Archive of SID

شبیه‌سازی جعبه‌دندهٔ دستی خودکارشده با اتصال چنگکی دو طرفه و بررسی تأثیر آن بر عملکرد خودروی دورگهٔ برقی بر پایهٔ خودروی ملی

مرتضی منتظری*
دانشیار دانشکدهٔ مهندسی مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران
montazeri@iust.ac.ir

زینب پوربافرانی
دانشجوی دکترا دانشکدهٔ مهندسی مکانیک دانشگاه علم و صنعت ایران
zeinab.Bafarani@gmail.com

* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۹۰/۰۲/۱۰ پذیرش نهایی مقاله: ۹۰/۰۶/۳۰

چکیده

در سال‌های اخیر صنعت خودرو به سمت تولید خودروهایی با مصرف سوخت و آلایندگی کمتر و همچنین راحتی بیشتر پیش می‌رود. در نتیجه خودروی دورگهٔ برقی[۱] توجه بسیاری را به‌خود جلب کرده‌است. در خودروهای دورگهٔ برقی به‌منظور ایجاد هماهنگی بین روش تعویض دنده و روش تنظیم[۲]، پیشنهاد می‌گردد که انتخاب و تعویض دنده به‌صورت خودکار انجام شود. از طرف دیگر در سال‌های اخیر جعبه‌دندهٔ دستی خودکارشده (AMT[۳]) معرفی گردیده‌است. جعبه‌دندهٔ AMT هم‌زمان مزایای دو جعبه‌دندهٔ دستی و خودکار را داراست. با وجود مزایای فراوان AMT، همچنان مشکل تغییرات ناگهانی گشتاور و شتاب در هنگام تعویض دنده باقی است. یکی از راه‌حل‌های این مسئله استفاده از چنگک دو طرفه[۴] است.

دراین مقاله شبیه‌سازی تأثیر اتصال چنگکی دو طرفه در خودروی دورگهٔ برقی موازی با جعبه‌دندهٔ دستی خودکارشده، ارائه شده است. بدین منظور ابتدا عملگرهای مورد نیاز در جعبه‌دندهٔ AMT طراحی شده‌اند. سپس الگوی پویای[۵] جعبه‌دندهٔ AMT شامل پایش‌گر و عملگرهای تعویض دنده و اتصال به موتور، به الگوی جعبه‌دندهٔ دستی در خودروی دورگه موازی برپایهٔ خودروی ملی افزوده شده است. در الگوی ابتدایی از چنگک ساده استفاده شده است. سپس چنگک ساده با چنگک دو طرفه جایگزین شده و در فرآیند تعویض دنده نیز تغییرات مورد نیاز اعمال شده است. به‌منظور مقایسهٔ رفتار خودروی دورگهٔ برقی با چنگک ساده و همچنین چنگک دو طرفه، شبیه‌سازی خودروی دورگهٔ برقی صورت‌گرفته‌است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد استفاده از چنگک دو طرفه باعث کاهش مصرف سوخت و آلایندگی و حذف تغییرات ناگهانی شتاب، حین تعویض دنده خواهد شد. همچنین زمان تعویض دنده و چنگک‌گیری، کاهش می‌یابد.

کلیـد واژه‌ها: خودروی دورگه برقی موازی، جعبه دندهٔ دستی خودکار شده، چنگک دو طرفه، پرش گشتاور، تعویض دنده

۱- Hybrid Electric Vehicle
۲- Control Strategy
۳- Automated Manual Transmission
٤- Double Sided Clutch
٥- Dynamic model

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروزه خودروی دورگهٔ برقی توجه بسیاری از سازندگان خودرو را به خود جلب کرده است، زیرا صنعت خودرو به‌سمت تولید خودروهایی با مصرف سوخت و آلایندگی کمتر و همچنین راحتی بیشتر سرنشینان پیش می‌رود. در این راستا جعبه‌دندهٔ خودرو که جایگاه اصلی انتقال‌قدرت خودرو را دارد، تأثیر بسزایی بر مصرف سوخت و راحتی و عملکرد خودرو می‌گذارد. لذا در خودروهای دورگهٔ برقی به‌منظور هماهنگی روش تعویض دنده و روش تنظیم خودرو، پیشنهاد شده است که انتخاب دنده و تعویض دنده به‌صورت خودکار انجام شود.

سامانه‌های انتقال‌قدرت متداول از جعبه‌دندهٔ دستی (MT[1]) و جعبه‌دندهٔ خودکار (AT[2]) استفاده می‌کنند. در این بین جعبه‌دندهٔ دستی بیشترین بازده را دارد، لکن مشکل اساسی آن تغییرات ناگهانی شتاب خودرو و پرش گشتاور[3] سر چرخ حین تعویض دنده است.

از طرف دیگر جعبه‌دندهٔ خودکار متداول با استفاده از تعویض دندهٔ خودکار، قادر است عملکرد موتور را در ناحیهٔ بهینه متناسب با خواستهٔ راننده برآورده سازد. همچنین به‌دلیل وجود مبدل گشتاور[4] در این سامانه، تعویض دنده بسیار روان است، لکن افت‌های روغنی موجب کاهش بازده می‌شود.

باتوجه به موارد یادشده جعبه‌دندهٔ دستی خودکارشده (AMT) معرفی گردیده‌است. با افزودن عملگرهای تعویض دنده و چنگک‌گیری خودکار و پایش‌گر تعویض دنده، جعبه‌دندهٔ دستی مبدل به جعبه‌دندهٔ خودکار خواهد شد. این سامانه مزایای هر دو جعبه‌دندهٔ دستی و خودکار که عبارتند از بازدهٔ بهتر جعبه‌دندهٔ دستی و مزیت تعویض دندهٔ خودکار را داراست. دو عامل افزایش بازده و تعویض دندهٔ مناسب، سبب کاهش مصرف سوخت خودرو و راحتی سرنشینان می‌شود [۱].

اما با وجود مزایای جعبه‌دندهٔ AMT، مشکل تغییرات ناگهانی گشتاور و شتاب در هنگام تعویض دنده همچنان باقی است، زیرا مسیر جریان قدرت بین منابع پیشران[5] خودرو و چرخ‌ها، درحین تعویض دنده با چنگک، منقطع می‌شود.

یکی از راه‌حل‌های این مسئله استفاده از چنگک دو طرفه و یا دو چنگک در مسیر جریان قدرت از موتور احتراقی به جعبه‌دنده است [۲]. زمان چنگک‌گیری (مدت‌زمانی که چنگک درگیر نیست) با استفاده از چنگک دو طرفه کاهش می‌یابد. همچنین اتصال منابع پیشران خودرو و موتور احتراقی به طور کامل منقطع نمی‌گردد و در نتیجه تغییرات گشتاور سر چرخ کاهش می‌یابد.

