ICEMG Y · Y · -XXXXX

ژنراتور خطی مغناطیس دائم لولهای با ساختار جدید

دکتر عباس شیری^۱، چیاکو صبوری^۲

abbas.shiri@srttu.edu ^۱ استادیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، chiakosaboori@srttu.edu ^۲ کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، stitu.edu

چکیدہ

یک ژنراتور خط ی مغناطیس دائم لوله ای ('TPMLG) تکفاز با ساختار جدید برای موتور استرلینگ در لی ن مقاله ارائه می شود. TPMLG می تواند انرژی مکانیکی را مستقیماً به انرژی الکتریک ی انرژی استرلینگ است. نمونه سه بعدی و ابعاد آن داده شده است. با توجه به ویژگیهای ساختاری آن از روش المان محدود^۲ برای تحلیال میدانهای الکترومغناطیسی آن استفاده شده است. با توجه به ابعاد معدود از نظر میدان مغناطیسی ایجاد شده است. با توجه به ابعاد مغناطیسی را به دست آورد. عملکرد دینامیکی TPMLG تحت فرکانسهای مختلف ماز این ماشینها می توان نتیجه گرفت که مقایسه سه گونه مختلف از این ماشینها می توان نتیجه گرفت که مید.

واژه های کلیدی

تجزیه و تحلیل الکترومغناطیس ی، روش المان محدود، موتورهای استرلینگ، ژنراتور آهنربا دائمی لولهای.

مقدمه

با تشدید بحران جهانی انرژی، تولید انرژی تجدیدپذیر در کانون تحقیقات قرار گرفت. به دلیل عملکرد بسیار خوب و قابلیت سازگاری بالا، موتورهای استرلینگ در سراسر جهان محبوبیت بیشتری یافتند. در سیستمهای تولید انرژی ژنراتور اصلی ترین دستگاه تبدیل انرژی است که می تواند انرژی مکانیکی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل کند. TPMLG با ساختاری جدید مزیت ساختاری ساده و بازدهی بالا را دارد. در TPMLG کل صفحه سیم پیچی لبههای موثر هستند و هیچ اثر انتهایی عرضی وجود ندارد که می تواند نسبت به کارگیری سیم پیچی را بهبود ببخشد. TPMLG می تواند بدون هیچ وسیله

انتقال واسطه حركت خطى را توليد كند بنابراين مى توان به طور وسيع در سيستم تغذيه ماشين، سيستم تغذيه الكترومغناطيسي و سیستم تولید انرژی موج به کار برود. در مقایسه با ماشینهای القایی خطی، TPMLG از مزایای ساختار ساده، تلفات کم، راندمان بالا و چگالی نیروی زیاد برخوردار است. در مقایسه با ماشینهای سنکرون خطی، TPMLG دارای ساختار متقارن، بدون نیروی شعاعی مغناطیسی، بدون اثر انتهایی عرضی و نسبت کارایی سایم پیچی بالا است. در مقایسه با ماشینهای دوار مغناطیسی دائم، TPMLG به تجهیزات اتصال دهنده واسطه نیاز ندارد که بازدهی را افزایش می دهد و مزیت ساختار ساده، پایداری خوب و استحکام بالا را دارد که در منبع [۱۱] در مورد کاهش نیروی دندانهای توضیح داده شده است. با آنالیز فوریه و آنالیز المان محدود روشی اتخاذ شده است که می توان طول استاتور بولد شده را تغییر دهد و احتمالاً نیروی دندانهای را کاهش دهد. در مقاله [۱۲] یک ماشین خطی لوله ای چرخدنده مغناطیسی جدید ارائه شده است و نوآوری مه م آن اید ن است که سیمییچی آرمیچر در شکافهای بخش تعدیل کننده قـرار گرفتهانـد. این روش می تواند به طور موثر چگالی نیروی محرک را بهبود ببخشد، نیروی دندانهای را کاهش دهد و بازدهی مکانیکی را بهبود ببخشد. در مقاله [17] یک ماشین خطی مغناطیس دائم معکوس شار استاتور قسمت بندی شده جدید طراحی و با ماشین خطی (FRPM^T) معمولی مقایسه شده است. ماشین دارای مزیتهای بازده و نیروی محرکه بزرگتر، نیروی دندانهای کوچکتر و ریپل نیروی محرکه کمتر است. در در مقالات [۱۴] و[۱۵] یک ماشین ورنیر مغناطیس دائم خط ی (LPMVM[†]) جديد ارائه و بهينه سازي مي شود. LPMVM با قطب برجسته و آرایههای مغناطیس دائم هالباخ، عملکرد بین LPMVM و دو نوع TPMLG معمولی مقایسه شده است و در نتایج نشان داده شده است که چگالی نیروی محرک در ماشین پیشنهادی بسیار افزایش یافته است. این مقاله یک TPMLG تکفاز با ساختار جدید را ارائه مي دهد سه روش از جمله المان محدود، مدار معادل مغناطيسي

