

استپر موتور (بخش اول)

نویسنده: اوژن کی نژاد

استپر موتورهای جایگاه خاصی در ربات ها و دستگاه های CNC دارند و هنگامی که سرعت حرکت بالایی مورد نظر نباشد، از نظر عملکرد و هزینه موتور بسیار مناسبی برای حرکت محورها محسوب می شوند. این موتورها که گاهی از آنها با عنوان موتور Gearboxless نام برده می شود، دارای حداکثر گشتاور در وضعیت متوقف و قفل هستند و گشتاور آنها با افزایش سرعت کاهش می یابد. بنابراین اگر فرکانس موج ورودی از مقدار مشخصی بالاتر برود، گشتاور خروجی موتور به حدی کاهش می یابد که حتی قادر به چرخاندن روتور خود هم نیست. پس مزیت استپر موتور از نظر گشتاور، حرکت در دورهای پائین با حفظ گشتاور بالاست.

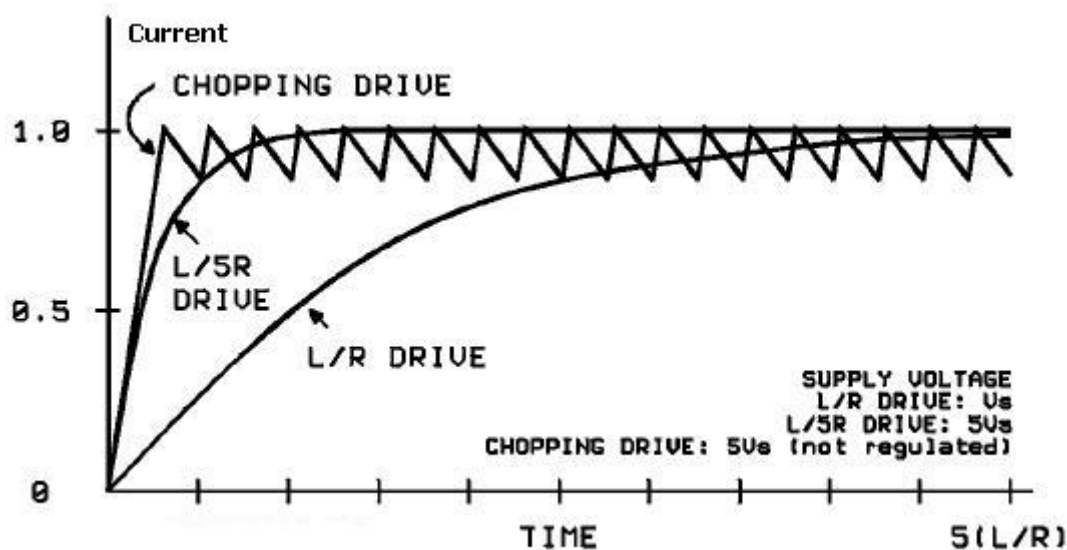
از نظر تعداد سیم پیچ هم استپر موتورهای مورد استفاده معمولاً دو فاز یا پنج فاز هستند که در این مقاله به موتورهای دو فاز پرداخته می شود. استپر موتورها در انواع ۴ سیمه، ۵ سیمه، ۶ سیمه و ۸ سیمه وجود دارند. در نوع ۴ سیمه دو سیم پیچ مجزا وجود دارند که باید با روش Bipolar یا دو قطبی درایو شوند. در این روش با قرار دادن هر سیم پیچ در یک مدار پل (Bridge)، جریان در دو جهت از سیم پیچ عبور می کند. نقطه مقابل این روش، عبور جریان در یک جهت از سیم پیچ ها است که به این روش Unipolar یا تک قطبی گفته می شود. سر وسط هر سیم پیچ در این روش از موتور خارج می شود و معمولاً به تغذیه مثبت درایور متصل می شود. با عملکرد ۴ سوئیچ قدرت، سرهای خروجی هر سیم پیچ در زمان مناسب به زمین متصل می شوند و بنابراین از هر نیمه سیم پیچ تنها در یک جهت جریان عبور می کند. روش دو قطبی از نظر مشخصه گشتاور و پاسخ موتور از هر جهت نسبت به روش تک قطبی مزیت دارد و تنها سادگی روش تک قطبی است که پیاده سازی آنرا راحت تر می کند. در استپر موتورهای ۵ سیمه، دو سر وسط سیم پیچ ها بصورت داخلی به یکدیگر متصل شده اند و بنابراین باید به روش تک قطبی درایو شوند. در موتور های ۶ سیمه، دو سر وسط در دسترس است تا هر یک از روش های تک قطبی یا دو قطبی را بتوان برای آنها بکار برد. اما در موتورهای ۸ سیمه خروجی هر نیمه سیم پیچ بصورت مجزا خارج شده و این امکان وجود دارد که این نیمه سیم پیچ ها با یکدیگر سری یا موازی شوند. علاوه بر اینکه این موتورها را می توان با سری کردن سیم پیچ ها به هر یک از دو روش تک قطبی و دو قطبی درایو کرد، این امکان وجود دارد که هر دو نیمه سیم پیچ با یکدیگر موازی شوند و به صورت دو قطبی درایو شوند. موازی کردن سیم پیچ ها منجر به دوبرابر شدن جریان خروجی درایور است، اما ولتاژ لازم نسبت به روش دو قطبی را به نصف کاهش می دهد. به این نوع موتور ها، موتورهای Bifilar گفته می شود.

