



بررسی گشتاور و توان تولیدی سامانه تولید و انتقال قدرت در خودروهای برقی دورگه با آرایش موازی در حالت‌های رانندگی

فرهاد حدادی^{۱*}، مصطفی تقی زاده^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، farhadhaddadi1999@gmail.com

^۲ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، mo_taghizadeh@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۳۱ شهریور ۱۴۰۰

پذیرش: ۲۴ بهمن ۱۴۰۰

کلیدواژه‌ها:

موتور احتراق داخلی

موتور برقی

خودرو دورگه و دورگه

توان تولیدی

موتور ملی EFV

چکیده

امروزه یکی از نکات اصلی و مورد توجه خودروسازان مطرح دنیا در مراحل طراحی، ساخت و تولید انبوه محصولات، کاهش و یا مهار آلودگی‌های ناشی از احتراق در موتورهای احتراق داخلی خودرو است. با توجه به قوانین و استانداردهای وضع شده در کشورهای مختلف و در دهه‌های اخیر در خصوص مهار آلودگی‌های زیست‌محیطی وسایل نقلیه، این نکات بیش از پیش مورد توجه تولیدکنندگان خودرو و قطعات آن است. به همین دلیل تولید خودروهای برقی و دورگه با طراحی‌های مختلف به مرور زمان و به آرامی در خطوط تولید خودروها گسترش می‌یابد. یکی از ویژگی‌هایی که این دسته از خودروهای دورگه دارند، افزایش توان و گشتاور در سامانه تولید و انتقال قدرت در نوع همراه با آرایش موازی است. پس می‌توان برای این دسته از خودروها، موتور احتراق داخلی با حجم کم‌تر در نظر گرفت که در نهایت سبب کاهش آلودگی تولیدی می‌شود و در عین حال فعالیت موازی دو موتور احتراق داخلی و برقی باعث ایجاد گشتاور و توان مورد نیاز در حالات مختلف رانندگی می‌شود. نوع آرایش قرارگیری موتور احتراق داخلی و برقی در مقاله حاضر از نوع موازی است. در این مقاله موتور احتراق داخلی ملی EFV را با سازوکار لنگ و لغزنده، شبیه‌سازی و نتایج توان و گشتاور تولیدی در میل‌لنگ این موتور را در نرم‌افزار متلب رسم و تحلیل خواهیم کرد. موتور برقی BRUSA HSM1 که در این مقاله به عنوان موتور برقی و پایه اصلی سامانه تولید قدرت بررسی می‌شود، با استفاده از روش‌های تقریبی و محاسبات عددی و همچنین اطلاعات استخراج شده از دفترچه این موتور تحلیل خواهد شد. در نهایت با تحلیل حالات مختلف رانندگی و اعمال ضرایب بازده، گشتاور و توان تولیدی سامانه را در این وضعیت‌ها بررسی می‌کنیم.



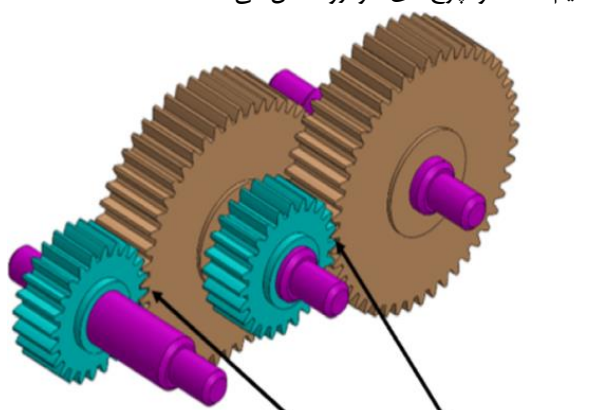
تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

مدیریت جعبه‌دنده^۴ و واحد مدیریت موتور احتراق داخلی^۵ متنوع‌تر خواهد بود.

در آرایش موازی نیاز به واحدی احساس می‌شود که گشتاور و توان ورودی از موتور برقی و احتراق داخلی را هماهنگ، تجمیع و یکسو کند. این واحد معمولاً با نام هماهنگ‌ساز گشتاور و سرعت^۶ شناخته می‌شود. هماهنگ‌ساز گشتاور نیز می‌تواند دسته‌بندی متفاوتی مانند چرخ‌دنده‌ای، تمسه و چرخ تمسه و ترکیبی با موتور برقی داشته باشد.

در این مقاله یک هماهنگ‌ساز چرخ‌دنده‌ای ساده به شکل (۲) در نظر گرفته می‌شود، به گونه‌ای که یک محور قدرت موتور احتراقی، یک محور قدرت موتور برقی و یک محور قدرت تجمیع‌شده را به تقسیم‌کننده^۷ و چرخ‌های خودرو انتقال می‌دهد.



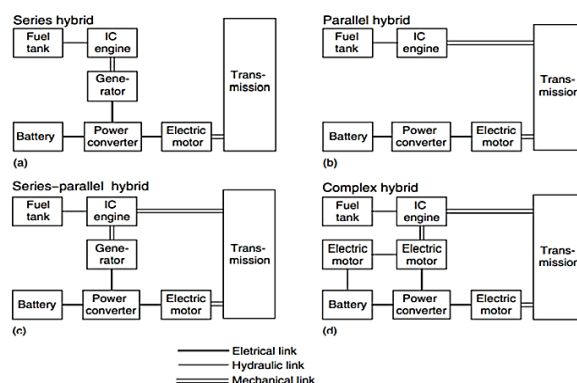
شکل ۲: نمونه متصل‌کننده ۳ محوری [۱]

۲- معرفی آرایش موازی در خودروهای دورگه برقی

در این نوع از خودرو دورگه مدار مکانیکی و مدیریت به گونه‌ای طراحی می‌شوند که هر دو موتور برقی و احتراقی بتوانند به طور موازی به هماهنگ‌ساز گشتاور، گشتاور منتقل کنند. در این نوع آرایش حضور هماهنگ‌ساز گشتاور در مدار ضروری است و باید در مدار نصب شود. همچنین حضور جعبه‌دنده برای انتقال گشتاور و توان مناسب موتور احتراقی به سامانه و کاهش مصرف سوخت در آن توصیه می‌شود. جعبه‌دنده در نقاط مختلف مدار می‌تواند قرار بگیرد. به طور مثال بعد از موتور احتراقی، بعد از موتور برقی و یا بعد از هماهنگ‌ساز و یا حتی به صورت ترکیبی جعبه‌دنده می‌تواند نصب شود. اما معمولاً به دلیل وزن زیاد آن، نصب بیش از یک جعبه‌دنده در مدار انتقال قدرت توصیه نمی‌شود. آرایش‌های مختلف برای قرارگیری جعبه‌دنده در مدار بسته به کاربرد خودرو متفاوت است، اما معمولاً برای کاربردهای خودروهای

خودروی دورگه^۱ دارای سامانه چندتایی قوی انتقال قدرتی هستند که در آن دو و یا بیشتر از دو منبع تولید گشتاور و توان حرکتی و انرژی جنبشی وجود دارد. طبق این تعریف خودروهایی که به غیر از موتور احتراقی یک منبع تولید گشتاور و توان چرخشی را دارند جزو طبقه بندی خودروهای دورگه قرار می‌گیرند. این منبع دوم می‌تواند شامل موتور برقی سنکرون و آسنکرون و یا پیل سوختی باشد. همانطور که مشخص است خود این منبع دوم نیز از یک منبع انرژی دیگر مانند باتری تغذیه می‌شود. این خودروها به دلیل به کارگیری موتور احتراق داخلی با حجم کمتر و همچنین کارکرد بهینه این موتورها در این نوع از تومبیل‌ها، دارای مصرف سوخت به مراتب کمتر و در عین حال گشتاور تولیدی و توان مساوی و یا حتی بالاتر از خودروهای احتراقی معمولی اند. خودروهای دورگه برقی و یا دو رگه برقی در سامانه تولید و انتقال قدرت خود دارای موتور احتراق داخلی و موتور برقی هستند [۱].

با گسترش طراحی و تولید خودروهای دورگه برقی^۲، آرایش‌های مختلفی برای قرارگیری موتور برقی و احتراق داخلی در سامانه تولید و انتقال قدرت آن‌ها پیشنهاد شد. احسانی و همکاران انواع این آرایش‌ها را دسته‌بندی کرده‌اند که از آن‌ها می‌توان به آرایش سری، موازی، سری- موازی و مستقل اشاره کرد [۱].



