

بررسی ساختارهای سیستم انتقال قدرت در خودروهای هیبرید

قسمت دوم: سیستم هیبرید موازی و سری-موازی

چکیده: سیستمهای هیبرید با توجه به طرز قرار گرفتن موتور احتراق داخلی، موتور الکتریکی و نقش هر یک در تامین توان حرکتی خودرو به سه دسته اصلی هیبرید سری، هیبرید موازی و هیبرید سری-موازی تقسیم می‌شوند. به دلیل تبدیل چند مرحله‌ای انرژی در سیستم هیبرید سری که منجر به کاهش راندمان می‌شود و همچنین نیاز به موتور و کنترلر الکتریکی با توان نسبتاً بالا، سیستمهای هیبرید موازی مطرح گردیده‌اند. در سیستم هیبرید موازی نیروی مورد نیاز برای حرکت خودرو مستقیماً توسط هم موتور الکتریکی و هم موتور احتراق داخلی تامین می‌شود، بعبارت دیگر نیروی مکانیکی حاصل از موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی با هم کوپل شده و خودرو را به حرکت در می‌آورد. هر چند سیستم کنترل گشتاور خودروهای هیبرید موازی پیچیده‌تر از خودروهای هیبرید سری می‌باشد اما در عوض توان، وزن و در نتیجه حجم موتور الکتریکی کاهش می‌یابد. همچنین ژنراتور نیز در این سیستم حذف شده و موتور الکتریکی در هنگام ترمز به ژنراتور تبدیل شده، انرژی ترمزی را بازیافت می‌نماید. علاوه بر دو طرح فوق سیستم هیبرید سری-موازی (ترکیبی) نیز وجود دارد که ترکیبی از سیستم سری و موازی می‌باشد. در این مقاله به بررسی انواع طرحهای سیستم هیبرید موازی و همچنین سری-موازی پرداخته شده و مزایا و معایب انواع سیستمهای هیبرید با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

کلید واژه: خودروهای برقی، خودروهای هیبرید، سیستم موازی، سیستم سری-موازی (ترکیبی)

(۱) مقدمه:

(۲) خودروهای هیبرید موازی

در خودروهای هیبرید موازی دو سیستم الکتریکی و احتراق داخلی با هم بطور مکانیکی در ارتباط هستند و مجموع توان دو منبع حرکتی خودرو را تامین می‌نماید. در این ساختار ژنراتور حذف شده و موتور الکتریکی و موتور احتراقی از طریق یک سیستم انتقال قدرت بطور مشترک با چرخ‌های محرک ارتباط دارند. سیستم الکتریکی توسط باتریها و سیستم احتراق داخلی توسط منبع سوخت فسیلی مستقلاً تغذیه می‌شود. در این خودروها بدلیل اینکه موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی هر دو گشتاور مورد نیاز بار را برای حرکت در آوردن خودرو فراهم می‌کنند به خودروهای هیبرید موازی معروف می‌باشند. از آنجائیکه ژنراتور در این نوع سیستم هیبرید حذف شده است موتور الکتریکی می‌تواند به عنوان ژنراتور در هنگام ترمز، انرژی ترمزی را بازیابی نموده و برای شارژ باتریها بکار برد. نمای کلی یک خودرو هیبرید موازی در شکل (۱) نشان داده شده است.

در اوایل قرن بیستم سه نوع خودروی برقی، بخاری و احتراقی با یکدیگر رقابت می‌کردند. بعد از حدود یک دهه، نوآوری تکنولوژی و اشتیاق به سرعت و قدرت در جاده‌ها، حمل‌ونقل برای چندین سال، منحصر به خودروهای احتراق داخلی شد. هزینه انرژی و آلودگی‌های زیست محیطی، دلایل عمده‌ای بود که موجب احیاء خودروهای برقی گردید. خودروهای احتراقی یکی از اصلی‌ترین منابع آلودگی هوا در شهرهای بزرگ می‌باشند، طبق آماری که توسط کارشناسان بدست آمده، ۵۷ درصد از اکسیدهای نیتروژن و ۸۲ درصد از منواکسیدکربن موجود در هوای شهرهای بزرگ ناشی از خودروهای با احتراق داخلی است. طبق همین آمار، جایگزینی خودروهای برقی بجای خودروهای با احتراق داخلی، آلودگی هوا را به میزان ۹۲ درصد اکسیدهای نیتروژن و ۹۹ درصد منواکسیدکربن، کاهش می‌دهد [۱]. مشکل اصلی این خودروها حجم و وزن زیاد باتریهای ذخیره‌کننده انرژی می‌باشد. خودروهای هیبرید ترکیبی از خودروهای برقی و خودروهای احتراقی می‌باشند که در مواقع لزوم مانند شتابگیری و نیاز به شارژ باتریها از موتور احتراق داخلی استفاده می‌کنند و بنابراین به تعداد باتری کمتری نیاز دارند.

