فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات موتور

تارنمای فصلنامه: www.engineresearch.ir

بررسی ارتعاشات عرضی تسمهٔ متعلقات موتور به روش تحلیل مرتبه

جعفر هاشمی داریان[۱*]، سعید جوان[۲]، بهنام میرزا رضایی[۳]، محمد نجات[۴]

[۱] شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو، تهران، ایران، J_hashemi@ip-co.com

[۲] شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو، تهران، ایران، s_javan@ip-co.com

[۳] شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو، تهران، ایران، b_rezaei@ip-co.com

[۴] شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران‌خودرو، تهران، ایران، m_nejat@ip-co.com

* نویسندهٔ مسئول

چکیده

ارتعاشات عرضی تسمهٔ متعلقات بر صدای تولید شده از این ناحیه و همچنین عمر این تسمه تأثیر گذار است. بنابراین درک این پدیده و بررسی عوامل تأثیر گذار بر آن می‌تواند در فرآیند کاهش صدای تولید شده و افزایش عمر تسمه اثرگذار باشد. در این مقاله ارتعاشات عرضی تسمهٔ متعلقات به‌صورت تجربی اندازه‌گیری شده و تحلیل گردیده است. بعد از انجام آزمون و اندازه‌گیری جابجایی تسمه در دو نقطه از مجموعه متعلقات، این علامت به حوزه بسامد برده شد و با توجه به مشاهده تابعیت ارتعاشات به دور موتور، تحلیل مرتبه برای تحلیل ارتعاشات استفاده شد. نتایج آزمون و تحلیل آن نشان می‌دهد که بسامد طبیعی ارتعاشات عرضی تسمه در ناحیه بین چرخ‌تسمه تنجار و چرخ‌تسمه میل‌لنگ در حالت روشن بودن تنجار و خاموش بودن آن متفاوت است ولی بار موتور تأثیری بر آن ندارد. اما در ناحیهٔ بین هرزگرد و تسمه سفت‌کن، بسامد طبیعی ارتعاشات تسمه، تأثیری زیادی از بار موتور و وضعیت روشن و یا خاموش بودن تنجار و مولد برق نمی‌گیرد. در تمام دورهای موتور، بسامد غالب نوسانات تسمه برابر بسامد طبیعی است. در برخی نقاط، دامنه نوسان مقدار بیشتری دارد که بسامد این نقاط متناسب مرتبه‌های ۲، ۳، ۴ و برخی مرتبه های دیگر دور موتور است.

اطلاعات مقاله

تاریخچهٔ مقاله:

دریافت: ۹ آذر ۱۳۹۸

پذیرش: ۲۹ بهمن ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

تحلیل مرتبه

ارتعاشات عرضی

تسمه مجموعه متعلقات موتور

بسامد طبیعی

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

تسمه مجموعه متعلقات[1] به‌صورت گسترده در موتورهای احتراق داخلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قطعه وظیفه انتقال نیرو از میل‌لنگ به اجزای دیگر مانند تنجار سامانه تهویه مطبوع اتاق خودرو[2]، مولد برق[3]، تلمبه روغن فرمان[4] و غیره را بر عهده دارد. مجموعه متعلقات یکی از منابع تولید صدا در موتور است و ارتعاشات تسمه یکی از دلایل آن است. همچنین ارتعاشات تسمه یکی از عوامل تأثیر گذار و تعیین کننده در عمر کاری تسمه است بنابراین بررسی و تحلیل ارتعاشات تسمه دارای اهمیت است.

تسمهٔ متعلقات در هنگام عملکرد خود ۴ نوع حرکت ارتعاشی دارد [۱]. ارتعاشات طولی که در راستای حرکت تسمه است، ارتعاشات عرضی که عمود بر حرکت تسمه است، ارتعاشات پیچشی و ارتعاشات عرضی (جانبی) که در راستای محور چرخ‌تسمه‌های مجموعه متعلقات است.

گشتاور نوسانی اعمال شده از سوی میل‌لنگ، گشتاور مصرفی نوسانی اجزای مجموعه متعلقات، خارج از مرکزیت چرخ‌تسمه‌ها و حرکت‌های تکیه گاه‌های چرخ‌تسمه‌ها از عوامل ایجاد ارتعاشات عرضی (عمودی) تسمه است [۲]. بررسی دینامیک تسمهٔ متعلقات و ارتعاشات آن موضوع تعداد زیادی از مقالات علمی بوده است. در این بخش به برخی از آنها اشاره می‌شود.

در سال ۲۰۰۹ ساگاکوچی و همکاران [۳] به بررسی سازوکار ایجاد صدا در مجموعه متعلقات پرداختند. آنها بیان داشتند که ارتعاشات عرضی تسمه یکی از منابع ایجاد صدا است و این ارتعاشات با دور موتور همگام است.

جعفری و همکاران [۴] در سال ۱۳۹۰ به بررسی ارتعاشات عرضی (عمودی) تسمه در حوزه زمان، در طول آزمون دوام پرداختند. آنها بیان داشتند که جابجایی عمودی تسمه با افزایش طول تسمه افزایش می یابد.

مشهدی و ذاکری [۵] در سال ۲۰۱۱ مجموعه متعلقات را با استفاده از نرم افزار ADAMS شبیه سازی کرده و با نتایج تجربی مقایسه کردند. آنها به بررسی اثر طرحهای مختلف مجموعه متعلقات بر روی متغیرهایی نظیر جابجایی عمودی تسمه و نیروی کشش تسمه پرداختند.

