



بررسی اثرات جانبی ناشی از خنک کاری در دسته موتورهای نوین فعال چندمحفظه‌ای

علی مهرکیش^{۱*}، مسعود طهبانی^۲

^۱گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، ali.mehrkish@yahoo.com

^۲گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، mtahani@um.ac.ir

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۵۱۱-۸۸۰۶۰۵۵

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۰۲ مهر ۱۳۹۲

پذیرش: ۰۸ دی ۱۳۹۲

کلیدواژه‌ها:

جداسازی ارتعاشات

دسته موتور

خنک کاری

شبیه‌سازی

راهبرد پایش

با توجه به اینکه نامیزانی موتور و ورودی‌های ناشی از ناهمواری جاده، از جمله منابع تولید ارتعاشات‌اند و موجب کاهش عملکرد وسیله نقلیه می‌شوند، تحقیقات زیادی برای یافتن دلایل ارتعاشات موتور و وسیله نقلیه و روش‌های کاهش آن انجام شده است، اما همچنان حوزه‌های بررسی نشده زیادی در موضوع شبیه‌سازی و جداسازی ارتعاشات موجود است. از جمله این موارد می‌توان به موضوع خنک کاری در دسته موتورهای فعال و اثرات جانبی آن بر ساختار و عملکرد آنها اشاره نمود. این تحقیق با در نظر گرفتن این موضوع که گرمای تولید شده در دسته موتورهای فعال سبب کاهش عملکرد آنها می‌گردد، پس از بررسی راه حل این معضل به معرفی دسته موتور نوین توسعه یافته چند محفظه‌ای با قابلیت خنک کاری و تشریح دلایل بهبود شرایط حرارتی پرداخته و در نهایت به کاوش پیرامون اثرات ارتعاشی و عملکردی آن اقدام می‌شود. در ادامه شبیه‌سازی ارتعاشی سامانه ارائه و اثر متغیرهای محفظه جدید بر نتایج نیز بررسی شد. بر این اساس استفاده از مجرای میانی و افزودن محفظه‌ای جدید به عنوان راه حلی برای بهبود خنک کاری مطرح می‌شود و با بررسی طرح جدید ارتعاشی و روند پایش عدم تأثیرات سوء بر اثر تغییرات بوجود آمده در دسته موتور، تایید می‌گردند. در انتها نیز با اشاره به روند پایش حاکم بر سامانه، راهبرد پایش مناسب پیشنهاد می‌شود.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱) مقدمه

از جمله مباحث مطرح در صنعت خودروسازی، که سهم زیادی در جلب رضایت و افزایش کیفیت خودرو دارد، مسائل حرکت و لرزش خودرو است. این مسائل را در نگاهی کلی می‌توان به دو گروه تقسیم بندی نمود. در گروه نخست، تأثیر و عملکرد اجزای دخیل در ارتعاشات خودرو بررسی می‌شود و در دسته دیگر به اهمیت مفاصل و اتصالات این اجزا توجه می‌شود. بحث اول به بررسی ارتعاشی-دینامیکی و بحث دوم به تحلیل نیرویی-ارتعاشی و استحکام اجزا اختصاص دارد. بحث دربارهٔ دسته‌موتورها از جمله موردهایی است که به موضوع یکی از اجزای مؤثر در زمینه ارتعاشی خودرو می‌پردازد.

در طراحی دسته‌موتورها مهمترین دغدغه به توازن در آوردن دو معیار متضادی است که در نتیجهٔ ورودی‌های ارتعاشی متفاوت وارد به خودرو (ورودی‌های جاده و موتور) به وجود می‌آیند.

با توسعهٔ صنعت خودرو، زمینهٔ گرایش به سوی استفاده از دسته‌موتورهای کارآمدتر، فراهم شده است. به صورت کلی دسته‌موتورهای وسایل نقلیه در سه موضوع تحمل وزن موتور، جذب ارتعاشات موتور، جلوگیری از حرکت بیش از اندازهٔ موتور به سبب جاده، شتاب‌گیری یا ترمزگیری کاربری دارند [۱].

قدیمی‌ترین نوع دسته‌موتور، با نام دسته‌موتورهای غیرفعال ارتجاعی شناخته می‌شوند. از مزایای آنها قیمت مناسب، نگهداری و تعمیرات آسان، شبیه‌سازی ریاضی ساده و ابعاد مناسب آنهاست. از دیگر سو دسته‌موتورهای ارتجاعی نرم غیرفعال، تحمل وزن موتور را برآورده می‌نمایند اما در سایر موارد عملکرد راضی‌کننده‌ای ندارند.

در حل معضل توازن معیارهای عنوان شده باید به گونه‌های دیگر از دسته‌موتورها رجوع نمود. دسته‌موتورهای روغنی (هیدرولیکی) به صورت رضایت بخشی این مشکل را برطرف نمی‌کنند اما با این وجود میرایی را در بسامدهای کم افزایش می‌دهند (به دلیل شیار لختی^۱) و موجب کم شدن جداسازی ارتعاشات در بسامدهای بزرگ می‌گردند (به دلیل جداکننده). از دیگر مشکلات این نمونه‌ها می‌توان به قیمت گران، پیچیدگی طراحی و قابلیت اطمینان ضعیف آنها اشاره نمود. با این وجود بسیاری از خودروسازان به دلیل تمایل به خودروهای سبک با نوفه^۲ و ارتعاشات کم، روی به دسته‌موتورهای روغنی آورده‌اند، اما همان‌گونه که اشاره گردید این گونه نیز تمام مشکلات را برطرف نمی‌کند. لذا برای رفع برخی دیگر از مشکلات، روش‌های پیش‌انطباقی ارتعاشات اعمال می‌گردد که در دو گونهٔ فعال و شبه فعال عمل می‌کنند [۱]. به عبارتی نگاه‌ها به سوی دسته‌موتورهای با خواص دینامیکی وابسته به بسامد و دامنه جلب شده است.

آنچه مشخص است، دستیابی به خواص صدا، ارتعاش و ناهنجاری (NVH)^۳ مناسب‌تر، استفاده از دسته‌موتورهای فعال را ضروری ساخته است. همین امر سبب گشته تا بیشتر تلاش‌ها به موضوع دسته‌موتورهای فعال و شبه‌فعال و اصلاح ایرادات و بهبود عملکرد آنها اختصاص یابد. موضوعی که جنبه‌های مختلفی از جمله شبیه‌سازی‌های جدید، آزمایش‌های تجربی مختلف و تحلیل‌های گوناگون را بر روی دسته‌موتور فعال به همراه داشته است.

از جمله این موضوعات می‌توان به مباحث حرارتی حاکم بر دسته‌موتور بویژه آسیب حرارتی بخش‌های ارتجاعی نرم، روش‌های انتقال حرارت و راه‌های پیشگیری از آسیب‌ها اشاره نمود. بنابراین باید به پژوهش دربارهٔ اثرات ارتعاشی و عملکردی ناشی از روش‌های پیشنهادی برای حل این معضلات نیز توجه شود.

در این مطالعه پس از تبیین مشکلات حاصل از آسیب‌های حرارتی در دسته‌موتورهای فعال مرسوم، با اعمال تغییرات ساختاری بر یکی از نمونه‌های پیشنهاد شده در سالیان اخیر، به معرفی دسته‌موتور نوین توسعه‌یافته چند محفظه‌ای با قابلیت خنک‌کاری و تشریح دلایل بهبود شرایط حرارتی پرداخته و در نهایت با شبیه‌سازی عملکرد ارتعاشی آن، اثر متغیرهای محفظهٔ جدید بر نتایج بررسی می‌شود. در انتها نیز با پژوهش بر روی روند پایش، راهبرد پایش مناسب شرح داده می‌شود.

۲) دسته‌موتورهای فعال و شبه فعال

دسته‌موتورهای شبه‌فعال معمولاً از دسته‌موتورهای غیرفعال که برخی متغیرهای آنها قابل پایش‌اند، تشکیل شده‌اند که از آنها در بهبود عملکرد سامانه در بسامدهای کوچک بهره برده می‌شود. این در حالی است که نوع فعال، از دسته‌موتور غیرفعال به همراه حسگر ارتعاشات، عملگر و پایش‌کنندهٔ معمولاً برقی ساخته شده است. در هر دو دسته‌موتور فعال و نیمه‌فعال، استفاده از نوع غیرفعال به این منظور است تا اگر سامانهٔ هوشمند دچار نقص شود، مجموعه به سامانه‌ای غیرفعال تبدیل گردد [۲].

در مسیر گسترش تحقیقات بر روی دسته‌موتورها برای نخستین بار طرح دسته‌موتور با سیالات^۴ ER^۴ به را ویلیامز^۵ و همکاران [۳] معرفی کردند. لزجت این سیالات با قرار گرفتن در میدان برقی تغییر می‌کند. البته هنگ^۶ و همکاران [۴] نیز در سال ۲۰۰۱ به معرفی دسته‌موتور ER با توانایی تحمل بار ایستایی ۷۰ کیلوگرم اقدام نمودند.

کارلسن^۷ و همکاران [۵] سیالات MR^۱ و کاربرد آنها را در جذب ارتعاشات معرفی کردند و به مقایسهٔ آنها با سیالات ER پرداختند.

