نخستین کنفرانس ملی انرژی، فناوری‌های خودرو، توسعه پایدار
با رویکرد توسعه فناوری خودروی هیبریدی و الکتریکی
تهران، آبان ۱۳۹۰

طراحی و ساخت سواری هیبرید برقی پراید در دانشگاه کاشان
بخش دوم: طراحی سیستم محرکه الکتریکی

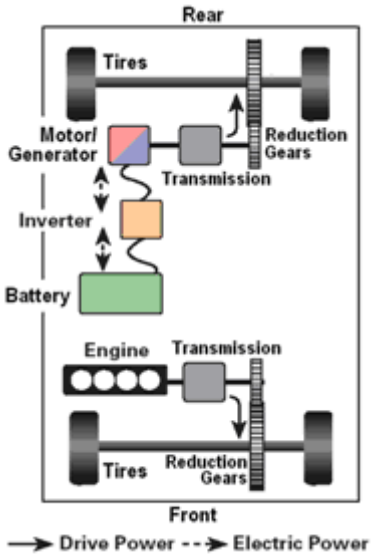
ابوالفضل حلوایی نیاسر
استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان
halvaei@kashanu.ac.ir

سعید گلابی
دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان
golabi-s@kashanu.ac.ir

چکیده
این مقاله به بررسی مراحل طراحی و ساخت بخش نیروی محرکه الکتریکی اولین خودروی سواری هیبرید برقی پلت‌فرم پراید در ایران اختصاص دارد. با توجه به محدودیت‌های تکنولوژیکی، آرایش هیبرید بکار رفته از نوع موازی می‌باشد. موتور احتراقی مورد استفاده در این خودرو همان موتور پراید با ECU نوع زیمنس است. موتور الکتریکی بکار رفته یک موتور ۲۲ kW نوع PMSM بوده که تنظیم سرعت و گشتاور آن به روش کنترل برداری انجام می‌شود. اینورتر مورد استفاده نیز یک اینورتر ۴۵ kVA بوده که به روش مدولاسیون بردار فضایی (SVM) کنترل می گردد. سیستم ذخیره ساز انرژی آن نیز شامل ۱۳ باتری ۱۴،۸ ولتی از نوع لیتیم-یون‌پلیمر بوده که ولتاژ باس DC در حد ۱۹۰ ولت برای تغذیه اینورتر ایجاد می‌نمایند. سیستم کنترل هیبرید خودرو (HCU) بر اساس سیگنال‌های فیدبک از بخش‌های مختلف و سطح شارژ باتری(SOC)، انرژی را از باتری گرفته و به موتور می‌دهد و یا اینکه انرژی ترمزی و یا انرژی مکانیکی موتور احتراقی را در حالت ژنراتوری ماشین PMSM بصورت انرژی الکتریکی در باتری‌ها ذخیره می‌نماید. سیستم‌های جانبی الکتریکی خودروی طراحی‌شده، علاوه بر سیستم‌های جانبی الکتریکی خودروی پراید شامل نشان دهنده‌هایی است که بواسطه هیبرید شدن خودرو، اضافه گردیده‌اند.

واژه‌های کلیدی: خودروی هیبرید برقی موازی، سیستم کنترل انرژی، درایو موتور PMSM، اینورتر SVM، باتری.

۱- مقدمه
همانطور که در بخش اول مقاله بیان گردید، آرایش خودروی هیبرید طراحی شده از نوع موازی می باشد که این انتخاب به دلیل ضیق وقت (جهت شرکت در مسابقات کشوری)، هزینه بالا و محدودیت‌های تکنولوژیکی موجود در کشور در خصوص طراحی خودروی هیبرید سری- موازی صورت گرفته است. از میان سه نوع مختلف آرایش‌های موازی هم‌محور، غیر هم‌محور و مستقل، آرایش مستقل استفاده گردیده است که این انتخاب به دلیل سادگی ساختار، هزینه پائین‌تر و عدم نیاز به تجهیزات پیچیده مکانیکی انتقال نیرو و تبدیل آسان‌تر یک خودروی احتراقی به خودروی هیبرید با توجه به محدودیت‌های موجود صورت گرفته است [۱]. در خودروی طراحی شده، مطابق شکل (۱) موتور احتراقی به چرخ‌های جلو نیرو وارد می نماید و موتور الکتریکی نیز جداگانه به چرخ‌های عقب نیرو وارد می سازد. در این مقاله به بررسی بخش‌های مختلف سیستم محرکه الکتریکی خودروی طراحی شده شامل موتور الکتریکی، کنترلر و اینورتر، باتری‌ها، سیستم کنترل انرژی و سیستم‌های جانبی الکتریکی پرداخته می‌شود.



