

بررسی تجهیزات الکتریکی

ماشین‌های CNC (قسمت اول)

مقدمه:

لذا در این مقاله تجهیزات اصلی الکتریکی موجود در ماشین‌های CNC را معرفی می‌کنیم و خواننده با وظایف و عملکرد هر یک از آنها آشنا می‌شود که پس از مطالعه این مقاله به نحوه عملکرد این تجهیزات به تنهایی و همچنین وظایف و کاربرد آنها در ارتباط با سایر اجزاء در مجموعه یک ماشین CNC آشنا خواهد شد.

فصل‌های مورد بررسی:

- ۱- بررسی اینورترها و اسپیندل موتور
- ۲- سروو موتورها
- ۳- کنترلرها
- ۴- تجهیزات اندازه‌گیری سرعت و موقعیت

قرن بیست و یکم در طول تاریخ چندین هزار ساله پیشرفت‌های علمی و صنعتی انسان از هر منظر شگفت‌انگیز می‌باشد، دسترسی به تکنولوژی‌های بسیار پیشرفته در زمینه‌های ارتباطات، صنایع، اتوماسیون صنعتی و امکانات رفاهی جوامع بشری و سرعت و شتاب گرفتن این امور مرهون این پیشرفت‌ها می‌باشد، از جمله در صنایع سامانه‌های دیجیتالی و کامپیوتر در همه عرصه‌ها پا به میدان گذاشته.

یکی از مهمترین و پرکاربردترین ماشین‌های صنعتی در خطوط تولید کارخانه‌های تولید محصولات فلزی ماشین‌های CNC می‌باشند. به عبارت دیگر این ماشین‌های CNC هستند که در نهایت ورق‌های خام و قطعات ریخته‌گری شده را به محصولات نهایی قابل مصرف در صنایع فلزی مانند کارخانجات تولید خودرو تبدیل می‌کنند. بدون این ماشین‌ها قطعات فلزی دقیقی در حد میکرون نخواهند داشت.



شکل ۱- دستگاه CNC

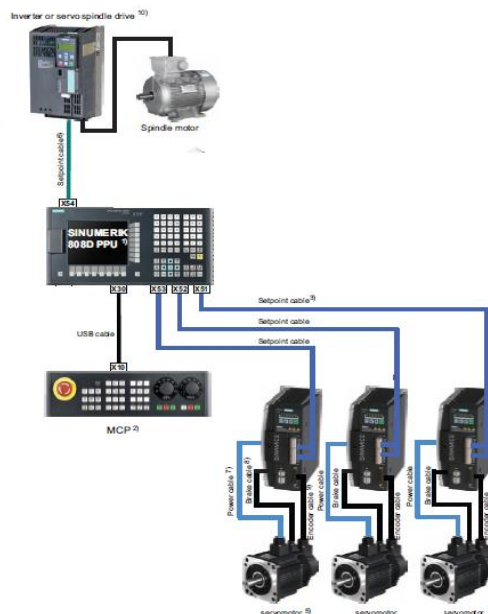
عملکرد اینورتر به صورت هوشمند چنین است که میزان بار وارده به موتور را تشخیص داده و متناسب با همان بار، به موتور جریان می‌دهد و این جریان در بسیاری از مواقع از جریان نامی موتور کمتر است.



شکل ۳- تصویر یک دستگاه اینورتر صنعتی

از دیگر کاربردها و مزایای آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تنظیم کننده سرعت موتور (کنترل دور)
- تغییر دهنده جهت دور به راحتی و بدون نیاز به کنتاکتور
- روشن و خاموش نمودن موتور بدون نیاز به قطع و وصل برق اصلی
- کاهش ضربه‌های مکانیکی و در نتیجه افزایش طول عمر مفید قسمت مکانیکی
- حفاظت موتور در مقابل افزایش ولتاژ و جلوگیری از آسیب دیدن موتور
- راه اندازی نرم موتور بدون هیچگونه ضربه به قسمت‌های مکانیکی مثل کوپلینگها، گیربکسها، تسمه‌ها، زنجیرها و ... و در نتیجه افزایش طول عمر مفید موتور و سایر قسمت‌های مکانیکی را به دنبال خواهد داشت.
- حفاظت موتور در برابر اضافه بار؛ در این حالت چنانچه بار موتور از مقدار معمول مجاز بیشتر شود، اینورتر موتور را خاموش می‌نماید و به کاربر پیام اضافه بار نشان می‌دهد.



