



دانشگاه زنجان

دانشگاه زنجان

دانشکده برق و کامپیوتر

ساخت و طراحی

دستگاه مختصات یاب دوبعدی

آرش اصغری

۸۵۴۴۲۱۰۵

استاد راهنما: دکتر ابوالفضل جلیوند

## تقدیم به پدر و مادر عزیزم

کمال تشکر و سپاس را از استاد گرامی جناب آقای دکتر  
جلیلوند دارم که همواره رابطه‌ی صمیمانه‌ای با دانشجویان  
داشته و راهنمایی ایشان چراغ راه حال و آینده من بوده و  
خواهد بود. لازم است از آقایان: مهندس رستگاری، مهندس  
موسوی، مهندس اصغری و خانواده عزیزم که مرا یاری نموده‌اند  
سپاس گذاری نمایم.

# فهرست

## پایان نامه کارشناسی

فصل اول ..... ۸

موتورهای پله ای ..... ۸

مقدمه ..... ۹

۱-۱- تعاریف و مفاهیم کلی در مورد موتورهای پله ای ..... ۱۱

۱-۲- انواع موتورهای پله ای ..... ۱۴

۱-۲-۱- موتورهای پله ای با روتور آهنربای دائم یا نوع اکتیو (PMSM) ..... ۱۴

۲-۲-۱- محاسبه زاویه هر پله ..... ۲۶

۳-۱- موتورهای پله ای با رلوکتانس متغیر (VRSM) ..... ۲۸

۴-۱- موتورهای پله ای با رلوکتانسی متغیر چند طبقه ..... ۳۵

۵-۱- موتورهای پله ای مختلط (HSM) ..... ۳۸

۶-۱- شرایط کار و مشخصه های موتورهای پله ای ..... ۴۳

۶-۱-۱- شرایط کار استاتیکی موتور ..... ۴۳

۶-۱-۲- چند نمونه ویژه از موتورهای پله ای اکتیو ..... ۴۸

۱-۶-۳- شرایط کار تک پله ای (single step) ..... ۵۱

۱-۶-۴- شرایط کار چند پله (Multi- step Operation) ..... ۵۵

۱-۶-۵- نکاتی در مورد مشخصه گشتاور- سرعت پله ..... ۵۸

۱-۷-۷- موتورهای رلوکتانس متغیر (VRM) ..... ۶۱

۱-۷-۱- مشخصات ساختمانی ..... ۶۲

۱-۷-۲- اصول کار ..... ۶۴

۱-۷-۳- حالت های کاری ..... ۶۵

۱-۷-۴- کاربردها ..... ۶۶

فصل دوم ..... ۶۷

سیستم های محرک و محوربندی ..... ۶۷

موتورهای پله ای ..... ۶۷

۱-۲- مقدمه ..... ۶۸

۲-۲- سیستمهای محرک ..... ۶۸

۳-۲- مدار ترتیب دهنده منطقی ..... ۶۹

محرکه های موتور ..... ۷۶

۱-۳-۲- اتصال بین مدار ترتیب دهنده منطقی و محرکه ..... ۷۶

۲-۳-۲- مسائل مربوط به محرکه ها ..... ۷۶

۳-۳-۲- مدارهای گردش آزاد ..... ۷۷

۴-۳-۲- روش های بهبود صعود جریان ..... ۸۰

۵-۳-۲- محرکه پل برای یک موتور دو فاز ..... ۸۳

۶-۳-۲- موتورهای سه و پنج فاز مختلط ..... ۸۵

۲-۳-۷- محرکه با مدولاسیون پهنای پالس (PWM) ..... ۸۶

فصل سوم ..... ۹۳

روش پیشنهادی ..... ۹۳

۱-۳ مقدمه ..... ۹۴

۲=۳ مدار منطقی ..... ۹۴

۳-۳ میکرو کنترلر و سخت افزار ..... ۱۰۱

۱-۳-۳ میکرو کنترلر ..... ۱۰۱

۲-۳-۳ صفحه کلید ..... ۱۰۳

۳-۳-۳ صفحه نمایش ..... ۱۰۵

۴-۳ برنامه ..... ۱۰۷

۱-۴-۳ رسم دایره ..... ۱۰۷

منابع: ..... ۱۱۱

# پایان نامه کارشناسی

## چکیده:

در این پروژه ی ساخت با سعی شده امکان کنترل دو موتور پله ای آزمایشگاه پروژه برق فراهم شود. هر کدام از این موتورها امکان جابجایی در یک محور را ممکن می نماید که همچنین این محورها بر هم عمودند , بنابر این قلم توانایی جابجایی در یک صفحه را دارد, به عبارت دیگر قلم می تواند صفحه را جاروب نماید و کاربر می تواند بوسیله ی صفحه کلید فرمان مورد نظرش را اعمال کند . در صورتی که بجای قلم از لیزر jet- water, و یا .... استفاده شود , کاربردهای متنوعی برای این سیستم وجود خواهد داشت.

