مکانیزم حرکتی میله های کنترل در راکتورهای هسته ای توسط موتور خطی جریان مستقیم

۱. مهدی هاشمی تیلنوئی* , دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی هسته ای دانشگاه شیراز

۲. دکتر محمدرضا نعمت الهی , استادیار بخش مهندسی هسته ای دانشگاه شیراز

چکیده :

در این تحقیق مکانیزم جدیدی جهت حرکت میله های کنترل در راکتور بواسطه مقایسه های تجربی و عملی پیشنهاد شده است . اساس تحقیقات بر پایه مقایسه بین چندین موتور جریان مستقیم البته با گشتاور خطی بنا نهاده شده است. با نگاهی اجمالی به اساس موتورهای جریان مستقیم و موتورهایی از این نوع با گشتاور خروجی خطی موتوری متناسب با نیاز راکتورهای هسته ای جهت حرکت میله های کنترلی جهت کنترل راکتیویته در راکتور پیشنهاد می شود.

موتور مورد نظر بایستی در مقام مقایسه با توجه به مکانیزمهای موجود و امروزی مواردی از قبیل ایمنی , جابجایی و عملکرد سریع البته با دقت بالا و در زمان حادثه کوتاهترین زمان ,ا برای خاموشی راکتور را دارا باشد. در نهایت توسط نرم افزار شبیه ساز مطلب بلوک دیاگرام کنترلی جهت محاسبه زمان پاسخگویی طراحی شده وزمان عملکرد با مکانیزمهای امروزی که بر پایه گشتاوری چرخشی بنا نهاده شده است مقایسه و نتیجه گیری خواهد شد.

مقدمه : می دانیم اکثر موتورهای الکتریکی توسط قانون الکترومغناطیس بنیان نهاده شده اند, اما موتورهایی با ماهیت الکترومکانیکی دیگری به مانند نیروهای الکتروستاتیک و موتور با خواص پیزوالکتریک نیز وجود دارند. اساس موتورهای الکترومغناطیسی بر سیم حامل جریان در یک میدان مغناطیسی بنا نهاد شده است .عمده این موتورها دارای گشتاور چرخشی هستند اما موتور با گشتاور خطی نیز وجود دارد (گشتاور خطی بدین معناست که نیروی خروجی به بار در امتداد خط راست است و چرخشی نخواهد داشت). در یک موتور به بخش متحرک , رتور و به بخش ثابت استاتور می گویند. رتور و استاتور دارای سیم بندی مخصوص به خود بوده (در ابعاد بزرگ شین بندی) و برایند نیروها طوریست که به حرکت رتور منجر خواهد شد.تمرکز بحث در این تحقیق بر موتورهای جریان مستقیم است و موتورهای جریان متناوب در محدوده بحث نخواهند بود. دریک موتورکلاسیک جریان مستقیم قسمت متحرک یا رتور که آرمیچر نیز نامیده می شود به فرم آهنربایی مغناطیسیت و در اطراف آن سیم پیچی استاتور قرار دارد , در این موتور بخشی به نام کموتاتور و دسته های جاروبک جریانی یکسو شده را از جریان متناوب تغذیه, تحویل موتور داده و اصطلاحا موتور با جریان مستقیم کار می کند (در ادامه شکلهای مربوط آورده شده است). موتورهای جریان مستقیم در انواع زیر موجودند:

---

mehdi_hashemi@walla.com
Shiraz university fax: 07116287500

Wound field DC motor: در این موتور آهنربایی دائمی در قسمت بیرونی یا استاتور قرار دارد. با تغییر جریان تغذیه برای ایجاد میدان مغناطیسی تغییرات در سرعت و گشتاور خواهیم داشت.

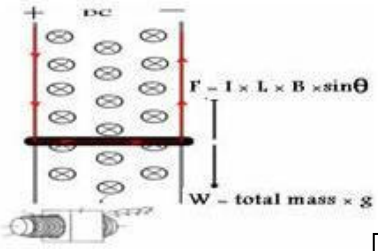
Universal motors : موتورهای یونیورسال در ادامه موتورهای فوق طراحی شده اند و نام یونیورسال با توجه به کارکرد آنها با هر دو جریان متناوب و مستقیم انتخاب شده است گرچه عملا جریان متناوب معمول است. گشتاور راه اندازی بالا و عمر کوتاه کموتاتور از مشخصه این موتورهاست.

