

ساختار داخلی مبدل های اندازه گیری گشتاور

بخش زیر ساختار مبدل های گشتاور را توضیح می دهد که در آن بدنه اندازه گیری بخش چرخان مبدل را تشکیل می دهد این بخش توسط گشتاوری که قرار است اندازه گیری شود، تغییر شکل الاستیکی پیدا می کند، یا کرنش های مکانیکی روی سطح آن ایجاد می شود. کرنشی که در این شرایط رخ می دهد توسط کرنش سنج ها اندازه گیری می شود.

مبدل گشتاور از این نوع اصولاً از یک بدنه اندازه گیری چرخان به نام روتور و یک محفظه به نام استاتور تشکیل شده است. مبدل های گشتاور می توانند از نظر ساختاری نه تنها در شکل انتقال سیگنال، بلکه در طراحی مکانیکی نیز متفاوت باشند.

برای انتقال ولتاژ تغذیه و سیگنال اندازه گیری می توان از حلقه های لغزشی یا سیستم های بدون تماس استفاده کرد. علاوه بر این، برخی از انواع شفت های گشتاور دارای یاتاقان های داخلی هستند و برخی دیگر بدون یاتاقان هستند. طراحی بدنه اندازه گیری مبدل های گشتاور مهم است.

1- ساختار مکانیکی مبدل های گشتاور:

1-1 طراحی بدنه اندازه گیری مبدل های گشتاور :

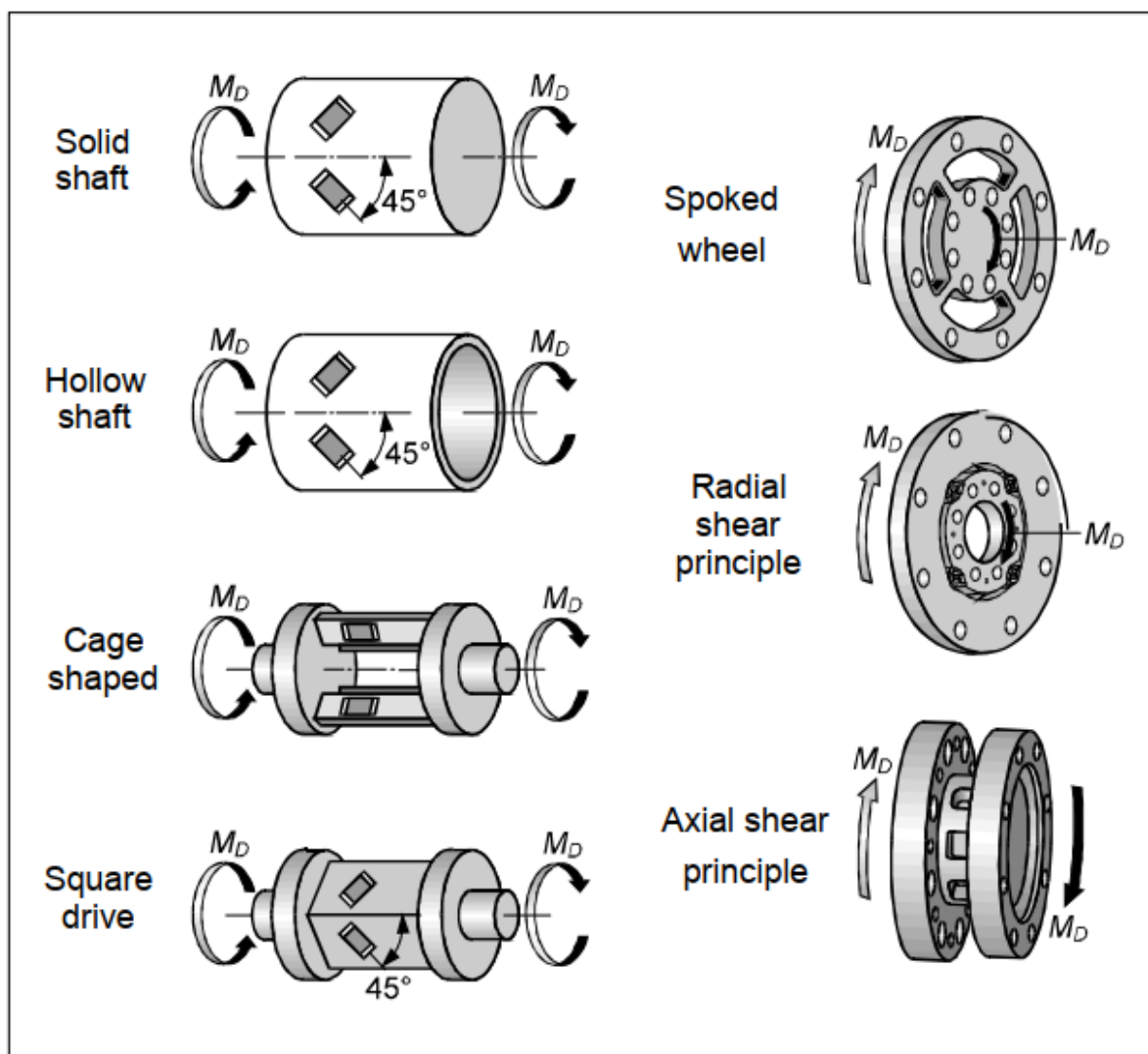
به عنوان یک اصل اساسی، اجسام اندازه گیری می توانند هر شکلی داشته باشند. اما از طرف دیگر آنها باید سطوح صافی داشته باشند که کرنش ایجاد شده توسط گشتاور را بتوان با استفاده از کرنش سنج ها اندازه گیری کرد. بدنه های اندازه گیری پرکاربرد شامل محورهای توپر، توخالی یا مربعی هستند. هنگامی که از این طرح ها استفاده می شود، گشتاور در آنها تنها تنش پیچشی ایجاد می کند.

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

در مقابل، بدنه‌های اندازه‌گیری لوله‌ای با سطح مقطع یکسان، سفتی خمشی بالاتری را ارائه می‌دهند. شفت‌های مربعی شکل توپر اغلب برای محدوده‌های اندازه‌گیری گشتاورهای بالا استفاده می‌شود. ساختار آن بسیار ساده بوده و نصب استرین گیج روی آن آسان است.