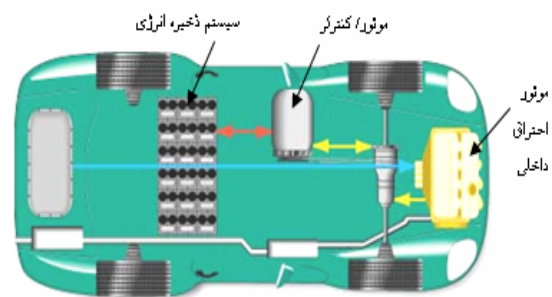
چنین ساختاری با فن آوری موجود بدلیل حجم و وزن زیاد عملی نیست [۳].

۲-۲) سیستم موازی احتراقی اصلی - الکتریکی کمکی:

در این سیستم وظیفه اصلی تامین توان خودرو برعهده سیستم احتراقی است و توان آن نزدیک به توان نامی مورد نیاز خودرو است. سیستم الکتریکی بصورت کمکی با توان نسبتاً کم، در مواقعی که موتور احتراقی مجبور به عمل در دورهای بالا و با توان زیاد است (ناحیه‌ای که میزان آلودگی زیاد می باشد) به کمک سیستم احتراقی آمده و با تقبل بخشی از توان مورد نیاز، تا حدی میزان آلودگی را کاهش می‌دهد. علاوه براین سیستم الکتریکی می تواند، بصورت بخشی از سیستم بازیابی ترمز نیز عمل کند. البته همانطوریکه قبلاً نیز ذکر شد در این نوع سیستم، سیستم الکتریکی طوری عمل می نماید که اکثراً سیستم احتراقی در نقطه کار بهینه قرار گیرد [۴].

۲-۳) سیستم موازی احتراقی کمکی - الکتریکی اصلی:

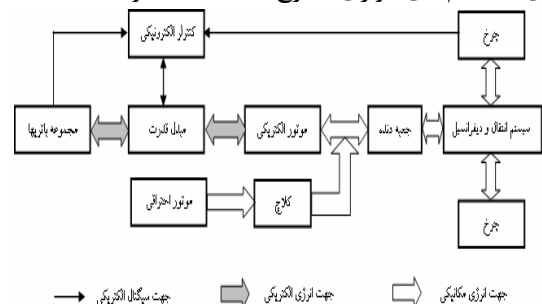
در این نوع سیستم موازی، سیستم الکتریکی نقش اصلی را در تامین توان برعهده دارد و توان آن نزدیک به توان نامی مورد نیاز خودرو است و سیستم احتراقی بصورت کمکی و با توان نسبتاً کم در مواقعی همچون سرعت بالا، بالا رفتن از شیب و شتابگیری سریع، به کمک سیستم الکتریکی می آید. به این ترتیب از عملکرد سیستم الکتریکی در این وضعیت‌ها که شدت میزان شارژ باتری را کاهش می دهد جلوگیری می شود. این سیستم مزایای سیستم‌های برقی را داراست، راندمان مصرف انرژی آن بالا و میزان آلودگی آن در حد بسیار پایین می‌باشد. سیستم استارت موتور احتراقی می‌تواند حذف گردد چون وقتی موتور احتراقی وارد عمل می‌شود که سیستم الکتریکی قبلاً شروع به کار کرده است. در عوض نقطه کارکرد موتور احتراق داخلی بهینه نیست و چون در مواقع محدودیت توان به عملکرد آن نیاز است، موظف است با حداکثر توان که بطور نسبی میزان آلودگی آن بالاست وارد عمل شود. این سیستم برخی محدودیت‌های عملکردی خودروهای برقی (سرعت و