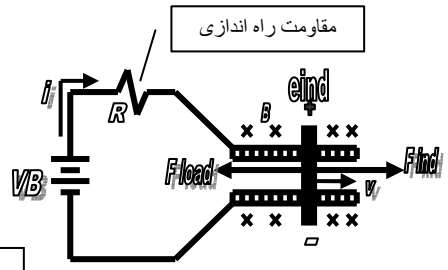
Stepper motors: این موتورها در طراحی شباهت زیادی به موتور سه فاز سنکرون جریان متناوب دارند. رتور داخلی آهنربایی دائمی بوده یا از هسته ایی آهنی با سیم پیچی با سرهایی بیرون زده جهت سوئیچ کردن در شمارش سیم بندی مختلف تشکیل شده است و به طور پله ای با فرمانهای الکترونیکی قابلیت حرکت دارند.

Permanent magnet motor: در این موتور میدان مغناطیسی توسط آهنربایی دائمی ایجاد می شود.این موتورها از توان کمی برخوردار بوده (حدوداً ۵۰۰ وات). کاربرد این موتورها در اهداف پزشکی به مانند تجهیزات ماشینهای x-ray و صنایع خودروسازی به وفور است .

Brushless DC motors: همانطور که از نام پیداست این موتور بدون جاروبک بوده بنابراین نبود جاروبک مورد نیاز کموتاتور, مزایایی در بر خواهد داشت (کاهش اصطکاک, کاهش جرقه, کاهش خوردگی, افزایش سرعت و افزایش توان).در این موتورها سوئیچ چرخان الکتریکی یا سیستم commutator/brushgear جهت حرکت موتور استفاده می شود و توانی در حد ۸۰ درصد از این موتورها قابل بهره برداریست .در دسته بندی, این موتورها حالت میانی موتورهای جریان مستقیم معمولی و پله ای می باشند.

Linear DC Motors: این موتورها به مانند موتورهای مذکور به تولید نیروی مکانیکی از برهمکنش جریان الکتریکی در هادیهای رتور و میدان مغناطیسی ایجاد شده در استاتور می پردازد. استاتور و رتور محوری در این موتورها با توجه به جابه جایی مورد نیاز طراحی می شوند .استاتور به عنوان بدنه نیز به کار می رود.استاتور از ورقه های استیل و سیم پیچی شده بنا می شود .رتور از یک یا چند بخش آهنربایی به همراه بخش کموتاسیون و سطحی غلتان تشکیل می شود . با توجه به عوامل مختلف می توان رتور را توسط سیم بندی نیز مغناطیس نموده و موتور را راه اندازی نمود.





شکل ۱

موتور نشان داده شده در شکل ۱ به صورت ... می کند:(توسط ۴ فرمول)

۱. معادله نیروی وارد شده به اهرم با توجه به میدان مغناطیسی :

$F = I\,(L \times B)$, F: نیروی وارده, I: جریان اهرم, L: طول اهرم, B: بردار شار مغناطیسی

۲. ولتاژ القایی در اهرم : $e_{ind} = (v \times B)\,.L$ v: سرعت اهرم

۳. قانون ولتاژ کیرشهف : $VB - I_R - e_{ind} = 0$

۴.قانون نیوتن: $F = m\,.a$

موتور جریان مستقیم خطی قابلیت کارکرد هم به صورت موتور و هم ژنراتور را داراست.برای مثال به صورت موتور: به فرض F_{load} (W) در جهت مخالف حرکت اهرم وارد شود, اگر اهرم در حالت بی باری و پایدار حرکتی بوده باشد نیروی وارده باعث کاهش سرعت خواهد شد($F_{net} = F_{load} - F_{ind}$) به طور خلاصه $a = F_{net} / m$ منفیست و ولتاژ القایی کاهش خواهد یافت و جریان افزایش می یابد.نیروی القایی نیز تا جایی افزایش می یابد که $F_{ind} = F_{load}$ با این روال قدرت الکتریکی $e_{ind} \times i$ تبدیل به قدرت مکانیکی $Find \times v$ می شود و ماشین به مانند موتور کار می کند.

