

تحلیل گرما پویایی روند تغییرات زوایای گشودگی سامانه زمان بندی متغیر پیوسته دریچه‌های موتور ملی

سید مصطفی میرسلیم^۱؛ مجید کرباس فروش‌ها^۲؛ امیرحسین پریور^۳؛ پیمان شرقی^۴

چکیده

سامانه زمان بندی متغیر پیوسته دریچه‌ها یا سامانه زبمپ وظیفه تغییر مداوم زمان گشودگی دریچه‌ها را به عهده دارد. این سامانه در موتور ملی بر روی میل بادامک هوا قرار گرفته است. در این مقاله به تحلیل گرما پویایی روند تغییرات زوایای انتخابی گشودگی دریچه که بر حسب دور و بار موتور تغییر می‌کند، پرداخته می‌شود. زوایای گشودگی در دو حالت گاز سوز و بنزین سوز و با انتخاب نقطه بهینه بر اساس داده‌های حاصل از آزمون موتور بدست آمده است و این مقاله به تحلیل دما پویایی علت این انتخاب می‌پردازد.

کلمات کلیدی: زبمپ، تاخیر، پیشی، همپوشانی، بازگردانی داخلی دود

Thermodynamic Analysis Of Variation Of Opening Angles Of Continuous Variable Valve Timing System

S. Mostafa Mirsalim ; Majid Karbasforushha ; Amirhossein Parivar ; Peyman Sharghi

ABSTRACT

Continuous Variable Valve Timing System or CVVT has a duty of variation of continuous open timing of the valves. This system has been put on the intake camshaft in EF7 engine. In this article, thermodynamic analysis of variation for open selective angles of valve according to variation of engine speed and load has been investigated. Opening angles in two state of gas and gasoline fuel by selecting of best point on the basis of data results of engine test has been achieved and this article analyses of the cause of this selection from thermodynamic point of view.

KEYWORDS : CVVT, Retard, Advance, Overlap, Internal Exhaust Gas Recirculation

در موتور ملی (EF7) این سامانه بر روی میل‌بادامک هوا قرار دارد و توانایی تغییر زاویه گشودگی دریچه‌ها را تا ۴۸ درجه میل‌لنگ داراست. در این نوشتار ابتدا به معرفی جدول زوایای گشودگی و سپس به تحلیل راهبرد موتور در انتخاب زاویه گشودگی دریچه بر حسب دور و بار و در پایان به مقایسه زوایای گشودگی در دو حالت گاز سوز و بنزین سوز پرداخته

۱- مقدمه

امروزه استفاده از سامانه‌های عملکرد متغیر دریچه‌ها برای بهبود مشخصه‌های موتور بسیار گسترش یافته است. سامانه زبمپ نیز از این سامانه‌هاست که زمان گشودگی دریچه را بسته به تغییر نقطه کاری موتور تغییر می‌دهد.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۹/۱۴

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۸/۷/۲۶

^۱ استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ Email: mo_mirsalim@yahoo.com

^۲ کارشناس ارشد شرکت ایپکو؛ کیلومتر ۶ جاده مخصوص کرج شرکت ایپکو؛ Email: m_karbasi@ip-co.com

^۳ نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ Email: amirhossein_parivar@yahoo.com

^۴ کارشناس ارشد شرکت ایپکو؛ کیلومتر ۶ جاده مخصوص کرج شرکت ایپکو؛ Email: p_sharghi@ip-co.com

۳-۳-۱۳ هبرد سامانه زبمپ و اثر آن بر مشخصه‌های

موتور بر حسب تغییر دور موتور:

۳-۱-۱-۳- دور کند (۱۵۰۰-۸۰۰ دور در دقیقه)

در دور کند، برای کاستن از مقدار دود باقیمانده در داخل استوانه سامانه، باز شدن دریچه ورودی را به تأخیر می‌اندازد تا میزان همپوشانی دریچه‌ها کاهش یابد. برتری این کار افزایش پایداری در احتراق است زیرا با کاهش دود باقیمانده مخلوط سوخت و هوای بیشتری وارد استوانه می‌شود. همچنین اگر موتور سرد باشد با تأخیر بازشوندگی و کاهش دود برگشتی بدخل استوانه در دور آرام و اکشنگر زودتر به دمای کاری خود می‌رسد. البته اثر این پدیده جزئی است. از طرفی این تأخیر در بازشوندگی تأخیر در بسته شدن دریچه را نتیجه می‌دهد و چون سرعت موتور کند است احتمال برگشت مخلوط وارد شده بدخل راهگاه ورودی و در نتیجه کاهش بازده تنفسی و گشتاور تولیدی وجود دارد. لذا این تأخیر در بازشوندگی نباید زیاد باشد.

