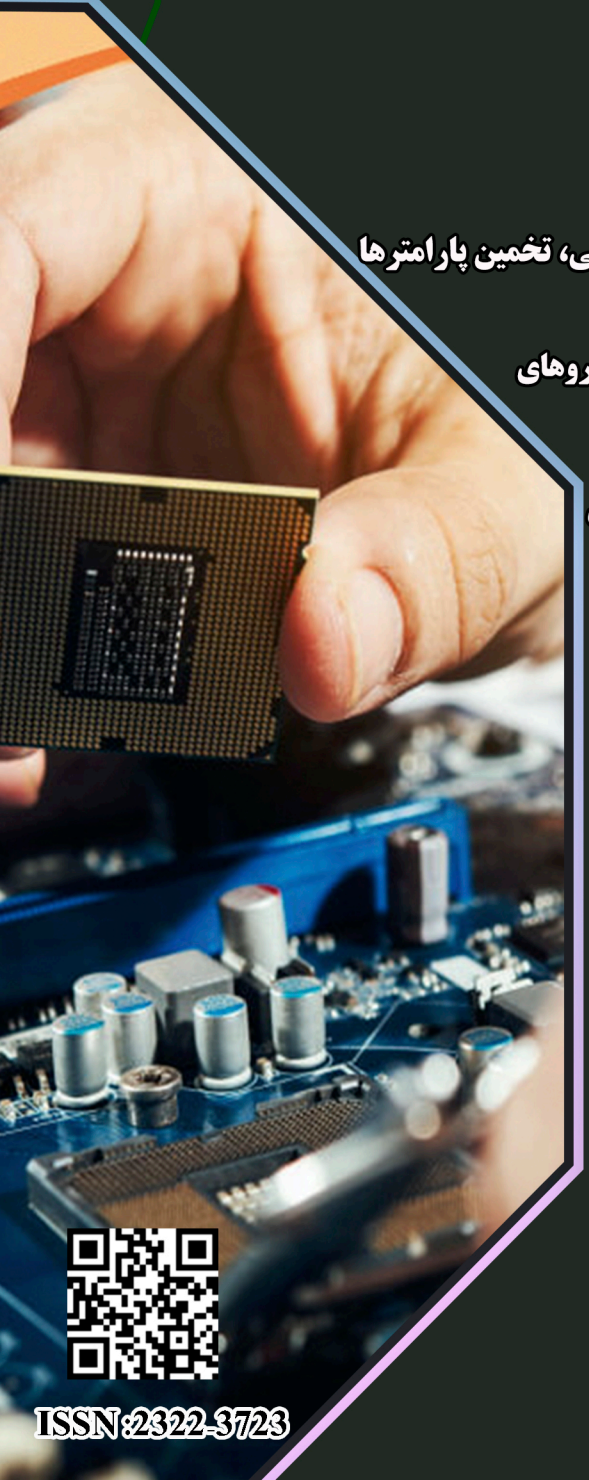
بهار ۱۴۰۳
سال سیزدهم
کهربا
شماره چهل و سوم

فصلنامه تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر

Journal of Electrical and Computer Engineering

شماره مجوز وزارت فرهنگ و ارشاداسلامی ۷۷۸۲۱



۱–درایو موتور القایی سه فاز: مروری سیستماتیک در مورد مدل‌سازی دینامیکی، تخمین پارامترها و طرح‌های کنترل

۲–بررسی تفاوت‌های سیستم فنربندی و آیرودینامیک خودروهای فرمول یک با خودروهای هیبریدی و مدل‌سازی یک سیستم تعلیق بهبود یافته در نرم‌افزار Matlab

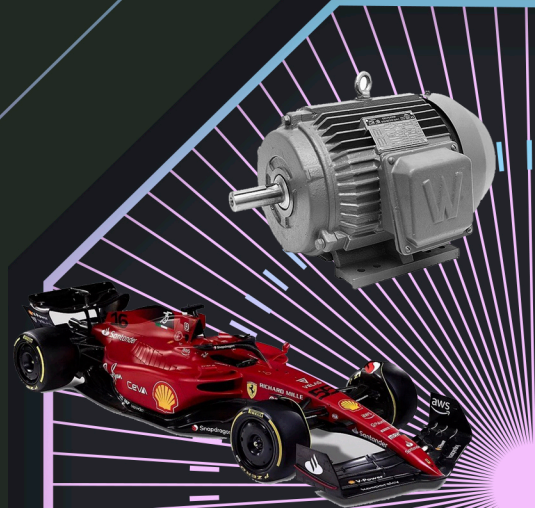
۳– بررسی و تحلیل عملکرد بهینه و مطلوب یک سیستم فتوولتائیک با بهره بردن از ویژگی ردیابی نقطه حداکثر توان

۴– تحلیل مونت کارلو و بررسی نمودار چشمی CNT Interconnects

۵–بررسی نرم افزار شبیه سازی WITNESS

۶–مزایا وچالش های انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان

۷– آشنایی با دکتر غلامحسین روئین تن



ISSN :2322-3723

kahrobaonline.ir

صاحب‌امتیاز

نواندیشان

مدیرمسئول

مهدی عارف خیابانی

سردبیر

امین شیخ نجدی

هیئت تحریریه

دکتر جواد شکرالهی مغانی-دکترای برق قدرت-دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

دکتر امیرحسین رحمانی – دکترای برق قدرت- استاددانشگاه‌های جندی شاپور دزفول و آزاد اسلامی‌واحد درفول

دکتر ملیحه نیک سیرت- دکترای علوم کامپیوتر- استادیار دانشگاه صنعتی بیرجند

دکتر محمد دوستی زاده- دکترای برق، قدرت- استاد دانشگاه آزاد اسلامی‌خرم آباد

دکتر موسی مجرد- دکترای کامپیوتر-نرم افزار – هیئت علمی‌دانشگاه فیروزآباد، رئیس دانشگاه آزاد اسلامی‌فراشبند

دکتر حامد سقایی- دکترای برق الکترونیک- دانشیار دانشگاه آزاداسلامی شهرکرد ، استادیار دانشگاه اهواز

دکتر آزاد رحیمی- دکترای برق قدرت- هیئت علمی(مربی) و مدیرگروه دانشگاه فنی و حرفه‌ای سنندج

مهندس امین شیخ نجدی-کارشناس ارشد برق الکترونیک-استادیار مدعو دانشگاه جندی شاپور دزفول و آزاداسلامی واحد دزفول،شهدای اهواز

مهندس محمدحسین دوست محمدی- کارشناسی ارشد برق الکترونیک – هیئت علمی(مربی) دانشگاه صنعتی همدان

درباره کهربا ۳

یادداشت مدیرمسئول ۴

آشنایی با مشاهیر

آشنایی با دکتر غلامحسین روئین تن ۶

مقالات

درایو موتور القایی سه فاز: مروری سیستماتیک در مورد مدل‌سازی دینامیکی، تخمین پارامترها و طرح‌های کنترل ۸

فرزاد ابراهیم آبادی ، مهندس ناظر مهندسی فارس ، ایران

مزایا وچالش های انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان ۱۹

احمد هاشمی چلاوی،کارشناسی ارشد برق قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان

بررسی تفاوت‌های سیستم فنربندی و آیرودینامیک خودروهای فرمول یک با خودروهای هیبریدی و مدل‌سازی یک سیستم تعلیق بهبود یافته در نرم‌افزار MATLAB ۲۶

علیرضا محمودی فرد،کارشناسی ارشد برق،دانشگاه شاهد تهران،ایران

بررسی و تحلیل عملکرد بهینه و مطلوب یک سیستم فتوولتائیک با بهره بردن از ویژگی ردیابی نقطه حداکثر توان ۴۳

امیر شاطری، کارشناسی پیوسته مهندسی برق موسسه آموزش عالی آپادانا شیراز؛ ایران

تحلیل مونت کارلو و بررسی نمودار چشمی CNT Interconnects ۵۸

هادی صمدی،کارشناسی ارشد برق ،دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی،تهران،ایران

فرامرز آقائی لیاولی،گروه برق شرکت هل ، شهر صنعتی البرز،قزوین،ایران

بررسی نرم افزار شبیه سازی WITNESS ۶۲

شهرام محمدی ، مربی گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه ای دختران ، اصفهان ، ایران

ارتباط با کهربا ۷۷
English Abstracts ۷۸

درباره کهربا

مجله الکترونیکی کهربا، با همت و تلاش جمعی از دانشجویان و مهندسین برق، بخصوص اعضای انجمن علمیو پژوهشی نواندیشان، در سال هزار و سیصد و نود شروع به کارکرد. کهربا از سال ۹۱ با کسب شماره بین‌المللی استاندارد مجلات (ISSN:۲۳۲۲-۳۷۲۳) و ثبت در سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران، به‌عنوان فصلنامه‌ای رسمیو تخصصی در حوزه صنعت برق شناخته‌شده است. این نشریه تخصصی در سال ۹۵ موفق به اخذ پروانه انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، با مجوز شماره ۷۷۸۲۱ و ثبت در سامانه جامع رسانه‌های کشور(e-rasaneh) و بانک اطلاعات نشریات کشور(magiran) گردید. در سال ۹۷ طی تفاهم‌نامه‌ای با بانک مقالات کشور (سیویلیکا) مورد حمایت این پایگاه قرارگرفته و مقالات ارائه‌شده به نشریه پس از انتشار در سیویلیکا نمایه شده و در نظام رتبه‌بندی دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.در سال ۱۴۰۳ موفق به کسب امتیاز لازم جهت نمایه سازی نشریات موسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام (ISC) گردید.

یادداشت مدیرمسئول

در سیزدهمین بهار از فعالیت نشریه کهربا و پس از انتشار چهل و دو شماره از مجله مفتخریم با انتشار چهل و سومین شماره از این نشریه در خدمت علاقه‌مندان این مجله تخصصی باشیم. تلاش ما از روز نخست، جمع‌آوری، تهیه و ارائه مطالبی ساده و کاربردی، درعین‌حال تخصصی، به قشر فرهیخته دانش‌پژوه و کسانی که مشتاق به دانستن علوم مهندسی برق و الکترونیک یا کامپیوتر هستند، بوده است. امید است با هدایت و راهنمایی شما هر شماره بهتر و پخته‌تر از شماره پیشین گردد. امید است که باهمت و همیاری دوستان بتوانیم قدمی‌هرچند کوچک، جهت جلب رضایت و بالا بردن سطح دانش شما برداریم؛ و روزبه‌روز شاهد پیشرفت و موفقیت‌های شما عزیزان باشیم.

آشنایی با دکتر غلامحسین روئین تن



غلامحسین روئین‌تن لاهیجی متولد ۱۳۲۷ هـــش دارای دکترای رشته مهندسی برق از دانشگاه میشیگان، آمریکا، در سال ۱۳۶۰ است.و عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت با درجه استادی می باشد.گروه : فنی و مهندسیرشته : مهندسی برقتحصیلات رسمی و حرفه ای : مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران- کارشناسی مهندسی برق، دانشگاه میشیگان، آمریکا - کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشـگاه میشـیگان، آمریکا، ۱۳۶۰- دکترا: غلامحسـین روئین‌تن لاهیجی پس از اخذ مدرک دکتری در رشـته مهندسـی برق به عضویت هیئت علمی گروه مهندسی برق در دانشکده فنی و مهندسی در دانشگاه علم و صنعت درآمد. وی هم اکنون با سمت دانشیار در آنجا مشغول به خدمت است.

مشاغل و سمتهای مورد تصدی : غلامحسین روئین‌تن لاهیجی عضو هیئت علمی و استاد گروه مهندسی برق دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه علم و صنعت است.

فعالیتهای آموزشی : سوابق تدریس غلامحسین روئین‌تن لاهیجی به قرار زیر است: طراحی مدارات مجتمع آنالوگ طراحی مدارات مجتمع دیجیتال طراحی مدارت مجتمع آنالوگ CMOS فیزیک نیمه هادیهاآرا و گرایشـــهای خاص : مدارات الکترونیکی آنالوگ و دیجیتال طراحی و ساخت مدارات مجتمع سنسورهای نیمه هادی فیزیک الکترونیک

جوائز و نشانها : تشویق نامه بعنوان مدرس برجسته دانشگاه میشیگان، دانشگاه میشیگان، سال ۶۰ تقدیر نامه از دانشگاه علم و صنعت ایران بعنوان محقق نمونه، دانشگاه علم و صنعت ایران، سال ۱۳۶۴ برنده جایزه اول تحقیقات، جشنواره خوارزمی، سال ۱۳۶۹ برنده جایزه اول ابتکار، جشنواره خوارزمی، سال ۱۳۷۰ استاد نمونه، دانشگاه علم و صنعت ایران، سال ۱۳۷۵ مترجم برجسته کتاب سال، دانشگاه تهران، سال ۱۳۷۷ چگونگی عرضه آثار :

فعالیتهای صنعتی: طراحی کارت اعتباری بویژه کارت تلفن، مرکز تحقیقات و تولید نیمه هادی، سال ۱۳۶۵ طراحی و ساخت حسگر فشـار نیمه هادی، وزارت نیرو، سـال ۱۳۶۷ طراحی و سـاخت سـیسـتم های الکترونیکی، معاونت جهاد خودکفائی نیروی هوائی، سـال ۱۳۶۸ طراحی و ساخت سیستم DLTS در دانشگاه علم و صنعت ایران، معاونت پژوهشی دانشگاه علم و صنعت ایران، سال ۱۳۶۹

طرحهای پژوهشی دانشگاهی: طراحی یک پردازشـگر سـیگنال مجتمع، از سـال ۱۳۷۸ عنوان پایان نامه های کارشـناسـی ارشـد راهنمایی شده توسط ایشان: طراحی مدار مبدل آنالوگ به دیجیتال، سال ۱۳۶۵ مدلسازی اتصال PN ، سال ۱۳۶۶ طیف نگاری حالت گذرای ترازهای عمیق محاسبات فیزیکی و تولید سیگنالهای کنترلی، سال ۱۳۷۰ طراحی و ساخت یک سیستم کنترل الکترونیکی

کامپیوتری دمای DLTS ، سال ۱۳۷۰ طراحی و ساخت سیستم ظرفیت سنج سیستم DLTS ، سال ۱۳۷۰ شبیه سازی دو بعدی ادوات MOS در حالتSteady State ، سال ۱۳۷۱

آثار :

مقالات علمی " A monolithic thermopile detector fabricated using integrated circuit technology " ، در نشریهIEEE IEDM ، آمریکا، سال ۱۳۵۹ " A batch fabricated silicon thermopile infrared detector " ، در نشریه IEEE Transaction on Electronic Devices, V.ED.29, No.1, pp.14-22، آمریکا، ۱۳۶۱ "Deep state associated with stacking faults in silicon"، درIEEE Electronics Letters ، انگلستان، سال ۱۳۶۷ "Deep states associated with platinum decorated stacking faults in silicon"، در Int. Symp. on Struct. Prop. Disloc. semiconductor، انگلستان، سال ۶۸"Electronic behavior of decorated stacking faults in silicon" ، در Materials science and Eng. B4 Manchester، انگلستان، سال ۶۹ "تکمیل روابط تحلیلی برای آستانه نویز استاتیکی در سلول بار مقاومتی"، مجله بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران، سال ۷۰ " Minimization of base transmission time by optimizing the base profile"، مجله بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، ایران، سال ۷۲"A theoretical new structure for gm-Reduction" ، مجله بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، سال ۷۲ " استفاده از روش Simulated anealing در بازشناسی اجسام"، دومین کنفرانس مهندسی برق ایران، ایران، سال ۷۳ " طراحی یک سیستم تقویت کننده جدید با بکارگیری تقویت کننده های قفل شونده"، دومین کنفرانس مهندسی برق ایران، ایران، سال ۷۳"High-Speed current mode sense amplifier " ، در نشریهIEE, EL. Vol.30- No.17 ، انگلستان، سال ۷۳ "طراحی یک تقویت کننده عملیاتی ۱/۵ ولتی توان کم"، سومین کنفرانس مهندسی برق ایران، سال ۷۴ "بهینه سازی ناخالصی بیس جهت افزایش سرعت ترانزیستورهای دوقطبی"، سومین کنفرانس مهندسی برق ایران، سال ۷۴ " یک مقایسه گر جریان جدید برای استفاده در مبدلهای"A/D ، سومین کنفرانس مهندسی برق ایران، سال ۷۴

KNO-1101-4301

درایو موتور القایی سه فاز: مروری سیستماتیک در مورد مدل‌سازی دینامیکی، تخمین پارامترها و طرح‌های کنترل

نویسنده:فرزاد ابراهیم آبادی

مهندس ناظر نظام مهندسی فارس

ایمیل:samsimnegar5@yahoo.co

چکیده

موتور القایی معمولاً در کاربردهای صنعتی استفاده می شود زیرا قابل اعتماد، قوی و کم هزینه است. قابلیت اطمینان یکی از پارامترهای ضروری است که بر اساس آن موتور انتخاب می شود و موتور القایی در درجه اول وارد عمل می شود. موتور القایی مناسب نتایج خوبی را در حالت های مختلف عملیاتی به دست می دهد. برای دستیابی به این، مقادیر موتور در نظر گرفته می شود. شبیه سازی دینامیکی نقش مهمی در ارزیابی فرآیند طراحی مدل برای حذف خطاهای طراحی در انواع ساخت و ساز معمولی و هنگام آزمایش سیستم محرک موتور ایفا می کند. موتور القایی در یک قاب چرخشی همزمان روتور مدار شار، که به عنوان مرجع استفاده می‌شود، مدل‌سازی می‌شود. برای روش‌های کنترل برداری بدون حسگر و کنترل موتور القایی، دانش دقیق از چند پارامتر موتور القایی ضروری است. اگر داده های اصلی در موتور با مقادیر استفاده شده در کنترلر مطابقت نداشته باشد، نمایش درایو کاهش می یابد. مکانیسم های مختلفی برای محاسبه پارامترهای آنلاین و آفلاین ماشین القایی برای کاربرد آن در درایوهای با کارایی بالا توسعه داده شده است. مهمترین هدف این مقاله مروری ارائه مدل‌سازی دینامیکی و سایر روش‌های قابل توجه مورد استفاده برای تخمین پارامتر موتور القایی است. این مقاله همچنین نمونه‌های شبیه‌سازی مرتبط با مدل‌سازی دینامیکی و تکنیک‌های تخمین پارامتر را تشکیل می‌دهد که ممکن است برای متخصصان در زمینه سیستم‌های کنترل محرک الکتریکی مفید باشد.

کلیدواژه: موتور القایی تخمین پارامتر؛ مدل سازی پویا; مشاهده کننده؛ سیستم مرجع تطبیقی مدل (MRAS)؛ تکنیک هوشمندی مفید باشد. تخمین پارامتر؛ مدل سازی پویا; مشاهده کننده؛ سیستم مرجع تطبیقی مدل (MRAS)؛ تکنیک هوشمند

۱.مقدمه

متداول ترین نوع موتور مورد استفاده در صنایع، موتورهای القایی است که به دلیل قابلیت اطمینان، استحکام و هزینه پایین آن است. موتور DC در ابتدا مورد استفاده قرار گرفت، زیرا سرعت و گشتاور کنترل شده ای را ارائه می دهد. با این حال، به دلیل وجود یک کموتاتور، نیاز به نگهداری مداوم دارد. این مشکل با استفاده از یک موتور القایی با nocommutator برطرف شد. حذف کموتاتور در یک موتور القایی از نظر هزینه کمتر و کاربرد گسترده‌تری دارد. مشکل اصلی موتور القایی، کنترل سرعت آن است که سخت است. پیشرفت ها به زودی این مشکل را در مبدل های الکترونیکی قدرت برطرف کرد. اکنون برای کنترل سرعت موتور از اینورترها استفاده می شد. استفاده از یک اینورتر مشکل کنترل سرعت را برطرف کرد، که منجر به مشکل دیگری مربوط به پایداری در موتور القایی تغذیه شده با اینورتر شد. برای انجام تجزیه و تحلیل یک موتور ناهمزمان، موتورهای القایی در چارچوبی مدل‌سازی شدند که به طور همزمان

می‌چرخد و شار گرا است. . برای کنترل بردار بدون حسگر و طرح‌های کنترل موتور القایی، حداقل برای برخی از داده‌های یک موتور ناهمزمان، مهارت‌های عالی لازم است. بنابراین، برآورد پارامترها باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به استفاده گسترده از موتورهای القایی در بخش‌های مختلف صنعتی، شبیه‌سازی و مدل‌سازی دینامیکی موتورهای القایی هم برای مشاغل و هم برای دانشگاه‌ها حائز اهمیت است. تجزیه و تحلیل پویا و حالت پایدار یک موتور القایی چالش برانگیز است. مزیت مدل‌سازی دینامیکی این است که به درک رفتار موتور ناهمزمان در حالت پویا کمک می‌کند. معادلات مکانیکی مورد استفاده در مدلسازی دینامیکی شامل سرعت، گشتاور و زمان است. همچنین می‌توان از مدل‌سازی دینامیکی برای شبیه‌سازی ولتاژهای دیفرانسیل، پیوندهای شار و جریان‌های بین استاتور استاتیک و روتور دوار استفاده کرد. به طور معمول، یک اینورتر با سنسور سرعت یک موتور القایی را به حرکت در می آورد. با این حال، سنسور این سرعت پتانسیل کاهش قابلیت اطمینان سیستم و افزایش هزینه های سرمایه گذاری را دارد. اجرای آن نیز چالش برانگیز است. چندین مطالعه از موتورهای القایی با درایوهای بدون سنسور سرعت برای غلبه بر این چالش استفاده می کنند. برآوردگرهای سرعت مختلف در غیاب بازخورد در نظر گرفته شدند و عملکرد آنها در صورت وجود تغییر پارامتر داخلی و اختلالات بیرونی مقایسه شد. مشخص شد که مرحله‌بندی MRAS نسبت به تخمین‌گر سرعت متغیر برتری دارد. با این حال، این واقعیت که MRAS به یک مدل دقیق از سیستم درایو و اختلاف سرعت بین دو موتور نیاز دارد، بر اشکال آن افزوده است. اگر تغییرات سرعت قابل توجهی بین دو موتور وجود داشته باشد، سیستم نمی تواند به پایداری کامل برسد [۱،۲]. در پرتو این، یک دستگاه جدید بدون حسگر مبتنی بر یک ناظر تطبیقی و یک فناوری کنترل شده با جداسازی اصلاح شده ارائه شد. با این حال، به دلیل ناپایدار بودن تخمین سرعت در منطقه احیا کننده، این فناوری چندان کاربردی نبود.[3]

این تحقیق از ناظران مرتبه کاهش یافته برای تجزیه و تحلیل ارزیابی‌های سرعت و شار موتورهای ناهمزمان بدون سنسور استفاده می‌کند [۶-۴]. هیچ گزینه سودی وجود ندارد که ثبات را ارائه ندهد. این مطالعه همچنین برخی از ویژگی‌های ناظر مرتبه کاهش‌یافته اخیراً کشف شده را علاوه بر موارد فوق مورد بحث قرار می‌دهد. نویسندگان روی تکنیکی به نام کنترل برداری برای دو موتور القایی که به صورت موازی کار می کنند کار می کنند. این رویکرد، که مبتنی بر میانگین‌ها و تفاوت‌های پارامترهای سیستم است، به پردازنده‌های دیجیتال پرسرعت نیاز دارد [۷،۸]. تجزیه و تحلیل یک موتور چند ناهمزمان با تغذیه معکوس منفرد که به صورت موازی کار می‌کند بر اساس رویکرد تبدیل لاپلاس ارائه شده است. خروجی به Laplacetransform مدل ورودی. به این نتیجه رسید که سیستم قادر به دستیابی به پایداری در شرایط بارگذاری شدید نیست و فقط می تواند پایداری را در شرایط بار نابرابر حفظ کند [۹،۱۰]. عملکرد موتورهای ناهمزمان پرقدرت با استفاده از ولتاژ ثابت با رویکرد حلقه بسته فرکانس بدون سنسور بر اساس مدولاسیون عرض پالس بردار فضا (SVPWM) مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱۱-۱۳]. استفاده از مبدل DC به AC با پیوند DC برای راه اندازی موتور القایی پیشنهاد شده است. SVPWMapproach به کاهش تلفات سوئیچ ثانویه و مقادیر جریان کمک می کند. با توجه به اینکه مدار کموتاسیون برای مدت زمان قابل توجهی فعال است، کاهش تلفات و مقادیر جریان در کلید ثانویه بسیار مهم است [۱۴]

کنترل سوئیچ ها با روش های کلیدزنی نرم و سخت در بازده افزایش یافته به دست می آید. چهار کلید کمکی برای به دست آوردن گذر سریع در مقایسه با سوئیچ های قدرت استفاده می شود. موتور القایی توسط یک شبه تشدید وارونه با استفاده از یک طرح کنترل گشتاور مستقیم با مدولاسیون برداری فضا کنترل می شود. ولتاژ منبع با پیوند DC [۱۵] بسته می شود. یک تکنیک سوئیچینگ نرم برای مدیریت ولتاژ، گشتاور و سرعت استفاده می شود [۱۶،۱۷]. مانیتورینگ موتور القایی فرآیند شناسایی عیوب در حال توسعه موتور است. یک موتور القایی در حین کار با مسائلی مانند ولتاژ بیش از حد، جریان بالاتر، دمای بالا، سرعت نامی بالا، نظارت بر لرزش و غیره مواجه می‌شود. ایجاد آگاهی از واکنش حالت خطای سیستم محرک موتور از دیدگاه طراحی سیستم پیشرفته، محفظه، و کنترل بی طرفانه بسیار مهم است [۱۸،۱۹]. تکامل موتورهای القایی از یک موتور با سرعت پایدار به یک موتور با سرعت غیرقابل پیش بینی و ماشین

گشتاور در چند دهه گذشته مشاهده شده است. با این حال، مشکل کنترل یک موتور DC در شرایط خطا [۲۰] یک چالش برای رشد باقی ماند. یک موضوع درونی و چالش برانگیز برای محققان برق، مطالعه رفتاری موتورهای القایی در شرایط غیرعادی هنگام وجود عیوب و تشخیص آن (تشخیص عیب) بود. در یک کارخانه صنعتی، خرابی ناگهانی و غیرمنتظره موتور القایی به دلیل نقص می تواند در سطح بالای فرآیند تولید اختلال ایجاد کند. برای افزایش کیفیت و قابلیت اطمینان و کاهش هزینه تولید، یک کنترل کننده منطقی قابل برنامه ریزی (PLC) در بسیاری از صنایع برای انجام فرآیند اتوماسیون استفاده می شود. خرابی دسته رله حفاظتی کنترل شده با PLC مانند افت فاز، جریان بالاتر از نامی بالا، ولتاژ نامی، بدون جابجایی فاز نابرابر ولتاژ تغذیه، بدون جابجایی فاز نابرابر جریان ها، و شروع مکرر کنترل نشده [۲۱،۲۲].

خطاهای روتور و خطاهای استاتور دو نوع عیب موجود در موتورهای الکتریکی هستند. رایج ترین این خطاها خطای استاتور است. اتصال کوتاه بین پیچ در یکی از سیم پیچ های استاتور علت اصلی منشاء این نوع عیب است. این اتصال کوتاه منجر به افزایش گرمایش می شود که در نهایت منجر به خطای زمین و در نهایت خرابی استاتور می شود. خطاهای روتور تنها در ۲۰ درصد از کل خطاهای موتورهای القایی نقش دارند، اما تشخیص عیب عیوب روتور برای کاربردهای صنعتی مهم است [۲۳]. جریان زیاد در میله های مجاور یک موتور القایی به دلیل شکستگی میله های روتور و خروج از مرکز شکاف هوا اتفاق می افتد. این در نهایت منجر به شکست پتانسیل بیشتر و خطاهای استاتور نیز می شود. به منظور تشخیص و اصلاح مشکلات مربوط به میله روتور شکسته و خروج از مرکز شکاف هوا، MCSA (تجزیه و تحلیل امضای جریان موتور) به طور گسترده در صنایع استفاده می شود [۲۴]. با اعمال پارامترهای پیش بینی شده، موتورهای القایی به صورت دینامیکی طراحی می شوند. بنابراین، هدف روش کار توسعه کارایی آن از دستگیره طراحی شده برای نیروی محرکه با استفاده از یک اینورتر چند سطحی به جای اینورتر منبع ولتاژ موجود است و در نتیجه موج گشتاور و انحراف سرعت تحت تغییرات پارامتر را کاهش می‌دهد. این سیستم به عملکرد کنترل بهتر، دقت و پاسخ گشتاور سریعتر نیاز دارد و به دلیل محاسبات بسیار دشوار بودند. سرعت موتورها را می توان با استفاده از ژنراتورهایی به نام تاکو ژنراتور یا رمزگذار تشخیص داد. این باعث افزایش کل هزینه ها می شود. علاوه بر این، فناوری پیشرفته ای برای به حرکت درآوردن موتورها بدون استفاده از سنسورهای سرعت توسعه یافته است. تخمین پارامتر یک موتور القایی با آزمایش بی باری، تست مقاومت در DC و تست روتور مسدود شده در یک شبیه سازی و همچنین سخت افزار تجزیه و تحلیل می شود. برپایی. مدلسازی دینامیکی یک موتور القایی با پارامترهای تخمین زده شده در این مقاله پیشنهاد شده است. بررسی عملکرد درایو موتور القایی به موازات کنترل میدان گرا با استفاده از تکنیک MRAS با کنترل کننده سرعت بررسی می شود.

صنایع اغلب از درایوهای سرعت متغیر (VSD) برای اتصال موتورهای القایی به منبع اصلی استفاده می کنند. با این حال، استفاده از VSD ها اغلب منجر به موج دار شدن جریان می شود و یافتن عیب را دشوار می کند [۲۵]. تبدیل موجک گسسته برای به دست آوردن هارمونیک های مختلف جریان استاتور استفاده شد. مزیت نمایش محلی سیگنال فعلی برای ماژول های سالم و نادرست توسط DWT ارائه می شود. علاوه بر این، استفاده از کنترل کننده انتگرال متناسب (PI) برای کنترل مقادیر KP و Ki داده های قابل تغییر تولید می کند. برای شناسایی عیوب در موتورهای القایی، از تکنیک های متعددی مانند تبدیل فوریه کوتاه مدت استفاده می شود. تبدیل گابور، تبدیل موجک و تبدیل فوریه سریع استفاده می شود. از بین تمام تکنیک های ذکر شده در بالا، تبدیل فوریه سریع ساده ترین است. تنها عیب این تکنیک این است که سیگنال های گذرا با استفاده از نمایش فرکانس زمانی نمی توانند توسط آن تجزیه و تحلیل شوند. از طرف دیگر، STFT (تبدیل فوریه کوتاه مدت) برای تجزیه و تحلیل سیگنال های کوتاه مدت با استفاده از توضیحات فرکانس زمانی مفید است، اما اشکال آن این است که فقط می تواند سیگنال را با تمام فرکانس ها برای یک پنجره با اندازه پایدار بررسی کند. این راه حل فرکانس ناقص این تکنیک، سیگنال گذرا با استفاده از فرکانس زمانی است [۲۶]. با این حال، ابزار قدرتمندی که با استفاده

از پنجره ای با اندازه قابل تنظیم به تشخیص و تشخیص عیب موتورها کمک می کند، تبدیل موجک است. تکنیک های نرم افزاری مختلف و آنهایی که برای تشخیص عیب استفاده می شوند عبارتند از Matlab، LabVIEW، Pscad، Neutral Net و غیره. شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و مدولاسیون برداری فضایی چندین تکنیک هوشمند هستند که برای شناسایی خطاها و شروع زودهنگام به عنوان و همچنین از مشکلات جدی اجتناب کنید [۲۷]. با این حال، از بین تمام تکنیک های ذکر شده در بالا، تبدیل موجک یک پنجره با اندازه قابل تنظیم ابزار بسیار قدرتمندی است که در تشخیص عیب موتور القایی استفاده می شود. علاوه بر این، ساختار این مقاله به شرح زیر است: بخش ۲ مدل سازی و تجزیه و تحلیل نتایج یک موتور القایی سه فاز را ارائه می دهد. بخش ۳ شبیه سازی و بحث نتیجه مدل سازی دینامیکی موتور القایی سه فاز را توضیح می دهد. بخش ۴ بر نتایج و بحث های سخت افزاری تأکید دارد. و بخش ۵ نتیجه گیری را نشان می دهد.

۲. مدل سازی و تجزیه و تحلیل نتایج موتور القایی سه فاز

مدل سازی دقیق موتور القایی برای ساخت کنترلرهای ماشین آلات و برای تشخیص مشکلات ماشین آلات ضروری است. هر ویژگی، از جمله شار، گشتاور، و سرعت، بر اساس طراحی کنترلر است که خود بر اساس عملکرد انتقال است. روش‌های اصل اول، تکنیک‌های شناسایی سیستم، روش اجزای محدود، رویکرد مدار مغناطیسی معادل، استفاده از معادلات دیفرانسیل معمولی، معادلات دیفرانسیل خطی/غیرخطی، مدل‌هایی با پارامترهای توده‌ای و پارامترهای تحریف‌شده، مدل‌سازی استاتیکی و دینامیکی، و غیره انواع مختلف هستند. مدل سازی ریاضی تئوری ماشین های الکتریکی از نمایش ریاضی ارائه شده توسط معادلات دیفرانسیل معمولی استفاده می کند. برهمکنش بین گشتاور الکترومغناطیسی و پارامترهای الکتریکی و مکانیکی اولیه توسط آنها نشان داده می شود. معادلات دیفرانسیل جزئی را می توان برای توصیف دقیق تر میدان های مغناطیسی ماشین های الکتریکی، توزیع دما و سایر کمیت ها استفاده کرد. با این حال، نقطه ضعف استفاده از معادلات دیفرانسیل جزئی برای تحقیق این است که درک آنها کاملاً دشوار است. شبیه‌سازی و مدل‌سازی دینامیکی موتورهای القایی هم برای اهداف دانشگاهی و هم برای اهداف تجاری بسیار مهم است. از آنجایی که درایوهای موتور القایی در بسیاری از زمینه های ساختمان بسیار رایج است و برای موتورهای القایی با کنترل بدون سنسور، ارزش آن در حال افزایش است. بنابراین، توضیح کاملی از مدل‌سازی دینامیکی یک موتور ناهمزمان در این مطالعه ارائه شده است.

