www.CarGeek.ir

مجموعهٔ چکیدهٔ مقالات هشتمین همایش بین‌المللی موتورهای درونسوز و نفت
۲۸-۳۰ بهمن ۱۳۹۲، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران
ICICE&O-8

طراحی و ساخت یک موتور احتراق داخلی بدون میل بادامک با سوپاپ هوشمند

حامد خدادادی[۱]، علی اکبر رشیدی[۲]

[۱] عضو هیات علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر khodadadi@iaukhsh.ac.ir
[2] دانشجوی کارشناسی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر aliakbar.rashidi1@gmail.com

چکیده

این مقاله با جایگزینی یک سیستم الکتریکی به جای مکانیزم محرک مکانیکی سوپاپ ها به کاهش ضریب اصطکاک موتور خواهد پرداخت. در سیستم‌های کنونی، برای حرکت خطی سوپاپ ها از مکانیزمی استفاده می‌شود که حرکت دورانی را به حرکت خطی تبدیل نماید. جایگزینی سیستم الکتریکی می‌تواند موجب صرفه جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف سوخت و افزایش قدرت موتور گردد و موجب نزدیک شدن نمودار قدرت- سرعت موتور واقعی به ایده آل گردد. نکته قابل توجه استفاده از مکانیزم زمان‌بندی متغیر برای حرکت سوپاپ ها در ساختار عملگر الکتریکی است. این سیستم در مقایسه با مکانیزم‌های VVB و VVTI بسیار پیشرفته‌تر و منعطف‌تر بوده و موجب می‌شود که سرعت و زمان بسته شدن سوپاپ‌ها در هر زمان قابل انجام باشد و بدین ترتیب هر نوع پروفایل زمانی برای حرکت سوپاپ ها قابل اعمال گردد. این امر می-تواند باعث بهینه شدن راندمان در دور موتورهای مختلف گردد. از دیگر نکات قابل توجه می‌توان به مکان‌بندی متغیر اشاره کرد. با توجه به کنترل دقیق بر روی حرکت سوپاپ‌ها، می توان میزان باز و بسته شدن سوپاپ ها را با توجه به دور موتور به صورت بهینه تنظیم کرد. بنابراین برخلاف مکانیزم موجود، هرنوع تابع پیوسته زمانی و مکانی برای حرکت سوپاپ‌ها قابل پیاده‌سازی است. همچنین در مقایسه با برخی از مکانیزم‌های بدون میل بادامک موجود، در ساختار طراحی شده، فنر از سیستم عملگر حذف شده است. این کار موجب می‌شود امکان کنترل دوجهته برای باز و بسته شدن سوپاپ‌ها فراهم آید.

کلیدواژه‌ها: موتور احتراق داخلی، موتور بدون میل بادامک، موتور پله‌ای، کاهش مصرف سوخت

Design and implementation of an internal combustion camless engine with intelligent valve

Hamed Khodadadi[1*], Aliakbar Rashidi[2]

[1*]Faculty of Electrical Engineering Department, Islamic Azad University Khomeini Shahr Branch khodadadi@iaukhsh.ac.ir
[2]B.Sc. Student, Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University Khomeini Shahr Branch aliakbar.rashidi1@gmail.com

Abstract

In this paper by replacing an electric system with valves' mechanical actuator mechanism reduces engine friction coefficient. In current systems a mechanism is used by which valves can move linearly so it converts rotational motion into linear motion. Replacing electronic system can save a considerable amount of fuel consumption and increase the engine power and make the actual engine's power – speed diagram become near to ideal one. Usage of variable timing mechanism for valve moving in electric actuator structure, is the another notable point. Comparing to VVB and VVTI, this system is more flexible and help valves to open and close at any time and by any arbitrary speed. So, any profile (defined for varied time) would be applicable, in order to move valves. This variable valve timing can optimize the efficiency in various engines speed. Among the other noteworthy points the variable valve positioning can be referred. Due to the accurate control on valves, the opening and closing of valves can be adjusted optimally according to engine speed. So against the current mechanism, any profile of time and position for valves movement can be reachable. Also compared to some of current camless engine, in designed mechanism, the spring (in actuator system) has been removed. This makes it possible to have Bidirectional control for opening and closing the valve.

Keywords: Internal combustion engine, camless engine, stepper motor, reducing fuel consumption

www.cargeek.ir

www.CarGeek.ir

مقدمه

امروزه با توسعه صنعت و نیاز بشر به حمل و نقل سریع، استفاده از موتورهای احتراق داخلی بسیار توسعه یافته و این موتورها برروی وسایل نقلیه مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در طول تاریخ تلاش زیادی برای بهبود ضرایب ترمودینامیکی و کاهش ضرایب اصطکاکی این موتورها صورت گرفته که نتیجه آن افزایش راندمان موتور و نزدیک شدن به سیکل ایده آل اتو برای موتورهای بنزینی و سیکل دیزل برای موتورهای دیزل می باشد.