شکل(۱). ساختار کلی خودروی پراید هیبرید طراحی شده

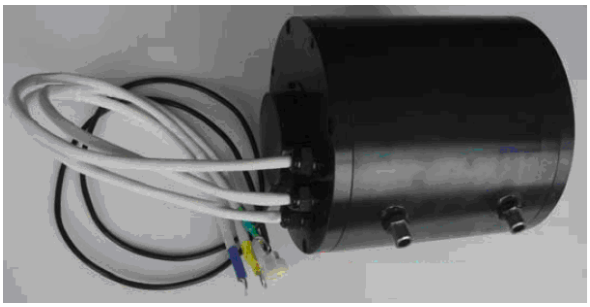
۲- موتور الکتریکی

ادوات الکترونیک قدرت جدید و ساخت نمونه‌های تجاری اینورترهای فرکانسی، عملا سبب کنارگذاشته شدن موتورهای DC علیرغم مزایای آنها، در کاربردهای خودروهای برقی و هیبرید گردیده است و در مقابل استفاده از موتورهای AC شتاب بیشتری گرفته است [۲]. از میان انواع موتورهای AC، موتورهای القایی، DC بدون جاروبک (BLDC) و سنکرون مغناطیس دائم رواج بیشتری دارند و نمونه‌های زیادی از خودورهای برقی و هیبرید با این سه نوع موتور ساخته شده‌اند. هر یک از این موتورها، مزایا و معایب خاص خود را دارند که در جدول (۱) به اهم آنها اشاره گردیده است.

از بین دو نوع موتور مغناطیس دائم PMSM و BLDC، موتور PMSM به دلیل ریپل گشتاور کمتر انتخاب گردیده است. شکل (۲) موتور PMSM مورد استفاده از در این پروژه را نشان می‌دهد که مدل GLMP۱۵L۰ ساخت شرکت M&C Electric Power Co کشور چین می‌باشد [۳]. به دلیل توان بالای موتور، خنک‌سازی موتور بوسیله آب و یک رادیاتور مستقل انجام می‌گیرد که البته در کاربردهای خودرویی ایجاد سیستم خنک‌سازی موتور و اینورتر با آب نسبت به خنک‌سازی با هوا، راحت‌تر و موثرتر می‌باشد. جدول (۲) مشخصات اصلی موتور مورد استفاده را خلاصه نموده است.

جدول(۱). مقایسه مشخصات چند نوع موتور تراکشن متداول

مشخصه / موتور	واحد	القایی	PMSM	DC
راندمان موتور	٪	۹۰	۹۵	۸۰
دانسیته توان	kW/kg	۰,۷	۱,۱	۰,۴
قیمت برمبنای (DC=۱۰۰)		۹۰	۱۴۰	۱۰۰
وزن برمبنای (PM=۱۰۰)		۲۰۰	۱۰۰	۴۰۰
عملکرد در سرعت پائین		ضعیف	خوب	خوب
عملکرد در سرعت بالا		خوب	متوسط	ضعیف
ترمز بازیابی		پیچیده	ساده	ساده



شکل(۲). موتور PMSM مورد استفاده در خودروی هیبرید پراید

جدول(۲). مشخصات اصلی موتور PMSM مورد استفاده در پروژه

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
توان نامی	۲۲ kW	راندمان	٪۹۵
ولتاژ نامی	۱۴۴ V	کلاس عایقی	F
گشتاور نامی	۷۵ N.m	حفاظت	IP۵۵
گشتاور حداکثر	۱۵۰ N.m	وزن	۴۵ kg
سرعت نامی	۳۰۰۰ rpm	ابعاد	Φ۲۳۸×۲۴۵
سرعت حداکثر	۶۰۰۰ rpm	نوع سیم‌بندی	ستاره

