دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه قدرت

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی برق- قدرت

عنوان

طراحی و ساخت درایو دو طرفه موتور AC برای خودروی برقی با استفاده از ترانسفورماتور الکترونیک قدرت

استاد راهنما

دکتر محمدباقر بنا شریفیان

استاد مشاور

دکتر سید حسین حسینی

دکتر مهران صباحی

پژوهشگر

رامین کاتبی

شهریور ۱۳۹۰

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش خداوند را که هر چه هست همه از مهر اوست.

از خانواده ی عزیزم که با حمایت های همیشگی خود زمینه موفقیت را برایم فراهم ساختند تشکر و قدردانی می نمایم.

از کمک های علمی و فکری اساتید راهنما و مشاور ارجمندم دکتر بناشریفیان، دکتر حسینی و دکتر صباحی که در طول این دوره با صبر و حوصله مرا راهنمایی نموده و همواره پشتیبان من بوده اند کمال تشکر را دارم.

در پایان جا دارد سپاسگزار لطف و مهربانی کلیه دوستانم به ویژه جناب آقای مهدی آهن کوب و سرکار خانم ژاله پور باشم که مرا در انجام این پروژه یاری نموده اند.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

آنان که توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند.

آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودانی زندگی من است. پس

در برابر وجود گرامی شان زانوی ادب بر زمین می زنم و با دلی مملو از عشق، محبت و خضوع بر دستشان بوسه می زنم.

نام خانوادگی: کاتبی **نام**: رامین

عنوان پایان نامه: طراحی و ساخت درایو دو طرفه موتور AC برای خودروی برقی با استفاده از ترانسفورماتور الکترونیک قدرت

استاد راهنما :دکتر محمدباقر بنا شریفیان

استاد مشاور: دکتر سیدحسین حسینی و دکتر مهران صباحی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی برق قدرت **گرایش**: ماشین‌های الکتریکی و درایو **دانشگاه**: تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی** : **تعداد صفحه**:۹۸

کلید واژه‌ها: خودرو الکتریکی، مبدل مبتنی بر ترانسفورمر الکترونیک قدرت، درایو دو طرفه

چکیده

باتوجه به افزایش روزافزون قیمت انرژیهای فسیلی، استفاده از خودروهای الکتریکی و هیبرید هر چه بیشتر مورد توجه قرار می گیرد. استفاده از موتورهای ولتاژ بالا در خودروهای الکتریکی و هیبرید بسیار مقرون به صرفه بوده و مزایای زیادی دارد. اما با توجه به ولتاژ پایین باتری در این خودروها استفاده از مدارات بوست برای افزایش ولتاژ اجتناب ناپذیر است. با توجه به راندمان و کارایی پایین مبدلهای بوست قدیمی در این پایاننامه بر ان شدیم تا با استفاده از ترانسفورمر الکترونیک قدرت به جای مبدل بوست یک درایو دو طرفه برای موتور AC در خودرو الکتریکی ارائه کنیم. در این پایاننامه کارایی مبدل مبتنی بر ترانسفورمر الکترونیک قدرت در مقایسه با مبدل بوست قدیمی بررسی می‌شود. همچنین کنترل V/f بصورت مجزا توسط مبدل ورودی و اینورتر خروجی صورت می گیرد. فرکانس توسط اینورتر خروجی و ولتاژ توسط مبدل مبتنی بر ترانسفورمر الکترونیک قدرت تنظیم می گردد. راندمان مبدل در فرکانس کلیدزنی ۳۰ و ۵ کیلوهرتز به ترتیب ٪۶۸ و ٪ ۸۶ می باشد.