³ Noise, Vibration and Harshness

⁴ Electro-Rheological

⁵ Williams

⁶ Hong

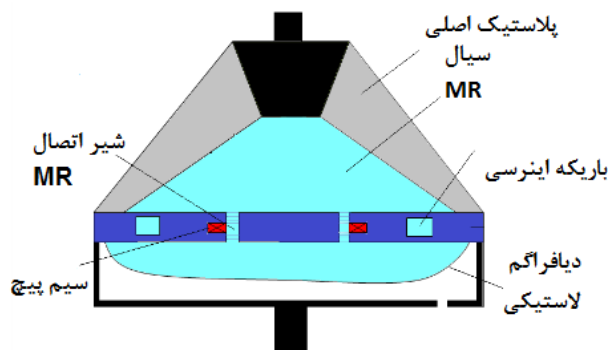
⁷ Carlson

¹ Inertia

² Noise

را برای جذب ارتعاشات جستجو می‌کند و ACM آزمایشی بخوبی نیروی ارتعاشات موتور را جذب می‌کند.

کوک^{۱۳} و آهن^{۱۴} [۱۲] دسته‌موتور روغنی جدید شبه فعالی را با باریکه لختی قابل پایش مطرح کردند. آنها با معرفی باریکه لختی قابل پایش و اجرای تغییرات چشمگیر در خواص دینامیکی با توجه به مساحت باریکه لختی، شبیه سازی جذب و مجزا نمودن ارتعاشات موتور را ارائه دادند که شامل پایش مساحت باریکه لختی تحت ضربه و برانگیختگی چند سوپه در دسته‌موتورهای روغنی غیرفعال می‌شود. آن‌ها با اشاره به این نکته که بسیاری از محققان به جابجایی دسته‌موتورها در کاهش سختی دینامیکی که موجب کاهش نیروی انتقالی به کفی می‌شود توجهی نکرده‌اند، بیان می‌کردند که شبیه‌سازی انجام شده مبین آنست که جاذب‌های غیرفعال از تغییر مساحت باریکه لختی تأثیر پذیرفته‌اند. فیضی^{۱۵} و همکاران [۱] شبیه سازی دسته‌موتوری MR را در دستور کار قرار دادند. مطالعه آنها نشان داد با افزایش میدان مغناطیسی سختی دینامیکی دسته‌موتورها نیز قابل تغییر است. مطالعه آنها بر روی شبیه سازی و شبیه‌سازی دو طرح از دسته‌موتور MR که اندیشه اولیه آن را باربر^{۱۶} و کارلسون^{۱۷} [۱۳] در سال پیش از آن ارائه کرده بود، متمرکز گشت (شکل ۱). حسینی و همکاران [۱۴]، نمونه عملگر ارزان قیمتی را طراحی و شبیه سازی نمودند. آنها در تحقیقات تحلیلی و تجربی خود عنوان نمودند که معادلات غیرخطی سیم‌پیچ در برخی از کاربردهای خاص آن، توانایی خطی سازی را خواهند داشت. در انتها نیز به بررسی کاربرد آن در دسته‌موتورها پرداختند. در همین سال دسته‌موتور برقی- آهنربایی فعالی پیشنهاد شد که از انتقال گرمای تولید شده در سیم‌پیچ به اجزای مختلف ارتجاعی نرم دسته‌موتور جلوگیری می‌کند و مانع از ایجاد آسیب به دسته‌موتور می‌شود و ضمن افزایش مقاومت و ماندگاری آن، ابعاد آن را کاهش داده و ساختار آن را ساده‌تر می‌کند [۱۵] (شکل ۲).



شکل ۱: دسته‌موتور با سیال MR

بودندیستل^۲ [۶] موفق به اختراع گونه ای جدید از دسته‌موتورهای برقی-آهنربایی گشت که سیال در مسیری حلقوی بین مخزن و اتاقک تلمبه در جریان بود. وحدتی^۳ و احمدیان^۴ [۷]، طراحی مفهومی جدیدی از دسته‌موتورهای روغنی نیمه‌فعال بر اساس شبیه‌سازی و محاسبات ریاضی معرفی کردند. مطالعات آنها بر روی تغییر خواص دینامیکی دسته‌موتور تحت اثر سختی حجمی محفظه پایینی متمرکز بوده است. همچنین فومنی^۵ [۸] به جاسازی سیم‌های همراه با همبسته حافظه‌دار در کنار فنر ارتجاعی نرم دسته‌موتور برای ایجاد انعطاف در آن اقدام نمود. او به کمک جابجایی بین بیشینه و کمینه مقدار انعطاف در محفظه بالایی موفق به ایجاد تغییر در خواص دینامیکی گشت.

شیم^۶ و مورگولیس^۷ [۹] دسته‌موتورهای پایش‌شده تعادلی را برای جذب ارتعاشات موتور اجسام پرنده که از دسته‌موتورهای معمول نرم‌تر است، بست دادند. وضعیت تعادل دسته‌موتور می‌تواند به وسیله فشردن و یا تخلیه هوا در دسته‌موتور به کمک دریچه‌های پایش بدست آید. آنها با در نظر گرفتن اثر ترمودینامیکی و ویژگی انتقال حرارت هوا، منطق پایش دریچه و معادله حرکت، طرح شبیه‌سازی CEM^۸ را توسعه دادند. در بررسی چویی^۹ و همکاران [۱۰]، دسته‌موتوری آهنربایی با حالت ترکیبی همراه با سیال MR مطرح و برای پایش ارتعاشات تیری ارتجاعی تحت بار خارجی به کار گرفته شد. طبق عدد بینگهام^{۱۱}، ابعاد مناسب دسته‌موتور مغناطیسی طراحی و ساخته گشت. پس از تعیین آزمایشگاهی نیروی میرایی وابسته به میدان مغناطیسی، ساختار سامانه شامل تیر ارتجاعی و جسم صلب ارتعاش کننده شبیه سازی شد و معادله حرکت حاکم پایش فضای حالت نمایش داده شد. همچنین لی^{۱۱} و همکاران [۱۱] در سال ۲۰۰۹ نمونه جدید از دسته‌موتورهای فعال (ACM)^{۱۲} را مطالعه کردند. این بررسی به دسته‌موتورهای برقی- آهنربایی فعال و غیرفعال اشاره می‌کند که پایش رو به جلو دارند. نویسنده از دو حسگر بهره برده است: یکی برای اندازه‌گیری نیروی انتقالی به ACM و دیگری برای نمایش موقعیت آن. از همین رو، این دسته‌موتور به عنوان پایشگری متأثر از مکان عمل می‌کند. نتایج بدست آمده از نمونه اولیه نشان داد که رفتار ACM در شرائط دینامیکی محدوده بسامد مورد نظر، دقیق است. همچنین روند تخمین ارتعاشات با بازده بزرگ علامت‌های پاد ارتعاش

1 Magneto-Rheological

2 Baudendistel

3 Vahdati

4 Ahmadian

5 Foumani

6 Shim

7 Margolis

8 Controlled equilibrium mounts (CEM)

9 Choi

10 Bingham

11 Lee

12 Active control engine mount

13 Quoc

14 Ahn

15 Feizi

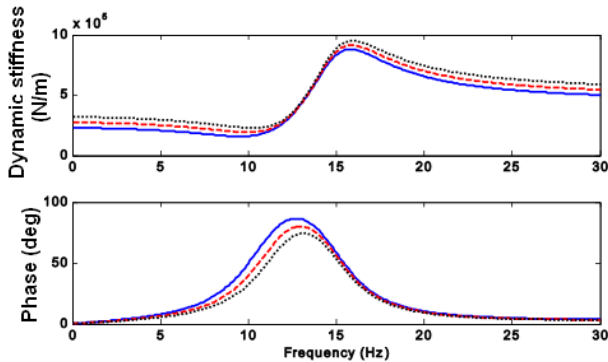
16 Barber

17 Carlson

سختی دینامیکی در دسته‌موتورهای فعال مرسوم، بر اساس متغیرهای جدول ۱ شبیه سازی منصور و همکاران [۱۶] در نرم‌افزار متلب با روندهای رایج شبیه سازی [۱۸] تکرار می‌گردد. در این حالت A_p و بالایی و پایینی‌اند. در نهایت برای ضرایب سختی مختلف در حالت حرکتی مشخص وسیله نقلیه که در ادامه معرفی می‌شوند، می‌توان نتیجه مشابهی (شکل ۶) مانند نتایج بدست آمده برای دسته‌موتورهای روغنی (شکل ۳) یافت.



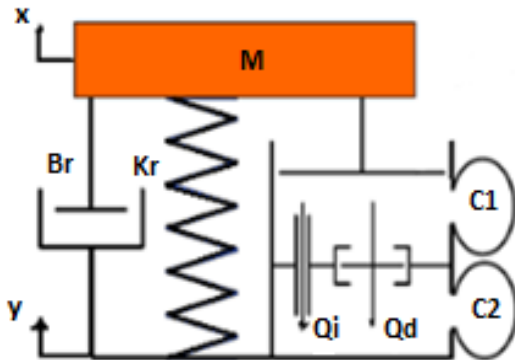
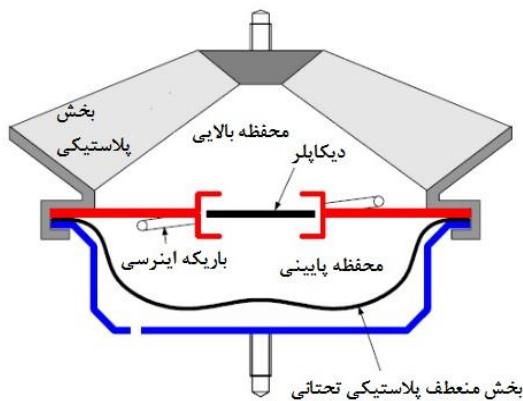
شکل ۲: نمای مقطع جانبی دسته‌موتور پیشنهادی در نرم افزار کتیا



شکل ۳: تأثیر تغییرات سختی خطی بر روی سختی دینامیکی در دسته

موتورهای روغنی مرسوم [۲]

$$K_r + 40\% \dots, K_r + 20\% \text{ ---}$$



شکل ۴: نمایی از اجزای اصلی و جرم متمرکز دسته موتور روغنی [۲]

۳) بررسی تأثیرات حرارتی بر عملکرد دسته موتور

از جمله مهمترین موضوعاتی که سبب کاهش عملکرد در دسته‌موتورهای فعال برقی- آهنربایی مرسوم می‌گردد، می‌توان به آسیب دیدن بخش‌های ساخته شده از ارتجاعی نرم در دسته‌موتور، ناشی از اثرات حرارتی تولید شده از سیم پیچ استوانه‌ای شکل که برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می‌شود، اشاره نمود.

