

موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی شش فاز جهت نیرو محرکه ی آسانسور

سعید دارابی^۱ و یوسف علی نژاد برمی^{۲*}

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی، کنترلر سرعت، تابع توزیع نیرو.</p>	<p>در این مقاله موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی شش فاز به عنوان یک جایگزین برای کاربردهای حمل و نقل عمودی مانند یک آسانسور خطی بررسی می گردد. ریپل نیرو محرکه موتورهای سوئیچ رلوکتانسی خطی زیاد بوده و استفاده از این موتورها در سرعتهای پایین، ریپل زیاد سرعت را به دنبال دارد. در واقع ساختار پیشنهادی شامل ترکیب سری شده ی دو موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی سه فاز به گونه ای است که یک ساختار شش فاز با مشخصه ی گشتاور بهتر را تشکیل می دهد. در این مقاله تلاش می شود تا با استفاده از ساختاری شش فاز برای موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی به پروفایل قابل قبولی در سرعتهای پایین 0.5m/s تا 1m/s که معمولا در آسانسورها به کار گرفته می شود دست یافت. نتایج شبیه سازی نیز برتری ساختار پیشنهادی برای سری کردن موتور های سوئیچ رلوکتانسی خطی در مقابل روش مرسوم را نشان می دهد. ساختار پیشنهادی ریپل سرعت را در سرعت 0.5 m/s و در بار کامل از 16.8 % به 1.24 % کاهش می یابد که بیانگر بهبود چشمگیر عملکرد با استفاده از ساختار شش فاز است.</p>

۱- مقدمه^۱

نیرو محرکه و کنترل دقیق موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی به کار گرفته شده است.

می توان موتور های سوئیچ رلوکتانسی خطی را به دو دسته تقسیم بندی کرد :

۱- موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی با شار طولی^۲

۲- ۲- موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی با شار

عرضی^۳ [۲-۴]

در این مقاله نوع مرسوم با شار عرضی به صورت شش فاز و دو طرفه جهت استفاده در سیستم محرکه ی آسانسور در نظر گرفته می شود. ماشین های با شار عرضی با جزئیات بیان شده اند [۵- ۱۰]. اگر چه طراحی موتورهای سوئیچ رلوکتانسی خطی به صورت یک

معمولا از موتورهای دوار به عنوان نیرو محرکه ی آسانسورها استفاده می گردد با اینحال تحقیقات جهت استفاده از موتورهای خطی بدین منظور به ۱۹۹۰ میلادی باز می گردد [۱] برای کاربرد های حمل و نقل عمودی نیاز به عملکرد مناسب سیستم پیشران در سرعت های پایین است. در [۲] یک ساختار جدید جهت به کارگیری در حمل نقل خطی عمودی پیشنهاد و پیاده سازی شده است. در این مقاله استراتژی کنترلی دقیقی شامل کنترلر های نیرو، جریان، سرعت و موقعیت برای کاهش ریپل

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: yalinejad@semnan.ac.ir

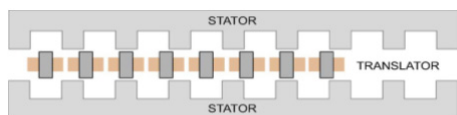
^۵Longitudinal flux

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه سمنان

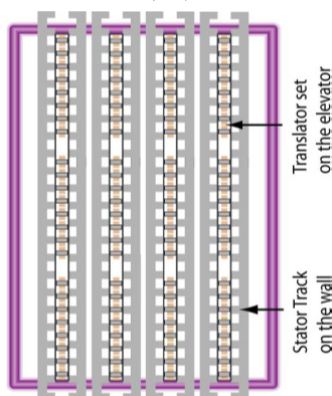
^۶Transverse flux

۲. استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه سمنان

مشابه است. البته مولفین جهت کاهش ریپل نیرو محرکه از تکنیک تابع توزیع نیرو مبتنی بر یک ماژول موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی استفاده کرده اند که نتایج مطلوبی نیز داشته است و در ادامه به صورت اختصار بیان خواهد شد.



(الف)



(ب)

شکل ۱- شماتیک موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی پیشنهادی در مرجع [۱] (الف) یک موتور مجزای ۸/۶ ب) ترکیب سری شده ی موتور های ۸/۶ پیشنهادی جهت به کار گیری در آسانسور

۲- دو تکنیک به کار گرفته شده جهت

کاهش ریپل نیروی موتور سوئیچ

رلوکتانسی خطی

در این قسمت دو تکنیک که توسط مراجع دیگر جهت کاهش ریپل نیروی موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی به کار گرفته می شود بیان می شود. تکنیک اول که مبتنی بر بهبود شیوه کنترلی موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی است و در [۱] پیشنهاد و پیاده سازی شده است. در [۱] یک شیوه ی کنترلی دقیق شامل کنترل های موقعیت، سرعت، نیرو و جریان مطابق شکل ۲ به کار گرفته شده است با توجه به اینکه کاربرد عمودی مانند آسانسور به شیوه ی

استاندارد بیان نشده است اما محاسبه اندوکتانس و نیروی این موتورها با استفاده از روش اجزاء محدود به طور وسیعی صورت می گیرد. بنابراین بایستی پارامترهای محاسبه شده با روش اجزاء محدود قابل اعتماد باشد. در شمار قابل توجهی از تحقیقات صورت گرفته در زمینه ی موتورهای سوئیچ رلوکتانسی دوار و خطی از روش اجزاء محدود دو بعدی استفاده شده است [۱۱-۱۸]، [۲]. موتور با شار عرضی دارای مسیرهای شار سه بعدی است در نتیجه روش اجزاء محدود سه بعدی برای محاسبه ی اندوکتانس این موتور در تمام موقعیتهای مناسب است [۱۹]. در این مقاله پارامترهای مورد نیاز موتور با استفاده از روش اجزاء محدود سه بعدی به دست آمده اند. موتورهای سوئیچ رلوکتانسی خطی قابلیت به کارگیری در سرعت های متفاوت را دارند، از اینرو ساختارهایی از این موتور جهت به کارگیری در سرعت پایین به منظور نیرو محرکه ی آسانسور و در سرعت های بالاتر به منظور نیرو محرکه ی وسایل حمل نقل پیشنهاد شده است [۲۱-۲۲]، [۱].