اخیراً مطالعات گسترده‌ای در زمینهٔ طراحی و شبیه‌سازی جعبه‌دندهٔ AMT صورت گرفته‌است. شبیه‌سازی عملگرهای سامانهٔ AMT و شبیه‌سازی فرآیند تعویض دنده در مراجع [۳-۸] نیز انجام شده است. شبیه سازی کامل یک سامانهٔ AMT به همراه عملگر روغنی آن در مرجع [۳] ارائه شده است. مرجع [۴] به شبیه سازی یک سامانهٔ نیمه‌خودکار پرداخته است که در آن از یک عملگر روغنی برای چنگک استفاده شده است. در مرجع [۵] مراحل چنگک‌گیری و رهاشدن چنگک بدقت شبیه‌سازی شده است. همچنین الگوی عملگر روغنی چنگک نیز در شبیه‌سازی درنظر گرفته شده است. در مرجع [۶] الگوی ساده‌ای از سامانهٔ انتقال‌قدرت ارائه شده است. فرآیند تعویض دنده در حدود ۰٫۷ ثانیه، شبیه‌سازی و تغییرات گشتاور و سرعت با داده‌های تجربی مقایسه شده است. در مرجع [۷] از یک جعبه‌دنده با عملگرهای برقی در یک نمونه خودروی برقی بدون چنگک استفاده شده است. همچنین شبیه‌سازی سامانهٔ انتقال قدرت با دو چنگک (DCT[6]) به‌همراه الگوی اصطکاکی چنگک و الگوی عملگر آن در مرجع [۸] ارائه شده است.

تاکنون تأثیر چنگک دو طرفه بر عملکرد خودروی دورگهٔ برقی با جعبه‌دندهٔ AMT مورد بررسی قرار نگرفته‌است.

در این مقاله شبیه‌سازی خودروی دورگهٔ برقی با جعبه‌دندهٔ AMT به‌همراه چنگک دو طرفه ارائه شده است. بدین منظور ابتدا عملگرهای تعویض دنده و چنگک‌گیری مورد نیاز در جعبه‌دندهٔ AMT طراحی شده‌اند. سپس الگوی پویای جعبه‌دندهٔ AMT شامل پایش‌گرها و عملگرها، به الگوی جعبه‌دندهٔ دستی در خودروی دورگه موازی برپایهٔ خودروی ملی افزوده شده است. در نهایت چنگک ساده با چنگک دو طرفه جایگزین شده و شبیه‌سازی خودروی دورگه به‌منظور مطالعهٔ تأثیر چنگک دو طرفه صورت گرفته است.

۲- خودروی دورگه موازی با جعبه‌دندهٔ AMT

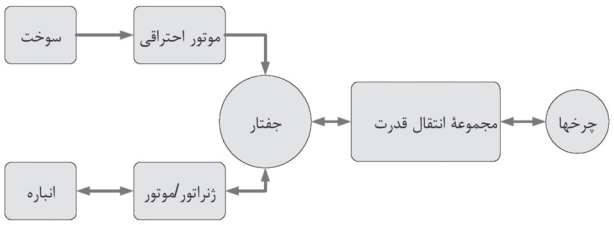
خودروهای دورگه از نظر ساختار در دو دستهٔ اصلی سری[7] و موازی[8] طبقه‌بندی می‌شوند. ساختار سری-موازی نیز به‌صورت ترکیبی از ساختار سری و موازی ارائه شده است. اغلب در خودروهای سنگین از ساختار سری و در خودروهای سواری از ساختار موازی استفاده می‌شود. در این تحقیق، ساختار دورگه موازی جهت مطالعه درنظر گرفته شده است [۹].

۱- Manual Transmission
۲- Automatic Transmission
۳- Torque Interrupt
۴- Torque Converter
۵- Propulsion Systems
۶- Double clutch Transmission
۷- Series Hybrid Electric Vehicle
۸- Parallel Hybrid Electric Vehicle

www.SID.ir

Archive of SID

در خودروی دورگهٔ برقی موازی همانند ساختار خودروی متعارف، توان تولیدی موتور احتراقی توسط یک سامانهٔ انتقال‌قدرت مکانیکی به چرخ‌ها منتقل می‌شود. علاوه برآن، یک موتور برقی بعنوان منبع کمکی تولید توان با موتور احتراقی ترکیب می‌شود. جفتار[1] مکانیکی می‌تواند به‌صورت جفتار گشتاور و یا سرعت باشد که هر کدام دارای ویژگی‌های خاص خود هستند. در ساختار خودروی موازی، محور خروجی هر دو موتور احتراقی و برقی وارد یک جفتار مکانیکی می‌شوند و خروجی آن به‌وسیلهٔ یک مجموعهٔ انتقال‌قدرت مکانیکی تقویت می‌گردد و به چرخ‌ها فرستاده می‌شود. ترکیب مکانیکی موتور احتراقی و موتور برقی می‌تواند اشکال متنوعی داشته باشد، بنابراین می‌توان ساختارهای متنوعی طراحی کرد. برای مثال محل قرارگیری جفتار مکانیکی در خودروهای دورگه موازی می تواند قبل و یا بعد از مجموعهٔ انتقال‌قدرت خودرو باشد که بترتیب PreTransmission و PostTransmission نامیده می‌شوند. در شکل ۱ نمونهٔ خودروی دورگه موازی با ساختار PreTransmission مشاهده می‌شود.



شکل ۱ خودروی دورگه موازی با ساختار PreTransmission

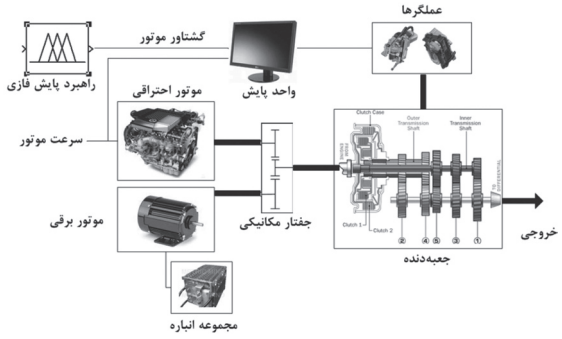
در این تحقیق، به‌منظور شبیه‌سازی تأثیر چنگک دو طرفه بر عملکرد خودروی دورگه با جعبه‌دندهٔ دستی خودکارشده (AMT)، از یک نمونه خودروی دورگه موازی که بر پایهٔ خودروی ملی (خودروی سمند) طراحی شده، استفاده شده است. خودروی سمند متعارف با استفاده از نرم‌افزار Advisor در آزمایشگاه تنظیم و شبیه‌سازی دانشگاه علم و صنعت ایران شبیه‌سازی شده است. سپس با استفاده از نتایج آزمون‌های مصرف سوخت و آلایندگی خودرو اعتبار سنجی و تأیید شده است [۱۰]. در تحقیق ذکرشده شبیه‌سازی مصرف سوخت و آلاینده‌های خودرو سمند با موتور ملی دو سوخته به روش رو به عقب ارائه شده است. شبیه‌سازی خودرو با کمک نتایج آزمون منحنی‌های عملکردی موتور و واکنشگر شیمیایی در دو حالت بنزین‌سوز و گازسوز صورت گرفته‌است. نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمون عملکردی لگام‌ترمز غلطکی در چرخهٔ رانندگی NEDC مقایسه شده است. این مقایسه بیانگر تطابق مناسبی بین نتایج شبیه‌سازی و آزمون است و نشان می‌دهد دقت کافی برای بهره‌گیری از این الگو در طراحی و درجه‌بندی خودروی دورگهٔ برقی بر پایه خودرو ملی وجود دارد [۱۰].