همچنین افزایش دما موجب کاهش سختی ایستایی دسته‌موتور می‌شود و این موضوع می‌تواند سبب تغییر شکل نمودار سختی دینامیکی گردد. در شکل ۳ تأثیر تغییرات ضریب سختی را در دسته‌موتورهای روغنی مرسوم که در شکل ۴ اجزا و شبیه سازی جرم متمرکز آن نشان داده شده‌اند، می‌توان مشاهده نمود. دسته‌موتورهای روغنی، بخش غیرفعال دسته‌موتورهای فعال را تشکیل می‌دهد که C_1 و C_2 ضرایب انعطاف حجمی محفظه‌هایند و K_r و B_r سختی و میراکننده ارتجاعی نرم دسته‌موتورند. همچنین Q_i ، R_i و I_i بترتیب نرخ جریان، مقاومت و لختی سیال عبوری از باریکه لختی‌اند.

بر این اساس کاهش در سختی ماده ارتجاعی نرم باعث افزایش اختلاف زاویه می‌شود. از دیگر سو افزایش دما موجب کاهش مقاومت سیال (گلیکول) می‌شود که باعث محدود شدن حرکت آن در تشدید (رزونانس) می‌گردد و فشار بیشینه، کاهش می‌یابد و پاسخ سختی دینامیکی بر حسب بسامد سامانه هموارتر می‌شود. البته با توجه به آن که زمانی که دمای گلیکول افزایش می‌یابد لزجت سینماتیکی این سیال غیرنیوتونی به سمت آب میل می‌کند، می‌توان چنین عنوان نمود که اثر افزایش دمای گلیکول بر پاسخ دینامیکی نهایی تا آنجا که سردتر از دمای شرایط داغ موتور (۱۶۰ درجه سانتیگراد) باشد، ضعیف است [۱۶].

به طور مشابه شبیه‌سازی برای دسته‌موتور فعال برقی- آهنربایی شکل ۵ را که منصور^۲ و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۱۱ ارائه کردند، انجام شده است. برای بررسی تأثیر تغییرات سختی خطی بر روی

1 Catia

2 Mansour

الف) اثرات حرارتی بر سیال داخل دسته‌موتور:

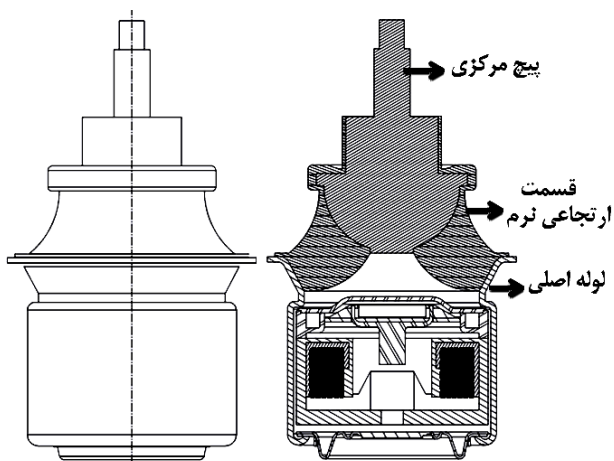
به طور معمول زمانی که دمای سیال گرمتر می‌شود لزجت کاهش می‌یابد، زیرا در مایعات نیروی چسبندگی بین ملکول‌ها نسبت به انتقال اندازه حرکت ملکولی بیشتر است. لذا با افزایش دما مقدار تحرک مولکول‌ها و در نتیجه اندازه حرکت آنها افزایش می‌یابد در نتیجه نظم ملکولی (ساختاری) و نیروی چسبندگی بین مولکول‌ها و بالتبع آن لزجت کاهش می‌یابد.

چون سیال درون دسته‌موتور اثر خنک کننده را دارد، در دسته‌موتور توسعه یافته سیم پیچ به عنوان منبع تولید کننده گرما در نظر گرفته می‌شود و با حرکت پیایی سیال درون مجرای میانی عمل خنک کاری صورت می‌گیرد. می‌توان گفت که دمای سیال عامل آن قدر نسبت به سیم پیچ‌ها خنک است که حرکت ارتعاشی دسته‌موتور با حرکت مکرر سیال موجب خنک کاری می‌شود [۱۵].

ب) اثرات مخرب بر بخش‌های ارتجاعی نرم دسته‌موتور: همان گونه که اشاره گردید، سیم پیچ به عنوان منبع تولید کننده گرما است. گرمای تولید شده به یکی از دو روش رسانش و همرفت منتقل می‌گردد. این گرما در کنار گرمای تولید شده موتور می‌تواند، اثر مخربی بر ایجاد آسیب به بخش‌های ارتجاعی نرم دسته‌موتور داشته باشد.

۴) معرفی ساختار دسته‌موتور فعال چندمحفظه‌ای با قابلیت خنک کاری

این نمونه شامل قسمت ارتجاعی نرم اصلی است که به یک طرف آن پیچ مرکزی جفت می‌شود و طرف دیگرش به جداره اصلی^۱ متصل شده است (شکل ۷).



شکل ۷: دسته‌موتور چند محفظه ای با قابلیت خنک کاری در نرم افزار کتیا

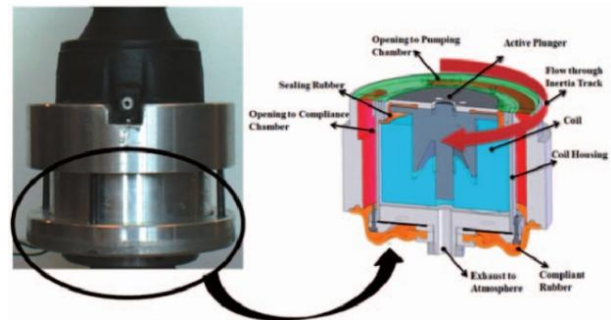
به طور خلاصه اثرات حرارت تولید شده در سیم پیچ دسته‌موتور را می‌توان در دو قالب خلاصه نمود.

الف) اثرات حرارتی بر سیال داخل دسته‌موتور

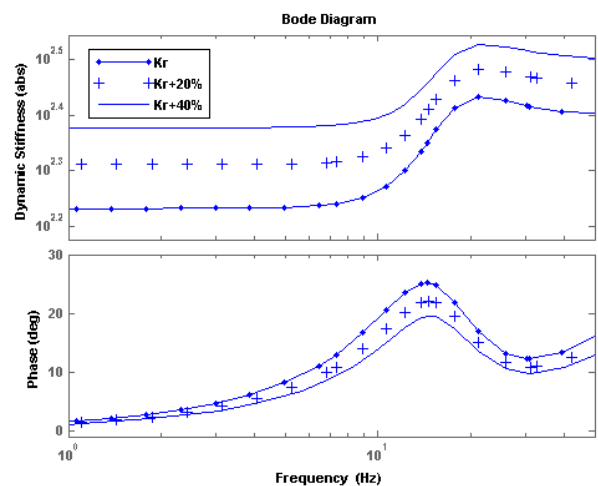
ب) اثرات مخرب بر بخش‌های ارتجاعی نرم دسته‌موتور

جدول ۱: متغیرهای بکار رفته در شبیه سازی دسته موتور فعال مرسوم [۱۹]

مقدار مشخصه	نام مشخصه (واحد)
۱۷۰	$K_r (N/mm)$
۰,۲۱۵	$B_r (N.S/mm)$
$۲,۰۵ \times ۱۰^{-۵}$	$C_1 (mm^5/N)$
$۲,۰۳ \times ۱۰^{-۷}$	$C_2 (mm^5/N)$
۱۷۸۸	$A_a (mm^2)$
۳۶۵۰	$A_p (mm^2)$
$۴,۳ \times ۱۰^{-۱۰}$	$I_i (N.S^2/mm^5)$
$۳,۹ \times ۱۰^{-۸}$	$R_i (N.S /mm^5)$



شکل ۵: دسته موتور برقی - آهنربایی مرسوم در سال ۲۰۱۱ [۱۶]



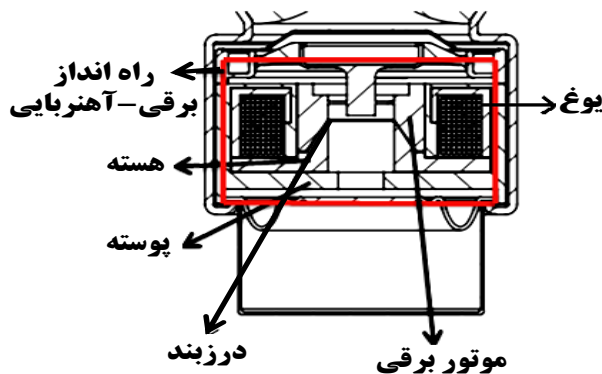
شکل ۶: تأثیر تغییرات سختی خطی بر روی سختی دینامیکی در دسته موتورهای فعال مرسوم

¹ Main pipe

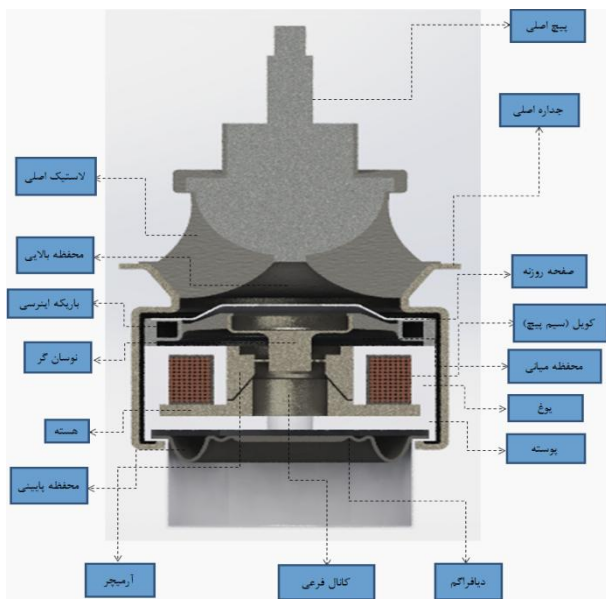
سیم پیچ گرما تولید می کند، از طریق هوا به صورت جزئی خنک می شود (قسمت خارجی) اما دفع گرمای قسمت داخلی بسیار مهم است که راهگاه فرعی بخوبی این مهم را اجرا می کند و همین طور حجم و وزن دسته موتور به این وسیله کاهش می یابد [۱۵]. در شکل ۱۰ نحوه اتصال بخش های مختلف نمایش داده شده است.