شکل (۱) نمای یک خودرو هیبرید موازی

شکل ۲ بلوک دیاگرام کلی یک خودروی هیبرید موازی را نشان می دهد [۲]. در این شکل برای ترکیب گشتاور تولیدی توسط موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی نیاز به یک کوپل کننده گشتاور می باشد که از نظر محل قرار گرفتن این کوپل کننده و طرز کوپل کردن روشهای متفاوتی وجود دارد که به آنها پرداخته می‌شود.

سیستم های هیبرید موازی می‌توانند به دو صورت دسته بندی شوند. یکی از نظر نوع کوپل کردن دو سیستم الکتریکی و احتراقی و دیگری از نظر نسبت توان الکتریکی به توان سیستم احتراقی. از نقطه نظر نسبت توان سیستم الکتریکی به توان سیستم احتراقی طرح های زیر برای سیستم‌های موازی مطرح هستند [۳] و [۴]:



شکل (۲) بلوک دیاگرام کلی یک خودروی هیبرید موازی

۲-۱) سیستم موازی ایده‌آل:

در این سیستم، توان سیستم الکتریکی و همچنین توان سیستم احتراقی، توان نامی مورد نیاز خودرو می‌باشد. در اینصورت خودرو در محیط‌های شهری که عدم ایجاد آلودگی اهمیت دارد می‌تواند تنها با کمک سیستم الکتریکی و در محیط‌های خارج از شهر بوسیله سیستم احتراقی به حداکثر عملکرد خود دست یابد. به این ترتیب برد خودرو تا حد یک سیستم احتراقی چه در شهر و چه در جاده افزایش خواهد یافت. اگرچه این سیستم دارای مزیت فوق است،

- خودرو هیبرید چیکو (Chico) ساخت شرکت فولکس واگن آلمان (موتور احتراقی ۲۵ KW و موتور الکتریکی ۶ KW)
 - خودرو هیبرید فورد (Ford) ساخت شرکت خودرو سازی فورد (موتور احتراقی ۵۰ KW و موتور الکتریکی ۳۰ KW)
 - خودرو هیبرید اینسایت (Insight) ساخت شرکت هوندا (موتور احتراقی ۵۵ KW و موتور الکتریکی ۱۰ KW)
- این سیستم بسته به محل قرار گرفتن سیستم کلاچ به سه دسته تقسیم بندی می‌شود:

۲-۴) سیستم هیبرید موازی هم محور با یک کلاچ در بین موتور الکتریکی و جعبه دنده :

بلوک دیاگرام این سیستم در شکل (۳) نشان داده شده است. برخی از مزایای این سیستم عبارت اند از: مستقل بودن چرخها در زمان درجا (Idle) و در نتیجه امکان شارژ باتریها با موتور احتراقی ، قدرت نسبتاً بالایی سیستم ، شتاب نسبتاً خوب سیستم ، قابلیت کار بصورت

شتاب) را ندارد و برد آن بطور نسبی بهبود یافته است ولی تا میزان برد خودروهای معمولی احتراقی فاصله زیادی دارد. در جدول (۱) مقایسه‌ای بین سه طرح فوق الذکر انجام گرفته است. در این جدول P ، توان نامی مورد نیاز خودرو می‌باشد. تقسیم بندی دیگر از نظر چگونگی ارتباط مکانیکی دو سیستم الکتریکی و احتراق داخلی با چرخهای محرک صورت میگیرد. در برخی سیستمهای موازی گشتاور ایجاد شده توسط دو سیستم الکتریکی و احتراق داخلی با یکدیگر جمع شده و به چرخها منتقل می‌شود. در دسته دیگر دور منابع تامین کننده توان بوسیله یک دیفرانسیل جمع شده سپس به محور محرک منتقل می‌گردد و در دسته آخر سیستم الکتریکی روی یک محور و سیستم احتراق داخلی روی محور دیگر نصب می‌شود، و به این ترتیب نیروی کشش ایجاد شده توسط دو منبع با یکدیگر جمع شده و خودرو را بحرکت در می‌آورد [۳] و [۴].