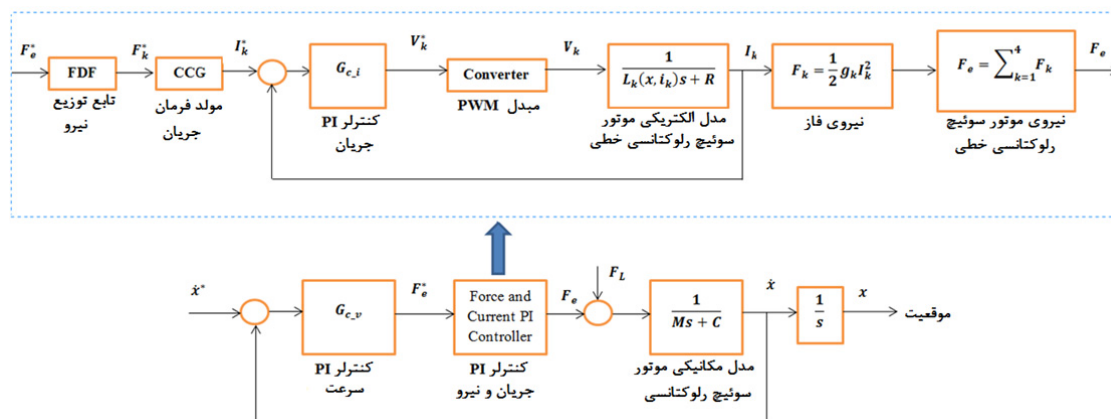
شماتیک موتور سوئیچ رلوکتانسی ۸/۶ چهار فاز پیشنهادی در مرجع [۱] در شکل ۱-الف نشان داده شده است. ساختار به صورت ۸/۶ می باشد یعنی قسمت ساکن موتور^۱ هشت قطب و قسمت محرک موتور^۲ شش قطب دارد. شکل ۱-ب ترکیب سری شده ی این موتور را نشان می دهد. در هر ردیف سه موتور به صورت مجزا سری شده اند و به صورت چهار ردیف با یکدیگر کوپل شده اند. موتور های خطی به صورت مجزا سری شده اند و ساختار در کل نیز به صورت چهار فاز است یعنی فازهای این موتورها با هم سنکرون هستند و در این ترکیب بدون در نظر گرفتن شیوه کنترلی جهت کاهش ریپل نیرو محرکه فقط حداکثر نیرو محرکه افزایش می یابد و سری شدن در راستای کاهش ریپل نیرو محرکه نیست. با توجه به این شکل موقعیت فیزیکی فازهای موتورهای سری شده با هم

¹ Stator

² Translator

مولتی ماژولار با تعداد عدد اول صورت می گیرد و سپس برای هر ساختار مولتی ماژولار بزرگترین عدد اول بخش پذیر در نظر گرفته می شود. این شیوه نیز نتایج مطلوبی در کاهش ریپل نیرو محرکه موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی دارد. تکنیک دوم متفاوت از تکنیک اول و مستقل از درایو موتور است. این تکنیک بر اساس ایجاد جابجایی فضایی در ساختارهایی که از چند موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی تشکیل شده است اعمال می شود. در حالیکه تکنیک اول برای یک موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی، بدون ایجاد جابجایی فضایی و مبتنی بر استفاده از تابع توزیع نیروی مناسب در شیوه ی کنترلی مطرح است.

کنترلی دقیقی نیاز دارد. انتخاب تابع توزیع نیروی مناسب تاثیر چشمگیری در ریپل نیروی موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی در این تکنیک دارد. مولفین با استفاده از تابع توزیع نیروی پیشنهادی بیان شده در [۱] توانسته اند نتیجه مطلوبی در کاهش ریپل نیرو محرکه بگیرند. این شیوه برای یک ماژول موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی مطرح است. تکنیک دوم در [۲۳] برای کاهش ریپل نیروی موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی مبتنی بر ساختار مولتی ماژولار موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی پیشنهاد شده است. این روش برای پیاده سازی به عمل کنترلی خاصی نیاز ندارد. در این روش مینیمم سازی ریپل نیرو برای ساختارهای



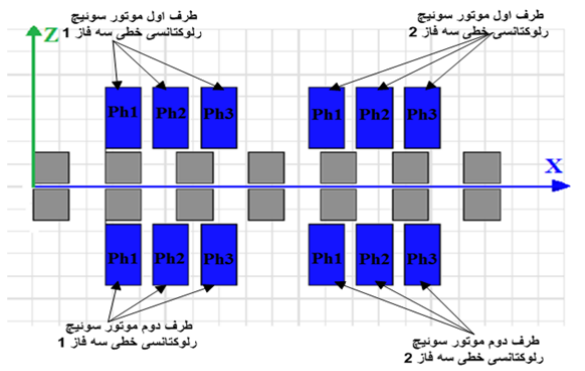
شکل ۲- شیوه کنترلی استفاده شده در [1] جهت کاهش ریپل نیرو محرکه موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی به منظور کاربرد نیرو محرکه عمودی

فاز هریک از این دو موتور سه فاز ثلث کل مدت زمان کلید زنی است. این ساختار شش فاز کاهش ریپل نیرو محرکه، افزایش نیرو محرکه ی متوسط نسبت به هر کدام از موتورهای سه فاز را به دنبال دارد که این باعث عملکرد مناسب موتور تحت یک کنترلر سرعت در سرعت های پایین می گردد.

