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 p.u ۹،۵ 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

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

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

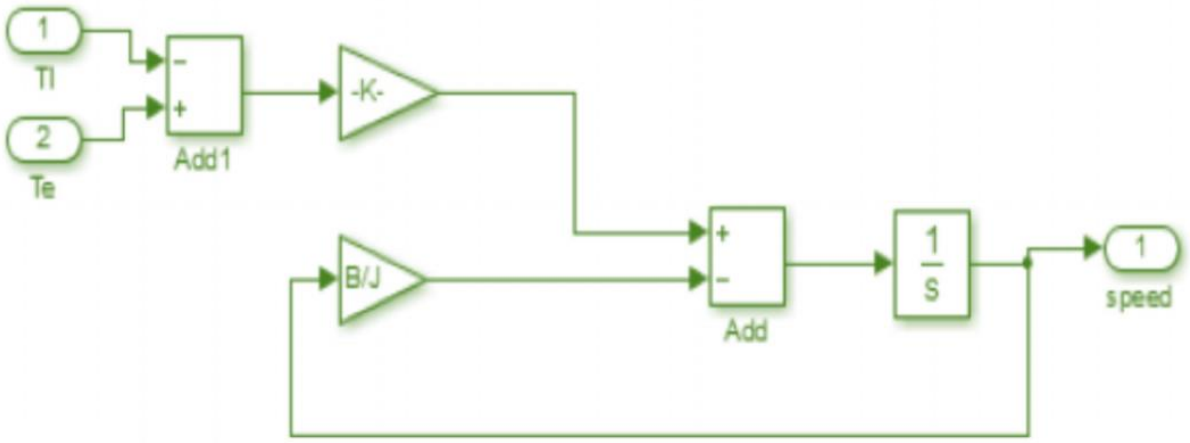
جایگزین λsd، λsq، λrd و λrq در ird،isq،isd و irq، و جریان ها را می توان با پیوندهای شار در معادلات (۲۳) و (۲۴) نشان داد.

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

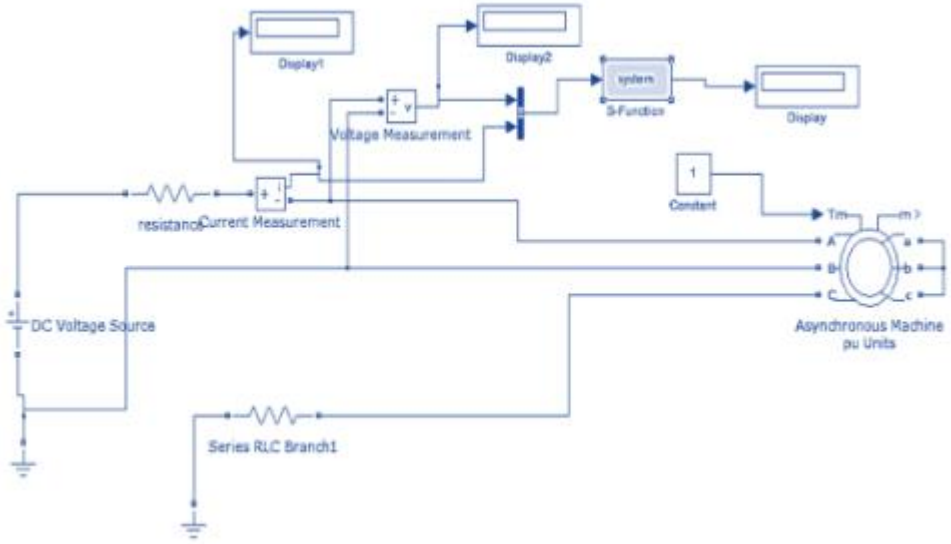
$$i_{rd} = \frac{L_s}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{rd} - \frac{L_m}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{sd}$$
$$i_{rq} = \frac{L_s}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{rq} - \frac{L_m}{L_r L_s - {L_m}^2}\lambda_{sq} \quad (24)$$

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