در مورد سایر اشکال بدنه اندازه‌گیری، مانند پره‌ها یا قفس‌ها، گشتاور اعمال‌شده یک تنش خمشی موضعی در عناصر فرعی بدنه اندازه‌گیری ایجاد می‌کند. به خصوص برای مقادیر گشتاورهای کم، بدنه‌های اندازه‌گیری متقاطع، مزیت ایجاد کرنش بالاتر همراه با سفتی خمشی بیشتر را ارائه می‌دهند.

نیازهای امروزی مبدل‌های گشتاور برای میزهای تست قدرت به قدری بالا و متنوع است که با نسخه‌های بدنه اندازه‌گیری ذکر شده در بالا نمی‌توان آنها را به طور مطلوب برآورده کرد. به همین دلیل است که در اواسط دهه 1990 HBM اولین تولید کننده مبدل‌های گشتاور بود که اصل برشی را برای اندازه‌گیری گشتاور معرفی کرد. شکل 1 یک نمای کلی از بدنه‌های اندازه‌گیری را نشان می‌دهد که بیشتر در حال حاضر استفاده می‌شوند.



شکل 1: انواع مختلف بدنه های اندازه گیری معمول مورد استفاده در مبدل های گشتاور

انتخاب دقیق هندسه برای محل نصب استرین گیج ها و بقیه المان ها، مشخصه های مورد انتظار از فلنج گشتاور را در حاشیه های وسیع ممکن می سازد. شکل 2 یک نمونه از این بدنه های اندازه گیری را نشان می دهد.



شکل 2: بدنه اندازه گیری مبدل فلنچ دار

1-2 روش های انتقال گشتاور به مبدل:

بسته به مبدل گشتاور مربوطه، یکی از سه حالت های زیر برای انتقال نیروی گشتاور به مبدل، استفاده می شود

- روش اتصال پلاگین Square-drive

- روش اتصال گیره ای

- روش فلنچ پیچ و مهره ای

معمولا شرکت های سازنده، کوپلینگ هایی را برای مبدل های گشتاور مختلف ارائه می دهند که در رابطه با موارد فوق تست شده و حتی در صورت لزوم روی مبدل ها نصب می شوند. برای تسهیل اتصال و انتقال گشتاور توسط مشتری، این کوپلینگ ها در اشکال مختلف طراحی می شوند و برای به حداقل رساندن نیروهای جانبی و همچنین گشتاورهای خمشی بر روی مبدل، مورد استفاده قرار می گیرند.

در نتیجه ی نصب مبدل های گشتاور با کوپلینگ، کیفیت تعادل و بالانس ممکن است تغییر کند. در سرعت های عملیاتی بالا ممکن است مشکلاتی ایجاد شود. در صورت امکان، سیستم باید در حالت آماده به کار بالانس شود. اطلاعات بیشتر در مورد نحوه انتقال گشتاور توسط اتصالات مطرح شده در بالا را می توانید در بخش های بعدی بیابید. این موارد به صورت مفصل در فصل های بعدی توضیح داده خواهد شد.

3-1 شفت های گشتاور با یاتاقان:

در مورد شفت های گشتاور با یاتاقان، استاتور به صورت شعاعی و محوری توسط یاتاقان ها نسبت به بدنه اندازه گیری دوار ثابت می شود. این مدل زمانی استفاده می شود که:

- سرعت کار در محدوده هایی قرار دارد که هنوز به راحتی توسط بلبرینگ های غلتکی قابل کنترل هستند

- طراحی شفت های گشتاور ، وجود یاتاقان ها را کاملاً ضروری می کند. یعنی بدون یاتاقاق امکان ساخت این مبدل ها وجود ندارد.

حالت دوم اساساً در مورد شفت های گشتاور با حلقه های لغزش صدق می کند.

با نصب و اتصالات صحیح، گشتاوری که قرار است اندازه گیری شود، در سمت مبدل، تاثیر اصطکاک غلتک بلبرینگ بر نتیجه اندازه گیری بسیار کم است.

4-1 مبدل های گشتاور بدون تماس و بدون یاتاقان:

در مبدل های گشتاور برای سرعت های کاری بالا، استاتور به طور مکانیکی به بدنه اندازه گیری در حال چرخش متصل نیست. بدنه اندازه گیری مابین شفت ها نصب می شود و استاتور روی دستگاه نصب می شود. از آنجایی که این آرایش شامل هیچ بخش سایشی نیست، بنابراین این مبدل ها به جز قسمت های نوری آنها که سرعت شفت را اندازه گیری می کنند، به تعمیر چندانی نیاز ندارند و طول عمر آنها بسیار طولانی می باشد.

2- نحوه انتقال سیگنال اندازه گیری شده:

در مبدل های گشتاور، سیگنال اندازه گیری در درجه اول روی روتور تولید می شود. مدارات استرین گیج و بقیه المان های مربوطه، قطعات غیرفعال یا همان پسیو هستند و بنابراین این قطعات برای عملکرد صحیحشان نیاز به ولتاژ تغذیه دارند. سیگنال خروجی مربوط به کمیت اندازه گیری شده معمولاً در حد چند میلی ولت است. دو راه ممکن برای انتقال سیگنال های اندازه گیری و ولتاژ تغذیه بین روتور و استاتور وجود دارد. این دو روش عبارتند از:

