

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده ی مهندسی برق و رباتیک

گروه رباتیک

عنوان سمینار : ریزپله (MicroStepping) و روش پیاده سازی آن

نویسنده : سید محمد میرطالبی

سایت مهندسی رباتیک

WWW.ROBOTICS-ENGINEERING. IR

Robotics

مقدمه :

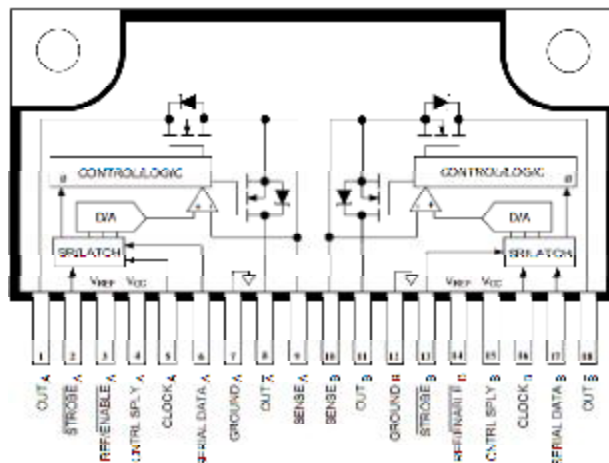
بی تردید بیان کاربرد گسترده ی موتورهای پله ای چندان ضرورتی ندارد چرا که ویژگی های خاص این نوع موتور آن را به گزینه ای مناسب برای استفاده در دستگاه هایی که عامل کنترل در آن ها اهمیت دارد مبدل نموده است. موتورهای پله ای امر کنترل موقعیت و سرعت را به سادگی محقق نموده و پیچیدگی مدارات کنترلی را بسیار کاهش می دهند. البته این دست موتورها همچون هر ساخته ی دیگر دست بشر دارای معایب و کمبودهایی هستند که بیانشان از این بحث خارج است.

از ویژگی های برجسته ی موتور پله ای قابلیت موقعیت دهی آسان آن است، به طوریکه با هر پالس می توان روتور را به میزان یک پله دوران داد. اما همانطور که می دانید این حرکت پیوسته نبوده و با ضربه در هنگام شروع حرکت روتور و نیز ضربه در هنگام توقف آن همراه است. علت این امر نیز مشخص است، حرکت پله ای. این حرکت پله ای هرچند عامل اصلی محبوبیت این نوع موتور است اما در عمل موجبات ارتعاشات ناخواسته در سیستم را پدید می آورد. هرچه بسامد کاری و دقت موتور کاهش می یابد این ارتعاشات نمود پررنگ تری داشته و حتی ممکن است در خروجی سیستم تاثیر گذار باشد. با در نظر گرفتن این موضوع که کاهش دقت و سرعت روتور تاثیری مستقیم در افزایش ارتعاشات دارد، اگر حداکثر دقت یک موتور پله ای از حداقل دقت مورد نیاز ما کمتر بود چه باید کرد؟ یک جواب این است که می توان از موتوری با دقت بالاتر استفاده نمود. در صورتیکه چنین موتوری موجود باشد استفاده از آن بسیار مناسب است، اگر هزینه ی بیشتر آن را نیز تقبل کنیم. حال اگر چنین موتوری در دسترس نبود - که در بیشتر موارد نیست - و یا هزینه ی کل سیستم را افزایش داد چه باید کرد؟ جواب این سوال جواب دومی است برای سوال اول! راه حل نهایی روشی بسیار متداول و البته جالب است. روشی که شما را قادر به افزایش دقت یک موتور پله ای تا 256 برابر یا بیشتر می کند. روش ریزپله. در ادامه با این روش و یک نمونه از راه اندازهای مناسب آن جهت پیاده سازی آشنا خواهید شد. برای ورود به بحث لازم است که با ساختمان، نحوه ی راه اندازی موتورهای پله ای و همچنین روش PWM آشنا باشید.