# نام کارشناسی

## فصل اول

### موتورهای پله ای

## مقدمه

### موتورهای پله ای

موتورهای پله ای را می توان جزو گروه سیستم های محرکه بدون جاروبک به حساب آورد .

این موتور ها به طور روزافزون در «سیستم های تثبیت یا تنظیم موقعیت حلقه باز » به کار گرفته می

شوند . موتورهای کنترل یا سرو موتورها ، موتورهای هاستند که ، در سیستم کنترل به کار می روند و

برای تثبیت موقعیت به فیدبک نیاز دارند؛ بدین معنی که ، اگر قرار باشد یک سیستم کنترل وضعیت

، یک محور را در یک زاویه خاص نگاه دارد ، استفاده از یک حس کننده زاویه نیز اجتناب ناپذیر است

. در چنین سیستمی یک «حس کننده موقعیت محور » ، موقعیت زاویه ای محور را به طور مداوم

حس می کند و به یک ولتاژ تابع مقدار زاویه محور تبدیل می کند. این ولتاژ با یک ولتاژ از پیش

تعیین شده ، که متناظر با موقعیت مورد نظر محور است ، مقایسه می گردد و در صورت مغایرت ،

ولتاژ «ولتاژ خطا » حاصل می شود. ولتاژ فوق پس از تقویت شدن ، به طور مناسب به سیم پیچی

کنترل یک سروموتور دوفاز ، که با محور مورد کنترل به طور مکانیکی کوپل شده است ، اعمال می

شود و محور را در جهت اصلاح وضعیتش می چرخاند . بنابراین در این حالت لازم است وضیت

خروجی سیستم ، به طریقی در اختیار باشد ، تا به محض رسیدن سیستم به وضعیت مطلوب ، فرمان

خاموش شدن داده شود. و این مستلزم فیدبک ( بازتاب ) از خروجی به ورودی است .

عدم نیاز به فیدبک ، از مزایای موتورهای پله ای به حساب می آید . در این موتورها فرمان لازم

، پس از اجرای فرمان متوقف می گردد . به عبارت دیگر ، بر خلاف موتورهای سنتی ، موتورهای پله

ای ، تعداد معینی (حداقل دو) وضعیت پایدار در هر دور چرخش خود دارند و به تبعیت از تحریک اعمال شده قادرند ، در هر یک از آن ها توقف کنند و بار متصل به خود را در آن موقعیت نگه دارند. از مزایای دیگر موتورهای پله ای ف افزایشی نبودن خطا در آن و نیز سازگاری آن ها با اکثر دستگاه های دیجیتالی پیشرفته است .

وضعیت های پایدار در یک موتور پله ای ، دارای فواصل مساوی از هم است و حرکت موتور از هر وضعیت پایدار به وضعیت پایدار بعدی یک پله نامیده می شود . این نوع کنترل موتور دارای تعدادی سیم پیچی مجزا از هم است ، که جریان آنها توسط یک میکروپروسسور کنترل می شود. هر پالس تولید شده توسط مدار کنترل موتور را به اندازه یک پله در جهت پیش بینی شده می چرخاند . بنابراین اگر یک موتور پله ای ، دارای ۴ وضعیت پایدار در یک دور چرخش خود باشد ، صدور شش پالس مشابه ، می تواند موتور را شش پله ۹۰ درجه یعنی معادل  $1/5$  دور کامل ، در یک جهت بچرخاند و سپس بایستد. با تغییر سرعت اعمال پالس ها ، موتور پله ای می تواند در سرعت های بسیار کند ، مثلاً یک پله در زمان نسبتاً زیاد تا سرعت های بالای ۴۰۰۰ دور در دقیقه و البته به صورت پله ای بچرخد. موتورهای پله ای بسته به ترتیب پالس هایی که به سیم پیچی های آن اعمال می شود ، در جهت مثلثاتی یا در خلاف جهت آن می چرخند .

