



امکان‌سنجی استفاده از سروو موتور و شبیه‌سازی تاثیر آن بر کاهش تغییرات دبی سیال خنک کننده مدار اول نیروگاه اتمی بوشهر

قوامی، سید محسن - پورطاهری، اسحاق - منعمی، پیمان - رشیدی نژاد طغرالجردی، هادی

صنایع مس شبید باهنر کرمان

چکیده:

سیال خنک کننده در چهار حلقه مدار اول توسط پمپ‌هایی دو سرعته از میان قلب راکتور بوشهر عبور می‌کند. این چرخش اجباری سیال می‌تواند به دلایلی از جمله اتصالی و قطعی شبکه و یا اغتشاشات دیگر ناشی از شبکه برق مختل گردد. حتی تغییرات لحظه‌ای و گذرا در دبی سیال خنک کننده با توجه به خواص نوترونی قلب راکتور، منجر به تغییرات راکتیویته و قدرت راکتور می‌گردد. در این تحقیق به استفاده از سروو موتور سنکرون مغناطیس دائم و درایو کنترل سرعت در کاربرد پمپ مدار اول پرداخته شده و با شبیه‌سازی آن با نرم‌افزار *MATLAB*، کاهش تاثیر اختلالات شبکه بر روی آن مشاهده گردیده است.

کلمات کلیدی: سروو موتور - کیفیت توان - پمپ مدار اول - نیروگاه اتمی بوشهر

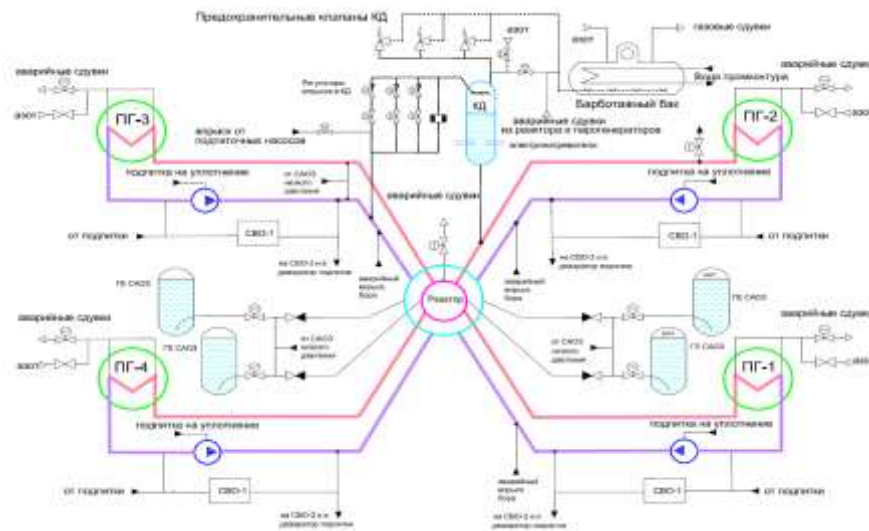
مقدمه:

راکتور بوشهر نوعی راکتور حرارتی محسوب می‌شود و از نوع PWR (راکتور آب تحت فشار) است. راکتورهای PWR از جمله رایجترین راکتورهای هسته‌ای هستند که از آب معمولی هم به عنوان کندکننده نوترونها و هم به عنوان خنک‌کننده استفاده می‌کند. در یک راکتور PWR، مدار اولیه، از آب تحت فشار استفاده می‌کند و پس از عبور آب مدار اولیه از محفظه تحت فشار، این آب به دمای بالایی می‌رسد اما تحت فشار به جوش نمی‌آید. این آب داغ و تحت فشار با پمپ شدن به سمت یک مبدل حرارتی، گرما را به مدار دوم که یک نوع چرخه بخار است و از آب تغذیه معمولی استفاده می‌کند، منتقل می‌سازد. محرک پمپها الکتروموتورهایی از نوع آسنکرون می‌باشند. موتورهایی سنکرون سروو به طور وسیعی در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه موتورهایی سنکرون مغناطیس دائم دارای ساختمانی ساده و بازده زیاد هستند و برای کاربردهای صنعتی عملکرد قابل اعتماد و چگالی توان بالا دارند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. لزوم پایداری دبی سیال باعث گردید تا در اینجا مبحث کیفیت انرژی الکتریکی یا کیفیت توان به عنوان عاملی برای برهم زدن ثبات دبی سیال مورد بررسی قرار گیرد. کیفیت توان یکی از موضوعاتی است که در سالیان اخیر بطور جدی مورد توجه بهره برداران و مصرف کنندگان شبکه‌های الکتریکی قرار گرفته است. پیشرفت تکنولوژی موجب شده است انواع بارهای غیر خطی با ماهیت شکل موجهای غیر سینوسی در شبکه پراکنده