جدول (۱) مقایسه انواع طرحهای خودروهای هیبرید موازی از نظر نسبت توان سیستم احتراقی به سیستم الکتریکی

نام سیستم	توان سیستم الکتریکی	توان سیستم احتراقی	برد	عملکرد عملکرد بدون آلودگی	قابلیت عملکرد بدون آلودگی	وزن و حجم
موازی ایده‌آل	P	P	خیلی خوب	خیلی خوب	ممکن	خیلی زیاد
موازی، احتراقی اصلی الکتریکی کمکی	<<P	P	خوب	خوب	غیر ممکن	مناسب
موازی، احتراقی کمکی الکتریکی اصلی	P	<<P	ضعیف	خوب	ممکن	مناسب

شکل (۳) سیستم موازی هم محور با یک کلاچ در بین موتور الکتریکی و جعبه دنده

از معایب این سیستم می‌توان به این موارد اشاره نمود: عدم امکان حذف جعبه دنده ، قابلیت نسبتاً ضعیف در بازیابی انرژی ترمزی ، راندمان نسبتاً پایین در مقایسه با انواع دیگر سیستمهای هیبرید ، عدم امکان کار بصورت الکتریکی تنها و در نتیجه عدم امکان آلودگی صفر ، افزایش تلفات در هنگام ترافیک بدلیل عدم امکان کار بصورت الکتریکی تنها.

سیستمهای هیبرید موازی از نظر چگونگی ارتباط مکانیکی دو سیستم الکتریکی و سیستم احتراق داخلی به دو دسته کلی هم محور و غیر هم محور تقسیم‌بندی می‌شود. در سیستمهای هیبرید موازی هم محور، شافت موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی روی یک محور مشترک قرار گرفته اند. در این سیستم موتور الکتریکی باید دو طرف شافت باشد بدین معنی که باید از هر دو طرف موتور شافت متصل به روتور خارج شده باشد. این سیستم تا کنون در خودروهای مختلفی بکار رفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

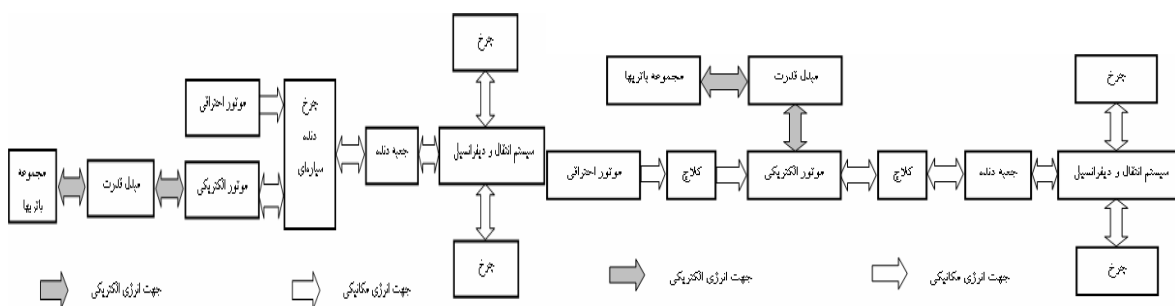
، قابلیت حرکت با موتور الکتریکی به تنهایی و در نتیجه کاهش تعداد دفعات روشن و خاموش شدن موتور احتراقی ، کاهش حجم موتور احتراقی و در نتیجه افزایش رانندگی و کاهش آلودگی ، قدرت و شتاب نسبتاً بالا ، قابلیت بازیابی انرژی ترمزی ، قابلیت حذف جعبه دنده و قابلیت کار بصورت فقط احتراقی

معایب: افزایش مولفه‌های فعال مکانیکی و در نتیجه افزایش تعمیرات و نگهداری ، افزایش وزن کل سیستم ، پیچیدگی عملکرد سیستم و در نتیجه کنترل مشکل‌تر ، افزایش قیمت و هزینه و نیاز به سیستم کلاچ اتوماتیک