پالس های مثبت در جهت عکس مثلثاتی و پالس های منفی در جهت مثلثاتی عمل می کنند. در نتیجه ، میکروپروسسور کنترل کننده ، با اطلاع از سابقه پالس های تولید شده ، قادر خواهد بود موقعیت دقیق محور را بدون دسترسی مستقیم به آن روشن سازد. موتورهای پله ای با قدرت بسیار کم در یک سیستم کنترل گاهی به «کریستال های نوسان ساز» در مدارهای الکترونیکی تشبیه می شود.

موتورهای پله ای از جمله ماشین های سنکرون با دو برجستگی ( doubly salient machines ) هستند ، یعنی قطب های برجسته در هر دو طرف فاصله هوایی ، روی روتور و نیز استاتور ، وجود دارند ، لذا تئوری ماشین های سنکرون سنتی ، در مورد این نوع ماشین ها چندان معتبر نیست . علاوه بر وجود این دو برجستگی ، به علت اینکه منبع تغذیه این موتور نیز ، دارای ولتاژ و جریان غیر سینوسی است ، تحلیل ریاضی گشتاور تولیدی در این ماشین ها مشکل و پیچیده است .

موتورهای پله ای کاربردهای زیادی در سیستم های کنترل کم قدرت ( کمتر از 2KW ) ،

مانند ماشین های ابزار کنترل شده عددی ( CNC ) یا هدهای خواندن و نوشتن در حافظه های

کامپیوتری ، که در آن ها کنترل دقیق سرعت و یا تثبیت موقعیت صحیح مورد نیاز است ، پیدا کرده

اند [۱].

## ۱-۱- تعاریف و مفاهیم کلی در مورد موتورهای پله ای

سیم پیچی های متمرکز پله ای روی قطب های برجسته استاتور پیچیده می شوند و سپس

به طور مناسب به یکدیگر متصل می گردند تا سیم یچی دو ، سه یا چهار فازی به نام «سیم پیچی

های کنترل» یا فازهای کنترل» به وجود آیند. روتور موتورهای پله ای ، سیم پیچی ندارند و معمولاً

از آهنربای دائم یا از مواد فرو مغناطیسی و یا ترکیبی از آن دو ساخته می شوند. موتور پله ای از یک

مدار خارجی<sup>۱</sup> تغذیه می شود . مدار محرک بر اساس فرامین صادره از مدار کنترل جریان های

مناسب به سیم پیچی های استاتور موتور پله ای تحویل می دهد. این جریان ها در فاصله هوایی

میدان مغناطیسی تولید می کنند. به ازای هر پالس ورودی ، مکان به اندازه یک پله زاویه ای حرکت

می کند. تولید گشتاور رلوکتانس یا گشتاور تداخلی و یا هر دو روتور را وادار می کند ، که امتداد

محور میدان مغناطیسی فاصله هوایی را در جهت کاهش مقاومت مغناطیسی مسیر فلو یا افزایش

اندوکتانس متقابل ، تعقیب کند. بدین ترتیب برای هر پالس ورودی ، روتور به اندازه یک پله حرکت

می کند.

در یک موتور پله ای قطب های استاتور و روتور ، طوری آرایش داده می شوند که با اعمال

رشته ای از پالس های ورودی به قطب های استاتور ، روتور حرکت های زاویه ای پله ای متناظری

---

<sup>۱</sup> - External drive circuit

انجام دهد. اگر سرعت اعمال پالس ها کم باشد ، به علت وابستگی گشتاور تولیدی به موقعیت و

اینرسی دورانی روتور ممکن است ، نوسانات میرایی در حول هر موقعیت تعادل ایجاد شوند.

موتورهای پله ای معمولاً از طریق وسایل کنترل کننده الکترونیکی راه اندازی می شوند. وسایل

کنترل کننده الکترونیکی آن ، یک "سیستم کنترل موتور سنگرون <sup>۳</sup> V است که ، سیم پیچی های

کنترل موتور را با پالس های ولتاژ مستطیلی تغذیه کرده و موجب حرکت زاویه ای گسسته روتور می

گردد . زاویه چرخش منتهی روتور موتور پله ای دقیقاً از تعداد پالس های داده شده به سیم پیچی

های کنترل تبعیت می کند. موتورهای پله ای معمولاً "با نسبت " تعداد قطب های استاتور بر تعداد

قطب ها یا دندانهای روتور " مشخص می شوند ؛ برای مثال ، یک موتور پله ای " ۶/۲ - قطب "

موتور پله ای است که دارای ۶ قطب برجسته بر روی استاتور و ۲ قطب یا دندان بر روی روتور است .