کاربرد PWM در پیاده سازی ریزپله :

در راه اندازی موتور های پله ای به صورت پله کامل بسته به نوع سیم بندی موتور می توان روش های مختلفی را مورد استفاده قرار داد، اما مستقل از روشی که به کار می بریم یک چیز بین همه ی آن ها مشترک است و آن حرکت کامل روتور از یک قطب به قطب دیگر است. اما اگر بتوانیم روتور را در فاصله ی بین دو قطب نیز تحت کنترل قرار دهیم گام اول را بسوی پیاده سازی روش ریزپله برداشته ایم. به طور مختصر ریزپله روشی است که در آن هر پله ی موتور پله ای به چندین پله ی مجازی تقسیم شده و روتور برای عبور از یک قطب به قطب دیگر ناگزیر به عبور از این پله های مجازی بوده و حرکتی بسیار نرم تر را برای کاربر فراهم می کند. فرض کنید در حال راه اندازی موتور پله ای با سیم بندی UniPolar هستید و ترتیب اعمال پالس به سیم پیچ ها به صورت $A^* - B^* - A$ برای حرکت ساعتگرد است و در نظر داریم روتور را از A به B حرکت دهیم. در این حالت ابتدا روتور مقابل سیم پیچ A بوده و این به معنی روشن بودن سیم پیچ A و خاموش بودن سیم پیچ B است. سپس برای قرار دادن روتور مقابل سیم پیچ B باید سیم پیچ A خاموش و B روشن شود. همانطور که مشخص است در اینجا سیم پیچ ها را به صورت کاملن منطقی روشن و خاموش در نظر گرفتیم. اگر همین ترتیب روشن خاموش شدن را ادامه دهیم اما به جای فقط روشن و خاموش کردن، هر دو را مثلن نیمه روشن (البته واضح است که منظور از روشن و خاموش کردن سیم پیچ اعمال و یا قطع جریان آنست) کنیم می توانیم روتور را جایی بین دو سیم پیچ متوقف کنیم. مسابقه ی طناب کشی را در نظر آورید که دو گروه از دو طرف در حال کشیدن طناب هستند و میانه ی طناب در جایی ثابت باقی مانده است. اگر یکی از طرفین سر طناب را ناگهان رها کند (خاموش) میانه ی طناب به سرعت به طرف گروهی که با پشتکار مشغول کشیدن بودند (روشن) حرکت می کند. بگذریم از آنچه پس از آن به سر گروه کشنده می آید، مهم اینست که این اتفاق چیزی شبیه اتفاقی است که در راه اندازی منطقی موتور پله ای می افتد. حال تصور کنید گروهی که طناب را به یکباره رها کرده بود این کار را به تدریج و با کم کردن نیروی کشش خود انجام می داد، بله، میانه ی طناب نیز به آرامی به سمت گروه "فقط کشنده" حرکت می کرد. سیم پیچ های A و B را دو گروه کشنده و روتور را طناب در دستشان فرض کنید. حال چگونه می توان شدت میدان الکترومغناطیسی (نیروی کشش) حاصل از سیم پیچ های موتور را تحت کنترل قرار داد؟ جواب کاهش یا افزایش تدریجی ولتاژ دو سر سیم پیچ است. اینجاست که روش PWM به کمک آمده و به خوبی سطح متوسط ولتاژ/جریان مطلوب را برای ما فراهم می کند. پس قصد ما در اصل تنظیم جریان متوسط عبوری از مثلن دو سیم پیچ A و B و در نهایت ایجاد حرکتی با پیوستگی بیشتر بین دو سیم پیچ مذکور است (ایجاد پله های مجازی). برای پیاده سازی این روش مدارات مجتمع ویژه ای موجود است که در اینجا به معرفی یک نمونه از آن می پردازیم.

