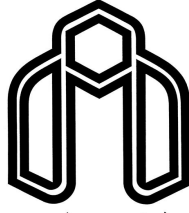


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کنترل

## مانیتورینگ و تخمین عیب سنسور در باتری صنعتی

نگارنده : جواد بزرگمهر

استاد راهنما :

دکتر محمد علی صدرنیا

شهریور ۱۳۹۶

شماره ۵۰۸۳۰۳  
تاریخ: ۱۴۰۲/۰۶/۱۴

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای جواد بزرگمهر با شماره دانشجویی ۹۴۰۳۶۵۴ رشته مهندسی برق کنترل گرایش کنترل تحت عنوان: مانیتورینگ و تخمین عیب سنسور در باتری صنعتی که در تاریخ ۱۳۹۶/۰۶/۱۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: <u>خیوب</u> )	<input checked="" type="checkbox"/>
مردود	<input type="checkbox"/>
نوع تحقیق: نظری	<input checked="" type="checkbox"/>
عملی	<input type="checkbox"/>

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر امیرنیا	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	_____	_____	_____
۳- استاد مشاور	_____	_____	_____
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر حداد زعفرانی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر علی زارعی	رئیس	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر ابراهیمی	رئیس	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که:

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگار بهترین پشتیبانم  
است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

تقدیم به همسرم که:

که صبورانه دوشادوشم حرکت کرد و از هیچ کمکی دریغ نوزید تا به سر منزل مقصود رسیدم



با سپاس از:

استاد ارجمند جناب آقای دکتر صدرنیا که در انجام این پایان نامه همواره از راهنمایی‌های

ارزنده ایشان بهره مند گردیده‌ام.

## تعهد نامه

اینجانب **جواد بزرگمهر** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق (کنترل) دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مانیورینگ و تخمین عیب سنسور در باتری صنعتی تحت راهنمایی دکتر صدرنیا متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

## چکیده:

باتریهای صنعتی کاربردهای متنوعی دارند و از اهمیت بالایی در صنایع مختلف برخوردار می‌باشند. در این پایان نامه ابتدا به بررسی اهمیت پایش وضعیت باتری صنعتی BMS<sup>۱</sup> پرداخته شده است. در ادامه اجزا و زیرساخت کلی یک سیستم پایش وضعیت باتری بررسی می‌شود و به تفاوت‌های بین سیستم پایش باتری و سیستم پایش UPS<sup>۲</sup> اشاره می‌گردد، اما سیستم‌های پایش وضعیت باتری نمی‌توانند عیب باتری را تخمین و پیش بینی نمایند. در این پایان نامه، ابتدا سه نحوه مدل‌سازی الکتریکی از باتری صنعتی بیان می‌شود، سپس یک بردار عیب در لحظه ای خاص، به مقاومت درونی مدل باتری اعمال و به ورودی اضافه شده می‌گردد تغییر در مقاومت درونی باعث رخداد یک عیب در باتری می‌شود. این تست در حالت‌های مختلف از لحاظ تعداد بردار عیب، مقدار و نیز اعمال اغتشاش در ورودی تکرار می‌شود. همچنین تاثیر سیگنال اغتشاش به ورودی بررسی شده است. جهت تشخیص عیب باتری از مشاهده گر لونبرگر<sup>۳</sup> و آموختنی LO<sup>۴</sup> استفاده گردید. در نهایت نتایج عملکرد مشاهده گر LO بر یک سیستم غیرخطی نمایش داده شده است و فواید استفاده از این مشاهده گر جهت تشخیص عیب بیان می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** باتری صنعتی، سیستم پایش باتری، تشخیص عیب، مشاهده گر لونبرگر و

مشاهده گر LO.

---

۱-Battery monitoring system  
۲-Uninterruptible power supply  
۳-Luenberger observer  
۴-Learning observer

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول:
۲-۱-۱	مقدمه:.....
۸-۱-۲	مقدمه.....
۸-۲-۲	مزایای پایش باتریها.....
۱۰-۳-۲	چگونگی کارکرد سیستم پایش باتری.....
۱۱-۴-۲	تفاوت بین سیستم پایش باتری و سیستم پایش UPS.....
۱۲-۱-۴-۲	امکان رویت اطلاعات UPS ها در نرم افزار:.....
۱۳-۵-۲	معرفی تجهیزات اساسی سیستم BMS.....
۱۳-۱-۵-۲	ماژول حسگر جمع آوری اطلاعات:.....
۱۳-۲-۵-۲	ماژول حسگر جمع آوری اطلاعات جریان:.....
۱۳-۳-۵-۲	واحد کنترل:.....
۱۶-۱-۳	مقدمه.....
۱۶-۲-۳	مشاهده گر لونبرگر:.....
۱۷-۳-۳	مشاهده گر LO :.....
۲۲-۱-۳-۳	تخمین و تشخیص و جبران سازی عیب:.....
۲۳-۴-۳	بررسی عملکرد روش مشاهده گر LO در سیستم غیر خطی:.....
۲۳-۱-۴-۳	سیستم غیر خطی همراه با اغتشاش ورودی:.....
۲۶-۲-۴-۳	نتایج شبیه سازی در حضور عیب و نویز در ورودی:.....
۲۹-۳-۴-۳	خصوصیات مانده ها:.....
۳۲-۱-۴	مقدمه.....
۳۲-۲-۴	مدل فضای حالت باتری لیتیومی:.....
۳۵-۳-۴	تشخیص عیب دو روش لونبرگر و LO در مدل باتری لیتیوم یون:.....
۳۹-۱-۳-۴	تشخیص و تخمین و جبران سازی عیب با بکارگیری LO: (ارتقا یافته).....