- انتقال از طریق حلقه های لغزنده

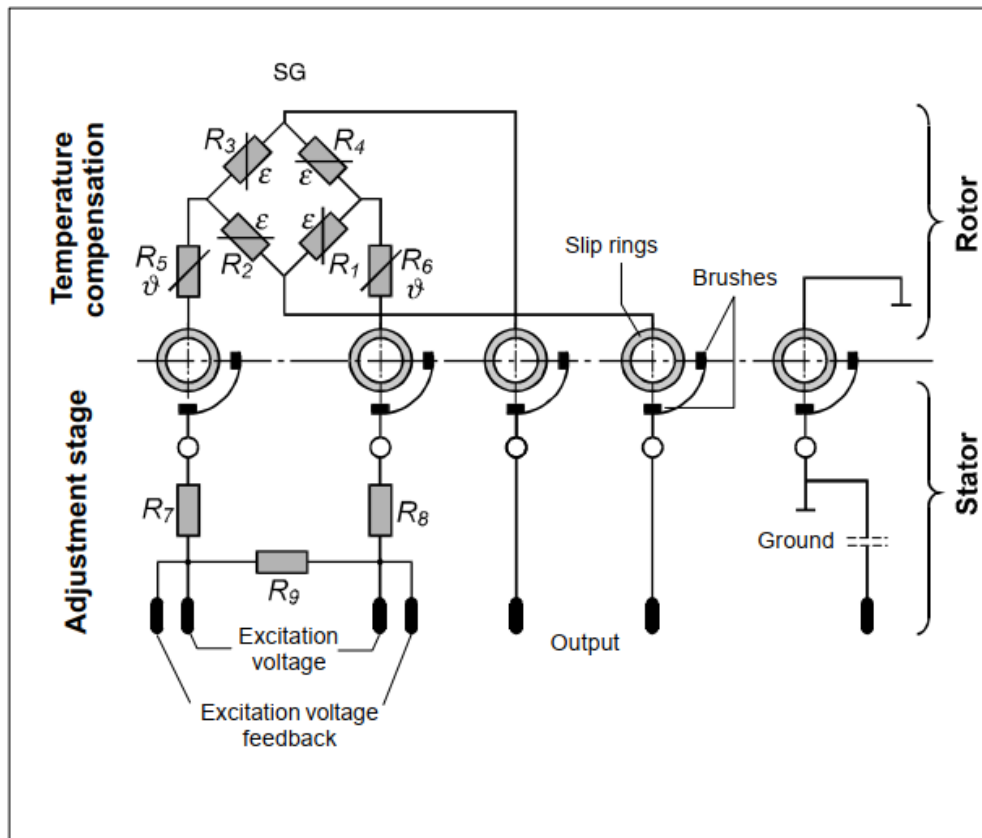
• انتقال بدون تماس

مبدل های گشتاور شرکت هوشمند صنعت تاو الکترونیک از هر دو نوع این روش ها استفاده می کنند. شفت های گشتاور با حلقه های لغزش عمدتاً برای اندازه گیری های کوتاه مدت با سرعت های چرخشی کمتر از 4000 دور در دقیقه مناسب هستند. عیب این مبدل ها ساییدگی اجتناب ناپذیری است که در حلقه های لغزنده رخ می دهد و در نتیجه نیاز به نگهداری و تعمیر دارند.

در مقابل، سیستم های انتقال بدون تماس در مبدل های گشتاور، برای عملکرد طولانی مدت در سرعت های چرخش بالا طراحی و گنجانده شده است. این نوع مبدل ها دارای قطعات الکترونیکی ویژه ای برای انتقال ولتاژ تغذیه و سیگنال اندازه گیری می باشند.

1-2 انتقال سیگنال های اندازه گیری شده از طریق حلقه های لغزشی:

منبع تغذیه و سیگنال اندازه گیری ولتاژ در شفت های اندازه گیری گشتاور از روی حلقه های لغزنده نقره ای سخت و برس های کربن گرافیت نقره ای منتقل می شوند. این ترکیب باعث انتقال بهینه سیگنال، بدون تداخل (نویز کم، ولتاژهای حرارتی کم)، عمر طولانی ($10^8 * 3$ تا $10^8 * 6$ دور) را ارائه می دهد.



شکل 3: نحوه انتقال سیگنال های تغذیه و اندازه گیری شده از طریق حلقه های لغزنده

دو مجموعه برس به منظور تضمین تماس قابل اعتماد در تمام شرایط عملیاتی استفاده می شود. این دو مجموعه به گونه ای چیده شده اند که دو برس با فشار فنر در مقابل هر حلقه لغزشی نگه داشته می شوند، اما در یک زاویه معین می توانند جابجا می شوند. شکل 3 پیکربندی یک پل اندازه گیری استرین گیجی را به همراه اجزای جبران کننده و انتقال سیگنال اندازه گیری از طریق حلقه های لغزش نشان می دهد.

اگرچه چهار حلقه لغزش در واقع برای انتقال سیگنال کافی است، اما شفت های گشتاور معمولاً با یک حلقه لغزش اضافی برای برابر کردن پتانسیل بین روتور و استاتور بهره می برند. یکسان سازی کامل معمولاً از طریق یاتاقان ها تضمین نمی شود. بدون این یکسان سازی پتانسیل تداخل سیگنال قابل توجهی می تواند ناشی از تفاوت در پتانسیل های رتور و استاتور ایجاد شود.

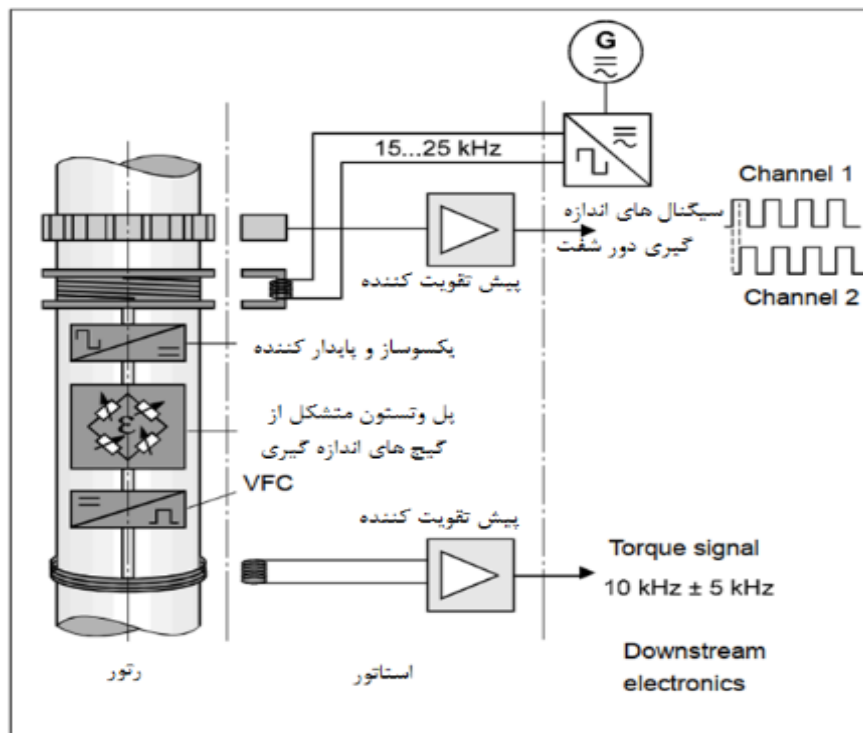
2-2 انتقال انرژی و دریافت سیگنال اندازه گیری بدون تماس:

