طراحی و ساخت دینامومتر جریان ادی برای آزمون توان و گشتاور در موتورها

اردلان غلامعلی زاده[۱]، عارف مردانی کرانی[۲]،آرش محبی[۳]

۱- **دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه ارومیه**

۲- **استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه**

۳- **استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه**

ایمیل نویسنده مسئول: Ardalan.gh66@yahoo.com

چکیده

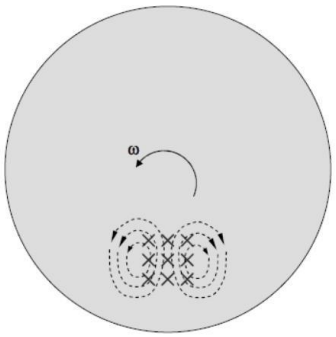
اندازه گیری خروجی‌های موتور مثل گشتاور و سرعت دورانی همیشه یکی از دغدغه های اصلی محققین و مطالعه کنندگان این عرصه بوده است.با ساخت دینامومتر امکان اندازه گیری گشتاور خروجی همچنین توان خروجی موتور فراهم شده است. ساختمان کلی دستگاه بدین صورت است که فلایویل موتور از طریق اتصالات مکانیکی به قسمت روتور دینامومتر متصل می شود. دینامومتر به طور کلی از دو قسمت استاتور و روتور تشکیل شده است. قسمت استاتور شامل پوسته ی دینامومتر می باشد که از طریق لودسل مقید شده است . قسمت روتور به فلایویل موتور کوپل شده و می تواند آزادانه داخل استاتور بچرخد.در این تحقیق به طراحی، ساخت و ارزیابی یک دینامومتر جریان ادی پرداخته شده است. دینامومتر مورد ساخت مراحل ارزیابی اولیه خود را به خوبی طی نموده است و قابلیت رصد تغییرات گشتاور- دور را در آزمونهای مربوط نشان داده است.

کلیدواژه: دینامومتر ، موتور ، گشتاور ، دینامومتر جریان ادی

مقدمه

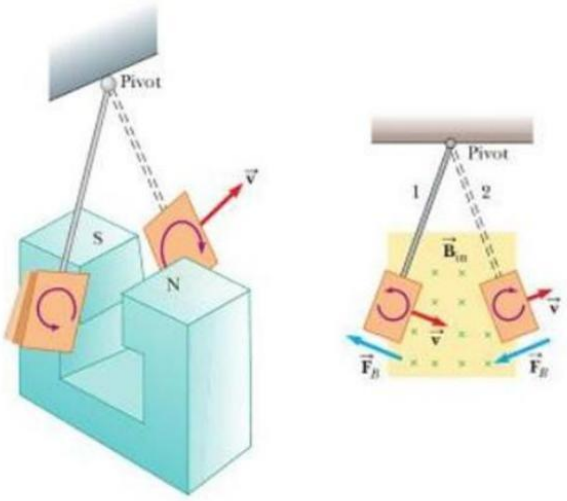
اولین شخصی که جریانات گردابی را مشاهده کردفرانسوا آراگو(۱۸۵۳-۱۷۸٦) بیست و پنجمین رئیس جمهور فرانسه بود او همچنین ریاضیدان، فیزیکدان و منجم بود. در سال ۱۸۲٤ او چیزی را که کشش چرخشی نام دارد، مشاهده کرد و واقعیتی را دریافت که اکثر اجسام می‌توانند مغناطیسی شوند. این کشف را مایکل فارادی(۱۸٦۸-۱۷۹۱) تکمیل کرد و به طور مفصل توضیح داد.

لئون فوکوفیزیکدان فرانسوی (۱۸٦۸-۱۸۱۹) با کشف جریانات گردابی شهرت یافت. در سپتامبر سال ۱۸۵۵ او کشف کرد که نیروی لازم برای چرخش یک دیسک مسی هنگامی بزرگتر می‌شود که مجبور شود با لبه‌هایش بین قطب‌های آهنربا بچرخد، در همین هنگام دیسک توسط جریان گردابی القاء شده در فلز داغ می‌شود.