شکل ۲- تجهیزات الکتریکی دستگاه CNC

فصل اول:

بررسی اینورتر و اسپیندل موتور

تعاریف:

الف- اینورتر

اینورتر یا درایو AC به دستگاهی گفته می‌شود که به کمک آن می‌توان سرعت یک موتور AC سه فاز را کنترل کرد بدون آنکه قدرت و گشتاور موتور کاهش یابد. اینورترها در ظرفیتهای مختلف ساخته می‌شوند مثلاً برای یک موتور با توان ۲۰ اسب بخار باید از اینورتر ۲۰ اسب بخار استفاده کرد.

از نظر ورودی اینورترها به دو دسته تک فاز و سه فاز تقسیم می‌گردند. البته خروجی همه آنها سه فاز است. برای اینورترهای با توان بالای ۳ اسب فقط از ورودی سه فاز استفاده می‌گردد.

از نظر کاربرد اینورترها به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. برای راه اندازی پمپها، فنها، آسانسور، جرثقیل، نوارهای نقاله، دستگاه‌های اکستروژن و ... از اینورتر استفاده می‌شود. برای پمپ و فن از اینورترهای با گشتاور متغیر و برای آسانسور و نوار نقاله و جرثقیل از اینورتر با گشتاور ثابت و برای اسکرودرها از اینورتر با فیدبک PG بهره‌برداری می‌کنند.

- جلوگیری از گرم کردن و در نهایت سوختن موتور در کاربردهایی که موتور به طور مداوم چپگرد و راستگرد و یا خاموش می‌شود.

- به دلیل آنکه موتور یک بار اکتیو روی شبکه دارد چنانچه از درایو برای راه اندازی و کنترل موتور استفاده گردد چون درایو دارای یک بانک خازنی می‌باشد این بار اکتیو را جبران می‌نماید و تنها بار اکتیو را از شبکه برق مصرف می‌نماید، بنابراین جریان مصرفی بسیار کاهش می‌یابد.

چنانچه از اینورتر استفاده شود، اینورتر به صورت کاملاً اتوماتیک این جریان را در حین راه اندازی به مقدار لازم افزایش و در حین کار به مقدار لازم کاهش می‌دهد، بنابراین به طور کلی هزینه برق مصرفی کاهش، چشم‌گیری خواهد داشت.

- در بسیاری از کاربردها به هنگام راه اندازی، موتور جریان بسیار بالایی از شبکه می‌کشد و موجب کاهش ولتاژ شبکه و ایجاد صدماتی به تأسیسات برق رسانی و سایر دستگاه‌ها می‌گردد. این جریان به ۶ برابر جریان نامی موتور می‌رسد که بسیار نامطلوب می‌باشد. چنانچه از اینورتر استفاده شود این اضافه جریان بسیار اندک خواهد شد. (حداکثر ۰,۲ برابر) به عنوان مثال اگر یک موتور با جریان نامی ۱۰ آمپر کار کند در هنگام راه اندازی این جریان به ۶۰ آمپر می‌رسد و در صورت استفاده از اینورتر این جریان حداکثر به ۱۲ آمپر می‌رسد.

- کاهش جریان موتور به صورت اتوماتیک در هنگامی که بار موتور کم می‌شود. این قابلیت به غیر از کاهش هزینه برق مصرفی موجب افزایش طول عمر مفید موتور خواهد شد.

- امکان استفاده از برق تکفاز ۲۲۰ ولت به جای سه فاز ۳۸۰ ولت برای راه اندازی موتور سه فاز حداکثر با توان 3hp (2.2kw). به این معنا که می‌توان با برق خانگی یک موتور سه فاز را کاملاً به صورت عادی راه اندازی نمود.

- قابلیت داشتن دوره‌های مختلف به صورت حافظه‌ای، تبدیل یک موتور یک دور به یک موتور چند دور با سرعت‌های دلخواه.

لازم به یادآوری می‌باشد که اینورترها از یک حافظه داخلی هوشمند جهت کنترل دقیق موتور استفاده

می‌نمایند که به عنوان مثال روش کنترل و ارسال پیام‌های کنترلی (PID) می‌باشد.