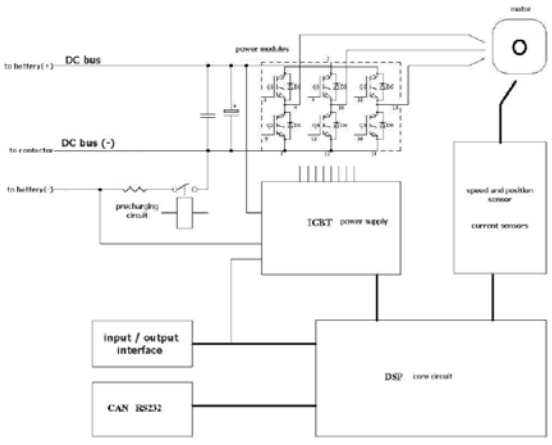
۳- کنترلر و اینورتر (درایو الکتریکی)

روش‌های متداول کنترل سرعت موتورهای PMSM عبارتند از کنترل اسکالر، کنترل برداری و کنترل مستیقم گشتاور (DTC). از این بین روش کنترل برداری به دلیل عملکرد بسیار بالا کاملا تجاری گشته است و تقریبا در اغلب خودروهای برقی و هیبریدی ساخته شده که از موتور AC استفاده می‌کنند، بکار برده شده‌اند. روش DTC علیرغم سادگی و همچنین سریع‌بودن، به دلیل ریپل گشتاور بالا در کاربردهای تراکشن به اندازه روش کنترل برداری فراگیر نشده است. ناگفته نماند که حجم محاسبات در روش کنترل برداری نسبتا بالاست که البته با استفاده از پردازشگرهای دیجتالی سریع نظیر DSP ها، این مشکل نیز عملا حل گردیده است [۴].

کنترل سرعت موتور PMSM مورد استفاده در این پروژه به روش کنترل برداری انجام می‌شود. سرعت واقعی از روی سیگنال‌های موقعیت ارسال شده توسط شافت اینکودر در DSP محاسبه می‌گردد. اینورتر مورد استفاده از نوع شش سوئیچه با سوئیچ‌های از نوع IGBT است که به روش مدولاسیون بردار فضایی (SVM) که نسبت به دیگر انواع روش‌ها نظیر شش پله‌ای و PWM سینوسی بهتر است، کلیدزنی می‌گردد. به دلیل حجم زیاد مطالب از آوردن نتایج شبیه‌سازی عملکرد درایو و موتور الکتریکی خودداری شده است.

شکل (۳) ساختار کلی درایو الکتریکی مورد استفاده در این پروژه را نشان می‌دهد. در جدول (۳) نیز مشخصات نامی اینورتر مورد استفاده در این پروژه خلاصه گردیده است.

برخی از اقدامات حفاظتی در کنترلر به شرح زیر هستند: اگر در ماژول قدرت اضافه جریان و یا اضافه دمایی مشاهده گردد، کنترلر، خروجی اینورتر را قطع می‌نماید. اگر ولتاژ باس DC به هر دلیلی، از حد مجاز ۲۰۰ ولت فراتر برود، کنترلر باز هم خروجی اینورتر را خاموش می‌نماید. اگر ولتاژ باس DC از حد ۱۲۰ ولت نیز کمتر شود (قابل تنظیم است)، کنترلر خروجی اینورتر را قطع می‌کند. در دمای زیر ۴۰ درجه سلسیوس پمپ سیستم خنک‌ساز آبی خاموش می‌باشد. در دمای بین ۴۵ تا ۷۵ درجه پمپ کار می‌کند و در دمای بیش از ۸۵ درجه، کنترلر خروجی اینورتر را قطع می‌کند. در سرعت بالاتر از ۶۵۰۰ rpm نیز خروجی اینورتر قطع می‌شود.



شکل(۳). ساختار کلی درایو الکتریکی مورد استفاده در پروژه

جدول(۳). مشخصات اینورتر مورد استفاده در پروژه

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
توان حداکثر	۴۵ kVA	راندمان	٪۹۵
ولتاژ DC ورودی	۲۰۰-۱۴۰ V	حفاظت	IP۵۴
جریان نامی	۷۵ N.m	وزن	۱۱,۵ kg
جریان حداکثر	۱۵۰ N.m	نوع خنک‌سازی	آب و رادیاتور

۴- سیستم ذخیره‌ساز انرژی (باتری)

ایده اساسی استفاده از خودروی هیبرید، بهینه نمودن عملکرد موتور احتراقی است. همچنین با توجه به معیارهای طراحی که در مقاله قبلی بدان اشاره شد، از موتور الکتریکی فقط در ناحیه سرعت پائین استفاده می‌گردد. لذا در خودروی هیبرید طراحی شده، در سرعت‌های پائین (کمتر از ۴۰ Km/h) که موتور احتراقی از راندمان کمی برخوردار است، فقط از موتور الکتریکی استفاده شود. همچنین در موقع ترمز گرفتن، انرژی جنبشی خودرو حتی‌الامکان توسط عملکرد ترمز ژنراتوری موتور الکتریکی در سیستم ذخیره انرژی، ذخیره گردد.