۳-۲-۲-۳- دور متوسط (۲۰۰۰-۴۰۰۰ دور در دقیقه)

در این حالت سامانه، دریچه‌های ورودی را زودتر باز می‌کند. با زودتر باز شدن دریچه‌های ورودی همپوشانی بین دریچه‌های ورود و خروج افزایش می‌یابد که به دلیل خلأ نسبی راهگاه ورودی بخشی از دود به داخل محفظه احتراق بازگردانده می‌شود و یا اگر چنانچه فشار داخل استوانه در این لحظه از فشار داخل راهگاه ورودی بیشتر باشد، دود بدخل راهگاه ورودی می‌رود و در ابتدای مکش ابتدا دود وارد استوانه می‌شود و سپس مخلوط تازه وارد می‌گردد. این بازگردانی داخلی دود باعث کاهش آلاینده‌ها از جمله کاهش اکسیدهای نیتروژن می‌شود علت این امر کاهش دمای پیشینه احتراق است. همچنین با این عمل بخشی از هیدروکربن‌های نسوخته دور قبل در دور بعدی محترق می‌گردد و لذا بدین گونه میزان هیدروکربن‌های نسوخته نیز کاهش می‌یابد. [۵]

همچنین با اعمال زود باز شوندگی خلأ نسبی ورودی نیز کاهش می‌یابد و اختلاف فشار بین دو طرف سمبه کمتر می‌شود. لذا به نیروی کمتری برای غلبه بر نیروی فشار مقاوم که در پایین سمبه وجود دارد احتیاج است و در نتیجه اتلافات تلمبه‌ای نیز کاهش می‌یابد. در نتیجه کاهش اتلافات تلمبه‌ای حین مکش سیلندر در اثر بازگردانی داخلی

شده است. زوایای انتخابی بر اساس راهبردی که تمامی مشخصات اعم از آلاینده‌ها، مصرف سوخت، توان و گشتاور و پایداری احتراق و... را در محدوده هدف قرار می‌دهد، انتخاب گردیده است.

۲- معرفی جدول زوایای گشودگی

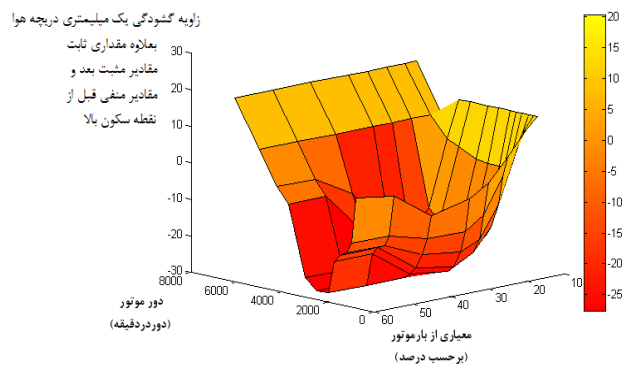
جدول ۱ زوایای گشودگی دریچه را در حالت بنزین سوز نشان می‌دهد.

اعداد جدول از ۲۰ تا ۲۸- تغییر می‌کند. عدد ۲۰+ متعلق به کمترین همپوشانی دریچه‌ها یا همان دیرترین زاویه (Latest) و عدد ۲۸- مربوط به بیشترین همپوشانی یا همان زودترین (Earliest) زاویه است. عدد صفر نیز معرف نقطه سکون بالاست. اعداد جدول معرف زاویه گشودگی یک میلیمتری دریچه هوا است که با مقداری ثابت جمع شده است. زوایا بر حسب زاویه میل‌لنگ بیان شده است که مقادیر مثبت بعد و مقادیر منفی قبل از نقطه سکون بالاست. برای مقادیر بیشتر از ۶۰٪ بار (مثل حالت تمام بار) سطر آخر در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۱: زوایای گشودگی دریچه بر حسب دور و معیاری از

بار در حالت بنزین سوز

دور در دقیقه	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰	۶۱۰۰
معیاری از بار٪	۱۲,۴	۱۲,۴	۱۲,۴	۷,۸	۲۰,۴
۱۲	۱۲,۴	۱۲,۴	۱۲,۴	۷,۸	۲۰,۴
۱۵	۷,۹	-۲,۶	-۱,۶	۷,۸	۲۰,۴
۲۰	-۲,۶	-۲۱,۱	-۲۳,۶	۷,۸	۲۰,۴
۲۵	-۱۲,۱	-۲۵,۶	-۲۷,۶	۷,۸	۲۰,۴
۳۰	-۱۵,۶	-۲۷,۶	-۲۷,۶	۷,۸	۲۰,۴
۴۰	-۱۵,۶	-۲۷,۶	-۲۷,۶	۷,۸	۲۰,۴
۵۰	-۱۲,۶	-۲۷,۶	-۲۴,۸	۷,۸	۲۰,۴
۶۰	-۱۲,۶	-۲۷,۶	-۲۴,۸	۷,۸	۲۰,۴

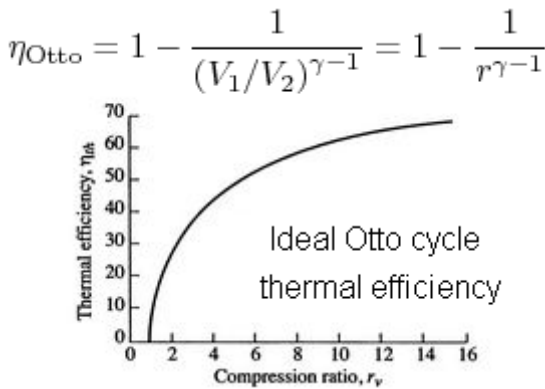


زاویه گشودگی یک میلیمتری دریچه هوا نسبت به نقطه سکون بالا، در نقاط کاری مختلف در حالت بنزین سوز

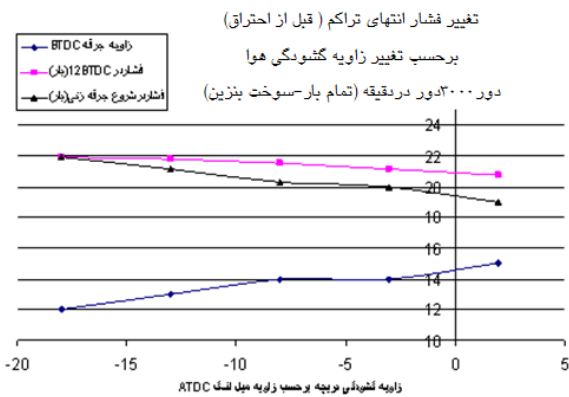
شکل ۱: نمودار سه بعدی زوایای گشودگی دریچه هوا