سپس یک خودروی دورگه موازی با ساختار PreTransmission بر پایهٔ خودروی ملی طراحی شده است [۹]. مشخصات این خودرو در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱ مشخصات خودروی دورگه موازی بر پایهٔ خودروی ملی

سطح نمای روبرو	۲٫۱ متر مربع
ضریب پسا	۰٫۳۱۸
شعاع چرخشی چرخ	۰٫۲۸۷ متر
مقاومت غلتشی چرخ	۰٫۰۰۹
مشخصات جعبه دنده	نسبت دنده‌های ۲٫۸۴، ۳٫۷۷، ۵٫۰۱، ۵٫۵۷ و ۱۳٫۴۵
مشخصات موتور احتراق داخلی	موتور SI ۱٫۸ لیتر دوسوختهٔ سمند با حداکثر توان ۷۵ کیلووات کوچک‌شده با ضریب ۰٫۶۸
مشخصات موتور برقی	موتور AC القایی وستینگهاوس با حداکثر توان ۷۵ کیلووات کوچک‌شده با ضریب ۰٫۲۳
مشخصات مجموعهٔ ذخیره انرژی برقی	۱۴ عدد انبارهٔ سرب اسیدی VRLA هاوکر جنسیس 12V26Ah10EP
مشخصات واکنشگر	مبدل معمولی Close-coupled برای یک موتور SI

شکل ۲ ساختار خودروی دورگهٔ برقی با جعبه‌دندهٔ AMT که در این تحقیق برای مطالعه درنظرگرفته‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲ ساختار خودروی دورگهٔ موازی نمونه

مطابق شکل، خودروی دورگهٔ برقی با جعبه‌دندهٔ AMT یک سامانهٔ مکاترونیکی شامل بخش‌های مکانیکی، برقی و الکترونیکی از جمله عملگرها و پایش‌گرها است که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته شده‌اند.

۱- Coupling

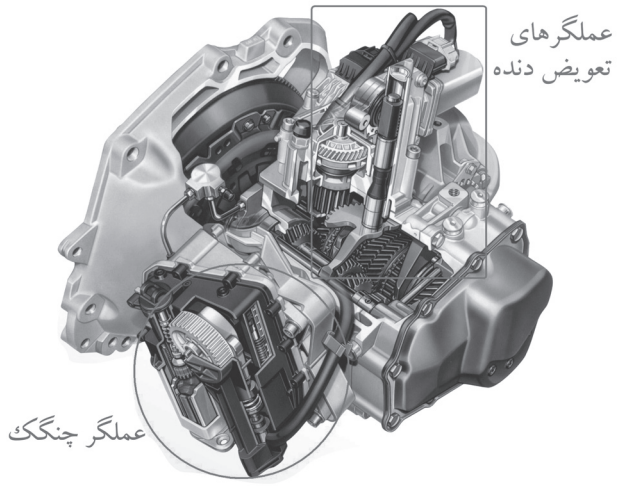
www.SID.ir

Archive of SID

۳- جعبه‌دندهٔ AMT با چنگک دو طرفه

جعبه‌دندهٔ AMT در واقع جعبه‌دندهٔ دستی است که در آن تعویض دنده و چنگک گیری را عملگرها صورت می‌دهند. معمولاً دو نوع عملگر برقی-مکانیکی[۱] و روغنی-مکانیکی[۲] در جعبه‌دندهٔ AMT استفاده می‌شوند. عملگرهای الکترومکانیکی نسبت به هیدرومکانیکی مزایای بیشتری دارند [۱۱]. از آن جمله می‌توان به حجم کم و تنظیم‌پذیری سامانه‌های برقی-مکانیکی اشاره کرد. از طرف دیگر این سامانه‌ها برای استفاده در خودروهای دورگه مناسب‌اند زیرا از منبع انرژی برقی موجود تغذیه می‌شوند.

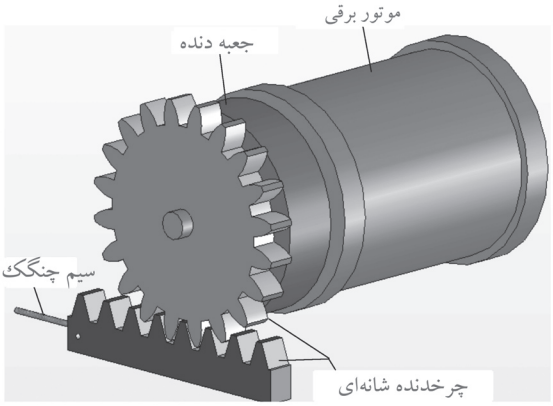
عملگرهای استفاده‌شده در جعبه‌دنده‌های AMT بسیار متنوعند. یک نمونه جعبه‌دندهٔ AMT به‌همراه عملگرهای آن که در خودروی اپل‌کرسا استفاده شده است، در شکل ۳ مشاهده می‌شود [۱۲].

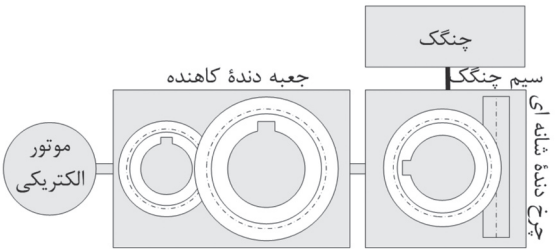


شکل ۳ جعبه‌دندهٔ دستی خودکارشده به‌همراه عملگرهای آن [۴]

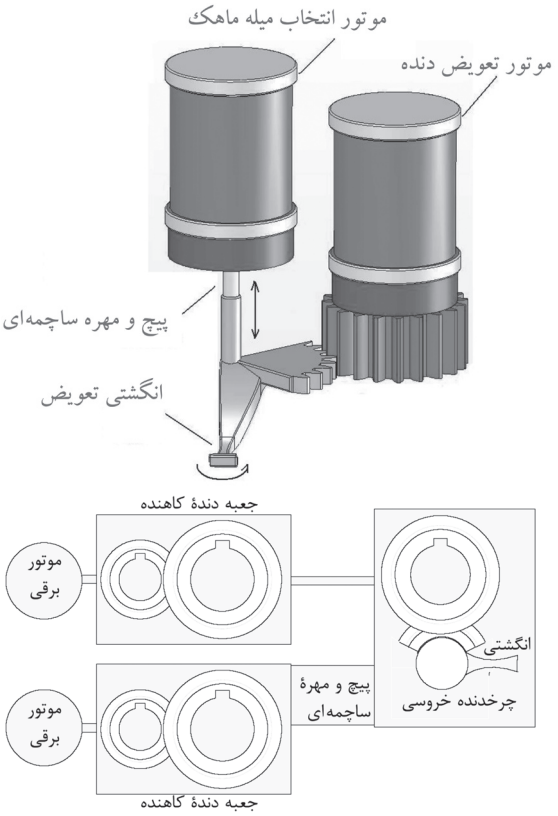
سامانهٔ طراحی‌شده برای شبیه‌سازی در این تحقیق شامل سه عملگر برقی-مکانیکی برای حرکت ماهک، تعویض میل‌ماهک و چنگک گیری است. این عملگرها در شکل ۴ مشاهده می‌شوند. مطابق شکل با کشیده شدن سیم توسط عملگر چنگک، چنگک آزاد می‌شود. همچنین با بالا و پایین رفتن انگشتی تعویض دنده[۳]، میل ماهک انتخاب می‌شود و با چپ و راست رفتن آن، ماهک حرکت داده می‌شود و دندهٔ مورد نظر را درگیر می‌کند.