شکل ۸: ریز اجزای بخش میانی دسته موتور توسعه یافته چندمحفظه ای با قابلیت خنک کاری



شکل ۹: ریز اجزای بخش تحتانی دسته موتور توسعه یافته چندمحفظه ای با قابلیت خنک کاری



شکل ۱۰: اجزای دسته موتور توسعه یافته چندمحفظه ای با قابلیت خنک کاری در نرم افزار سالیید ورک^۴

صفحه روزنه به طرف دیگر جداره اصلی متصل می شود. محفظه میراکننده (شامل ۳ محفظه بالایی، میانی و پایینی است) که از اتصال ارتجاعی نرم اصلی، جداره اصلی و صفحه روزنه حاصل می شود، از سیال عامل پر شده است و یک قسمت روزنه در بخش میانی تعبیه شده است که جزء نوسان کننده در آن حرکت می کند. نوسانگر به منظور کاهش ارتعاشات به توسط راه اندازی برقی- آهنربایی ارتعاش تولید می کند. محفظه میراکننده به وسیله نوسانگر و روزنه به دو قسمت بالایی و میانی تقسیم و محفظه میانی نیز از طریق راهگاه فرعی به محفظه پایینی (زیرمحفظه خنک کننده) متصل می شود. راه انداز برقی- آهنربایی شامل: قسمت سیم پیچ که نیروی برقی- آهنربایی را تولید می کند، موتور برقی که از یک طرف به نوسانگر (نوسانگر به وسیله نیروی برقی- آهنربایی بالا و پایین می رود) جفت شده است و راهگاه فرعی^۱ که به صورت عمودی در طول قسمت مرکزی سیم پیچ و موتور برقی عبور می کند، است. این راهگاه محفظه میانی و پایینی را به یکدیگر متصل می کند. قسمت سیم پیچی نیز شامل: سیم پیچی که به صورت حلقه پیچیده شده است و یوغی آن را مهار می کند، هسته ای که موتور برقی به صورت مداوم از آن متصل و منفصل می شود و پوسته^۲ که یوغ و هسته را پیوند می دهد، است. یوغ، پوسته و هسته مجموعاً با قالب گیری تزریقی شکل گرفته اند، به طوری که سیال عامل، درون پوسته جاری نمی شود. هنگامی که موتور برقی از هسته جدا می شود درزگیر، هسته و پوسته را در فضای خالی^۳ ایجاد شده آبندی و از اتصال کوتاه جلوگیری می کند. جاری شدن سیال درون فضای خالی، نوفه حاصل از اتصال و انفصال مکرر موتور برقی را از هسته می کاهد.

با توجه به شکل ۸ قسمت روزنه، شامل بدنه روزنه، صفحه روزنه، روزنه U شکل و حداقل دارای یک سوراخ در قسمت مرکزی صفحه روزنه است. نوسانگر به صورت ارتجاعی به بدنه روزنه جفت شده است، به شکلی که در پایین سوراخ صفحه روزنه قرار گرفته است. صفحه روزنه ارتعاشات تولیدی نوسانگر را تصفیه می کند و از طریق سوراخ به محفظه بالایی انتقال می دهد. بدنه روزنه از جنس آلومینیوم است و از روش ریخته گری فشاری براحتی شکل داده می شود.

در این دسته موتور بسامدهای کوچک به توسط مقاومت لختی روزنه بین دو محفظه بالا و پایین جذب می شود و در بسامدهای بزرگتر راه انداز برقی- آهنربایی نیز وارد عمل می شود و نوسانگر، پادنوسانی را همزمان با نوسان موتور تولید می کند. با توجه به شکل ۹ راه انداز برقی- آهنربایی به توسط پایشگر جداگانه ای که در شکل نشان داده نشده است، پایش می شود. بر خلاف طرح های مرسوم، در این نمونه سیم پیچ از طریق راهگاه فرعی مستقیماً سرد می شود. زمانی که

¹ Sub channel

² Case

³ Gap

⁴ Solid Works



شکل ۱۱: اجزای دسته موتور چند محفظه ای نوین با قابلیت خنک کاری

در این روش از همان سیال داخل دسته موتور، گلیکول، برای عمل جابجایی گرما استفاده می شود. تفاوتی که در این نوع دسته موتور با سایر دسته موتورها وجود دارد، این است که در دیگر دسته موتورها، سیال بازه حرکت محدودی دارد و اغلب تنها عمل میرا کردن ارتعاشات را بر عهده دارد. اما در این طرح (شکل ۱۲)، سیال به وسیله ارتعاشات موجود در دسته موتور و با استفاده از مجراها و منافذی که در آن تعبیه شده است، در سراسر دسته موتور به حرکت در می آید و گرمای مازاد آنها را جذب خود می کند و اغلب آن را در قسمت صفحه روزه، به محیط منتقل می کند.

این در حالی است که در سایر انواع دسته موتورها سیال میراکننده، حرکت محدودی دارد، و نحوه انتقال حرارت در آنها تنها به صورت رسانش است. در طرح دسته موتور لی^۱، سیال به وسیله ارتعاش اجزای دسته موتور و از طریق منافذ تعبیه شده در نواحی نزدیک به مرکز، از قسمت بالایی دسته موتور به جریان در می آید و گرمای تولید شده سیم پیچ را جذب می کند. در ادامه مسیر، جریان سیال از قسمت صفحه روزه می گذرد و اکثر گرمای قابل انتقال را در این قسمت به محیط دفع می کند. سپس جریان سیال از همان مجرا بازگشت داده می شود. این حرکت رفت و برگشتی که در اثر ارتعاشات وارده به وجود می آید، موجب بهبود شرایط حرارتی می شود. همچنین، در ناحیه نزدیک به دیواره مجرای تعبیه شده که بخش بیرونی سیم پیچ را نیز احاطه کرده و باعث کاهش حرارت می گردد.

۵) تحلیل کیفی عملکرد حرارتی دسته موتور توسعه یافته

در نمونه توسعه یافته آسیب های حرارتی عنوان شده به کمک مجرای کوچک که در محفظه زیرین دسته موتور از بخش میانی سیم پیچ استوانه ای عبور می کند و مجرای سرتاسری اطراف سیم پیچ، کاهش می یابند. سیال عبوری از بخش میانی سبب خنک کاری گرمای تولید شده از سیم پیچ می شود و اجزای ارتجاعی نرم را در برابر آسیب حرارتی محافظت می نماید. بعلاوه این موضوع سبب افزایش دوام دسته موتور، کاهش اندازه آن و ساده سازی ساختار آن می گردد. شکل ۱۱ اجزای دسته موتور چند محفظه ای نوین با قابلیت خنک کاری در نرم افزار CATIA را نشان می دهد.

منبع اصلی تولید گرما در دسته موتورها مورد نظر، سیم پیچ استوانه ای شکلی است که برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می شود. در سایر انواع دسته موتورها، گرمای تولیدی این سیم پیچ از طریق سازوکار رسانش به محیط خارج منتقل می شود. اما استفاده از این ساز و کار باعث افزایش احتمال توزیع دمایی نامناسب در داخل دسته موتور می شود که منجر به اشکالات و خطرات ذکر شده می گردد. از این رو در این طرح سعی شده است ساز و کار خنک کاری به نحوی بهینه شود تا گرمای تولید شده به توسط سیم پیچ به صورت مناسب تری به محیط خارج انتقال یابد.

در بهینه سازی سازوکار انتقال گرما از سیم پیچ به خارج، چندین روش می تواند استفاده شود. اولین روش، استفاده از سازوکار رسانش با موادی با رسانایی متفاوت است. این روش از دیدگاه انتقال حرارت، یکی از مطمئن ترین روش ها است. دلیل این امر نیز این است که رسانش گرما در مواد دسته موتور، مستقل از نحوه عملکرد آن است. به بیان دیگر، صرف نظر از نحوه عملکرد دینامیکی دسته موتور و ارتعاشات آن، گرمای تولیدی از طریق مواد با رسانایی بیشتر، با نرخ ثابت از دسته موتور به محیط منتقل می شود. اما علی رغم این اطمینان، نرخ انتقال گرما از طریق این ساز و کار نسبت به سایر سازوکارها کمتر و محدود به جنس مواد استفاده شده در دسته موتور است. همچنین از دیدگاه دینامیکی، این روش چندان مناسب به نظر نمی رسد. تغییر در عملکرد دینامیکی دسته موتور به دلیل استفاده از مواد جدید و نیاز به تحلیل های ارتعاشاتی مختلف، از مهمترین عوامل اند که این روش را به عنوان روشی نامناسب برای بهینه سازی خنک کاری دسته موتور معرفی می کند.