^r Flux Reversal PM

[£] Linear PM Vernier Machine

[\] Tubular Permanent Magnet Linear Generator

^{&#}x27; Finite Element (FE) Method (FEM)

(MECM^a) و روش تحلیلی (AM^f) با جزئیات مقایسه می شوند. ایزولاینهای پتانسیل برداری مغناطیسی در موقعیت ۲۰۱۵ - و و و ۲۰۱۵ متر داده شده است. شبیه سازی دینامیکی TPMLG در فرکانس های متقابل مختلف و ایجاد مدل المان محدود برای به دست آوردن مقادیر عملکرد TPMLG انجام می شود و سه نوع مختلف ماشین که در حالت لرزش ۱۰۰ هرتز کار می کنند مقایسه می شوند.

ساختار

در این مقاله یک TPMLG تک فاز ارائه شده است، ابعاد اولیه آن در جدول ۱، در ساختار سه بعدی آن در شکل ۱ نشان داده شده است TPMLG عمدتاً شامل بخشهای استاتوری و بخشهای محرک است. بخش استاتوری به بخشهای استاتور داخلی و خارجی تقسیم می شود در این میان استاتور بیرون از چهار آستین استاتور بیرونی کوچکتر تشکیل شده است و در هر یک از آنها یک حلقه س یمپیچ تعبيه شده است. استاتور داخلي شامل يک حلقه فرومغناطيس است. بخشهای محرک از پنج گروه از مغناطیس دائمهای حلقوی تشکیل شده است. لد ن مغناطیس دائم های حلقوی به صورت شعاعی مغناطیس ی شده و دارای قطب های متضاد هستند و محرک به پیستون نیرو وصل می شود. فاصله هوای داخلی بین مغناطیس دائمها و لوله آلومینیومی قرار گرفته است و فاصله هوایی خارجی بین مغناطیسی دائمها و آستین استاتور خارجی قرار گرفته است. استاتور و محرک از طریق دو بازوی فنری که در انتهای آن قرار دارد به ژنراتور متصل شدهاند. بخشهای محرک توسط بازوی فنری در یک حركت خطى معكوس حركت مىكنند. مواد استفاده شده تاثير زيادى بر شاخص عملکرد فنی ژنراتور می گذارند.

هنگام انتخاب مواد لازم است اطمینان حاصل شود که قسمتها از مقاومت مکانیکی کافی، حجم کمینه شده و کمترین وزن برخورداراند. در این مقاله الزامات طراحی راندمان بالا، وزن کمتر، توان خروج ی بیشتر و مقاومت بالاتر در برابر دمای محیط است. علاوه بر لا ین کل ژنراتور ممکن است توسط ارتعاش فرکانس بالا و سایر تاثیرات محیطی در طول فرآیند تحت تاثیر قرار بگیرد بنابراین باید مواد با چگالی کم و استحکام بالا را انتخاب کرد پس از تجزیه و تحلیل بالا استاتور داخلی و خارجی از فلز سیلیکون ۵۰۷۴۷ ساخته شده است. با در نظر گرفتن عملکرد و هزینه مواد مغناطیس دائم قسمتهای مغن اطیس ساختار تکیه گاه عمل میکند، برای یاتاقان غیر مغناطیسی آلومینیوم انتخاب میشود و هر آستین استاتور خارجی شامل ۲۷ دور سیم چیچ با قطر سیم ۶ میلیمتر است.

