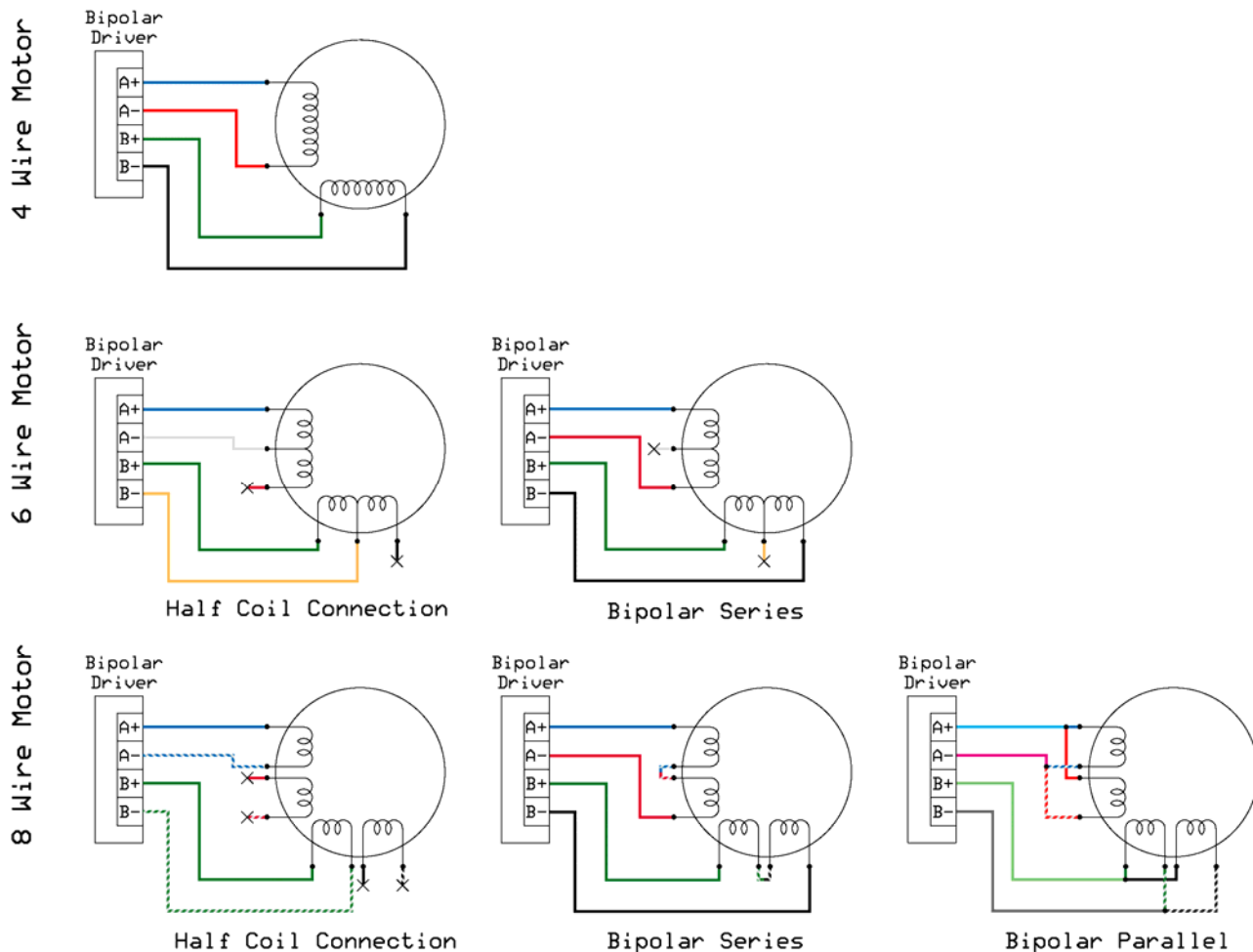


نحوه اتصال استپر موتور ها به درایور های بی پلار

استپر موتور های ۴، ۶ و ۸ سیمه را میتوان به درایور های بی پلار وصل نمود. روش اتصال آن در منابع مختلف آمده است و در شکل زیر نیز نمونه دیگری از آن آورده شده.



درایور های بی پلار فقط برای دریافت ۴ سیم (۲ فاز) ورودی دارند.