۴۱	.....:مدل باتری در سیمولینک: ۴-۴-۴
۴۱	.....:باتری نیکل-هیدرید: ۴-۴-۱
۴۲	.....:مدل باتری لیتیوم یون: ۴-۴-۲
۴۳	.....:LO: ۴-۴-۱-۲-۱ استقرار یک مشاهده گر حالت
۴۵	.....:SOC:مدل باتری سرب اسید AGM بر اساس تغییر پارامتریک المانها بر حسب
۴۷	.....:LO: ۴-۵-۱ تشخیص خطا (عیب) با استفاده از مشاهده گر حالت
۵۰	.....:نتیجه گیری: ۵-۱-۱
۵۱	.....:پیشنهادات: ۵-۲-۲
۴۵	.....:مراجع

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۲): تست سیستم جهت اندازه گیری ادمیتانس باتری [9].....	۱۱
شکل (۲-۲): سیستم پایش UPS [10].....	۱۲
شکل (۳-۲): سامانه پایش باتری [9].....	۱۲
شکل (۱-۳): فرآیند دینامیکی جبرانسازی خطا.....	۲۳
شکل (۲-۳): خطای حالت خروجی $y_2, y_1$ .....	۲۵
شکل (۳-۳): رویت اغتشاش در پارامتر ورودی $V$ و مقایسه آن با سیگنال اغتشاش.....	۲۵
شکل (۴-۳): مقدار واقعی $x_2$ و مقدار خطای حاصله (نمودار وسط) و مقدار تخمینی $x_2$ .....	۲۶
شکل (۵-۳): مقدار واقعی و تخمینی $y_2$ .....	۲۷
شکل (۶-۳): مقدار واقعی و تخمینی $y_1$ .....	۲۷
شکل (۸-۳): رویت خطاهای تشخیص داده شده در پارامتر ورودی $V$ .....	۲۸
شکل (۹-۳): رویت خطاهای مانده‌های ساختاری [16].....	۳۰
شکل (۱۰-۳): مانده‌های جهتی [16].....	۳۰
شکل (۱-۴): مدار معادل عمومی یک باتری.....	۳۲
شکل (۳-۴): تامین SOC و I از یک مدار باتری.....	۳۵
شکل (۴-۴): مقایسه تشخیص عیبها در خروجی یک و دو و سه مشاهده گر LO و لونبرگر.....	۳۷
شکل (۵-۴): تشخیص عیبها در خروجی یک و دو و سه مشاهده گر LO، در ورودی $V$ .....	۳۸
شکل (۶-۴): رویت عیب در خروجی شماره ۱، شماره ۲، شماره 3 از طریق متغیر $V$ .....	۴۰
شکل (۷-۴): خطاهای خروجی پس از اعمال جبران‌ساز.....	۴۱
شکل (۸-۴): مدار باتری نیکل-هیدرید.....	۴۲
شکل (۹-۴): مشخصه ولتاژ ترمینال باتری و SOC یک باتری نیکل-هیدرید.....	۴۲
شکل (۱۰-۴): ولتاژ ترمینال باتری.....	۴۳
شکل (۱۱-۴): استقرار یک مشاهده گر LO در مدار باتری لیتیوم یون.....	۴۴
شکل (۱۲-۴): تشخیص خطای باتری از نوع لیتیوم یون.....	۴۵

- شکل (۴-۱۳): شکل باتری AGM مدل PVX-890T ..... ۴۵
- شکل (۴-۱۵): مقدار تغییر ظرفیت خازن ..... ۴۷
- شکل (۴-۱۷): خروجی ترمینال با وجود اغتشاش در منبع ورودی ..... ۴۸

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۳۳.....	جدول (۱-۴) اختصاصات سلول باتری
۴۷.....	جدول (۲-۴): مقادیر پارامترهای الکتریکی



