بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق

طراحی یک سیستم کنترل بهینه جهت شارژ باتری لیتیم یون با در نظر گرفتن قیود عملی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- کنترل

مریم خمر

استاد راهنما

دکتر جعفر قیصری

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته کنترل خانم مریم خمر

تحت عنوان

طراحی یک سیستم کنترل بهینه جهت شارژ باتری لیتیم یون با در نظر گرفتن قیود عملی

در تاریخ ۱۳۹۲/۴/۳۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر جعفر قیصری
۲-استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر بهزاد رضایی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مسعود عمومی

با تشکر از استاد راهنمای محترم و خواهر زاده های عزیزم هادی و علی اکبر نوری

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادر مهربانم...

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

فصل اول:مقدمه

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- شرح مسئله و اهداف ۳

۱-۳- مروری بر پیشینه‌ی پژوهش ۴

۱-۴- کارهای انجام شده، نوآوری‌های پایان‌نامه ۷

۱-۵- روند ارائه مطالب ۸

فصل دوم:پیشینه‌ی پژوهش

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- مدل باتری ۹

۲-۳- تخمین حالت شارژ باتری لیتیم یون ۱۱

۲-۴- مروری بر روش‌های تخمین حالت شارژ ۱۱

۲-۴-۱- ولتاژ مدار باز برای تخمین حالت شارژ ۱۱

۲-۴-۲- جریان برای حالت شارژ (شمارش کولمب) ۱۲

۲-۴-۳- روش‌های محاسباتی هوشمند ۱۲

۲-۴-۴- فیلتر کالمن ۱۳

۲-۵- پارامترهای تاثیرگذار بر شارژ باتری ۱۷

۲-۶- بررسی روش‌های شارژ باتری لیتیم یون ۲۰

فصل سوم:تطبیق مدل مدار معادل با مدل الکتروشیمیایی باتری لیتیم یون

۳-۱- مقدمه ۲۴

۳-۲- مدل الکتروشیمیایی ۲۴

۳-۳- مدل مدار معادل ۲۶

۳-۴- ترکیب مدل مدار معادل غیر خطی باتری لیتیم یون با مدل دمایی ۲۷

۳-٤-۱-مدل مدار معادل غیر خطی و رابطه تعادل انرژی..... ۲۷
۳-۵- محاسبه پارامترهای مدل الکتروشیمیایی به کمک مدل مدار معادل..... ۳۱

فصل چهارم:طراحی کنترل کننده بهینه برای شارژ باتری لیتیم یون

۴-۱- مقدم..... ۳۴
۴-۲- الگوریتم شارژ بهینه‌سازی..... ۳٤
٤-۳- نتایج شبیه‌سازی..... ۳۸
۴-۴- تعمیم الگوریتم بهینه به چند سلول..... ۴۲
۴-۵- اعمال قیود جریان..... ٤٦

فصل پنجم:طراحی کنترل کننده فازی برای شارژ باتری لیتیم یون

۵-۱- مقدمه..... ۵۲
۵-۲- مروری برسیستم‌های فازی..... ۵۳
۵-۳-کنترل کننده فازی طراحی شده..... ۵۳
۵-۳-۱-طراحی فازی ساز..... ۵۴
۵-۳-۲-پایگاه قواعد برای شارژ باتری لیتیم..... ۵۷
۵-۳-۳-غیر فازی‌ساز..... ۵۹
۵-۴- نتایج شبیه‌سازی..... ۵۹
۵-۵-اعمال قیود جریان..... ۶۰
۵-۶- مقایسه کنترل کننده فازی با کنترل کننده بهینه..... ۶۱
۵-۷- مقایسه کنترل کننده فازی با روش شارژ جریان ثابت-ولتاژ ثابت..... ۶۱

فصل ششم:نتیجه‌گیری

۶-۱- بحث و نتیجه‌گیری..... ۶۳
٦-۲- پیشنهادات..... ٦۵
کتابنامه..... ۶۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل۲- ۱مدل مدار معادل باتری لیتیم یون..... ۱۰

شکل ۲-۲ منحنی ولتاژ مدار باز بر حسب حالت شارژ..... ۱۲

شکل۲- ۳ خطای تخمین حالت شارژ فیلترهای AUKF، UKF، EKF وAEKF برای حالت شارژ اولیه ۵۰٪..... ۱۷