۲,۱. مدلسازی دینامیک موتور القایی سه فاز

از آنجایی که درایوهای موتور القایی را می توان در محیط های مختلف صنعتی استفاده کرد، شبیه سازی و مدل سازی دینامیکی موتورهای القایی هم برای کسب و کار و هم برای دانشگاه بسیار مهم است. بنابراین، مدل‌سازی ریاضی برای انجام آنالیز آماده می‌شود. مدل‌سازی ماشین القایی دائماً مورد توجه تحقیقات قرار گرفته است، زیرا این ماشین‌ها مدل‌های عملیات مختلفی را می‌تراشند و در تعداد زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تئوری چارچوب مرجع به طور موثر به عنوان یک رویکرد قوی برای تعیین مدل ریاضی موتور القایی سه فاز تحلیل شده است. ارزش مدل‌سازی پویا به درک رفتار حرکتی در حالت پویا کمک می‌کند. مدل‌سازی D-Q یک موتور القایی توسط سه قاب مرجع مختلف مدل‌سازی می‌شود. معادلات مکانیکی شامل سرعت، گشتاور و زمان در مدل‌سازی دینامیکی گنجانده شده‌اند. مدل‌سازی دینامیکی همچنین می‌تواند برای شبیه‌سازی ولتاژهای دیفرانسیل، اتصالات شار و جریان‌های بین استاتور ثابت و روتور دوار استفاده شود. هر قاب مرجع چرخشی، قاب مرجع استاتور، یا قاب مرجع روتور را می توان به طور منحصر به فرد برای موتور القایی گزارش کرد. به طور کلی شبیه سازی یک موتور ناهمزمان در یک چارچوب مرجع ثابت در حالی که مطالعات گذرا یک درایو با سرعت قابل تنظیم ادامه می یابد مطلوب تر است. این فریم مرجع محاسبات پیچیده کمتری را ارائه می دهد زیرا سرعت فریم آن صفر است. یک قاب چرخش همزمان برای انجام تجزیه و تحلیل پایداری سیگنال کوچک در شرایط عملیاتی یکسان استفاده می شود. این

بازده برای انجام تجزیه و تحلیل پایداری سیگنال کوچک و شرایط عملیاتی مشابه استفاده شد. این تسلیم برای مقدار پایدار ولتاژ و جریان حالت پایدار تحت شرایط بارگذاری یکسان استفاده می شود [۳۰،۳۱]

اندوکتانس های وابسته به زمان در ماشین های دو فازی: اندوکتانس هایی که پیچ های اولیه و ثانویه را به هم متصل می کنند، نتیجه موقعیت دوم، تتا r هستند. آنها سینوسی بودن را به دلیل وجود انباشتگی سینوسی MMF در سیم پیچ ها تصور می کنند. بنابراین، آنها با زمان تغییر می کنند زیرا موقعیت روتور با زمان تغییر می کند و بنابراین منجر به اندوکتانس های متغیر با زمان می شود. به این ترتیب، روتور فیکتیوس همان MMF را تولید می‌کند، زیرا تعداد سیم‌پیچ‌های آن برای تمام فازها به عنوان چرخش واقعی روتور، برابر است. در مورد تغییر سرعت روتور و اگر تغییرات آن مستقل از جریان باشد، سیستم معادله غیرخطی می شود. تبدیل سه فاز به دو فاز: یکنواختی ماشین القایی سه فاز و دو -ماشین القایی فاز باید ایجاد شود. این معادل باید به عادلانه بودن MMF که از طریق سیم‌پیچ‌های دو فازی و سه فازی پردازش می‌شود و شدت جریان یکسان بستگی داشته باشد.

هم ارزی توان: برای به دست آوردن توضیحات قطعی در بررسی های مدل سازی و شبیه سازی، توان ورودی به موتور سه فاز باید برابر با دو فاز ماشین باشد. توسعه مدل، محورهای d و q را در رابطه با استاتورین معادلات هم ارزی توان ثابت نگه داشته است. این محورها یا فریم‌ها به عنوان قاب‌های مرجع شناخته می‌شوند. مدل‌های ماشین القایی تعمیم‌یافته در مرجع دلخواه: تبدیل فرآیند تغییر یک مجموعه فرار توسط نوع دیگری از فرار است. برای سهولت حل معادلات پرزحمت با ضرایب نوسان زمان یا معرفی همه متغیرها در یک چارچوب مرجع کلی، از تبدیل استفاده می شود. ویژگی اساسی تبدیل، که رواج بالای آن را منطقی می کند، حذف اندوکتانس تغییر زمان از اختلاف پتانسیل بین دو نقطه و معادلات جریان است. گشتاور الکترومغناطیسی: گشتاور از محاسبات ماشین با در نظر گرفتن توان ورودی و عناصر مختلف آن به دست می آید. مانند تلفات مقاومتی، توان، نرخ تغییر انرژی مغناطیسی ذخیره شده و توان از قاب مرجع. انرژی مغناطیسی فوق الذکر باید صفر باشد، زیرا به دلیل ارائه قاب مرجع هیچ عنصر قدرتی وجود ندارد. با این حال، از نظر پویا درست نیست. بسته به این بررسی ها، گشتاور الکترومغناطیسی ساخته می شود. در معادله گشتاورهای الکترومغناطیسی، pis تعداد قطب ها، Lm اندوکتانس مغناطیسی را توصیف می کند، و iqsand به ترتیب جریان های استاتور در محورهای d و q هستند. در نهایت، جریان های روتور را در محورهای d و q تنظیم کنید. معادله اتصال شار به تخلیه چند عبارت پیچیده در معادلات d-q کمک می کند، که با دستکاری آنالوگ و رایانه های متقابل، راه حل های خود را به دست می آورند. بهترین ویژگی در مورد این این است که حتی زمانی که ولتاژ و جریان متناوب هستند، پیوندهای شار پایدار هستند.

۲،۲. مدلسازی ریاضی موتور القایی سه فاز در فریم های مرجع

موتورهای القایی موتورهایی هستند که امروزه در صنایع به طور کلی مورد استفاده قرار می گیرند. در طول راه اندازی موتورهای القایی، گاهی اوقات جریان های زیادی را می کشد و ولتاژ غوطه وری و گشتاور موج دار ایجاد می کند. موتورهای القایی سرعت کامل خود را در کسری از ثانیه، دقیقاً ۰،۲ ثانیه، با گشتاور الکتریکی آن که نوسانات ۵۰ هرتز را نشان می دهد، به دست می آورند. اگر خودکنترلی در نظر گرفته نشود، جریان راه اندازی موتور به ۹،۵ p.u می رسد. در چنین حالتی، d-q غیر قابل پیش بینی در چارچوب مرجع تمایل به متفاوت دارد، اگرچه عملکرد متغیرهای دستی همانطور که توسط هر چارچوب مرجع تخمین زده می شود یکنواخت است. تفاوت در متغیرهای d-q را می توان با تطبیق کافی چارچوب های مرجع اصلاح کرد. چندین روش برای این کار توسعه داده شده است، و تبدیل d-q یا دو محور بهترین و دقیق ترین هستند. سه سرعت/قاب مرجع ارجح وجود دارد: قاب مرجع ثابت، قاب مرجع چرخش همزمان، و چارچوب مرجع روتور [۳۲]. چارچوب مرجع دلخواه یک مدل تعمیم یافته از معادلات زیر مشتق شده است [۳۲].

$$\begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {i_{qs}}^c \\ {i_{ds}}^c \end{bmatrix} \quad (1)$$
$$\begin{bmatrix} {i_{qs}}^c \\ {i_{ds}}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & -\sin\theta_c \\ \sin\theta_c & \cos\theta_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {v_{qs}}^c \\ {v_{ds}}^c \end{bmatrix} \quad (2)$$
$$\begin{bmatrix} {v_{qs}}^c \\ {v_{ds}}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_c & -\sin\theta_c \\ \sin\theta_c & \cos\theta_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \end{bmatrix}$$

از ماتریس بالا

$$\begin{aligned} {v_{qs}}^c &= v_{qs}\cos\theta_c - v_{ds}\sin\theta_c \\ {v_{ds}}^c &= v_{ds}\cos\theta_c + v_{qs}\sin\theta_c \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} {i_{qs}}^c &= i_{qs}\cos\theta_c - i_{ds}\sin\theta_c \\ {i_{ds}}^c &= i_{ds}\cos\theta_c + i_{qs}\sin\theta_c \end{aligned} \quad (4)$$

از معادله کلی موتور القایی

$$\begin{aligned} v_{qs} &= (R_s + L_s p) i_{qs} + L_m p i_{qr} \\ v_{ds} &= (R_s + L_s p) i_{ds} + L_m p i_{dr} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} v_{qr} &= (R_r + L_r p) i_{qr} + L_m p i_{qs} \\ &\quad - L_m \omega_r i_{ds} - L_r \omega_r i_{dr} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} v_{dr} &= (R_r + L_r p) i_{dr} + L_m p i_{ds} \\ &\quad + L_m \omega_r i_{qs} + L_r \omega_r i_{qr} \end{aligned} \quad (7)$$

معادلات فوق را جایگزین در $V_{qs}, V_{ds}, V_{qr}, V_{dr}$ کنید. مدل تعمیم یافته مرجع دلخواه با استفاده از

$$\begin{bmatrix} {V_{qs}}^c \\ {V_{ds}}^c \\ {V_{qr}}^c \\ {V_{dr}}^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_s p & \omega_c L_s & L_m p & \omega_c L_m \\ -\omega_c L_s & R_s + L_s p & -\omega_c L_m & L_m p \\ L_m p & (\omega_c - \omega_r) L_m & R_r + L_r p & (\omega_c - \omega_r) L_r \\ -(\omega_c - \omega_r) L_m & L_m p & -(\omega_c - \omega_r) L_r & R_r + L_r p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {i_{qs}}^c \\ {i_{ds}}^c \\ {i_{qr}}^c \\ {i_{dr}}^c \end{bmatrix} \quad (8)$$

۲،۲،۱. چارچوب مرجع برای استاتور

بهترین روش برای مطالعه متغیرهای استاتور است زیرا محورهای استاتور d همان فاز متغیر استاتور هستند. در اینجا، سرعت فریم مرجع صفر است، در حالی که K نشان دهنده ماتریس تبدیل است. در چارچوب مرجع استاتور، محور q پایدار است و با سیم پیچ فاز یک استاتور منطبق است. بنابراین، این چارچوب مرجع برای تحلیل توسعه گذرا شامل متغیرهای استاتور سودمند است. متغیرهای ABC باید به متغیرهای d-q تبدیل شوند تا رفتار الکتریکی و مکانیکی ماشین اصلی به درستی مطالعه شود. این با تبدیل پارک به دست می

آید. برای این تبدیل، یک عنصر توالی صفر با متغیرهای d-q معرفی شده است. این متغیر جدید ولتاژهای نامتعادل را کنترل می کند و تبدیل پارک را معکوس می کند. با مشاهده دقیق، ولتاژ داده شده به سیم پیچ محور d استاتور مشابه ولتاژ فاز A استاتور است. به این نتیجه رسیدیم که تعیین تک تک در هر مرحله از فرآیند ادغام توسط تغییر شکل پارک اجتناب ناپذیر است. این برای چارچوب مرجع ثابت و صرفه جویی در زمان کامپیوتر مناسب است [۳۲]. جایگزینی ωc= 0 برای چارچوب مرجع استاتور در مدل مرجع دلخواه تعمیم یافته [۳۲]

$$\begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds} \\ V_{qr} \\ V_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + L_s p & 0 & L_m p & 0 \\ 0 & R_s + L_s p & 0 & L_m p \\ L_m p & (-\omega_r) L_m & R_r + L_r p & (-\omega_r) L_r \\ (\omega_r) L_m & L_m p & (\omega_r) L_r & R_r + L_r p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} V_{sd} &= R_s i_{sd} + \frac{d\lambda_{sd}}{dt} - \omega_d \lambda_{sq} \\ V_{sq} &= R_s i_{sq} + \frac{d\lambda_{sq}}{dt} + \omega_d \lambda_{sd} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} V_{rd} &= R_r i_{rd} + \frac{d\lambda_{rd}}{dt} - \omega_{dA} \lambda_{rq} \\ V_{rq} &= R_r i_{rq} + \frac{d\lambda_{rq}}{dt} + \omega_{dA} \lambda_{rd} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{sd} &= L_s i_{sd} + L_m i_{rd} \\ \lambda_{sq} &= L_s i_{sq} + L_m i_{rq} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{rd} &= L_r i_{rd} + L_m i_{sd} \\ \lambda_{rq} &= L_r i_{rq} + L_m i_{sq} \end{aligned} \quad (19)$$

معادله (۲۰) خود القایی موتور القایی سه فاز را توصیف می کند

$$\begin{aligned} L_s &= L_m + L_{ls} \\ L_r &= L_m + L_{lr} \end{aligned} \quad (20)$$

جریان ها را می توان به صورت

$$\begin{aligned} i_{sd} &= \frac{\lambda_{sd} - L_m i_{rd}}{L_s} \\ i_{sq} &= \frac{\lambda_{sq} - L_m i_{rq}}{L_s} \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} i_{rd} &= \frac{\lambda_{rd} - L_m i_{sd}}{L_r} \\ i_{rq} &= \frac{\lambda_{rq} - L_m i_{sq}}{L_r} \end{aligned} \quad (22)$$

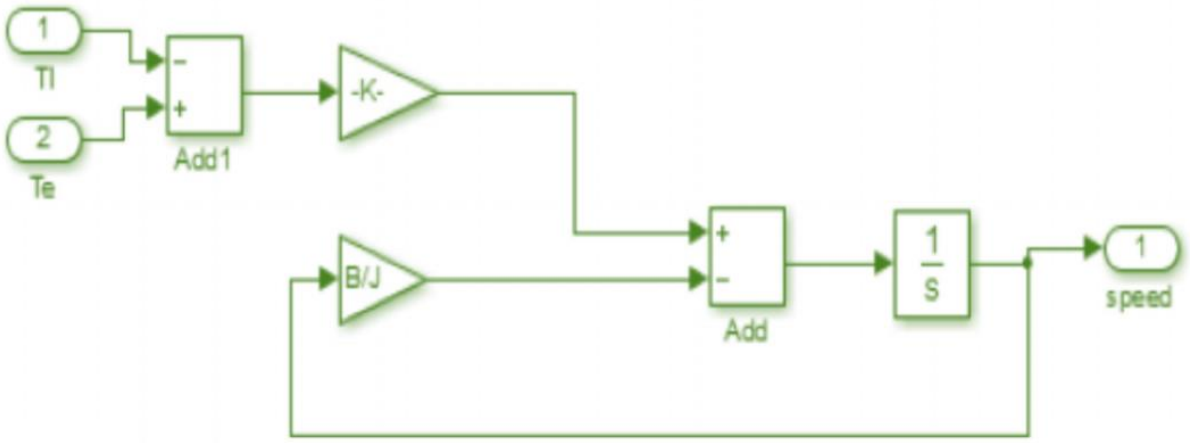
جایگزین λsd، λsq، λrd و λrq در ird،isq،isd و irq، و جریان ها را می توان با پیوندهای شار در معادلات (۲۳) و (۲۴) نشان داد.

$$i_{sd} = \frac{L_r}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{sd} - \frac{L_m}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{rd}$$
$$i_{sq} = \frac{L_r}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{sq} - \frac{L_m}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{rq} \quad (23)$$

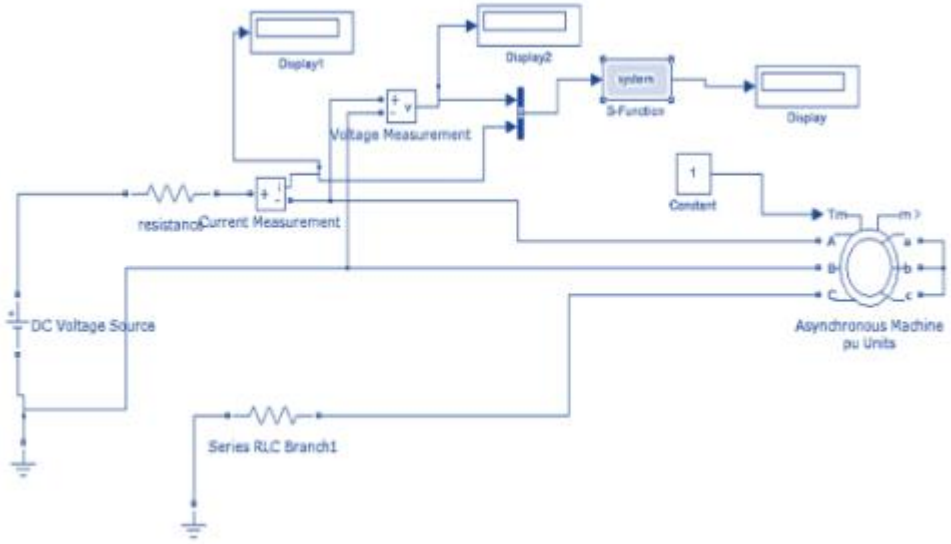
$$i_{rd} = \frac{L_s}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{rd} - \frac{L_m}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{sd}$$
$$i_{rq} = \frac{L_s}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{rq} - \frac{L_m}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{sq} \quad (24)$$

۳. شبیه سازی و بحث نتیجه مدلسازی موتور دینامیک القایی سه فاز

مقدار پارامترها یعنی سرعت، جریان d-q، گشتاور و ولتاژ سه فاز از نمایش d-q موتور AC که با استفاده از سیمولینک ساخته شده است، به دست می آید. نیاز اساسی این مدل دینامیکی در فضای حالت این است که در انجام آنالیز گذرا موتور القایی یا به ویژه برای مطالعه شبیه سازی در کامپیوتر با استفاده از MATLAB/SIMULINK ضروری است. نوع قفس سنجابی موتور القایی به سه ورودی نیاز دارد: سرعت روتور، ولتاژ سه فاز و فرکانس‌های اساسی. وقتی این سه ورودی را تغذیه می‌کنیم، خروجی‌ها سرعت روتور، جریان سه فاز و گشتاور هستند [۴۸-۴۶]. پیش نیاز اصلی مدل d-q تبدیل کل متغیر سه فاز به قاب دو فاز دوار است. در نتیجه، طراحی ماشین AC توسط بلوک هایی ساخته می شود که ولتاژ سه فاز را به قاب d-q تبدیل می کند و جریان ها را به سه فاز برمی گرداند. علاوه بر این، بردار کنترل میدان گرا، که کنترل قابل توجهی در ارائه درایو در نظر گرفته می شود، بر روی طراحی d-q پویا موتور القایی ایجاد



3.۱



۶. نتیجه گیری

استفاده از موتور القایی در صنایع به طور چشمگیری افزایش یافته است، زیرا مزایای متعددی مانند قابلیت اطمینان، هزینه کم و استحکام را ارائه می دهد. با این حال، نظارت منظم بر پارامترهای آن، مانند کنترل سرعت و کنترل گشتاور، برای کمک به موتور برای مطابقت با مزایا مورد نیاز است. عملکرد سیستم الکتریکی را در شرایط پویا و پایدار تعیین می کند زیرا موتور در طیف وسیعی از پارامترها کار می کند. تکنیک‌های تخمین پارامترهای مختلف و مدل‌سازی دینامیکی موتورهای القایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر این، شبیه‌سازی مدل دینامیکی یک موتور ناهمزمان و MRAS نیز عملکرد سیستم را تأیید کرد. این مقاله راه‌حلی ساده و مؤثر ارائه می‌کند که بستری را برای مدل‌سازی و تخمین پارامترها از طریق مشتقات و مطالعه فوق فراهم می‌کند. مانیتورینگ موتور القایی فرآیند شناسایی عیوب موتور است. یک موتور القایی در حین کار با مشکلاتی مانند ولتاژ بیش از حد، جریان بیش از حد نامی، دمای بالا، سرعت بالاتر از حد مجاز و جریان یاتاقان در گردش بالا مواجه می شود. درک سیستم محرک موتور القایی در شرایط جریان گردشی بالا از دیدگاه طراحی سیستم بهبودیافته، پناهگاه و کنترل بی‌طرفانه عیب بسیار مهم می‌شود. رفتار موتورهای القایی تحت تنظیمات اصلاح پارامتر یک مشکل اساسی و دشوار برای محققین برق بود. ولتاژ حالت معمول منجر به جریان حالت مشترک می شود که باعث ایجاد مشکلات مختلفی در سیستم های الکتریکی صنعتی می شود که ممکن است منجر به آسیب در ترمینال خروجی شود. این منجر به آسیب می شود. به یاتاقان های موتور، که می تواند منجر به خرابی ماشین آلات و خاموش شدن ناخواسته رله شود. مشاهده شده است که علت اصلی خرابی موتورها و یاتاقان ها همین ولتاژ حالت رایج است. درک المان محدود موتورهای AC و رویکرد پردازش سیگنال در شرایط پایدار و معیوب ضروری است.

۷. مشاهدات

مدل‌های القایی دینامیک مبتنی بر سیمولینک در چندین کتاب و مقاله در دسترس هستند. با این حال، این مدل‌ها به‌عنوان یک جعبه سیاه توصیف می‌شوند که هیچ رابطه داخلی دقیقی در متن موجود ندارد. برخی از این متون استفاده از هدف را برای نزدیک شدن به داده های مدل توصیه کرده اند، اما امکان پذیر نیستند زیرا از توان و ظرفیت کامل Simulinkat استفاده نمی کنند. اگرچه تابع S سریعتر از بلوک‌های Simulink گسسته اجرا می‌شود، باز هم می‌توان با استفاده از یک مدل شتاب‌دهنده یا غیرخطی، آنها را سریع‌تر

کرد. که توسعه و تشخیص را برای خواننده آسان میکند. با استفاده از موتور آفلاین نیز می توان این مشکل را به راحتی حل کرد. شناسایی آنلاین موتور سنکرون برای نظارت بر دقت موتور مورد نیاز است. در موارد متعددی چنین اتفاق می‌افتد که نه تنها دستیابی به این نوع شرایط آزمایشی دشوار است، بلکه از نصب و برداشتن بار روی سیستم نیز بسیار ناراحت کننده است. جدای از این، اثر پوستی روتور نیز یک نگرانی شدید است. • در روش آزمایش بدون بار، دقت تشخیص قابل توجه نیست و مدار تروتور در نظر گرفته نمی شود. برای بدون بار، یک بار حذف شده یک فرآیند خیلی راحت نیست. • روش تنظیم خودکار را می توان در راه اندازی حلقه بسته با یک مبدل فرکانس استفاده کرد. با این حال، استفاده از همان در راه اندازی حلقه بسته بدون مبدل فرکانس ناراحت کننده است.

• امتیاز بالا و داده های تجربی، در کل، باید به روش حداقل مربع محاسبه شوند. با این حال، اندازه‌گیری و محاسبه این داده‌های تجربی یک فرآیند/وظیفه خسته‌کننده است. • در یک فیلتر کالمن توسعه‌یافته، یک پردازنده بالا مورد نیاز است و زمان محاسبه برای الگوریتم بسیار زیاد است. نیاز به پردازنده زیاد است و الگوریتم های هوشمند نیز مشکل هستند. روش شناسایی آفلاین به کلاس‌های زیادی تقسیم می‌شود. روش حداقل مربعات روشی بهبود یافته برای سیستم‌هایی است که به دقت درک بالا، هزینه کمتر، دستیابی دقیق و کاربرد آسان نیاز دارند. این روش به این دلیل انجام می‌شود که نه تنها درک آفلاین را درک می‌کند، بلکه متوجه عدم درک آنلاین نیز می‌شود. سیستم کنترل نوعی سیستم است که به دقت بسیار بالایی در درک نیاز دارد.

منابع

1.Reddy, G.S. Vector Controller based Speed Control of Induction Motor Drive with 3-Level SVPWM based Inverter. Int. J. Emerg.Trends Electr. Electron. 2013, 1, 1–11.

2.Dabbeti, S.; Lakshmi, K.V. Sensorless Speed Control of an Induction Motor Drive using Predictive Current and Torque Controllers.Adv. Electron. Electr. Eng. 2013, 3, 1177–1196.
3.Suwankawin, S.; Sangwon, S. A Speed-Sensorless IM Drive with Decoupling Control and Stability Analysis of Speed Estimation. IEEE Trans. Ind. Electron. 2002, 49, 444–455. [CrossRef]
4.Rassolkin, A.; Kallaste, A.; Orlova, S.; Gevorkov, L.; Vaimann, T.; Belahcen, A. Re-Use and Recycling of Different Electrical Machines. Latv. J. Phys. Tech. Sci. 2018, 55, 13–23. [CrossRef]
5.Usha, S.; Subramani, C.; Padmanaban, S. Neural Network-Based Model Reference Adaptive System for Torque Ripple Reduction in Sensorless Poly Phase Induction Motor Drive. Energies 2019, 12, 920. [CrossRef]
6.Panchal, M.S.N.; Sheth, M.V.S.; Pandya, M.A.A. Simulation Analysis of SVPWM Inverter Fed Induction Motor Drives. Int. J.Emerg. Trends Electr. Electron. 2013, 2, 18–22.
7.Haq, H.; Imran, M.H.; Okumu, H.I.B. Speed Control of Induction Motor using FOC Method. Int. J. Eng. Res. Appl. 5, 154–158.

20,
8.Matsuse, G.K.; Kouno, Y.; Kawai, H.; Oikawa, J. Characteristics of speed sensorless vector controlled dual induction motor driveconnected in parallel fed by a single Inverter. IEEE Trans. Ind. Appl. 2004, 40, 153–161. [CrossRef]
9.Gunabalan, R.; Subbiah, V. Stability Analysis of Single Inverter Fed Two Induction Motors in Parallel. World Academy of ScienceEng. Technol. 2014, 8, 1316–1320.
10.Yoshinaga, T.; Terunuma, T.; Matsuse, K. Basic characteristic of parallel connected dual induction motor drives with matrixconverter. In Proceedings of the 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, Orlando, FL, USA, 10–13 November 2008;pp. 584–589.
11.Ojha, S.; Pandey, A.K. Close Loop V/F Control of Voltage Source Inverter using Sinusoidal PWM, Third Harmonic InjectionPWM and Space Vector PWM Method for Induction Motor. Int. J. Power Electron. Drive Syst. 2016, 7, 217–224. [CrossRef]
12.Adiuku, C.O.; Beig, A.R.; Kanukollu, S. Sensorless Closed Loop V/F control of medium-Voltage High-Power Induction Motorwith Synchronized Space Vector PWM. IEEE Trans. Ind. Appl. 2015, 784–799. [CrossRef]
13.Rahman, A. Three-phase induction motor design optimization using the modified Hooke-Jeeves method. Int. J. Electr. Mach.Power Syst. 1990, 18, 1–12.
14.Dehkordi, B.M.; Kiyoumarsi, A.; Ashrafi, R. Optimal Design of a Soft Switching Inverter for Control of an Induction Motor DriveUsing Scalar Method. In Proceedings of the International Conference on Electrical Machines, Wuhan, China, 6–9 September 2008.
15.Thakur, P. Simulation of Soft-Switched Three-Phase Inverter for RL and Induction Motor Load. Int. J. Eng. Res. Technol. 3, 2408–2416.
2014

KNO-1101-4302

مزایا وچالش های انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان

سیداحمد هاشمی چلاوی [1] sahmadhch@yahoo.com

[1] کارشناس ارشد برق قدرت دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان و کارشناس برق قدرت دانشگاه دولتی صنعتی نوشیروانی بابل، مدرس سابق دانشگاه های آزاد اسلامی واحد جویبارو دولتی تخصصی فن آوری های نوین آمل

چکیده:

در این مقاله با استفاده از انرژی خورشیدی و مزایا آن و مشکلات و چالش‌های آن در صنعت ساختمان پرداخته می‌شود. برای اینکه این موضوع بیشتر بررسی شود و تحلیل گردد در خصوص طراحی سلول‌های خورشیدی مجتمع در ساختمان نیز توضیحاتی داده می‌شود و با استفاده از آمار و ارقام بررسی و مقایسه بین کشورهای مختلف از نظر استفاده از انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان انجام می‌شود تا از الگوها و نمونه‌های آن‌ها برای کشورمان، ایران استفاده شود.

هدف از این مقاله این بود که با استفاده با الگوها و نتایج روز و همچنین موارد تجربه شده ابتدا دانسته شود که چه مزایایی انرژی خورشیدی دارد و بعد بررسی شود که در جهت پیشبرد اهداف استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی پاک و بی‌پایان با چه چالش‌ها و مشکلات نظیرگرانی دستگاه‌های انرژی خورشیدی و مشکلاتی در ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی برخورد می‌شود و در ادامه نیز راهکارهایی برای بعضی از این چالش‌ها ارائه شد. نتایج به دست‌آمده از این تحقیق قطعاً می‌تواند برای کسانی که در صنعت ساختمان به نوعی فعال هستند، مثمر ثمر واقع شود.

کلید واژه‌ها : *انرژی خورشیدی ، چالش ها ، صنعت ساختمان.*

۱. مقدمه

تحریم نفت در در دهه ۱۹۷۰ میلادی باعث علاقه به انرژی خورشید در جهان گردید و پنل‌های فتوولتاییک به ویژه در کالیفرنیا به کار رفت و این در حالی بود که انرژی خورشیدی به عنوان منبع مستقیم برق قبلاً محدود به مواردی مثل فضا پیما بود ولی در آن زمان شرکت‌هایی با ایده استفاده از خورشید به عنوان یک منبع منظم برای خانه‌های معمولی شکل گرفتند. در دهه ۱۹۹۰ میلادی به دلیل تغییرات اقلیمی توجه به انرژی خورشیدی به ویژه در اروپا و به میزان کم در ایالات متحده افزون گشت. در قرن بیست‌ویکم، نگرانی‌های روز افزون در مورد کمبود انرژی در زمین به نیاز انرژی خورشیدی افزوده است. اما درصدی از انرژی خورشیدی که می‌تواند به برق تولید شود، چالش مهم در این زمینه می‌باشد و اهمیت ذخیره و تحویل انرژی خورشیدی در جایی که لازم است نیز مورد توجه است [1].

در این مقاله سعی شده است که در ابتدا به ویژگی‌های مثبت انرژی خورشیدی پرداخته شود و سپس در خصوص طراحی سلول‌های خورشیدی مجتع در ساختمان توضیحاتی داده می‌شود و سپس در کشورهای مختلفی که انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان آنها به کار رفته، تجربیات آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در کشور ما، ایران بتوان از این اقدامات در جهت پیشبرد صنعت ساختمان استفاده کرد. در ادامه چالش‌ها و مشکلات انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان بررسی می‌شود و در نهایت نتیجه‌گیری مربوطه ارائه می‌شود.

۲. مزایای انرژی خورشیدی

تعهدات اخیر توسط بسیاری از کشورها جهت مبارزه با اثرات مضر انرژی سوخت فسیلی، توجه جهان را بر اجرای سیاست‌هایی که به سمت انرژی مطلوب هدایت می‌شود، متمرکز می‌کند و با توجه به عملکرد انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی در ساخت وساز ساختمان‌ها، این سیاست ترویج می‌شود. نمونه بارز این مطلب در کشور اسپانیارخ داد که در سال ۲۰۰۵میلادی بیش از ۸۰۰۰۰۰ واحد مسکونی با بیش از ۲۵۰۰ ساعت نور خورشید در سال ساخته شد [2].

معاهده پاریس در سال ۲۰۱۵ میلادی، قرار دادی تاریخی در جهت مقابله با تغییرات اقلیمی و باز شدن گره‌ها برای اقدامات علیه تغییر اقلیم و همچنین سرمایه‌گذاری در جهت اقتصادی

کم کربن، مقاوم، انعطاف‌پذیر و پایدار بود که کشورها را به استفاده از انرژی‌های پاک نظیر انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان ترغیب می‌کند[3]. مزیت مهم دیگر کاربرد انرژی خورشیدی، فراوان وبی‌پایان بودن آن است[4].

۳. طراحی سلول‌های خورشیدی مجتمع در ساختمان

برای ساخت فتوولتاییک می‌توان دو طبقه اصلی را تعریف کرد. سیستم‌های نصب آرایه BIPV[1](فتو ولتاییک یکپارچه ساختمان) وBAPV[2] (فتوولتاییک پیوسته ساختمان) این دو مورد هستند. ماژول‌های BIPV می‌توانند به عنوان عناصر معماری باشند که ظاهر ساختمان را افرایش می‌دهند و دیدی بسیار مطلوب ایجاد می‌کنند. این نوع آرایه‌ها شامل اندازه‌های ماژول سفارشی می‌باشند و اشکال با فضاهای شفاف بین سلول‌ها را می‌توان برای دیوارهای پرده، سایبان‌ها، پنجره‌ها و آشپزخانه‌ها استفاده کرد. در نتیجه BIPV محصولات چند منظوره خورشیدی هستند که برق تولید می‌کنند در حالی که همچنان به عنوان مواد ساختمانی خدمت می‌کنند. «شکل ۱» یک نمونه از BIPV در آرایه‌های فتوولتاییک که با سقف ترکیب می‌شوند را نشان می‌دهد [5] .

[2] Building Attached Photovoltaic

[1] Photovoltaic Building Integrated

[2] Photovoltaic Building Attached



«شکل ۱»: یک نمونه از BIPV در آرایه‌های فتوولتاییک که با سقف ترکیب می‌شوند.

BAPV به عنوان افزودنی به ساختمان در نظر گرفته می‌شوند و به طور مستقیم مربوط به جنبه‌های عملکردی ساختاری نمی‌باشند. آن‌ها از یک ساختار فوق‌العاده‌ای که از ماژول‌های قاب معمولی پشتیبانی می‌کند، تشکیل می‌شوند.

این ساختار فوق‌العاده، معمولاً به پشت‌بام از طریق یک سری از براکت‌ها یا پاها که به صورت مکانیکی به ساختار بخش سیستم سقف وصل می‌شوند، متصل است. هدفBAPV ، تولید آسان برق است. تفاوت اصی بین BIPV و BAPV، میزان تنگی در ادغام از سیستم‌های فتوولتاییک و ساختمان‌ها می‌باشد. به عنوان مثال، BAPV هنگامی که آرایه‌های فتوولتاییک ساختمان‌ها تنگ می‌آیند به BIPV تبدیل می‌شود. «شکل ۲» یک نمونه از BAPV را نشان می‌دهد که در آن آرایه‌های فتوولتاییک به پشت‌بام متصل می‌شوند [5].



«شکل ۲»: یک نمونه از BAPV با آرایه‌های فتوولتاییک متصل به پشت‌بام

۴. بررسی و مقایسه بین کشورهای مختلف از نظر استفاده از انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان

چین دومین کشور بزرگ در مصرف انرژی است. فشارهای بیشتر و بیشتر تقاضای انرژی موجب شده که دولت چین سیاست‌های اقتصادی و انرژی خود را برای حمایت از توسعه پایدار بررسی کند. در چین بخش ساختمان ٪۲۷.۸ کل مصرف انرژی که تنها در بخش صنعت است را به خود اختصاص داده است.

چین منبع انرژی خورشیدی فراوانی دارد که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و به ساختمان اعمال می‌شود. بنابراین استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین مسایل برای کمک به بهینه‌سازی چین اعمال می‌شود. در چین انرژی خورشیدی که در صنایع ساختمانی استفاده می‌شود، شامل بخاری آبگرمکن خورشیدی، ساختمان‌های خورشیدی، سیستم خورشیدی تبرید، تهویه مطبوع و سیستم فتوولتاییک می‌باشد[4] .

با توجه به موقعیت جغرافیایی و آب و هوا در کشور اسپانیا موقعیتی عالی در مقایسه با سایر کشورهای اروپایی از نظر استفاده از انرژی خورشیدی وجود دارد. در اسپانیا از هر متر مربع از سطح آن ۱۵۰۰ کیلووات ساعت انرژی دریافت می‌شود که این رقم مشابه بسیاری از کشورهای آمریکایی مرکزی و جنوبی است. در حقیقت در مناطق مختلف اسپانیا، بیش از ۲۵۰۰ ساعت از نور خورشید در سال وجود دارد[2] .آلمان اکنون دارای بیشترین مقدار انرژی خورشیدی در جهان است. این کشور دارای نرخ رشد سالانه بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ بیش از ٪۴۰ بود[1] . «جدول ۱» بیانگر مقایسه بین کشورهای پیشتاز در زمینه انرژی خورشیدی می‌باشد.

