

بررسی آزمایشی و تئوری تأثیر چرخ طیار دو جرمی در کاهش نوسانات سیستم انتقال قدرت وسیله نقلیه

مجتبی بیگ زاده عباسی

استادیار مکانیک، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان

سیرجان، صندوق پستی ۷۸۱۳۷۳۳۸۵، mba@sirjantech.ac.ir

چکیده- آرامش سرنشینان وسیله 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، صدای جنجه‌ای و بم در جعبه دند و لرزش‌های اتاق خودرو را به دنبال دارند. انفجار ضربه‌ای و متنابوب ناشی از احتراق متور، 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 دند و یکنواخت شد. به این منظور ضمن بررسی روش‌های موجود، در این تحقیق به بررسی و ارائه یک سامانه جدید تحت عنوان چرخ طیار دو جرمی پرداخته می‌شود و نتایج آزمایش‌های ارائه شده با نتایج شبیه‌سازی مقایسه و تأثیر سامانه 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 طیار 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. 781373385 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.

رفت و برگشتی به علت عدم میرایی کافی در سیستم انتقال

قدرت، متخصصین و تولید کنندگان خودرو را بر آن و می‌دارد،

۱- مقدمه

افزایش منابع نوسانات در وسایل نقلیه با موتورهای احتراقی

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 تعییه شده در سیستم انتقال قدرت وسیله نقلیه نیز می‌تواند نقش قابل توجهی را در راستای آرامسازی خودرو ایفا نماید، البته مشروط به این که فر 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 فنربست مورد نیاز است [۷،۸]. 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. میراکن‌های 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 نایکنواختی‌ها و در نتیجه آرامسازی خودرو دارد. در این راستا تفکر راهبردی ساخت کل وسیله نقلیه از طرف مهندس طراح، یا به عبارتی شرکت تولید کننده، تعیین کننده تعداد سیلندر موتور است. البته تذکر این نکته ضروری است، که افزایش تعداد سیلندرها باعث افزایش قیمت ساخت، سنگین‌تر شدن وسیله نقلیه، مصرف سوخت بیشتر و در نتیجه افزایش مواد آلاینده خواهد بود.

۲-۱- تعریف صورت مسئله

هدف از این تحقیق معرفی سیستمی است 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 آمها برای کاهش نوسانات، سیستم نوبنی 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.

تا با تلاش مداوم و مستمر خود تمهیدات لازم و مناسبی را برای بهبود مسائل صوتی، کاهش لرزش و در نتیجه آرامسازی وسیله نقلیه به کار بینندن [۲،۱]. کاهش وزن وسیله نقلیه در خودروهای مدرن نیز می‌تواند خود منبع لرزش قلمداد شود. مهم‌تر از همه احتراق متناوب در موتورهای پیستونی رفت و برگشتی، خود عامل اصلی 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 مهمی را 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 صدای ناشی از برخورد سطوح در گیر چرخ دنده‌های است که در خط انتقال قدرت قرار نمی‌گیرند و هر زمی‌چرخند)، صدای بیم 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 طیار دو جرمی این است که نوسانات دورانی به وجود آمده در جرم دور موتور را از بقیه سیستم انتقال قدرت جدا کند. عبارت ZMS/DFC^۱ همان چرخ طیار دو جرمی است، که به صورت منسجم و با حجم فشرده عرضه می‌شود.

۱-۱- راه حل‌های موجود برای کاهش نایکنواختی‌های دورانی

یکی از راه حل‌های مرسوم و متدالوی، که از اجزای ضروری سیستم انتقال قدرت محسوب می‌شود و بدون آن به هیچ وجه امکان حرکت رضایت بخش خودرو وجود ندارد، نصب چرخ طیار است. در این راستا هر اندازه گشتاور لختی چرخ طیار 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 طیار بر شمرد. البته قابل ذکر است، فضای مورد نیاز نصب چرخ طیار با گشتاور لختی بالاتر، همچنین افزایش جرم خودرو ناشی از آن، به عنوان

1. Zweimassenschwungrad/damped flywheel clutch

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

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

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.

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

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

$$K = \frac{1}{2\sqrt{2}} \delta \quad (8)$$

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 کمی از نقاط ماکزیمم و مینیمم، که در زمان کوتاه و محدود اندازه‌گیری می‌شود، در شاخص نایکنواختی K تعداد زیادی از نقاط ماکزیمم و مینیمم منحنی اندازه‌گیری و ارزیابی می‌شود.

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

در شکل ۲-الف سیستم انتقال قدرت با کلاچ مرسوم در مقابل سیستم انتقال قدرت با چرخ طیار دو جرمی (شکل ۲-ب) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سیستم انتقال قدرت با چرخ طیار مرسوم این‌گونه است که کلاچ با سیستم فنر/میراکن تعییه شده در آن بعد از چرخ طیار قرار دارد، اما یک چرخ طیار 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 ساقمه‌ای شیاردار یا یک یاتاقان لغزشی (شکل ۲-ب) قادرند نسبت به هم حرکت نسبی چرخشی داشته باشند. چرخ طیار دو جرمی نوسانات پیچشی را با سیستم فنر/میراکن تعییه شده در آن جذب می‌کند و اینها را تا حد زیادی حذف می‌کند. این امر سبب می‌شود که نوسانات به خوبی کاهش پیدا کنند.