بسم الله الرحمن الرحیم

فهرست مطالب

صفحه

فهرست شکل‌ها VI

فهرست جدول‌ها IX

فصل اول: مقدمه

۱-۱- تاریخچه ای از خودروهای الکتریکی ۲

۱-۲- وسیله نقلیه الکتریکی هیبرید HEV ۷

فصل دوم: بررسی منابع

۲-۱- مقدمه ٦

۲-۲- ماشینهای القایی ۱۷

۲-۲-۱- مشخصه های اصلی ۱۸

۲-۲-۲-طراحی برای کاربرد کشش ۱۸

۲-۲-۳-شار بهینه، راندمان ماکزیمم و نویز آکوستیک ۲۱

۲-۳- ماشین های سوئیچ رلوکتانس ۲۲

۲-٤-ماشین های DC ۲۵

۲-۵- ماشین های سنکرون ۲٦

۲-٦- بررسی دیدگاه های متفاوت و نتیجه گیری در انتخاب نوع موتور ۲۹

۲-۷- مبدل های توان DC-DC ۳۲

۲-۷-۱- مبدل های DC-DC غیر ایزوله ۳۳

۲-۷-۲- مبدل های DC-DC ایزوله ٤۵

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مبدل توان DC-DC دو طرفه ایزوله یا مبدل مبتنی بر ترانسفورمر الکترونیک قدرت ۵٤

۳-۲- اصول اساسی و کارکرد حالت دائمی ۵۵

۳-۳- شرایط بار سنگین ۵۵

۳-٤- شرایط بار سبک ۵۹

۳-۵- ولتاژ خروجی ۵۹

۳-٦- توان خروجی ٦۱

۳-۷- ریپل ولتاژ ٦٣
۳-۸- مسایل خاص در طراحی مبدل های DC-DC (طراحی SOA) ٦٦
۳-۹- نتیجه گیری ٦٩

فصل چهارم: نتایج و بحث

٤-۱- مقدمه ۷۱
٤-۲- نتایج شبیه سازی و نتایج عملی ۷۱
٤-۳- مقایسه کارایی مبدل ارائه شده با مبدل بوست قدیمی ۸٦
٤-۴- ملاحظات اجزای عملی مدار ۸۹

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری ۹۱
۵-۲- پیشنهادات ۹۲

فصل ششم: مراجع

٦-۱- مراجع ۹۷

فهرست شکل‌ها

صفحه

شکل۱-۱) خودروی Lunar Roving ۵

شکل۱-۲) خودروی شرکت فرانسوی Vendovelli و Pristly ۸

شکل۲-۱) مشخصه های گشتاور-سرعت و توان- سرعت در ماشین های کشنده خودرو برقی ۱۶

شکل۲-۲) تکنولوژی اصلی ماشین های کشنده خودرو برقی ۱۷

شکل۲-۳) مشخصه های ایده آل گشتاور/ توان- سرعت در ماشین های کشنده خودرو برقی ۱۷

شکل۲-٤) موتور القایی جهت کاربرد کشش، دارای گشتاور ۱۲۰نیوتون-متر و توان ۱۱/۵ کیلووات در ماکزیمم سرعت rpm۷۶۰۰ و توان ۲۶ کیلووات در سرعت نامی rpm۲۰۲۰ ۲۰

شکل۲-۵) منحنی های گشتاور- سرعت ماشین القایی جهت کاربرد کشش ۲۰

شکل۲-۶) منحنی تغییرات نویز آکوستیک بر حسب شار و بار ۲۲

شکل۲-۷) موتور سوئیچ رلوکتانس a) سه فاز ٦/٤ b) چهار فاز ۸/٤ ۲٤

شکل۲-۸)موتور DC در خودرو هیبرید Citroen Berlingo ۲۶

شکل۲-۹) موتور سنکرون صنعتی PMa) موتور ۱۰ کیلووات Honda Insight b) موتور ۵۰ کیلووات Toyota Prius ۲۷