تکلیف موتور های ۴ سیمه با این درایور ها روشن است. شکل بالا - ردیف اول

موتور های ۶ سیمه را به دو طریق میتوان به درایور بی پلار وصل کرد. شکل بالا - ردیف وسط

روش اول اتصال نیم کویل (Half Coil) است. در این حالت یک سر سیم هر کویل با مشترک همان کویل، یک فاز محسوب میشود. سر سیم دیگر کویل آزاد بوده و به جایی متصل نیست.

روش دوم اتصال بی پلار سری (Bipolar Series) است. در این حالت سر سیم مشترک بلا استفاده بوده و از دو سر سیم دو کویل هر فاز استفاده میشود.

موتور های ۸ سیمه را به سه طریق میتوان به درایور بی پلار وصل کرد. شکل بالا - ردیف پائین

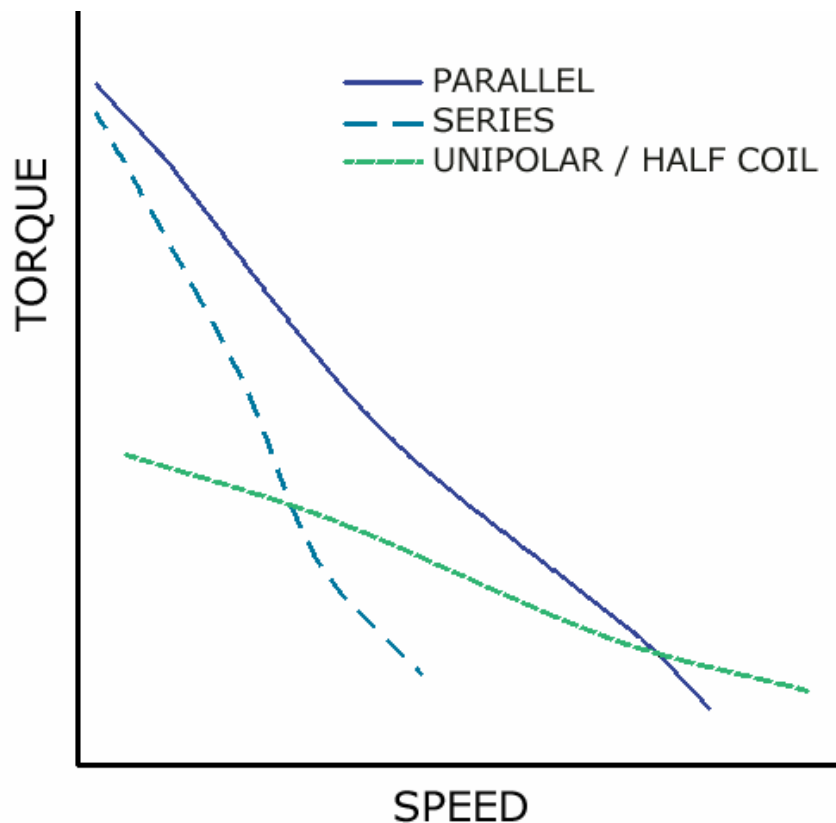
روش اول اتصال نیم کویل (Half Coil) است. در این حالت دو سر سیم هر کویل یک فاز محسوب میشود. سر سیم های کویل دیگر آزاد بوده و به جایی متصل نیستند.

روش دوم اتصال بی پلار سری (Bipolar Series) است. در این حالت با وصل کردن دو سر سیم از هر یک از کویل های یک فاز، یک سرسیم مشترک ایجاد شده و از دو سر سیم دیگر هر فاز استفاده میشود.

روش سوم اتصال بی پلار موازی (Bipolar Parallel) است. در این حالت سیم ورودی و خروجی هر کویل به خروجی و ورودی کویل دیگر متصل میشود. شکل فوق این ترتیب رو روشن تر نشان میدهد.

تذکر: موتور ۶ سیمه در حقیقت همان موتور ۸ سیمه است که سازنده، دو سر سیم دو کویل هر فاز را در داخل موتور به یکدیگر متصل کرده و فقط این اتصال مشترک را بیرون آورده است. همچنین موتور ۴ سیمه همان موتور ۶ سیمه است که سازنده اتصال مشترک کویل ها را در داخل موتور انجام داده و سرسیمی بیرون نیاورده است.