۲- تعریف معیار نایکنواختی های دورانی

ثابت کردن گشتاور و سرعت دورانی برای سیستم انتقال قدرت موتور احتراق داخلی حالتی ایده‌آل است [۱۰-۱۲]، اما 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 دندنه ۲ و سرعت متوسط موتور $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ در شکل ۱ نشان داده شده است.

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

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

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

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

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

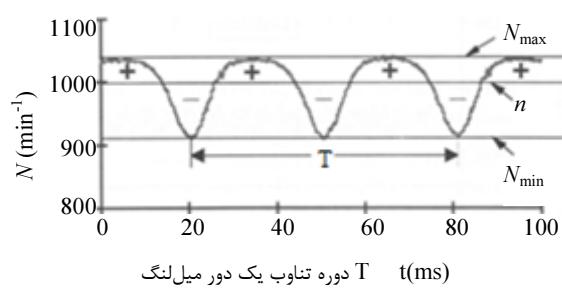
$$\delta = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{n} \quad (3)$$

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

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

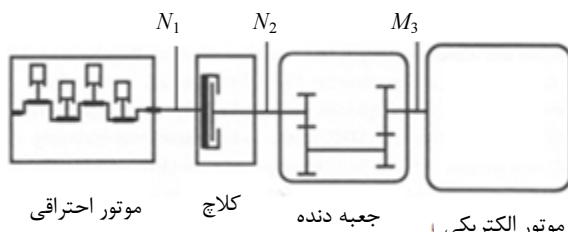
هنگامی که تغییرات متناوب دور حول مقدار متوسط n هماهنگ باشد، می‌توان برای $N(T)$ را نوشت.

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



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

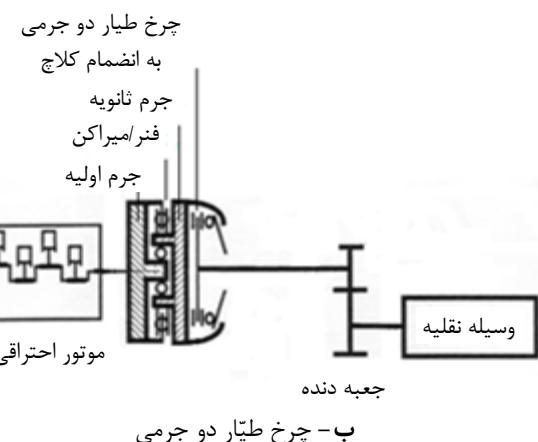
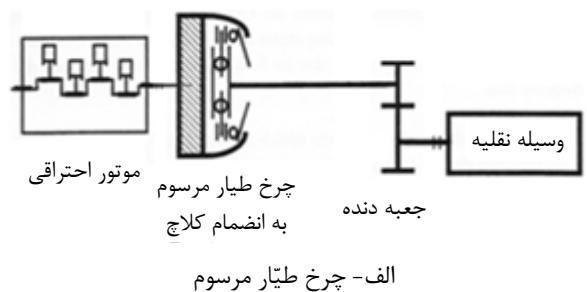
سیستم انتقال قدرت از جمله هر نوع کلاچ و جعبه دنده نصب و مورد آزمایش و بررسی قرار می‌گیرند.



شکل ۳ سامانه 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 $1/9$ لیتر است و جعبه دنده به صورت عمودی نصب شده و موتور با 1000 دور در دقیقه و با دنده 2 در بار کامل و بار نیمه کامل کار می‌کند، در شکل‌های 4 (بار کامل) و 5 (بار نیمه کامل) نشان داده می‌شود. آزمایش‌های انجام گرفته بر اساس سامانه 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 بدن و کابین سرنشیان شده و راحتی آنها را تحت الشاعع قرار می‌دهند. اختلاف فاز و بعض افزایش‌هایی که در دامنه دور ورودی به جعبه دنده مشاهده می‌شود، به چگونگی رفتار فنر/میراکن تعییه شده در کلاچ بر می‌گردد. در محل خروجی جعبه دنده و همچنین محل بین جعبه دنده و موتور الکتریکی، اندازه‌گیری گشتاور از طریق کرنش سنج 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 طیار 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.