روش دیگری که می تواند در خنک کاری دسته موتور به کمک سازوکار رسانش آید و در این طرح از آن بهره گرفته شده است، استفاده از سازوکار جابجایی برای انتقال گرما به محیط است. در بیشتر وسایلی که نیاز به خنک کاری دارند، به ویژه در موتورها، از سازوکار جابجایی هوا یا آب برای انتقال گرما به محیط استفاده می شود. زیرا قابلیت بیشتر این ساز و کار در انتقال گرما از محیط گرم به محیط سرد نسبت به ساز و کار رسانش است.

¹ Lee

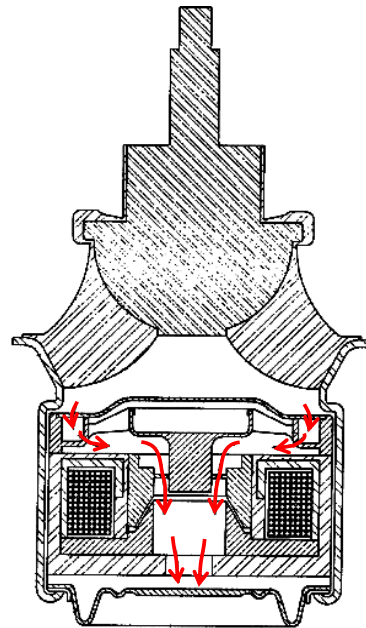
شکل ۱۳ نمایانگر شبیه سازی متمرکز حاکم بر دسته موتور توسعه یافته است. در این شبیه سازی به تمام اجزای دسته موتور غیرفعال بدون مجزا کننده، شناوری به محفظه بالایی و زیر محفظه ای به بخش پایین اضافه شده است. شکل ۱۴ نیز مبین نمای برش خورده ای از دسته موتور برای نمایش محفظه های مختلف آن است. معادلات پیوستگی حاکم بر سامانه بدین قرار خواهند بود:

$$C_1 \dot{P}_1 + Q_i = A_p \dot{X} + A_d \dot{Y} \quad (1)$$

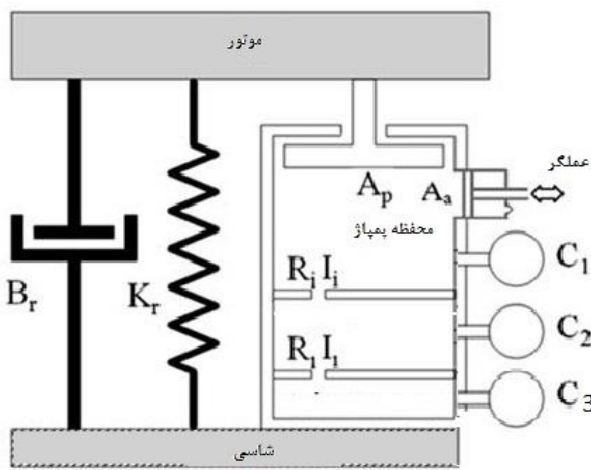
$$C_2 \dot{P}_2 + Q_l = Q_i \quad (2)$$

$$C_3 \dot{P}_3 = Q_l \quad (3)$$

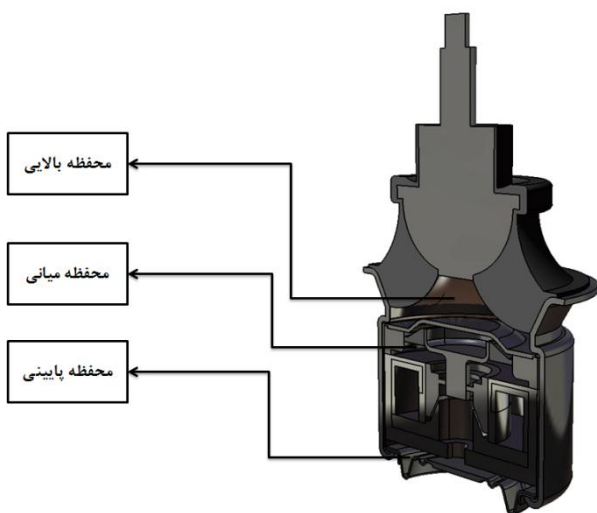
که در معادله (۱)، Y جابجایی شناور و X جابجایی نسبی موتور و C_3 و P_3 به زیر محفظه خنک کننده برمی گردد. همچنین Q_l ، R_l و I_l معرف شار، مقاومت و لختی سیال عبوری از مجرای میانی سیپیچ و هسته عملگرند.



شکل ۱۲: مسیر عبور سیال در دسته موتور چندمحفظه ای نوین با قابلیت خنک کاری



شکل ۱۳: شبیه سازی متمرکز دسته موتور توسعه یافته چندمحفظه ای



شکل ۱۴: شبیه سازی متمرکز دسته موتور توسعه یافته چندمحفظه ای

با به حرکت در آمدن سیال در سرتاسر دسته موتور و همچنین انتقال گرمای سیال به محیط در قسمت صفحه روزه، سازوکار اصلی خنک کاری در طرح توسعه یافته، سازوکار جابجایی در کنار رسانش است که مزیت اصلی آن نسبت به سازوکار رسانش، ظرفیت گرمایی بیشتر برای انتقال گرما به محیط است. با بررسی مهرکیش و طهانی [۲۱]، در مقایسه با دسته موتورهای مرسوم که دمای کاری حدودا ۱۳۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد در بخش های بحرانی دارند، دسته موتور توسعه یافته مقدار افزایش دما بر اثر تولید حرارت در داخل دسته موتور را بین ۱۵ تا ۳۰ درصد کاهش می دهد که این امر باعث افزایش ضریب اطمینان و عمر دسته موتور می گردد.

۶) شبیه سازی ارتعاشی دسته موتور فعال نوین چندمحفظه ای با قابلیت خنک کاری

برای طراحی هدفمند و بررسی مناسب دسته موتور مفروض، شبیه سازی ریاضی مناسب ضروری به نظر می رسد.

بررسی شبیه سازی های مختلف دسته موتورهای فعال و شبه فعال روند مناسبی برای شبیه سازی دسته موتور ارائه می دهد [۲، ۳، ۱۱، ۱۶ و ۱۸]. بر این اساس روند شبیه سازی بدین شرح است:

- تبیین شبیه سازی فیزیکی و ریاضی
 - استخراج معادلات پیوستگی و اندازه حرکت
 - ساده سازی و انتقال معادلات به فضای حالت
 - استخراج معادله موهومی سختی دینامیکی سامانه
- با توجه به روند ارائه شده، در ادامه به شبیه سازی حاکم بر دسته موتورهای نوین چند محفظه ای خواهیم پرداخت.

در نهایت معادلات اندازه حرکت نیز عبارتند از:

$$P_1 - P_2 = I_i \dot{Q}_i + R_i Q_i \quad (۴)$$

$$P_2 - P_3 = I_i \dot{Q}_i + R_i Q_i \quad (۵)$$

با حل معادلات (۱) تا (۵) به کمک روش لاپلاس در نهایت فشار محفظه بالایی را بدین شرح است:

$$P_1(s) = \left(\frac{A_p X(s) + A_a Y(s)}{C_1} \right) \left(\frac{M}{N} \right) \quad (۱-۶)$$

$$M = \left(\frac{1}{C_2} \right) (I_i s^2 + R_i s + R_l s + I_l s^2) + \left(\frac{1}{C_3} \right) (I_i s^2 + R_i s) + \left(\frac{1}{C_3 C_2} \right) + (I_i I_l s^4 + R_i I_l s^3 + R_l I_i s^3 + R_i R_l s^2) \quad (۲-۶)$$

$$N = \left(\frac{1}{C_2} \right) (I_i s^2 + R_i s + R_l s + I_l s^2) + \left(\frac{1}{C_3} \right) (I_i s^2 + R_i s) + \left(\frac{1}{C_1} \right) (I_l s^2 + R_l s) + (I_i I_l s^4 + R_i I_l s^3 + R_l I_i s^3 + R_i R_l s^2) + \left(\frac{1}{C_1 C_2} \right) + \left(\frac{1}{C_3 C_2} \right) + \left(\frac{1}{C_3 C_1} \right) \quad (۳-۶)$$

در مطالعه [۱۶] تابع جابجایی $Z(s)$ به عنوان پایش کننده‌ای که عملگر را بر اساس جابجایی موتور تنظیم می‌کند، بدین شرح است:

$$Z(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} \quad (۷)$$

مقدار $Z(s)$ مقداری واحد نیست و از پایگاه داده‌ای [۱۹] بدست می‌آید که بر اساس شرایط عملکردی وسیله نقلیه نظیر سرعت، شتاب روی کفی، دور موتور، پایش کننده درجه سوخت و سایر مشخصات عملیاتی را تولیدکننده وسیله نقلیه اعلام می‌کند.