شانگوان و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۱ به بررسی بسامد طبیعی تسمه و ارتعاشات عرضی آن پرداختند. نتایج آزمون آنها نشان می‌دهد که بسامد طبیعی تشدید با افزایش دور موتور کاهش می یابد. جعفری و همکاران [۷] در سال ۱۳۹۲ به بررسی تجربی اجزاء سامانه متعلقات پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان می‌دهد که نوسانات عرضی (عمودی) تسمه در برخی دورهای موتور بیشتر می‌شود که این دورها، دورهای بحرانی تسمه هستند. بیشترین جابجایی عمودی تسمه در حالتی است که موتور تمام بار بوده و تجهیزات جانبی مانند تنجار تهویه مطبوع و مولد برق روشن و تحت بار هستند.

در سال ۲۰۱۳ شانگوان و زنگ [۸] به بررسی ارتعاشات دورانی (پیچشی) مجموعه متعلقات پرداختند. آنها در آزمون‌های خود جابجایی عمودی تسمه و ارتعاشات عرضی تسمه را نیز اندازه‌گیری و تحلیل نمودند. آنها بسامد طبیعی تسمه را با استفاده از نتایج آزمون و محاسبات با یکدیگر مقایسه نمودند. نتایج آزمون‌های آنها نشان می‌دهد که بیشترین جابجایی تسمه در نقطه ایست که بسامد طبیعی تسمه با بسامد مرتبه دوم دور موتور برابر است.

در این تحقیق نیز ارتعاشات عرضی (عمودی) تسمه اندازه‌گیری شده است. علامت جابجایی تسمه در حوزه زمان و بسامد تحلیل شده است تا بسامد طبیعی ارتعاشات تسمه بدست آید و مشخص شود که دلیل رفتار ارتعاشی تسمه در دورهای مختلف و حالت‌های مختلف از بار موتور و تجهیزات جانبی چیست. از تحلیل‌ها و نتایج این مطالعه می‌توان در طراحی مجموعه متعلقات جانبی مانند جانمائی و تعیین فواصل چرخ‌تسمه‌ها، تعیین نیروی تسمه سفت‌کن و همچنین تعیین جرم تسمه استفاده کرد، چراکه این موارد همگی بر روی بسامد طبیعی تسمه و نهایتا در ارتعاشات تسمه تأثیر گذار هستند.

تحلیل رفتار تسمه در حوزه بسامد و در حالت‌های مختلف عملکردی موتور و تجهیزات جانبی با استفاده از تحلیل مرتبه موضوعی است که در مقالات دیگر کمتر به آن پرداخته شده است. در بیشتر مقالات رفتار تسمه در حالت موتور گردانی مورد تحلیل قرار گرفته و اثر روشن و یا خاموش بودن تجهیزات در رفتار تسمه و تحلیل آن در حوزه بسامد کمتر بررسی شده است.

۲- مواد و روش‌ها

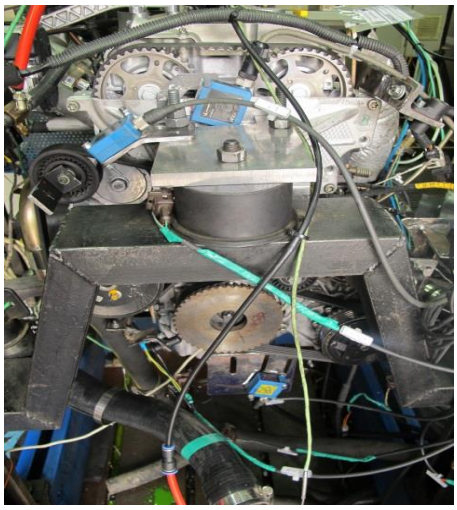
در این تحقیق ارتعاشات تسمهٔ متعلقات در یک نمونه موتور احتراق داخلی ۴ استوانه، بنزینی مجهز به پرخوران در اتاق آزمون اندازه‌گیری گردید. تصویر مجموعه متعلقات موتور مورد آزمون در شکل ۱ آورده شده است. محل نصب حسگرهای جابجایی تسمه نیز در شکل ۲ آورده شده است.

حسگرهای مورد استفاده از نوع لیزری هستند و جابجایی تسمه را اندازه می‌گیرند. بیشترین جابجایی تسمه در وسط ناحیه دو چرخ‌تسمه با بیشترین طول و یا با بیشترین نیروی کشش دینامیکی اتفاق می‌افتد [۸]. دلیل انتخاب این دو نقطه آن است که دارای بیشترین طول تسمه بین دو چرخ‌تسمه کنار هم هستند و در نتیجه بیشترین جابجایی تسمه در این نقاط روی خواهد داد. با توجه به جهت چرخش

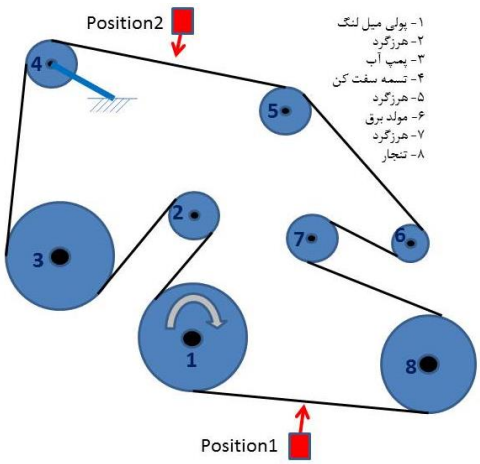
[1] Serpentine belt
[2] A/C compressor
[3] Alternator
[4] Steering hydraulic pump

میل‌لنگ، موقعیت ۱ در سمت کششی چرخ‌تسمه میل‌لنگ قرار دارد و در نتیجه دارای بیشترین نیروی کششی تسمه نیز است.

موتور از دور ۱۰۰۰ تا ۵۵۰۰ د.د.د. در مدت ۱۲۰ ثانیه برده می شود و جابجایی تسمه با بسامد ۵ kHz داده برداری شده است. به منظور بررسی اثر بار موتور و همچنین تجهیزات جانبی بر روی ارتعاشات، این رویه در ۴ حالت نیمه بار و تمام بار موتور و حالتهای روشن و خاموش بودن تنجار و مولد برق مجموعه متعلقات انجام گرفته است. به منظور مشابه بودن بار روی تنجار و مولد برق با حالت خودرویی، فشار تنجار آن و جریان مولد برق بر روی خودرو اندازه گیری شده و در اتاق آزمون اعمال گردیده است.