حال به بررسی سیستم موازی غیرهم محور پرورداخته می‌شود. در این سیستم با استفاده از چرخ دنده‌ها یا هر سیستم ترکیب کننده دیگر دو سیستم تولید کننده نیرو یعنی سیستم الکتریکی و سیستم احتراق داخلی با هم کوپل می‌شوند. چند نمونه از این نوع اتصال در ادامه آورده شده است:

۲-۷) سیستم موازی غیرهم محور با ترکیب کننده قبل از جعبه دنده:

بلوک دیاگرام این طرح در شکل (۶) نشان داده شده است. در این طرح دو موتور الکتریکی و احتراقی بوسیله یک سیستم چرخ دنده سیاره‌ای بهم کوپل می‌شوند و سپس برآیند نیرو وارد جعبه دنده می‌شود. اشکال عمده این طرح عدم هماهنگی و همزمان نبودن دو موتور الکتریکی و احتراقی می باشد ، چون موتور احتراقی با دور بالا و موتور الکتریکی با دور پایین کار می‌کند.

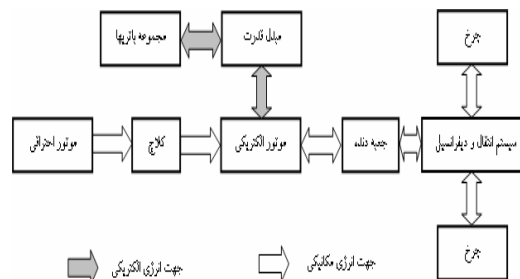


شکل (۶) سیستم موازی غیرهم محور با ترکیب کننده قبل از جعبه دنده

این طرح دارای مزایا و معایبی بشرح زیر است.

۲-۵) سیستم هیبرید موازی هم محور با یک کلاچ در بین موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی:

بلوک دیاگرام این سیستم در شکل (۴) نشان داده شده است.

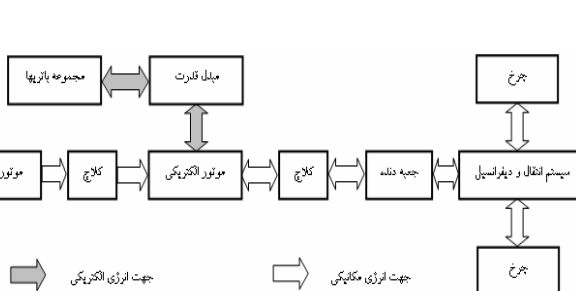


شکل ۴ سیستم موازی هم محور که با یک کلاچ در بین موتور الکتریکی و احتراقی

این سیستم دارای مزایا و معایبی بشرح زیر می‌باشد: **مزایا:** قابلیت حرکت با موتور الکتریکی به تنهایی و در نتیجه کاهش تعداد دفعات روشن و خاموش شدن موتور احتراقی بویژه در زمانهای ترافیک ، قابلیت کار بصورت احتراقی تنها ، قابلیت بازیابی انرژی ترمزی بطور کاملتر ، افزایش قدرت سیستم ، افزایش شتاب سیستم و قابلیت حذف جعبه دنده، **معایب:** افزایش وزن و حجم بعلا بزرگتر بودن موتور الکتریکی و حجم بیشتر باتریها ، نیاز به سیستم کلاچ اتوماتیک.

۲-۶) سیستم هیبرید موازی هم محور با دو کلاچ در دو طرف موتور الکتریکی:

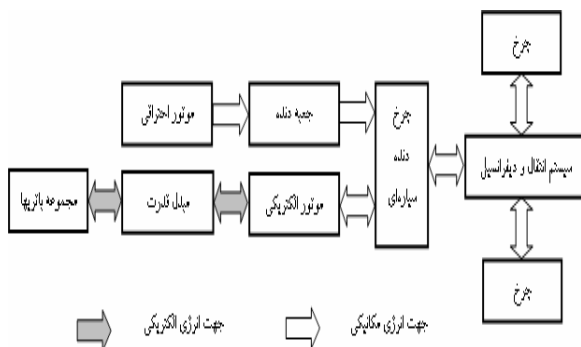
بلوک دیاگرام این سیستم در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵) سیستم موازی هم محور با دو کلاچ در دو طرف موتور الکتریکی