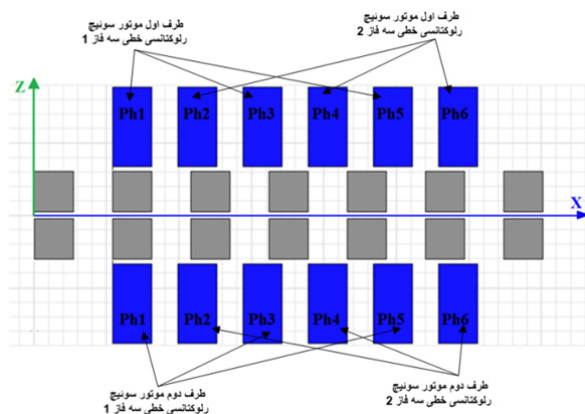
یک فاز موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی دوطرفه با شار عرضی در شکل ۳ نشان داده شده است. قسمت در بردارنده ی سیم پیچی (اولیه) بخش متحرک و قسمت های بدون سیم پیچی (ثانویه) بخش ساکن موتور را تشکیل

۳- ساختار موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی شش فاز پیشنهادی

در این مقاله تلاش می شود تا با استفاده از یک ساختار شش فاز برای موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی به پروفایل قابل قبولی در سرعت های پایین ۰/۵ متر بر ثانیه تا ۱ متر بر ثانیه که معمولا در آسانسورها به کار گرفته می شود دست یافت. این موتور شش فاز شامل دو موتور سه فاز است که در کل یک موتور شش فاز با اختلاف دو فاز مجاور ۶۰ درجه را تشکیل می دهد (این زاویه نسبت به کل هر دوره ی کلید زنی است). مدت زمان کلید زنی هر



(الف)



(ب)

شکل ۴- ترکیب سری شده ی دو موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی (الف) به طور مرسوم مطابق مرجع [۱] (ب) روش پیشنهادی

۴-مدل الکتریکی سیم پیچی هر فاز موتور

سوئیچ رلوکتانسی خطی

شار پیوندی سیم پیچی با صرف نظر کردن از غیر خطی بودن سیستم از رابطه ی (۱) به دست می آید.

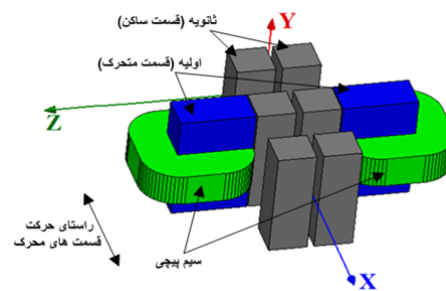
$$\lambda(x,i) = L(x)i \quad (1)$$

سیم پیچی هر فاز موتور به صورت یک اندوکتانس متغیر نسبت به موقعیت مدل می گردد و موقعیت در هر لحظه می تواند از روابط مکانیکی به دست آید. مقاومت سیم پیچی هر فاز برابر است با ۰/۹۴۷۵ اهم. ولتاژ هر فاز را می توان با استفاده از رابطه ی زیر به دست آورد.

$$V_{ph} = Ri + \frac{d\lambda(x,i)}{dt} = Ri + \frac{d(L(x)i)}{dt} \quad (2)$$

می دهند. راستای حرکت در این شکل محور X مختصات است.

اگر دو موتور سه فاز مطابق شیوه ی مرسوم سری گردند ساختاری مانند شکل ۴- الف را تشکیل می دهند که ساختار کلی نیز سه فاز می باشد. ساختار شش فاز پیشنهادی در شکل ۴- ب نشان داده شده است. موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی سه فاز اول فازهای اول، سوم و پنجم و موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی دوم فازهای دوم، چهارم و ششم را تشکیل می دهند. این دو موتور به گونه ای با هم سری شده اند که یک ساختار شش فاز را تشکیل می دهند.



شکل ۳- یک فاز موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی دوطرفه با شار عرضی

سیم پیچی های طرف اول و دوم هر فاز با هم موازی شده اند. با موازی کردن سیم پیچی ها به دلیل برابر بودن اندوکتانس و مقاومت دو طرف جریان یکسانی از هر دو طرف عبور می کند در نتیجه مولفه های نیروی جذب کننده ی دو طرف همدیگر را خنثی می کنند. در راستای های سوئیچ رلوکتانسی خطی نیرو محرکه که در راستای حرکت موتور است عامل حرکت است و نیرو جذب کننده ی اولیه ها به ثانویه ها نیروی نامطلوب است که افزایش اصطکاک در حرکت موتور را به دنبال دارد. از اینرو خنثی شدن این نیرو در ساختار دو طرفه مطلوب است.