برای بررسی عملکرد دینامیکی به معرفی سختی دینامیکی نیاز است که از حاصل تقسیم نیروی منتقل شده به کفی بر جابجایی نسبی موتور و کفی بدست می‌آید. البته سایر خواص میراکننده نیز از اهمیت بسیار برخوردارند. نیروی منتقل شده به کفی عبارت است از:

$$F_r = K_r X + B_r \dot{X} + A_p P_1 \quad (۸)$$

و به کمک معادله (۶) سختی دینامیکی بدین شرح است:

$$K_{dyn}(s) = K_r + B_r(s) + \frac{A_p}{C_1} \left(\frac{M}{N} \right) + \frac{A_a Z(s)}{C_1} \left(\frac{M}{N} \right) \quad (۹)$$

تحلیل‌های فضای زمانی بویژه در جابجایی‌های بزرگ بسیار مهم است. اما در این پژوهش و پژوهش‌های مشابه دیگر، دینامیک شبیه‌سازی از طریق بررسی متغیرهای سختی دینامیکی مطالعه می‌شود. بنابراین با تعیین سختی و میرایی کل سامانه، می‌توان رفتار دینامیکی آن را در فضای زمانی، ارزیابی کرد.

۷) بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی

در جدول ۲ متغیرهای بکار رفته در شبیه‌سازی و مقادیر عددی آنها ذکر شده است. برای بررسی صحت شبیه‌سازی سه حالت مختلف را در مدنظر قرار می‌دهیم. در اولین حالت با اعمال جریان مستقیم بر عملگر، شناور را ثابت نگاه می‌داریم که به معنای $Z(s)$ برابر صفر است. این به آن معناست که به عملگر جریان ثابت به آن اندازه که جایگاه آنرا ثابت نگه دارد، اعمال گردد. دومین حالت نیز به تناسب یک به یک حرکت نسبی ارتعاشی کفی و حرکت شناور برمی‌گردد که به معنای $Z(s)$ برابر یک است. حالت سوم مبین آنست که جریان اعمالی به عملگر برابر صفر بوده و لذا شناور آزادانه بر اساس تغییرات فشار درون دسته‌موتور حرکت می‌نماید. این حالت با مقداری منفی برای $Z(s)$ می‌تواند شبیه‌سازی گردد.

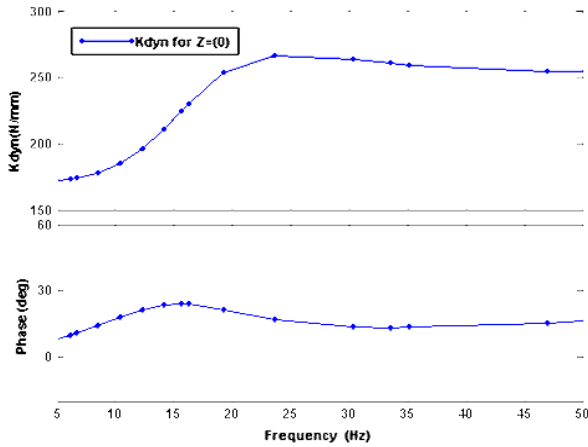
در نرم‌افزار متلب نمودار سختی دینامیکی و زاویه با نتایج پژوهش‌های مشابه مقایسه می‌شود. به این منظور نتایج [۱۶] را با شبیه‌سازی انجام شده با شرائطی که در آن ضرایب محفظه سوم یعنی I_l, R_l و C_3 صفر باشند، مقایسه می‌کنیم. شکل ۱۵ نشان‌دهنده این موضوع است که شبیه‌سازی انجام گرفته با نتایج پیشین انطباق کامل دارد و می‌توان چنین بیان نمود که حالت مطرح شده نسبت به طرح‌های پیشین از جامعیت بیشتری برخوردار است.

در ادامه به کمک نرم‌افزار متلب به ترسیم نمودارهای سختی دینامیکی و زاویه در شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ که بترتیب مبین نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای توابع جابجایی بترتیب یک (شناور ثابت)، صفر (تناسب یک به یک) و مقادیر منفی (شناور آزاد) است، می‌پردازیم.

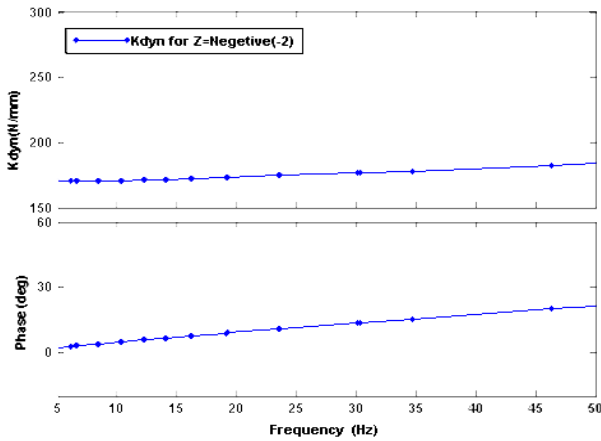
در بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشخص خواهد شد که با تغییر در مقادیر I_l, R_l و C_3 نتایج نهایی تغییرات چندانی نخواهند داشت که این موضوع حاکی از عدم وابستگی عملکرد ارتعاشی دسته‌موتور جدید به محفظه پایینی است. به عبارت دیگر تغییر ایجاد شده برای خنک‌کاری سامانه عملکرد ارتعاشی دسته‌موتور را دچار اختلال نخواهد نمود. شکل ۱۹ مقایسه عملکرد سامانه نوین را با نتایج تجربی دسته‌موتور دو محفظه ای فعال ساده [۱۶] ارائه می‌دهد. این شکل از انطباق نسبی نتایج با نتایج تجربی حکایت می‌کند.

۸) ارائه روند پایش دسته‌موتور فعال توسعه یافته

برای پایش دسته‌موتور توسعه یافته، از ایجاد تغییرات در فشار محفظه اصلی بهره برده می‌شود. این مقصود به کمک علامت‌های ارسالی عملگر که تحت پوشش روند پایش ارسال می‌شود، محقق می‌گردد.



شکل ۱۷: پاسخ سختی دینامیکی دسته‌موتور فعال با قابلیت خنک کاری با $Z(s) = 0$



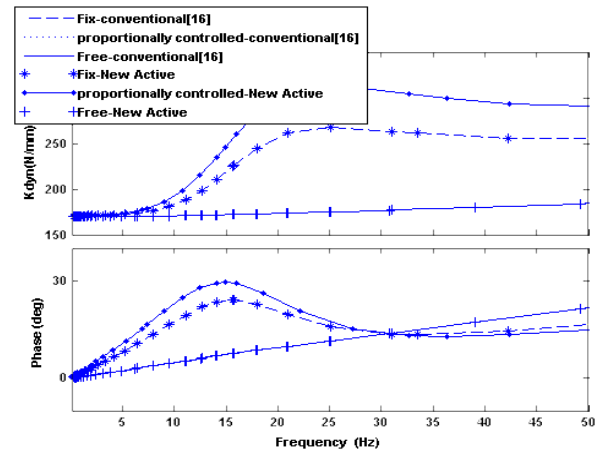
شکل ۱۸: پاسخ سختی دینامیکی دسته‌موتور فعال با قابلیت خنک کاری با $Z(s)$ منفی

۹) بررسی روند پایش

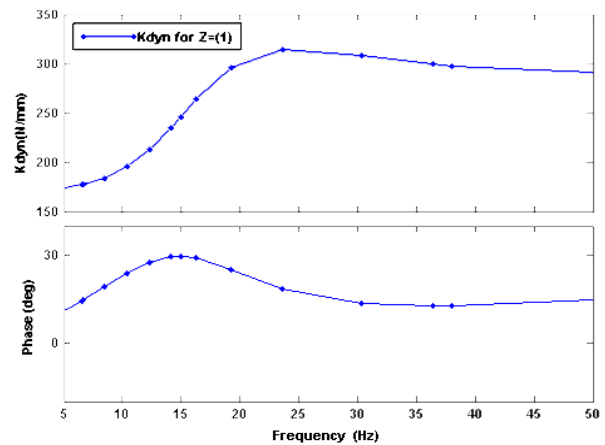
برای از بین بردن ارتعاشات منتقل شده به دسته‌موتور از عملگر فعالی بهره برده می‌شود که نیروی دینامیکی را در تقابل با ارتعاشات ورودی به دسته‌موتور تولید می‌نماید. یکی از روش‌های مناسب برای پایش ارتعاشات استفاده از دسته‌موتور پایش فعال^۱ است. این نمونه شامل یک دسته‌موتور روغنی و یک عملگر با پایشگر برقی است. این پایشگر علامت‌های لازم را برای پایش دسته‌موتور را تعیین و با ارسال آنها به عملگر موجب کاهش نیروی انتقالی به دسته‌موتور می‌گردد. به طور دقیق‌تر می‌توان این‌گونه عنوان نمود که با راه اندازی وسیله نقلیه، موتور به وسیله گشتاور دینامیکی ناشی از احتراق به لرزش واداشته می‌گردد و این ارتعاشات از طریق دسته‌موتور به بدنه منتقل می‌شوند. مهمترین وظیفه دسته‌موتور در این میان کاهش نیروهای انتقالی است. در دسته‌موتورهای پایش فعال عنوان شده، علامت پاد ارتعاش به وسیله اندازه‌گیری مستقیم ارتعاشات موتور به

جدول ۲: متغیرهای بکار رفته در شبیه سازی در دسته‌موتور توسعه یافته [۱۹]

مقدار مشخصه	نام مشخصه (واحد)
۱۷۰	$K_r (N/mm)$
۰,۲۱۵	$B_r (NS/mm)$
$۲,۰۵ \times 10^{-5}$	$C_1 (mm^5/N)$
$۲,۰۳ \times 10^{-7}$	$C_2 (mm^5/N)$
$۲,۱ \times 10^{-6}$	$C_3 (mm^5/N)$
۱۷۸۸	$A_a (mm^2)$
۳۶۵۰	$A_p (mm^2)$
$۴,۲ \times 10^{-10}$	$I_1 (NS^2/mm^5)$
$۳,۹ \times 10^{-8}$	$R_1 (NS/mm^5)$
$۳,۲ \times 10^{-10}$	$I_1 (NS^2/mm^5)$
$۳,۶ \times 10^{-8}$	$R_1 (NS/mm^5)$



شکل ۱۵: مقایسه پاسخ سختی دینامیکی دسته موتور فعال نوین و دسته موتور دو محفظه ای ساده برای سه حالت معرفی شده با صفر کردن ضرایب محفظه سوم (که مبین انطباق کامل است).