۱- Electro mechanics
۲- Hydro mechanics
۳- Shift Finger





الف) عملگر چنگک‌گیری



ب) عملگرهای تعویض دنده

شکل ۴ عملگرهای مورد استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

با فرض این‌که تعویض دنده‌ها به طور متوالی باشد، دو حالت کلی را می‌توان برای تعویض دنده درنظر گرفت؛

• بدون نیاز به تعویض میله‌ماهک: افزایش دنده از شمارهٔ فرد به زوج و کاهش دنده از شمارهٔ زوج به فرد. برای مثال در تعویض دنده از دندهٔ یک به دندهٔ دو، ابتدا چنگک آزاد و سپس با حرکت ماهک دندهٔ یک آزاد و دندهٔ دو درگیر می‌شود. درنهایت چنگک مجدداً درگیر می‌شود.

• با تعویض میله‌ماهک: افزایش دنده[۱] از زوج به فرد و کاهش دنده[۲] از فرد به زوج. برای مثال در تعویض دنده از دندهٔ دو به دندهٔ سه ابتدا چنگک آزاد و سپس دندهٔ دو آزاد می‌شود. پس از آن میل‌ماهک تعویض و با حرکت ماهک دندهٔ سه درگیر می‌شود. در نهایت چنگک مجدداً درگیر خواهدشد.

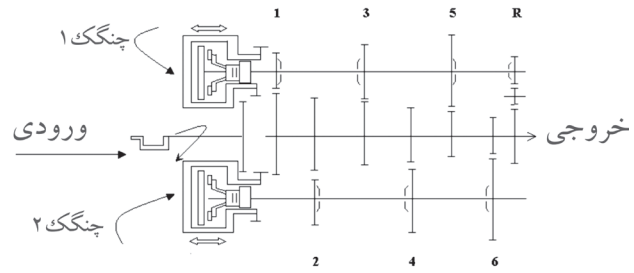
دراین سامانه، عملگر تعویض میل‌ماهک شامل موتور برقی به‌همراه جعبه‌دندهٔ کاهنده و پیچ‌ومهرهٔ ساچمه‌ای[۳] برای تبدیل حرکت دورانی به رفت‌وبرگشتی مورد استفاده قرار گرفته‌است. بدین ترتیب با بالاو پایین رفتن انگشتی متصل به پیچ‌ومهرهٔ ساچمه‌ای، اهرم انتخاب میل‌ماهک حرکت می‌کند و میل‌ماهک مورد نظر انتخاب می‌شود.

یک موتور برقی به‌همراه جعبه دندهٔ کاهندهٔ آن برای چرخش چرخ‌دندهٔ خروسی[۴] متصل به انگشتی تعویض دنده درنظر گرفته شده است. با حرکت انگشتی به چپ و راست، ماهک متصل به آن درگیر و یا آزاد می‌شود.

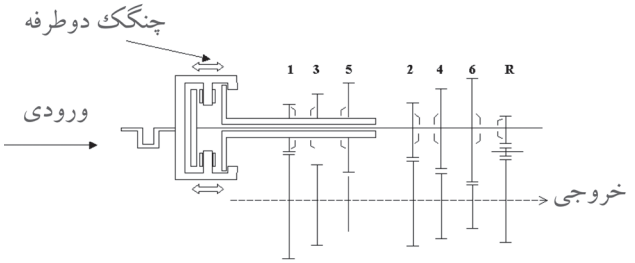
جعبه‌دندهٔ AMT با دو چنگک و یا چنگک دو طرفه عملکردی کاملاً متفاوت دارد. در شکل ۵ ساختار دو سامانهٔ دوچنگکه و چنگک دو طرفه مشاهده می‌شود.

در جعبه‌دندهٔ دوچنگه همان‌طور که در شکل ۵–الف دیده می‌شود، دو مسیر مجزا برای ورودی وجود دارد. روی یک محور دنده‌های فرد و روی دیگری دنده‌های زوج قرار دارند. در نتیجه در هر تعویض دنده یک بار مسیر انتقال‌قدرت از یک محور به محور دیگر انتقال می‌یابد. دو چنگک به این دو مسیر مجزا متصل‌اند که بتوانند به‌صورت همزمان یکی درگیر و دیگری آزاد شود. در نتیجه زمان تعویض دنده کاهش می یابد. چون ارتباط بین منابع پیشران و سر چرخ کاملاً منقطع نمی‌گردد، پرش گشتاور حذف و تعویض دنده نرم‌تر صورت می‌گیرد و پایداری خودرو نیز حفظ می‌شود.

جعبه‌دنده با چنگک دو طرفه نیز در شکل ۵–ب مشاهده می‌شود. در این سامانه دنده‌های فرد بر روی محور بیرونی متصل به سمت راست چنگک و دنده‌های زوج بر روی محور داخلی متصل به سمت چپ چنگک قراردارند. هنگام تعوض دنده، ابتدا دندهٔ جدید درگیر می‌شود و سپس چنگک به‌سمت مخالف حرکت می‌کند و مسیر انتقال‌قدرت را تغییر می‌دهد. در مرحلهٔ آخر نیز دندهٔ قبلی آزاد می‌شود، بنابراین اتصال موتور و چرخ‌ها در تمام لحظات حفظ می‌شود [۱۳].



الف



ب

شکل ۵ الف) جعبه‌دندهٔ دوچنگکه، ب) جعبه‌دنده با چنگک دو طرفه[۵]

٤- شبیه‌سازی خودروی دورگه با جعبه‌دندهٔ AMT و چنگک دو طرفه

در این مطالعه ابتدا الگوی جامعی از خودروی سواری دورگه موازی برپایهٔ خودروی ملی در نرم‌افزار ADVISOR تهیه شده است. همچنین عملگرهای حرکت ماهک، تعویض میل‌ماهک و چنگک‌گیری در نرم‌افزار MATLAB/ Simulink شبیه‌سازی شده و به‌همراه الگوی جعبه‌دندهٔ AMT با چنگک ساده و دو طرفه به الگوی خودرو افزوده شده است.

