بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

طراحی کنترلر انعطاف پذیر در برابر عیب برای سیستم پیشرانه الکتریکی خودروی هیبرید الکتریکی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق_کنترل

سید احسان حسینی

اساتید راهنما

دکتر جواد عسکری

دکتر سعید حسین نیا

۱۳۹۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به

دانشگاه صنعتی اصفهان است.

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق_کنترل آقای سید احسان حسینی

تحت عنوان

طراحی کنترلر انعطاف پذیر در برابر عیب برای سیستم پیشرانه الکتریکی خودروی هیبرید الکتریکی

در تاریخ ۹۳/۶/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر موردبررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر جواد عسکری
۲. استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سعید حسین نیا
۳. استاد مشاور پایان‌نامه	مهندس یدالله ذاکری
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر سیدمحمدعلی خسروی فرد

تقدیم به :

به پدرم که راه را به من نشان داد

به مادرم که چگونه رفتن را به من آموخت

به برادرم مسعود به پاس دلگرمی و تشویق

به خواهرم مریم همراه همیشگی و پشتوانه زندگیم

تقدیر و سپاس

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم . از اساتید محترم جناب آقای دکتر عسکری و جناب آقای دکتر حسین نیا به عنوان اساتید راهنما و جناب آقای مهندس ذاکری به عنوان استادمشاور که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند، کمال تشکر را دارم. همچنین بر خود لازم می دانم از همکاری صمیمانه تیم خودروی انستیتو خودرو، سوخت و محیط زیست دانشگاه تهران سپاس گذاری نمایم.

چکیده

در خودروهای هیبرید الکتریکی[1] از موتورهای الکتریکی مختلفی برای کشش خودرو استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به موتورهای سنکرون مغناطیس دائم[2] اشاره کرد. موتورهای سنکرون مغناطیس دائم ازنظر بازدهی، حجم، وزن، زمان شتاب‌گیری، سادگی کنترل سرعت و گشتاور بر موتورهای الکتریکی متداول برتری دارند. درصورتی‌که برای کنترل این‌گونه موتورها از روش‌های نوین کنترلی نظیر کنترل برداری استفاده شود، می‌توانند برای اهداف مختلفی نظیر کاربردهایی که نیاز به کنترل سرعت یا کنترل گشتاور دارند، مورداستفاده قرار گیرند. به سیستمی که کنترل موتورها را انجام می‌دهد، سیستم درایو الکتریکی گفته می‌شود. سیستم‌های درایو الکتریکی نظیر دیگر سیستم‌های الکتریکی ممکن است دچار خرابی‌ها یا اختلالاتی شوند که بعضاً عملکرد سیستم را مختل می‌کنند. برای جلوگیری از چنین وضعیتی استفاده از روش‌های تشخیص عیب و بازیابی سیستم‌های درایو پس از وقوع خرابی لازم است. از جمله خرابی‌هایی که می‌تواند در سیستم درایو الکتریکی اتفاق بیافتد، خرابی سنسور سرعت است. در این پروژه یک سیستم کنترل انعطاف پذیر در مقابل عیب برای زمانی که سنسور سرعت موتور الکتریکی خودروی هیبرید الکتریکی دچار عیب شود، طراحی شده است. موتور خودرو از نوع موتور سنکرون مغناطیس دائم می‌باشد. کارکرد سیستم به‌گونه‌ای است که در ابتدا سرعت روتور توسط دو سنسور مجازی برآورد می‌شود و با سرعت تخمینی توسط سنسور سرعت موتور مقایسه می‌شود. در صورتی که سنسور دچار عیب شده باشد، با استفاده از یک سوئیچ، موتور در مد بدون سنسور درایو می‌شود. از تخمین‌گر سیستم کنترل تطبیقی مدل مرجع[3] و مشاهده‌گر Back_EMF بعنوان سنسور مجازی استفاده شده است. در صورتی که سنسور سرعت موتور دچار عیب شود، با استفاده از یک سوئیچ، موتور به حالت بدون سنسور می‌رود و با استفاده از تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع درایو می‌شود.