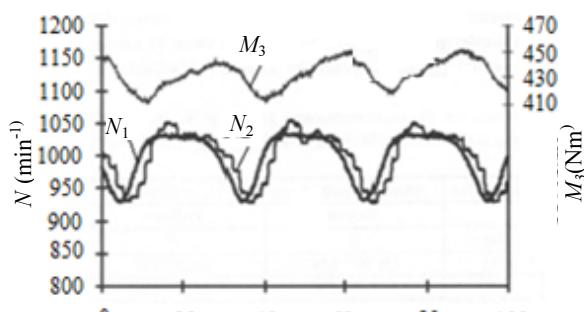


شکل ۲ سیستم انتقال قدرت با چرخ طیار

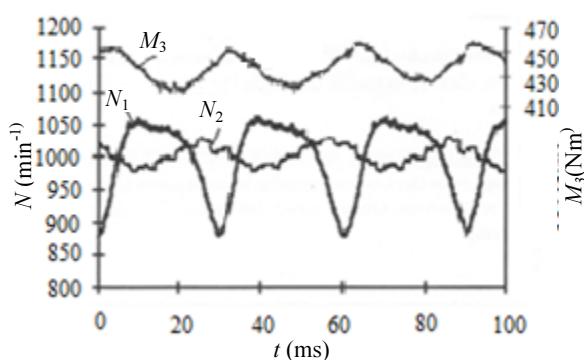
سبک عملکرد چرخ طیار دو جرمی بسیار ساده و مؤثر است. با نصب جرم ثانویه، موقعیت تشیدید که برای میراکن‌های پیچشی اولیه بین 1200 و 2400 دور در دقیقه قرار دارد [۱۴، ۱۳] به دورهای پایین‌تر از فرکانس موتور دارد. این کار سبب می‌شود که فرکانس تشیدید پایین‌تر از فرکانس موتور در حالت خلاصی قرار گیرد. در نتیجه می‌توان 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 سامانه 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 گاردن، اعمال می‌شود. در بین این موتورها تمامی اجزای



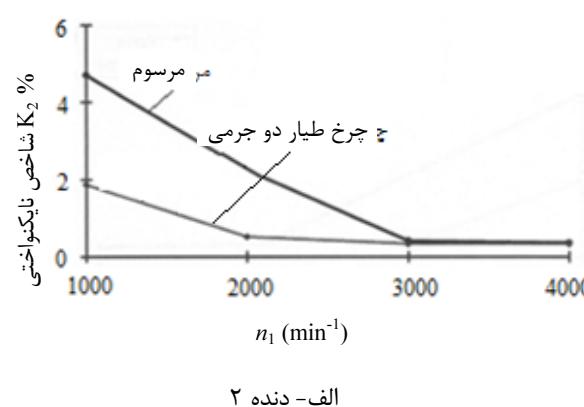
الف- مرسوم



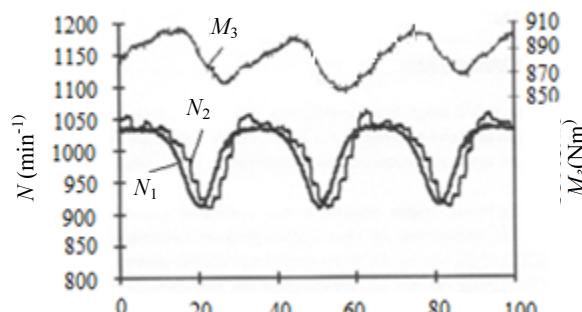
ب- چرخ طیار دو جرمی

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

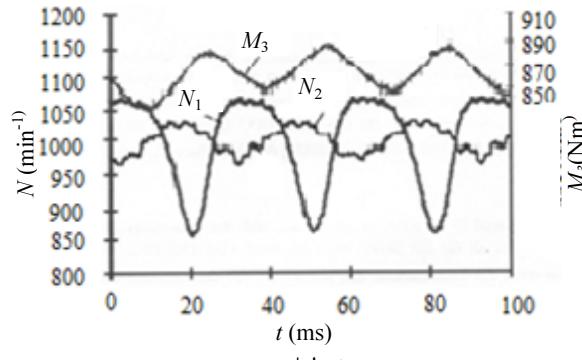
با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته با پارامترهای مختلف از جمله دور، میزان تأثیر دور روی کاهش نایکنواختی را شکل ۶ و شکل ۷ در مقایسه بین حالت مرسوم و چرخ طیار دو جرمی برای دنده‌های ۲ و ۳ در حالت بار کامل و بار نیمه کامل برای ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ دور در دقیقه نشان می‌دهد.



الف- دنده ۲



الف- مرسوم



ب- چرخ طیار دو جرمی

شکل ۶ 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

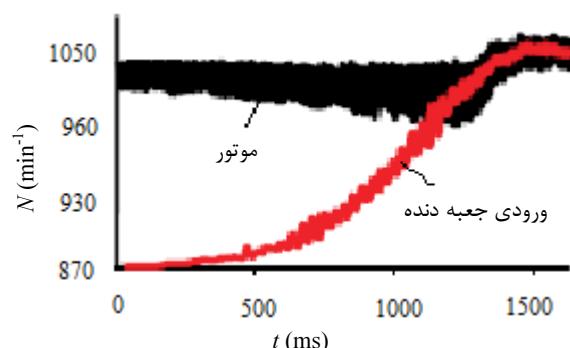
دامنه دور ورودی به جعبه دنده حدوداً یک سوم دامنه دور موتور است. به نسبت کاهش نایکنواختی، آرامش بر وسیله نقلیه حاکم می‌شود. البته این مطلب قابل ذکر است، که به عنوان عیب چرخ طیار دو جرمی می‌توان از افزایش نایکنواختی دور موتور نسبت به حالت مرسوم نام برد (شکل‌های ۴-ب و ۵-ب). علت این افزایش، کاهش گشتاور لختی جرم اولیه چرخ طیار دو جرمی در مقایسه با حالت مرسوم است. اما 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 طیار دو جرمی به وضوح مشخص است، که نایکنواختی‌های 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 وسیله نقلیه به آرامش محسوسی دست می‌یابند.

