



www.ElitesJournal.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

ISSN 2538-581X

جلد ۲- شماره ۲- سال ۱۳۹۶



بهینه سازی راندمان موتور القایی شار محوری تک فاز خازن دایم یک طرفه به کمک الگوریتم ژنتیک

حسین زنگویی^{۱*}، امیر اسمعیلی ابهریان^۲، علی بوبه رز^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت موسسه آموزش عالی ادیبان گرمسار، گرمسار، ایران

۲- گروه مهندسی کنترل، دانشکده برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرمسار، گرمسار، ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی برق-قدرت دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

*aliboobehrej@gmail.com

ارسال: خرداد ماه ۹۶ پذیرش: تیرماه ۹۶

خلاصه

کاربرد روز افزون موتورهای شارمحوری و به خصوص نوع تکفاز خازن دایم و مساله ی راندمان پایین آن، باعث اهمیت مساله بهینه سازی این نوع موتورها گردیده است. در این مقاله، ضمن معرفی الگوریتم کلاسیک طراحی این نوع موتورها و معرفی اجمالی روش الگوریتم ژنتیک، از این الگوریتم که یک روش بهینه سازی هوشمند و تصادفی است، جهت طراحی بهینه استفاده شده است. بدین منظور یک موتور القایی تک فاز شار محوری خازن دایم یک طرفه، که کاربرد قابل توجهی در سیستم‌های تهویه مطبوع دارد، انتخاب شده است. در ادامه به وسیله استفاده از فرمول‌های طراحی این نوع موتورها و به کمک مدار معادل حالت دائمی پیشنهادی، بهینه سازی راندمان، با استفاده از نرم افزار متلب انجام شده است، و نتایج حاصله از نمودارهای گشتاور سرعت، بازده و ضریب توان با نتایج روش طراحی کلاسیک و موتور در حال ساخت در کارخانه، مقایسه گردیده است و نتایج حاصله از آن بیان شده است.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلاسیک طراحی، بهینه سازی، موتور القایی شار محوری تکفاز

۱. مقدمه

از جمله موتورهای شار محوری می‌توان به موتور القایی تک فاز شار محوری اشاره کرد، که کاربرد قابل ملاحظه ای در سیستم های تهویه دارد. از ویژگی های موتور های شار محوری، ساختار فشرده و قابلیت تنظیم فاصله هوایی بعد از طی فرآیند ساخت و هنگام مونتاژ می باشد. با توجه به اینکه تحقیقات انجام گرفته و یا منتشر شده در مورد موتور های القایی شار محوری، به ویژه نوع تک فاز آن بسیار محدود می باشد، بنابراین، ضرورت تدوین الگوریتم طراحی و ارائه روش بهینه سازی برای این نوع از موتور ها، قابل انکار نیست.

ماشین های شار محور (AFMs)^۱ یا دیسکی در سال ۱۸۲۱ توسط فاراده اختراع شد و به تدریج با اختراع ماشین های شار شعاعی (RFMs)^۲ در سال ۱۸۳۷ توسط داون پورت^۳، کاربرد ماشین های شار محوری کاهش یافت [۱،۲]. به طور کلی در ماشین های شار شعاعی، شار فاصله هوایی در راستای شعاعی و عمود بر محور و همچنین هادی ها، محوری قرار گرفته اند، اما در ماشین های شار محوری، شار فاصله هوایی در راستای محور و هادیها به صورت شعاعی، قرار می گیرند. انواع ساختارهای مرسوم ماشین های شار محوری القایی، ساختار با یک فاصله هوایی (یک طرفه)^۴، ساختار با دو فاصله هوایی (دو طرفه)^۵، ساختار با چند فاصله هوایی^۶ و ساختار ترکیبی شار محوری و شار شعاعی است. در شکل ۱ ساختار یک طرفه این نوع ماشین نشان داده شده است.



شکل ۱- ساختار مرسوم یک طرفه ماشین شار محوری

در صنعت، جهت طراحی موتورهای القایی تکفاز با خازن دائم معمولاً از روش های تجربی استفاده می شود، به طوری که ابعاد ماشین، سیم پیچ استاتور، نحوه چیدن سیم ها در شیارها، مقدار خازن و ماده به کار رفته در هسته اصلی موتور از فرمول های مربوطه و گاهی به صورت تجربی به دست آمده و با داشتن این مقادیر، بازده، ضریب توان، قیمت، گشتاور راه اندازی، جریان راه اندازی، لغزش و گشتاور شکست به دست می آید که معمولاً، جواب های به دست آمده قابل قبول هستند اما بهینه نمی باشند. بنابر این برای رسیدن به جوابهای بهینه نیاز به استفاده از روش های دیگری از قبیل طراحی کلاسیک و روشهای تصادفی است [۳].

در منابع [۱] و [۲] مروری بر ساختار، کاربردها، بررسی عملکرد و تا حدی فرمول های موتورهای شار محوری انجام شده است. در [۳] طراحی یک موتور القایی معمولی تکفاز با خازن دائم با استفاده از الگوریتم PSO^۷ بهبود یافته، توضیح داده شده است، اما اشاره ای به الگوریتم ژنتیک و موتور شار محوری نشده است و در [۴] فقط جعبه ابزار آماده ی الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب و پارامترهای این الگوریتم توضیح داده شده است. در [۵] یک موتور القایی معمولی سه فاز با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی شده است و در [۶] طراحی، مدلسازی و بررسی عملکرد موتور القایی تکفاز شار محوری به وسیله روش المان محدود^۸ انجام شده است.

¹ Axial flux machine

² Radial flux machine

³ Davenport

⁴ Single sided axial air gap machine

⁵ Double side axial air gap machine

⁶ multiple air gap axial flux machine

⁷ Particle swarm optimization

⁸ Finite element method

در [۷] و [۸] و [۹] و [۱۰] مدار معادل سیم پیچ اصلی، مدار معادل سیم پیچ کمکی و مدار معادل کلی موتور تکفاز خازن دایم معمولی (شارشعاعی)، مطرح شده است و در [۱۱] و [۱۲] مدار معادل حالت گذرا و مدل DQ برای این نوع موتورها بیان گردیده است.

