

ISME2019-1691

بررسی و تحلیل نمونه ماشین مغناطیسدائم ورنیر جهت کاربری در توربین بادی

حسين طاهرى¹، على جبارى²، علىاصغر قديمى³

abcsoheil7@gmail.com ^۲دانشجوی کارشناسی ارشد مکاترونیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، a-jabbari@araku.ac.ir ²استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، a-ghadimi@araku.ac.ir

چکیدہ

با توجه به اینکه انرژیهای تجدیدناپذیر رو به اتمام و بسیار پر هزینه هستند، انرژی باد که از نوع انرژیهای نو می باشد امروزه بسیار مورد توجه هستند. با توجه به اینکه سرعت باد معمولا با ژنراتورهای امروزی منطبق نیست باعث مشکلات زیادی مانند کاهش راندمان و افزایش تنش مکانیکی در عملکرد ژنراتور میشود. برای رفع این مشکل نیز جایگزین هایی پیشنهاد شده است که آن ها نیز دارای معایبی می باشند. اخیرا این مشکل با معرفی ماشین مغناطیسدائم ورنیر بر طرف شده است. ماشینهای مغناطیسدائم ورنیر با توجه به عملکرد گشتاور بسیار بالا در سرعت پایین مورد توجه هستند. در این مقاله نمونهای جدید از ماشین مغناطیسدائم ورنیر روتور داخلی 3 فاز جهت کاربری در توربین بادی پیشنهاد شده است. همچنین معادلات پتانسیل بردار با توجه به شرایط مرزی حصول شده است.نمونه پیشنهادی تلفیقی از ماشینهای مغناطیس دائم ورنیر قطب گسسته و هیبریدی می باشد، که شامل ویژگیهای جذاب هر دو این تقسیمبندیها می شود. همچنین چینش آهنربا در استاتور نیز آرایش اسپوک میباشد که ویژگیهای آن در این مقاله ارائه شده است.

واژه های کلیدی

سرعت پایین-گشتاور بالا، ماشین مغناطیسدائم ورنیر، چینش آهنربا اسپوک، معادلات لاپلاس و پواسون، توربین بادی

1 مقدمه

منابع انرژی تجدیدپذیر ^۱و سیستمهای ذخیره انرژی ۲ کلیـد کـاهش آلودگیهای تولید شده توسط نیروگاههایی فسیلی و همچنین محدود کردن هزینه خرید انرژی میباشند.

انرژی تجدیدپذیر ^۳ ، به انواعی از انرژی می گویند که منبع تولید آن نوع انرژی، بر خلاف انرژیهای تجدیدناپذیر (فسیلی)، قابلیت آن را دارد که توسط طبیعت در یک بازه زمانی کوتاه مجدداً به وجود آمده یا به عبارتی تجدید شود[1] .

در سالهای اخیر با توجه به این که منابع انرژی تجدید ناپذیر رو به اتمام هستند، انرژی باد بدلیل حداقل تاثیرات منفی بر محیط،

دسترسی راحت و مقرون به صرفه بودن مورد توجه بیشتری قرار \mathcal{R}_{c} گرفته است. به طور کلی تولید انرژی باد به دو نوع سرعت ثابت – فرکانس ثابت⁴ (CSCF) و سرعت متغیر – فرکانس ثابت⁵ (VSCF) تقسیم بندی می شوند. با توجه به محدوه حرکت سرعت باد (VSCF) و تطابق نداشتن آن با سرعت توربین (001-200 (rpm) و همچنین تطابق نداشتن آن با ماشینهای الکتریکی مدرن باعث مشکلاتی مانند کاهش راندمان و افزایش تنش مکانیکی می شود. برای رفع این مشکلات می توان از افزایش سرعت دنده های مکانیکی یا طراحی ماشین سرعت پایین استفاده نمود که طرح اول باعث سایش مکانیکی، نویز قابل شنیدن و بازده پایین و طرح دوم باعث افزایش اندازه، وزن و هزینه ساخت می شوند[2].

ماشینهای مغناطیسدائم برای کاربردهای سرعت پایین -گشتاور بالا مانند موتورهای خودرو⁶، محرکه کشتی و توربینهای بادی مناسب هستند. با توجه به افزایش ابعاد ماشین و تلفات مس در ماشینهای مغناطیس دایم، ماشینهای مغناطیس دایم ورنیر⁷ با قابلیت ایجاد گشتاور بالا در سرعت پایین برای کاربردهای درایو مستقیم به عنوان بهترین جایگزین آنها محسوب می شوند[3].