آی سی SLA7044M :



همانطور که در شماتیک بالا مشاهده می کنید این آی سی دارای دو بلوک مشابه بوده که هریک کار تنظیم جریان دو سیم پیچ را از طریق پایه های خروجی به عهده دارند. از قابلیت های قابل ذکر آن می توان به موارد زیر اشاره نمود :

- راه اندازی موتورهای پله ای تا 46 ولت و 3 آمپر

- کنترل جریان به صورت دیجیتالی

- PWM با دقت و بازده بالا

- تلفات درونی ناچیز

پیشتر گفتیم که ساختمان این آی سی متشکل از دو بلوک مشابه بوده که هریک دو سیم پیچ را تحت کنترل قرار می دهند. بار دیگر نگاهی به شماتیک آی سی مذکور بیاندازید. برای هر بلوک 9 پایه در نظر گرفته شده است که کاربرد هر یک به اختصار در پی می آید. 9 پایه ی دیگر نیز مشابه می باشند.

1- OUT A : خروجی آی سی که به سیم پیچ A متصل می گردد.

2- STROBE A : فرمان انتقال داده ی سه بیتی (درصد جریان) از بلوک SR/LATCH به D/A و

CONTROL/LOGIC

3- REF/ENABLE : فعال و غیر فعال کردن خروجی در $OUT A/A^*$ (با اتصال به زمین فعال می گردد/صفر- فعال)

4- CTRL/SPLY A : تغذیه ی مدارات منطقی درون آی سی (7.0V Max)

5- CLOCK A : پالس ساعت برای ارسال داده ی سه بیتی به انضمام فرمان انتقال (STROBE A)

6- SERIAL DATA A : جهت ارسال داده ی سه بیتی

7- GROUND : اتصال به زمین

8- $OUT A^*$: خروجی آی سی که سیم پیچ A^* متصل می گردد.

9- SENSE A : محدود کننده ی جریان سیم پیچ ها، در صورتیکه مستقیم به زمین متصل گردد بیشینه ی جریان مورد نیاز موتور به سیم پیچ ها اعمال می گردد.

Serial Data Pattern

		OUT excitation (MODE χ)	$\overline{OUT}$ excitation (MODE $\overline{\chi}$)
CLOCK		Phase a b c	Phase a b c
STROBE		0	0
DATA	MODE0 (0%)	0	0
	MODE1 (20%)	0	0
	MODE2 (40%)	0	0
	MODE3 (55.5%)	0	0
	MODE4 (71.4%)	0	0
	MODE5 (83%)	0	0
	MODE6 (91%)	0	0
	MODE7 (100%)	0	0

چگونگی بکارگیری آی سی SLA7044M :

گفتیم که یکی از قابلیت های این راه انداز امکان کنترل دیجیتال جریان (سیم پیچ) است. این امر بوسیله ی یک داده ی سه بیتی که بعنوان نمونه توسط میکروکنترلر به پایه ی SERIAL DATA اعمال می گردد قابل انجام است. جدول زیر که از دیتا شیت مربوط استخراج گردیده را ملاحظه کنید.

سطر اول این جدول نمایش دهنده ی ترتیب اعمال CLOCK و STORBE بوده و در باقی سطور داده های مختلف سه بیتی (چهار بیت که بیت اول تعیین کننده ی OUT یا OUT^* است) نشان داده شده اند. از قسمت