این سیستم دارای مزایا و معایبی است که برخی از آنها در زیر آمده‌اند:

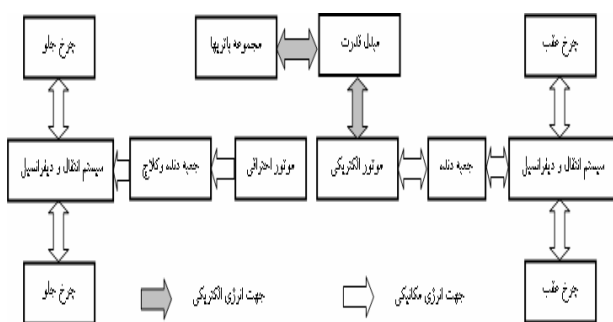
مزایا: مستقل بودن چرخها در زمان درجا (Idle) و در نتیجه قابلیت شارژ باتریها توسط موتور احتراقی در این زمان



شکل (۷) سیستم موازی غیرهم محور با ترکیب کننده بعد از جعبه دنده

۹-۲) سیستم موازی مجزا:

بلوک دیاگرام این طرح در شکل (۸) نشان داده شده است. در این طرح محور عقب توسط موتور الکتریکی و محور جلو توسط موتور احتراقی تامین نیرو می شوند، بنابراین در این طرح خودرو بصورت چهار چرخ محرک (4WD) در می آید. همچنین در این طرح امکان ارتباط مکانیکی بین موتور الکتریکی و احتراقی وجود دارد.



شکل (۸) بلوک دیاگرام سیستم موازی مجزا

این سیستم مزایا و معایبی بشرح زیر دارد:

مزایا: جدا بودن سیستم الکتریکی و احتراقی و کنترل ساده، چهار چرخ محرک (4WD) بودن خودرو و برخورداری از مزایای مربوطه، امکان بازیابی انرژی ترمزی، بازده بالاتر، بعثت کوپل مستقیم موتور الکتریکی و احتراقی با چرخها، تعمیر و نگهداری ساده و ساده تربودن محرکه، میزان قابلیت اطمینان بالا بدلیل جدابودن دو سیستم و میزان شتاب و توان بالا

معایب: توان موتورها باید بالا باشد، بالا بودن وزن کل سیستم و عدم امکان شارژ باتریها در زمان ترافیک

مزایا: شتاب و قدرت نسبتاً بالا بدلیل امکان کار همزمان دو سیستم الکتریکی و احتراقی، قابلیت شارژ باتریها توسط موتور احتراقی در زمان درجا (Idling)، امکان کار بصورت فقط احتراقی، امکان حرکت بصورت الکتریکی به تنهایی و امکان کنترل گشتاور روی محور بدلیل وجود جعبه دنده بعد از سیستم ترکیب کننده

معایب: تفاوت دور موتور الکتریکی و موتور احتراقی و در نتیجه نیاز به سیستم الکتریکی پیچیده برای همزمان نمودن آنها،

مشکل بودن بازیابی انرژی ترمزی

۸-۲) سیستم موازی غیر هم محور با ترکیب کننده بعد از جعبه دنده:

بلوک دیاگرام این طرح در شکل (۷) نشان داده شده است. در این طرح قدرت موتور احتراقی داخلی توسط سیستم جعبه دنده با موتور الکتریکی هماهنگی می باشد و دو موتور موازی با یک چرخ دنده سیاره ای بهم کوپل می شوند و جمع دو قدرت به چرخها انتقال می یابد که از مزایای این طرح می باشد. اشکال این طرح قرار گرفتن جعبه دنده قبل از سیستم چرخ دنده سیاره ای می باشد بنابراین در حالت سکون موتور الکتریکی نمی تواند بصورت ژنراتور کار کند.

این طرح دارای مزایا و معایبی بشرح زیر است.

مزایا: شتاب و قدرت نسبتاً بالا بدلیل امکان کار همزمان دو سیستم الکتریکی و احتراقی، ساده تر بودن سیستم مکانیکی نسبت به طرح قبل بدلیل وجود جعبه دنده قبل از کوپل کننده بعبارت دیگر ساده تربودن عمل همزمانی دو موتور، امکان کار بصورت فقط احتراقی، امکان کار بصورت الکتریکی به تنهایی و امکان بازیابی انرژی ترمزی

معایب: عدم امکان شارژ باتریها توسط موتور احتراقی در زمان درجا (Idling) و عدم امکان کنترل گشتاور روی محور بطور معمول.