شوند. استفاده روزافزون از تجهیزات الکترونیکی غیرخطی موجب افزایش مولفه‌های هارمونیکی و ایجاد آثار سوء برکیفیت توان شده است.

پمپ مدار اول RCP-1391

پمپ مدار اول برای گردش سیال از میان قلب راکتور و خنک سازی مدار اول در رژیم های عادی، اختلال و حوادث مطابق با طرح برای نیروگاه طراحی شده است. نحوه چرخش این پمپ دو سرعتی می باشد. شکل ۱ مدار اول نیروگاه اتمی بوشهر را نشان می دهد (بایگانی نیروگاه).



شکل شماره (1): مدار اول نیروگاه اتمی بوشهر

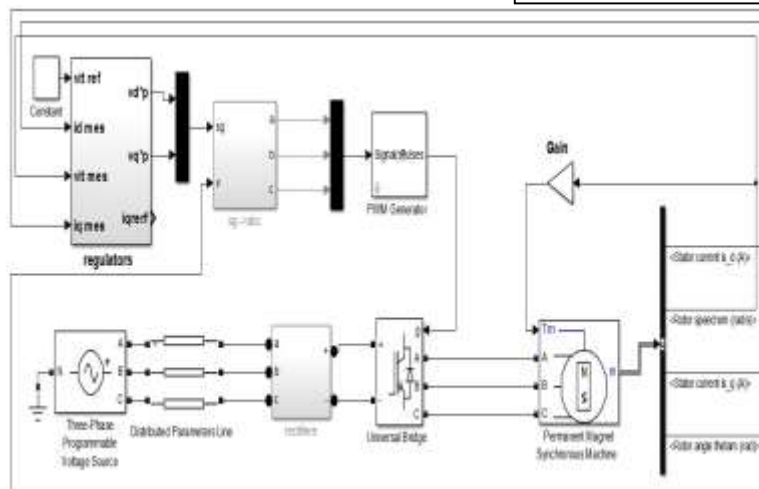
افزایش دبی سیال خنک کننده، منجر به کاهش دمای سیال در قلب راکتور می شود و از نتایج آن به افزایش سریع راکتیویته مثبت اعمالی، افزایش در پیک توان محلی با آزادسازی انرژی محلی بالا در مجتمع سوخت به همراه افزایش فشار اولیه در سیستم خنک کننده می توان اشاره نمود که می تواند باعث ذوب قلب، صدمه به غلاف میله های سوخت و آسیب به قسمتهای اصلی شود. پس در این حادثه افزایش سریع توان منجر به افزایش دمای سوخت می گردد، بنابراین برداشت گرما کاهش یافته و احتمال بروز نقص و خرابی در سوخت که انتشار محصولات شکافت جامد و گازی رادیواکتیو را در پی دارد، افزایش می یابد. بدین ترتیب لزوم نیاز به پمپ با تامین دبی ثابت برای جلوگیری از هر گونه سانحه در راکتور دیده می شود.