آناليز الكترو مغناطيسي

TPMLG یک ژنراتور خطی لولهای با ساختار متقارن است. اصول کارکرد آن به این شکل است که خطوط القایی مغناطیسی را قطع و

جدول ۱: پارامترهای هندسی TPMLG

ابعاد(میلیمتر)	پارامتر
221.94	قطر استاتور خارجی D۱
٨٠	قطر استاتور داخلی D۲
۰.۲۵	فاصله هوایی داخلی g۱
٠.٢٢	فاصله هوایی خارجی g۲
١٧٢	قطر محرک خارجی d۱
٩٧	قطر محرک داخلی dr
۵.۳	ضخامت يوغ استاتور h۱
18.98	عمق شيار استاتور h
۲۳	پهنای مغناطیس دائم W۱
٣٩.٧۵	ضخامت مغناطیس دائم W۲
۱.	پهنای دندانه استاتور W ^۳
841	طول روکش محرک L
٨٠	قطر لوله آلمینیومی d ^r



شکل ۱: ساختار سه بعدی TPMLG

نیروی محرکه الکتریکی القایی تولید می کند و جریان متناوب خروجی از طریق حرکت خطی معکوس مغناطیس دائمها است که هنوز با نظریه سنتی ماشینهای کلاسیک کار می کند. ویژگیهای ساختار ژبزاتور، پیچیدگی مدار مغناطیسی و اشباع مواد فرومغناطیس همه باعث افزایش سختی آنالیز الکترومغناطیسی میشوند. روشهای آنالیز الکترومغناطیسی عمدتاً شامل روش تحلیلی، مدار معادل مغناطیسی و روش المان محدود است. مدار معادل مغناطیسی می وارد کند و اختلاف میدان مغناطیسی هر بخش از مدار مغناطیسی معادل با اختلاف پتانسیل مغناطیسی نقاط مربوطه در مدار مغناطیسی برابر است. روش تحلیلی معادلات ماکسول و شرایط مرزی تابع پتانسیل را حل می کند. چه روش تحلیلی و چه مدار معادل مغناطیسی بزرگترین ویژگی آنها

[°] magnetic equivalent circuit method

¹ Analytical method

ساده سازی مسائل پیچیده است که برای ماشینهای شکل منظم بسیار کاربردی است. علاوه بر ایان ایان دو راه حل برای آنالیز الكترومغناطيسي استفاده مي شود كه خطاي محاسباتي نسبتاً بزرگي در أنها وجود خواهد داشت. روش المان محدود بر اساس اصل تغيير يا روش ماندهها عمل مي كند. روش المان محدود مشكل مقدار مرزى میدان را در مسئله اکسترمم تابع انرژی مربوطه تبدیل کرده است. به عبارت دیگر مسئله به حل معادلات جبری خط ی تبدیل می شود. روش المان محدود صحت محاسبات و قابليت اطمينان آناليز را در مقابل سایر روشها را بهتر نشان میدهد. با در نظر گرفتن ویژگیهای ساختاری TPMLG برای تحلیل میدان مغناطیسی داخلی ژنراتور از روش المان محدود استفاده شده است. با توجه به ابعاد هندسی نشان داده شده در جدول ۱, یک مدل دو بعدی از TPMLG در نـرم افـزار مکسول ایجاد شده است. معادلات ماکسول بر مبنای ریاض ی برای تحليل عددي ميدان الكترومغناطيسي است. تابع پتانسيل معمول در آنالیز میدان مغناطیسی استفاده می شود زیرا ایجاد شرایط مرزی از کمیت میدان آسان تر است. در آنالیز، می دان مغناطیس ی دو بعدی اتخاذ شده است. پتانسیل برداری A به صورت زیر تعریف شده است:

$$B = \nabla \times A$$
 (۱)
از معادلات مکسد ول مسئله مقدار مرزی، می توان میدان

ر الکترومغناطیسی TPMLG را به صورت زیر به دست آورد:

$$\begin{cases} V_1 = \nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times A\right) = J \\ V_2 = \nabla \times \left(H_c - \frac{1}{\mu} \nabla \times A\right) = 0 \\ \Gamma_1 = A = A_0 \\ \Gamma_2 = \frac{1}{\mu} \nabla \times A \times n = 0 \end{cases}$$
(7)