موتورهای پله ای می توانند به صورت ماشین هایی با هر تعداد فاز سیم پیچی شوند ؛ اما

موتورهای دو ، سه و چهار فاز بیشتر مرسومند . سیم پیچی هر فاز استاتور به صورت یک سیم پیچی

کنترل ساده <sup>۴</sup> و یا به صورت تقسیم شده با سر وسط <sup>۵</sup> است . هر سیم پیچی با سر وسط ، معادل دو

سیم پیچی است که محورهای مغناطیسی آن ها ۱۸۰ درجه با یکدیگر فاصله دارند.

سیم پیچی های کنترل یک موتور پله ای ، با قطار پالس های مستطیلی یک جهته <sup>۶</sup> یا چند جهته <sup>۷</sup>

تغذیه می شوند و به همین دلیل نوع تغذیه سیم پیچی های کنترل به ترتیب "یک جهته " یا " دو

جهته " نامیده می شود.

Stepping rate -<sup>۲</sup>

Synchronous – motor speed control system -<sup>۳</sup>

Nonsplit-<sup>۴</sup>

Split center tapped -<sup>۵</sup>

Umipolar -<sup>۶</sup>

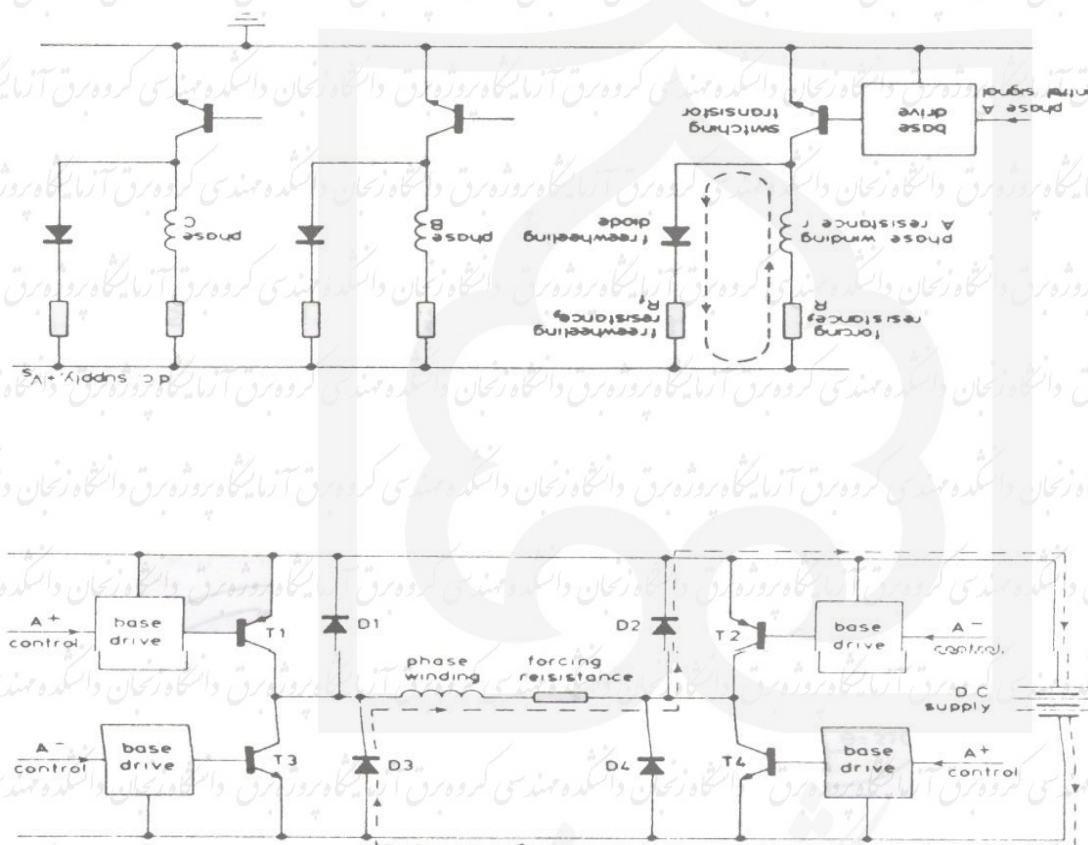
Heteropolar -<sup>۷</sup>

برای کنترل یک جهت یک موتور سه فاز ، یک مدار کنترل و سه ترانزیستور مطابق شکل (۱-۱)-