منظور درک بهتر و نمایش بدون بعد به تصویر کشیده شده است. توضیح آن در بخش ۲ آمده است.

۶- بررسی شروع به حرکت وسیله نقلیه با چرخ طیار دو جرمی

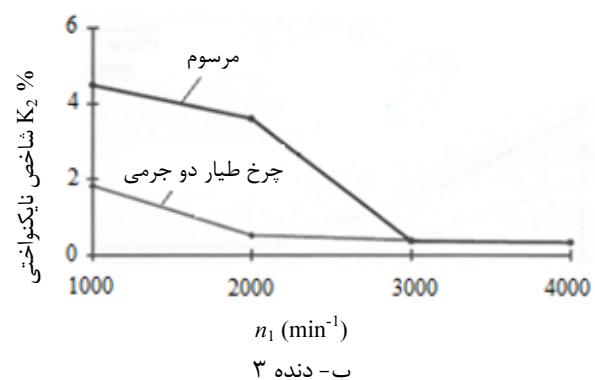
یکی از حالت‌هایی که وسیله نقلیه دچار لرزش می‌شود، شروع به حرکت است (شکل ۸). در شروع به حرکت، چون پدال کلاچ فشرده شده است، به طور معمول دور محور ورودی جعبه دنده صفر است. با رها کردن آرام پدال گاز توسط راننده، محور ورودی دور گرفته و سعی در رساندن دور خود به دور موتور را دارد. قبل از اتصال کامل اجرام اولیه و ثانویه به هم، مشاهده می‌شود که دور موتور اندرکی به طرف پایین کشیده می‌شود، تا اتصال کامل بین آنها برقرار شود. بعد از اتصال کامل اجرام، با اندرکی گاز دادن بیشتر راننده، افزایش دور متوسط مشاهده می‌شود. از شروع به حرکت تا مرحله ثبیت دور، مخصوصاً در هنگام اتصال جرم اولیه و ثانویه کاهش محسوس نوسانات در محور ورودی جعبه دنده مشاهده می‌شود. در ادامه 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.



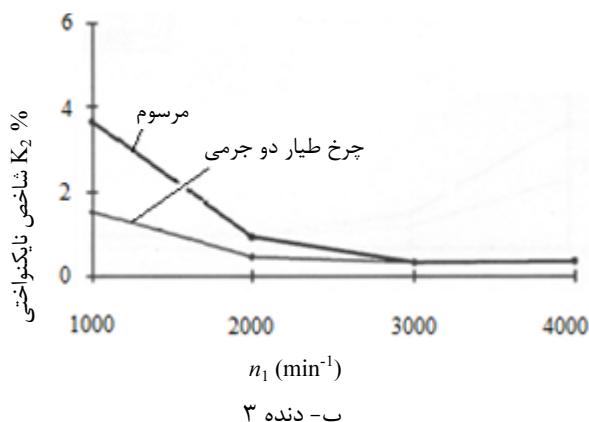
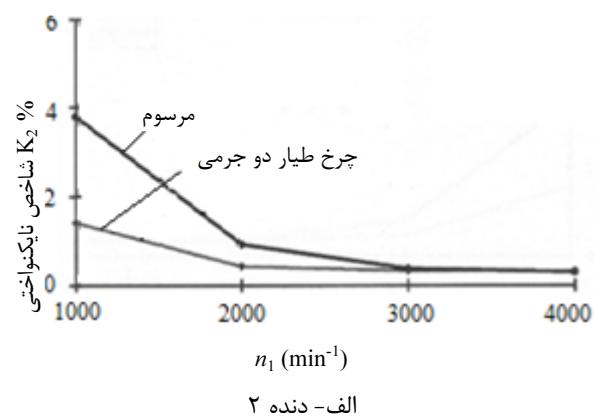
شکل ۸ نمایش چگونگی رفتار دور ورودی جعبه دنده در شروع به حرکت با چرخ طیار دو جرمی [۱۴]

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 اولیه فاز طراحی، کمکی شایان برای توسعه

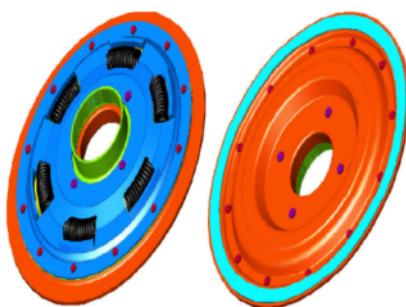


شکل ۶ تأثیر دور در کاهش شاخص نایکنواختی K_2 محور ورودی جعبه دنده با بار کامل



شکل ۷ تأثیر دور در کاهش شاخص نایکنواختی K_2 محور ورودی جعبه دنده با بار نیمه کامل