کلمات کلیدی: ۱- موتور سنکرون مغناطیس دائم ۲- کنترل تطبیقی مدل مرجع ۳- درایو ۴- تشخیص عیب

[1] Hybrid Electric Vehicle

[2] Permanent Magnet Synchronous Motor

[3] Model Reference Adaptive Control System

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱ کلیات ۲

۱-۲ مروری بر کارهای انجام شده ۴

۱-۳ روند ارائه مطالب ۵

فصل دوم: تاریخچه و روند پیشرفت فنّاوری خودروهای برقی و هیبریدی

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ تاریخچه خودروی هیبرید ۸

۲-۳ روند پیشرفت خودروهای هیبریدی ۸

۲-۳-۲ اولین خودروی هیبرید ۱۰

۲-۳-۳ روند رو به رشد خودروهای هیبریدی ۱۰

۲-۴ انواع پیکربندی خودروی هیبرید الکتریکی ۱۲

۲-۴-۱ خودروی هیبرید سری ۱۲

۲-۴-۲ هیبرید موازی ۱۳

۲-۵ سیستم پیشرانه الکتریکی ۱۵

۲-۵-۲ مفاهیم پیشرانه الکتریکی ۱۶

۲-۵-۳ ویژگی‌های موتور کششی ۱۷

۲-۶ موتورهای الکتریکی در خودروهای هیبریدی ۱۸

۲-۶-۲ ویژگی‌های یک موتور الکتریکی ۱۹

۲-۶-۳ مقایسه فنی موتورهای الکتریکی ۱۹

۲-۶-۴ مقایسه موتورهای الکتریکی ازنظر وزن، قیمت و عملکرد ۲۰

فصل سوم: بررسی موتور سنکرون مغناطیس دائم و کاربرد آن در خودروی هیبرید

۳-۱ مقدمه ۲۴

۳-۲ مدل ریاضی موتور سنکرون مغناطیس دائم ۲۶

۳-۳ کاربرد موتور سنکرون مغناطیس دائم در وسایل حمل ونقل ۲۸

۳-۴ کنترل موتورهای سنکرون مغناطیس دائم ۲۹

۳-۵ بررسی مدل خودروی هیبرید الکتریکی استفاده شده ۳۰

فصل چهارم: بررسی سنسورهای مجازی و نحوه اعمال عیب

۴-۱ مقدمه ۳۴

۴-۲ بررسی تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع ۳۴

۴-۳ عملکرد تخمین‌گر با وجود عدم قطعیت‌ها ۴۰

۴-۳-۱ تغییر مقاومت استاتور ۴۰

۴-۳-۲ خطای موقعیت اولیه روتور در تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع ۴۱

۴-۳-۳ تاخیر در جریان استاتور ۴۲

۴-۳-۴ تاثیر نویز بر عملکرد تخمین‌گر ۴۲

۴-۴ بررسی مشاهده‌گر Back_EMF ۴۵

۴-۵ عملکرد مشاهده‌گر با وجود عدم قطعیت‌ها و نویز سفید ۵۰

۴-۵-۱ تغییر مقاومت استاتور ۵۰

۴-۵-۲ خطای موقعیت اولیه روتور در تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع ۵۱