در حالت بنزین سوز

می‌شود لذا انرژی فعال سازی کمتری برای شروع احتراق لازم بوده و در نتیجه احتراق بهتر صورت می‌گیرد. اما افزایش نسبت تراکم به لحاظ دما پویایی نیز در چرخه اتو منجر به افزایش بازده حرارتی و صرفه جویی در مصرف سوخت می‌شود. (شکل ۳)



شکل ۳: نمودار نسبت تراکم-بازده حرارتی برای چرخه اتو



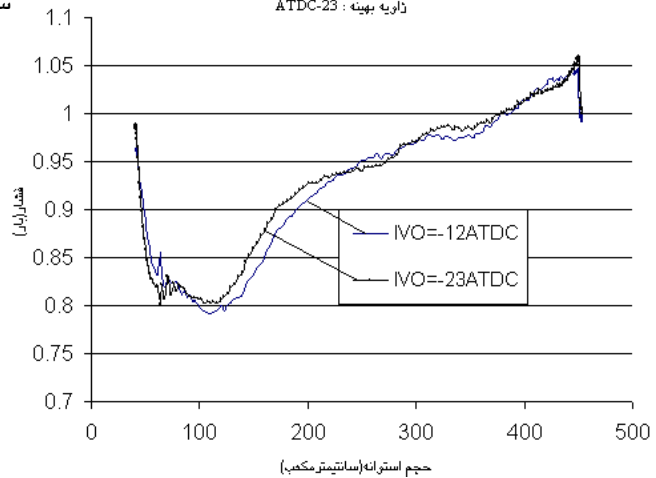
شکل ۴: اثر زود بسته شدن دریچه هوا بر افزایش فشار انتهای تراکم

در شکل ۴ با وجود آنکه زاویه جرکه زنی ضمن تأخیر در زمانبندی دریچه هوا، خود پیشی یافته است اما با این وجود، افزایش فشار انتهای تراکم با زودتر باز شدن و در نتیجه زودتر بسته شدن دریچه هوا، به روشنی دیده می‌شود. زوایای معرفی شده مشابه تعریف اولیه اند. (بخش ۲) اما این زوایا متعلق به نمونه اولیه موتور EF7 است. زاویه ۱۸- درجه متعلق به گشودگی و در نتیجه بسته شدن زودتر است و بیشترین فشار انتهای تراکم در این نقطه رخ داده است.

همان گونه که در ابتدای این بخش (۲-۳) شرح داده شد به کمک سامانه زمانبندی متغیر پیوسته دریچه‌ها می‌توان میزان بازگردانی داخلی دود را تنظیم نمود. اما در گذشته برای دستیابی به مزایای بازگردانی دود، تنها امکان بازگردانی

دود، مصرف مخصوص سوخت نیز کاهش می‌یابد. این پدیده در بارهای میانی و کم، اثر قابل توجهی بر کاهش مصرف مخصوص سوخت و آلاینده‌ها دارد. [۲]

نمودار فشار-حجم استوانه (مرحله مکش) دور 2800 (داده تمام بار سوخت بنزین زاویه بهینه: ATDC-23)



شکل ۲: نمودار فشار-حجم استوانه مرحله مکش دور ۲۵۰۰

دور در دقیقه تغییر زاویه گشودگی

در شکل ۲ دیده می‌شود که با افزایش میزان همپوشانی دریچه‌ها (زودتر باز شدن دریچه) میزان خلأ نسبی راهگام ورودی و در نتیجه اتلافات تلمبه‌ای ناشی از آن کاهش می‌یابد. زاویه بهینه انتخابی در دور یادشده ۲۳ درجه قبل از نقطه سکون بالاست (بنا به تعریف بخش ۲) که متعلق به نمونه اولیه ساخته شده موتور EF7 است.

نتیجه محاسبه مقدار کاهش اتلافات تلمبه‌ای مکش با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده، در جدول ۲ آمده است. به علاوه زود بازشوندگی دریچه ورودی زود بسته شدن آن را نیز منجر می‌شود که این امر نسبت تراکم واقعی را افزایش می‌دهد. منظور از نسبت تراکم واقعی نسبت حجم استوانه در ابتدای تراکم (نقطه‌ای که فشار استوانه از آن نقطه به بعد شروع به افزایش می‌کند) به حجم استوانه در انتهای تراکم (قبل از جرکه زنی) است.