# فصل اول

## مقدمه

## ۱- مقدمه:

تامین برق اضطراری ایمن سیستم‌های حساس و مهم کنترل و مخابرات در نیروگاهها، صنایع نفت و گاز و آب و مترو و دیگر صنایع ضروری می‌باشد. باتری به عنوان یک جز اصلی در سیستم برق اضطراری نقش مهمی دارد. صرفنظر از اینکه سیستم تامین برق اضطراری UPS یا شارژر یا دیزل ژنراتور باشد و بهره برداری UPS با قابلیت اکتیو یا پسیو یا پیوسته باشد، باتری یک جز مهم و ضروری این ساختار را تشکیل می‌دهد. کارکرد اصلی منابع تغذیه بدون وقفه UPS بدون تامین سطح ولتاژ از باتری‌ها امکان پذیر نیست. به طوری که اگر یکی از باتری‌ها در یک مدار سری مشکل داشته و معیوب گردد، قطعاً در مدار بر باتری‌های دیگر نیز اثر گذاشته و باعث خرابی در دیگر باتری‌های متصل می‌گردد و در نهایت در زمان قرارگیری منبع تغذیه بدون وقفه روی مدار باتری، باعث می‌شود که کارکرد مناسب وجود نداشته و مجموعه باتری‌ها نتوانند برق اضطراری را تامین نماید. از اینرو ضرورت سیستمی که بتواند وضعیت باتری را پایش نماید احساس می‌شود. سیستم پایش باتری‌ها و پایش بینی خرابی باتری جای خود را در دنیا به عنوان یکی از سامانه‌های مهم باز نموده است. باتوجه به کاربرد فراگیر باتری در تمامی سطوح مراکز کنترل و تصمیم‌گیری، استفاده از آن در صنایع مختلف اعم از مخابرات، پتروشیمی، نفت، آب، نیروگاه، کشتی‌ها و سیستم‌های حمل و نقل بخصوص حوزه ریلی حتمی می‌باشد. به عنوان نمونه در صنعت ریلی جهت هر سیستم پست‌های برق، مخابرات، سیگنالینگ و روشنایی یک باتری‌خانه اختصاصی وجود دارد. جهت هر رام قطار مترو یک پکیج باتری مجزا موجود است. قطعاً وجود این سامانه پایش، سیستم را از انجام تست ظرفیت یا تعویض الکترولیت جهت نگهداری و تعمیرات بی‌نیاز نمی‌نماید اما مزایای ویژه‌ای در پایش و تشخیص خرابی و کاهش عملیات نگهداری و تعمیرات دارد و به کاهش زباله های الکتروشیمیایی مضر محیطی نیز کمک می‌نماید[1]. یکی از وظایف سیستم مدیریت باتری، پایش سلامت در دوره‌های زمانی، شناسایی و

تخمین عیب است [2]. از جمله موارد دیگر، تخمین حالت سلامت SOH<sup>۵</sup> و حفاظت از جریان بیش از حد و ولتاژ زیر یا بیش، که اساساً بستگی به اندازه‌گیری‌های حسگر ولتاژ و جریان دارد. در بخش اول این پایان‌نامه به بررسی اهمیت پایش باتری و پردازش اطلاعات توسط سامانه جدید BMS پرداخته شده است، همچنین به تفاوت‌های بین سیستم پایش باتری و سیستم پایش UPS اشاره شده است. سپس به تشریح زیرساخت ارتباطی، نصب و راه‌اندازی سامانه پایش باتری محصولات تولیدی در دنیا پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه سامانه BMS تنها به جمع‌آوری اطلاعات می‌پردازد و هیچ تحلیلی در خرابی و نقص باتری در زمان ارائه نمی‌کند. در بخش دوم به بررسی استقرار مشاهده‌گر حالت در کنار مدل باتری جهت تشخیص عیب ناشی از نقص و تغییر مقاومت باتری می‌پردازیم. اگر بخواهیم به تاریخچه و پیشینه موضوع بپردازیم در ابتدا یک پیکربندی سری باتری‌ها پیشنهاد شد، همچنین سابقه اطلاعات امپدانس باتری جهت پیش‌بینی رخداد عیب آتی بدست آورده شد، ایده اصلی در این مورد تعیین پارامترها و نمایش SOH باتری برای بکارگیری مشاهده‌گرها و روش‌های دیگر تخمین می‌باشد. از جمله این موارد تهیه سیستم شناسایی برای بسته باتری سرب اسید جهت مشاهده تغییرات منحنی شارژ و دشارژ می‌باشد [1]. همچنین پیشنهاد داده شد یک طرح FDI<sup>۶</sup> برای مدیریت سیستم باتری لیتیوم یون با رویکرد معادلات جفتی غیرخطی اجرا شود که از یک مشاهده‌گر پسو متناظر با سیگنال‌های ورودی و خروجی سیستم برای تشخیص عیب استفاده می‌کند [2]. در مهندسی کنترل برای پیاده‌سازی طرح تشخیص عیب از روش‌های مختلفی استفاده شده است جهت تشخیص عیب در باتری لیتیومی نیز راه‌حل‌های متنوعی ارائه شده است، که مهم‌ترین این روش‌ها استفاده از فیلتر کالمن، بکارگیری مشاهده‌گر حالت لونیون و نیز روش‌های دیگر نظیر آنالیز درختی می‌باشد. یک بانک از مشاهده‌گر لونیون برای تشخیص مقاومت درونی باتری تحت شرایط عاری از نویز بکار برده شد اما با وجود نویز، ممکن است با چالش‌هایی برای رسیدن به پاسخ مطلوب مواجه شود [3].