این مقاله در راستای کاهش ضریب اصطکاکی موتور تعریف شده است. همانطور که در شکل زیر مشخص است، برای حرکت خطی سوپاپ ها که دامنه حرکتی محدود دارند (نسبت به نوع موتور یک تا دو سانتی متر) از مکانیزمی استفاده می‌شود که این مکانیزم حرکت دورانی را به حرکت خطی تبدیل می‌کند، این مکانیزم از چندین قطعه صلب و فلزی که به صورت هماهنگی در حرکت هستند تشکیل شده است. در یک موتور احتراق داخلی با چهار سیلندر، نه قطعه درگیر و در حال چرخش هستند تا حرکت رفت برگشتی سوپاپ را تامین کنند. با یک محاسبه ساده می توان دریافت که در دور موتور ثابت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه یا اصطلاحاً حالت سلو[1] این قطعات حدوداً ۵۰۰ بار در دقیقه نوسان و حرکت دارند و این حرکت در دور های بالاتر بیشتر هم می‌شود. این تعداد حرکت در دقیقه برای نه قطعه مکانیکی اصطکاک زیادی را به وجود می‌آورد و چون میل سوپاپ حرکت دورانی خود را از میل لنگ می‌گیرد، قسمتی از گشتاور و قدرت موتور صرف به حرکت در آوردن قطعات مکانیکی شده و در نتیجه افت قدرت و بازده برای موتور به وجود می آید [۱].

شکل۱: نمایی از مکانیزم محرک سوپاپ ها

انتخاب یک جایگزین مناسب برای تامین نیروی مورد نیاز می‌تواند موجب صرفه جویی قابل ملاحظه ای در مصرف سوخت گردد و قدرت موتور را افزایش دهد.

از طرف دیگر با توجه به سیکل ترمودینامیکی و داده های آزمایشگاهی و تجربی فاصله زمانی بین باز و بسته شدن سوپاپها متناسب با دور موتور است (یعنی برای بهینه سازی و دست یابی به راندمان بهتر در هر دور موتور معین، زمان باز و بسته شدن سوپاپ ها و دامنه حرکت خطی سوپاپ که منجر به باز گشایی دریچه های ورود سوخت و خروج دود می‌شود، منحصر به فرد است). اما در میل سوپاپ نسبت ذکر شده ثابت است و لذا طراحی میل بادامک ها برای حرکت بهینه در یک بازه محدود دور موتور صورت می گیرد و با یک میل بادامک نمی توان در هر دور موتوری مصرف بهینه داشت.

بررسی های تحقیقات صورت گرفته نشان می دهد که استفاده از سیستم بدون میل بادامک برای موتورهای احتراق داخلی چند سالی است که توسط شرکتهای بزرگ تولید خودرو مورد توجه قرار گرفته است. شرکت های نظیر رنو، فیات، BMW، جنرال موتورز و لوتوس برخی از معروفترین آنها هستند که موفق به ساخت این موتورها شده اند هرچند به دلیل مشکلاتی نظیر مصرف قدرت بالا، دقت نه چندان مناسب در سرعتهای بالا، حساسیت های دمایی، وزن زیاد، عدم جایگذاری مناسب، نویز و هزینه زیاد وعملکرد نامطمئن به دلیل بروز مشکلات الکتریکی، هنوز فرآیند تولید انبوه و نصب برروی موتور خودرو محقق نشده است [۲].

هرچند دسترسی به تکنولوژی سیستم الکترومکانیکی مورد استفاده توسط شرکتهای فوق امکان پذیر نیست، اما بررسی مقالات منتشر شده در این زمینه که بعضا توسط تیمهای تحقیقاتی شرکتهای فوق صورت گرفته است (مانند [۳]) می تواند راه گشا باشد. مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که دغدغه اصلی در سیستم موتور احتراق داخلی بدون میل بادامک، داشتن یک حرکت نرم و یکنواخت[2] برای سوپاپهاست و عملگر استفاده شده در اکثر موارد یک سلونوئید با یک فنر است. در [۴ و ۵] سعی شده تا با استفاده از فیدبک خطی و کنترل یادگیرنده تکراری یک حرکت یکنواخت برای سوپاپ ها فراهم شود. در [۳] فیدبک برمبنای رویتگر خروجی روش کنترلی مورد توجه قرار گرفته و [۶] با استفاده از یک کنترل کننده خود تنظیمی[3] غیرخطی به دنبال تحقق این مهم است. در [۷] ساخت یک مسیر برای موقعیت و آنالیز دینامیک حرکتی مورد توجه قرار گرفته است. عملگر استفاده شده در این مقاله نیز یک سلونوئید است که برای بهبود عملکرد در سرعت های پایین، سیم پیچ کمکی نیز به آن

[1] slow

[2] Soft landing
[3] Self-Tuning Control

www.cargeek.ir

www.CarGeek.ir

افزوده شده است. در [۸] با یک تغییر ساختار در سلونوئید و استفاده از مواد مغناطیس دائم به دنبال ایجاد حرکت خطی است.

در [۹] و [۱۰] از یک سیستم جدید برای عملگر استفاده شده است. این سیستم شامل یک موتور دورانی و یک مبدل مکانیکی غیرخطی است که حرکت دورانی را به حرکت خطی تبدیل می کند. با استفاده از این ایده و ساختار متفاوت برای مبدل مکانیکی در [۱۱] حرکت دورانی موتور توسط یک نوع مبدل مکانیکی به حرکت خطی تبدیل شده و مسیر بهینه ای برای حرکت سوپاپ ها طراحی شده است. در [۱۲] از یک بازوی انعطاف پذیر برای تبدیل حرکت دورانی موتور به حرکت خطی استفاده شده است.