مهم ترین ویژگی ماشین مغناطیسدایم ورنیر قابلیت گشتاور بالا در سرعت چرخش بسیار پایین می باشد. این قابلیت گشتاور بالا به علت اثر چرخش مغناطیسی می باشد.

مفهوم ماشین رلوکتانسی ورنیر در سال 1963 توسط لی⁸ معرفی شد[4]. سپس ماشین مغناطیسدایم ورنیر توسط ایشیزاکی و همکاران در سال 1995 برای فراهم کردن گشتاور بالا در سرعت پایین ارایه شد [5].سپس توبا⁹ و لیپو¹⁰ برای دستیابی به حداکثر گشتاور طرحی از ماشین مغناطیس دایم ورنیر که آهنرباها روی روتور قرار گرفته بودند پیشنهاد کردند[6].

در این مقاله، هدف ارائه نمونهای جدید از ماشین مغناطیسدائم ورنیر سه فاز روتور داخلی به منظور بهبود توضیع چگالی شار با توجه

¹ Renewable Energy Sources

² Systems Energy Storage

³ Renewable energy

⁴ Constant-Speed Constant-Frequency

⁵ Variable-Speed Constant-Frequency

⁶ Vehicles Motors

⁷ Permanent magnet Vernier

⁸ C. H. Lee

⁹ A. Toba

¹⁰ T. A. Lipo

به چینش آرایش آهنربا در استاتور به شکل اسپوک¹¹ و همچنین بدست آوردن معادلات حاکم بر نمونه پیشنهادی میباشد.

بخش اول شامل مقدمهای از ماشینهای مغناطیسدائم ورنیر، بخش دوم معرفی ساختار نمونه پیشنهادی، در بخش سوم به محاسبات پتانسیل بردار مغناطیسی با توجه به شرایط مرزی طرح پیشنهادی، بخش چهارم به بررسی و تحلیل شبیهسازی طرح در نرم افزار تحلیل اجزا محدود Ansys Maxwell اختصاص خواهد داشت و بخش آخر مربوط به نتیجه گیری خواهد بود.

2 معرفي ساختار ماشين مغناطيسدائم ورنير پيشنهادي

ماشین مغناطیس دائم ورنیر معمولا بر اساس نوع مدولاسیون به دو نوع قطب گسسته و هیبریدی طبقه بندی می شوند. در نوع هیبریدی آهن رباها روی استاتور به منظور مدولاسیون میدان مغناطیسی فاصله هوایی استفاده می کند. در حالی که در قطب گسسته از دندانه های شیار استاتور برای مدولاسیون میدان مغناطیسی فاصله هوایی استفاده می کند. طرح پیشنهادی، تلفیقی از دو نمونه معرفی می باشد که در ادامه به مشخصات ساختار و پارامترهای آن خواهیم پرداخت.

ماشین مغناطیس دائم ورنیر 3 فاز روتور داخلی پیشنهادی را می توان در شکل 1 مشاهده نمود. روتور این طرح شامل 8 اسلات می باشد، هر اسلات نیز شامل 2 قطب مدولاسیون شار¹² (FMPs) می شود، که در مجموع 16 FMPs خواهیم داشت. همچنین روی شیار هر یک از اسلاتهای روتور، آهنربایی با چینش شعاعی¹³ و جهت مغناطیسی مثبت و منفی به صورت یک در میان قرار دادهایم. استاتور نیز شامل 24 شیار می باشد، 12 اسلات برای سیم پیچی

دولایه که نحوه اتصالهای آن در جدول 1 قابل مشاهده است و 12 اسلات دیگر جهت قرارگیری آهنربا با چینش اسپوک تعبیه شده است. در شکل 2 جهت مغناطیسی چینش اسپوک را میتوان مشاهده نمود.

پارامترهای طرح در جدول 2 قابل مشاهده میباشد.

جنس یوغ روتور و استاتور مواد فرو مغناطیس از جنس ورق،های سیلیکونی به ضخامت 0/5 میلی متر می باشند.