روش کار : در این تحقیق F_{load} = مجموع وزن سیستم شامل تجهیزات میله های کنترل, میله جاذب, سیستم فنربندی و تعلیق در نظر گرفته می شود.(البته دقت شود که حرکت میله های کنترل در راکتور حرکتی در راستای عمود خواهد بود) . برای نگهداری و عملیات بیرون کشیدن (withdrawn) باید جریان تغذیه در هر موقعیت مطلوب نسبت به موقعیت قبلی تغییر یابد(افزایش یابد) . و در لحظه حادثه مطلوبست که پایانه های تغذیه رتور به صورت مخالف تغذیه شوند تا شتابی علاوه بر وزن سیستم کنترل جهت ورود سیستم به قلب راکتور جهت خاموشی راکتور اعمال شود. با توجه به توضیحات ارائه شده سه مدل برای حرکت میله های کنترل پیشنهاد می شود . تکنولوژی مورد استفاده امروزی, استفاده از سروو موتور و یا موتورهای پله ای با تمهیدات مکانیکی جهت تبدیل گشتاور چرخشی این موتورها به گشتاور خطیست و در نهایت از آهنربای مغناطیس شده توسط جریان الکتریکی بطوریکه با قطع جریان قابلیت جذب آن از بین می رود به منظور اتصال قسمت متحرک میله کنترل به قسمت جاذب (جاذب نوترون جهت کنترل راکتیویته در قلب قرار می گیرد) استفاده می شود .(در لحظه scram آهنربا بدون جریان شده و میله های جاذب از قسمت محرکه جدا شده و به داخل قلب خواهند افتاد). می دانیم از وظایف و شرایط طراحی میله های

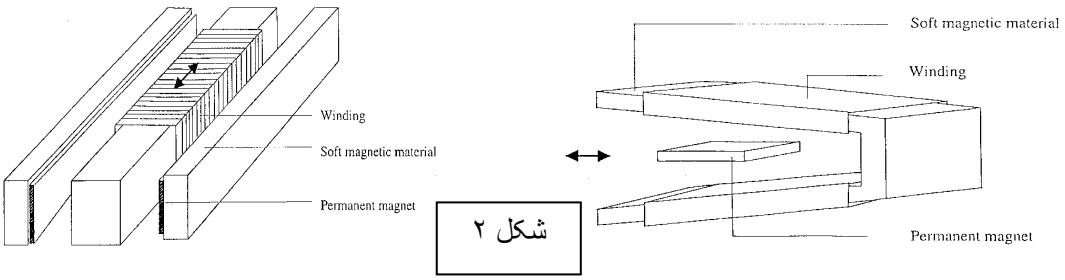
کنترلی و مکانیزم محرک آن موارد زیر است: افزایش ایمنی راکتور - کنترل توان – پاسخگویی با دقت بالا به قسمت کنترلی و سیگنالهای کنترلیست(RCIS)- فراهم نمودن زمینه خاموش سازی قلب با ورود گروهی میله ها در لحظه حادثه – قابلیت کارکرد درست در تغییرات گذرا بدون افتادن میله ها (ATWS) .