۴-۵-۳ تاخیر در جریان استاتور ۵۱

۴-۵-۴ تاثیر نویز بر عملکرد مشاهده‌گر ۵۱

۴-۶ انواع عیب و مدل‌سازی آن ۵۳

فصل پنجم: تشخیص خرابی سنسور سرعت و بازیابی سیستم کنترل درایو

۵-۱ مقدمه ۵۵

۵-۲ آشکارسازی و جداسازی عیب ۵۶

۵-۳ تعیین حد آستانه برای تشخیص عیب ۵۷

۵-۴ ساختار کلی سیستم کنترل انعطاف پذیر در مقابل عیب ۶۰

۵-۵ مقایسه با دیگر سیستم های کنترل انعطاف پذیر در برابر عیب ۶۴

۵-۵-۱ روش Back_EMF ۶۴

۵-۵-۲ روش مشاهده‌گر حالت ۶۴

۵-۵-۳ روش کنترل تطبیقی مدل مرجع ۶۵

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه‌گیری ۶۸

۶-۲ پیشنهادات ۷۰

فهرست شکل ها

شکل۲-۱ خودروی تویوتا پریوس ۹
شکل۲-۲ خودروی ساخته شده توسط پایپر ۱۰
شکل۲-۳ میزان فروش سالیانه خودروهای هیبرید در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ [۶] ۱۱
شکل۲-۴ تعداد خودروهای هیبرید ثبت شده در سه کشور صنعتی ۱۱
شکل۲-۵ ساختار سری خودروی هیبرید الکتریکی [۷]..... ۱۲
شکل۲-۶ ساختار هیبرید موازی خودروی هیبرید الکتریکی [۷] ۱۴
شکل۲-۷ بلوک دیاگرام سیستم پیشرانه الکتریکی [۷] ۱۵
شکل۲-۸ تقسیم‌بندی موتورهای الکتریکی در کاربرد خودرویی [۷]..... ۱۶
شکل۲-۹ نمایش مفهومی پیشرانه هیبرید الکتریکی [۷] ۱۶
شکل۲-۱۰ ویژگی‌های یک نمونه موتور الکتریکی سرعت متغیر [۷] ۱۷
شکل۳-۱ شکل موج های BACK_EMF موتور سنکرون مغناطیس دائم ۲۵
شکل۳-۲ اجزای تشکیل‌دهنده موتور مغناطیس دائم [۱۲] ۲۶
شکل۳-۳ برش عرضی محور روتور در موتور سنکرون مغناطیس دائم [۱۳] ۲۸
شکل۳-۴ برش عرضی موتور کششی [۱۳] ۲۹
شکل۳-۵ ساختار درایو موتور سنکرون مغناطیس دائم [۱] ۳۰
شکل۳-۶ مدل خودروی هیبرید الکتریکی با استفاده از متلب/ سیمولینک[۱۴] ۳۱
شکل۳-۷ (الف) - ولتاژ استاتور و (ب)- جریان استاتور ،در حالت کار عادی ۳۲
شکل۳-۸ مقایسه (الف) - سرعت مرجع (ب)- سرعت روتور در حالت کار عادی ۳۳
شکل۴-۱ نمای کلی تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع [۱۶] ۳۵
شکل۴-۲ (الف) – ولتاژ استاتور و (ب)- جریان استاتور در تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع ۳۸
شکل۴-۳ مقایسه (الف) سرعت روتور با (ب)سرعت تخمینی با استفاده از کنترل تطبیقی مدل مرجع ۳۹
شکل۴-۴ اختلاف بین سرعت تخمینی ناشی از تخمین‌گر مدل مرجع و مقدار سرعت روتور اندازه گیری شده با استفاده از سنسور..... ۴۰
شکل۴-۵ تخمین سرعت با استفاده از تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع با تخمین مقدار مقاومت استاتور ۴۰
شکل۴-۶ تخمین سرعت با استفاده از تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع با وجود تغییرمقاومت استاتور به اندازه ۵۰ درصد ۴۱
شکل۴-۷ تخمین سرعت با خطای موقعیت روتور در (الف) با اندازه ۱۰ درجه و در(ب) با اندازه ۱۰۰ درجه ۴۱
شکل۴-۸ تخمین سرعت با تاخیر در جریان استاتور به اندازه (الف) ۰/۰۱ ثانیه و در (ب) ۰/۱ ثانیه ۴۲
شکل۴-۹ (الف) نویز سفید با قدرت ۰/۱ (ب) سرعت روتور با اضافه شدن نویز سفید ۴۲
شکل۴-۱۰ (الف) نویز سفید با قدرت ۰/۵ (ب) سرعت روتور با اضافه شدن نویز سفید ۴۳
شکل۴-۱۱ سرعت تخمینی توسط تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع بعد از اعمال نویز (الف) باقدرت ۰/۱ و (ب) با قدرت ۰/۵..... ۴۴