شبیه‌سازی عملگرهای تعویض دنده و چنگک‌گیری

الگوی ریاضی عملگرهای حرکت ماهک و چنگک‌گیری در شکل ۶ ارائه شده است. این الگوها شامل الگوی موتور DC، نسبت دنده و لختی چرخ‌دنده‌ها، لختی انگشتی، نیرو و جابه‌جایی مورد نظر برای هر عملگر است.

۱- Up Shift
۲- Down Shift
۳- Ball Screw
٤- Sector Gear

www.SID.ir

Archive of SID

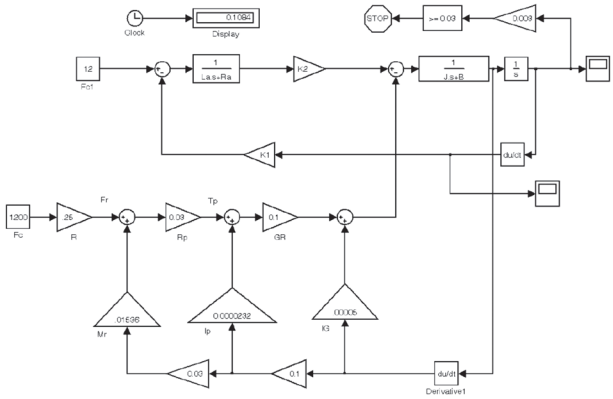
در این الگوها از نمونهٔ موتور سیم‌پیچ تنظیم[1] استفاده شده است. معادلهٔ حاکم بر یک موتور سیم‌پیچ تنظیم بدین صورت است: [۱۴]

$$V_{dc} = R_a.i_a + L_a.\frac{d\,i_a}{d\,t} + K_1.\frac{d\,\theta}{d\,t} \qquad (۱)$$

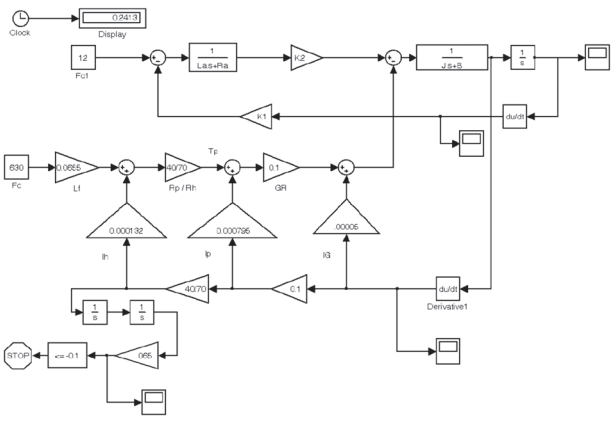
$$T_L + J.\ddot{\theta} + B.\dot{\theta} = K_2.i_a \qquad (۲)$$

که در آن V_{dc} ،R_a ،L_a و i_a بترتیب ولتاژ، مقاومت، سلف و جریان سیم پیچ، θ زاویهٔ موتور، T_L گشتاور بار، J لختی موتور، B میراگری موتور و K_1 و K_2 ضرایب ثابت می‌باشند.

به‌منظور محاسبهٔ مقادیر لختی اجزای مورد نظر عملگرهای طراحی‌شده در نرم‌افزار Solidworks شبیه‌سازی شده‌اند. نیروی وارد بر ماهک، همچنین نیروی لازم برای چنگک‌گیری در طول تعویض دنده نیز ثابت درنظر گرفته شده است.



الف) الگوی عملگر چنگک‌گیری



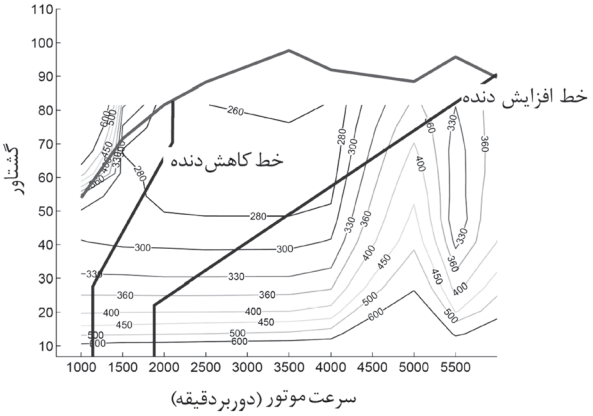
ب) الگوی عملگر حرکت ماهک

شکل ۶ الگوی ریاضی عملگرها

۱- Armature Control

شبیه‌سازی فرآیند تعویض دنده

روش تعویض دنده با توجه به ناحیهٔ‌کاری بهینهٔ تعریف‌شده برای موتور احتراقی افزایش، کاهش و یا ثابت‌ماندن دنده را مشخص می‌کند. با تعویض دنده، نقاط کاری موتور بین دوخط نشان‌داده‌شده در شکل ۷ محدود می‌شود. مرز سمت چپ برای کاهش دنده و مرز سمت راست برای افزایش دنده تعیین شده است. خطوط تعویض دنده و در نتیجه محدودهٔ کاری موتور، می‌تواند برای هر دنده متفاوت باشد. محدودهٔ کاری موتور به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که نقاط با مصرف سوخت مخصوص[2] کم و همچنین نقاط بیشینهٔ توان را دربرگیرد.



شکل ۷ خطوط تعویض دنده با توجه به عملکرد بهینهٔ موتور احتراقی

الگوی تهیه‌شده جهت شبیه‌سازی فرآیند تعویض دنده- شکل (۸) به الگوی خودروی دورگه در نرم‌افزار Advisor افزوده شده است. درصورت نیاز به تعویض دنده، حالت تعویض دندهٔ مناسب (با تعویض میل‌ماهک یا بدون آن) توسط پایش‌گر تعویض دنده انتخاب شده و با ارسال علامت مناسب به عملگرها، فرآیند تعویض دنده آغاز می‌شود. برای جلوگیری از ارسال فرمان تعویض دندهٔ مجدد قبل از به پایان رسیدن تعویض دندهٔ قبلی، یک تنظیم کننده[3] سر راه علامت ارسالی قرار داده شده است.

الگوی عملگرهای چنگک به الگوی چنگک موجود در نرم‌افزار Advisor [۱۵] افزوده شده است. در این نرم‌افزار برای چنگک، سه حالت آزاد، لغزش و درگیر با اعداد ۱،۲و۳ مشخص شده است. هنگام تعویض دنده در الگو با چنگک ساده، چنگک آزاد می‌شود درصورتی که در الگو با چنگک دو طرفه، چنگک درطول تعویض درحال لغزش است. زیرا پیش از جداشدن از یک سمت، اتصال ورودی و خروجی سامانهٔ انتقال‌قدرت توسط سمت دیگر برقرار می‌گردد. متغیر لغزش (shifting)

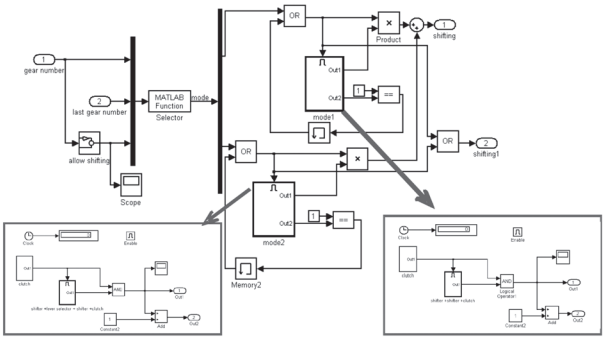
۲- Specific Fuel Consumption (SFC)
۳- Col

www.SID.ir

Archive of SID

که در شکل مشاهده می‌شود، نشان‌دهندهٔ تعویض دنده است و در طول زمان تعویض دنده برابر یک خواهد بود.

