

## معیارهای انتخاب و حوزه کاربردی برای مبدل های گشتاور

این فصل معیارهای اصلی را که باید هنگام انتخاب مبدل گشتاور و پیکربندی یک برنامه کاربردی در نظر داشت، خلاصه می کند. همچنین ویژگی های کلی سیستم و مبدل های گشتاور و نحوه تعامل آنها توضیح داده خواهد شد.

برای تصمیم گیری در مورد اینکه آیا می توان خواص مورد نظر مبدل گشتاور را با توجه به محیط داده شده به گونه ای تعریف کرد که سیستم کلی با هم تطبیق پیدا کند، سؤالات آزمایشی مختلفی را می توان پرسید یا اینکه آیا رویکرد مخالف را در پیش گرفت، یعنی طراحی محیط پس از مشخص کردن ویژگی های مبدل گشتاور به طوری که ویژگی های سیستم کلی با هم هماهنگ می شوند.

### 1 – ابعاد و خواص مکانیکی اساسی:

#### 1-1 نصب مکانیکی:

هنگامی که یک مبدل گشتاور مناسب برای یک برنامه مشخص یا برنامه ریزی شده انتخاب می شود، معیارهای هندسی اغلب می تواند بسیار مهم باشد. این معیارها از یک سو به ابعاد خارجی اشاره دارد که از می تواند بر انتخاب طرح تأثیر بگذارد. از سوی دیگر، روش های اتصال مکانیکی مبدل ها را هم دربر دارد، به عنوان مثال در تصمیم گیری بین اتصال فلنجی یا اتصال شفت.

#### 1-2 جرم، گشتاورهای جرمی اینرسی:

جرم:

جرم مبدل گشتاور بر میزان افت احتمالی و به همین ترتیب، ارتعاش خمشی احتمالی تأثیر دارد. هر چه جرم بیشتر باشد خمش بیشتر و در نتیجه فرکانس خمش طبیعی کمتر می شود.

با این حال، این اثر را نمی توان جدا از اجزای دیگر مورد بحث قرار داد. این موضوع کاملاً به سفتی خمشی کوپلینگ ها و بخش های محوری که از روتور روی مبدل گشتاور پشتیبانی می کنند، بستگی دارد. تعداد و آرایش یاتاقان های پشتیبانی کننده، تعداد شفت های کاربرد مورد نظر، تأثیر تعیین کننده ای بر سختی موثر بخش های شفت دارد. چیدمان سفت یاتاقان ها می توانند جرم های سنگین تری را پشتیبانی کنند. چیدمان سفت یاتاقان با استفاده از چندین نقطه نگهدارنده با فاصله نزدیک یا یاتاقان های دو ردیفه در آرایشی که می تواند ممان های خمشی را نیز جذب کند، به وجود می آید.

### گشتاور جرمی اینرسی:

گشتاور جرمی اینرسی معیاری از مقاومتی است که جسم در برابر شتاب چرخشی نشان می دهد. در مورد مبدل گشتاور، از آنجایی که محور حرکت دورانی مورد نظر قبلاً مشخص شده است، در نتیجه تنها اطلاعات مورد نیاز، یک گشتاور جرمی منحصر به فرد اینرسی است. گشتاور جرمی اینرسی از یک سو با جرم جسم و از سوی دیگر با توزیع آن جرم با توجه به فاصله آن از محور چرخش تعیین می شود. هر چه میانگین فاصله جرم از محور چرخش بیشتر باشد، گشتاور جرمی اینرسی بیشتر است.

در ماشین های دوار، گشتاور جرمی اینرسی به طور کلی بر شتاب دورانی که می تواند در یک گشتاور معین به دست آید، یا مقدار گشتاور مورد نیاز برای رسیدن به شتاب دورانی مورد نظر، تأثیر دارد. با این حال، باید توجه داشت که گشتاور جرمی اینرسی که به این مفهوم مربوط می شود، مجموع گشتاورهای جرمی اینرسی تعداد زیادی از اجزا در قطار شفت است. بنابراین، در بسیاری از کاربردها، تأثیر گشتاور جرمی اینرسی مبدل گشتاور عامل تعیین کننده نیست.

گشتاور جرمی اینرسی مبدل گشتاور می تواند تأثیر عمیقی در کاربردهایی با کنترل سرعت با عملکرد بالا داشته باشد. همین امر در مورد بسیاری از تجهیزات تولیدی که در آنها شتاب گیری سریع و به دنبال آن شتاب منفی و تغییر جهت وجود دارد، صدق می کند.

موضوع مهم دیگر، تأثیری است که گشتاورهای جرمی اینرسی اجزای جداگانه بر خواص ارتعاش پیچشی دارند. گشتاور جرمی اینرسی همان نقشی را در ارتعاش پیچشی ایفا می کند که جرم در ارتعاش خمشی ایفا می کند. بنابراین هرچه گشتاور جرمی اینرسی بیشتر باشد، فرکانس های طبیعی برای همان درجه سختی کمتر است. در بسیاری از موارد، گشتاور جرمی اینرسی مبدل

## Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

گشتاور، در مقایسه با ممان اینرسی سایر اجزاء در قطار شفت ناچیز است، به عنوان مثال، گشتاور جرمی اینرسی موتورهای احتراق داخلی، ماشین‌های الکتریکی، گیربکس‌ها و چرخ فلایویل‌ها.

### 3-1 سفتی:

به طور کلی، مبدل گشتاوری که بر اساس اصل استرین گیج‌ها کار می‌کند باید دارای درجه خاصی از کشش باشد، زیرا اندازه‌گیری گشتاور با استفاده از استرین گیج، گشتاور را به‌طور غیرمستقیم از طریق کرنش به دست می‌آورد و یک بدنه اندازه‌گیری کاملاً سفت و سخت اجازه نمی‌دهد هیچ کرنشی وجود داشته باشد. کشش به طور کلی با اطلاعات مربوط به سفتی پیچشی، خمشی، شعاعی و محوری توصیف می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت که فلنج‌های گشتاور، از هر نظر سفت‌تر از شفت‌های گشتاور معمولی هستند.

اهمیت سختی از نظر چیدمان تا حدی در این واقعیت قابل مشاهده است که برخی از مفاهیم طراحی برای نصب مبدل گشتاور در قطار شفت تا حد زیادی توسط سختی تعیین می‌شود. به عنوان مثال، از یک سو، بارگذاری مزاحم که در یک مبدل بسیار ارتجاعی به دلیل خطاهای بالانس، زمانی که کوپلینگ‌ها یا شفت‌های مشترک کنار گذاشته می‌شوند، ایجاد می‌شود، کمتر از مبدل‌های بسیار سفت است.

از طرف دیگر یک مبدل گشتاور بسیار سفت می‌تواند وزن ذاتی اجزای خاص را در بخش شفت به راحتی تحمل کند. دومین کمیت مرتبط با هر نوع ضریب سختی، حداکثر ظرفیت بارگذاری آن با توجه به نیرو یا گشتاور مربوطه است.

سفتی جهتی در یک مبدل گشتاور نیز تاثیر زیادی بر خواص ارتعاشی قطار شفت دارد، همیشه سفتی بالاتر منجر به فرکانس‌های طبیعی بالاتر در ارتعاشات مربوطه می‌شود در حالی که سفتی کمتر منجر به فرکانس‌های طبیعی پایین‌تر می‌شود. کمیت مهم تاثیر گذار دیگر علاوه بر انواع مختلف سختی، گشتاور جرمی یا جرمی اینرسی است.