شکل۲-۱۰) مشخصه گشتاور- سرعت موتورPM بدون جاروبک ۲۸

شکل۲-۱۱) موتورPM بدون جاروبک درون چرخ ۲۹

شکل۲-۱۲) ماشین های مورد استفاده توسط تعدادی از خودروسازهای معروف جهان ۳۰

شکل۲-۱۳) خودروی Sequel ۳۱

شکل۲-۱٤) مبدل باک ۳۳

شکل۲-۱۵) گین ولتاژ مبدل باک بر حسب duty cycle ۳٤

شکل۲-۱۶) مبدل بوست ۳۵

شکل۲-۱۷) گین ولتاژ مبدل باک بر حسب duty cycle ۳۵

شکل۲-۱۸) مبدل باک – بوست ۳۶

شکل۲-۱۹) گین ولتاژ مبدل باک- بوست بر حسب duty cycle ۳۷

شکل۲-۲۰) مبدل Cuk ۳۷

شکل۲-۲۱) گین ولتاژ مبدل Cuk بر حسب duty cycle ۳۸

شکل۲-۲۲) اساس مبدل بوست ٤۰

شکل۲-۲۳) مبدل Floating-dual-Boost ٤۱

شکل۲-۲٤) مبدل Floating double interleaved dual boost ٤۲

شکل۲-۲۵) مبدل Floating double boost double stage boost ٤۳

شکل۲-۲٦) مبدل DC-DC دو طرفه سه فاز ٤٤

شکل۲-۲۷) توپولوژی اساسی مبدل های DC-DC ایزوله ٤۵

شکل۲-۲۸) مبدل های تمام پل ایزوله ٤٦

شکل۲-۲۹) مبدل های تمام پل ایزوله با رزونانس سری شکل۲-۳۰) مبدل های نیم پل ایزوله ٤۸

شکل۲-۳۰) مبدل های نیم پل ایزوله ٤۸

شکل۲-۳۱) مبدل های پوش–پول ایزوله ٤۹

شکل۲-۳۲) مبدل های $V_٦$ ایزوله ۵۰

شکل۲-۳۳) مبدل های L-type ایزوله ۵۱

شکل۲-۳٤) مبدل های تمام پل منبع جریان ایزوله ۵۲

شکل۳-۱) شمای مبدل توان DC-DC دو طرفه ایزوله ۵٤

شکل۳-۲) شکل موجهای ولتاژ و جریان در $V_۲ > nV_۱$

۵۵

شکل۳-۳) شکل موجهای ولتاژ و جریان در $V_۲ < nV_۱$ و $V_۲ = nV_۱$ ٦١

شکل۳-٤)ریپل جریان خازن $a\ i(t.) < ۰\ ,\ b\ i(t.) > ۰$ ٦٤

شکل۳-۵) ریپل ولتاژ در حالات مختلف ٦٦

شکل۳-٦) جریان ماکزیمم بر حسب توان خروجی، فرکانس و اندوکتانس نشتی ٦٧

شکل۳-۷)طراحی SOA ٦٨

شکل٤-۱) شمای مبدل دو طرفه مبتنی بر ترانسفورمر الکترونیک ٧٢

شکل٤-۲) شمای مدارت شبیه سازی شده در نرم افزار MATLAB ٧٣

شکل٤-۳) نحوه کلیدزنی پل ورودی،کلیدهای $Q_۱$ و $Q_٤$ بالا و کلیدهای $Q_۲$ و $Q_۳$ پایین ٧٤

شکل ٤-٤) حالت عملی نحوه کلیدزنی پل ورودی،کلیدهای $Q_۱$ و $Q_٤$ بالا و کلیدهای $Q_۲$ و $Q_۳$ پایین ٧٤

شکل٤-۵) نحوه کلیدزنی کلیدهای متناظر در پل اول و دوم، کلیدهای $Q_۱$ و $Q_٤$ بالا و کلیدهای $Q_۵$ و $Q_۸$ پایین ٧۵

شکل ٤-٦) حالت عملی نحوه کلیدزنی کلیدهای متناظر در پل اول و دوم، کلیدهای $Q_۱$ و $Q_٤$ بالا و کلیدهای $Q_۵$ و $Q_۸$ پایین ٧۵

