http://mme.modares.ac.ir

مجله علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

اسفند ۱۳۹۲، دوره ۱۳ شماره ۱۲ ص ص ۱۴۴-۱۵۵

مقاله پژوهشی کامل
تاریخ دریافت ۹۱/۹/۲۰
تاریخ پذیرش ۹۲/۲/۱۶
ارائه در سایت ۹۲/۹/۳۰

بررسی آزمایشی و تئوری تأثیر چرخ طیّار دو جرمی در کاهش نوسانات سیستم انتقال قدرت وسیلهٔ نقلیه

مجتبی بیگ زاده عباسی

استادیار مکانیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان
سیرجان، صندوق پستی ۷۸۱۳۷۳۳۳۸۵، mba@sirjantech.ac.ir

چکیده- آرامش سرنشینان وسیلهٔ نقلیه و کاهش مصرف سوخت و در نتیجه ایجاد کمتر مواد آلاینده به منظور حفظ محیط زیست از اهداف اصلی شرکت‌های خودروسازی است. از طرفی نایکنواختی‌های احتراق اثرات نامطلوبی مثل ضربه زدن، صداهای جغجغه‌ای و بم در جعبه دنده و لرزش‌های اتاق خودرو را به دنبال دارند. انفجار ضربه‌ای و متناوب ناشی از احتراق موتور، باعث ایجاد نایکنواختی‌های شدید دورانی شده و در نتیجه آرامش سرنشینان خودرو را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به منظور حذف این اثرات نامطلوب، تلاش می‌شود سرعت دورانی و گشتاور ورودی به جعبه دنده یکنواخت شد. به این منظور ضمن بررسی روش‌های موجود، در این تحقیق به بررسی و ارائهٔ یک سامانهٔ جدید تحت عنوان چرخ طیّار دو جرمی‌پرداخته می‌شود و نتایج آزمایش‌های ارائه شده با نتایج شبیه‌سازی مقایسه و تأثیر سامانهٔ جدید در آرام‌سازی خودرو بررسی می‌شود. قابل ذکر است که تمامی نتایج درج شده با آزمایش‌ها و تحقیقات انجام گرفته در مرکز تحقیقات و توسعه کارخانه فولکس واگن آلمان غربی صحه‌گذاری شده‌اند.

کلیدواژگان: موتور احتراق داخلی، چرخ طیّار دو جرمی، سکوی آزمایش اونیورسال.

Experimental and numerical investigations of the effects of two-mass flywheel on the reduction of the vibrations of power transfer system in vehicles

M. Beigzadeh Abbassi

Assist. Prof., Mech. Eng., Sirjan Univ. of Tech., Sirjan, Iran
P. O. B. 7813733385 Sirjan, Iran. mba@sirjantech.ac.ir

Abstract- The comfortability of car passengers, reduction of fuel consumption in order to reduce the emission of CO2, and increasing the efficiency of fuel usage are the main concems of car manufacturers. These high temperatures have negative effects such as impact, rattling status in gearbox, low-pitched sound in gearbox, and vibration of vehicles. These vibrations interfere with the comfortability of passengers. In order to reduce the unwanted vibrations as much as possible there is a need to uniform the radial velocity of the flywheel and the inlet torque to the gearbox. In this study the available methods are reviewed and a new approach is proposed which is the two-mass flywheel. The effects of this new flywheel are carefully investigated. The experimental results are compared with the numerical ones and a very good conformation is observed.

Keywords: Internal Combustion Engine, Two-mass Flywheel, Universal Test Platform.

۱- مقدمه

افزایش منابع نوسانات در وسایل نقلیه با موتورهای احتراقی رفت و برگشتی به علت عدم میرایی کافی در سیستم انتقال قدرت، متخصصین و تولید کنندگان خودرو را بر آن وا می‌دارد،

Archive of SID

www.SID.ir

تا با تلاش مداوم و مستمر خود تمهیدات لازم و مناسبی را برای بهبود مسائل صوتی، کاهش لرزش و در نتیجه آرام‌سازی وسیلهٔ نقلیه به کار ببندند [۲،۱]. کاهش وزن وسیلهٔ نقلیه در خودروهای مدرن نیز می‌تواند خود منبع لرزش قلمداد شود. مهم‌تر از همه احتراق متناوب در موتورهای پیستونی رفت و برگشتی، خود عامل اصلیِ ایجاد ارتعاشات پیچشی در سیستم انتقال قدرت است. ضمن این که موتور احتراقی عامل اصلی ایجاد لرزش و نایکنواختی در سیستم انتقال قدرت به حساب می‌آید، کلاچ و جعبه دنده نیز می‌توانند نقش مهمی‌را در کاهش نوسانات ایفا نمایند، که در این راستا می‌توان موتور، جعبه دنده و کلاچ را به عنوان یک واحد منسجم در نظر گرفت [۴،۳]. احتراق‌های حاد در موتورهای احتراق داخلی به منظور افزایش بازده، تأثیرات نامطلوبی همچون ضربه زدن، صدای جغجغه‌ای در جعبه دنده (صدای جغجغه‌ای در جعبه دنده همان صداهای ناشی از برخورد سطوح در گیر چرخ دنده‌هائی است که در خط انتقال قدرت قرار نمی‌گیرند و هرز می‌چرخند)، صداهای بم در جعبه دنده و لرزش‌های اتاق خودرو را در پی دارند. این اثرات آرامش سرنشینان خودرو را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از توسعه چرخ طیّار دو جرمی این است که نوسانات دورانی به وجود آمده در جرم دوار موتور را از بقیه سیستم انتقال قدرت جدا کند. عبارت ZMS/DFC[1] همان چرخ طیّار دو جرمی‌است، که به صورت منسجم و با حجم فشرده عرضه می‌شود.

۱-۱- راه‌حل‌های موجود برای کاهش نایکنواختی‌های دورانی

یکی از راه‌حل‌های مرسوم و متداول، که از اجزای ضروری سیستم انتقال قدرت محسوب می‌شود و بدون آن به هیچ وجه امکان حرکت رضایت بخش خودرو وجود ندارد، نصب چرخ طیّار است. در این راستا هر اندازه گشتاور لختی چرخ طیّار بیشتر باشد، آرامش به وجود آمده در خودرو نیز بیشتر خواهد بود. به همین دلیل یکی از راه حل‌های مرسوم را می‌توان افزایش گشتاور لختی چرخ طیّار بر شمرد. البته قابل ذکر است، فضای مورد نیاز نصب چرخ طیّار با گشتاور لختی بالاتر، همچنین افزایش جرم خودرو ناشی از آن، به عنوان محدودیت‌های این راه حل محسوب می‌شوند، ضمن این که در این راه حل شتاب خودرو نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت [۶،۵].