با توجه به شکل ۸ فرآیند شبیه‌سازی با ارسال شمارهٔ دندهٔ مطلوب- که با روش تعویض دنده مشخص شده است- به پایش‌گر تعویض دنده آغاز می‌شود. سپس درصورتی که شمارهٔ دنده با شمارهٔ دندهٔ ارسالی در لحظهٔ قبل متفاوت باشد و همچنین سامانه در حال تعویض دندهٔ قبلی نباشد، فرمان تعویض دنده توسط تابع انتخاب‌کننده، صادر می‌شود. همچنین این تابع حالت تعویض دنده-بدون نیاز به تعویض میله‌ماهک و یا با تعویض میله‌ماهک- را مشخص می‌کند. حالت تعویض دنده با mode1 و mode2 مشخص می‌شود. سپس یکی از بلوک‌های mode1 و mode2 فرمان مناسب را به عملگر چنگک و یا تعویض دنده ارسال می‌کند.



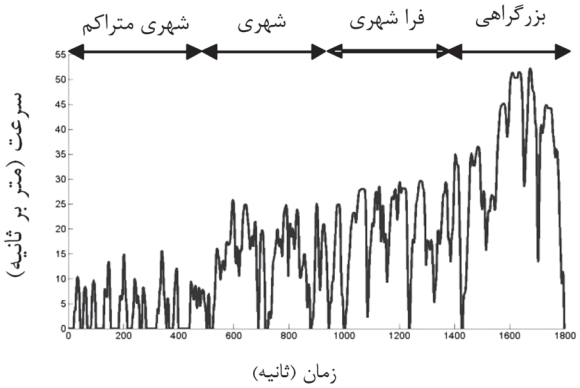
شکل ۸ شبیه‌سازی فرآیند تعویض دنده

۵- نتایج شبیه‌سازی

شبیه‌سازی خودروی دورگهٔ برقی با استفاده از نرم‌افزار ADVISOR درمحیط MATLAB/Simulink انجام شده است.

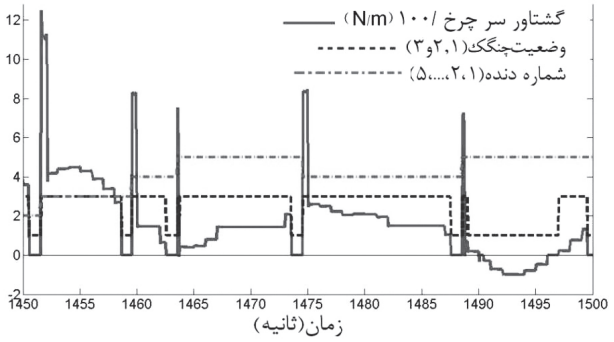
الگوی به‌کار رفته، الگویی روبه‌عقب است. در شبیه‌سازی روبه‌عقب توان، گشتاور و سرعت لازم برای پیمایش چرخهٔ رانندگی در هریک از اجزای سامانهٔ انتقال‌قدرت محاسبه می‌شوند. ورودی این الگو چرخهٔ رانندگی است و در نتیجه در شبیه‌سازی با این روش به الگوی راننده احتیاجی نیست.

شبیه‌سازی‌ها در چرخهٔ تهران [۱۶] و با گام زمانی ۰٫۵۰ ثانیه انجام شده است. چرخهٔ شهر تهران در شکل ۹ مشاهده می‌شود. این چرخهٔ از داده‌های واقعی رانندگی در شهر تهران استخراج شده است. با استفاده از این چرخه شرایط واقعی رانندگی در شهر تهران درنظر گرفته شده است، زیرا عملکرد سامانهٔ انتقال‌قدرت کاملاً متأثر از شرایط حقیقی رانندگی است.

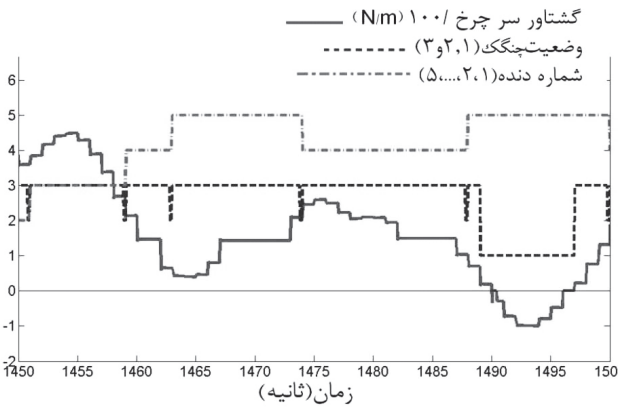


شکل ۹ چرخهٔ شهر تهران [۱۴]

شکل ۱۰ وضعیت چنگک، نسبت دنده و گشتاور سر چرخ را در دو حالت AMT با چنگک ساده (الف) و AMT با چنگک دو طرفه (ب) برای خودروی سواری دورگه موازی در ۵۰ ثانیه از چرخهٔ تهران، نشان می‌دهد.



الف) چنگک ساده



ب) چنگک دو طرفه

شکل ۱۰ وضعیت چنگک و نسبت دنده و گشتاور سر چرخ

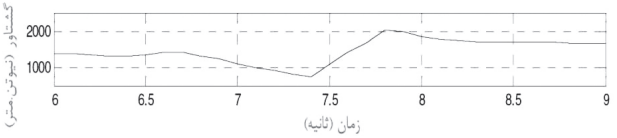
www.SID.ir

Archive of SID

در الگوی AMT با چنگک ساده هنگام تعویض دنده، گشتاور تولیدی موتور برقی و احتراقی به چرخ‌ها منتقل نمی‌شود، زیرا چنگک کاملاً رها شده است. بنابراین همان‌طور که در شکل ۱۰-الف مشاهده می‌شود، گشتاور سر چرخ صفر می‌شود. در لحظهٔ بعد چون گشتاور باید به‌سرعت مطلوب برسد، تغییرات ناگهانی گشتاور رخ خواهد داد.

درحالی که در الگوی AMT با چنگک دو طرفه (DCT)، لغزش در چنگک به‌جای آزاد شدن کامل چنگک و همچنین کوتاه شدن زمان تعویض دنده باعث می‌شود تغییرات گشتاور بسیار ناچیز باشد. مطابق شکل ۱۰-ب با استفاده از چنگک دو طرفه پرش گشتاور هنگام تعویض دنده حذف شده است.