تفاوت، مزایا و محدودیت ها در روش های اتصال مختلف در چیست؟



نگاهی اجمالی به نمودار بالا روشن میسازد که اتصال های بی پلار دارای گشتاور بیشتری بوده ولی با افزایش دور موتور با سرعت بیشتری کاهش پیدا میکنند. این کاهش در اتصال بی پلار موازی کمتر است. اتصال یونی پلار و نیم کوپل اساساً دارای گشتاور کمتری بوده ولی تا دور های بالاتری مقدار خود را حفظ میکند.

واضح است که برای نمونه در یک دستگاه CNC که موتور های آن به روش بی پلار سری بسته شده باشد، قدرت بار برداری بهتر و قویتر بوده ولی سرعت حرکت سریع (Rapid Traverse) بسیار محدود تر است.

دلیل این تفاوت رفتاری چیست؟

هر کوپل از هر فاز یک استپر موتور خاص، دارای مقاومت و اندوکتانس معینی است. وقتی دو کوپل به صورت سری بسته میشوند، مقاومت آن دو برابر و اندوکتانس آن چهار برابر میشود. و وقتی موازی متصل شوند عکس این ماجرا اتفاق میافتد. تغییر در مقاومت و اندوکتانس ملاحظات دیگری را نیز میطلبد که به آن نیز پرداخته خواهد شد.

جدول زیر تغییر پارامتر های موتور را برای هر یک از انواع اتصال نشان میدهد.

روش اتصال	تعداد سیم موتور	مقاومت Ohms	اندوکتانس mH	جریان Amp	ولتاژ V	گشتاور در حالت توقف Nm
Bipolar-Series	۴	۲ × رقم عنوان شده	۴ × رقم عنوان شده	۰.۷۰۷ × رقم عنوان شده	۱.۴۱۴ × رقم عنوان شده	۱.۴۱۴ × رقم عنوان شده
	۶					
	۸					
Bipolar-Half Coil	۶	رقم عنوان شده	رقم عنوان شده	رقم عنوان شده	رقم عنوان شده	رقم عنوان شده
	۸					
Bipolar-Parallel	۸	۰.۵ × رقم عنوان شده	رقم عنوان شده	۱.۴۱۴ × رقم عنوان شده	۰.۷۰۷ × رقم عنوان شده	۱.۴۱۴ × رقم عنوان شده

* منظور از "رقم عنوان شده"، ارقامی است که توسط سازنده موتور ارائه گردیده. و معمولاً روی موتور نوشته شده است.

در اتصال یونی پلار و بی پلار نیم کوپل از تمام ظرفیت کوپل ها استفاده نمیشود. در حقیقت در هر سیکل فقط نیمی از کوپل های هر فاز فعال هستند. این موضوع موجب میشود که گشتاور در دور های پائین کمتر بوده ولی به دلیل پائین بودن اندوکتانس، سرعت تغییر جریان در کوپل ها سریعتر بوده و در نتیجه گشتاور تا دور های بالاتر حفظ میشود.

اتصال بی پلار سری از تمام ظرفیت کوپل استفاده میکند و به همین جهت بهترین گشتاور را در دور پائین فراهم میکند. اما به دلیل اندوکتانس بالا، با افزایش دور، گشتاور به سرعت کاهش مییابد.

اتصال بی پلار موازی نیز از تمام ظرفیت کوئل استفاده میکند و به همین جهت بهترین گشتاور را در دور پائین فراهم می آورد. اندوکتانس کم آن نیز موجب میشود گشتاور تا دور های بالاتر نیز حفظ میشود.

حال ممکن است به نظر رسد گمگشته ما اتصال بی پلار موازی باشد! که هم گشتاور بالاتری دارد و هم گشتاور را در دور های بالاتری حفظ میکند؛ و ظاهراً دو روش دیگر چندان به کار نمیآیند. این تصور اشتباه است. زیرا برای اینکه این وضعیت پیش آید لازم است تا جریان موتور ۴۰٪ افزایش یابد. افزایش جریان = گرم شدن موتور.

یکی از عوامل ایجاد گرمای موتور، حاصلضرب جریان جذر میانگین مربع در مقاومت داخلی کوئل است. مقاومت بیشتر فاز موجب گرمای بیشتر موتور میشود.

در استپر موتور ها ولتاژ و جریان به یکدیگر رابطه دارند. جریان عامل اصلی در تعیین گشتاور و ولتاژ عامل اصلی در تعیین سرعت چرخش است. اگر در محدوده ۲۰۰ تا ۴۰۰ دور در دقیقه کار میکنید نیازی به منبع تغذیه با ولتاژ بالا ندارید. در این حالت موتور ها خنک تر کار میکنند.