درایورهای استپر موتور به دوصورت ولتاژی و جریانی عمل می کنند. در نوع ولتاژی که بسیار ساده تر است، ولتاژهای مناسبی توسط سوئیچ های الکترونیک به سیم پیچ های موتور اعمال می شود و با فرض اینکه گشتاور بار از گشتاور موتور کمتر باشد، حرکت مورد نظر در موتور ایجاد می شود. اشکال این روش این است که با افزایش سرعت موتور و به دلیل خاصیت سلفی آن، جریان گذرنده از موتور با افزایش فرکانس کاهش می یابد و بنابراین گشتاور موتور هم به همین دلیل کاهش می یابد. این روش در حین اینکه از نظر پیاده سازی بسیار ساده تر است اما به دلیل این که با افزایش فرکانس ورودی عملاً استپر موتور به سرعت کارایی خود را از دست می دهد، به دورهای پائین و حرکت های کند منحصر می شود. مثالی از این نوع درایو موتور، قرار دادن ۴ عدد ترانزیستور برای سوئیچ کردن سیم پیچ های یک موتور دو فاز و با یک تغذیه ثابت است.

در روش درایو جریانی که روش پیشرفته ای محسوب می شود، از مقدار جریان های موتور فیدبک گرفته می شود و متناسب با جریانی که باید از سیم پیچ موتور عبور کند، زمان اعمال ولتاژ به آن تغییر می کند و این زمان مقدار ثابتی نیست. درایور موتور در این حالت به عنوان یک منبع جریان و نه منبع ولتاژ عمل می کند و بنابراین با اعمال هوشمند ولتاژ به موتور، سیم پیچ های آن را مجبور می کند که جریان مورد نظر را از خود عبور دهند. به همین دلیل پاسخ موتور از نظر گشتاور و بالاتر بودن فرکانسی که موتور می تواند در آن به حرکت درست خود ادامه دهد، بسیار بهتر از درایو ساده از طریق اعمال ولتاژ در زمان های ثابت است. مثالی از این نوع درایور، عملکرد مجموعه IC های L297-L298 از طریق ایجاد یک فیدبک جریان و مقایسه آن با یک ولتاژ reference مشخص است. استپر موتورها به ۳ روش Full step و Half step و microstepping درایو می شوند که در مورد این روش ها در ادامه مقاله توضیح داده خواهد شد.