شکل ۲-٤ سوختن باتری لپ تاپ به دلیل افزایش بیش از حد دما..... ۱۹

شکل۲-۵ نمودار تعداد سیکل عمر نسبت به زمان..... ۱۹

شکل۲- ۶مدل مدار معادل باتری برای حالت..... ۲۱

شکل۲- ۷ نتایج کنترل کننده بهینه..... ۲۲

شکل۲- ۸ کنترل کننده فازی با دو ورودی جریان و ولتاژ..... ۲۲

شکل۲- ۹کنترل کننده فازی با دو ورودی میزان افزایش دما و مشتق آن..... ۲۳

شکل۳- ۱ساختار داخلی باتری لیتیم یون..... ۲۵

شکل۳-۲مدل مدار معادل باتری لیتیم یون..... ۲۷

شکل۳-۳ نمودارحالت شارژ باتری لیتیم یون بر حسب زمان..... ۲۹

شکل۳-٤ نمودار ولتاژ باتری لیتیم یون بر حسب زمان..... ۲۹

شکل۳-۵ نمودارجریان باتری لیتیم یون بر حسب زمان..... ۳۱

شکل۳-۶ نمودار دما باتری لیتیم یون بر حسب زمان..... ۳۲

شکل۳-۷منحنی η بر حسب جریان برای ۰.۵ =α..... ۳۳

شکل٤-۱حالت اول یعنی اهمیت تلفات دو برابر زمان شارژ است۰.۵ = α..... ۳۹

شکل٤-۲-حالت دوم۱ = α توجه به تلفات و کاهش دما برای یک سلول..... ٤۰

شکل۴-۳حالت سوم شارژ سریع سلول لیتیم یون ۰ = α..... ۴۲

شکل۴-۵ باتری لیتیم یون متشکل از چند سلول..... ۴۳

شکل٤- ٦ حالت اول۰.۵ = α یعنی اهمیت زمان شارژ و تلفات به صورت مساوی است..... ٤٤

شکل٤- ۷ حالت دوم توجه به تلفات و کاهش دما برای باتری لیتیم یون ۱ = α..... ۴۵

شکل۴- ۸ حالت سوم شارژ سریع باتری لیتیم یون ۰ = α..... ۴۶

شکل۴-۹ اعمال قیود جریان برای ضریب تلفات ۰.۵= α..... ۴۷

شکل۴-۱۰اعمال قیود جریان برای ضریب تلفات $\alpha=1$ ۴۸
شکل۴-۱۱ اعمال قیود جریان برای ضریب تلفات $\alpha=0$ ۴۹
شکل٤-۱۲ نتایج شارژ به روش جریان ثابت_ولتاژ ثابت ۵۰
شکل۵-۱تابع عضویت حالت شارژ(ورودی) ۵۵
شکل۵-۲ تابع عضویت دما(ورودی) ۵۵
شکل۵-۳ تابع عضویت جریان(خروجی) ۵۵
شکل۵-۴ نتایج شبیه‌سازی کنترل کننده فازی برای دمای اولیه $25^{\circ}C$ ۵۹
شکل۵-۵ نتایج شبیه‌سازی با اعمال قیود جریان ۶۰
شکل۵-۶نتایج شبیه‌سازی شارژ به روش جریان ثابت-ولتاژ ثابت ۶۱

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱ پارامترهای تخمینی ۲۸
جدول۳-۲ مقادیر پارامترهای ناشناخته[۲۴] ۳۰
جدول۳-۳ مقایسه پارامترهای تخمینی با پارامترهای مدل الکتروشیمیایی ۳۳
جدول٤-۱نتایج شبیه‌سازی برای یک سلول ٤۱
جدول٤-۲نتایج شبیه‌سازی برای یک باتری لیتیم یون متشک از چند سلول ٤٤
جدول۴-۳ حدود جریان در نظر گرفته شده ۵۰
جدول٤-٤ مقایسه الگوریتم بهینه پیشنهاد شده با روش جریان ثابت-ولتاژ ثابت ۵۰
جدول۵-۱ دستورات کنترل کننده فازی ۵۸
جدول۵-۲ مقایسه کنترل کننده فازی با الگوریتم بهینه و روش جریان ثابت-ولتاژ ثابت ۶۲