نتایج تحقیقات ارایه شده در مراجع [۲، ۱۷ و ۱۸] نیز حذف تغییرات ناگهانی را با استفاده از DCT تایید می‌کند. برای مثال تغییرات گشتاور خروجی جعبه‌دنده در بازهٔ زمانی افزایش دنده از یک به دو که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود نشانگر برطرف‌شدن کاهش ناگهانی گشتاور حین تعویض دنده است [۱۷]. درحالی که با استفاده از چنگک ساده اتصال سر چرخ و موتور حین چنگک‌گیری قطع و در نتیجه گشتاور خروجی جعبه‌دنده صفر می‌شود.



شکل ۱۱ گشتاور خروجی جعبه‌دنده حین افزایش دنده از یک به دو [۱۷]

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که زمان لازم برای تعویض دنده بستگی به سرعت عملگرها دارد. با درنظرگرفتن پاسخ زمانی هریک از عملگرهای حرکت ماهک و تعویض میل‌ماهک و چنگک‌گیری که بترتیب برابرند با ۰٫۲۵ ، ۰٫۱ و ۰٫۱۵ ثانیه، زمان تعویض دنده برای AMT با چنگک ساده، در حالت بدون نیاز به تعویض میل‌ماهک برابر ۰٫۸ ثانیه خواهد بود (t= ۰٫۱۵ + ۰٫۲۵ + ۰٫۱۵=۰٫۸). این زمان درصورتی که نیاز به تعویض میل‌ماهک باشد، ۰٫۱ ثانیه افزایش می‌یابد (t= ۰٫۱۵ + ۰٫۲۵ + ۰٫۱ +۰٫۱۵=۰٫۹).

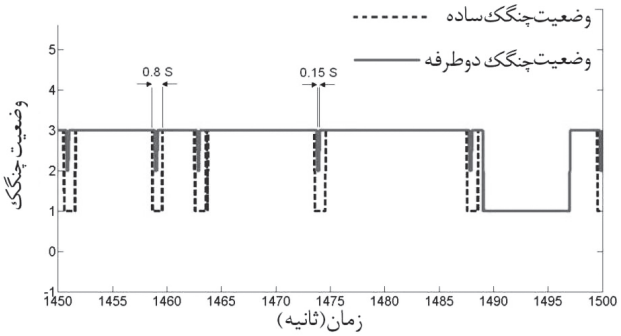
برای مثال در تعویض دنده از یک به دو، ابتدا چنگک رها شده (۰٫۱۵ ثانیه) و دندهٔ یک آزاد می‌شود (۰٫۲۵ ثانیه). پس از درگیری دندهٔ دو مجدداً چنگک درگیر می‌شود. بنابراین رهاشدن و درگیری مجدد چنگک ۰٫۸ ثانیه خواهد بود، دراین مدت اتصال منابع توان و چرخ‌ها منقطع خواهد بود.

با استفاده از چنگک دو طرفه، تنها یک مرتبه عملگر چنگک فعال می‌شود و در نتیجه زمان تعویض دنده ۰٫۱۵ ثانیه کاهش می‌یابد. در واقع چنگک تنها به مدت ۰٫۱۵ ثانیه در حال لغزش است. این امر سبب می‌شود تغییرات گشتاور نیز کاهش یابد.

برای مقایسه در تعویض دنده از یک به دو، ابتدا دندهٔ دو درگیر می‌شود (۰٫۲۵ ثانیه) و سپس عملگر چنگک فعال می شود و با حرکت‌دادن صفحهٔ میانی، مسیر قدرت را تغییر می‌دهد (۰٫۱۵ ثانیه). سپس دندهٔ یک آزاد می‌گردد. بنابراین زمان لازم برای این فرآیند ۰٫۶۵ ثانیه خواهد بود.

در شکل ۱۲وضعیت چنگک در دو الگو با چنگک ساده و دو طرفه به طور مجزا بررسی شده است. همان طور که انتظار می‌رفت، هنگام تعویض دنده در الگوی AMT با چنگک ساده چنگک کاملاً رها (در حالت ۱) و در الگوی چنگک دو طرفه چنگک در حال لغزش (در حالت ۲) است. کاهش زمان چنگک‌گیری از ۰٫۸ و ۰٫۹ ثانیه به ۰٫۱۵ ثانیه نیز کاملاً مشهود است .

بررسی تحقیقات صورت‌گرفته بر روی چنگک نشان می‌دهد زمان ۰٫۱۵ ثانیه برای عملگر چنگک‌گیری مناسب است. برای مثال در مرجع [۱۹] زمان جابه‌جایی چنگک نمونه ۰٫۱۵ ثانیه است. همچنین در مرجع [۱۷] زمان کل تعویض دنده کمتر از یک ثانیه (۰٫۸-۱ ثانیه) درنظر گرفته شده است. البته در مورد خودروهای مسابقه‌ای این زمان کمتر خواهد بود. بنابراین بازه‌های زمانی عملگرها در محدودهٔ متعارف می‌باشند.



شکل ۱۲ مقایسهٔ وضعیت چنگک ساده و دو طرفه هنگام تعویض دنده

میزان انرژی تلف‌شده در ترمزها نیز با استفاده از چنگک دو طرفه کاهش می‌یابد، زیرا نوسانات شتاب خودرو به‌مقدار چشمگیری کم شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد هنگام ترمزگیری با استفاده از چنگک ساده به میزان۸۵۷٫۸۸ کیلوژول انرژی در ترمزها تلف و ۱۵۰۶٫۶۶ کیلوژول در سامانهٔ بازیاب انرژی[۱] جذب می‌شود، درحالی که با استفاده از چنگک دو طرفه انرژی تلف‌شده در ترمزها با کاهش ۹ درصدی به

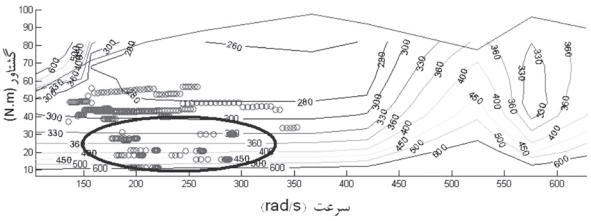
۱- Regenerative Braking System

www.SID.ir

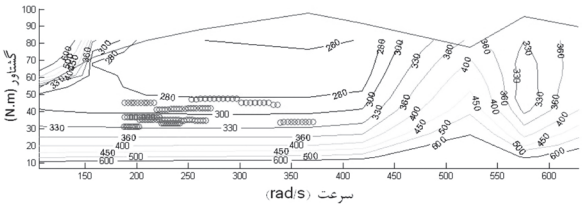
Archive of SID

۷۷۹٫۶۹ کیلوژول کاهش می‌یابد. همچنین ۱۴۹۳٫۶۲ کیلوژول از انرژی نیز مجدداً بازیافت می‌شود.