که µ نفوذپـذیری مغناطیس ی H_c نی روی محاسـبه شـده V۱ ناحیه ه مغناطیسی غیردائم V۲ ناحیه PM و ۱ شرایط مرزی اول و ۲ شـرایط مرزی دوم است. فرمول ۲ میتواند معادل مسائل تغییرات شرطی زیر ر باشد:

$$W(A) = \int_{V_1} \frac{1}{\mu} (\nabla \times A)^2 d\tau + \int_{V_2} (\mu H_c - \nabla \times A)^2 d\tau = min$$
(7)

در فرمول ۳ ناحیه حل به یک سری مشهای المان محدود تقسیم می شود و تابع درونیابی در هر المان مش ساخته می شود. در مرحله بعدی تابع درونیابی توسط تابع انرژی جایگزین می شود و سپس توابع انرژی در معادلات چند متغیره تفکیک می شوند در نهایت با حل معادلات می توان راه حل عددی نهایی را به دست آورد. طبق نظریه فوق ساختار یا میدان با محیط نامتناهی مداوم به المان محدود هایی متصل می شوند که توسط گرههای محدود از طریح ق مش متصل می شوند.

عملكرد TPMLG

محدوده محرک ۰.۰۱۵ و ۰.۰۱۵ متر است یک حلقه شار بین دو مغناطیس دائم مجاور با قطب مخالف و حلقه استاتور داخل ی تشکیل می شود. چون از سیم پیچ عبور نمی کند روی نیروی القایی الکتروموتیو و عملکرد ژنراتور اثر نمی گذارد. علاوه بر این به منظور تجزیه و تحلیل عملکرد TPMLG تا حد زید ادی شار مغناطیسی در بحث در نظر گرفته نمی شود. وقتی TPMLG در یا کا حرکت خط ی معکوس حرکت میکند، توزیع ایزولاینهای پتانسیل برداری مغناطیسی در ۰.۰۱۵ و ۰ و ۰.۰۱۵ متر است که در شکل ۲ نشان داده شده است به ترتیب. وقتی محرک توسط پیستون نیر و به موقعیت محدود ۰.۰۱۵ متر رانده می شود مدار مغناطیسی در مغناطیس دائمها از طریق هسته استاتور متصل می شود و سپس سیم پیچ استاتور یک شار مغناطیسی سطحی ایجاد میکند. همان طور که در شکل ۲ الف مشاهده می شود ایزولاین های پتانس یل بردار مغناطیس ی در حلقه استاتور خارجی خیلے متراکم هستند که نشان میدهد شدت مغناطیس شدگی و دامنه شدت مددن الکتریکی القایی در اد ن موقعیت بسیار زیاد است.

شکل ۲ج ایزولاینهای پتانسیل بردار مغناطیسی در حلقه استاتور خارجی را نشان می دهد وقتی که محرک در موقعیت ۱۵۰۰۰ متر عمل می کند که اساساً همان شکل ۲ الف است. وقتی محرک در موقعیت ۰ است مدار مغناطیسی مغناطیس دائم از طریح ق هسته استاتور عبور نمی کند در عین حال سیم پیچ استاتور شار مغناطیسی تولید نمی کند. در مقایسه با شکل ۲ الف ایزولاینهای پتانسیل برداری مغناطیسی در شکل ۲ب پراکنده می شوند و و باعث می شود که شدت مغناطیس ی شدگی و دامنه شدت میدان الکتریکی القایی در این موقعیت کاهش یابد. از طریق آنالیز می توان نتیجه گرفت که نیرو الکتروموتیو القایی و جریان خروجی تک فاز متناوب است.