شکل۴-۱۲ نویز با فرکانس اولیه ۰/۱ و فرکانس نهایی ۱ در ۴۰ ثانیه ۴۴
شکل۴-۱۳ (الف)سرعت روتور (ب) سرعت توسط تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع در حالت اعمال نویز ۴۵
شکل۴-۱۴ دیاگرام مشاهده‌گر BACK_EMF ۴۵
شکل۴-۱۵ (الف) ولتاژ استاتور و (ب)جریان استاتور در مشاهده‌گر BACK_EMF ۴۹
شکل۴-۱۶ مقایسه (الف) سرعت روتور با (ب)سرعت تخمینی با استفاده از مشاهده‌گر BACK_EMF ۴۹
شکل۴-۱۷ اختلاف بین سرعت تخمینی با استفاده از BACK_EMF و مقدار سرعت روتور اندازه گیری شده با استفاده از سنسور ۵۰
شکل۴-۱۸ تخمین سرعت با وجود تغییر مقاومت استاتور به اندازه ۵۰ درصد افزایش با مشاهده‌گر BACK_EMF ۵۰
شکل۴-۱۹ تخمین سرعت با خطای موقعیت روتور در (الف) با اندازه ۱۰ درجه و در(ب) با اندازه ۱۰۰ درجه ۵۱
شکل۴-۲۰ تخمین سرعت با تاخیر در جریان استاتور به اندازه (الف) ۰/۰۱ ثانیه و در (ب) ۰/۱ ثانیه ۵۱
شکل۴-۲۱ سرعت تخمینی توسط مشاهده‌گر BACK_EMF بعد از اعمال نویز (الف) باقدرت ۰/۱ و (ب) با قدرت ۰/۵ ۵۲.
شکل۴-۲۲ سرعت توسط مشاهده‌گر BACK_EMF با اعمال نویز ۵۲
شکل۴-۲۳ عیب پله‌ای ۵۳
شکل۴-۲۴ عیب تدریجی ۵۳
شکل۴-۲۵ عیب پریودیک ۵۴
شکل۵-۱ درایو موتور در حال بدون سنسور ۵۶
شکل۵-۲ ساختار سیستم تولید سیگنال مانده و تصمیم‌گیری [۱] ۵۷
شکل۵-۳ نقشه منحنی راندمان موتور تویوتا پریوس۲۰۰۴ [۱۸] ۵۸
شکل۵-۴ نقشه منحنی راندمان اینورتر تویوتا پریوس۲۰۰۴ [۱۸] ۵۸
شکل۵-۵ نقشه منحنی راندمان موتور/اینورتر تویوتا پریوس ۲۰۰۴ [۱۸] ۵۹
شکل۵-۶ ساختار کلی سیستم کنترل انعطاف پذیر در مقابل عیب [۱] ۶۰
شکل۵-۷ (الف)سرعت روتور (ب) گشتاور بعد از اعمال عیب ۰/۹ در ثانیه ۶/۱ ..... ۶۱
شکل۵-۸ سیگنال عیب ۶۱
شکل۵-۹ سرعت روتور با اعمال عیب در ثانیه ۵ بدون تخمین مقاومت ۶۲
شکل۵-۱۰ گشتاور با اعمال عیب در ثانیه ۵ بدون تخمین مقاومت ۶۲
شکل۵-۱۱ سرعت روتور با اعمال عیب در ثانیه ۷ بدون تخمین مقاومت ۶۳
شکل۵-۱۲ گشتاور با اعمال عیب در ثانیه ۷ بدون تخمین مقاومت ۶۳
شکل۵-۱۳ سرعت روتور با اعمال عیب با دامنه ۰/۵ در ثانیه ۵ با تخمین مقاومت و افزایش مقاومت استاتور به اندازه ۵۰ درصد ۶۴
شکل۵-۱۴ بلوک دیاگرام انکدر ومدارات الکترونیکی ۶۵
شکل۵-۱۵ (الف)تخمین سرعت و(ب) موقیت روتور با استفاده از مشاهده‌گر لیونبرگر ۶۶
شکل۵-۱۶ مقایسه سرعت تخمینی توسط مشاهده‌گر BACK_EMF و سرعت مرجع ۶۷
شکل۵-۱۷ خطای موقعیتی روتور ۶۷

فهرست جداول

جدول۲-۱ مقایسه انواع موتورهای الکتریکی و ویژگی و کاربرد آن‌ها ۱۸
جدول۲-۲ مقایسه موتورها ازلحاظ وزن، قیمت و عملکرد در سال ۲۰۰۶ [۹] ۲۱
جدول۲-۳ : مقایسه موتورها ازلحاظ وزن، قیمت و عملکرد در سال ۲۰۰۹ ..... ۲۱
جدول۲-۴ سامانه رانشی انواع خودروهای هیبرید معروف [۹] ۲۲
جدول۲-۵ سامانه رانشی انواع خودروهای هیبرید معروف [۱۰] ۲۳
جدول۴-۱ پارامترهای موتور سنکرون مغناطیس دائم ۵۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱ کلیات

شاید یکی از موضوعاتی که در اولین سال‌های عرضه خودروهای احتراق داخلی به بازار هیچ‌گاه ذهن سازندگان را به خود مشغول نمی‌کرد، مشکلات عدیده‌ای بود که باسپری شدن زمان به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم گریبان‌گیر تمامی جهانیان شد. مشکلاتی که امروزه برای رفع آن‌ها سرمایه‌های عظیمی صرف شده است. آلودگی هوا و آسیب‌های جدی وارد شده به محیط‌زیست از جمله این مشکلات می‌باشد. استفاده از فناوری خودروهای فعلی چالش‌های بزرگ زیست‌محیطی برسرراه زندگی ساکنان کره زمین به وجود آورده است. انتشار گازهای سمی و ذرات ریز معلق ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در خودروها علاوه بر تولید باران‌های اسیدی، تشکیل گازهای گلخانه‌ای و آسیب رساندن به لایه ازن، همواره سلامت شهروندان را نیز در معرض خطر قرار داده است. ارتباط افزایش نرخ انواع سرطان ریه با قرار گرفتن در معرض این آلاینده‌ها از مسائلی است که در مطالعات متعددی مورد بررسی قرارگرفته و به اثبات رسیده است. وجود این مشکلات لزوم استفاده از خودروهای هیبریدی و الکتریکی را روشن می‌سازد.