«جدول ۱»: ۱۰ کشور پیشتاز در زمینه انرژی خورشیدی در سال ۲۰۱۴

رده	نام کشور	توان خام انرژی خورشیدی «توان، P(MW)».
۱	آلمان	۳۸۲۵۰
۲	چین	۲۸۳۳۰
۳	ژاپن	۲۳۴۰۹
۴	ایتالیا	۱۸۶۲۲
۵	ایالات متحده	۱۸۳۱۷
۶	فرانسه	۵۶۷۸
۷	اسپانیا	۵۳۷۶
۸	استرالیا	۴۱۳۰
۹	بلژیک	۳۱۵۶
۱۰	کره جنوبی	۲۳۹۸

۵. چالش‌ها و مشکلات انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان

مشکلات مختلفی از استفاده از انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان وجود دارد که قسمتی از آن مربوط به خرید و نصب و توسعه انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان می‌باشد. مثلاً گرانی دستگاه‌های انرژی خورشیدی یک چالش در این زمینه می‌باشد. نکته دیگر در این زمینه فن‌آوری تجهیزات و ساخت آن خصوصاً با بازده بالا می‌باشد و تعمیرات قطعات یدکی آن نیز مطلب مهم در این زمینه می‌باشد به طوری که گاهی اوقات تعمیر تجهیزات ممکن است انجام نشود.

نکته دیگر در این زمینه برنامه‌ریزی مدون در جهت استفاده از انرژی خورشیدی است. اصولاً در کشورهایی که منابع فسیلی دارند این مطلب بیشتر برجسته می‌شود. چون با توجه به گرانی دستگاه‌های انرژی خورشیدی توجه بیشتر به سمت سوخت‌های فسیلی می‌شود. چالش دیگر در این زمینه بخش فنی این مسئله می‌باشد که مهندسان برق در طراحی و نظارت و نصب در این زمینه ممکن است تا به حال با آن مواجه نشده باشند. سرقت و خرابکاری یکی از مشکلات اصلی دیگر در استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشد. اما یک چالش عمده انرژی خورشیدی عدم ذخیره‌سازی آن در زمانی که انرژی خورشید در دسترس نمی‌باشد، است که یک راه حل برای آن استفاده

از نمک مذاب است که این نمک می‌تواند با استفاده از آینه‌های بسیار بزرگی که نور خورشید را برروی نمک‌ها متمرکز می‌کنند به حالت مذاب در بیاید و از بخار آن در حالت مذاب برای به گردش در آوردن توربین‌های تولید برق استفاده می‌شود[1,6] .

۶.نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد در ابتدا به مزایای انرژی خورشیدی اشاره شود که این ویژگی‌ها با آمار و ارقام بیان شد. در ادامه مقاله به در خصوص طراحی سلول‌های خورشیدی مجتمع در ساختمان توضیحاتی داده شد که برای آن نمونه‌هایی ذکر شد و سپس بین کشورهای مختلفی که از انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان خود استفاده می‌کنند، بررسی و مقایسه انجام شد تا از این الگوها برای کشورما، ایران بهره‌برداری شود. در ادامه مقاله به چالش‌ها و مشکلات انرژی خورشیدی در صنعت ساختمان اشاره شد تا در جهت استفاده از انرژی خورشیدی هوشیارهایی صورت گیرد.در هر صورت هدف اصلی از نگارش این مقاله جمع‌آوری و تنظیم نکاتی بود که در زمینه انرژی خورشیدی در ساختمان به آن توجه می‌شود و در بعضی موارد نیز راهکارهایی ارائه شد.

در نتیجه این نکات و این راهکارها و این جمع بندی‌های حاصل شده می‌تواند برای کسانی که در صنعت ساختمان به نوعی فعالیت می‌کنند، مورد استفاده باشد و در عین حال بیانگر واقعیت‌های مرتبط با انرژی خورشیدی است و تبیین کننده این است که دانسته شود مادامی که به انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی پاک اشاره می‌شود به چه چهارچوب‌ها و نکات کلیدی که در ابتدای این نتیجه بیان شد، باید تکیه شود. پیشنهاد برای این کار آینده می‌تواند شامل معرفی سایر منابع تولید پراکنده نظیر انرژی باد و چالش‌های آن در صنعت ساختمان باشد.

۷.مراجع

[1] E. Goffman , Why not the Sun? advantages of and Problems with Solar Energy .Pro Quest Discovery Guides, , 2008, pp. 1-16.

[2] J. Garcia, E. Gago, J. Bago,and G. Montes, “The use of solar energy in the buildings construction cector in Spain,” Renewable and Sustainable Energy Reviews. ELSEVIER. science Direct, vol.11, pp. 2166-2178,2007.

[3] United Nations, “ Adoption of the Paris agreement,” Conference of the Parties. Frame work Convention on Climate Change. FCCC, pp.1-3,2015.

Li,and Li. Li, “Application and development of dolar dnergy in Li, G. Zhang , D. Li, J. Zhou, L. [4] Z. building industry and its prospects in

China, ”Energy Policy. ELSEVIER, vol.35 ,

pp. 4121-4127,2007.

[5] C.Peng, Y. Huang, and Z. Wu, “ Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China, ” Energy and Buildings.ELSEVIER,vol.43,pp.3592-3598,2011.

“Solar energy installation in Nigeria: Makinde, [6] F.Akin boro , L.Ade jumobi, and V. observations, prospect, problems and solution, ” Transnational Journal of Science and Technology, vol.2,pp.73-

16.da Silva, E.R.; Cavalcanti, M.C.; Jacobina, C.B. Comparative study of pulsed DC-link voltage converters. Power Electron. Spec.Conf. 2000, 2, 1035–1040.
17.Behera, S.; Das, P.; Doradla, S.R. Quasi-resonant inverter-fed direct torque controlled induction motor drives. Electr. Power Syst.Res. 2007, 77, 946–955. [CrossRef]
18.Benbouzid, M.; Vieira, M.; Theys, C. Induction motor’s fault detection and localization using stator current advanced signalprocessing techniques. IEEE Trans. Power Electron. 1999, 14, 14–22. [CrossRef]
19.Tandon, N.; Yadava, G.S.; Ramakrishna, K.M. A comparison of some condition monitoring techniques for the detection of defectin induction motor ball bearings. Mech. Syst. Signal Process. 2007, 21, 244–256. [CrossRef]
20.Siddique, A.; Yadava, G.S.; Singh, B. A review of stator fault monitoring techniques of induction motors. IEEE Trans. EnergyConvers. 2005, 20, 106–114. [CrossRef]
21.Ioannides, M.G. Design and implementation of PLC-based monitoring control system for induction motor. IEEE Trans. EnergyConvers. 2004, 19, 469–476. [CrossRef]
22.Mousavi, S.M. Dash.Application of Speed Estimation Techniques for Induction Motor Drives in Electric Traction Industries andvehicles. Int. J. Automot. Eng. 2014, 4, 857–867.
23.Thomson, W.T.; Fenger, M. Current signature analysis to detect induction motor faults. IEEE Ind. Appl. Mag. , 7, 26–34.

KNO-1101-4303

بررسی تفاوت‌های سیستم فنربندی و آیرودینامیک خودروهای فرمول یک با خودروهای هیبریدی و مدل‌سازی یک سیستم تعلیق بهبود یافته در نرم‌افزار MATLAB

علیرضا محمودی‌فرد[۱] alireza10.m10@gmail.com

[۱]پژوهشگر و مدرس دانشگاه‌ها (در رشته‌های مختلف)، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

چکیده:

بارهای آیرودینامیکی تولید شده در یک بال در طراحی ساختاری آن، بسیار مهم است. هنگامی که بال‌های چند عنصری با دستگاه‌های نوک بال انتخاب می‌شوند، شناسایی و کمی کردن رفتار ساختاری آن‌ها برای جلوگیری از تغییر شکل‌های نامطلوب که عملکرد آیرودینامیکی را کاهش می‌دهند، ضروری است. این تحقیق با استفاده از روش‌های عددی (دینامیک سیالات محاسباتی و تجزیه و تحلیل اجزای محدود)، با استفاده از روش‌های اعتبارسنجی جامع برای اطمینان از صحت نتایج و ارزیابی عدم قطعیت آن‌ها، این سوالات را بررسی می‌کند؛ در مرحله اول، یک بررسی کامل از چهار پیکربندی خط پایه، با استفاده از معادلات میانگین ناویر-استوکس رینولدز و مدل آشفتگی ***k-SST*** (انتقال تنش برشی) برای تجزیه و تحلیل و تعیین کمیت مهم‌ترین پارامترهای آیرودینامیکی و ساختاری انجام می‌شود؛ چندین پیکربندی ساختاری، از جمله مواد مختلف (آلیاژهای فلزی و دو کامپوزیت تقویت‌شده با الیاف طراحی شده) تحلیل می شوند؛ علاوه‌بر این، ثابت شده است که اصل برهم‌نهی، یک روش عالی برای اجرای طرح‌های ساختاری با کارایی بالا است؛ تاثیرات ناهمواری سطح جاده بر روی پایداری خودرو و راحتی سفر، از دیرباز مورد توجه محققان و صنایع خودروسازی بوده است. بدین‌منظور مدل‌سازی ارتعاشی خودرو با استفاده از مدل‌های ریاضی به‌منظور کاهش ارتعاشات ناخواسته خودرو در تحقیقات اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله تلاش گردیده است تا با مقایسه سیستم‌های تعلیق خودروهای مسابقه‌ای فرمول یک و خودروهای کم‌مصرف هیبریدی از نظر حرکت ارتعاش عمودی و کله‌زنی خودرو و ... و همچنین ارائه یک شبیه سازی، نوعی سیستم تعلیق بهبود یافته با طول عمر بالا، نشان داده شود.

کلید واژه‌ها: آیرودینامیک، خودرو هیبریدی، سیستم تعلیق، طراحی سازه، فرمول یک، مدل آشفتگی SST

۱. مقدمه

آیرودینامیک در طراحی خودروهای فرمول یک، از ابتدای رقابت در اوایل دهه ۱۹۵۰ مورد توجه قرار گرفته است؛ با این حال، نقش آن ثانویه بود و ملاحظات آیرودینامیکی بر کاهش میزان درگ ایجاد شده در خودرو، متمرکز بود. ظهور بال‌ها در اتومبیل‌های فرمول یک در سال ۱۹۶۸ اتفاق افتاد، زمانی‌که کالین چپمن بال‌های جلو و عقب را در لوتوس ۴۹ برای دست‌یابی به نیروی رو به پایین آیرودینامیکی معرفی کرد [۳-۱]، که اهمیت طراحی آیرودینامیکی یک ماشین مسابقه را در عملکرد آن برجسته نمود. نیروی رو به پایین می‌تواند حداکثر نیروهای جانبی و مماسی لاستیک را افزایش دهد [۱،۴] و در نتیجه باعث افزایش سرعت پیچیدن خودرو و بهبود عملکرد شتاب و ترمز خودرو می‌شود؛ علاوه‌بر این، مهم‌ترین تأثیر کاهش درگ، افزایش حداکثر سرعت خودرو است. هر جزء خارجی یک خودرو فرمول یک، قبل از اجرا در معرض یک طراحی کامل آیرودینامیکی قرار دارد؛ با این وجود، اکثر این قطعات، اهداف دیگری دارند و بنابراین طراحی آیرودینامیکی آن‌ها تنها بر اساس کاهش میزان درگ ایجاد شده است. تقریباً تمام نیروی رو به پایین تولید شده در خودرو، توسط سه وسیله اصلی آیرودینامیک تأمین می‌شود: بال جلو، بال عقب و کف پخش‌کننده [۱،۵]؛ آن‌ها منحصراً بر اساس ملاحظات آیرودینامیکی طراحی می‌شوند و بنابراین نمی‌توان آن‌ها را جداگانه طراحی کرد. اگر از اثرات آیرودینامیکی برای افزایش عملکرد خودرو استفاده شود، تعادل بهینه نیروی رو به پایین بین چرخ‌های جلو و عقب برای متعادل کردن نیروی نرمال اعمال شده در هر دو تایر بسیار

مهم است [۴]. مرکز فشار، زمانی که در قسمت عقب خودرو قرار می‌گیرد، اطمینان می‌دهد که چرخ‌های جلو، حداکثر نیروی جانبی کمتری دارند و خودرو کم‌فرمان می‌شود؛ از طرفی اگر مرکز فشار در قسمت جلویی خودرو قرار گیرد، چرخ‌های عقب، حداکثر نیروی جانبی کمتری دارند و در نتیجه خودرو، بیش‌فرمانی می‌کند [۴۹].

این دستگاه آیرودینامیک با تمرکز بر بال جلو، جلویی‌ترین جزء یک ماشین مسابقه‌ای چرخ باز است؛ از یک بال با زاویه حمله منفی با وسایل اضافی مانند فلپ، فلپ گورنی یا صفحات انتهایی تشکیل شده است؛ دو ویژگی عمده در طراحی آن تأثیر مهمی دارند: نزدیکی آسفالت (اثر زمین) و تایرها [۱]؛ چندین هدف دارد: ایجاد نیروی رو به پایین (۲۵ تا ۳۰ درصد از نیروی رو به پایین خودرو [۳،۵]) در قسمت جلویی خودرو با راندمان آیرودینامیکی بالا، کاهش پسا ایجاد شده در چرخ‌های جلو و کانالیزه کردن جریان هوا به عقب‌ترین اجزا؛ از این‌رو، بال‌های جلوی خودروی مسابقه‌ای دارای نسبت بالابر به درگ بسیار بالایی هستند [۶ و ۴۹]. شدت بالای نیروهای آیرودینامیکی ایجاد شده در بال‌ها، طراحی سازه را حیاتی می‌کند. در بال جلویی خودروی فرمول یک، بارهای آیرودینامیکی به‌طور قابل توجهی کمتر از یک هواپیمای تجاری است، زیرا حداکثر سرعت و نسبت ابعاد بال به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر است. هدف اصلی از طراحی ساختاری بال جلو، کاهش وزن سازه است. در یک بخش موتور اسپورت بسیار رقابتی، پارامترسازی صحیح حد بین وزن سبک و قابلیت اطمینان ساختاری ضروری است؛ علاوه‌بر این، مقررات فرمول یک FIA مقرر می‌دارد که تمام دستگاه‌های آیرودینامیک خودرو، از جمله بال جلو، جلو و بدنه، در میان سایر اجزای خارجی، باید مطابق با هواپیمای مرجع خودرو بی‌حرکت باشند [۷]؛ بنابراین، بال جلوی یک خودروی فرمول یک، دارای استحکام بسیار بالایی است، بنابراین تغییر شکل آن را به حداقل می‌رساند، که تأثیر منفی بر عملکرد آیرودینامیکی خودرو دارد [۸ و ۴۹].

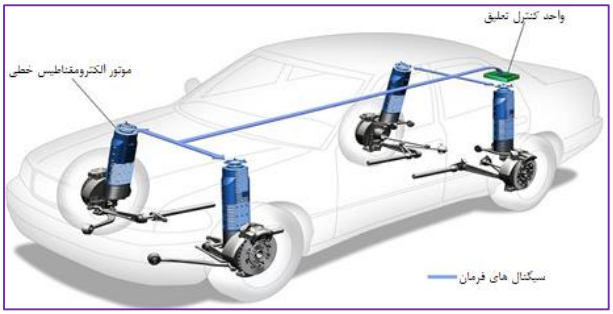
در مطالعه دینامیک خودروهای هیبریدی (نه خودروهای فرمول یک)، به‌کمک مدل‌های گوناگون به‌علت استفاده از مدل‌های خطی برای مدل‌سازی اجزاء خودرو در مقایسه با نتایج تجربی، تضاد مشاهده می‌شود؛ منشاء این تضاد، خاصیت غیر خطی اجزاء خودرو می‌باشد که سبب به‌وجود آمدن پدیده‌هایی از قبیل آشوب می‌شود که در تحقیقات مبتنی‌بر مدل‌های خطی، قابل مشاهده نیست؛ با ورود مدل‌های غیر خطی اجزاء تشکیل‌دهنده خودرو، مدل‌های معرفی شده برای خودرو، مورد بازبینی قرار گرفته‌اند. توسعه مدل‌های غیر خطی ابتدا با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی برای سفتی فنر در سیستم تعلیق و سفتی تایر آغاز شد؛ در تحقیقات بعدی رفتار غیر خطی دمپر نیز مورد توجه قرار گرفت. در عمده تحقیقات انجام شده، رفتار غیر خطی دمپر به‌صورت دو خطی منظور شده است [۱۱ و ۵۰]؛ توسعه این مدل‌ها با معرفی دمپرهای الکترومغناطیسی در صنعت خودروسازی که دارای ویژگی غیر خطی و هیستریستیک هستند، وارد مرحله‌ای تازه شد؛ این نوع دمپرها دارای ویژگی‌های میرائی متفاوتی نسبت به دمپرهای متداول هستند [۱۲،۱۳ و ۱۴]؛ اما مدل مورد استفاده در این تحقیقات با وجود توجه به ویژگی اجزاء غیر خطی ساده و از نوع یک‌چهارم با یک درجه آزادی است که در نظر نگرفتن جرم فنربندی نشده، سبب به‌وجود آمدن کاستی در این مدل می‌شود [۵۰].

این تحقیق به دو بلوک تقسیم می‌شود: در ابتدا، یک بررسی کامل، از جمله تجزیه و تحلیل مهم‌ترین پارامترهای آیرودینامیکی و ساختاری، در میان انتخاب دقیق و تجزیه و تحلیل مناسب‌ترین مواد انجام می‌شود؛ علاوه‌بر این، دو کامپوزیت بر اساس خواص مکانیکی تقویت‌کننده و ماتریس، بسته‌بندی و حجم اجزای تشکیل‌دهنده ایجاد می‌شوند؛ در نهایت، یک بال جلویی ۲۰۲۲ با استفاده از مرتبط‌ترین ویژگی‌های آیرودینامیکی طراحی شده و اجزای ساختاری آن بر اساس تحلیل حساسیت ساخته شده‌اند؛ همچنین طراحی و بررسی آیرودینامک یک خودروی هیبریدی ۲۰۲۰ از نظر فیزیک دینامیکی و فشار و تنش وارد به بدنه با نرم‌افزارMATLAB 2021 مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار می‌گیرد [۴۹،۵۰].

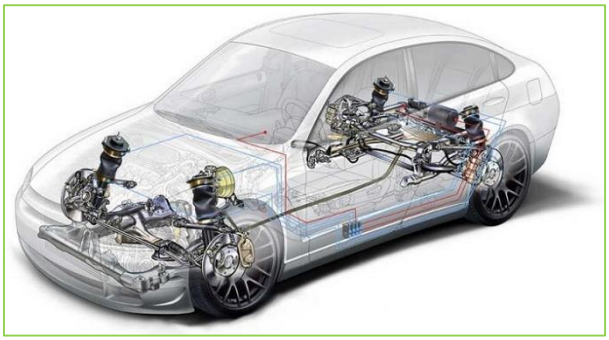
۲. متن اصلی

۱،۲. سیستم تعلیق خودرو و انواع آن

وظیفه اصلی سیستم تعلیق، جلوگیری از انتقال ارتعاشات به داخل کابین و قطعات خودرو و در نتیجه ایجاد راحتی سفر و همچنین مسیردهی به خودرو می‌باشد؛ این سیستم دقیقا بین شاسی و چرخ‌های خودرو، کار گذاشته شده است. وظیفه جلوگیری از انتقال ارتعاشات، توسط فنرها و کمک فنرهای به‌کار رفته در خودرو انجام می‌پذیرد و وظیفه دوم یعنی مسیردهی و فرمان‌دهی به خودرو توسط چرخ‌ها و نگهدارنده‌های آن انجام می‌گیرد. در صورت عدم وجود این سیستم، قطعات داخلی خودرو به‌سبب ارتعاشات وارده به خودرو و لرزش‌های بسیار زیاد در هنگام حرکت، عمر کوتاهی داشته و همچنین سفر برای سرنشینان بسیار طاقت‌فرسا و آزار دهنده می‌شد [۵۰]. امروزه یکی از مهم‌ترین عوامل در راحتی خودرو، نوع سیستم تعلیق و کیفیت به‌کار رفته در خودرو می‌باشد که نقش پررنگی در جذب بازار فروش برای آن خودرو دارد؛ این سیستم معمولا اگر اشکالی داشته باشد، از طریق دیاگ زدن خودرو، قابل شناسایی می‌باشد. به‌طور کلی وظیفه سیستم تعلیق خودرو، ثابت نگه‌داشتن ارتفاع خودرو در حال حرکت، کاهش ارتعاشات و لرزش‌های ناشی‌از ضربات، مسیردهی به چرخ‌ها، تحمل وزن خودرو و حفظ تماس چرخ‌های خودرو با جاده می‌باشد، که همه این وظایف با استفاده از قطعاتی که پیش‌تر ذکر شده، انجام می‌گیرد. انواع مختلفی از سیستم‌های تعلیق خودرو وجود دارد که اصلی‌ترین آن‌ها به سه دسته سیستم مک فرسون، تعلیق مستقل و تعلیق طبق‌دار دوبل تقسیم می‌گردد [۵۰].



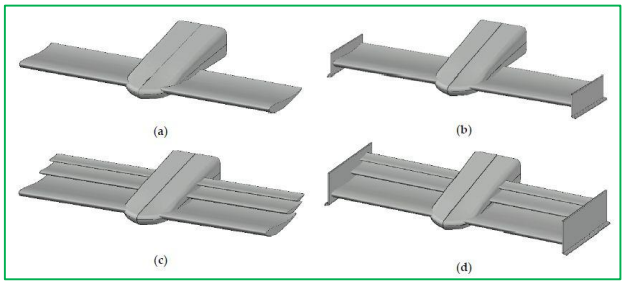
شکل ۱) شماتیکی از سیستم تعلیق خودرو [۵۰]



شکل ۲) نمایی واقعی از تعلیق خودروی هیبریدی [۵۰]

۲,۲. طراحی پیکربندی‌های خط پایه بال جلو خودروی فرمول یک

چهار پیکربندی خط پایه (شکل ۱) برای تجزیه و تحلیل تأثیر فلپ‌ها و صفحات انتهایی در عملکرد آیرودینامیکی و ساختاری بال طراحی شده است؛ آن‌ها بر اساس پیکربندی سه عنصری دو بعدی بهینه شده توسط Gorostidi و همکاران هستند [۱۲ و ۴۹]؛ از طریق تجزیه و تحلیل چندین ایرفویل با کارایی بالا و درجات آزادی چندگانه (وتر، زوایای حمله، همپوشانی بین عناصر، در میان سایر ملاحظات جزئی)؛ این چهار پیکربندی ۹۰۰ میلی‌متر در جهت دهانه اکسترود شده‌اند، که حداکثر طول مجاز توسط مقررات فرمول یک FIA 2022 برای بال‌های جلو است؛ علاوه‌بر این، پیکربندی‌های خط پایه برای انجام تجزیه و تحلیل اجزای ساختاری بال جلو به‌دلیل شکل پیچیده بال ۲۰۲۲ (متشکل از ۲۱ بخش دو بعدی مختلف) استفاده می‌شوند. در مقاله مربوطه، پس از تجزیه و تحلیل ساختاری و حساسیت، اجزای بال انتخاب شده در بال جلویی فرمول یک طراحی شده ۲۰۲۲ پیاده‌سازی شدند. ویژگی‌های اصلی این پیکربندی دو بعدی، در جدول ۱ ارائه شده است [۴۹].



شکل ۳) پیکربندی‌های پایه: (الف) یک عنصر بدون صفحات انتهایی. (ب) یک عنصر با صفحات انتهایی. (ج) سه عنصر بدون صفحات انتهایی. (د) سه عنصری با صفحات انتهایی

جدول ۱) ویژگی‌های بال جلو سه عنصری F1 دو بعدی که توسط گوروستیدی و همکاران به‌دست آمده است [۱۱ و ۴۹].

ویژگی	نماد	مقدار	واحد
ایرفویل	S1210	-	-
وتر عنصر اصلی	c_1	250	mm
وتر فلپ اولیه	c_2	125	mm
وتر فلپ ثانویه	c_3	62.5	mm
زاویه حمله عنصر اصلی	a_1	3	0
زاویه حمله فلپ اولیه	a_2	6	0
زاویه حمله فلپ ثانویه	a_3	9	0
شکاف بین عناصر ۱ و ۲	G_{12}	19.43	mm
فاصله بین عناصر ۲ و ۳	G_{23}	16.27	mm
همپوشانی بین عناصر ۱ و ۲	O_{12}	29.87	%
همپوشانی بین عناصر ۲ و ۳	O_{23}	35.46	%
فاصله تا صفحه مرجع	h_{RP}	75	mm
فاصله تا کف	h	160	mm

پیکربندی ساده یک عنصری (a) مقادیر مرجع را برای شبیه‌سازی‌های بیشتر فراهم می‌کند. پیکربندی دوم (b) دارای صفحات انتهایی است که اختلاف فشار را بر روی سطوح بالا و پایین بال افزایش می‌دهد و کشش و گرداب القایی را کاهش می‌دهد [۲۳ و ۴۹]. پیکربندی سوم (c) برای تجزیه و تحلیل تأثیر نسبت ابعاد در رفتار ساختاری فلپ و تأثیر فلپ‌ها بر عملکرد کلی بال طراحی شده است. در آخرین پیکربندی (d) (بال سه عنصری با صفحات انتهایی)، دستگاه‌های نوک بال یک اتصال مکانیکی جدید بین عناصر ایجاد می‌کنند و بنابراین رفتار ساختاری این پیکربندی شبیه بال‌های جلویی فرمول یک است [۴۹].

۳,۲. طراحی بال جلو فرمول یک ۲۰۲۲

بال جلوی ۲۰۲۲ اقتباسی از یک پیکربندی دو بعدی سه عنصری است که توسط Gorostidi و همکارانش انجام شده است [۱۲ و ۴۹]. حجم اختصاص داده شده برای عناصر بال جلو (عنصر اصلی و فلپ‌ها) از Art مشتق شده است. A21 به ۲۱ بخش تقسیم می‌شود. پیکربندی ایرفویل‌ها در هر بخش از طریق به حداکثر رساندن نیروی رو به پایین ایجاد شده، انجام می‌شود؛ بنابراین، مهم است که پارامترهای تأثیر اصلی را انتخاب کنید: مساحت بال، زاویه حمله و شکاف و همپوشانی بین عناصر. اولین پارامتری که باید اصلاح شود، ناحیه نمای بالا است که بدون تغییر پیکربندی بهینه دو بعدی تأثیر متناسبی بر نیروی رو به پایین دارد؛ بدین‌ترتیب، کل وتر هر بخش برای مطابقت با حداکثر وتر مجاز توسط حجم مرجع بال جلو، مقیاس می‌شود. پارامتر دوم برای تطبیق زاویه حمله است [۴۹]. با توجه به علاقه به افزایش نیروی رو به پایین، پارامتری برای به حداکثر رساندن است؛ با این حال، این فقط در بخش‌هایی جالب است که موقعیت لبه انتهایی با طول حجم مرجع محدود می‌شود، در غیر این‌صورت ناحیه نمای بالا کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، ۱۸ بخش با طول محدود می‌شوند و بنابراین زاویه آن‌ها برای دست‌یابی به حداکثر زاویه حمله کل مجاز با حداکثر حجم مجاز توسط Art افزایش می‌یابد؛

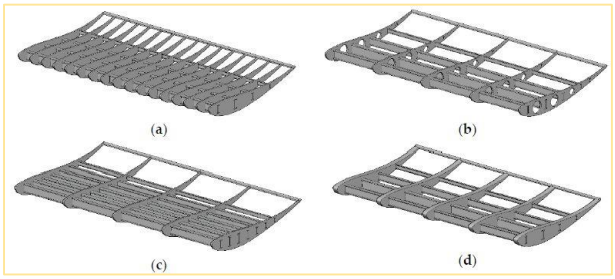
از طرف آن، مقاطع محدود شده توسط ارتفاع با توجه به شکاف و همپوشانی بین عناصر اصلاح می‌شوند، تا با حداکثر طول مجاز توسط مقررات در هر بخش مطابقت داشته باشند [۴۹].



شکل ۴) بال جلوی ۲۰۲۲ متصل به خودروی فرمول یک ۲۰۱۸ [۴۹].

۴،۲. طراحی اجزای سازه‌ای

اگرچه بال‌های جلویی کنونی دارای یک ساختار کامپوزیت ساندویچی با پوسته تقویت شده با الیاف و یک فضای داخلی پلیمری با دنده‌های داخلی هستند، این تحقیق از ساختار معمولی، بر اساس دنده‌ها، اسپارها و پوست، شبیه به هواپیماهای تجاری استفاده می‌کند [۲۴]. ساختار داخلی بال برای تجزیه و تحلیل تأثیر هر جزء در رفتار ساختاری نهایی، ماهیت تنش‌ها و کرنش‌های اصلی آن‌ها و تأثیر مهم‌ترین پارامترهای طراحی به یک بررسی کامل ارائه شد. ابتدا، یک پیکربندی خط پایه برای به‌دست آوردن اولین رویکرد از رفتار ساختاری بال طراحی شد؛ این پیکربندی بر اساس طراحی مهندسی کیفی است و از پنج دنده، پنج اسپار و یک پوست تشکیل شده است. هنگامی که پیکربندی خط پایه ایجاد شد، چندین طرح برای تجزیه و تحلیل عملکرد آن‌ها ساخته شد؛ برخی از این طرح‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. اولین اجزایی که طراحی می‌شوند، اسپارها هستند که تیرهای طولی بال هستند؛ عملکرد اصلی آن‌ها جلوگیری از تغییر شکل عمودی بال و جذب بارهای وارده از پوست است؛ آن‌ها در معرض تنش برشی قرار دارند و برای این مورد، مدول برشی به یک عامل حیاتی تبدیل شد. اسپارهای طراحی شده از یک اکستروژن معمولی در امتداد جهت عرض دهانه تشکیل شده است که مقطع آن بر اساس یک تیر I است که از نظر نسبت سختی به وزن، بهترین انتخاب است. تعداد اولیه اسپارها در پنج (چهار تیر با مقطع I معمولی و یک تیر در لبه عقب با عرض ۱۰ میلی‌متر که بخش آن با هندسه ایرفویل مطابقت دارد) تنظیم می شود که موقعیت آن‌ها عمدتاً به دو دلیل اصلی در قسمت جلویی بال قرار می‌گیرد؛ توزیع فشار در نزدیکی لبه جلویی بالاتر است و ایرفویل S12010 بعد از موقعیت حداکثر ضخامت، بخش بسیار نازک‌تری دارد؛ با این حال، به‌دلیل رفتار ساختاری بال، لبه دنباله‌دار بیشترین تغییر شکل را در بال به‌دست می‌آورد و به همین دلیل است که آخرین اسپار به یک جزء حیاتی در سازه تبدیل می‌شود. یکی دیگر از پارامترهای مهم اسپارها، اندازه آن‌هاست. با توجه به انتخاب ایرفویل کمبردار پیچیده فوق‌الذکر، اندازه هر اسپار باید با محیط تنظیم شود؛ از این‌رو، مناسب‌ترین رویکرد برای پارامترسازی اندازه اسپارها، تنظیم آن بر اساس طول عمودی دنده در هر موقعیت است؛ در نهایت، شکل اسپار با توجه به سه پارامتر آزادی، تجزیه و تحلیل می‌شود: عرض ریشه، عرض سر و طول سر (همه آن‌ها به‌صورت درصدی از طول ریشه اندازه‌گیری می‌شوند). به‌طور کلی، در مجموع ۳۲۴ پیکربندی اسپار تجزیه و تحلیل شده است [۴۹].



شکل ۵) نمونه‌هایی از طرح‌های سازه بال: (الف) ساختار بال با دنده‌های با چگالی بالا. (ب) دنده‌هایی با سوراخ‌های دایره‌ای اجرا شده؛ (ج) ساختار بال با اسپارهای با چگالی بالا. د) دنده‌هایی با ضخامت بالا [۴۹]

اجزای دوم برای طراحی دنده‌ها هستند؛ آن‌ها عنصر عرضی بال هستند که شکل آن‌ها ایرفویل است و سختی بال را پشتیبانی می‌کنند؛ دنده‌ها در معرض تنش‌های فشاری معمولی قرار دارند؛ این تنش‌ها را می‌توان در ضریب فشار در هر دنده به‌دست آورد، جایی‌که حداکثر بار در قسمت جلویی وجود دارد؛ علاوه‌بر این، دنده‌های نزدیک نوک به‌دلیل از دست دادن کارایی آیرودینامیکی در بال، بار کمتری دارند. آنالیز دنده در سه درجه آزادی انجام می‌شود:

تعداد دنده‌ها در ساختار، ضخامت و سوراخ‌های دایره‌ای. آخرین پارامتر برای کاهش وزن سازه، ضروری است؛ زیرا مرکز دنده‌ها ناحیه‌ای با تنش‌های کمتر است؛ این حفره‌ها همچنین مدور هستند، زیرا تنش‌ها را بهتر از هندسه‌های تیز مانند مثلث یا مربع جذب می‌کنند؛ به طور کلی در مقالات، در مجموع ۸۰ پیکربندی از دنده، مورد بررسی قرار گرفته است. توجه به این نکته بسیار مهم است که هر دنده حجم متفاوتی برای هر مجموعه اسپار و ضخامت پوست دارد؛ در نهایت، پوست جزء خارجی بال است. در معرض بارهای خمشی بالایی قرار دارد، که به تعداد دنده‌ها و اسپارهای بال بستگی دارد. پوست بال هواپیما باید در برابر خوردگی مقاوم باشد، زیرا پوشش‌ها وزن ساختاری را افزایش می‌دهند؛ برعکس، بال‌های فرمول یک عمر کوتاهی دارند و بنابراین، خوردگی مشکلی ندارد. پوست در سراسر یک اکستروژن داخلی سطح بال ایجاد شده و با پنج ضخامت مختلف طراحی شده است. حتی اگر ضخامت پوست بسیار کم باشد، حجم آن در بین تمام اجزاء بیشتر است و در نتیجه اهمیت زیادی در طراحی ساختاری خواهد داشت؛ علاوه‌بر این، ذکر این نکته مهم است که ضخامت بیشتر، باعث کاهش برش دنده و اسپار می‌شود که در طراحی سازه این قضیه به‌درستی درمان می‌شود.

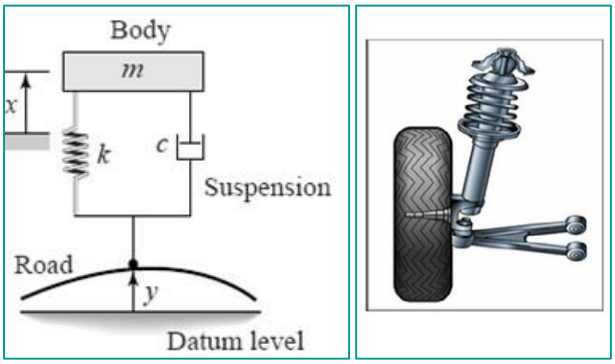
۵,۲. نحوه کار تعلیق در خودروهای هیبریدی

اگر جاده‌ها کاملاً صاف بودند و بدون هیچ دست‌اندازی، نیازی به سیستم تعلیق نبود؛ ولی جاده‌ها از صاف بودن، فاصله زیادی دارند؛ حتی جاده‌هایی هم که به‌تازگی آسفالت شده‌اند، دارای ناصافی‌هایی جزئی هستند که می‌توانند بر چرخ‌های خودرو، تاثیر بگذارند؛ این ناصافی‌ها، بر چرخ‌ها نیرو وارد می‌کنند و طبق قوانین حرکت نیوتن، همه نیروها جهت و اندازه دارند. یک دست‌انداز باعث می‌شود تا چرخ به‌صورت عمودی، بر سطح جاده، بالا و پایین برود؛ البته نیرو، به بزرگی و کوچکی دست‌انداز بستگی دارد؛ در عین‌حال، چرخ خودرو هنگامی‌که از ناهم‌سطحی عبور می‌کند، یک شتاب عمودی را نیز به‌دست می‌آورد [۵۰].