---

<sup>۵</sup>-State of health

<sup>۶</sup>-Fault detection and isolation ■

یکی از راه حل‌های ممکن دیگر برای این مسائل، طراحی شناسایی خطای مقاوم می‌باشد، بنابراین مانده‌های تشخیص عیب تنها به خطاها (عیوب) زمانی حساس هستند، که غیرحساس به نامعینی‌ها باشند. یک طرح تشخیص خطای مقاوم فرمول فیلترینگ  $H_{\infty}$  می‌باشد [4]. این ایده برای تضعیف اثر نامعینی روی مانده تشخیص عیب در یک سطح خاص با طراحی دقیق فیلتر  $H_{\infty}$  و پارامترهای مربوطه محقق می‌شود [5]. روش مشاهده گر  $S^{MO}$  یکی دیگر از روش‌های تشخیص خطای مقاوم است.  $S^{MO}$  برای تشخیص خطاها با وجود نامعینی‌ها لازم و ضروری است، این مشاهده گر به هر جهت به خطاهای مقدماتی ناشی از چترینگ حساس نیستند و می‌توانند سیگنال‌های خطا را بازسازی نمایند [6]. مشاهده گر ورودی ناشناخته  $U^{IO}$  نیز هنوز ابزاری برای تشخیص خطای مقاوم می‌باشد  $U^{IO}$  همچنین جهت تخمین و جداسازی خطاهای لحظه‌ای پیشنهاد می‌شود [7]. در این پایان نامه از روش مشاهده گر حالت لوبرگر و مشاهده گر LO استفاده شده است، که برای تخمین نمونه ولتاژ سلول باتری بکار برده می‌شود. بنابراین یک طرح تشخیص عیب باتری برای تضمین ایمنی و افزایش عمر باتری ایجاد می‌کند. مدل باتری بر اساس تکنیک مدار معادل ایجاد می‌شود. علائم عیب در شکل تغییر پارامتر الکتریکی به صورت پایه تشخیص استخراج می‌گردد [1]. مشاهده گر یا فیلتر حالت، مانده تشخیص عیب ایجاد می‌کند. زمانیکه هیچ آلامی وجود ندارد، مانده ظاهر شده صفر یا کمتر از آستانه طراحی شده می‌باشد. اگر مانده از آستانه‌اش تجاوز نماید یک آلام اعلام می‌شود. نامعینی‌ها و عیب‌ها اغلب در سیستم‌های عملی کوپل می‌شود که شناسایی را سخت می‌کنند [5]. از جمله مشخصات یک باتری ظرفیت باتری است. با توجه به اینکه باتری از جمله تجهیزاتی است که به علت طبیعت خود امپدانس متغیری در طول زمان دارد، باعث ایجاد نمودارهای متفاوتی در نرخ شارژهای متفاوت می‌گردد. برای باتری صنعتی، سه مدل ارائه می‌شود، مدل فضای حالت، مدل ارائه شده در کتابخانه سیمولینک نرم افزار مطلب و مدلی که از تجربه و آزمایش برای یک نوع باتری بدست آمده است. در

---

<sup>y</sup>-Sliding Mode Observer

<sup>^</sup>-Unknown Input Observer

مدل فضای حالت یک بردار نقص از تغییر مقاومت داخلی به صورت پالس وارد می‌شود و تشخیص نقص باتری، با دو مشاهده گر حالت لونبرگر و LO مشاهده می‌گردد، همچنین فرآیند مذکور تشخیص نقص، با استقرار یک مشاهده گر LO روی مدل پیشنهادی سیمولینک باتری صنعتی لیتیوم یون تست می‌شود و نتایج، مشاهده و بررسی می‌گردد. مدل دیگر یک باتری اسید سربی است، که تحت آزمایش پارامترهای مختلف و مدل الکتریکی آن معین شده است و با استقرار یک مشاهده گر LO خطای لحظه‌ای تشخیص داده می‌شود. مشاهده گر ILO<sup>۹</sup> اختصاراً مشاهده گر LO نامیده می‌شود.