شکل ۱: انواع آرایش‌های دورگه برقی [۱]

امروزه با توجه به ویژگی‌های قابل توجهی که می‌توان در آرایش موازی یافت، اکثر خودروهای دورگه با این آرایش تولید و روانه بازار می‌شوند. در این آرایش وضعیت‌های مختلفی که دو موتور برقی و احتراقی می‌توانند به سامانه توان و گشتاور وارد کنند نسبت به آرایش‌های دیگر بیشتر است و به تبع حالات مختلف رانندگی که می‌توان در واحدهای مدیریت خودرو از جمله واحد مدیریت دورگه^۳، واحد

^۵ Engine Control Unit (ECU)

^۶ Torque and Speed Coupler

^۷ Differential

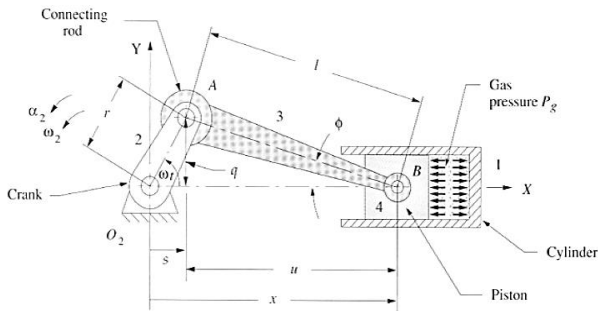
^۱ Hybrid Vehicle

^۲ Hybrid Electric Vehicle

^۳ Hybrid Control Unit (HCU)

^۴ Transmission Control Unit (TCU)

شتاب کوریولیس وجود نخواهد داشت. سرعت زاویه‌ای میل‌لنگ در این بخش ۲۰۰۰ د.د.د. خواهد بود.



شکل ۴: متغیرها و نام‌گذاری‌های هندسی در استوانه [۲]

محاسبات و تحلیل‌های ارائه شده در ادامه این بخش، برای سرعت زاویه‌ای ثابت لنگ (شتاب زاویه‌ای صفر) انجام گرفته است و به عبارتی از شتاب‌گیری خودرو صرف نظر کرده‌ایم؛ لذا در هر لحظه زاویه لنگ با محور افقی برابر با $\theta = \omega t$ خواهد بود. برای سرعت و شتاب سنبه در استوانه، معادلات (۴-۵) بعد از اعمال بسط تیلور و ساده‌سازی، نوشته شده‌اند. حال با استفاده از اطلاعات نام‌گذاری شده هندسی شکل ۴ و بررسی اطلاعات استخراج شده می‌توانیم معادلات حرکت را بدین شرح بنویسیم:

$$q = r \sin \theta \quad (1)$$

$$\sin \phi = \frac{r \sin \theta}{l} \quad (2)$$

$$x = r \cos \omega t + l \sqrt{1 - \left(\frac{r \sin \omega t}{l}\right)^2} \quad (3)$$

با مشتق‌گیری و ساده‌سازی معادله ۳ می‌توانیم سرعت و شتاب سینماتیکی سنبه را بیابیم.

$$\dot{x} = -r\omega \left(\sin \omega t + \frac{r}{2l} \sin 2\omega t \right) \quad (4)$$

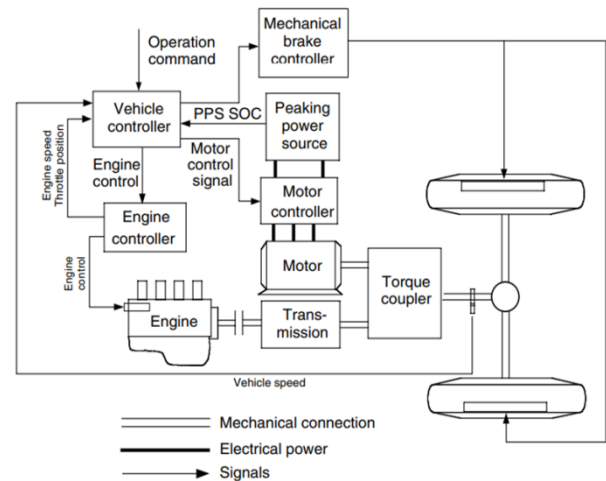
$$\ddot{x} = -r\omega^2 \left(\cos \omega t + \frac{r}{l} \cos 2\omega t \right) \quad (5)$$

برای تحلیل دینامیکی سازوکار حرکت سنبه باید این نکته مهم را مد نظر داشت که دو نوع نیرو و گشتاور به سنبه و در نهایت به میل‌لنگ وارد می‌شود. نوع اول نیروها و گشتاورهای ناشی از احتراق در بالای سنبه‌ها است که اطلاعات عددی آن برای موتور ملی از شرکت ایپکو استخراج شده است.

نوع دوم نیرو و گشتاور لختی وارد به میل‌لنگ است که ناشی از حرکت و وزن اجزای دینامیکی مانند دسته‌سنبه و محورها خواهد بود. محاسبات این دو دسته از نیرو و گشتاور با استفاده از مرجع [۲] انجام خواهد شد. حاصل تفریق این دو گشتاور در چرخه‌های مختلف کاری گشتاور کل

دورگه شهری جعبه‌دنده روبروی موتور برقی قرار نمی‌گیرد و یک جعبه‌دنده بعد از موتور احتراقی و یا بعد از هماهنگ‌ساز گشتاور خواهیم داشت. مکان قرارگیری جعبه‌دنده در بهترین حالت بعد از موتور احتراقی خواهد بود. البته در سال‌های گذشته طراحی‌هایی انجام گرفته است که در آن جعبه‌دنده بعد از موتور احتراقی و هماهنگ‌ساز گشتاور به یک جز مبدل کرده است که در این طراحی‌ها خودرو تغییر سرعت و شتاب‌گیری بسیار یکنواخت‌تری خواهد داشت و آسیب به اجزای سامانه انتقال قدرت کاهش می‌یابد. در محاسبات و بررسی که انجام می‌گیرد نیز، جعبه‌دنده بعد از موتور احتراق داخلی فرض می‌شود. جعبه‌دنده‌ای که در این مقاله بررسی می‌شود از نوع متغیر پیوسته^۱ خواهد بود که در آن نسبت شعاع چرخ تسمه‌ها ضریب لحظه‌ای جعبه‌دنده را تعیین می‌کند.

نکته مهمی که باید درباره هماهنگ‌ساز گشتاور در این جا مد نظر داشت این است که با توجه به این که در آرایش موازی مورد بررسی در این مقاله، از نوع چرخ‌دنده‌ای ساده^۳ محوره است، باید



شکل ۳: نمایی از آرایش دورگه در نظر گرفته شده [۱]

۳- شبیه‌سازی دینامیکی موتور احتراق داخلی EFV

۳-۱- شبیه‌سازی موتور تک‌استوانه [۲]

نورتون و رابرت^۲ فرآیند رفت و برگشتی حرکت سنبه در استوانه‌های موتور احتراق داخلی را به سازوکار^۳ لنگ و لغزنده شبیه‌سازی کردند. نتایج آزمایشگاهی حرکت سنبه ناشی از احتراق حاکی از آن خواهد بود که این شبیه‌سازی ریاضیاتی حرکت سنبه از آن شرایط نتایج بسیار مشابه با حالت واقعی حرکت سنبه دارد [۲] و با این استدلال رفتار دینامیکی موتور تک‌استوانه تحلیل شد. حال برای یک موتور تک‌استوانه این نتایج را بررسی می‌کنیم و معادلات دینامیکی و سینماتیکی آن را استخراج می‌کنیم. در این جا فرض بر این است که لغزنده در راستای محور x و بر روی صفحه ای ثابت حرکت می‌کند، به همین دلیل

³ Mechanism

¹ Continuous Variable Transmission

² Norton, Robert. L

$$F_{g14} = F_g \tan \varphi \hat{j} \quad (۶)$$

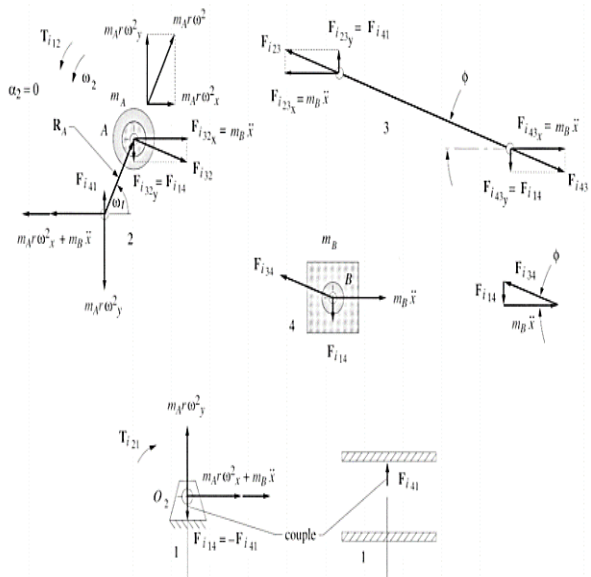
$$F_{g32} = -F_{g34} = F_g \hat{i} + F_g \tan \varphi \hat{j} \quad (۷)$$

$$T_{g21} = R_A \times F_{g32} = F_{g14} x \hat{k} \quad (۸)$$

$$T_{g21} = F_g \tan \varphi \left[1 - \frac{r^2}{4l} + r \left(\cos \omega t + \frac{r}{4l} \cos \omega t \right) \right] \quad (۹)$$

حال می‌خواهیم گشتاور و نیروی لختی و تأثیر آن در میل‌لنگ را بررسی کنیم. در این جا نیز ما می‌توانیم با اعمال اصل برهم‌نهی نیرو و گشتاور اعمالی به اجزا را بیابیم. برای بررسی کامل دینامیکی سازوکار لنگ و لغزنده و محاسبه نیروهای لختی نیازمند دانستن هندسه کامل و ویژگی‌هایی از جمله جرم، گشتاور لختی، محل دقیق مرکز جرم و شتاب هر نقطه از جسم در هر لحظه هستیم.