شکل ۱: موتور مورد آزمون در اتاق به همراه تجهیزات اندازه گیری جابجایی تسمه



شکل ۲: چیدمان تجهیزات جانبی موتور و محل نصب حسگرها

۳- نتایج و بحث

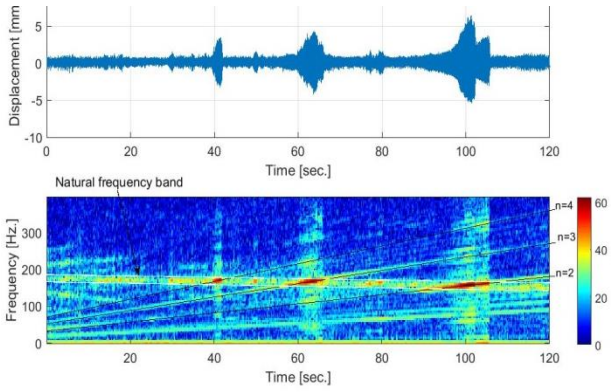
همانطور که بیان شد داده برداری با بسامد ۵ kHz انجام شده و بنابراین بر طبق قضیه نایکوئیست تا بسامد ۲,۵ kHz میتوان محتوای بسامدی را استخراج کرد [۹]. اما از آنجا که پدیده‌های غالب بیشتر در بسامدهای زیر ۵۰۰ Hz هستند، نمودارهای آبشاری تا بسامدهای کم رسم شده تا واضحتر باشند.

نتایج آزمون در ۴ بخش زیر ارائه شده است. در تمامی نمودارها، زمان صفر متناسب دور موتور ۱۰۰۰ د.د.د. و زمان ۱۲۰ ثانیه متناسب دور موتور ۵۵۰۰ د.د.د. است و بین این دو زمان دور (سرعت) موتور به‌صورت خطی افزایش یافته است.

۳-۱- حالت نیمه بار موتور و تجهیزات جانبی (تنجار و مولد برق) خاموش

نمودار جابجایی تسمه در موقعیت ۱ در شکل ۳ (بالا) آورده شده است. همانطور که مشخص است در سه دور موتور دامنه نوسانات تسمه افزایش یافته است. با استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه[1] علامت جابجایی تسمه به حوزه بسامد برده شد.

این کار با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. تبدیل فوریه زمان کوتاه به منظور تحلیل چگونگی تغییر محتوای بسامدی یک علامت غیر ایستا در طول زمان استفاده می‌شود. بنابراین با توجه به نوع علامت جابجائی تسمه، برای تحلیل بسامدی آن مناسب به نظر می‌رسد. در این روش یک پنجره تحلیل[2] به طول تعریف شده در طول علامت حرکت کرده و در هر پنجره تبدیل فوریه گسسته محاسبه می‌شود. نمودار آبشاری این علامت در شکل ۳ نشان داده شده است.

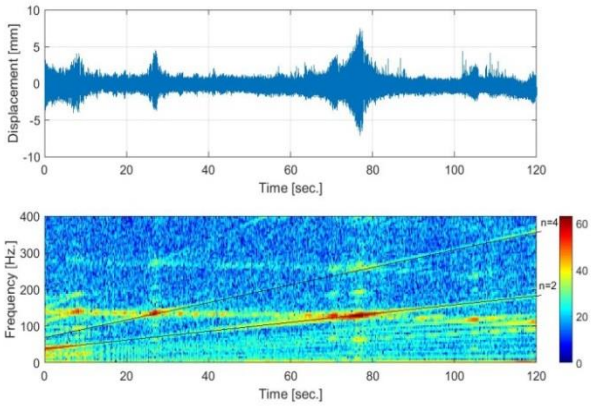


شکل ۳: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۱ از تسمه در محدوده ۱۷۵ Hz تا ۱۵۰ Hz بر حسب دور موتور تغییر کرده و بر حسب دور موتور روند کاهشی دارد. بسامد غالب در سه محدوده‌ای که دامنه نوسانات تسمه در آن بیشتر شده متناسب با به ترتیب مرتبه ۲، ۳ و ۴ دور موتور هستند. شکل ۳ نشان می‌دهد که دامنه نوسانات تسمه مربوط به بسامد مرتبه ۲ موتور از مرتبه ۳ و ۴ بیشتر است. در شکل ۴ نمودار جابجایی تسمه در موقعیت ۲ آورده شده است. همانطور که مشخص

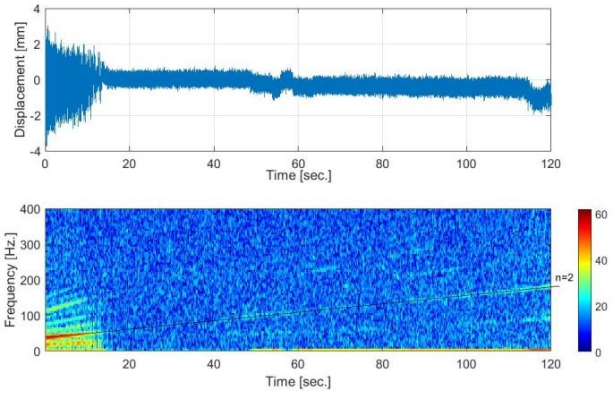
[1] Short-time Fourier transform (STFT)
[2] Analysis Window

است در سه دور موتور دامنه نوسانات تسمه افزایش یافته است. بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۲ از تسمه در محدوده ۱۴۰ Hz تا ۱۲۵ Hz بر حسب دور موتور تغییر کرده و بر حسب دور موتور روند نزولی دارد.
بسامد غالب در سه محدوده‌ای که دامنه نوسانات تسمه در آن بیشتر شده متناسب به ترتیب مرتبه ۶، ۴ و ۲ دور موتور هستند. شکل ۴ نشان می‌دهد که دامنه نوسانات مربوط به بسامد مرتبه ۲ موتور از مرتبه ۴ و ۶ بیشتر است. بسامد مربوط به مرتبه ۲ علاوه بر دور حدود ۳۹۰۰ د.د.د. (ثانیه ۷۵)، در دورهای کُند نیز دامنه بالایی دارند که مربوط به نوسان تسمه سفت‌کن است ولی از آنجا که در دورهای کُند نزدیک به بسامد طبیعی تسمه نیست دامنه آن کمتر از دور ۳۹۰۰ د.د.د. است.