---

<sup>۹</sup>-Interactive learning observer



# فصل دوم

## سیستم پایش باتری

## ۲-۱- مقدمه

سیستم پایش باتری BMS به راه حلی جامع و کامل برای اندازه‌گیری و ثبت پارامترهای مختلف و اعلام مشکلات گوناگون باتری‌ها به صورت لحظه‌ای و ارائه آن‌ها به صورت اطلاعات گرافیکی گفته می‌شود. کاهش شدید هزینه‌های تعمیر و نگهداری، زمان‌های بازرسی و از بین رفتن خسارت‌های ناشی از عدم عملکرد سیستم در لحظه‌های بحرانی از مزایای این سامانه است. با پیاده سازی این سیستم، باتری‌های معیوب پیش از آسیب رساندن به بانک باتری و سیستم باتری‌خانه به سرعت جایگزین شده و هیچ گونه نگرانی از بابت عدم عملکرد باتری‌خانه در شرایط بحرانی وجود نخواهد داشت. یکی از کاربردهای مهم باتری‌خانه در پست‌های برق می‌باشد، که وظیفه تامین تغذیه DC به منظور عملکرد رله‌های حفاظتی و تامین روشنایی اضطراری را بر عهده دارد و کارکرد صحیح آن در زمان بهره‌برداری عادی و اضطراری حائز اهمیت است. بروز هر گونه اختلال در ولتاژ DC می‌تواند موجب ایجاد صدمات شدیدی شود. سیستم BMS یک وسیله کنترل هوشمند صنعتی است، که داده‌ها را از هر حسگر باتری و حسگر جریان مدار مجموعه باتری‌ها، جمع‌آوری نموده، ذخیره و تحلیل می‌نماید و آن را به سیستم‌های دور از خود انتقال می‌دهد.

## ۲-۲- مزایای پایش باتری‌ها

وجود این سامانه نمی‌تواند باتری‌ها را از نگهداری دوره‌ای بی‌نیاز نماید، اما می‌تواند دوره نگهداری را افزایش دهد و وجود عیب را اعلام نماید. هر باتری و به تبع آن کل سیستم از پایش دقیقی در طول زمان بهره‌مند خواهد شد با استفاده از اطلاعات موجود می‌توان پیش‌بینی از نقص باتری و کنترل مناسبی نیز روی هر سل آن داشت. سیستم پایش باتری BMS، از راه دور آلام‌های خرابی را مدیریت می‌نماید. این سیستم براساس تکنولوژی پیشرفته که تست امپدانس نامیده می‌شود DSP<sup>۱۰</sup>

---

<sup>۱۰</sup>-Digital signal processing



را بکار می‌گیرد و براساس پروتکل‌های ارتباطی، جمع‌آوری اطلاعات یکپارچه را برای سامانه پایش باتری در یک مدیریت شبکه عریض تسهیل می‌نماید [8]. به برخی از مزایای سیستم پایش باتری در ذیل اشاره می‌شود:

۱. محاسبه دقیق تغییرات حالت ولتاژ، جریان، دما و ماکزیمم زمان در حال کار تجهیزات.
۲. اندازه‌گیری تناوبی و جمع‌آوری پارامترهای عملیاتی و ضبط مقادیر، پردازش اطلاعات، پیش‌بینی و ارزیابی نتایج.
۳. شناسایی باتری‌های ضعیف یا سلول‌های مشکل‌دار قبل از رخداد عیب، بهبود در عملکرد بانک باتری و کاهش خوابیدگی و ضایعات باتری.
۴. کاهش چک لیست‌های نگهداری و تعمیرات، اجرای پایش دوره‌ای و در نتیجه کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات.
۵. ریسک خاموشی سیستم رفع می‌گردد و از تعمیرات اضطراری، به نگهداری پیشگیرانه رجوع می‌شود.
۶. ایجاد آلام صوتی و تصویری تشخیص حالت و ضبط آن.
۷. حداقل سازی تعویض اضطراری باتری.
۸. پایش سیستم از راه دور که در وقت صرفه جویی می‌نماید.
۹. باتری‌های خراب بوسیله تست امپدانس باتری انتخاب می‌شود.