در [۱۳] و [۱۴] با تغییر ساختار فیزیکی یک نوع عملگر مغناطیس دائم برای حرکت خطی معرفی و استفاده شده است.

همانگونه که از مرور ادبیاتی صورت گرفته مشخص است عمدتا از سیستم سلونوئید و فنر برای ایجاد حرکت خطی استفاده شده است که این عملگر در عین سادگی به دلیل محدودیت های فیزیکی و ساختار فنر مرتبط، امکان دنبال نمودن یک مسیر دلخواه را به ویژه وقتی سرعت نشست کم برای سوپاپ مورد نظر باشد را ندارد [۷].

در قسمت های بعد این مقاله توضیح مختصری راجع به ساختارهای متداول موتورهای احتراق داخلی و معایب آن آورده خواهد شد سپس سیستم های جدیدتر سوپاپ ها و موتورهای بدون میل بادامک معرفی خواهند شد و در آخر ساخت و تحلیل موتور بدون میل بادامک بررسی خواهد شد.

ساختار متداول موتورهای احتراق داخلی

موتور چهار زمانه

موتورهای احتراقی بصورت نوسانی کار می‌کنند یعنی اینکه قطعات متحرک آنها (پیستون‌ها) که قابل انتقال انرژی هستند، حرکت رفت و برگشتی دارند. برای تبدیل این حرکات رفت و برگشتی به حرکت چرخشی وسیله‌ای به نام میل لنگ استفاده می‌شود. لیکن در نهایت انرژی جنبشی این موتورها هم بصورت چرخش یک میله از محفظه موتور به خارج فرستاده می‌شود. طرز کار موتورهای چهار زمانه به صورت زمان اول (تنفس یا مکش)، زمان دوم(کورس تراکم یا کمپرس)، زمان سوم (کورس قدرت یا انفجار) و زمان چهارم (کورس تخلیه) می باشد.

وظایف سوپاپ:

سوپاپ ها وظیفه دارند تا در زمانهای مناسب ابتدا هوا را وارد سیلندر سازند (مرحله مکش) سپس در مراحل تراکم و قدرت بسته بمانند و در مرحله تخلیه گازهای ناشی از احتراق را از سیلندر خارج کند.

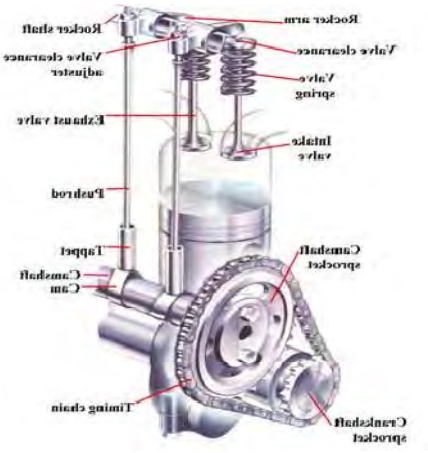
زمان بندی سوپاپ ها:

زمان بندی و تنظیم زمانهای باز یا بسته ماندن سوپاپ ها را قطعه‌ای به نام میل بادامک انجام می‌هد. این میله با توجه به ساختار و شکل برجستگی‌های روی آن (بادامک‌ها) تعیین می‌کند که سوپاپ‌ها می‌بایست در چه زمانی باز شده و پس از آن بسته شوند. همچنین تعیین می‌کند که بسته ماندن سوپاپ‌ها باید تا چه زمانی ادامه پیدا کند. همانگونه که ذکر شد حرکات و باز و بسته شدن سوپاپ‌ها می‌بایست کاملا هماهنگ باشد با حرکات بالا و پایین رفتن پیستون در سیلندر. برای تامین کردن این هماهنگی در ساختمان موتورها میل بادامک‌ها را در ارتباط ثابت و همیشگی با میل لنگ نگه می‌دارند.

از آنجا که میل لنگ تحت تاثیر حرکات بالا و پایین پیستون می‌چرخد از این‌رو حرکت میل بادامک به خودی خود با حرکت پیستون هماهنگ می‌شود. این هماهنگی باعث می‌شود تا در لحظه پایین آمدن در ابتدای کورس خود ، به منظور مکش هوا به داخل سیلندر میل بادامک سوپاپ هوا را باز کند. این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که پیستون شروع به متراکم ساختن هوای ورودی سازد در این زمان سوپاپ هوا و سوپاپ دود هر دو بسته شده‌اند. بسته بودن سوپاپ تا پایان مرحله قدرت ادامه پیدا می‌کند در این لحظه با شروع پیستون به حرکت رو به بالای خود سوپاپ دود هم باز شده و تا رسیدن پیستون به نقطه مرگ بالا باز می‌ماند. پس از آن سیکل جدیدی آغاز می‌شود.

