

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

دوره ترمین

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

دوره ترمین

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

دوره ترمین

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترنند های جستجو

مروری بر انواع روش‌های طراحی و کنترل موتورهای پله‌ای

محمد مهدی مرزبان

وزارت نیرو- شرکت مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)
Mohammad9169@yahoo.com

چکیده

موتورهای پله‌ای دسته‌ای از ماشینهای الکتریکی هستند که اطلاعات دیجیتالی را به حرکت مکانیکی تبدیل می‌کنند. اگر چه موتورهای پله‌ای سالهای قبل از ۱۹۲۰ میلادی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند، ولی با ظهور کامپیوترهای دیجیتال، استفاده از این موتورها رشد بسیار سریعی پیدا کرد. هنگامی که یک خروجی منطقی ظاهر می‌شود، رتور در موقعیت زاویه‌ای از پیش تعیین شده‌ای قرار می‌گیرد. این نوع موتورها در محرک کاغذ دستگاههای چاپگر و یا دیگر وسایل جانبی کامپیوتر مانند تعیین موقعیت هد بر روی دیسک مغناطیسی به کار می‌روند. در مواقعی که تغییر از یک وضعیت ثابت به موقعیت ثابت دیگری مورد نیاز باشد (چه در کاربردهای صنعتی، نظامی یا پزشکی) از موتورهای پله‌ای استفاده می‌شود که در این مقاله به بررسی انواع روش‌های طراحی و کنترل این موتورها پرداخته می‌شود.

واژگان کلیدی: موتورهای پله‌ای، موقعیت زاویه‌ای رتور، طراحی و کنترل موتورهای پله‌ای.

۱- مقدمه

استپ موتور یا استپر موتور یا موتور پله ای نوعی موتور الکتریکی همچون موتورهای DC است که حرکت دورانی تولید می کند. با این تفاوت که استپر موتورها دارای حرکتی دقیق، از پیش تعریف شده و حساب شده تری هستند. در واقع یک موتور پله ای ترکیبی از یک موتور الکتریکی DC و یک سلونویید است. این موتورها که جز گروه سیستم های محرکه بدون جاروبک و سنکرون هستند که با داشتن قطبهای دندانه ای در روتور خود در هر گردش کامل، استپ ها یا پله هائی را با زاویه مشخص طی می کند. به عبارت دیگر یک استپ موتور وسیله ای الکتریکی است که چرخش زاویه ای گسسته یا پله ای دارد و با اتصال به پالس هایی در فرکانس های خاص کار می کند. هر پالس فرستاده شده به موتور سبب حرکت محور موتور تا زاویه ای معین می شود که این زاویه، زاویه استپینگ یا زاویه گام نامیده می شود. این موتورها به صورت درجه ای دوران می کنند و با درجه های مختلف در بازار موجود هستند و در ادامه به بررسی انواع روش های طراحی و کنترل موتورهای پله ای پرداخته می شود.

۲- بررسی انواع روش های طراحی و کنترل در موتورهای پله ای

به منظور دستیابی به اهداف ذکر شده، روش های مختلف می تواند به کار گرفته شود.

۲-۱- طراحی، ساخت و ارزیابی براساس محرک پیچشی پیزوالکتریک

در این مرجع، به موتورهای پله ای پیزوالکتریک که به تازگی ایجاد شده اند و حرکت پله ای دقیق این موتور با استفاده از یک محرک پیچشی پیزوالکتریک و یک جفت کلاچ استوانه ای یکطرفه تولید و می پردازد. محرک پیچشی شامل بخش های پیزوالکتریک می باشد که حرکت زاویه ای مرتبط با حالت برشی سرامیک های پیزوالکتریک d15 را تولید می نماید. یک جفت کلاچ استوانه ای یک طرفه، حرکت زاویه ای محرک پیچشی را با یک درایو شفت به چرخش پله ای مستمر تبدیل می کنند. از آنجائیکه محرک پیچشی پیزوالکتریک همانند منبع تغذیه در فرکانس بالا کار می کند، یک حرکت پله ای دقیق می تواند بدون هرگونه مکانیزم تبدیلی از چرخش پله ای، تولید شود. در این مرجع، دو نوع از موتورهای پله ای پیچشی، طراحی و ساخته شده اند.