شکل ۱۳ نقاط عملکردی موتور احتراقی را در چرخهٔ تهران، در دندهٔ یک نشان می‌دهد. نقاطی که در ناحیهٔ غیر بهینه قرار دارند، به‌دلیل حذف تغییرات ناگهانی گشتاور با استفاده از چنگک دو طرفه، کاهش یافته‌اند. نقاط غیر بهینه در شکل ۱۳-الف مشخص شده‌اند.



الف) چنگک ساده



ب) چنگک دو طرفه

شکل ۱۳ نقاط عملکردی موتور احتراقی

با توجه به شکل، نقاط عملکردی موتور احتراقی با استفاده از چنگک دو طرفه به نواحی با بازده بیشتر انتقال پیدا کرده‌است.

علاوه بر این نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که مقدار مصرف سوخت و نیز آلاینده‌های هیدروکربن و مونوکسید کربن با استفاده از چنگک دو طرفه بسیار کاهش یافته‌است. همچنین جمع وزنی مصرف سوخت و آلاینده‌ها نیز کاهش چشمگیری داشته‌است. مقادیر مصرف سوخت و آلاینده‌ها و همچنین جمع وزنی آنها در جدول ۲ مقایسه‌شده‌اند. با استفاده از ضرایب مشخص‌شده در معادلهٔ ۳ (w_iها) بر اساس اهمیت هر عامل، وزن‌دهی صورت‌گرفته و تابع جمع وزنی تشکیل شده است.

$$J(x) = w_1\overline{FC} + w_2\overline{HC} + w_3\overline{NO_x} + w_4\overline{CO} \qquad (۳)$$

جدول ۲ مقایسهٔ مقادیر مصرف سوخت و آلاینده‌ها

مقایسهٔ AMT با چنگک	ساده	دو طرفه
مصرف سوخت (L.100 km)	۱۰٫۲۲	۸٫۶۸
آلایندهٔ Hc(gs)	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۶
آلایندهٔ CO (g.s)	۱٫۲۴۴	۰٫۸۹۴
آلاینده‌های NOx (g.s)	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۶
جمع وزنی	۱٫۰۱۲	۰٫۸۳۴

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق شبیه‌سازی جعبه‌دندهٔ AMT با چنگک ساده و نیز دو طرفه در خودروی دورگه موازی ارائه شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از چنگک دو طرفه زمان تعویض دنده ۰٫۱۵ ثانیه کاهش می‌یابد. زمان چنگک‌گیری نیز از ۰٫۹ و ۰٫۸ ثانیه به ۰٫۱۵ ثانیه کاهش می‌یابد. در این مدت چنگک دو طرفه درحال لغزش است، در نتیجه تغییرات ناگهانی گشتاور هنگام تعویض دنده حذف می‌شود و سرنشینان تغییرات شتاب ناشی از تعویض دنده را حس نمی‌کنند.

مصرف سوخت و آلاینده‌ها نیز کاهش چشمگیری پیدا کرده است، برای مثال استفاده از چنگک دو طرفه به‌جای چنگک ساده سبب کاهش ۱۵ درصدی مصرف سوخت گردیده و جمع وزنی این مقادیر نیز ۱۷٫۵ درصد کاسته شده است. در واقع با حذف تغییرات ناگهانی گشتاور سر چرخ و در نتیجه کاهش نوسانات شتاب خودرو، نقاط کاری موتور احتراقی بهبود و در نتیجه مصرف سوخت خودرو کاهش می‌یابد.

نقاط عملکردی غیر بهینهٔ موتور احتراقی نیز با استفاده از چنگک دو طرفه کاهش محسوسی می‌یابند. همچنین انرژی تلف‌شده در ترمزها به میزان ۹ درصد کاهش یافته‌است.

بنابراین نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که جعبه‌دندهٔ دستی خودکار شده با چنگک دو طرفه گزینهٔ مناسبی برای قوای محرکهٔ خودروی دورگه موازی بر پایهٔ خودروی ملی است.

www.SID.ir

Archive of SID

References:

1. Heath R. P. G. and A. J. Child, “Zeroshift Automated Manual Transmission (AMT)”, SAE Paper No. 2007-26-061, 2007.
2. Kulkarni M, Shim T, and Zhang Y, “Shift dynamics and control of dual-clutch transmissions”, Mechanism and Machine Theory 42 168–182, 2007.
3. Lucente G, Montanari M, and Rossi C, "Modeling of an automated manual transmission system", Mechatronics 17, 73–91, 2007.
4. Montanari M, Ronchi F, Rossi C, Tilli A, and Tonielli A, “Control and performance evaluation of a clutch servo system with hydraulic actuation”, Control Engineering Practice 12 (2004) 1369–1379, 2003.
5. Glielmo L, Iannelli L, Vacca V, and Vasca F, “Speed Control for Automated Manual Transmission with Dry Clutch”, 43rd IEEE Conference on Decision and Control, 2004.
6. Lucente G, Montanari M, and Rossi C, “Hybrid Modelling of a Car Driveline for Servo-Actuated Gear Shift”, IEEE ISIE, 2005.
7. Cheng Z, Cheng L, and Fengchun S, “Dynamic Modeling and Analysis of AMT Shifting Process for EV-BUS”, IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), 2008.
8. Goetz M, Levesley M.C, and Crolla D.A, "Dynamic Modeling of a Twin Clutch Transmission for Controller Design", Materials Science Forum Vols. 440-441, 2003.
9. Soleimani M., “Study of Active Suspension System Application in Hybrid Electric Vehicles, PhD Thesis, Iran University of Science and Technology, 2009.
10. Montazeri M. and Naderpour A., “Simulation of Fuel Consumption and Exhaust Emissions in Dual Fuel Samand Vehicle and Verification with NEDC Modal Test Results”, The Journal of Engine Research, 2010.
11. Wagner U, et al, "Electromotoric actuators for double clutch transmissions", LuK SYMPOSIUM, 2006.
12. Baeten A.J, "Automation of VW transmission 02k-DNZ", DCT report: 2004-21,2004.
13. Surampudi B, "Automated Manual Transmission Development", Engineer Vehicle Systems Research Department, SwRI, 2004.
14. Ogata K, "Modern Control Engineering", 5th edition, 2009.
15. ADVISOR Documentation, 2002, Description of modeling approach of the clutch.
16. Montazeri-Gh M, and Naghizadeh M, "Development of Car Driving Cycle for City of Tehran", International Journal of Environment and Pollution, IJEP 2007.
17. Liao Z, et al, "Modeling and Simulation of the Shift Process for Wet-type Dual Clutch Transmission", ICEEE, IEEE, 2010.
18. Zhang J, et al, "Shift Quality Evaluation System Based on Neural Network for DCT Vehicles", ICNC, IEEE, 2010.
19. Joshi A. S, et al, "Modeling and simulation of a dual clutch hybrid vehicle powertrain", Vehicle Power and Propulsion Conference, IEEE, 2009.

www.SID.ir