مدل پیشنهادی



سروو موتور نوعی از موتورهای الکتریکی است که با هدف بکارگیری در سیستم‌های کنترل دقیق طراحی می‌شود. موتور سروو دارای اینرسی کم بهمراه گشتاور بالا به نسبت حجم می‌باشد و در نتیجه تغییر سرعت در این موتورها بسیار سریع است [1]. سروو موتورها در صنعت کاربردهای منحصر به فردی دارند. یکی از مشکلات این موتورها وجود گشتاور دندانانه است که از برهمکنش بین آهنرباهای روتور و دندانانه‌های استاتور به وجود می‌آید. این موضوع مورد توجه محققین قرار گرفته است و روش‌های مختلفی جهت کاهش آن ارائه گردیده است [2]. مدل پیشنهادی در این تحقیق سروو موتور مغناطیس دائم نوع چرخشی می‌باشد که استاتور آن یک موتور القایی سه‌فاز کلاسیک و روتوری با آهنربای دائمی است. مهمترین ویژگی PMSM راندمان بالای آن است و جریان روتور در آن وجود ندارد. موتور PMSM سه‌فاز روتور استوانه‌ای با استفاده از شیوه پارک [3]. مدل شده است. در این مدل جهت کنترل به جریانهای ماشین در حوزه مرجع d - q نیاز می‌باشد [3]. این جریانها به رگولاتور رفته و توسط کنترل‌کننده‌هایی سعی می‌شود تا آنها به مقادیر مرجعشان (مقادیر مطلوب) تنظیم شوند. سیستم مربوطه با استفاده از سیمولینک MATLAB شبیه‌سازی گردیده است. تجهیزات مورد استفاده برای اجرای سیستم کنترل سروو موتور سنکرون مغناطیس دائم بهمراه مدل شبیه‌سازی مربوطه در شکل شماره ۲ آمده است. در ادامه عملکرد مدل پیشنهادی و مدل موجود با ارائه سناریوهایی مقایسه شده است.

^۱PMSM (permanent magnet synchronous motor)



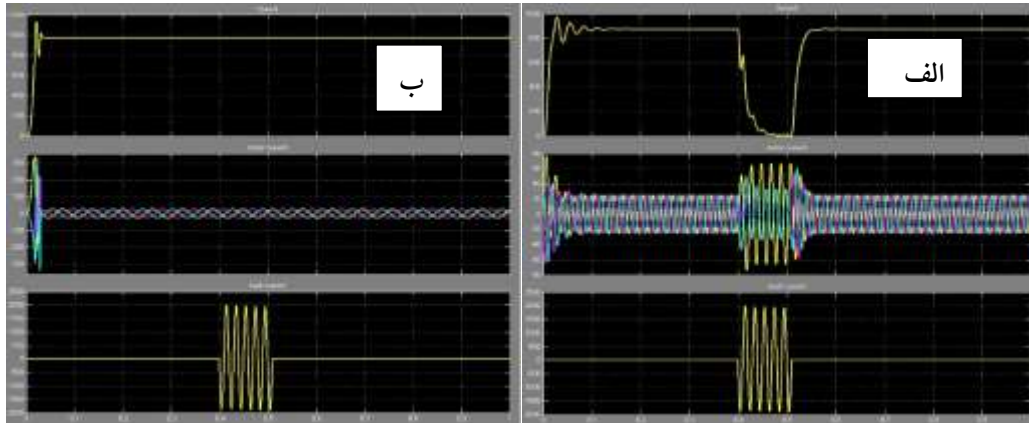
شکل شماره (۲): مدل کنترل سروو موتور و تجهیزات مرتبط

اغتشاشات کیفیت توان :

به دلایل مختلفی ممکن است نوسانها و اعوجاجاتی در ولتاژ تغذیه مصرف کننده های مختلف صنعت برق بوجود آید که می تواند منجر به خساراتی نیز شود. اغتشاشات کیفیت توان شامل سیگنالهای ولتاژ ضربه ای گذرا، قطعی، بیش بود ولتاژ، کمبود ولتاژ، نوسانی گذرا، هارمونیک، فلیکروولتاژ (سوسوزدن ولتاژ) می باشد [4]. در این تحقیق، عملکرد الکتروموتور پمپ مدار اول موجود و مدل سروو موتور پیشنهاد شده، بر اثر اعمال برخی اغتشاشات به شبکه برق نیروگاه، مورد بررسی قرار گرفته است.