حال به این موضوع می پردازیم که علت پیشنهاد این موتور به جای تکنولوژی امروزی چیست؟

الف) ضروریست میله های کنترلی یا (Regulating Rods) بتوانند به آهستگی به خارج و داخل قلب قابل حرکت باشند.در لحظه حادثه میله هایی که با فاصله هوایی حدود ۳ میلی متر درون تیوپ پر فشار قرار دارند و با توجه به تمهیداتی از قبیل روغنکاری و ساچمه گذاری باز هم به افزایش گرادیانی دما و کاهش زمان عملکرد منجر خواهد شد. **ب**)در عملیات نگهداری و تعمیرات , لازم است تا درپوش بالای راکتور برداشته شود بطوریکه سیستم کنترلی نیز خارج خواهد شد (راکتور مورد بحث PWR است , راکتور Candu و BWR در این مبحث نمی گنجد چراکه اولی تعویض online داشته و در راکتورهای جوشان نیز سیستم کنترلی زیر قلب قرار می گیرد) بنابراین ساختمان کنترلی مجزا , سیستم کوپلینگ متناسب و سیستم محرک ساده راه حل مشکل خواهد بود. **ج**) همانطور که ذکر شد در راکتورهای امروزی میله های جاذب بواسطه آهنربای قابل کنترلی به سیستم کنترلی متصل می باشند و در لحظه حادثه یکی از عواملی که زمان سقوط را با تاخیر خواهد انداخت تلفات هیسترزیس در یوغ آهنربای مذکور است بطوریکه بعد از قطع جریان از دو سر آهنربا هنوز خاصیت مغناطیسی وجود خواهد داشت.(در این تحقیق به قسمت کوپل کننده مغناطیسی نیازی نیست).

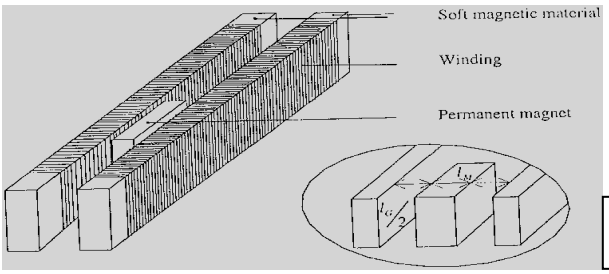
دو موتور انتخابی و سه طرح مطلوب پیشنهادی به روال زیر است :

۱.موتور جریان مستقیم بدون جاروبک:تاکید بر مصرف کم توان , راندمان بالا, هزینه پایین, نویز پایین و حجم کوچک است.استفاده از استاتور خطی بدون شیار به همراه رتور با آهنربای دائمی NdFeB و SmCo مد نظر است.طراحی نمونه اولیه به روال زیر خواهد بود . الف)طراحی آرمیچر بسته: طراحی بر پایه مسیری بسته جهت ایجاد شار مغناطیسی هدایت شده در هسته استاتور به همراه رتور یا اهرم متحرک وسطی از نوع آهنربایی یا نوع سیم حامل جریان بنا نهاده می شود.در شکلهای زیر قانون حرکتی ذکر شده در مورد موتور جریان مستقیم صادق است . در شکل سمت راست قطعه متحرک با تغییرات در $\sin\theta$ قابل حرکت خواهد بود.



شکل ۲

ب)طراحی آرمیچر باز: ایده اصلی این طراحی بر پایه افزایش مقاومت مدار مغناطیسی در مسیر شارش مغناطیسیت. ج)آرمیچر با سوئچینگ مرحله ای سیم پیچها : بسته به موقعیت اهرم می توان اینکار را برنامه ریزی نمود.

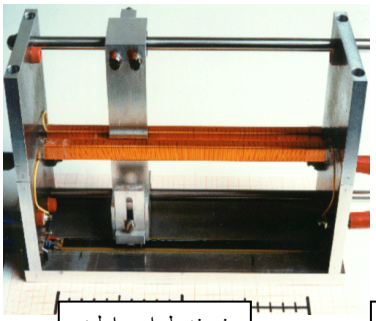


شکل ۳

د)تکنیک جبران سازی شار آرمیچر با توجه به تکنیکهای فوق اهرم می دو جهت قابل حرکت باشد.