همان گونه که مشخص است، فقط تا ۳۰۰۰ دور در دقیقه چرخ طیار دو جرمی تأثیر خاص خود را دارد، پس از آن نایکنواختی طبیعتاً چنان پایین است، که چرخ طیار دو جرمی عملاً هیچ نقشی را ایفا نمی‌کند. در اشکال بعدی نمایش داده شده، به جای رسم نایکنواختی، شاخص نایکنواختی K به



شکل ۱۰ مدل مونتاژ شده چرخ طیار دو جرمی در نرم افزار مکانیکال دسکتاپ

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

ورکینگ مدل^۳ یک نرم افزار دینامیکی سه بعدی شبیه سازی، محصول شرکت MSC است [۱۹، ۱۲]. این نرم افزار در صنعت و محیط آکادمیک جایگاه ویژه خود را به دست آورده است. مدل مورد نظر پس از مدل سازی در برنامه مکانیکال دسکتاپ با ورکینگ مدل بارگذاری و تحلیل می شود. تمامی شبیه سازی های انجام شده با برنامه ورکینگ مدل با موتور ۱/۹ لیتر توربو دیزل با ۱۰۰۰ دور در دقیقه انجام گرفته اند.

چگونگی رفتار سیستم انتقال قدرت با چرخ طیار مرسوم را شکل ۱۱ نشان می دهد. همان طور که کاملاً مشخص است، نایکنواختی های موتور تقریباً با همان شدت وارد جعبه دندنه می شوند، اما در سیستم مجهز به چرخ طیار دو جرمی کاهش نوسانات موتور، که وارد جعبه دندنه می گردند، مشاهده می شوند (شکل ۱۲).

همان گونه که در شکل ۱۲ مشهود است، جرم ثانویه با حفظ سرعت متوسط جرم اولیه، از نوسان های کمتری برخوردار است. این کاهش نوسانات وابسته به گشتاور لختی جرم ثانویه است. هر چه گشتاور لختی جرم ثانویه بیشتر باشد، کاهش دامنه ها نیز بیشتر می شود. با افزایش گشتاور لختی جرم ثانویه چرخ طیار دو جرمی، تأثیر آرام سازی وسیله نقلیه مشاهده می شود (شکل ۱۳)، به طوری که دامنه های دور ورودی به جعبه دندنه کاملاً کم می شوند، اما 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.

3. Workingmodell

سریع و مقرر به صرفه محصول انجام شود. در این رابطه طرح های پیشنهاد شده در یک شبیه سازی بررسی و تأثیر پارامترها در رفتار دینامیکی با ملاحظه تمامی سیستم انتقال قدرت می توانند بهینه شوند.

البته برای یک بهینه سازی دقیق باید میراکن های نوسانی دورانی برای تمامی نقاط کاری انجام و همچنین تولرانس های تولید نیز مد نظر قرار گیرند. بدین گونه یک اطمینان کیفیت بین فرایند طراحی، آزمایش و تولید تضمین می شود. قابل ذکر است که برای تضمین کیفیت تولید، باید داده های وسیله نقلیه و موتور دقیق در دسترس باشند. در این صورت است که مسایل احتمالی همچون تنافضات چرخ طیار دو جرمی با مدیریت موتور می توانند خیلی زود شناسایی و تحت ملاحظه تمامی سیستم حل شوند [۱۲].

با استفاده از شبیه سازی، جستجوی هدف دار ایده های نو و بکر به ذهن می آید که می توانند مشروحاً بررسی، ارزشیابی و تولید نمونه های مجازی توسعه یابند.

۱-۷- مدل سازی چرخ طیار دو جرمی در نرم افزار مکانیکال دسکتاپ

نرم افزار مکانیکال دسکتاپ^۱ به منظور طراحی قطعات و قالب های صنعتی توسط شرکت اتodesk^۲ طراحی و به بازار عرضه شده است [۱۸]. مدل های به وجود آمده در شکل ۹ و مدل مونتاژ شده در شکل ۱۰ نشان داده شده اند.