در سناریوی اول فرض شده است در $t=0.4s$ یک اتصالی بین فاز دوم و سوم شبکه در فاصله ۱۰۰۰ متری از پمپ مدار اول با مقاومت محل اتصالی ۰,۰۰۱ اهم و به مدت زمان ۰,۱ ثانیه رخ دهد. این رویداد در شبکه های برق اجتناب ناپذیر و می تواند توسط یک جسم خارجی و یا ضعف مقاومت عایقی تجهیزات واقع شود [5]. شکل ۳ سرعت، جریان موتور

و جریان محل اتصالی را برای الکتروموتور آسنکرون موجود و پیشنهادی نشان می‌دهد. دیده می‌شود به ازای اتصالی فوق، پمپ مدار اول با الکتروموتور آسنکرون توفقی کامل دارد و متعاقباً دبی سیال نیز کاهش شدیدی خواهد داشت اما سروو موتور به ازای این خطا، هیچگونه تغییر سرعتی نداشته و سیال مدار اول با دبی ثابت، حرکت می‌کند.



شکل شماره (۳): اتصالی بین فاز دوم و سوم الف-موتور پمپ آسنکرون ب- سروو موتور پیشنهادی

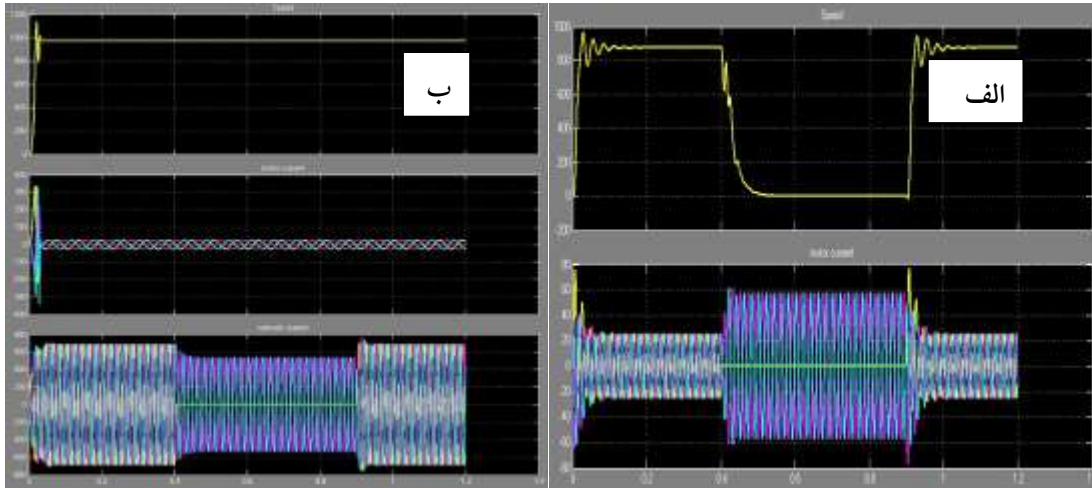
هر روزه گزارشات متعددی از خسارات ناشی از قطعی برق، خرابی تجهیزات، سوختن تابلوها، کلید فیوزها، کابلها و دیگر تجهیزات در شبکه‌های توزیع ناشی از اتصال سست^۲ و یا خوردگی اتصالات^۳ در شبکه‌های برق و بروز اتصالی شبکه انتشار می‌یابد [6]. لذا در سناریوی دیگری، قطعی فاز اول به مدت زمان ۰,۵ ثانیه شبیه‌سازی شده است. شکل ۴ سرعت و جریان موتور را برای دو مدل نشان می‌دهد. دیده می‌شود به ازای رخداد فوق، پمپ مدار اول با الکتروموتور آسنکرون مشابه قبل، توفقی کامل دارد و متعاقباً دبی سیال نیز کاهش شدیدی خواهد داشت اما سروو موتور به ازای این خطا نیز هیچگونه تغییر سرعتی ندارد.

در سناریوی سوم، اعمال اعوجاج ناشی از اتصال تعداد زیادی لامپ LED به شبکه برق نیروگاه و اثر آن بر کارکرد الکتروپمپ مدار اول در دو مدل مقایسه شده است. از آنجایی که این لامپها جزو تجهیزات الکترونیکی غیرخطی بوده و باعث ایجاد آثار سوء بر کیفیت توان می‌شوند، شبیه‌سازی این رویداد مدنظر قرار گرفته است. لامپ LED با استفاده از [7] مدل شده است. در این تست، فرض شده است همزمان تعداد ۲۴۰ عدد لامپ LED در محوطه نیروگاه روشن می‌شود.