کار به همینجا ختم نمیشود. غالب سازندگان درایور های استپر موتور مشخصات محصولات خود را با جریان قله (Peak) و / یا جریان جذر میانگین مربع (RMS) ارائه میکنند، حال آنکه موتور های استپر برحسب آمپر بر فاز معرفی میشوند. تا کنون روشن شده است که با انتخاب نوع بخصوصی از اتصال های گفته شده، پارامتر های جریان و ولتاژ آن نیز تغییر میکند. حال سؤال این است:

چگونه میتوان جریان درست را برای هر موتور و با نوع اتصال بخصوصی انتخاب کرد؟

برای ورود به این مطلب و درک بهتر آن، لازم است تفاوت جریان قله (Peak) با جریان جذر میانگین مربع (RMS) مشخص شود.

جذر میانگین مربع، RMS یا Root Mean Square

تعریف: جذر میانگین مربع، RMS یا Root Mean Square مقداری آماری از اندازه کمیتی متغیر است. محاسبه آن بدینگونه است که در هر لحظه ای از زمان، مربع کمیتی، (برای نمونه جریان) محاسبه میشود. این عمل در طول فاصله زمانی معینی انجام شده و سپس از مجموع اعداد به دست آمده جذر گرفته میشود.

محاسبه ریاضی آن با استفاده از روابط زیر است لیکن میتوان مقدار آن را به صورت تقریبی از نمودار هم استخراج کرد.

$$x_{ms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$$

$$f_{ms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} [f(t)]^2 dt}$$

تفاوت جریان RMS و Peak

لازم به ذکر است که سازندگان استپر موتور برای مدل های مختلف موتور های خود، منحنی های گشتاور بر حسب دور را بر حسب جریان جذر میانگین مربع منتشر میکنند. در عین حال ایشان از درایور هائی استفاده میکنند که برحسب جریان جذر میانگین مربع تنظیم میشوند. لحاظ نکردن این نکته در محاسبه نیروها در حین طراحی دستگاه و انتخاب موتور مناسب، موجب خطای زیادی در طراحی میشود.

جریان جذر میانگین مربع، صرفنظر از شکل موج آن، همان اندازه حرارت ایجاد میکند که جریانی با همان مقدار به صورت مستقیم (DC) اعمال شده باشد.

جریان قله، فقط نماینده حداکثر مقدار جریان در سیکل سیگنال AC است. با دانستن شکل موج میتوان مقدار جذر میانگین مربع جریان قله را حساب کرد.

برای نمونه در یک موج سینوسی رابطه زیر برقرار است:

$$1.414 \times \text{جذر میانگین مربع} = \text{جریان قله}$$

یا

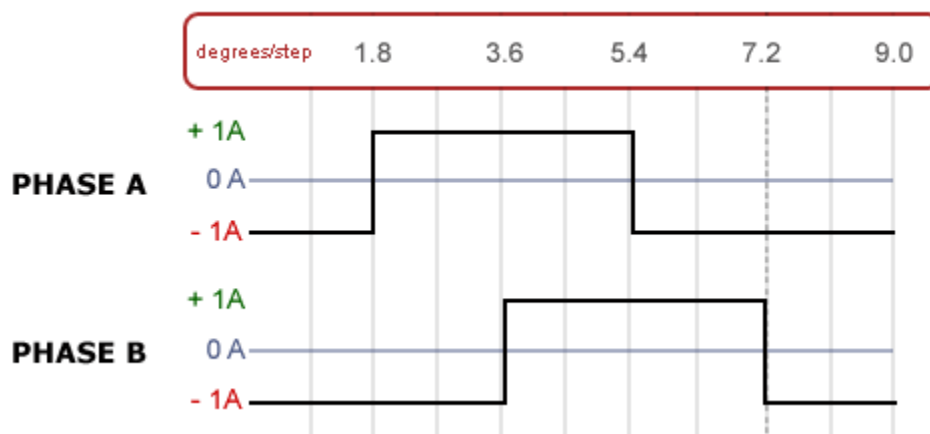
$$0.707 \times \text{جریان قله} = \text{جذر میانگین مربع}$$

و اگر شکل موج مربعی باشد مقادیر جریان قله و جریان جذر میانگین مربع با یکدیگر برابر هستند.

جدول زیر جذر مربع انواع موج های معمول را نشان میدهد.