طرحی از نمونه اولیه:

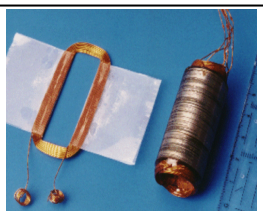
شکل ۴

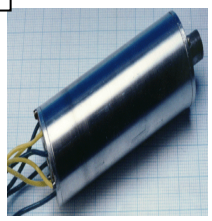


نمونه طراحی اولیه

نمای نزدیک از رتور و استاتور

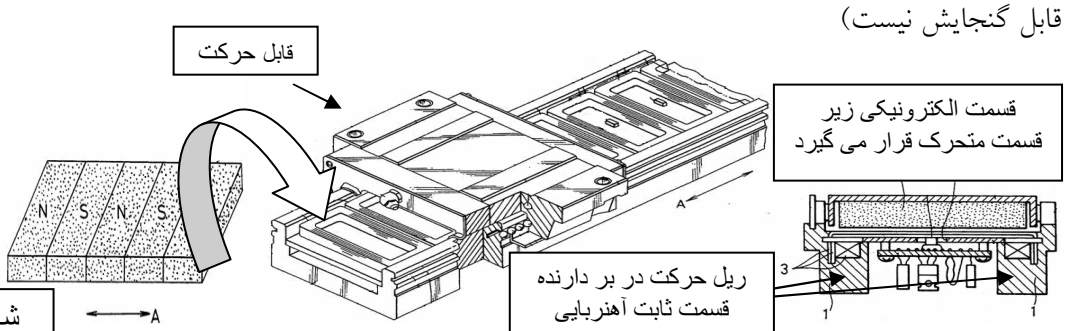
استاتورموتور بدون جاروبک





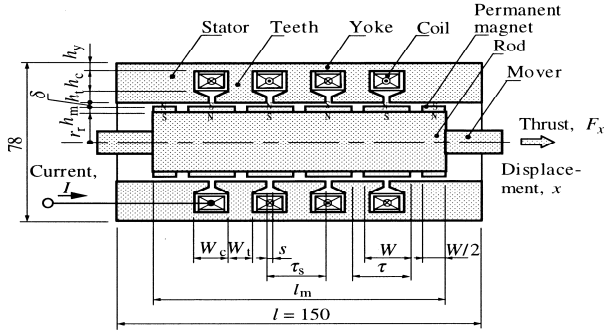
استاتور بدون کنترل الکترونیکی

۲.دومین طرح پیشنهادی به قرار زیر است: موتور زیر از یک قسمت اصلی متشکل از سیم بندی آرمیچر و بخش ثانویه متشکل از آهنرباها با قطبین متفاوت و پی در پی تشکیل می شود(جزییات در بحث این مقاله قابل گنجایش نیست)



شکل ۵

۳. سومین طراحی که هم اکنون در بعضی از موارد صنعتی در حال استفاده می باشد, دارای سرعت کارکردی بسیار بالاست ثابت زمانی برای موتوری تست شده برای الکتریکی ۱۰,۵ میکروثانیه و برای مکانیکی ۱,۶ میروثانیه می باشد. جزئیات بیشتر در منابع آمده است.

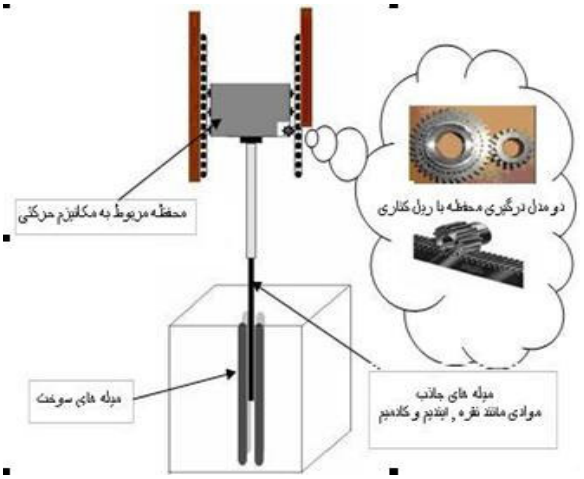


از مزایای این مدل این است که می توان قسمت متحرک را نیز به صورت سیم بندی در آورد بطوریکه استاتور و رتور با توجه به طول مورد نیاز