ساختار داخلی این مبدل ها در دو نوع زیر می باشد:

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

1- استفاده از سیگنال AC برای تغذیه مدارات داخلی، و مسیرهای جداگانه برای ارسال سیگنال تغذیه و دریافت سیگنال اندازه گیری شده

2- استفاده از سیگنال DC برای تغذیه مدارات داخلی و مسیرهای مشترک برای ارسال توان الکتریکی و دریافت سیگنال های اندازه گیری شده

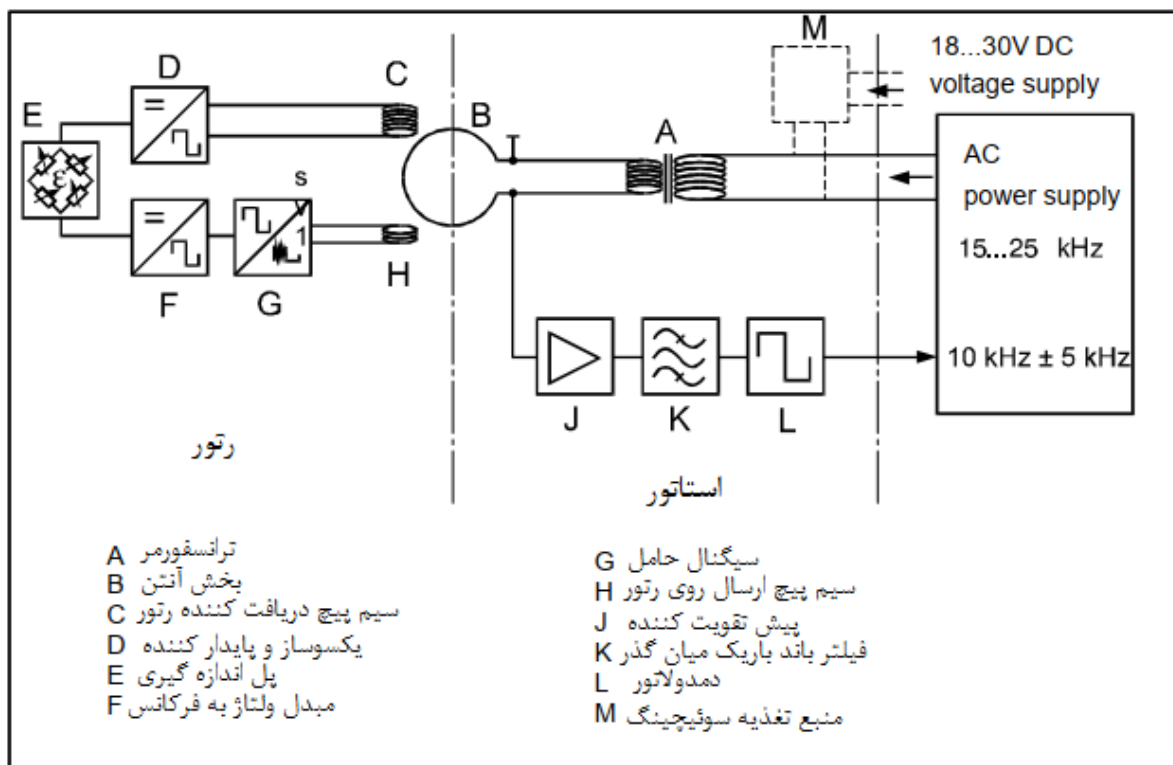


شکل 4: اصول عملکرد مبدل بدون تماس

وقتی یک مبدل گشتاور از طریق ولتاژ AC تغذیه می شود، بستگی به تقویت کننده مورد استفاده در آن، یک سیگنال با فرکانس 15 الی 25 کیلوهرتز از استاتور به رتور مبدل انتقال داده می شود (شکل 4).

یکسوسازها و مدارات پایدار کننده در روی رتور، این سیگنال را دریافت کرده و آن را به یک ولتاژ DC پایدار جهت تغذیه استرین گنج ها، تبدیل می کنند. ولتاژ خروجی مدار پل که متناسب با مقدار گشتاور اندازه گیری شده می باشد، به ورودی مدار مبدل ولتاژ به فرکانس داده می شود. این بلوک قطاری از پالس ها را با فرکانس مشخص تولید می کند. فرکانس این پالس ها با ولتاژ خروجی پل متناسب هستند. این قطار پالس بعد از تقویت در مدار پیش تقویت کننده، به استاتور مبدل ارسال می شوند.

شکل 5 نوع دیگری از این مبدل ها را نشان می دهد که نسبت به حالت قبل ساختار فشرده تری دارند.



شکل 5: اصول عملکرد مبدل بدون تماس

در این نوع مبدل ها، سیگنال AC توسط ترانسفورمر A به بخش آنتن مدار یعنی B منتقل می شود. وظیفه ترانسفورمر عمل تطبیق ولتاژ و امپدانس بین دو طبقه می باشد. سپس این سیگنال از طریق آنتن به بخش C که یک سیم پیچ روی رترور می باشد، القا می شود. سیگنال دریافتی توسط بلوک C به بلوک D که وظیفه یکسوسازی و پایدارسازی سیگنال را برعهده دارد، داده می شود. بلوک D ولتاژ DC لازم جهت تغذیه پل و تستون را در اختیار بلوک E قرار می دهد. بلوک F سیگنال اندازه گیری شده خروجی، توسط بلوک E را به فرکانس متناظر آن تبدیل می کند. سپس این سیگنال در بلوک G مدوله شده و توسط بلوک H که یک سیم پیچ روی رترور است، دوباره به بخش آنتن B روی استاتور ارسال می شود. سیگنال دریافتی در سمت استاتور از پیش تقویت کننده L عبور کرده و وارد یک فیلتر میانگذر باند باریک می شود. وظیفه این فیلتر جداسازی سیگنال های اندازه گیری شده از بقیه سیگنال ها مانند سیگنال های ورودی و نویز می باشد. و در نهایت خروجی فیلتر توسط بلوک دمدولاتور L آشکارسازی شده و سیگنال خروجی به صورت یک شکل موج مربعی در اختیار سیستم اندازه گیری قرار می گیرد. اگر به جای سیگنال AC از سیگنال DC استفاده شود، منبع تغذیه سوئیچینگ M ابتدا آن را به ولتاژ مربعی تبدیل کرده و در اختیار بلوک های دیگر قرار می دهد.