شکل ۱ جریان گردابی در دیسک دوار

در یک میدان مغناطیسی با تغییر سریع (تغییر سرعت یا تغییر میدان)، جریانات القایی در رساناهای خوب به ویژه مس و آلومینیوم اثرات رانشی را در میدان مغناطیسی ایجاد می شود. که نیروی وارد در جهت نگه داشتن چرخنده می باشد.



شکل ۲ نیروی وارد بر جسم متحرک در میدان مغناطیسی ثابت

همانگونه که می دانیم، توان خروجی موتور از حاصلضرب سرعت دورانی در گشتاورآن بدست می آید.

$$P = \tau . \omega$$

توان موتور: P

گشتاور موتور: τ

سرعت دورانی: ω

برای اندازه گیری توان خروجی موتور، لازم است توان موتور به روتور دینامومترسپس از روتور به استاتور منتقل شود تا استاتور مقید شده با لودسل بتواند این گشتاور را اندازه گیری کند. نحوه محاسبه گشتاور بدین صورت می باشد که لودسل

روی یک بازو یک متری از مرکز روتر نصب شده است. مقدار نیروی لودسل ضربدر بازوی یک متری، گشتاور را نتیجه می‌دهد .

$$\tau' = F.r$$

τ' : گشتاور ترمز شده

F : نیروی ترمزی (نشان داده شده در لودسل)

r : فاصله لودسل تا مرکز روتور (که یک متر می باشد)

نیروی ترمز وابسته به شعاع دیسک، ضخامت دیسک، مقاومت مغناطیسی دیسک، سرعت مماسی روتور، فاصله از قطب آهربا و القای شکاف هوادر سرعت صفر می باشد:

$$F = \frac{1}{4}\frac{\pi}{\rho} D^2 d B_0^2 c v$$

با در دست داشتن نیروی لازم برای ترمز روتور می‌توانیم تعداد هسته های آهنربا را محاسبه کنیم. پس از نصب این قطعات و برقراری جریان در سیم پیچ آهنرباها تلاش برای یکپارچه کردن روتور و استاتور آغاز می شود. این تلاش منجر به داغ شدن استاتور و روتور می شود که به منظور خنک کاری از دو مخزن آب در حال گردش که در دو طرف روتور قرار دارد استفاده می شود که گرما را از طریق تابش جذب کرده و خنک می کند.

با انتقال گشتاور به استاتور ، تمایل به چرخش استاتور توسط لودسل مهار می شود که موجب اندازه گیری نیروی وارد بر لودسل می شود.با ضرب کردن نیرو در بازوی استاتور ، مقدار گشتاور خروجی موتور اندازه‌گیری می شود. اطلاعات اندازه‌گیری شده به رک کنترل منتقل می شود و با تغییر شانه‌ی گاز که توسط رک کنترل تنظیم می شود ، مقدار گشتاور خروجی تغییر می کند و در هر لحظه قابل اندازه گیری می باشد .

در تست جریان گردابی رسانایی الکتریکی ماده به عنوان متغییر اصلی است. هر فلز یا آلیاژ، رسانایی خاص خود را دارد. این رسانایی در اثر عوامل متعددی تغییر می کند. این عوامل می تواند تغییر در آنالیز شیمیایی، تغییر شبکه کریستالی و ریزساختار، تغییر دما، وجود ناهمگنی مثل ترک و یا شکاف و تغییر ابعاد باشد. اساس کار در تست جریان گردابی عبور دادن جریان متناوب(یا رسانای متحرک در میدان ثابت مغناطیسی) از یک سیم پیچ و ایجادیک میدان مغناطیسی متغیر اولیه در اطراف آن و القای میدان مغناطیسی مخالف در قطعه مورد نظر و بررسی تاثیر متقابل آن ها با یکدیگر با استفاده از یک آشکار ساز است. به این منظور سیم پیچی را که جریان متناوبی از آن می گذرد کاملا به سطح قطعه نزدیک می شود، بدون این که سیم پیچ با قطعه تماس مستقیم و یا غیر مستقیم پیدا کند .