### سفتی پیچشی:

## Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

سفتی پیچشی، رابطه بین گشتاور و پیچش الاستیک حول محور چرخش را توصیف می کند. اثر متقابل بین سختی و جرم یا گشتاورهای جرم که در بالا ذکر شد، بر حساسیت پیکربندی نسبت به ارتعاشات پیچشی تاثیر دارد.

فلنج های گشتاور فشرده، سفتی پیچشی را نشان می دهند که نسبت به گشتاور اسمی آنها بسیار بالاست.

### سفتی خمشی:

سفتی خمشی رابطه بین لنگر خمشی و زاویه خمش الاستیک را توصیف می کند. اثر متقابل بین سختی و جرم یا گشتاورهای جرم که در بالا ذکر شد، بر حساسیت پیکربندی نسبت به ارتعاشات خمشی تاثیر دارد. در مقابل، در مورد شفت های انعطاف پذیر، نسبت بین نیروی خمشی و شعاعی نیز به عنوان سختی خمشی شناخته می شود.

### سفتی شعاعی:

سفتی شعاعی رابطه بین نیرویی در جهت شعاعی و حرکت شعاعی موازی در جهت مخالف را که در هر دو وجه جلویی مبدل گشتاور ایجاد می کند، توصیف می کند. همانند تغییر شکل خمشی، تغییر شکل شعاعی باعث خروج از مرکز نسبت به محور چرخش می شود. اثر متقابل بین سختی و جرم یا گشتاورهای جرم که در بالا ذکر شد، بر حساسیت پیکربندی نسبت به ارتعاش خمشی نیز تاثیر دارد. نحوه تاثیر سفتی شعاعی بر فرکانس های طبیعی از نظر کیفی مانند سفتی خمشی است.

سفتی خمشی و شعاعی در فلنج های گشتاور فشرده ساخته شده در بالاترین حد خود است

### سفتی محوری:

سختی محوری رابطه بین نیروی طولی و تغییر طولی که در مبدل گشتاور ایجاد می کند را توصیف می کند. اثر متقابل بین سختی و جرم یا گشتاورهای جرم که در بالا توضیح داده شد، بر حساسیت پیکربندی نسبت به ارتعاش محوری تاثیر می گذارد.

## 2 - شرایط عملیاتی و ویژگی های تجهیزات:

### 1-2 حداکثر سرعت عملیاتی:

مبدل گشتاور و کوپلینگ باید در تمام سرعت های کاری بدون آسیب باقی بمانند. بنابراین سرعت های اسمی نشان داده شده در مشخصات مبدل ها، حداقل باید با حداکثر سرعت عملیاتی که احتمال وقوع دارد مطابقت داشته باشد. جهت چرخش در این مورد مهم نیست.

### 2-2 اندازه گیری سرعت و زاویه چرخش:

بسیاری از مبدل های گشتاور ما دارای یک سیستم اندازه گیری سرعت به صورت استاندارد یا به صورت آپشن هستند، و در برخی نیز یک سیستم اندازه گیری برای زاویه چرخش تعبیه شده است. برای قضاوت در مورد اینکه آیا چنین سیستمی برای کاربرد مورد نظر مناسب است یا نه، ابتدا باید در نظر گرفت که آیا اندازه گیری جهت و احتمالاً زاویه چرخش علاوه بر سرعت برای کاربرد مورد نظر نیاز است، و آیا سیستم مورد بررسی به حداقل سرعت جهت اندازه گیری پایدار سیگنال نیاز دارد یا خیر. برای سیگنال اندازه گیری میزان تفکیک پذیری نیز باید در نظر گرفته شود. از سوی دیگر، تعداد پالس های تولید شده توسط سیستم در هر دور نیز باید با توجه به سرعت در نظر گرفته شود، زیرا در سرعت های بسیار بالا همراه با تعداد پالس های بالا، سیگنال خروجی اغلب در فرکانس بالایی قرار دارد که نمی توان آن را آسان تجزیه و تحلیل کرد.

### 2-3 الزامات نگهداری:

نیازهای تعمیر و نگهداری نقش مهمی را ایفا می کنند. مبدل های گشتاور با حلقه های لغزنده نیاز به تعمیر و نگهداری منظم دارند، به ویژه از آنجایی که عمر مفید برس های حلقه لغزنده محدود است. گریس مورد استفاده به عنوان روان کننده در دندانه های کوپلینگ باید به طور دوره ای تعویض شود. مبدل های گشتاور با انتقال سیگنال اندازه گیری بدون تماس و یاتاقان ها به دلیل طول عمر بسیار بالای یاتاقان هایشان، نیاز به تعمیر و نگهداری بسیار کمتری دارند، اما نمی توان گفت که بدون نیاز به تعمیر و نگهداری هستند. مبدل های گشتاور که بدون یاتاقان ساخته می شوند و دارای انتقال سیگنال اندازه گیری بدون تماس هستند، بدون نیاز به تعمیر و نگهداری و بدون ساییدگی هستند.

سیستم های نوری باز برای اندازه گیری سرعت، در صورت استفاده در شرایط نامساعد، خطر آلودگی را به همراه دارند. دستورالعمل های تمیز کردن آنها در اسناد فنی مربوطه نشان داده شده است.

### 3 - محدوده اندازه گیری و حداکثر گشتاور:

## 1-3 تخمین تقریبی گشتاور در یک کاربرد:

تقریباً در همه موارد، یک تخمین تقریبی از گشتاور مورد انتظار در یک برنامه کاربردی در مرحله طراحی در دسترس خواهد بود. این تخمین بر اساس مواردی مانند گشتاور اسمی ماشین‌هایی است که سیستم را به حرکت در می‌آورند (موتورهای احتراق داخلی، موتورهای الکتریکی) و یا بر اساس گشتاور اسمی محرکه‌ها مانند پمپ‌ها، کمپرسورها، همزن‌ها و... می‌باشد.

با این حال، باید توجه داشت که در بیشتر بخش‌های ماشین‌سازی، عبارت گشتاور اسمی به معنای گشتاور متوسطی است که می‌تواند در یک مدت نسبتاً طولانی حفظ شود، و پیک گشتاور اغلب به طور قابل توجهی بالاتر از این مقدار است. از طرف دیگر، در مورد مبدل گشتاور، گشتاور اسمی به حد بالایی محدوده اندازه‌گیری آن اشاره دارد، به عبارت دیگر این حدی است که در عملکرد عادی نباید گشتاور از آن مقدار تجاوز کند.

اغلب می‌توان از رابطه بین گشتاور، سرعت و قدرت مکانیکی برای محاسبه گشتاور اسمی که به صراحت

$$P = M_D \Omega$$

مشخص نشده است، استفاده کرد. در این مورد  $P$  توان ( $W$ ) و  $\Omega$  به سرعت زاویه‌ای اشاره دارد ( $s^{-1}$  یا همان  $rad/s$ ). اگر فرمول بالا برای گشتاور مرتب شود و سرعت زاویه‌ای با سرعت  $n$  بر حسب  $min^{-1}$  جایگزین شود، به دست می‌آوریم:

$$M_D = \frac{60P}{2\pi n}$$

البته این تقریب جهت استفاده به یک ضریب ایمنی مناسب نیز نیاز دارد. این مورد در زیر بیشتر توضیح داده خواهد شد.