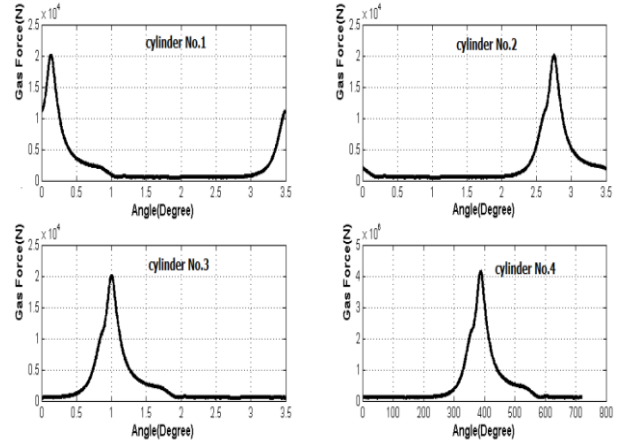
با توجه به این که در این سازوکار لنگ، فقط حرکت دورانی و سنبه حرکت خطی رفت و برگشتی را دارد درحالی‌که حرکت دسته‌سنبه یک حرکت ترکیبی از جابجایی و دوران است محاسبات را ترکیبی و سخت می‌کند. به همین خاطر قبل از انجام محاسبات گشتاور و نیرو نورتون و همکاران روشی برای تبدیل دسته‌سنبه به چند جرم دارای حرکت دورانی یا انتقالی محض پیشنهاد داده‌اند، که محاسبات را ساده‌تر خواهد کرد [۲]. می‌توان جرم گسترده دسته‌سنبه را به صورت دو جرم متمرکز، در دو نقطه دلخواه در نظر گرفت.



شکل ۷: نیروهای لختی وارد به اجزای سازوکار لنگ [۱۱]

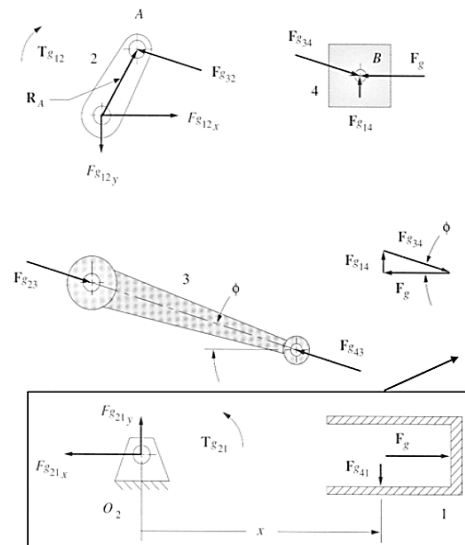
حال با توجه به شکل ۷ معادلات مربوط به گشتاور و نیروهای لختی وارد به مجموعه استوانه و اجزای آن را می‌نویسیم. لازم به ذکر است که معادله ۱۳ به عبارتی بعد از اعمال بسط تیلور روی معادله ۱۲ و برای ساده‌سازی محاسبات به دست آمده است و به عبارتی گشتاور لختی

وارد به میل‌لنگ را خواهد داد. طبق اطلاعات عددی استخراج شده از شرکت ایپکو، برای ۴ استوانه موتور ملی نیروهای احتراقی وارد شده به بالای سنبه رفتاری مانند شکل (۵) خواهد داشت که در آن اختلاف زاویه احتراقی سنبه‌ها مشخص است. بررسی نیروی ناشی از احتراق در سنبه توسط نوابی انجام شد که به شکل (۵) است.



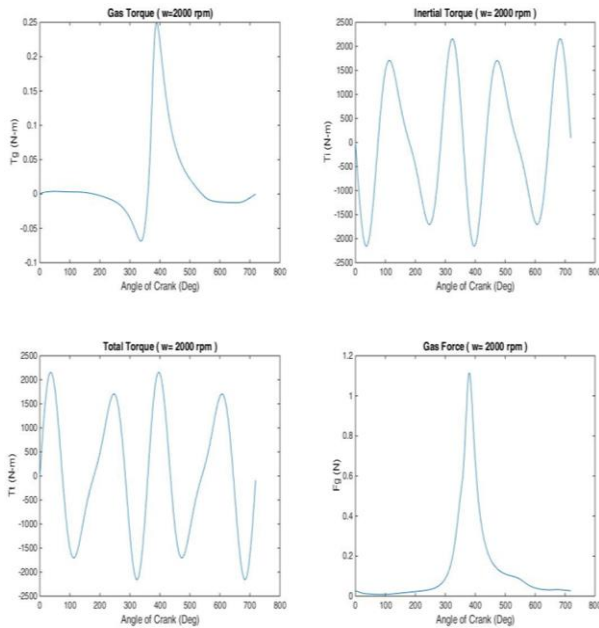
شکل ۵: نیروی احتراقی وارد به سنبه‌ها در موتور EF7 (دور موتور ۲۰۰۰ د.د.د.) [۱۱]

حال با استفاده از نام‌گذاری‌هایی که در شکل ۶ می‌بینیم گشتاور ناشی از احتراق و وارد به میل‌لنگ را محاسبه و معادله آن را می‌بیابیم. برای تحلیل دینامیکی سازوکار لنگ و لغزنده و بررسی نیروهای وارد بر اجزای مختلف سازوکار، از اصل برهم‌نهی استفاده می‌کنیم. در ابتدا فقط نیروهای ناشی از احتراق را بدون در نظر گرفتن نیروهای لختی داریم. با توجه به این که در این مقاله صرفاً نتایج معادلات آتی برای رسیدن به نمودار نهایی و انتقال قدرت لازم خواهد بود، از اثبات آن‌ها صرف نظر می‌کنیم.



این شکل جزئی از پیکره آزاد نمی‌باشد؛ چون معادله تعادل را نمی‌توان برای زمین نوشت. می‌توان گفت که این قسمت بخشی از زمین بوده و نشان دهنده نیروهای عکس‌العمل وارد بر زمین (بلوک موتور) است.

شکل ۸: نمودار آزاد سازوکار استوانه و سنبه [۱۱]



شکل ۸: نمودارهای تحلیل دینامیکی موتور تک‌استوانه (سرعت موتور ۲۰۰۰ د.د.د.)

جدول ۱: ترتیب احتراق در موتور ملی

۷۲۰	۵۴۰	۳۶۰	۱۸۰	.
متراکم کردن	هوای رسانی	تخلیه دود	احتراق	۱
احتراق	متراکم کردن	هوای رسانی	تخلیه دود	۲
هوای رسانی	تخلیه دود	احتراق	متراکم کردن	۳
تخلیه دود	احتراق	متراکم کردن	هوای رسانی	۴

با توجه به اینکه میل‌لنگ در هر دور 360° را طی می‌کند، بهترین اختلاف زاویه، برای حداقل کردن اثر نیروهای لختی در موتورهای چند استوانه از معادله (۱۵) به دست می‌آید که در این معادله، n تعداد استوانه است [۱۱]:

$$\Delta\varphi_{inertia} = 360/n \quad (15)$$

برای به دست آوردن نیروهای موتورهای چند استوانه، استوانه ۱ که استوانه اول از سمت چرخ لنگر^۲ است را به عنوان مبدأ انتخاب کرده و معادلات سایر استوانه‌ها را نیز نسبت به مختصات واقع بر روی استوانه اول می‌نویسیم. اختلاف زاویه استوانه ۱ همواره صفر در نظر گرفته می‌شود و اختلاف زاویه سایر استوانه‌ها نسبت به این استوانه در نظر گرفته می‌شود. با اعمال اختلاف زاویه بین احتراق بالای سنبه‌ها می‌توانیم گشتاور کلی که در موتور بر حسب زاویه پیش یا گردش میل‌لنگ ایجاد می‌شود را در هر دور موتور دلخواه بیابیم.

ساده‌سازی شده وارد به میل‌لنگ در یک موتور تک استوانه از معادله ۱۳ به دست می‌آید.

$$F_{ix} = -m_A(r\omega^2 \cos \omega t) - m_B\ddot{x} \quad (10)$$

$$F_{iy} = \sum F_{sy} = -m_A(r\omega^2 \sin \omega t) \quad (11)$$

$$T_{i21} = (F_{i41}x)\hat{k} = (-F_{i14}x)\hat{k} \quad (12)$$

$$T_{i21} \cong \frac{1}{2} m_B r^2 \omega^2 \left(\frac{r}{2l} \sin \omega t - \sin 2\omega t - \frac{3r}{2l} \sin 3\omega t \right) \quad (13)$$

همانطور که ذکر شد گشتاور کل وارد به میل‌لنگ عبارت است از مجموع گشتاور احتراقی و گشتاور لختی وارد به میل‌لنگ که از معادله ۱۴ به دست می‌آید و در ادامه نمودار گشتاوری سنبه ۱ را مشاهده می‌کنیم.

$$T_{total} = T_{g21} - T_{i21} \quad (14)$$

در نهایت می‌توانیم با رسم گشتاور ناشی از احتراق، لختی، گشتاور کل و همچنین نیروی ناشی از احتراق به میل‌لنگ، به نمودارهای شکل ۸ برسیم. این نمودارها برای دور موتور ثابت ۲۰۰۰ د.د.د. و بر حسب زاویه پیش یا گردش میل‌لنگ ($\theta = \omega t$) رسم شده است.