بدون یک نظام مداخله‌کننده، همه انرژی عمودی چرخ، به شاسی که در همان جهت در حال حرکت است، انتقال می‌یابد؛ در چنین شرایطی، ممکن است که چرخ‌ها به‌طور کامل از جاده جدا شده و سپس، تحت نیروی جاذبه، مجدداً با سطح جاده برخورد کنند؛ چیزی که شما نیاز دارید، سیستمی است که انرژی چرخ را که دارای شتاب عمودی است، در حال عبور از دست‌انداز، جذب کرده و به شاسی و بدنه اجازه دهد تا به‌راحتی حرکت کنند؛ مطالعه نیروهای موجود در یک خودروی متحرک را دینامیک خودرو می‌نامند و برای درک بهتر ضرورت وجود یک سیستم تعلیق، در وهله اول نیاز به دانستن بعضی مفاهیم می‌باشد. اکثر مهندسان اتومبیل، دینامیک خودروی متحرک را از دو دیدگاه بررسی می‌کنند:

- سواری- توانایی خودرو برای به نرمی عبور کردن از یک جاده پر دست‌انداز.
- دست فرمان- امنیت خودرو در شتاب، ترمز و در پیچ‌ها و دورها.

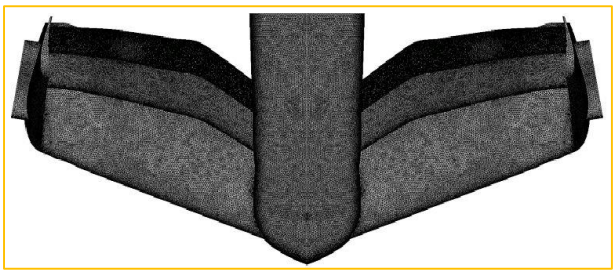
این دو خصیصه را می‌توان به‌صورت عمیق‌تری در سه بخش مهم توضیح داد- ایزولاسیون جاده، نگهدارندگی جاده و پیچ. در مقاله‌ای این اجزاء توضیح داده شده و به این می‌پردازد که مهندسان چگونه سعی بر حل ایـن مـشکلات، به‌صورت جداگانه و بسته به نوع خودشان دارند [۵۰].



شکل ۶) سیستم یک درجه آزادی ¼ خودرو [۵۰]

۶،۲. بررسی طراحی مش

شبیه‌سازی‌های دینامیک سیال این تحقیق با یک مش هیبریدی، انجام شده است (شکل ۴) که به‌دلیل داشتن بالاترین نسبت دقت به هزینه، مناسب است. از یک لایه مرزی ساختاریافته از ۳۰ عنصر و روش‌های بدون ساختار در سایر مناطق حوزه، تشکیل شده است؛ از طرف آن، مش ساختار داخلی بال جلو با روش‌های ساختار یافته (هگزادرون) انجام می‌شود.



شکل ۷) مش مونتاژ بال جلوی فرمول یک ۲۰۲۲

انتخاب دامنه سیال به‌دلیل وجود جاده در زیر خودرو، یکی از چالش‌برانگیزترین تصمیمات است؛ حتی اگر چندین اندازه توسط نویسندگان مختلف با نتایج دقیق استفاده شود، چیزی واضح است: مناسب‌ترین توپولوژی، یک دامنه مکعبی است. اشتون و همکاران [۳۷]، یک دامنه مکعبی با ارتفاع ۸ H، عرض ۱۴ H، ۱۳ H بالادست، ۱۹ H پایین‌دست و ۱۴ H جریان متقاطع در تجزیه و تحلیل ناویر-استوکس با میانگین رینولدز (RANS) و شبیه‌سازی گردابی جدا شده، استفاده کردند. DES روش‌هایی برای مدل‌های واقعی خودرو، که در آن H ارتفاع خودرو است. هفت و همکاران [۳۸] از طول ماشین برای تنظیم اندازه‌های بالادست (۲ لیتر) و پایین‌دست (۷ لیتر) دامنه استفاده کرد. آروندو و همکاران [۱۳] در مطالعه خود بر روی بال جلویی F1 2021 از یک دامنه سیال بر اساس ارتفاع استفاده کردند؛ آن‌ها ارتفاع ۵ H، ۳ H بالادست و ۱۰ H پایین‌دست را تعیین کردند؛ آن‌ها از همان ارتفاع اشتون و طول جریان متقاطع (۱۱ وات) استفاده کردند. در محافظه‌کارانه‌ترین حوزه، سیموندز و همکاران [۳۹] ارتفاع ۱۰ لیتر، عرض ۲۰ لیتر، بالادست ۱۲ لیتر و پایین‌دست ۱۵ لیتر استفاده می‌شود؛ علاوه‌بر این، ذکر این نکته مهم است که اشتون و همکاران [۳۷]، Heft [38] و Simmonds [39] از شرایط مرزی متقارن در صفحه مرکزی خودرو استفاده نکردند، که دلالت بر هزینه محاسباتی اضافی دارد. در تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده توسط نویسندگان فوق‌الذکر، حوزه سیال انتخاب شده ابعاد به‌کار گرفته شده توسط سیموندز و همکاران را نشان می‌دهد [۳۹ و ۴۹]؛ اما با استفاده از وتر به‌عنوان یک روش اندازه‌گیری نسبی. تعداد گره‌ها در ایرفویل باید به اندازه‌ای باشد که هندسه اصلی را به‌طور دقیق نشان دهد و مستقل از شبکه در نظر گرفته شود. به‌دنبال تجربه نویسندگان با ایرفویل‌های مشابه، ۲۵۰ گره بودند؛ حداکثر در لبه جلو، با حداقل فاصله شبکه مماسی ۰،۰۰۲ و حداقل در محل حداکثر ضخامت، با حداکثر فاصله شبکه مماسی ۰،۰۰۶ است. با توجه به درمان لایه مرزی، "مدل‌های مبتنی‌بر E و مبتنی‌بر ω گزینه‌های درمان دیوار غیر حساس y+ را از طریق رویکرد تابع دیوار [۴۰] ارائه می‌دهند. با استفاده از توابع دیوار، فاصله نرمال زمانی که $y+ \approx 30$ باشد، بهینه در نظر گرفته می‌شود (اگر کمتر باشد، دقت تنش برشی دیوار و انتقال حرارت را می‌توان به‌طور جدی کاهش داد) [۴۱]؛ به این ترتیب، یک $y+ = 30$ مقدماتی و تحلیل پسینی از y+ محاسبه شده

برای اطمینان از عنوان صحیح لایه مرزی انجام می‌شود؛ لایه مرزی دوم؛ شرط مش‌بندی، اطمینان از مش‌بندی کامل آن است: ضخامت نظری لایه مرزی محاسبه می‌شود [۴۲ و ۴۹] و تعداد عناصر مطابق با کاسترو [۴۲] ۳۰ تعیین می‌شود؛ بنابراین، از طریق روابط ریاضی بین سه پارامتر فوق‌الذکر (حداقل نرمال)، فاصله شبکه، حداکثر ضخامت و تعداد عناصر)، نرخ رشد ۱,۱ تعیین شد؛ پس از به‌دست آوردن تمام پارامترهای مش، لایه مرزی با منشورهای مثلثی از طریق استفاده از دیوار خارجی معمولی تولید می‌شود [۴۹].

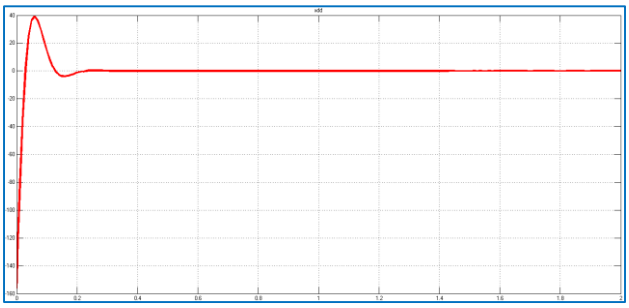
۷,۲. شبیه‌سازی سیستم تعلیق $\frac{1}{4}$ یک خودروی هیبریدی

اگر بخواهیم یک سیستم تعلیق طبق‌دار دوبل را به‌صورتی کلی مورد بررسی قرار دهیم، برای شبیه‌سازی با استفاده از پارامترها معادله حرکت سیستم یک‌چهارم خودرو به‌صورت زیر در می‌آید:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky \quad (۱)$$

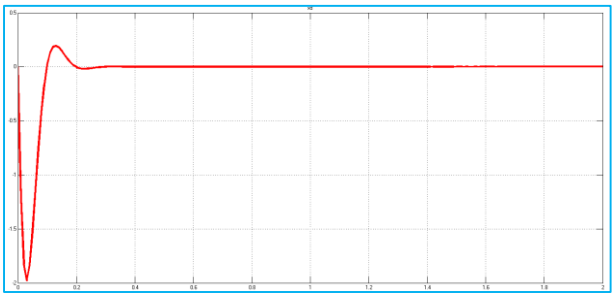
$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$$
$$m = 320\,kg$$
$$k = 500000\,N/m \qquad (۲)$$
$$c = 15020\,N.s/m$$
$$320\ddot{x} + 15020\dot{x} + 500000x = 15020\dot{y} + 500000y + u$$

با توجه به روابط محاسبه شده در بالا، نتایج شبیه‌سازی را برای زمانی که ورودی جاده‌ای وجود دارد، به شکل زیر می‌توان نشان داد [۵۰]:

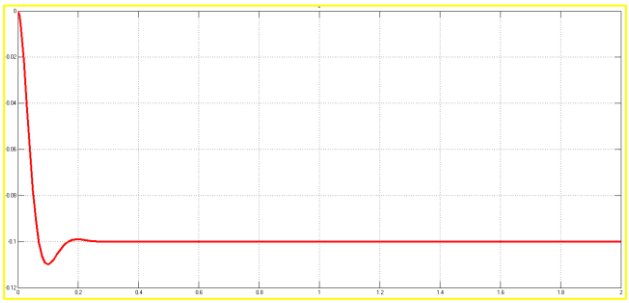


شکل ۸) نمودار شتاب خودرو [۵۰]

همچنین نمودارهای مربوط به جابجایی و سرعت خودروی هیبریدی مورد بحث، در ادامه نشان داده شده است.

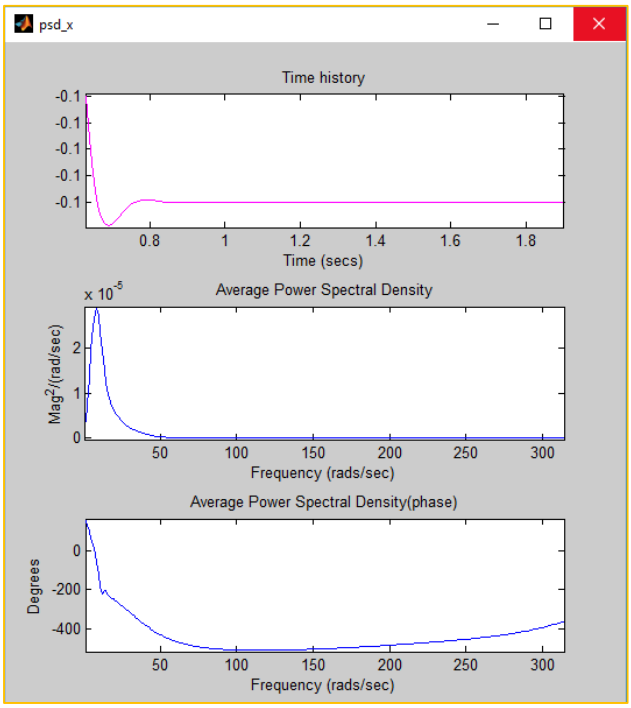


شکل ۹) نمودار سرعت خودرو [۵۰]



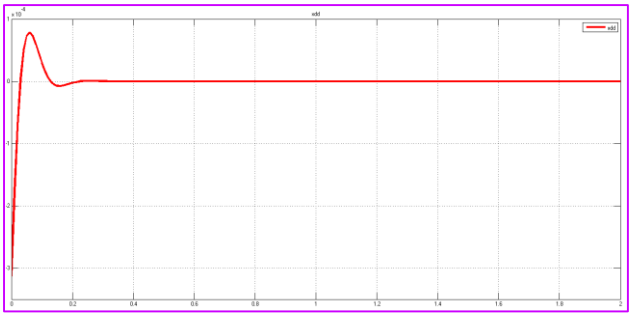
شکل ۱۰) نمودار جابجایی خودرو [۵۰]

همچنین نمودار چگالی طیفی توان[۲] را می‌توان بدین‌صورت نشان داد:



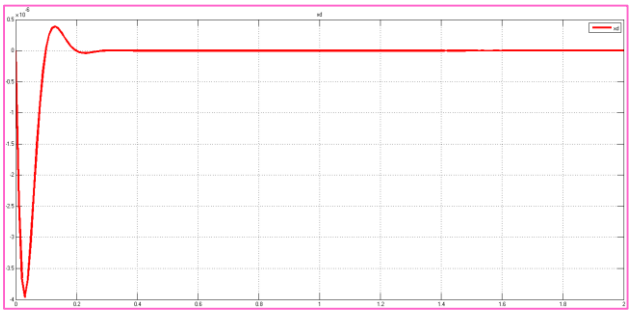
شکل ۱۱) نمودار PSD [۵۰]

نتایج شبیه‌سازی را برای زمانی که ورودی جاده‌ای برای خودروی مورد بحث وجود ندارد، می‌توان به‌صورت نمودارهای زیر نشان داد.

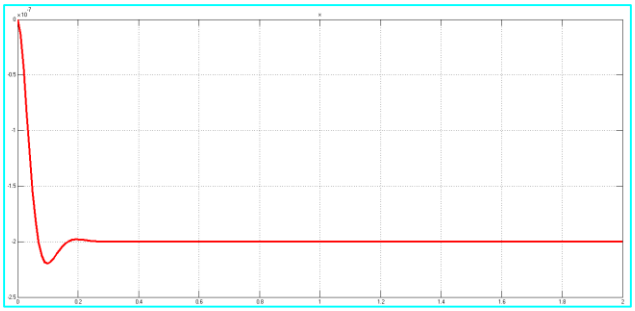


شکل ۱۲) نمودار شتاب ثانویه

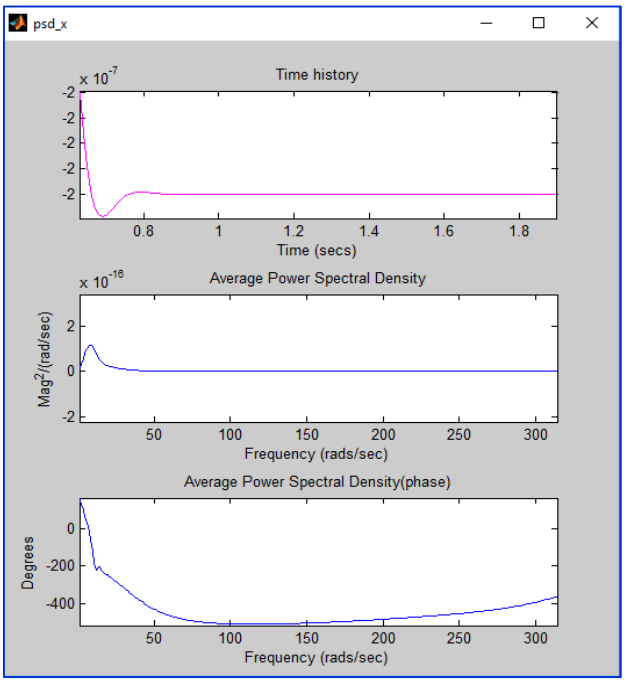
[2] PSD



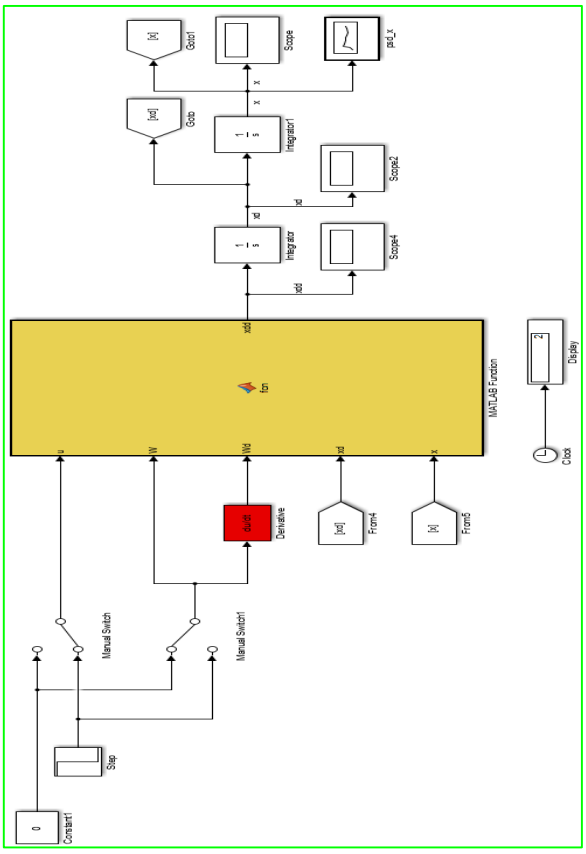
شکل ۱۳) نمودار سرعت ثانویه خودروی هیبریدی [۵۰]



شکل ۱۴) نمودار جابجایی ثانویه



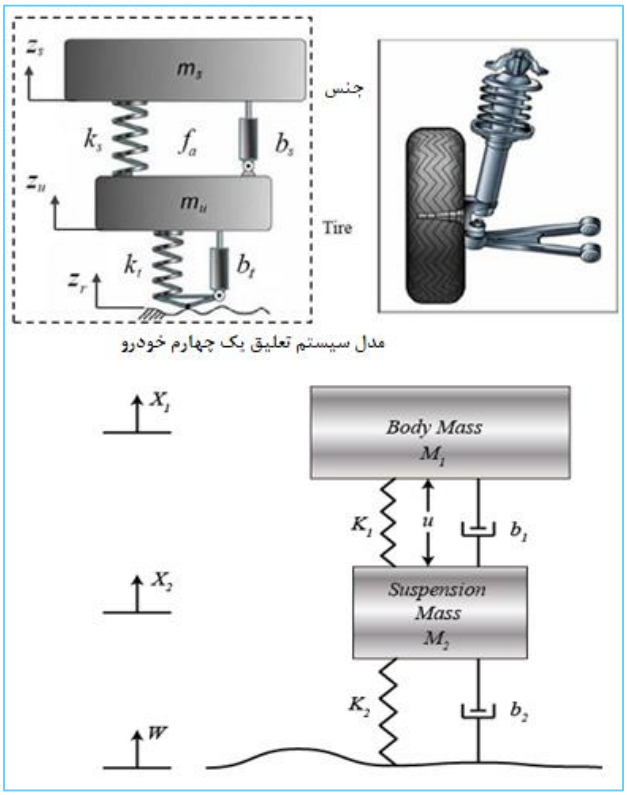
شکل ۱۵) نمودار PSD ثانویه [۵۰]



شکل ۱۶) نمودار کلی شبیه‌سازی شده در Simulink

۸,۲. شبیه‌سازی سیستم تعلیق $\frac{1}{4}$ ۲ درجه آزادی یک خودروی هیبریدی

اگر بخواهیم یک سیستم تعلیق طبق‌دار دوبل را به‌صورتی کلی مورد بررسی قرار دهیم، برای شبیه‌سازی با استفاده از پارامترها معادله حرکت سیستم یک‌چهارم خودرو با دو درجه آزادی به‌صورت زیر در می‌آید:



شکل ۱۷) مدل سیستم تعلیق یک‌چهارم [۵۰]

جدول ۲) معرفی پارامترهای مشخصه سیستم مکانیکی تعلیق [۵۰]

پارامترهای سیستم		
M_1	توده بدنه اتوبوس 1/4	2500 kg
M_2	جرم تعلیق	320 kg
K_1	ثابت فنر سیستم تعلیق	80,000 N/m
K_2	ثابت فنر چرخ و لاستیک	500,000 N/m
b_1	ثابت میرایی سیستم تعلیق	350 N.s/m
b_2	ثابت میرایی چرخ و لاستیک	15,020 N.s/m

معادلات مربوط به محاسبات دینامیک سیستم فنربندی خودروهای سبک به شکل زیر است:

$$\sum \vec{F} = M\ddot{X}$$

$$M_1\ddot{X}_1 = -b_1(\dot{X}_1 - \dot{X}_2) - K_1(X_1 - X_2) + U$$

$$M_2\ddot{X}_2 = b_1(\dot{X}_1 - \dot{X}_2) + b_2(\dot{W} - \dot{X}_2) + K_1(X_1 - X_2) + K_2(W - X_2) - U$$

برای به‌دست آوردن تابع تبدیل، باید تبدیل لاپلاس معادلات دینامیکی فوق به‌دست آید:

$$M_1 s^2 X_1(s) = -b_1 s\big(X_1(s) - X_2(s)\big) - K_1\big(X_1(s) - X_2(s)\big) + U(s)$$

$$M_2 s^2 X_2(s) = b_1\big(sX_1(s) - sX_2(s)\big) + b_2 s\big(W(s) - X_2(s)\big) + K_1\big(X_1(s) - X_2(s)\big) + K_2\big(W(s) - X_2(s)\big) - U(s)$$

$$\begin{pmatrix} M_1 s^2 + b_1 s + K_1 & -(b_1 s + K_1) \\ -(b_1 s + K_1) & M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (K_1 + K_2) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U(s) \\ (b_2 s + K_2)W(s) - U(s) \end{pmatrix}$$

AX=U

X=inv(A)U

$$\det(A) = \big(M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (K_1 + K_2) * (M_1 s^2 + b_1 s + K_1)\big) + (b_1 s + K_1)^2$$

$$\begin{pmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{pmatrix} =$$

$$\frac{1}{\det(A)} \begin{pmatrix} M_2 s^2 + (b_1 + b_2)s + (K_1 + K_2) & (b_1 s + K_1) \\ (b_1 s + K_1) & M_1 s^2 + b_1 s + K_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U(s) \\ (b_2 s + K_2)W(s) - U(s) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_1(s) \\ X_2(s) \end{pmatrix} = \frac{1}{\det(A)} \begin{pmatrix} M_2 s^2 + b_1 s + K_2 & b_1 b_2 s^2 + (b_1 K_2 + b_2 K_1) s + K_1 K_2 \\ -M_1 s^2 & M_1 b_2 s^3 + (M_1 K_2 + b_1 b_2) s^2 + (b_1 K_2 + b_2 K_1) s + K_1 K_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U(s) \\ W(s) \end{pmatrix}$$

$$G_1(s) = \frac{X_1(s) - X_2(s)}{U(s)} = \frac{(M_1 + M_2)s^2 + b_1 s + K_2}{\det(A)}$$

$$G_2(s) = \frac{X_1(s) - X_2(s)}{W(s)} = \frac{-M_1 b_2 s^3 - M_1 K_2 s^2}{\det(A)}$$

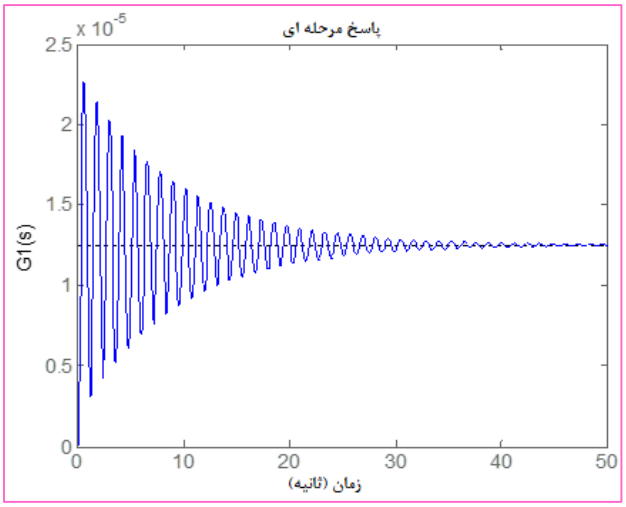
G1 =

2820 s^2 + 15020 s + 500000

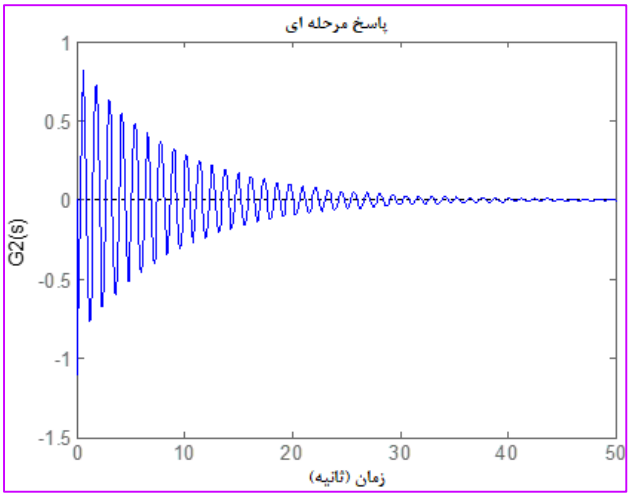
800000 s^4 + 3.854e07 s^3 + 1.481e09 s^2 + 1.377e09 s + 4e10

G2 = -3.755e07 s^3 - 1.25e09 s^2

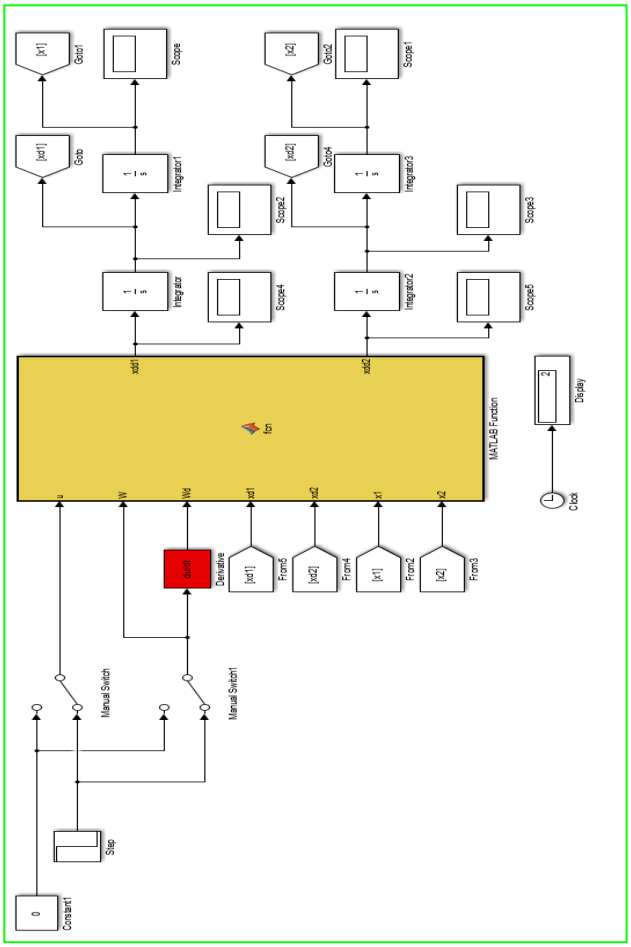
800000 s^4 + 3.854e07 s^3 + 1.481e09 s^2 + 1.377e09 s + 4e10



شکل ۱۸) پاسخ‌های زمانی سیستم نسبت به نیروی ورودی [۵۰]

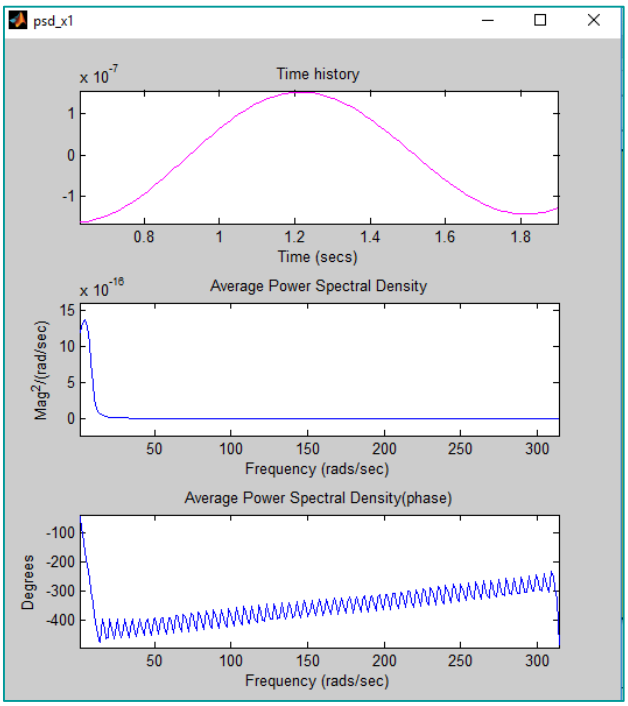


شکل ۱۹) پاسخ‌های زمانی سیستم نسبت به نیروی ورودی

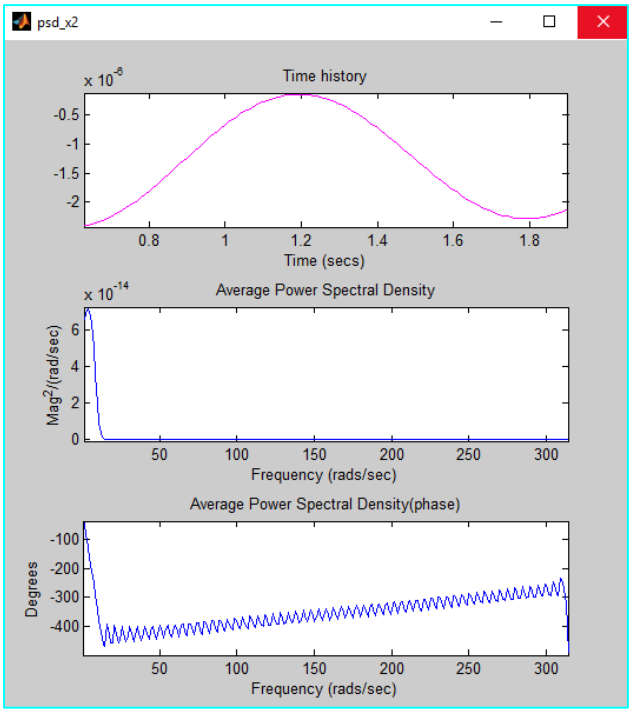


شکل ۲۰) نمودار کلی شبیه‌سازی شده در Simulink حالت ثانویه

همچنین نمودار چگالی طیفی توان ثانویه را می‌توان به شکل زیر نمایش داد:



شکل ۲۱) نمودارهای چگالی طیفی توان متوسط و میزان متوسط



شکل ۲۲) نمودارهای چگالی طیفی توان متوسط و میزان فاز میانگین

۳. نتیجه‌گیری

بدون شک سیستم تعلیق، یکی از حیاتی‌ترین زیرسیستم‌های یک خودرو محسوب می‌شود؛ این سیستم وظیفه خنثی نمودن ارتعاشات حاصل از ناهمواری‌های سطح جاده که به خودرو وارد می‌شوند، را برعهده دارد. اهمیت سیستم تعلیق در حفظ راحتی سرنشینان و تضمین تماس تایر با سطح جاده که یک رانندگی ایمن و لذت‌بخش را به ارمغان خواهد آورد، نمایان خواهد شد. در این پروژه، جهت حفظ سادگی محاسبات، از مدل یک‌چهارم سیستم تعلیق یک خودرو یک و دو درجه آزادی جهت بررسی ارتعاشات وارده به بدنه که در نهایت به سرنشینان انتقال پیدا خواهد کرد، استفاده شده است و پس از شبیه‌سازی سیستم تعلیق اتوبوس و بررسی پاسخ آن نسبت به ورودی‌های جاده، اقدام به طراحی یک سیستم تعلیق فعال به‌منظور دفع اغتشاشات خواهد شد و در نهایت مقایسه‌ای بین دو حالت از سیستم‌های تعلیق اشاره شده، به‌عمل آمد و تفاوت‌ها در سرعت دفع ارتعاشات مشاهده گردید؛ همچنین این تحقیق مشاهدات جالبی در مورد عملکرد آیرودینامیکی و ساختاری دستگاه‌های بال چند عنصری ارائه می‌کند، که می‌تواند برای خوانندگان مجذوب دستگاه‌های آیرودینامیکی خودروهای استثنایی فرمول یک و خوانندگان علاقه‌مند به ساخت بال خود که می‌خواهند نقطه شروعی برای تجزیه و تحلیل رفتار ساختاری داشته باشند، مفید باشد؛ علاوه‌بر این، این تحقیق دانشی را در مورد تأثیر قوانین فرمول یک FIA 2022 بر عملکرد بال به ارمغان می‌آورد.

مراجع

[1] Katz, J. Race Car Aerodynamics: Designing for Speed; R. Bentley: Cambridge, MA, USA, 1995;

ISBN 978-0-8376-0142-7.

[2] Lau, C.S.; Srigrarom, S. Flow field around the front wing of Formula One racing car model: BAR Honda 003 and MP4-21 under ground e_ect. Int. J. Aerodyn. 2010, 1, 72–81. [CrossRef]

[3] Seljak, G. Race Car Aerodynamics; University of Ljubljana: Ljubljana, Slovenia, 2008.

[4] Castro, X. Diseño, Optimización y Análisis Aerodinámico de un Fórmula 1; Universidad Rey Juan Carlos: Móstoles, Spain, 2018.

[5] Wright, P.; Matthews, T. Formula 1 Technology; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2001;

ISBN 978-0-7680-2887-4.

[6] Obeid, S.; Jha, R.; Ahmadi, G. RANS Simulations of Aerodynamic Performance of NACA 0015 Flapped Airfoil. Fluids 2017, 2, 2. [CrossRef]

[7] 2022 Formula One Technical Regulations. In Proceedings of the Fédération Internationale de l' Automobile, Paris, France, 30 October 2019. Iss 2.

[8] Landvogt, B. Fluid-Structure Interaction of Racing Car Spoilers. In Proceedings of the NAFEMS European Conference: Multiphysics Simulation, Copenhagen, Denmark, 15–16 November 2016.

[9] McBeath, S. Competition Car Aerodynamics; Veloce Publishing Limited: Dorset, UK, 2015;

ISBN 978-1-78711-086-1.

[10] Reynolds, J. 2021 F1 Rules: The Key Changes Explained|Formula 1®. Available online: https://www.formula1.com/en/latest/article.2021-f1-rules-the-key-changes-explained.2dCtCkxNofk20K1B4rJwTk.html (accessed on 4 June 2020).

[11] Petrone, G.; Hill, C.; Biancolini, M. Track by track robust optimization of a F1 front wing using adjoint solutions and radial basis functions. In Proceedings of the 32nd AIAA Applied Aerodynamics Conference, Atlanta, GA, USA, 16–20 June 2014; American Institute of Aeronautics and Astronautics: Atlanta, GA, USA, 2014.

[12] Gorostidi, N.; Lecourt, D.; Castro, X.; Maigler, M. Optimisation of Aerofoil Design; Cranfield University: Cranfield, UK, 2020.

[13] Arrondeau, B.; Saravana, A.; Sabatés, A.; Daniela, S. Front Wing Design of a 2021 F1 Race Car; Cranfield University: Cranfield, UK, 2020.

[14] Syazrul, M. Study of F1 Car Aerodynamics Front Wing Using Computational Fluid Dynamics (CFD); Universiti Malaysia Pahang: Gambang, Malaysia, 2010.

[15] Heyder-Bruckner, J. The Aerodynamics of an Inverted Wing and a Rotating Wheel in Ground E_ect; University of Southampton: Southampton, UK, 2011.

[16] van den Berg, M.A. Aerodynamic Interaction of an InvertedWing with a Rotating Wheel; University of Southampton: Southampton, UK, 2007.