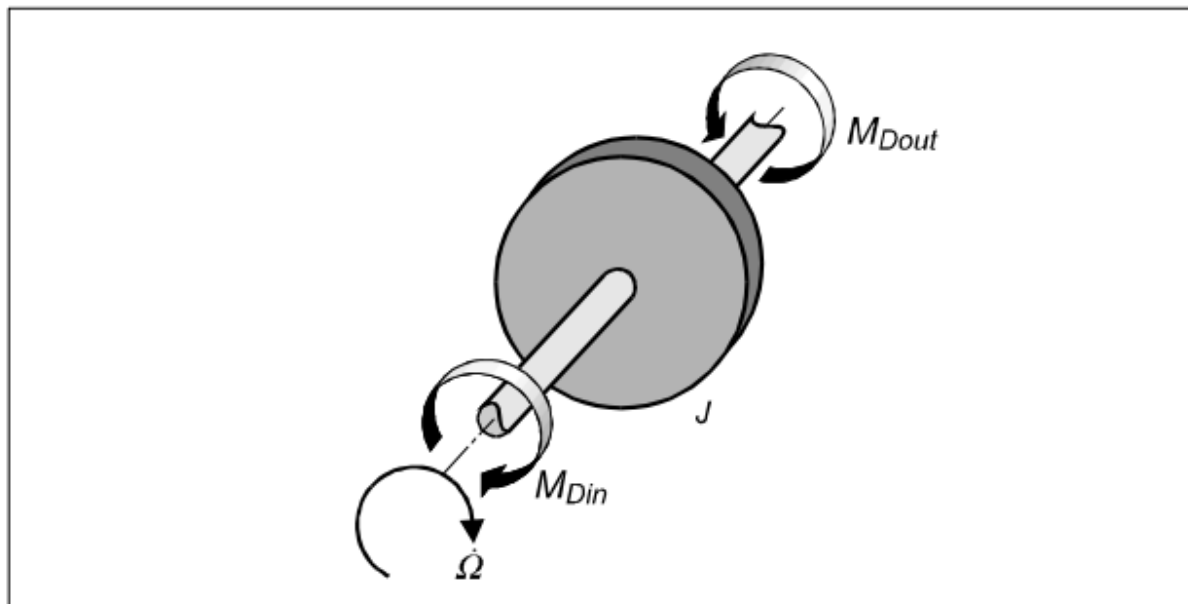
## 2-3 گشتاور دینامیکی:

هنگام انتخاب مبدل گشتاور، گشتاور دینامیکی پیش‌بینی‌شده باید تا حد امکان دقیق باشد، زیرا اغلب حداکثر گشتاور واقعی تنها از پیک‌های گشتاور دینامیکی مشخص می‌شود. در نتیجه گشتاور حداکثر و گشتاور نامی، می‌توانند در ترکیب با فاکتورهای ایمنی مناسب برای انتخاب یک مبدل گشتاور خاص یا یک گشتاور نامی خاص استفاده شوند. اگر انتظارمان این است که چرخه ارتعاش در سیستم مورد نظر بالا است، مبدل باید از منظر قدرت خستگی انتخاب شود. سپس مشخصات پهنای باند ارتعاش باید با بارگذاری دینامیکی قابل پیش‌بینی مقایسه شود.

بخش‌های بعدی مکانیسم‌های واقعی را که می‌توانند باعث ایجاد گشتاور دینامیکی شوند، مورد بحث قرار خواهند داد. ارتعاش پیچشی عمدا حذف شده است، زیرا ارتعاش به خودی خود معمولاً باعث ایجاد مولفه‌های دینامیکی در گشتاور نمی‌شود، بلکه به عنوان یک مکانیسم تقویت کننده عمل می‌کند.

### گشتاور ناشی از افزایش و کاهش شتاب:

برای شروع چرخش جسم یا تغییر سرعت چرخش آن، قضیه گشتاورها از مهندسی مکانیک حکم می‌کند که یک نیروی گشتاور باید به آن اعمال شود. بنابراین رابطه را می‌توان به صورت یک بعدی در نظر گرفت. کل گشتاور فعال را می‌توان به طور معنی داری به عنوان اختلاف بین گشتاور انتهای محرک  $M_{Din}$  و گشتاور انتهایی  $M_{Dout}$  نشان داد، همانطور که به صورت نموداری در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1: گشتاور ایجاد شده ناشی از تغییرات شتاب

$$M_{Din} - M_{Dout} = J \dot{\Omega}$$

در این مورد، نقطه بالای متغیر، مشتق متغیر را نسبت به زمان مشخص می‌کند، که به موجب آن  $\dot{\Omega}$  شتاب چرخشی است. گشتاور جرمی اینرسی  $J$  که باید در اینجا استفاده شود به قسمتی از قطار شفت بستگی دارد که قضیه گشتاورها برای آن قسمت اعمال می‌شود. در این حالت، مقادیر گشتاوری که باید جایگزین  $M_{Din}$  و  $M_{Dout}$  شوند، گشتاورهای متقاطعی هستند که در انتهای

## Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

بخش مربوطه در نظر گرفته شده، به عنوان یک واحد عمل می کنند. این به معنای گشتاور داخلی است که در این نقاط از قطار شفت عمل می کند.

کاربرد توصیف شده از قضیه گشتاورها را می توان بدون هیچ مشکلی حتی در مورد انتقال در قطار شفت تعمیم داد. اگر سرعت های زاویه ای مختلف تک تک بخش های شافت را به صورت  $\Omega_1$ ،  $\Omega_2$ ، ... و گشتاورهای جرمی اینرسی این بخش های شافت را به عنوان  $J_1$ ،  $J_2$ ، ... تعیین کنیم، قضیه گشتاورها نتیجه را برای گشتاور به شکل زیر به دست می دهد:

$$M_{Din} - M_{Dout} = J_1 \dot{\Omega}_1 + J_2 \dot{\Omega}_2 + \dots$$

به ویژه در مرحله پیکربندی، شتاب های چرخشی که در یک برنامه کاربردی عمل می کنند اغلب ناشناخته هستند. اما اگر تغییر سرعت و بازه زمانی که این تغییر در آن رخ می دهد مشخص باشد، می توان یک تخمین ساده انجام داد.

با فرض ثابت بودن شتاب دورانی:

$$\dot{\Omega} \approx \frac{\Delta\Omega}{\Delta t} = 2\pi \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

با این حال، هنگام تخمین زدن از این نوع، باید در نظر داشت که شتاب چرخشی ثابت مطلوب ترین حالت ممکن را نشان می دهد. اگر شتاب چرخشی ثابت نباشد اما همان تغییر کلی سرعت در همان بازه زمانی حاصل شود، شتاب دورانی حتی باید بیشتر به طور موقت رخ دهد. معمولاً در عمل چنین است. در بدترین حالت ممکن است حتی پیک های گشتاور ضربه مانند می تواند وجود داشته باشد.