در [۱۳] با بهره گیری از سه روش المان محدود، الگوریتم ژنتیک و آزمایش های مرسوم، یک موتور القایی شش فاز بهینه شده است و در [۱۴] با بهره گیری از سه الگوریتم تکاملی ژنتیک، PSO^۱ و ICA یک موتور القایی سه فاز بهینه سازی گردیده است.

در این مقاله بعد از ارائه الگوریتم طراحی کلاسیک، با استفاده از فرمولهای طراحی ارائه شده، بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک انجام شده است. با توجه به اینکه در هیچ منبعی در مورد بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک موتورهای شار محوری صحبت نشده است، ضرورت انجام این نوع بهینه سازی احساس می گردد. در این مقاله، نتایج حاصله از این دو روش مقایسه شده است و در پایان نمودارهای گشتاور سرعت و بازده و پارامترهای مدار معادل با یکدیگر مقایسه گردیده اند.

۲. مفاهیم الگوریتم ژنتیک

روش های مختلفی برای حل مسائل بهینه سازی وجود دارد. این روش ها را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

- روش های کلاسیک ریاضی:

در این روش ها مشتق تابع را برابر صفر قرار داده و نقاط بیشینه و کمینه محاسبه می شود. این روش ها برای توابعی که دارای متغیرهای زیاد یا نقاط بیشینه و کمینه زیاد باشد مناسب نمی باشد، زیرا اغلب این روش ها نقطه بهینه محلی (Local) را بعنوان نقطه بهینه کلی، در نظر می گیرند.

- روش های مبتنی بر جستجو:

در این روش ها نقاطی از محدوده جستجو، بطور تصادفی انتخاب و تست می شوند و سپس با روش های مختلفی به سمت نقاط بهینه حرکت می شود. یکی از این روش ها الگوریتم ژنتیک است که با الهام گیری از تئوری تکامل و اصول ژنتیک به جستجوی راه حل مناسب برای مسائل می پردازد. بدین منظور ابتدا چندین پاسخ تصادفی برای مسئله مورد نظر تولید شده و در مراحل بعدی این پاسخ های ابتدائی با استفاده از اصول ژنتیک به تکامل رسیده و به پاسخ مناسب تبدیل می شود. این الگوریتم، بارها یک جمعیت را از راه حل های منفرد تغییر می دهد، که این تغییرات به عنوان تکامل تعریف می شود. در هر گام از این تکامل، دو عضو به عنوان جمعیت جدید، به طور تصادفی به عنوان والدین انتخاب می شود و فرزندان آنها به عنوان نسل بعدی در نظر گرفته می شود. با این ساختار جمعیت به سمت یک راه حل بهینه تکامل می یابد. بنابراین با استفاده از الگوریتم ژنتیک می توان بسیاری از مسائلی که نیاز به بهینه سازی داشته ولی با الگوریتم های استاندارد حل نمی شود، بهینه کرد. توابع هدفی را که ناپیوسته، غیر قابل شناسایی، تصادفی یا غیرخطی هستند، می توان با الگوریتم ژنتیک بهینه کرد [۴].

الگوریتم ژنتیک از سه گروه قانون اصلی برای تولید نسل بعد از نسل حال استفاده می کند [۴]

- قوانین انتخاب (Selection)

از این قانون برای انتخاب افرادی که باید در نسل بعد برگزیده شوند استفاده می شود.

- قوانین ترکیب (Cross over)

برای ترکیب والدین و تولید فرزندان نسل بعد از این قانون استفاده می شود.

¹ Imperialist competitive algorithm

- قوانین جهش (Mutation)

این قانون یک تغییر تصادفی را بر روی جمعیت حاضر ایجاد می کند و یک جمعیت جدید تولید می کند.

- مراحل الگوریتم ژنتیک طبق [۵] به صورت زیر می باشد:

مرحله ۱: تعریف پارامتر و تابع هدف^۱ (مقدار دهی اولیه^۲)

مرحله ۲: ایجاد جامعه^۳ برای اولین بار به طور تصادفی

مرحله ۳: ارزیابی^۴ جمعیت توسط تابع هدف

مرحله ۴: تست همگرایی^۵، اگر رضایت بخش بود پس از آن متوقف و دیگری ادامه خواهد داد.

مرحله ۵: شروع فرایند تولید مثل^۶ (انتخاب^۷، ترکیب^۸، جهش^۹)

مرحله ۶: تولید نسل جدید، برای ادامه بهینه سازی، بازگشت به مرحله ۳.

۳. الگوریتم طراحی کلاسیک

الگوریتم طراحی کلاسیک جهت موتور شار محور تکفاز به صورت شکل ۳ می باشد. در این الگوریتم، بعد از انتخاب

اطلاعات ورودی که معمولا سفارش مشتری می باشد، پارامترهای اختیاری (فرضیات) مانند چگالی جریان، لاند، بارگذاری

الکتریکی ویژه، بارگذاری مغناطیسی ویژه، نسبت تبدیل اسکالر^{۱۰} و ... انتخاب می شوند و بر اساس الگوریتم پیشنهادی،

محاسبات ابعادی استاتور، روتور و سیم پیچی ها انجام می شود و با چک کردن چگالی جریان و ضریب اشباع^{۱۱}، درستی

محاسبات بررسی می گردد. الگوریتم طراحی که در [۶] آمده به صورت شکل ۲ می باشد.