¹¹ Spoke Type

		-		
خروجي اسلات	ورودي اسلات	دور	فاز	رديف
2 B	1 T	8	А	كويل1
3 B	2 T	7	- C	كويل2
4 B	3 T	8	В	كويل3
5 B	4 T	7	- A	كويل4
6 B	5 T	8	С	كويل5
7 B	6 T	7	- B	كويل6



شکل 2: جهت مغناطیسی چینش اسپوک آهنربا

ابعاد (mm)	پارامتر
11	قطر داخلی روتور
38	قطر خارجي روتور
38/5	قطر داخلى استاتور
70	قطر خارجي استاتور
0/5	فاصله هوايى
15*3*2	ابعاد آهنربا روتور
10*10*5	ابعاد أهنربا استاتور
0/5	ابعاد ورق سيليكوني
30 عدد	تعداد ورق سيليكوني

دائم ورنير پيشنهادي	ماشين مغناطيس	2: پارامترهای	جدول
---------------------	---------------	---------------	------

3 معادلات بردار پتانسیل مغناطیسی حاکم بر ماشین پیشنهادی



شکل 3: ناحیهها و شعاعهای ماشین مغناطیسدایم ورنیر پیشنهادی

در این بخش حل عمومی معادله لاپلاس یا پواسون هر ناحیه از

¹² Flux Modulation Poles

¹³ Radial Magnetization

$$\begin{aligned} \text{adding the set of the set o$$

$$(a_n \operatorname{Csc} h(nt_5) + b_n) \operatorname{Cos}(n\theta) + (c_n \operatorname{Csc} h(nt_5) + d_n) \operatorname{Sin}(n\theta)$$

$$= a_h \operatorname{Cot}\left(\frac{h\pi}{\alpha}t_3\right)$$
(14)

$$A^{III}\Big|_{t=t_4} = A^{II}\Big|_{t=t_3} \to \to \to \theta_j \le \theta \le \theta_j + \beta \Rightarrow$$

$$(a_n \operatorname{Csc} h(nt_5) + b_n) \operatorname{Cos}(n\theta) + (c_n \operatorname{Csc} h(nt_5) + d_n) \operatorname{Sin}(n\theta) \qquad (15)$$

$$= -R_2 \left(e^{-t_3}\right) (-1)^j B_r \left(\theta - \theta_j - \frac{\beta}{2}\right) + a_m \operatorname{Cot}\left(\frac{m\pi}{\beta}t_4\right)$$

$$\begin{aligned} & @t = t_4 \Rightarrow \frac{\partial A^{III}}{\partial t} \Big|_{t=t_5} = 0 \Rightarrow \\ & \left(b_n \frac{\cos h\left(\left(t - t_5 \right) \right)}{\cosh \left(n \left(t_4 - t_5 \right) \right)} \right) \cos \left(n \theta \right) + \left(d_n \frac{\cos h\left(\left(t - t_5 \right) \right)}{\cos h \left(\left(t_4 - t_5 \right) \right)} \right) \sin \left(n \theta \right) = 0 \end{aligned}$$

$$(16)$$

$$A^{m}|_{t=t_{5}} = A^{N}|_{t=t_{6}} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \theta_{k} \le \theta \le \theta_{k} + \gamma \Rightarrow$$

$$(a_{n} + b_{n} \operatorname{Csc} h(nt_{4}))\operatorname{Cos}(n\theta) + (c_{n} + d_{n} \operatorname{Csc} h(nt_{4}))\operatorname{Sin}(n\theta) \quad (17)$$

$$= -\frac{1}{2} \mu_{0} J\left(t_{4} + \frac{1}{2}e^{-2t_{6}}\right)(a_{4} \operatorname{Cot}(t_{4}))$$

$$2^{\mu_{0}} \begin{pmatrix} e + 2 \\ e - 2 \end{pmatrix}^{(a_{k} \in O(P_{0}))} A^{m} \Big|_{t=t_{5}} = A^{v} \Big|_{t=t_{6}} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \theta_{p} \le \theta \le \theta_{p} + \lambda \Longrightarrow$$

$$(a_{n} + b_{n} \operatorname{Csc} h(nt_{4})) \operatorname{Cos}(n\theta) + (c_{n} + d_{n} \operatorname{Csc} h(nt_{4})) \operatorname{Sin}(n\theta) \quad (18)$$