شکل ٤-۷) شکل موج $V_۱$ و $nV_۱$ (n ضریب تبدیل ترانسفورمر می‌باشد) ٧٦

شکل ٤-۸) جریان سلف نشتی ترانسفورمر فرکانس بالا ٧٧

شکل ٤-۹) بالا شکل موج عملی $nV_۱$ و پایین جریان I_{Ls} ٧٧

شکل ٤-۱۰) شکل موج ولتاژ خروجی اینورتر متصل به موتور و جریان موتور ٧٨

شکل ٤-۱۱) ولتاژ خروجی اینورتر متصل به موتور ٧٨

شکل ٤-١٢) ولتاژ لینک DC ٧٩

شکل ٤-١٣) شکل بالاسرعت موتور و شکل پایین گشتاور موتور ٧٩

شکل ٤-١٤) شکل موج V_1 و nV_1 در حالت ناپایداری ٨٠

شکل ٤-١٥) ولتاژ خازن لینک DC را در حالت ناپایداری ٨١

شکل ٤-١٦) نحوه تثبیت ولتاژ لینک DC توسط کنترلر دیجیتال در زمان راه‌اندازی موتور ٨٢

شکل ٤-١٧) گشتاور و سرعت موتور را با کنترلر دیجیتال ولتاژ در هنگام راه‌اندازی موتور ٨٢

شکل ٤-١٨) یک تغییر پله در گشتاور ورودی موتور ٨٣

شکل ٤-١٩) گشتاور و سرعت موتور **در تغییر پله در گشتاور** ورودی از۱/۳ نیوتون- متر به ٨ نیوتون- متر ٨٣

شکل ٤-٢٠) ولتاژ لینک DC در شرایط افزایش فرکانس خروجی از ٢٥ به ٣٥ هرتز و ولتاژ رفرنس لینک DC از ١٥٠ به ٢٢٠ ولت ٨٤

شکل ٤-٢١) افزایش سرعت خروجی برای افزایش فرکانس خروجی از ٢٥ به ٣٥ هرتز و ولتاژ رفرنس لینک DCاز ١٥٠ به ٢٢٠ ولت ٨٥

شکل ٤-٢٢) ولتاژ استاتور و جریان فاز استاتور برای افزایش فرکانس خروجی از ٢٥ به ٣٥ هرتز و ولتاژ رفرنس لینک DCاز ١٥٠ به ٢٢٠ ولت ٨٥

شکل ٤-٢٣) راندمان مبدل بوست قدیمی بر حسب دوره کاری ٨٧

شکل ٤-٢٤) راندمان مبدل ارائه شده در حدود ٦٨٪ در فرکانس کلیدزنی ٣٠ کیلوهرتز ٨٧

شکل ٤-٢٥) ولتاژ لینک DC را که در ٣٢٠ ولت تثبیت شده ٨٨

شکل ٤-٢٦) راندمان مبدل ارائه شده در حدود ٨٦٪ در فرکانس کلیدزنی ٥ کیلوهرتز ٨٨

شکل٤-٢٧) شمای کلی سیستم عملی ٨٩

شکل ٤-٢٨) برد مولد پالس های مبدل مبتنی بر ترانسفورمر الکترونیک قدرت و کلیدهای قدرت ۹۰

شکل ٤-٢٩) مولد پالسهای اینورتر متصل به موتور القایی ۹۱

شکل ٤-٣٠) ترانسفورمر ایزوله فرکانس بالا با هسته ۹۲

فهرست جدول‌ها

صفحه

جدول ١-٢ ارزیابی کلی از ماشین های الکتریکی جهت کاربرد در وسایل نقلیه الکتریکی و هیبرید ۳۱

جدول ٢-٢ مزایا و معایب مبدل های بوست ۳۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- تاریخچه‌ای از خودروهای الکتریکی[۱](EV)