¹ objective function

² Initializing

³ population

⁴ Evaluate

⁵ convergence

⁶ reproduction

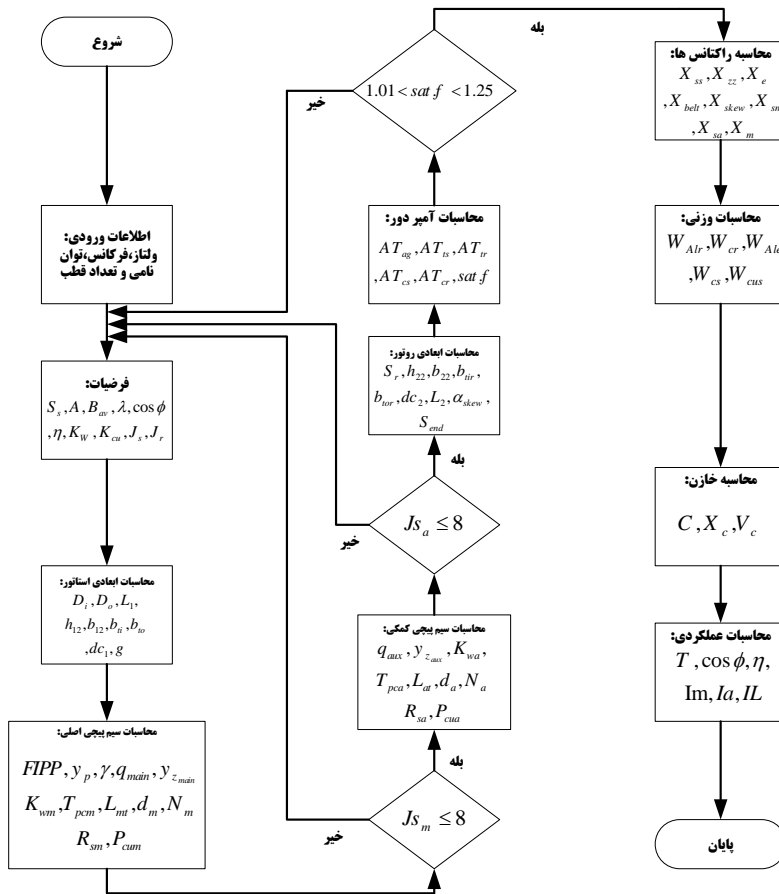
⁷ Selection

⁸ Crossover

⁹ Mutation

¹⁰ Scalar turns ratio

¹¹ Saturation factor



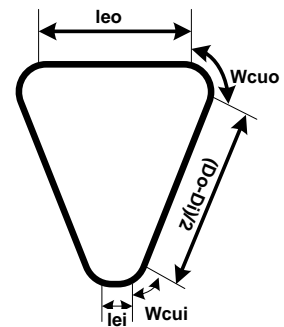
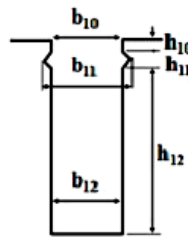
شکل ۲- الگوریتم طراحی کلاسیک موتور شارمغوری

۴. محاسبه پارامترهای طراحی

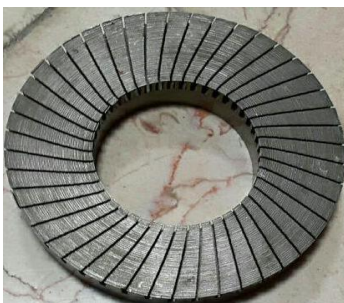
ابعاد قسمت های مختلف استاتور، ابعاد قسمت های مختلف روتور، همچنین ابعاد سیم پیچی موتور، در شکل های زیر نمایش داده شده است.



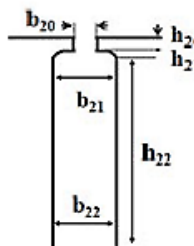
شکل ۳- ابعاد استاتور و شیار های آن



شکل ۵- ابعاد سیم پیچی



شکل ۴- ابعاد روتور و شیار های آن



فرمولها و روابط حاکم بر موتور القایی تکفاز خازن دایم شار محوری طبق [۶] به شکل ذیل می باشد:

$$\lambda = \frac{D_o}{D_i} \quad (1)$$

$$K_D = \frac{D_i}{D_o} \quad (2)$$

$$FIPP = \varphi_P = B_{av} \tau_p l \quad (3)$$

$$FIPP = B_{max} \times \frac{D_o^2 - D_i^2}{2P} \quad (4)$$

$$L_1 = (2.3 \frac{A}{J_S} + 0.7 \frac{\pi D_i}{4P})(\lambda + 1) \quad (5)$$

$$b_{10} = b_{12} = \frac{\pi}{2S_1} (D_o + D_i) (1 - \frac{B_{g \max}}{B_{t \max}}) \quad (6)$$

$$h_{12} = \frac{A}{2J_S K_{CU}} (1 + \lambda) = \frac{A}{2J_S K_{CU}} (\frac{1 + K_D}{K_D}) \quad (7)$$

$$g = (3.06 - \frac{6560}{D_{avg} + 2280}) \times 10^{-3} \quad (8)$$

$$T_{pc} = \frac{(1 - \Delta V \%) V_1}{4.44f \times FIPP \times K_{Wm} \times P} \quad (9)$$

$$N_{1m} = \frac{\% N_1 \times T_{pc}}{100} \quad (10)$$

$$I_{Lph} = \frac{P_{out}}{rW \cos \phi} \quad (11)$$

$$I_{mph} = \frac{I_{Lph}}{\sqrt{1 + (\frac{1}{a})^2}} \quad (12)$$

$$S_m = \frac{I_{mph}}{J_S} \quad (13)$$

$$d_m = \sqrt{\frac{4S_m}{\pi}} \quad (14)$$

$$S_a = \frac{N_{1m}}{N_{1a}} \times S_m \quad (15)$$

$$d_a = \sqrt{\frac{4S_a}{\pi}} \quad (16)$$

$$L_{mt} = T_{pc} \times (D_o - D_i + 2W_{cui} + 2W_{cuo} + l_{ei} + l_{eo}) \quad (17)$$

$$R_{sm} = \rho_{75^\circ} \frac{L_{mt} \times P}{S_m} \quad (18)$$

$$L_{at} = T_{pca} \times (D_o - D_i + 2W_{cui} + 2W_{cuo} + l_{ei} + l_{eo}) \quad (19)$$

$$R_{sa} = \rho_{75^\circ} \frac{L_{at} \times P}{S_a} \quad (20)$$

$$X_{ss} = 2.512 \times K_x \times (K_{s1} C_x + K_{s2} \frac{S_1}{S_2}) \times \frac{D_o - D_i}{2S_1} \quad (21)$$

$$K_{zz} = \frac{\pi(D_o + D_i)(S_1 + S_2) - 2S_1 S_2 (b_{10} + b_{20})}{\pi(D_o + D_i)(S_1 + S_2)} \quad (22)$$

$$X_{zz} = K_x \times K_{zz} \times \frac{0.838 \times (D_o - D_i)}{2S_1 L_g} \quad (23)$$