کلاچ مرسوم خشک اصطکاکی تعبیه شده در سیستم انتقال قدرت وسیلهٔ نقلیه نیز می‌تواند نقش قابل توجهی را در راستای آرام‌سازی خودرو ایفا نماید، البته مشروط به این که فنر و میراکننده موجود در کلاچ به دقت و به نحو مطلوبی با یکدیگر انطباق داده شوند. محدودیت‌های فضای ساخت نیز در اینجا مانع دستیابی به ضریب فنریت مورد نیاز است [۸،۷]. میراکن‌های موجود در سیستم انتقال قدرت، مثلاً میراکن نصب شده در ابتدای میل لنگ نیز عاملی برای کاهش نسبی نایکنواختی در سیستم انتقال قدرت به شمار می‌روند. میراکن های پیچشی توسعه یافته در دهه‌های اخیر که در صفحه کلاچ نصب می‌شوند، نیز به مرزهای کارآیی خود رسیده‌اند [۹]. افزایش تعداد سیلندرها با حفظ حجم موتور نیز تأثیر زیادی در کاهش نایکنواختی ها و در نتیجه آرام‌سازی خودرو دارد. در این راستا تفکر راهبردی ساخت کل وسیلهٔ نقلیه از طرف مهندس طراح، یا به عبارتی شرکت تولید کننده، تعیین کنندهٔ تعداد سیلندر موتور است. البته تذکر این نکته ضروری است، که افزایش تعداد سیلندرها باعث افزایش قیمت ساخت، سنگین‌تر شدن وسیلهٔ نقلیه، مصرف سوخت بیشتر و در نتیجه افزایش مواد آلاینده خواهد بود.

۱-۲- تعریف صورت مسأله

هدف از این تحقیق معرفی سیستمی‌است که تأثیر زیادی در کاهش نوسانات و در نتیجه کاهش مسایل یاد شده داشته باشد. در این راستا ضمن بر شمردن راه حل‌های مرسوم و محدودیت‌های آنها برای کاهش نوسانات، سیستم نوینی معرفی می‌شود که از طریق آن نوسانات خط انتقال قدرت به طور مطلوبی کاهش پیدا می‌کنند. این نتایج هم از طریق انجام آزمایش‌های متعددی روی سکوی آزمایش به دست آمده و هم از طریق شبیه‌سازی و تحلیل نرم‌افزاری تائید شده‌اند. وجود این سیستم علاوه بر آرام‌سازی خودرو، کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش مواد آلاینده و کاهش دی اکسید کربن، (که همانا کمک بزرگی به حفظ محیط زیست و جلوگیری از گرم شدن بیش از حد کره زمین را دارد) در پی خواهد داشت.

1. Zweimassenschwungrad/damped flywheel clutch

www.SID.ir

۲- تعریف معیار نایکنواختی های دورانی

ثابت کردن گشتاور و سرعت دورانی برای سیستم انتقال قدرت موتور احتراق داخلی حالتی ایده‌ال است [۱۰-۱۲]، امّا در عمل این حالت به علت احتراق متناوب موتور احتراقی تحقق نمی‌پذیرد. نایکنواختی دور موتور $N(t)$ برای یک موتور توربو دیزل ۱/۹ لیتری ۴ سیلندر برای به دست آوردن درجه نایکنواختی در بار کامل با دنده ۲ و سرعت متوسط موتور $n = 1000\ \mathrm{min}^{-1}$ در شکل ۱ نشان داده شده است.

در اینجا دور متوسط n از دور لحظه‌ای $N(t)$ از فرمول (۱) محاسبه می‌شود.

$$n = \frac{1}{T}\int_0^T N(t)dt \qquad (۱)$$

که در آن T دوره تناوب است. مقدار حداکثر تغییرات در یک دوره تناوب بر اساس فرمول (۲) به دست می‌آید.

$$\Delta N = N_{\max} - N_{\min} \qquad (۲)$$

به طور متداول مقدار نایکنواختی های دورانی به درصد به صورت فرمول (۳) تعریف می‌شود.

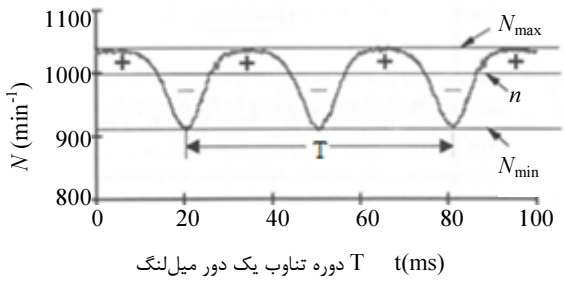
$$\delta = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{n} \qquad (۳)$$

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

$$K = \frac{\sigma_N}{n} \qquad (۴)$$

هنگامی که تغییرات متناوب دور حول مقدار متوسط n هماهنگ باشد، می‌توان برای $N(T)$ رابطه (۵) را نوشت.

$$N(t) = n + \hat{n}\,.\cos\,(2\pi f.t) \qquad (۵)$$



شکل ۱ نایکنواختی دور موتور $N(t)$ برای یک موتور توربو دیزل ۱/۹ لیتری ۴ سیلندر

در چنین حالتی مقدار انحراف معیار با مقدار مؤثر تغییرات هماهنگ برابر است و لذا برای مقدار K می‌توان رابطه (۶) را نوشت.

$$K = \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\hat{n}}{n} \qquad (۶)$$

t زمان، f فرکانس، $\hat{n}$ دامنه و n دور متوسط است.

با توجه به این که در یک تغییرات متناوب هماهنگ تفاضل $N_{\max}$ و $N_{\min}$ دو برابر مقدار دامنه می‌شود، معادله (۳) به صورت فرمول (۷) در می‌آید.

$$\delta = 2\frac{\hat{n}}{n} \qquad (۷)$$

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

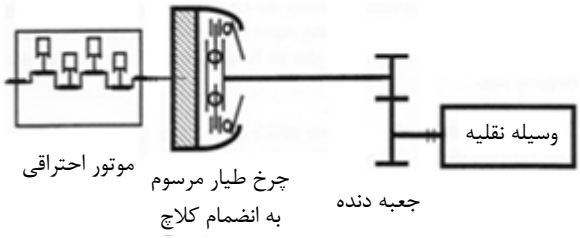
$$K = \frac{1}{2\sqrt{2}}\,\delta \qquad (۸)$$

به منظور مقایسه سیستم‌های متفاوت انتقال قدرت، استفاده شاخص نایکنواختی K در مقابل درجه نایکنواختی δ گویاتر است و برای ارزیابی خیلی دقیق‌تر می‌باشد، زیرا به جای تعداد کمی‌از نقاط ماکزیمم و مینیمم، که در زمان کوتاه و محدود اندازه‌گیری می‌شود، در شاخص نایکنواختی K تعداد زیادی از نقاط ماکزیمم و مینیمم منحنی اندازه گیری و ارزیابی می‌شود.