اولین خودروی الکتریکی توسط یک مرد فرانسوی به نام Gustave Trouvé در سال ۱۸۸۱ساخته شد. این خودروی سه چرخ، نیروی خود را از یک موتورDC یک دهماسب بخاری و باتری‌های سرب اسید می‌گرفت. این خودرو به همراه راننده‌اش، وزنی معادل ۱٦۰ کیلوگرم داشت. خودرویی شبیه به خودروی مذکور در سال ۱۸۸۳ توسط دو پروفسور انگلیسی ساخته شد. این طرح‌های زودهنگام نتوانستند نظر عموم را بهخودشان جلب کنند زیرا تکنولوژی آنها هنوز به سطحی نرسیده بود که بتوانند با خودورهای دیزلی به رقابت بپردازند. آن خودروها سرعتی معادل ۱۵کیلومتر بر ساعت و بردی به اندازه‌ی ۱٦ کیلومتر داشتند که اصلا برای مشتریان قابل توجه نبودند.

در کل می‌توان گفت آن روزها توجه چندانی به اتومبیل نمی‌شد ولی مسابقات سال ۱۸٦٤پاریس تا روان[۲]اوضاع را به کلی تغییر داد. مسافت ۱۱۳۵کیلومتر در ٤۸ساعت و ۳۵ دقیقه با سرعت متوسط۲۳/۳ کیلومتر بر ساعت، چنین سرعتی نسبت به سرعت کالسکه‌هایی که توسط اسب حمل می‌شدند، بسیار بهتر بود و بیشتر مورد توجه قرار گرفت. از آن زمان بود که توجه عموم به سمت وسیله‌ای که امروزه با نام اتومبیل می‌شناسیم جلب شد.

تا ۲۰سال پس از آن، خودروهای الکتریکی با نمونه‌های دیزلی خود،در حال رقابت بودند. مشکل اساسی، برد محدود خودروهای الکتریکی بود. در آن دوره در آمریکا هنوز جاده‌های

[۱] Electrical Vehicles
[۲] Rouen

زیادیدر خارج از شهرها وجود نداشت، در حالیکه در اروپا، با گسترش جاده‌های بین شهری مسطح، نیاز به خودروهایی با برد بالاتر، احساس می‌شد.

اولین وسیله‌ی نقلیه‌ی تجاری الکتریکی، الکتروبت[۱] Morris و Salom بود که از آن به عنوان تاکسی در نیویورک استفاده می‌شد. در آن زمان این موضوع ثابت شده بود که استفاده از وسایل نقلیه‌ی الکتریکی، به‌علت هزینه‌ی خرید کمتر نسبت به استفاده از وسایل نقلیه‌ی مبتنی بر اسب،مقرون به صرفه‌تر است. تاکسی مذکور از دو موتور به قدرت ۱/۵اسب بخار نیرو می‌گرفت که امکان دستیابی به سرعت ۳۲ کیلومتر بر ساعت را با برد۴۰کیلومتر برای خودرو فراهم می‌آورد.

قابل توجه‌ترین پیشرفت فنی آن دوره، ابداعregenerative braking توسط مردی فرانسوی به نام M. A. Darraq در سال ۱۸۹۷ برای یک خودروی کوپه بود. روشی که وی پیاده سازی کرد، این امکان را فراهم می‌کرد تا هنگام ترمز گرفتن، انرژی جنبشی خودرو به انرژی قابل ذخیره در باتری تبدیل شود که این خود برداتومبیل را به طور چشم‌گیری افزایش می‌داد. از آن‌جا که ذخیره‌ی انرژی و بازده بالا از مهم‌ترین مسائل در حمل و نقل شهری بود، این ابداع بزرگ یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در زمینه‌ی خودروهای الکتریکی و تکنولوژیHEV ها بود. علاوه بر این، خودروی La Jamais Contenteکه توسط مرد فرانسوی به نام Camille jenatzy ساخته شده بود، بین بهترین خودروهای الکتریکی که در آن دوران وجود داشت، اولین خودرویی بود که بردش از مرز ۱۰۰ کیلومتر می‌گذشت.