انواع سیستم‌های ذخیره‌ساز در خودروهای هیبریدی عبارتند از باتری، ابرخازن و چرخ‌های طیار. از این میان، استفاده از باتری متداول‌تر از انواع دیگر سیستم‌هاست. باتری‌های بکار رفته در کاربردهای تراکشن را می‌توان به انواع سرب-اسید (Pb-AC)، نیکل-متال هیبراید (Ni-MH)، انواع لیتیومی شامل لیتیم-یون (Li-Ion) و نوع جدید و مقاوم‌تر لیتیم-یون-پلیمر دسته‌بندی نمود [۵]. جدول (۴) مقایسه مشخصات انواع باتریها نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد. باتری‌های مورد استفاده در این پروژه از نوع لیتیم-یون-پلیمر بوده که برخی مشخصات آن در جدول (۵) آورده شده‌اند [۶]. شکل (۴) مشخصات شارژ و دشارژ باتری مورد استفاده را نمایش می‌دهد.

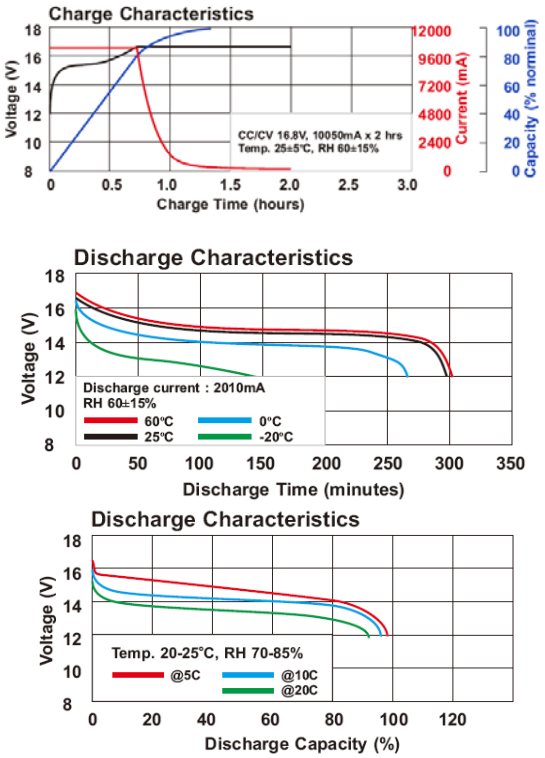
توان دشارژ نامی مجموعه باتری‌ها ۲۳,۲ kW است که برای حالت گذرا می تواند به مقدار ۴۸ kW نیز برسد که این مقدار فراتر از نیاز حداکثر توان موتور یعنی ۳۰ kW است. سیستم کنترل هیبرید خودرو (HCU) نیازمند دانستن وضعیت شارژ باتری (SOC) می‌باشد. برای تعیین SOC باتری روش‌های مختلفی وجود دارند. یک روش با استفاده از منحنی دشارژ باتری شکل (۴) است که با استفاده از اندازه-گیری ولتاژ باتری حاصل می‌شود و البته روش دقیقی نیست. روش دیگر بر مبنای اندازه‌گیری آمپرساعت (توسط حسگر جریان) و پردازش در میکرو است. می‌توان از تلفیق دو روش فوق به روشی با خطای کمتر دست یافت. همچنین می‌توان از روئیتگرها و فیلتر کالمن استفاده نمود.