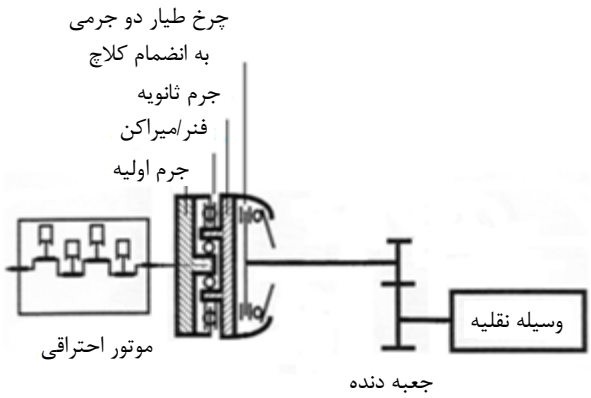
۳- ارایه راه حل نوین و معرفی چرخ طیّار دو جرمی

در شکل ۲- الف سیستم انتقال قدرت با کلاچ مرسوم در مقابل سیستم انتقال قدرت با چرخ طیّار دو جرمی (شکل ۲- ب) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، سیستم انتقال قدرت با چرخ طیّار مرسوم این گونه است که کلاچ با سیستم فنر/میراکن تعبیه شده در آن بعد از چرخ طیّار قرار دارد، امّا یک چرخ طیّار دو جرمی از دو جرم، یعنی جرم اولیه و ثانویه تشکیل می‌شود. هر دو جرم جدا از هم از طریق یک سیستم متشکل از فنر و میراکن به هم اتصال دارند و از طریق یک یاتاقان ساچمه‌ای شیاردار یا یک یاتاقان لغزشی (شکل ۲ ب) قادرند نسبت به هم حرکت نسبی چرخشی داشته باشند. چرخ طیّار دو جرمی نوسانات پیچشی را با سیستم فنر/میراکن تعبیه شده در آن جذب می‌کند و اینها را تا حد زیادی حذف می‌کند. این امر سبب می‌شود که نوسانات به خوبی کاهش پیدا کنند.

Archive of SID
www.SID.ir



الف- چرخ طیّار مرسوم



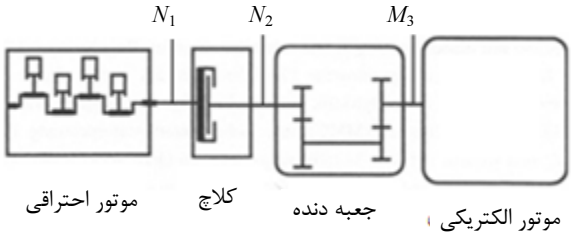
ب- چرخ طیّار دو جرمی

شکل ۲ سیستم انتقال قدرت با چرخ طیار

سبک عملکرد چرخ طیّار دو جرمی‌بسیار ساده و مؤثر است. با نصب جرم ثانویه، موقعیت تشدید که برای میراکن‌های پیچشی اولیه بین ۱۲۰۰ و ۲۴۰۰ دور در دقیقه قرار دارد [۱۴،۱۳] به دورهای پایین‌تر کشیده می‌شود. این کار سبب می‌شود که فرکانس تشدید پایین‌تر از فرکانس موتور در حالت خلاصی قرار گیرد. در نتیجه می‌توان موتور را در دور آرام پایین‌تری، تنظیم کرد و مصرف سوخت و در نتیجه مواد آلاینده را کاهش داد.

۴- آزمایشات عملی روی سکوی آزمایش

سکوی آزمایش بر اساس سامانهٔ شکل ۳، تحت عنوان سکوی آزمایش اونیورسال [۱۶،۱۵]، بنا شد. در این سامانه، موتور احتراقی به عنوان محرک و موتور الکتریکی به عنوان متحرک ایفای نقش می‌کنند. به جای موتور احتراقی می‌توان هر موتور دیگری را آزمایش و بررسی کرد. موتور الکتریکی نقشی شبیه به شاسی دینامومتر بازی می‌کند و مشخصات جاده و سیکل رانندگی به کمک تنظیم ولتاژ موتور به عنوان بار اعمالی به گاردان، اعمال می‌شود. در بین این موتورها تمامی اجزای سیستم انتقال قدرت از جمله هر نوع کلاچ و جعبه دنده نصب و مورد آزمایش و بررسی قرار می‌گیرند.



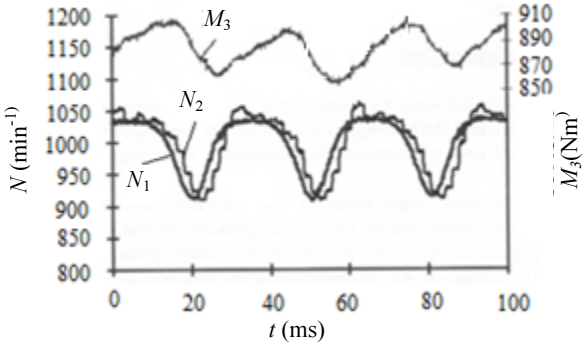
شکل ۳ سامانهٔ انتخاب شده سکوی آزمایش، N_1 دور موتور، N_2 دور ورودی جعبه دنده، M_3 گشتاور خروجی از جعبه دنده

۵- نتایج آزمایشات

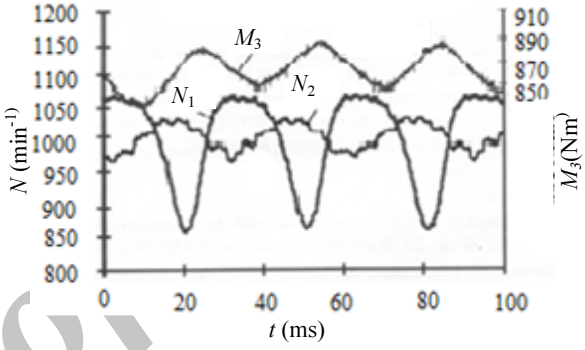
آزمایش‌های زیادی انجام گرفت که در آن دور، دنده جعبه دنده، بارگذاری‌ها و برخی پارامترهای دیگر را تغییر داده و نتایج ثبت شدند. در اینجا ابتدا فقط نتایج اولیه را برای موقعی که حجم موتور احتراقی توربو دیزل ۱/۹ لیتر است و جعبه دنده به صورت عمودی نصب شده و موتور با ۱۰۰۰ دور در دقیقه و با دنده ۲ در بار کامل و بار نیمه کامل کار می‌کند، در شکل‌های ۴ (بار کامل) و ۵ (بار نیمه کامل) نشان داده می‌شود. آزمایش‌های انجام گرفته بر اساس سامانهٔ مذکور روی سکوی آزمایش نشان می‌دهند که در سیستم انتقال قدرت با کلاچ مرسوم، در حالت بار کامل و بار نیمه کامل نایکنواختی‌های ورودی به جعبه دنده تقریباً بدون تغییر وارد جعبه دنده شده و آن را تحت بار قرار می‌دهند. این نایکنواختی‌ها وارد بدنه و کابین سرنشینان شده و راحتی آنها را تحت الشعاع قرار می‌دهند. اختلاف فاز و بعضا افزایش‌هایی که در دامنهٔ دور ورودی به جعبه دنده مشاهده می‌شود، به چگونگی رفتار فنر/میراکن تعبیه شده در کلاچ بر می‌گردد. در محل خروجی جعبه دنده و همچنین محل بین جعبه دنده و موتور الکتریکی، اندازه‌گیری گشتاور از طریق کرنش‌سنج انجام می‌شود که با M_3 نشان داده شده است. چگونگی منحنی گشتاور، هم‌چون دور ورودی به جعبه دنده است، ضمن این که اختلاف فاز نیز مشاهده می‌شود. در سیستم انتقال قدرت با چرخ طیّار دو جرمی، که در شکل ۴- ب و شکل ۵- ب در حالت بار کامل و بار نیمه کامل نشان داده شده است، کاهش مؤثر نایکنواختی دور ورودی به جعبه دنده مشاهده می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