جدول ۲: اثر افزایش همپوشانی بر کاهش اتلافات تلمبه‌ای

مکش در دور ۲۵۰۰ دور در دقیقه

درصد تغییر	P _{pumping} Total PerCycle	P _{pumping} One Cyl PerCycle	E _{pumping} One Cyl PerCycle	زاویه گشودگی BTDC
۶٫۲٪	۲۵۸٫۴	۶۴٫۶	۳٫۱	۱۲
↓	۲۴۲٫۵	۶۰٫۶۲	۲٫۹۱	۲۳

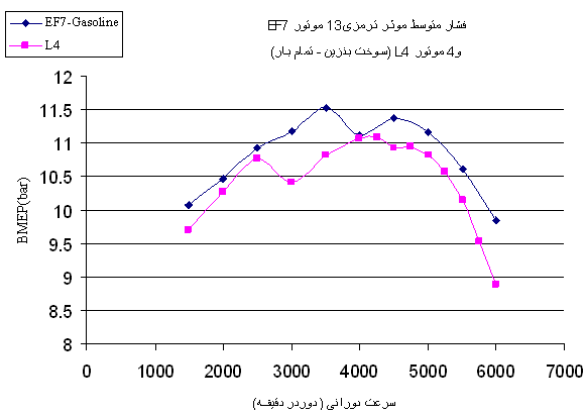
در اثر افزایش نسبت تراکم هم مخلوط سوخت و هوا همگن تر می‌شود و هم فشار و دمای انتهای تراکم بیشتر

نیز به تأخیر می‌افتد و به دلیل اندازه حرکت بزرگ تر، جریان گاز همچنان به سمت استوانه ادامه می‌یابد و بازده تنفسی و در نتیجه گشتاور خروجی افزایش پیدا می‌کند.

در شکل ۵ فشار متوسط مؤثر ترمزی تولیدی موتور ملی (EF7) و موتور (XU7JP/L4) مقایسه شده اند. (موتور L4 اکنون بر روی خودرو زانتیا و پارس ELX استفاده می‌شود). البته نسبت هم ارزی هوا به سوخت (λ) در موتور EF7 کمتر است. لذا در این مقایسه به روند تغییرات توجه می‌کنیم. فشار متوسط مؤثر ترمزی، که در حقیقت نسبت گشتاور به حجم موتور است، معیار قابل قبولی برای مقایسه دو موتور خواهد بود.

$$B_{mep} = \frac{0.04\pi \times T}{V_d} \quad (۱)$$

که در این معادله T گشتاور موتور برحسب Nm و V_d حجم جابجایی سمبه‌ها برحسب لیتر و فشار متوسط مؤثر ترمزی، BMEP برحسب بار است.



شکل ۵: مقایسه BMEP تولیدی موتور EF7 و L4

به دلیل افت کمتر گشتاور در دور تند در موتور EF7، بیشینه توان آن نیز در تندترین دور یعنی ۶۰۰۰ دور در دقیقه رخ می‌دهد، درحالی‌که در موتور L4 بیشینه توان در دور ۵۵۰۰ دور در دقیقه اتفاق می‌افتد که علت آن نیز چنانچه شرح داده شد بهبود بازده تنفسی به توسط سامانه زبمپ در دورهای زیاد برای موتور EF7 است. (شکل ۶) توجه آنکه از دور ۶۰۰۰ دور در دقیقه به بعد بدلیل مشکل شدن روان کاری یاتاقان‌ها و همچنین ناچیز بودن میزان افزایش توان بیشینه دور مجاز موتور EF7 نیز ۶۰۰۰ دور در دقیقه در نظر گرفته می‌شود.

خارجی آن وجود داشت. بدین معنی که بخشی از دود خروجی از استوانه پس از گذر از مسیری به داخل چند راهه هوا بازگردانده شده و وارد استوانه دیگری می‌شود. در این قسمت به مقایسه اثرات بازگردانی داخلی و خارجی دود پرداخته شده است.

مزایای بازگردانی خارجی بر داخلی:

- ۱- کاهش بیشتر دمای دود و کاهش بیشتر دمای احتراق و در نتیجه کاهش بیشتر اکسیدهای نیتروژن.
- ۲- کاهش دما، افزایش چگالی را نتیجه می‌دهد و لذا دود جای کمتری را هنگام ورود مخلوط تازه می‌گیرد.

مزایای بازگردانی داخلی بر خارجی:

- ۱- گرمتر بودن دمای دود در بارهای جزئی مفید است و موجب گرم شدن مخلوط تازه می‌شود و این مساله باعث کاهش انرژی لازم برای شروع احتراق شده و لذا موجب بهبود احتراق می‌شود.

۲- گرم بودن دما باعث احتراق هیدروکربن‌های نسوخته نیز می‌گردد درحالی‌که در بازگردانی خارجی این اتفاق نمی‌افتد. علاوه بر گرمتر بودن دما در بازگردانی داخلی، چون دود باقیمانده تازه از احتراق خارج شده، هیدروکربن‌های نسوخته استعداد اشتعال بیشتری دارند نسبت به دود حاصل از بازگردانی خارجی که باید مسیری را طی کند تا دوباره وارد استوانه دیگری شود. چون در طول این مسیر ذرات کربن در خنک کننده دود و نیز راهگاه‌های ورودی قدری رسوب می‌کند.

۳- بازگشت داخلی دود به داخل استوانه، اتلافات تلمبه‌ای ناشی از مکش را با جبران فشار می‌کاهد. درحالی‌که در بازگردانی خارجی دود، اتلافات تلمبه‌ای تخلیه برای هدایت دود به مسیر ورودی، بیشتر نیز می‌شود.

۴- سامانه های بازگردانی خارجی هزینه بر هستند و دوام آنها به علت مواجهه با گازهای داغ با مشکل روبروست. سامانه تنظیم کننده آنها به رسوبات ناشی از گرفتگی یا نشستی دود حساس می‌باشد.