ترانزیستورها را روشن کرده و سیم پیچی متناظر را تحریک می کنند. این مدار محرک ، مدار محرک یک جهت<sup>۸</sup> نامیده می شود.

مدار محرک یک فاز از یک موتور پله ای دو فاز دو جهت نیز در شکل (۱-۲) نشان داده شده است . در این حالت برای فراهم آوردن امکان عبور جریان در دو جهت ، هر سیم پیچی از طریق چهار

ترانزیستور به منبع تغذیه متصل شده است . روشن شدن دو ترانزیستور  $T_1$  و  $T_4$  جریان را در یک جهت و روشن شدن دو ترانزیستور  $T_2$  و  $T_3$  جریان را در جهت عکس از سیم پیچی فاز عبور می دهد



شکل (۱-۱) مدار محرک یک جهت یک موتور پله ای از آهنربای دائم سه فاز

<sup>۸</sup> - Unipolar drive circuit

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

## منابع:

[۱]. «ماشینهای الکتریکی مخصوص» تألیف دکتر محمد رضا فیضی، کامران خفافی (MSC) –

انتشارات دانشگاه تبریز- سال ۱۳۸۰

[2] SHANUMGAM. DIGITAL AND ANALOG COMMUNICATION SYSTEMS

[3] M. Zribi and J. Chiasson, "Position control of a PM stepper motor by exact linearization", *IEEE Trans.*

*Automat. Contr.*, vol.AC-36, pp.620-625, 1991.

[4] M. Ilic-Spong, R. Marino, S. Peresada, and D.G.

Taylor, "Feedback linearizing control of switched reluctance motors", *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol.AC-32, no.5, 1987.

[5] D.G. Taylor, M. Ilic-Spong, and S. Peresada,

"Nonlinear composite control of switched reluctance motors", *Proc. 12<sup>th</sup> IEEE Conf. Industrial Electronics*, Milwaukee, WI, Oct. 1986.

[6] T. Kenjo, *Stepping motors and their microprocessor controls*. Oxford, U.K., Clarendon, 1984.

for direct adaptive control", *Proc. American Control Conf.* pp.2153-2159, 1991. j

[7] T. Holcomb and M. Morari, "Local training of radial basis function networks: towards solving the hidden

unit problem", *Proc. American Control Conf.*,

pp.2331-2336, 1991.

[8] R. Ortega, A.Loria, P.J. Nicklasson and H. Sir\*-Ramirez. "Passivity-based Control of Euler-Lagrange Systems, Mechanical, Electrical and Electromechanical Applications", Springer

Verlag, 1998.

[9] M.Zibri et al., "Static sliding mode control of a PM stepper motor", *Proc. of the 1999 European Control Conference*, Aug. 31- Sep. 3, Karlsruhe, Germany, 1999.

[10] M.Zribi and J.N.Chiasson, "Position control of a PM stepper motor by exact linearization", *IEEE Trans, on Automatic Control*, Vol. 36, No. 5, 1991.

[11] M. Bodson et al., "Feedback control of a permanent magnet stepper motor", *IEEE Trans, on Control Systems Technology*, Vol. 1, pp 5-U, 1993.

[12] J.N.Chiasson and R.T.Novotnak, "Nonlinear speed observer for the PM stepper motor". *IEEE Trans, on Automatic Control*, Vol. 38, No. 10, 1993.

[13] A.G.LoukiaDOV. "Nonlinear block control with sliding mode", *Automation and Remote Control*, Vol.59, No.7, pp. 916-933. 1998.

[14] V.I.Utkin, "Sliding Modes in Control and Optimisation", Springer Verlag, 1992.

[15] P.A.loannou and J.Sun, "Robust Adaptive Control", Prentice Hall, USA, 1996.

[16] <http://www.mathworks.com/>