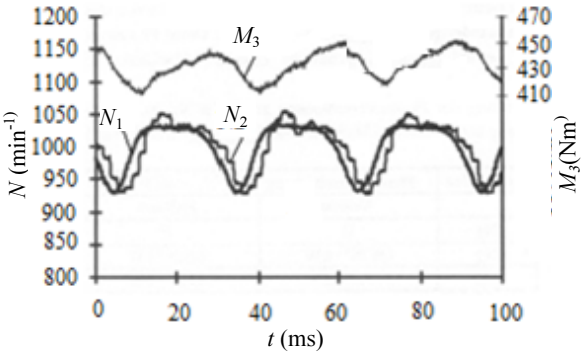


الف- مرسوم

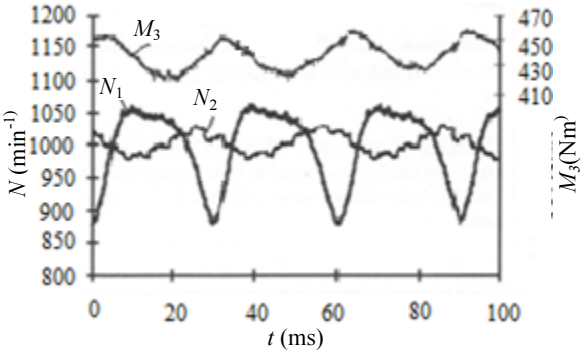


ب- چرخ طیار دو جرمی

شکل ۴ سیستم انتقال قدرت در بار کامل، N_1 دور موتور، N_2 دور محور ورودی به جعبه دنده، M_3 گشتاور خروجی از جعبه دنده



الف- مرسوم



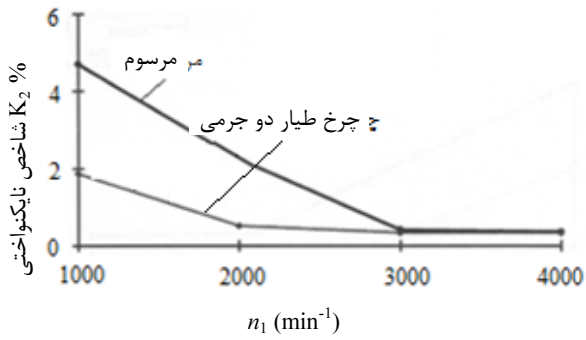
ب- چرخ طیار دو جرمی

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

دامنه دور ورودی به جعبه دنده حدوداً یک سوم دامنهٔ دور موتور است. به نسبت کاهش نایکنواختی، آرامش بر وسیله نقلیه حاکم می‌شود. البته این مطلب قابل ذکر است، که به عنوان عیب چرخ طیّار دو جرمی‌می‌توان از افزایش نایکنواختی دور موتور نسبت به حالت مرسوم نام برد (شکل‌های ۴- ب و ۵- ب). علت این افزایش، کاهش گشتاور لختی جرم اولیه چرخ طیّار دو جرمی در مقایسه با حالت مرسوم است. امّا با توجه به ضریب اطمینان‌های طراحی در ساخت میل لنگ این افزایش نایکنواختی، هیچ‌گونه اثر زیان‌باری را بر میل لنگ وارد نمی‌کند. این مطلب در آزمایش‌ها به وضوح مورد تائید قرار گرفته است [۱۷].

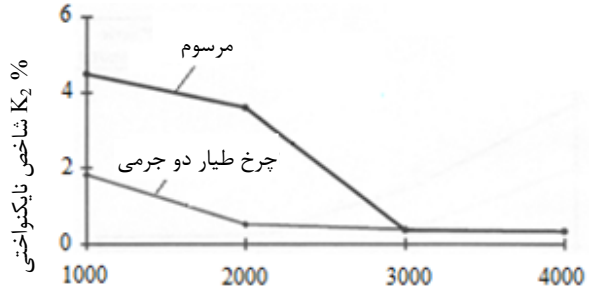
در سیستم انتقال قدرت با چرخ طیّار دو جرمی به وضوح مشخص است، که نایکنواختی های ورودی به جعبه دنده تقریباً به طور کامل حذف شده و سپس وارد جعبه دنده می‌شوند. بار وارد بر جعبه دنده به طور محسوسی کم می‌شود و سرنشینان وسیلهٔ نقلیه به آرامش محسوسی دست می‌یابند.

با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته با پارامترهای مختلف از جمله دور، میزان تأثیر دور روی کاهش نایکنواختی را شکل ۶ و شکل ۷ در مقایسه بین حالت مرسوم و چرخ طیّار دو جرمی برای دنده‌های ۲ و ۳ در حالت بار کامل و بار نیمه کامل برای ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ دور در دقیقه نشان می‌دهد.



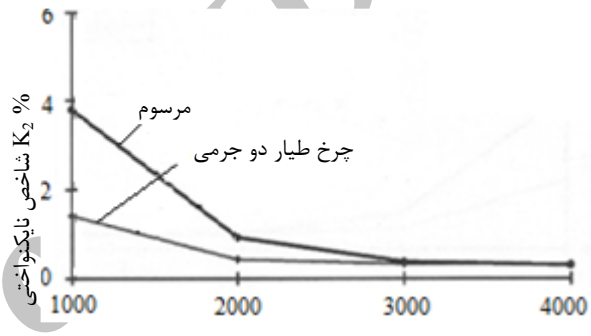
الف- دنده ۲

Archive of SID
www.SID.ir

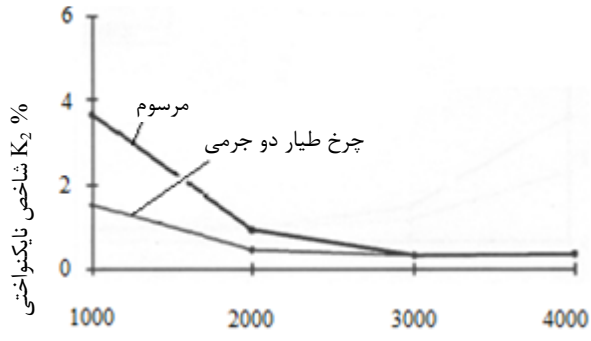


ب- دنده ۳

شکل ۶ تأثیر دور در کاهش شاخص نایکنواختی $K2$ محور ورودی جعبه دنده با بار کامل



الف- دنده ۲



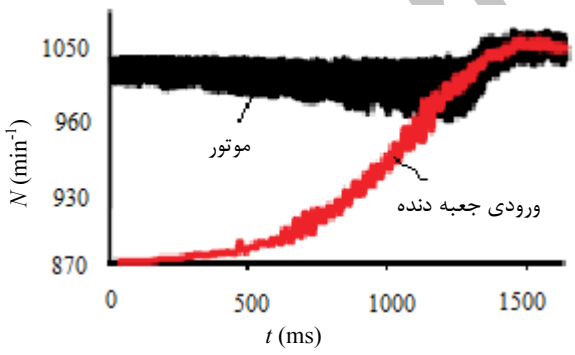
ب- دنده ۳

شکل ۷ تأثیر دور در کاهش شاخص نایکنواختی $K2$ محور ورودی جعبه دنده با بار نیمه کامل

همان گونه که مشخص است، فقط تا ۳۰۰۰ دور در دقیقه چرخ طیّار دو جرمی تأثیر خاص خود را دارد، پس از آن نایکنواختی طبیعتاً چنان پایین است، که چرخ طیّار دو جرمی عملاً هیچ نقشی را ایفا نمی‌کند. در اشکال بعدی نمایش داده شده، به جای رسم نایکنواختی، شاخص نایکنواختی K به منظور درک بهتر و نمایش بدون بعد به تصویر کشیده شده است. توضیح آن در بخش ۲ آمده است.