DATA سطر دوم را در نظر بگیرید. نام این سطر (MODE1(20% است. یعنی اگر شما قصد اعمال 20% از جریان کل به سیم پیچ مورد نظر خود را دارید باید داده ای مطابق این سطر را از طریق پایه SERIAL DATA در لچ ذخیره نمایید. اما اینجا دو ستون داده وجود دارد! بله، ستون سمت چپ برای اعمال جریان به سیم پیچی است که به OUT و ستون سمت راست برای اعمال جریان به سیم پیچی است که به OUT* متصل گردیده است. بار دیگر نگاهی به شماتیک آی سی بیاندازید. جریان پایه ی A OUT و OUT* از طریق SERIAL DATA A کنترل شده و جریان پایه ی B OUT و OUT* نیز از طریق SERIAL DATA B کنترل می شود. می دانید که برای راه اندازی موتور پله ای همواره حداقل یک و حداکثر دو سیم پیچ روشن بوده و تغذیه می شود، با این حساب همواره نهایتن دو خروجی آی سی فعال بوده و مابقی در حالت قطع می باشد. با یک مثال مطلب روشن تر می گردد. فرض کنید می خواهید روتور را جایی بین دو سیم پیچ B* و A نگهدارید. به این منظور می خواهید 40% جریان بیشینه را به سیم پیچ B* و 91% جریان بیشینه را به سیم پیچ A اعمال کنید و البته واضح است که سیم پیچ A را به پایه A OUT و سیم پیچ B* را به پایه B* OUT متصل نموده اید (A* و B نیز به ترتیب به OUT A* و OUT B). حال زمان آن رسیده که نگاهی به جدول فوق انداخته تا داده ی مناسب جهت جریان مطلوبتان را به آی سی وارد نمایید. برای سیم پیچ A که به OUT A متصل شده باید (MODE6(91% از ستون سمت چپ و برای سیم پیچ B* که به OUT B* متصل است باید (MODE2(40% از ستون سمت راست را اعمال کنید. به این ترتیب شما خواهید توانست روتور را در نزدیکی سیم پیچ A متوقف کنید. اما نحوه ی ارسال داده ها، کلاک و استروب چگونه است؟ همان جدول صفحه ی قبل به خوبی ترتیب ارسال را مشخص نموده است. ابتدا بیت اول را بر روی پایه ی SERIAL DATA A/B* قرار داده (دقت کنید که می توانید همزمان بر روی هر دو پایه SERIAL DATA داده ارسال کنید. برای این کار کافیست که پایه های کلاک را به هم و پایه های استروب را نیز به هم متصل کرده و فقط داده ها را جداگانه از طریق دو پایه میکرو کنترلر ارسال نمایید) سپس با لبه ی پایین رونده ی کلاک این بیت در لچ ذخیره می گردد. (به خاطر داشته باشید که بیت اول داده ها تعیین کننده فاز خروجی (OUT یا OUT*) است و ارتباطی به داده ی سه بیتی ندارد. همانطور که در جدول مشخص است اولین بیت تمامی داده های ستون سمت چپ یک و اولین بیت تمامی داده های ستون سمت راست صفر است.) سپس بیت دوم را بر روی پایه ی SERIAL DATA A/B قرار داده و با لبه ی پایین رونده ی کلاک این بیت را نیز در لچ ذخیره می کنید. این کار برای بیت های سوم و چهارم نیز انجام داده و در آخر یک پالس برای پایه STROBE A/B ارسال داشته و بوسیله ی آن فرمان قرار گیری اطلاعات لچ بر روی D/A و CONTROL/LOGIC صادر می کنید. با این کار جریان مناسب و مطلوبتان بر روی خروجی های مورد نظر قرار می گیرد.

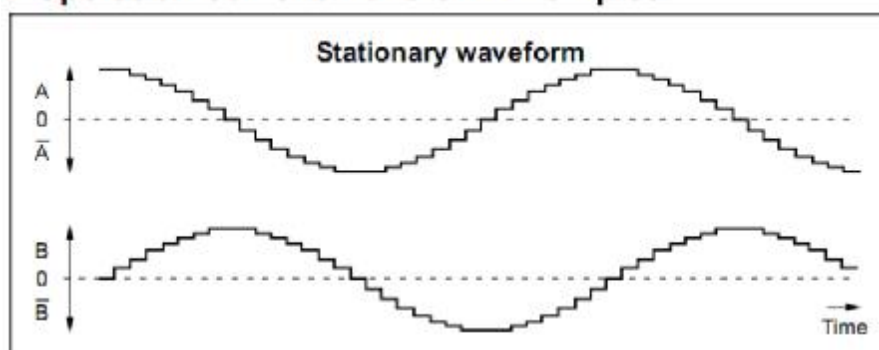
اکنون که با نحوه ی انتخاب خروجی و ارسال داده ها آشنا شدید باید دید که چگونه و با چه ترتیبی می توان از ترکیب این درصد های جریان حرکتی نرم و پیوسته را در موتور ایجاد نمود. دیتا شیت سازنده ی این آی سی یک نمونه از ترکیب این مُد ها را برای حرکت با دقت 1/8 پله (بیشینه دقت این آی سی) در قالب جدولی ارائه کرده است که در زیر آن را مشاهده می کنید.