وقتی اتومبیل‌های دیزلی قدرتمندتر، منعطف‌تر و از همه مهم‌تر، خوش‌دست‌تر شدند، کمرنگ شدن خودروهای الکتریکی آغاز شد. قیمت مناسب آن‌ها نسبت به خودروهای دیزلی نیزبه

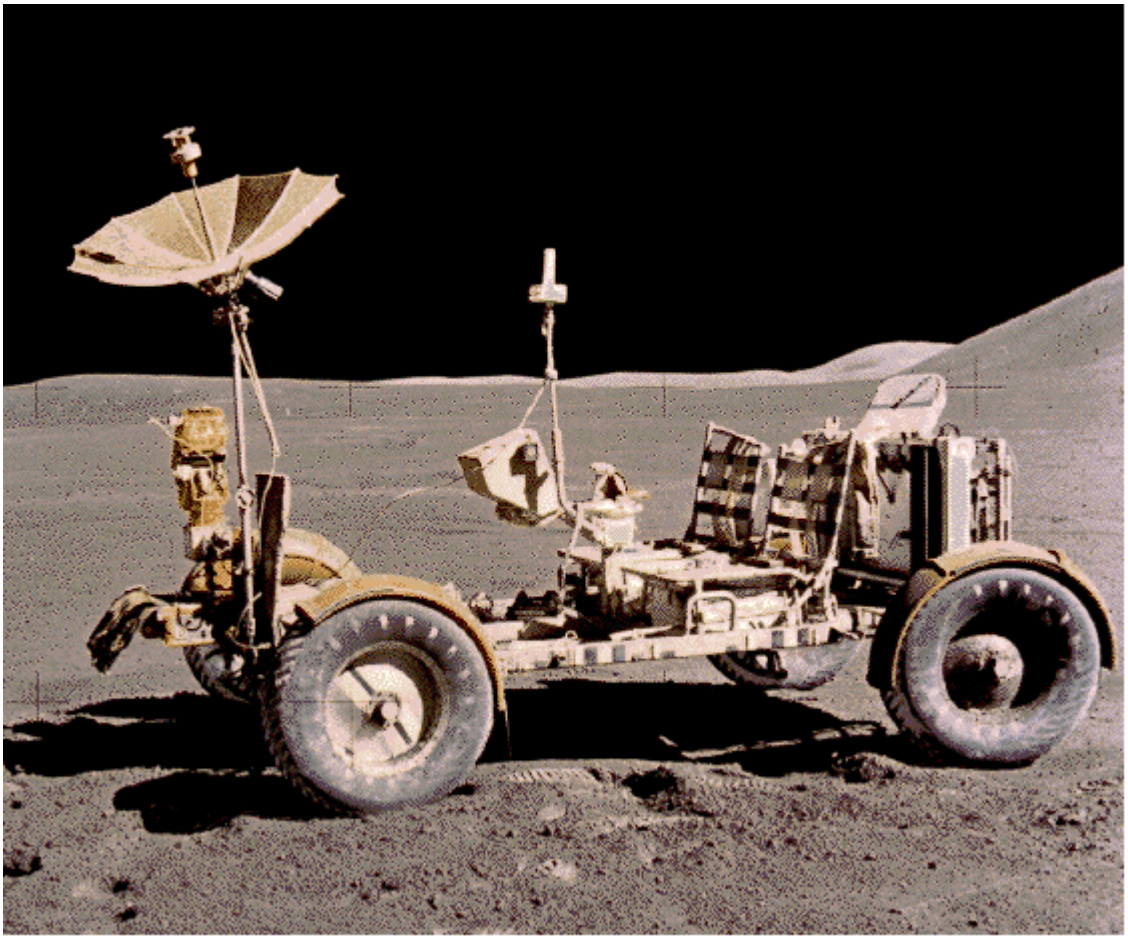
[۱] Electroboat

کمرنگ نشدن آن‌ها کمکی نکرد و برد و کارایی کمتر آن‌ها نسبت به همتایان دیزلی خـود، آن‌هـا را در این رقابت بازنده ساخت. آخرین وسیله‌ی نقلیه‌ی الکتریکی تجاری، سال ۱۹۰۵ ساخته شـد. از آن پس، نزدیک به ٦٠ سال تنها وسایل نقلیه‌ی الکتریکی که فروخته می‌شدند، یک مدل خـودروی گلف معمولی و وسایل نقلیه‌ی شبیه به آن بودند.

در سال ۱۹٤٥، محققان در لابراتور Bell وسـیله‌ای بـه نامترانزیسـتوررا ابـداع کردنـد کـه می‌توانست دنیای الکترونیک و الکتریسیته را متحول کند. از آن پس، ترانزیستورها سریعا جایگزین لامپ‌های خلاء[1]شدند و پس از آن، تریستور[2]اختـراع شـد کـه امکـان سـویچینگ جریـان بـالا بـا ولتاژهای بالا را فراهم می‌کرد. اختراع تریستور، تنظیم کـردن انـرژی تغذیـه شـده بـه یـک موتـور الکتریکی بدون نیاز به رئوستاهای ناکارامد را به دنبال داشت و همچنین این امکان فراهم شد تـا از موتورهای AC با فرکانس‌های متفاوت استفاده شود. در سال ۱۹٦٦ کمپانی جنرال موتورز[3]یـک ون الکتریکی ساخت که توسط موتورهای القایی حرکت می‌کـرد و مجهـز بـه اینورترهـایی بودکـه بـا تریستور ساخته شده بودند.

قابل توجه‌ترین وسیله نقلیه‌ی الکتریکی در آن زمـان، خـودروی Lunar Roving بـود کـه فضانوردان آپولو از آن در کره‌ی ماه استفاده کردند. وزن این وسیله ۲۰۹ کیلو گرم بود که قادر بـود باری به وزن ٤۹۰ کیلو گرم را با خود حمل کند وبردش نیز تقریبا ٦٥ کیلـومتر بـود. طراحـی ایـن خودروی فرازمینی بر روی زمین، دارای اهمیت بسیار کمتری بود.