شکل موج	رابطه	جریان جذر میانگین مربع
سینوسی	$y = a \sin(2\pi ft)$	$\frac{a}{\sqrt{2}}$
مربعی	$y = \begin{cases} a & ((ft)\%1) < 0.5 \\ -a & ((ft)\%1) > 0.5 \end{cases}$	a
t زمان f فرکانس a دامنه		

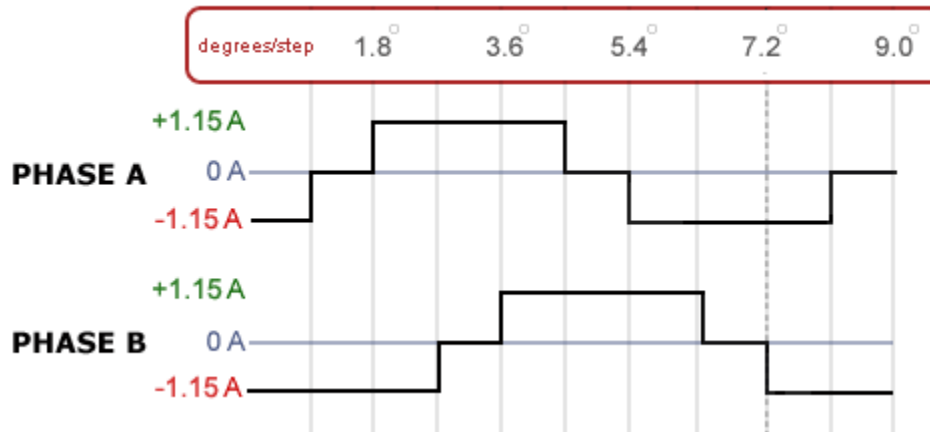
فرض کنید موتوری با جریان یک آمپر RMS به درایوری که در حالت تمام پله Full-Stepping کار میکند وصل شده، رفتار آن مطابق شکل زیر خواهد بود:



ملاحظه میشود که در این حالت:

$$\text{جریان جذر میانگین مربع} = \text{جریان قله}$$

چنانچه همین موتور با همان درایور در وضعیت نیم پله Half-Stepping قرار داده شود، شکل موج آن به صورت زیر است:



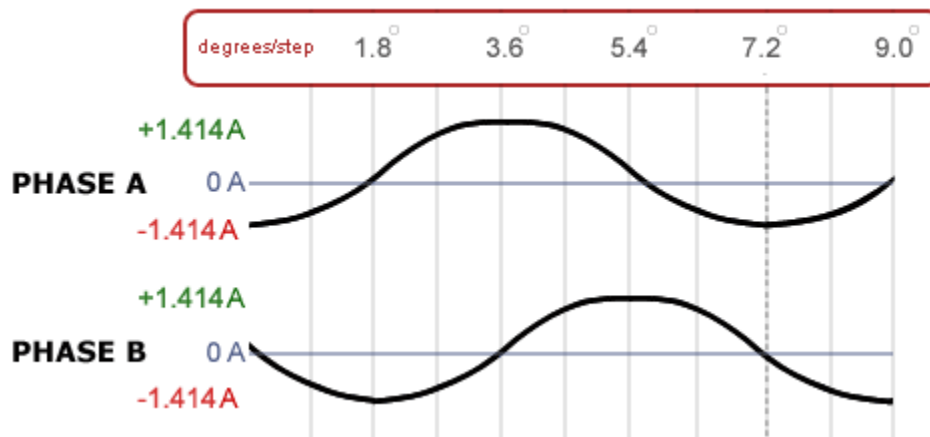
ملاحظه میشود مقادیر جریان قله و جریان جذر میانگین مربع با یکدیگر برابر نیستند. در حالت نیم پله:

$$\text{جریان جذر میانگین مربع} = 1.15 \times \text{جریان قله}$$

حال اگر در یک درایور که با جریان Peak عمل تنظیم جریان را انجام میدهد، جریان بر روی ۱ آمپر تنظیم شده باشد، موتور تمام جریان نامی خود را دریافت نکرده و در نتیجه قادر نخواهد بود تمام گشتاور لازم را ایجاد کند. البته این مشکل در درایوری که با جریان RMS عمل تنظیم جریان را انجام میدهد پیش نیاید و انتخاب همان یک آمپر، جریان لازم را به موتور میرساند.