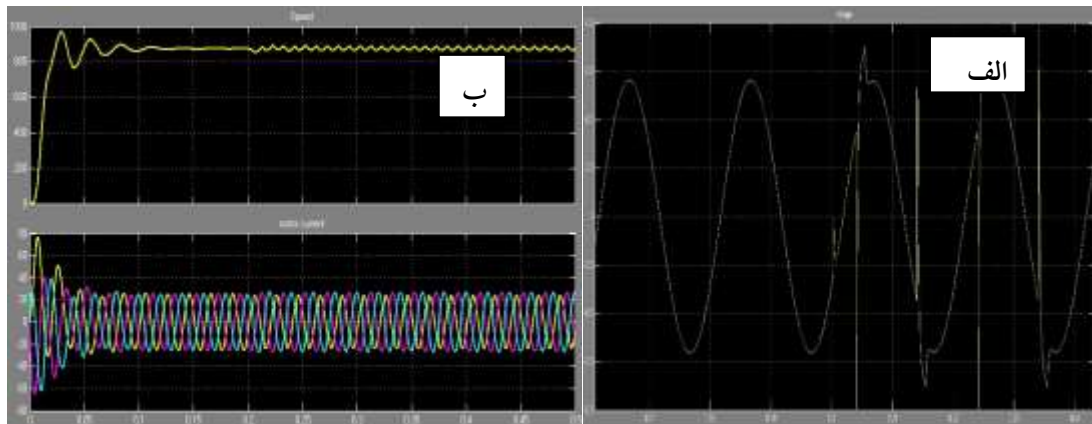
^۱Loose connection

^۲Corroded connection

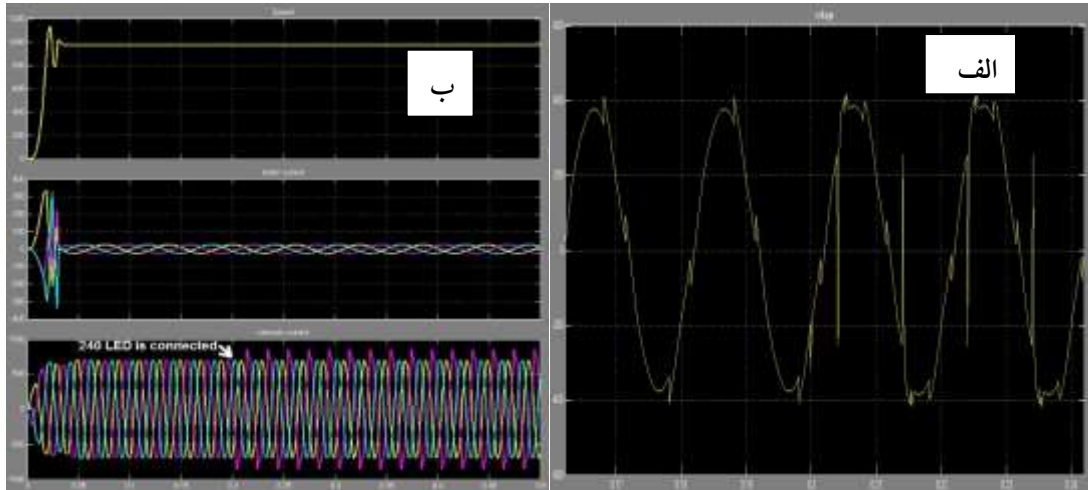
وصل لامپهای LED در $t=0.2s$ باعث ایجاد هارمونیک در ولتاژ سیستم و بروز نوسان در عملکرد پمپ مدار اول آسنکرون می‌شود که در شکل ۵ قابل مشاهده است. اینگونه ارتعاشات می‌تواند باعث ایجاد خرابی یاتاقان و عیب در موتورها گردد. این عیوب مکانیکی اگر به موقع تشخیص داده نشود می‌تواند به از کارافتادگی



شکل شماره (۴): قطعی فاز اول به مدت ۰,۵ ثانیه الف-موتور پمپ آسنکرون (از بالا سرعت-جریان موتور) ب- سروو موتور پیشنهادی (از بالا سرعت-جریان موتور و جریان شبکه)