مکانیزم راه انداز سوپاپ:

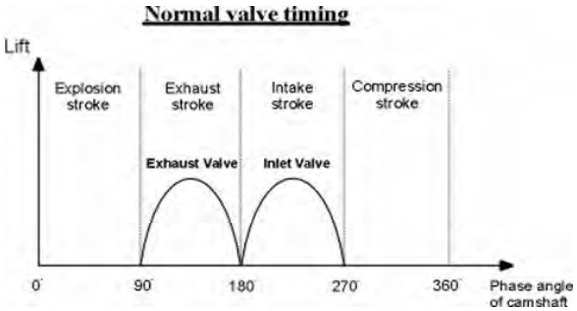
برای راه اندازی و باز بسته کردن سوپاپ‌ها در موتورهای مختلف و وابسته به نوع و ساختار آن موتورها قطعات متفاوتی وجود دارد اما بطور کلی قطعات مورد نیاز برای باز و بسته شدن صحیح سوپاپ‌ها عبارتند از میل بادامک، بالابر، میله فشارنده، اسبک سوپاپ، انگشتی سوپاپ و فنرهای سوپاپ البته محل و ترتیب سوپاپ‌ها در وجود یا عدم وجود این قطعات موثر است.



شکل۲: مکانیزم راه انداز سوپاپ

www.cargeek.ir

www.CarGeek.ir



شکل ۳: نمودار تایمینگ سوپاپ

معایب مکانیزم مکانیکی

به شکل مختصر می‌توان عیوب مکانیزم‌های مکانیکی را به صورت زیر دسته‌بندی نمود.

۱ –قدرت و گشتاور موتور به منظور به حرکت درآوردن مکانیزم حرکتی خطی سوپاپ‌ها افت پیدا کرده و کاهش می‌یابد.

۲- برای جبران کاهش قدرت موتور، سوخت بیشتری به محفظه احتراق پمپاژ خواهد شد و در نتیجه مصرف سوخت افزایش می‌یابد.

۳- عمر روغن موتور کاهش می‌یابد.

۴- به دلیل حرکات زیاد و سریع، اصطکاک بوجود آمده و دمای موتور بالا می‌رود.

۵- به دلیل برخورد و اصطکاک بین قطعات آلودگی صوتی ایجاد خواهد شد.

۶- سرعت بالا گردش قطعات فلزی، استهلاک و خوردگی را در پی خواهد داشت.

۷- به دلیل لزوم در نظر گرفتن محل مناسب برای سوار کردن انواع و اقسام چرخ دنده‌ها، پولی‌ها و تایپیت‌ها، طراحی پیچیده تر می‌شود.

۸- بزرگ‌تر شدن اندازه و ابعاد موتور، ناشی از مکانیزم مکانیکی افزایش وزن را به دنبال خواهد داشت.

۹ –تعمیر و نگهداری دشوارتر می‌شود و لازم است که عمل فیلرگیری به صورت متناوب صورت پذیرد.

۱۰- افزایش مصرف سوخت منجر به آلودگی های زیست محیطی خواهد شد.

موتور بدون میل بادامک

برای درک حسّاسیت کار سوپاپ‌ها، لازم است که شرایط واقعی فیزیکی موتور را بشناسیم. به این منظور، فرض می‌کنیم که هر سوپاپ در 1/3 از گردش بادامک میل سوپاپ، باز و در 2/3 باقیمانده مسیر در تکیه گاه خود بسته قرار می‌گیرد.می دانیم که سرعت میل سوپاپ نصف سرعت میل لنگ است و در هر دور آن یک بار سوپاپ های گاز و دود باز و بسته می شوند. بنابراین در سرعت 3000دور بر دقیقه موتور، سوپاپ ها در هر دقیقه ۱۵۰۰ مرتبه باز و بسته می‌شوند. پس هر سوپاپ در هر ثانیه 25 مرتبه باز و بسته می شود. اگر زمان باز بودن 1/3 و زمان بسته شدن ۲/۳ فرض شود، بنابراین هر سوپاپ ۱۳.۵ میلی ثانیه باز ۲۶.۵ میلی ثانیه بسته است. لذا داشتن تایمینگ بهینه و متناسب با دور موتور و سرعت گازهای خروجی و ورودی به محفظه احتراق یکی از مسائل مهم در طراحی میل بادامک‌ها می‌باشد. در زمینه سیستم محرک سوپاپ‌ها و افزایش راندمان آن تا به حال سیستم های مکانیکی مختلفی پیشنهاد و ساخته شده است. هدف از ارائه چنین سیستم‌هایی افزایش بازده موتور در تمام شرایط کارکرد آن اعم از دور موتور مختلف و شرایط محیطی متفاوت می‌باشد. در موتورهای قدیمی‌تر متخصصین با در نظر گرفتن شرایطی که موتور برای آن در نظر گرفته شده میل سوپاپ با زمان بندی مناسب را برای آن انتخاب نموده‌اند که البته این امر دارای محدودیتهای زیادی است. به عنوان مثال میل سوپاپ اصطلاحا درجه بالا برای مسابقات و افزایش بازده در دور بالا بسیار مناسب بوده که این افزایش قدرت در دور بالا به قیمت کاهش چشمگیر گشتاور و قدرت در دورهای میانی و پائین موتور می شود و عملا موتور را در دورهای پائین (مثلا در شهر) غیر قابل استفاده می نماید.