جدول(۴). مقایسه مشخصات انواع باتریها در کاربردهای تراکشن

پارامتر	Pb-Ac	Ni-MH	Li-Ion
راندمان	۸۵	۸۰	۹۳
دانسیته انرژی [Wh/l]	۵۰-۷۰	۲۰۰	۱۵۰-۲۵۰
انرژی ویژه [Wh/kg]	۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	۱۰۰-۲۰۰
توان ویژه [W/kg]	۳۰۰	۱۳۰۰-۵۰۰	۸۰۰-۳۰۰۰
دمای کاری [°C]	۶۰ تا ۳۰-	۵۰ تا ۲۰-	۵۵ تا ۲۰-
خود دشارژی [%/month]	۴-۸	۲۰	۱-۵
تعداد سیکل‌ها	۲۰۰	> ۲۵۰۰	< ۲۵۰۰
قیمت [$/kW]	۱۰	۲۰	۵۰-۷۵

جدول(۵). مشخصات باتری لیتیم-یون-پلیمر مورد استفاده در این پروژه

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
ولتاژ نامی	۱۴,۸ V	ولتاژ قطع دشارژ	۱۱ V
ظرفیت نامی	۱۰۵۰۰ mAh	ولتاژ قطع شارژ	۱۶,۸ V
جریان دشارژ نامی	۱۲۱ A	جریان حداکثر	۲۵۰ A (۷ sec)
وزن هر عدد	۱۰۳۰ g	ابعاد	۱۲۷×۳۷×۱۲۷mm



شکل(۴). مشخصه‌های شارژ و دشارژ باتری‌های مورد استفاده

برای شارژ باتری‌ها از تغذیه AC، یک شارژر به نحوی طراحی گردیده است که باتری‌ها را در دو مود جریان ثابت/ولتاژ ثابت مطابق توصیه سازنده باتری شارژ می‌نماید. الگوریتم شارژ بدین گونه است که باتری با جریان ثابت (در روش استاندارد ۵۰۲۵ mA و در روش سریع ۱۰۰۵۰ mA) شارژ می‌شود تا ولتاژ باتری به ۱۶,۸ V برسد. سپس باتری با ولتاژ ثابت ۱۶,۸ V شارژ می‌شود تا زمانی که جریان کمتر از ۰,۵۰۳ mA گردد.

۵- سیستم کنترل هیبرید (HCU)

در خودروی هیبرید موازی بسته به نوع کوپلینگ موتورهای الکتریکی و احتراقی نسبت به یکدیگر، موتور الکتریکی می تواند فقط جهت کار در سرعت‌های پائین، کمک به موتور احتراقی در ایجاد سرعت و شتاب حداکثر و یا کار در نواحی کم بازده موتور احتراقی بکار رود.

سیستم HCU وظیفه نظارت بر انتقال توان بین اجزای مختلف سیستم نیرو محرکه خودرو شامل دو بخش مکانیکی و الکتریکی را برعهده داشته و در واقع کنترلر اصلی خودرو می‌باشد [۷]. واحد کنترل هیبرید با توجه به اطلاعاتی که از سرعت، وضعیت پدال گاز، وضعیت ترمز، وضعیت پدال کلاچ و میزان شارژ باتری‌ها به دست می

آورد فرمان‌های مناسب را برای موتور الکتریکی، موتور احتراقی و باتری‌ها ارسال می‌نماید. در طراحی انجام شده سعی شده که تغییراتی در واحد کنترل موتور بنزینی (ECU) صورت نگیرد، چرا که این واحد پیچیدگی‌های خاص خود را دارد. اطلاعاتی چون وضعیت پدال گاز، ترمز و سرعت خودرو را می‌توان به‌صورت مستقیم از حسگرها دریافت کرد. به‌همین منظور برای تعیین وضعیت پدال گاز از سیگنال حسگر وضعیت دریچه گاز (TPS)، برای سرعت خودرو از حسگر (VSS) و همچنین اطلاعات وضعیت شارژ (SOC) از واحد سیستم مدیریت باتری (BMS) دریافت خواهد شد. برای تعیین فشرده شدن پدال ترمز و کلاچ نیز میکرو سوئیچی در زیر پدال قرار داده می شود تا وضعیت آن را به HCU ارسال نماید.