شکل ۴: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

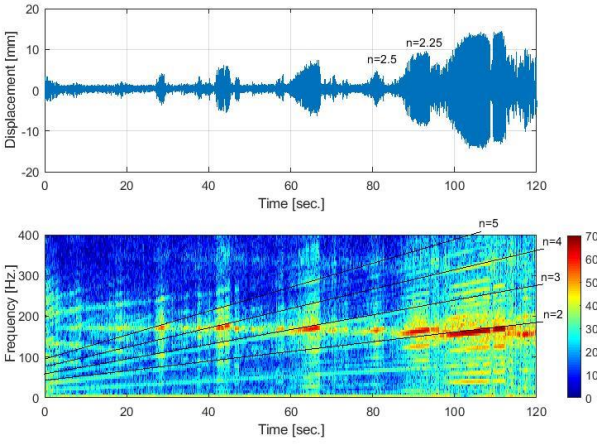
برای تسمه سفت‌کن بسامد مرتبه ۲ دور موتور نسبت به مرتبه‌های دیگر دامنه بیشتری دارد (شکل ۵). همچنین دامنه ارتعاشات تسمه سفت‌کن، فقط در دورهای کُند قابل توجه است.



شکل ۵: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

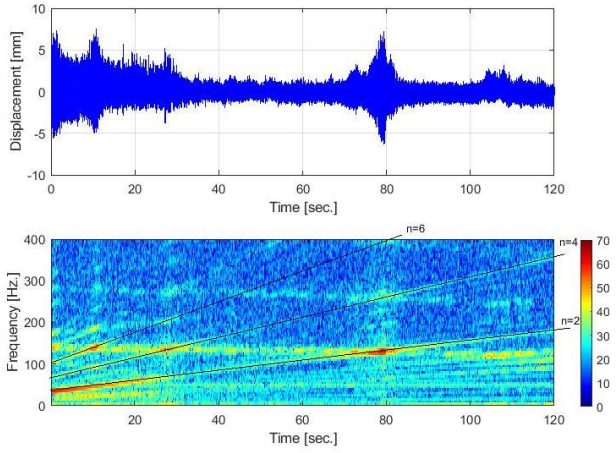
۳-۲- حالت تمام بار موتور و تجهیزات جانبی (تنجار و مولد برق) خاموش

نمودار جابجایی تسمه در موقعیت ۱ و نمودار آبشاری آن در حوزه بسامد، در شکل ۶ آورده شده است. همانطور که مشخص است در شش دور موتور دامنه نوسانات تسمه افزایش یافته است. بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۱ در محدوده ۱۷۵ Hz تا ۱۵۰ Hz بر حسب دور موتور تغییر کرده و برحسب دور موتور روند کاهشی دارد.
بسامد غالب در شش محدوده‌ای که دامنه نوسانات تسمه در آن بیشتر شده متناسب با به ترتیب مرتبه‌های ۵، ۴،۳، ۲،۵، ۲،۲۵ و ۲ دور موتور هستند. شکل ۶ نشان می‌دهد که دامنه نوسانات تسمه مربوط به بسامد مرتبه ۲ موتور از بقیه بزرگتر و دارای پهنای بیشتری است.



شکل ۶: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

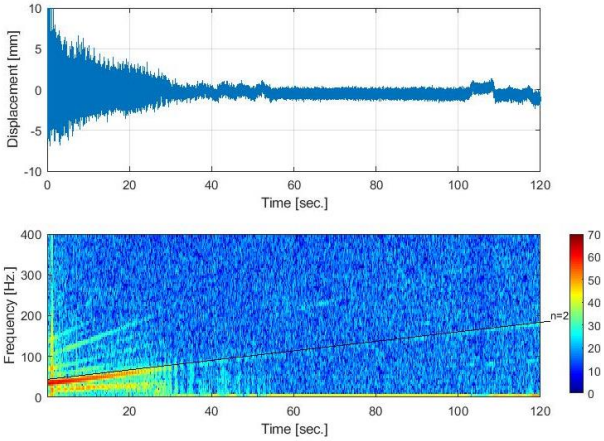
در شکل ۷ نمودار جابجایی تسمه در موقعیت ۲ آورده شده است. همانطور که مشخص است در دو دور موتور دامنه نوسانات تسمه افزایش یافته است.



شکل ۷: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۲ از تسمه در محدوده ۱۴۰ Hz تا ۱۲۵ Hz بر حسب دور موتور تغییر کرده است. بسامد غالب در دو محدوده‌ای که دامنه نوسانات تسمه در آن بیشتر شده متناسب با به ترتیب مرتبه ۶ و ۲ دور موتور هستند. بسامد مربوط به مرتبه ۲ علاوه بر دور حدود ۴۰۰۰ د.د.د. (ثانیه ۷۸)، در دورهای کُند نیز دامنه بالایی دارند که مربوط به نوسان تسمه سفت‌کن است و دامنه آن قابل توجه و در اندازه دامنه نوسانات در محدوده بسامد طبیعی است.

برای تسمه سفت‌کن بسامد مرتبه ۲ دور موتور نسبت بـه مرتبـه‌هـای دیگر دامنه بیشتری دارد (شکل ۸). این مرتبه در دورهای کُنـد باعـث نوسان شدید در تسمه سفت‌کن و تسمه در موقعیت ۲ می‌شود.