چکیده

با سرعت روز افزون استفاده از وسایل الکتریکی قابل حمل نیاز به شارژرهای ساده و بازده بالا ضروری است. شارژ مجدد باتری بایستی به گونه‌ای باشد که با استفاده از تجهیزاتی که حتی الامکان ساده و ارزان بوده، عمر چرخه باتری را کاهش ندهد و به طور سریع و بهینه شارژ نماید. هدف از انجام این پایان‌نامه، طراحی کنترل کننده مناسب برای شارژ مطلوب باتری لیتیم یون می‌باشد. به این منظور در ابتدا مدل باتری لیتیم برای شبیه‌سازی رفتار آن در زمان شارژ و دشارژ بررسی شده است. در این پایان نامه از مدار معادل غیر خطی و ترکیب آن با مدل دمایی استفاده شده است. به منظور تایید مدل مدار معادل غیر خطی باتری لیتیم یون، با مدل الکتروشیمیایی تطبیق داده شده است و پس از تأیید مدل، با بهره از آن و محدودیت‌های موجود برای شارژ باتری از قبیل حدود مجاز برای جریان، دما و ولتاژ مسئله بهینه به منظور تعیین جریان مطلوب برای شارژ باتری لیتیم یون تعریف شده است. در تابع هزینه تلفات اهمی و زمان شارژ در نظر گرفته شده است تا با کاهش تلفات اهمی، گرمای تولید شده کاهش یافته و از افزایش بیش از حد دما که باعث تخریب باتری می‌شود جلوگیری شود. برای وزن‌دهی اهمیت تلفات اهمی نسبت به زمان شارژ از ضریب تلفات در تابع هزینه استفاده شده است. مسئله شارژ بهینه، ابتدا برای یک سلول حل شده و پس از آن به باتری لیتیم یون متشکل از چند سلول تعمیم داده شده است. با توجه به مدل غیر خطی باتری لیتیم یون برای حل مسئله بهینه نیاز به حل معادلات دیفرانسیل غیر خطی می‌باشد. در ادامه این پایان‌نامه، به منظور ایجاد یک گزینه دیگر که به مدل باتری وابسته نباشد، یک کنترل کننده فازی برای شارژ باتری لیتیم یون پیشنهاد شده است. در کنترل کننده فازی ، دما و حالت شارژ به به عنوان ورودی پیشنهاد شده است. بیشینه جریان تزریق شده به باتری با دما تغییر می‌کند، انتخاب دما به عنوان ورودی این امکان را می‌دهد که در هر دما، جریان متناسب با آن دما را به باتری تزریق نمود. انتخاب حالت شارژ به جای ولتاژ که در پژوهش‌های قبل استفاده شده، باعث افزایش دقت کنترل کننده فازی می‌شود. زیرا تغییرات ولتاژ با رسیدن حالت شارژ به ۷۰٪ بسیار کم و در حدود چند صدم می‌باشد. مزیت دیگر استفاده از حالت شارژ، استفاده از آن برای شارژ باتری لیتیم یون متشکل از چند سلول می‌باشد، در این حالت باتری بر اساس سلولی که کمترین حالت شارژ را دارد، شارژ می‌شود. حالت شارژ به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نبوده و از فیلتر کالمن توسعه یافته برای تخمین آن استفاده شده است. با توجه به ملاحظات عملی برای پیاده-سازی سیستم شارژ باتری در این پایان‌نامه، جریان تزریق شده به باتری به چند سطح مشخص و ثابت جریان محدود می‌شود.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

باتری های قابل شارژ از گروه سلول های الکتروشیمیایی ذخیره کننده انرژی الکتریکی هستند. به این نوع سلول‌ها، سلول‌های ثانویه گفته می‌شود زیرا واکنش های الکتروشیمیایی به صورت برگشت پذیر در آنها اتفاق می افتد. باتری‌های قابل شارژ در اندازه ها و انواع متنوع وجود دارند و شامل باتری‌های دکمه‌ای کوچک تا باتری‌های مگاواتی در شبکه توزیع می‌شوند. چند ترکیب شیمیایی معمول در باتری های قابل شارژ استفاده می‌شوند که عبارت اند از: ترکیب سرب-اسید(Lead-acid)، نیکل-کادمیم(NiCd)، نیکل-ترکیب فلز(NiMH)، لیتیم-یون (Li-ion)، و لیتیم-یون-پلیمر(Li-ion polymer).