خودروی هیبرید الکتریکی از یک موتور الکتریکی برای کشش استفاده می‌کند و از باتری شیمیایی، پیل سوختی، ابرخازن و یا فلای ویل برای ذخیره انرژی استفاده می‌کند. خودروی هیبرید الکتریکی دارای فواید زیادی

مانند کاهش آلودگی، کاهش مصرف سوخت و راندمان بالا نسبت به خودروهای احتراق داخلی[1] متعارف است. رشد روزافزون استفاده از خودروی هیبرید الکتریکی طراحان را ملزم می‌کند تا درزمینه انتخاب اجزا و الگوریتم‌های کنترلی درایوهای الکتریکی ملاحظات ویژه‌ای را در نظر داشته باشند. طی سال‌های اخیر موتور سنکرون مغناطیس دائم ازجمله طرح‌های موفق در خودروی هیبرید الکتریکی بوده است. موتور سنکرون مغناطیس دائم دارای عملکرد مطلوبی برای استفاده در خودرو به عنوان موتور کششی[2] است و دارای خصوصیات ویژه‌ای ازجمله وزن سبک و فشرده‌تر نسبت به دیگر موتورها می‌باشد. روش‌های کنترلی متعددی نیز برای کنترل درایو این موتورها ارائه شده است و با استفاده از سخت‌افزارهای پیشرفته می‌توان در زمینه‌های مختلف از قابلیت‌های این موتور به نحو مناسبی بهره گرفت. درایو موتور الکتریکی می‌تواند دچار خرابی‌ها و اختلالاتی شودکه عملکرد سیستم را مختل می‌کند.

برخی خرابی‌هایی که می‌تواند در یک سیستم درایو رخ دهد به شرح زیر است:

۱- خرابی سنسور سرعت:

در این مورد با توجه به انواع سنسورهای سرعت، خرابی‌های مختلفی می‌تواند اتفاق بیافتد. از جمله سنسورهای سرعتی که در موتور سنکرون مغناطیس دائم استفاده می‌شوند، می‌توان به سنسورهای اثر هال[3] و اینکدرها اشاره کرد.

۲-خرابی اینورتر:

اینورتر دارای ایرادات شایعی است که به مرور زمان در اثر فرسایش به وجود می‌آید. بعضی از این ایرادات شامل این موارد می‌شود:

- مدار باز شدن سوئیچ‌های مبدل توان
- اتصال کوتاه شدن سوئیچ‌های مبدل توان
- جدا شدن فازهای اینورتر
- خراب شدن بردهای کنترلی اینورتر

۳-خرابی‌های ماشین:

وجود این عیب می‌تواند به خاطر عدم طراحی مناسب در یک سیستم اتفاق بیافتد خرابی‌های ماشین بسیار متنوع بوده ولی بعضی از مهم‌ترین آنها را در زیر ملاحظه می‌کنید:

- خرابی سیم‌پیچی استاتور (فرسودگی و قرار داشتن در شرایط نامناسب می‌تواند از علل آن باشد)
- عدم تقارن (مقاومت واندوکتانس موتور)

---

[1] Internal Combustion Engine
[2] Traction Motor
[3] Hall Effect Sensor

- سیستم مغناطیسی (تغییر در رفتار موتور مثلاً در اثر کار در حرارت بالا)
- اتصال کوتاه شدن فازها

با وجود این خرابی‌ها لزوم طراحی سیستمی برای تشخیص عیب و بازیابی سیستم کنترل درایو در زمانی که موتور دچار عیب می‌شود، ضروری است. در این پایان‌نامه به شناسایی عیب سنسور سرعت با استفاده از تکنیک سیگنال مانده و طراحی سیستم کنترل انعطاف پذیر در برابر عیب پرداخته می‌شود.

۱-۲ مروری بر کارهای انجام شده

در زمینه طراحی سیستم‌های کنترل انعطاف پذیر در برابر عیب در موتورهای الکتریکی، تحقیقاتی انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم. در[۱] یک سیستم کنترل مقاوم در برابر عیب برای موتور سنکرون مغناطیس دائم طراحی شده است که در آن از دو سنسور مجازی (تخمین‌گر کنترل تطبیقی مدل مرجع و مشاهده‌گر لیونبرگر[1]) برای تخمین سرعت روتور استفاده شده است. سرعت‌های تخمین زده شده با مقدار سرعت اندازه‌گیری شده از سنسور سرعت مقایسه می‌شود و در صورت بروز عیب، سیستم در مد بدون سنسور با استفاده از تخمین‌گر کنترل‌کننده تطبیقی مدل مرجع درایو می‌شود.