برای این خودرو چهار مود کاری مختلف (احتراقی، الکتریکی، شتاب‌گیری و هیبرید) طراحی شده است [۸]. با توجه به وضعیت سوئیچ خودرو و کلید سه وضعیتی که روی داشبرد قرار داده می شود راننده بتواند مودها را به دلخواه انتخاب نماید. واحد کنترل هیبرید نیز با تشخیص محل سوئیچ و کلید سه وضعیتی به مود کاری مربوطه وارد شده و دستورات لازم را ارسال نماید. در اولین مود، خودرو به صورت احتراقی عمل می‌کند. در این حالت کلید در وضعیت ۱ قرار دارد و راننده با سوئیچ موتور احتراقی را روشن نماید. در مود دوم (تمام الکتریکی)، کلید در وضعیت ۲ قرار دارد. در این حالت اگر موتور احتراقی توسط راننده روشن گردد خودرو وارد مود کاری سوم یعنی مود شتاب‌گیری خواهد شد. اگر کلید در وضعیت ۳ قرار گیرد خودرو به صورت هیبرید عمل می‌کند و الگوریتم کنترلی مورد نظر برای بهینه بودن خودرو را اجرا خواهد نمود.

در مود احتراقی، فقط موتور احتراقی کار می‌کند. موتور الکتریکی توانی را برای حرکت خودرو ایجاد نمی‌کند و بواقع خلاص است. از این حالت می توان در موقعیت‌هایی نظیر حرکت در آزادراه استفاده کرد که راننده باید با سرعت بالا حرکت کند و نیاز به کار در حالت موتور الکتریکی ندارد. موتور احتراقی نیز در این حالت در نقطه کار بهینه خود کار می‌کند. همچنین سوئیچی نیز روی داشبرد قرار داده شده است تا در صورت نیاز توسط راننده فعال می‌گردد تا موتور الکتریکی به صورت ژنرانوری کار کند و باتری‌ها را شارژ نماید.

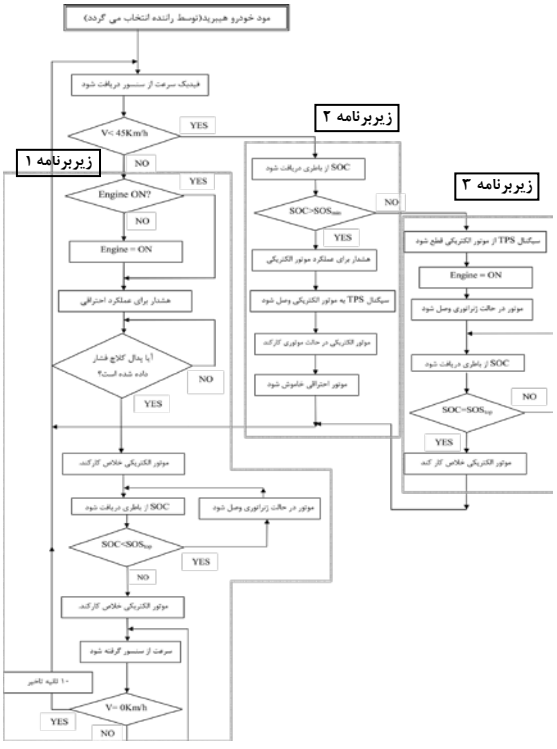
در مود الکتریکی، خودرو تا زمانی که شارژ دارد به صورت الکتریکی حرکت می‌نماید و در صورت اتمام شارژ باتری‌ها موتور الکتریکی به صورت خلاص عمل خواهد نمود. در این پس از دریافت میزان شارژ اگر از مقدار حداقل بیشتر باشد متناسب با فشار پدال گاز دور موتور الکتریکی و سرعت خودرو تغییر می نماید.

در مود شتاب‌گیری، هر دو موتور الکتریکی و احتراقی محرک هستند. پس از آنکه این مود توسط راننده انتخاب شد موتور احتراقی روشن شده و میزان شارژ باتری با حداقل خود مقایسه می شود اگر سطح شارژ مناسب بود موتور الکتریکی فعال خواهد شد در غیر این صورت فقط موتور احتراقی توان شتابگیری را تامین خواهد نمود.