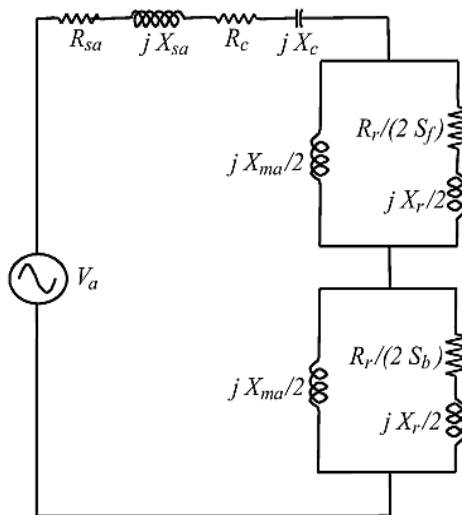
$$X_e = 1.236 \times K_x \times D_g \times \frac{T_{pc} / T_{pp}}{S_1 P} \quad (24)$$

$$X_{belt} = 9.29 \times 10^{-3} K_x K_B \frac{\pi(D_o^2 - D_i^2)}{4K_{ag} L_g \times sat.f \times P} \quad (25)$$

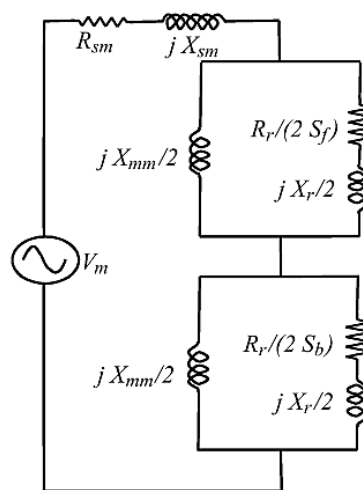
$$X_{skew} = \frac{0.2546 \times \pi(D_o^2 - D_i^2)}{4K_{ag} L_g \times sat.f \times P} \times \frac{K_p \times K_x}{4} \times (\frac{\alpha_{skew}}{100})^2 \quad (26)$$

$$X_{sm} = X_{ss} + X_{zz} + X_e + X_{belt} + X_{skew} \quad (27)$$

همچنین در یک موتور تکفاز القایی با خازن دائم کار، می توان سیم پیچ کمکی و اصلی را به صورت جداگانه، توسط دو مدار معادل که در مرجع [۷] ذکر شده است، به شکل های ۷ و ۶ رسم نمود:

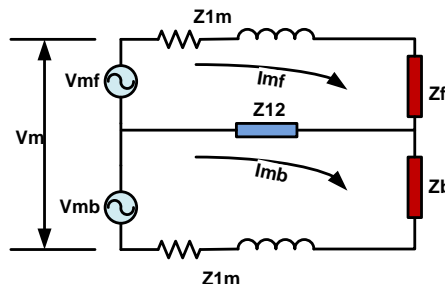


شکل ۷- مدار معادل سیم پیچ کمکی



شکل ۶- مدار معادل سیم پیچ اصلی

مدار معادل حالت دایمی، طبق [۸] و [۹] و [۱۰] و [۱۱] و [۱۲] به شکل ۸ پیشنهاد شده است:



شکل ۸- مدار معادل حالت دایمی موتور تکفاز با خازن دائم شار محوری

طبق مدار معادل فوق الذکر روابط مدل حالت دایمی موتور شار محوری خازن دائم تکفاز به شکل فرمولهای ذیل می باشد:

$$\tilde{Z}_f = jX_m \square \left(\frac{R'_r}{s} + jX'_r \right) = R_f + jX_f \quad (28)$$

$$\tilde{Z}_b = jX_m \square \left(\frac{R'_r}{(2-s)} + jX'_r \right) = R_b + jX_b \quad (29)$$

$$\tilde{Z}_{1a} = (R_{sa} + jX_{sa}) - jX_c \quad (30)$$

$$\tilde{Z}_{12} = \frac{1}{2} (\frac{\tilde{Z}_{1a}}{a^2} - \tilde{Z}_{1m}) \quad (31)$$

$$\tilde{V}_{mf} = \frac{1}{2} (\tilde{V}_m - j \frac{\tilde{V}_a}{a}) \quad (32)$$

$$\tilde{V}_{mb} = \frac{1}{2} (\tilde{V}_m + j \frac{\tilde{V}_a}{a}) \quad (33)$$

$$\tilde{I}_{mf} = \frac{\tilde{V}_{mf} (\tilde{Z}_{1m} + \tilde{Z}_b + \tilde{Z}_{12}) + \tilde{V}_{mb} \tilde{Z}_{12}}{(\tilde{Z}_{1m} + \tilde{Z}_b + \tilde{Z}_{12})(\tilde{Z}_{1m} + \tilde{Z}_f + \tilde{Z}_{12}) - \tilde{Z}_{12}^2} \quad (34)$$

$$\tilde{I}_{mb} = \frac{\tilde{V}_{mb} (\tilde{Z}_{1m} + \tilde{Z}_f + \tilde{Z}_{12}) + \tilde{V}_{mf} \tilde{Z}_{12}}{(\tilde{Z}_{1m} + \tilde{Z}_b + \tilde{Z}_{12})(\tilde{Z}_{1m} + \tilde{Z}_f + \tilde{Z}_{12}) - \tilde{Z}_{12}^2} \quad (35)$$

$$\tilde{I}_m = \tilde{I}_{mf} + \tilde{I}_{mb} \quad (36)$$

$$\tilde{I}_a = \frac{j}{a} (\tilde{I}_{mf} - \tilde{I}_{mb}) \quad (37)$$

$$\tilde{I}_L = \tilde{I}_m + \tilde{I}_a = |I_L| \angle \phi_1 \quad (38)$$

$$T = \frac{2}{\omega_s} (|I_{mf}|^2 R_f - |I_{mb}|^2 R_b) \quad (39)$$

$$P_{mech} = T \cdot \omega_s \quad (40)$$

$$P_{out} = P_{mech} - P_{rot} \quad (41)$$

$$P_{in} = V_m I_L \cos \phi_1 \quad (42)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (43)$$