طول مدت زمان و لحظه‌ای که در آن سوپاپ‌های ورودی و تخلیه باز و بسته می‌شوند، تنها در دور موتور خاص و مشخصی حداکثر بازده را ایجاد می‌کند و هر چه دور موتور تغییر بیشتری نماید، بازده موتور کاهش پیدا می‌کند. به همین دلیل مهندسین سیستمی را در موتورهای جدیدتر ابداع کرده‌اند که زمانبندی را با توجه به دور موتور متغیر پیدا می کند. در ادامه به معرفی چند نمونه از آن ها می پردازیم:

– سیستم سوپاپ متغیر بالیستیک (VVB)[1]:

سیستم سوپاپ متغیر بالیستیک که در این سیستم از میل سوپاپ استفاده شده و برجستگی های بر روی آن به گونه‌ای است که در دورهای بسیار بالا عملکرد سوپاپ ها به صورت کاملا مستقل انجام می‌شود.

– سیستم زمان بندی متغیر هوشمند سوپاپ ها (VVTI)[2]:

بسته شدن سوپاپ ورودی: سوپاپ ورودی معمولا چند درجه (منظور از چند درجه، مقدار زاویه دوران میل لنگ است) بعد از پائین ترین وضعیت ممکنه پیستون در داخل سیلندر و در حالی که پیستون حرکت برگشتی را به سمت بالا در داخل سیلندر آغاز نموده، بسته می‌شود زیرا که به نظر می‌رسد اگر سوپاپ ورودی در حالی که پیستون به سمت بالا در حال حرکت است باز بماند مقدار زیادی از مخلوط هوا و سوخت از مسیر ورود به بیرون رانده شود. ولی در عمل چنین اتفاقی رخ نمی دهد، زیرا با توجه به سرعت بسیار زیاد ورود

[1]Variable Valve Ballistic
[2]Variable Valve Timing Intelligent

www.cargeek.ir

www.CarGeek.ir

مخلوط به سیلندر (حدود ۸۰۰ کیلومتر در ساعت)، مخلوط انرژی جنبشی پیدا کرده و بعد از رسیدن پیستون به پائینترین وضعیت در داخل سیلندر جریان آن ادامه پیدا کرده و حتی اندکی پس از شروع مرحله بالا رفتن پیستون جریان ادامه دارد. این مرحله تا ابد ادامه پیدا نمی‌کند و پیستون بالا رونده در مقطعی خاص و در صورتی که سوپاپ ورودی باز باشد به انرژی جنبشی مخلوط غلبه کرده و آن را به داخل مسیر ورودی سیلندر پس می‌زند. پس بهترین وضعیت پر شدن یا اشباع سیلندر هنگامی صورت می‌گیرد که بسته شدن سوپاپ تا لحظات اولیه پس زد مخلوط به تعویق افتد، یعنی ضمن بهره گیری از حداکثر (انرژی جنبشی) مخلوط، از هدر رفتن آن جلوگیری شود و سیلندر تا حداکثر ممکن از مخلوط پر شود.

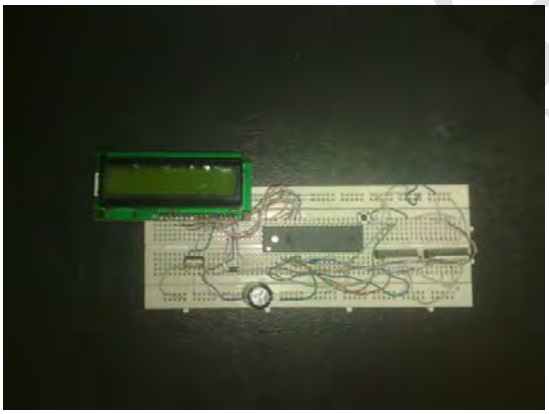
باز شدن سوپاپ اگزوز: در واقع سوپاپ اگزوز قبل از رسیدن پیستون به پائین ترین وضعیت ممکن، باز می‌شود. پیستون در مرحله تولید نیرو تحت تاثیر گازهای گرم به پائین رانده شده و نیروی تولید شده خودرو را به جلو می راند. با این تفاسیر معمولا طراحان و مهندسین سعی دارند تا سوپاپ اگزوز کمی زودتر باز شده و مقداری از فشار داخل سیلندر کم شود. برای درک بهتر دلیل باز شدن سوپاپ اگزوز کمی قبل از رسیدن پیستون به پائین ترین وضعیت ممکن، باید اشاره‌ای به مرحله بعدی که مرحله تخلیه سیلندر است داشته باشیم. تخلیه گازهای خروجی از طریق سوپاپ اگزوز، در هنگام بالا آمدن پیستون نیازمند نیرو می‌باشد، که این نیرو توسط میل لنگ وارد می‌گردد. اگر سوپاپ اگزوز هنگامی که هنوز مقداری فشار حاصل از احتراق در سیلندر باقی مانده باز شود، باعث می‌گردد که مقداری از گازهای حاصل از احتراق تحت تاثیر این فشار قبل از حرکت پیستون به بالا از سیلندر خارج شوند. با کاهش مقدارگازها، نیروی مورد نیاز برای تخلیه سیلندر کم شده و نتیجتا بازده موتور افزایش پیدا می کند. حذف سیستم های کنترل مکانیکی مکانیزم حرکت سوپاپ ها و جایگزین کردن عملگر و سیستم های کنترلر الکتریکی علاوه بر داشتن کنترل منعطف و قابل برنامه ریزی روی پروفایل مکان و زمان حرکتی سوپاپ ها، کاهش قابل ملاحظه در مصرف سوخت و افزایش چشمگیر توان موتور و در نتیجه افزایش بازده را در پی خواهد داشت.