برای افزایش سرعت استپر موتورها معمولا دو روش مورد استفاده قرار می گیرد. در روش اول برای کاهش ثابت زمانی شارژ جریان موتور، یک مقاومت با هر سیم پیچ موتور سری می شود. بنابراین در ثابت زمانی L/R به دلیل افزایش مخرج کسر، کاهش با نسبت عکس نسبت مقدار مقاومت ایجاد می شود. در این روش باید تغذیه درایور هم به مقدار مناسب افزایش یابد تا ولتاژ موتور تامین شود. اگر مقاومت سری موتور R در نظر گرفته شود و مقاومت NR با آن سری شود، ثابت زمانی به میزان $N+1$ مرتبه کاهش می یابد و تغذیه اعمال شده به کل مجموع موتور و مقاومت هم باید $N+1$ برابر شود تا جریان موتور حفظ شود. اشکال اصلی این روش، ایجاد تلفات حرارتی روی مقاومت سری و نیاز به تغذیه با ولتاژهای به مراتب بزرگتر از ولتاژ نامی استپر موتور است.

در روش دوم که به chopping معروف است، تغذیه ای به مراتب بزرگتر از مقدار نامی به سیم پیچ موتور اعمال می شود. بنابراین جریان موتور با شیب بزرگتری نسبت به وضعیتی که با ولتاژ نامی خود درایو شود، رشد می کند. به محض رسیدن جریان موتور به مقدار مورد نظر، وضعیت ولتاژ اعمال شده به آن تغییر می کند و بنابراین جریان مجددا کاهش می یابد. این سیکل نوسانی منجر به تثبیت جریان موتور در حوالی جریان مورد نظر می شود و همان عملکرد منبع جریان را شبیه سازی می کند. در شکل زیر نمایی از هر سه روش نمایش داده شده است (منبع SGS-THOMSON)



برای انتخاب یک استپر موتور و درایور آن باید به مسائلی نظیر دقت موتور، مشخصه گشتاور خروجی، ولتاژ و جریان نامی، تعداد سیم پیچ ها و ابعاد فیزیکی موتور توجه شود. از نظر مشخصه گشتاور برای یک استپر موتور یک پارامتر Holding Torque برحسب kgf.cm یا N.cm یا N.m تعریف می شود (هر 1N.m تقریباً 10kgf.cm است). سوالی که برای بسیاری از استفاده کننده ها از استپر موتورها مطرح می شود این است که این اعداد را باید چطور تعبیر کرد تا به قدرت موتور پی برد؟ مثلاً موتوری با گشتاور 18kgf.cm در عمل چقدر قدرت دارد؟ پاسخ این سوال در تعریف کمیت گشتاور نهفته است. چنین موتوری می تواند در فاصله یک سانتیمتری از مرکز محور خود، 18kgf نیرو بصورت مماس بر دایره چرخش وارد کند یا به صورت دیگر در فاصله ۱۰ سانتی متری از مرکز محور خود می تواند 1.8kgf نیرو وارد کند. البته مقدار گشتاور با شروع چرخش موتور به تدریج کاهش می یابد و حداکثر آن در وضعیت قفل موتور اعمال می شود. پس با توجه به این گشتاور و نسبت تبدیل هایی که در سیستم مکانیکی وجود دارد می توان استپر موتور را از نظر گشتاور خروجی آن انتخاب کرد.

درایورهای صنعتی استپر موتور که برای ساخت CNC مورد استفاده قرار می گیرند، معمولاً دارای ۳ ورودی Pulse (یا Clock) و Direction و Enable هستند. در برخی انواع پیشرفته تر ممکن است بتوان بصورت سریال و با ارسال دستورالعمل هایی به درایور، جهت و مقدار حرکت و سایر موارد را به درایور اعلام کرد. ممکن است خروجی هایی هم از درایور برای تشخیص شرایط Fault و مانند آن پیش بینی شده باشد. برای تنظیم سطح جریان موتور معمولاً یک پتانسیومتر روی درایور قرار دارد که جریان موتور بوسیله آن تنظیم می شود و تغذیه اعمال شده به درایور هم به دلیل مکانیزم کنترل جریانی که وجود دارد، بسیار بزرگتر از ولتاژ نامی موتور در نظر گرفته می شود. دقت حرکت درایور هم می تواند بوسیله ورودی های فرمان یا Dip switch یا فرمان سریال تعیین شود که همه این موارد بستگی به نوع درایور مورد استفاده قرار می گیرد.