چنانچه موتور و درایور مثال فوق در وضعیت نیم پله میکروستپ قرار داده شود، شکل موج آن سینوسی و به صورت زیر بوده و تغییرات خیلی زیادتری را نشان میدهد. در این حالت رابطه جریان ها به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{جریان جذر میانگین مربع} = 1.414 \times \text{جریان قله}$$



در چنین شرایطی جریان قله موتور میبایست تا ۴۱٪ افزایش یابد تا یک آمپر RMS مورد نیاز موتور تأمین شود.

دقت کنید! بعضی سازندگان درایور جدولی حاوی هر دو جریان جذر میانگین مربع و جریان قله را بر روی جعبه آن چاپ کرده اند. مادامی که مطمئن نشده اید که تنظیم جریان درایور بر مبنای RMS است یا Peak، فرض را بر تنظیم جریان بر مبنای Peak بگذارید.

چه روش اتصالی مناسب است؟

انتخاب نوع اتصال تابع کاربردی است که از دستگاه انتظار دارید. باید به خاطر داشت که توان یک استپر موتور، ثابت بوده و برابر است با:

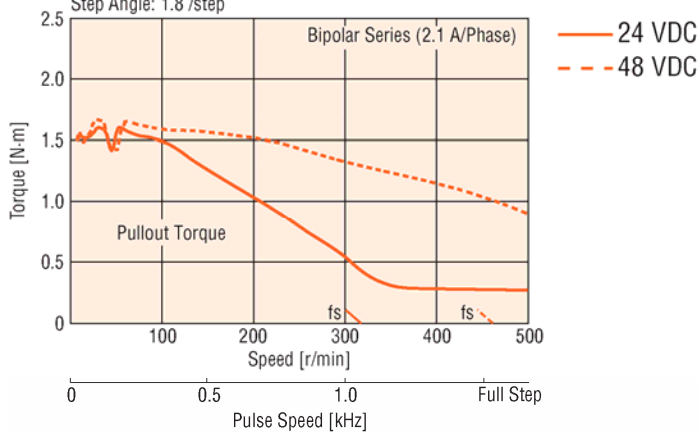
$$\text{توان موتور} = \text{سرعت گردش} \times \text{گشتاور در آن سرعت}$$

این عامل مهم و تعیین کننده در طراحی دستگاه و انتخاب موتور است. زمانی که دستگاهتان با سرعت خارق العاده ای حرکت میکند خیلی شادی نکنید. در این وضعیت موتور را میتوان با دو انگشت از حرکت بازداشت. ۹۰٪ اوقات در Lost step در موقع بار برداری پیش نیاید، بلکه در حالت حرکت Rapid است که این اتفاق میافتد. یعنی دقیقاً زمانی که توقعش را ندارید. وانگهی سرعت سریع ۱۸ متر بر دقیقه برای دستگاهی که حداکثر کورس یک محور آن ۳۰ یا ۴۰ سانتیمتر است، امتیازی محسوب نشده، بلکه عیب آن به حساب میآید.

بدون در اختیار داشتن، مطالعه و تحلیل منحنی تغییرات گشتاور بر حسب دور، و نیز در نظر گرفتن سایر عوامل مانند ولتاژ ورودی یا نوع دمپر، انتخاب موتور صرفاً یک عمل سعی و خطا خواهد بود و هیچ نتیجه قابل پیش بینی نباید انتظار داشت. این منحنی ها را میتوانید از سایت سازندگان دانلود کنید.

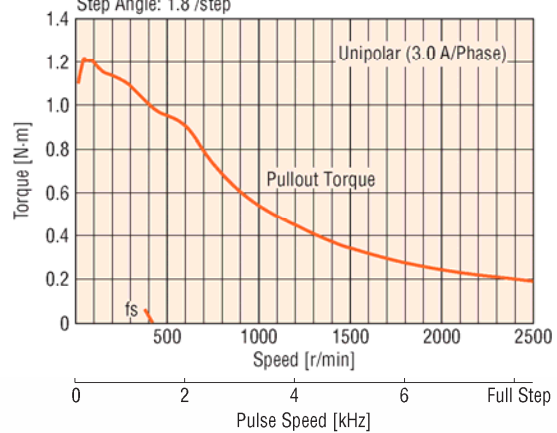
PK268-03B Bipolar (Series)

Bipolar Constant Current Driver
With Damper **D6CL-6.3F**: $J_L = 140 \times 10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ (0.77 oz-in²)
Step Angle: 1.8°/step