۵- معادلات مکانیکی موتور سوئیچ

رلوکتانسی خطی

نیروی مغناطیسی برای هر فاز موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی به صورت رابطه ی زیر است.

$$F_x = F_m = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{2} L(x) i^2 \right) \Big|_{(i=\text{const})} = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(x)}{dx} \quad (۳)$$

نیرو محرکه هر موتور سه فاز با استفاده از رابطه ی (۴) به دست می آید. نیرو محرکه کل برای ساختار مرسوم که دو موتور سه فاز در کل یک موتور سه فاز با حداکثر نیرو محرکه بیشتر را تشکیل می دهند برابر است با رابطه ی (۵) :

$$F_{m1} = 2 \times \sum_{n=1}^3 \left(\frac{1}{2} i_n^2 \frac{dL(x)}{dx} \right) \quad (۴)$$

$$F_m = 2 \times F_{m1} = 4 \times \sum_{n=1}^3 \left(\frac{1}{2} i_n^2 \frac{dL(x)}{dx} \right) \quad (۵)$$

که n شماره ی فاز و در رابطه ی (۵) ساختار نهایی به صورت سه فاز می باشد. F_{m1} نیروی محرکه هر موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی سه فاز که دو برابر این مقدار نیرو محرکه ی کل ساختار سری شده به صورت مرسوم است.

نیروی کل ساختار سری شده ی پیشنهادی با توجه به اینکه موتور شش فاز دو طرفه است و سیم پیچی های دوطرف با هم موازیند برابر است با:

$$F_m = 2 \times \sum_{n=1}^6 F_{mn} = 2 \times \sum_{n=1}^6 \left(\frac{1}{2} i_n^2 \frac{dL(x)}{dx} \right) \quad (۶)$$

که n شماره ی فاز و در رابطه ی (۶) ساختار نهایی پیشنهادی به صورت شش فاز می باشد.

نیرو محرکه را می توان به صورت رابطه (۷) نیز نوشت.

$$F_m = M \frac{d^2x}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + F_L \quad (۷)$$

که M, D و F_L به ترتیب جرم قسمت متحرک، ضریب میرایی و نیروی بار هستند. در این مقاله از اصطکاک صرف نظر شده است در نتیجه $D=0$.

۶- شبیه سازی با استفاده از Matlab

Simulink

شماتیک موتور به منظور شبیه سازی با استفاده از Matlab Simulink در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۵- الف ترکیب دو موتور سه فاز به همراه مدار درایو که به صورت مرسوم سری شده اند را نشان می دهد.

شکل ۵- ب ترکیب دو موتور سه فاز به صورت شش فاز

در ساختار پیشنهادی به همراه مدار درایو را نشان می

دهد. مطابق شکل ۵-ب موتورهای سه فاز یک ترکیب

شش فاز را تشکیل می دهند که مدت زمان کلید زنی هر

کدام از فازها ثلث مدت زمان کلید زنی می باشد. در این

مقاله مبدل پل غیر همزمان^۱ که از شش کلید الکترونیک

قدرت استفاده کرده است به کار گرفته شده است. با وصل

شده دو کلید ضربدری فاز متصل برق دار می شود و با

قطع دو کلید و از طریق مدار دو دیود انرژی ذخیره شده

در فاز موتور به سمت منبع باز می گردد. مبدل مدیریت

انرژی با ذخیره سازی انرژی بازگشتی از فازهای موتور در

خازن، این انرژی را در هنگام برقرار شدن به فازهای موتور

بر می گرداند و باعث افزایش راندمان موتور می

شوند [۲۴].

شکل ۶ مدل الکتریکی در نظر گرفته شده برای هر فاز

موتور که در مدار درایو موتور به کار رفته است را نشان

می دهد. در این مدل اندوکتانس هر فاز مطابق یک منبع

جریان متغیر نسبت به موقعیت موتور در نظر گرفته شده

است. این منبع جریان با نمونه گیری از ولتاژ دو سر

اندوکتانس، انتگرالگیری از آن و تقسیم کردن آن بر

اندوکتانس در هر لحظه جریان جاری شده در هر فاز را به

دست می دهد.

سرعتهای 0.5 m/s تا 1 m/s به عنوان سرعت عملکردی

آسانسور در این مقاله در نظر گرفته می شود. تغییرات

سرعت نسبت به تغییر سرعت مرجع از سرعتهای 0.5

m/s تا 1 m/s در بار $F_L = 50 \text{ N}$ در شکل ۷ نشان داده

¹ Asymmetric bridge converter

ساختار پیشنهادی در مقابل ساختار مرسوم در بار کم $F_L = 50 \text{ N}$ از $\frac{1\%}{0.09\%} = 11.11$ تا $\frac{3.6\%}{0.24\%} = 15$ برابر ساختار پیشنهادی است که بیانگر برتری چشمگیر ساختار پیشنهادی می باشد.

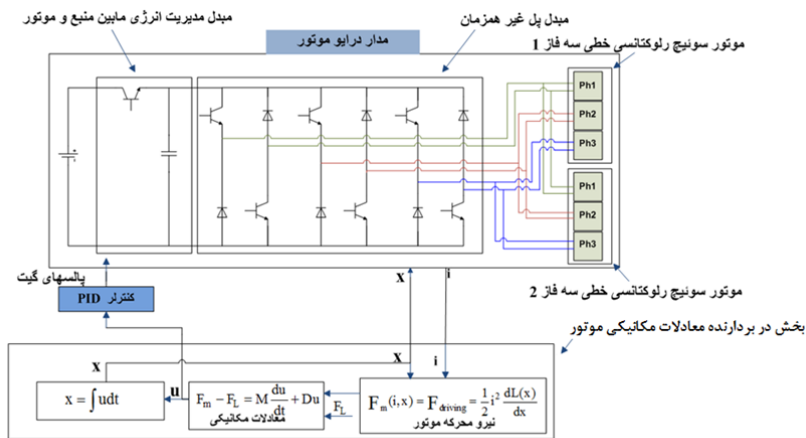
شده است. با توجه به این شکل ریپل سرعت ساختار مرسوم بیشتر و در سرعت‌های پایین تر این نوسانات افزایش می یابد. مقدار نوسانات و افت سرعت به میزان بار بستگی دارد به هر حال نوسانات نسبی سرعت برای شکل ۷ در جدول ۱ نشان داده شده است. نوسانات سرعت