نکته قابل توجه در تحلیل دینامیکی این است که در دورهای موتور پایین رفتار نمودار گشتاور کل بیشتر شبیه به گشتاور احتراقی است و به عبارتی گشتاور غالب گشتاور احتراقی است و در دورهای موتور بالاتر نمودار گشتاور کل بیشتر شبیه به گشتاور لختی است. این به دلیل تأثیر بسیار کم‌تر حرکت اجرام سازوکار و به عبارتی گشتاور لختی خیلی کم‌تر در دور موتورهای کم‌تر خواهد بود. همانطور که در نمودارها مشخص است، گشتاور ناشی از احتراق دارای مقدار بیشینه‌ای دارد که در دورهای کُندتر تأثیر بیشتری در گشتاور برآیند یا کل نشان می‌دهد. در مقابل در دورهای کُندتر این مقدار در برابر گشتاور شبه نوسانی لختی قابل چشم‌پوشی است.

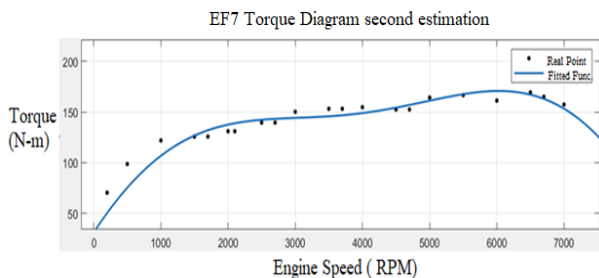
۲-۳- شبیه‌سازی موتور ملی

ساختار موتور احتراقی ۴ استوانه به گونه‌ای است که با توجه به نحوه طراحی هندسی میل‌لنگ و همچنین زمان‌بندی موتور^۱ می‌تواند ترتیب احتراق متفاوتی را در استوانه‌ها تجربه کند اما می‌توان گفت که اکثر موتورهای احتراقی ۴ استوانه خطی شامل موتور ملی به منظور خنثی‌سازی اثر استوانه‌های دیگر بر اجزای دینامیکی و استاتیکی یک استوانه، موتور دارای ترتیب احتراقی ۱۳۴۲ خواهد بود و اختلاف زاویه احتراق برابری در بیشتر این موتورها مشاهده می‌شود. در جدول ۱، ترتیب احتراق در ۴ استوانه را مشاهده می‌کنیم.

² Flywheel

¹ Engine Timing

میانگین گشتاور در هر دور موتور می‌توان نمودار خروجی گشتاور را محاسبه کرد.

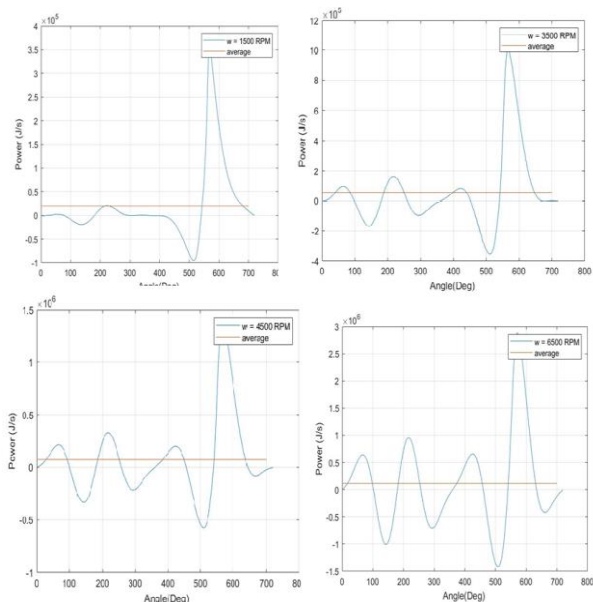


شکل ۱۰: نمودار تخمین تابع گشتاور خروجی برای موتور EF7

برای محاسبه توان تولیدی کل در یک دور ثابت و بر حسب زاویه چرخش میل‌لنگ کافی است که سرعت زاویه‌ای را در گشتاور تولیدی و در زوایای مختلف ضرب کنیم و به عبارتی همان تابعی که از روش-های تخمینی ریاضی بدست آورده‌ایم را کافی است در سرعت زاویه‌ای ضرب کنیم. سپس مشابه قسمت قبل به تابعی با نوسان قابل توجه می‌رسیم که برای اعمال اثر خنثی سازی توان منفی باید از آن انتگرال میانگین بگیریم. در این قسمت هم برای هر دور موتور می‌توان با انتگرال میانگین یک توان واحد بدست آورد. در معادلات (۱۷-۱۸)، P توان موتور در دورهای مختلف بر حسب زاویه چرخش است:

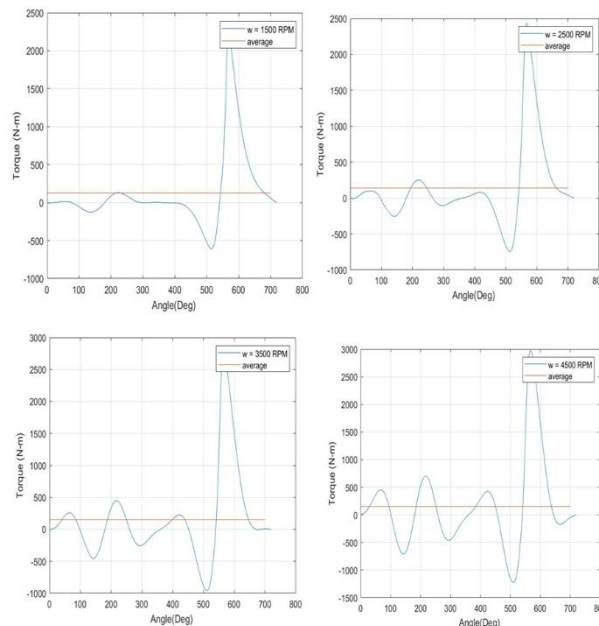
$$P(\theta) = T(\theta)\omega \quad (17)$$

$$P_{\omega=cte} = P_{average} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{4\pi} P(\theta) d\theta \quad (18)$$



شکل ۱۰: نمودار توان‌های تولید شده در موتور ۴ استوانه EF7 بر حسب زاویه چرخش میل‌لنگ در سرعت‌های مختلف

حال درست مانند رویه محاسبه نمودار و تابع گشتاور بر حسب دور موتور با استفاده از اطلاعات یافته شده باید نمودار را رسم کنیم.



شکل ۹: نمودار گشتاورهای تولید شده در موتور ملی بر حسب زاویه چرخش میل‌لنگ در سرعت‌های مختلف

همان طور که در نمودارهای شکل ۹ مشخص است، نوسان‌هایی در دور موتورهای مختلف حول مقدار میانگین در گشتاور وارد به میل‌لنگ در زوایای مختلف وجود دارد. این موضوع به دلایل مختلف من جمله همین اختلاف زاویه اعمال گشتاور سنبه‌ها و وجود ارتعاشات زاویه‌ای در سنبه است.

این نوسانات گشتاور در طول یک چرخه کامل باعث تولید گشتاور منفی می‌شود که سبب خنثی سازی بخش قابل توجهی از گشتاور بیشینه تولیدی در یک دور موتور ثابت است.

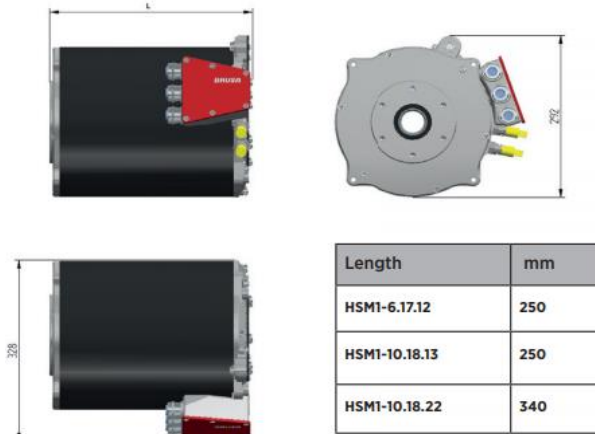
این گشتاور منفی علاوه بر اثرات خنثی سازی گشتاور مثبت اعمالی، در طولانی مدت سبب ایجاد خستگی در خود میل‌لنگ نیز می‌شود. به همین دلیل در دورهای موتور مختلف معمولاً برای نمایش گشتاور کل اعمالی در یک دور موتور ثابت از میانگین آن در یک چرخه کامل یا به عبارتی از انتگرال میانگین آن استفاده می‌شود.

در این حالت با روش‌های تحلیل داده و یا با روش‌های تقریبی تابعی برای این نمودار محاسبه و سپس انتگرال میانگین آن گرفته می‌شود. در معادله (۱۶) این انتگرال میانگین از گشتاور اعمالی نشان داده شده است.