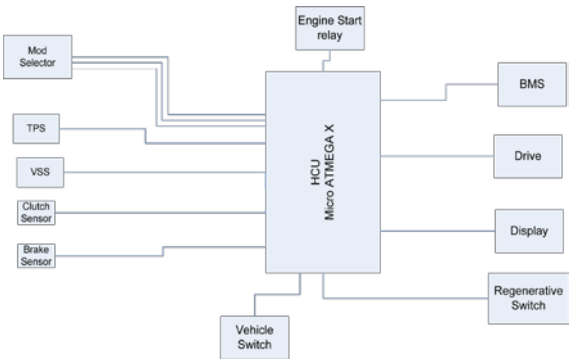
در مود هیبرید، واحد کنترل هیبرید مانند الگوریتم نشان داده شده در شکل (۵) عمل می‌کند. حال اگر سرعت خودرو از سرعت تعیین شده (۴۰ Km/h) کمتر باشد و شارژ باتری نیز از حداقل شارژ مورد نظر در باتری ها بیشتر باشد زیر برنامه ۲ اجرا می‌شود که طی آن، موتور الکتریکی فقط کار می‌کند. زیر برنامه ۲ را حالت کار در سرعت پایین یا حالت ترافیک می‌توان نامید. این زیر برنامه اجرا می-شود تا زمانی که یکی از دو شرط سرعت یا سطح شارژ باتری نقض گردد. اگر سرعت خودرو از ۴۰ Km/h فراتر رود موتور احتراقی روشن می‌گردد و به راننده اعلام می شود که موتور احتراقی روشن شده و خودرو از حالت کار موتور الکتریکی خارج شده است. سپس واحد کنترل هیبرید منتظر می ماند که راننده به این تغییر حالت پاسخ دهد یعنی پدال کلاچ را فشار داده و موتور الکتریکی خلاص کار کند. این حالت بدین منظور قرار داده شده تا بلافاصله پس از افزایش سرعت و عبور از محدوده مورد نظر خودرو خلاص نشود و عملکرد خودرو تحت اختیار راننده قرار بگیرد. در این حالت در صورت نیاز باتری‌ها می‌توانند شارژ شوند. اگر شرط شارژ باتری نقض گردد یعنی شارژ باتری تمام شده باشد، زیر برنامه ۳ اجرا خواهد شد که در آن سیگنال فرمان از موتور الکتریکی جدا خواهد شد و موتور احتراقی روشن می شود. سپس برای آنکه باتری ها دوباره شارژ شوند و برای سیکل های بعدی شارژ مورد نیاز را داشته باشد موتور در حالت ترمزی بازیاب انرژی عمل خواهد نمود تا باتری به صورت کامل شارژ شود. پس از آن موتور الکتریکی در حالت خلاص قرار خواهد گرفت.

عملکرد ترمزی با فشار پدال ترمز توسط راننده فعال می‌گردد. برای امنیت بیشتر ترمز الکتریکی و مکانیکی همزمان اعمال می‌شوند. با فشار پدال، وقفه پدال ترمز فعال شده و موتور الکتریکی در حالت ژنراتوری کار می‌کند و انرژی ترمزی در باتری‌ها ذخیره می‌شود.

هدف از این که برای این خودرو مود های کاری متفاوتی طراحی شده این است که خودرو علاوه به این که به صورت هیبرید عمل کند توسط راننده امکان انتخاب حالت کاری متفاوت باشد تا کارایی خودرو بیشتر باشد. یعنی راننده خواهد توانست علاوه بر یک خودرو هیبرید، یک خودرو الکتریکی و احتراقی به صورت مجزا نیز در اختیار داشته باشد.



شکل(۵). الگوریتم کنترل در واحد HCU در مود هیبرید



شکل(۶). ارتباط واحد HCU با بخش‌های مختلف خودرو

مطابق با شکل (۶)، واحدهای سخت‌افزاری مرتبط با HCU عبارتند از: BMS، درایو الکتریکی، نمایشگر LCD در داشبورد، سوئیچ، کلید سلکتوری، ECU، حسگرهای پدال کلاچ، ترمز، گاز و سرعت خودرو. پیاده‌سازی سخت افزاری واحد HCU نیز با استفاده از میکرو کنترلر AVR سری ۹۰S انجام گردیده است که هم اینک در مرحله تست قرار دارد.

