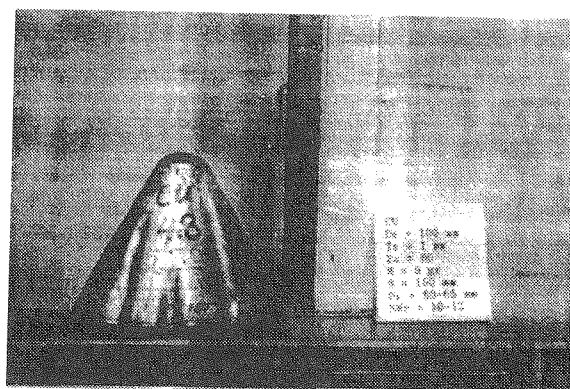
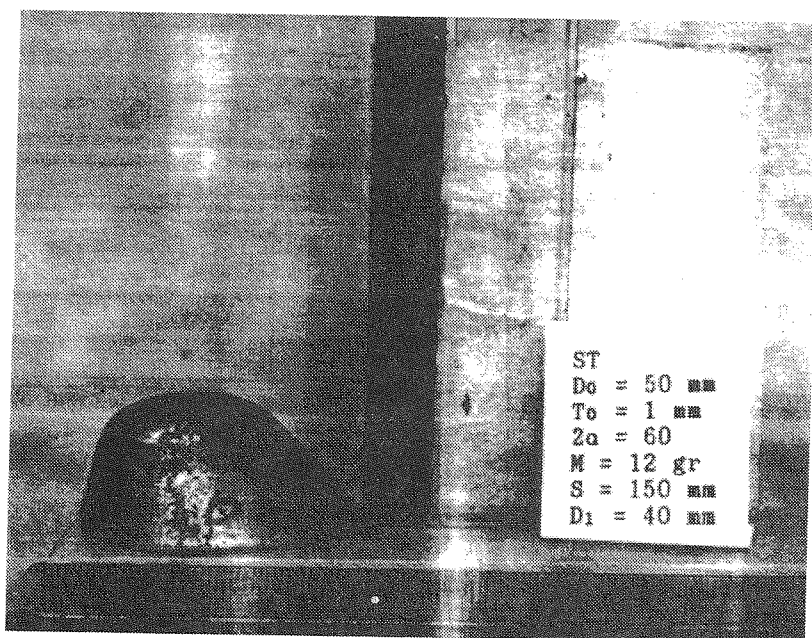


شکل (۲۰) گوشه دار شدن نمونه فولادی ۶۰ درجه به ضخامت ۱ و قطر ۱۰۰ میلیمتر.



شکل (۱۹) چروکیدگی مخروط مسی ۶۰ درجه.



شکل (۲۱) کشش ناهمسان در نمونه فولادی به شعاع اولیه ۲۵ و ضخامت ۱ میلیمتر در قالب ۶۰ درجه.

مراجع

- [۱] لیاقت، غلامحسین، جواب ور، داریوش، ارائه مدل تغییر شکل پایدار ورق جهت تحلیل شکل دهی انفجاری، هفتمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک انجمن مهندسان مکانیک ایران. دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، ۱۳۷۸.
- [2] G.N. Nurick and J.B. Martin, Deformation of Thin Plates Subjected to Impulsive Loading a Review-Part I: Theoretical Considerations, Int. J. Impact Engng. Vol. 8, No.2, PP. 159-170, 1989.
- [3] G. E. Hudson, A Theory of the Dynamic Plastic Deformation of a Thin Diaphragm, Journal of Applied physics, Vol. 22, No. 1, PP. 1-11, Jan. 1951.
- [4] H.P. Tardif, Explosive Forming of Cones by Metal Gathering, Metal Progress, Vol. 76, No. 3, P. 84, Sep. 1959.
- [5] F.W. Travis and W. Johnson, The Explosive Forming of Cones, Proc. 3rd International Machine Tool Design Research Conference, Birmingham, PP. 341-364, 1962.
- [6] N. Cristescu, Dynamic Plasticity, PP. 328-331, 1967.
- [7] Kazem Kormi, Studies in The Deep Drawing of Using an Underwater Explosive Technique, Ph.D Thesis, May 1964.
- [8] 3rd. International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials Under Dynamic Loading (YMAT91), Strasbourg, France, 14-18 Oct. 1991.
- [۹] لیاقت، غلامحسین، جواب ور، داریوش، شکل دهی مخروط ها به روش انفجاری، ششمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک و سومین کنفرانس بین المللی مهندسی