[17] Azmi, A.R.S.; Sapit, A.; Mohammed, A.N.; Razali, M.A.; Sadikin, A.; Nordin, N. Study on airflow characteristics of rear wing of F1 car. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2017, 243, 012030. [CrossRef]

[18] Bhatnagar, U.R. Formula 1 Race Car Performance Improvement by Optimization of the Aerodynamic Relationship between the Front and Rear Wings; The Pennsylvania State University: State College, PA, USA, 2014.

[19] Ahlfeld, R.; Ciampoli, F.; Pietropaoli, M.; Pepper, N.; Montomoli, F. Data-driven uncertainty quantification for Formula 1: Di_user, wing tip and front wing variations. Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng. 2019, 233, 1495–1506. [CrossRef]

[20] Chirco, L.; Manservisi, S. On the Optimal Control of Stationary Fluid–Structure Interaction Systems. Fluids 2020, 5, 144. [CrossRef]

[21] Dillinger, J.K.S.; Meddaikar, Y.M.; Lübker, J.; Pusch, M.; Kier, T. Design and Optimization of an Aeroservoelastic Wind Tunnel Model. Fluids 2020, 5, 35. [CrossRef]

[22] Pedrol, E.; Massons, J.; Díaz, F.; Aguiló, M. Two-Way Coupling Fluid-Structure Interaction (FSI) Approach to Inertial Focusing Dynamics under Dean Flow Patterns in Asymmetric Serpentines. Fluids 2018, 3, 62. [CrossRef]

[23] Zhao, L.; Shkarayev, S.; Su, E. Aerodynamics of a Wing with a Wingtip Flapper. Fluids 2018, 3, 29. [CrossRef]

[24] Megson, T.H.G. Aircraft Structures for Engineering Students, 3rd ed.; Arnold: London, UK, 1999; ISBN 978-0-340-70588-9.

[25] Savage, G. Honda Racing F1 Team. 2008. Available online: http://www.formula1-dictionary.net/ (accessed on 8 December 2020).

[26] Callister, W.D.; Rethwisch, D.G. Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th ed.; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2018; ISBN 978-1-119-40539-9.

[27] ASM International (Ed.) ASM Handbook, 10th ed.; ASM International: Materials Park, OH, USA, 1990; ISBN 978-0-87170-377-4.

[28] AZO Materials: Material Science News Materials Engineering News. Available online: https://www.azom. com/ (accessed on 25 July 2020).

[29] MatWeb: Online Materials Information Resource. Available online: http://www.matweb.com/ (accessed on 29 July 2020).

[30] ASM Aerospace Specification Metals, Inc. Florida Aerospace Metal Distributor. Available online: https: //www.aerospacemetals.com/ (accessed on 26 July 2020).

[31] MakeItFrom.com: Material Properties Database. Available online: https://www.makeitfrom.com/ (accessed on 28 July 2020).

[32] ResearchGate: Find and Share Research. Available online: https://www.researchgate.net/ (accessed on 30 July 2020).

[33] Gabara, V. High-resistance fibers. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry; Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA:Weinheim, Germany, 2000; p. a13_001. ISBN 978-3-527-30673-2.

[34] Omnexus: The Material Selection Platform. Free Online Database for Plastic Industry. Available online: https://omnexus.specialchem.com (accessed on 1 August 2020).

[35] Polymer Properties Database: Free Encyclopedia of Polymer Science and Technology. Available online: http://polymerdatabase.com/home.html (accessed on 2 August 2020).

[36] Ensigner Plastics: High Performance Plastic Solutions. Available online: https://www.ensingerplastics.com/en (accessed on 31 July 2020).

[37] Ashton, N.; West, A.; Lardeau, S.; Revell, A. Assessment of RANS and DES methods for realistic automotive models. Comput. Fluids 2016, 128, 1–15. [CrossRef]

[38] Heft, A.I.; Indinger, T.; Adams, N.A. Experimental and numerical investigation of the DrivAer model. In Proceedings of the ASME 2012 Fluids Engineering Division Summer Meeting collocated with the ASME 2012 Heat Transfer Summer Conference and the ASME 2012 10th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels. Volume 1: Symposia, Parts A and B, Rio Grande, PR, USA, 8–12 July 2012; pp. 41–51.

[39] Simmonds, N.; Pitman, J.; Tsoutsanis, P.; Jenkins, K.; Gaylard, A.; Jansen, W. Complete Body Aerodynamic Study of Three Vehicles; SAE Technical Paper 2017-01-1529; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2017. [CrossRef]

[40] Lisejkin, V.D. Grid generation methods. In Scientific Computation, 3rd ed.; Springer: Cham, Switzerland, 2017; ISBN 978-3-319-57846-0.

[41] ANSYS Fluent User's Guide; Release 19.2; ANSYS Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2013.

[42] Castro, X. Grid Generation & CAD; Cranfield University: Cranfield, UK, 2020.

[43] ANSYS Fluent Theory Guide; Release 19.2; ANSYS Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2013.

[44] Kwa´sniewski, L. Application of grid convergence index in FE computation. Bull. Pol. Acad. Sci. Tech. Sci. 2013, 61, 123–128. [CrossRef]

[45] NPARC Alliance-Policies and Plans; NASA Glenn Research Centre. Available online: https://www.grc.nasa. gov/www/wind/plans/Policies_and_Plans.pdf (accessed on 8 December 2020).

[46] Roache, P.J. Verification and Validation in Computational Science and Engineering; Computing in Science; Hermosa Publishers: Socorro, NM, USA, 1998.

[47] Castro, X. GCI Solver; Cranfield University: Cranfield, UK, 2020.

[48] Dubourg, L.; Merati, A.; Jahazi, M. Process optimisation and mechanical properties of friction stir lap welds of 7075-T6 stringers on 2024-T3 skin. Mater. Des. 2010, 31, 3324–3330. [CrossRef]

[49] Xabier Castro and Zeeshan A. Rana 2020, "Aerodynamic and Structural Design of a 2022 Formula One Front Wing Assembly", Fluids journal 2020, 5, 237.

KNO-1101-4304

بررسی و تحلیل عملکرد بهینه و مطلوب یک سیستم فتوولتائیک با بهره بردن از ویژگی ردیابی نقطه حداکثر توان

امیر شاطری amir.sh197799@gmail.com

فارغ التحصیل مقطع کارشناسی پیوسته مهندسی برق موسسه آموزش عالی آپادانا شیراز؛ ایران

چکیده

توان الکتریکی تامین شده توسط آرایه فتوولتائیک به تابش، دما و بار بستگی دارد. از طرف دیگر، توان واقعی تولید شده توسط آرایه فتوولتائیک به طور کامل به بار منتقل نمی شود. بنابراین، استخراج حداکثر توان از آرایه فتوولتائیک ضروری است. حداکثر توان ردیابی یک سیستم الکترونیکی قدرت است که حداکثر توان را از سیستم فتوولتائیک استخراج می کند. ردیابی نقطه حداکثر توان نقطه عملکرد الکتریکی ماژول های فتوولتائیک را تغییر می دهد و آنها را قادر می سازد حداکثر توان موجود را ارائه دهند. در این تحقیق و مقاله، یک الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان جدید طراحی و ارائه شده است که از ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه، نمونه برداری از یک پنل فتوولتائیک منبع استفاده می کند. با استفاده از این اندازه‌گیری‌ها، حداکثر توان از پنل اصلی بدون شکستن توان انتقال یافته به بار ردیابی می‌شود. یک مبدل تقویت کننده کاهنده برای تطبیق امپدانس بین منبع و بار استفاده شد تا انتقال حداکثر توان را تسهیل کند. الگوریتم پیشنهادی برای عملکرد آن در شرایط محیطی محلی بررسی شد.

کلید واژه ها: *سیستم فتوولتائیک، حداکثر توان ردیابی، مبدل کاهنده-افزاینده، میکروکنترلر قابل برنامه نویسی*

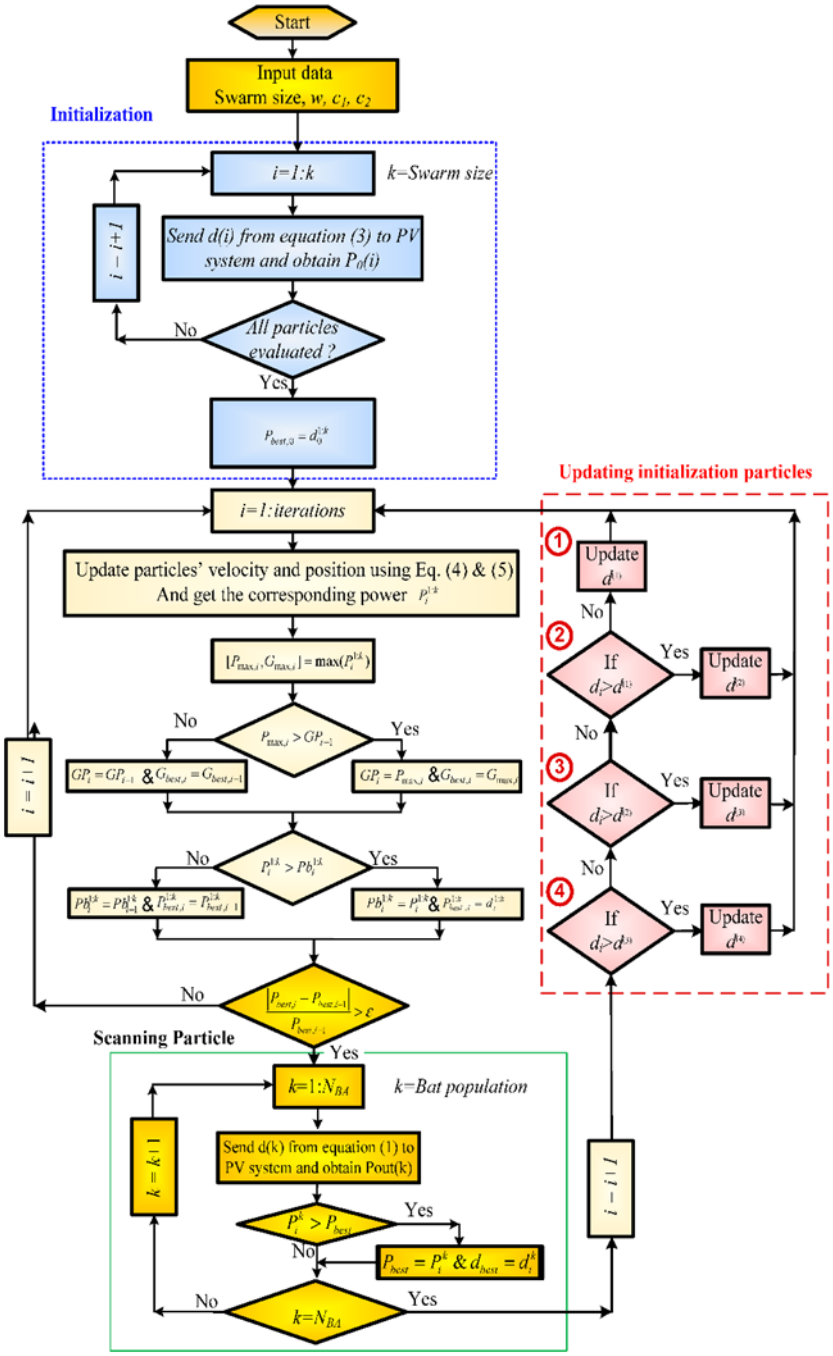
۱. مقدمه

از بین فناوری‌های مختلف موجود برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی، فتوولتائیک فناوری ساده و قابل اعتمادی است که مستقیماً انرژی خورشیدی را به برق تبدیل می‌کند که راحت‌ترین شکل انرژی برای استفاده است. توان خروجی از سیستم فتوولتائیک به راندمان سلول فتوولتائیک، تابش، دمای سلول و امپدانس بار بستگی دارد. برای سلول فتوولتائیک داده شده، استخراج حداکثر توان برای شرایط جوی معین، به قابلیت عملکرد سیستم نزدیک به نقطه حداکثر توان بستگی دارد. حداکثر ردیابی نقطه توان شامل تنظیم ولتاژ خروجی و/یا جریان سیستم فتوولتائیک برای بار داده شده، تابش و دمای سلول است. ردیابی حداکثر توان نه تنها توان خروجی را افزایش می دهد، بلکه عمر سیستم را نیز افزایش می دهد [۱]. تاکنون انواع مختلفی از روش های حداکثر ردیابی نقطه توان توسعه یافته و مورد استفاده قرار گرفته است [۹-۲]. این روش ها را می توان به حسگرهای مورد استفاده، سرعت همگرایی، هزینه، محدوده اثربخشی، الزامات سخت افزاری پیاده سازی و محبوبیت متمایز کرد [۳]. بر اساس رویکرد استفاده شده برای تولید سیگنال کنترل، این روش ها به روش آنلاین، روش آفلاین و روش ترکیبی دسته بندی می شوند. روش آفلاین بسیار ساده است [۱۲-۱۰] و بیشتر به روش ولتاژ مدار باز و روش جریان اتصال کوتاه طبقه بندی می شود. روش ولتاژ مدار باز از رابطه خطی تقریبی بین ولتاز و جریان مدار باز و ولتاژ نقطه توان حداکثر در شرایط محیطی مختلف استفاده می‌کند (معادل (فرمول ۱)). روش جریان اتصال کوتاه همچنین از رابطه خطی تقریبی بین جریان اتصال کوتاه و حداکثر جریان نقطه توان در شرایط محیطی مختلف استفاده می‌کند (معادل (فرمول ۲)).

$$V_{mpp} \approx k_1 V_{oc} \quad (۱)$$

$$I_{mpp} \approx k_2 I_{sc} \quad (۲)$$

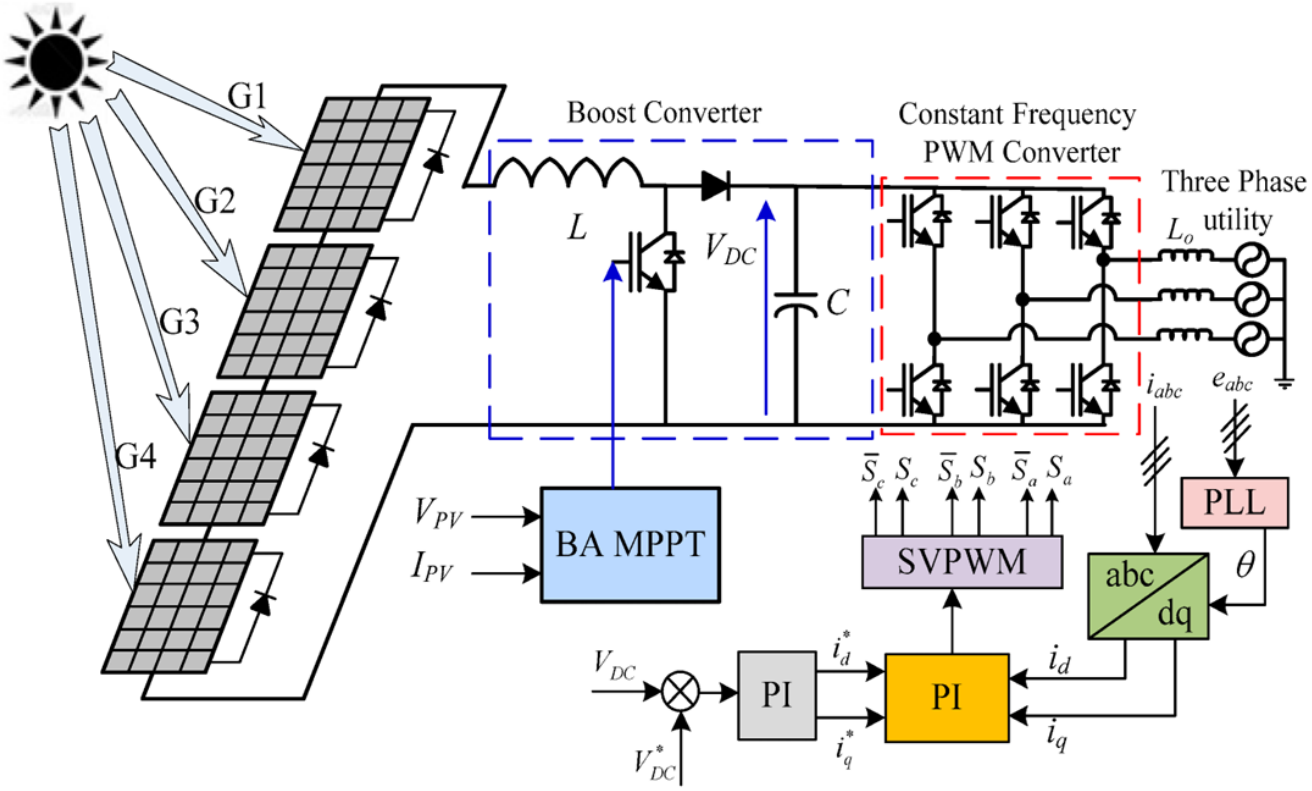
جایی که k_1 و k_2 ثابت هستند به ویژگی های سلول خورشیدی بستگی دارد. به دلیل مشکلات عملی مربوط به اندازه گیری، روش جریان اتصال کوتاه دقیق تر و کارآمدتر از روش ولتاز مدار باز است [۱۲]. اشکال اصلی روش آفلاین وقفه بار است که در حین اندازه گیری جریان اتصال کوتاه یا ولتاژ مدار باز رخ می دهد. همچنین، این روش قادر به پیش‌بینی نقطه توان حداکثر با استفاده از معادله (۱) یا معادله (۲) نیست [۴]. در روش های آنلاین، مقادیر لحظه ای ولتاژ یا جریان خروجی فتوولتائیک برای تولید سیگنال های کنترلی استفاده می شود. این شامل روش اغتشاش و مشاهده (P&O)، روش کنترل جست و جوی افراطی و روش هدایت افزایشی است. در روش اغتشاش و مشاهده، ولتاژ یا جریان سیستم فتوولتائیک با اعمال یک سری اغتشاشات کوچک و ثابت به صورت گام به گام تغییر می کند تا توان تحویلی به حداکثر برسد [۸-۱۳-۱۴]. مشکلات مرتبط با این روش دامنه اغتشاش و میزان همگرایی است. روش کنترل جستجوی افراطی یک روش بهینه‌سازی زمان واقعی برای یک سیستم دینامیکی غیرخطی با بازخورد تطبیقی است که برای ردیابی نقطه حداکثر توان استفاده می‌شود [۱۵-۱۷]. معایب روش جست و جوی افراطی پیچیدگی آن در پیاده سازی و ارزیابی سیگنال های دامنه نسبتا کم است. روش رسانایی افزایشی روش هدایت افزایشی مبتنی بر این واقعیت است که شیب منحنی توان آرایه فتوولتائیک در نقطه حداکثر توان صفر است [۱۸-۲۰]. اشکال اصلی این روش این است که به مدارهای کنترل پیچیده ای نیاز دارد. در روش ترکیبی [۲۱]، هر دو روش آفلاین و آنلاین به ترتیب برای مکان یابی ردیابی نقطه حداکثر توان به طور دقیق برای بهینه سازی پیچیدگی استفاده می شوند. ابتدا از روش آفلاین برای تعیین مکان نقطه حداکثر توان تقریباً استفاده می شود، سپس از روش آنلاین برای مکان یابی دقیق نقطه استفاده می شود.



شکل ۱. نمودار (فلوچارت) جریان الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان پیشنهادی.

جدول ۱. جزئیات پنل فتوولتائیک استفاده شده.

مدل یو-اس-ال ۱۲	مدل پنل حورشیدی
۱۲ وات	توان پنل
۱۷,۱ ولت	حداکثر ولتاژ
۰,۷۰ آمپر	حداکثر جریان
۲۱,۵ ولت	ولتاژ مدار باز
۰,۷۹ آمپر	جریان اتصال کوتاه

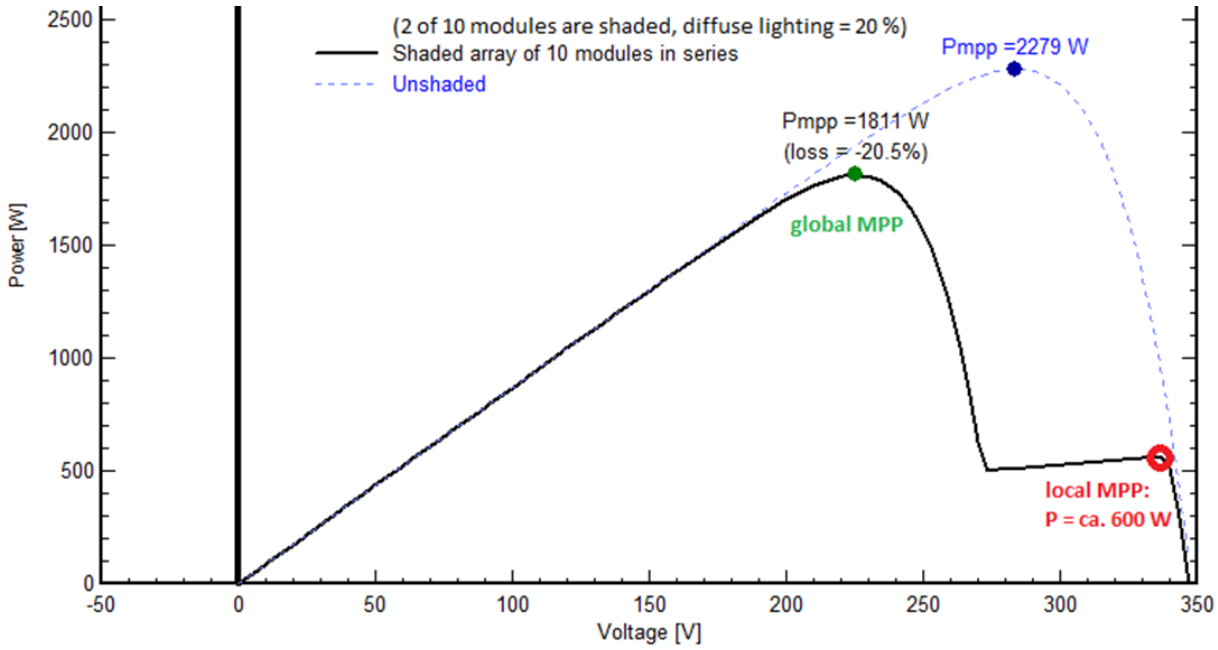


شکل ۲. شماتیک مبدل کاهنده-افزاینده.

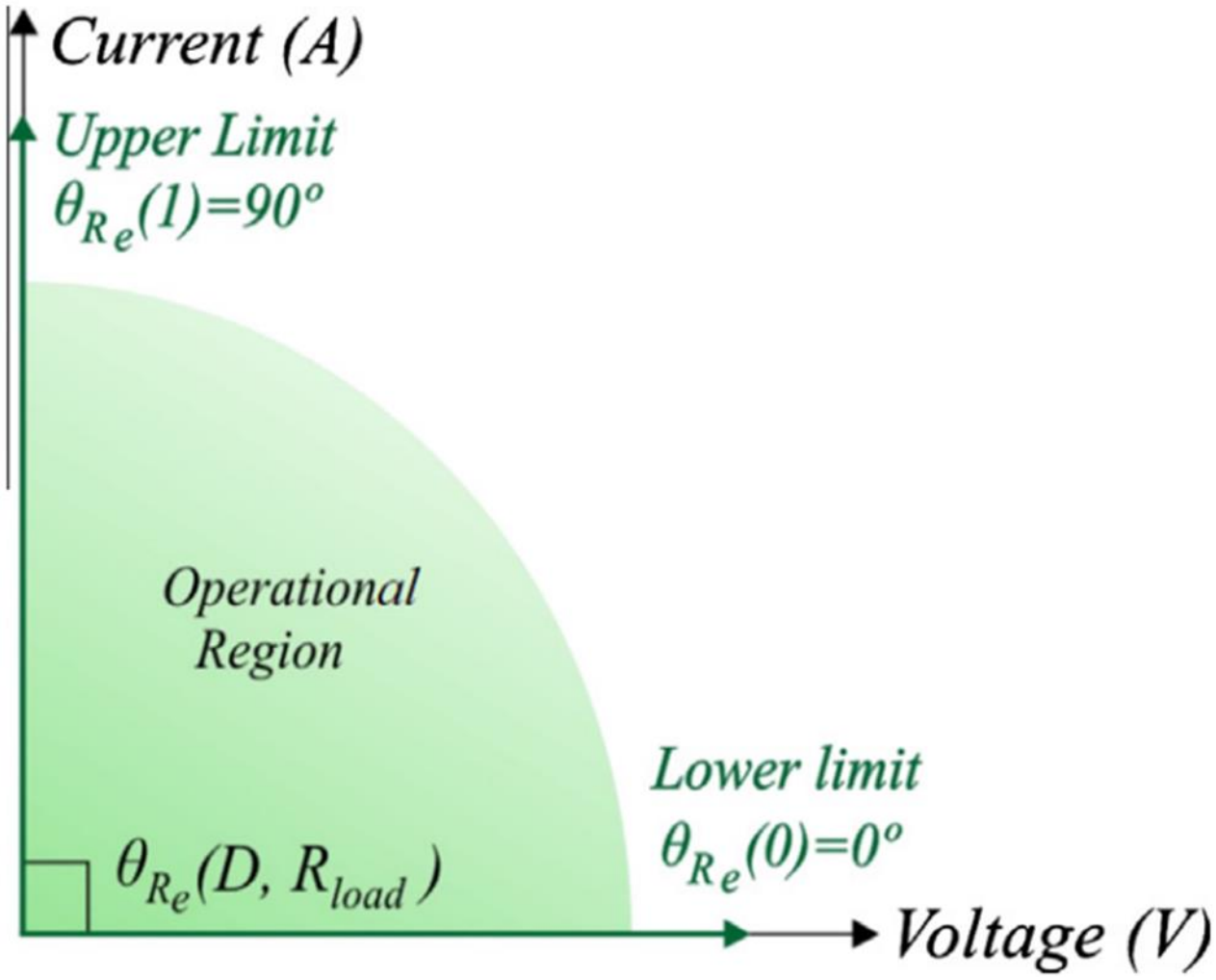
۲. روش و پیشینه تحقیق و پژوهش

ردیابی نقطه حداکثر توان یا گاهی اوقات فقط ردیابی نقطه قدرت، تکنیکی است که با منابع توان متغیر برای به حداکثر رساندن استخراج انرژی با تغییر شرایط استفاده می شود. این تکنیک بیشتر در سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک استفاده می‌شود، اما می‌تواند برای توربین‌های بادی، انتقال انرژی نوری و ترموفتوولتائیک نیز استفاده شود. سیستم های خورشیدی فتوولتائیک روابط متفاوتی با سیستم های اینورتر، شبکه های خارجی، بانک باتری و سایر بارهای الکتریکی دارند. مشکل اصلی که ردیابی نقطه حداکثر توان به آن پرداخته این است که کارایی انتقال نیرو از سلول خورشیدی به میزان نور خورشید در دسترس، سایه، دمای پنل خورشیدی و ویژگی های الکتریکی بار بستگی دارد. از آنجایی که این شرایط متفاوت است، مشخصه بار (امپدانس) که بالاترین انتقال توان را ایجاد می کند، تغییر می کند. هنگامی که مشخصه بار تغییر می کند تا انتقال قدرت در بالاترین بازدهی حفظ شود، سیستم بهینه می شود. این مشخصه بار بهینه، نقطه حداکثر توان نامیده می شود. ردیابی نقطه حداکثر توان فرآیند تنظیم مشخصه بار با تغییر شرایط است. مدارها را می توان برای ارائه بارهای بهینه به سلول های فتوولتائیک طراحی کرد و سپس ولتاژ، جریان یا فرکانس را متناسب با دستگاه ها یا سیستم های دیگر تبدیل کرد. ارتباط غیر خطی سلول‌های خورشیدی بین دما و مقاومت کل را می‌توان بر اساس منحنی ولتاژ-جریان و منحنی‌های ولتاژ-توان تحلیل کرد. ردیابی نقطه حداکثر توان از خروجی سلول نمونه برداری کرده و مقاومت مناسب (بار) را برای به دست آوردن حداکثر توان اعمال می کند. دستگاه‌های ردیابی نقطه حداکثر توان معمولاً در یک سیستم مبدل برق ادغام می‌شوند که تبدیل ولتاژ یا جریان، فیلتر کردن و تنظیم بارهای مختلف از جمله شبکه‌های برق، باتری‌ها یا موتورها را فراهم می‌کند. اینورترهای خورشیدی برق جریان مستقیم را به برق جریان متناوب تبدیل می کنند و ممکن است ردیابی نقطه حداکثر توان را در خود جای دهند. توان در حداکثر نقطه توان حاصل ضرب ولتاژ حداکثر نقطه توان و

جریان نقطه حداکثر توان است. به طور کلی، منحنی توان-ولتاژ یک آرایه خورشیدی نیمه سایه‌دار می‌تواند چندین قله داشته باشد و برخی از الگوریتم‌ها می‌توانند در حداکثر محلی به جای حداکثر جهانی منحنی گیر کنند.

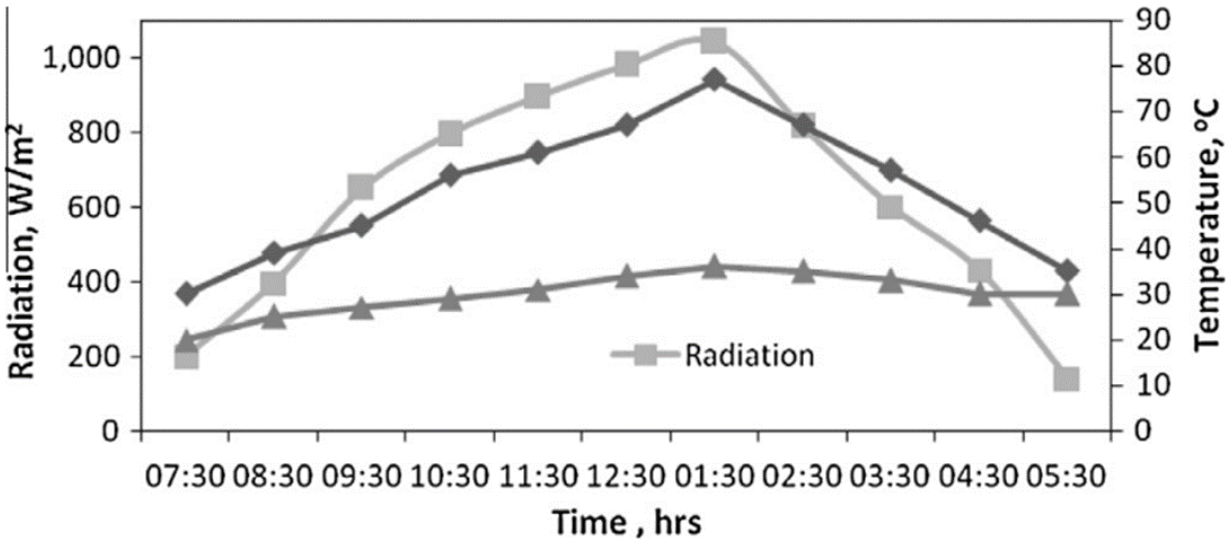


شکل ۳. منحنی توان/ولتاژ یک سیستم فتوولتائیک نیمه سایه دار، با نقطه حداکثر توان محلی و جهانی مشخص شده است.



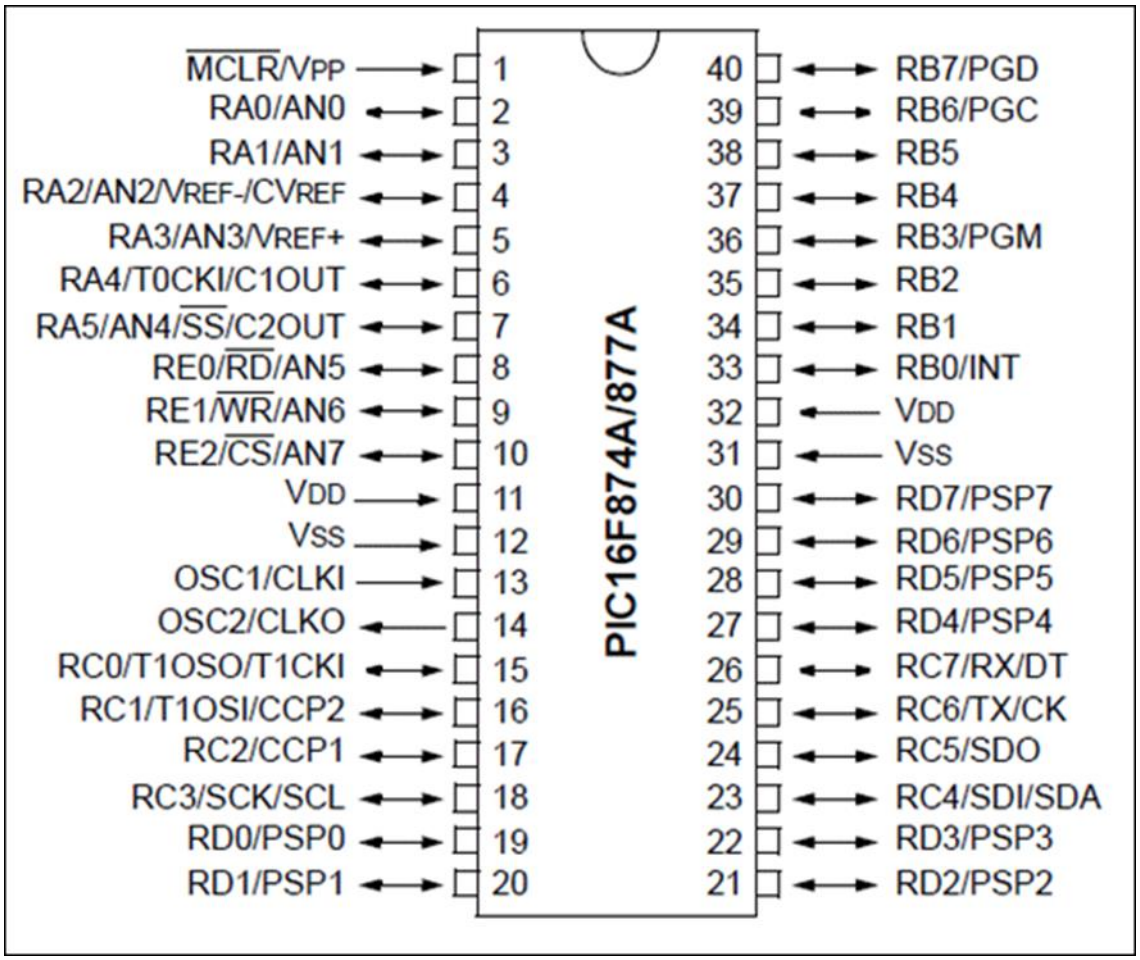
شکل ۴. منحنی عملیاتی برای مبدل کاهنده-افزاینده.

در تحقیقات انجام گرفته تا کنون که توسط محققان مختلف بر روی سیستم ردیابی نقطه حداکثر توان هیبریدی را با ترکیبی از هر روش آفلاین (اعم از ولتاژ مدار باز یا جریان اتصال کوتاه) و با هر روش آنلاین (P&O یا جست و جوی افراطی یا روش هدایت افزایشی) مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته است. یک ارائه جامع در این تحقیق و مقاله در مورد اصل کار تکنیک های مختلف ردیابی نقطه حداکثر توان ارائه شد که از نظر برخی پارامترهای مهم مانند: تعداد متغیرهای مورد استفاده، پیچیدگی، دقت، سرعت، اجرای سخت افزار، هزینه، کارایی ردیابی و به همین ترتیب [4-22].