- نمونه ای اولیه ی شماره ی ۱ که دارای قطر خارجی ۱۶٫۴ میلی متر با شش بخش PZT می باشد، نشان داده است که دارای سرعت چرخشی و گشتاور بلاکینگ به ترتیب برابر با ۶۰ دور بر دقیقه و ۱٫۶ mN.m در فرکانس ۷۱۳۰ هرتز است. با اتصال میله ی پیچشی به نمونه ای اولیه ی شماره ی ۱، سرعت چرخشی تا مقدار ۳۵۰ دور بر دقیقه با حداکثر گشتاور ۰٫۱۹ mN.m، افزایش یافت.

نمونه ای اولیه ی شماره ی ۲ که شامل ۱۶ صفحه ی PZT به منظور ایجاد یک محرک لوله ای چندضلعی با قطر خارجی ۲۲٫۵ میلی متر می باشد، به ترتیب دارای سرعت چرخشی و گشتاور برابر با ۷۲ دور بر دقیقه و ۳٫۱۳۶ mN.m در فرکانس ۳۵۴۰ هرتز بوده است و سیگنال تحریک آن برابر با ۱۰۰ ولت بر میلی متر مربع بوده است. از آنجائیکه این نوع موتور پله ای دارای ویژگی هایی از قبیل درایو فاز ساده، دقت بالا و ساختار ساده می باشد، در کاربردهای رباتی، فضایی و نظامی، مفید است. قرار گیرد [۱].

۲-۲- طراحی بر اساس گذرگاه CAN

در این مرجع، سیستم کنترل استپر موتور برای استفاده در آنالیزگر انعقاد خون طراحی می کند که عمدتاً شامل طراحی سخت افزار گره ها در ماشین فرمانبر، برنامه ی ارتباط و برنامه ی کنترل موتور و نرم افزار در ماشین میزبان است. این سیستم از

ترکیب میکروکنترلر MC9S12XS128 با گذرگاه CAN^۱ به عنوان کنترل اصلی و SLA7078MR به عنوان هدایتگر تراشه های استپر موتور برای بدست آوردن ارتباط بین ماشین میزبان و ماشین فرمانبر استفاده می کند. در این مرجع، طراحی ساختار سه لایه، کنترل گر شبکه و کنترل استپر را ترکیب می کند، که جواب قابل اعتمادی برای سیستم استپر موتور که نیاز به مقدار زیادی پردازش داده دارد را فراهم می کند. تکنولوژی همجوشی گذرگاه CAN و میکروکنترلر را می توان در دیگر زمینه های کنترل صنعتی دیگر اعمال کرد و در زمینه کنترل صنعتی در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. آزمایش عملکرد مداوم ثابت می کند که سیستم پایدار است و عملکرد بدون توقف خوب و قابل اعتمادی دارد. در فرآیند ساخت آنالیزگر انعقاد خون، سیستم استپر موتور، نیازهای ضروری را برآورده می کند. نتایج آزمایشات نشان می دهد که سیستم به صورت پایدار اجرا می شود و از نظر عملکرد بدون توقف قابل اعتماد است [۲].

۲-۳ - طراحی الگوریتم کنترل تطبیقی برای اشاره گر

در این مرجع، الگوریتم کنترل تطبیقی برای یک اشاره گر موتور استپر داشبورد خودرو که به منظور حرکت یک اشاره گر برای نشان دادن مقادیر مختلف سرعت استفاده می شود، طراحی شده است. یک جدول کنترل زیربخش برای تغییرات سینوسی جریان سیم پیچ موتور استپر براساس کوچکترین بار زیربخش برای برنامه های کاربردی داشبورد خودرو، طراحی شده است. یک کنترل زیربخش از موتور استپر از طریق تنظیم گام شاخص جدول کنترل، حاصل می شود. در کنترل زمان بندی اشاره گر، به منظور دستیابی به کنترل بازه ی زمانی اشاره گر، سیکل زمان بندی به صورت بازه ی زمانی با طول متغیر تقسیم بندی می شود. چهار مرحله برای مسیر دوران یا چرخش اشاره گر در یک سیکل زمان بندی، طراحی شده اند: شروع سریع، چرخش یکنواخت، توقف آهسته، حذف اینرسی. از طریق طراحی کنترل سرعت دورانی، شروع و توقف متعادل اشاره گر داشبورد خودرو در طول مدت بروز شدن موقعیت اشاره گر، گام تنظیم جریان سیم پیچ، طول چرخه ی زمان بندی، شروع سریع، توقف آهسته و زمان پایان حذف اینرسی، حاصل می شوند. پاسخ سریع نسبت به تغییرات سریع اطلاعات و همچنین، عکس العمل های متعادل نسبت به تغییرات آهسته ی اطلاعات، حاصل می شوند. درایور (محرک) می تواند به سرعت شروع به حرکت نماید و به آرامی متوقف شود و همچنین در سرعت پایین، نوسان نمی کند. الگوریتم ارائه شده به صورت عملی در یک داشبورد مربوط به یک خودروی برقی اعمال شده است. از این طریق، پاسخگویی سریعی نسبت به تغییرات سریع اطلاعات و همچنین عکس العمل های متعادلی نسبت به تغییرات آهسته ی اطلاعات، حاصل شده است [۳].