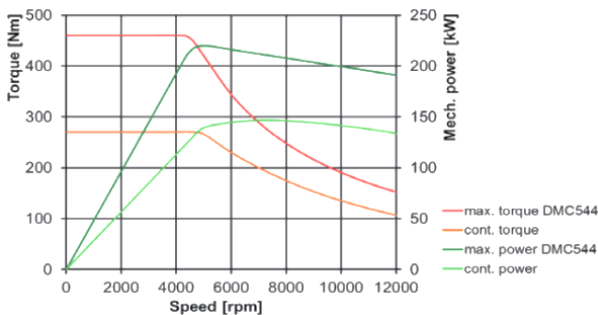
$$T_{\omega=cte} = T_{average} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{4\pi} T(\theta) d\theta \quad (16)$$

بدین ترتیب می‌توان برای هر دور موتور بر حسب زاویه از انتگرال میانگین استفاده کرد و یک گشتاور واحد برای آن دور موتور بدست آورد. در این حالت مشاهده می‌شود که گشتاور میانگین از گشتاور بیشینه بسیار کوچک‌تر خواهد بود و به عبارتی تا حد قابل قبولی اثر خنثی‌کننده گشتاور منفی را نیز لحاظ خواهد کرد. این مقدار میانگین برای ۴ دور موتور در شکل ۹ نشان داده شده است. با رسم مقدارهای

این نمودارها را می‌توانیم به یک تابع دو ضابطه‌ای به شکل معادلات (۱۹) و (۲۰)، شبیه‌سازی کرد.



شکل ۱۱: ابعاد موتور BH [۴]



شکل ۱۲: نمودار ارائه شده در دفترچه موتور BH [۴]

در این معادلات ω_{Base} سرعتی از موتور است که در آن به نقطه زانویی نمودار گشتاور و توان می‌رسیم.

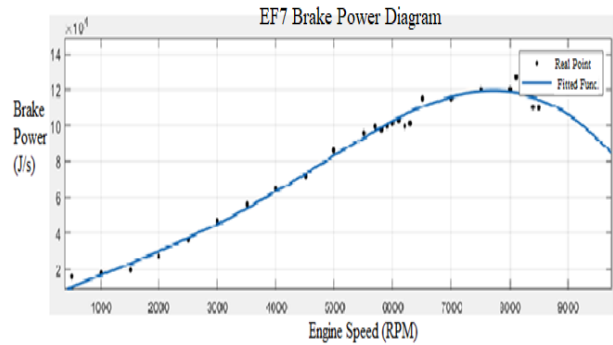
$$T(\omega) = \begin{cases} T_{max}, & \omega \leq \omega_{Base} \\ f_1, & \omega > \omega_{Base} \end{cases} \quad (19)$$

$$P(\omega) = \begin{cases} f_2, & \omega \leq \omega_{Base} \\ f_3, & \omega > \omega_{Base} \end{cases} \quad (20)$$

در این قسمت هم برای یافتن نمودار مناسب گشتاور و توان، باید متغیر خطای جذر میانگین مربعات تابع منتخب نسبت به نقاط کمینه باشد. در این موتور گشتاور شروع و بیشینه ۴۶۰ نیوتون متر محاسبه می‌شود. پس برای تابع گشتاور بعد از نقطه‌یابی داریم:

$$T_{emotor}(\omega) = \begin{cases} T_{max} = 460 & \omega \leq 4300 \\ f_1(\omega) = a\omega^b + c, & \omega > 4300 \end{cases} \quad (21)$$

که $a = 7981$ ، $b = -0.1184$ و $c = -2505$ محاسبه خواهد شد. پس نمودار گشتاور موتور برقی بدین شکل خواهد بود:



شکل ۱۰: نمودار تخمین تابع توان خروجی بر حسب دور موتور EF7

نکته قابل توجه در این‌جا این خواهد بود که برای انتخاب تابع مناسب که کمترین مجموع خطا و کمترین فاصله ممکن را نسبت به نقاط واقعی در نمودار توان و گشتاور بر حسب سرعت داشته باشد، باید متغیر خطای جذر میانگین مربعات تابع منتخب نسبت به نقاط کمینه باشد. به عبارتی تابعی در نرم افزار به عنوان تابع مناسب گذرنده از این نقاط انتخاب شده است، که کمترین خطای جذر میانگین مربعات را نسبت به توابع دیگر داشته باشد.

۴- دینامیک موتور برقی HSM1 (BH) BRUSA

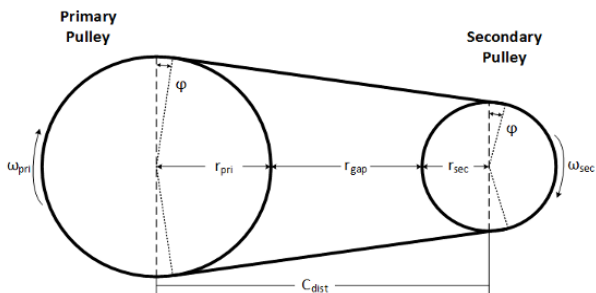
موتور برقی BH از دسته جریان متناوب (AC) و نوع D است [۴]. موتورهای برقی سنکرون از نوع D کاربرد فراوان در جرتقیل‌ها و خودروهای برقی و دورگه دارند. دارای گشتاور آغاز^۲ بسیار قوی هستند و می‌توانند وزن بسیار زیادی را در لحظه آغاز بدون این‌که گرمای زیادی در موتور ایجاد شود تولید کنند. جریان آغاز آن‌ها و گرمای تولید شده به طرز قابل توجهی کم‌تر از نوع A است.

در این موتورها عموماً گشتاور بیشینه همان گشتاور آغاز است و به مرور زمان گشتاور با سرعت کاهش می‌یابد. موتورهای نوع D همانطور که ذکر شد در خودروهای برقی و دورگه کاربرد بسیار زیادی دارند. زیرا خودرو در لحظه شروع حرکت به دلیل بیشینه بودن اصطکاک و همچنین ثابت بودن تمام اجزای دینامیکی نیاز به گشتاور بسیار بیشتری دارند. پس انتخاب ما از همین نوع از موتورها خواهد بود. پس این موتور برای کاربردهای موتور دورگه مناسب خواهد بود.

برای استفاده از این موتور در شبیه‌سازی‌ها نیاز به اطلاعات اصلی خود موتور از جمله تعداد قطب و آرمیچر داریم. با توجه به این‌که در دفترچه این موتور از ارائه این اطلاعات خودداری شده است، می‌توانیم با نگاه به ویژگی‌های نمودار گشتاور و توان موتورهای نوع D که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود و همچنین نقطه‌یابی از نمودارهای ترسیم شده در دفترچه موتور بخش‌های اصلی نمودار گشتاور و توان این موتور را بیابیم. از نمودار گشتاور و توان موتور می‌توان استدلال کرد که هر دوی

² Start torque

¹ RMSE



شکل ۱۵: شعاع متغیر تسمه و چرخ تسمه در CVT [۵]

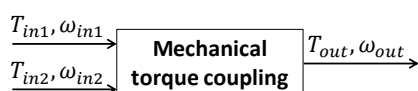
در این جا از اتلاف و هدررفت انرژی در جعبه دنده صرف نظر شده است. در معادله (۲۳)، ضریب تبدیل جعبه دنده و شعاع چرخ تسمه محور ورودی و شعاع چرخ تسمه محور خروجی خواهد بود. با توجه به سازوکار و مدار روغنی این جعبه دنده این نسبت تبدیل با دور موتور متغیر خواهد بود.

$$i = r_{sec} / r_{pri} \quad (23)$$

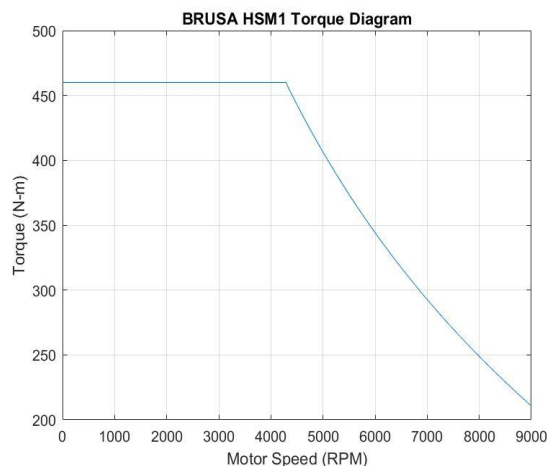
در این قسمت از شبیه سازی فرض می شود که جعبه دنده CVT روبروی موتور احتراقی واقع شده است، دارای نسبت تبدیل کاملاً ثابت است و صرفاً برای نمایش اثر تعویض دنده موتور احتراقی، در دور موتور احتراقی ۵۰۰۰ د.د.د. نسبت تبدیل که در معادله ۲۳ به آن پرداخته شد، تعویض و از نسبت تبدیل ۰.۸ به نسبت تبدیل ۰.۷ کاهش یابد و دنده سبک تر می شود. البته باید در نظر داشت که با توجه به سازوکار تعویض دنده یکنواخت جعبه دنده CVT، این فرض با حالت واقعی سازوکار تعویض دنده این جعبه دنده متفاوت خواهد بود و هدف از این کار تنها نشان دادن اثر تعویض دنده به صورت گسسته است.

۲-۵- محاسبه گشتاور خروجی در هماهنگ ساز گشتاور

بخش کوپل کننده موتور برقی و احتراقی یا همان هماهنگ ساز گشتاور همانطور که قبلاً اشاره شد می تواند وظیفه هماهنگ سازی گشتاور یا سرعت یا هر دو را داشته باشد. این بخش همانند جعبه دنده از مجموعه ای از چرخ دنده ها ساخته می شود. حضور این بخش در آرایش موازی خودرو دورگه ضروری است و به منظور دریافت یک گشتاور واحد از سامانه نصب می شود. بخش هماهنگ ساز گشتاور همچنین می تواند بخشی از گشتاور تولیدی موتور را به مولد برق برای تولید برق و بخشی را برای حرکت خودرو استفاده کند [۱].