شکل ۹ اجزای چرخ طیار دو جرمی مدل سازی شده در نرم افزار مکانیکال دسکتاپ

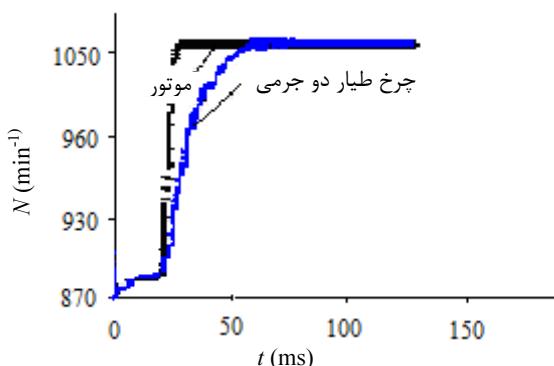
1. Mechanical Desktop
2. Autodesk

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

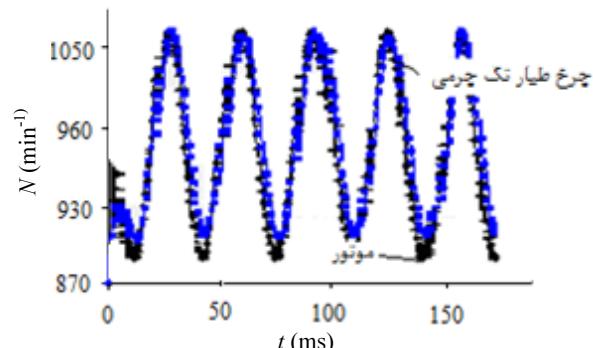
به عنوان نمونه از شبیه‌سازی‌های فراوان انجام گرفته شده، فقط ۳ حالت در اینجا آورده می‌شوند. حالت اول شتاب گرفتن ناگهانی وسیله نقلیه است، که عموماً باعث آزار سرنشیان می‌شود (شکل ۱۴).

در اینجا کاملاً مشهود است که سیستم چرخ طیار دو جرمی‌شدت حرکت را به طور محسوس کاهش داده و باعث آرامش وسیله نقلیه و در نتیجه سرنشیان آن می‌شود. این مزیت بدین طریق حاصل می‌شود که جرم ثانویه به علت گشتاور لختی خود و فنرهای زاویه باز به آرامی به جرم اولیه متصل می‌شود و شتاب ناگهانی موتور را به آرامی انتقال می‌دهد. این حالت شبیه‌سازی با کمک شتاب‌ها یا به عبارتی شبکهای مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل ۱۵ تأثیر شتاب متوسط در چگونگی آرام‌سازی وسیله نقلیه به نمایش گذاشته شده است. در اینجا مشاهده می‌شود که با توجه به شبکه کمتر هنگام شتاب گیری، تأثیر چرخ طیار دو جرمی نیز به همان میزان کاهش می‌یابد.

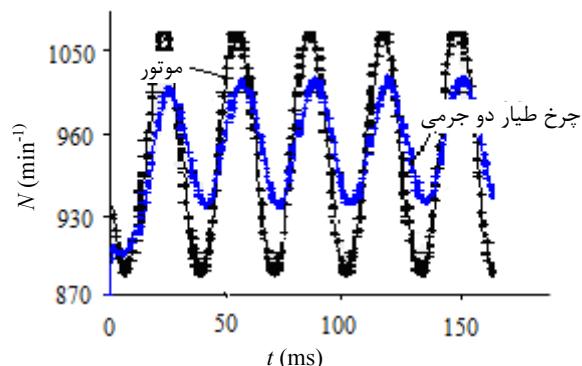
هر چه ورودی نرمتر باشد، تأثیر این سیستم کمتر می‌شود، تا جایی که وقتی ورودی سیستم بسیار آرام باشد، این سیستم مانند چرخ طیار تک جرمی عمل می‌کند (شکل ۱۶). این به آن معناست که سیستم چرخ طیار دو جرمی تأثیر مثبت خود را مخصوصاً در حالت‌های حاد و ویژه به خوبی نشان می‌دهد.



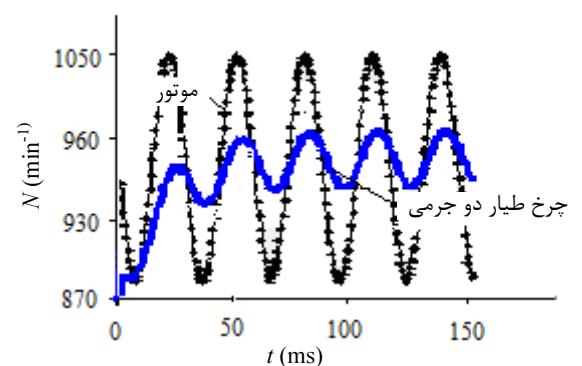
شکل ۱۴ تأثیر چرخ طیار دو جرمی در شتاب ناگهانی