لذا به طور کلی در موتورهای اشتعال جرقه‌ای،

بازگردانی داخلی بر بازگردانی خارجی ترجیح دارد. [۲]

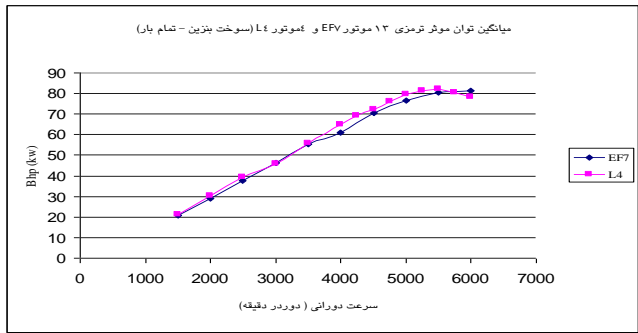
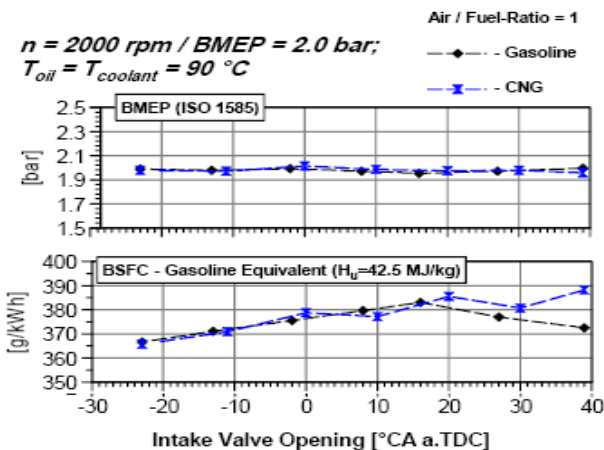
۳-۳- دور تند (۴۵۰۰-۶۰۰۰ دور در دقیقه)

در دور تندتر با به تأخیر انداختن باز شونده دریاچه‌ها به توسط سامانه زبمپ، میزان همپوشانی کاهش می‌یابد تا بازگردانی داخلی دود کم شود زیرا هوای تازه در دور تندتر بیشتر مورد نیاز است. همچنین با این عمل بسته شدن دریاچه

۴- تغییر بار:

۴-۱- دور کند (۱۵۰۰-۸۰۰ دور در دقیقه): با افزایش بار (بیش از ۵۰٪) سامانه‌ی زبمپ در دوره‌های کند، بازشوندگی دریچه را بخصوص برای سوخت بنزین قدری به تأخیر می‌اندازد. علت این امر اجتناب از کوبش است. زیرا اگر در دور کند و بار بزرگ دریچه زودتر باز شود و همپوشانی دریچه‌ها نیز زیاد شود دود باقیمانده افزایش می‌یابد و مخلوط تازه‌ی ورودی را گرم می‌کند و نیز با زودبسته شدن دریچه نسبت تراکم واقعی نیز بیشتر می‌شود و تمایل به کوبش افزایش می‌یابد. به همین دلایل سامانه، بازشوندگی را در دور کند و بار بزرگ قدری به تأخیر می‌اندازد. [۳]

۴-۲- دور متوسط (۲۰۰۰-۴۰۰۰ دور در دقیقه): در دوره‌های میانی و بارهای جزئی (کمتر از ۳۰٪) سامانه زبمپ گشودگی دریچه را به صورت چشمگیری پیشی می‌دهد. با زود باز شدن دریچه میزان همپوشانی دریچه‌ها و میزان بازگردانی داخلی دود بیشتر می‌شود. لذا مخلوط تازه به میزان محدودتری وارد استوانه می‌گردد و در نتیجه میزان گشتاور تولیدی نیز کاهش می‌یابد. همان گونه که در بارهای جزئی هدف همین است. یعنی با استفاده از سامانه زبمپ به جای کاهش گشودگی دریچه گاز برای کاهش بار، همپوشانی دریچه‌ها را می‌توان افزایش داد [۴] و لذا اتلافات تلمبه‌ای ناشی از دریچه گاز کاهش و بازده حرارتی افزایش می‌یابد. کاهش مصرف مخصوص سوخت با توجه به افزایش همپوشانی دریچه‌ها (گشودگی زودتر دریچه هوا) به روشنی در شکل ۸ می‌توان دید. در ضمن به دلیل افزایش دور تمایل به کوبش کمتر است. (به دلیل افزایش آشفستگی در جریان و افزایش سرعت شعله) لذا مشکل گرم شدن مخلوط ورودی و تمایل به کوبش کاهش یافته است.

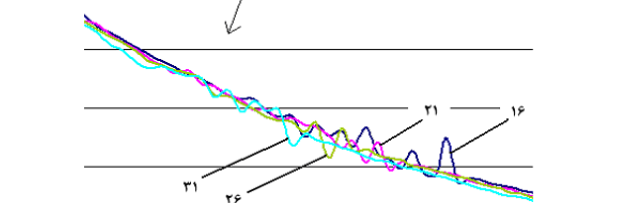
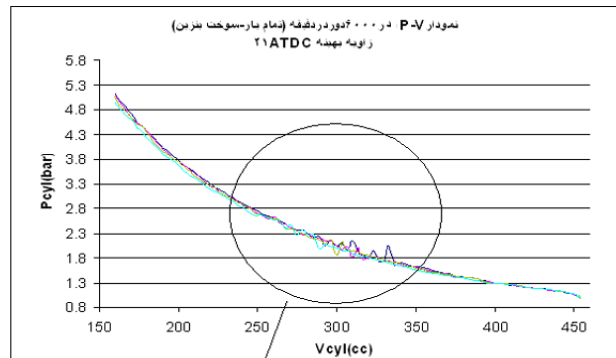


شکل ۶: مقایسه توان مؤثرترمزی در موتور EF7 و L4 از دیگر مزایای تأخیر در بسته شدن دریچه هوا تشدید حرکت گردبادی با محور افقی (Tumble) است. چون سمبه در حال بالا رفتن در استوانه بوده و مخلوط تازه از بالا وارد استوانه می‌شود، این عمل به همگن تر شدن مخلوط کمک می‌کند.