## ۲-۳- چگونگی کارکرد سیستم پایش باتری

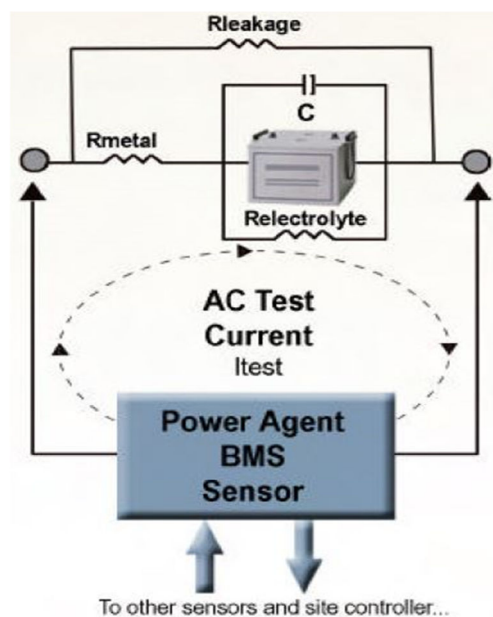
یک باتری اسید سربی می‌تواند از یک مدار معادل با سه مقاومت تشکیل شود. مقاومت محدود کننده جریان ( $R$  الکترولیت) که به شیمی باتری نسبت داده می‌شود. و قتیکه سیستم به هیچ باری متصل نشده است، مقاومت محدود کننده جریان ( $R$  اتصالات فلزی) و مقاومت دشارژ خودی ( $R$  نشتی)، باعث می‌شود سیستم مقداری شارژ از دست بدهد. ادمیتانس باتری مرکب از اندازه‌گیری تمام مقاومت‌های داخلی و شامل ظرفیت خازنی ظاهری می‌باشد (شکل ۲-۱). هر ماژول حسگر یک سیگنال تست AC سینوسی به طور دیجیتالی آمیخته، تولید می‌کند. که از ترمینال‌های باتری می‌گذرد، بدین ترتیب ادمیتانس باتری را اندازه‌گیری می‌کند یک کنترلر (واحد کنترل) با هر ماژول حسگر مرتبط می‌گردد تا اندازه‌گیری ادمیتانس و ولتاژ باتری و دمای ارسالی را جمع‌آوری نماید [9]. تعدادی از تولیدکنندگان ویژگی منحصری جهت بالانس ولتاژ در سیستم مدیریت باتری تعبیه نموده‌اند. یک فرآیند بالانس ولتاژ به طور کلی ولتاژ هر باتری را تصحیح و مدیریت می‌نماید. بعلاوه مقادیر محیطی (دمای محیط، غلظت گاز هیدروژن و مقادیر دیگر تجهیزات نظیر شارژ و UPS را نیز مدیریت می‌نماید. بطوری‌که ولتاژ از شارژر یا UPS به طور مساوی به تمام باتری‌ها توزیع خواهد شد. کنترل شارژ و دشارژ فعال هر باتری در طول فرآیند بالانس<sup>۱۱</sup>، اکولایز<sup>۱۲</sup> و اندازه‌گیری حالت حقیقی باتری از طریق ماژول حسگر انتقال داده می‌شود، که روی هر باتری قرار می‌گیرد. سیستم پایش باتری ولتاژهای هر باتری را جداگانه می‌خواند و آنها را با ولتاژ واقعی مقایسه می‌کند. اگر ولتاژ باتری از مقدار هدف متوسط منحرف شود، این بالانس از کاهش شارژ یا افزایش شارژ جلوگیری می‌کند. ولتاژ باتری شارژ و ولتاژ نهایی بوسیله حذف جریان بهبود می‌یابد، تا از اضافه شارژ و توسعه گاز جلوگیری نماید و اگر این ولتاژ کمتر باشد، جریان اضافی را فراهم می‌کند تا اینکه شارژ شناور بهینه بدست آید. سیستم در هنگام اضافه ولتاژ تک تک باتری‌ها متوقف می‌شود و در مورد باتری‌هایی که به شارژ عمقی بروند

---

۱۱-Balance

۱۲-Equalize

هشدار می‌دهد. اکنون با توجه به این سیستم، خرابی باتری‌های ضعیف ناشی از شارژ زیاد یا شارژ عمقی مورد توجه قرار گرفته و از این مسئله جلوگیری خواهد شد. در این سیستم مسئله سولفات‌شدن نیز بخاطر عدم شارژ کامل باتری در حالت آماده به کار، به حداقل می‌رسد [9]



شکل (۱-۲): تست سیستم جهت اندازه‌گیری ادمیتانس باتری [9]

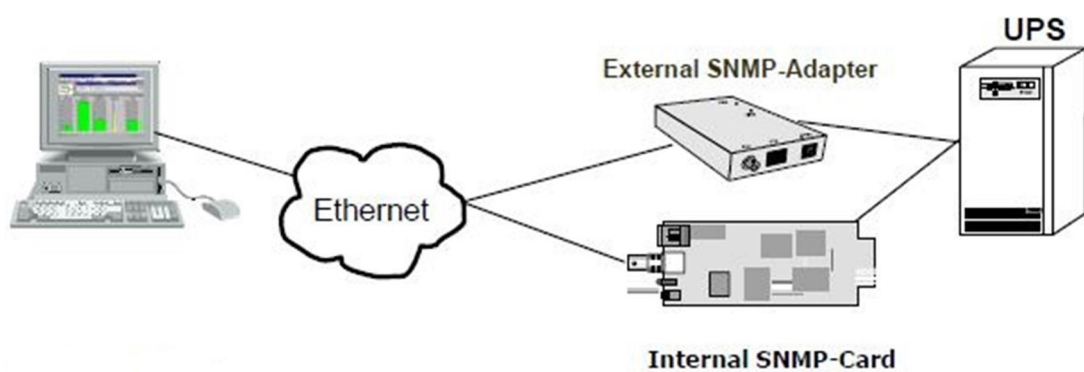
پارامترهای اندازه‌گیری شامل: ولتاژ باتری، مقاومت باتری، اندازه‌گیری مقاومت داخلی، دمای محیط، دمای داخلی هر باتری، جریان شناوری باتری، شاخص سلامت باتری و ریپل AC می‌باشد.

## ۲-۴- تفاوت بین سیستم پایش باتری و سیستم پایش UPS

در این قسمت زیر ساخت پایش UPS ها و سامانه پایش باتری مقایسه می‌شود. پایش و رویت اطلاعات پارامترهای UPS از روش‌های مختلف امکان پذیر است، هر UPS دارای پنل اپراتوری می‌باشد، که امکان رویت پارامترهای ظاهری و نیز امکان اعمال تنظیمات UPS وجود دارد [10].