3 - تجهیزات اندازه گیری سرعت و زاویه چرخش در مبدل های گشتاور:

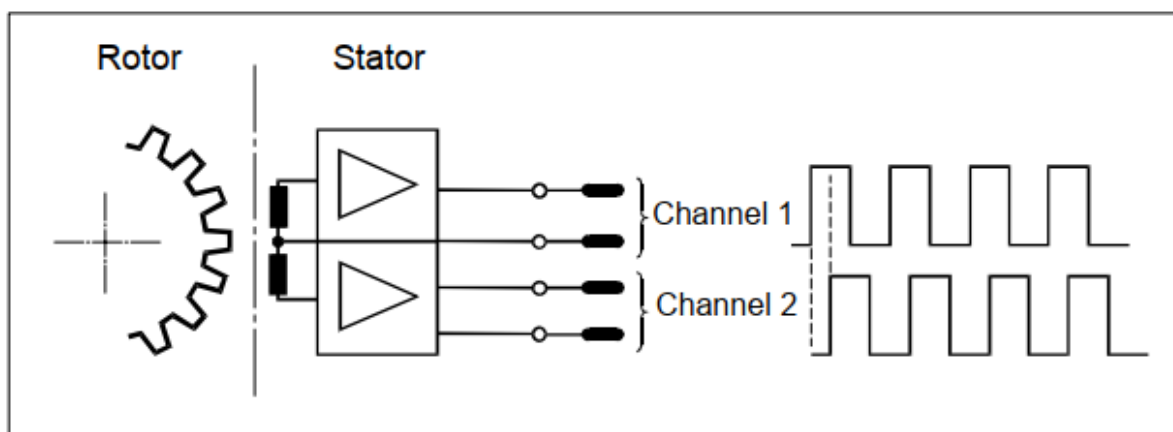
بسته به مبدل گشتاور مربوطه، سرعت و زاویه چرخش توسط یک سیستم مغناطیسی یا نوری اندازه گیری می شود. هنگامی که روتور می چرخد، پالس های ولتاژ با توجه به تعداد دندانه ها یا شکاف ها در هر دور تولید می شود و فرکانس این پالس ها متناسب با سرعت چرخش است.

آشکارسازهای پیک سیگنال یا دیودهای آشکارساز طوری قرار می گیرند که سیگنال خروجی آنها 90 درجه از هم اختلاف فاز داشته باشند.

این تغییر فاز اطلاعاتی را در مورد جهتی که مبدل در آن می چرخد، ارائه می دهد. یک پیش تقویت کننده، قطارهای پالس را به ولتاژهای موج مربعی خالص تبدیل می کند. توجه به این نکته حائز اهمیت است که آیا این سیستم ها می توانند سرعت و زاویه چرخش را بدون محدودیت بدست آورند یا خیر. معیار مهم در این شرایط حداقل سرعت چرخش برای دستیابی به پایداری پالس در خروجی است. اگر حداقل سرعت چرخش صفر باشد، می توان از سیستم بدون محدودیت برای اندازه گیری زاویه و سرعت چرخش استفاده کرد. اگر حداقل سرعت چرخش بیشتر از صفر باشد، سیستم برای اندازه گیری سرعت چرخش مناسب است، اما مناسب بودن آن برای اندازه گیری زاویه چرخش باید مورد بررسی قرار گیرد.

1-3 روش مغناطیسی برای اندازه گیری سرعت:

اندازه گیری سرعت چرخش مغناطیسی، به سیستم های دارای حسگر اثر هال و سیستم های القایی مربوط می شود. در سیستم های القایی، روتور دارای یک حلقه دندانه دار است که در مقابل آن سرهای پیکاپ القایی در استاتور وجود دارد (شکل 6 را ببینید). سرهای پیکاپ القایی به تغییرات تأثیرات فلزی واکنش نشان می دهند. سیستم های دارای حسگر هال به تغییرات میدان مغناطیسی واکنش نشان می دهند. بنابراین بخش دوار، بسته به وضوح مورد نیاز، یک یا چند آهنربا را حمل می کند. از آنجایی که هر دو

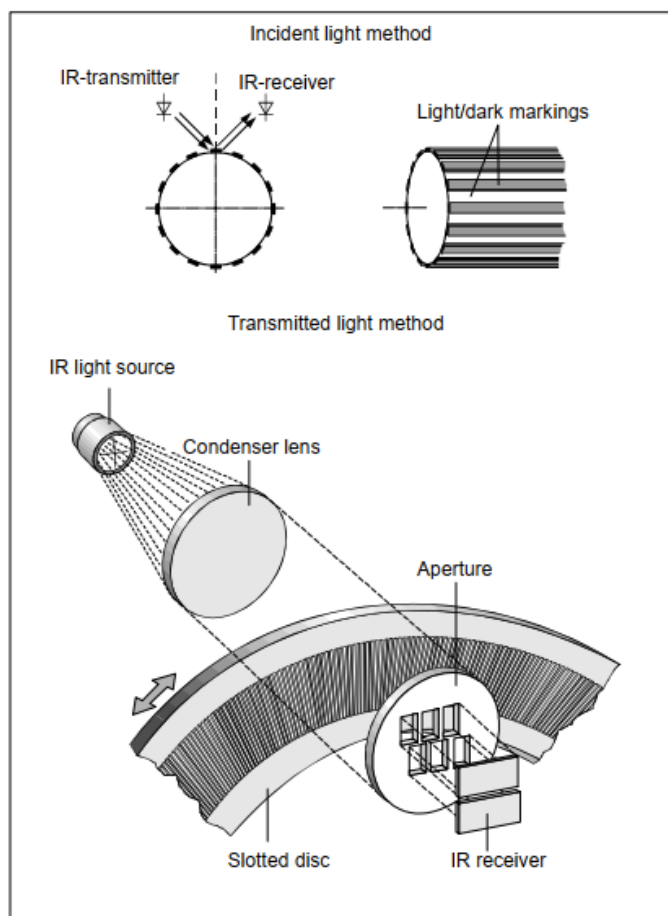


شکل 6: دیاگرام بلوکی اندازه گیری سرعت شفت توسط میدان مغناطیسی در مبدل های گشتاور

سیستم برای دستیابی به پایداری پالس کافی به حداقل سرعت چرخش نیاز دارند، مناسب بودن آنها برای اندازه گیری زاویه چرخش محدود است.