$$= \mu_{0} R_{4} e^{-t_{6}} M_{\theta} + a_{w}$$

3-3 معادله بردار پتانسیل حاکم بر آهنربا روتور (ناحیه III) با توجه به قرار گرفتن آهنربا در این ناحیه، معادله حاکم پواسون خواهد بود. پس داريم:

$$\frac{\partial A^{I}}{\partial \theta}\Big|_{\theta=\theta_{i}} = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\partial A^{I}}{\partial \theta}\Big|_{\theta=\theta_{i}+\alpha} = 0 \tag{7}$$

$$A^{I} = \left(a_{h}\frac{\alpha}{h\pi} \frac{\left(\operatorname{Cos} h\left(\frac{h\pi}{\beta}(t-t_{1})\right)\right)}{\left(\operatorname{Sin} h\left(\frac{h\pi}{\beta}(t_{3}-t_{1})\right)\right)}\right) \operatorname{Cos}\left(\frac{h\pi}{\beta}(\theta-\theta_{i})\right) \quad (8)$$

$$a_{h} = \frac{2}{\alpha} \int_{\theta_{i}}^{\theta_{i} + \alpha} \frac{\partial A^{III}}{\partial t} \Big|_{t = t_{4}} \cos\left(\frac{h\pi}{\beta} \left(\theta - \theta_{i}\right)\right) d\theta \quad (8)$$

2-3 معادله بردار پتانسیل حاکم بر فاصله هوایی بین روتور و استاتور (ناحیه III)

معادله حاكم بر اين ناحيه نيز لاپلاس ميباشد.

$$\frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial \theta^2} = 0 \quad for \begin{cases} t_5 \le r \le t_4 \\ 0 \le \theta \le 2\pi \end{cases}$$
(9)

ISME2011, 10-12 May, 2011

3 1777

$$a_{m} + X_{m}^{'}(t) \bigg|_{t=t_{3}} \cos\left(\frac{m\pi}{\beta}\varphi_{i}\right) =$$

$$\frac{2}{\beta} \int_{\theta=\theta_{j}}^{\theta=\theta_{j}+\beta} \frac{\partial A^{III}}{\partial t} \bigg|_{t=t_{4}} \cos\left(\frac{m\pi}{\beta}(\theta-\theta_{j})\right) d\theta$$
(IV معادله بردار پتانسیل حاکم بر سیم پیچ (ناحیه (ناحیه معادله پواسون خواهیم داشت:
در ناحیه سیم پیچ معادله پواسون خواهیم داشت:

$$\frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial \theta^2} = -\mu_0 J \quad for \begin{cases} t_7 \le r \le t_6 \\ \theta_k \le \theta \le \theta_k + \lambda \end{cases}$$
(30)

که
$$T_6 = 0$$
 ، $t_7 = L_n \frac{R_4}{R_5}$ که $t_6 = 0$ ، $t_7 = L_n \frac{R_4}{R_5}$

شرایط مرزی ناحیه به شکل زیر خواهد بود.

$$\frac{\partial A^{N}}{\partial \theta}\Big|_{\theta=\theta_{k}} = 0 \tag{31}$$

$$\frac{\partial A^{N}}{\partial \theta}\Big|_{\theta=\theta_{k}+\lambda}=0\tag{31}$$

$$\frac{\partial A^{IV}}{\partial t}\Big|_{t=t_6} = \frac{\partial A^{III}}{\partial t}\Big|_{t=t_5}$$
(32)

$$\frac{\partial A^{N}}{\partial t}\Big|_{t=t_{\gamma}} = 0 \tag{33}$$

$$A^{IV} = \left(a_{k} \frac{\lambda}{k\pi} \frac{\operatorname{Cos}h\left(\frac{k\pi}{\lambda}(t-t_{7})\right)}{\operatorname{Sin}h\left(\frac{k\pi}{\lambda}(t_{6}-t_{7})\right)}\right) \operatorname{Cos}\left(\frac{k\pi}{\lambda}(\theta-\theta_{k})\right) - \frac{1}{2}\mu_{0}J\left(e^{-t_{7}}t + \frac{1}{2}e^{-2t+t_{7}}\right)$$
(34)

$$\mu_0 J * \operatorname{Sin} h(t_7) = \frac{1}{\lambda} \int_{\theta_k}^{\theta_k + \lambda} \frac{\partial A^{III}}{\partial t} \Big|_{t=t_5} d\theta$$
(35)

$$a_{k} = \frac{2}{\lambda} \int_{\theta_{k}}^{\theta_{k}+\lambda} \frac{\partial A^{III}}{\partial t} \Big|_{t=t_{5}} \cos\left(\frac{k\pi}{\lambda}(\theta - \theta_{k})\right) d\theta \quad (36)$$