دیر بسته شدن دریچه هوا اتلافات تلمبه‌ای ناشی از تراکم را هم کاهش می‌دهد زیرا فشار داخل استوانه در مرحله تراکم تازمانی که دریچه‌ی هوا کاملاً بسته نشده با شدت کمتری افزایش می‌یابد.

در شکل ۷ اثر تأخیر بسته شدن دریچه‌ی هوا بر تأخیر افزایش فشار استوانه و در نتیجه بر کاهش اتلافات تلمبه‌ای تراکم مشاهده می‌گردد. زوایای مشخص شده مشابه تعریف اولیه (بخش ۲) است.

همان گونه که در شکل (۷) دیده می‌شود در هنگام بسته شدن دریچه هوا، نوسانات فشار، که ناشی از ضربه هنگام بسته شدن دریچه است بوجود می‌آید.

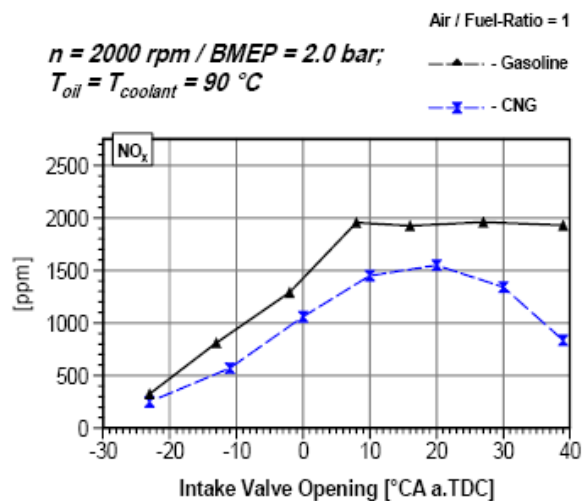


شکل ۷: چگونگی تغییر فشار استوانه بر حسب تغییر زاویه‌ی بازشوندگی دریچه‌ی هوا در بخشی از مرحله‌ی تراکم زوایای اشاره شده در شکل بر حسب درجه بعد از نقطه‌ی سکون

شکل ۸: نمودار مصرف مخصوص سوخت بر حسب تغییر زاویه

گشودگی دریچه هوادر B_{mep} بار

علاوه بر این با افزایش همپوشانی دریچه‌ها و افزایش میزان دود باقیمانده همان گونه که در بخش ۳-۲ شرح داده شد، میزان آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن کاهش می‌یابد. با تغییر زمانبندی، میزان کاهش آلاینده اکسیدهای نیتروژن همان گونه که در شکل ۹ مشخص است بسیار قابل توجه است زیرا تشکیل این آلاینده بسیار وابسته به دمای حداکثری احتراق است و چون با افزایش همپوشانی دریچه‌ها دود باقیمانده افزایش یافته و موجب کاهش دمای احتراق می‌شود، لذا با گشودگی زودتر دریچه هوا میزان غلظت این آلاینده بسیار کاهش یافته است. همچنین دلیل آنکه نرخ سوختن سوخت بنزین نسبت به گاز بیشتر است، در شرایط مشابه (نسبت هم ارزی و بار برابر) دمای بیشینه و در نتیجه آلاینده اکسیدهای نیتروژن سوخت بنزین از گاز بیشتر است. (شکل ۹)



شکل ۹: غلظت آلاینده‌های اکسید نیتروژن بر حسب تغییر

زاویه گشودگی دریچه هوادر B_{mep} بار

در دورهای میانی و بار بزرگ (بیش از ۳۰٪) سامانه زبمپ بازشوندگی را بیشتر پیشی می‌دهد. فشار ورودی با افزایش بار بیشتر می‌شود و لذا عمل بازگردانی داخلی دود نسبت به بارهای جزئی کمتر است و مشکلی از بابت ورود مخلوط تازه به مقدار کافی وجود ندارد. اما این زود باز شدن دریچه زاویه بیشینه گشودگی دریچه را به زاویه بیشینه سرعت سنبه نزدیک می‌گرداند که این امر باعث می‌شود تا در زمانی که شار ورودی بیشینه است مکش نیز بیشینه باشد تا جرم هوای ورودی و بازده تنفسی و در نتیجه گشتاور تولیدی تا حد ممکن افزایش یابد. زاویه گشودگی بیشینه دریچه هوا در حالت زودترین

Earliest برابر ۷۴٫۵ درجه بعد از نقطه سکون بالاست.

از طرفی سرعت سنبه زمانی بیشینه است که شتاب آن

صفر باشد. معادله شتاب سنبه بدین قرار است: [۱]

$$a = rw^2 (\cos\phi + k \sin\phi + \lambda \cos 2\phi) \quad (2)$$

که در آن a شتاب خطی سنبه، r شعاع میل لنگ، w سرعت دورانی آن، ϕ زاویه چرخش میل لنگ نسبت به نقطه سکون بالا، $k = q/l$ که q میزان خارج از مرکزی انگشتی از محاور اصلی و l فاصله دوچشمی دسته سنبه و $\lambda = r/l$ است. با قراردادن مقادیر متعلق به موتور EF7 در معادله یادشده و مساوی صفر قراردادن آن $74.5 \sim \phi$ بدست می‌آید که همان زاویه گشودگی بیشینه دریچه هوا در حالت زودترین است.