ساختار طراحی شده

نحوه‌ی کنترل این سیستم الکتریکی به این گونه است که با کوپل کردن یک سنسور (انکودر دورانی) بر انتهای میل لنگ و مشخص کردن یک نقطه به عنوان مبدا[1] زاویه چرخش میل لنگ و موقعیت مکانی پیستون توسط انکودر اندازه گیری شده و این اطلاعات به میکروکنترلر ارسال می‌شود.

شکل ۴: انکودر کوپل شده به میل لنگ

کنترل‌کننده با توجه به سیکل ترمودینامیکی و با استفاده از برنامه‌ای که از قبل برای آن نوشته شده است فرمان باز یا بسته شدن را به عملگر الکتریکی ارسال کرده و عملگر سوپاپ را باز یا بسته می نماید.



شکل ۵: میکروکنترلر طراحی و ساخته شده

از طرف دیگر با توجه به سیکل ترمودینامیکی و داده‌های آزمایشگاهی و تجربی فاصله زمانی بین باز و بسته شدن سوپاپ‌ها متناسب با دور موتور است (یعنی برای بهینه سازی و دست یابی به راندمان بهتر در هر دور موتور معین زمان باز و بسته شدن سوپاپ ها و دامنه حرکت خطی سوپاپ که منجر به باز و بسته شدن دریچه های ورود سوخت و خروج دود است، منحصر به فرد است). این در حالی است که در میل سوپاپ‌های کنونی، نسبت ذکر شده ثابت است و لذا طراحی میل بادامک‌ها برای حرکت بهینه در یک بازه محدود دور موتور صورت می‌گیرد و با یک میل بادامک نمی‌توان در هر دور موتوری مصرف بهینه داشت.

[1] Base Point

www.cargeek.ir

www.CarGeek.ir

با استفاده از سیستم الکتریکی می‌توان هر نوع پروفایل زمانی و مکانی را برای حرکت سوپاپ‌ها در نظر گرفت. به دلیل سرعت بالای حرکت میل لنگ و در نتیجه دور زیاد موتور، سوپاپ‌ها نیز باید با همین سرعت باز و بسته گردند. بنابراین در صورتی سیستم الکتریکی می تواند جایگزین سیستم محرک مکانیکی موجود باشد که این تجهیزات نیز با این سرعت بتوانند بخوبی عمل کنند. یعنی سنسور موقعیت باید بتوانند موقعیت دقیق میل لنگ را اندازه گیری کرده و به میکروکنترلر گزارش دهد. همچنین میکروکنترلر نیز باید بتواند دستورات لازم برای باز و بسته شدن سوپاپ ها را در مدت زمانی حدود دو میلی ثانیه پردازش کرده و دستورات لازم را به عملگر الکتریکی ارسال کند. عملگر الکتریکی نیز باید در مدت ده میلی ثانیه عمل باز یا بسته شدن سوپاپ را انجام دهد. در شکل ۶ قسمتی از کاتالوگ انکودر دوارنی استفاده شده آورده شده است که نشانگر توانایی اندازه‌گیری موقعیت با دقت کافی در سرعت ۱۲۰۰۰ دور بر دقیقه است.

Outputs		
Output function		SSI data interface
Measuring / setting range		
Resolution		8192 steps / 25 bits
Mechanical data		
Max. permissible rpm / mech.	[1/min]	12000
Starting torque	[Ncm]	< 1 (20 °C)
Max. shaft load (at the shaft end)	[N]	axial 10; radial 20
Shaft, material	[mm]	Ø 6, steel (1.4104)
Vibration resistance		30 g (55...2000 Hz)
Shock resistance		100 g (6 ms)
Housing materials		aluminium