### گشتاور نوسانی:

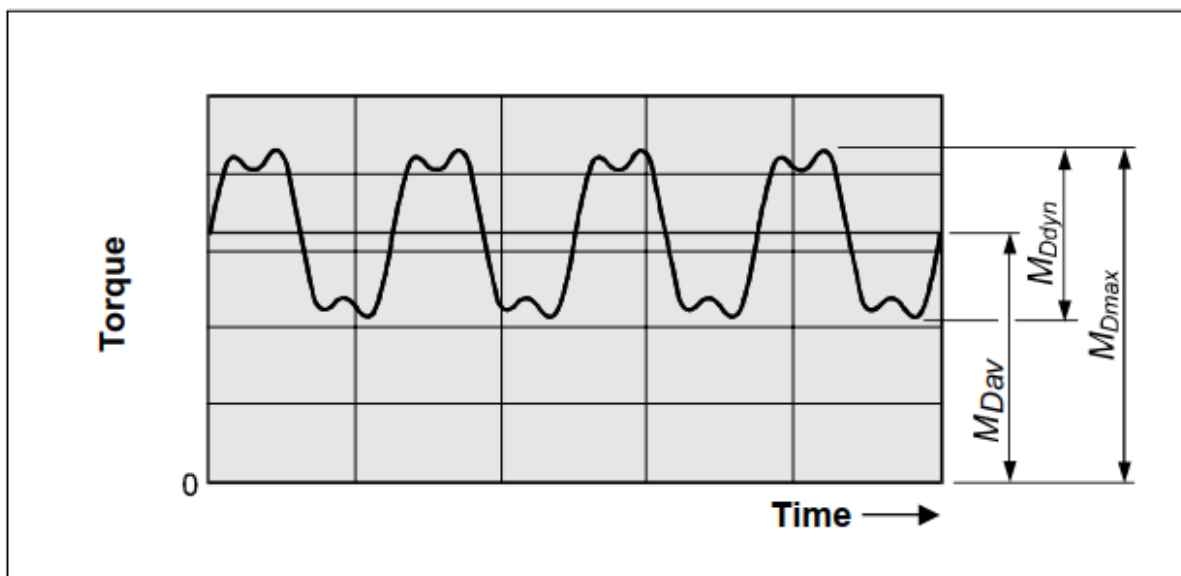
در این بخش، گشتاور نوسانی به این معناست که یک گشتاور متناوب (مولفه دینامیکی) بر روی یک گشتاوری قرار می گیرد که ثابت است یا به آرامی در طول زمان تغییر می کند (گشتاور متوسط).

جز نوسانی ممکن است دوره ای باشد یا نباشد. این بخش بیشترین توجه را به منابعی دارد که باعث ایجاد این رفتار مرتبط با زمان در گشتاور می شود.

اساس گشتاور نوسانی در شکل 2 نشان داده شده است. در این مثال گشتاور متوسط ثابت، و جزء دینامیکی آن تناوبی است. یک جزء دینامیکی دوره ای یا شبه تناوبی از این نوع، نمونه ای از بسیاری از اثراتی است که در عمل رخ می دهد:

- نیروهای فشار گاز در موتورهای رفت و برگشتی
- نیروهای جرم در محرک های میل لنگ و میلله های اتصال
- نیروهای وارد بر دندان در انتقال
- نیروهای آیرودینامیکی دوره‌ای که در فعل و انفعال بین روتورها و پره‌های راهنمای ثابت روی فن‌ها یا توربین‌ها رخ می‌دهند.

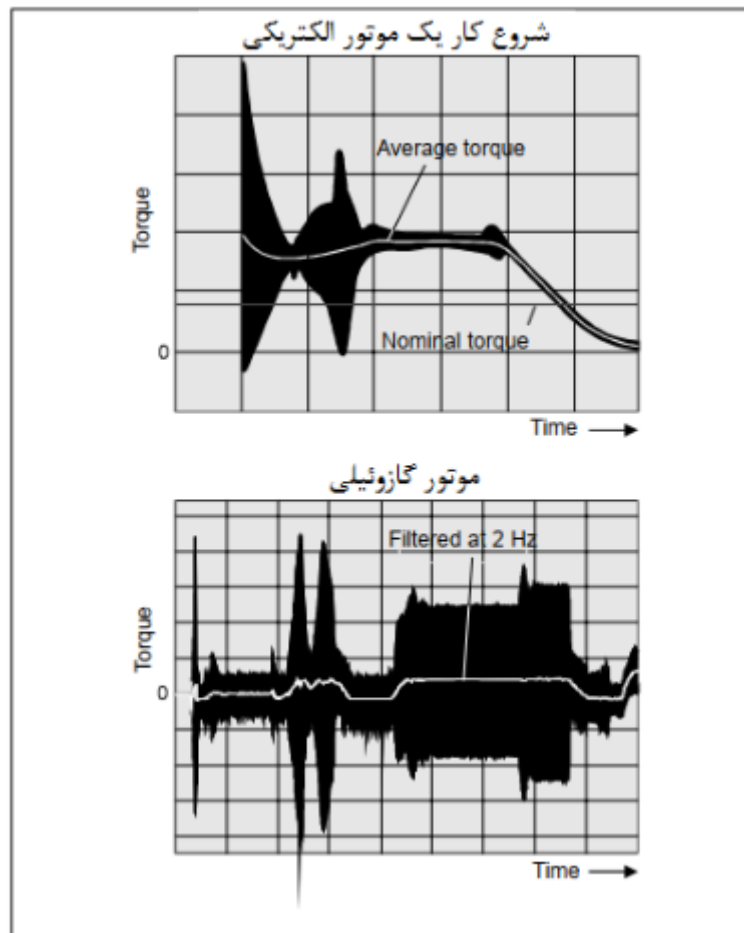
اولین دلیل برای اهمیت زیاد گشتاور نوسانی این است که چون روی گشتاور متوسط قرار می‌گیرد، باعث می‌شود حداکثر گشتاور به طور قابل توجهی بالاتر از گشتاور متوسط باشد. به عنوان یک قاعده، این بدان معنی است که هنگام پیکربندی یک قطار شفت، و به ویژه هنگام انتخاب یک مبدل گشتاور، اگر اجزای گشتاور دینامیکی شناخته نشده باشند، باید تخمین زده شوند.



شکل 2: برهم نهی گشتاور متوسط و مولفه دینامیکی گشتاور

دو مثال عملی در شکل 3 نشان داده شده است. یک فیلتر پایین گذر برای مشاهده میانگین گشتاور استفاده شد.

اثر یک فیلتر پایین گذر مکانیکی هم تقریباً شبیه همین است، اگرچه در این مورد همه اجزای مکانیکی در میز آزمایش، در واقع زیاد در معرض مولفه گشتاور پویا قرار نمی‌گیرند.



شکل 3: گشتاور دینامیکی اندازه گیری شده

یک اندازه گیری کمی از مقدار گشتاور نوسانی نسبت به گشتاور متوسط مؤثر، فاکتور شوک است که به عنوان نسبت حداکثر گشتاور به گشتاور متوسط تعریف می شود:

$$k = \frac{M_{Dmax}}{M_{Dav}}$$

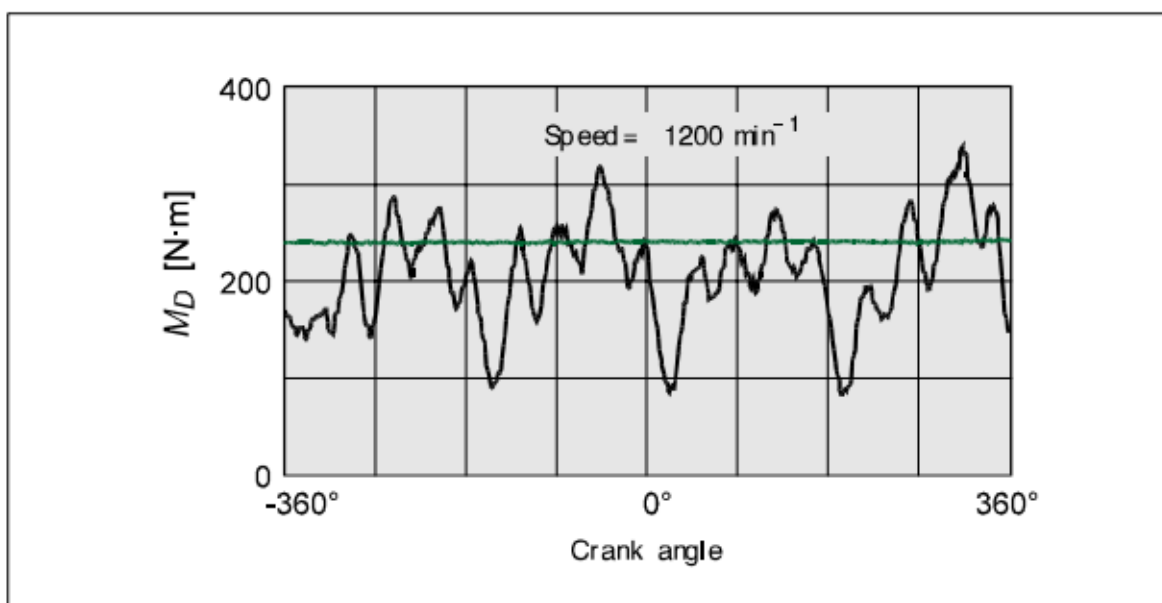
می توان یک بیان کلی داشت که فاکتورهای شوک در موتورهای احتراق داخلی عموماً بین 2 تا 10 است. پیشینه این موضوع و رابطه بین تعداد سیلندرها و اساس موضوع (اتو یا دیزل) در زیر توضیح داده خواهد شد.