[1] vacuum tube
[2] thyristor
[3] General Motors(GM)



شکل۱-۱) خودروی Lunar Roving

عدم وجود هوا در جو ماه، جاذبه‌ی کم بر روی سطح ماه و سرعت کم، طراحی این وسیله نقلیه را برای مهندسان قدری آسان‌تر کرد. بین دهه‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ ، نگرانی‌ها در مورد محیط زیست موجب برخی از تحقیقات پیرامون وسایل نقلیه‌ی الکتریکی شد. هرچند برخی پیشرفت‌ها در زمینه‌ی تکنولوژی باتری‌ها و الکترونیک قدرت حاصل شد، ولی همچنان برد محدود آن‌ها، یک عامل بازدارنده بود.

عصر وسایل نقلیه‌ی الکتریکی مدرن با ظهور برخی از وسایل نقلیه مانند EV1 از طرف شرکت جنرال موتورز در دهه‌ی ۱۹۸۰ و اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ به اوج خود رسید. از دیگر

شرکت‌هایی که در زمان مذکور در این زمینه فعالیت چشم‌گیر داشتند می‌توان به کمپانی پژو اشاره کرد که خودروی الکتریکی ۱۰٦ را تولید کرد. هرچند این خودروها نشان‌گر یک موفقیت عظیم بودند ولی این موضوع در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰ به وضوح درک شد که خودروهای الکتریکی از نظر بردو کارایی با خودروهای دیزلی اصلا قادر به رقابت نیستند. یکی از علل آن هم باتری‌های ذخیره کننده‌ی انرژی بودند که وزنشان با وجود انرژی کمتر بسیار بیشتر از بنزین بود. به همین دلیل صنعت اتومبیل، خودروهای الکتریکی را رها کرد و تحقیقات خود را در زمینه‌ی خودروهای هیبرید آغاز کرد. پس از چند سال توسعه، خط تولید خودروهای هیبرید نسبت به خودروهای الکتریکی، بسیار به تولید انبوه نزدیک‌تر شد.