3-5 معادله بردار پتانسیل حاکم بر آهنربا استاتور (ناحیه V) برای ناحیه آهنربا استاتور معادله پواسون حاکم میباشد.

$$\frac{\partial^{2}A}{\partial t^{2}} + \frac{\partial^{2}A}{\partial \theta^{2}} = \frac{-\mu_{0}}{r} (M_{\theta}) \quad for \begin{cases} t_{8} \leq r \leq t_{6} \\ \theta_{p} \leq \theta \leq \theta_{p} + \gamma \end{cases}$$
(37)
$$\therefore t_{6} = 0 \quad t_{8} = L_{n} \frac{R_{4}}{R_{6}}$$
(37)
$$\therefore t_{6} = 0 \quad t_{8} = L_{n} \frac{R_{4}}{R_{6}}$$
(37)
$$\therefore t_{10} = 0 \quad t_{10} = 0$$
(38)

$$\frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 A}{\partial \theta^2} = \frac{-\mu_0}{r} \left(-\frac{\partial M_r}{\partial \theta} \right) \quad for \begin{cases} t_4 \le r \le t_3 \\ \theta_j \le \theta \le \theta_j + \beta \end{cases}$$
(19)
$$brack t_3 = 0 \quad equal t_4 = L_n \frac{R_2}{R_3}$$
(19)
$$brack t_3 = 0 \quad equal t_4 = L_n \frac{R_2}{R_3}$$
(19)

$$\frac{\partial A^{\prime\prime}}{\partial \theta}\Big|_{\theta=\theta_{j}} = R_{2}e^{-t}\left(-1\right)^{j}B_{r}$$
(20)

$$\frac{\partial A^{II}}{\partial \theta}\Big|_{\theta=\theta_j+\beta} = R_2 e^{-t} \left(-1\right)^j B_r$$
(21)

$$\frac{\partial A^{II}}{\partial t}\Big|_{t=t_2} = 0 \tag{22}$$

$$\frac{\partial A^{II}}{\partial t}\Big|_{t=t_3} = \frac{\partial A^{III}}{\partial t}\Big|_{t=t_4}$$
(23)

با جایگذاری معادله (19) در شرایط مرزی، معادله کلی انتشار مهربابد:

$$A^{II} = -R_2 \left(e^{-t}\right) \left(-1\right)^j B_r \left(\theta - \theta_j - \frac{\beta}{2}\right) + \left(a_m \frac{\beta}{m\pi} \frac{\cos h\left(\frac{m\pi}{\beta}\right) \left(t - t_2\right)}{\sin h\left(\frac{m\pi}{\beta}\right) \left(t_3 - t_2\right)}\right) + X_m(t) \cos\left(\frac{m\pi}{\beta} \left(\theta - \theta_j\right)\right)$$
(22)

$$X_{m}(t) = \mu_{0} \frac{h\pi M_{m}}{\beta \frac{m\pi}{\beta} \left(1 - \frac{m\pi^{2}}{\beta}\right)} R_{2} \left(e^{-t} + \frac{1}{m\pi} e^{\frac{m\pi}{\beta}t}\right) \qquad if \qquad m=1,3,5,\dots \quad (24)$$
$$X_{m}(t) = 0 \qquad \qquad if \qquad m=2,4,6,\dots \quad (25)$$

$$X_{m}(t)\Big|_{t=t_{3}} = -e^{-t^{3}} + e^{\frac{m\pi}{\beta}t_{3}})$$

$$(26)$$

$$\frac{\partial A^{II}}{\partial t}\Big|_{t=t_{3}} = \frac{\partial A^{III}}{\partial t}\Big|_{t=t_{4}} \Longrightarrow$$

$$R_{2}\left(e^{-t_{3}}\right)B_{r}\left(\theta-\theta_{j}-\frac{\beta}{2}\right)+$$

$$X^{+}(t)\left(\cos\left(\frac{m\pi}{\beta}\varphi_{i}\right)\right)\cos\left(\frac{m\pi}{\beta}(\theta-\theta_{j})\right)$$