شکل ۱۶: گشتاور و سرعت های ورودی و خروجی به هماهنگ ساز [۱]



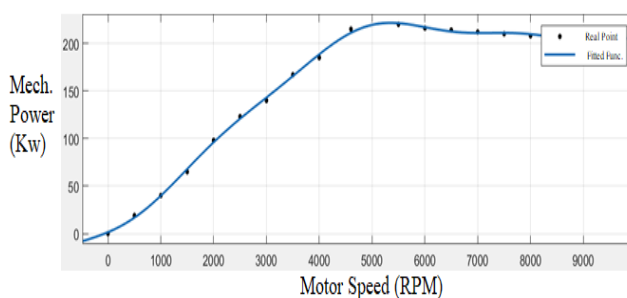
شکل ۱۳: نمودار گشتاور تولیدی موتور BH

برای تخمین توان تولید شده در موتور به جای استفاده از تابع دو ضابطه-ای، از تابع تک ضابطه سینوسی تا ۳ جمله برای کل مجموعه نقاط یافته شده مطابق معادله ۲۲ استفاده می کنیم. زیرا این تابع با توجه به نقاط یافته شده از نمودار اصلی دارای متغیر خطای جذر میانگین مربعات کمتری خواهد بود.

$$P_{emotor}(\omega) = a_5 \sin(b_5 \omega + c_5) + a_6 \sin(b_6 \omega + c_6) + a_7 \sin(b_7 \omega + c_7) \quad (22)$$

که $a_5 = 227.4$, $b_5 = 0.0001869$, $c_5 = 0.09581$, $a_6 = 22.27$, $b_6 = 0.0008444$, $c_6 = -2.218$, $a_7 = -4.356$, $b_7 = 0.002101$, $c_7 = 0.6178$ اند. پس نمودار توانی بدین شکل خواهد بود:

BRUSA HSM1 Power Diagram second estimation



شکل ۱۴: توان مکانیکی تولیدی موتور BH

۵- ضرایب تبدیل و اعمال اتلاف در مسیر انتقال قدرت

۱-۵- ضریب تبدیل در جعبه دنده

همانطور که ذکر شد، در این مقاله جعبه دنده مورد بررسی که بعد از موتور احتراق داخلی نصب می شود از نوع CVT^۱ است. نسبت تبدیل در جعبه دنده CVT با توجه به سازوکار تسمه و چرخ تسمه آن نسبت شعاع خارجی چرخ تسمه محور ورودی و خروجی خواهد بود.

¹ Continuously Variable Transmission (CVT)

اتلاف عموماً در اجزایی مانند یاتاقان‌ها، چرخ‌دنده‌ها، تقسیم‌کننده، محل اتصال به چرخ‌ها و البته خود موتورهای احتراق داخلی و برقی اتفاق می‌افتند. احسانی^۲ و همکاران با اعمال ضرایب بازدهی این اتلاف را در محاسبات لحاظ کردند [۱].

حال با توجه به این که در هر کدام از اجزای اصلی مدار دورگه شامل جعبه‌دنده، هماهنگ‌ساز گشتاور و بقیه اجزاء اتلاف گشتاور و توان خواهیم داشت، برای هر کدام از این اجزا مطابق تخمین‌های ذکر شده، درصدی از گشتاور و توان را مطابق معادلات (۲۶-۳۰)، غیرکاری و تلف شده تلقی می‌کنیم. در این حالت فرض خواهد شد که درصد اتلافی که برای گشتاور در نظر می‌گیریم برای توان کاری سامانه دورگه نیز در نظر می‌گیریم. همچنین از اتلاف داخل خود موتور احتراقی و برقی صرف نظر می‌شود [۱].

در معادلات (۲۶-۳۰)، $i = 0.8$ نسبت تبدیل جعبه‌دنده، $\eta_{tc} = 0.95$ بازده انتقال گشتاور و توان در جعبه‌دنده، $\eta_{et} = 0.85$ بازده انتقال توان و گشتاور از موتور احتراقی تا تایرهای خودرو و $\eta_{mt} = 0.85$ بازده انتقال توان و گشتاور از موتور برقی تا تایرهای خودرو خواهد بود. T_{hybrid} گشتاور نهایی و ارسال شده به چرخ‌ها بعد از اعمال ضرایب مذکور است. T_{engine} گشتاور خالص تولیدی موتور احتراق داخلی و T_{motor} گشتاور خالص تولید موتور برقی است.

$$T_1(\omega) = T_{engine}(\omega) i \eta_{tc} \eta_{et} \quad (26)$$

$$T_2(\omega) = T_{motor} \eta_{mt} \quad (27)$$

$$T_{hybrid} = T_1(\omega) + T_2(\omega) \quad (28)$$

همچنین برای محاسبه توان نهایی وارد به چرخ‌ها بعد از اعمال اتلاف نیز معادلات مشابهی خواهیم داشت.

$$P_1(\omega) = P_{engine}(\omega) i \eta_{tc} \eta_{et} \quad (29)$$

$$P_2(\omega) = P_{motor}(\omega) \eta_{mt} \quad (30)$$

$$P_{hybrid} = P_1(\omega) + P_2(\omega) \quad (31)$$

۶- محاسبه توان مورد نیاز برای شتاب‌گیری خودرو

خودرو همواره برای شتاب‌گیری و همچنین افزایش سرعت نیاز به غلبه بر نیروهای خارجی که مانعی برای حرکت خودرو هستند دارد. این نیروها شامل اصطکاک، پسا^۳ و همچنین نیروی گرانش در سطوح شیب‌دار خواهد بود که سبب ایجاد توان معکوس یا مقاومتی در مقابل حرکت خودرو هستند. طبق قانون دوم نیوتون اگر نیرویی که سامانه تولید و انتقال قدرت برای حرکت خودرو ایجاد می‌کند برابر مجموع نیروهای مقاومتی شود، شتاب خودرو صفر خواهد بود. پس برای شتاب‌گیری و افزایش سرعت نیاز داریم که مجموع توان تولیدی سامانه تولید

حال فرض کنیم مطابق معادلات (۲۴-۲۵) می‌خواهیم گشتاور دو موتور را هماهنگ و یا اصطلاحاً وابسته^۱ کنیم که یک ورودی از موتور احتراقی و یک ورودی از موتور برقی دارد. فرض می‌کنیم که اتلاف میان چرخ‌دنده‌ها در اینجا قابل صرف نظر است. در ادامه معادلات بین ورودی و خروجی این هماهنگ‌ساز گشتاور نیز آورده شده است. ضرایب k_1 و k_2 در معادله ۲۴ به عبارتی همان ضرایب تبدیل تماسی خواهند بود. مطابق شکل ۱۶، T_{in1} و T_{in2} گشتاورهای ورودی از موتور احتراق داخلی و برقی هستند.

$$T_{out} = k_1 T_{in1} + k_2 T_{in2} \quad (24)$$

$$\omega_{out} = \frac{\omega_{in1}}{k_1} = \frac{\omega_{in2}}{k_2} \quad (25)$$

که ضرایب k_1 و k_2 برابر با یک فرض می‌شوند و به عبارتی چرخ‌دنده‌های هماهنگ‌ساز گشتاور همگی مشابه خواهند بود و دارای مدول، شعاع و تعداد دندانه‌های برابر اند. با توجه به این که هماهنگ‌ساز گشتاور از نوع چرخ‌دنده‌ای معرفی شده است، فرض‌ها و نکاتی بدین شرح باید مد نظر باشند:

- موتور برقی عامل اصلی تولید قدرت در سامانه خواهد بود و در حالت رانندگی عادی (راننده حالت خاصی از رانندگی را انتخاب نکرده باشد) موتور برقی همواره فعال خواهد بود. به عبارتی از با توجه به قدرت و گشتاور قوی موتور برقی BH و هم چنین برای کاهش بیش از پیش مصرف سوخت موتور احتراقی، موتور احتراقی EF7 نقش مولد قدرت کمکی خواهد داشت.
- در حالتی که موتور احتراقی وارد مدار قدرت می‌شود، نیاز است که سرعت چرخشی میل‌لنگ و به عبارتی سرعت مجموعه جعبه‌دنده و موتور احتراقی کاملاً برابر با سرعت موتور برقی باشد و یا در سرعتی بسیار نزدیک به آن وارد مدار شود. در غیر این صورت در بلند مدت آسیب جدی به مجموعه هماهنگ‌ساز گشتاور، جعبه‌دنده و بقیه اجزای مدار دورگه وارد خواهد شد.
- موتور احتراقی EF7 در شرایطی که خودرو در حال شتاب‌گیری باشد و یا به گشتاور و توان تولیدی بیشتر نیاز داشته باشد وارد مدار قدرت می‌شود. در این حالت قبل از رسیدن دور موتور برقی به سرعت پایه و در دور ۳۰۰۰ د.د.د، موتور احتراقی با همین سرعت وارد مدار می‌شود و گشتاور و توان تولیدی در هماهنگ‌ساز گشتاور را افزایش خواهد داد.