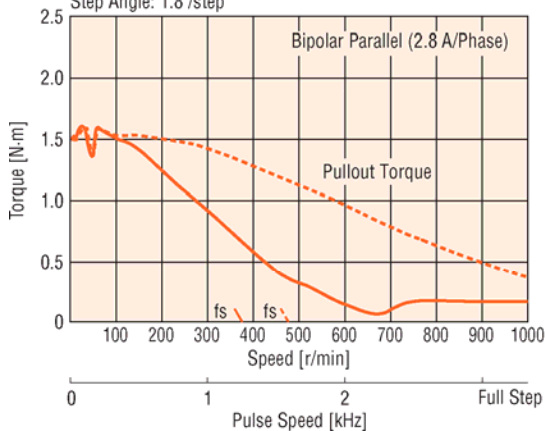
PK268-03B Unipolar

Power Input: 24 VDC Unipolar Constant Current Driver
With Damper **D6CL-6.3F**: $J_L = 140 \times 10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ (0.77 oz-in²)
Step Angle: 1.8°/step



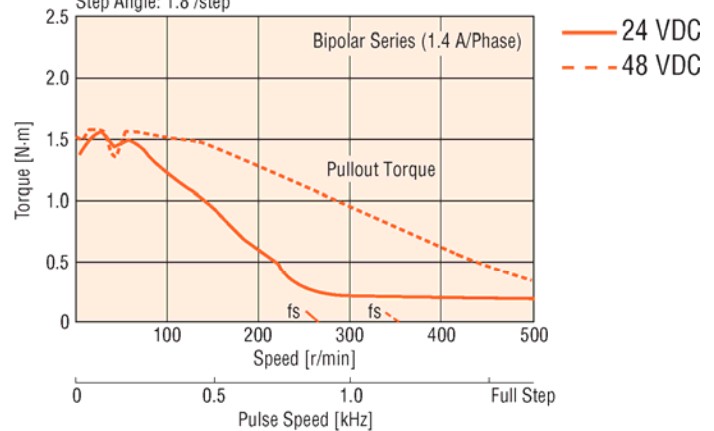
PK268-E2.0B Bipolar (Parallel)

Bipolar Constant Current Driver
With Damper **D6CL-6.3F**: $J_L = 140 \times 10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ (0.77 oz-in²)
Step Angle: 1.8°/step



PK268-E2.0B Bipolar (Series)

Bipolar Constant Current Driver
With Damper **D6CL-6.3F**: $J_L = 140 \times 10^{-7} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ (0.77 oz-in²)
Step Angle: 1.8°/step



هزینه برق را در نظر داشته باشید. زمانی که دستگاه روزانه ۶ ساعت روشن باشد تفاوت آن را درخواهید یافت. برای صرفه جوئی در آن باید توان لازم را محاسبه کنید. در زمانی که موتور ۳ آمپری جواب کار شما را میدهد، استفاده از موتور ۶ آمپری، هر چند ضریب اطمینان بالائی دارد ولی مصرف برق را بالا میبرد.

از آنجائی که مصرف جریان موتور های یک دستگاه ثابت است، کاهش دادن ولتاژ ترانسفرمر موجب کاهش توان مصرفی و در نتیجه صرفه جوئی در هزینه برق مصرفی میشود. میتوانید توان ترانسفرمر خودتان را با ضریب اطمینان بالا انتخاب کنید اما لزومی ندارد ولتاژ آن را، صرفاً به این دلیل که سرعت موتور ها را بالاتر میبرد، زیاد بگیرید. ولتاژ موتور میتواند از ولتاژ نامی درج شده روی موتور تا $32\sqrt{mH}$ باشد. در این رابطه، mH اندوکتانس استپر موتور است.

به غیر از ولتاژ و جریان زیاد، مسائل متعدد دیگری موجب گرم شدن موتور میشوند. گرم شدن استپر موتور امری طبیعی است. استپر موتور درجه حرارت ۸۰ و در مدل های مرغوب، حداکثر ۱۰۰ درجه سانتیگراد را تحمل میکند.

برای کسانی که برای اولین بار دستگاه میسازند پیشنهاد شخصی من: استفاده از موتور ۶ یا ۸ سیمه با درایور یونی پلار یا درایور بی پلار با اتصال نیم کوپل است.

نادر عطیفه

بهمن ۹۰



کارگاه خورشید

www.SunCNC.ir