$$(27)$$

$$= \frac{\partial A^{III}}{\partial t}\Big|_{t=t_{4}}$$

$$R_{2}\left(e^{-t_{3}}\right)B_{r}\left(\theta-\theta_{j}-\frac{\beta}{2}\right)=$$

$$R_{2}\left(e^{-t_{3}}\right)B_{r}\left(\frac{\partial A^{III}}{\partial t}\Big|_{t=t_{4}}d\theta$$

$$(28)$$

$$\frac{\partial A^{V}}{\partial \theta}\Big|_{\theta=\theta_{p}+\gamma}=0$$
(39)

$$\frac{\partial A^{V}}{\partial t}\Big|_{t=t_{6}} = \frac{\partial A^{III}}{\partial t}\Big|_{t=t_{5}}$$
(40)

$$\frac{\partial A^{IV}}{\partial t}\Big|_{t=t_8} = 0 \tag{41}$$

$$A^{V} = -\mu_{0}R_{4}e^{-t}M_{\theta} + \left(a_{w}\frac{\gamma}{w\pi}\frac{\operatorname{Cos}h\left(\frac{w\pi}{\lambda}\right)(t-t_{7})}{\operatorname{Cos}h\left(\frac{w\pi}{\lambda}\right)(t_{6}-t_{7})}\right) \quad (42)$$
$$+\operatorname{Cos}\left(\frac{w\pi}{\lambda}(\theta-\theta_{n})\right)$$

$$\cos\left(rac{w\pi}{\lambda}(heta - heta_p)
ight)$$
عادله ضرایب به شکل زیر خواهد بود.

$$-\mu_0 R_4 e^{-t} M_\theta = \frac{1}{\gamma} \int_{\theta_p}^{\theta_p + \gamma} \frac{\partial A^{III}}{\partial t} \Big|_{t=t_5} d\theta$$
(43)

$$-\mu_0 R_4 e^{-t} M_\theta = \frac{2}{\gamma} \int_{\theta_p}^{\theta_p + \gamma} \frac{\partial A^{III}}{\partial t} \Big|_{t=\tau_5} \cos\left(\frac{w \pi}{\lambda} \left(\theta - \theta_p\right)\right) d\theta \quad (44)$$

4 بررسی نتایج و تحلیل 2D نمونه پیشــنهادی در نــرمافــزار انسیس-مکسول

روش اجـزا محـدود تصـدیق مـینمایـد کـه عملکـرد ماشـین پیشنهادی بهبود یافته است. شکل 4 توزیع شار از FMPs را نشـان میدهد. قابل مشاهده است که شـارها بـدون اینکـه اشـباع شـوند از FMPs عبور کـرده و سـپس بـه خـوبی در اسـتاور القـا مـیشـوند. همچنین عملکرد خوب کویلها را در شکل میتوان دید.



شکل 4: توزیع شار در ماشین مغناطیسدایم ورنیر

در شکل 5 مغناطیس شوندگی آهنربا اسپوک را می توان مشاهده نمود که عملکرد چینش آهنربا که در شکل 2 نشان داده ایم را تصدیق می کند. این چینش موجب کاهش حجم آهنربا مصرفی در طرح و در نتیجه کاهش هزینه نمونه بدون کاهش بازده ماشین را نشان می دهد.



شکل 6 میدان مغناطیس و شکل 7 مقادیر میدان مغناطیسی در ماشین پیشنهادی را به نمایش قرار میدهد. تصدیق میشود که میدان پراکندگی میدان مغناطیسی در ماشین بسیار مطلوب میباشد. لازم به ذکر میباشد که نقاط اشباع میدان مغناطیسی به صورت نقطهای میباشد که تاثیر آن در عملکرد ماشین قابل چشم پوشی میباشد.

در شکل 8، نمودار میدان مغناطیسی ماشین مغناطیسدائم ورنیر قابل مشاهده است که شبهسینوسی بودن توزیع آن را تصدیق مینماید.



شکل 6: توزیع میدان مغناطیس در ماشین پیشنهادی



شکل 7: مقادیر میدان مغناطیس در ماشین پیشنهادی



شکل 9 نمودار ولتاژ نیروی مغناطیسی الکتریکی¹⁴ (EMF) را نشان میدهد. میتوان ملاحظه نمود که شکل موج ولتاژ 3 فاز خروجی سینوسی و همچنین مقادیر آن با توجه به اندازه بسیار کوچک نمونه بسیار ایدهال میباشد.