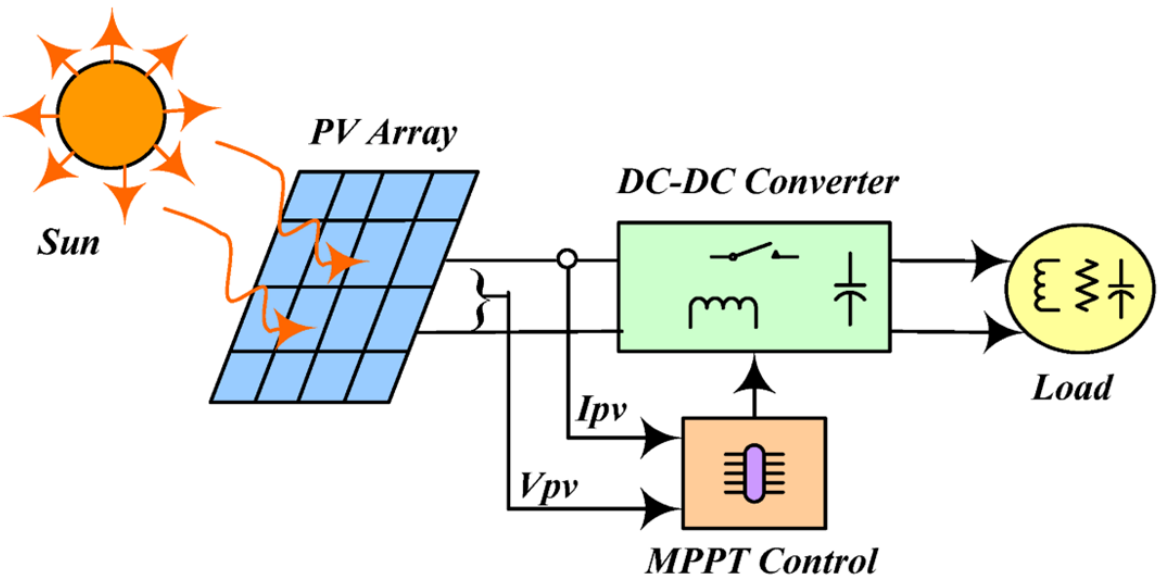


شکل ۵. تغییر دمای اتمسفر، دمای پنل و شدت تابش.

روش های آفلاین بسیار ساده و مقرون به صرفه هستند اما دقیق نیستند و همچنین خروجی برق را قطع می کنند [۲۳]. از سلول فتوولتائیک پایلوت برای تشخیص ولتاژ مدار باز بدون قطع برق خروجی استفاده کرد. روش های آنلاین و ترکیبی کارآمد اما پیچیده تر هستند. در این کار، یک روش آفلاین جدید برای مکان یابی نقطه حداکثر توان با استفاده از ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه برای بهبود دقت استفاده شده است. برای جلوگیری از تداخل با مدار برای اندازه گیری ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه و صرفه جویی در مصرف برق، از یک پنل پایلوت استفاده شد. عملکرد سیستم برای شرایط آب و هوایی محلی ارزیابی شده است.



شکل ۶. شماتیک پین میکروکنترلر قابل برنامه نویسی.



شکل ۷. یک سیستم فتوولتائیک مستقل.

۳. توضیحات سیستم

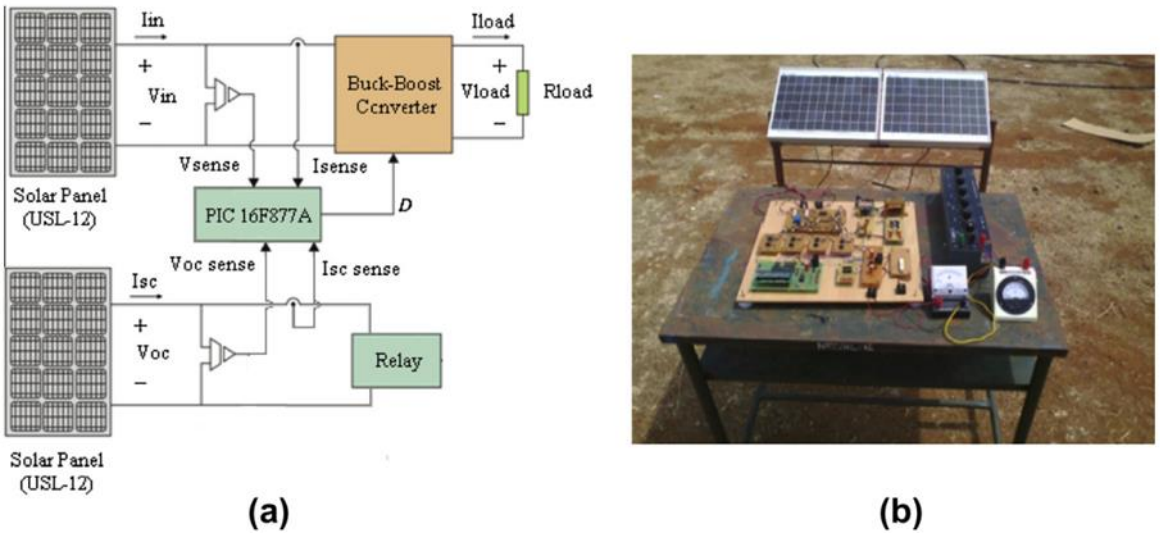
به گفته برخی از دانشمندان [۲۴]، حداکثر ولتاژ تولید شده توسط پنل فتوولتائیک (k1) ۰,۸ برابر ولتاژ مدار باز مربوط به آن پنل فتوولتائیک است [۲۵]. در این تحقیق و مقاله یک الگوریتم نقطه حداکثر توان مبتنی بر جریان کوتاه را پیشنهاد می شود و نشان داده می شود که حداکثر جریان تولید شده توسط پنل فتوولتائیک (k_2) ۰,۹۲ برابر جریان اتصال کوتاه پنل فتوولتائیک است. در این روش جدید، الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان جدید (شکل ۱) بر اساس مفاهیم ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه، برای ردیابی حداکثر توان از پنل فتوولتائیک فرموله شده است. از معادلات (۱) و (۲) حداکثر توان تولید شده توسط پنل فتوولتائیک توسط معادله (۳) داده می شود. نمودار جریان زیر الگوریتم مورد استفاده برای ردیابی نقطه حداکثر توان را توضیح می دهد.

$$P_{\max} = V_{mpp} I_{mpp} = k_1 k_2 V_{oc} I_{sc} = 0.736 V_{oc} I_{sc} \quad (۳)$$

دو پنل پلی کریستالی یکسان با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ استفاده شده است. یک پنل به عنوان پنل مرجع برای اندازه گیری ولتاژ باز و اتصال کوتاه استفاده می شود. پنل دیگری به عنوان پنل اصلی در نظر گرفته می شود که در آن نیروی بار مقاومتی متصل به آن را برای اندازه گیری تامین می کند. یک مبدل کاهنده-افزاینده جریان مستقیم به جریان مستقیم (شکل ۷) برای مطابقت با امپدانس استفاده می شود. همچنین به عنوان رابط بین پنل فتوولتائیک و بار عمل می کند که سطح ولتاژ پنل فتوولتائیک را مطابق الگوریتم طراحی شده تنظیم می کند [۲۶]. مبدل های کاهنده-افزاینده برای یافتن مستقل نقطه حداکثر توان قابل اعتماد هستند. منطقه عملیاتی مبدل کاهنده-افزاینده در شکل ۲ نشان داده شده است. به منظور کنترل عملکرد مبدل کاهنده-افزاینده، الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان در یک میکروکنترلر از نوع قابل برنامه نویسی سری ۱۶ برنامه ریزی شد. شکل ۶ شماتیک پین میکروکنترلر مورد استفاده به عنوان مبدل را نشان می دهد.

۴. راه اندازی و روش آزمایشی

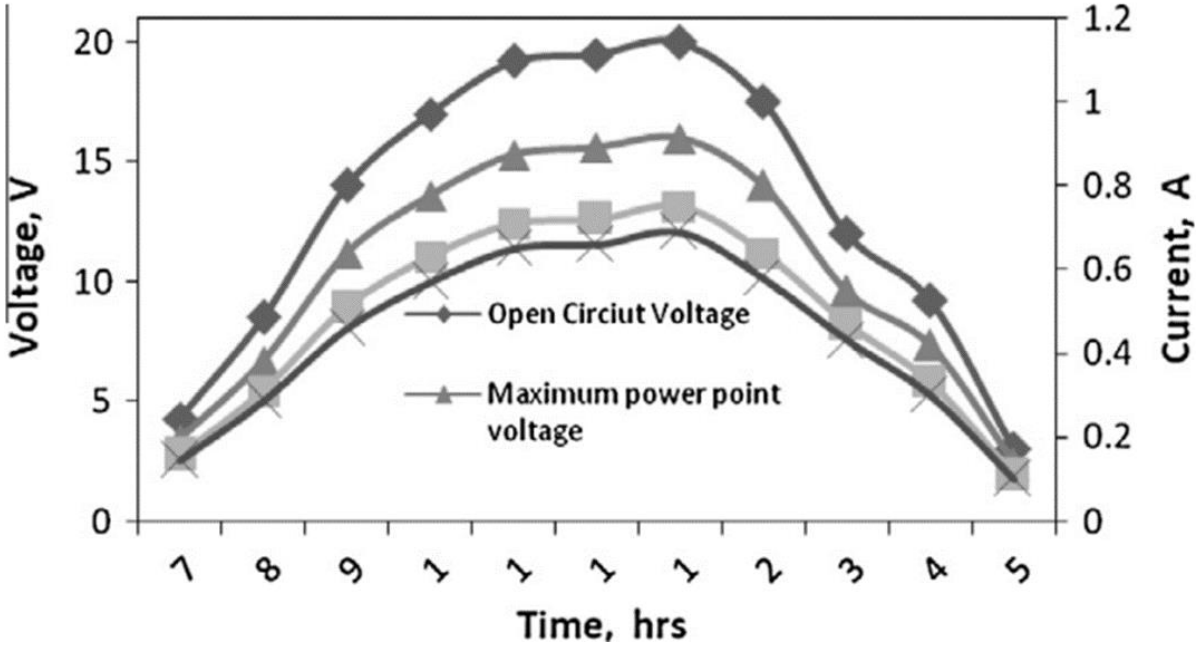
سیستم فتوولتائیک آزمایشی با سیستم ردیابی نقطه حداکثر توان پیشنهادی مطابق بلوک دیاگرام نشان داده شده در شکل ۸ (a) مرتب شد. مجموعه آزمایشی نشان داده شده در شکل ۸ (b) قرار داده شد تا عملکرد خود را در شرایط جوی مختلف آزمایش کند. . پنل ها با شیب برابر با عرض جغرافیایی محلی رو به جنوب هستند. بهترین زمان برای انجام آزمایش ها با توجه به توان و پتانسیل پنل فتوولتائیک به مدت پنج روز باید انجام شود. بهترین زمان جمع آوری نتایج حاصل از آزمایش ها بنا به پتانسیل پنل فتوولتائیک از ساعت ۷ صبح تا ۵ بعد از ظهر برای هر ۱ ساعت می تواند انجام شود. برای اندازه‌گیری تابش از سنج خورشیدی دستی، برای اندازه‌گیری دمای اتمسفر از دماسنج جیوه‌ای کالیبره شده و برای اندازه‌گیری دمای پنل فتوولتائیک از ترموکوپل نوع K با نمایشگر دیجیتال استفاده می شود. برای اندازه گیری ولتاژ و جریان مستقیم به ترتیب از ولت متر و آمپرمتر آنالوگ استفاده می شود. یک مقاومت متغیر به عنوان بار جریان مستقیم استفاده شد. توان تولید شده توسط پنل خورشیدی با و بدون ردیابی نقطه حداکثر توان اندازه گیری شد. مقادیر ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه پنل فتوولتائیک منبع نیز با کمک نمایشگر کریستال مایع متصل به میکروکنترلر مشخص شد. جریان اتصال کوتاه توسط میکروکنترلر، با کار کردن رله متصل به پنل مرجع اندازه گیری شد.



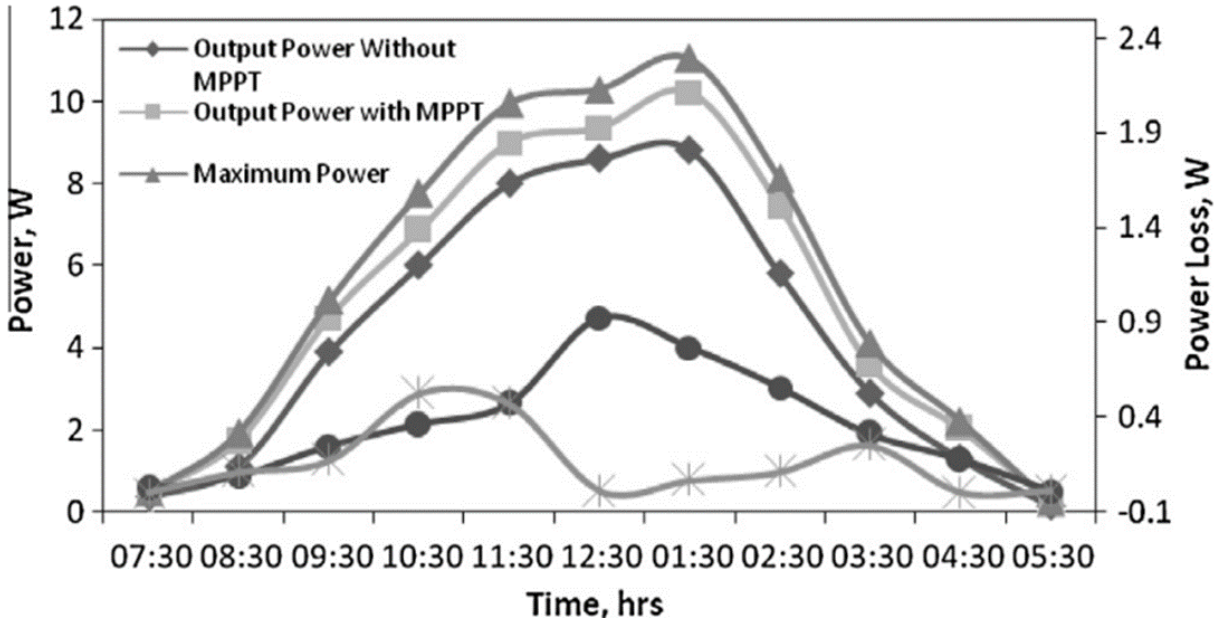
شکل ۸. بلوک دیاگرام و راه اندازی و آزمایش.

۵. نتایج و بحث

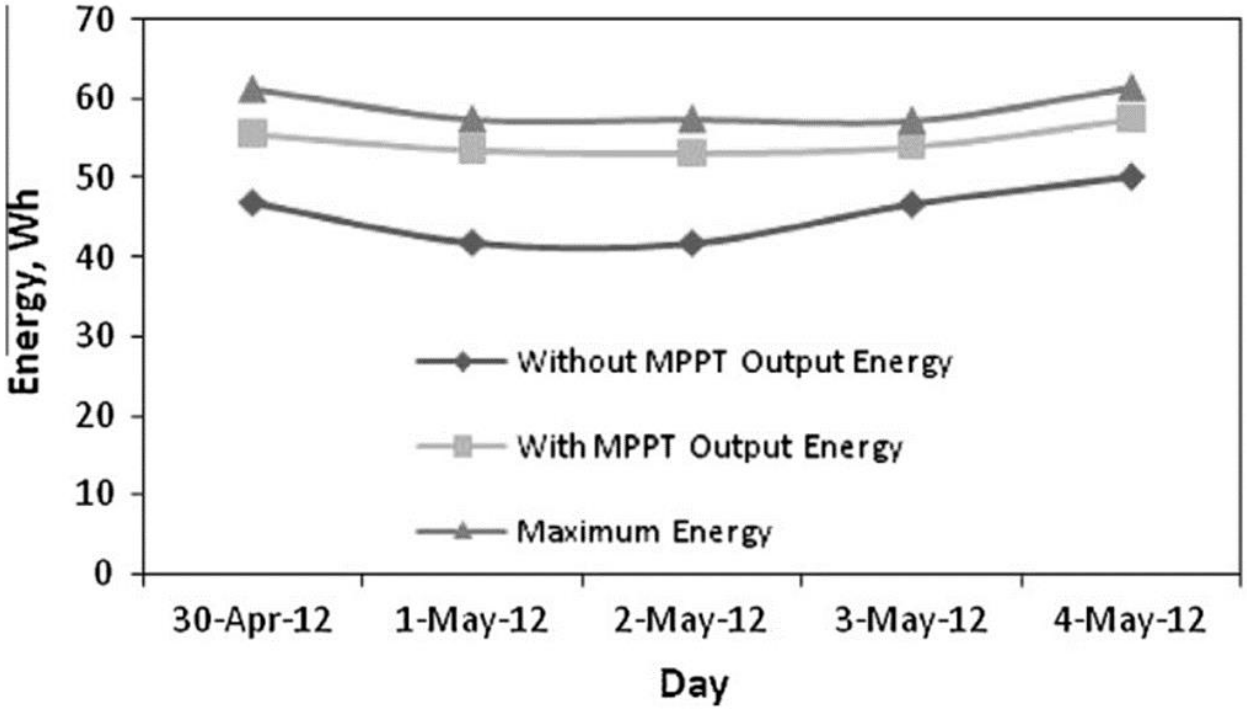
میانگین تغییرات تابش خورشیدی و دمای اتمسفر در طول روزهای آزمایشی در شکل ۵ نشان داده شده است. هم تابش و هم دمای اتمسفر از صبح افزایش می‌یابد و در حدود ساعت ۱:۳۰ بعد از ظهر به حداکثر مقدار می‌رسد و سپس در ساعات عصر کاهش می‌یابد. تغییرات متناسب در دمای پنل نیز مشاهده می شود.



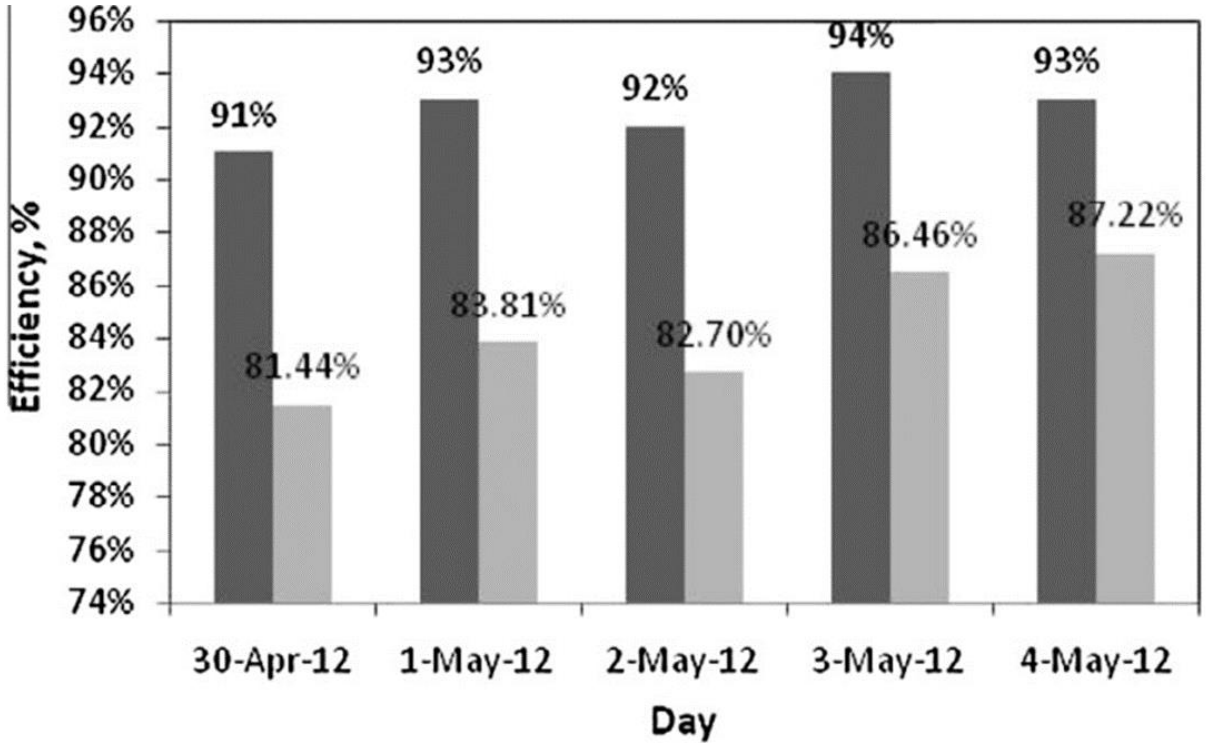
شکل ۹. تغییرات ولتاژ و جریان مختلف.



شکل ۱۰. تنوع توان و تلفات.



شکل ۱۱. تنوع انرژی برای روزهای مختلف.



شکل ۱۲. تغییرات راندمان (بازدهی) مبدل (نمودار رنگ روشن: بدون ردیابی نقطه حداکثر توان و نمودار رنگ تیره: با ردیابی نقطه حداکثر توان).

جدول ۲. مقایسه روش های مختلف ردیابی نقطه حداکثر توان.

روش ردیابی نقطه حداکثر توان	نوع	پیچیدگی	دیجیتال یا آنالوگ	سرعت همگرایی	پارامترهای حسی	آموزش قبلی	بهره وری
ولتاژ مدار باز	آفلاین	کم	هر دو	متوسط	ولتاژ	بله	کم
جریان اتصال کوتاه	آفلاین	متوسط	هر دو	متوسط	جریان	بله	کم
شبکه های عصبی-مصنوعی	آفلاین	زیاد	دیجیتال	سریع	بستگی دارد	بله	زیاد
منطق فازی	آفلاین	زیاد	دیجیتال	آهسته	بستگی دارد	بله	زیاد
اندازه اغتشاش ثابت	آنلاین	کم	هر دو	سریع	ولتاژ و جریان	خیر	کم
اندازه اغتشاش متغیر	آنلاین	متوسط	دیجیتال	بستگی دارد	ولتاژ و جریان	خیر	زیاد
جست و جوی افراطی	آنلاین	متوسط	دیجیتال	بستگی دارد	ولتاژ و جریان	خیر	زیاد
روش هدایت افزایشی	آنلاین	متوسط	دیجیتال	بستگی دارد	ولتاژ و جریان	خیر	زیاد
P&O	ترکیبی	متوسط	دیجیتال	سریع	ولتاژ جریان و دما	خیر	زیاد
روش فعلی	آفلاین	کم	دیجیتال	سریع	ولتاژ و جریان	خیر	زیاد

تغییرات ولتاژ مدار باز، جریان اتصال کوتاه، حداکثر جریان نقطه قدرت و حداکثر ولتاژ نقطه قدرت از صبح تا عصر همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است. تغییرات در این مقادیر نیز متناسب با تابش است. تغییرات حداکثر توان، توان بدون ردیابی نقطه حداکثر توان

و با ردیابی نقطه حداکثر توان همان طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. این تغییرات همچنین با تابش و جریان اتصال کوتاه از صبح تا عصر است. تغییرات در تلفات عملیاتی ردیابی نقطه حداکثر توان و تلفات عدم تطابق نیز در شکل ۱۰ آورده شده است. این تغییرات هیچ ارتباطی با تشعشع یا حداکثر توان ندارند. این تلفات ناشی از تغییرات سریع تابش خورشیدی است که در زمان های مختلف روز، در حین کارکرد سیستم رخ می دهد. تغییرات توان با و بدون ردیابی نقطه حداکثر توان و حداکثر توان نظری با استفاده از معادله (۳) محاسبه شده است. برای روزهای مختلف آزمایشی مانند شکل ۱۱ نشان داده شده است. شکل ۱۲ تغییرات بازده مبدل را برای روزهای مختلف آزمایشی با و بدون ردیابی نقطه حداکثر توان نشان می دهد. تغییر در تفاوت بین حداکثر انرژی و انرژی خروجی با ردیابی نقطه حداکثر توان و تغییرات در راندمان مبدل با و بدون ردیابی نقطه حداکثر توان به دلیل تأثیر تغییرات غیریکنواخت در عملکرد ردیابی نقطه حداکثر توان و تلفات عدم تطابق است که در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

۶. نتیجه گیری

در این تحقیق و مقاله، یک الگوریتم نقطه توان حداکثر بر اساس ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه پیشنهاد شد. در الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان ارائه شده، یک رله ۱۲ ولتی به پنل فتوولتائیک مرجع متصل شد که به طور دوره‌ای بسته و سپس باز می‌شود تا ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه را اندازه‌گیری کند، که به ردیابی حداکثر توان از پنل فتوولتائیک کمک می‌کند. یک مبدل کاهنده-افزاینده، که توسط میکروکنترلر قابل برنامه نویسی کنترل می‌شود، ساخته شد و با آرایه فتوولتائیک خورشیدی و بار متصل شد. الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان پیشنهادی با استفاده از یک بار مقاومتی خالص تأیید شد. جدول ۲ ویژگی های سیستم ردیابی نقطه حداکثر توان جدید پیشنهادی را با سایر سیستم ها مقایسه می کند. سیستم پیشنهادی برای عملکرد آن در شرایط جوی محلی ارزیابی شد. الگوریتم نقطه حداکثر توان ارائه شده در اینجا یک روش ساده و ارزان برای ردیابی مداوم حداکثر توان آرایه فتوولتائیک خورشیدی است، زیرا شرایط آب و هوایی متفاوت است. این یک طرح مقرون به صرفه حداکثر توان را فراهم می کند که می تواند در هر سیستم فتوولتائیک استفاده شود. این سیستم در ردیابی حداکثر توان از پنل فتوولتائیک ۹۴٪ کارآمد بود.

منابع و مراجع

[1] Bahgat ABG, Helwa NH, Ahmad GE, El Shenawy ET. Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks. Renewable Energy 2005;30:1257–68.

[2] Salas V, Olıas E, Barrado A, Lazaro A. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. Sol Energy Mater Sol Cells 2006;90:1555–78.

[3] Esram T, Chapman PL. Comparison of photovoltaic array maximum powerpoint tracking techniques. IEEE Trans Energy Convers 2007;22:2.

[4] Reisi AR, Moradi MH, Jamas S. Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: a review. Renew Sustain Energy Rev 2013;19:433–43.

[5] Kassem AM. MPPT control design and performance improvements of a PV generator powered DC motor-pump system based on artificial neural networks. Int J Electr Power Energy Syst 2012;43(1):90–8.

[6] Ramaprabha R, Balaji M, Mathur BL. Maximum power point tracking of partially shaded solar PV system using modified Fibonacci search method with fuzzy controller. Int J Electr Power Energy Syst 2012;43(1):754–65.

[7] Irmak E, Güler N. Application of a high efficient voltage regulation system with MPPT algorithm. Int J Electr Power Energy Syst 2013;44(1):703–12.

[8] Bianconi E, Calvente J, Giral R, Mamarelis E, Petrone G, Ramos-Paja CA, et al. Perturb and observe MPPT algorithm with a current controller based on the sliding mode. Int J Electr Power Energy Syst 2013;44(1):346–56.

[9] Houssamo Issam, Locment Fabrice, Sechilariu Manuela. Experimental analysis of impact of MPPT methods on energy efficiency for photovoltaic power systems. Electr Power Energy Syst 2013;46:98–107.

[10] Enslin JHR, Wolf MS, Snyman DB, Swiegers W. Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter. IEEE Trans Industr Electron 1997;44:769–73.

[11] Masoum MAS, Dehbonei H, Fuchs EF. Theoretical and experimental analyses of photovoltaic systems with voltage and current-based maximum power-point tracking. IEEE Trans Energy Convers 2002;17(4):514–22.

[12] Noguchi method for multiple photovoltaic-and-converter module system. IEEE Trans Ind Electron 2002; 49(1): pp. 217–23.

[13] Hua C, Lin J, Shen C. Implementation of a DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking. IEEE Trans Industr Electron 1998;45(1):99–107.

[14] Abdelsalam AK, Massoud AM, Ahmed S, Enjeti PN. High-performance adaptive perturb and observe MPPT technique for photovoltaic based microgrids. IEEE Trans Power Electron 2011;4:26.

[15] Brunton SL, Rowley CW, Kulkarni SR, Clarkson C. Maximum power point tracking for photovoltaic optimization using ripple-based extremum seeking control. IEEE Trans Power Electron 2010;25(10):2531–40.

[16] Lei P, Li Y, Seem JE. Sequential ESC-based global MPPT control for photo-voltaic array with variable shading. IEEE Trans Sustain Energy 2011;2(3):348–58.

[17] Bazzi AM, Krein PT. Concerning maximum power point tracking for photovoltaic optimization using ripple-based extremum seeking control. IEEE Trans Power Electron 2011;26(6):1611–2.

[18] Hohm DP, Ropp ME. Comparative study of maximum power point tracking algorithms. Prog Photovoltaics Res Appl 2003;11:47–62.

[19] Liu F, Duan S, Liu F, Liu B, Kang Y. A variable step size INC MPPT method for PV systems. IEEE Trans Industr Electron 2008;55:7.

[20] Mei Q, Shan M, Liu L, Guerrero JM. A novel improved variable step-size incremental-resistance MPPT method for PV systems. IEEE Trans Industr Electron 2011;58:6.

[21] Moradi MH, Reisi AR. Hybrid maximum power point tracking method for photovoltaic systems. Sol Energy 2011;85:2965–76.

[22] Bhatnagar P, Nema RK. Maximum power point tracking control techniques: state-of-the-art in photovoltaic applications. Renew Sustain Energy Rev 2013;23:224–41.

[23] Salameh Z, Dagher F, Lynch W. Step-down maximum power point tracker for photovoltaic systems. Sol Energy 1991;46(5):279–82.

[24] Aganah KA, Leedy AW. A constant voltage maximum power point tracking method for solar powered systems. In: Proceedings of the IEEE 43rd south eastern symposium on system theory (SSST); 2011, pp. 125–30.

[25] Noguchi T, Togashi S, Kakamoto R. Short-current pulse based adaptative maximum power point tracking for photovoltaic power generation system. IEEE Int Symp Industr Electron (ISIE) 2000;1:157–62.

[26] Coelho RF, Concer FM, Martins DC. A simplified analysis of DC–DC converters applied as maximum power point tracker in photovoltaic systems. In: 2nd IEEE international symposium on power electronics for distributed generation systems; 2010, pp. 29–4.

KNO-1101-4305

تحلیل مونت کارلو و بررسی نمودار چشمی CNT Interconnects

هادی صمدی[۱] ، فرامرز آقائی لیاولی[۲]

۱- دانشکده برق، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران

۲- گروه برق، شرکت هل، شهر صنعتی البرز، قزوین، ایران

h.samadimehreh@email.kntu.ac.ir

چکیده

در این مقاله تاثیر سایزینگ مناسب و تغییرات ساخت بر روی نمودار چشمی CNT Interconnecs را بررسی کرده‌ایم. نتایج تحلیل مونت کارلو در شبیه ساز مداری HSPICE نشان میدهد، که CNT Interconnect حتی بدترین مفروضات تغییرات فرآیند هم تاثیر زیادی بر عملکرد آن ندارد. همچنین در پایان به این نتیجه رسیده‌ایم که شبیه‌سازی با HSPICE نشان می‌دهد که افزایش تعداد نانوله منجر به افزایش ارتفاع نمودار چشمی CNT Interconnects می‌شود.

کلمات کلیدی: چشمی، مونت کارلو، CNT Interconnect

۱. مقدمه

بیشتر طراحان مدارهای مجتمع دیجیتال سرعت-بالا از نمودار چشمی برای ارزیابی عملکرد سیستم استفاده می‌کنند [۱]. یک نمودار چشمی با برش دادن شکل موج سیگنال حوزه زمان به بخش هایی که تعداد کمی از نمادها طول دارند و روی هم قرار دادن آنها ساخته می شود. محور افقی نمودار چشمی نشان دهنده زمان است و معمولاً یک یا دو نماد عرض دارد، در حالی که محور عمودی نشان دهنده دامنه سیگنال است [۱].

یکی از مسائل مهمی که طراحان مدارهای مجتمع دیجیتال معمولا با آن روبرو هستند مساله تاخیر مدار و تعیین اندازه‌ی ترانزیستورها برای بهینه سازی سرعت کار مدار است. در اینجا از روشی مبتنی بر کار نویسندگان [۲] استفاده شده است که به کمک آن میتوان تاخیر مدارها را به آسانی و دقت مناسبی تخمین زد و تاخیر مسیر بحرانی را با تعیین اندازه مناسب گیتها به حداقل رساند. این روش به تلاش منطقی معروف است.

تغییر پذیری (PVT) یک مورد اجتناب ناپذیر برای رعایت حاشیه اطمینان در طراحی میباشد. در حالت کلی، سه منبع مختلف برای برای تغییر وجود دارد که دوتای آنها مربوط به محیط و یکی مربوط به تولید است. این منابع عبارتند از:

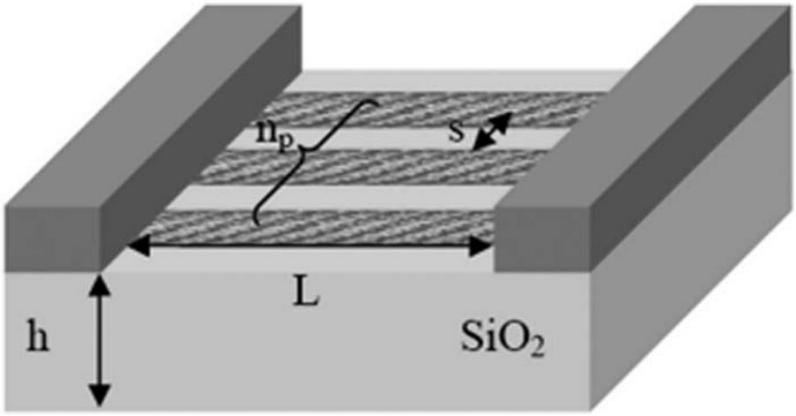
- دمای کار (T)
- ولتاژ تغذیه (V)

- تغییر فرآیند (P)

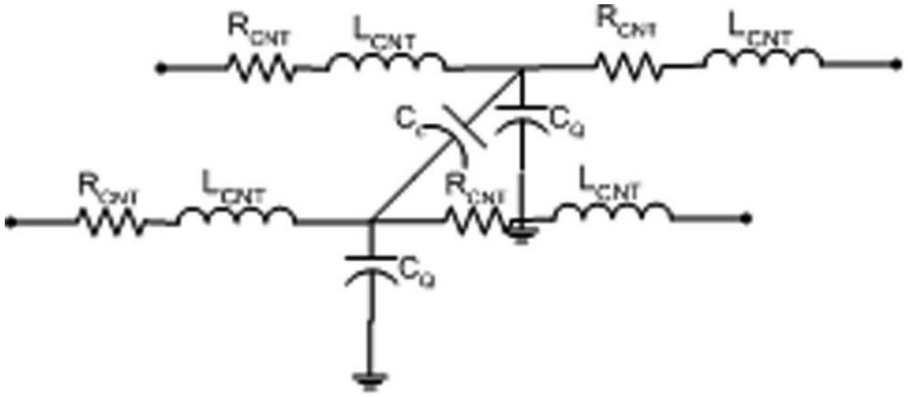
۲. مدل CNT Interconnect

نمای جانبی از CNT Interconnect در شکل ۱ آورده شده است. یک مدل از این Interconnect در [۳] مدل شده است و کد Veriloge-A در [۴] قابل دریافت(دانلود) می‌باشد.