دلیل دوم اهمیت زیاد گشتاور نوسانی، نقش آن به عنوان یک محرک احتمالی برای ارتعاش پیچشی است. برای در نظر گرفتن این جنبه لازم است هم دامنه و هم فرکانس مولفه دینامیکی گشتاور بررسی شود. لازم به ذکر است که اگر گشتاور نوسانی متناوب به شکل سینوسی خالص

نباشد، شکل موج گشتاور نه تنها شامل فرکانس اصلی، بلکه مولفه هایی از فرکانس در آن حضور خواهد داشت که مضرب صحیحی از فرکانس اصلی هستند.

یکی از جاهای متداول که در آن گشتاور نوسانی به شدت قوی رخ می دهد، موتور احتراق داخلی است. در ارتباط با اندازه گیری گشتاور، چنین کاربردهایی معمولاً در میزهای آزمایشی مختلف در صنعت خودرو یافت می شوند. علت نوسانات گشتاور، تبدیل حرکت نوسانی پیستون ها و شاتون ها به حرکت دورانی است. نیروهایی که در این فرآیند رخ می دهند و با استفاده از میله های اتصال به گشتاور تبدیل می شوند، از یک سو نیروهای فشار گاز هستند که پیستون ها را به حرکت در می آورند و از سوی دیگر نیروهای جرمی مورد نیاز برای شتاب دادن به جرم های نوسانی هستند. شکل 4 منحنی گشتاور موتور دیزلی چهار سیلندر را در دو دور چرخش میل لنگ (یک سیکل عملیاتی کامل) نشان می دهد.

گشتاور گهگاه می تواند کاملاً خلاف جهت گشتاور متوسط عمل کند. اثر نوسانات در حین استفاده عموماً با کمک فلاپیول ها بسیار کاهش می یابد. با توجه به تاثیر آنها بر اندازه گیری گشتاور، بسیار مهم است که مبدل گشتاور در بخش شفت بین موتور و فلاپیول یا در خارج از آن قرار گرفته باشد. قوی ترین نوسانات گشتاور بین موتور و فلاپیول اتفاق می افتد.



شکل 4: گشتاور در یک موتور چهار سیلندر

نکات زیر اغلب می تواند برای قضاوت در مورد نحوه رفتار انواع مختلف موتورها با توجه به گشتاور نوسانی مفید باشد:

## Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

• نسبت دامنه مولفه گشتاور نوسانی به گشتاور متوسط در موتورهای با تعداد سیلندر کمتر بیشتر از موتورهای با تعداد سیلندر بیشتر است.

• مولفه گشتاور نوسانی در موتورهای دیزلی بیشتر از موتورهای Otto است.

• در دورهای پایین موتور، تاثیر غالب از نیروهای فشار گاز ناشی می‌شود، در حالی که در سرعت‌های بالاتر تاثیر غالب از شتاب توده‌های نوسانی است. در یک موتور چهار سیلندر معمولی اتو، مرز بین این دو رژیم در سرعت‌های حدود 4000 دور در دقیقه رخ می‌دهد

• فرکانس اساسی نوسان در موتور چهار زمانه K سیلندر عبارت است از:

$$f_{eng} = 60 \frac{s}{min} \frac{k}{2} n$$

• فرکانس اساسی نوسان در موتور دو زمانه K سیلندر عبارت است از:

$$f_{eng} = 60 \frac{s}{min} k n$$

• مولفه‌هایی با دامنه‌های قابل توجه نیز معمولاً به عنوان هارمونیک‌های بالاتر از فرکانس بنیادی وجود دارند.

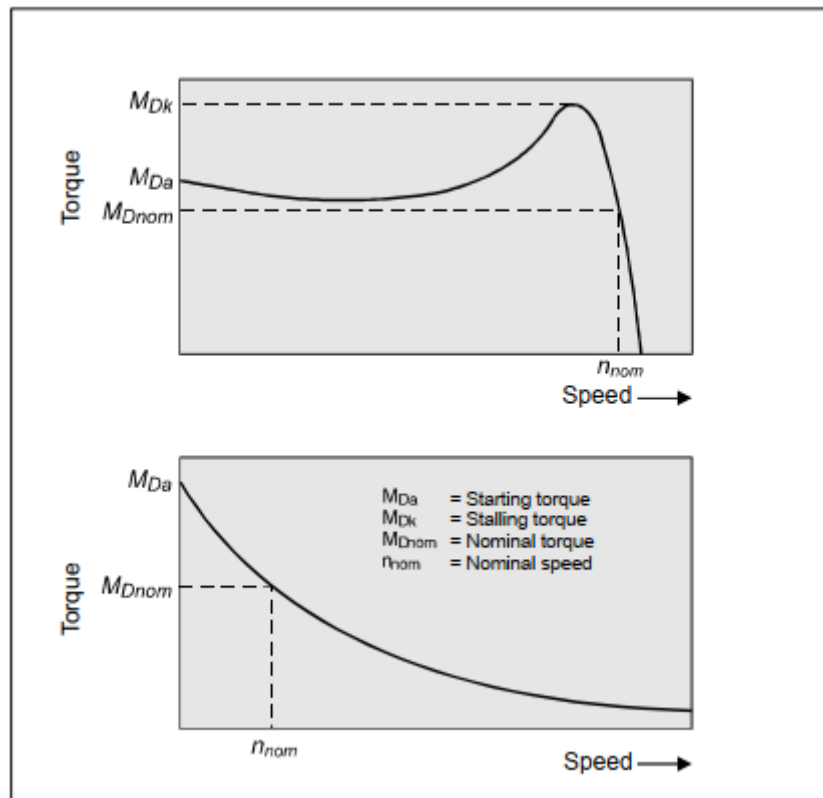
### گشتاور شروع و عملیات سوئیچینگ در ماشین آلات الکتریکی:

منحنی مشخصه یک ماشین الکتریکی، صرف نظر از اینکه موتور باشد یا ریتارد نشان می‌دهد که گشتاور فعال به سرعت چرخش بستگی دارد. گشتاور تعیین شده به عنوان گشتاور اسمی در چنین ماشین‌هایی، گشتاور در سرعت نامی است. گشتاور حداکثر در این ماشین‌ها مخصوصاً هنگام راه اندازی، به طور قابل توجهی بالاتر است.