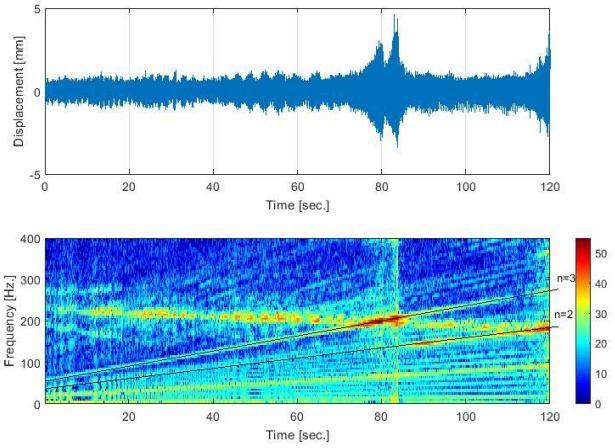


شکل ۸: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

۳-۳- حالت نیمه بار موتور و تجهیزات جـانبی (تنجـار و مولد برق) روشن

نمودار جابجایی و آبشاری تسمه در موقعیت ۱ در شکل ۹ آورده شـده است. همانطور که مشـخص اسـت در دو دور موتـور دامنـه نوسـانات تسمه افزایش یافته است.

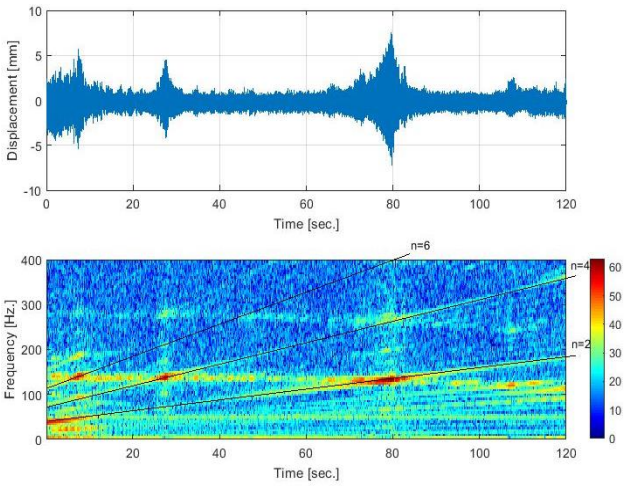
بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۱ در محدوده ۲۳۵ Hz تـا ۱۸۵ Hz بـر حسب دور موتور تغییر کرده است. بسامد غالب در دو محـدوده‌ای کـه دامنه نوسانات تسمه در آن بیشتر شده متناسب با به ترتیب مرتبه ۳ و ۲ دور موتور هستند.



شکل ۹: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

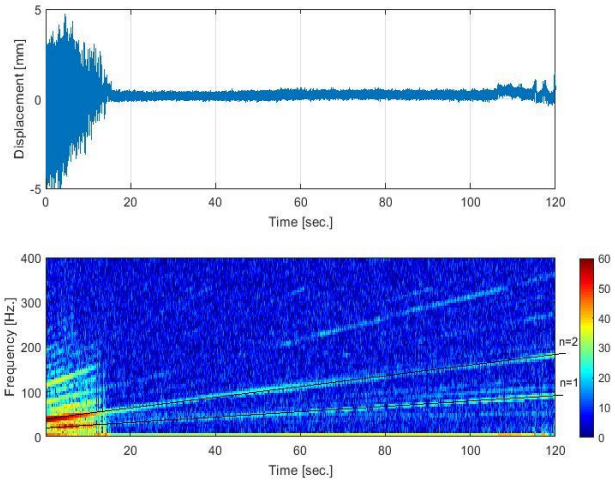
در شکل ۱۰ نمودار جابجایی تسمه در موقعیـت ۲ آورده شـده اسـت. همانطور که مشخص است در سه دور موتـور دامنـه نوسـانات تسـمه افزایش یافته است.

بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۲ از تسـمه در محـدوده ۱۴۰ Hz تـا ۱۲۵ Hz بر حسب دور موتور تغییر کرده است. بسامد غالـب در دو محـدوده‌ای که دامنه نوسانات تسمه در آن بیشتر شده متناسب به ترتیـب مرتبـه‌های ۶، ۴ و ۲ دور موتور هستند.



شکل ۱۰: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

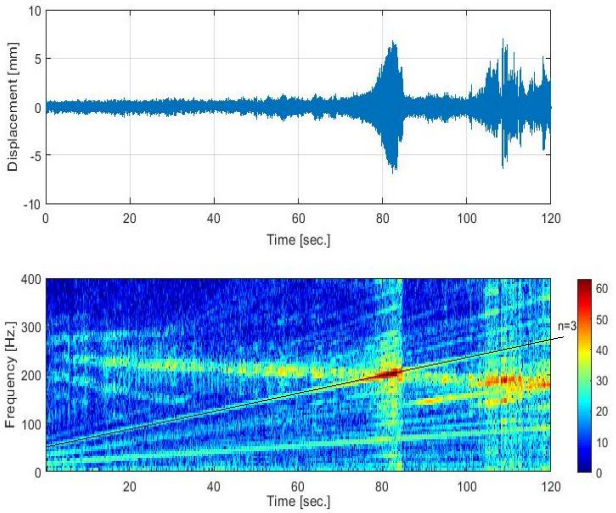
برای تسمه سفت‌کن بسامد مرتبه ۲ دور موتور نسبت بـه مرتبـه‌هـای دیگر دامنه بیشتری دارد. این مرتبـه در دورهـای کُنـد باعـث نوسـان شدید در تسمه سفت‌کن و تسمه در موقعیت ۲ می شـود (شـکل ۱۱). در این حالت بسامد مرتبه اول نیز قابل توجه است.