طرز کار اینورتر به این صورت است که اولین کاری که اینورتر انجام می‌دهد، یکسو کردن برق ورودی است. برق AC چه بصورت تک فاز باشد و یا سه فاز باید بصورت DC درآید و توسط سیستم PWM ولتاژ و جریان مورد نیاز موتور تأمین شود. فرض کنید موتور شما یک موتور AC معمولی می‌باشد و این موتور زمانیکه به برق وصل می‌شود دوران می‌نماید. فرکانس برق شهر ۵۰ هرتز است و دور موتور مثلاً ۲۵۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. توسط اینورتر شما می‌توانید فرکانس را تغییر دهید و با این تغییر فرکانس به دور مورد نظر مثلاً ۸۵۰ دور در دقیقه برسید. در دستگاه‌های CNC از موتورهای اسپیندل با دوره‌های ۳۰۰۰ دور الی ۱۰۰۰۰۰ دور در دقیقه استفاده می‌کنند. این موتورها از لحاظ الکتریکال فرق چندانی با موتورهای معمولی ندارند. همان قصه قطب‌ها و میدان دوار و فرق اساسی این موتورها با موتورهای معمولی در ساختار مکانیکی آنها می‌باشند. در این موتورها روتور و استاتور بگونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند سریع به دور بالا برسند و سریع تغییر دور دهند. مهمترین اصل در اسپیندل موتورها بلبرینگ‌های دو سر شفت در روتور می‌باشد. این بلبرینگ‌ها باید دور بالا باشند. نکته بسیار مهم دوم بالانس بودن روتور است. میزان بالانسی آنها نسبت به دورشان باید در حد استاندارد باشد.

نکات مهم در انتخاب درایو

آن چه که در زیر آمده است رئوس عوامل موثر در انتخاب درایو فارغ از شرکت سازنده آن می‌باشد.

• در درجه اول، پروسه و آن چه توسط موتور به حرکت در می‌آید و کنترل‌های مطلوبی که می‌خواهیم داشته باشیم می‌بایست به صورت دقیق استخراج گردد. به طور کلی کاربردها به دو دسته گشتاور ثابت (جرثقیل، آسانسور، نوار نقاله و ...) و گشتاور متغیر (پمپ و فن) تقسیم می‌شود که شرکت‌های سازنده با توجه به این کاربردها محصولات خود را جهت پاسخگویی به هر بخش به صورت خاص و یا عمومی ارائه می‌دهند.

• اطلاعات موجود بر روی پلاک موتور (ولتاژ، جریان، $\cos \phi$ ، بازدهی موتور و ...) نیز بسیار مهم و کارا هستند که باید در نظر گرفته شوند.

• روش‌های کنترلی که درایو از آن بهره می‌گیرد (کنترل v/f خطی، چند نقطه و سهموی - کنترل برداری با/ بدون سنسور - ...). این روش‌ها از آن جهت حائز اهمیت هستند که هر کدام می‌بایست با توجه به روند کنترل و کاربرد مورد نظر انتخاب و تنظیم گردند.

• تعداد ورودی/ خروجی دیجیتال و آنالوگ با توجه به روند کنترل و چگونگی فرمان‌گیری درایو مهم می‌شود. بعضاً کمبود تعداد I/O در یک درایو ممکن ما را رهنمود به انتخاب مدلی دیگر و یا اضافه کردن کارت‌های افزاینده (در صورت امکان) بنمایند.

• یکی از پارامترهایی که در بعضی موارد مهم می‌شود ماکزیمم فرکانس خروجی است که البته مقدار واقعی آن وابستگی به عوامل دیگر دارد. (از جمله دما، فرکانس سوئیچینگ)

• دامنه توانی که یک درایو پوشش می‌دهد یکی از محدود کننده‌های انتخاب درایو است. (مثلاً درایو های VFD B در محدوده توان پایین ارائه می‌شوند)

• بهره‌مندی از امکان کنترل حلقه بسته (Closed Loop) و توابع پیشرفته مانند PID نیز در صورت استفاده از درایو به عنوان کنترل کننده دقیق سرعت موتور مورد توجه است.

• یکی از پارامترهایی که در انتخاب نوع درایو موثر است، امکانات نرم افزاری می‌باشد. وجود نرم افزاری برای پیکربندی و پارامتردهی، ارتباط On-line با درایو جهت مانیتور کردن رفتار آن در برجسته کردن نوع درایو نقش اساسی دارد.

• همان طور که می‌دانید امروزه تجهیزات کنترل به عنوان جزئی از شبکه اتوماسیون تعریف می‌شوند. به همین جهت امکان شبکه شدن و شبکه‌هایی که توسط تولید کننده درایو پشتیبانی می‌شود حائز اهمیت است. (برای مثال شبکه‌های ProfiBus DP, CANOpen, CAN Bus, ModBus, ...)