۲-۴ - طراحی کنترل کننده حالت لغزشی برای عملکرد بالای موتور پله ای مغناطیس دائم

در این مقاله، هدف دستیابی به طرح مدلسازی و کنترل ساده اما کارآمد برای یک موتور پله ای مغناطیس دائم است که در آن، قانون کنترل بر مبنای حالت لغزشی توسعه می یابد و استحکام در مقابل عدم قطعیت ها، تغییرات پارامتر و اغتشاشات را جهت تعقیب دقیق مسیر موقعیت و جریان موتور فراهم می کند. تحلیل پایداری، پایداری مجانبی مبدأ در زمان محدود را تضمین می کند. تحت اختلال کران دار و یک چند راهی کلیدزنی که تعقیب مسیر را ایجاد می کند، یک الگوریتم کنترل برای تحریک سریع حالت ها در چند راهی حالت لغزشی پایدار و سپس محدود کردن آنها ارائه شده است. استفاده از قوانین حالت لغزشی مختلف، اثر کنترل کننده در بهبود عملکرد را نشان می دهد که این با تقریب قوانین به صورت پیوسته با استفاده از یک تابع پیوسته تکه ای و تنظیم صحیح پارامترهای طراحی، هموارتر و سریع تر نیز می شود. خطاهای تعقیب به تعادل پایدار یعنی مبدأ، پایدار سازی شده اند و عملکردهای بالا به این صورت بدست آمده اند [۴].

¹ Controller Area Network

۲-۵- طراحی سیستم کنترل برای ربات خود متعادل با دو چرخ

در این مرجع، سیستم کنترل کلی ربات خود متعادل با دو چرخ معمولاً ساختار پیچیده‌ای دارد که به خاطر تعداد بالای حسگرهای آن می‌باشد که قیمت بسیار بالایی دارند. بر اساس این شرط، یک سیستم کنترل با راه‌انداز موتور استپر ارائه شده است، که اجزای گران‌قیمت مانند کدگذار نوری و موتور DC بدون براش را حذف می‌کند بنابراین، ربات متعلق به سیستم کنترلی تعادلی است. حالت استاتیک ربات غیرپایدار است، چرا که مرکز جاذبه سیستم بالاتر از fulcrum می‌باشد. سیستم دینامیک زاویه‌ای در جهت عمودی برای کنترل شیء می‌گیرد، و زاویه را در طیف کوچکی نزدیک تعادل کنترل می‌کند. در حقیقت، این سیستم تحت کنترل میکروکنترلر STM32 و از طریق تحلیل افزایش زاویه و سرعت زاویه‌ای بلادرنگ و کنترل زاویه آفست در جهت عمودی در گستره مجاز درک می‌شود تا ربات بتواند به طور خودکار تعادل را حفظ کند. از نقطه نظر حسگر، حسگرهای خروجی دیجیتال با برنامه تبدیل AD توزیع می‌شوند، اما تقاضای بیشتری برای پردازش داده دارند. از نقطه نظر انتخاب موتور، موتور استپر برای پایداری مناسب نیست که به خاطر اغتشاش بالای آن می‌باشد. از نقطه نظر طراحی برای کنترل تبدیل فرکانس، کنترل PD می‌تواند نیازهای سیستم را برآورده کند. اما به خاطر این که بنده ربات می‌تواند جلو و عقب برود، باید تصمیم بگیریم که آیا ضریب تفاضلی باید مثبت باشد یا منفی. با انتخاب موتور استپر به عنوان راه‌انداز، کدگذار فوتوالکتریک را می‌توان حذف کرد. با کنترل PD که فرکانس پالس خروجی را تنظیم می‌کند، کنترل تعادل دینامیکی ربات با دو چرخ را می‌توان انجام داد تا هزینه ایجاد را به حداقل رساند. این مقاله از روش کنترل فرکانس معکوس PD از طریق تایمر STM32 برای تولید سیگنال PWM جهت تنظیم سرعت استپرها با در نظر گرفتن ویژگی‌های استپر استفاده می‌کند. با افزایش زاویه شکل گرفته توسط فیلتر کالمن در سیگنال خروجی شتاب سنج و ژيروسکوپ به عنوان فیدبک، کنترل حلقه بسته خود متعادل ربات با دو چرخ محقق شده است. مشخص است که این یک روش کنترلی ساده و کارآمد است [۵].