شکل ۶: قسمتی از دیتاشیت انکودر دورانی به مورد استفاده

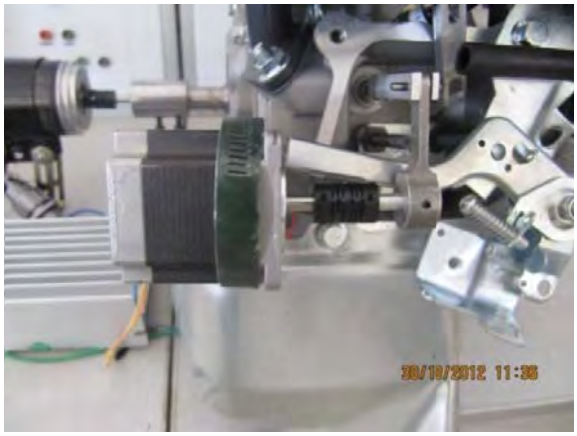
همچنین میکروکنترلر مورد نظر که برای انجام هر دستور نیازمند ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانو ثانیه بوده و با توجه به حجم کم برنامه لازم، سرعت پردازش کافی به نظر می رسد. همچنین عملگر الکتریکی قابلیت ایجاد یک حرکت ده میلی متری را در مدت زمان ده میلی ثانیه داراست. لازم به ذکر است که موقعیت عملگر الکتریکی توسط یک سنسور (انکودر خطی) اندازه گیری شده و به میکروکنترلر گزارش می‌شود و بدین ترتیب حلقه فیدبکی بسته می‌شود. در صورتی که عملگر الکتریکی درست عمل نکند فرمان جدیدی توسط میکروکنترلر برای عملگر الکتریکی صادر می‌شود و بدین ترتیب بلادرنگ بودن کل سیستم الکتریکی برای سرعت مورد نظر براحتی قابل تحقق است. عملگر الکتریکی مورد استفاده استپرموتور می‌باشد که قابلیت کنترل خوب در سرعت های بالا را دارا می‌باشد. بدین‌گونه که برای هر سوپاپ مکانیزمی طراحی شده که ۱۱ درجه حرکت دورانی استپر موتور را به ۷mm حرکت عمودی برای باز یا بسته شدن سوپاپ تبدیل می‌کند.

تحلیل سیستم طراحی شده

برای به حرکت در آوردن مکانیزم طراحی شده، استپر موتور باید بتواند بر نیروها و گشتاورهای وارده بر سوپاپ و مکانیزم آن غلبه کند. نیروهای وارد بر سوپاپ در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

شکل ۷: مکانیزم طراحی شده برای تبدیل حرکت دوارانی استپر موتور به حرکت به خطی

شکل ۸: مکانیزم ساخته و نصب شده بر روی سر سیلندر برای تبدیل حرکت دورانی استپر موتور به حرکت به خطی



شکل ۹: استپرموتور کوپل شده به مکانیزم ساخته شده بر روی موتور

www.cargeek.ir

www.CarGeek.ir

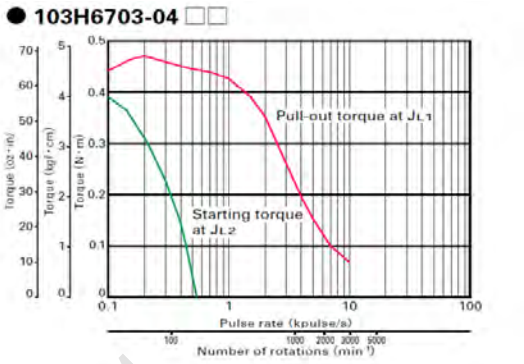
با تحلیل و انتقال نیروها از سوپاپ به استپر موتور می توان گشتاور مورد نیاز استپر موتور را برای حرکت مکانیزم بدست آورد. که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

طبق اندازه گیری ها و آزمایشات انجام شده بر روی نمونه ساخته شده ماکزیمم گشتاور مورد نیاز برای به حرکت در آوردن مکانیزم مکانیکی در سرعت ۵۰۰۰ دور بر دقیقه، $0.2N/m$ اندازه گیری شده است.

استپرموتور تهیه شده برای این طرح توانایی به حرکت در آوردن سوپاپ تا دور موتورهای بالا را دارد. به عنوان مثال در سرعت ۵۰۰۰ دور بر دقیقه این استپر $1.5\ kpulse/s$ دریافت می کند و با توجه به شکل ۱۲ که از دیتاشیت استپرموتور برداشت شده است مشخص می‌شود که در این دور موتور ما در محدوده مجاز تعریف شده برای استپر موتور هستیم.

شکل ۱۰: نیروهای وارده به سوپاپ

شکل ۱۱: تحلیل نیروهای وارده به سوپاپ



شکل ۱۲: قسمتی از دیتا شیت استپر موتور

نتیجه گیری

در این مقاله سیستم الکتریکی برای به حرکت در آوردن سوپاپ ها جایگزین مکانیزم مکانیکی متداول شده است. همانگونه که بیان گردید، مکانیزم مکانیکی دارای محدودیت های زیادی در اجرای پروفایل مکانی و زمانی بوده و به دلیل ثابت بودن شکل بادامک ها تنها قادر به اجرای یک پروفایل زمانی و مکانی می باشد لذا نمی تواند در هر دور موتور منحصر به فرد بهترین پروفایل را اجرا کند. سیستم های VVTI تا حدودی به حل این مشکل کمک نموده اند.