۴-۳- دور تند (۴۵۰۰-۶۰۰۰ دور در دقیقه) در دورهای

تند و بار بزرگ زاویه با تاخیر باز و با تاخیر بسته می‌شود چون اثر اندازه‌ی حرکت گاز برای ورود به داخل استوانه اثر غالب است.

۴-۱- اثر امواج فشاری:

با پایین رفتن سنبه در حین مکش به دلیل افت فشار موج انبساط از طرف استوانه به سمت چند راهی هوا ایجاد می‌شود. این موج پس از باز تابش از مخزن آرامش چند راهی هوا به صورت موج فشار مثبت به سمت دریچه حرکت می‌کند. مطلوب آنست که این موج درست در حین بسته شدن دریچه به آن برسد تا با افزایش فشار در پشت دریچه به بهتر پر شدن استوانه و در نتیجه به بهبود بازده تنفسی کمک کند. این امواج با سرعت صوت حرکت می‌کنند و تنها در شاخه‌ای فعال اند که استوانه‌ی آن در انتهای مرحله‌ی مکش باشد و در بقیه‌ی شاخه‌های چند راهی هوا که دریچه بسته است اثری ندارند.

به طور معمول در دور متوسط و در دوری خاص برای هر موتور بازده تنفسی و گشتاور تولیدی بیشینه است. علت این امر افزایش زمان همپوشانی در دور کند و کاهش زمان مطلق تنفس در دور تند است. اما با بکارگیری سامانه زبمپ می‌توان منحنی بازده تنفسی و گشتاور تولیدی را هموارتر نمود. در موتور ملی نیز گشتاور تولیدی بیشینه در دور ۳۵۰۰ دور در دقیقه تولید می‌شود و در دور ۴۵۰۰ با تنظیم چند راهی هوا و بهره‌گیری از اثر امواج فشاری، گشتاور تولیدی برخلاف اصطکاک بیشتر دوباره بیشینه است و پس از آن با شیب ملایم تری نسبت به موتورهای متداول که فاقد سامانه‌ی زبمپ اند کاهش می‌یابد که علت آن نیز همان گونه که پیشتر گفته شد استفاده از اندازه‌ی حرکت سیال برای

ورود به استوانه و تاخیر در بسته شدن دریچه به توسط سامانه است. (شکل ۵)

۵- مقایسه‌ی زوایای گاز و بنزین:

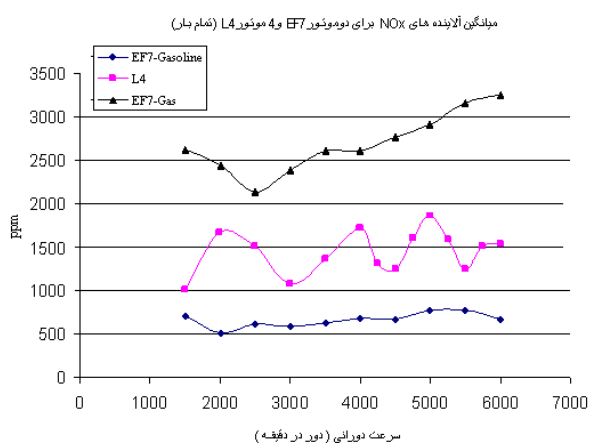
جدول ۳: زوایای گشودگی دریچه بر حسب دور و معیاری از

بار در حالت گاز سوز

دور در دقیقه	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰	۶۱۰۰
	معیاری از بار %				
۱۲	۱۲,۴	۱۲,۴	۱۲,۴	۲,۴	۱۳,۲
۱۵	۰	-۲,۶	-۱,۶	۲,۴	۱۳,۲
۲۰	-۵	-۲۱,۱	-۲۰,۶	۲,۴	۱۳,۲
۲۵	-۱۰	-۲۵,۶	-۲۷,۶	۲,۴	۱۳,۲
۳۰	-۱۴	-۲۷,۶	-۲۷,۶	۲,۴	۱۳,۲
۴۰	-۲۰	-۲۷,۶	-۲۷,۶	۲,۴	۱۳,۲
۵۰	-۲۷,۶	-۲۷,۶	-۲۱,۸	۲,۴	۱۳,۲
۶۰	-۲۷,۶	-۲۷,۶	-۲۱,۸	۲,۴	۱۳,۲

برای کاهش دمای بیشینه‌ی احتراق سامانه‌ی زبمپ با زودتر باز نمودن دریچه هوا همپوشانی دریچه‌ها را افزایش می‌دهد که با عمل بازگردانی داخلی دود، دما و در نتیجه اکسیدهای نیتروژن کاهش یابند. لذا مقدار پیشی زاویه‌ی بازشوندگی دریچه‌ی هوا در سوخت گاز از بنزین بیشتر است.

همان گونه که در شکل ۱۱ مشخص می‌باشد میزان آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن برای سوخت گاز بسیار بیشتر است. اما در دوره‌های میانی به علت حداکثر همپوشانی کاهش چشم‌گیری یافته است.