۲-۶- کنترل حلقه باز استپر موتور ترکیبی با دو فاز با استفاده از ولتاژ برای مبدل فرکانس

در این مرجع، کنترل HSM^۲ با توالی مرحله کامل با استفاده از منطق ترکیبی را ارائه داده است. همچنین می‌تواند توسط نیم‌گام و یک-فاز-دو-فاز-یک-فاز-روشن مورد استفاده قرار گیرد و کنترل نماید. با استفاده از مدل مذکور می‌توان فرمان حداکثر فرکانس را می‌توان به شکل آزمایشگاهی در حالت پایدار HSM تایید کرد. به علاوه، می‌تواند برای هر گام، تنوع جریان، سرعت و گشتاور را نشان دهد. سیستم پیشنهادی به سادگی قابل استفاده است و هزینه اجرای کمی دارد. می‌توان از آن برای یادگیری و فهمیدن عملیات استپر موتور ترکیبی توسط دانش‌آموزان استفاده کرد.

عملیات استپر موتور ترکیبی در این حالت، نقاط ضعف زیر را دارد:

- گشتاور ایجاد شده توسط موتور موج نشان می‌دهد.
- سرعت موتور نوسانات شدید دارد.
- مرحله موتور به خوبی مستهلک نمی‌شود.

² Hardware Securty Modoule

این سیستم را می‌توان در حلقه‌ی بسته به کار برد، در این حالت کنترل ولتاژ توسط یک کنترلر انجام می‌شود [۶].

۲-۷- کنترل سطح توان MHTGR با میله‌های رانده شده به وسیله استپر موتور

به علت ایمنی ذاتی، MHTGR^۳ آینده‌ی درخشانی در ساخت نسل بعدی نیروگاه‌های اتمی دارد. کنترل سطح توان یکی از تکنیک‌های کلیدی است که عملکرد کارآمد و پایدار و ایمنی برای MHTGR ها فراهم می‌کند. از آنجاکه هر MHTGR یک سیستم غیرخطی پیچیده است و از آنجاکه دینامیک سیستم کنترل رانش میله‌ها می‌تواند به شدت عملکرد نظارت را تحت تأثیر قرار دهد، لازم است که کنترلرهای سطح توان غیرخطی برای MHTGR ها با در نظر گرفتن دینامیک محرک ایجاد شود. از آنجاکه رادهای کنترل MHTGR ها در نیروگاه HTRPM به وسیله استپر موتورهای رانده می‌شوند، یک قانون کنترل سطح توان غیرخطی جدید با در نظر گرفتن دینامیک MHTGR و استپر موتور به عنوان یک سیستم کلی پیشنهاد شده است. این کنترلر جدیداً ساخته شده می‌تواند پایداری حلقه بسته مجانب عمومی را با ایجاد ولتاژهای استاتور موتور مناسب تضمین کند. صرفه اقتصادی این استراتژی کنترلی جدید به وسیله مدل سازی عددی کنترل می‌شود که به صورت واضحی نشان می‌دهد که پاسخ گرمایی- هیدرولیکی راکتور بهتر است اگر ثابت مثبت qR بزرگ‌تر باشد. این قانون کنترل می‌تواند به راحتی در آن پلاتفورم‌های سیستم کنترل دیجیتال برای عملکرد نرمال توان در نیروگاه هسته‌ای مبتنی بر MHTGR مورد استفاده قرار گیرد. از آنجاکه هم در پارامترهای MHTGR و هم در استپر موتور عدم اطمینان وجود دارد، یکی از کارهای آینده می‌تواند توسعه کنترل‌های تطبیقی باشد. نتایج شبیه سازی عددی نه تنها مقرون به صرفه بودن این کنترلر جدید را نشان می‌دهد، بلکه رابطه بین عملکرد و پارامترهای آن را هم نمایش می‌دهد [۷].