شکل شماره (۵): وصل ناگهانی ۲۴۰ عدد LED به شبکه الف-اغتشاش ناشی از اتصال بر روی ولتاژ ب- سرعت و جریان موتور پمپ آسنکرون



شکل شماره (۶): اتصال LED الف- اغتشاش بر روی ولتاژ ب- سرعت و جریان موتور و جریان شبکه

کلی منجر شود. شکل ۶ نشان می‌دهد علیرغم وجود هارمونیک بر روی ولتاژ سیستم، سروو موتور پیشنهادی به خوبی کنترل شده و هیچگونه نوسانی در حرکت موتور رخ نمی‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری :

در این تحقیق برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار MATLAB بمنظور محاسبات معادلات دیفرانسیلی مدل الکتروپمپ مدار اول نیروگاه اتمی بوشهر استفاده شده‌است. از آنجایی که تغییرات لحظه‌ای و گذرا در دبی سیال خنک‌کننده مدار اول با توجه به خواص نوترونی قلب راکتور، منجر به تغییرات راکتیویته و قدرت راکتور می‌گردد، در راستای تثبیت دبی سیال، الکتروپمپ سروو برای این کاربرد پیشنهاد گردید که دارای ساختمانی ساده و بازده زیاد هستند. الکتروپمپ موجود از نوع آسنکرون بوده که قادر به تثبیت دبی سیال در زمان وقوع حوادث برق نمی‌باشد. این موضوع طی چندین سناریو از قبیل اتصالی برق، قطعی برق و روشن شدن تعداد زیاد لامپ LED آزمایش و نشان داده شد که سروو موتور پیشنهادی عملکرد مطلوب‌تری در جهت پایداری دبی سیال نسبت به موتور آسنکرون موجود دارد. موتورپمپ آسنکرون در مقابل این حوادث تحت ارتعاشاتی قرار می‌گرفت که علاوه بر تغییر دبی سیال، می‌تواند به اجزاء مکانیکی موتور نیز آسیب وارد کند. با توجه به دقت بالا، استفاده از این روش در مراکز صنعتی و مکان‌های دارای بار حساس از جمله نیروگاه اتمی توصیه می‌شود.

مراجع :

[1]- X. Jiang, J. Huang, W. Li, and Y. Li, "Preparation Analysis of the Overall Characteristics for High Power PMSM With Multi Phase Units," IEEE Trans. APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, vol. 26, no. 7, Oct. 2016.



- [2]- طراحی جامع و ساخت موتور سنکرون آهنربای دائم با هدف دستیابی به کمترین گشتاور دندانه- محمدحریری، علی ؛ دامکی علی‌آباد، علی اکبر- مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران - جلد ۱۵ شماره ۱ - ۱۳۹۷
- [3]- M.A.Shamsi nejad'' Architectures d'Alimentation et de Commande d'Actionneurs Tolérants aux Défauts - Régulateur de Courant Non Linéaire à Large Bande Passante''june2007
- [4]-IEEE recommended practice for monitoring electric power quality, IEEE std. 1159-2009, 2009.
- [5]-ارایه روشی جدید برای محاسبه محل وقوع خطاهای گذرا در خطوط انتقال دو مداره - غفار زاده، نوید ؛ جمالی، صادق - چهارمین کنفرانس حفاظت و کنترل سیستمهای قدرت- دانشگاه تهران - ۱۳۸۸
- [6] - بررسی پدیده جریان هجومی چوک قدرت کوره‌بوته‌ای ناشی از اتصال سست و یا خوردگی اتصال- قوامی، سیدمحسن ؛ پورطاهری، سیداسحاق ؛ رشیدی نژادطغرالجردی، هادی - سی و سومین کنفرانس بین المللی برق ایران-تهران-۱۳۹۷
- [7]-Sohel UDDIN1; Hussain SHAREEF1, Olav KRAUSE2, Azah MOHAMED, " Impact of large-scale installation of LED lamps in a distribution system" Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences- Turk J Elec Eng & Comp Sci(2015) 23: 1769- 1780