شکل ۱۱: مقایسه میزان آلاینده اکسیدهای نیتروژن موتور EF7 در حالت گاز سوز و بنزین سوز با موتور L4 در تمام بار

۶- نتیجه‌گیری

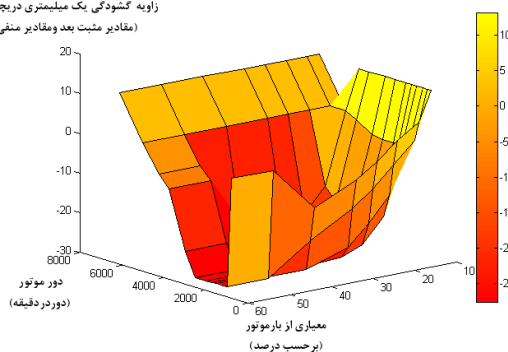
۱- استفاده از سامانه‌ی زبمپ بر تمام مشخصه‌های موتور اعم از کاهش مصرف سوخت، بهبود توان و گشتاور، بهبود پایداری احتراق و نیز کاهش آلاینده‌ها اثر می‌گذارد.

۲- به توسط سامانه‌ی زبمپ نسبت تراکم واقعی و میزان بار موتور قابل تنظیم است. همچنین سامانه‌ی زبمپ با تنظیم مقدار همپوشانی دریچه‌ها میزان اتلافات تلمبه‌ای را کاهش می‌دهد، به طور مثال در ۲۵۰۰ دور در دقیقه با تغییر تنها ۱۰ درجه زاویه‌ی گشودگی دریچه، بیش از ۶ درصد اتلافات ناشی از مکش کاهش می‌یابد.

۳- به کمک سامانه زبمپ و با افزایش همپوشانی دریچه‌ها در بارهای جزئی می‌توان میزان آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن را تا حد زیادی کاهش داد.

۴- بهبود گشتاور متوسط مؤثر ترمزی بدلیل استفاده از اثر اندازه حرکت گاز در دوره‌های زیاد به هدف بهبود بازده تنفسی، به کمک سامانه زبمپ امکان پذیر بوده و اثر قابل توجهی بر بهبود گشتاور در دوره‌های زیاد خواهد داشت.

زاویه گشودگی یک میلیمتری دریچه هوا + مقداری ثابت (مقادیر مثبت بعد و مقادیر منفی قبل از نقطه سکون بالا)



زاویه گشودگی یک میلیمتری دریچه هوا نسبت به نقطه سکون بالا، در نقاط کاری مختلف در حالت گاز سوز

شکل ۱۰: نمودار سه بعدی زوایای گشودگی دریچه‌ی هوا

در حالت گاز سوز

به طور کلی زوایای انتخابی به توسط سامانه‌ی زبمپ برای سوخت گاز نسبت به بنزین در نقاط کاری مشابه پیشی بیشتری دارد. یعنی دریچه‌ی هوا در نقاط کاری مشابه برای سوخت گاز زودتر باز و در نتیجه زودتر نیز بسته می‌شود. نزدیک به ۹۰٪ گاز طبیعی را مولکول متان تشکیل می‌دهد. به دلیل همین تقارن مولکول متان پایدار است و همین امر مقاومت این سوخت را در مقابل کوبش افزایش می‌دهد. لذا این فرصت فراهم می‌شود تا زاویه‌ی جرقه برای بهبود احتراق نسبت به بنزین پیشی یابد. با پیشی یافتن زمان جرقه دمای احتراق افزایش می‌یابد. به این دلیل و نیز بدلیل غنای بیشتر مخلوط سوخت و هوا در حالت بنزین سوز، میزان آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن برای سوخت گاز در تمام بار چندین برابر بنزین است.

۵- روند تغییر زوایا برای سوخت بنزین و گاز بر حسب تغییر دور و بار یکی است با این تفاوت که در حالت گاز سوز زاویه‌ی گشودگی دریچه، پیشی بیشتری دارد.

۷- مراجع

Thermodynamic Analysis Of Variable Valve Timing Influence On SI Engine Efficiency/ Davide moro & Fabrizio Ponti / University of Bologna Italy / SAE Technical Papers /2001-01-0667

Using the 2nd Law Of Thermodynamics to Optimize Variable Valve Timing for Maximizing Torque in a Throttled SI Engine/T.Kohany&E.Sher/Ben Gurion University/ SAE Technical Papers/1999-01-0328

- [۱] دکتر اخلاقی، مهدی؛ "طراحی موتورهای پیستونی" انتشارات بهرام، ۱۳۶۳.
- [۲] مهندس میرسلیم، سیدمصطفی؛ کشاورزیان، محسن؛ "زمانبندی متغیر دریچه‌ها" دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مقاله درس موتورهای پیشرفته، ۱۳۸۶.
- [۳] Variable Valve Actuation 2002/SAE SP-1692

۸- واژه نامه

Maximum	بیشینه
Piston	سمبه
Pumping Losses	اتلافات تلمبه‌ای
Retard	تاخیر
Strategy	راهبرد
Thermodynamic	گرماپویایی
TDC	نقطه سکون بالا
Tumble	حرکت گردبادی بامحور عمودی
Valve	دریچه
Volumetric Efficiency	بازده تنفسی

Advance	پیشی
ATDC	بعد از نقطه سکون بالا
P_{brake}	توان مؤثر ترمزی
Bmep	فشار متوسط مؤثر ترمزی
BDC	نقطه سکون پایین
BTDC	قبل از نقطه سکون بالا
Calibrate	زینه بندی
Catalyst	واکنشگر
Cycle	چرخه
CVVT	زیمپ
Cylinder	استوانه