توسعه وسایل الکترونیکی مانند گوشی‌های تلفن همراه و لپ تاپ‌ها تقاضا را برای باتری‌های قابل شارژ افزایش داده است که در این میان باتری‌های لیتیم یون از دیگر انواع باتری‌ها عملکرد و بازده بهتری را از خود نشان داده و بیشترین تولید را در میان دیگر انواع باتری‌ها دارند. این نوع باتری‌ها مانند انواع دیگر باتری‌ها از پیل‌های الکتروشیمیایی با دو الکترود و ماده الکترولیت تشکیل شده‌اند. باتری‌های یون لیتیم یون شامل سه لایه می‌باشند: یک الکترود مثبت، یک جداکننده و یک الکترود منفی. عموما اکسید کبالت و آهن که دارای مشخصه های عمر کاری بالا در ولتاژ بالا می باشد در الکترود مثبت به کار می‌رود در حالی که

یک ماده کربنی با ظرفیت بالا، دارای ولتاژ پایدار و خاصیت بلورینگی بالا در الکترود منفی به کار می رود. غشاهای پلیمری متخلخل از جنس پلی الفین در جداکننده مورد استفاده قرار می‌گیرند و یک حلال آلی برای محلول الکترولیت مورد استفاده قرار می‌گیرد. یون‌های لیتیم داخل الکترود مثبت در محلول حل می شوند و درزمان شارژ شدن بین الکترود منفی و در زمان دشارژ شدن (تخلیه الکتریکی) بین الکترود مثبت انتقال می-یابند. باتری‌های یون لیتیمی دارای دانسیته انرژی بالا و ولتاژ کاری سه برابر ولتاژ کاری باتریهای نیکل-کادمیومی[1] (Ni-Cd) و نیکل-هیدرید فلزی[2] می‌باشند.

با توجه به کاربردهای فراوان باتری لیتیم یون، در زمینه شارژ و دشارژ مناسب این باتری‌ها تلاش‌های زیادی انجام شده است. فرآیند شارژ باتری بایستی بیش‌ترین بازده شارژ و سریعترین زمان شارژ را داشته و در عین حال سیکل عمر[3] باتری را کاهش نداده و باتری را در برابر تخریب حفاظت کند. یکی از متداول‌ترین روش-های شارژ باتری لیتیم یون، شارژ با جریان ثابت- ولتاژ ثابت می‌باشد. گرچه این روش از لحاظ پیاده‌سازی آسان است اما تمام شرایط مطلوب برای شارژ باتری را فراهم نمی‌کند. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در زمینه بهبود روش‌های شارژ شده است. نتیجه این پژوهش‌ها باعث معرفی کنترل کننده‌های فازی برای شارژ و الگوریتم بهینه برای کمینه‌سازی زمان شارژ شده است.

۱-۲- شرح مسئله و اهداف

با گسترش استفاده از وسایل الکتریکی قابل حمل، نیاز به شارژرهای ساده و بازده بالا ضروری است. شارژ مجدد باتری بایستی به گونه‌ای باشد که با استفاده از تجهیزاتی که حتی الامکان ساده و ارزان بوده، عمر چرخه باتری را کاهش ندهد و به طور سریع و بهینه شارژ نماید. برای طراحی کنترل کننده بهینه برای شارژ باتری، بایستی به پارامترهای تاثیرگذار بر شارژ باتری مانند دما، ولتاژ و جریان توجه شود. اگر شارژ ولتاژ بیشتر از ولتاژ بیشینه باشد، تزریق جریان اضافی باعث ایجاد روکش لیتیم و تولید گرمای اضافی می‌شود. با زیاد شدن جریان، یون‌های لیتیم نمی‌توانند با سرعت کافی بین لایه‌های الکترود مثبت جمع شوند و یون‌های لیتیم بر روی سطح آند جمع می‌شوند و لایه تشکیل شده مانند فلز لیتیم عمل کرده و این لایه را روکش لیتیم می‌نامیم. که نتیجه این کار کاهش یون‌های لیتیم آزاد و از دست دادن ظرفیت غیر قابل برگشت است.