CNT Interconnects فلزی به دلیل خواص پایداری مکانیکی و حرارتی بالا، هدایت حرارتی و قابلیت حمل جریان بالا مورد توجه بسیاری قرار گرفته اند. در حالت ایده آل، SWCNT های فلزی دارای سرعت فرمی 8×10^5 m/s هستند [۵]. با این حال، در واقعیت، حرکت بالستیک توسط چندین مکانیسم پراکندگی مانند پراکندگی فونون آکوستیک، پراکندگی مرزی-منطقه، و پراکندگی فونون-نوری کاهش می‌یابد. مکانیسم توسط چندین مدل توضیح داده شده است [۶] [۷]. مدل مداری برای CNT Interconnect در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمای جانبی از CNT Interconnect [۳]



شکل ۲– مدل مداری برای CNT Interconnect

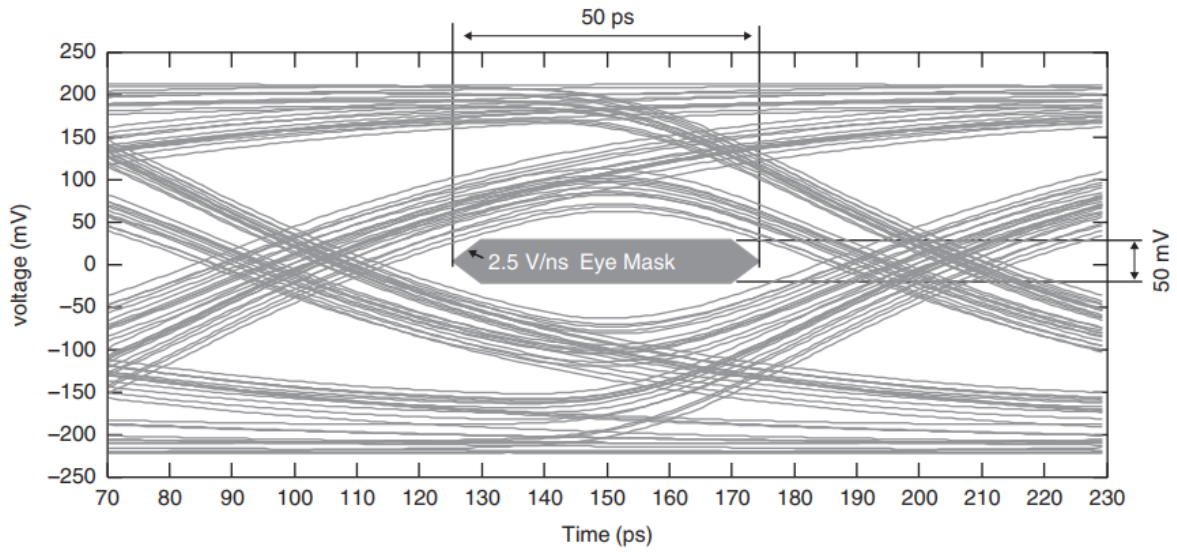
۳. تحلیل مونت کارلو و بررسی نمودار چشمی

در این بخش در نرم افزار HSPICE به تحلیل مونت کارلو با استفاده از دستور زیر پرداخته‌ایم: این دستور ۱۰۰ تحلیل زمانی از CNT Interconnect با تابع توضیع خواسته شده به ما می‌دهد.

.TRAN 100e-12 10e-9 SWEEP MONTE=100

نتایج تحلیل مونت کارلو در شبیه ساز مداری HSPICE نشان میدهد، که CNT Interconnect حتی بدترین مفروضات تغییرات فرآیند هم تاثیر زیادی بر عملکرد آن ندارد.

نمودار چشمی CNT Inerconnect در شکل ۳ آورده شده است. افرایش تعداد نانولوله باعث افزایش ارتفاع چشم خواهد شد.



شکل ۳- نمودار چشمی CNT Interconnect

۴. نتیجه‌گیری

در این گزارش تاثیر سایزینگ مناسب و تغییرات ساخت بر روی نمودار چشمی CNT Interconnecs را بررسی کرده‌ایم. نتایج تحلیل مونت کارلو در شبیه ساز مداری HSPICE نشان میدهد، که CNT Interconnect حتی بدترین مفروضات تغییرات فرآیند هم تاثیر زیادی بر عملکرد آن ندارد. همچنین در پایان به این نتیجه رسیده‌ایم که شبیه‌سازی با HSPICE نشان می‌دهد که افزایش تعداد نانوله منجر به افزایش ارتفاع نمودار چشمی CNT Interconnects می‌شود.

۵. مراجع

1. Stephen H. Hall, Howard L. Heck - Advanced signal integrity for high-speed digital designs-Wiley _, IEEE (2009).
2. . I. Sutherland, B. Sproull, and D. Harris, “Logical Effort: Designing Fast CMOS Circuits,” San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1999
3. Saurabh Sinha, Asha Balijepalli, and Yu Cao, "Compact Model of Carbon Nanotube Transistor and Interconnect," IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 56, NO. 10, OCTOBER 2009.
4. Predictive Technology Models (2023) [Online]. http://ptm.asu.edu
5. M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, and P. Eklund, *Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1996.
6. A. Raychowdhury and K. Roy, “Modeling of metallic carbon-nanotube interconnects for circuit simulations and a comparison with Cu interconnects for scaled technologies,” *IEEE Trans. Comput.-Aided Design Integr.*
   Circuits Syst., vol. 25, no. 1, pp. 58–65, Jan. 2006.
7. LIANG, J.; Todri, A. (2017). CNRS - Carbon Nanotube Interconnect RC Model. nanoHUB. doi:10.4231/D3SJ19T14.

KNO-1101-4306

بررسی نرم افزار شبیه سازی WITNESS

شهرام محمدی[۳]

Shahram_mohamadi@yahoo.com

مربی گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فنی و حرفه ای دختران اصفهان، اصفهان ، ایران

چکیـــــده

این مقاله به معرفی و ارائه نرم افزار شاهـــد ۱۲ (WITNESS ۱۲) می پردازد که آخرین نسخه از نرم افزار شبیـــه سازی محصول گروه لنر می باشد. این مقاله به کنکاش درباره ساختـــار نرم افزار و ویژگی های کلیدی می پردازد که ساختار مدل های شبیه ســـــازی را در نرم افزار شاهـــد (WITNESS) بسیار سازنده و مفید می گرداند.این نرم افزار شامل عناصری با وسعت و عمق زیاد، پیوندهای مستقیم و متخصصان و تردستانی (wizard) برای پیوند دادن با اکسل (Excel) و پایگاه داده ها (database)، نمایش های آموزنده تنوع زیاد، ساختـــار رابط کاربری (interface) نوین، گزارشات جامع، محدوده قدرتمند گزینه های منطقی با ضمـــایم برنامه نویسی کامل و بیشتر می باشند.برخی از آخرین قابلیت ها، از جمله مدلسازی پایداری، جداول سیگما شش و الگوریتم ها و پیشرفت های موجود در زمینه واقعیت مجازی با یکدیگر و همراه با تجربیات اخیر مربوط به کاربرد بهینه سازی با استفاده از بهینه ساز نرم افزار شاهـــد خلاصه شده و گرد آمده اند و یک واحد یا مدول منحصر به فرد توسط لنر عرضـــــه گشته است.

واژگان کلیدی : بررسی، نرم افزار، شبیه سازی، WITNESS

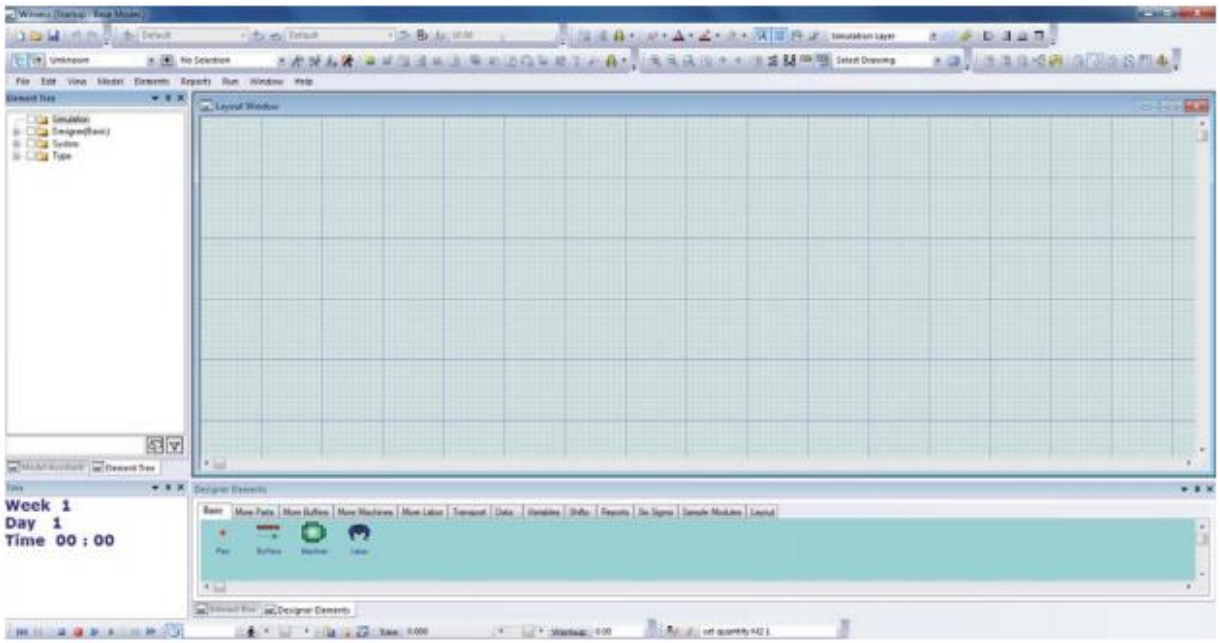
۱. مقدمـــــه

نرم افزار شاهـــد (WITNESS) یک بسته نرم افزاری با شجره نامه (pedigree) می باشد. این نرم افزار با موفقیت توسط هزاران نفر از مدلســـازان در طول ۲۰ سال گذشته مورد استفاده قرار گرفته است و با سیستم عامل های توسعه نرم افزاری مدرن و طراحی رابط کاربری به پیشروی خود ادامه می دهد همان گونه که بر حسب وضعیت شریک طلایی مایکروسافت لنر (Lanner's Microsoft Gold Partner) و نشان گـــذاری (badging) وینـــــدوز ۷ (Windows 7) گواهی شده است.



شکل ۱: صفحه شروع WITNESS

این نرم افزار تضمین می کند که محیط برای مدلساز، رایج و ذاتی و شهودی بوده و می تواند سفارشی نیز گردد. باز کردن نرم افزار شاهـــد ۱۲ (WITNESS 12) یک صفحه آغازین (Start Page) را با دسترسی به طیف وسیعی از اطلاعات سودمند و مفید آشکار می ســازد. این مطلب را می توان در شکل ۱ نیز مشاهـــــده نمود.طرح وانیلی نرم افزار شاهـــد (WITNESS)، زمانی که برای اولین بار بـــاز می گردد، یک نوار ابزار (toolbar) را در ذیل، پنجره مدلســـازی و ساختار پنجره حمایت کننده از ظواهر گوناگون (dockable) را آشکار می سازد که در شکل ۲ نشان داده شده اند.محل هایی برای یک نمای شجره ای از مدل، یک شجره دستیار، نمایش های زمان، یک لوحه (palette) عنصر طراح چند برگه ای (multi-tabbed) و بیشتر وجود دارد. نرم افزار شاهـــد (WITNESS) از چندین نمای (view) همزمان یک مدل در پنجره های مختلف پشتیبانی می کند - اما در ابتدا ساده سازی از یک نما نشان داده می شود.نرم افزار شاهـــد (WITNESS) دو نسخه یا ویرایش را عرضـــه می نماید که عبارتند از: نسخه عملکرد تولید و نسخه عملکرد خدمات و فرآیند. در زمان نگارش این مطلب، نسخه های (version) این نرم افزار به زبان های انگلیسی، فرانسوی، آلمانی، لهستانی، چینی، ژاپنی و اسپانیایی موجود می باشند.



شکل ۲: ویرایش ساخت WITNESS- پوسته پیش فرض

۲. مدل های ساختاری (BUILDING MODELS)

مدل ها در نرم افزار شاهـــد (WITNESS) با استفاده از عناصر نمایش داده شده در بسیـــاری از زبانه های (tab) پنجره عناصر طراح ایجاد شده اند. شکل ۳ دو نمونه دیگر از پالت یا لوحه عنصر طراح را نشان می دهد. این لوحه ها یا پالت ها را، هم عنـــــاصر جدید و هم لوحه ها یا پالت های جدید، را می توان به وسیله مشتریان یا مصرف کنندکان اضافه نمود.

مدل های ساختاری از یک روش کلیک و مکان ساده برای استقرار عناصر از پالت ها یا لوحه های طراح در روی پنجره های مدلسازی بهـــره می برند. این عناصر ممکتن است ساده بود و یا آنکه احتمال دارد ماژول ها (module) یا واحدهای پیچیده ای را نیـــز تشکیل داده باشند.هر مجموعه ای از عناصر مدل را می توان به یک ماژول یا واحد طراح تبدیل نمود؛ ساده ترین روش برای این کار کشیدن ماژول ایجـــاد شده به بخش عنصر طراح نمـــای درختی یا شجره ای، در حین پایین نگه داشتن کلیـــد کنترل (Ctrl) می باشد. این لایوت ها (layout) یا طرح بندی ها را می توان به سرعت با استفـــــاده از این روش برای دستیابی به یک صفحه نمایش مدل مد نظر ایجاد نمود. نکته لازم به ذکر آن است که به طور کلی دو نوع از صفحه نمایش مدل انتخاب شده وجود دارند – یکی که در آن یک طرح بندی امکانات (facility) نشان داده شده است و یکی دیگر که در آن یک فرآینـــد کاملاً به صورت جداگانـــه از هر لایوت یا طرح بندی و یا طراحی امکانات قابل مشاهده می باشند. در ذیل نمونـــــه هایی از این مورد در شکل های ۴ و ۵ نشـــــان داده شده اند.



شکل ۳: نمونه های عنصر طراح بعدی

نگاره ها (Graphic) به دلیل دریافتن نحوه ارتباط و پذیرش مدل ها بسیار مهم هستند. نرم افزار شاهـــد (WITNESS) امکان استفاده از بسیاری از قالب های نگاره های مختلف را هم به صورت گزینـــــه های بیت مپ (bitmap) و هم به صورت برداری (vector) فراهم می ســـازد.

همچنین طرح بندی های CAD نیز می توانند به صورت مستقیم در یک نرم افزار همراه با یک پیش نمایش (preview) و انتخـــاب لایه ها به منظور آسان سازی امور به ارمغان آورده شوند. شکل ۶ نمونه ای از نمایش موثر CAD را در یک مدل فرودگاهی (airport model) نشان می دهد.

ویرایش بر روی صفحه نمایش (On-screen editing) انجام آسان تغییرات را مقدور می سازد. به عنوان مثال نوار نمایش (display bar) بسیاری از گزینه های استاندارد را همان گونه که در شکل ۷ مشاهده می شود ارائه داده و به عنوان نمونه برای ویرایش مستقیم عناصر شبیه سازی نمایش های مسیر و دسترسی به تنظیمات دیالوگ یا گفتگوهای نمایش به آسانی در دسترس می باشد - نمونه ها در شکل ۸ نشان داده شده اند.

تعیین جریان منطقی (logic flow) در نرم افزار شاهـــد (WITNESS) دربردارنده قوانین WITNESS می باشد. این امر گزینه های نشانـــدن (Push)، کشش (Pull)، درصـــد (Percent)، توالی (Sequence)، کمینه یا حداقل (Least)، اغلب (Most) و تطابق (Match) را عرضه می دارد.

همه این موارد را می توان در سطوح مختلفی از شرایط IF، ELSE و ENDIF جایگذاری نمود. قواعد ساده به طور کامل توسط چند کلیک موشواره (mouse) تعریف می گردند - قوانین پیچیده تر به صورت دیالوگ یا گفتگوهای عنصر انتخابی، نوشتـــه و تایپ می شوند.

جزئیات سایر عناصر در جزئیات (منطق یا logic) و یا دیالوگ ها یا گفتگوهای صفحه نمایش تغییر نموده اند که با دو بار کلیک نمودن ســـــاده بر روی صفحه نمایش مدلسازی و یا از طریق درخت یا شجـــره، نوار ابزارها، منوها، منوی زمینه سمت راست موشواره یا ماوس و غیره، قابل دسترسی می باشند.

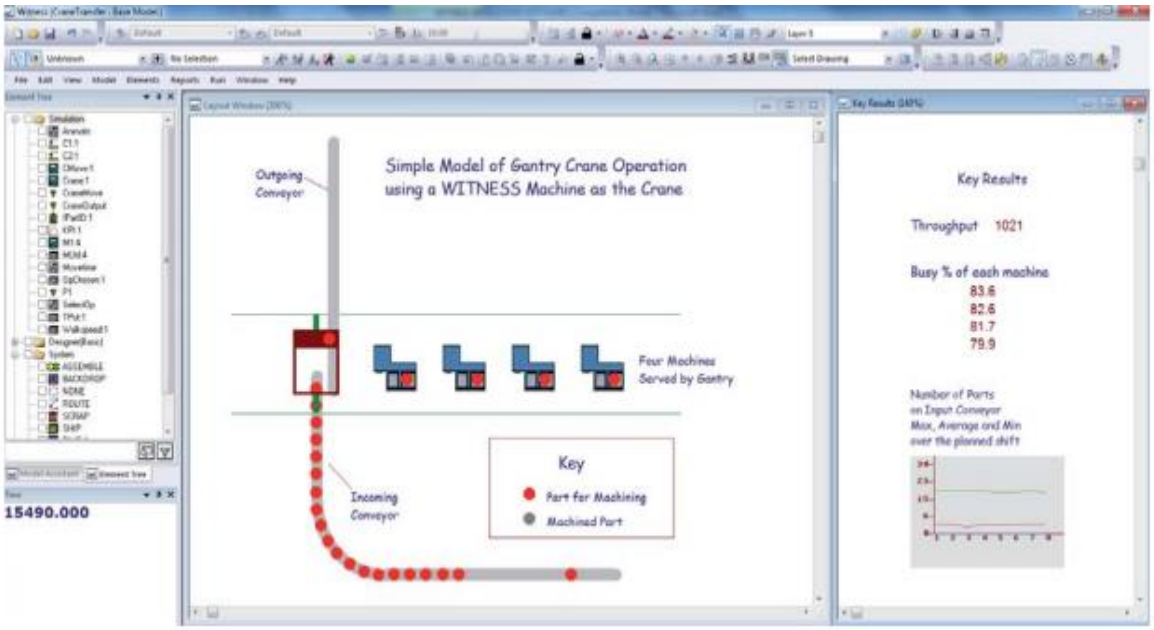
عناصر موجود در نرم افزار شاهـــد (WITNESS) استحکام آن هستند. تنها با داشتن مجموعه درستی از توده ها یا بلوک های ساختاری (building block) شما می توانید آنچه را که مورد نیاز است به سرعت و با دقت بسازید. هر بسته یا پکیج شبیه سازی ساختار خاص خود را دارد و شباهت های بسیاری بین بسته یا پکیج وجود دارد، اما هیچ کدام از این دو مشابه هم نبوده و مواد ساختـــاری نیستند.

نرم افزار شاهـــد (WITNESS) مجموعه ای از عناصری است که به خوبی کار شده و مورد آزمایش قرار گرفته اند و خود را در هزاران پروژه به اثبات رسانیده است. کلید یا راز موفقیت این نرم افزار در وسعت و عمق عناصر موجودی است که در دسترس مدلساز می باشند..

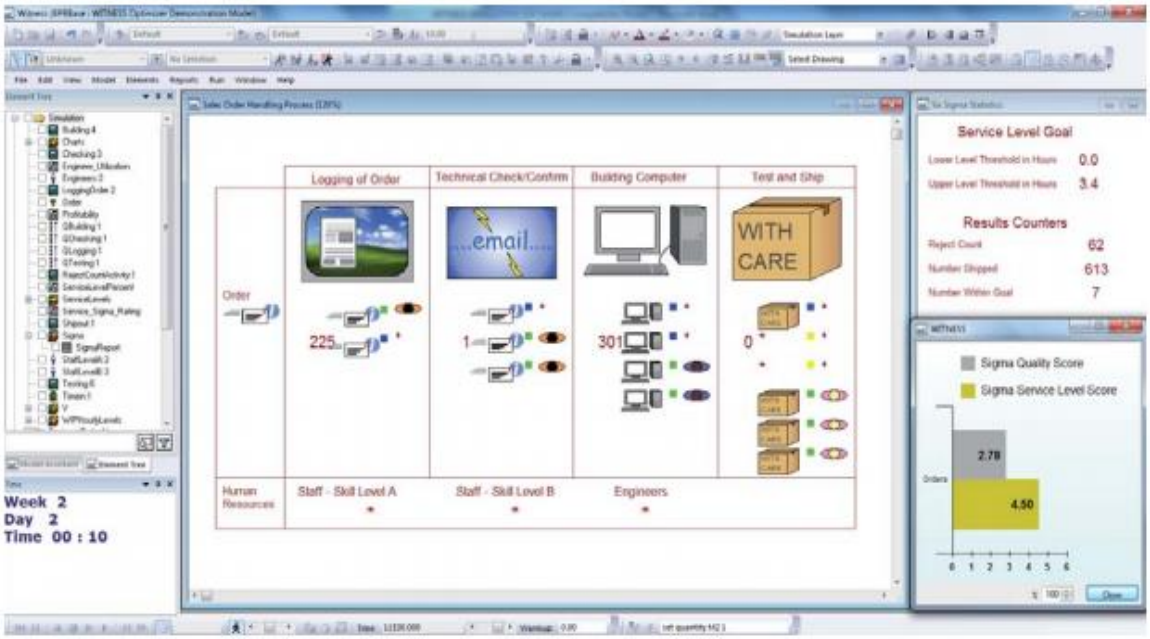
دامنه عناصر گسترده و همراه با تعدادی از افزونه های (extension) تخصصی به مجموعه هستـــه می باشد (به عنوان مثال عناصـــر تخصصی برای پاور (Power) و سیستم های آزاد (Free System) و عناصر برای مدل سازی جریان های پیوسته ای مانند سیالات (fluid)، مخازن (tank) و لوله ها (pipe)).

عنصر دستگاه به عنوان یک مثال مناسبی از عمق همراه با دیالوگ یا گفتگو ورودی (entry) چنـــد زبانه ای (multi tab) از نصب (setup)، از کار افتادگی (breakdown)، انتقال (shift) و غیره را علاوه بر صفحه عمومی – چارچوب حساس به ۷ نوع دستگاه - تکی، دسته ای (batch)، مونتـــاژ (assembly)، تولید، عمومی، چند ایستگاهی (multi-station) و چند چرخه ای (multi-cycle) ارائه می کند.

دیالوگ یا گفتگو در شکل ۹ نمونه ای از پیچیدگی را نشان می دهد که به صورت کارآمدی با دستگـــاه های چند چرخه ای که در آن هر چرخه دارای الزامات مختلف منابع، زمان بندی ها (به زمان بندی توزیع نیز به عنوان یک نمونه نگاه کنید)، گزینه های ورودی و خروجی و مقدار زیادی از مکان ها برای به کار اندازی اقدامات دیگری که می توانند بر بخش های دیگر این مدل تاثیر بگذارند، سر و کار دارند.



شکل ۴: نمونه ای ساده از طرح تسهیلات در WITNESS



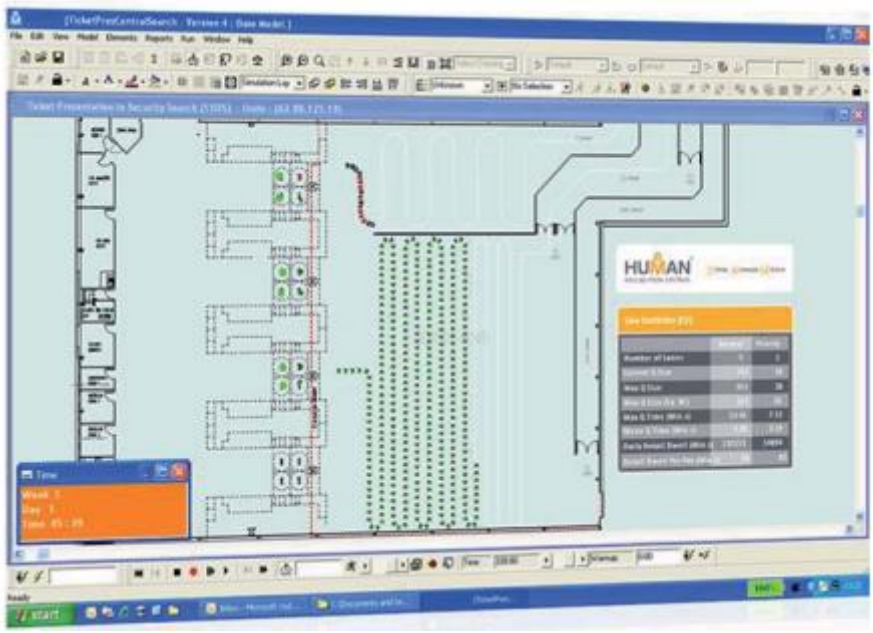
شکل ۵: یک مثال ساده مدل فرآیند در WITNESS

اکثر حوزه ها (field) این عبارات (expression) را می پذیرند. این امر کلیدی برای قدرت نرم افزار شاهـــد (WITNESS) به عنوان یک تصمیم پیچیده است که می تواند در چند خط از کد منطقی با داشتن یک تابع یا کارکرد در حوزه بیان اتخـــاذ گردد. این قدرتی است که باعث می شود نرم افزار شاهـــد (WITNESS) همانند یک محیط سازنده ساختار مدل باشد.

یک زبان ساده (مشابه با پایه یا Basic) برای این اقدامات (Action) مورد استفاده قرار می گیرد – که شامل حلقه های FOR/NEXT، گزینه های IF/ENDIF و مشابه است به طوری که این منطق پیچیده می تواند در جایی که مورد نیاز گنجانیده شود. نرم افزار شاهـــد (WITNESS) دارای یک اشکال زدا یا دیباگر (debugger) کامل یکپارچه برای گام بندی از طریق اقدامات در زمان اجراست به طوری که این منطق می تواند دنبال گردد و هر گونه مشکلی به راحتی در کنترل مدل (model control)، شناسایی گردد.

یک نمایه (profiler) رویداد گنجانده شده است که اجازه می دهد تا مدلسازان وقایع و قوانینی را که به صورت معمول عمدتـــاً مورد استفـــاده قرار می گیرند و هنگامی که این قوانین (در، خارج و منابع و یا In, Out and Resource) به موفقیت دست می یابند و یا شکست می خورند، مشاهده نمایند. این مسالـــه می تواند به شناسایی که در آن مدل ها می توانند کارآمدتر ساخته شوند کمک نماید.

ماژول یا واحد مستند (Documentor) نرم افزار شاهـــد (WITNESS)، راه بزرگ و بسیار خوبی را برای به دست آوردن یک رکورد از راه اندازی تمام حوزه ها و منطق گنجانیده شده در مدل فراهم می سازد. این امر یک ابزار قدرتمندی برای صرفه جویی زمان در حمایت از مستندات موثر مدل ارائه می کند.



شکل ۶: یک مدل بر روی یک پس زمینه CAD (با مجوز از سیستم های تشخیص انسان)

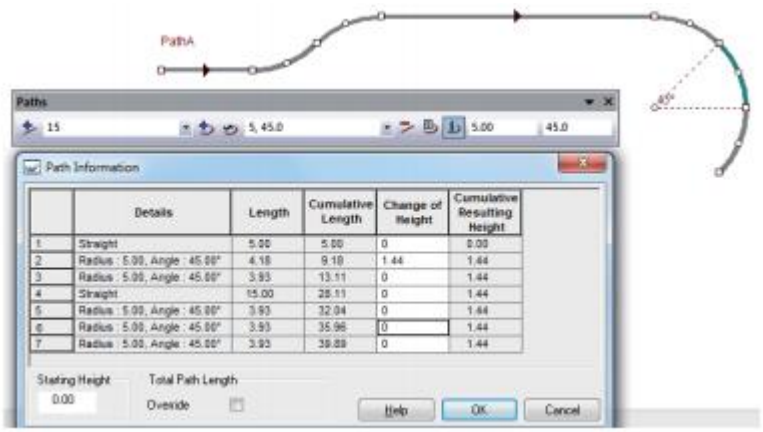
۳. پیوندهایی به داده ها و بیشتر (LINKS TO DATA AND MORE)

نرم افزار شاهـــد (WITNESS) دسترسی سریع و آسان به داده ها را مقدور می سازد. برای اکسل (Excel) نرم افزار شاهـــد (WITNESS) یک دستیار ویژه (wizard) ساده برای انتخاب فایل صفحه گسترده (spreadsheet) و کاربرگ (worksheet) ارائه می دهد و آنگاه سلول های مورد نیاز را می راند.

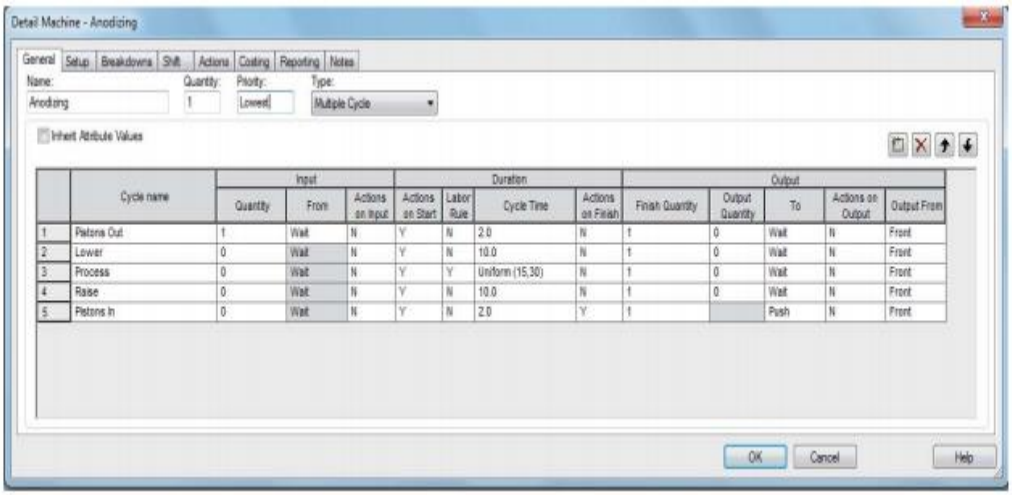
پس از اجرا داده های دستیار ویژه یا جادوگر (wizard) در صورت لزوم در هر بار اجرای نرم افزار شاهـــد (WITNESS) خوانده خواهد شد. برای هر پایگاه داده های OLE DB نرم افزار شاهـــد (WITNESS) دستیار ویژه یا جادوگر (wizard) دیگری را برای راه اندازی لینک یا پیوند همان طور که در شکل ۱۰ دیده می شود ارائه می دهد. این امر یک ماژول یا واحد نرم افزار شاهـــد (WITNESS) ایجـــاد می کند که داده ها را در متغیرهای نرم افزار شاهـــد (WITNESS) مستقر می نماید به طوری که شما از طریق رکوردها یا نگاشته های استخراج شده گام بردارید.



شکل ۷: طیف گسترده ای از قابلیت های نوار ابزار برای ویرایش آسان در صفحه



شکل ۸: ویرایش و محاوره روی صفحه نمایش برای نقاله ها، صف ها و مسیرها



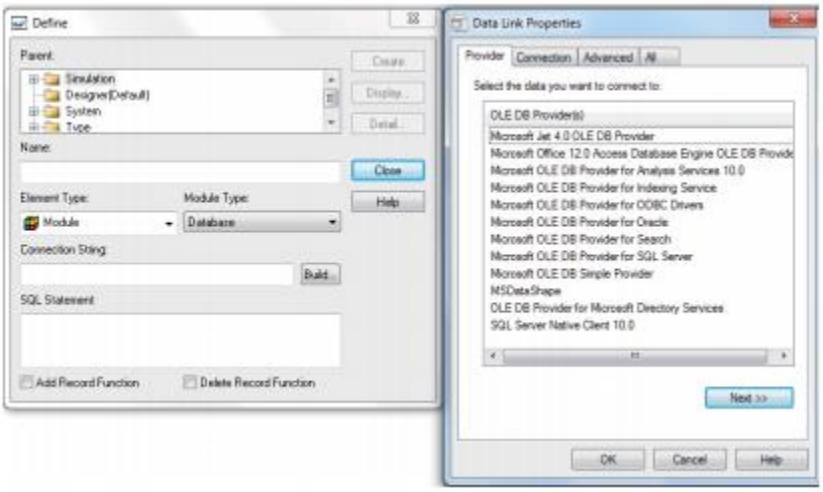
شکل ۹: گفتگوی جزئیات ماشین WITNESS نشان دهنده انعطاف پذیری تعریف چند مرحله ای

برای شبیه سازی SIMBA کاربر پاور (Power User SIMBA)، مدل مقصود نرم افزار شاهـــد (WITNESS) کنترل های برنامه نویسی را از طریق مجموعه ای از روش ها و خواص ارائه می دهد در صورتی که پیوندها یا لینک های OLE استاندارد سادگی پیوندها یا لینک های مورد نیاز را ارائه نمی کنند.

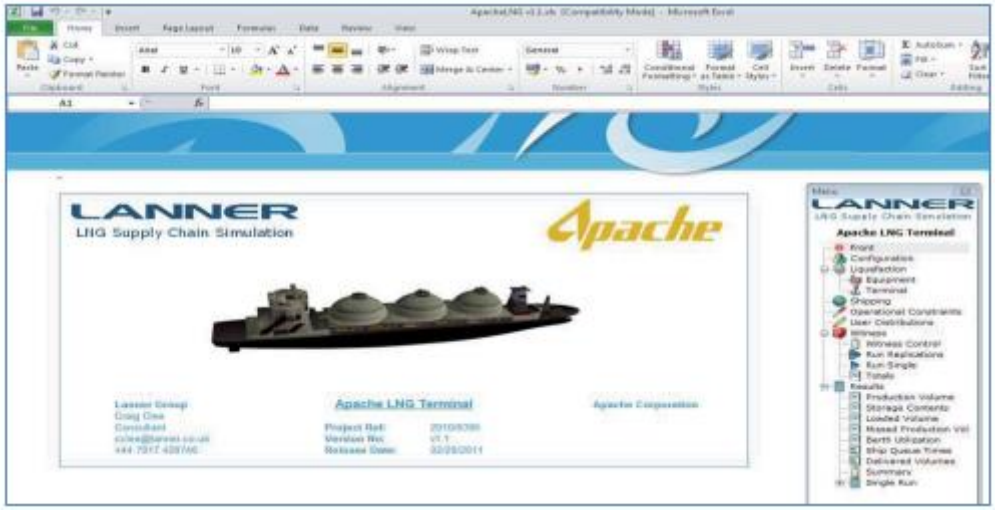
علاوه بر این، کد از زبان های دیگر می تواند پیوند یافته و به نام نرم افزار شاهـــد (WITNESS) در هر نقطه از اجرا یک مدل خوانده شود - این امر با استفاده از ماژول ها یا واحدهای مولفه نرم افزار شاهـــد (WITNESS) که در آن هر COM، DLL را فعال نموده و یا EXE را می تواند بگنجاند.

نرم افزار شاهـــد (WITNESS) به صورت طور خودکار با دست زدن های مورد نیاز سر و کار دارد و یک دستیار ویژه یا جادوگر (wizard) به صورت خودکار توابع یا کارکردهای نرم افزار شاهـــد (WITNESS) را برای فراخوانی روال ها (routine) در کد خارج فراهم می سازد.