۶- بررسی شروع به حرکت وسیلهٔ نقلیه با چرخ طیّار دو جرمی

یکی از حالت‌هایی که وسیلهٔ نقلیه دچار لرزش می‌شود، شروع به حرکت است (شکل ۸). در شروع به حرکت، چون پدال کلاچ فشرده شده است، به طور معمول دور محور ورودی جعبه دنده صفر است. با رها کردن آرام پدال گاز توسط راننده، محور ورودی دور گرفته و سعی در رساندن دور خود به دور موتور را دارد. قبل از اتصال کامل اجرام اولیه و ثانویه به هم، مشاهده می‌شود که دور موتور اندکی به طرف پایین کشیده می‌شود، تا اتصال کامل بین آنها برقرار شود. بعد از اتصال کامل اجرام، با اندکی گاز دادن بیشتر راننده، افزایش دور متوسط مشاهده می‌شود. از شروع به حرکت تا مرحله تثبیت دور، مخصوصاً در هنگام اتصال جرم اولیه و ثانویه کاهش محسوس نوسانات در محور ورودی جعبه دنده مشاهده می‌شود. در ادامهٔ کار، شبیه‌سازی با نرم‌افزارهای مکانیکال دسکتاپ و ورکینگ مدل و همچنین انسیس انجام و نتایج آنها با نتایج آزمایش‌های انجام گرفته مقایسه و مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند.



شکل ۸ نمایش چگونگی رفتار دور ورودی جعبه دنده در شروع به حرکت با چرخ طیّار دو جرمی [۱۴]

۷- مدل‌سازی با برنامه‌های شبیه‌سازی

شبیه‌سازی در این رابطه به معنی حمایت از طراحی میراکن‌های نوسانات پیچشی است. هدف از شبیه‌سازی این است که در مراحل اولیهٔ فاز طراحی، کمکی شایان برای توسعه

www.SID.ir

سریع و مقرون به صرفه محصول انجام شود. در این رابطه طرح‌های پیشنهاد شده در یک شبیه‌سازی بررسی و تأثیر پارامترها در رفتار دینامیکی با ملاحظه تمامی سیستم انتقال قدرت می‌توانند بهینه شوند.

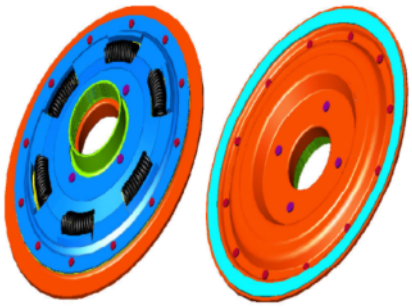
البته برای یک بهینه‌سازی دقیق باید میراکن های نوسانی دورانی برای تمامی نقاط کاری انجام و همچنین تولرانسهای تولید نیز مد نظر قرار گیرند. بدین گونه یک اطمینان کیفیّت بین فرایند طراحی، آزمایش و تولید تضمین می‌شود. قابل ذکر است که برای تضمین کیفیّت تولید، باید داده های وسیله نقلیه و موتور دقیق در دسترس باشند. در این صورت است که مسایل احتمالی همچون تناقضات چرخ طیّار دو جرمی‌با مدیریت موتور می‌توانند خیلی زود شناسایی و تحت ملاحظه تمامی سیستم حل شوند [۱۲].

با استفاده از شبیه‌سازی، جستجوی هدف دار ایده‌های نو و بکر به ذهن می‌آید که می‌توانند مشروحاً بررسی، ارزشیابی و تا تولید نمونه‌های مجازی توسعه یابند.

۷-۱- مدل‌سازی چرخ طیّار دو جرمی در نرم‌افزار مکانیکال دسکتاپ

نرم‌افزار مکانیکال دسکتاپ[1] به منظور طراحی قطعات و قالب های صنعتی توسط شرکت اتودسک[2] طراحی و به بازار عرضه شده است [۱۸]. مدل‌های به وجود آمده در شکل ۹ و مدل مونتاژ شده در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند.

شکل ۹ اجزای چرخ طیّار دو جرمی مدل‌سازی شده در نرم‌افزار مکانیکال دسکتاپ



شکل ۱۰ مدل مونتاژ شده چرخ طیّار دو جرمی در نرم‌افزار مکانیکال دسکتاپ

۷-۲- تحلیل دینامیکی چرخ طیّار دو جرمی در نرم افزار ورکینگ مدل

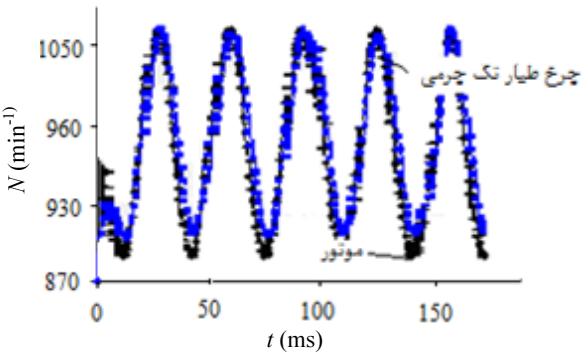
ورکینگ مدل[3] یک نرم‌افزار دینامیکی سه‌بعدی شبیه‌سازی، محصول شرکت MSC است [۱۲، ۱۹]. این نرم‌افزار در صنعت و محیط آکادمیک جایگاه ویژه خود را به دست آورده است. مدل مورد نظر پس از مدل‌سازی در برنامه مکانیکال دسکتاپ با ورکینگ مدل بارگذاری و تحلیل می‌شود. تمامی شبیه‌سازی‌های انجام شده با برنامه ورکینگ مدل با موتور ۱/۹ لیتر توربو دیزل با ۱۰۰۰ دور در دقیقه انجام گرفته‌اند.

چگونگی رفتار سیستم انتقال قدرت با چرخ طیّار مرسوم را شکل ۱۱ نشان می‌دهد. همان طور که کاملاً مشخص است، نایکنواختی‌های موتور تقریباً با همان شدت وارد جعبه دنده می‌شوند، امّا در سیستم مجهز به چرخ طیّار دو جرمی‌کاهش نوسانات موتور، که وارد جعبه دنده می‌گردند، مشاهده می‌شوند (شکل ۱۲).