ISerial Data Sequence Example (2W 1-2 Phase Excitation for CW)

Sequence	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	0
DATA-A MODE	4	3	2	1	0	$\bar{1}$	$\bar{2}$	$\bar{3}$	$\bar{4}$	$\bar{5}$	$\bar{6}$	$\bar{7}$	$\bar{7}$	$\bar{6}$	$\bar{5}$	$\bar{4}$	$\bar{3}$	$\bar{2}$	$\bar{1}$	$\bar{0}$	1	2	3	4	5	6	7	7	7	6	5	4	
DATA-B MODE	4	5	6	7	7	7	6	5	4	3	2	1	0	$\bar{1}$	$\bar{2}$	$\bar{3}$	$\bar{4}$	$\bar{5}$	$\bar{6}$	$\bar{7}$	$\bar{7}$	$\bar{7}$	$\bar{6}$	$\bar{5}$	$\bar{4}$	$\bar{3}$	$\bar{2}$	$\bar{1}$	0	1	2	3	4

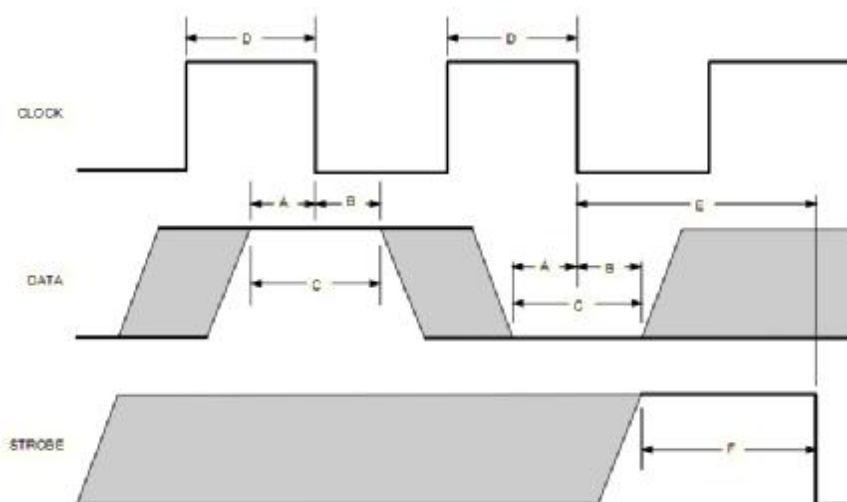
همانطور که ملاحظه می کنید اگر داده های تعیین شده را به ترتیبی که در جدول بالا آمده ارسال کنید در اصل شکل موجی تقریبین سینوسی (که در روش معمول راه اندازی موتورهای پله ای مربعی است) از جریان را به صورت زیر به سیم پیچ ها اعمال کرده اید.