در راستای طراحی سیستم کنترل در برابر عیب، کارهای دیگری نیز انجام شده است که از آن جمله می‌توان به[۲] اشاره کرد. در این سیستم از مشاهده‌گر فیلترکالمن گسترش‌یافته[2] مرتبه دو و Back_EMF برای تخمین سرعت روتور استفاده شده است. در این سیستم از یک الگوریتم انتخابی برای تشخیص عیب استفاده شده است.

در[۳] دو سیستم کنترل‌کننده مقاوم در برابر عیب برای موتور القایی بررسی شده است. در سیستم اول پس از تخمین سرعت توسط فیلتر کالمن توسعه‌یافته و تشخیص عیب سنسور سرعت، کنترل کننده درایو موتور از یک کنترل کننده PI به یک کنترل کننده مقاوم سوئیچ می‌کند. در دومین روش از یک کنترل کننده مقاوم برای درایو موتور استفاده کرده است که از روش شکل دهی حلقه[3] استفاده کرده است.

در[۴] به تشخیص خرابی سنسور اثر هال موتور با استفاده از بررسی سیگنال‌های ارسالی سنسورهای اثر هال در طول یک دوره الکتریکی پرداخته است. در صورت رخداد عیب سنسور معیوب از سیستم خارج شده و تشخیص سرعت بر پایه دو سنسور و در صورت خرابی دو سنسور تشخیص سرعت با یک سنسور انجام می‌شود.

برخی از عیب‌هایی که ممکن است در مرحله اندازه‌گیری در یک سیستم کنترل درایو رخ دهد در [۵] بررسی شده است. موتور مورد بحث از نوع سنکرون مغناطیس دائم بوده و سیستم شامل نمونه‌بردار سرعت، ولتاژ لینک DC

[1] Luenberger Observer
[2] Extended Kalman Filter
[3] Loop Shaping

و جریان‌های فاز می‌باشد. در این مقاله روش‌های تشخیص عیب مورد بحث قرارگرفته‌اند و سپس سیستم کنترل به نحوی بازآرایی شده که توانایی ادامه کار در حضور عیب را داشته باشد.

۱) نمونه‌بردار سرعت:

برای تشخیص خرابی از تخمین زدن سرعت استفاده می‌شود و اگر سرعت اندازه‌گیری شده با سرعت تخمین زده شده تفاوتی داشته باشد که از حد آستانه بیشتر باشد خرابی سنسور اعلام می‌گردد. البته ممکن است به نظر برسد که برای اندازه‌گیری سرعت در تمامی شرایط استفاده از حالت بدون سنسور مفید باشد، اما برای سرعت‌های پایین و بارهای سنگین ممکن است عمل تخمین سرعت به‌خوبی صورت نگیرد و لذا استفاده از سنسور سرعت برای داشتن کارایی بالا برای سیستم درایو ضروری به نظر می‌رسد.

۲) نمونه‌بردار ولتاژ لینک DC[1] :

با کمک روابط حاکم بر توان ورودی و خروجی سیستم می‌توان خرابی ایجاد شده در نمونه‌بردار ولتاژ لینک DC را تشخیص داد. برای این منظور توان ورودی سیستم (قسمت DC) را محاسبه کرده و مجموع توان خروجی و تلفات سیستم با آن مقایسه شده است. در صورت وقوع عیب در اندازه‌گیری ولتاژ DC این دو مقدار با یکدیگر متفاوت خواهند بود. البته واضح است که این کار برای ولتاژهای پایین (سرعت‌های پایین و بارهای سبک) از دقت محاسباتی خوبی برخوردار نیست.

۳) نمونه‌بردار جریان‌های فاز:

برای این منظور از مدارات تست متفاوت استفاده می‌گردد. بر اساس این مدارات، تست سیستم می‌تواند در حالت‌های مختلف صورت پذیرد و عیب‌های تغییرات بهره و آفست DC تشخیص داده می‌شود.