نتيجه گيري و جمع بندي

در این مقاله نمونهای جدید از ماشین مغناطیسدائم ورنیر 3 فاز روتور خارجی جهت کاربری در توربین بادی ارائه گردید. معادلات لاپلاس و پواسون با توجه به شرایط مرزی و قرارگیری سیمپیچها و آهنرباها مورد بررسی قرار گرفت. طرح پیشنهادی شامل ویژگیهای جذاب دو تقسیم بندی مدل هیبریدی و قطبگسسته ماشین مغناطیس دائم ورنیر میباشد که میتوان به بهبود توزیع شار از FMPs و میدان مغناطیسی بدون اشباع شدن اشاره نمود. همچنین جنس یوغ که از ماده فرومغناطیس میباشد موجب افزایش چگالی شار میشود.

ولتاژ خروجی 25 ولت میباشد که با توجه به اندازه پایین ژنراتور و حجم مصرفی پایین آهنربا ایدهال میباشد. از ویژگیهای چینش اسپوک آهنربا و همچنین سیمپیچی دولایه میتوان به بالا بودن چگالی گشتاور، شکل موج سینوسی ولتاژ، افزایش ولتاژ خروجی، کاهش مواد خام مصرفی مانند آهنربا، کاهش هزینه ساخت و ساختار ساده ماشین اشاره نمود.

مراجع و منابع

- [1] Fanti, M.P., Mangini, A.M., Roccotelli, M. and Ukovich, W., 2017, May. Optimal energy management integrating renewable energy, energy storage systems and electric vehicles. In Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2017 IEEE 14th International Conference on (pp. 519-524). IEEE.
- [2] Li, J., Chau, K.T., Jiang, J.Z., Liu, C. and Li, W., 2010. A new efficient permanent-magnet vernier machine for wind power generation. IEEE Transactions on Magnetics, 46(6), pp.1475-1478.
- [3] Raza, M., Zhao, W., Lipo, T.A. and Kwon, B.I., 2017. Performance Comparison of Dual Airgap and Single Airgap Spoke-Type Permanent-Magnet Vernier Machines. IEEE Transactions on Magnetics, 53(6), pp.1-4.
- [4] Lee, C.H., 1963. Vernier motor and its design. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 82(66), pp.343-349.
- [5] Li, D., Qu, R., Li, J. and Xu, W., 2015. Consequent-pole toroidal-winding outer-rotor vernier permanent-magnet machines. IEEE Transactions on Industry Applications, 51(6), pp.4470-4481.
- [6] Toba, A. and Lipo, T.A., 2000. Generic torquemaximizing design methodology of surface permanentmagnet vernier machine. IEEE transactions on industry applications, 36(6), pp.1539-15

¹⁴ Electromotive Force





بیست و هفتمین کنفرانس سالاته بین المللی انجمن مهندسان مکانیک ایران

هفتمین کنفرانس صنعت نیروگاه های حرارتی ۱۰-۱۱ ردیبینت ۱۳۹۸ تیران

كوابى ارانه مقاله

بديوسيد كوابى مى شودكه مقالدما عوان:

((بررسی و تحلیل نمونه ماشین مغناطیس دائم ورنیر جهت کاربری در توربین بادی)

توسط نوستدكان:

((حسین طاهری، علی جباری، علی اصغر قدیمی))

در ميت و بعتمين كتران سالدين اللى الجمن مهندمان كانيك ايران (ISME 2019) و بعثمين كتران صنعت نيردكاه بلى ترارتى كه در تاريخ ١٠ تا ١٢ ارديبشت ١٣٩٨ د. تهران وتوسط الجمن

مندسان کانیک ایران و کروه چنا برکزارشد، ارازشده است. کمیته علمی بهایش از حضور این عزیزان قدردانی نموده و آرزوی توفیق روزافزون برای آنان دارد.

وكترخلامحسين لياقت مسرح المريحين لياقت مسرحا يش

ببست و هفتمین تنفرانس سالانه بین الطلی انجمن مهندسان مكانيك ايران و هفتمين كنفرانس ضنعت نیروکاههای حرارتی TTA micesoullenty

وكتر حامداحدى

. انجمن مهندسان مکانیک ایران