نمای ساده ای از میدان های مغناطیسی و جریان های گردابی در آزمون جریان گردابی. به این ترتیب میدان مغناطیسی متناوبی که در اطراف سیم پیچ تشکیل می شود سبب القای جریان ثانویه متناوبی موسوم به جریان گردابی در قطعه می شود.این جریان گردابی القا شده به صورت دایره ای شکل و موازی سطح قطعه و با همان فرکانس جریان متناوب اولیه به نوبه خود میدان مغناطیسی دیگری به نام میدان مغناطیسی ثانویه با جهت مخالف میدان اولیه سیم پیچ ایجاد می کند. تداخل میدان مغناطیسی ثانویه با میدان اولیه سبب ایجاد اختلال و تضعیف میدان اولیه و نتیجتا تغییر و انحراف آن می شود. اکنون

اگر قطعه در محدوده ی اندازه گیری کاملا همگن و دارای ضخامت یکنواخت باشد، مقاومت ظاهریا امپدانس الکتریکی سیم پیچ که در مجاورت سطح قطعه قرار گرفته، در تمام نقاط سطح (به استثنای لبه ها و نقاط مجاور لبه ها) یکسان است. مسیر جریان گردابی در قطعه نیز به خواص الکتریکی قطعه، حضور یا عدم حضور عیوب یا ناپیوستگی های سطحی و زیر سطحی در قطعه الکترومغناطیسی حاصل از میدان مغناطیسی اولیه و میدان ثانویه مخالف آندر قطعه بستگی دارد. بنابراین ایجاد هر گونه اختلال در مسیر جریان گردابی و نهایتا تغییر در میدان مغناطیسی القا شده ناشی از وجود عیب یا ناهمگنی سطحی یا زیر سطحی در قطعه است. معمولا در هر آزمون فرکانس به اندازه ای انتخاب می شود که به ازای آن به حساسیت بهینه ای در عمق نفوذ مورد نظر بتوان رسید. در بررسی مواد غیر مغناطیسی برای آشکار سازی عیوب سطحی می توان از فرکانس های نسبتا بالا (در حد چند مگا هرتز؛ برای مثال برای آلومینیم با کاوشگر ۲ مگا هرتزی و برای تیتانیم با کاوشگر ٦ مگا هرتز) و برای عیوب زیر سطحی از فرکانس های نسبتا پایین در حد چند کیلو هرتز استفاده کرد. اما فرکانس های پایین به کاهش حساسیت و احیانا آشکار نشدن عیوب ریز منجر خواهد شد.

برای بررسی قطعات استوانه ای شکل (توخالی یا توپر) سیم پیچ دایره ای شکل متناسب با اندازه آن به کار می رود. در این گونه موارد فقط عیوبی قابل شناسایی هستند که موقعیتی موازی با محور لوله یا میله داشته باشند. برای شناسایی عیب مانند ترک، شکاف یا هر نوع ناهمگنی باید جهت جریان گردابی تا حد امکان تقریبا در امتداد عمود بر عیب باشد. در این صورت است که در بازرسی می توان حداکثر واکنش میدان مغناطیسی را در ارتباط با عیب کسب و آن را ساده تر شناسایی کرد. چنانچه جهت عیب موازی با امتداد جریان گردابی باشد، اختلالی در مسیر جریان گردابی صورت نمی گیرد و یا به اندازه ای نیست که واکنش آن بر میدان اولیه سیم پیچ چندان قابل ملاحظه باشد که بتواند به شناسایی عیب منجر شود.

در تست جریان گردابی موقع آزمایش فاصله سیم پیچ تا سطح قطعه باید ثابت نگهداشته شود، زیرا که فاصله سیم پیچ تا سطح قطعه مورد بازرسی در مقاومت ظاهری سیم پیچ تاثیر دارد. اگر این فاصله بسیار زیاد باشد، میدان سیم پیچ به قطعه نمی رسد و نتیجتا هیچ جریان گردابی در سطح قطعه جریان نمییابد و میدانی هم ایجاد نمی شود که بتواند تغییری در مقاومت ظاهری سیم پیچ به وجود آورد.