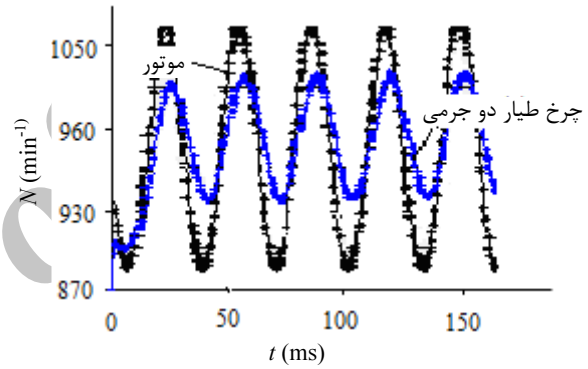
همان گونه که در شکل ۱۲ مشهود است، جرم ثانویه با حفظ سرعت متوسط جرم اولیه، از نوسان‌های کمتری برخوردار است. این کاهش نوسانات وابسته به گشتاور لختی جرم ثانویه است. هر چه گشتاور لختی جرم ثانویه بیشتر باشد، کاهش دامنه‌ها نیز بیشتر می‌شود. با افزایش گشتاور لختی جرم ثانویه چرخ طیّار دو جرمی، تأثیر آرام‌سازی وسیلهٔ نقلیه مشاهده می‌شود (شکل ۱۳)، به طوری که دامنه‌های دور ورودی به جعبه دنده کاملاً کم می‌شوند، امّا با توجه به مشکلات پیش رو، از جمله فضای محدود نصب، بالا رفتن جرم وسیله نقلیه، افزایش گشتاور لختی جرم ثانویه باید تا مرز محدودی افزایش یابد.

1. Mechanical Desktop
2. Autodesk
3. Workingmodell

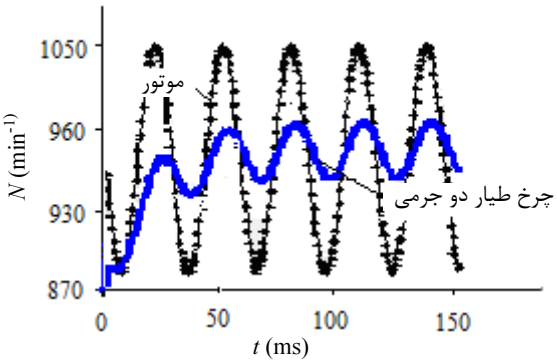
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۱ انتقال نایکنواختی موتور به جعبه دنده در سیستم مرسوم، سیاه: موتور، آبی (خاکستری): ورودی جعبه دنده



شکل ۱۲ تأثیر چرخ طیّار دو جرمی در کاهش نوسانات ورودی به جعبه دنده



شکل ۱۳ تأثیر افزایش گشتاور لختی جرم ثانویه چرخ طیّار دو جرمی در کاهش نوسانات ورودی به جعبه دنده

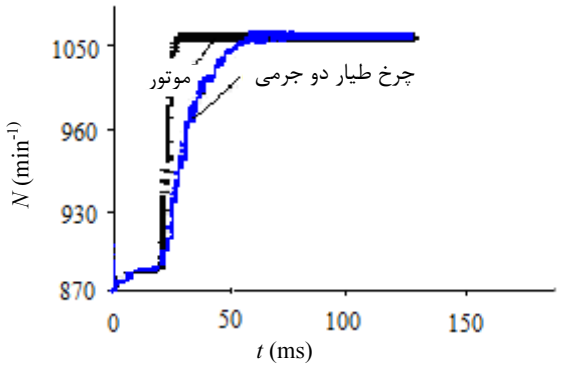
در این رابطه باید یک مصالحه و سازش بین مقدار مطلوب کاهش نوسانات و افزایش مورد نیاز جرم ثانویه انجام شود، که این مهم با انجام آزمایش‌ها و برنامه‌های شبیه‌سازی ممکن می‌شود.

در مرحلهٔ بعد تأثیر چرخ طیّار دو جرمی در حالت شتاب گرفتن وسیلهٔ نقلیه مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور مشاهده دقیق تأثیر عملکرد چگونگی کلاچ در چرخ طیّار دو جرمی در شبیه‌سازی‌های بعدی، نوسانات موتور در نظر گرفته نشده‌اند.

به عنوان نمونه از شبیه‌سازی‌های فراوان انجام گرفته شده، فقط ۳ حالت در اینجا آورده می‌شوند. حالت اول شتاب گرفتن ناگهانی وسیلهٔ نقلیه است، که معمولاً باعث آزار سرنشینان می‌شود (شکل ۱۴).

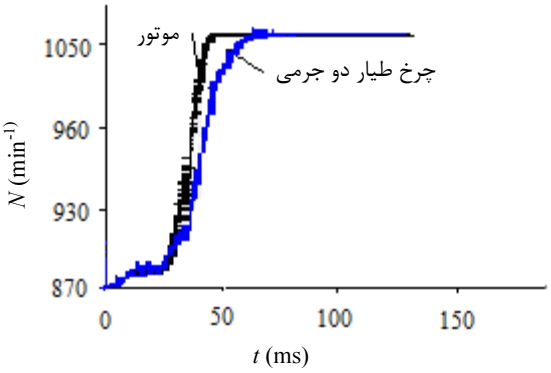
در اینجا کاملاً مشهود است که سیستم چرخ طیّار دو جرمی‌شدت حرکت را به‌طور محسوس کاهش داده و باعث آرامش وسیله نقلیه و در نتیجه سرنشینان آن می‌شود. این مزیّت بدین طریق حاصل می‌شود که جرم ثانویه به علت گشتاور لختی خود و فنرهای زاویه باز به آرامی‌به جرم اولیه متصل می‌شود و شتاب ناگهانی موتور را به آرامی‌انتقال می‌دهد. این حالت شبیه‌سازی با کمک شتاب‌ها یا به عبارتی شیب‌های مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۱۵ تأثیر شتاب متوسط در چگونگی آرام‌سازی وسیلهٔ نقلیه به نمایش گذاشته شده است. در اینجا مشاهده می‌شود که با توجه به شیب کمتر هنگام شتاب‌گیری، تأثیر چرخ طیّار دو جرمی‌نیز به همان میزان کاهش می‌یابد.

هر چه ورودی نرم‌تر باشد، تأثیر این سیستم کمتر می‌شود، تا جایی که وقتی ورودی سیستم بسیار آرام باشد، این سیستم مانند چرخ طیّار تک جرمی‌عمل می‌کند (شکل ۱۶). این به آن معناست که سیستم چرخ طیّار دو جرمی‌تأثیر مثبت خود را مخصوصاً در حالت‌های حاد و ویژه به خوبی نشان می‌دهد.