شکل ۱۶: پاسخ سختی دینامیکی دسته‌موتور فعال با قابلیت خنک کاری با $Z(s) = 1$

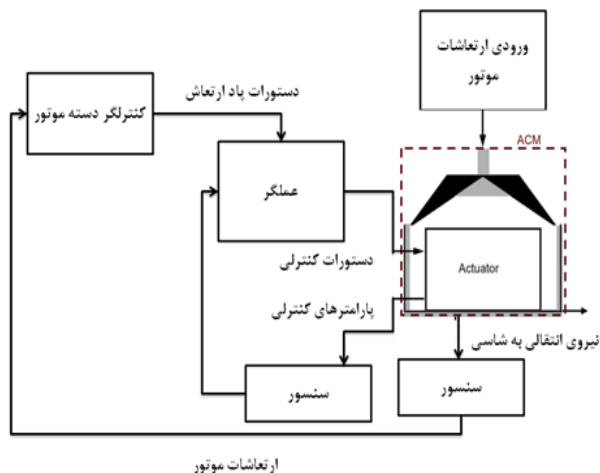
¹ Active control Engine Mount

۱۰ راهبرد پایش پیشنهادی دسته موتور فعال نوین چندمحفظه‌ای

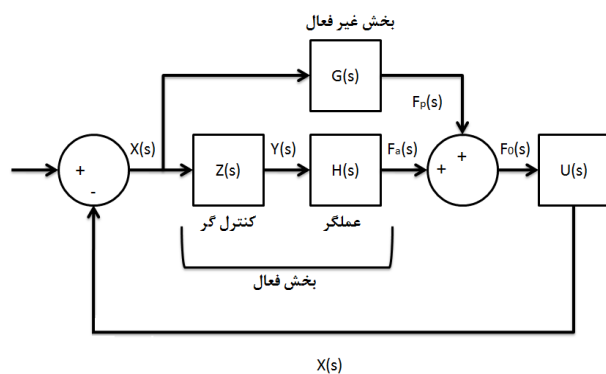
طرح چرخه بسته پایش استفاده شده در پایش دسته موتور نوین توسعه یافته در شکل ۲۱ نمایش داده شده است. $X(s)$ که جابجایی نسبی موتور و کفی است، متغیر پایش محسوب می‌شود. همچنین $Y(s)$ نیز جابجایی عملگر و F نیرو است که در آن زیر نویس‌های a و p بر ترتیب نمایانگر فعال و غیرفعال اند.

بسیاری از تحقیقات بر روی نیروی انتقالی به کفی متمرکز شده‌اند و از دو معیار مهم دیگر یعنی شتاب موتور و جابجایی نسبی میان موتور و کفی چشم پوشیده‌اند. همان طور که اشاره گردید، تابع تبدیل $Z(s)$ متغیر میان جابجایی عملگر و جابجایی دسته موتور محسوب می‌گردد و از پایگاه داده‌ای منتج شده از شرایط عملیاتی وسیله نقلیه بدست می‌آید. این تابع پایش برای تولید خواص جداسازی تولیدکننده، طراحی می‌شود.

همچنین، $H(s)$ متغیر میان جابجایی عملگر و نیروی فعال است و $G(s)$ میان جابجایی دسته موتور و نیروی غیرفعال عمل می‌کند و $U(s)$ نیز مجموع دوگانه ضرب شده در معکوس جرم واحد است که متغیر میان نیرو و جابجایی دسته موتور است.



شکل ۲۰: ساختار پایش دسته موتور فعال [۱۱]

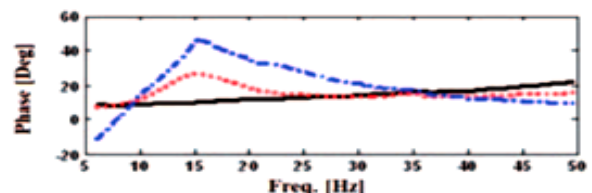
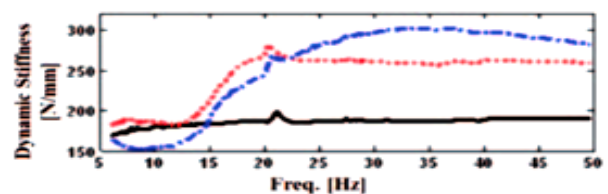
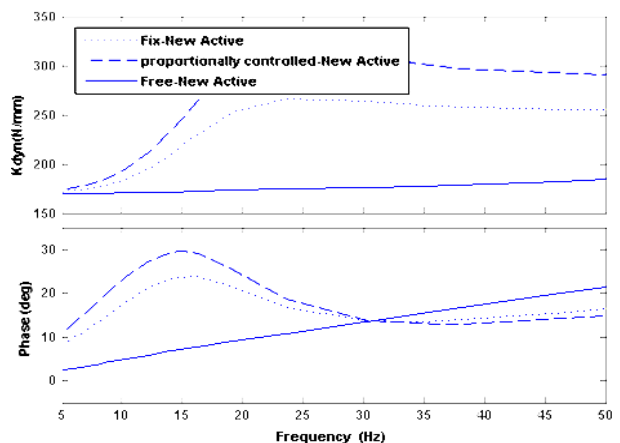


شکل ۲۱: پایش گر حلقه بسته استفاده شده در دسته موتور توسعه یافته

وسیله حسگری بدست می‌آید. همچنین عملگر نیز به حسگر دیگری برای گرفتن بازخورد^۱ مکانی خودش نیاز دارد. به عبارتی این دو حسگر برای رصد ارتعاشات و پایش عملگر استفاده می‌شوند. این مجموعه را می‌توان در شکل ۲۰ مشاهده نمود [۱۱].

بر اساس شکل ۲۰ دو حسگر گیرنده بازخورد عبارتند از: الف) حسگر جابجایی برای پایش عملگر (حسگر LVDT) ب) Load cell برای اندازه‌گیری ارتعاشات موتور

هنگامی که به وسیله نقلیه جابجایی جاده اعمال گردد، ولتاژ ایجاد شده، و جریان به سیم پیچ اعمال می‌شود. در این شرایط سختی دینامیکی دسته موتور افزایش می‌یابد. همچنین برای از میان بردن ارتعاشات ناشی از موتور، در اثر اعمال ولتاژ جریان متفاوتی (از لحاظ اندازه و جهت) اعمال می‌گردد که سبب کاهش سختی دسته موتور می‌شود. در شرایط عادی دسته موتور به مانند به دسته موتور روغنی می‌تواند عمل کند. بنابراین می‌توان این‌گونه عنوان نمود که دسته موتور در هر یک از شرایط عملیاتی خود بسته به تابع پایش اعمال شده، از یکی از نمودارهای مختلفی که از Z های مختلف ایجاد می‌گردند، تبعیت می‌کند.



شکل ۱۹: مقایسه پاسخ سختی دینامیکی دسته موتور فعال نوین (بالا) و نتایج تجربی (پایین) [۱۶] دسته موتور دو محفظه ای ساده (نقطه چین) با $Z(s) = 0$ و (خط چین) با $Z(s) = 1$ و (خط پر) با $Z(s)$ منفی

¹ Feed back

از جایگذاری متغیرها در معادله بدست می‌آید. سپس با تغییر ضرایب معادله به روش سعی و خطا برای دستیابی به معادله بهبود یافته تحقیق را ادامه می‌دهیم. نمودار و معادله بدست‌آمده می‌تواند به عنوان نتایج دلخواه هدف پایش‌کننده منظور گردند. در این مرحله با اعمال پایشگر مناسب برای دسترسی به نتیجه دلخواه ارائه شده، می‌توان دسته‌موتور را پایش نمود.

۱۲ نتیجه‌گیری

در این تحقیق موضوع آسیب‌های حرارتی در دسته‌موتور فعال شرح داده شد و دسته‌موتور فعال چندمحفظه‌ای با قابلیت خنک‌کاری به عنوان راهکار بیان شد. همچنین برای بررسی اثرات ناشی از خنک‌کاری ساختار دسته‌موتور نوین با شبیه‌سازی دقیق در نرم‌افزار کتیا معرفی شده است. در بررسی اثرات ارتعاشی ناشی از خنک‌کاری با توجه به روند شبیه‌سازی حاصل از بررسی مطالعات مشابه، شبیه‌سازی ریاضی حاکم بر سامانه استخراج و در پایان، نتایج بدست آمده به کمک پژوهش‌های مشابه برای دسته‌موتور فعال ساده برای چند حالت وسیله نقلیه تایید شده است. نتایج بدست آمده مبین آن اند که تغییرات ساختاری جدید با بهبود در شرایط خنک‌کاری سامانه، اثرات قابل صرف‌نظری بر عملکرد دسته‌موتور خواهند داشت. همچنین پس از بررسی روند پایش حاکم بر سامانه، راهبرد پایش مناسب پیشنهاد گردید. در پژوهش‌های آتی می‌توان تأثیر صفحه بل در بهبود ارتعاش، تحلیل‌های حرارتی دقیق‌تر دو بعدی و قراردادن پایشگر مناسب بر روند پایش پیشنهادی را بررسی کرد.

