم اینکه سیستم‌های میکروالکترومکانیکی فاصله‌ی بین سیستم‌های مکانیکی پیچیده و مدارهای مجتمع الکترونیکی را پر می‌کنند. حسگرها و محرک‌ها عموماً گران قیمت اند، به علاوه سیستم الکترونیکی، محرک‌ها و حسگرها در ابعاد بزرگ قابل اعتماد نیستند. این فناوری

امکان ساخت سیستم‌های میکروالکترومکانیکی را با استفاده از تکنیک‌های ساخت ادوات نیم هادی را فراهم کرده و موجب برابری قیمت و اعتبار حسگرها و محرک‌ها با مدارهای مجتمع می‌گردد. در نتیجه انتظار می‌رود که کارایی دستگاه‌ها و ابزارهای میکروالکترومکانیکی بالاتر از عناصر و سیستم‌های مقیاس ماکرو و قیمت آن نیز بسیار پایین‌تر از آن‌ها باشد.

فناوری سیستم‌های میکروالکترومکانیکی بسیار توانا است؛ چرا که با درک و کنترل قابلیت‌های "میکرو حسگرها" و "میکرو محرک‌ها" و به همراه آوردن توانایی محاسبات دستگاه‌های میکروالکترونیکی، موجب پیشرفت در تولیدات هوشمند می‌شود؛ این فناوری امکان تلفیق میکروالکترونیک را با درک فعال و اعمال کنترلی فراهم کرده، فضای طراحی و کاربرد را بسط می‌دهد. مدارهای مجتمع میکروالکترونیکی می‌توانند به عنوان مغز متفکر سیستم‌ها باشند و سیستم‌های میکروالکترومکانیکی با اضافه نمودن "چشم" و "بازو"، این قدرت تفکر را توسعه می‌دهند، تا این میکروسیستم‌ها بتوانند محیط اطرافشان را حس کرده و کنترل نمایند. میکروسنسورها در ساده‌ترین حالت خود با کمک اندازه‌گیری پدیده‌های مکانیکی، گرمایی، زیستی، شیمیایی، نوری و مغناطیسی، اطلاعات را از محیط جمع‌آوری می‌کنند؛ پس از اخذ اطلاعات از حسگرها، دستگاه‌های میکروالکترومکانیکی به کمک قدرت تصمیم‌گیری خود، محرک‌ها را به پاسخ‌هایی چون حرکت، جابجایی، تنظیم کردن، پمپ کردن و فیلتر کردن وادار کرده، محیط را به سمت نتایج مورد نظر هدایت می‌کنند. خصیصه‌ی اصلی این ادوات این است که دارای مجموعه‌ای از المان‌هایی با قابلیت مکانیکی اند. حال می‌توانند متحرک باشد یا غیرمتحرک، در حالی که المان‌های اساسی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی عبارتند از: کوچک‌سازه‌ها، حسگرها، عملگرها و ادوات میکروالکترونیک.

در این میان میکرو حسگرها و میکرو عملگرها که به صورت یک مبدل عمل می‌کنند و انرژی را از نوعی به نوع دیگر تبدیل می‌کنند، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. همان‌گونه که مدارات مجتمع از خواص الکتریکی سیلیکون بهره می‌گیرند، سیستم‌های میکروالکترومکانیکی نیز از خواص مکانیکی آن و یا هر دو خواص الکتریکی و مکانیکی سود می‌برد.

منابع مرجع و لتاز از جمله ادوات بسیار کاربردی می‌باشند. تنظیم انواع حسگرها و عملگرها به مراجعی نیاز است که از جمله مهمترین آنها منابع مرجع و لتاز است.

افزایش بهره‌وری در عملکرد سیستم منابع مرجع و لتاز میکروالکترومکانیکی، نه تنها به روش ساخت بلکه به فیلتر نرم افزاری و کنترلرهای مناسب آن هم وابسته است. در این کتاب به مدلسازی و طراحی کنترلر (فیلتر نرم افزاری) مناسب پرداخته می‌شود.

در این کتاب ابتدایس از بررسی و مقایسه منابع مرجع و لتاز مختلف، به بررسی رفتار و مدلسازی منابع مرجع میکروالکترومکانیکی پرداخته می‌شود. چندین روش کنترلی جهت بهبود عملکرد منبع مرجع متناوب میکروالکترومکانیکی و افزایش پایداری آن پیشنهاد گردیده

است. مدل مربوط به سیستم مورد نظر به دست آورده شده و شبیه‌سازی‌ها صورت گرفته است.

کنترل‌های مختلفی با توجه به مدل‌های بدست آمده طراحی و سیستم پیاده‌سازی و شبیه‌سازی شده است. بعنوان نمونه از کنترلر بهینه جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی در طی عملکرد مرجع ولتاژ استفاده شده است و نتایج، کاهش چشمگیر در مصرف انرژی را نشان می‌دهد. کنترلر تطبیقی جهت حفظ پایداری سیستم و تامین ولتاژ خروجی ثابت با وجود عدم قطعیت در پارامترهای ساختاری خازن میکروالکترومکانیکی استفاده شده است و نتایج نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن ده درصد عدم قطعیت در پارامترها مرجع ولتاژ می‌تواند پایدار باقی بماند. در متدی دیگر برای کنترل، مطابق با قانون پایداری لیاپانوف ورودی کنترلی به سیستم اعمال می‌گردد، که جهش اولیه تیغه متحرک خازن متغیر و نیز زمان نشست سیستم را تا ده برابر نسبت به حالت حلقه باز کاهش می‌داد. این موضوع باعث افزایش طول عمر منبع مرجع ولتاژ و نیز افزایش سرعت رسیدن به ولتاژ مورد نظر می‌شود. همچنین نشان داده شده، که با قرار دادن یک کنترلر برای مرجع ولتاژ متناوب میکروالکترومکانیکی، اغتشاشات ولتاژ ورودی اولیه به سیستم تا یک درصد مقدار نامی‌اش قابل جبران سازی است.

بر خود لازم می‌دانم از زحمات دانشجویان گرامی که طی شانزده سال در این زمینه تحقیقاتی تلاش نموده‌اند، کمال تشکر را دارم. بخصوص آقایان و خانم‌ها: دکتر بهادری، مهندس هاشمی پور، مهندس مهرنژاد، مهندس رنجبر، دکتر منبری، مهندس رئوف، مهندس سعادت، مهندس فرزندگان، مهندس ناصری، دکتر نوذری، مهندس لشکری، مهندس خسروی، مهندس غلامی، مهندس بویر، مهندس حاصلی، مهندس طاهری، مهندس نیافر، دکتر ادیب‌زاده، دکتر طاووسی، مهندس اصلی، مهندس هواخواه، مهندس محمد شریفی و زحمات همکار عزیز و گرانقدرم شادروان جناب آقای دکتر سعیدخانی و کلیه عزیزانی که در این زمینه تحقیقاتی تلاش‌های فراوان کردند، صمیمانه قدردانی می‌نمایم.