2-3 اندازه گیری سرعت چرخش و زاویه چرخش توسط تجهیزات نوری:

شکل 7 ساختار سیستم های نوری جهت اندازه گیری زاویه و سرعت چرخش را نشان می دهد.



شکل 7: سیگنال های نوری ارسالی و دریافتی برای اندازه گیری سرعت و زاویه چرخش

Houshmand Sanat Tav Electronic CO.,LTD.

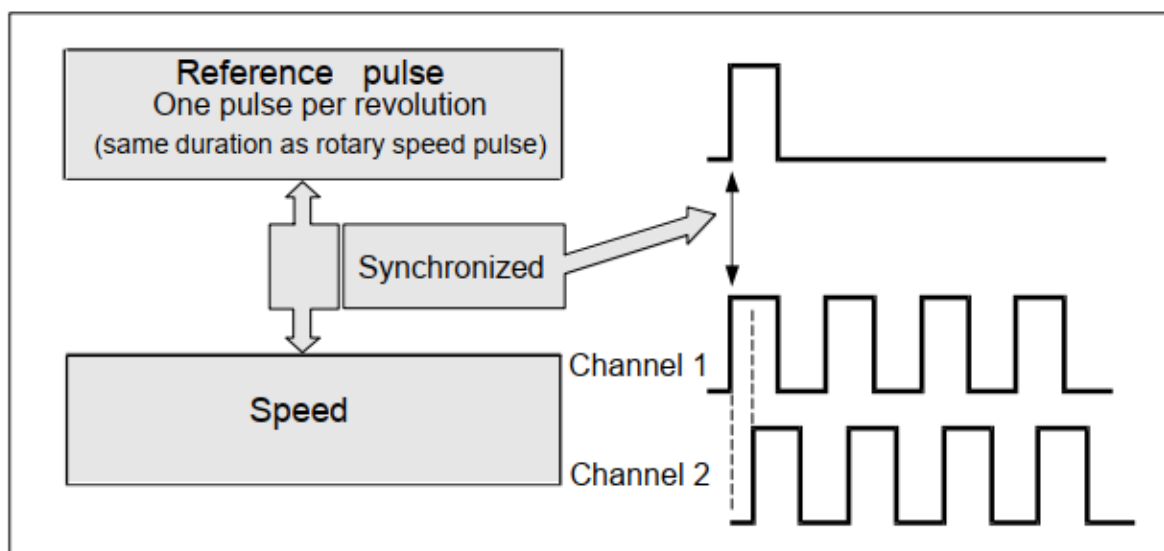
روش نور عبوری به طور معمول درجه بالایی از قابلیت اطمینان را نشان می دهد و بنابراین ما فقط از این نوع روش اندازه گیری برای مبدل های گشتاور خودمان استفاده می کنیم. با توجه به شرایط مرزی مورد نیاز، فقط از دیسک های فلزی شکاف دار استفاده می شود. تعداد شکاف های مکانیکی در هر دور، بسته به اندازه و نوع نصب متفاوت می باشد.

در شرایط خاص، فلنچ های گشتاوری که بدون یاتاقان ساخته می شوند می توانند سیگنال های سرعت چرخش دوره ای را حتی زمانی که در حالت سکون هستند از خود نشان دهند. این اثر به دلیل ارتعاش شعاعی روتور است که باعث می شود موقعیت دیسک شکافدار نسبت به سنسور نوری تغییر کند.

در مورد شفت های گشتاور با یاتاقان ها، حداقل سرعت چرخش برای پایداری پالس کافی صفر است، به این معنی که می توان از آنها بدون محدودیت برای اندازه گیری زاویه و سرعت چرخش استفاده کرد.

3-3 پالس مرجع:

فلنچ های گشتاور نسل جدید نه تنها دارای یک سیستم اندازه گیری سرعت چرخش هستند بلکه یک پالس مرجع نیز دارند. این توسط یک آهنربا در دیسک شکافدار و یک حسگر مغناطیسی مقاومتی ایجاد می شود که در هر دور کامل روتور یک پالس ایجاد می کند. این پالس مرجع با سیگنال خروجی سرعت چرخشی در کانال 1 هماهنگ می شود. شکل 8 موقعیت الکتریکی پالس مرجع را نشان می دهد.



شکل 8: موقعیت پالس مرجع

4 – انواع سیگنال های خروجی در مبدل های گشتاور:

4-1 سیگنال های گشتاور mV/V :

مبدل هایی که سیگنال خروجی اندازه گیری شده آنها توسط حلقه های لغزنده منتقل می شوند، کاملاً پسروی می باشند. خروجی این مبدل ها بر حسب نسبت سیگنال خروجی به ورودی mV/V تعریف می شود. این مبدل ها برای ایجاد سیگنال های اندازه گیری شده خروجی، نیاز به ولتاژ تغذیه ورودی دارند. ولتاژ خروجی آنها خیلی کوچک و در حد چند میلی ولت می باشد. به عنوان مثال در یک مبدل با حساسیت $2mV/V$ و با ولتاژ ورودی 5 ولت، حداکثر ولتاژ خروجی در حد 10 میلی ولت می باشد.

این ولتاژ در یک تقویت کننده پایین دستی تقویت می شود، سپس ارزیابی شده و به سیگنال خروجی مناسب تبدیل می شود. برای این منظور از تقویت کننده های DC و یا AC به همراه فرکانس حامل استفاده می شود. نمی توان اظهار نظر واضحی در مورد نوع تقویت کننده مورد استفاده، کرد زیرا هر دو روش دارای مزایا و معایب مربوط به خود هستند.