یکی از علل اصلی تخریب باتری لیتیم یون، دمای بیش از حد و یا دمای خیلی پایین می‌باشد. کنترل دقیق دما به منظور حفاظت از باتری ضروری است. سرعت واکنش‌های شیمیایی با دما رابطه مستقیم دارد که با کاهش

---

[1] Ni-Cd: Nickel–Cadmium Batteries
[2] Nickel–MH Batteries
[3] Life Cycle

دما سرعت واکنش‌های شیمیایی کاهش می‌یابد. کار باتری در دمای پایین باعث کاهش سرعت انتقال مواد فعال شیمیایی می‌شود، در نتیجه باعث کاهش ظرفیت جریان عبوری چه در زمان شارژ و چه در زمان دشارژ می‌شود. به عبارت دیگر ظرفیت انتقال توان تقلیل می‌یابد. کار در دمای بالا می‌تواند مشکلات متعددی ایجاد کند که باعث تخریب باتری می‌شود. در این حالت اثر آرنیوس که در آن سرعت واکنش‌های شیمیایی با افزایش دما به صورت نمایی افزایش می‌یابد، باعث می‌شود تا با افزایش سرعت عکس‌العمل‌های شیمیایی، توان بالاتری از باتری گرفت. جریان بالاتر، تلفات اهمی بیشتری روی باتری ایجاد می‌کند و گرمای ایجاد شده باعث افزایش بیشتر دما می‌شود که می‌تواند شروع یک فیدبک مثبت دما باشد مگر اینکه سرعت خروج گرما یعنی خنک کردن باتری بیشتر از سرعت تولید گرما باشد.

هدف از انجام این پایان‌نامه طراحی کنترل کننده مناسب برای شارژ مطلوب و افزایش طول عمر باتری لیتیم یون با در نظر گرفتن محدودیت‌های حاکم بر باتری می‌باشد. رسیدن به این هدف مستلزم شناخت باتری و مدل‌های ارائه شده، شناخت پارامترهای تاثیر گذار بر شارژ باتری و محدودیت‌های موجود برای شارژ باتری لیتیم یون می‌باشد. در بحث مدل‌سازی، هدف تکمیل مدل‌های قبلی و یا بررسی درستی آن‌ها می‌باشد. با توجه به اهمیت کمینه کردن زمان شارژ و تلفات و کاهش بیشینه دمای باتری در زمان شارژ مسئله بهینه برای شارژ باتری تعریف خواهد شد. به دلیل غیر خطی بودن مدل باتری و ایجاد یک گزینه دیگر که به مدل وابسته نباشد کنترل کننده فازی برای شارژ باتری پیشنهاد شده است. هدف دیگر تعمیم جریان شارژ محاسبه شده برای یک سلول به چند سلول می‌باشد. همچنین لازم است که کنترل کننده شارژ، همواره به جنبه‌های عملی و اجرایی توجه شود مثلا جریان بهینه شارژ با در نظر گرفتن قیود پیاده‌سازی باید بدست آید.

۱-۳- مروری بر پیشینه‌ی پژوهش

برای اطمینان از اینکه باتری به صورت مطلوب عمل می‌کند، سیستم مدیریت باتری باید طوری طراحی شود تا سطح انرژی باتری را پایش و کنترل کند[1]. اهداف سیستم مدیریت باتری پایش، محاسبه، حفاظت و بهینه سازی است. تعیین حالت شارژ SOC[1] یکی از نیازهای مهم برای مدیریت باتری است[2]. تعیین دقیق حالت شارژ برای بهبود عملکرد باتری، تخمین طول عمر و جلوگیری از آسیب دائمی بسیار ضروری است[4] .