شناسایی عیوب ریز به حساسیت دستگاه کاوشگر بستگی دارد. با دستگاهی که حساسیت بسیار بالایی ندارد، عیوب بسیار ریز را نمی توان تشخیص داد. اما از طرفی دیگر دستگاهی که دارای حساسیت بسیار بالایی است، کوچکترین ناهمگنی موجود در قطعه را می تواند به عنوان عیب تلقی کند. همانند دیگر روش های غیر مخرب لازم است قبل از بازرسی، دستگاه تست جریان گردابی با استفاده از نمونه های استاندارد شده کنترل و تنظیم شود. نمونه های استاندارد شامل ناهمگنی ها و عیوب ایجاد شده با اندازه های معین (عیوب مصنوعی) هستند و برای مثال برای بازرسی لوله ها در جداره نمونه های لوله ای شکل از جنس مورد نظر سوراخ هایی با قطر یکسان (حدود ۱ تا ۱,۵ میلی متر) در امتداد محور لوله به عنوان عیب مصنوعی ایجاد می کنند. در مواردی نمونه های آزمایشی پس از توافق به عمل آمده بین شرکت سازنده و متقاضی ساخته و همراه دستگاه به متقاضی تحویل داده می شود. این روش معمولا برای بازرسی عیوب سطحی تولیدات نیمه تمام مانند لوله ها، انواع پروفیل ها، میله ها، شمش های داغ ریخته گری مداوم، مفتول های داغ در حین فرآیند شکل دهی گرم با دمای بالا (حدود ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد) و محصولات نهایی مانند غلتک ها، پین ها و ارزیابی

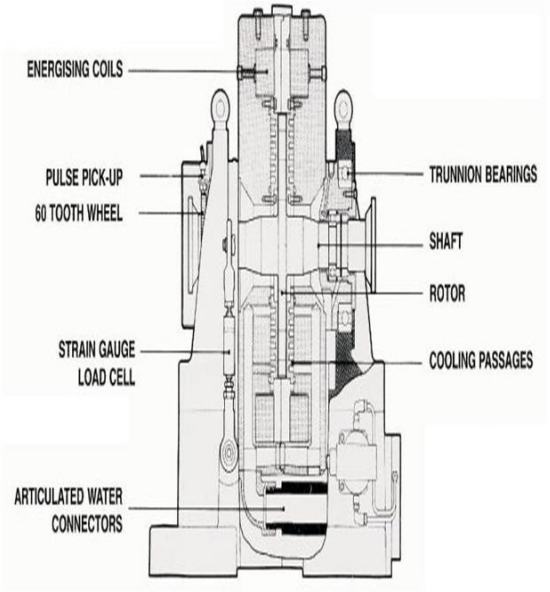
خوردگیسازه ها و سطوح مخفی بال هواپیماها و بدنه کشتی ها و مخازن به کار می رود. در هر مورد از تاثیریکی از عوامل موثر بر جریان گردابی استفاده می شود و تاثیر عوامل دیگر تا حد امکان حذف می شود. برای مثال شناسایی عیبیا ناهمگنی از اختلاف قابلیت رسانایی الکتریکی موضعی عیب با دیگر نقاط سالم مجاور آن استفاده می شود. عوامل موثر دیگری که بر روی تمامی قطعه به صورت یکنواخت تاثیر می گذارد، می تواند با استفاده از یک سیم پیچ ثانوی حذف شود. بازرسی جریان گردابی نه فقط برای شناسایی عیوب بلکه برای اندازه گیری ابعاد، ضخامت لایه پوشش، سختی و استحکام فولادها و تعیین فازهای حاصل از عملیات حرارتی به کار میرود. این آزمایش بیشتر برای بازرسی قطعات از جنس مواد رسانا و غیر مغناطیسی به کار می رود. البته برای مواد مغناطیسی نیز می توان این روش را به کار برد، اما به علت این که نفوذ پذیری مغناطیسی خود قطعه بر نتایج آزمایش تاثیر نامطلوب دارد، در اینگونه موارد موقعی می توان از این روش استفاده نمود که به کمک یک میدان مغناطیسی ثابت این تاثیر را تا حد امکان کاهش داد. به این منظور از یک سیم پیچ با جریان مستقیم یایک مغناطیس مداوم برای غلبه بر تاثیر نفوذ پذیری استفاده می شود و فرکانس انتخابی نیز در حد پایینی است (برای مثال برای شناسایی عیوب سطحی حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ هرتز و برای شناسایی عیوب زیر سطحی از فرکانس های پایین تر).

مواد و روش‌ها

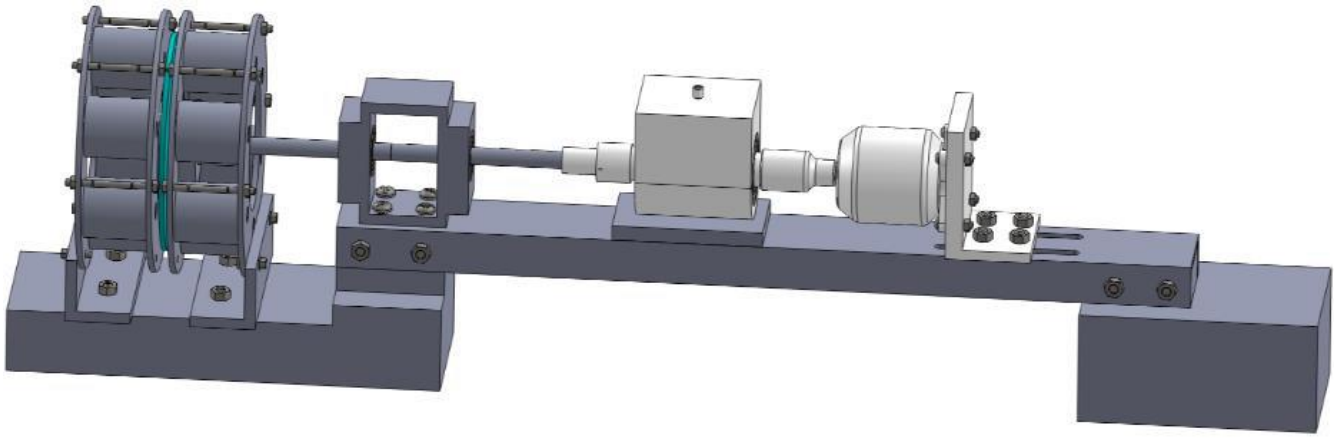
با توجه به گسترش روز افزون موتورهای احتراقی در زندگی روزمره و ارتباط آن با سلامت انسان از یکسو و کاهش منابع سوخت فسیلی از سوی دیگر، اهمیت بهینه سازی موتورهای احتراقی رابیش‌ازپیش آشکار ساخته است. به همین منظور سازوکارهای تست موتور نمود پررنگ تر و بارزتری یافته اند.

دینامومتر جریان ادی (گردابی) یکی از این سازوکارهای تست موتور می باشد که به دلیل ایجاد بازه پیوسته بار مکانیکی روی موتور و همچنین دقت بالای مطالعاتی، مورد توجه می باشد. نحوه ی عملکرد آن به این صورت می باشد که با کوپل شدن یک شافت به فلایویل، توان موتوربه دینامومتر منتقل می شود. دینامومتر از دو بخش اصلی روتور و استاتور تشکیل شده است. قسمت روتور روی شافت جوش شده و روی دو بلبرینگ آزادانه می چرخد. جنس روتور باید رسانا باشد تا در اثر حرکت در میدان مغناطیسی، طبق قانون لنز، عامل ایجاد میدانی در خلاف جهت میدان اعمالی باشد. از همین رو دو فلز مس و آلومینیوم مد نظر قرار گرفت. همچنین به دلیل نرم بودن آلومینیوم نسبت به مس، مقاومت مکانیکی لازم را دارا نبود. به همین دلیل جنس روتور از مس انتخاب شد. برای تقسیم بار مکانیکی نیز از دو روتور استفاده می شود. استاتور شامل صفحه ی فولادی می باشد که آهنرباهای الکتریکی به آن پیچ می شوند. آهنربای الکتریکی شامل هسته‌ی آهنی وسیم پیچ است که به جریان مستقیم (DC) وصل می باشد. دلیل استفاده از جریان مستقیم، ثابت ماندن قطبهای آهنرباست چرا که در صورت استفاده از جریان متناوب، بسته به فرکانس، در هر ثانیه چندین مرتبه جای قطبهای آهنربا عوض می شد. همچنین استاتور از طریق بازویی به یک لودسل متصل شده است که مانع از چرخش استاتور می‌شود. هنگامی که موتور متصل به دینامومتر روشن می شود، توان آن به روتور دینامومتر منتقل می‌شود. تا زمانی که جریان سیم پیچ های آهنربای الکتریکی برقرار نشده، هیچگونه بار مکانیکی روی موتور وارد نمی‌شود. با برقراری جریان مستقیم به آهنربا، میدان مغناطیسی ایجاد می شود و در روتور درحال گردش، به دلیل قطع خطوط میدان مغناطیسی، میدان ثانویه ایجاد می‌شود که با عامل ایجاد

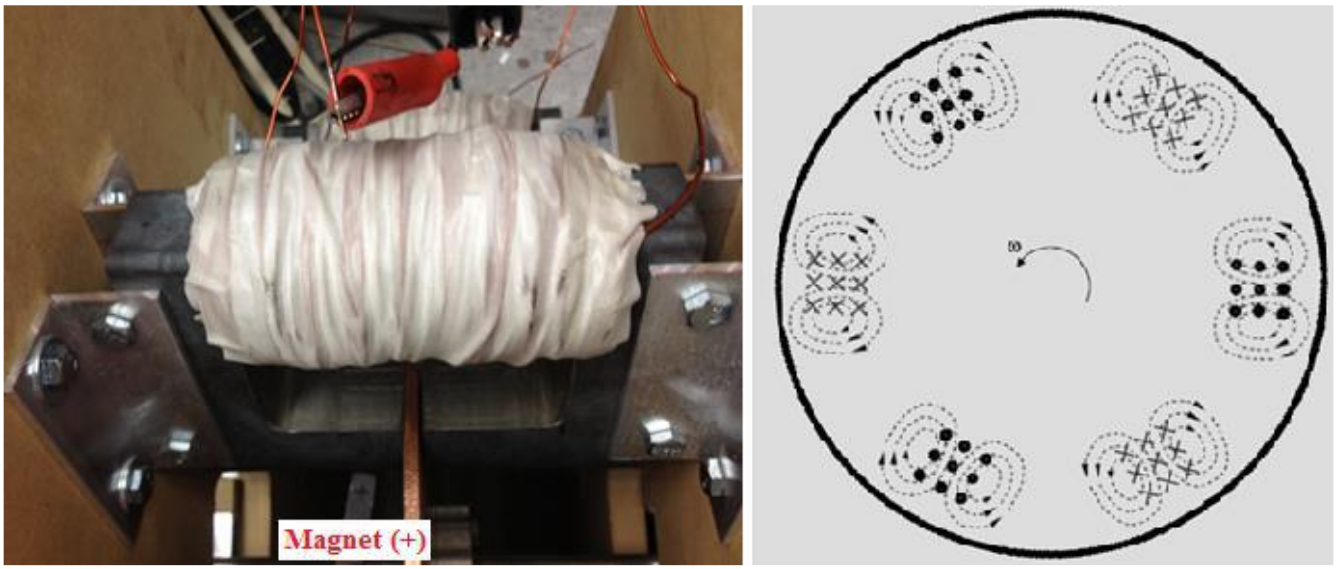
کننده‌ی خود مخالفت می‌نماید. این مساله باعث انتقال توان از روتور در حال چرخش به استاتور می‌شود و تمایل دارد تا هم دور باخود آن را بچرخاند. اما لودسل متصل به استاتور مانع چرخش استاتور می‌شود. حاصل آن ثبت میزان نیروی عمودی وارد بر لودسل می‌شود که با ضرب آن در طول بازو، میزان گشتاور موتور بدست می‌آید. همچنین یک تاکومتر (دورسنج) روی شافت انتقال نیرو بسته شده که میزان دور موتور در هر لحظه را نشان می‌دهد. بنابراین با در دست داشتن دور و گشتاور موتور می توان نمودار توان موتور را رسم کرد. با در دست داشتن این نمودار می‌توان شرایط کاری هر موتور ر بررسی نمود. شکل ۳ نمایی شماتیک از ساختمان یک دینامومتر جریان ادی را نشان داده است. شکل ۲ نمایی از ترکیب کلی مجموعه مورد مطالعه را نمایش داده است.



شکل ۳ نمای شماتیک دینامومتر جریان ادی



شکل٤ مجموعه موتور و دینامومتر جریان ادی

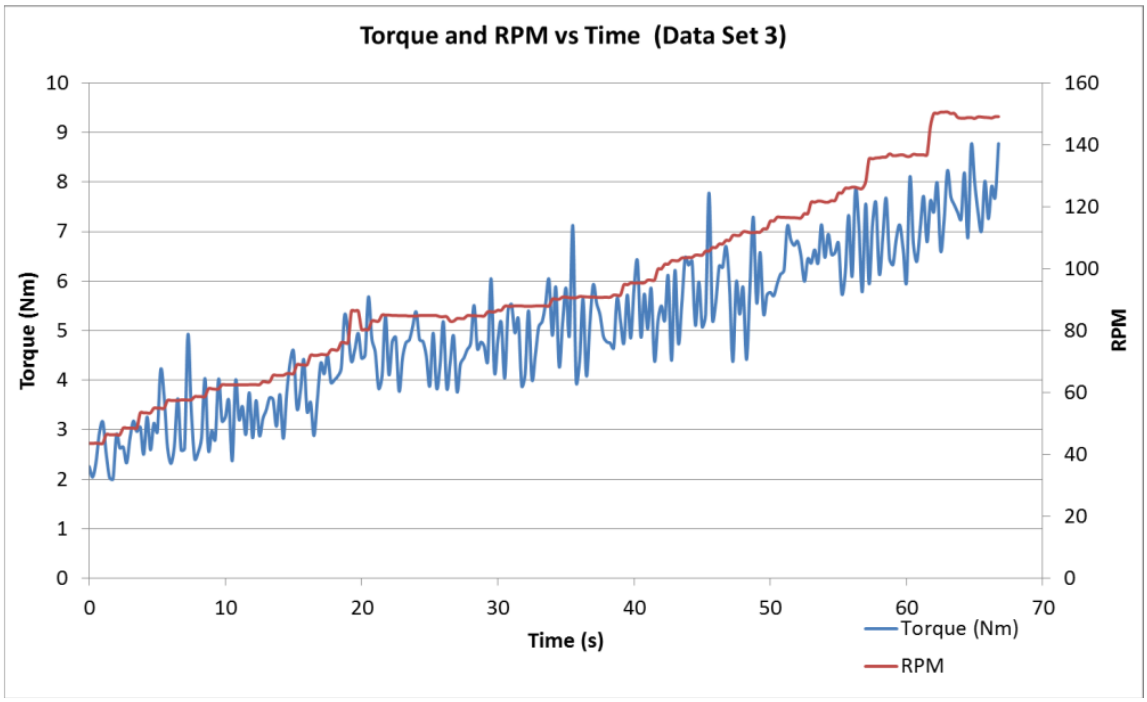


شکل ۵ روتور و نحوه تشکیل کانونهای تولید گشتاور

نتایج و بحث

نمونه ی دینامومتر مذکور در مراکز تحقیقاتی تست موتور قرار گرفته است ولی با توجه به محدود بودن این مراکز در کشور همچنین مطالعه تک بعدی پارامترهای تاثیرگذار در خروجی گشتاور موتور ، نیاز به ساخت دینامومتر و مطالعه جامع روی تمام پارامترهای تاثیرگذار در خروجی گشتاور موتور محسوس است. با گسترش روز افزون استفاده از توان موتورهای احتراقی در زندگی روزمره و توجه به این نکته که موتورهای احتراقی مصرف کننده ی منابع محدود انرژی بوده و آلایندگی ناشی از موتورهای احتراقی در سلامت موجودات زنده تاثیر گذار است، استفاده از موتورهایی که حالت بهینه را از مصرف سوخت ایجاد می کنند ، ناگزیر است.

در این تحقیق به ارائه گزارشی از طراحی و ساخت یک دینامومتر جریان ادی پرداخته شده است. شکل ٦ نمونه‌ای از تغییرات گشتاور- دور یک الکتروموتور را به واسطه بارگذاری توسط دینامومتر جریان ادی نشان داده است.



شکل٦ تغییرات دور- گشتاور در دینامومتر

با ساخت دینامومتر ، راه برای ساخت سلول تست موتور که می تواند مطالعه ای همه جانبه را با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای تاثیرگذار در عملکرد موتور ایجاد میکند ، باز می شود. در حقیقت ساخت دینامومتر اولین قدم برای ساخت سلول تست موتور می باشد که می تواند مطالعه همه جانبه ی موتور را پوشش دهد.از مزایای یک دینامومتر جریان ادی می‌توان به مواردی به شرح زیر اشاره نمود:

از اصل القای الکترومغناطیسی استفاده می‌کنند.

۱- سطح گشتاوری که جذب می‌شود بوسیله تغییر در جریان تحریک هسته کنترل می‌شود
۲- تغییرات خیلی سریع در این نوع دینامومترها امکان پذیر می باشد.
۳- امکان کار در سرعتهای بالاتر نسبت به d.c
٤- سیستم کنترلی ساده ای دارند
٥- محدودیت سرعت ماکزیمم و اینرسی بالا

منابع و مآخذ

1. APMC. 2011. Helical Gears vs. Spur Gears. From http://www.gear-manufacturer.com.cn/newsinfo-Helical_Gears_vs_Spur_Gears-103-en.html
2. Brushed Pancake Motors. 2013. Printed Motor Works. from http://www.printedmotorworks.com/brushed-pancake-motors/
3. Changzhou DUOYOU Electromotor CO. LTD. 2012. from http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/gear5.htm
4. Diab, Y. Ville F. & Velex, P. 2006. Prediction of Power Losses Due to Tooth Friction in Gears. Tribology Transactions, 49(2), pp. 260-270.

5. Discussion Preparation for: Motors, Drive, Trains and External Drive Motor Systems. n.d. from http://www.wheelchairnet.org/WCN_WCU/Research/StakeholderDocs/PDFs/-motors- .pdf
6. Electric Drives - Special Purpose Motors. 2005. Electropaedia. Woodbank Communications Ltd., from http://www.mpoweruk.com/motorsspecial.htm
7. Exeter, P.A. Catharines, O.N. 2003. Jazzy 1113 Owner's Manual. Pride Mobility Products Corp. St.
8. Hua, A.C.C. and Syue, B.Z.W. 2010. Charge and discharge characteristics of lead-acid battery and LiFePO4 battery. Power Electronics Conference (IPEC). International. IEEE
9. Karim, N.D. How Gears Work. How stuff works. Inc, from http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/gear5.htm
10. Lemire-Elmore, J. 2005. Summary of Hub Motors. ebikes.ca. from http://www.ebikes.ca/hubmotors.shtml.
11. Tarımer, İ. Akpunar, A. and Gürbüz, R. 2008. Design of a Direct Sliding Gearless Electrical Motor for an Ergonomic Electrical Wheelchair. ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING. 3(83).
12. Technology ServoDisk Motors. 2013. Printed Motors GmbH. from http://www.printedmotors.com/e03produkte/e01dc_serie/e378/index_eng.html

Designing and evaluation of an Eddy current dynamometer for the assessment of power and torque of engines

Abstract

The measurement of engine outputs such as torque and rotational speed has always been a substantial challenge to the researchers of the relevant field. Dynamometer has enabled the measurement of output torque and output power of the engines. The flywheel of the engine is connected to the dynamometer rotor through mechanical linkages. Dynamometer includes two parts of rotor and stator. The stator includes the dynamometer shell which is constrained by means of load cell. The rotor is coupled with the flywheel and can freely rotate inside the stator. In this study, designing, constructing and evaluating an Eddy current dynamometer is investigated. The dynamometer under construction has undertaken the initial steps of evaluation successfully and has presented a satisfactory capability to measure the variations of torque-rotational speed in the corresponding experiments.

Keywords: Dynamometer, engine, torque, Eddy current dynamometer.