- مکانیک انجمن مهندسان مکانیک ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران. دانشکده مهندسی مکانیک، ص. ۱۵۱۴-۱۵۰۷، ۲۸-۳۰ اردیبهشت ۱۳۷۷.
- [۱۰] لیاقت، غلامحسین، جواب ور، داریوش، تحلیل تغییر شکل ناپایدار ورق فلزی مدور در قالب مخروطی در هنگام شکل دهی انفجاری، هفتمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیکی انجمن مهندسان مکانیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، ۱۳۷۸.
- [11] ABAQUS, HIBBITT, KARLSSON & SORENSEN (UK) LTD.
- [۱۲] لیاقت، غلامحسین، جواب ور، داریوش، گزارش آزمایش های تجربی شکل دهی انفجاری مخروط، صنایع شهید باقری، ۱۳۷۶.
- [۱۳] لیاقت، غلامحسین، جواب ور، داریوش، گزارش آزمایش های تجربی شکل دهی انفجاری مخروط، صنایع صنایع مهمات سازی، ۷۹-۱۳۷۹.
- [14] A.A. Ezra, Principles and Practice of Explosive Metalworking, PP. 44, 46, 88, 89, 1973.
- [۱۵] لیاقت، غلامحسین، جواب ور، داریوش، تحلیل پدیده چروکیدگی در شکل دهی انفجاری مخروط و مقایسه با نتایج تجربی، آماده چاپ.
- [16] Javabvar, Daryosh, Simulation of Explosive Forming of Cone, Using Finite Element Method (ABAQUS), Report of ph.D Research, University of UMIST, Department of Mechanical Engineering, 05/11/99.
- [17] W. Johnson, Impact Strength of Materials, P. 289, 1972.

روشی جدید برای مدل سازی موتورهای تک فاز «قطب نگاشته» با توان بالا

مجتبی میرسلیم
دانشیار

حمید ضابط خصوصی
دانشجوی دکتری

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در این مقاله مدلی برای شبیه سازی موتورهای تک فاز «قطب نگاشته» با توان بالا ارائه می گردد. این مدل دینامیکی است و پایه تئوریک آن نظریه جامع ماشین های الکتریکی می باشد. بر اساس این تئوری ابتدا معادلات حاکم بر رفتار این گونه موتورها بدست می آید و سپس با حل این معادلات در دستگاه مرجع ویژه ای که متناسب با خصوصیات منحصر به فرد موتورهای تک فاز «قطب نگاشته» با توان بالا باشد، تأثیر پارامترهای اساسی موتور در شرایط راه اندازی، تولید گشتاور مفید و کنترل دور نهایی ملاحظه می گردد. مقایسه نتایج شبیه سازی این مدل دینامیکی با نتایج بدست آمده از اندازه گیری، حاکی از دقت خوب مدل ارائه شده می باشد.

کلمات کلیدی

موتور قطب نگاشته، مدل دینامیکی، راه اندازی نرم

Novel Method for Modeling High Power Single-Phase “Written-Pole” Motors

H. Z. Khosousi
Ph.D Student

M. Mirsalim
Associate Professor

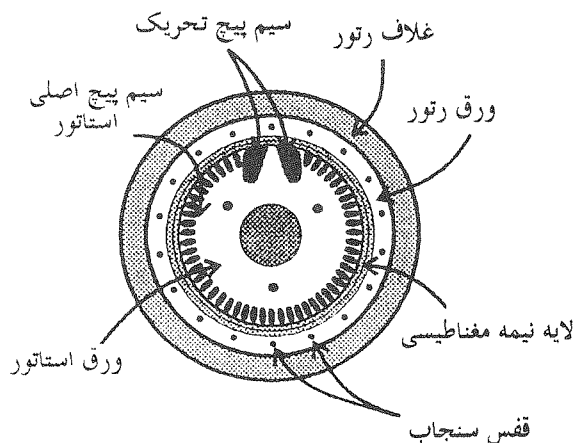
Electrical Engineering Department,
Amirkabir University of Technology