۳) خودروهای الکتریکی هیبرید سری - موازی (ترکیبی):

بلوک دیاگرام کلی این طرح در شکل (۹) نشان داده شده است. این طرح بگونه ای است که می‌توان از آن در شرایط مختلف بصورت هیبرید سری یا موازی استفاده نمود. در این سیستم با بهره‌گیری از فن‌آوری پیشرفته امکان استفاده از سیستم احتراقی و سیستم الکتریکی بطور جداگانه یا همزمان وجود دارد. به این ترتیب خودرو در مواقع عملکرد شهری کاملاً الکتریکی و بدون آلودگی است و در سرعت‌های بالا و در محدوده برون شهری می‌تواند بطور مستقل احتراقی و یا ترکیبی از دو سیستم باشد. در مواقعی همچون شتابگیری سریع هر دو سیستم با هم عمل می‌نمایند. چنین ایده‌ای فقط به کمک یک فن‌آوری مدرن در یک خودروی سواری قابل اجرا است. معمولاً چنین سیستم‌هایی از نوع ترکیبی هستند و با بهره‌گیری از یک استراتژی کنترلی مناسب عملاً همراه با فراهم آوردن عملکرد مناسب، سطح شارژ باتریها را نیز در حد مناسب نگه می‌دارند و به این ترتیب برد خودرو چه در شهر و چه در جاده می‌تواند تا حد یک خودروی متداول بالا برود.

شرکت تویوتا خودرویی با این ویژگی را بنام پریوس تولید نموده است. این طرح یک سیستم تقسیم‌کننده توان مکانیکی دارد که سیستم انتقال پیوسته متغیر (CVT) نامیده می‌شود و شامل یک سیستم چرخ دنده سیاره‌ای که در شکل (۱۰) نشان داده شده، می‌باشد. عدم وجود کلاچ در این سیستم قابل توجه می‌باشد. این سیستم می‌تواند در چهار حالت کار کند [۵]، [۶].

۱- فقط احتراقی: در این حالت، تنها قدرت موتور احتراقی روی چرخ‌ها اثر می‌گذارد که معمولاً در بیرون شهرها از این حالت استفاده می‌شود.

۲- فقط الکتریکی: در این حالت موتور الکتریکی با استفاده از انرژی باتریها به گردش در می‌آید و قدرت تولید شده به چرخ‌ها منتقل خواهد شد. استفاده از این حالت برای درون شهر مناسب‌تر می‌باشد چون آلودگی سیستم بسیار کم خواهد بود.

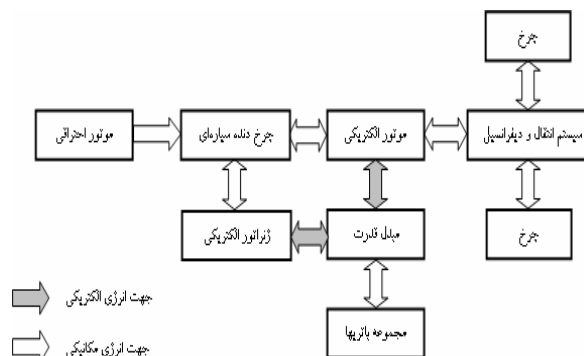
۳- الکتریکی و احتراقی همزمان: در مواقع ضروری، هنگامیکه نیاز به قدرت زیاد باشد از هر دو سیستم محرکه الکتریکی و احتراقی استفاده می‌شود. بعبارت دیگر هر دو سیستم الکتریکی و احتراقی همزمان در تولید گشتاور شرکت می‌نمایند.

۴- الکتریکی و شارژ باتریها توسط احتراقی: در این حالت موتور احتراقی ژنراتور را به حرکت درآورده و ژنراتور انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی برای شارژ باتریها تبدیل می‌نماید. از طرف دیگر خودرو گشتاور مورد نیاز خود را از طریق موتور الکتریکی تامین می‌کند.