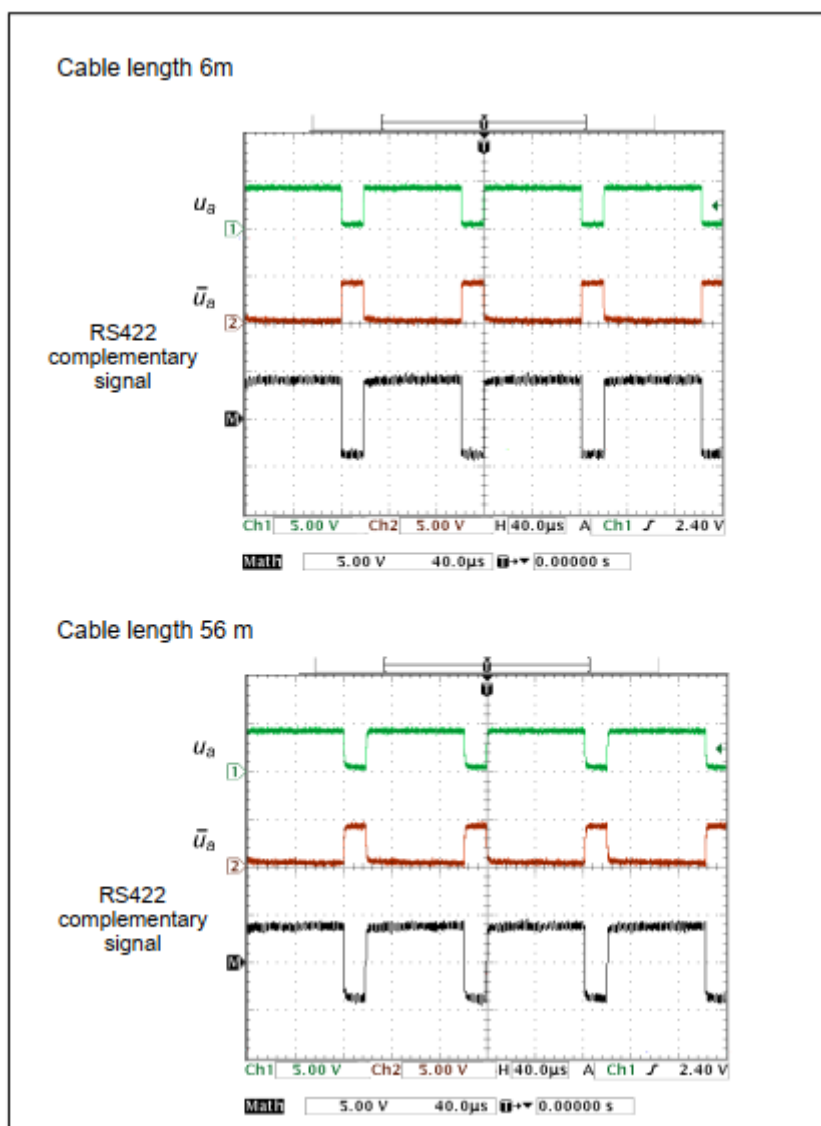
تقویت کننده های AC دارای فرکانس حامل بیشتر برای استفاده ترجیح داده می شوند. زیرا در این نوع تقویت کننده ها، هر گونه تداخل قوس برس روی حلقه های لغزنده تأثیری در سیگنال خروجی ندارد زیرا این سیگنال ها خارج از محدوده فرکانس حامل هستند، و ولتاژهای القایی حرارتی تأثیری بر سیگنال اندازه گیری ندارند.

2-4 سیگنال های گشتاور فرکانسی:

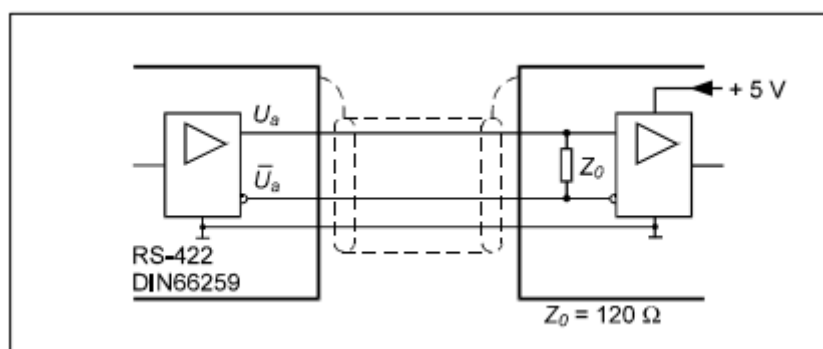
در مبدل های گشتاور بدون تماس، فرکانس سیگنال خروجی گشتاور استاندارد معمولاً $10KH \pm 5KH$ می باشد.

سیگنال های فرکانس خروجی، بسته به ساختار الکترونیکی استاتور، یا به صورت متقارن (سیگنال های مکمل RS422) و یا نامتقارن (12 ولت) هستند. سیگنال های مکمل RS422 به یک ورودی دیفرانسیل در سمت پردازش نیاز دارند. شکل 9 سیگنال خروجی متقارن از یک مبدل را نشان می دهد و شکل 10 یک نوع سیم کشی پیشنهادی برای بخش الکترونیک مدار را نشان می دهد.

گیرنده های دیفرانسیلی توصیه شده LTC485، MAX485، MAX487 یا IL485 هستند. در حالی که مقاومت پایان خط Z_0 کاملاً ضروری نیست، اما زمانی که طول کابل قابل توجه باشد، استفاده از آن توصیه می شود، تا از بازتاب انتهای خط به دلیل عدم تطابق جلوگیری شود.

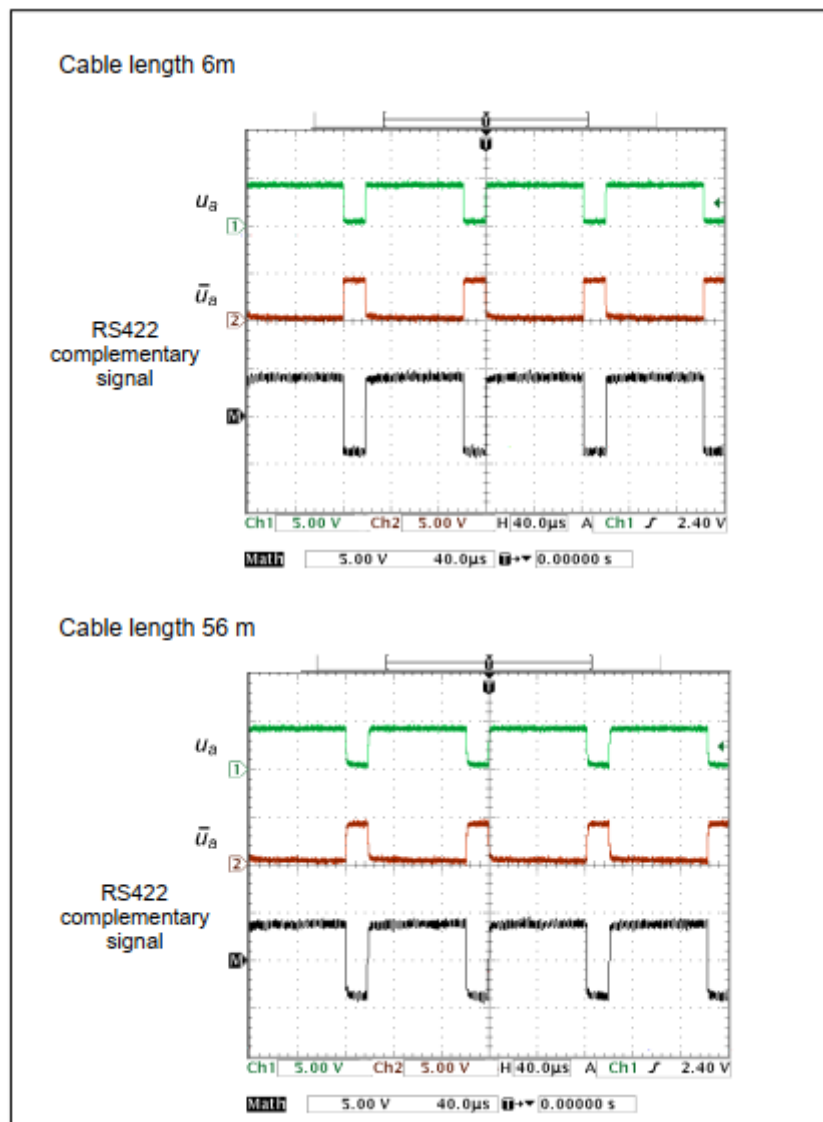


شکل 9: یک نوع سیگنال خروجی متقارن از مبدل گشتاور



شکل 10: یک نوع روش سیم کشی پیشنهادی

سیگنال های نامتقارن نسبت به زمین اندازه گیری می شوند. یک شکل موج مربوطه در شکل 11 نشان داده شده است. تاثیر طول کابل بر شکل سیگنال به وضوح قابل مشاهده است.



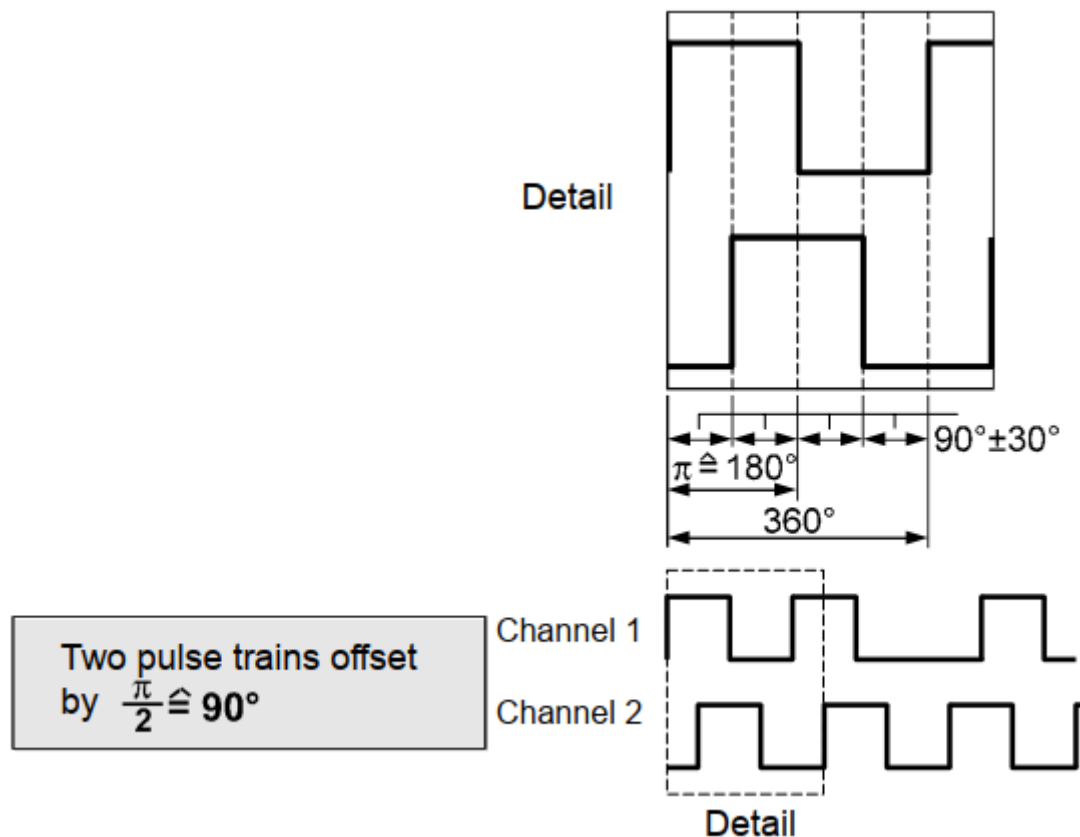
شکل 11: یک نوع شکل موج سیگنال نامتقارن

3-4 خروجی گشتاور $\pm 10V$ آنالوگ:

برخی از مبدل های گشتاور با منبع ولتاژ DC نه تنها دارای خروجی فرکانس هستند، بلکه به صورت اختیاری استاتورهای آنها می توانند خروجی آنالوگ $\pm 10V$ ولت برای گشتاور داشته باشند. نوع دیگری از مبدل ها فقط خروجی آنالوگ $\pm 10V$ ولتی برای سیگنال گشتاور دارند. خروجی آنالوگ $\pm 10V$ ولت امکان توسعه برنامه های کاربردی مستقل بسیار مقرون به صرفه ای را فراهم می کند، زیرا نیازی به تقویت کننده اندازه گیری اضافی نیست.

4-4 سیگنال خروجی فرکانسی برای سرعت و زاویه چرخش:

سیگنال های فرکانس خروجی یا سیگنال های مکمل RS422، سطح TTL یا سایر سیگنال های نامتقارن 5 تا 25 ولت هستند. معمولاً دو کانال موجود است که با هم اختلاف فاز 90 درجه ای دارند. این کانال ها در حین اندازه گیری سرعت چرخش، به منظور تشخیص جهت چرخش استفاده می شوند. بسته به اینکه کدام کانال از نظر فازی نسبت به کانال دیگر دارای تاخیر 90 درجه ای است، می توان جهت چرخش مثبت و منفی را تشخیص داد.



شکل 12: یک نمونه از خروجی فرکانسی اندازه گیری سرعت و زاویه چرخش