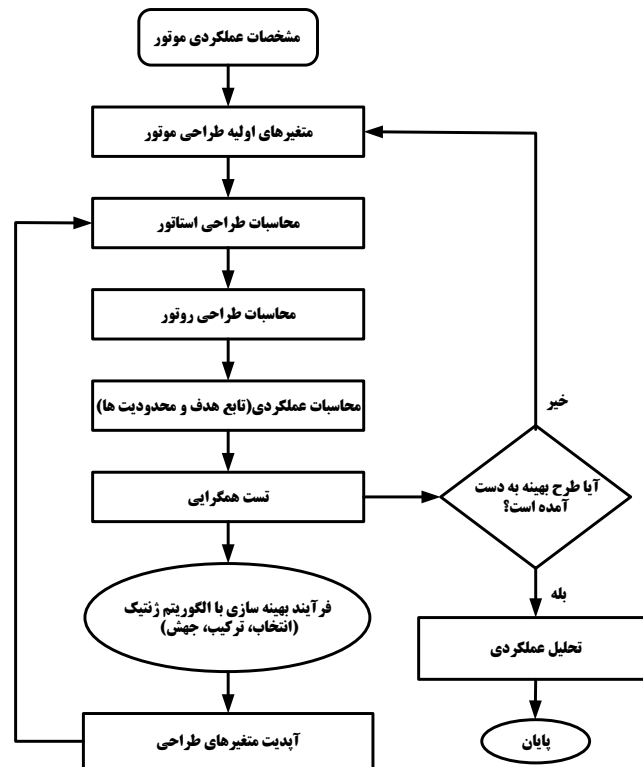
جهت انجام محاسبات، یک موتور ۶۵۰ وات ۶ قطب شرکت نیروتھویه که در سیستم های فن و هواکش کاربرد دارد، انتخاب گردید و پارامترهای مربوط به آن، همراه با فرمول های فوق الذکر توسط برنامه متلب، کدنویسی شد. توجه کنیم که متغیرهای مورد استفاده در فرمولهای (۱) الی (۴۳) در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱: معرفی متغیرهای های مورد استفاده در فرمول ها

λ	نسبت قطر خارجی به قطر داخلی	D_i	قطر داخلی استاتور	R_{ra}	مقاومت روتور از دید سیم پیچ کمکی
ϕ_p	شار زیر هر قطب	d_a	قطر سیم پیچ کمکی	R_{rm}	مقاومت روتور از دید سیم پیچ اصلی
τ_p	گام قطبی	d_m	قطر سیم پیچ اصلی	R_{sa}	مقاومت سیم پیچ کمکی
γ	زاویه الکتریکی بین دو شیار	$dc1$	عمق یوغ استاتور	R_{sm}	مقاومت سیم پیچ اصلی
ΔV	افت ولتاژ	$dc2$	عمق یوغ روتور	S	لغزش
η	بازده	k_i	ضریب تورق	S_a	سطح مقطع سیم پیچ کمکی
α_{skew}	زاویه کج شدگی شیار روتور	h_{10}	عمق دندان استاتور	$sat.f$	ضریب اشباع

μ_0	ضریب نفوذ مغناطیسی هوا	h_{11}	عمق گوه استاتور	P_{rot}	تلفات گردشی
b_{10}	عرض شیار استاتور	h_{12}	عمق شیار استاتور	P	تعداد قطب
b_{12}	عرض شیار استاتور	h_{22}	عمق شیار روتور	P_{cur}	تلفات ژولی روتور
b_{20}	دهانه شیار روتور	L_1	طول کل استاتور	P_{in}	توان ورودی
b_{22}	عرض شیار روتور	L_2	طول کل روتور	P_{mech}	تلفات مکانیکی
B_{av}	چگالی شار متوسط فاصله هوایی(ضریب بار گذاری مغناطیسی)	L_{at}	طول کل سیم یک کلاف سیم پیچ کمکی	P_{out}	توان خروجی
B_c	چگالی شار هسته	L_{mt}	طول کل سیم یک کلاف سیم پیچ اصلی	n_s	سرعت سنکرون
B_{cs}	چگالی شار ماکزیمم یوغ استاتور	I_L	جریان خط ورودی به موتور	w_{cui}	اندازه لبه داخلی کلاف
B_g	چگالی شار فاصله هوایی	I_{mb}	جریان معادل بک وارد موتور تکفاز	w_{cuo}	اندازه لبه خارجی کلاف
B_{gmax}	چگالی شار ماکزیمم فاصله هوایی	I_{mf}	جریان معادل فور وارد موتور تکفاز	X_{belt}	راکتانس کمربندی
B_{max}	چگالی شار ماکزیمم فاصله هوایی	I_{ph}	جریان فاز	X_c	راکتانس خازن
b_{ti}	پهنای دندانه داخلی	K_{ag}	ضریب راکتانس کمربندی	X_e	راکتانس کله سیم
b_{20}	دهانه شیار روتور	K_c	ضریب کارتر	X_{skew}	راکتانس کج شدگی
B_{max}	چگالی شار ماکزیمم دندانه	K_{cr}	ضریب کارتر روتور	X_{ss}	راکتانس نشی شیار
b_{to}	پهنای دندانه خارجی	K_{cs}	ضریب کارتر استاتور	X_{zz}	راکتانس زیگزگ
A	ضریب بار گذاری ویژه الکتریکی	K_{cu}	ضریب پر شوندگی مس	T_m	تعداد دور سیم پیچی اصلی
$FIPP$	شار زیر هر قطب	K_D	نسبت قطر خارجی به قطر داخلی	T_a	تعداد دور سیم پیچی کمکی
g	طول فاصله هوایی	K_x	ضریب راکتانس نشی شیار	a	نسبت تبدیل اسکالر سیم پیچ ها
D_o	قطر خارجی استاتور	K_{zz}	ضریب راکتانس زیگزگ	J_S	چگالی جریان استاتور

در شکل ۹ فلوچارت استفاده شده برای طراحی موتور تکفاز شار محوری، با استفاده از الگوریتم ژنتیک که در مرجع [۵] آمده است، رسم شده است.