شکل ۱۳: تصویر موتور تک سیلندر بدون میل بادامک

www.cargeek.ir

www.CarGeek.ir

شکل ۱۴: تصویر دیگری از موتور تک سیلندر بدون میل بادامک

اما با پیاده سازی و اجرای سیستم الکتریکی ذکر شده در این مقاله توانستیم در هر دور موتور بهترین پروفایل زمانی و مکانی برای سوپاپ را اجرا کنیم که نتیجه آن بالا رفتن راندمان موتور بوده است.
با حذف این مکانیزم مکانیکی، قطعات متحرک زیادی که با سرعت بالا در حرکت بوده اند حذف شده واین امر باعث کاهش ضرایب اصطکاکی موتور شده است. همچنین با حذف میل بادامک (که گشتاور مورد نیاز خود را از میل لنگ می‌گیرد)، بار گشتاور آن از میل لنگ حذف شده و در نتیجه می‌توان به توان بالاتر برای موتور و مصرف سوخت پایین‌تر دست پیدا کرد.
مزایای سیستم طراحی شده را می‌توان به شرح زیر بیان نمود.
۱- با حذف مکانیزم مکانیکی سوپاپ که گشتاور مورد نیاز خود را از میل لنگ تامین می کند، بار گشتاوری که به میل سوپاپ منتقل می-شود از میل لنگ برداشته می‌شود که در نتیجه قدرت موتور افزایش و مصرف سوخت کاهش می‌یابد.
۲-برای کمتر شدن اصطکاک و روانکاری مکانیزم محرک سوپاپ‌ها، روغن موتور بین این قطعات پمپاژ می شود که با توجه به حرکت بسیار زیاد این قطعات عمر روغن موتور کاسته می شود و با حذف این مکانیزم عمر روغن موتور نیز بیشتر می شود.
۳-حذف مکانیزم فلزی متحرک، باعث کمتر شدن اصطکاک می‌شود. کمتر شدن اصطکاک به معنای هدر رفتن کمتر انرژی مکانیکی (تبدیل کمتر انرژی مکانیکی به گرما در اثر اصطکاک) و کاهش مصرف سوخت است.
۴- این طرح، هزینه تعمیر و نگه داری و میزان استهلاک را کاهش و دقت بیشتر سیستم الکتریکی نسبت به مکانیزم مکانیکی را در پی خواهد داشت.
۵-با حذف مکانیزم مکانیکی، طراحی موتورها ساده‌تر، تعداد چرخ دنده‌ها و شافت‌ها کمتر و ابعاد موتور و وزن آن نیز به طبع کاهش می‌یابد.

در شکل های ۱۴ و ۱۵ تصاویری از موتور بدون میل بادامک ساخته شده آورده شده است.

تشکر و قدردانی

با تشکر و قدردانی از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر که با تامین بودجه و فراهم نمودن امکانات آزمایشگاهی از این طرح حمایت کردند.

مراجع و منابع

[1] John Heywood, «Internal Combustion Engine Fundamentals» 1 edition (April 1, 1988)
[2] Camless: From Wikipedia, the free encyclopedia
[3] Katherine Peterson, Anna Stefanopoulou, Tom Megli and Mohammad Haghgooie, “Output Observer Based Feedback for Soft Landing of Electromechanical CamlessValvetrain Actuator” Proceedings of the American Control Conference, Anchorage, AK May 8-10,2002
[4] Wolfgang Hoffmann and Anna G. Stefanopoulou, “Iterative Learning Control of Electromechanical CamlessValve Actuator” Proceedings of the American Control Conference Arlington, VA June 25-27, 2001
[5] Wolfgang Hoffmann, Katherine Peterson, and Anna G. Stefanopoulou, “Iterative Learning Control for Soft Landing ofElectromechanical Valve Actuator in CamlessEngines” IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 11, NO. 2, MARCH 2003
[6] Peterson K., Stefanopoulou A., Wang Y., MegliT. andHaghgooie M., “Nonlinear Self-Tuning Control for SoftLanding of an Electromechanical Valve Actuator,” to be presented at the 2002 IFAC on Mechatronics
[7] Marcello Montanari, Fabio Ronchi, Carlo Rossi and Alberto Tonielli.“Control of a Camless Engine ElectromechanicalActuator: Position Reconstruction andDynamic Performance Analysis” IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 51, NO. 2, APRIL 2004
[8] Jinho Kim and Dennis K. Lieu “A New Electromagnetic Engine Valve Actuator with Less Energy Consumption for Variable Valve Timing” Journal of Mechanical Science and Technology 21, 2007
[9] Y. H.Qiu, T. A.Parlika, W.S.Chang, M. D.Seeman,T.A.Keimt, D. J.Perreaultt, and J.

www.cargeek.ir

www.CarGeek.ir

G.Kassakian, “Design and Experimental Evaluation of an Electromechanical Engine Valve Drive” 35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference Aachen, Germany, 2004

[10] T. A. Parlikar, W. S. Chang, Y. H. Qiu, M. D. Seeman, D. J. Perreault, J. G. Kassakian and T. A. Keim, “Design and Experimental Implementation of anElectromagnetic Engine Valve Drive” IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 10, NO. 5, OCTOBER 2005

[11] A. Fabbrini D. Doretti S. Braune A. Garulli and P. Mercorelli, “Optimal Trajectory Generation for Camless Internal Combustion Engine Valve Control” IEEE, 2008

[12] Junfeng Zhao and Rudolf J. Seethaler,” A Fully Flexible Valve Actuation System for Internal Combustion Engines” IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 16, NO. 2, APRIL 2011

[13] Steffen Braune and Steven Liu, “Design of a novel moving magnet linear motor for use as a valve actuator” 2005 IEEE

[14] Steffen Braune Steven Liu and Paolo Mercorelli, “Design and control of an electromagnetic valve actuator” Proceedings of the 2006 IEEEInternational Conference on Control ApplicationsMunich, Germany, October 4-6, 2006

www.cargeek.ir