• از جمله نکاتی که در انتخاب و به کارگیری اولیه درایو باید مورد توجه قرار گیرد شرایط گذرا و هم چنین پارامترهای موثر در کاهش عملکرد درایو می‌باشد. برای مثال آستانه و زمان تحمل ماکزیمم جریان و ماکزیمم گشتاور راه اندازی بعضاً انتخاب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در خصوص پارامترهای

کاهنده عملکرد برای مثال دمای محیط و هم چنین ارتفاع از سطح آزاد بایستی مورد توجه قرار گیرد که در صورت ناگزیر بودن بایستی یک سطح بالاتر درایو مورد نظر را از جهت مشخصات الکتریکی انتخاب نمود.

• هم چنین توابع حفاظتی تعبیه شده در درایو که درایو، موتور و ماشین را حفاظت می‌کنند مهم می‌باشند. پارامترهایی که اضافه جریان درایو و موتور، محدودیت جریان، حفاظت گرمایی، افزایش و یا کاهش ولتاژ و کنترل فاز و ... را در برمی‌گیرد.

به جهت کاربردهای مشابه در استفاده از درایو برخی از شرکت‌های سازنده با معرفی تنظیم و راه اندازی سریع درایو و یا ماکروهای از قبل برنامه ریزی شده، کاربر را به جهت برنامه ریزی‌های پیچیده بی نیاز می‌کند.

• یکی از مهم‌ترین عوامل موثر و مورد توجه، فیلترها و استانداردی که درایو از آن حیث مشمول آن می‌شود. فیلترهای EMC کلاس A,B و فیلتر کاهش سطح هارمونی بعضاً در برخی درایوها به صورت مجتمع به کار گرفته شده است. علاوه بر این به صورت جانبی در صورت لزوم امکان اضافه شدن به درایو وجود دارد.

• از جمله مواردی که درایو را از جهت کاربردهای خاص شاخص می‌کند، تجهیزات جانبی (Accessories) تعریف شده و موجودی است که کمپانی سازنده فراهم آورده است. (تجهیزاتی مانند: پنل کار با درایو برای نصب روی درایو و روی تابلو، فن‌های اضافی، فیلترهای ورودی و خروجی، ماژول‌های افزاینده ورودی و خروجی، ماژول انکودر، ماژول‌های شبکه‌های صنعتی، تجهیزات نصب درایو و ...)

در انتها توصیه می‌شود جهت انتخاب دقیق و مهندسی درایو، کاتالوگ آن که حاوی اطلاعات لازم جهت گزینش درایو می‌باشد به دقت بررسی شود و محاسبات لازم برای انتخاب صحیح درایو صورت گیرد.

شایان ذکر است مطالب گفته شده بخشی از اطلاعات مورد نیاز برای انتخاب درایو می‌باشد و اطلاعات فنی لازم جهت بهره‌برداری کارا و حرفه‌ای از درایو نیازمند کسب مهارت و تجربه در این امر می‌باشد.

ب: اسپیندل موتور

اسپیندل موتور یکی از اجزای اصلی دستگاه‌های سی ان سی می‌باشد که باعث ایجاد نیروی محرکه اسپیندل و در نهایت اجرای عملیات براده برداری می‌شود.

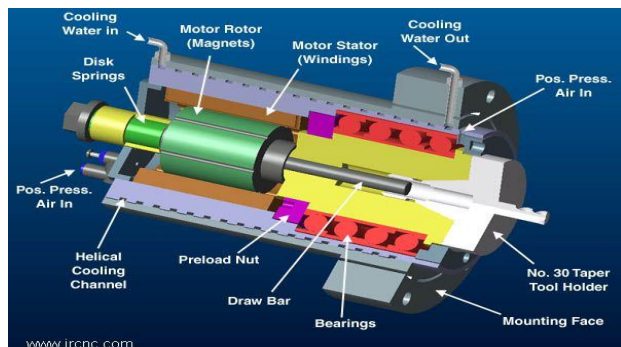
کلاس بالاتری نیز می‌باشند از بلبرینگ‌های سرامیکی می‌باشد. بلبرینگ‌های دور بالا توان تحمل حرارتی بالا می‌باشند. سرامیکی بودن تغییرات انبساط و انقباض کم دارند و در دورهای بالا کار می‌کنند اما مشکلی که دارند قیمت بسیار بالای آنها می‌باشد.