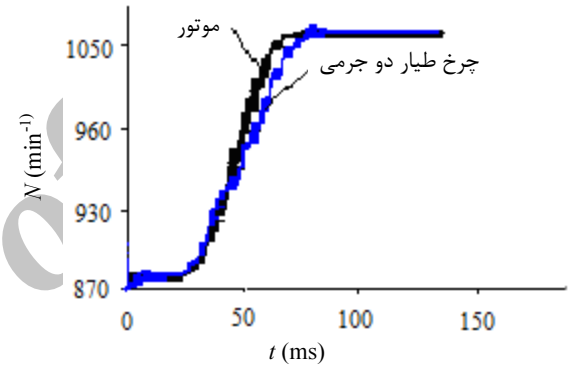


شکل ۱۴ تأثیر چرخ طیّار دو جرمی در شتاب ناگهانی

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۵ تأثیر چرخ طیّار دو جرمی در شتاب متوسط

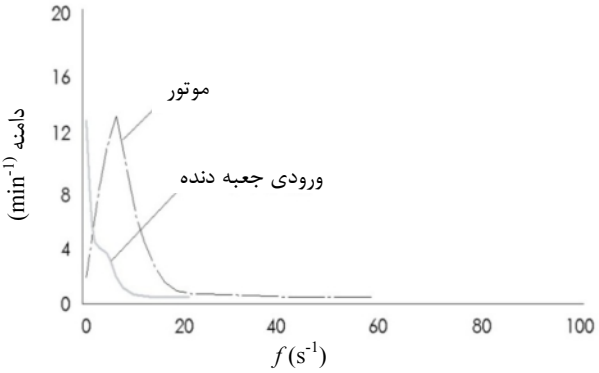


شکل ۱۶ تأثیر چرخ طیّار دو جرمی در شتاب کم

نتیجه این که در حرکات ناگهانی اتومبیل، سیستم چرخ طیّار دو جرمی‌شدت نوسانات اتومبیل را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و بنابراین آرامش بیشتری بر وسیله نقلیه حاکم می‌شود.

۷-۳- تحریک چرخ طیار دو جرمی در نرم افزار انسیس با ارتعاش هماهنگ

در برنامه انسیس نمودار دامنه- فرکانس نشان داده شده است (شکل ۱۷). کاملاً مشهود است که همزمان با کاهش دامنهٔ دور ورودی به جعبه دنده، یک تأخیر فاز در دامنه مشاهده می‌شود. این پدیدهٔ مهم، بسیار قابل توجه و حائز اهمیّت است، یعنی این که امکان تنظیم دور آرام موتور در دورهای پایین تر وجود دارد. این حسن می‌تواند از امتیازات ویژه چرخ طیّار دو جرمی به حساب آید.

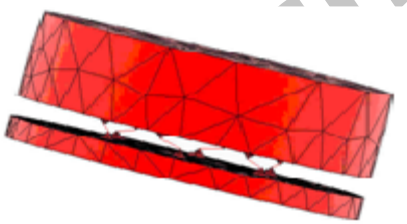


شکل ۱۷ نمودار دامنه فرکانس برای مدل شبیه‌سازی شده

۷-۴- تحلیل چرخ طیّار دو جرمی در نرم‌افزار انسیس با ارتعاش مودال

پس از طراحی مدل مورد نظر در نرم‌افزار مکانیکال دسکتاپ، مدل با اعمال فرمان‌های مورد نیاز به طور خودکار در برنامه انسیس[1] [۲۱،۲۰] شبکه‌بندی شد (شکل ۱۸).

پس از شبکه‌بندی، اجزای فنر تعیین و پس از وارد کردن ثابت‌های هندسی، مدل کامل گردید، در مرحله بعد قیود اعمال شدند. نتایج این شبیه سازی در شکل ۱۹ به صورت ۵ فرکانس اول سیستم مورد نظر، هنگامی‌که سیستم در بحرانی ترین وضعیّت خود است، یعنی کلاچ به طور کامل قفل شده و تحت بارهای ارتعاشی قرار دارد، ارایه می‌شوند.



شکل ۱۸ مدل شبکه‌بندی شده با مشاهده اجزای فنر در نرم‌افزار انسیس

SET LIST Command
***** INDEX oF DATA SETS ON RESULTS FILE *****

SET	TIME/FREQ	LOAD	STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	9.4395		1	1	1
2	9.4530		1	2	2
3	10.358		1	3	3
4	11.797		1	4	4
5	11.810		1	5	5

شکل ۱۹ پنجره مشاهده نتایج تحلیل ارتعاش مودال چرخ طیّار دو جرمی در نرم افزار انسیس

1. Ansys

www.SID.ir

مشاهده می‌شود که در این وضعیّت نیز سیستم دارای فرکانس‌های طبیعی پایینی است، به همین دلیل به جهت پدیده تشدید برای سیستم مشکلی ایجاد نمی‌شود.

۸- پیشنهادها

برای توسعه مطالب ارائه شده در این تحقیق، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود.

- بررسی خودروها و یافتن پارامترهای مؤثر بر حساسیّت سیستم چرخ طیّار دو جرمی‌و سعی در برطرف کردن آنها با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی.

- توسعه یک برنامه شبیه‌سازی مختص چرخ طیّار های دو جرمی برای یک شبیه‌سازی بسیار دقیق، که در این صورت همچنین برای تمامی میراکن‌های نوسانی پیچشی همچنین بهینه‌سازی تمام سیستم کلاچ می‌تواند قابل استفاده باشد، ضمن این که برای کنترل کیفیت طراحی نیز می‌تواند استفاده شود و مرزهای طراحی های موجود نیز نمایان شوند.

- تلفیق سیستم مدیریت الکترونیکی کلاچ [۱۷،۱۱،۱۰] با چرخ طیّار دو جرمی (ZMS/DFC)، که البته تحقق این امر نیاز به آزمایش‌های زیادی دارد. آزمایش‌های انجام گرفته [۱۱] در رابطه با تلفیق این دو، نتایج خوبی را مبنی بر مثمر ثمر بودن این امر ارایه داده‌اند.

- با توجه به استفاده چرخ طیّار دو جرمی در اروپا در وسایل نقلیه شخصی کلاس بالا، تلاش در جهت کاهش هزینه‌های تولید، برای این که چرخ طیّار دو جرمی در اتومبیل‌های کلاس پایین نیز جایگاه خود را باز کند، ادامه دارد.

۹- نتیجه‌گیری

سیستم‌های متداول امروزی قادر به پایان دادن نایکنواختی‌های سیستم انتقال قدرت به طور مطلوب نمی‌باشند. نکته قابل توجه در تمامی سیستم های متداول، لرزش‌هایی در اتاق وسیلهٔ نقلیه است که آرامش سرنشینان خودرو را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سیستم چرخ طیّار دو جرمی (ZMS/DFC) تا حد بسیار مطلوبی آرامش بر وسیله نقلیه حاکم می‌شود.

بررسی آزمایشی و شبیه‌سازی نتایج سیستم چرخ طیّار و جرمی، که در قالب این مقاله آمده است، به عنوان راه حلی مؤثر برای کاهش نوسانات وسیلهٔ نقلیه معرفی می‌شود که بسیار عالی عمل می‌کند. مخصوصاً اثر بخشی این سیستم زمانی است که وسیلهٔ نقلیه تحت ورودی های بسیار شدید و نوسانی با دامنهٔ زیاد قرار بگیرد، زیرا در ورودی‌های نرم، این سیستم تقریباً مشابه سیستم چرخ طیّار تک‌جرمی عمل می‌کند.