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

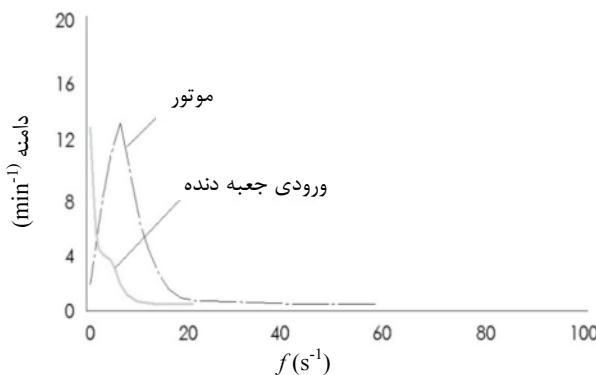


شکل ۱۲ تأثیر چرخ طیار دو جرمی در کاهش نوسانات ورودی به جعبه دنده

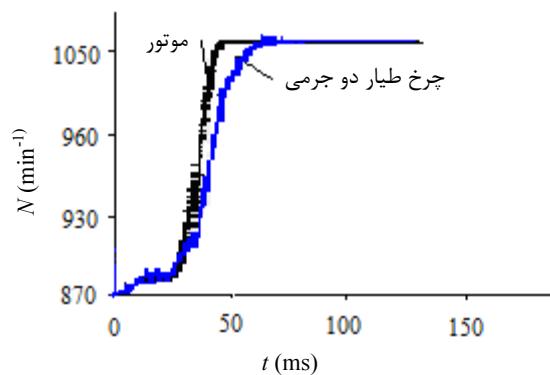


شکل ۱۳ تأثیر افزایش گشتاور لختی جرم ثانویه چرخ طیار دو جرمی در کاهش نوسانات ورودی به جعبه دنده

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.



شکل ۱۷ نمودار دامنه فرکانس برای مدل شبیه‌سازی شده

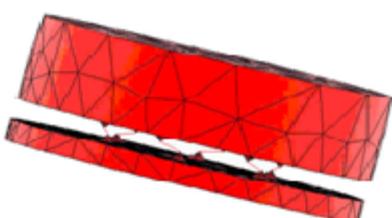


شکل ۱۵ تأثیر چرخ طیار دو جرمی در شتاب متوسط

۴-۷- تحلیل چرخ طیار دو جرمی در نرم افزار انسیس با ارتعاش مودال

پس از طراحی مدل مورد نظر در نرم افزار مکانیکال دسکتاپ، مدل با اعمال فرمان‌های مورد نیاز به طور خودکار در برنامه انسیس^۱ [۲۰، ۲۱] شبکه‌بندی شد (شکل ۱۸).

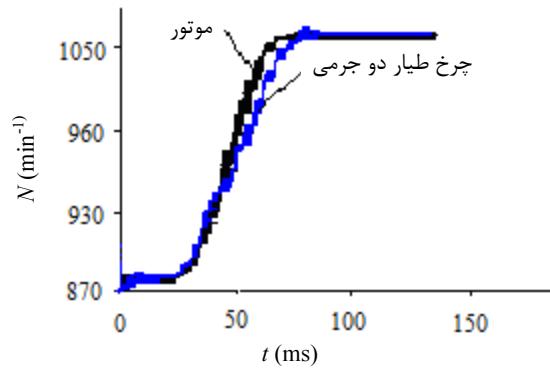
پس از شبکه‌بندی، اجزای فنر تعیین و پس از وارد کردن ثابت‌های هندسی، مدل کامل گردید، در مرحله بعد قیود اعمال شدند. نتایج این شبیه سازی در شکل ۱۹ به صورت ۵ فرکانس اول سیستم مورد نظر، هنگامی که سیستم در بحرانی ترین وضعیت خود است، یعنی کلاچ به طور کامل قفل شده و تحت بارهای ارتعاشی قرار دارد، ارایه می‌شوند.



شکل ۱۸ مدل شبکه‌بندی شده با مشاهده اجزای فنر در نرم افزار 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 طیار دو جرمی در نرم افزار انسیس



شکل ۱۶ تأثیر چرخ طیار دو جرمی در شتاب کم

نتیجه این که در حرکات ناگهانی اتومبیل، سیستم چرخ طیار دو جرمی شدت نوسانات اتومبیل را 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 دامنه دور ورودی به جعبه دنده، یک تأخیر فاز در دامنه مشاهده می‌شود. این پدیده مهم، بسیار قبل توجه و حائز اهمیت است، یعنی این که امکان تنظیم دور آرام موتور در دورهای پایین تر وجود دارد. این حسن می‌تواند از امتیازات ویژه چرخ طیار دو جرمی به حساب آید.

مؤثر برای کاهش نوسانات وسیله نقلیه معرفی می شود که بسیار عالی عمل می کند. مخصوصاً اثر بخشی این سیستم زمانی است که وسیله نقلیه تحت ورودی های بسیار شدید و نوسانی با دامنه زیاد قرار بگیرد، زیرا در ورودی های نرم، این سیستم تقریباً مشابه سیستم چرخ طیار تک جرمی عمل می کند.

سیستم های مدیریت الکترونیکی کلاچ [۱۷، ۱۱، ۱۰] که

جداگانه مورد آزمایش، تحقیق، بررسی و شبیه سازی قرار گرفتهند، قادر به برآورده کردن این منظور می باشند، ولی به علت گران قیمت بودن و همچنین پیچیدگی، استفاده از یک سیستم مکانیکی ساده، ارزان و تعییرپذیر ارجحیت دارد. به اختصار برتری های چرخ طیار دو جرمی در زیر آورده می شوند:

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

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

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

- طول عمر بالاتر جعبه دنده، به علت کاهش نایکنواختی های 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 مقرر به صرفه تر صفحه کلاچ.

- به علت بار وارد کمتر بر جعبه دنده، به ازای ضریب اطمینان برابر با حالت قبلی، می توان از مواد با مقاومت پایین تر یا ابعاد کوچک تر استفاده کرد.