فهرست علائم

A	سطح مقطع موثر، m^2
X	دامنه تحریک، m
Y	جابجایی عملگر، m
K	سختی خطی، N/mm
b	میرایی، $N.s/mm$
C	انعطاف‌پذیری حجمی، $m^4.s^2/kg$
I	لختی، kg/m^4
P	فشار، Pa
Q	شار سیال، m^3/s
R	مقاومت در برابر عبور سیال، $N.s/m^5$
Z	تابع جابجایی، -
F	نیرو، N
	علائم یونانی
ρ	چگالی، kg/m^3
ω	بسامد، Hz

همچنین، $H(s)$ و $G(s)$ منتج شده از معادله (۹) اند که مبین این مسئله اند که نیروی دسته‌موتور شامل دو جزء فعال و غیرفعال است (معادلات ۱۰ و ۱۱). با مقایسه راهبرد پایش حاکم بر سامانه‌های فعال مشابه [۱۶] می‌توان این گونه عنوان نمود که این دو متغیر با تغییر شرایط دسته‌موتور مثلاً با افزودن محفظه سوم یا افزودن صفحه بل تغییر کرده و راهبرد پایش به صورت کلی به مانند شکل ۲۱ خواهد بود. نکته با اهمیت آنست که بخش اعظم نیروی دسته‌موتور ناشی از بخش غیرفعال است و بخش فعال تنها میزان کننده نیرو است.

$$G(s) = K_r + B_r(s) + \frac{A_p}{C_1} \left(\frac{M}{N} \right) \quad (10)$$

$$H(s) = \frac{A_a}{C_1} \left(\frac{M}{N} \right) \quad (11)$$

پایشگری که در این تحقیق استفاده شد در شکل ۲۱ نشان داده شده است. این پایشگر حلقه بسته است و از جابجایی نسبی موتور و کفی بازخورد می‌گیرد. با وجود آنکه صفر شدن جابجایی دسته‌موتور هدف نهایی طراحی است اما در طراحی پایشگر صفرنمودن جابجایی نسبی مبنای طراحی قرار نگرفته است. در حقیقت تبدیل نمودارهای یاد شده به نمودارهای اندازه و زاویه دلخواه مبنای طراحی پایشگر است. شایان ذکر است نمودارهای اندازه و زاویه دلخواه به نحوی انتخاب شده‌اند که ارضای آن‌ها به منزله ارضای سایر شرایط هدف است. برای درک بهتر از این مسأله باید در نظر گرفته شود که نمودار اندازه، نشانگر سختی دینامیکی سامانه است. حال نمودار اندازه دلخواه این را بیان می‌کند که در بسامدهای مختلف پایشگر باید چه شرایطی را برای سختی دینامیکی دسته‌موتور ایجاد نماید. چون تعیین نمودارهای زاویه و اندازه دلخواه بر مبنای معیارهایی صورت می‌گیرد که غالب آن‌ها یا کیفی اند و یا به شرایط راندگی (شرایط جاده) وابسته اند، اعتبارسنجی پایشگر نمی‌تواند به صورت معمول در طراحی پایشگرها سنجیده شود. به عبارتی مجبور کردن سامانه به کار کردن در نقطه کاری مشخص، هدف طراحان پایشگر نخواهد بود؛ بلکه برای سامانه شرایط کاری مختلفی تعریف می‌گردد و در هر یک نزدیک نمودن نمودارهای اندازه و زاویه به نمودارهای اندازه و زاویه که تعریفی کیفی برای ما دارند، هدف طراحی قرار می‌گیرد.

۱۱ کنکاش در مسئله پایش دسته‌موتور توسعه یافته

همان‌گونه که تاکنون اشاره شده است، حسگرها و عملگرهای مختلفی برای اعمال بر دسته‌موتور معرفی شده‌اند. با توجه به روند و راهبرد پایش حاکم بر سامانه، در انتها پاسخ‌های مختلف حاصل از شبیه‌سازی ارتعاشی را بدست خواهیم آورد که مبین تأثیر قسمت‌های مختلف اشاره شده در شکل ۲۱ اند. در این مرحله برای پایش مناسب دسته‌موتور روش‌های گوناگونی بویژه روش‌های تطبیقی [۲۰] در مد نظر قرار می‌گیرند. در این پژوهش، نخست ضریب سختی دینامیکی

- [10] S. Choi, S. Hong, K. Sung, J. Sohn, Optimal control of structural vibrations using a mixed-mode magnetorheological fluid mount, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 50, pp. 559-568, 2008
- [11] B. Lee, C. Lee, Model based feed-forward control of electromagnetic type active engine mounts system, *Journal of Sounds and Vibration*, Vol. 323, pp. 574-593, 2009
- [12] T. Quoc, K. Ahn, A new type of semi-active hydraulic engine mount using controllable area of inertia track, *Journal of Sounds and Vibration*, Vol. 329, pp. 247-260, 2010
- [13] D. Barber, J. Carlson, Performance characteristics of prototype MR engine mounts containing lord glycol MR fluids, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 149, 2009
- [14] M. Hosseini, S. Arzanpour, F. Golnaraghi, A. Parameswaran, Solenoid actuator design and modeling with application in engine vibration isolators, *Journal of Vibration and Control*, pp. 1-9, 2012
- [15] D. Lee, S. Kang, J. Shores, J. Kim, S. Hong, S. Lee, Electromagnetic active engine mount with apparatus, US Patent, No. 8-100-388-B2, 2012
- [16] G. Kim, R. Singh, Non-linear analysis of automotive hydrolic mounts, *Journal of Dynamic systems and, Measurment and Control*, Vol. 115, pp. 482-487, 1993
- [17] M. Hosseini, S. Arzanpour, F. Golnaraghi, Design of a solenoid valve based active engine mount, *Journal of Vibration and Control*, pp. 1221-1232, 2011
- [18] A. Mehrkish, M. Tahani, E. Kiomarsi, Introduction and modeling of a new multi-compartment with the Cooling capacity, *National Conference on Mechanical Engineering*, Iran, 2013
- [19] M. Hosseini, S. Arzanpour, F. Golnaraghi, Active decoupler hydraulic engine mount design with application to variable displacement engine, *Journal of Vibration and Control*, Vol. 17, No. 10, pp. 1498-1508, 2010
- [20] A.J. Hillis, A.J.L. Harrison, D.P. Stoten, A comparison of two adaptive algorithms for the control of active engine mounts, *Journal of Sounds and Vibration*, Vol. 286, pp. 37-57, 2004
- [21] A. Mehrkish, Analysis and modeling of a new type of multi chamber active engine mount with cooling function, MSc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 2013

زیر نویس ها

- 1 محفظه بالایی
2 بخش ۱ محفظه پایینی
3 بخش ۲ محفظه پایینی
i باریکه لختی
l مجرای میانی سیم پیچ
a فعال
p غیرفعال

Refereneces

- [1] T. Feyzi, M. Esfahanian, R. Tikani, S. Ziaei-Rad, Simulation of the dynamic behavior of the magnetorheological engine mount for automotive applications, *International Journal of Automotive Engineering*, pp. 258-268, 2011
- [2] M.S. Gholami, Modelling, Simulation and optimization of HEM, MSc Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 2008
- [3] E.W. Williams, R. Sproston, R. Stanway, Electrorheological fluids applied to an automotive engine mount, *Journal of Axon-Newtonian Fluid*, pp. 221-238, 1993
- [4] S. Hong, Vibration control of an ER mount subjected to high static loads, *Journal of Sounds and Vibration*, Vol. 242, No. 2, pp. 740-748, 2001
- [5] J.D. Carlson, M. Jolly, JR. Toscano, MR fluid, foam and elastomer devices, *Journal of Mechatronics*, Vol. 10, pp. 555-569, 2000
- [6] T.A. Baudendistel, S.G. Tewani, J.M. Shores, M.W. Long, R.E. Longhouse, S.C. Namuduri, A.A. Alexandridis, Hydraulic mount with magnetorheological fluid, US Patent, No. 6-622-995-B2, 2003
- [7] N. Vahdati, M. Ahmadian, Single pumper semi-active fluid mount, *Proceeding of IMECE2003*, Washington, USA, 2003
- [8] M.S. Foumani, A. Khajepour, M. Durali, Application of SMA to a new adaptive hydraulic mount, *Proceeding of SAE International Body Engineering Conference and Automotive and Transportation Technology Conference*, 2002
- [9] T. Shim, D. Margolis, Controlled equilibrium mounts for aircraft engine isolateon, *Journal of Control Engineering Practice*, Vol. 14, pp. 721-733, 2006



The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineersearch.ir



A study on side effects of cooling in a new active multi-compartment mount

A. Mehrkish^{1*}, M. Tahani²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, ali.mehrkish@yahoo.com

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, mtahani@um.ac.ir

*Corresponding Author, Phone Number: +98-511-880-6055

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 24 September 2013

Accepted: 29 December 2013

Keywords:

Vibration isolation

Mount

Cooling

Modeling

Control strategy

ABSTRACT

Many researches have tried to find causes of engine and vehicle vibrations and reduction methods by considering that the engine unbalance condition and inputs from bumpy roads are vibration sources and would reduce the vehicles performance. However, there is a lot of unknowns in modeling and the simulation of vibrations. One of them is active mount cooling and side effects of cooling on its structure and performance. This paper defines a new active multi-compartment mount with a cooling capacity and explains reasons for the improvement of thermal conditions by considering this fact that the heat generates in active mounts and reduces their performance. Vibration modeling of the system is presented and effects of parameters on results of the new chamber have also been studied. As a result, using the middle duct and adding a new compartment are proposed as a solution to improve cooling conditions. The new vibration model and the control algorithm had no adverse effect on the mount. Finally, an appropriate control strategy is proposed by the control algorithm of the system.

© Iranian Society of Engine (ISE), all rights reserved.