سیستم‌های مدیریت الکترونیکی کلاچ [۱۷،۱۱،۱۰] که جداگانه مورد آزمایش، تحقیق، بررسی و شبیه‌سازی قرار گرفتند، قادر به بر آورده کردن این منظور می‌باشند، ولی به علت گران قیمت بودن و همچنین پیچیدگی، استفاده از یک سیستم مکانیکی ساده، ارزان و تعمیرپذیر ارجحیّت دارد. به اختصار برتری‌های چرخ طیار دو جرمی در زیر آورده می‌شوند:

- افزایش راحتی سرنشینان وسیله نقلیه، به علت کاهش نایکنواختی ورودی به جعبه دنده.

- کاهش سر و صدا، به علت پایین بودن دور موتور و کاهش نایکنواختی‌های ورودی به جعبه دنده.

- افزایش عمر قطعات به علت حذف بیشترین مقدار بار و ارتعاشات.

- طول عمر بالاتر جعبه دنده، به علت کاهش نایکنواختی‌های ورودی به آن و در نتیجه کاهش بار خستگی.

- تعویض راحت‌تر دنده به علت عدم وجود فنر/میراکن در صفحه کلاچ و کاهش گشتاور لختی آن.

- حذف فنر/میراکن از کلاچ و در نتیجه تولید آسان تر و مقرون به صرفه‌تر صفحه کلاچ.

- به علت بار وارده کمتر بر جعبه دنده، به ازای ضریب اطمینان برابر با حالت قبلی، می‌توان از مواد با مقاومت پایین‌تر یا ابعاد کوچک‌تر استفاده کرد.

- پایان دادن به صدای جغجغه‌ای جعبه دنده که به معنای پایان دادن به شکایات تعداد زیادی از مشتریان است، که از ترس خراب شدن جعبه دنده به علت صدای نامطلوب آن، هزینهٔ زیادی را بر شرکت‌های تولید کننده برای تعویض آن در زمان اعتبار ضمانت وارد می‌کنند.

معایب این سیستم را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- افزایش اندک وزن (که در مقابل وزن خودرو قابل صرف‌نظر کردن است).

- افزایش نایکنواختی در میل‌لنگ، به علت کاهش گشتاور لختی جرم اولیه، که میل‌لنگ با توجه به ضرایب اطمینان در

www.SID.ir
Archive of SID

ساخت، تحمل بار اضافه وارده را دارد.

- گذر از فرکانس بحرانی در حین خاموش و روشن کردن موتور.

۱۰- تقدیر و تشکر

در اینجا لازم است از بخش تحقیقات و توسعه شرکت فولکس واگن در شهر ولفسبورگ آلمان و مخصوصاً از پرفسور برنهارد[1]، رئیس بخش موتور و سیستم انتقال قدرت همچنین از مهندس هیدمیر[2]، مدیر مسئول بخش مربوطه، که امکان انجام آزمایش‌ها و تحقیقات را در آن بخش فراهم نمودند، تشکر و قدردانی شود.

۱۱- فهرست علایم

f	فرکانس (s^{-1})
K	شاخص نایکنواختی
$M_3(t)$	گشتاور لحظه‌ای خروجی از جعبه دنده (Nm)
$N_1(t)$	دور لحظه‌ای موتور $(\min^{-1})$
n_1	دور متوسط موتور $(\min^{-1})$
$N_2(t)$	دور لحظه‌ای 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)
(ZMS/DFC)	چرخ طیّار دو جرمی
ΔN	حداکثر تغییرات در یک دوره تناوب $(\min^{-1})$
δ	درجه نایکنواختی
σ_N	انحراف معیار

۱۲- مراجع

[1] Eckel H. G., “Schwingungstechnik, Module im Technischen Entwicklungszentrum”, *Der Freudenberg Dichtungs- und Schwingungs-technik KG*, Weinheim, 2010.

[2] Ursula G., Institut für Angewandte und Experimentelle Mechanik, “die Vorlesung Körperschall fällt heute aus”, The Course, *Structure-Borne Sound*, doesn't take place today, Stuttgart, 2011.

[3] Berger M., *9. Kolloquium Getriebetechnik Tagungsband, Montage- und Handhabungs-technik*, Technische Universität Chemnitz, 2009.

[4] Maik. B., *9. Kolloquium Getriebetechnik,* “Der Drehzahladaptive Tilger DAT, Der Technologiesprung im Antriebsstrang”, Weinheim, 2011.

[5] Marcus G., “*7. Kolloquium, Mobilhydraulik”*, Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystem-technik, Band 14, 27. / 28. September, Karls-ruhe 2012.

[6] Richard, “*Fahrzeugschwingungen*”, Inhalt der Lehrveranstaltung, Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Strukturdynamik, 2009.

[7] Kimmig K.; “Die selbsteinstellende Kupplung SAC der 2. Generation”, *55. LuK Kolloquim*, 2006.

[8] Markus H., “Kupplungsscheibe mit Frequenz-tilger gegen Rupfschwingungen”, *Kupplungs-scheiben bei der LuK GmbH & Co. KG*, Bühl, 2010.

[9] Hansmann J., Kaal W., Seipel B., Melz T., “Einstellbares Federelement für adaptierbaren Schwingungstilger”, 114. Jahrgang, Darm-stadt, 2012.

[10] Albert A., “Elektronisches Kupplungs-management (EKM, die mitdenkende Kup-plung”, *4. Internationales Kolloquium*, Baden-Baden April 1990.

[11] Beigzadeh A.M.; “Reduzierung der Torsions-ungleichfoermigkeit im Kraftfahrzeugantriebs-strang mit neuartigen Systemen”, Berlin, Dissertation 1997.

[12] Diez W., “Produktpolitik in der Automobil-wirtschaft”, Vorlesung Master AUM, Muenchen Wintersemester, Vol. 101, No. 13, 2012, pp. 101-109.

[13] Jan D.N., “Vermeidung des Ruckelns durch effiziente Getriebeentwicklung”, *ATZ* Vol. 114, No. 2, 2012, pp. 51-58.

[14] Fidlin A., Seebacher R., “Simulationstechnik am Beispiel des ZMS”, *LUK Kolloquim*, Stuttgart Vol. 101, No. 2, 2010, pp 56-71.

[15] Frank A., “Vorlesung Regelungstechnik 1”, Stuttgart, WS. Vol. 101, No. 2, 2009, pp. 150-163.

[16] Kullmann D., Lemke, K. J., Universal Getrie-beprüfstand, “Sonderdruck aus VDI-Berichte”, *VDI-Verlag, Düsseldorf*, Vol. 101, No. 681, 1988, pp. 159-176.

[17] Beigzadeh A. M., “Steigerung des Antriebs-strangkomforts im Kfz durch elektronisches Kupplungsmanagement”, *ATZ Automobil-*

1. Bernhardt
2. Heidemeyer

Archive of SID
www.SID.ir

technische Zeitschrift, Vol. 101, No. 2, 1999, pp. 779-790.
[18] o.V., http://www.downloadcollection.com /iphone/mechanical-desktop-2010.
[19] Workingmodell Theory Manual, *Working-modell Inc.*, Europe 2011.
[20] Schroeder C., "Ansys: Neueste Ansys-14.0-Version automatisiert, vernetzt und besch-leunigt", 2011.
[21] *ANSYS Theory Manual*, ANSYS Inc., Europe 2011.

Archive of SID

www.SID.ir