۲-۸- کنترل حالت لغزشی بر اساس تئوری اختلال منحصر به فرد برای ردیابی موقعیت پله‌ای موتورهای

مغناطیسی دائم

در این مرجع، کنترل حالت لغزشی بر اساس تئوری اختلال تکین برای ردیابی موقعیت استپر موتورهای مغناطیسی دائم را ارائه می‌دهد. مقیاس زمان مجزا یکی از ویژگی‌های روش اختلال منحصر به فرد است. پس تئوری اختلال منحصر به فرد را می‌توان برای کنترل ردیابی موقعیت موتورهای مغناطیسی دائم بکار برد چون دینامیک موتورهای مغناطیسی دائم به دینامیک آهسته و سریع، تفکیک می‌شود. روش پیشنهادی شامل تنظیم گشتاور، کموتاسیون، و کنترل حالت لغزشی می‌باشد. تنظیم گشتاور برای تولید جریان‌های مطلوب ایجاد شده است. برای کنترل موقعیت، تنها یک بازخورد موقعیت کنترل حالت لغزشی بدون هیچ ناظر دیگری پیشنهاد شده است. اگرچه میزان کمی تکان شدید در واکنش گذرا بوجود آمد، می‌توان واکنش بهتر حالت پایدار را مشاهده کرد [۸].

³ Modular high temperature gas-cooled reactor

۹-۲ - درایو موتور پله ای برای ماشین های کنترل عددی کامپیوتری

در این مرجع، درایو موتور پله ای حلقه باز را با پارامترهای قابل کنترل مانند طرح درایو و جریان نامی ارائه می کند. سیستم توسعه یافته بر مبنای میکروکنترلر، سوئیچ های یکپارچه و ادوات الکترونیک آنالوگ گسسته می باشد که هدف آن کاهش هزینه کلی است. بلوک های ساختمانی به کار رفته در سیستم به اختصار ارائه شده و به چند بخش تقسیم شده اند: الکترونیک دیجیتال و الکترونیک آنالوگ و الکترونیک قدرت. نتایج تجربی سیستم گردآوری شده، رفتار خوب تنظیم جریان برای طرح های درایو مختلف مانند نیم پله و پله ریز 1/4 را نشان می دهند. سیستم طراحی شده، بر مبنای ادوات کم هزینه می باشد و طبق انتظار عمل کرده و پارامترهای عملکرد آن در محدوده مورد توقع هستند. نتایج تجربی بدست آمده از سیستم توسعه یافته ارائه شده اند. همان طور که توسط نمودارهای شکل موج جریان اندازه گیری شده مشخص شده است، سیستم توسعه یافته می تواند جریان بار را طبق طرح های درایو انتخاب شده تنظیم کند. پارامترهای عملکرد نتایج تجربی، قابل قبول و در محدوده مورد انتظار بودند. سیستم ارائه شده بخشی از سیستم مسیریابی CNC است [۹].

۱۰-۲ - سیستم کنترل برای موتور پله ای سه محوره بر مبنای FPGA

در این مرجع، کنترل موتور پله ای سه محوره مبتنی بر FPGA^۴، برای انجام کنترل چند رشته ای موتور پله ای مستقیماً از FPGA استفاده می کند که جایگزین کنترل نرم افزاری CPU سنتی می شود. این سیستم FPGA در مقایسه با سیستم کنترل MCU^۵ سنتی، دارای قابلیت اطمینان خوبی است و برای کاربرد در محل هایی که نیاز به زمان واقعی دارند، مناسب تر است. سیستم کنترل کامل از یک صفحه کلید خارجی برای کنترل راه اندازی، توقف، سرعت متوسط، افزایش سرعت، کاهش سرعت موتور پله ای استفاده کرده، تشخیص سرعت موتور از طریق کدکننده گردان را محقق می کند و سیگنال پردازش شده به عنوان حالت سرعت گردش موتور از طریق رابط VGA بر روی صفحه LCD نشان داده می شود. هسته این سیستم، فن آوری الحاق صحنه سیستم دیجیتال متشکل از ابزار FPGA + Verilog HDL + EDA^۶ است. بخش برنامه نویسی، برای دستیابی به نیازهای برنامه پوششگر صفحه کلید، برنامه آماده سازی واحد LCD، برنامه کنترل موتور، برنامه سرعت و غیره، از زبان توصیف سخت افزاری Verilog HDL توسط طراحی پیمانانه ای استفاده می کند که مقیاس پذیری عملکرد سیستم را افزایش می دهد. مزیت اصلی این است که رقابتی بودن در کیفیت محصول و بازار را بهبود می بخشد. به علاوه، فضای در حال توسعه آن، بسیار گسترده است. در کارهای آینده، به منظور کاهش مصرف واحدهای منطقی، توجه زیادی به الگوریتم محاسبه معطوف خواهد شد. سیستم نظارت جایجایی موتور پله ای قابل طراحی است که دقت سیستم کنترل را افزایش خواهد داد [۱۰].