Abstract

This paper presents a dynamic model to simulate the high power single-phase “Written Pole” motors. The base of this modelling is the generalized theory of electrical machines. Based on this theory, first, the required equations governing the dynamic behavior of these motors are obtained. Next, the equations are solved in a special reference frame which is valid for the unique properties of single-phase Written Pole motors. Finally, the comparison of simulation modelling with the experimental results shows very good agreement.

Keywords

Written Pole Motor, Dynamic Model, Soft-Start Motor.



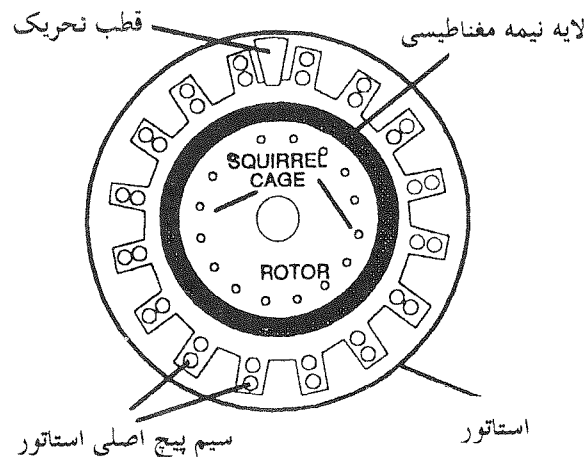
شکل (۲) موتور «قطب نگاشته» با رتور بیرونی.

همانند هر موتور القایی تک فاز، موتور تک فاز «قطب نگاشته» بدون کمک نمی تواند راه اندازی شود. این موتور برای راه افتادن از شیوه ای مشابه موتور با راه اندازی خازنی جهت فراهم آوردن گشتاور راه اندازی استفاده می کند. وقتی سرعت موتور به ۶۰ تا ۸۰ درصد سرعت سنکرون خود برسد سیم پیچ تحریک کننده اضافی روی استاتور توسط ولتاژ ۱۱۰V شبکه، تحریک شده و شروع به نگاشتن قطب های موقت بر روی لایه «نیمه مغناطیسی» واقع بر روی رتور می نماید. در یک موتور القایی معمولی تعداد قطب های متأثر از قطب های سیم پیچی اصلی ثابت و عدد صحیحی می باشد. اما نگاشت قطب بر روی لایه نیمه مغناطیسی رتور باعث می شود که رتور به ازای هر دور از گردش، قابلیت تغییر دادن تعداد مؤثر قطب های خود را داشته باشد. بنابراین موتور ضمن اینکه مانند یک ماشین سنکرون عمل می نماید به ازای هر سرعت رتور می تواند دارای قطب های کسری متناسبی نیز گردد. قطب های نگاشته شده موقت امکان می دهند که موتور، گشتاور بالای یک ماشین سنکرون را بروز داده و به سرعت سنکرون برسد. با بالا رفتن سرعت، تعداد قطب ها کاهش یافته و موتور در سرعت سنکرون قفل می گردد.

تنها مدل ارائه شده برای ماشین های با نگاشت قطب مربوط به موتورهای سنکرون سه فاز استوار است. وجود سیم پیچ های متفاوت اصلی و راه انداز در استاتور موتورهای تک فاز قطب نگاشته و غیر یکسان بودن جریان این دو سیم پیچ باعث عدم تقاوت و عدم تعادل شده و بنابراین مدل پیشنهادی موتورهای سنکرون سه فاز قطب نگاشته برای موتورهای تک فاز کاربرد نخواهد داشت. در این مقاله با در نظر گرفتن رفتار دو گانه موتورهای تک فاز قطب نگاشته، از شرایط راه اندازی تا حالت کار ماندگار با تکیه بر ساختار