جدول ۱- نوسان نسبی سرعت در بار $F_L = 50 \text{ N}$

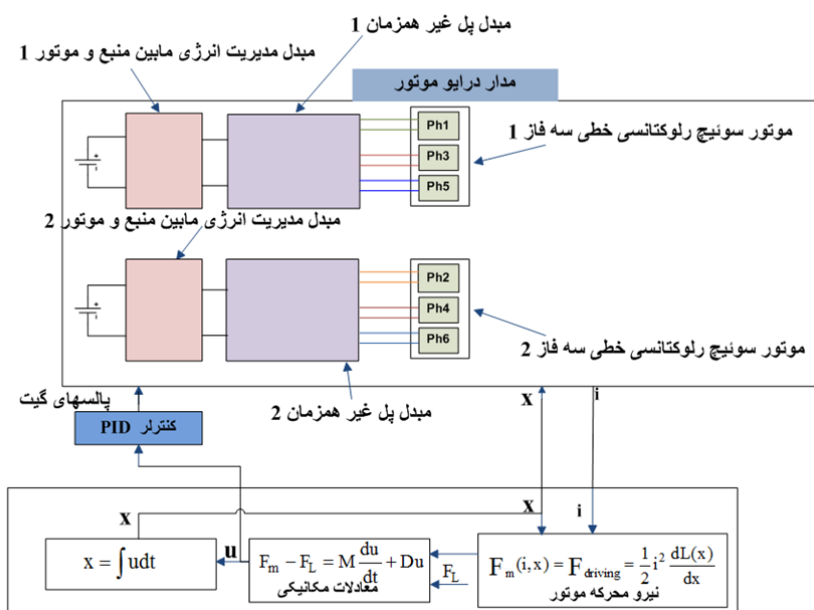
سرعت (m/s)	نوسان نسبی سرعت ساختار مرسوم (%)	نوسان نسبی سرعت ساختار شش فاز پیشنهادی (%)
0.5	3.6	0.24
0.6	2.5	0.183
0.7	1.86	0.143
0.8	1.37	0.125
0.9	1.22	0.111
1	1	0.09

گرفته شده است. نوسانات نسبی سرعت با تغییر بار که از شکل ۸ به دست می آید در جدول ۲ آورده شده است. مطابق جدول ۲ نوسانات سرعت ساختار مرسوم در بار های 150N و 200N به بیش از ۱۰ درصد می رسد که نیاز به تغییر ساختار مرسوم را آشکارتر می نماید. اما علت نوسانات زیاد سرعت ساختار مرسوم با توجه به مشخصه نیرو محرکه ی ساختار مرسوم قابل توجیه است. مطابق رابطه ی (۷) شتاب حرکت موتور که عامل نوسانات سرعت است به اختلاف نیرو محرکه و نیروی بار وابسته است و با کاهش اختلاف این دو نیرو شتاب لحظه ای نیز کاهش می یابد. در نتیجه برای حرکت خطی عمودی داشتن مشخصه نیرو محرکه یکنواخت مطلوب است و این همان علت پیشنهاد ساختار شش فاز در این مقاله می باشد.

تا کنون تغییرات سرعت نسبت به تغییر سرعت مرجع بررسی شد. در ادامه تغییر سرعت نسبت به تغییرات بار از $F_L = 50 \text{ N}$ تا $F_L = 200 \text{ N}$ در سرعت‌های 0.5 m/s و 1 m/s در شکل ۸ نشان داده شده است. در این شکل از زمان 0.5 sec تا زمان 1 sec بار $F_L = 50 \text{ N}$ ، از زمان 1.5 sec تا زمان 1.5 sec بار $F_L = 100 \text{ N}$ ، از زمان 2 sec تا زمان 2 sec بار $F_L = 150 \text{ N}$ و از زمان 2.5 sec تا زمان 2.5 sec بار $F_L = 200 \text{ N}$ می باشد. با توجه به این شکل استفاده از ساختار مرسوم در آسانسور نامطلوب می باشد از اینرو در [۱] برای غلبه به این مشکل، شیوه ی کنترلی ویژه ای که از تابع توزیع نیرو استفاده می کند به کار گرفته شده است. این در حالی است که در این مقاله تنها یک کنترلر سرعت PID در ساختار پیشنهادی به کار

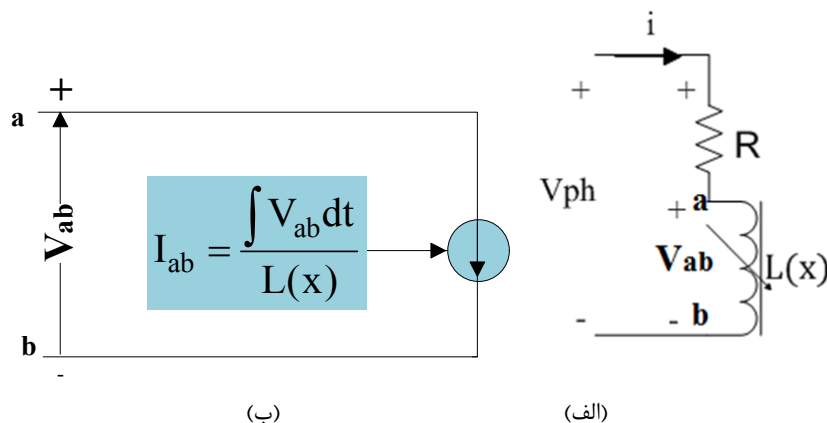


(الف)