^۴ Field Programmable Gate Array

^۵ Multipoint Control Unit

^۶ Electronic Design Automation

نتیجه‌گیری

در این مقاله آشنایی کاملی با انواع روش‌های طراحی و کنترل موتورهای پله‌ای صورت گرفت. ویژگی‌های منحصر به فرد هر یک از روش‌های طراحی و کنترل از این موتورها مورد بررسی قرار گرفت. سپس انواع طراحی و کنترل براساس محرک پیچشی پیزوالکتریک، بر اساس گذرگاه CAN، الگوریتم کنترل تطبیقی برای اشاره‌گر، طراحی کنترل کننده حالت لغزشی برای عملکرد بالای موتور پله ای مغناطیس دائم، طراحی سیستم کنترل برای ربات خود متعادل با دو چرخ، کنترل حلقه باز استپر موتور ترکیبی با دو فاز با استفاده از ولتاژ برای مبدل فرکانس، کنترل سطح توان MHTGR با میله‌های رانده شده به وسیله استپر موتور، کنترل حالت لغزشی بر اساس تئوری اختلال منحصر به فرد برای ردیابی موقعیت پله‌ای موتورهای مغناطیسی دائم، درایو موتور پله ای برای ماشین های کنترل عددی کامپیوتری، سیستم کنترل برای موتور پله ای سه محوره بر مبنای FPGA مورد بررسی قرار گرفته شده است.

منابع

- [1] Byung-Woo Kang, Jaehwan Kim, "Design, Fabrication, and Evaluation of Stepper Motors Based on the Piezoelectric Torsional Actuator", *IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS*, Vol. 18, No. 6, DECEMBER 2013.
- [2] Hao Chen, Zhengang Duan*, Xiaoqin Lian, Xiaoli Zhang, "The design of stepper motor system based on CAN BUS", *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2012 2nd International Conference on*, April 2012.
- [3] Ma Jian-Hui, Li Yan-qiang, Wang Gang, Liu Yuan-Yang, "Design of Adaptive Control Algorithm for Automotive Dashboard Stepper Motor Pointer", *International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Luoyang, China*, September 2013.
- [4] Abhinav Sinhat, Rajiv Kumar Mishra, Tirtha Majumder, "Sliding mode controller controller for high performance of permanent magnet stepper motor", *Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), 2015 International Conference on*, 19-20 March 2015.
- [5] Rui Zhang¹, Gang Xiong^{2,3}, Changjian Cheng¹, Xiuqin Shang^{2,3}, Yonghong Ma⁴, Zichen Lu⁴, "Control System Design for Two-Wheel Self-Balanced Robot Based on the Stepper Motor", *Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), 2013 IEEE International Conference on*, 28-30 July 2013.
- [6] George Mihalache, Andreea Zbant (Adam), Gheorghe Livint, "Open-Loop Control of Hybrid Stepper Motor with Two Phases Using Voltage to Frequency Converter", *THE 8th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING, Bucharest, Romania*, May 23-25, 2013.
- [7] Zhe Dong, "Power-Level Control of the MHTGRs with Control Rods Driven by Stepper Motors", *Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation Shenyang, China*, June 29 - July 4 2014.
- [8] Seungchul Shin¹, Donghoon Shin¹, Youngwoo Lee¹ and Chung Choo Chung, "Sliding mode control based on singular perturbation theory for position tracking of permanent magnet stepper motors", *2013 13th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2013) in Kimdaejung Convention Center, Gwangju, Korea*, Oct. 20-23, 2013.
- [9] Paulo Augusto Sherring da Rocha Junior, Maria Emilia de Lima Tostes, "Stepper Motor Drive for Computer Numerical Control Machines", *Power Electronics Conference in Brazilian*, 2013.
- [10] Juan Yu, Hongmei Kang, Yuansheng Wang, Guiying Lu, "A Control System of Three-axis Stepper Motor Based on the FPGA", *2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC) in Shenyang, China*, Dec 20-22, 2013.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

توجه: بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

PROPOSAL
پروپوزال

توجه: پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

ISI
Scopus

توجه: آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو