

مدیریت الکترونیک کلاچ راه حلی برای افزایش راحتی در وسیله نقلیه

چکیده: سیستم انتقال قدرت وسایل نقلیه به دلیل غیر یکنواختی فرایندهای احتراق به نوسانات پیشگی واداشته می شود که باید آن را کاهش داد و از انتشار آن به تمامی واحدهای خط انتقال قدرت جلوگیری کرد. جعبه دنده های دستی در خودشان سیستم کاهش ارتعاش ندارند، لذا باید منشأ ارتعاش را قبل از ورود به جعبه دنده کاهش داد. خودروسازان تا کنون توانسته اند این غیر یکنواختی ها را به طور نسبی در کلاچ کاهش داده و از انتقال آن به جعبه دنده و دیگر اجزای خط انتقال قدرت جلوگیری کنند. یکی از روش های جدیدی که این عیب را تا حد بسیار زیادی برطرف می کند، مدیریت الکترونیکی کلاچ با لغزش محدود است که حاصل تفکر و ارائه طرحی نوین توسط پژوهشگران این مقاله می باشد و می تواند پایه بسیاری از کارهای تحلیلی نیز قرار گیرد. راه حل مطرح شده که اساس آن ایجاد لغزش محدود بر پایه سیستم الکترونیکی کلاچ است، مانع ورود غیر یکنواختی به جعبه دنده و در نتیجه عدم انتقال آن به سازه و بدنه خودرو می گردد که باعث افزایش راحتی و آرامش راننده و سرنشینان می شود. قابل ذکر است که تمامی نتایج درج شده با آزمایشات و تحقیقات انجام گرفته در مرکز تحقیقات و توسعه کارخانه فولکس واگن آلمان غربی توسط نگارنده صحت گذاری شده اند.

واژه های راهنما: موتور احتراق داخلی، مدیریت الکترونیکی کلاچ، لغزش محدود، سکوی آزمایش اونیورسال.

* مجتبی بیگ زاده عباسی

استادیار،

دانشکده مهندسی مکانیک،

دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان

راضیه بیگ زاده عباسی

دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی

خودرو، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

مقاله مروری

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۸

Mojtaba Beigzadeh

Abbassi*

Assistant Professor,
Faculty of Mechanical
Engineering,
Sirjan University of
Technology, Sirjan

Rasieh Beigzadeh

Abbassi

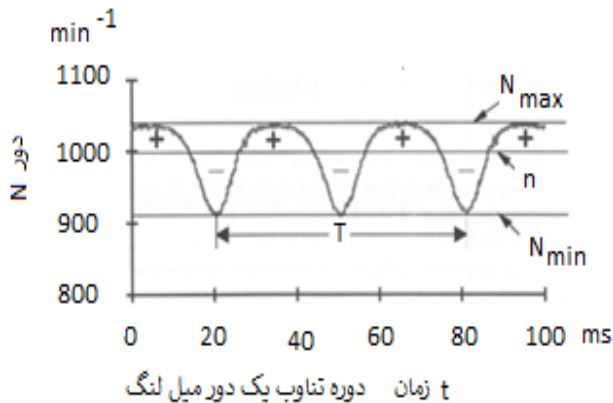
PhD Student, Faculty of
Automotive Engineering,
Iran University of Science
and Technology, Tehran

On the electronic control of a clutch, increasing the comfort of vehicle passengers

Abstract: The power transmission system of vehicles is due to torsional fluctuations due to non-uniformity of combustion processes, which should be reduced and prevented from spreading to all units of the power transmission line. The manual transmissions do not have a vibration reduction system in themselves, so the source of the vibration must be reduced before entering the gearbox. Automakers have so far been able to partially reduce these non-uniformities in the clutch and prevent it from being transmitted to the gearbox and other transmission line components. One of the new methods that eliminates this defect to a great extent is the electronic management of the limited slip clutch, which is the result of thinking and presenting a new design by the researchers of this article, and can be the basis of many analytical works. The proposed solution, which is based on creating a limited slip based on the electronic clutch system, prevents uneven entry into the gearbox and thus does not transfer it to the structure and body of the car, which increases the comfort and relaxation of the driver and passengers. It is noteworthy that all the results recorded by the experiments and research conducted at the Research and Development Center of the Volkswagen plant in West Germany have been validated by the author.

Keywords: Internal Combustion Engine, Electronic Control of Clutch, Two-mass Flywheel, Universal Test Platform.

۱- مقدمه



شکل ۱ غیر یکنواختی دور موتور $N(t)$ برای یک موتور توربو دیزل ۱/۹ لیتری ۴ سیلندر برای به دست آوردن درجه غیر یکنواختی در بار کامل با دنده ۲ و سرعت متوسط موتور $n = 1000$ (دور بر دقیقه)

برای بررسی این موضوع دور متوسط n که از طریق انتگرال گیری از دور لحظه ای $N(t)$ به دست می آید، معرفی می گردد.

$$n = \frac{1}{T} \int_0^T N(t) dt \quad (1)$$

که در آن T دوره تناوب و حداکثر تغییرات در یک دوره تناوب عبارت زیر است:

$$\Delta N = N_{max} - N_{min} \quad (2)$$

به طور متداول مقدار غیر یکنواختی های دورانی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\delta = \frac{N_{max} - N_{min}}{n} \quad (3)$$

تحقیقات نشان داده است که انحراف معیار σ_N مربوط به دور $N(t)$ برای نشان دادن معیار غیر یکنواختی مناسب است. لذا در این کار برای مشخص کردن درجه غیر یکنواختی δ ، شاخص نایکنواختی K با استفاده از انحراف معیار تعریف می گردد:

$$K = \frac{\sigma_N}{n} \quad (4)$$

هنگامی که تغییرات متناوب دور حول مقدار متوسط n هماهنگ باشد، می توان برای $N(t)$ نوشت:

$$N(t) = n + \hat{n} \cdot \cos(2\pi f \cdot t) \quad (5)$$

در چنین حالتی مقدار انحراف معیار با مقدار مؤثر تغییرات هماهنگ برابر است و لذا برای مقدار K می توان نوشت:

$$K = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\hat{n}}{n} \quad (6)$$

در رابطه فوق t زمان، f فرکانس، \hat{n} دامنه و n دور متوسط است. با توجه به اینکه در یک تغییرات متناوب هماهنگ تفاضل N_{min} و N_{max} دو برابر مقدار دامنه می شود، معادله (۳) به صورت زیر می آید:

$$\delta = 2 \frac{\hat{n}}{n} \quad (7)$$

موتورهای احتراقی به دلیل فرآیندهای نامتناوب احتراق یا تغییرات موقعیت کار کرد، مثلاً تغییر بار ناگهانی یا تحریکات قوی در سیستم انتقال قدرت، باعث ایجاد غیر یکنواختی های پیچشی در خط انتقال قدرت می شوند. افزایش بازده موتور با احتراقی حادثتر سبب افزایش بیشتر این غیر یکنواختی ها می گردد. این غیر یکنواختی ها در وسیله نقلیه باعث ضربه زدن، ایجاد صدای جغجه ای و بَم، لرزش بدنه و سرنشینان همچنین واکنش های دیگری می شود. علاوه بر این چون به منظور کاهش مصرف سوخت، موتور باید در دورهای پائین و بار بالا راه اندازی شود، تأثیر غیر یکنواختی های یاد شده به مراتب بیشتر می گردد. مدیریت الکترونیکی کلاچ (Elektronisches Kupplungs Management) که در آن لغزش کلاچ در بازه ای محدود کنترل می شود، راه حلی نوین است. در این روش، مدیریتی نوین در سیستم انتقال قدرت توسعه یافته و به عنوان راه حلی نو مخصوصاً قابل تأمل برای آینده، مدنظر قرار می گیرد [۱-۳]. این روش، روشی مهم در نمایش سیستم های انتقال قدرت نوین به شمار می آید. برای اینکه خواسته های آینده، مثل افزایش راحتی و حذف مواد آلاینده به تحقق بپیوندند، تمایل رو به رشدی برای به کارگیری الکترونیک در وسایل نقلیه وجود دارد. مدیریت الکترونیکی کلاچ از این منظر که کنترل بهینه سیستم انتقال قدرت، نیاز مبرم به تلاشی بسیار گسترده از لحاظ سیستم کنترلی دارد، نیز حائز اهمیت است. در ادامه ابتدا روش هایی که برای کاهش غیر یکنواختی ها تاکنون معمول و مرسوم بوده است، معرفی و معایب آن ها شمرده می شود.

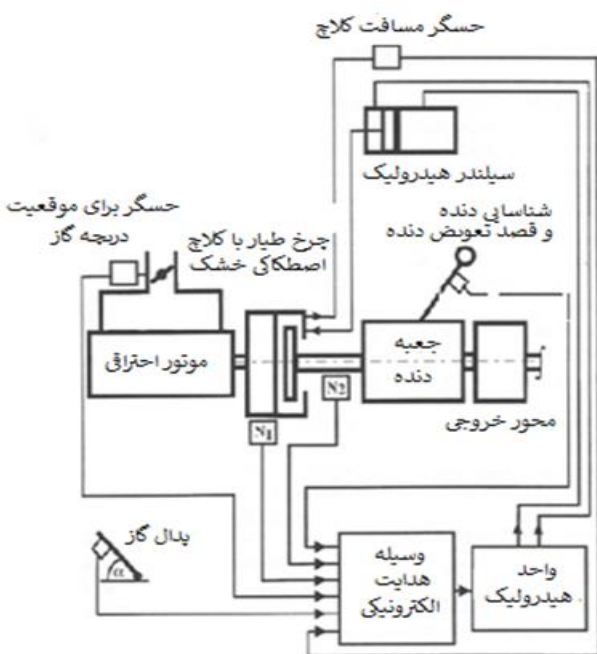
افزایش تعداد سیلندر موتور از چهار به شش سیلندر یا بیشتر، ضمن ثابت ماندن حجم موتور، به مفهوم کارهای کمتر سیلندر و یک فرکانس بالاتر جرقه و در نتیجه کاهش غیر یکنواختی پیچشی است [۴].

کاهش غیر یکنواختی های پیچشی را می توان از طریق افزایش گشتاور لختی جرمی چرخ طیار نیز به دست آورد. این راه حل اگر چه ممکن است، ولی باعث بزرگ شدن چرخ طیار و در نتیجه افزایش حجم، وزن و شتاب موتور و عبور از مرزهای تعریف شده می شود. استفاده از نصب سامانه میراکن/فنر در کلاچ خشک اصطلاکی، روشی شناخته شده است، به شرطی که با یک انتخاب خوب انطباق یافته همراه باشد، نیز روشی است که غیر یکنواختی ها را کاهش می دهد. تحولی بزرگ به منظور کاهش قوی نوسانات پیچشی، استفاده از چرخ طیار دو جرمی است [۵]، [۶] که از دو جرم دوآر متصل به هم تشکیل می شود و مابین آن ها سامانه میراکن/ فنر قرار می گیرد.

۲- تعریف معیار غیر یکنواختی های دورانی

حذف غیر یکنواختی های گشتاور و سرعت دورانی در سیستم انتقال قدرت موتور احتراق داخلی بسیار مطلوب است [۷-۹]، در عمل اما همین گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، به علت احتراق متناوب موتور احتراقی این خواسته تحقق نمی پذیرد.

الکترونیکی کلاچ بسنده می‌گردد. محاسنی که مدیریت الکترونیکی کلاچ در ارتباط با کاهش وزن و حجم کلاچ دارد همچنین کاهش هزینه‌ای که به دلیل کنترل الکترونیکی خودکار تحقق می‌پذیرد، سبب شده است که کنترل الکترونیکی به یک زیر بنای مهم برای کاهش غیر یکنواختی تبدیل گردد [۴، ۱۰]. مدیریت الکترونیکی کلاچ بدین معناست که هرگاه گشتاور موتور در نقطه ماکزیمال خود قرار داشته باشد، امکان ایجاد حرکت نسبی محدودی، یا به عبارتی لغزش محدود بین دور خروجی موتور و دور ورودی جعبه دنده بوجود می‌آید، بدون اینکه این حرکت نسبی (لغزش محدود) در تمامی دوره دور، به‌طور مستمر وجود داشته باشد. این سیستم در مقابل با جعبه دنده خودکار یا به عبارتی اتوماتیک کم هزینه‌تر است و کمک قابل توجهی به کاهش غیر یکنواختی‌ها می‌کند. برای خودکار سازی این روش ضرورت دارد که کنترل الکترونیکی به‌قدر کافی سریع باشد، تا نیروی فشاری وارد بر کلاچ به‌خوبی با شرایط حاکم تطبیق داده شود. وقتی این امر تحقق پذیرد، صحبت از مدیریت الکترونیکی کلاچ با لغزش محدود EKM/LS^۱ به میان می‌آید. سیستم تشریح شده در شکل (۳) طرز کار مدیریت الکترونیکی کلاچ با لغزش محدود را نشان می‌دهد. این سیستم می‌تواند در تمامی وسایل نقلیه، از ماشین‌های کوچک شهری تا ماشین‌های باری نصب گردد [۱۱].



شکل ۳ مدیریت الکترونیکی کلاچ (EKM) به‌صورت نمادین

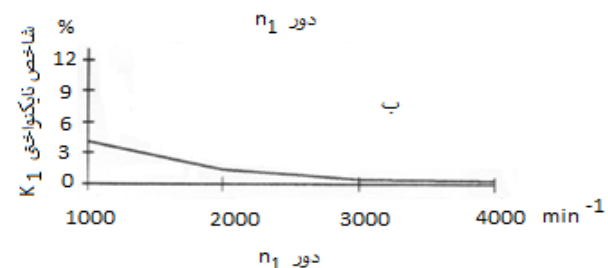
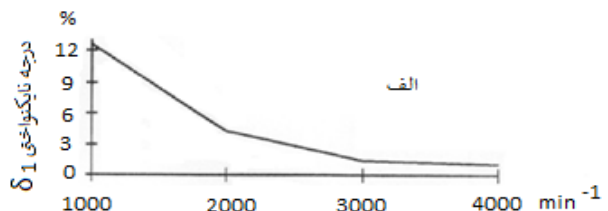
برای تحقق این سیستم علاوه بر کلاچ وسیله نقلیه، به یک موتور خودسامان خاص کلاچ گیری که با انرژی کمکی

در نهایت با جایگزین کردن معادله (۷) در معادله (۶) شاخص نایکنواختی K به دست می‌آید.

$$K = \frac{1}{2\sqrt{2}} \delta \quad (۸)$$

به‌منظور مقایسه سیستم‌های متفاوت انتقال قدرت، استفاده از شاخص غیر یکنواختی K در مقابل درجه غیر یکنواختی δ گویاتر است و برای ارزیابی خیلی دقیق‌تر است، زیرا به‌جای تعداد کمی از نقاط ماکزیمم و مینیمم که در زمان کوتاه و محدود اندازه‌گیری می‌شود، در شاخص غیر یکنواختی K تعداد زیادی از نقاط ماکزیمم و مینیمم منحنی، اندازه‌گیری و ارزیابی می‌گردند.

شکل (۲) به‌طور مثال نتایج آزمایش را برای درجه غیر یکنواختی δ و شاخص غیر یکنواختی K نشان می‌دهد. در این رابطه نشان داده می‌شود که شاخص غیر یکنواختی K_1 فقط حدوداً یک سوم درجه غیر یکنواختی δ_1 است، وقتی K با درجه غیر یکنواختی δ مقایسه گردد. اندیس ۱ مربوط به خروجی موتور است.



شکل ۲ مقایسه بین درجه نایکنواختی δ_1 (الف) و شاخص نایکنواختی K_1 (ب) موتور احتراقی برای سیستم انتقال قدرت مرسوم (موتور توربو دیزل ۴ سیلندری ۱/۹ لیتر) تحت بار کامل در دنده ۴

۳- مدیریت الکترونیکی کلاچ

در کنار روش‌هایی نظیر افزایش تعداد سیلندر، افزایش گشتاور لختی چرخ طیار، نصب سامانه میراکن/فنر، ایجاد اجزاء میراکن هیدرولیکی و به‌ویژه به‌کارگیری سیستم‌های فنر/جرم مثل به‌کارگیری چرخ طیار دو جرمی، امکان کارساز دیگری هم برای تأثیرگذاری در دینامیک سیستم انتقال قدرت وسیله نقلیه وجود دارد، یعنی مدیریت الکترونیکی کلاچ اصطکاکی خشک که از این به بعد به عبارت مدیریت الکترونیکی کلاچ اصطکاکی یا مدیریت

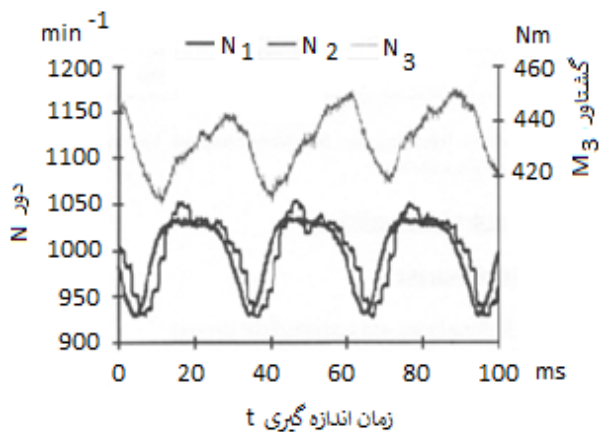
^۱ Elektronisches Kupplungs Management mit Limited Slip

۵- ارزیابی نتایج آزمایش

۵-۱- سیستم انتقال قدرت مرسوم

ارزیابی نتایج آزمایش یکبار برای موقعیتی که سیستم انتقال قدرت مرسوم وجود دارد و یکبار هم برای موقعیتی که سیستم انتقال قدرت از سامانه مدیریت الکترونیکی کلاچ برخوردار است، انجام می‌گیرد. این بدان منظور است که بتوان دو سیستم را با یکدیگر مقایسه و نتایج لازم را بدست آورد.

در سیستم انتقال قدرت مرسوم که در آن میراکن و فنر با یکدیگر به خوبی تطبیق شده‌اند و از لغزش هم خبری نیست، نمودار غیر یکنواختی‌های دور خروجی موتور $N_1(t)$ ، دور ورودی جعبه دنده $N_2(t)$ و گشتاور خروجی جعبه دنده $M_3(t)$ برای موتور توربو دیزل ۴ سیلندر ۱/۹ لیتری در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵ سیستم انتقال قدرت مرسوم در بار نیمه کامل، N_1 دور خروجی موتور، N_2 دور محور ورودی به جعبه دنده، M_3 گشتاور خروجی از جعبه دنده

اندازه‌گیری‌ها بعد از اینکه چرخه‌های کاری پایدار می‌شود، به مدت ۱۰۰ میلی ثانیه انجام می‌گردد. هر افزایش مثبت در منحنی دور موتور $N_1(t)$ ، بیانگر احتراق در یکی از سیلندرها است. علاوه بر فرکانس فرآیند احتراق، فرکانس‌های دیگری نیز ظاهر می‌شوند که بیانگر مراتب بالاترند. مقدار دامنه دور ورودی جعبه دنده $N_2(t)$ در موقعی که سیستم انتقال قدرت مرسوم وجود دارد، حداقل با دامنه دور صفحه کلاچ، یعنی با دامنه دور $N_1(t)$ برابر است.

دوره‌های خروجی موتور و ورودی جعبه دنده $N_1(t)$ و $N_2(t)$ همچنین گشتاور $M_3(t)$ نسبت به هم تغییر فاز دارند. این تغییر فاز به نوع سامانه انتقال قدرت بستگی دارد و ربطی به روش اندازه‌گیری ندارد.

۵-۲- مدیریت الکترونیکی کلاچ با لغزش کنترل شده

مدیریت الکترونیکی کلاچ این وظیفه را به عهده دارد که در موقع راه‌اندازی موتور، جعبه دنده را به صورت بهینه به موتور احتراقی

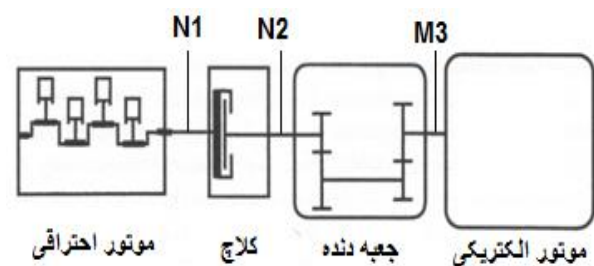
(هیدرولیکی، پنوماتیکی یا الکتریکی) کار می‌کند [۱۲]، ضمن اینکه به حسگرهای مختلف و یک واحد الکترونیک فرمان نیز نیاز است. در این واحد الکترونیک فرمان برنامه‌هایی وجود دارد که راه‌اندازی کلاچ و تغییر دنده را انجام می‌دهد همچنین میزان و حد لغزش مورد نیاز کلاچ را در وابستگی به سیستم انتقال قدرت موجود تأمین می‌کند.

به عنوان مثال هرگاه نقاط اوج گشتاور یا لرزش‌های نامناسبی که مخل راحتی سرنشینان هستند، ظاهر شوند، نیروی فشاری وارد بر کلاچ به مقدار اندکی کاهش یافته و باعث کاهش گشتاور مورد انتقال می‌شود. این کار سبب می‌شود که بین محور خروجی موتور و محور ورودی جعبه دنده، مقدار معینی سرعت نسبی (لغزش) ایجاد گردد و از انتقال نقاط اوج گشتاور به جعبه دنده و بقیه خط انتقال قدرت همچنین از ورود غیر یکنواختی‌های پیچشی و نوسانات به سازه خودرو جلوگیری و در نتیجه راحتی و آرامش سرنشینان تأمین گردد. آزمایش‌های فراوانی که این نگارنده انجام داده است، نشان می‌دهد که از این طریق همچنین دیگر عوامل، ضربات پیچشی نظیر نوساناتی که بر اثر گاز دادن سریع ایجاد می‌شود، نیز حذف می‌گردند.

به‌طور کلی مدیریت الکترونیکی کلاچ سبب می‌شود که موتور بتواند در بار بالا و دور خیلی پائین به راحتی کار کند، بدون اینکه راحتی و آرامش سرنشینان به خطر بیفتد. از مزایای این روش می‌توان به کاهش تکرار تعویض دنده و مصرف کم سوخت اشاره کرد. علاوه بر این، بارهای بالای دینامیکی بر سیستم انتقال قدرت اعمال نمی‌گردند و در نتیجه سیستم انتقال قدرت از طول عمر بیشتری بهره‌مند خواهد شد.

۴- چیدمانی سکوی آزمایش

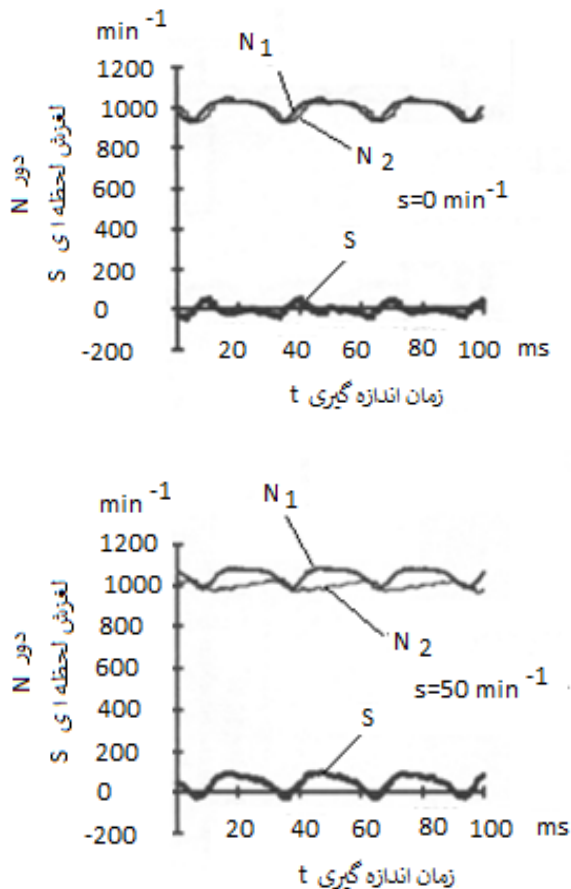
موتور احتراقی همراه با چرخ طیار، کلاچ و جعبه دنده معمولی در کنار یکدیگر روی سکوی مدرنی از کارخانه فولکس واگن که مجهز به ابزار اندازه‌گیری دقیق و پیچیده‌ای است، قرار می‌گیرند [۱۳]، تا بتوان آزمایش‌های عملی را انجام داد (شکل ۴).



شکل ۴ چیدمانی سکوی آزمایش، N_1 دور موتور، N_2 دور ورودی جعبه دنده، M_3 گشتاور خروجی از جعبه دنده

اندازه‌گیری‌ها به این سبک انجام می‌شود که مقدار گشتاور موتور احتراقی با موقعیت پدال گاز تنظیم می‌گردد. همچنین تنظیم و کنترل دور موتور روی مقدار مطلوب توسط موتور الکتریکی انجام می‌گردد [۱۴].

$N_2(t)$ مقدار ثابتی ندارد، بلکه لغزش لحظه‌ای کلاچ حول لغزش متوسط، وابسته به زمان و فرکانس احتراق تغییر می‌کند. این نشان می‌دهد که علی‌رغم اینکه لغزش متوسط کلاچ S افزایش می‌یابد، لغزش لحظه‌ای هنوز تا $s = 50$ دور بر دقیقه در محل فرکانس احتراق صفر است. در موقع گذر از صفر، صفحه کلاچ زمان کوتاهی نسبت به چرخ پتیار، ثابت می‌ماند. در این حالت نایکنواختی‌های موتور قویاً انتقال می‌یابند. محدودیت لحظه‌ای و مدت تناوب تحریک، مانع تأثیرات نامناسب می‌شوند. منحنی‌های شکل $N_2(t)$ در ابتدا بالای $s = 50$ دور بر دقیقه کاملاً صاف می‌شود، به طوری که پس از آن کلاچ همواره در حال لغزش است.



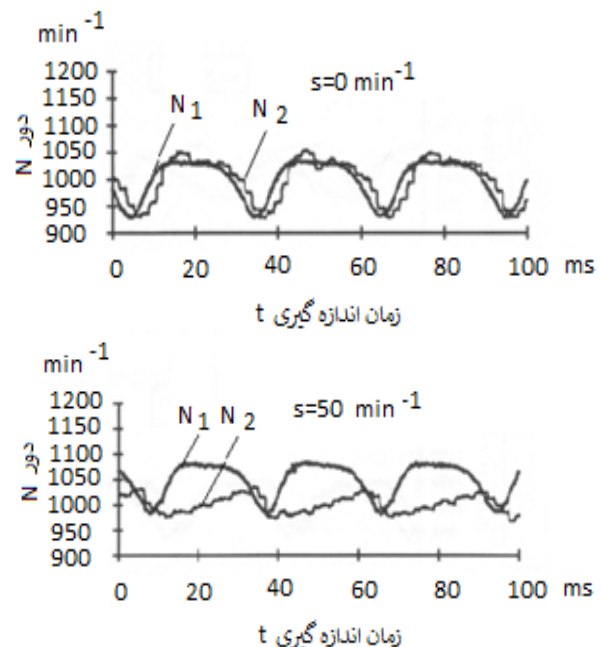
شکل ۷ لغزش لحظه‌ای $S(t)$ در رابطه با لغزش متوسط کلاچ $s = 0, 50$ دور بر دقیقه، $n_2 = 1000$ دور بر دقیقه، دنده ۲، بار نیمه کامل

۶- شاخص‌های نایکنواختی

شاخص غیر یکنواختی K_2 را که مربوط به محور ورودی جعبه دنده است، برای سه دور مختلف ورودی جعبه دنده $n_2 = 1000, 2000$ و 3000 دور بر دقیقه و موقعی که موتور تحت بار نیمه کامل است به دست آمده و در شکل (۸) به نمایش گذاشته شده است.

وصل کند و هنگام تغییر دنده، جریان نیرو را به طور کنترل شده قطع و وصل نماید. در این روش، دیگر به پدال کلاچ نیاز نیست. کلاچ و وسیله نقلیه همواره آن گونه عمل می‌کنند که راننده انتظار دارد. نیروی فشاری وارد بر کلاچ به گونه‌ای کنترل می‌گردد که گشتاور موتور با لغزش تعریف شده (s) از چرخ پتیار به صفحه کلاچ انتقال یابد.

استفاده از مدیریت الکترونیکی کلاچ تأثیر مثبتی در راحتی، توسط کاهش غیر یکنواختی محور ورودی جعبه دنده می‌گذارد. شکل (۶) این مطلب را به طور واضح در بازه لغزش 0 و 50 (دور بر دقیقه) برای موقعی که دنده دو و بار نیمه کامل حاکم است، نشان می‌دهد. با افزایش لغزش علی‌رغم اینکه تحریک ناشی از موتور همواره یکسان است، غیر یکنواختی دور ورودی جعبه دنده کاهش می‌یابد، به طوری که لغزش کنترل شده در کلاچ باعث جلوگیری از تحریکات نشأت گرفته از موتور به جعبه دنده و بقیه خط انتقال قدرت می‌شود.



شکل ۶ تأثیر لغزش کلاچ S در منحنی دور $N_1(t)$ و $N_2(t)$ ، $n_2 = 1000$ دور بر دقیقه، دنده ۲، بار نیمه کامل، $s = 0$ و 50 دور بر دقیقه

دور متوسط موتور n_1 از دور متوسط محور ورودی جعبه دنده n_2 همواره به مقدار لغزش S بیشتر است، به طوری که برای ارقام متوسط و لحظه‌ای می‌توان روابط زیر را نوشت: $S = n_1 - n_2$ و $S(t) = N_1(t) - N_2(t)$.

در شکل (۶) مشاهده می‌شود، اگر چه منحنی نایکنواختی $N_1(t)$ باز دارای برآمدگی قابل ملاحظه‌ای است، ولی منحنی $N_2(t)$ با افزایش لغزش S همواره صاف‌تر و دندانه آزه‌ای است و دامنه‌ها کوچک‌تر می‌شوند. متعاقباً نشان داده می‌شود که لغزش لحظه‌ای $S(t)$ حالتی متناوب را با فرکانس احتراق نشان می‌دهد. این تمایل در تمامی دنده‌ها صدق می‌کند، اما در دنده‌های بالاتر به مقدار کمتری ظاهر می‌گردد.

شکل (۷) نشان می‌دهد که لغزش $S(t)$ مثل $N_1(t)$ و

با توجه به افزایش مصرف سوخت ناشی از تلفات لغزش همچنین به علت نتایج آزمایشات دیگر، می‌تواند این‌گونه بیان گردد که با امکان انتخاب دنده‌های بالاتر و یک سیستم انتقال قدرت آرام شده از لحاظ نوسان، به‌طور محسوس سوخت بیشتری می‌تواند صرفه‌جویی شود، نسبت به مقداری که لغزش باعث افزایش سوخت می‌گردد. علاوه بر این امکان نوع رانندگی با تعویض کم دنده نیز وجود دارد، زیرا نیاز به تعویض دنده با انتخاب دنده پایین‌تر برای افزایش راحتی سیستم انتقال قدرت دیگر نیازی نیست.

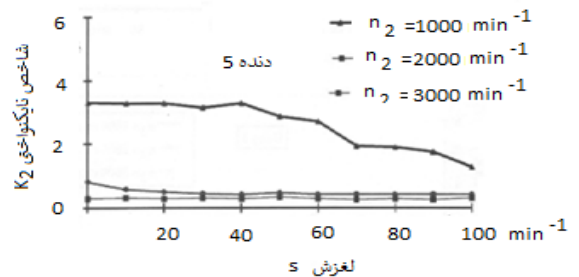
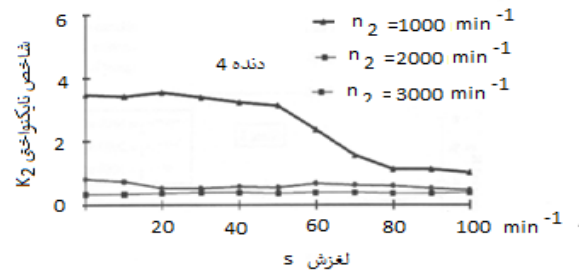
۷- بهبودی راحتی ناشی از اعمال لغزش

تأثیر ایجاد لغزش محدود در کلاچ در کاهش غیر یکنواختی‌های سیستم انتقال قدرت، به‌ویژه در حوزه‌ای که از نظر دور و بار مناسب است، با عیب تلفات لغزش و استهلاک کلاچ همراه است. این بدان معناست که باید لغزش را حتی‌الامکان کم نگهداشت و مقدار آن برای به‌کارگیری مدیریت الکترونیکی کلاچ، پیشنهاد می‌شود که با بهبودی راحتی مورد نیاز تطبیق داده شود. لذا در کنار تجهیز کردن کلاچ با حسگرهای مورد نیاز برای اعمال لغزش محدود، یک یا چندین حسگر که شاخصی برای راحتی حرکت در وسیله نقلیه یا سیستم انتقال قدرت قلمداد می‌گردند، اضافه شوند. این حسگرهای اضافی می‌توانند از قرار زیر باشند.

- نصب حسگر دور با حساسیت بالا در چرخ دنده ورودی جعبه دنده با امکان اندازه‌گیری دور $N_2(t)$ در ورودی جعبه دنده
- نصب حسگر شتاب در جعبه دنده، میل کاردان یا موتور احتراقی که مخصوصاً بر اساس نوسانات حوزه تقلیل دهنده آرامش (مثلاً برای حذف سیگنال) تنظیم می‌گردد. در اینجا همچنین امکان نصب آن در کابین سرنشینان وجود دارد.
- نصب حسگر صوتی در کابین سرنشینان به‌ویژه در محل‌های مناسب، مثلاً در ارتفاع گوش راننده (تکیه‌گاه سر).

۸- نوآوری مقاله و اختلاف نتایج این مقاله با نتایج کارهای گذشته

مقاله حاضر از این جهت دارای نوآوری نوین و طرحی نو است که تا کنون در هیچ سیستم و یا حتی در هیچ مقاله علمی تأثیرات ایجاد لغزش محدود در کلاچ را در کاهش غیر یکنواختی‌های



شکل ۸ کاهش شاخص غیر یکنواختی K_2 مربوط به محور ورودی جعبه دنده با افزایش لغزش s برای سه دور مختلف ورودی جعبه دنده در این اندازه‌گیری‌ها که برای تنظیم لغزش انجام گرفته است، باید دور ورودی جعبه دنده در مقداری معین، مثلاً $n_2 = 1000$ دور بر دقیقه با موتور الکتریکی تنظیم گردد، سپس دور موتور n_1 به مقدار لغزش، مثلاً $s = 50$ دور بر دقیقه بیشتر از $n_1 = 1050$ دور بر دقیقه دوران یابد. به علت ارقام متغیری که برای لغزش s (مثل شکل ۶) در نظر گرفته می‌شود، دور n_2 دقیق تنظیم می‌گردد.

آزمایش‌ها را با لغزش مرسوم، یعنی $s = 0$ و موقعی که دور موتور در بازه $n = 1000$ دور بر دقیقه قرار دارد شروع می‌کنیم. افزایش لغزش، کاهش K_2 را به دنبال دارد و البته به اینکه کدام دنده فعال است، نیز بستگی دارد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که اگر $n_2 = 1000$ دور بر دقیقه باشد، لغزش مورد نیاز به 80 دور بر دقیقه خواهد رسید. البته لغزش مورد نیاز اگر در حدی باشد که باعث کاهش محسوس K_2 بشود، به دنده حاکم نیز وابسته است. از دور موتور حدوداً 2000 دور بر دقیقه به بعد با افزایش لغزش، K_2 به مقدار کمی کاهش می‌یابد، ضمن اینکه در این دور، حتی در حالتی که هیچ لغزشی وجود ندارد، K_2 کوچک است. لذا به این نتیجه می‌رسیم که لغزش زیر $n_1 = 3000$ دور بر دقیقه باید پایان یابد.

لغزش همچنین از نقطه نظر خساراتی که به کلاچ وارد می‌شود نیز محدود می‌گردد. بیشتر شدن لغزش در بار بالای موتور، تمهیدات خاصی را برای جلوگیری از تحریک کلاچ می‌طلبد، وقتی توان تلفاتی لغزش بر اساس محاسبات انجام گرفته شده حدوداً 0.5 کیلووات باشد و برای مدت طولانی وجود داشته باشد، باعث استهلاک غیر مجاز کلاچ می‌گردد. از این لحاظ محدودیت مقدار لغزش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و باید برای اعمال آن تمهیداتی در نظر گرفت.

(ZMS/DFC) چرخ طیار دو جرمی	ΔN
حداکثر تغییرات در یک دوره تناوب (min^{-1})	علائم یونانی
درجه غیر یکنواختی	δ
انحراف معیار	σ_N

تشکر و قدردانی

بسی شایسته است نویسندگان مقاله حاضر، مراتب سپاس و قدردانی خود را از تلاش مستمر و زحمات ارزنده سردبیر محترم جناب آقای دکتر علی نوری بروجردی، اعضای هیأت تحریریه و کارشناس مجله سرکار خانم شیما امینی در راستای اعتلاء و پیشبرد اهداف متعالی مجله وزین علمی مهندسی مکانیک (ISME) ابراز نمایند.

مراجع

- [1] International Colloquium Fuels, Esslingen, 25 - 26 Juni (2019).
- [2] Beigzadeh AM. Reduzierung der Torsionsungleichförmigkeit im Kraftfahrzeugantriebsstrang mit neuartigen Systemen. Berlin, Dissertation, (1997).
- [3] Abbassi MB. Steigerung des Antriebsstrangkomforts im Kfz durch elektronisches Kupplungsmanagement. ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift, 1:101 (2):118-26, (1999 Feb).
- [4] Aachener Kolloquium 2015, Hartmut Koenig, January 3, (2017).
- [5] Dresig H, Fidlin A. Beispiele zur dynamischen Analyse von Antriebssystemen.
- [6] InSchwingungen mechanischer Antriebssysteme, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, pp. 243-345, (2020).
- [7] بیگ زاده عباسی، مجتبی، بررسی آزمایشی و تئوری تأثیر چرخ طیار دو جرمی در کاهش نوسانات سیستم انتقال قدرت وسیله نقلیه، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۹۲.
- [8] Aktuelle Veranstaltung, 9. Regionalforum Saar, Chris Eberl, die Digitale Transformation in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Michael Hecht, Universität des Saarlandes, (2019).
- [9] Biomechanisches System, Kinematische Analyse und Synthese, Getriebetechnik,

سیستم انتقال قدرت به منظور افزایش راحتی سرنشینان به ویژه در حوزه مناسب دور و بار مورد بررسی و کنکاش قرار نداده است. در این رابطه که قاعدتاً تلفات لغزش و استهلاک کلاچ نیز باید مورد آزمایش و در نتیجه منجر به پیشنهادات اساسی برای هدف مورد نظر گردد، نیز هیچ گونه گزارشی مشاهده نشده است. نتایج بدست آمده در این مقاله در رابطه با لغزش محدود نتایج منحصر به فرد آزمایش شده ای هستند که می توانند مینا و معیار بسیاری از تحقیقات آینده که موضوع اصلی آن تلاش برای بهبودی راحتی سرنشینان خودرو است، قرار گیرند و مینای بسیاری از تحلیل ها و آزمایشات پیش رو باشند. در کارهای پیشین و تحقیقات انجام گرفته فقط کوتاه در مورد مدیریت الکترونیکی کلاچ بدون تاثیر لغزش محدود در آرام سازی خودرو سخن به میان آمده است. لذا می طلبد تا این تفکر دنبال شود و این ایده نو با توجه به پیشنهادات ارائه شده که ناشی از نتیجه آزمایشات طولانی با مدرن ترین دستگاه های آزمایشی در سکوها آزمایش نوین بدست آمده است، پی گیری گردد.

۹- نتیجه گیری

مدیریت الکترونیکی کلاچ با لغزش محدود که طراحی و در سکوی آزمایش مورد بررسی و تجزیه و تحلیل دقیق قرار گرفته است، ضمن اینکه طرز کار کلاچ را خودکار می کند، هم زمان باعث افزایش راحتی سیستم انتقال قدرت می گردد. راحتی سرنشینان به علت کاهش نوسانات بدنه خودرو که ناشی از اجرای طرح مدیریت الکترونیکی کلاچ با لغزش محدود است، از دستاوردهای اصلی این مقاله می باشد. البته این نکته نیز قابل تامل است که به دلیل وجود لغزش، گرمای بیشتری در کلاچ ایجاد که با تمهیدات طراحی مورد نیاز به راحتی می توان آن را کاهش داد. به این دلیل باید لغزش کم و محدود باشد و به بیانی بهتر باید در مواقعی که آرامش بشدت کاهش می یابد، مدیریت الکترونیکی کلاچ به منظور ایجاد لغزش محدود فعال گردد.

فهرست علائم و اختصارات

علائم انگلیسی	
EKM/LS مدیریت الکترونیکی کلاچ با لغزش محدود	
f فرکانس (s^{-1})	
K شاخص غیر یکنواختی	
$M_3(t)$ گشتاور لحظه ای خروجی از جعبه دنده (Nm)	
$N_1(t)$ دور لحظه ای موتور (min^{-1})	
n_1 دور متوسط موتور (min^{-1})	
$N_2(t)$ دور لحظه ای جعبه دنده (min^{-1})	
N_{max} دور ماکزیمم (min^{-1})	
N_{min} دور مینیمم (min^{-1})	
\hat{n} دامنه (min^{-1})	
T دوره تناوب (S)	
t زمان (S)	

- [13] *Kolloquium Mobilhydraulik, Tagung, Tagungsort: Karlsruhe, Datum: 10./11. September (2020).*
- [14] *Kriegsreporter berichten/Konstantin Flemig. - 1. Auflage. - Essen: Klartext, Oktober (Reclams Universal-Bibliothek; Nr. 8788), (Sonderdrucke und Sonderveröffentlichungen/ Deutscher Düsseldorf, VDI Verlag GmbH, (2019) .*
- [15] *Regelungstechnik 1, Zusammenfassung der Vorlesung, Kapitel 11+12.2 Reglerauslegung, Küttel, M. Reinders, L. Guzzella, 151-0591-00, (2019).*
- Regelung von Mechanismen, Tagungsband, (2017).
- [10] Stier C. Ein Beitrag zur Validierung von Antriebssystemen mit Bezug auf kupplungs- und motorinduzierte Schwingungen (Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar).
- [11] *Antriebsstrang, Getriebe und Getriebesteuerung, Reif, Konrad, (2018).*
- [12] *Studie zur EU-weiten Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK), Schlussbericht: DAK-Studie (deutsche Version), Anlage zur DAK-Studie (deutsche Version), (2019).*