## ۲-۴-۱ امکان رویت اطلاعات UPS ها در نرم افزار:

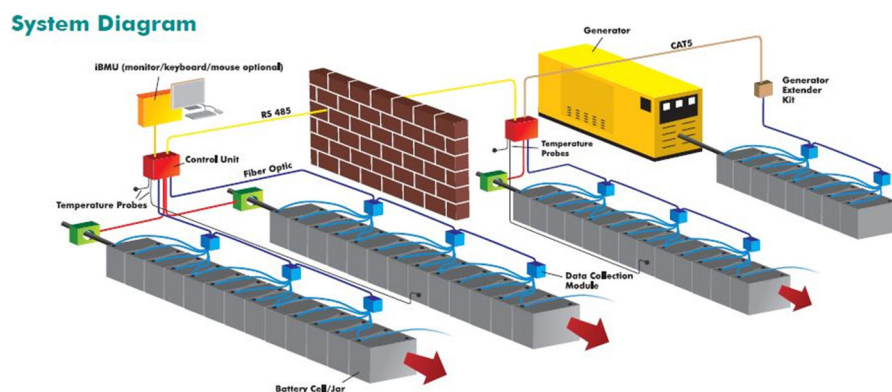
تعدادی از برندهای تولیدی UPS، برنامه کاربردی مخصوص به UPS خود را تولید نموده‌اند، که می‌توان اطلاعات پارامترهای اندازه‌گیری را در آن رویت نمود. در هر دستگاه UPS یک کارت SNMP<sup>۱۳</sup> همانند شکل (۲-۲) مخصوص به خود نصب می‌باشد، که وظیفه انتقال اطلاعات از طریق پورت مربوط را دارد. با وصل سیستم به بستر مخابراتی اطلاعات به سرور مرکزی UPS منتقل می‌شود و امکان استفاده جهت کلاینت‌های متصل به سرور وجود دارد [10], [11].



شکل (۲-۲): سیستم پایش UPS [10]

جهت ایجاد پایش باتری‌ها زیر ساختی همانند شکل (۲-۳) پیاده سازی می‌شود

که اجزا آن در قسمت ۲-۵ توضیح داده می‌شود.



شکل (۲-۳): سامانه پایش باتری [9]

۱۳-Simple Network Management Protocol

## ۲-۵- معرفی تجهیزات اساسی سیستم BMS

### ۲-۵-۱- ماژول حسگر جمع آوری اطلاعات:

این ماژول روی هر باتری قرار گرفته و به ترمینال‌های مثبت و منفی متصل می‌شود. ادمیتانس داخلی باتری، ولتاژ ترمینال باتری و دمای داخلی باتری را اندازه‌گیری می‌کند و اطلاعات نمونه برداری را برای واحد کنترل ارسال می‌نماید. همچنین مهم‌ترین اطلاعات (ولتاژ، دمای داخلی، جریان و مقاومت داخلی) را ذخیره می‌نماید. اطلاعات در سطح حسگر از یک ماژول به ماژول دیگر نصب شده روی باتری مجاور به طور سری منتقل می‌شود.

### ۲-۵-۲- ماژول حسگر جمع آوری اطلاعات جریان:

این ماژول در انتهای هر مجموعه سری از باتری‌ها قرار گرفته و جریان عبوری را اندازه‌گیری و اطلاعات نمونه برداری را برای واحد کنترل ارسال می‌کند، همچنین اطلاعات را بنا به انتخاب کاربر ذخیره می‌نماید.

### ۲-۵-۳- واحد کنترل:

اطلاعات ماژول‌های حسگر را جمع‌آوری می‌کند و به سرور مرکزی ارسال می‌نماید. مقادیر اندازه‌گیری را چک نموده و آلام‌های آستانه تغییرات را ضبط می‌نماید. می‌توان از طریق پروتکل‌های شبکه <sup>۱۴</sup>SMTP،SNMP،<sup>۱۵</sup>TELNET،<sup>۱۶</sup>HTTP،<sup>۱۷</sup>UDP،<sup>۱۸</sup>TCP به آن متصل شد. ممکن است ارسال پیامک و ایمیل نیز روی آن تنظیم گردد. داده‌ها جهت رویت و پردازش به سرور مرکزی ارسال می‌گردد [9],[11].

---

۱۴-Simple Mail Transfer Protocol  
۱۵-Teletype Network  
۱۶-Hypertext transfer protocol  
۱۷-User Datagram Protocol  
۱۸-Transmission Control Protocol