شکل ۱۱: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

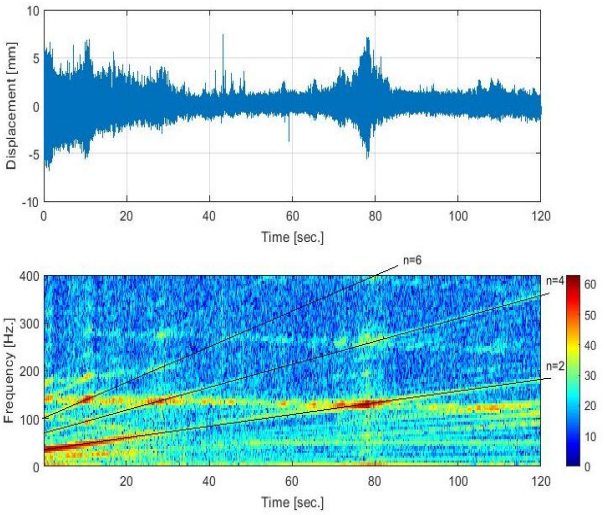
۳-٤- حالت تمام بار موتور و تجهیزات جـانبی (تنجـار و مولد برق) روشن

نمودار جابجایی و آبشاری تسمه در موقعیت ۱ در شکل ۱۲ آورده شده است. همانطور که مشخص است در یک دور موتـور دامنـه نوسـانات تسمه افزایش یافته است. بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۱ در محـدوده ۲۳۵ Hz تا ۱۸۵ Hz بر حسب دور موتـور تغییـر کـرده اسـت. بسـامد غالب در یک محدوده‌ای که دامنه نوسانات تسمه در آن بیشـتر شـده متناسب با مرتبه ۳ دور موتور است.



شکل ۱۲: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

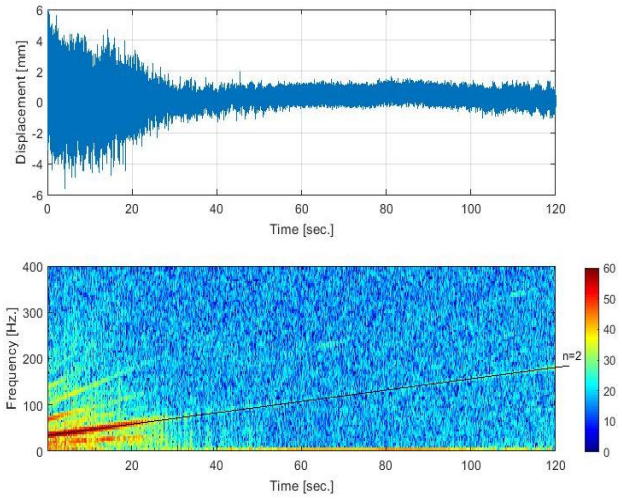
در شکل ۱۳ نمودار جابجایی موقعیت ۲ آورده شده است. همان طور که مشخص است در سه دور موتور دامنه نوسانات تسمه افزایش یافته است.



شکل ۱۳: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد (پائین)

بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۲ از تسمه در محدوده ۱۴۰ Hz تا ۱۲۵ Hz بر حسب دور موتور تغییر کرده است. بسامد غالب در دو محدوده‌ای که دامنه نوسانات تسمه در آن بیشتر شده متناسب به ترتیب مرتبه-های ۶ و ۲ دور موتور هستند.

برای تسمه سفت‌کن مرتبه ۲ دور موتور نسبت به مرتبه‌های دیگر دامنه بیشتری دارد. این مرتبه در دورهای کُند باعث نوسان شدید در تسمه سفت‌کن و تسمه در موقعیت ۲ می شود (شکل ۱۴). در این حالت بسامد مرتبه اول نیز قابل توجه است.



شکل ۱۴: علامت حوزه زمان (بالا)- نمودار آبشاری حوزه بسامد(پائین)

۳-۵- تحلیل نتایج

در تمامی نمودارهای آبشاری، یک محدوده بسامدی در تمامی زمانها (دور موتور) دامنه بالایی دارد که باند بسامد طبیعی تسمه بوده و در شکل ۳ مشخص گردیده است. بسامد طبیعی تسمه‌ای که بین دو چرخ‌تسمه در حال چرخش است، تابعی از طول تسمه در بین دو چرخ‌تسمه، نیروی کشش تسمه، جرم واحد طول تسمه و سرعت حرکت تسمه است [۱۰].

بنابراین بسامد طبیعی ارتعاشات تسمه با تغییر دور موتور و تغییر سرعت خطی تسمه، تغییر می‌کند و نتایج آزمون‌ها این موضوع را نشان می‌دهد. تغییر بسامد طبیعی تسمه در ناحیه بین تنجار و چرخ‌تسمه میل‌لنگ (موقعیت ۱) در حالت روشن و خاموش بودن تنجار نیز به دلیل تغییر کشش تسمه در این ناحیه است. اما بار موتور تأثیری روی بسامد طبیعی تسمه ندارد. بر طبق قانون مرسنه[1] بسامد طبیعی یک ریسمان کشیده شده از معادلهٔ ۱ محاسبه می‌شود. همانطور که در این رابطه آورده شده است، بسامد طبیعی با جذر نیروی کشش وابستگی مستقیم دارد. بنابراین اگر تسمه با ریسمان مشابه‌سازی شود، در تسمه نیز بین کشش و بسامد طبیعی رابطه مستقیم وجود خواهد داشت.