تعیین دقیق حالت شارژ باتری به دلیل غیر قابل اندازه‌گیری بودن آن ممکن نیست. حالت شارژ وابسته به عواملی از قبیل دما، جریان، ظرفیت باتری، مقاومت داخلی، عمر باتری، ولتاژ قطع و گذشته بهره‌برداری از

[1] SOC: State Of Charge

باتری می‌باشد[5]. حالت شارژ تابع غیر خطی از فاکتورهای ذکر شده است[6]. روش‌های مختلفی از قبیل تست دشارژ، استفاده از ولتاژ مدار باز، شمارش کولمب، شبکه‌های عصبی و فیلتر کالمن توسعه یافته برای تخمین حالت شارژ معرفی شده‌اند[7]-[11]. در میان روشهای موجود فیلتر کالمن به دلیل توانایی تخمین در زمان حقیقی نسبت به سایر روش ها کاربرد بیشتری دارد. در سالهای اخیر این فیلتر توسعه یافته و به منظور تخمین دقیق تر حالت شارژ از تطبیق نویز اندازه گیری و فرآیند نیز در آن استفاده شده که این نوع فیلتر کالمن AUKF[1] نامیده می‌شود. این فیلتر نه تنها امتیازات UKF[2] را دارد بلکه کواریانس نویز و اندازه گیری را تطبیق می‌دهد. به دلیل ساختار ساده مدل هیسترزیس باتری، الگوریتمAUKF نیاز به محاسبات اندکی دارد[12]. بنابراین تخمین بازگشتی حالت شارژ به سادگی انجام می شود. آزمایش نشان می‌دهدکه AUKF عملکرد خوبی برای تخمین SOC دارد. با مقایسه با EKF[3] و UKFمشخص می شود که AUKF بیشترین دقت را در تخمین SOC باتری لیتیم دارد. برای تخمین حالت شارژ در این پایان‌نامه از این روش استفاده شده است[17] .

مدل الکتروشیمیایی اساس ویژگی های الکتروشیمیایی، ترمودینامیکی و پدیده های انتقالی است[18]. این مدل شامل چندین معادله دیفرانسیل جزئی می‌باشد. بار محاسباتی این روش زیاد بوده و زمان مورد نیاز برای محاسبه از زمان لازم برای تخمین SOC بیشتر است. به کمک برخی مطالعات انجام شده بر روی الگوریتم‌های محاسباتی بهینه زمان محاسبه مساوی و یا کمتر از زمان تخمین SOC شده است. به هر حال این روش دارای محاسبات زیادی است که توسط کامپیوتر انجام می‌شود و برای کاربرد مستقیم در سیستم مدیریت باتری مناسب نیست.

مدل دیگری که برای باتری لیتیم یون استفاده می شود، مدل مدار معادل می باشد. مدل مدار معادل، مدل باتری را بر پایه خواص الکتروشیمیایی کاهش می‌دهد[19]. این مدل بر پایه تعدادی مقاومت و خازن توصیف می شود. مدل مدار معادل از مدل الکتروشیمیایی ساده تر و زمان اجرا به شدت کمتر می‌باشد. کنترل دما در باتری لیتیم یون بسیار مهم است. نگرانی عمده در کنترل دمای باتری لیتیم یون ، افزایش دما است که ممکن است باعث ایجاد گرمای بسیار بالا و تخریب باتری شود[19]. مدل‌سازی دما می‌تواند نقش کلیدی در کنترل دمای کار و یکنواختی دمای باتری لیتیم یون داشته باشد. مطالعات زیادی بر روی مدل‌سازی دمای باتری لیتیم یون شده است. یک روش برای محاسبه گرمای تولید شده بر پایه قوانین تعادل انرژی و روش

[1] AUKF: Adaptive Unscented Kalman Filter
[2] UKF: Unscented Kalman Filter
[3] EKF: Extended Kalman Filter

اختلاف سطح آنتالپی برای باتری لیتیم یون می‌باشد[20]. در سال‌های اخیر مدل دو بعدی و سه بعدی برای مطالعه رفتار دمایی باتری لیتیم یون توسعه یافته است[25]-[21]. ترکیب مدل مدار معادل با مدل دمایی می‌تواند رفتار باتری را به خوبی مدل نماید[28]-[25].