شکل ۹- فلو چارت استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت طراحی موتور شارمحوری

۵. تابع هدف و محدودیت ها

در این مقاله تابع هدف راندمان می باشد و مقصود ماکزیمم کردن مقدار راندمان موتور است به شرط اینکه محدودیت ها رعایت شده و قیود^۱ مد نظر قرار گیرند. بنابراین تابع هدف به صورت زیر تعریف می شود.

¹ Bounds

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (44)$$

در نتیجه، هدف بیشینه کردن این تابع می باشد. معمولا الگوریتم های بهینه سازی، کمینه تابع را می یابند، در نتیجه کافی است، مینیمم منفی تابع مذکور را بیابیم تا ماکزیمم تابع هدف یافت شود. با رویکردی به منابع [۱۳] و [۱۴]، مساله بهینه سازی توسط نرم افزار متلب کدنویسی گردید. برای حل مساله بهینه سازی موجود، پارامترهای الگوریتم ژنتیک را به صورت جدول ۲ تنظیم می کنیم:

جدول ۲- مقادیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک

Population	۵۰۰	Mutation Rate	۰/۰۱
Generation	۵۰	Cross Over Rate	۰/۵

و محدودیت هایی برای متغیرهای^۲ تعریف شده، به صورت جدول ۳ باید منظور گردد، در نتیجه مقادیر نهایی^۳ به صورت زیر حاصل می شود.

جدول ۳- محدودیت ها و مقادیر حاصل از الگوریتم ژنتیک

مقدار حاصل از طراحی کلاسیک	مقدار حاصل از الگوریتم ژنتیک	محدودیت ها	واحد اندازه گیری	نام متغیر	سمبول متغیر
0.0056	0.005938	$0.005 < x(1) < 0.006$	m	b_{12}	x(1)
0.03	0.031057	$0.02 < x(2) < 0.04$	m	h_{12}	x(2)
0.0007	0.0005350354	$0.0005 < x(3) < 0.001$	m	d_m	x(3)
0.0009	0.0008108275	$0.0005 < x(4) < 0.001$	m	d_a	x(4)
0.85	0.86085	$0.6 < x(5) < 1$	T	B_g	x(5)
1.59	1.5805	$1.3 < x(6) < 1.8$	T	B_{ts}	x(6)
1.58	1.71359	$1.3 < x(7) < 1.8$	T	B_{tr}	x(7)
0.085	0.089999	$0.08 < x(8) < 0.09$	m	D_i	x(8)
7	7.99997	$4 < x(9) < 8$	A/mm ²	J_s	x(9)
1.2	1.00376	$1 < x(10) < 2$	-	a	x(10)

توجه شود که در یافتن مقادیر مذکور، فاصله هوایی برابر ۰/۶ میلیمتر و لغزش نامی ۰/۱۵ در نظر گرفته شده است.

۶. نتایج بهینه سازی و نمودارهای حاصل از آن

پس از اعمال روش الگوریتم ژنتیک، می توان با قرار دادن مقادیر x(1) تا x(10) در فرمول های طراحی این نوع موتور، پارامترهای دیگر طراحی را نیز یافت. مقایسه بین نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک و طراحی کلاسیک طبق جدول ۴ می باشد.

¹ Constraints

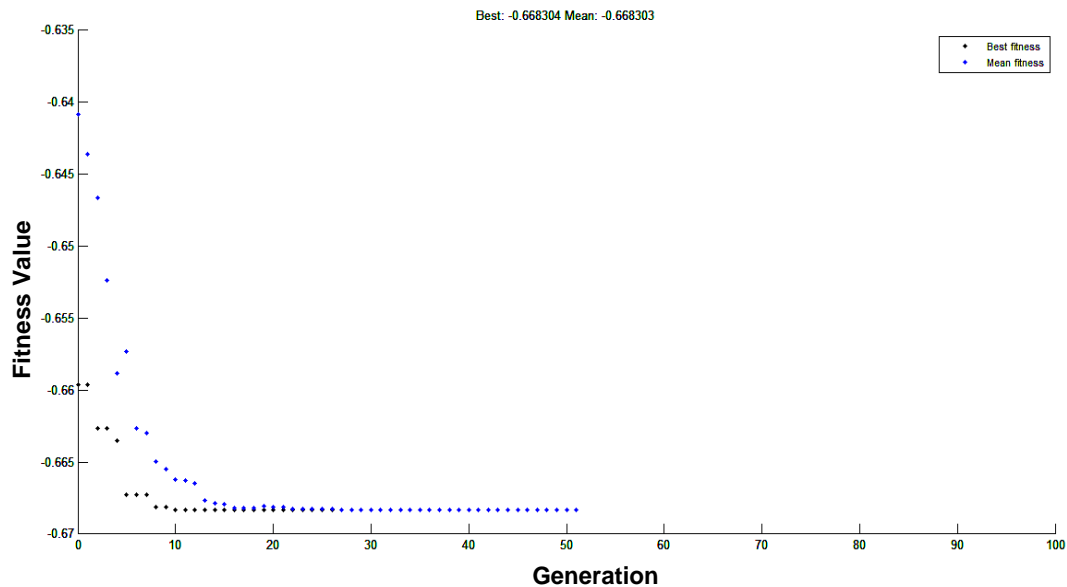
² variables

³ Final points

جدول ۴- نتایج حاصل از بهینه سازی

متغیر	واحد اندازه گیری	طراحی کارخانه	خروجی الگوریتم ژنتیک
$L1$	m	0.050	0.0507
T_{pc}	دور	124	112.7
N_{1m}	دور	72	64
N_{1a}	دور	87	64
R_{sm}	Ω	7.21	10.4408
R_{sa}	Ω	14.4	10.4408
X_{sm}	Ω	5.57	5.1302
X_{sa}	Ω	7.901	5.1308
X_m	Ω	130	191.0971
$\cos \varphi$	-	0.99	0.9449
T_s	N.m	5.82	5.25
η_{FL}	-	0.654	0.668
η_{max}	-	0.658	0.673