موتورهای تک فاز «قطب نگاشته» که اخیراً توسط انستیتو تحقیقاتی توان الکتریکی امریکا (EPRI) عرضه شده است برخلاف موتورهای القایی مرسوم، با داشتن جریان هجومی پایین، بازدهی بالا، ضریب توان واحد و در صد هارمونیک پایین، قابلیت های جدیدی برای مهندسين برق فراهم آورده است [۱-۴]. جریان راه اندازی موتورهای القایی تک فاز، بر حسب نوع طراحی در حدود هفت تا دوازده برابر جریان نامی می باشد و به همین دلیل این گونه موتورها با توانی کمتر از ۱۰ است بخار ساخته می شوند. شکل ویژه موتورهایی «قطب نگاشته» که ترکیبی از موتور القایی و موتور سنکرون است به آن امکان می دهد که حتی در صورت وجود بارهای سنگین و یا لختی بالا، با جریان راه اندازی پایین (حدود دو برابر جریان نامی) شروع به کار نمایند و هنگامیکه مستقیماً توسط ولتاژ خط راه اندازی می شوند نیازی به تسهیلات اضافی مانند راه انداز تغییر دهنده فرکانس یا کاهنده ولتاژ نداشته باشند [۵].

شکل های (۱) و (۲) به ترتیب ساختار یک موتور «قطب نگاشته» با رتور درونی و بیرونی را نشان می دهند. استاتور که بخش ساکن ماشین را تشکیل می دهد ساختاری مشابه با موتورهای القایی معمولی دارد. با این تفاوت که یک سیم پیچ متمرکز اضافی دور یک قطب تحریک آن قرار گرفته که کار نگاشت قطب بر روی لایه نیمه مغناطیسی واقع بر روی رتور را انجام می دهد. در رتور این گونه موتورها، یک قفس سنجاب با مقاومت بالا به کار می رود. این مقاومت باعث می شود تا در طول راه اندازی که لغزش بالا است جریان راه اندازی در حد پایینی محدود شود.



شکل (۱) موتور «قطب نگاشته» با رتور درونی.

$$v_{qds} = r_s i_{qds} + p \lambda_{qds} \quad (1)$$

$$v_{qdr} = r_r i_{qdr} - \omega_r \lambda_{qdr} + p \lambda_{qdr} \quad (2)$$

که در آن

$$v_{qds} = K_{2s} v_{abs} \quad (3)$$

$$v_{qdr} = 0 \quad (4)$$

برای ماتریس انتقال K_{2s} داریم

$$K_{2s} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

اگر X_c راکتانس خازن در مرحله راه اندازی موتور باشد، آنگاه شکل گسترده روابط (۱) و (۲) برای موتورهای تک فاز قطب نگاشته به صورت زیر خواهد بود:

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{qs} \quad (6)$$

$$v_{ds} = (r_s + r_c) i_{ds} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{\omega_b}{p} X_c \quad (7)$$

$$v_{qr} = r_r i_{qr} - \frac{N_s}{N_r} \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{dr} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{qr} \quad (8)$$

$$v_{dr} = r_r i_{dr} + \frac{N_s}{N_r} \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{qr} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{dr} \quad (9)$$

که ω_b سرعت زاویه ای الکتریک است. برای مورد استفاده در محاسبه راکتانس های سلفی و $p = \frac{d}{dt}$ است. در عین حال معادلات فوران دور بر ثانیه نیز به صورت زیر نوشته می شوند.

$$\psi_{qs} = X_{ls} i_{qs} + X_{ms} (i_{qs} + i_{qr}) \quad (10)$$

$$\psi_{ds} = X_{ls} i_{ds} + X_{ms} (i_{ds} + i_{dr}) + \psi_m \quad (11)$$

$$\psi_{qr} = X_{lr} i_{qr} + X_{ms} (i_{qs} + i_{qr}) \quad (12)$$

$$\psi_{dr} = X_{lr} i_{dr} + X_{ms} (i_{ds} + i_{dr}) \quad (13)$$

در رابطه (۱۱)، ψ_m فوران دور بر ثانیه ناشی از

نامتقارن و جریان های نامتعادل آن مدل دینامیکی مناسبی ارائه می گردد. با حل معادلات حاکم، اثر خازن و نقش قطب های موقت بر روی متغیرهای اساسی موتور مانند جریان، گشتاور و نیز نحوه کنترل سرعت نهایی آن مورد بررسی قرار می گیرد.