پارامترهایی که در طراحی سیستم شارژ باتری باید به آنها توجه شود عبارتنداز: ولتاژ ، دمای عملکرد و سیکل عمر[29]. تعدادسیکل کاری مفید باتری، یکی از ویژگیهای مهم باتری می‌باشد. سیکل عمر نه تنها به زمان شارژ بلکه به کنترل اضافه ولتاژ و روش شارژ وابسته می‌باشد. بایستی از روش‌هایی برای شارژ استفاده کرد که بازده بالا داشته و باتری را از شارژ و یا دشارژ اضافه حفاظت کند. روش‌های شارژ باید به‌گونه‌ای باشند که قابل پیاده‌سازی و اعمال به باتری باشند و زمان توقف شارژ را تعیین کنند تا از شارژ اضافه باتری جلوگیری شود. روش‌های مختلفی برای شارژ باتری لیتیم یون معرفی شده است[30]. این روش‌ها را می‌توان در سه دسته روش‌های شارژ مبتنی بر جریان ثابت-ولتاژ ثابت، روش‌های شارژ بهینه و استفاده از کنترل کننده فازی برای شارژ دسته بندی کرد[35]-[31].

روش های مبتنی بر جریان ثابت-ولتاژ ثابت[1] برای شارژ باتری گرچه ارزان و از لحاظ پیاده سازی راحت هستند اما از شرایط بهینه دور می باشند. در سالهای اخیر روی بهینه سازی شارژ باتری کار شده است[36]. در این پژوهش‌ها معمولا جریان بهینه و یا فرکانس بهینه برای شارژ باتری در زمان کمتر و طول عمر بیشتر تعیین می‌شوند. هدف الگوریتم بهینه در مرجع [37] حداقل کردن زمان با در نظر گرفتن حدود دما و جریان بوده و از مدل الکتروشیمیایی باتری لیتیم یون استفاده شده است. مسئله بهینه با تابع هزینه حداقل زمان شارژ و در نظر گرفتن حدود مجاز جریان و دما تعریف شده است. در این پژوهش باتری با جریان ماکزیمم تا رسیدن به دمای ماکزیمم، شارژ و پس از آن شارژ با جریانی کمتر ادامه یافته و دما بر روی دمای ماکزیمم ثابت شده و با رسیدن ولتاژ به مقدار نهایی، جریان صفر می‌شود. در این پژوهش به تلفات اهمی توجه نشده و حرارت ایجاد شده باعث افزایش بیشتر دما می‌شود. افزایش تعداد سلول‌ها، افزایش دما بیشتر بوده و باعث کاهش عمر باتری و یا سوختن باتری خواهد شد[39] .

علاوه بر روش‌های بهینه از کنترل کننده فازی نیز برای شارژ باتری استفاده می‌شود. مزیت این کنترل کننده عدم نیاز به مدل دقیق ریاضی می‌باشد[40].کنترل کننده فازی روشی مناسب برای شارژ سریع و ایمن باتری است. یکی از کارهای اخیر در زمینه طراحی کنترل کننده فازی طراحی الگوریتم شارژ ۵ پله‌ای برای جریان شارژ می‌باشد. ورودی این کنترل کننده افزایش دما و میزان تغییرات آن در واحد زمان و خروجی کنترل

[1] CC-CV: Constant Current-Constant Voltage

کننده جریان شارژ می‌باشد[41]. در این کنترل کننده به دمای باتری توجهی نشده و فقط میزان افزایش دما در نظر گرفته شده است[43].

۱-۴- کارهای انجام شده، نوآوری‌های پایان‌نامه

در این پایان‌نامه، کنترل کننده بهینه برای شارژ مطلوب باتری لیتیم یون طراحی شده است. به این منظور در ابتدا مدل باتری لیتیم برای شبیه‌سازی رفتار باتری در زمان شارژ و دشارژ بررسی شده است. در این پایان نامه از مدار معادل غیر خطی وترکیب آن با مدل دمایی[1] استفاده شده است. در این مدل به منظور تایید مدل استفاده شده، مدار معادل با مدل الکتروشیمیایی تطبیق داده شده است. در این راستا، پارامترهای رابطه بالتر-ولمر[2] به کمک جریان و دمای بدست آمده از مدار معادل و ترکیب آن با مدل دمایی تخمین زده شده است. پارامترهای محاسبه شده نسبت به مقادیر واقعی پارامترهای رابطه بالتر – ولمر خطای اندکی داشته و بدین وسیله تطبیق مدل مدار معادل و مدل الکتروشیمیایی اثبات شده است.