۶- سیستم‌های جانبی الکتریکی خودروی هیبرید

در سواری هیبرید طراحی شده، علاوه بر سیستم‌های جانبی الکتریکی متنوعی که در خودروی پراید معمولی وجود دارد، پارامترهای دیگری نیز نشان داده شوند که عبارتند از: مود کاری خودرو. میزان ولتاژ باتری‌های قدرت (باس DC)، دمای موتور الکتریکی و اینورتر، rpm موتور الکتریکی، زمان باقیمانده تا خالی‌شدن باتری‌ها، میزان شارژ باتری‌ها، جریان موتور. اطلاعات پارامترهای ذکر شده از واحدهای مرتبط HCU، BMS، و درایو جمع‌آوری شده و توسط سخت‌افزارهای مناسب روی نمایشگر دیجیتالی روی پانل جلویی خودرو نمایش داده می‌شوند. ارتباط بین این واحد و واحدهای دیگر به هر دو صورت آنالوگ و دیجیتال است. در مواردی نظیر ارتباط با درایو از پروتکل CAN استفاده می‌شود.

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله، بخش‌های مختلف خودروی هیبرید پراید طراحی شده در دانشگاه کاشان بیان گردیدند. به دلایل مشروح بیان شده، آرایش خودرو از نوع موازی مستقل می‌باشد. برای بالا بردن راندمان و عملکرد کلی خودرو از موتور PMSM با درایو با کنترل برداری و اینورتر SVM استفاده گردیده است. موتور در دو مود کنترل گشتاور و کنترل سرعت قابل استفاده است. همچنین از باتری‌های لیتیم-یون‌پلیمر مخصوص کاربرد تراکشن استفاده گردیده است که شارژ آن در دو مود جریان ثابت و ولتاژ ثابت انجام می‌شود. سیستم کنترل هیبرید (HCU) در چهار مود مختلف قابل بهره‌برداری است که این حداکثر کارایی در آرایش موازی هیبرید را شامل می‌شود. به دلیل محدودیت جا، نتایج شبیه‌سازی بخش‌های مختلف شامل درایو، سیستم مدیریت باتری (BMS) و HCU در این مقاله آورده نشده‌اند. خودروی طراحی شده هم اکنون در دانشگاه کاشان در مرحله ساخت قرار دارد که طبق برنامه تست عملکردی آن در شهریور ۹۰ به اتمام خواهد رسید و بعد از آن در مسابقات دانشجویی به رقابت با سایر تیم‌ها خواهد پرداخت.

۸- تشکر و قدردانی

از حمایت‌های بی شائبه ریاست محترم دانشگاه کاشان و همچنین پشتیبانی موثر شرکت سایپا کاشان کمال سپاس را داریم.

همچنین از تیم دانشجویی بخش برقی این پروژه که بواقع بهمراه دانشجویان بخش مکانیک، مجریان اصلی انجام این پروژه از ابتدا تا انتها بوده‌اند، کمال تشکر را داریم. اسامی این دانشجویان به ترتیب حروف الفبا عبارتند از: سجاد اقبالیان آرانی، بهار بهزادی، سجاد خلیلی نورگورانی، شاهین ریاحی‌نیا، مهدی شکوه‌فر، شیما صدرایی‌فر، رسول طیبی‌راد، عطیه کریم، عرفان مرادی‌مطلق، زهرا طرفدار، بهزاد میرشکارپور.

۹- مراجع

[۱] Husain I., *Electric and Hybrid Vehicles; Design Fundamentals*, CRC Press, ۲۰۰۳.

[۲] Emadi A., Ehsani M., *Vehicular Electric Power Systems, Land, Sea, Air,and Space Vehicles*, Marcel Dekker, ۲۰۰٤.

[۳] www.ev-motor.cn

[٤] Emadi A., *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*, CRC Press, ۲۰۰٥.

[٥] Vyas A.D., Henry Ng, Santini D. J., Anderson J.L., *Batteries for Electric Drive Vehicles: Evaluation of Future Characteristics and Costs through a Delphi Study*, SAE International Spring Fuels and Lubricants Meeting, Detroit, Michigan, ۱۹۹۷.

[٦] www.gitabattery.com

[۷] Gao Y., Rahman K.M., Ehsani M., *The Energy Flow Management And Battery Energy Capacity Determination For The Drive Train Of Electrically Peaking Hybrid*, SAE Publication SP-۱۲۸٤, ۱۹۹۷, Paper No. ۹۷۲٦٤۷.

[۸] Halvaei Niasar A.., Moghbelli H., Vahedi A., *Design Methodology of Drive Train for a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle (SP-HEV) and its Power Flow Control Strategy*, IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), San Antonio, Trxas, USA, ۲۰۰٥, pp. ۱٥٤۹-۱٥٥٤.