همانطور که منحنی‌های مشخصه در شکل 5 نشان می‌دهند، گشتاور راه اندازی که یک ماشین می‌تواند در سرعت صفر اعمال کند، اغلب بیشتر از گشتاور اسمی است. در تصویر فوقانی که منحنی ماشین با ویژگی‌های شنت را نشان می‌دهد، اوج گشتاور دیگری که به نام گشتاور سکون شناخته می‌شود، درست زیر سرعت اسمی رخ می‌دهد. نمونه‌های معمولی عبارتند از موتورهای شنت-پیچ DC، موتورهای شنت-پیچ سه فاز، همه موتورهای قفس سنجابی و موتورهای حلقه لغزش. تصویر پایین نمونه‌ای از ماشین با ویژگی‌های سری را نشان می‌دهد که در آن گشتاور به طور مداوم با افزایش سرعت کاهش می‌یابد. نمونه‌های معمولی عبارتند از موتورهای سری سیم

## Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

پیچ DC، موتورهای سیم پیچ سری AC، موتورهای سری پیچ سه فاز و موتورهای دافعه. در هر دو مورد نیز باید در نظر گرفت که هنگام راه اندازی، گشتاور موثر از گشتاور اسمی دستگاه بیشتر است.



شکل 5: منحنی مشخصه گشتاور ماشین الکتریکی نوعی

لازم به ذکر است که منحنی های مشخصه مورد بحث در بالا، میانگین گشتاور را برای سرعت مورد نظر نشان می دهد. سایر اثراتی که در ماشین های الکتریکی رخ می دهند باعث ایجاد مولفه های گشتاور دینامیکی اضافی می شوند. در تمام ماشین های سه فازی که از شبکه تغذیه می کنند، نوسانات گشتاور در نتیجه برهمکنش های الکترومغناطیسی گذرا بین ماشین و شبکه رخ می دهد. گشتاور راه اندازی در همه موتورهای سنکرون با نرخی دو برابر فرکانس لغزش غالب نوسان می کند. بنابراین هنگامی که ماشین های 50 هرتز در حال راه اندازی هستند، از فرکانس های 100 هرتز تا 0 هرتز عبور می کنند.

منبع دیگر افزایش گشتاور دینامیکی در ماشین های الکتریکی، سوئیچ از یک حالت به حالت عملیاتی دیگر است. یک مثال معمولی از این نوع، تغییر موتور الکتریکی از اتصال ستاره به اتصال مثلث است. گشتاور بسیار نامنظم می تواند در این شرایط رخ دهد.

### 3-3 بارهای مزاحم:

#### تعریف و اهمیت بارهای مزاحم:

اصطلاح بارهای انگلی به تمام گشتاورها و نیروهایی اطلاق می شود که علاوه بر کمیت اندازه گیری شده

مورد نظر می توانند بر روی مبدل اثر بگذارند. در مورد مبدل گشتاور، اینها عمدتاً نیروهای جانبی ، طولی و

گشتاورهای خمشی هستند.

مبدل های گشتاور طوری طراحی شده اند که در حالت ایده آل تغییر شکل ناشی از بارهای انگلی هیچ تاثیری بر سیگنال اندازه گیری نداشته باشد. این امر با پیکربندی و سیم کشی SGها به روشی خاص به دست می آید که تضمین می کند سیگنال های کرنش از SGهای منفرد به هم اضافه می شوند، مشروط بر اینکه کرنش های مربوطه ناشی از گشتاور باشند، اما اگر کرنش ها ناشی از بارهای انگلی باشند، یکدیگر را خنثی می کنند.

با این وجود، در صورتی که بار انگلی بسیار زیاد باشد، اثر گذاری متقابل بر روی سیگنال گشتاور امکان پذیر است، زیرا همیشه مقدار مشخصی از واریانس تولید وجود دارد.

اما از آنجایی که چنین خطاهایی از نظر آماری پراکنده هستند، تأثیر یک بار انگلی معین بر سیگنال گشتاور قابل پیش بینی نیست. اگر اثر متقابل روی سیگنال گشتاور رخ دهد، بزرگی و علامت آن معمولاً به ترتیب به جهت محور لنگر خمشی یا جهت نیروی جانبی بستگی دارد. بارهای انگلی اغلب می توانند به اندازه کافی بزرگ باشند که باعث تخریب مبدل گشتاور شوند.

#### منشا بارهای مزاحم:

از یک طرف بارهای انگلی می توانند مستقیماً توسط نیروها و گشتاورهای خارجی وارد بر مبدل گشتاور ایجاد شوند. نمونه های معمولی وزن یک شفت مفصل یا نیروهای کششی روی یک تسمه قرقره است. از سوی دیگر، تمام بارهای انگلی ذکر شده نیز می تواند ناشی از شرایط نصب باشد، به دلیل اعوجاجی که در هنگام از بین رفتن عناصر جبران کننده (کوپلینگ ها، شفت های مشترک) در ارتباط با بالانس ناکافی اجزا در قطار شفت رخ می دهد.

#### بارهای انگلی مجاز:

## Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

توانایی یک مبدل گشتاور برای اندازه گیری، تنها در صورتی تضمین می شود که بارهای انگلی تا حدی تحت کنترل باشند.

همچنین باید در نظر داشت که ممکن است اثرات چندین بار انگلی به صورت همزمان روی همدیگر قرار بگیرند، بنابراین اگر قرار باشد که اثرات این بارها کاهش داده شود، اگر در یک زمان چندین تا از این بارها فعال باشند، باید دامنه تک تک این بارها را (گشتاورهای خمشی، نیروهای جانبی، نیروهای محوری) کاهش دهیم.

### بارهای انگلی ثابت و دوار:

مانند گشتاور، بارهای انگلی نیز به عنوان یک قاعده دینامیک هستند. با این حال، مفید است که دو حالت ایده آل خاص را که در بسیاری از موارد نشان دهنده مهم ترین ویژگی های منحنی مربوط به زمان هستند، مشخص کنیم.

از یک طرف انواع بارهای انگلی وجود دارد که با مبدل گشتاور می چرخند. در سرعت ثابت، چنین بارهای انگلی به صورت ایستا بر روی مبدل گشتاور اثر می گذارند، و زمانی که تغییر سرعت به صورت تدریجی باشد، به صورت شبه استاتیکی عمل می کنند. اگر در چنین حالتی اثر متقابل روی سیگنال گشتاور اتفاق بیفتد، به نظر می رسد یک مولفه ثابت به گشتاور اضافه می شود.

سایر بارهای انگلی بدون توجه به زاویه چرخش در یک جهت ثابت عمل می کنند و بنابراین از نظر مکانی ثابت هستند. در سرعت ثابت، بارهای انگلی از این نوع بر روی مبدل گشتاور به عنوان بارهای دوار عمل می کنند. اگر اثر گذاری متقابل بر روی سیگنال گشتاور رخ دهد، وابستگی جهت ذکر شده در بالا باعث می شود که بار انگلی به عنوان یک مولفه سیگنالی عمل کند که به عنوان تابعی از زاویه نوسان می کند.