تجزيه و تحليل عملكرد

از آنجایی که ساختار هندسی TPMLG متقارن است به منظور بهبود سرعت محاسبات مدل FD FE ^{۸/} برای شبیه سازی عملکرد دینامیکی آن در نرمافزار مکسول استفاده میشود. با استفاده از مدل المان محدود گذرا در مکسول، شبیه سازی ژنراتور پیشنهادی تحت فرکانسهای مختلف داده شده انجام میشود که در شکلهای ۳ تا ۷ نشان داده شده است. از شکل های ۳ تا ۷ میتوان فرکانس متقابل را مشاهده کرد که به ترتیب ۲۰، ۴۰، ۴۰، ۰۰ و ۱۰۰ هرتز تنظیم شده است. حرکت رفت و برگشتی TPMLG بین ۱۰۰۵ و ۰ و ۱۰۰ هرتز متر محدود است. رابطه بین فرکانس متقابل و ۵ متغیر ارائه شده در مختصات غیرخطی است. علاوه بر این حد مجاز لی ن کار ۱۰۰ هرتز است از یک طرف به دلی ل ساختار و استحکام مکانیکی و از طرف دیگر اگر فرکانس عملکرد خیلی بالا باشد منجر به اشباع مغناطیس ی میشود. نتایج شبهسازی در یک رفت و برگشت تحت فرکانس های مختلف از شکلهای ۳ تا ۷ به دست میآید و در جدول ۲ نشان داده







از شکلهای ۳ تا ۷ میتوان مشاهده کرد که بیشترین سرعت خط ی محرک با توجه به تنظیم فرکانسی آن متفاوت است و با فرکانس متقابل متناسب است. وقتی که فرکانس متقابل در ۲۰ هرتز تنظ یم میشود.

توان خروجي	بيشترين	ىىشتە باز ساغت خطى	فركانس
متوسط	ولتاژ خروجى	(m/s)	متقابل
(kW)	(V)	(11/3)	(Hz)
۴.۸	۱۳۸	۱.۸	۲.
۱۰.۹	195	۸.۳	4.
14	۵. ۲۱۰	۵.۶	۶۰
١٧	771.9	۷.۵	٨٠
١٧	777	٩.۴	1

جدول ۲ شبیه سازی دینامیکی تحت فرکانسهای متقابل مختلف

بیشترین سرعت خطی حدود ۱.۸ متر بر ثانیه و وقتی فرکانس متقابل در ۱۰۰ هرتز تنظیم میشود بیشترین سرعت خطی حدود ۹.۴ بر ثانیه است. برای حداکثر ولتاژ خروجی هنگامی که فرکانس متقابل از ۲۰ به ۴۰ هرتز می رسد. بیشترین ولتاژ خروجی به سرعت از ۱۳۸ به ۱۹۲ ولت رشد می کند و با افزایش فرکانس متقابل از ۴۰ به ۸۰ هرتز نرخ رشد حداکثر ولتاژ خروجی شروع به کند شدن می کند هنگامی که فرکانس متقابل از ۸۰ به ۱۰۰ هرتز افزایش می یابد حداکثر ولتاژ خروجی اساساً در حدود ۲۲۰ ولت بدون تغییر ر باقی می ماند. می توان نتیجه گرفت که تغییرات متوسط توان خروجی شبیه حداکثر ولتاژ خروجی است. علاوه بر لی ن می انگین توان خروج ی می ماند. می توان نتیجه گرفت که تغییرات متوسط توان خروج ی می ماند. می توان خروجی است. علاوه بر لی ن می انگین توان خروج ی می ماند. می توان خروج می ۴۰۸ کیلو وات است همچنا دا می شود، که میانگین توان خروج ی ۴۰۸ کیلو وات است همچنا دا در ۱۰۰ متقابل در ۲۰ هرتز ۱۷ کیلو وات و شبیه فرکانس متقابل در ۱۰۰ هرتز است.