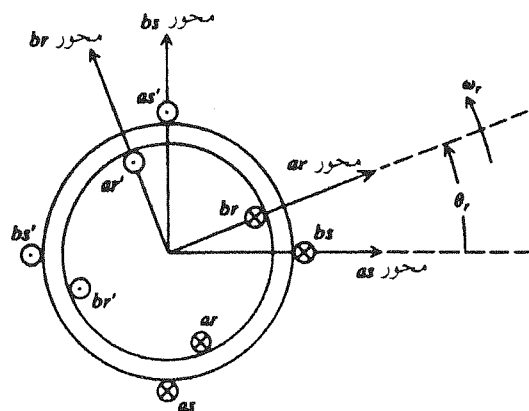
۲- تئوری مدل دینامیکی

برای تحلیل رفتار دینامیکی موتورهای تک فاز قطب نگاشته نیاز به مدلی است که عملکرد ماشین را توصیف کند. از آنجا که پارامترهای ماشین تابعی از سرعت رتور می باشند در این صورت ضرایب معادله های دیفرانسیلی بدست آمده متغیر با زمان خواهند بود مگر آنکه رتور در حالت سکون باشد. رفتار دوگانه این نوع موتور ها قبل و بعد از نگاشت قطب لزوم انتخاب دو دستگاه مرجع متفاوت برای حالت راه اندازی و بار کامل که بتواند با تبدیل متغیرهای ماشین از پیچیدگی این معادلات بکاهد را ایجاب می کند.

۲-۱- معادله های ولتاژ و گشتاور

الف - شرایط راه اندازی

شکل (۳) یک موتور تک فاز قطب نگاشته با رتور درونی را به صورت ساده ترسیم نموده است. استاتور دارای سیم پیچی های متفاوت و با توزیع سینوسی در محورهای عمود بر هم می باشد. فرض می شود تعداد دور مؤثر سیم پیچ as برابر با N_s و مقاومت آن r_s ، تعداد دور مؤثر سیم پیچ bs برابر با N_s و مقاومت آن r_s و رتور نیز گر چه به صورت قفس سنجابی است ولی دارای سیم پیچی های مشابه ای با N_r دور مؤثر و مقاومت r_r باشد. انتقال متغیرهای ماشین به دستگاه مرجع ساکن باعث می شود تا معادلات ولتاژ با پارامترهای ثابتی بیان شوند. معادلات ولتاژ بر حسب متغیرهای دستگاه مرجع ساکن به صورت زیر است [۸]:



شکل (۳) تصویر ساده شده موتور «قطب نگاشته».

$$\psi_m^r = \psi_m [1 + \beta \cos(\omega_b t)] \quad (20)$$

β ضریبی است که بر حسب توان نامی موتور و سرعت نهایی مورد نظر از ۱۰ تا ۳۰ درصد متغیر است. معادله گشتاور الکترومغناطیسی لحظه ای نیز به صورت زیر نوشته می شود.

$$T_e = \left[\frac{P}{2} \right] \left[\frac{N_s}{N_r} \right] \left[\frac{1}{\omega_b} \right] [i_{qs}^r \psi_{ds}^r - i_{ds}^r \psi_{qs}^r] \quad (21)$$

ارتباط گشتاور و سرعت رتور نیز طبق (۱۵) است. ماتریس تبدیل K برای انتقال متغیرهای موتور از دستگاه مرجع ساکن به دستگاه مرجع رتور عبارت است از:

$$K = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & -\sin \theta_r \\ \sin \theta_r & \cos \theta_r \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\theta_r = \int_0^t \omega_r(\xi) d\xi \quad (23)$$