بر اساس این جدول مشخص است که مقدار تابع بهینه^۱ (بازده)، در بار کامل از ۶۵.۴ به ۶۶.۸ می رسد. یعنی حدود ۱.۴ درصد رشد دارد و بازده ماکزیمم نیز از ۶۵.۸ به ۶۷.۳ می رسد. یعنی حدود ۱.۵ درصد رشد دارد. البته با این نوع بهینه سازی، ضریب توان و گشتاور راه اندازی کمی کاهش می یابد. یکی از خروجی های مهم الگوریتم ژنتیک که مقدار بهینه تابع هدف را نشان می دهد، مقدار برازندگی^۲ است. نمودار شکل ۱۰ این مقدار و نحوه حرکت تابع به سمت مقدار بهینه را نشان می دهد.

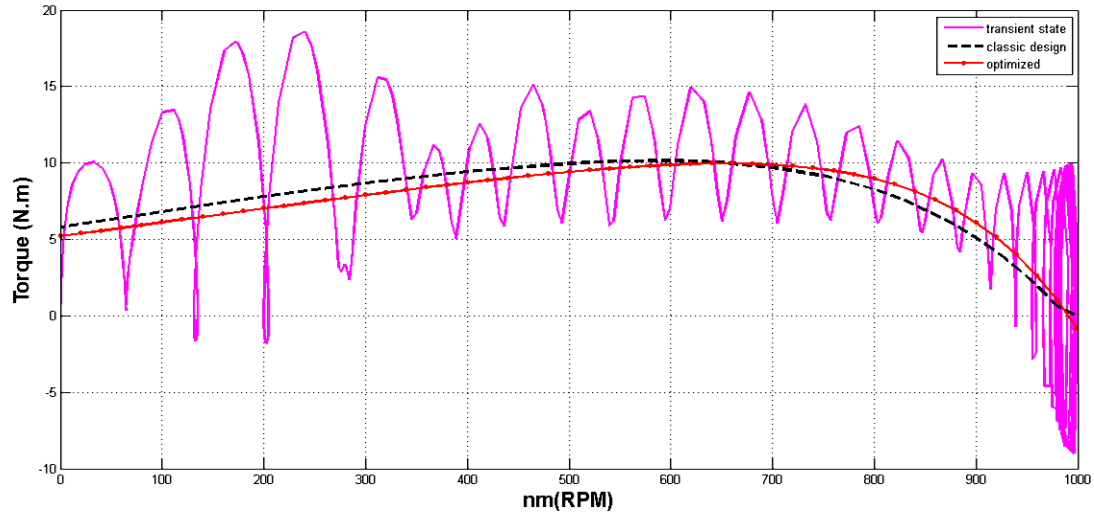


شکل ۱۰- خروجی مقدار برازندگی حاصل از الگوریتم ژنتیک

¹ Objective function value

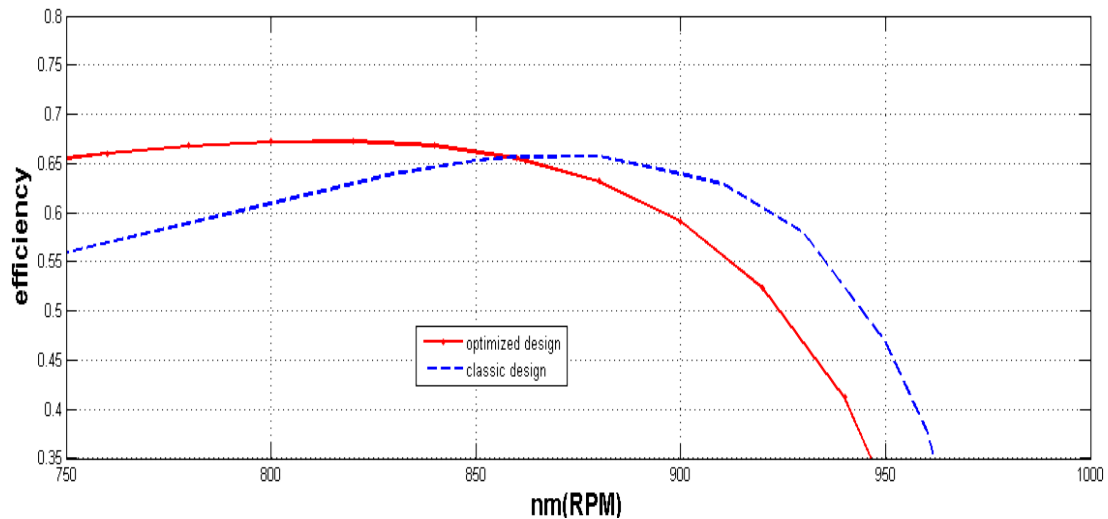
² Fitness value

مقایسه نمودارهای گشتاور سرعت، حاصل از مدل دینامیکی که توسط مدل سازی موتور مذکور، با نرم افزار سیمولینک متلب بدست آمده است و نتایج حاصل از طراحی کلاسیک و همچنین طراحی بهینه موتور شارمحموری تکفاز خازن دایم که به وسیله کد نویسی در متلب انجام شده است، در شکل ۱۱ به نمایش در آمده است. توجه کنیم در شرایط کار پایدار، در موتور بهینه شده گشتاور تولیدی نیز بهبود یافته است.