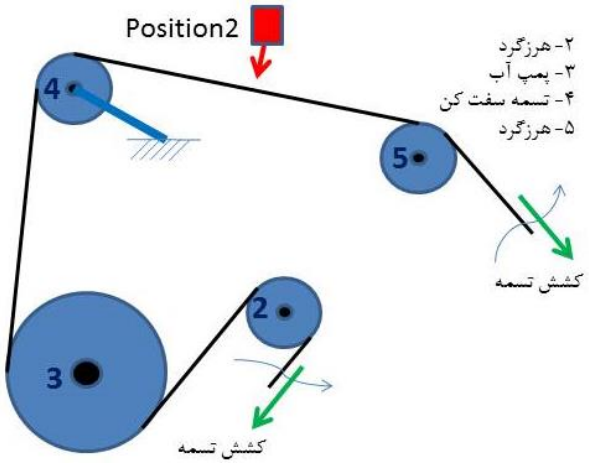
$$f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \qquad (۱)$$

در این رابطه f بسامد طبیعی نوسانات ریسمان، L طول ریسمان، F نیروی کشش و μ جرم واحد طول تسمه است.

با توجه به شکل ۱۵ و ثابت بودن گشتاور مورد نیاز برای چرخش پمپ آب در دو حالت روشن و خاموش بودن تنجار و مولد برق، کشش تسمه در ناحیه ۲ در حالت روشن و خاموش بودن تنجار و مولد برق

[1] Mersenne law

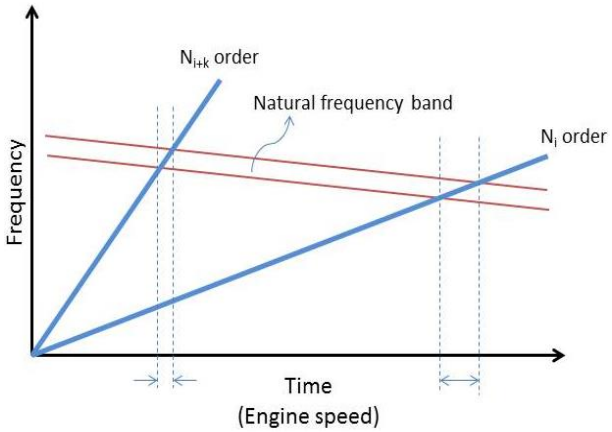
تغییر زیادی ندارد، بنابراین بسامد طبیعی تسمه در ناحیه ۲ تغییر محسوسی نکرده است.



شکل ۱۵: وضعیت تجهیزات جانبی در اطراف موقعیت ۲ تسمه

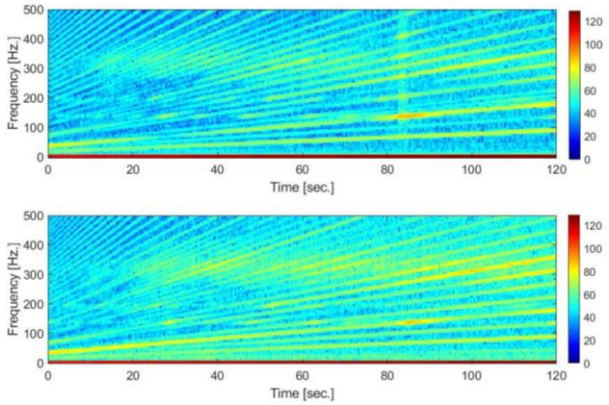
در ناحیه ۱، در حالت خاموش بودن تجهیزات، بسامد متناسب مرتبه ۲ دور موتور بیشترین دامنه را دارد (در حالت نیمه بار و تمام بار). اما در حالت روشن بودن تجهیزات به دلیل بیشتر شدن مقدار بسامد طبیعی تسمه، بسامد متناسب مرتبه ۲ دور موتور در محدوده کاری دور موتور به بسامد طبیعی تسمه نمی‌رسد و در نتیجه دامنه نوسانات تسمه کمتر از حالت خاموشی تجهیزات است.

شکل ۱۶ به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد که چرا وقتی مرتبه‌های پائین‌تر عامل تحریک هستند، نمودار نوسانات تسمه بر حسب زمان معمولاً پهن‌تر است و به عبارت دیگر در محدوده زمانی بیشتری دامنه نوسانات زیادی دارد.



شکل ۱۶: وضعیت مراتب مختلف دور موتور و باند بسامد طبیعی

بررسی علامت چرخش میل‌لنگ در حوزه بسامد نشان می‌دهد که در مرتبه‌های یکسان، این علامت در حالت تمام بار موتور دامنه بیشتری نسبت به حالت نیمه بار دارد. این موضوع که نشان‌دهنده بیشتر شدن نوسانات دور میل‌لنگ است، یکی از دلایل بیشتر بودن دامنه نوسانات تسمه در حالت تمام بار نسبت به حالت نیمه بار موتور است.



شکل ۱۷: نمودار آبشاری دور میل‌لنگ: نیمه بار (بالا)-تمام بار (پائین)

با توجه به این مطالب مشخص می‌شود که چرا بیشترین و پهن‌ترین دامنه نوسانات تسمه در حالت تمام بار و خاموش بودن تجهیزات جانبی مشاهده می‌شود (شکل ۶). در شکل ۶ مشاهده می‌شود که مرتبه‌های میانی[1] نیز در برخی از دورهای موتور دامنه قابل توجهی دارند. این موضوع نیاز به بررسی بیشتری دارد تا عامل تحریک آن مشخص گردد.

در ناحیه ۲ تسمه فقط مرتبه‌های زوج دور موتور دامنه قابل توجه دارند. در این ناحیه از آنجا که یک سمت آن بر روی تسمه سفت‌کن قرار دارد، در دورهای کُند بسامد متناسب مرتبه ۲ دور موتور قابل توجه است و در بسامدهایی که از بسامد طبیعی نیز دور هستند دامنه بالایی دارند. در ناحیه ۲ تسمه، در دورهای تُند دامنه نوسانات از بار موتور و بار تجهیزات جانبی تأثیر زیادی نگرفته و مرتبه‌های ۲ و ۴ در نزدیکی بسامد طبیعی دامنه تقریبا یکسانی دارند.