شکل ۴- اسپیندل موتور

اسپیندل موتور در خانواده موتورهای در سری AC موتورهای محسوب می‌شود. دقیقاً مانند موتور کولری که در منزلتان دیده‌اید. تفاوتی که این دو موتور با هم دارند بیشتر در دوام عمر آنها در دور بالاست. فرکانس برق از جمله مهمترین عامل در سرعت دوران موتورهای (HIGH SPEED) می‌باشد. اگر اسپیندل موتورها را به برق سه فاز وصل نمایید همانند یک موتور عادی شروع به دوران می‌کند. دور آن حدود ۲۸۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. جهت افزایش فرکانس به یک اینورتر نیاز داریم. اینورتر را تهیه کنید و اسپیندل موتور را به آن وصل نمایید. فرکانس ۵۰ هرتز همان عکس‌العمل برق شهر را بر روی موتور ایجاد می‌کند. فرکانس را افزایش دهید. دور موتور افزایش پیدا می‌کند. اگر موتور توان دوران ۲۴۰۰۰ دور را داشته باشد با افزایش فرکانس به ۴۰۰ هرتز به دور ۲۴۰۰۰ خواهید رسید. موتور کولر را هم اگر به اینورتر وصل نمایید و افزایش فرکانس دهید دور آن افزایش می‌یابد. بالا و بالاتر می‌رود و ناگهان می‌سوزد یا قفل می‌کند یا متلاشی می‌شود.

اسپیندل موتورها دارای چند خاصیت هستند که در موتورهای معمولی این موارد ایجاد نشده است. اولین مورد سنکرون بودن شفت روتور آنها می‌باشد. مثلاً اگر اسپیندل موتور شما ۲۴۰۰۰ RPM باشد. در کارخانه سازنده شفت روتور را با دور ۳۰۰۰۰ دور بر دقیقه بالانس نموده‌اند تا جلوی لرزش شفت در دورهای بالا گرفته شود. یکی از مشکلات الکتروموتور معمولی در دورهای بالا همین است. زیرا این موتورها اصولاً برای دورهای بالا طراحی و ساخته نشده‌اند. مطلب بعدی بسیار مهم بلبرینگ‌های مورد استفاده در اسپیندل موتورها بالاخص بلبرینگ‌های ابتدای موتور می‌باشد. بلبرینگ‌های اسپیندل موتورها (HIGH SPEED) می‌باشند. در بعضی از موتورها که دارای



شکل ۵- شمای داخلی اسپیندل موتور

ج: الکتروموتور

یک الکتروموتور الکتریکی (الکتروموتور)، الکتریسیته را به حرکت مکانیکی تبدیل می‌کند. عمل عکس آن که تبدیل حرکت مکانیکی به الکتریسیته است، توسط ژنراتور انجام می‌شود. این دو وسیله بجز در عملکرد، مشابه یکدیگر هستند. اکثر موتورهای الکتریکی توسط الکترومغناطیس کار می‌کنند، اما موتورهایی که بر اساس پدیده‌های دیگری نظیر نیروی الکتروستاتیک و اثر پیزوالکتریک کار می‌کنند، هم وجود دارند.

ایده کلی این است که وقتی که یک ماده حامل جریان الکتریسیته تحت اثر یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، نیرویی بر روی آن ماده از سوی میدان اعمال می‌شود. در یک موتور استوانه‌ای، روتور به علت گشتاوری که ناشی از نیرویی است که به فاصله‌ای معین از محور روتور به روتور اعمال می‌شود، می‌گردد.

ارتباط بین تعداد قطب و دور موتورهای الکتریکی معمولاً بعد از اعداد مربوط به سایز فریم موتور اعداد مربوط به تعداد قطب موتور می‌آید. لازم به یادآوری است که سرعت سنکرون موتور همان سرعت میدان مغناطیسی (استاتور) است که با N_s نمایش می‌دهند. بنابراین اگر فرکانس میدان مغناطیسی را با F و تعداد قطبهای موتور را با P دهیم خواهیم داشت:

$$N_s = (120 \times 50 / 2) = 3000 \text{ RPM}$$

با افزایش تعداد قطب، سرعت سنکرون و در نتیجه دور موتور کاهش می‌یابد. بنابراین طبق مطالب گفته شده، در فرکانس ۶۰ هرتز و ۵۰ هرتز (در ایران) جداول زیر را خواهیم داشت:

تعداد قطب	سرعت سنکرون (rpm)
۲	۳۰۰۰
۴	۱۵۰۰
۶	۱۰۰۰
۸	۷۵۰
۱۰	۶۰۰
۱۲	۵۰۰

فرکانس ۶۰ هرتز

تعداد قطب	سرعت سنکرون (rpm)
۲	۳۶۰۰
۴	۱۸۰۰
۶	۱۲۰۰
۸	۹۰۰
۱۰	۷۲۰

فاکتورهای مهم در کارآیی و عملکرد الکتروموتورها

۱- ولتاژ: افزایش یا کاهش ولتاژ از یک حد مجاز تأثیرات مخربی بر روی موتورها می‌گذارد.