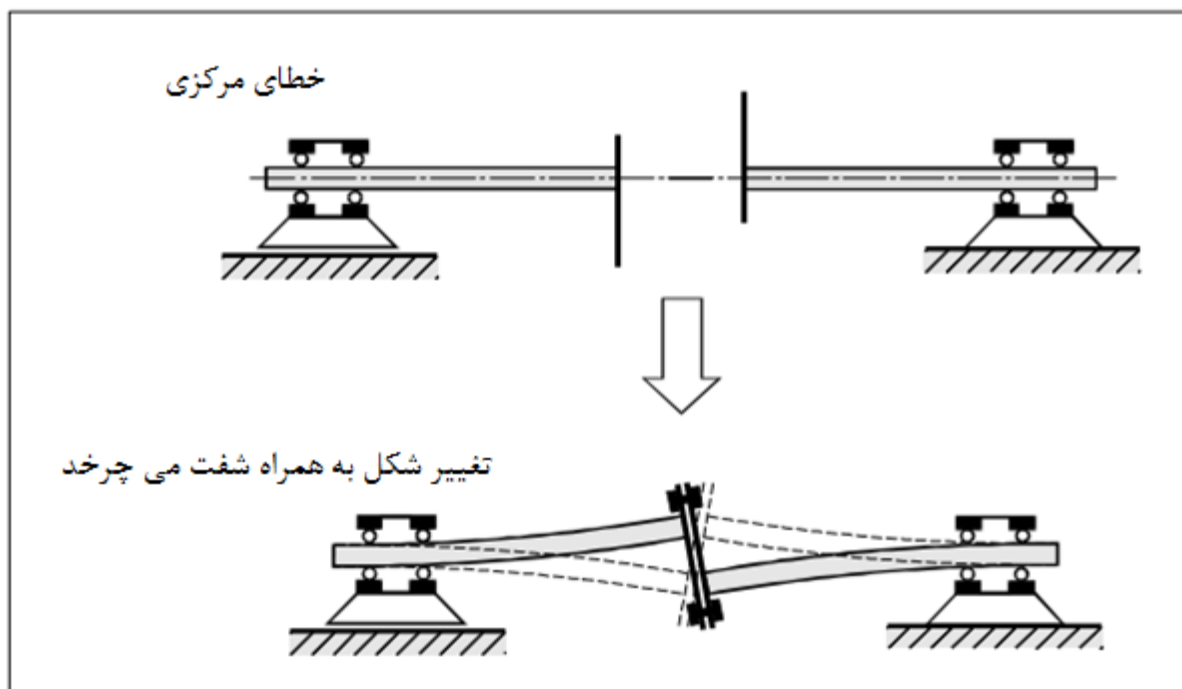
این طبقه بندی هم برای نیروهای شعاعی و هم برای ممان های خمشی قابل استفاده است. از طرف دیگر در مورد نیروهای محوری بی معنی است.

در مورد نیروها و گشتاورهای مستقیم خارجی، معمولاً به راحتی می توان تشخیص داد که آیا بار به همراه مبدل می چرخد یا از نظر مکانی ثابت است. یک مثال کلاسیک از نیروی دوار مشترک، نیروی نامتعادل است و نیروهای ثابت مکانی معمولی، نیروهای وزنی یا نیروهای کششی در محرک های تسمه هستند.

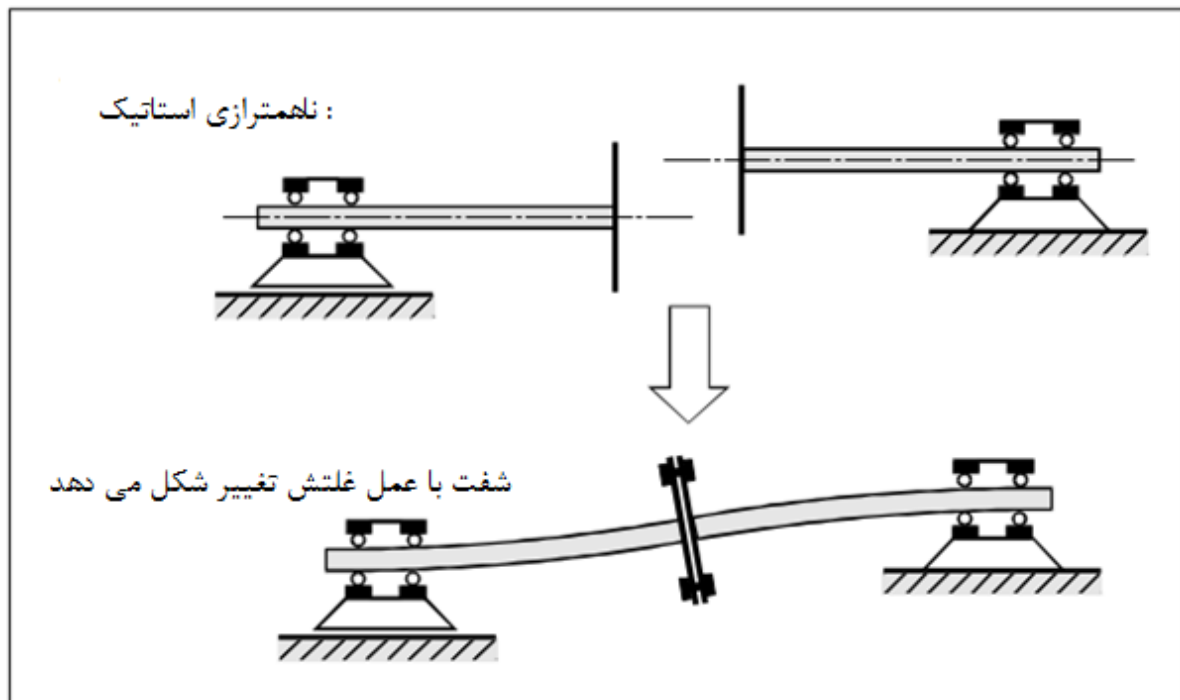
حتی در مورد بارهای انگلی که از اعوجاج های ناشی از ناهمترایی به وجود می آیند، هر دو حالت رخ می دهد. اگر دو بخش شفت نیاز به اتصال داشته باشند و محورهای آنها در یک راستا قرار

گیرند اما عناصر اتصال در مرکز یا در زاویه درست روی محور قرار نگیرند، فرآیند مونتاژ منجر به تغییر شکل ناشی از اتصال چرخان می شود، که باعث ایجاد نیروها یا گشتاورهای ناشی از اتصال می شود. تاثیر آن روی سایر قطعات مشترک دوار مانند مبدل گشتاور، به صورت اثر بار استاتیکی است. این وضعیت به عنوان خطای فلنج یا خطای مرکزی نامیده می شود (شکل 6 را ببینید).

در مقابل، اگر محورهای دو بخش شفت که باید به هم وصل شوند، در یک راستا نباشند، این ناهماهنگی باعث ایجاد اعوجاج ثابت مکانی می شود. این امر تمام قطعات دوار را تحت تاثیر نیروها و/یا لنگرهای خمشی قرار می دهد که از دید ناظری که همراه با آنها می چرخد در حال چرخش هستند. چنین وضعیتی به عنوان مثال به دلیل یک ناهماهنگی استاتیکی که در مرحله مونتاژ به طور کامل حذف نشده است به وجود می آید (شکل 7 را ببینید).



شکل 6: تغییر شکل خمشی به دلیل خطای مرکز شعاعی



شکل 7: تغییر شکل خمشی ناشی از افست موازی استاتیکی

#### 4 - دقت:

دقت مبدل های گشتاور به عوامل زیادی بستگی دارد، این عوامل عبارت اند از:

- کلاس دقت
- طبقه بندی بر اساس مقررات کالیبراسیون
- عدم قطعیت اندازه گیری
- تکرارپذیری
- خطی بودن
- هیستریزیس
- تأثیرات محیطی (در زیر توضیح داده شده است)

ترجمه این مشخصات به عبارات محاسباتی ملموس مستلزم دانش دقیق تعاریفی است که بر اساس آن ها ساخته شده اند. به همین دلیل خواننده ای که مایل به کسب اطلاعات بیشتر در مورد ارزیابی کمی جنبه های مختلف دقت است به فصل های بعدی ارجاع داده می شود.

## 5 - تاثیرات محیطی:

در حالی که مبدل های گشتاور از نظر ساختاری محکم هستند، اما آنها ابزار الکترونیکی حساسی نیز هستند. برای اطمینان از عملکرد کامل آنها باید شرایط محیطی خاصی رعایت شود. شرایط محیطی سخت می تواند دقت چنین دستگاهی را کاهش دهد یا حتی توانایی عملکرد آن را مختل کند. در موارد شدید، شرایط محیطی مانند اثرات مضر مواد شیمیایی می تواند یک مبدل را از بین ببرد.