از جدول ۳ می توان مشاهده کرد که وزن کل استاتور، سیم پیچی، مغناطیس دائمها و لوله آلومینیومی محاسبه شده است و وزن کل ماشین پیشنهادی ۸۳.۶۳ کیلو گرم است. متوسط توان خروج ی ۱۷ کیلو وات و راندمان ۸۲.۰۴ است. جدول ۴ مقایسه جین سه نوع

جدول ۳ خلاصه عملکرد TPMLG

عملكرد	مقدار
وزن ژنراتور	лт.9т kg
وزن استاتور	۲۳ kg
وزن سیمپیچی	۱۸ kg
وزن مغناطيس دائم	۳۸ kg
وزن لوله آمینیومی	۴.98 kg
متوسط توان خروجي	۱۷ kW
پیک توان خروجی	40.11 kW
متوسط نيروى محركه لكترومغناطيسي	τατα Ν
بازدهی	×11.14

ماشین مختلف است. پرتـاب کننـده خطی مغنـاطیس دائـم لولـهای (۲PMLL) که در مقاله ۴ پیشنهاد شده است و پرتاب کننده خطی تغییر دهنده رلوکتانس (۲SRLL) که در مقاله ۱۶ ارائه شـده است از جدول ۴ میتوان نتیجه گرفت که نیروی خروجی متوسط بر واحـد وزن TPMLG وقتی که این ماشینها در حالت لرزش ۱۰۰ هرتز کار میکننـد بـالاترین است. بنـابراین میتـوان نتیجـه گرفت ژنراتـور پیشنهادی میتواند بـا وزن و مـواد کمتـر الکتریس یته تولید کنـد و الزامات چگالی توان بالاتر را برآورده سازد. علاوه بر این میتواننـد بـه عنوان یک ژنراتور در سیستم استرلینگ استفاده شود.

جدول ۴ مقایسه بین سه گونه مختلف ماشین

متوسط توان خروجی بر واحد وزن (Kw/kg)	متوسط توان خروجی در ۱۰۰ هرتز (kW)	وزن ماشین (kg)	نام ماشین
۰.۲	١٧	۸۳.۶۳	TPMLG
۰.۱	۰.۱۵	1.49	TPMLL
۰.۱	۱۵.۸	148.2	TSRLL

نتيجه گيرى

در این مقاله یک ساختار جدید TPMLG تک فاز برای موتورهای استرلینگ پیشنهاد شده است. هندسه سه بعدی و ابعاد اولیه آن با جزئیات نشان داده شده است و سه روش تحلیلی، مدار معادل مغناطیسی و المان محدود با جزئیات مقایسه میشوند. در نهلیت المان محدود برای تجزیه و تحلیل الکترومغناطیس ی اتخاذ میشود. محدوده محرک از ۲۰۱۵ - تا ۲۰۱۵ متر است و ایزولاینهای پتانسیل بردار مغناطیسی را میتوان در ۲۰۱۵ و و و ۲۰۰۱ - متر به دست آورد. شدت مغناطیس شدگی و شدت میدان الکتریکی القایی در این موقعیتها را میتوان به صورت جداگانه به دست آورد و یک مدل FD FE ^۱/ از آن ایجاد کرد و عملکرد دینامیکی تحت مرکانسهای متقابل مختلف مقایسه و آنالیز کرد. نتایج مقایسه بین سه نوع ماشین مختلف نشان میدهد که TPMLG از مزایای چگالی

^v Tubular PM linear launcher

[^] tubular switched reluctance linear launcher

Magn., vol. °(r, no. 1), Nov. (r, 1), Art. no. $(r, 1), \xi$.