(ب)

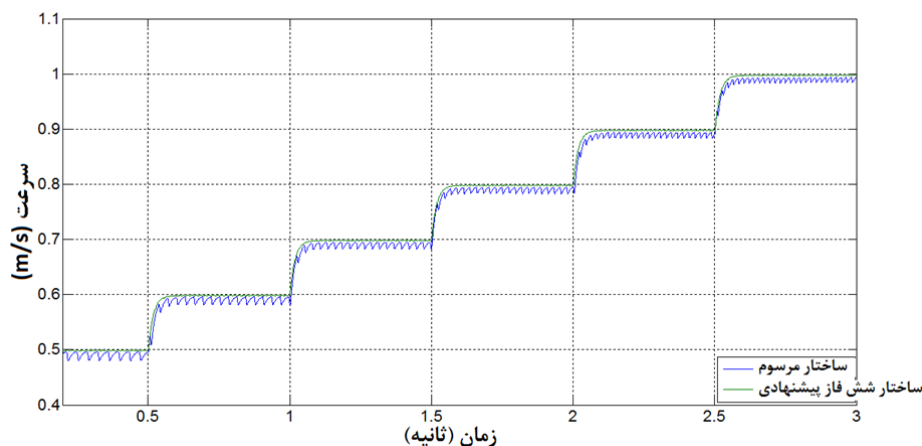
شکل ۵- دیاگرام موتور جهت شبیه سازی دینامیکی (الف) ساختار مرسوم (ب) ساختار شش فاز پیشنهادی



(ب)

(الف)

شکل ۶- مدل الکتریکی (الف) یک فاز موتور سونیچ رلوکتانسی خطی (ب) مدل در نظر گرفته شده برای اندوکتانس



شکل ۷- تغییرات سرعت با تغییر سرعت مرجع از 0.5 m/s تا 1 m/s در بار $F_L = 50 N$

جدول ۲- نوسان نسبی سرعت با تغییر بار از $F_L = 50 N$ تا $F_L = 200 N$

بار (N)	نوسان نسبی سرعت ساختار مرسوم (%)		نوسان نسبی سرعت ساختار شش فاز پیشنهادی (%)	
	0.5 m/s	1 m/s	0.5 m/s	1 m/s
	50	3.6	1	0.24
100	7.56	2	0.48	0.24
150	12	3.11	0.78	0.38
200	16.8	4.45	1.24	0.55

حاصل می گردد. (حداکثر ریبیل سرعت نسبی ۱.۲۴ درصد)

۴- سرعت ساختار پیشنهادی تغییرات ناچیزی در مقابل تغییر بار دارد.

۵- در ساختار پیشنهادی برای تولید پالسهای گیت دو مدار کلید زنی تنها یک کنترلر استفاده می شود.

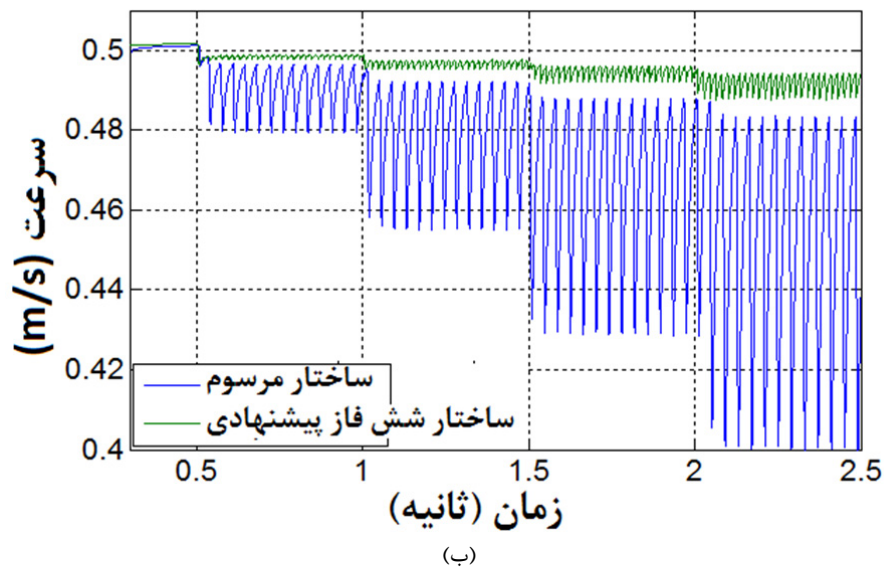
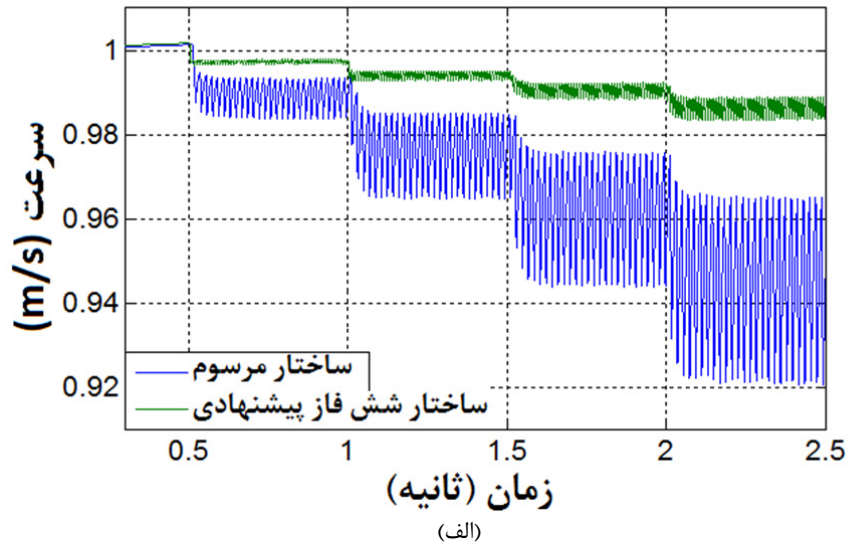
• معایب