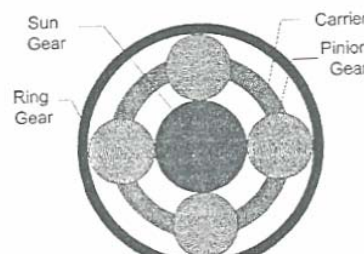
این طرح دارای مزایا و معایبی بشرح زیر می‌باشد:

مزایا: بالا بودن انعطاف پذیری سیستم، قابلیت شارژ باتریها در حال حرکت، امکان بازیابی انرژی ترمزی، قابلیت ترکیب نمودن توان موتورهای احتراقی و الکتریکی، قدرت و شتاب بالا در صورت بکارگیری همزمان هر دو سیستم، امکان کار بصورت فقط الکتریکی و یا فقط احتراقی.

معایب: زیاد بودن تعداد اجزاء الکتریکی و مکانیکی و در نتیجه نیاز به نگهداری بیشتر، وزن و قیمت بالای سیستم، نیاز به کنترل پیچیده و سیستم مقسم توان مکانیکی.



→ جهت انرژی الکتریکی
→ جهت انرژی مکانیکی



شکل (۱۰) سیستم چرخ دنده سیاره‌ای

(۴) نتیجه گیری:

[۳] فن آوری، تاریخچه و ویژگیهای اقتصادی خودروهای الکتریکی و دوزیست، پژوهشکده سیستمهای پیشرفته صنعتی، ۱۳۷۸

[4] B.M.Baumann, G.Washington, B.C.Glenn, G.Rizzoni, "Mechatronic Design and Control of Hybrid Electric Vehicles", IEEE ASME Trans on Mechatronics, Vol.5, No.1, pp.58-70, March 2000.

[5] D.H.Kim, Y.Park, "Modelling and Design of Hybrid Control System for Dual Hybrid Electric Vehicle Drivetrains", Seoul 2000 FISTA World Automative Congress, June 2000, Seoul, Korea

[6] G.A.Hubbard, K.Y.Toumi, "Modeling and Simulation of a Hybrid Electric Vehicle Drivetrain", Proceeding of the American Control Conference, Albuquerque, New Mexico, June 1997.

اصلی ترین تقسیم بندی سیستمهای هیبرید بصورت سه دسته هیبرید سری، هیبرید موازی و هیبرید سری-موازی (ترکیبی) می باشد. در خودروهای هیبرید موازی دو سیستم الکتریکی و احتراق داخلی با هم بطور مکانیکی در ارتباط هستند و مجموع توان دو منبع، توان حرکتی خودرو را تامین می نماید. این سیستم از نظر چگونگی ارتباط مکانیکی دو سیستم الکتریکی و سیستم احتراق داخلی به دو دسته کلی هم محور و غیر هم محور تقسیم بندی می شود. علاوه بر دو طرح سری و موازی سیستم هیبرید سری-موازی (ترکیبی) نیز وجود دارد که ترکیبی از سیستم سری و موازی می باشد جدول (۲) مقایسه ای بین انواع سیستم های هیبرید (سری، موازی، سری-موازی) را نسبت به خودروهای احتراق داخلی متداول نشان داده است. جدول (۲) مقایسه انواع سیستم های هیبرید برقی نسبت به خودروهای احتراقی متداول

سری	موازی	سری-موازی	
+	++	++	راندمان سوخت در بزرگراه
++	+	++	راندمان سوخت در شهر
++	+	++	عملکرد با آلودگی کم
--	-	--	قیمت
-	-	-	پیچیدگی سیستم
-	-	-	سادگی کنترل

++ بسیار بهتر از خودروهای متداول + بهتر از خودروهای متداول
-- بسیار بدتر از خودروهای متداول - بدتر از خودروهای متداول

(۵) مراجع:

[1] C.C.Chan, K.T.Chau, "An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles", IEEE Transon Industrial Electronics, Vol.44, No.1, pp.3-13, February 1997.

[2] W.F.Kellermeyer, Ms thesis, "Development and Validation of Modular of Hybrid Electric Vehicle Simulation Model", West Virginia University, May 1998.