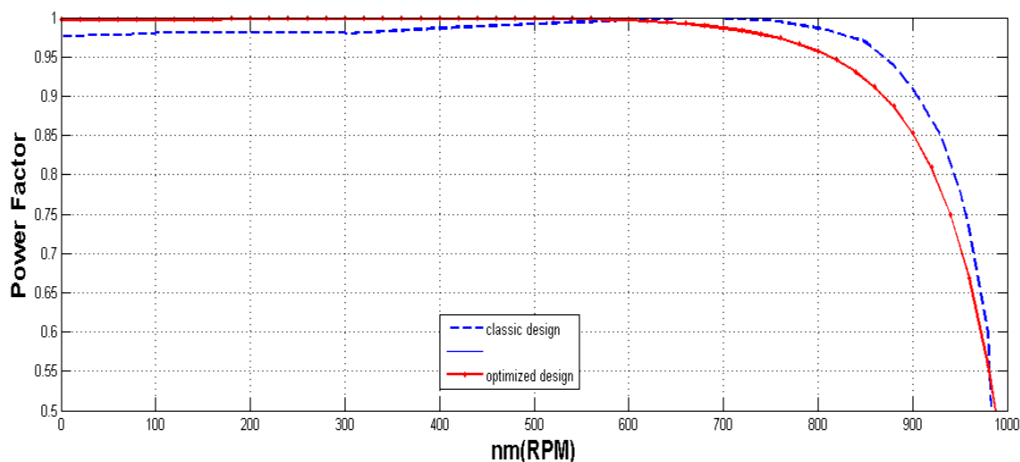
شکل ۱۱- مقایسه نمودارهای گشتاور سرعت حاصل از مدل دینامیکی، طراحی کلاسیک و طراحی بهینه موتور شارمحموری تکفاز خازن دایم

همچنین مقایسه بین نمودارهای بازده حاصل از طراحی کلاسیک و طراحی بهینه در شکل ۱۲ نمایش داده شده است که با توجه به شکل مشخص است که در نقاط کار پایدار، بازده بالا رفته است.



شکل ۱۲- مقایسه نمودار بازده حاصل از طراحی کلاسیک و طراحی بهینه

در ضمن مقایسه بین ضریب توان حاصل از طراحی کلاسیک و طراحی بهینه نشان می دهد که مقدار بسیار کمی ضریب توان در حالت بازده بهینه کاهش می یابد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- مقایسه ضریب توان حاصل از طراحی کلاسیک و طراحی بهینه

۷. نتیجه‌گیری

طراحی موتور القایی تک‌فاز با استفاده از روش کلاسیک، کار چندان مشکلی نیست و فقط نیاز به کمی تکرار دارد، اما بهینه سازی این نوع موتورها با روش کلاسیک بسیار وقت گیر می باشد، در نتیجه استفاده از روشهای تصادفی مانند الگوریتم ژنتیک ضروری است. با توجه به متن مقاله، ضمن ارائه الگوریتم کلاسیک طراحی موتور شار محوری خازن دایم، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه سازی صورت گرفت و نتایج حاصله بیانگر بالا رفتن میزان بازده و گشتاور کار موتور مورد نظر اما کاهش نامحسوس ضریب توان می باشد که در مقابل افزایش راندمان قابل چشم پوشی است.

۸. مراجع

- Zahra Nasiri-Gheidari, Hamid Lesani "A Survey On Axial Flux Induction Motors" *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, R. 88 Nr /2012elektrotechniczny (Electrical Review), Pp.300-305, (2012).
- R Wallace, L Mopan, G Cea, F Perez, "Design And Construction Of Medium Power Axial Flux Induction Motors", *IEEE*, Pp.260-265
- میثم مهدوی، حسن منصف، "طراحی موتور القایی تک‌فاز با خازن دائم بکمک الگوریتم PSO بهبود یافته"، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۸۸
- محمد کریمی مریدانی، "جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک"، *مجله مهندسی پزشکی*، شماره ۱۵۵، اسفند ۱۳۹۲
- Mehmet Çunkaşa, And Ramazan Akkaya, "Design Optimization Of Induction Motor By Genetic Algorithm And Comparison With Existing Motor" *Mathematical And Computational Applications*, Vol. 11, No. 3, Pp. 193-203, 2006
- علی بویه رژی، "بررسی عملکرد، طراحی و مدلسازی موتور القایی تک فاز خازن دایم شار محوری با روش المان محدود"، *مجله نخبگان علوم و مهندسی*، جلد ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶.
- Vijay Kumar Ghial, Lalit Mohan Saini, and Jasbir Singh Saini, "Parameter Estimation of Permanent-Split Capacitor-Run Single-Phase Induction Motor Using Computed Complex Voltage Ratio", *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, VOL. 61, NO. 2, FEBRUARY 2014 .
- D P Kothari , I J Nagrath , "Electric Machines" Forth Edition , Tata Mcgraw Hill Education Private Limited New Delhi, 2010.
- William H. Yeadon , Alan W. Yeadon , "Handbook Of Small Electric Motors" , mcgraw-Hill, 2001.
- محمد رضا فیضی، کامران خفافی، "ماشینهای الکتریکی مخصوص"، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، ۱۳۸۰
- Paul C.Krause ,Oleg Wasynczuk,Scott D.Sudhoff,"Analysis Of Electric Machinery And Drive Systems" , Second Edition,Wiley Press,2002.

12. Chee-Mun Ong ,”Dynamic Simulation Of Electric Machinery Using Matlab/Simulink”,Prentice Hall,1998.
13. Z. Fazlipour, R. Kianinezhad and M. Razaz, “Genetic Algorithm Based Design Optimization of a Six PhaseInduction Motor”, J Electr Eng Technol.2015.
14. Mansour ojaghi, Mehdi mokhtari fard, saeid molae, “optimal design of three-phase induction motor by applying evolutionary algorithms”, 2012.