الف- کاهش ۱۰٪ ولتاژ از مقدار نامی، موجب ۲۰٪ کاهش گشتاور شده و آن سبب می‌شود که موتور استارت بشود و یا اینکه به دور نامی برسد.

ب- افزایش ۱۰٪ ولتاژ از مقدار نامی، باعث افزایش ۲۰٪ گشتاور استارت این می‌تواند سبب آسیب دیدگی موتور بدلیل (افزایش جریان در بار نامی و حرارت) شود.

۲- فرکانس: تغییرات در فرکانس می‌تواند بر روی مشخصات موتور همچون گشتاور و سرعت تأثیرگذار باشد، بعنوان مثال افزایش ۵٪ در فرکانس باعث افزایش ۵٪ در سرعت در بار نامی و کاهش ۱۰٪ در گشتاور استارت باشد.

ارزیابی فنی:

طی بررسی‌ها و مطالعات انجام گرفته بر اساس موارد یاد شده بالا چنین استنباط و نتیجه‌گیری نموده‌ایم که:

- با توجه به موارد بالا حداکثر دور موتور در حالت دو قطب بوجود می‌آید و اینکه در این حالت طبق فرکانس برق شهر ۵۰HZ دور موتور ۳۰۰۰RPM می‌باشد. (در صورت استفاده از فرکانس ۶۰HZ دور موتور ۳۶۰۰PRM می‌باشد). یعنی بلبرینگ‌ها و بالانسی روتور طبق همان حداکثر دور طراحی شده است. حال اگر بخواهیم دوری بالاتر از آن بگیریم عمر مفید کاهش پیدا می‌کند و عملاً از محدوده استاندارد خارج می‌شویم اگر چه افزایش دور با اینورتر امکان‌پذیر می‌باشد.

- حال اگر بخواهیم حداکثر ۳۰۰۰RPM را داشته باشیم نسبت به اسپیندل‌های موجود در دستگاه‌های CNC بازار خیلی دور کمتری داشته و این یک عیب بزرگی محسوب می‌شود.

تنها حسن اینگونه بهره‌برداری هزینه‌ی پایین آن می‌باشد. چنانچه اینورتر توانایی افزایش فرکانس تا ۳۰۰HZ را داشته باشد. این عملاً در الکتروموتورها قابل بهره‌برداری نمی‌باشد. زیرا موتور برای افزایش دور با تغییر فرکانس تا ۳۰۰HZ که ممکن است بالای ۱۰۰۰۰RPM باشد باید ایجاد نماید در حالی که امکان‌پذیر نیست.

- با توجه به موارد گفته شده اسپیندل موتور فقط از نظر مکانیکی با الکتروموتور فرق دارد که این موجب شده در دستگاه‌های CNC کاربردی‌تر باشد. چون می‌تواند محدوده ۱۰۰۰۰RPM را بدست آورد. دارای صدای کمی می‌باشد.

عیب فقط هزینه بالایی دارد.

- از محاسن اینورترهای مدرن متناسب بودن دور موتور با گشتاور حاصله است بدین معنی که در سرعت‌های کم و زیاد گشتاور به طور اتوماتیک ثابت می‌ماند.

نتیجه‌گیری:

با توجه به موارد فنی توضیح داده شده چنین نتیجه‌گیری می‌شود که جهت داشتن یک محصول استاندارد و با کیفیت به خصوص در سامانه‌های CNC باید در انتخاب و بهره‌گیری از اینورتر دقت کافی شود تا سیستم بتواند از کارایی صنعتی برخوردار بوده و نکته قابل توجه این است که نوع موتوری که جهت اینگونه اینورتورها استفاده می‌گردد عملاً جهت بهره‌برداری صنعتی اینورتورها باشد و این دو مورد یعنی اینورتر و موتور باید به طور مشترک بررسی و تهیه شوند. (ادامه دارد...)