- ۱- نیاز به دو مبدل پل غیر همزمان و دو مدار کلید زنی مجزا.
- ۲- نیاز به دو منبع ولتاژ مستقل.
- ۳- پیچدگی در پیاده سازی.
- ۴- موارد بالا افزایش هزینه ی ساختار پیشنهادی را به دنبال دارد.

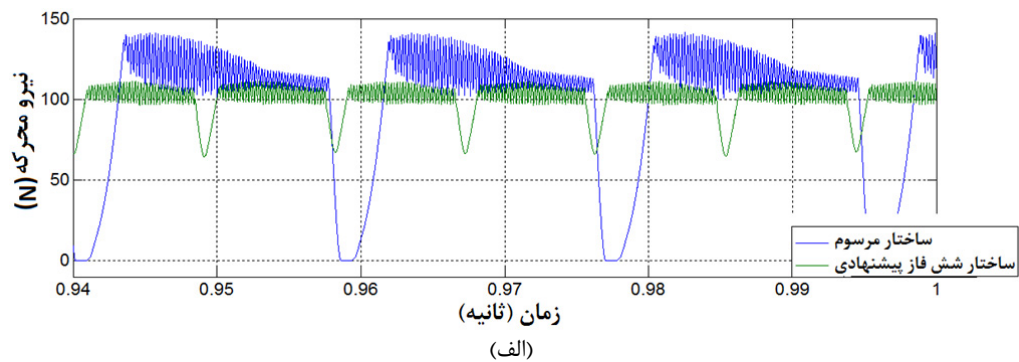
نیرو محرکه در بار 100N برای سرعتهای 0.5 m/s و 1 m/s در شکل ۹ نشان داده شده است. مطابق این شکل در یک دوره کلید زنی ساختار پیشنهادی شش قله و ساختار مرسوم سه قله دارد. به علاوه ساختار پیشنهادی دارای یک مقدار یکنواخت نیز می باشد در صورتی که ساختار مرسوم از مقدار صفر تا مقدار بیشینه افزایش می یابد. ساختار پیشنهادی مزایا و معایب زیر را نسبت به ساختار مرسوم دارد:

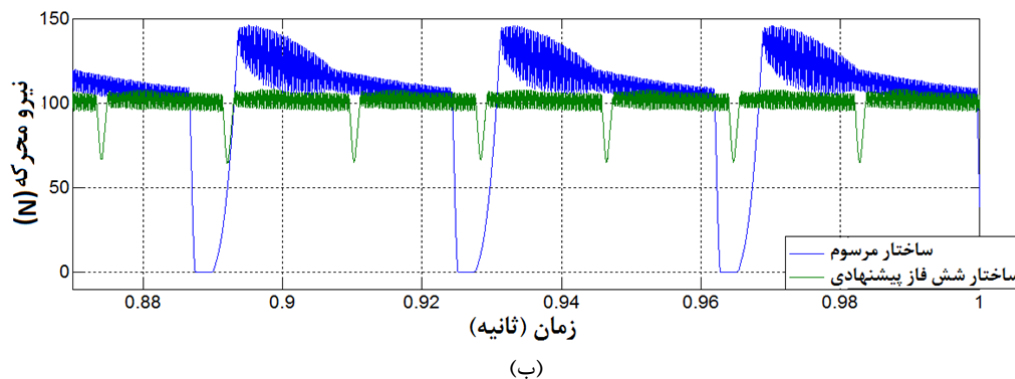
• مزایا

- ۱- ساختار پیشنهادی مشخصه ی نیرو محرکه بهتر با یک مقدار یکنواخت دارد.
- ۲- ریبیل سرعت ساختار پیشنهادی به طور چشمگیری کمتر از ساختار مرسوم است.
- ۳- با استفاده از ساختار پیشنهادی شش فاز مشخصه قابل قبولی در سرعت 0.5 m/s



شکل ۸- سرعت در مقابل تغییرات بار از $F_L = 50 N$ تا $F_L = 200 N$ (الف) سرعت 1 m/s (ب) سرعت 0.5 m/s





شکل ۹- نیرو محرکه در بار $F_L = 100 N$ (الف) در سرعت 1 m/s (ب) در سرعت 0.5 m/s

۷- نتیجه گیری

پیشنهادی در سرعت 0.5 m/s و در بیشینه بار $F_L = 200 N$ ریبیل سرعت کمی دارد. به علاوه در برابر تغییرات بار نیز مقاوم است. مشخصه نیرو محرکه ساختار پیشنهادی در یک دوره ی کلید زنی دارای شش قله به همراه یک مقدار یکنواخت است در حالیکه ساختار مرسوم دارای سه قله و مقدار یکنواخت صفر می باشد.