بسامد مرتبه ۲ دور موتور که در یک موتور ۴ زمانه با بسامد احتراق نیز یکسان است، از مهمترین بسامدها در ارتعاشات قطعات موتور است چراکه احتراق ازجمله منابع ایجاد ارتعاش در موتور است. در تسمهٔ متعلقات نیز این بسامد در بیشتر حالتهای عملکردی غالب است.

٤- نتیجه گیری

با توجه به مطالب بیان شده نتایج این تحقیق بدین شرح است:

- در تمامی دورهای موتور یک محدوده بسامدی دامنه بالاتری دارد که بسامد طبیعی ارتعاشات تسمه است. با افزایش دور موتور این باند بسامدی کاهشی است.
- افزایش نیروی کشش تسمه با تحت بار قرار گرفتن تنجار و مولد برق، باعث افزایش بسامد طبیعی تسمه در ناحیه متصل به چرخ‌تسمه تنجار (ناحیه ۱) می‌شود اما بسامد طبیعی در نواحی دیگر (ناحیه ۲) از این موضوع تأثیر نمی‌گیرند.
- بسامد طبیعی تسمه تأثیر زیادی از بار موتور نمی‌گیرد.

[1] Interharmonics

- در ناحیه بین چرخ‌تسمه تنجار و میل‌لنگ (ناحیه ۱ تسمه)، بسامد متناسب مرتبه ۲ دور موتور در محدوده بسامد طبیعی، در حالت تمام بار و تجهیزات خاموش، بیشترین دامنه نوسانات را در تمامی حالتهای عملکردی موتور دارد.
- در ناحیه بین هرزگرد و تسمه سفت‌کن (ناحیه ۲ تسمه)، در دورهای کُند، دامنه مربوط به بسامد متناسب مرتبه ۲ دور موتور، از بار موتور و وضعیت تجهیزات جانبی تأثیر می‌گیرد ولی در دورهای تُند تأثیر نمی‌گیرد.

تشکر و قدردانی

لازم است از تمامی کارکنان آزمایشگاه موتور شرکت ایپکو که ما را در انجام آزمون یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی نماییم.

مراجع و منابع

[1] A. Fujii, S. Yonemoto, k. Miyazaki, Analysis of the accessory belt lateral vibration in automotive engines, JASE review, 23(2002) 41-47

[2] L. Zhang, Dynamic analysis of viscoelastic serpentine belt driving systems, Toronto University, 1999

[3] M. Sakaguchi, T. Nishio, T. Shinohara, Study of the Mechanism of Accessory Drive Belt Noise, SAE 2009-01-0186

[۴] سید محمد جعفری، محمد کاظمی، مصطفی مرزبان، سید اشکان موسویان، سلامت سنجی و بررسی عملکرد تسمهٔ متعلقات موتور احتراق داخلی در شرایط بحرانی، فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات موتور، شماره ۲۵ (۱۳۹۰) ۰۳-۱۲

[5] B. Mashhadi, E. Zakeri, Dynamical analysis and design of front engine accessory drive system, International Journal of Automotive Engineering, 1 (1) 2011 38-46

[6] B. Shangguan, X. Feng, H. Lin, J. Yang, A calculation method for natural frequencies and transverse vibration of a belt span in accessory drive systems, Proc IMechE Part C: J Mechanical Engineering Science, 227(10) 2012 2268–2279

[۷] سید محمد جعفری، سعید جوان، عبدالرضا صادقی، مهدی رضایی، بهزاد نیکخو، بررسی تجربی هر یک از اجزا سامانه تسمهٔ متعلقات در موتور احتراق داخلی، هشتمین همایش موتورهای درونسوز، تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۲

[8] B. Shangguan, X. Zeng, Modeling and Validation of Rotational responses for accessory drive systems part I: Experiments and belt modeling, Journal of vibration and acoustic, 135, 2013

[9] C. Palestini, Engine crankshaft torsional vibration analysis for anomalies detection, Aalto University, 2018

[10] H. Tokoro, M. Nakamura, N. Sugiura, H. Tani, Analysis of transverse vibration in engine timing belt, JASE review, 18(1997) 33-38

The Journal of Engine Research

Journal Homepage: www.engineresearch.ir

Order analysis of serpentine belt transverse vibration

J. Hashemi Daryan[1*], S. Javan[2], B. Mirza rezaei[3], M. Nejat[4]

[1] *Irankhodro powertrain company (IPCO), Tehran, Iran, J_hashemi@ip-co.com*
[2] *Irankhodro powertrain company (IPCO), Tehran, Iran, s_javan@ip-co.com*
[3] *Irankhodro powertrain company (IPCO), Tehran, Iran, b_rezaei@ip-co.com*
[4] *Irankhodro powertrain company (IPCO), Tehran, Iran, m_nejat@ip-co.com*
[*] *Corresponding Author*

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 30 November 2019
Accepted: 18 February 2020

Keywords:
Order analysis
Transverse vibration
Engine serpentine belt
Natural frequency

ABSTRACT

Transverse vibration of the serpentine belt is effective at noise and durability of it. Therefore, understanding of this phenomenon and studying effective parameters can be used in the process of reducing belt noise and increasing life time. In this paper, transverse vibration of serpentine belt is measured experimentally and analyzed. In the implementation test steps, the displacement of the belt in two positions has been measured. Then, the time signals were transformed to frequency domain. It is derived and observed that the belt vibration is synchronous with engine speed, accordingly order analysis is selected to analysis the vibration signal. Results show that the natural frequency of serpentine belt in the region between A/C compressor and crankshaft pulley changes due to A/C compressor loading, but this parameter is not affected by engine load variations. In the area between automatic tensioner and idler, natural frequency is constant regardless of A/C compressor on-off condition and engine load changing. In all engine rotating speeds, the dominant frequencies are highly closed to the natural frequencies. In some engine speeds, vibration amplitude is high and the frequency of these points are proportionally equal to 2, 3, 4 and other orders of engine speed.

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