سپس به کمک مدل مدار معادل غیر خطی و ترکیب آن با مدل دمایی باتری لیتیم یون، کنترل کننده بهینه طراحی شده و جریان بهینه برای شارژ باتری لیتیم پیشنهاد شده است. استفاده از مدل مدار معادل به جای مدل الکتروشیمیایی باعث کاهش متغییرهای حالت و پیچیدگی مسئله بهینه می‌شود. در تابع هزینه کنترل کننده پیشنهادی علاوه بر زمان شارژ تلفات اهمی نیز در نظر گرفته شده است. کاهش تلفات می‌تواند بازده شارژ را بالا برده و گرمای تولید شده را کاهش دهد که باعث کاهش دمای بیشینه می‌شود. تلفات و زمان شارژ در تابع هزینه وزن‌دهی شده است با این کار می‌توان این امکان را به مصرف کننده داد تا شارژ سریع و یا شارژ با بازده بالا و کمترین بیشینه دما را انتخاب کند. در تعریف مسئله بهینه به حدود مجاز برای دما، جریان و ولتاژ توجه شده است. به منظور قابل پیاده‌سازی بودن جریان، مقدار جریان شارژ به چند سطح مشخص و ثابت جریان محدود می‌شود.

در ادامه کار پایان‌نامه یک کنترل کننده فازی برای شارژ باتری لیتیم یون طراحی شده است. حل مسئله بهینه و یافتن جریان مستلزم حل معادلات دیفرانسیل غیر خطی می‌باشد. با توجه به غیر خطی بودن مدل باتری لیتیم یون، استفاده از کنترل کننده فازی برای شارژ آن می‌تواند مناسب باشد. کنترل کننده فازی پیشنهادی، دما و حالت شارژ با توجه به اهمیت آن‌ها به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است. استفاده از دما به جای تغییرات آن این امکان را می‌دهد که تاثیر دمای محیط نیز در نظر گرفته شود چراکه مقدار جریان مجاز که

[1] A coupled nonlinear equivalent circuit -Thermal model for lithium ion cells
[2] The Bolter –Volmer Equation

می‌توان به باتری تزریق کرد با دما تغییر می‌کند. تغییرات ولتاژ با رسیدن حالت شارژ به ۷۰ %بسیار اندک و در حدود چند صدم می‌باشد، به همین دلیل از حالت شارژ به عنوان ورودی دوم کنترل کننده فازی استفاده شده تا دقت کنترل کننده افزایش یابد. مزیت دیگر استفاده از تخمین حالت شارژ برای باتری لیتیم متشکل از چند سلول می‌باشد. در این حالت باتری بر اساس سلولی که کمترین حالت شارژ را دارد، شارژ می‌شود.

۱-۵- روند ارائه مطالب

در فصل دوم پایان‌نامه پیشینه پژوهش و کارهای انجام شده در زمینه مدل‌سازی، تخمین حالت شارژ و روش‌های شارژ باتری لیتیم یون ارائه خواهد شد. در فصل سوم، ابتدا مدل مدار معادل غیر خطی و مدل الکتروشیمیایی توضیح داده شده و در ادامه پارامترهای مدل الکتروشیمیایی به کمک مدل مدار معادل محاسبه شده است. پس از آن با استفاده از مدل مدار معادل غیر خطی و ترکیب آن با مدل دمایی مسئله بهینه برای تعیین جریان شارژ باتری تعریف شده است. مسئله بهینه قیود عملی از قبیل حدود جریان، دما و ولتاژ در نظر گرفته شده است. مسئله بهینه برای باتری متشکل از چند سلول تعمیم داده شده است. در فصل چهارم روند طراحی کنترل کننده بهینه و نتایج شبیه‌سازی آورده شده است. در فصل پنجم، کنترل کننده فازی برای شارژ باتری لیتیم یون پیشنهاد شده است. در این فصل مراحل طراحی این کنترل کننده و نتایج شبیه‌سازی آن برای باتری لیتیم یون آورده شده است. و در فصل آخر نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای ادامه کار بیان شده است.