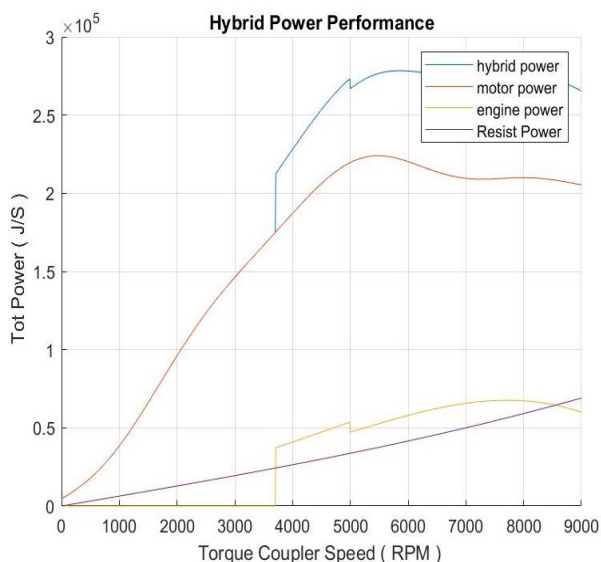
۳-۵- محاسبه اتلاف گشتاور در اجزای انتقال قدرت

گشتاور و توان تولیدی دو موتور برقی و احتراقی با احتساب درصدهایی از توان و گشتاور که به واسطه فعالیت اجزای مکانیکی سامانه تلف می‌شود در هماهنگ‌ساز گشتاور جمع و تلفیق می‌شود. این درصدهایی

³ Drag Force

¹ Couple

² M. Ehsani



شکل ۱۸: نمودار عملکرد دورگه توان خودرو

۷- حالات از پیش تعیین شده رانندگی

همانطور که قبلاً ذکر شد، موتور احتراق داخلی در ابتدای حرکت در این طراحی از مدار خارج است و هنگام نزدیک شدن به سرعت ۵۰۰۰ د.د.د. در موتور برقی، به وسیله آغاز خودکار شروع به کار می‌کند و بعد از رسیدن به سرعت ۵۰۰۰ د.د.د.، چنگک^۱ قبل از جعبه‌دنده متصل و موتور احتراق داخلی وارد مدار انتقال قدرت می‌شود. در این جا اگر فرض شود که خودرو به طور مداوم در حال افزایش سرعت و شتاب‌گیری است، موتور احتراق داخلی هنگامی که موتور برقی به سرعت ۳۰۰۰ د.د.د. می‌رسد، روشن می‌شود و به آرامی سرعت آن را بالا می‌بریم و بعد از رسیدن به دور ۵۰۰۰ د.د.د. توسط هر دو موتور، موتور احتراق داخلی نیز وارد مدار می‌شود.

واحد مهار دورگه با توجه به وضعیتی از رانندگی که راننده به وسیله دسته‌دنده و یا از روش‌های دیگر انتخاب می‌کند، فرمان‌هایی را جهت تنظیم عملکرد موتور احتراقی و برقی و همچنین جعبه‌دنده در سامانه تولید و انتقال قدرت خودرو ارسال می‌کند. این فرمان‌ها با در نظر گرفتن فرض‌های قبلی مبنی بر فعالیت‌های موتور احتراق داخلی و برقی در شرایط مختلف و همچنین حالت‌های خاص دیگر خودرو ارسال می‌شوند و به عبارتی وضعیت توان و گشتاور تولید شده توسط سامانه را در حالت بهینه نگه می‌دارد. مصرف سوخت توسط موتور احتراق داخلی، زمانی که این موتور به واسطه متصل شدن چنگک وارد مدار می‌شود و کاهش فرسودگی و آسیب به اجزا مواردی هستند که در تعیین این سیگنال‌ها باید مد نظر باشند. در جدول ۲ وضعیت سامانه تولید و انتقال قدرت دورگه با توجه به سرعت‌های مختلف و همچنین وضعیت انتخابی توسط راننده پیش‌بینی شده است.

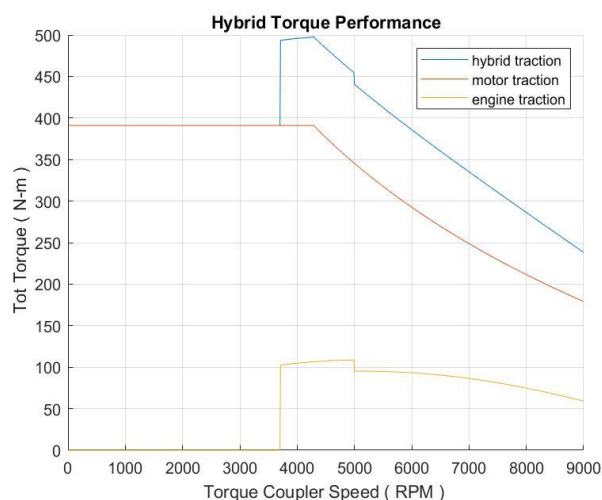
و انتقال قدرت که در معادله ۳۱ معرفی شد، بر مجموع توان نیروهای مقاومتی در معادله ۳۲ غلبه کند.

در این مرحله با فرض این که خودرویی که این شبیه‌سازی‌ها برای آن انجام می‌شود، دارای ابعاد و وزن نزدیک به خودروی ملی دنا باشد، V سرعت خودرو و متغیر است، $M_v = 1500 \text{ Kg}$ جرم خودرو، $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ شتاب گرانش، $\rho_a = 1.205 \text{ Kg/m}^3$ چگالی هوا، $C_D = 0.3$ ضریب پسا، $A_f = 2 \text{ m}^2$ سطح مقطع جلوی خودرو که تحت تأثیر ضریب درگ است و $\alpha = 5^\circ$ زاویه سطحی نسبت به افق است که خودرو روی آن حرکت می‌کند خواهد بود. سرعت خودرو نیز با توجه به شعاع چرخهای خودرو که مخصوص خودرو سدان خواهد بود به سرعت چرخش محور و هماهنگ‌ساز گشتاور قابل تبدیل است.

$$P_{resist} = V \left(M_v g f_r + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 + M_v g \sin \alpha \right) \quad (32)$$

۶- نمودار خروجی گشتاور و توان تولیدی دورگه

با توجه به فرضیات مذکور، نمودار گشتاور و توان تولیدی در سامانه تولید و انتقال قدرت خودروی دورگه با آرایش موازی و بر پایه موتور ملی و موتور برقی BH مطابق شکل (۱۷-۱۸) خواهد بود. با تلفیق موتور ملی احتراقی EF7 و موتور برقی BH در آرایش موازی و با شرایط تعریف شده به گشتاور حداکثری ۴۹۰ نیوتون متر و توان کاری ۲۷۶ کیلووات و معادل ۳۷۰،۱۲۲ اسب بخار دست می‌یابیم. این مقدار از توان و گشتاور می‌تواند در خودروهای وانا که یک نوع ون تولید شده در شرکت ایران خودرو است و همچنین نمونه‌های طراحی شده شاسی‌بلند و یا ورزشی آینده این شرکت مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۱۷: نمودار عملکرد دورگه گشتاور خودرو

¹ Clutch

۸- نتیجه گیری و جمع بندی

با تحلیل نتایج بدست آمده به طور کلی به این مهم دست می یابیم که در خودروهای دورگه می توان با به کارگیری ترکیب موتورهای احتراقی و برقی به توان و گشتاور چندین برابر نسبت به خودرو با موتور احتراقی منفرد دست یافت و این درحالی است که استفاده از موتور احتراقی عملاً محدود و بهینه شده است و به عبارتی مقدار آلودگی های تولیدی از موتور احتراقی به طور قابل توجهی کاهش می یابد. در این مقاله مشاهده شد که استفاده از آرایش دورگه موازی با موتور احتراقی EF7 و موتور برقی BH تقریباً ۳ برابر موتور احتراقی منفرد EF7 گشتاور و توان تولیدی تحویل می دهد و این درحالی است که با توجه به مدارهای مهاری و شرایط رانندگی تعریف شده برای خودرو، موتور احتراقی در آرایش دورگه موازی در بهینه ترین و محدودترین حالت مورد استفاده قرار می گیرد.

استفاده از جعبه دنده CVT با توجه به توان و گشتاور موتور احتراقی مورد استفاده توصیه می شود. زیرا وزن کمتری دارد و عملاً توان و گشتاور بهینه موتور احتراقی را به مدار می رساند. البته همانطور که در ذکر و بررسی شد، مدار مدیریت^۱ و روغنی^۲ جعبه دنده باید برای خودرو دورگه مناسب سازی شود.

با توجه به قدرت بالا و گشتاور یافته شده در این پروژه برای ترکیب موتور احتراقی و برقی BH پیشنهاد می شود که برای در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی و همچنین نیازهای رانندگان در سطح شهرها، از موتورهای احتراقی کوچکتر و با مصرف کمتر استفاده شود. موتور ۳ استوانه و یک لیتری جدید طراحی شده توسط شرکت ایران خودرو با قدرت ۷۲ اسب بخار می تواند انتخاب مناسبی برای اینگونه از خودروها باشد. همچنین می توان از موتور برقی با ابعاد و قدرت کم تر استفاده کرد که علاوه بر وزن کم تر هزینه ساخت را نیز کاهش خواهد داد.