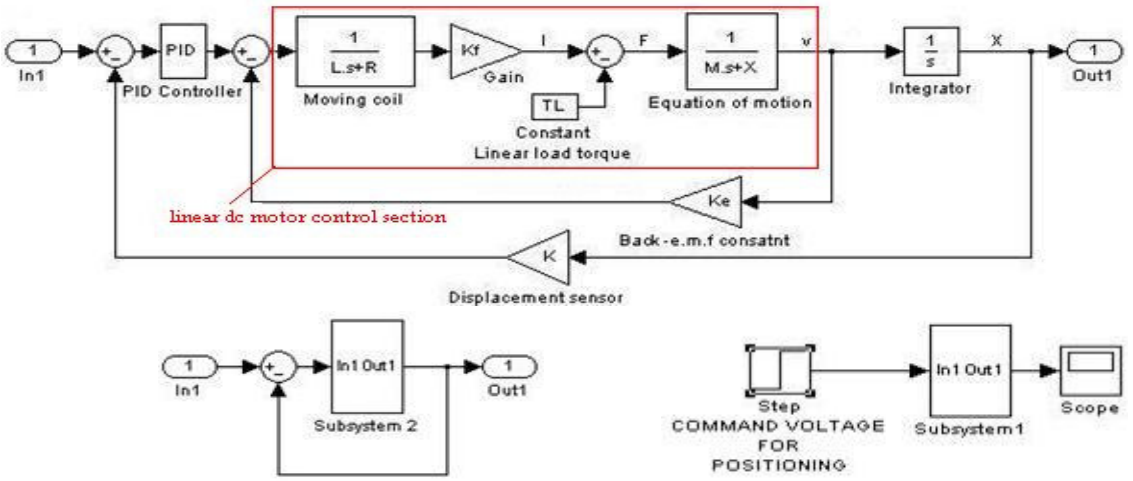
قابل طراحی می باشند و از فرمول :

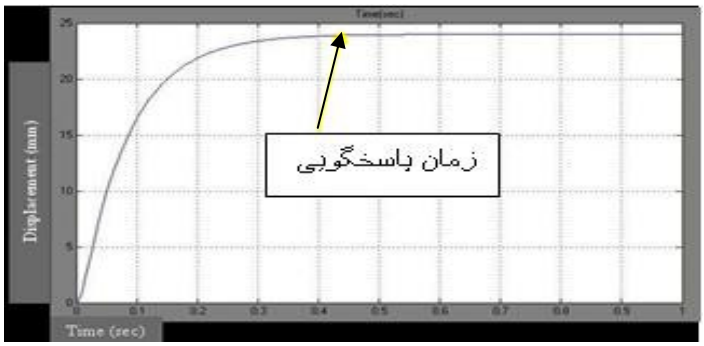
(NP +1/2)× Pole pitch, where NP equals a number of poles underneath the armature

می توان طول مورد نیاز را طراحی نمود.



طرح پیشنهادی ادغامی برای طراحی در مکانیزم حرکت به صورت زیر خواهد بود بطوریکه از جزییات صرفنظر نموده ام .توسط نرم افزار Matlab بلوک دیاگرام کنترل برای مدل مورد نظر برای موتور فرضی طراحی شده, مقادیر اندوکتانسی, مقاومتی و راکتانسی مفروض در محاسبات اعمال شده و زمان عملکرد سیستم با توجه به جابه جایی مورد نظر و ولتاژ اعمالی بدست آمده است. زمان پاسخگویی موتور مورد نظر با مفروضات ۰,۴۸ ثانیه بدست می آید.و طراحی از لحاظ سرعت عملکرد کاملا مطلوب است.





References:
[1] A.g.Chapman, electrical machines, 1982.
[2] PC.Sen electrical machines, 1997 edition.
[3] Functional design of reactivity control system, preliminary safety analysis reports no 04-06.
[4] Us patents numbers: 5998326, 5085823.
[5] Mizumo Yamada, Consideration on mechanical & electrical time constant in LDM, 2000.
[6] M.M, el Wakil, Nuclear energy conversion, 1972.