- پایان دادن به صدای جغجغه ای 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، هزینه زیادی را بر شرکت های تولید کننده برای تعویض آن در زمان اعتبار ضمانت وارد می کنند.

معایب این سیستم را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- افزایش اندازه وزن (که در مقابل وزن خودرو قابل صرف نظر کردن است).

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

مشاهده می شود که در این وضعیت نیز سیستم دارای فرکانس های طبیعی پایینی است، به همین دلیل به جهت پدیده تشدید برای سیستم مشکلی ایجاد نمی شود.

۸- پیشنهادها

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

- بررسی خودروها و یافتن پارامترهای مؤثر بر حساسیت سیستم چرخ طیار دو جرمی و سعی در برطرف کردن آنها با نرم افزارهای شبیه سازی.

- توسعه یک برنامه شبیه سازی مختص چرخ طیار های دو جرمی برای یک شبیه سازی بسیار دقیق، که در این صورت همچنین برای تمامی میراکن های نوسانی پیچشی همچنین بهینه سازی تمام سیستم کلاچ می تواند قابل استفاده باشد، ضمن این که برای کنترل کیفیت طراحی نیز می تواند استفاده شود و مزهای طراحی های موجود نیز نمایان شوند.

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

- با توجه به استفاده چرخ طیار دو جرمی در اروپا در وسائل نقلیه شخصی کلاس بالا، تلاش در جهت کاهش هزینه های تولید، برای این که چرخ طیار دو جرمی در اتومبیل های کلاس پایین نیز جایگاه خود را باز کند، ادامه دارد.

۹- نتیجه گیری

سیستم های متداول امروزی قادر به پایان دادن نایکنواختی های سیستم انتقال قدرت به طور مطلوب نمی باشند. نکته قابل توجه در تمامی سیستم های متداول، لرزش هایی در اتاق وسیله نقلیه است که آرامش سرنوشتینان خودرو را تحت تأثیر قرار می دهد. در سیستم چرخ طیار دو جرمی (ZMS/DFC) تا حد بسیار مطلوبی آرامش بر وسیله نقلیه حاکم می شود.

بررسی آزمایشی و شبیه سازی نتایج سیستم چرخ طیار و جرمی، که در قالب این مقاله آمده است، به عنوان راه حلی

- 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, Karlsruhe 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, Darmstadt, 2012.
- [10] Albert A., "Elektronisches Kupplungs-management (EKM, die mitdenkende Kupplung)", 4. *Internationales Kolloquium*, Baden-Baden April 1990.
- [11] Beigzadeh A.M.; "Reduzierung der Torsionsungleichförmigkeit im Kraftfahrzeugantriebsstrang mit neuartigen Systemen", Berlin, Dissertation 1997.
- [12] Diez W., "Produktpolitik in der Automobilwirtschaft", 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 Getriebeprüfstand, "Sonderdruck aus VDI-Berichte", *VDI-Verlag, Düsseldorf*, Vol. 101, No. 681, 1988, pp. 159-176.
- [17] Beigzadeh A. M., "Steigerung des Antriebsstrangkomforts im Kfz durch elektronisches Kupplungsmanagement", *ATZ Automobil-*

ساخت، تحمل بار اضافه وارد را دارد.
- گذر از فرکانس بحرانی در حین خاموش و روشن کردن موتور.

۱۰- تقدير و تشكير

در اينجا لازم است از بخش تحقیقات و توسعه شركت فولكس واگن در شهر ولفسبورگ آلمان و مخصوصاً از پرسور برنهايد،^۱ رئيس بخش موتور و سистем انتقال قدرت همچنین از مهندس هيديمير، مدیر مسئول بخش مربوطه، كه امكان انجام آزمایشها و تحقیقات را در آن بخش فراهم نمودند، تشکر و قدردانی شود.

۱۱- فهرست عاليه

فرکانس (s^{-1})	f
شاخص نايكنواختي	K
گشتاور لحظه‌ای خروجی از جعبه دنده (Nm)	$M_3(t)$
دور لحظه‌ای موتور (min $^{-1}$)	$N_1(t)$
دور متوسط موتور (min $^{-1}$)	n_1
دور لحظه‌ای جعبه دنده (min $^{-1}$)	$N_2(t)$
دور ماکزيم (min $^{-1}$)	N_{\max}
دور مينيم (min $^{-1}$)	N_{\min}
دامنه (min $^{-1}$)	\hat{n}
دوره تناوب (s)	T
زمان (s)	t
چرخ طیار دو جرمی (ZMS/DFC)	
حداکثر تغييرات در يك دوره تناوب (min $^{-1}$)	ΔN
درجه نايكنواختي	δ
انحراف معيار	σ_N

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

1. Bernhardt
2. Heidemeyer

- [20] Schroeder C., "Ansys: Neueste Ansys-14.0-Version automatisiert, vernetzt und beschleunigt", 2011.
- [21] *ANSYS Theory Manual*, ANSYS Inc., Europe 2011.
- [22] *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.