فهرست علائم

x	جابجایی سنبه در استوانه (m)
\dot{x}	سرعت سنبه در سیندر (m/s)
Ω	سرعت یا دور میل لنگ و موتور برقی (rad/s)
T	زمان (s)
F_g	نیروی ناشی از احتراق وارد به اجزای مختلف (N)
T_g	گشتاور ناشی از احتراق وارد به اجزای مختلف (N-)
	(m)
F_i	نیروی ناشی از اثر لختی به اجزای مختلف (N)
T_i	گشتاور ناشی از اثر لختی به اجزای مختلف (N-)
	(m)

جدول ۲: حالات مختلف رانندگی در خودروی دورگه

		دور موتور ($\times 1000$)						
		1	2	3	3	4	5	6
		1	2	3	4	5	5	+
		5	5	5	7	5	5	+
Drive (D)	موتور برقی به صورت انفرادی در مدار (موتور احتراقی خاموش)	ورود موتور احتراقی به مدار قدرت و فعالیت هم زمان دو موتور. در این جا جعبه دنده CVT بهترین عملکرد موتور احتراقی را وارد مدار می کند و تابع سرعت اندازه مخروط و چرخ تسمه ها تغییر می کند.						
	موتور برقی (قطع جریان) و خروج موتور احتراقی از مدار قدرت (غیرفعال شدن چنگک ۱ و قبل CVT)	خاموش شدن موتور برقی (قطع جریان) و خروج موتور احتراقی از مدار قدرت (غیرفعال شدن چنگک ۱ و قبل CVT)						
Reverse (R)	ابتدا توقف خودرو و سپس بررسی SOC باتری و در صورت شارژ مطلوب استفاده از موتور برقی (معکوس سازی جهت حرکت قطب استاتور و عوض کردن جای ۲ فاز ورودی در استاتور با استفاده از اینورتر قبل از موتور) و در صورت کافی نبودن شارژ، آغاز موتور احتراقی و استفاده از آن (فعال سازی چنگک ۲ در جعبه دنده CVT)	ابتدا توقف خودرو و سپس بررسی SOC باتری و در صورت شارژ مطلوب استفاده از موتور برقی (معکوس سازی جهت حرکت قطب استاتور و عوض کردن جای ۲ فاز ورودی در استاتور با استفاده از اینورتر قبل از موتور) و در صورت کافی نبودن شارژ، آغاز موتور احتراقی و استفاده از آن (فعال سازی چنگک ۲ در جعبه دنده CVT)						
Park (P)	خاموش شدن کامل موتور برقی و خروج آن از مدار غیرفعال شدن چنگک اول و قبل جعبه دنده و فعال شدن قفل پارک برای قفل کردن قفسه سازوکار چرخ دنده خورشیدی قبل مخروط اول	خاموش شدن کامل موتور برقی و خروج آن از مدار غیرفعال شدن چنگک اول و قبل جعبه دنده و فعال شدن قفل پارک برای قفل کردن قفسه سازوکار چرخ دنده خورشیدی قبل مخروط اول						
Regenerative Braking (B)	مادامی که راننده در حال فشردن پدال گاز نیست و یا درحال ترمز است، عملکرد موتور به حالت مولد برق معکوس می شود و علاوه بر کاهش سرعت، سطح شارژ باتری نیز افزایش می یابد. (مناسب برای مسیرهای شلوغ، سراسیمه و حرکت در سطوح لغزنده)	مادامی که راننده در حال فشردن پدال گاز نیست و یا درحال ترمز است، عملکرد موتور به حالت مولد برق معکوس می شود و علاوه بر کاهش سرعت، سطح شارژ باتری نیز افزایش می یابد. (مناسب برای مسیرهای شلوغ، سراسیمه و حرکت در سطوح لغزنده)						
Sport Mode (S)	موتور احتراقی و برقی از سرعت صفر شروع به فعالیت هم زمان می کنند و شتاب خیلی بیشتری به خودرو خواهند داد. علاوه بر آن برنامه های مخصوص در ECU و HCU سبب تزریق بیشتر سوخت و مکش بیشتر هوا در موتور احتراقی برای عملکرد بهتر خواهد شد	موتور احتراقی و برقی از سرعت صفر شروع به فعالیت هم زمان می کنند و شتاب خیلی بیشتری به خودرو خواهند داد. علاوه بر آن برنامه های مخصوص در ECU و HCU سبب تزریق بیشتر سوخت و مکش بیشتر هوا در موتور احتراقی برای عملکرد بهتر خواهد شد						

² Hydraulic

¹ Control

- [5] Chan, C. C., K. T. Chau, and K. T. Chau. Modern electric vehicle technology. Vol. 47. Oxford University Press on Demand, 2001.
- [6] Sen, Paresh Chandra. Principles of electric machines and power electronics. John Wiley & Sons, 2007.
- [7] Husain, Iqbal. Electric and hybrid vehicles: design fundamentals. CRC press, 2010.
- [8] Hamed Navabi. Dynamical Modeling of National Engine EF7, University of Amirkabir, 1396 (in Persian)
- [9] Bingham, Timothy. Development of a Novel and Energy Efficient Hybrid Electric Drivetrain. University of Surrey (United Kingdom), 2016.
- [10] <http://www.compotrade.ru/upload/variants/17/96129/4cea9fc20b26968820df31ab1cdc8dc1.pdf>
- [11] Mashadi, Behrooz, and Seyed AM Emadi. "Dual-mode power-split transmission for hybrid electric vehicles." IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 59, No. 7, pp. 3223-3232, 2010
- [12] Gao, Yimin, and Mehrdad Ehsani. "A torque and speed coupling hybrid drivetrain-architecture, control, and simulation." IEEE transactions on power electronics, Vol. 21, No. 3, pp. 741-748, 2006
- [13] Chang, Chih-Ming, and Jheng-Cin Siao. "Performance Analysis of EV Powertrain system with/without transmission." World Electric Vehicle Journal, Vol. 4, No. 3, pp. 629-634, 2010
- [۱۴] گزارش‌ها و اطلاعات عددی احتراق موتور ملی EF7 مرکز تحقیقات ایران خودرو (ایپکو)

T_{total}	گشتاور کل وارد شده در میل‌لنگ یک موتور تک‌استوانه
$\Delta\phi_{inertia}$	اختلاف زاویه در احتراق سنبه‌ها
P	توان تولیدی (KW)
P_{emotor}	توان کل تولیدی در موتور برقی (KW)
P_{engine}	توان کل تولیدی در موتور احتراق داخلی (KW)
P_{hybrid}	توان کل تولیدی سامانه دورگه (KW)
T_{emotor}	گشتاور کل تولیدی در موتور برقی (N-m)
T_{engine}	گشتاور کل تولیدی در موتور احتراقی (N-m)
T_{hybrid}	گشتاور کل تولیدی سامانه دورگه (KW)
P_{resist}	توان کل نیروهای مقاومتی و بازدارنده (KW)
i	ضریب تبدیل جعبه‌دنده
η_1	بازده انتقال توان و گشتاور

مراجع و منابع

- [1] Ehsani, Mehrdad, Yimin Gao, Stefano Longo, and Kambiz M. Ebrahimi. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. CRC press, 2018.
- [2] Norton, Robert L. Design of machinery: an introduction to the synthesis and analysis of mechanisms and machines. McGraw-Hill/Higher Education, 2008.
- [3] Heywood, John B. "Combustion engine fundamentals." 1st Edição. Estados Unidos, Vol. 25, pp. 1117-1128, 1988
- [4] Fischer, Robert, Ferit Küçükay, Gunter Jürgens, Rolf Najork, and Burkhard Pollak. The automotive transmission book. Springer, 2015.



Investigation of torque and power output of power generation system in hybrid electric vehicles with parallel arrangement in driving modes

F. Haddadi^{1*}, M. Taghizadeh²

¹ B.s. Student, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, farhadhaddadi1999@gmail.com

² Assistant Professor, Faculty of Mechanical and Energy Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, mo_taghizadeh@sbu.ac.ir

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 22 September 2021

Accepted: 13 February 2022

Keywords:

Internal Combustion Engine

Electric Motor

Hybrid Electric Vehicles

Power generation

EF7 national engine

ABSTRACT

Nowadays, one of the main points considered by the world's leading automakers in the design phase, the manufacturing phase and mass production, is the reduction or control of pollutions and emissions in the internal combustion engines of automobiles. Due to the standards set in different countries and recent decades regarding the control of environmental pollution of vehicles, these points are considered by car manufacturers. Because of that, the production of electric and hybrid cars with different designs is slowly expanding over time in the manufacturing lines of vehicles. One of the features of hybrid electric vehicles is the increase in power and torque in the power production system in the parallel arrangement. Therefore, for this group of cars, a smaller internal combustion engine can be considered, which ultimately reduces the emissions, and at the same time, the parallel activity of the two internal combustion engines and AC motor creates the required torque and power in different driving mode. The formation and arrangement of two power sources in this article will be considered parallel. In this paper, we will simulate the movements of pistons in the EF7 national internal combustion engine with a crank and slider mechanism, and the results related to the power and torque produced in the crankshaft of this engine will be drawn and simulated in MATLAB software. BRUSA HSM1 AC motor, which is considered in this paper as the main power source of power and torque generation system, will be analyzed using numerical calculations, as well as information extracted from the catalog of this motor. Finally, by analyzing different driving modes and applying coefficients and efficiencies, torque and power output in these situations are examined.