۱-۳ روند ارائه مطالب

در این تحقیق، در فصل دوم به بررسی تاریخچه خودروی هیبرید و به روند پیشرفت فنّاوری موتورهای الکتریکی در خودروهای هیبرید الکتریکی و برقی پرداخته شده است. سپس سیستم پیشرانه الکتریکی خودروی هیبرید الکتریکی مورد تجزیه وتحلیل قرار گرفته است. در فصل سوم به بررسی ساختارسنسور های مجازی بکار گرفته شده، که در اینجا تخمین‌گرکنترل تطبیقی مدل مرجع و مشاهده‌گر Back_EMF می‌باشند، پرداخته می‌شود. در فصل چهارم به بررسی ساختار موتور سنکرون مغناطیس دائم، درایو آن و همچنین بررسی مدل خودروی هیبرید که در این پایان‌نامه از آن استفاده شده است، پرداخته می‌شود. انعطاف پذیر بودن این روش‌ها در مقابل تغییرات

[1] DC Link Voltage Sensor

مقاومت استاتور، تاخیر جریان استاتور، خطای موقعیت روتور و نویز نشان داده می‌شود. همچنین انواع عیب و مدل‌سازی آن ارزیابی می‌شود. در فصل پنجم به تشخیص خرابی سنسور سرعت با تکنیک سیگنال مانده و مقایسه با سنسورهای مجازی و هم چنین بازیابی سیستم کنترل درایو پرداخته می‌شود. شبیه‌سازی‌ها هم در حالتی که مقاومت استاتور تخمین زده شده و هم بدون آن انجام شده است و با هم مقایسه شده اند.

فصل دوم

تاریخچه و روند پیشرفت فنّاوری خودروهای برقی و هیبریدی

۲-۱ مقدمه

بدون شک مهم‌ترین تفاوت یک خودروی هیبرید الکتریکی با یک خودروی معمولی بنزینی یا گازوئیلی، سیستم پیشرانه الکتریکی[1] آن است. سیستم پیشرانه الکتریکی از کنترل‌کننده‌ها و تبدیل‌کننده‌های توان[2] مانند اینورترها تشکیل شده است. لازم به ذکر است اگرچه اطلاعات بخش سیستم پیشرانه الکتریکی، در مورد خصوصیات انواع موتورهای الکتریکی محدود به کاربرد خاصی نیست، اما هدف اصلی این بخش تمرکز بر روی خودروهای هیبریدی است. با توجه به خصوصیات خودروهای هیبریدی، موتورهای الکتریکی به کار رفته در آن‌ها، علاوه بر تأمین گشتاور بالا در سرعت‌های پایین برای بالا رفتن از تپه‌ها باید دارای گشتاور پایین در سرعت‌های بالا برای استفاده در بزرگراه‌ها باشند. موتور های الکتریکی در کاربرد خودرویی باید در طیف وسیعی از سرعت بتوانند کارکنند، همچنین این موتورها باید قابلیت روشن و خاموش‌شدن‌های متوالی و شتاب‌گیری و ایستادن‌های ناگهانی را داشته باشند. در ادامه پس از مطالعه تاریخچه خودروی هیبرید، روند پیشرفت خودروهای هیبریدی و سیستم‌های پیشرانه الکتریکی به کار گرفته شده در آنها، بررسی خواهد شد.

---

[1] Electric Propulsion System

[2] Power Converter

۲-۲ تاریخچه خودروی هیبرید

اگرچه عموم مردم بر این باورند که خودروهای هیبریدی و برقی ایده‌ای متعلق به چند دهه اخیرند، اما درواقع عمر این خودروها برابر عمر صنعت خودروسازی است. در دو دهه گذشته توجه به خودروهای هیبریدی افزایش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است. این موضوع را می‌توان نتیجه افزایش قیمت بنزین، کاهش منابع نفت و افزایش اهمیت موضوع آلودگی و محیط‌زیست، دانست. علاوه بر این، پیشرفت خودروهای هیبریدی در زمینه مدت شارژ، مسافت قابل پیمایش و حداکثر سرعت محبوبیت و مقبولیت عام را برای آن‌ها به ارمغان آورده است. حرکت خودروسازان بزرگ در این مسیر سبب گردیده مفاهیم جدیدی ایجاد شود. در این بخش با مروری بر تاریخچه خودروهای هیبریدی، مفاهیم و فنّاوری‌های جدید در این زمینه را معرفی خواهیم کرد.