۳- شبیه سازی

برای شبیه سازی از داده های یک موتور تک فاز «قطب نگاشته»، دو قطب، ۲۰ اسب بخار، ۲۲۰ ولت، ۵۰ هرتز که پارامترهای آن بر حسب اهم به شرح زیر می باشد استفاده می گردد:

$$X_{ms} = 3.316 \quad r_r = 2.1 \quad r_s = 0.021$$

$$X_{mS} = 4.212 \quad X_{lr} = 0.048 \quad X_{ls} = 0.048$$

$$X_c = 4 \quad r_R = 2.367 \quad r_S = 0.043$$

$$X_d = 0.08 \quad X_{IR} = 0.048 \quad X_{IS} = 0.061$$

لنگر لختی کل $J = 0.511 \text{ kg.m}^2$ و $\frac{N_s}{N_r} = 1.127$ است. تغییرات لحظه ای جریان در شکل (۴) نشان داده شده است. در اینجا ملاحظه می شود که جریان راه اندازی از دو برابر جریان نامی موتور تجاوز نمی کند. شکل های (۵) و (۶) نشان می دهند، وقتی که قطب های موقت روی لایه نیمه مغناطیسی رتور نگاشته شوند گشتاوری معادل سه برابر گشتاور نامی، در موتور تولید می گردد. این گشتاور بالا باعث می شود که سرعت موتور افزایش یابد. شکل (۷) نشان می دهد که سرعت موتور پس از نوسانی حول سرعت

هیستریسیز لایه نیمه مغناطیسی رتور می باشد که برای مدل کردن اثر این لایه به فوران دور ψ_{ds} افزوده شده است. معادله گشتاور الکترومغناطیسی لحظه ای از رابطه زیر به دست می آید.

$$T_e = \left[\frac{P}{2} \right] \left[\frac{N_s}{N_r} \right] \left[\frac{X_{ms}}{\omega_b} \right] [i_{qs}^r i_{dr}^r - i_{ds}^r i_{qr}^r] \quad (14)$$

گشتاور و سرعت رتور نیز با رابطه زیر به هم مربوطند.

$$T_e = J \left[\frac{2}{P} \right] p \omega_r + T_1 \quad (15)$$

ب - شرایط شتاب گیری

وقتی سرعت موتور به حدود ۶۰ درصد سرعت سنکرون خود برسد سیم پیچ تحریک توسط ولتاژ ac شبکه تحریکی می شود و قطب های موقت بر روی لایه نیمه مغناطیسی رتور نگاشته می شود. قطب های نگاشته شده موقت باعث می شوند تا موتور گشتاور بالای یک ماشین سنکرون را بروز داده و به سرعت سنکرون برسد. پس از آن سیم پیچ تحریک خاموش می گردد و موتور مانند یک موتور سنکرون با رتور مغناطیس دایم به کار خود ادامه می دهد. در این شرایط دستگاه مرجع قبلی دیگر کارایی نداشته و می باید دستگاه مرجع دیگری انتخاب گردد. با انتقال متغیرهای ماشین به دستگاه مرجع رتور، معادلات ولتاژ را می توان به صورت زیر نوشت.

$$v_{qs}^r = r_s i_{qs}^r - \frac{N_s}{N_r} \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{ds}^r + \frac{P}{\omega_b} \psi_{qs}^r \quad (16)$$

$$v_{ds}^r = r_s i_{ds}^r - \frac{N_s}{N_r} \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{qs}^r + \frac{P}{\omega_b} \psi_{ds}^r + \frac{\omega_b}{P} X_d \quad (17)$$

که در آن X_d راکتانس خازن دائمی می باشد. بر اثر نگاشت قطب و سنکرون شدن موتور جریانی در میله های روتور القا نمی گردد. بنابراین برای معادلات فوران دور بر ثانیه خواهیم داشت:

$$\psi_{qs}^r = (X_{ls} + X_{ms}) i_{qs}^r \quad (18)$$

$$\psi_{ds}^r = (X_{ls} + X_{mS}) i_{ds}^r + \psi_m^r \quad (19)$$

برای ψ_m^r یعنی فوران دور ناشی از نگاشت قطب بر روی لایه نیمه مغناطیسی رتور می توان نوشت: