

طراحی مدار راه انداز و کنترل کامل بدون سنسور برای موتور رلکتانس سوئیچی

فرشید راجی^۱، بهمن رئیسی^۲، وحید طالبی^۳ و محمد علی عباسیان^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، farshidrji@gmail.com

^۲ دانشجوی کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، bahman.raeisi@yahoo.com

^۳ دانشجوی کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، vahid.talebi@yahoo.com

^۴ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، mr.amini@khuif.ac.ir

چکیده - با پیشرفت و گسترش تحقیقات بر روی موتورهای رلکتانس سوئیچی، روشهای متنوعی جهت طراحی راه اندازهای مختلف، برای این دسته از ماشین ها ارائه گردیده اند. آنچه در این مقاله از نظر خواهد گذشت ارائه یک روش جدید و کامل در راه اندازی بدون سنسور انواع موتور رلکتانس سوئیچی از شروع تا سرعتهای بالا می باشد. روش جدید ارائه شده شامل پنج مرحله و بر پایه اعمال پالسهای تشخیص به یک فاز غیر فعال می باشد. پالسهای تشخیص به یک فاز غیر فعال که شیب منحنی تغییرات اندوکتانس آن منفی است، اعمال می شوند و جریان حاصله بر روی مقاومتهای سری با سیم پیچها اندازه گیری می شوند. با تحلیل مقادیر اندازه گیری شده توسط یک مدار هوشمند، موقعیت روتور تعیین می شود و فاز مناسب برای روشن شدن انتخاب می گردد.

کلید واژه - موتور، رلکتانس سوئیچ،

۱- مقدمه

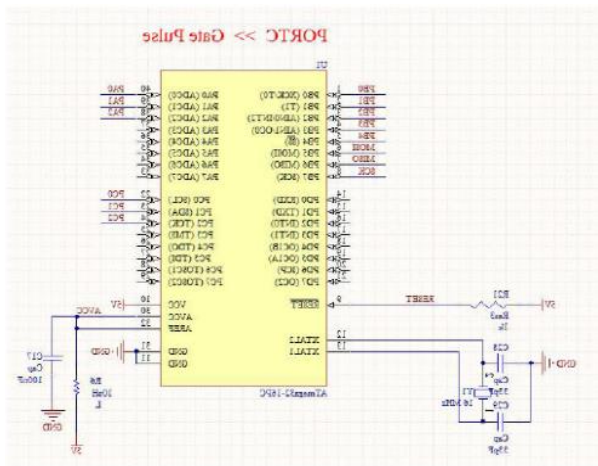
بسیار آن در بسیاری از کاربردهای روزمره، صنعت، و حتی هوانوردی کارایی فراوانی پیدا نموده اند [3]. تولید گشتاور در این ماشین ها را می توان با استفاده از این حقیقت که اندوکتانس سیم پیچهای استاتور تابعی از موقعیت زاویه ای رتور هستند را محاسبه کرد [5]. اندوکتانس این ماشین علاوه بر روتور تابع جریان تحریک هم می باشد [6]. از آنجایی که حجم روشی که در این پروژه استفاده شده است کمتر از روشهای موجود مشابه می باشد، در نتیجه نیاز به برنامه نویسی پیچیده تر و استفاده از قطعات الکترونیکی و مدار مدار کنترلی بیشتر نمی باشد.

۲- طراحی پارامترها

در این پروژه ابتدا برای راه افتادن موتور پالسهایی به صورت حلقه باز با یک فرکانس اولیه بصورت متوالی به هر یک از فازها داده می شود. فرکانس پالسها به صورت خطی افزایش داده می شود و روتور به حرکت درمی آید. بطور کلی در این مدار برای تولید پالس گیتها و نیز برخی از محاسبات کنترلی که نیاز به پارامتر زمان دارند از تایمر میکروکنترلر استفاده شده است. برای پیاده سازی روش chopping از مود نرمال تایمر صفر و مود

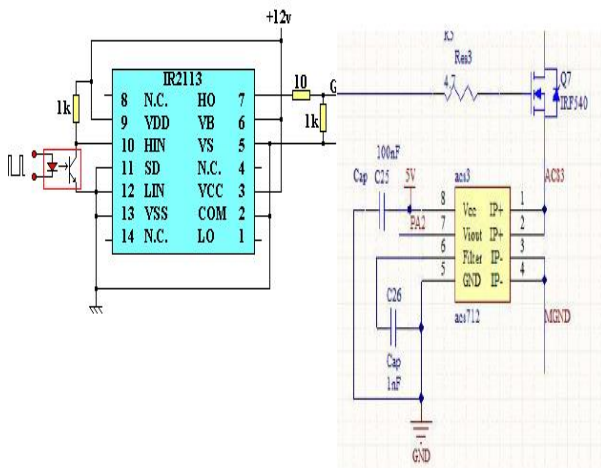
نظر به اینکه موتورهای الکتریکی از مهمترین ابزار در صنعت می باشند، تهیه و ارائه ماشینهایی که هزینه نگهداری کمتر با بیشترین بازدهی و قابلیت کنترل را دارا باشند هدف بسیاری از متخصصین و محققین مربوطه می باشد. موتورهای رلکتانس سوئیچ شده به علت خصوصیات منحصر به فرد همچون قابلیت اطمینان بالا، سادگی ساختار، بازه سرعت گسترده، هزینه ساخت کم، نگهداری ساده و سادگی سیم پیچی در دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته اند [1]. با اینکه این موتور نسبت به سایر موتورهای مزیت هایی دارند اما به علت ساختار برجسته روتور و استاتور و در نتیجه مشخصه مغناطیس غیرخطی آن شار پیوندی موتور تابع غیرخطی از جریان استاتور و همچنین موقعیت روتور می باشد و لذا کنترل آن ساده نمی باشد. به علاوه ریبیل گشتاور و نویز تولید شده در آن غیرقابل اغماض و از موارد قابل بحث در این زمینه می باشد [2].

SRM سوئیچی این موتورها به خاطر سادگی در ساخت گونه های مختلف؛ قابلیت کنترل بالا؛ تحمل گرمای زیاد؛ و دوام



شکل (۱) شماتیک میکرو کنترلر

مجموعه مدار سنسور جریان برای فیدبک گرفتن از جریان فاز فاز فعال برای تشخیص موقعیت روتور و همچنین آی سی های استفاده شده به عنوان بافر برای تقویت جریان و ولتاژ پالس های دریافتی از میکرو و ایزولاسیون در شکل زیر نشان داده شده است



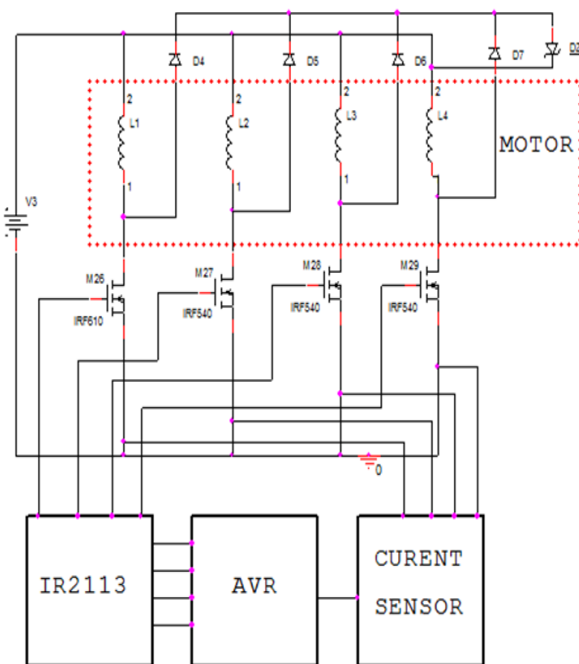
شکل (۲) بخشی از مدار کنترل برای یکی از فاز ها

مجموع آی سی بافر و سنسور جریان استفاده شده برای یک فاز در شکل ۵ نشان داده شده است. ماسفت های N استفاده شده از نوع IRF540 می باشند. دو دیود شاتکی هرزگرد از نوع BY399 برای هر فاز استفاده شده اند. سنسور جریان ACS712 که یک سنسور جریان مرغوب ایزوله با استفاده از اثر هال است نیز وظیفه فیدبک گیری از جریان فاز را دار است، خروجی این سنسور

مدولاسیون پهنای پالس سریع (Fast PWM) تایمر ۲ میکروکنترلر استفاده می گردد که مود مدولاسیون پهنای پالس سریع تایمر ۲ جهت تولید مقدار عرض پالس اصلی گیت و مود نرمال تایمر صفر جهت تولید پالسها استفاده می گردد. فرکانس پالس گیت هر فاز در شروع حرکت موتور در حدود ۲۱ کیلوهرتز است (ایجاد شده توسط مود مدولاسیون پهنای پالس سریع تایمر) که در واقع باعث شروع حرکت موتور با سرعت حدود ۵۳۰ دور در دقیقه می شود. الگوریتم سرعت بالای روش بدون سنسور استفاده شده، از نوع روش شکل موج جریان است. در این روش برای بدست آوردن موقعیت روتور مستقیماً از شکل موج فاز فعال استفاده می شود. در ابتدا فرض می شود که شیب منحنی اندوکتانس فاز در هنگام روشن شدن تقریباً صفر است. این بدان معناست که فازها با داشتن یک زاویه آوانس روشن می شوند. جریان با روند افزایشی شروع به تغییر می کند و این تغییر تا زمانی که اندوکتانس شروع به افزایش کند، ادامه می یابد. افزایش اندوکتانس به علت تغییر وضعیت روتور از حالت عدم هم پوشانی کامل می باشد. از این نقطه به بعد افزایش شدید اندوکتانس باعث کاهش جریان می گردد و این روند خاموش شدن فاز سرعت بیشتری پیدا می کند. باید به این نکته توجه داشت که شیب جریان در نقطه ای که اندوکتانس شروع به افزایش می کند برابر صفر است.

با توجه به این که دامنه ولتاژ و همچنین توان پالس های تولیدی از طریق میکروبرای راه اندازی برای راهاندازی ماسفت های قدرت کم است باید تقویت شود. از طرفی مدار کنترل به صورت مستقیم نمیتواند به مدار قدرت وصل باشد و باید ایزوله شود.

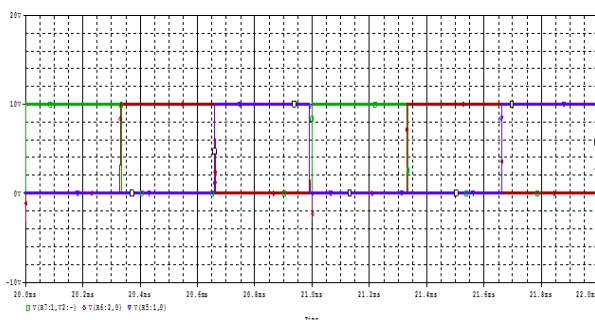
این فاز خاموش می شود. و پالس اعمالی از طریق میکرو به سویچ فاز بعدا عمل می شود و همین روند تکرار می شود. پالس تولیدی توسط میکرو دارای دامنه ی ولتاژ و جریان کمی است و از طرفی نمی توان آن را به صورت مستقیم به مدار قدرت وصل کرد و باید ایزوله باشد. برای این منظور از آی سی IR2113 استفاده می شود که این آی سی پالس دریافتی از میکرو با دامنه - ۵ ولت را به پالس ۱۲ ولت و با تقویت جریان تبدیل می کند.



شکل ۳) شکل کلی مدار کنترل به همراه موتور

۲-۲- نتایج شبیه سازی

مدار فوق با استفاده از نرم افزار OrCAD PSpice شبیه سازی شده است و نتایج آن ارائه شده است.



شکل ۴) پالس های اعمال شده به سویچ ها

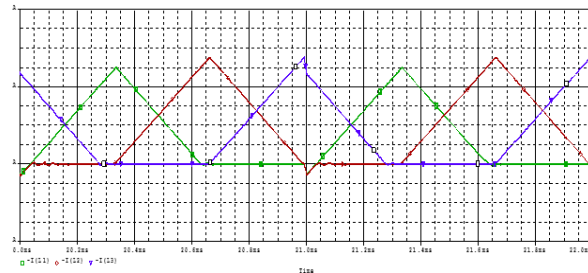
بصورت آنالوگ است که به قسمت ADC میکرو کنترلر روی پورت A متصل می گردد.

برای ایزوله کردن مدار کنترل و همچنین برای تقویت پالس کنترلی در یافت شده از میکرو، از آی سی IR2113 استفاده شده است.

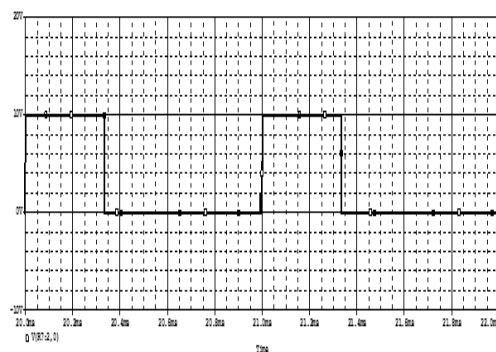
۲-۱- روند عملکرد مدار

در این روش برای بدست آوردن موقعیت روتور مستقیماً از شکل موج جریان فاز فعال استفاده می شود. در ابتدا فرض بر این است که شیب منحنی اندوکتانس فاز در هنگام روشن شدن تقریباً برابر صفر است. این بدان معناست که فازها با داشتن یک زاویه آوانس روشن می شوند. در این موتور با اعمال ولتاژ به سیم پیچ یک فاز جریان آن فاز شروع به افزایش می کند و این روند تا زمانی که اندوکتانس شروع به افزایش کند ادامه دارد [15] و از آن پس جریان شروع به کاهش می کند. افزایش اندوکتانس به علت تغییر وضعیت روتور از حالت عدم هم پوشانی کامل می باشد. از این نقطه به بعد افزایش شدید اندوکتانس باعث کاهش جریان می گردد و این روند با خاموش شدن فاز سرعت بیشتری پیدا می کند. باید به این نکته توجه داشت که شیب جریان در نقطه ای که اندوکتانس شروع به افزایش می کند برابر صفر است، یعنی جریان در آن نقطه ماکسیمم مقدار خود را داراست و از آن نقطه به بعد موتور رلوکتانس سوئیچی می تواند گشتاور مثبت تولید نماید تا زمانی که شیب منحنی اندوکتانس تقریباً صفر شود. در واقع بهترین زمان برای قطع کردن ولتاژ همین لحظه ی افزایش رلوکتانس یا در واقع زمانی که جریان به مقدار ماکزیمم خود می رسد. در این زمان باید ولتاژ ورودی از طریق سویچ روی سیم پیچ فاز دیگر سویچ شود. و همین روند برای فاز بعد تکرار می شود. تغییر ولتاژ از یک سیم پیچ به سیم پیچ دیگر توسط سویچ انجام می شود. و تشخیص زمان سویچ توسط سنسور جریان و میکرو کنترلر انجام می شود. در واقع زمانی که مسیر ولتاژ در یکی از فازها توسط سویچ بسته می شود. جریان آن فاز شروع به افزایش می کند تا زمانی که به مقدار ماکزیمم خود برسد این جریان در هر لحظه توسط سنسور جریان و میکرو کنترلر چک می شود و هنگامی که به مقدار ماکزیمم خود برسد توسط میکرو تشخیص دار می شود. و در این لحظه پالسی که توسط میکرو روی سویچ آن فاز است قطع می شود و سویچ

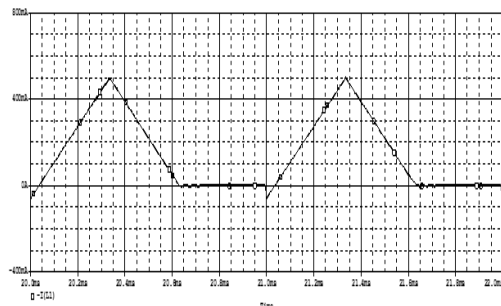
سوئیچ فاز مورد نظر خاموش شود، جریان در آن فاز کاهش می یابد. مسیر تخلیه از طریق دیود هرزگرد مربوط به همان فاز فعال می شود، به این ترتیب که با تغییر پلاریته سلف، انرژی ذخیره شده در آن به ورودی و فاز های دیگر انتقال پیدا می کند. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است پالس های کنترلی به صورت متناوب به گیت های سوئیچ ها اعمال می شود. شکل ۶ شکل موج جریان فازها را نشان می دهد که همان طور که مشخص است جریان به صورت خطی افزایش می یابد و با قطع شدن پالس اعمالی جریان تخلیه می شود.



شکل (۵) شکل موج جریان های فاز های متوالی



شکل (۶) پالس اعمال شده به از سوئیچ ها



شکل (۷) شکل موج جریان یکی از فازها

۳- نتیجه گیری

پایاده سازی این روش مزایای برجسته زیر را در مقایسه با سایر روشهای کنترل بدون سنسور آشکار نمود:

- ۱- دارا بودن ماهیت خود تنظیمی که این موضوع خود باعث پدید آمدن ویژگیهای منحصر به فرد زیر می گردد:
- الف) تصحیح مداوم پالسهای تشخیص اعمالی به موتور براساس شرایطی از قبیل سرعت، بار، ولتاژ عملکرد موتور.
- ب) توانایی راه اندازی موتورهایی در گستره توان چند ده وات تا چندین کیلووات.
- ج) توانایی راه اندازی موتور با سطوح ولتاژ مختلف.
- ۲- این روش علاوه بر اینکه توانایی راه اندازی موتور از حالت ایستا با گشتاور زیاد را داراست، قادر است عملیات کنترل موتور

را در سرعتهای بالا نیز طبق تنظیمات کاربر انجام دهد

مراجع

- [1] P.J.Lawrsenon, "Switched Reluctance Motor Drivers," in proceeding IEEE, 1983, pp. 144-147.
- [2] J.P. Lyons, and S.R. MacMinn, "Lock Detector for Switched Reluctance Machine Rotor Position Estimator," US Patent No. 5140244, 18 August 1992.
- [3] O.Ahmed, K. Ohyama, Y. Narumoto, H. Fujii and H. Uehara, "Sensorless Operation Of srm Drives From Starting To Steady State," IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Electron, 2002, pp. 1269-1274.
- [4] E. Kayikci and R.D. Lorenz, "Self-Sensing Control of a Four Phase Switched Reluctance Drive Using High Frequency Signal Injection including Saturation Effects," IEEE Ind, 2009, pp. 611-618.
- [5] M.Ehsani, I.Hosein and A.B.Kulkarani, "Elimination of Discrete Position Sensor and Current Sensor in Switched

همان طور که در شکل ۴ مشخص است پالس ها به صورت متوالی به فاز ها اعمال می شوند که البته زمان اعمال پالسها و پهنای هر پالس به شکل موج جریان هر فاز بستگی دارد و توسط سنسور جریان و میکروکنترلر تعیین می شود. از ویژگی های این مدار این است که دارای تعداد المان های کمتری است. بطوریکه سوئیچ در مدار اصلی، با یک دیود زبر جایگزین شده ، که خود سبب ساده تر شدن عملکرد مدار، در مسیر تخلیه مبدل گشته است. با روشن شدن سوئیچ مربوط به هر فاز جریان راه انداز از طریق منبع در آن جاری می شود و به این ترتیب فاز فعال می گردد و جریان در آن شروع به افزایش می کند. در این حالت اگر

- Reluctance Motor Drives*,” IEEE Trans on Power Electronics, vol. 28, no. 1, 1992.
- [6] A.Moraveji, A. Siadatan, E. Afjei, M. Rafiee and E. Zarei Ali Abadi, “*DSP Sensorless Controller of Switched Reluctance Motor-Generator Approaching to AM Modulation*,” IEEE Ind, 1992, pp. 1-5.
- [7] A.Najafi, E. Afjei and H. Khalili, “*Rotor Position Detection in SRM Drive Utilizing Phase Shift Variations in a Formed Resonant Circuit*,” IEEE Ind, 2007, pp. 1-5.
- [8] P.P. Acarnley, “*Stepping Motors: A Guide to Modern Theory and Practice*,” Peter Peregrinus Ltd, 1982.
- [9] Ooi, H.S.; Green, T.C., “*Sensorless Switched Reluctance Motor Drive with Torque Ripple Minimization*,” Proceedings of Power Electronics Specialists Conference, 2000, vol. 3, pp: 1538 - 1543.
- [10] Jih-Sheng Lai, “*Soft-Switching Converters for Electric Propulsion Drives with Consideration of Motor Types*,” D.Ing. Dissertation, Rand Afrikaans University, 1994.
- [11] Terry W. Jackson, “*Analysis and Design of a Novel Controller Architecture and Design Methodology for Speed Control of Switched Reluctance Motors*,” Master’s thesis, VT, July 1996
- [12] D.S. Schramm, B.W. Williams and T.C. Green, “*Torque Ripple Reduction of Switched Reluctance Motors by Phase Current Optimal Profiling*,” Proceedings of Power Electronics Specialists Conference, 1992, vol. 2 , pp: 857 –860.
- [13] N.N. Fulton and J.M. Stephenson. “*A Review of Switched Reluctance Machine Design*”, International Conference on Electric