در تمام مراحل ساخت خودروهای الکتریکی، تکنولوژی باتری تنها نقطه‌ی ضعف بود که از عرضه‌ی آن به بازارها جلوگیری می‌کرد. به همین دلیل با هدف افزایش کارایی خودروهای الکتریکی، باتری‌ها مورد توجه و سرمایه‌گزاری بسیاری قرار گرفتند. متاسفانه پروسه‌ی پیشرفت در این زمینه بسیار محدود بود و کارایی این زمینه، بسیار دورتر از چیزی بود که جامعه به آن نیاز داشت. ضعف در ظرفیت ذخیره سازی انرژی در باتری‌ها، خودروهای الکتریکی را فقط در برخی از زمینه‌ها قابل استفاده می‌کند، مثلا در فرودگاه‌ها، ایستگاه‌های ریلی، مسیرهای تحویل پست الکترونیکی، مسابقات گلف و کاربردهای مشابه.

تجربه نشان داده است که خودروهای الکتریکی، حتی با نگاه خوش‌بینانه به ظرفیت باتری آن‌ها نیز هرگز نخواهند توانست با خودروهایی با سوخت مایع رقابت کنند. همین امر باعث شده است که تکنولوژی ساخت خودرو، در سال‌های اخیر بیشتر به سمت خودروهای الکتریکی هیبرید و سلول سوختی رو بیاورد.

۱-۲- وسیله نقلیه‌ی الکتریکی هیبرید[۱](HEV)

شاید دانستن این موضوع جالب باشد که ایده‌ی خودروهای HEV به اندازه‌ی خود اتومبیل قدمت دارد. البته باید به این نکته اشاره کنیم که ایده‌های اولیه برای طراحی خودروهای HEV، با انگیزه کاهش مصرف سوخت شکل نگرفته بود و هدف اصلی این بود که به نحوی به عملکرد و کارایی موتور احتراق داخلی[۲] کمک کنند. در آن دوره، مهندسی موتورهایاحتراق داخلیقطعا ساده‌تر از موتورهای الکتریکی بود.

در سال ۱۸۹۹ اولین خودروهای هیبرید در سالن پاریس توسط موسسات Pieper ، Liège از بلژیک، Vendovelliو شرکت حمل و نقل الکتریکی Priestly از فرانسه به نمایش گذاشته شدند. خودرویPieper ، یک خودروی هیبرید با معماری موازی همراه با یک موتور گازوئیلی خنک شونده با هوا بود. این خودرو همچنین دارای یک موتور الکتریکی همراه با باتری‌های سرب اسید بود. طبق شواهد موجود، آن باتری‌ها هنگام ثابت بودن خودرو، توسط موتور احتراق داخلیشارژ می‌شدند. هنگامی که راننده به قدرتی فراتر از قدرتموتور احتراق داخلی نیاز داشت، موتور الکتریکی یک قدرت اضافی برای راننده مهیا می‌کرد. علاوه بر این‌که Pieper یکی از اولین دو خوردوی هیبرید تولید شده بود، اولین خودروی هیبرید با معماری موازی نیز به حساب می‌آمد.

خودروی هیبرید دیگری که در سال ۱۸۹۹ در سالن پاریس به نمایش گذاشته شد، اولین خودرو با معماری سری بود که به نحوی مشتق شده‌ی یک خودروی تمام الکتریکی به حساب

---

[۱] Electrical Hybrid vehicles
[۲] Internal Combustion(IC)