- C. Liu, H. Yu, M. Hu, Q. Liu, and S. Zhou,
 "Detent force reduction in permanent magnet tubular linear generator for direct-driver wave energy conversion," IEEE Trans. Magn., vol. f9, 00. 6, 00. 1917–1918, May Y • 1".
- [17] S. L. Ho, Q. Wang, S. Niu, and W. N. Fu, "A novel magnetic-geared tubular linear machine with Halbach permanent-magnet arrays for tidal energy conversion," IEEE Trans. Magn., vol. °1, no. 11, Nov. 7.1°, Art. no. ^1177.5.
- [17] A. Shuraiji, Z. Q. Zhu, and Q. F. Lu, "A novel partitioned stator flux reversal permanent magnet linear machine," IEEE Trans. Magn., vol. °⁷, no. ¹, Jan. ⁷ · ¹, Art. no. ⁹ · · · ² · ⁷.
- [15] C. Liu, H. Yu, M. Hu, Q. Liu, S. Zhou, and L. Huang, "Research on a permanent magnet tubular linear generator for direct drive wave energy conversion," IET Renew. Power Gener., vol. ^A, no. ^r, pp. ^{rA1}–^{rAA}, Apr. ^r·¹⁵.
- [1°] H. Chen, Q. Wang, and H. H.-C. Iu,
 "Acceleration closed loop control on a switched reluctance linear launcher," IEEE Trans.
 Plasma Sci., vol. ٤1, no. °, pp. 1171–1177,
 May ٢٠١٣
- [17] H. Chen, R. Nie, M. Sun, W. Deng, and K. Liang, ""-D electromagnetic analysis of singlephase tubular switched reluctance linear launcher," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 50, no. V, pp. 1007-1070, May YOLV.

توان بالا راندمان بالا و توان خروج ی بـالا برخ وردار اسـت عـلاوه بـر آنTPMLG پیشنهادی میتواند با وزن و مواد کمتر الکتریسیته تولید کند.

مراجع

- [1] K. Lee, S. Lee, J. Park, J. Choi, and K. Sim, "Design and experimental analysis of a " kW single-phase linear permanent magnet generator for stirling engines," IEEE Trans. Magn., vol. °[±], no. ¹¹, Nov. ^r¹A, Art. no. ^{Ar^{*}}[±]^r².
- Y. Li, S. Choi, C. Yang, and F. Wei, "Design of variable-speed dish- Stirling solar-thermal power plant for maximum energy harness," IEEE Trans. Energy Convers., vol. "., no. ', pp. "9٤-٤.", Mar. '.'o.
- [^r] C. Shi, D. Li, R. Qu, H. Zhang, Y. Gao, and Y. Huo, "A novel linear permanent magnet Vernier machine with consequent-pole permanent magnets and Halbach permanent magnet arrays," IEEE Trans. Magn., vol. °^r, no. 11, Nov. ^r.1^v, Art. no. ^r°.1^ε.^ε.
- [2] H. Chen, K. Liang, R. Nie, and X. Liu, "Threedimensional electromagnetic analysis of tubular permanent magnet linear launcher," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. YA, no. Y, Apr. Y.VA, Art. no. 29.010A.
- [°] H. Chen, S. Lv, and Q. Wang, "Temperature distribution analysis of a switched reluctance linear launcher," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 11, no. °, pp. 11177, May 7.17".
- [7] H. Chen and Q. Wang, "Modeling of switched reluctance linear launcher," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. ٤', no. °, pp. \\\\\"-\\\", May \\\".
- [V] Q. Wang et al., "Design considerations of tubular transverse flux linear machines for electromagnetic launch applications," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. [£]", no. °, pp. ¹^{*}[£]A-¹^{*}°", May ^{*}¹°.
- [^A] S. Mu, C. Jianyun, S. Xudong, and W. Shanming, "A variable pole pitch linear induction motor for electromagnetic aircraft launch system," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. £^r, no. °, pp. 1^r£¹-1^r°¹, May ^r·1°.
- [9] X. Huang, Q. Tan, Q. Wang, and J. Li, "Optimization for the pole structure of slot-less tubular permanent magnet synchronous linear motor and segmented detent force compensation," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. ^Y, no. ^Y, Oct. ^Y, ^Y, Art. no. ^Y))^E.^o.
- [1.] L. Xu, M. Lin, X. Fu, X. Zhu, C. Zhang, and W. Wu, "Orthogonal magnetic field analysis of a double-stator linear-rotary permanent magnet motor with orthogonally arrayed permanent magnets," IEEE Trans.