اساساً، سیستم انتقال قدرت در هر خودرو باید دارای خصوصیات زیر باشد (۱) افزایش توان برای پاسخ به عملکرد خودرو (۲) انتقال انرژی کافی برای حرکت دادن خودرو (۳) داشتن بازدهی بالا (۴) انتشار آلودگی کمتر. خودرو می‌تواند بیش از یک قسمت انتقال قدرت داشته باشد. در اینجا سیستم انتقال قدرت به ترکیب منبع انرژی و مبدل انرژی مانند موتور احتراقی گازوئیلی، موتور الکتریکی با منبع پیل سوختی هیدروژنی، موتور الکتریکی با باتری شیمیایی و غیره گفته می‌شود. خودرویی که دارای دو یا بیشتر سیستم انتقال قدرت باشد به خودروی هیبرید معروف است.

زنجیره توان خودروهای هیبرید معمولاً ترکیبی از موتور احتراق داخلی، ذخیره کننده انرژی الکتریکی (باتری یا ابر خازن) و موتور الکتریکی می‌باشد. این ترکیب باعث کاهش تولید گازهای خروجی همراه با داشتن مشخصات توان، محدوده پیمایش و مصرف سوخت می‌شود. انعطاف‌پذیری ذاتی خودروهای هیبرید آن‌ها را برای ناوگان حمل‌ونقل و مصرف شخصی مناسب کرده است. خودروهای هیبرید با همان میزان مصرف سوخت، می‌توانند سرعت و پیمایش بیشتری نسبت به انواع بنزینی داشته باشند. با این مزیت که بازده این خودروها بسیار بالا بوده، میزان تولید آلودگی آن‌ها هم کمتر است. به همین دلیل بسیاری از کارخانه‌ها از سال ۱۹۹۹ تولید خودروهای هیبرید را به‌صورت انبوه آغاز کرده‌اند.

۲-۳ روند پیشرفت خودروهای هیبریدی

روند پیشرفت خودروهای هیبرید را می‌توان به شش بازه اساسی تقسیم کرد. دوره اول بین سال‌های ۱۶۶۵ الی ۱۸۹۰ میلادی بود که اولین خودروهای برقی ساخته شدند. پس از این دوره و بین سال‌های ۱۸۹۰ تا ۱۹۲۰ میلادی، خودروهای برقی و هیبرید به‌تدریج جای خود را در میان خریداران خودرو باز کردند. در این سال‌ها، خودروهای برقی و هیبریدی پیشرفت چشمگیری ازلحاظ فنّاوری باتری پیدا کردند و جای خود را به عنوان خودرو برتر آن زمان، تثبیت نمودند و به برترین جایگاه خود در تاریخ صنعت خودروسازی دست یافتند. در آن سالها کارخانه‌های

خودروسازی بیشترین فروش خودروهای برقی را تجربه کردند. البته انتهای این دوره، زمانی بود که با تحقیقات انجام‌شده توسط هنری فورد، خودروهای برقی به‌تدریج این جایگاه را از دست دادند. متعاقب این دوره، در بازه سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۶۷ میلادی، خودروهای برقی و هیبرید کاملاً از صنعت خودروسازی کنار گذاشته شدند. در بین سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۷۱ میلادی نیز متخصصان سعی در بهبود توانایی‌های خودروهای برقی و هیبرید داشتند تا بتوانند این خودروها را به جایگاه قبلی خود برسانند. در دهه ۷۰ میلادی، با تحریم نفت توسط کشورهای عربی، تحقیقات روی خودروهای هیبرید و برقی اهمیتی دوباره رواج یافت و قوانینی در مورد نحوه ساخت و آلودگی این خودروها تصویب شد. از سال ۱۹۸۰ میلادی تاکنون نیز با ورود بسیاری از کارخانه‌های بزرگ خودروسازی به زمینه خودروهای هیبرید و برقی، پیشرفت‌های بسیاری دراین خودروها رخ‌داده که منجر به ساخت خودروهایی از قبیل تویوتا پریوس[۱] و هوندا سیویک[۲] شده است، که از مقبولیت مناسبی نیز برخوردار هستند.

شکل۲-۱ خودروی تویوتا پریوس

امروزه خودروهای هیبریدی موردتوجه کمپانی‌های بزرگ جهان قرارگرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به شرکت‌هایی مانند تویوتا، هوندا، میتسوبیشی[۳]، فورد[۴]، فیات[۵]، جنرال موتورز[۶]، دایملر کرایسلر[۷]، نیسان[۸] و پژو[۹] اشاره کرد. توفیق این محصولات به حدی چشمگیر بوده که از ماه دسامبر ۱۹۹۷ تا ابتدای سال ۲۰۰۰ بیش از چهل هزار

[1] Toyota Prius
[2] Honda Civic
[3] Mitsubishi
[4] Ford
[5] Fiat
[6] General Motors
[7] Daimler Chrysler
[8] Nissan
[9] Peugeot