سازندگان به طور کلی شرایط محیطی را برای استفاده از مبدل های گشتاور خود تعریف می کنند و این موارد باید در انتخاب مبدل در نظر گرفته شوند. این شرایط اغلب می تواند با طراحی مناسب سایتی که مبدل در آن نصب می شود برآورده شود.

### 1-5 گرد و غبار و اجسام خارجی:

میزان محافظت دستگاه در برابر نفوذ اجسام خارجی و گرد و غبار در رقم اول کلاس حفاظت IP دو رقمی مطابق با DIN EN 60529 نشان داده شده است. گرد و غبار و سایر اجسام خارجی به اندازه کافی کوچک هستند که بتوانند به درون مبدل گشتاور راه پیدا کنند، و بر عملکرد صحیح مبدل گشتاور تاثیر بگذارند. یافتن گرد و غبار تولید شده توسط سیستم های ترمز مکانیکی یا حتی دوده در مجاورت مبدل های گشتاور غیر معمول نیست. علاوه بر مسئله توانایی مبدل برای عملکرد صحیح آن، موضوع دیگری که برای ارزیابی حساسیت مبدل گشتاور نسبت به گرد و غبار مهم است، امکان شنت های مکانیکی یا الکتریکی می باشد.

یک شنت مکانیکی (شنت گشتاور) به دلیل این واقعیت که تمام گشتاور از طریق نقطه اندازه گیری مورد نظر به مبدل هدایت نمی شود، باعث قرائت اشتباه در نتیجه اندازه گیری می شود. یک شنت الکتریکی توسط ذرات رسانای الکتریکی مانند گرد و غبار فلزی، دوده یا گرافیت ایجاد می شود که وقتی سیگنال های الکتریکی مسیرهای نامشخصی را دنبال می کنند، یک قرائت نادرست ایجاد می کنند.

### 2-5 مایعات:

میزانی که مبدل گشتاور می تواند در معرض مایعات قرار گیرد با رقم دوم کلاس حفاظت IP نشان داده می شود.

برای مبدل های گشتاور، نه تنها این مسئله وجود دارد که مبدل چقدر ضد آب است، بلکه همچنین احتمال وجود فعل و انفعالات شیمیایی نیز در آن وجود دارد، به خصوص اگر مایعاتی غیر از آب در آن دخیل باشند.

### 3-5 مواد شیمیایی:

مبدل های گشتاور ممکن است در حین استفاده با مواد شیمیایی مختلف در تماس باشند. اینها می توانند شامل مواد تمیز کننده، روان کننده ها، سوخت ها و مایعات هیدرولیک باشند.

برهمکنش با مواد موجود در مبدل گشتاور ممکن است در SG (فویل پستی، پوشش)، در مواد پلاستیکی روی روتور، در PCB های الکترونیکی و حتی در فلزاتی که روتور و محفظه استاتور از آنها ساخته شده اند، رخ دهد.

مواد شیمیایی مختلف بسیار زیادی وجود دارد که سازندگان مبدل گشتاور در موقعیتی نیستند که بتوانند اثرات هر ماده شیمیایی ممکن را بر هر جزء یا ماده ممکن در مبدل گشتاور پیش بینی کنند. این موضوع باید در هر مورد جداگانه بین کاربر و سازنده، بحث و شفاف سازی شود. این وظیفه سازنده است که مواد مورد استفاده را افشا کند. سپس کاربر می تواند از این اطلاعات برای بررسی وجود هرگونه ناسازگاری با مواد شیمیایی مورد انتظار در محیط عملیاتی استفاده کند.

### 4-5 شرایط حرارتی:

هنگام تخمین شرایط حرارتی که هنگام استفاده از مبدل گشتاور با آن مواجه می شوید، بخشی از فرآیند در نظر گرفتن کامل شرایط در محیط خارجی (دمای بیرون یا دمای اتاق) است. جنبه دیگر در نظر گرفتن تغییرات دمایی است که هنگام اجرای برنامه به وجود می آید، در این مورد نه تنها منابع گرما، بلکه هر مکانیسم خنک کننده ای که ممکن است وجود داشته باشد، باید در نظر گرفته شود.

از آنجایی که اصل اندازه گیری معمول مبتنی بر استرین گیج ها، گشتاور را به طور غیرمستقیم از اندازه گیری کرنش تعیین می کند، مهم است که برهمکنش های کرنش های حرارتی در نظر گرفته شوند. اثرات کرنش های حرارتی، فقط تا حدی قابل جبران است. اجزای الکترونیکی استفاده شده در مبدل ها و خواص آنها فقط از نظر حرارتی در رنج دمایی محدودی پایدار هستند. بنابراین رنج دمای مجاز برای مبدل گشتاور محدود است و معمولاً به بخش های مختلف تقسیم می شود.

برای محدوده دمای اسمی، حدود بالایی برای تاثیر دما بر سیگنال خروجی در مشخصات مبدل ذکر شده است. بین تاثیر دما بر نقطه صفر که باعث تغییر موازی در منحنی مشخصه مبدل می

شود (نقطه صفر مبدل جابجا می شود) و تاثیر دما بر حساسیت که باعث تغییر در شیب منحنی مشخصه می شود، باید تمایز قائل شد.

اگر توزیع دما در حال تغییر یا غیر یکنواخت باشد، اثر آن نسبت به وضعیتی که توزیع دمای استاتیک و یکنواخت وجود دارد، قوی تر است.

### 5-5 رطوبت:

منظور از رطوبت، آب به صورت قطرات نیست، بلکه به مقدار بخار آب حل شده در هوای اطراف اشاره دارد. به عنوان یک قاعده، این به عنوان درصد رطوبت نسبی بیان می شود، که در آن رطوبت نسبی 100٪ به اشباع اشاره دارد. وقتی رطوبت محیط به حالت اشباع برسد، بخار آب دیگر نمی تواند در هوا حل شود و شروع به متراکم شدن می کند. در شرایط رطوبت متراکم، اجزای الکترونیکی می توانند با شبنم پوشانده شوند، این موضوع بسیار مهم است، زیرا می تواند باعث ایجاد یک شنت الکتریکی شود. رطوبت همچنین می تواند بر قطعات الکترونیکی و پلاستیک ها تأثیر بگذارد. در دماهای پایین تر از نقطه انجماد، رطوبت متراکم حتی می تواند یخ بزند، و این می تواند منجر به شنت نیروی مکانیکی یا شنت گشتاور شود. هر دو اثر می توانند باعث خواندن مقادیر نادرست اندازه گیری شوند.

### 5-6 سازگاری الکترومغناطیسی:

شرایط الکترومغناطیسی در محیطی که یک مبدل گشتاور در آن کار می کند، تأثیر مهمی بر نحوه عملکرد مبدل دارد. این عمدتاً به دلیل وجود قطعات الکترونیکی است که در دستگاه گنجانده شده است (تبدیل سیگنال های روتور، انتقال سیگنال از روتور به استاتور). علاوه بر این، مانند سایر مبدل ها، مجموعه ای از مشکلات معمول ناشی از تعامل با کابل ها وجود دارد.

منابع معمولی تداخل الکترومغناطیسی در میزهای تست قدرت برای موتورهای وسایل نقلیه موتوری یا گیربکس، ولتاژهای احتراق بالا در موتورهای احتراق داخلی و همچنین اثرات ناشی از ماشین های الکتریکی بزرگ است. اگر اثرات تداخلی از حد مجاز مبدل گشتاور بیشتر شود، باید اقداماتی برای کاهش آنها در منبع انتشار انجام شود. در غیر این صورت باید از نوعی محافظ یا غربالگری استفاده شود.