در این مقاله ساختار شش فاز جدیدی برای موتور سوئیچ رلوکتانسی خطی جهت کاربرد حمل نقل و نقل عمودی مانند آسانسور پیشنهاد شد. در این ساختار با حفظ ساختار دو موتور سه فاز آنها را به صورت سری و در کل به صورت شش فاز به کار گرفته شد. ساختار شش فاز

۸- مراجع

- [1] H. S. Lim and R. Krishnan, "Ropeless elevator with linear switched reluctance motor drive actuation systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, n. 4, August 2007, pp. 2209-2218.
- [2] Krishnan R, "Switched reluctance motor drives modeling, simulation, analysis, design and applications," London: CRC Press; 2001.
- [3] S.A. Nasar and I. Boldea, "Linear Motion Electric Machines," A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- [4] K. Adamiak, D. Barlow, C.P. Choudhury, P.M. Cusack, G.E. Dawson, A.R. Eastham, B. Grady, E. Ho, Y. Hongping, L. Pattison, and J. Welch, "The switched reluctance motor as a low-speed linear drive," in Intl. Conf. on Maglev and Linear Drives," Las Vegas, NV, pp. 39-43, May 1987.
- [5] K. Takayama, Y. Takasaki, R. Ueda, T. Sonoda, and T. Iwakane, "A new type switched reluctance motor," in Conf. Rec. of the IEEE IAS Ann. Mtg., Pittsburgh, PA, vol. 1, pp. 71-78, October 1988.
- [6] K. Takayama, Y. Takasaki, R. Ueda, and T. Sonoda, "Thrust force distribution on the surface of stator and rotor poles of switched reluctance motor," in IEEE Trans. on Magnetics, vol. 25, no. 5, pp. 3997-3999, September 1989.
- [7] P.M. Cusack, G.E. Dawson, and T.R. Eastham, "Design, control and operation of a linear switched reluctance motor," in Canadian Conf. on Electrical and Computer Eng., Quebec, CA, pp. 19.1.1-19.1.5, September 1991.
- [8] C.T. Liu and Y.N. Chen, "On the feasible polygon classifications of linear switched reluctance machines," in 1997 IEEE Intl. Electric Machines and Drives Conf. Rec., Milwaukee, WI, pp. TB1/11.1-TB1/11.3, May 1997.

- [9] C.T. Liu, K.S. Su, and M.H. Lee, "Three dimensional field and side-force design analyses of a transverse flux linear switched-reluctance machine," in IEEE Trans. on Magnetics, vol. 34, no. 4, pp. 2132-2134, July 1998.
- [10] C.T. Liu and N. Sheu, "Optimal pole arrangement design of a linear switched-reluctance machine for magnetic levitation and propulsion system," in IEEE Trans. on Magnetics, vol. 32, no. 5, pp. 5067-5069, September 1996.
- [11] Praveen V., "Design of Switched Reluctance Motors and Development of a Universal Controller for Switched Reluctance and Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives", Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001
- [12] T. J. E. Miller, "Optimal Design of Switched Reluctance Motors", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 49, NO. 1, FEBRUARY 2002.
- [13] Junghwan Chang, D. H. Kang, I.-A. Viorel, and Strete Larisa, "Transverse Flux Reluctance Linear Motor's Analytical Model Based on Finite-Element Method Analysis Results," Digital 1202 IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 43, No. 4, April 2007.
- [14] J. Garcia Amorós, P. Andrada, "Analytical approach to the design of a high-force density double-sided linear switched reluctance motor," International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10) Granada (Spain), March, 2010.
- [15] N.C. Lenin and R. Arumugam, "A Novel Linear Switched Reluctance Machine: Analysis and Experimental Verification," American J. of Engineering and Applied Sciences 3 (2): 433-440, 2010.
- [16] Ferhat Daldaban, Nurettin Ustkoyuncu, "A new double sided linear switched reluctance motor with low cost," Energy Conversion and Management 47 (2006) 2983-2990.
- [17] Deshpande U, "Two-dimensional finite-element analysis of a high-force-density linear switched reluctance machine including three dimensional-effects," IEEE Trans IndAppl 2000;36(4):1047-52.
- [18] Seok-Myeong Jang, Ji-Hoon Park, Jang-Young Choi, and Han-Wook Cho, "Analytical Prediction and Measurements for Inductance Profile of Linear Switched Reluctance Motor," IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 42, No. 10, October 2006.
- [19] Junghwan Chang, D. H. Kang, I.-A. Viorel, and Strete Larisa, "Transverse flux reluctance linear motor's analytical model based on finite-element method analysis results," IEEE Trans. on Magn., vol. 43, n. 4, April 2007, pp. 1201-1204.
- [20] H.S. Lim, R. Krishnan and N.S. Lobo, "Design and Control of a Linear Propulsion System for an Elevator Using Linear Switched Reluctance Motor Drives," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, n. 2, February 2008, pp. 534-542.
- [21] N.S. Lobo, H.S. Lim and R. Krishnan, "Comparison of Linear Switched Reluctance Machines for Vertical Propulsion Application: Analysis, Design, and Experimental Correlation," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 44, n. 4, 2008, pp. 1134-1142.
- [22] Daldaban, F., Ustkoyuncu, N., "A novel linear switched reluctance motor for railway transportation systems", Energy Conversion and Management, 51(3), 465-469.
- [23] X. Xue, K-W.E Cheng, Z. Zhang, J. Lin, and N. Cheung, "A Novel Method to Minimize Force Ripple of Multimodular Linear Switched Reluctance Actuators/Motors," IEEE Trans. Mag., vol. 48, no. 11, pp. 3859-3862, Nov. 2012.
- [24] S. Darabi, Y. Alinejad-Beromi, "Extension of Architecture of Single-Pulse Controller to Drive Linear Switched Reluctance Motor" ,International Review on Modelling and Simulations (IREMOS), vol. 5, no. 4, pp. 1517-1523, August 2012.