■ Operation Current Waveform Examples



نکاتی چند پیرامون نحوه ی ارسال داده های سه بیتی و نحوه ی اعمال کلاک و استروب:

از آنجایی که همواره در مدارات منطقی با فاکتوری به نام "زمان تاخیر انتشار" روبرو هستیم دیتا شیت مربوطه دیگرامی برای حداقل فواصل زمانی بین قراردادن داده و اعمال کلاک و همینطور بین کلاک و پالس استروب ارائه نموده و با اینکه این فواصل در حد 150 تا 650 نانو ثانیه هستند اما لازم است که مورد توجه قرار گیرند. چراکه اگر با میکروکنترلر قصد تهیه کلاک و ارسال داده را داشته باشید باید از همزمانی قرار گیری داده و ارسال کلاک و یا استروب اجتناب ورزید. دیگرام زیر و توضیحاتش در این باره راه گشاست.



SERIAL PORT TIMING CONDITIONS

($T_A = +25^\circ\text{C}$, Logic Levels are V_{DD} and Ground)

A. Minimum Data Active Time Before Clock Falling Edge (Data Set-Up Time)	150 ns
B. Minimum Data Active Time After Clock Falling Edge (Data Hold Time)	150 ns
C. Minimum Data Pulse Width	350 ns
D. Minimum Clock Pulse Width	350 ns
E. Minimum Time Between Clock and Strobe Falling Edges	650 ns
F. Minimum Strobe Pulse Width	500 ns

به عنوان نمونه بازه ای که با نام C مشخص گردیده نشان دهنده ی حداقل عرض پالس دیتا بوده که زمان آن نیز 350ns ذکر گردیده و یا محدوده ی A نشان دهنده ی حداقل زمانبست که باید بین قرار دادن داده بر روی SERIAL DATA و اعمال لبه ی پایین رونده ی کلاک فاصله قرار داد، محدوده ی B نیز بیان گر حداقل زمان لازم برای برداشتن داده از روی پایه ی SERIAL DATA پس از اعمال کلاک است. همانطور که گفته شد این زمان بندی ها به خاطر تاخیراتی است که ممکن است در مدارات داخلی آی سی وجود داشته باشد و عدم رعایت آن منجر به عملکرد نادرست سیستم می شود.

جمع بندی :

در مقاله ای که به محضر شما تقدیم شد مروری داشتیم پیرامون ماهیت ریز پله و یکی از ابزارهای پیاده سازی آن. هدف اصلی از استفاده ی این روش کاهش ارتعاشات سیستم به خصوص در دوره های پایین می باشد. افزایش دقت در موقعیت دهی روتور نیز می تواند از مزیت های دیگر این روش باشد. ویژگی های اشاره شده موجب استفاده از روش در دستگاه های CNC است.

آی سی که در اینجا معرفی گردید قابلیت افزایش دقت تا 8 برابر را دارد و برای دقت های بالاتر باید از انواع دیگری از همین خانواده استفاده نمود. هرچند افزایش دقت موتور های پله ای بوسیله ی ریز پله به صورت نظری محدودیتی ندارد، اما باید در نظر داشت که طراحی مدارات الکترونیکی لازم با توانایی تولید درصد های دقیقی از جریان برای سیم پیچ ها چندان ساده نیست (به همین خاطر بهتر است از راه انداز های آماده مانند آی سی حاضر استفاده نمود). ضمن اینکه کیفیت ساخت موتور نیز در این امر تاثیری بسزا داشته که باید مورد توجه قرار گیرد. لذا دقت های تا 32 و در مواردی 64 برابر می تواند خواسته های ما را با کمترین مشکلی برآورد. به هر صورت هر روشی محدودیت های خود را داراست.

در آخر پیشنهاد می کنم با مراجعه به دیتا شیت این آی سی با امکانات دیگر آن آشنا شده و ظرایف کاربردی دیگری که بدلیل خودداری از طولانی تر شدن مطلب از عنوانش چشم پوشی نمودم فراگیرید.

با وجود تمام کاستی ها و پیچیدگی ها امیدست نگارنده در آرایه ی آنچه قصد بیان را داشته موفق بوده باشد.

سایت مهندسی رباتیک

WWW.ROBOTICS-ENGINEERING. IR

Robotics