با توجه به گزینه های کنترل خارجی نرم افزار شاهـــد (WITNESS)، این امر برای متخصصان شبیه سازی معمول است که مدل هایی را برای استفاده دیگران از یک رابط سفارشی و یا به عنوان یک برنامه کاربردی کاملاً سفارشی ارائه نمایند. اکسل (Excel) یک انتخاب متداولی است که به صورت گسترده توسط مشاوران لنر (Lanner) مورد استفاده قرار می گیرند. نمونه ای از این رابط در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰: بخشی از ویزارد تنظیم پیوند پایگاه داده



شکل ۱۱: مثال اکسل رابط - منو، داده ها، کنترل اجرا، نتایج - تواضع ارائه شده شرکت آپاچی

۴. اجرای شبیـــــه سازی

دکمه های (button) سبک ویدئو (Video) اجازه می دهند تا یک مدل در نرم افزار شاهـــد (WITNESS) برای اجرا شدن ساخته شود. این موارد را می توانید در شکل ۱۲ مشاهده نمایید.

نرم افزار شاهـــد (WITNESS) بسیار تعاملی است به گونه ای که در آن مدل های شبیه ســـازی می توانند اجرا شوند، متوقف گردند، تغییر یافته و از آن نقطه بی وقفه ادامه یابند. مدل ها می توانند با یک رویداد در یک زمان متوقف شوند، بدون هیچگونه نمایشی دسته بندی گردند و حتی با استفاده از قابلیت یا ویژگی نگاشت یا ثبت (record)، دوباره کوک (rewind) شوند.



شکل ۱۲: کنترل های نوار ابزار را اجرا کنید

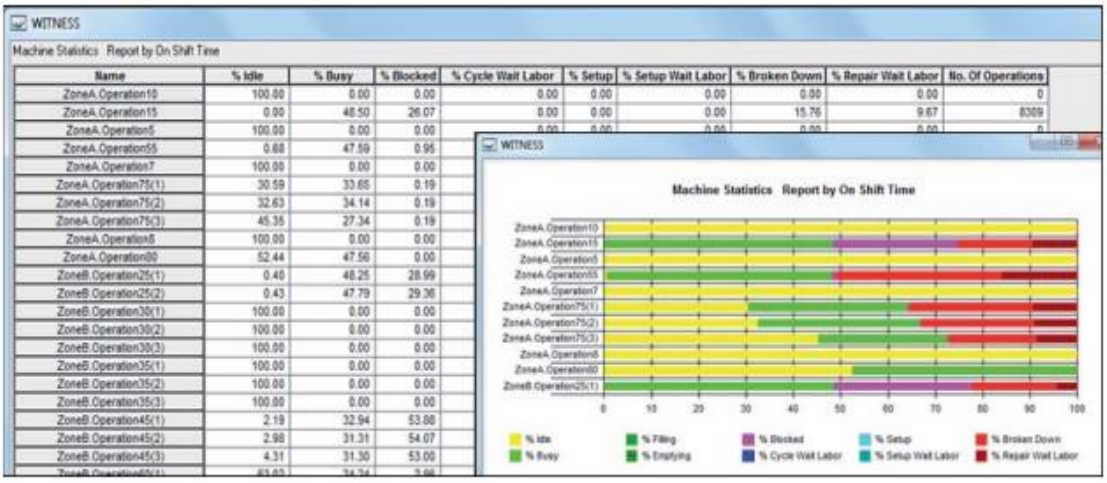
مدل ها می توانند در هر زمانی متوقف شده و به قالب یا فرمتی (format) که دقیقاً یادآور وضعیت شبیه سازی باشد، ذخیره گردند. در زمانی دیگر، این فایل می تواند دوباره بارگذاری (reload) شده و این مدل در آینـــــده دوباره از آن نقطه اجرا گردد و یا آمار مورد بازبینی واقع گیرد.

هیچ مرحله تدوینی (compilation) با نرم افزار شاهـــد (WITNESS) و یا حالت های جداگانه طراحی / اجرا وجود ندارد - مدل ها فقط در صورت لزوم فوراً اجرا می گردند. انواع مختلفی از روش های آزمایشی از اجراهای تعاملی ماژول یا واحد کامل مدیر

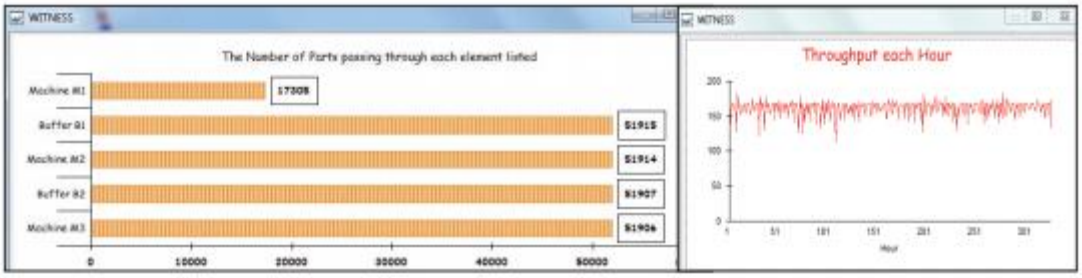
سناریو (Scenario Manager) وجود دارند که تمام تنظیمات آزمایشات را ذخیره نموده و منجر به یک پایگاه داده های SQL می گردند.

۵. نتـــــایج

نرم افزار شاهـــد (WITNESS) به صورت خودکار طیف گسترده ای از آمار را ایجاد می نماید تا این عناصر در یک مدل مورد استفاده قرار می گیرند. در هر مرحله از اجرای یک مدل، این مدل می تواند متوقف شود و گزارشات آماری مورد بررسی قرار گیرند. یک گزارش استانـــــدارد معمولی و نمودار وضعیت (status chart) مربوط به آن در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



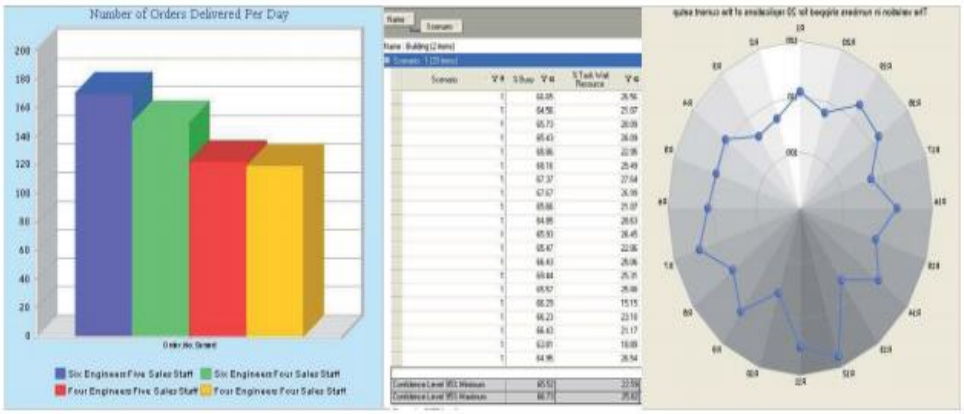
شکل ۱۳: مثال استاندارد آمار از یک مدل اجرا می شود



شکل ۱۴: گزارش های سفارشی ساده تعریف شده به عنوان عناصر گزارش

این مولفه یا جزء نموداری امکان طیف گسترده ای از انواع نمودارهای استاندارد را فراهم می سازد. هر شاخص کلیدی عملکرد (key performance indicator) دیگر را می توان محاسبه نمود و نمایش داد (حتی به صورت پویا به صورت اجراهای مدل) و یک عنصر گزارش سفارشی برای گنجاندن یک نمودار یا یک جدول را در یک ماژول یا واحد قابل استفاده مجدد در دسترس باشد. مثال ها در شکل ۱۴ نشان داده شده اند.

شیوه هایی برای انتخاب اجرا و تجزیه و تحلیل آزمایشات مدیر سناریو نرم افزار شاهـــد (WITNESS) تعاملی تا کامل وجود دارند. این شیوه ها یک مخزن (repository) SQL را که موجودی ها (store) و انواع یا ترتیبات تمام آزمایشات و نتایج موجود در یک کتابخانه (library) می باشند، ارائـــــه می دهند. مثال هایی از نمودارهای استاندارد موجود، ذیلاً در شکل ۱۵ نشان داده شده اند.

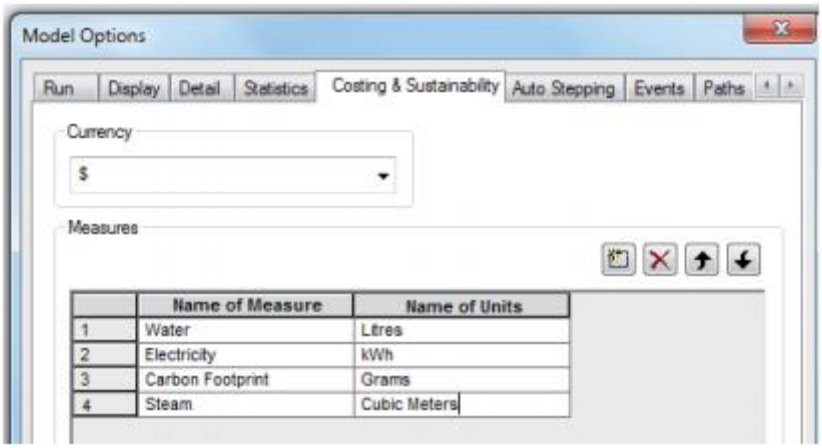


شکل ۱۵: چند نمونه از جدول ها و نمودارهای موجود در مدیر Scenario

۷. پایداری (SUSTAINABILITY)

یکی از هیجان انگیز ترین و جالب ترین حوزه های تحقیق و برنامه های کاربردی (application) در سالیان اخیر، علاقمندی و توجه به مساله پایداری بوده است. سازمان ها نسبت به قبل، علاقمندی بیشتری را در زمینه شناخت تاثیر طرح ها و برنامه های خود بر روی محیط دارند.

لنر (Lanner) این روند را بازشناخته است و در نرم افزار شاهـــد (WITNESS) روش جامعی را برای مشاهده تاثیر گذاری بر مقیاس های پایداری طراحی های فرآیند های مختلف در دسترس گذاشته است. اولین گام در نرم افزار شاهـــد (WITNESS) تعریف اقدامات یا مقیاس های مورد علاقه است.



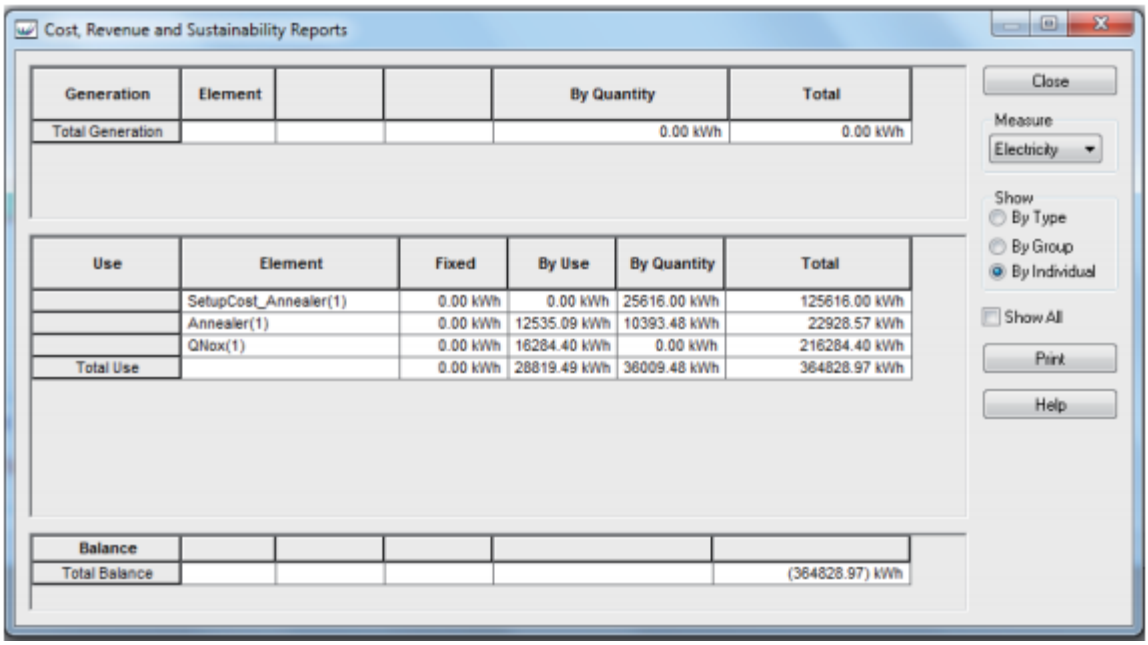
شکل ۱۶: تعریف معیارهای هزینه گذاری و پایداری در WITNESS

این امر در دیالوگ ها یا گفتگوهای مربوط به هزینه یا بهای تمام شده (Costing) و پایداری (Sustainability) در شکل ۱۶ نشان داده شده است. هر اندازه گیری (measure) می تواند همراه با نـــــام واحدهایی که اندازه گیری می شوند تعریف گردد.

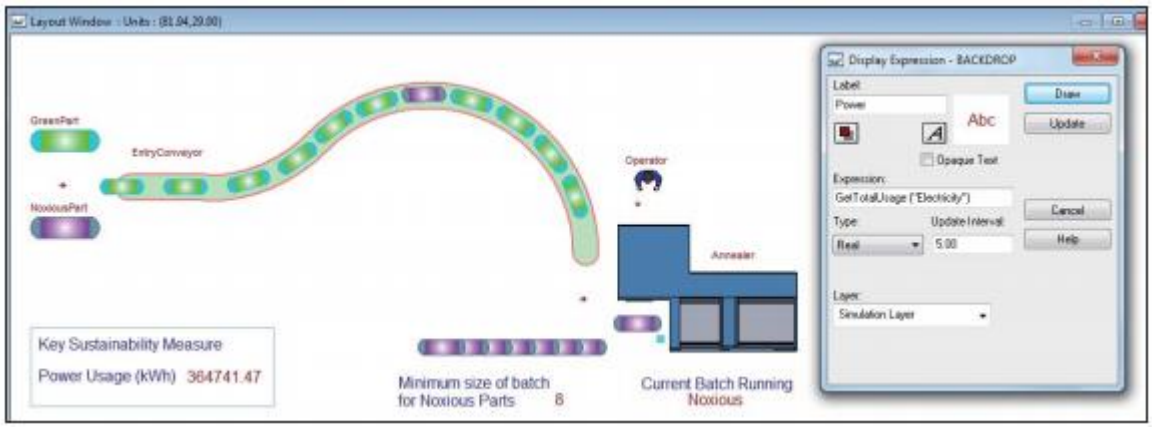
آنگاه دیالوگ ها یا گفتگوهای مربوطه دارای برگه هزینه همراه با فرصت های مختلف بسیاری برای ضبط آمار و ارقام، توزیع، بیان عبارات کاملاً واقعی میزان منابع مورد استفاده (یا در واقع تولید شده) بود. طیفی از توابع یا کارکردها برای تعریف استفاده در هر نقطه دیگر از مدل، این قابلیت جامع را تکمیل نموده است.

گزارش توازن کاملی می تواند در هر نقطه از اجرای یک مدل انجام شده و توابع یا کارکردهای بیشتری را برای دسترسی به تمام نتایج برای صادرات آسان اعطاء نماید. یک گزارش توازن نمونه در شکل ۱۷ نشان داده شده است. مدلی که از این گزارش ساده منشاء می گیرد در شکل ۱۸ نشان داده شده است که عبارتند از دیالوگ یا گفتگویی برای نمایش شاخص های عملکرد کلیدی بر روی صفحه نمایش مدل.

در این مدل فقط سه چیز که مصرف کننده الکتریسیته می باشند، وجود دارند – حائل یا بافر (buffer) قبل از آنکه دستگاه نیاز به گرم شدن قطعات داشته باشد، دستگاه زمانی که آن روشن شده و همچنین زمانی که به آن گردش می نماید و دستگاه هنگامی که ابزار برای راه اندازی تغییر می یابند.



شکل ۱۷: نمونه ای از تعادل هزینه و پایداری



شکل ۱۸: مدل هزینه گذاری و پایداری با تعریف اندازه گیری KPI برای صفحه نمایش مدل

۸. سیگما شش (SIX SIGMA)

نرم افزار شاهـــد (WITNESS) به صورت مستقیم کمک می کند تا تجزیه و تحلیل سیگما شش به وسیله تعدادی از روش ها انجام گیرد. مهمترین این روش ها بدین شرح هستند:

- در مرحله اول جدول احتمال نرمال سیگما شش در نرم افزار شاهـــد (WITNESS) گنجانیـــده می شود. بنابراین هر مقیاسی را می توان به سادگی به یک نمره سیگما شش با گفتن تعداد نقص ها در هر یک میلیون فرصت (defects per million opportunities) (DPMO) توسط نرم افزار شاهـــد (WITNESS) تبدیل نمود.

- در مرحله دوم بهینه ساز (Optimizer) نرم افزار شاهـــد (WITNESS) دربردارنده یک الگوریتم سیگما شش خاص می گردد. برای توضیح این مرحله، لطفاً بخش زیر را که در زمینه بهینه سازی (Optimization) است مشاهده نمایید.
- در مرحله سوم، تمام گزارشات نرم افزار شاهـــد (WITNESS) دارای یک دکمه مینی تب (MINITAB) هستند که به صورت مستقیم بر روی صفحه نمایش در کنار گزارش جدولی (tabular) می باشند. یک کلیک ساده و داده های انتخاب شده به صورت خودکار در یک کاربرگ جدید مینی تب (MINITAB) برای تجزیه و تحلیل های بیشتر نسخه برداری یا کپی می گردند.

شبیه سازی یک راه عالی برای سیگما شش به منظور محاسبه تاثیر گذاری طرح های پیشنهادی (proposal) آنان است که تاثیر گذاری بر روی خط تحتانی (bottom line) را تضمین می نماید.

۹. واقعیت مجـــازی (VIRTUAL REALITY)

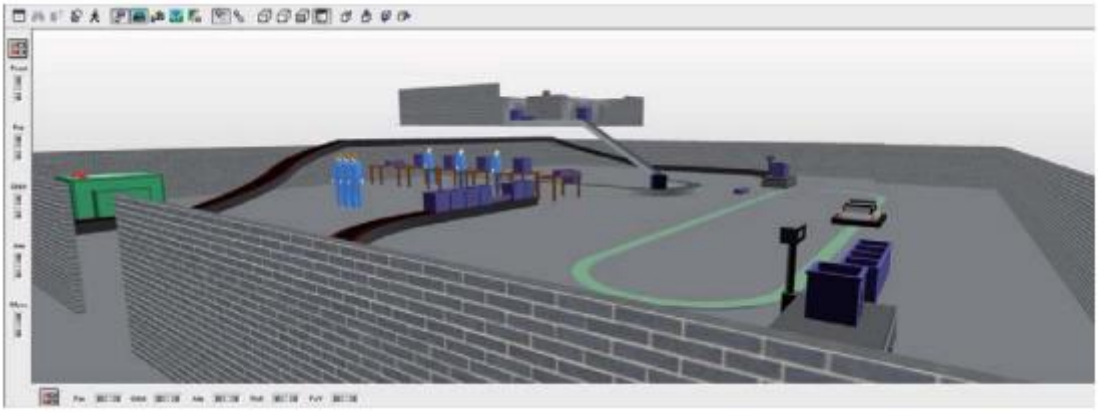
نرم افزار شاهـــد (WITNESS) در زمینه واقعیت مجازی مطالب بسیاری ارائه می دهد اما استفاده از آن را اجبار یا تحمیل نمی نماید.

لنر (Lanner) معتقد است که ۳D می تواند به شیوه حل فنی مسائل پیچیده با استفاده از شبیه سازی به دست آید و اینکه واقعیت مجازی بهتر می تواند به عنوان یک لایه نمایش اضافی هنگامی که برای برقراری ارتباط مهم است، استقرار یابد.

نرم افزار شاهـــد (WITNESS) شامل زمان کارآمد Quick3D به عنوان استاندارد است - این وضعیت منجر به خلق خودکار یک نمای D ۳ از یک نمایش مدل D ۲ می گردد. مثال هایی از این موارد ذیلاً در شکل های ۱۹ تا ۲۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۹: نمایش Quick3D از یک مدل بانکی



شکل ۲۰: نمایش سریع Quick3D از طرح تولید - چند طبقه، ارتفاع نقاله و غیره

۱۰. بهینه سازی

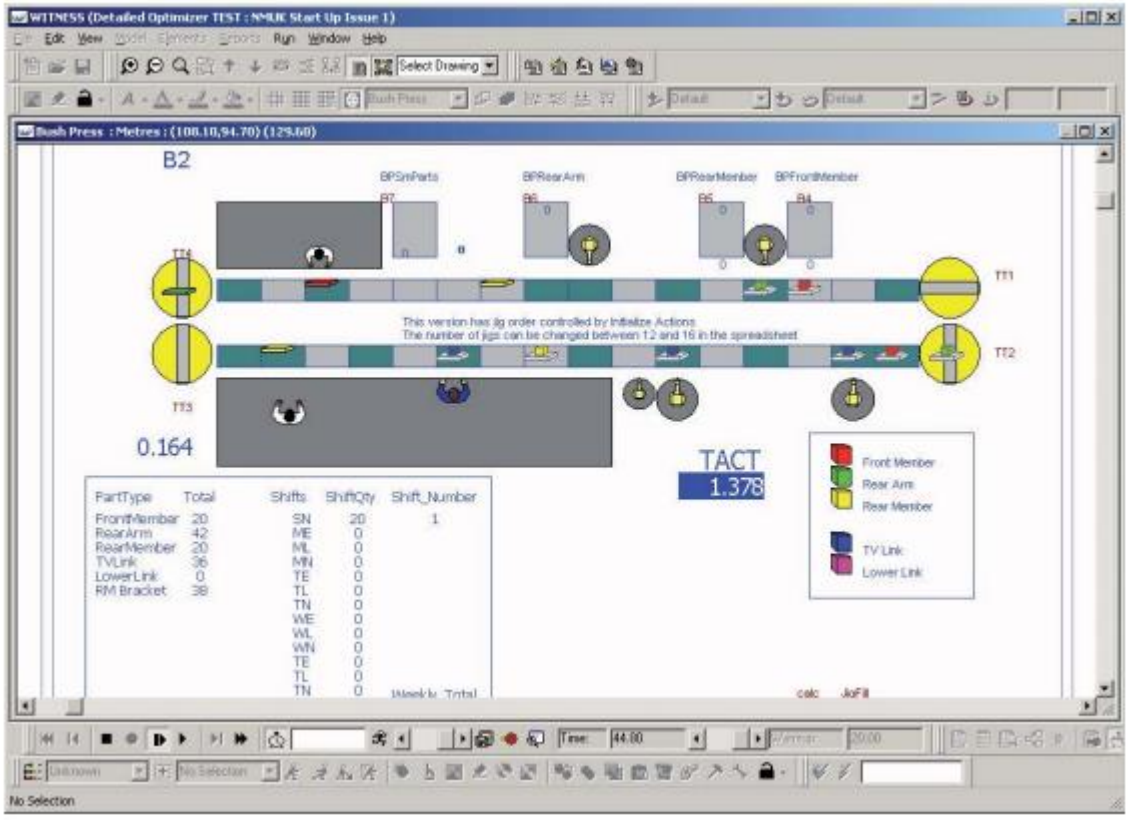
سازمان ها باید بهینه سازی بیش از پیش داشته باشند. مزیت رقابتی عملکرد فوق العاده زبده تر و مبرم تری از یک فرآیند است که می تواند بازدهی قابل توجهی داشته باشد. با تو جه به نرم افزار شاهـــد (WITNESS) به تازگی ما استفاده زیادی از بهینه ساز نرم افزار شاهـــد (WITNESS) مشاهده نموده ایم.

زمینه های کاربردی شامل بهینه سازی فرآیند نشر بوش در تولید تعلیق خودرو است - شکل ۲۲ را ببینید. این بهینه سازی در اصل یک مشکل تعیین ترتیب گذاری با چهار نوع طرح یا پالت و انواع بخش های متعددی است که از طریق یک سری از عملیات دستی و رباتیک پردازش شده بود. بهینه سازی به بهترین وجه، زمان کلی چرخه را ۳ درصد بهبود داده است که صرفه جویی عمده ای در این نوع از تسهیلات محسوب می شود که در آن فرآیندها در حال حاضر بهبود یافته و مستعد (leaned) شده اند.

بهینه ساز نرم افزار شاهـــد (WITNESS) امکان تعریف یک تابع یا کارکرد عینی (objective)، محدوده های پارامتر و یا پارامترها را با مجموعه ارزش ها و مقادیر، محدودیت های ترکیبی مولفه ها یا پارامترها، زمان اجرا، تکرارها و غیره را فراهم می سازد. انتخاب یک الگوریتم شامل گزینه پیوند یا لینک دادن در الگوریتم بهینـــــه سازی تان از کد وارد شده شما می باشد.



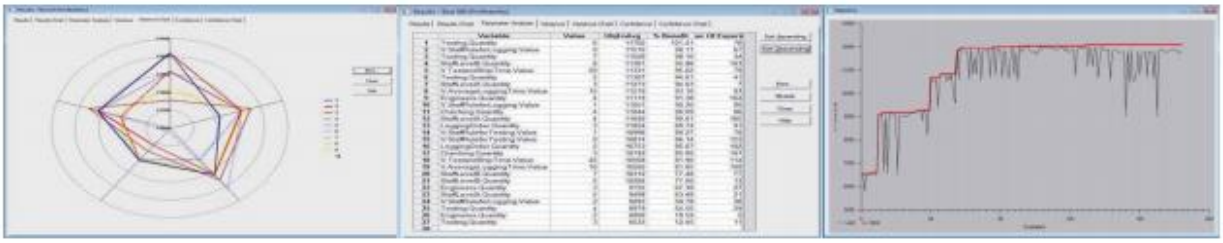
شکل ۲۱: Quick3D مدل انتقال جرثقیل در یک محیط کارگاه آموزشی ارائه شده



شکل ۲۲: بهینه سازی WITNESS در عمل - یک مدل خودرویی با حسن نیت ارائه شده از nissan

الگوریتم ارائه شده شامل یک الگوریتم جستجوی ابتکاری منحصر به فرد بر اســـاس عمل آوری شبیه سازی شده و روش های جستجوی تابو می باشد. نوع دیگری از این الگوریتم، الگوریتم نرم افزار شاهـــد (WITNESS) سیگما شش است که جستجوی ابتکاری مشابهی را به کار می بندد اما تنها اجازه می دهد تا تعداد ثابتی از پارامترها در زمان متفاوت باشند که بهترین گزینه ها را برای بهبود فرآیندی شناسایی می کند که گزینه های تغییر مستلزم انتخاب، بدون انجام طراحی مجدد هستند.

گزارشات شامل جداول و نمودارهایی برای تابع یا کارکرد عینی و دیگر اقدامات و مقیاس های ردیابی، واریانس (variance) و فواصل اطمینان و یک جدول مقادیر / نتایج مولفه یا پارامتر هستند که تجزیه و تحلیل حســـاسیت را ارائه می نمایند. نمودارهای انتخاب شده، در شکل ۲۳ نشان داده شده اند.



شکل ۲۳: WITNESS Optimizer - نمودار واریانس، جدول حساسیت و نمودار جستجوی هدف.

دیگر نمونه های اخیر اقدامات و مقیاس ها - بهینه سازی پایداری جدید که گنجانیده شده اند از انرژی و تجزیه و تحلیل طراحی طرح بندی بزرگ و نهایی استفـــــاده می کنند که در آن ظرفیت های بافرها یا حائل ها / حامل ها برای به دست آوردن نیم درصد اضافی از توان عملیاتی اندکی فراز و نشیب یافته اند.

Refrence

Waller, Anthony,2012 , WITNESS SIMULATION SOFTWARE, **Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference.**

ارتباط با کهربا

متخصصان و مهندسین گران‌قدر می‌توانند از طریق آدرس سایت مجله www.kahrobaonline.ir سایر اطلاعات مجله ازجمله نحوه ارسال مقالات جهت انتشار در نشریه و نیز فرم اشتراک مجله را دریافت کنند. همچنین به اطلاع می‌رسانیم طی توافق صورت گرفته بین پایگاه علمی‌سیویلیکا و مجله کهربا ازاین پس به مقاله برتر هر شماره یک کارت اشتراک رایگان دانلود از این پایگاه هدیه داده می‌شود.

اپلیکیشن این مجله را می‌توانید از مارکت نرم‌افزارهای موبایل (گوگل پلی) به آدرس زیر دریافت کنید.

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kahroba.wwwnoandishaan

ایمیل مجله kahroba@noandishaan.com پل ارتباطی ما با مهندسین و متخصصین می‌باشد، لطفاً ما را از پیشنهادها و انتقادات ارزشمند خود بهره‌مند سازید. جهت حمایت‌های مالی و معنوی از نشریه و یا معرفی محصولات خود نیز می‌توانید از طریق همین ایمیل با ما در ارتباط باشید.

Three-phase induction motor drive: a systematic review on dynamic modeling, parameter estimation and control schemes.

Farzad Ebrahim Abadi Supervising Engineer of Fars Engineering System, samsimnegar5@yahoo.com

Abstract:
Induction motors are commonly used in industrial applications because they are reliable, robust, and inexpensive. Reliability is one of the essential parameters based on which the motor is selected and the induction motor comes into play primarily. A suitable induction motor gives good results in different operating modes. To achieve this, engine values are considered. Dynamic simulation plays an important role in evaluating the model design process to eliminate design errors in typical construction types and when testing the motor drive system. The induction motor is modeled in a synchronous rotating frame of the flux circuit rotor, which is used as a reference. For sensorless vector control and induction motor control methods, accurate knowledge of several induction motor parameters is essential. If the original data in the motor does not match the values used in the controller, the drive display is reduced. Various mechanisms have been developed to calculate the online and offline parameters of the induction machine for its application in high performance drives. The main objective of this review article is to present dynamic modeling and other significant methods used for induction motor parameter estimation. This paper also provides simulation examples related to dynamic modeling and parameter estimation techniques that may be useful to practitioners in the field of electric drive control systems.

Keywords: Inductive engine parameter estimation, dynamic modeling, observer, model adaptive reference system (MRAS), useful intelligence technique. Parameter estimation, dynamic modeling, observer, model adaptive reference system (MRAS), intelligent technique

Advantages and challenges of solar energy in the construction industry

Ahmad Hashemi Senior Expert in Power Electricity, Islamic Azad University, Damghan Branch

sahmadhch@yahoo.com

Abstract:

In this article, the use of solar energy and its advantages and its problems and challenges in the construction industry are discussed. In order to further investigate and analyze this issue, explanations are also given regarding the design of integrated solar cells in the building, and by using statistics and figures, an investigation and comparison between different countries in terms of the use of solar energy in the building industry is done in order to find out the patterns and Their examples should be used for our country, Iran.

The purpose of this article was to first know the advantages of solar energy by using the patterns and results of the day as well as the experienced cases, and then check that in order to advance the goals of using solar energy as a clean and endless energy, with what Challenges and problems such as solar energy devices and problems in solar energy storage are dealt with and solutions for some of these challenges are also presented. The results obtained from this research can definitely be fruitful for those who are active in the construction industry in some way.

Keywords:

Power quality, voltage harmonic, current harmonic

Investigating the differences between the suspension system and aerodynamics of Formula One cars with hybrid cars and modeling an improved suspension system in MATLAB software.

Alireza Mahmoodi Fard

Researcher and universities lecturer (in various fields), Industrial Management Department, Faculty of Humanities, Shahed University, Tehran, alireza10.m10@gmail.com

Abstract:

Aerodynamic loads generated in a wing are very important in its structural design. When multi-element wings with wingtip devices are selected, it is essential to identify and quantify their structural behavior to avoid undesirable deformations that reduce aerodynamic performance. This research examines these questions using numerical methods (computational fluid dynamics and finite element analysis), using comprehensive validation methods to ensure the accuracy of the results and assess their uncertainty; In the first step, a thorough investigation of the four baseline configurations is performed, using the mean Navier-Stokes Reynolds equations and the k-SST (shear stress transfer) turbulence model to analyze and quantify the most important aerodynamic and structural parameters; Several structural configurations are analyzed, including different materials (metallic alloys and two engineered fiber-reinforced composites); Moreover, the principle of superposition has been proven to be an excellent method for implementing high-performance structural designs; The effects of road surface roughness on vehicle stability and travel comfort have long been the focus of researchers and automotive industries. For this purpose, car vibration modeling using mathematical models has been considered in recent researches in order to reduce unwanted car vibrations. In this article, an attempt has been made to show a kind of improved suspension system with a long lifespan by comparing the suspension systems of Formula One racing cars and low-consumption hybrid cars in terms of vertical vibration movement and car tilting, etc., and also by presenting a simulation.

Keywords: Aerodynamics, hybrid vehicle, suspension system, structural design, Formula One, SST turbulence model

Investigating and analyzing the optimal performance of a photovoltaic system using the maximum power point tracking feature

Amir Shateri Bachelor of Electrical Engineering, Apadana Institute of Higher Education, Shiraz; Iran

Abstarct:

The electric power supplied by the photovoltaic array depends on the radiation, temperature and load. On the other hand, the actual power generated by the photovoltaic array is not fully transferred to the load. Therefore, it is necessary to extract the maximum power from the photovoltaic array. Maximum power tracking is a power electronic system that extracts maximum power from the photovoltaic system. Maximum power point tracking modifies the electrical performance of photovoltaic modules and enables them to provide the maximum power available. In this research and paper, a new maximum power point tracking algorithm is designed and presented, which uses the open circuit voltage and short circuit current, sampling from a source photovoltaic panel. Using these measurements, the maximum power from the main panel is tracked without breaking the power transferred to the load. A buck-boost converter was used to match the impedance between source and load to facilitate maximum power transfer. The proposed algorithm was checked for its performance in local environmental conditions

Keywords:

Photovoltaic system, maximum tracking power, buck-boost converter, programmable microcontroller

Monte Carlo analysis and optical diagram examination of CNT Interconnects

Hadi Samadi

Faculty of Electrical Engineering, Khwaja Nasiruddin Tosi University, Tehran, Iran

Faramarz Aghai

Electric Group, Hel Company, Alborz Industrial City, Qazvin, Iran

Abstract:

In this article, we have investigated the effect of proper sizing and manufacturing changes on the optical diagram of CNT Interconnecs. The results of Monte Carlo analysis in the HSPICE circuit simulator show that CNT Interconnect even the worst assumptions of process changes do not have a great impact on its performance. Also, at the end, we have come to the conclusion that the simulation with HSPICE shows that increasing the number of nanosheets leads to an increase in the height of the optical diagram of CNT Interconnects.

Keywords:

Eye, Monte Carlo, CNT Interconnect

WITNESS simulation software review

Shahram Mohammadi

Instructor of Computer Engineering Department, Isfahan Women's Technical and Vocational University, Isfahan, Iran
Shahram_mohamadi@yahoo.com

Abstract
This article deals with the introduction and presentation of 12 WITNESS software, which is the latest version of Lanner Group's product simulation software. This article explores the structure of the software and the key features that make the structure of the simulation models in the witness software very productive and useful. This software includes elements with great breadth and depth, direct links and experts. and a wizard to connect with Excel and databases, informative displays of great variety, new user interface structure, comprehensive reports, a powerful range of logical options with complete programming attachments and more. Some of the latest capabilities, including stability modeling, six sigma tables and algorithms and developments in the field of virtual reality are summarized together with recent experiences related to the application of optimization using Shahed software optimizer. and have been gathered and a unique unit or module has been offered by Lanner.
Keywords: REVIEW, SOFTWARE, SIMULATION, WITNESS