# فصل سوم

الگوریتم مشاهده گر لونبرگر و

مشاهده گر LO

### ۳-۱- مقدمه

اگر  $S$  سیستم مفروضی و  $\hat{S}$  یک مشاهده گر سیستم  $S$  باشد، هدف یک مشاهده گر  $\hat{S}$  تخمین حالت دینامیک سیستم  $S$  با بکارگیری تنها ورودی و خروجی اندازه گیری شده می باشد. اگر درجه  $\hat{S}$  با درجه  $S$  برابر باشد درجه کامل می باشد، اگر درجه  $\hat{S}$  کمتر از درجه مشاهده گر  $S$  باشد، درجه مشاهده گر کاهش یافته می باشد. از یک مشاهده گر درجه کامل می توان مانده خروجی را تولید نمود. که اختلاف بین مقدار خروجی اندازه گیری سیستم  $S$  و مقدار متناظر تولیدی به وسیله مدل  $\hat{S}$  بیان می شود [12]. جهت تخمین مانده، راه های گوناگونی وجود دارد. استفاده از مدلغزشی یک روش تشخیص عیب مقاوم می باشد، که برای تشخیص عیب با وجود نامعینی ها موثر است. لیکن آن حساس به بعضی عیب ها نیست. مشاهده گر ورودی ناشناخته ابزار دیگر تشخیص عیب است که آن برای جداسازی و تخمین عیب لحظه ای پیشنهاد نمی شود [5]. در حالت کلی طراحی مشاهده گر  $LO$  و مشاهده گر شبکه های عصبی پیچیده است، که کاربری آن را محدود می کند. تقریب  $LO$  جهت تشخیص و تخمین عیب بکار می رود. خصوصیت اصلی آن این است که می تواند هر دو عیب اغتشاش و عملگر را جبران نماید. به علاوه هر اغتشاش خروجی که معمولاً بوسیله یک مشاهده گر لونبرگر کلاسیک می تواند تقویت یابد، با مشاهده گر  $LO$  تقلیل می یابد.

### ۳-۲- مشاهده گر لونبرگر:

واضح ترین تقریب برای تخمین حالت، سیستم شناخته شده ذیل می باشد:

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t) \quad (1-3)$$

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu(t) \quad (2-3)$$

در معادله شماره 2-3،  $\hat{x}$  یک تخمین حالت از سیستم اصلی  $x$  می باشد. اختلاف عیب حالت به

صورت ذیل با معادله 3-3 محاسبه می شود [13]:

$$\dot{e} = [\hat{x} - \dot{x}] = [A - LC][\hat{x}(t) - x(t)] = [A - LC]e(t) \quad (3-3)$$



رفتار دینامیکی می تواند با تنظیم بهره مشاهده گر انجام شود. اگر ماتریس  $A$  هورویتز باشد (تمام مقادیر ویژه در سمت چپ صفحه باشد) پس عیب به صفر میل می کند. به عبارت دیگر اگر هر مقدار ویژه  $A$  قسمت حقیقی مثبت داشته باشد، یک عیب اولیه غیر صفر منجر به عیبی می شود که به بی-نهایت میل می کند [12]. اکنون سیستم شماره 3 - 4 با ورودی  $u$  و خروجی  $y$  را در نظر بگیرید [13]:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax(t) + Bu(t) & x(0) &= 0 \\ y &= Cx(t) \end{aligned} \quad (4 - 3)$$

معادله فضای حالت مشاهده گر لونبرگر به صورت زیر بدست می آید:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= (A - LC)\hat{x}(t) + Bu(t) + Ly(t) \\ \hat{y}(t) &= C\hat{x}(t) \end{aligned} \quad (5 - 3)$$

خطا (عیب) مانده خروجی، به صورت معادله 3 - 6 بدست می آید [13]:

$$\begin{aligned} \dot{e} &= \frac{d(x(t) - \hat{x}(t))}{dt} = Ax(t) + Bu(t) - A\hat{x}(t) - Bu(t) - LC(x(t) - \hat{x}(t)) = \\ &= (A - LC)(x(t) - \hat{x}(t)) \end{aligned} \quad (6 - 3)$$

### ۳-۳- مشاهده گر LO :

در حالت کلی جهت تشخیص عیب در یک سیستم غیر خطی از یک مشاهده گر LO استفاده می کنیم. فرض کنید، یک سیستم غیر خطی همراه با تابع عیب به صورت معادله شماره 3 - 7 توصیف شود [14]:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \xi(x(t)) + g(x(t))u + f(x(t), u) \\ y(t) &= h(x(t)) \end{aligned} \quad (7 - 3)$$

تابع  $f(x(t), u)$  تغییر ناشی از عیب را مشخص می کند. یک عیب سیستم نوعاً از تغییرات پارامترهای سیستم یا حتی از تغییر در دینامیک سیستم نتیجه می شود. تخمین تشخیص عیب در سیستم معادله شماره 3 - 8 به صورت ذیل بدست می آید [14]:

$$\dot{\hat{x}} = \xi(\hat{x}(t)) + g(\hat{x}(t))u + m(t)$$

$$\hat{y}(t) = h(\hat{x}(t))$$

$$m(t) = Km(t - \tau) + Le_y(t - \tau) \quad (8 - 3)$$

$\tau$  مدت زمان نمونه برداری را نشان می‌دهد،  $\hat{x}$  بردار حالت مشاهده‌گر در زمان  $t$ ،  $K$  و  $L$  ماتریس‌های بهره  $LO$  می‌باشند. ترم  $m(t)$  ورودی  $LO$  نامیده می‌شود و در هر زمان ثابت  $t$  به روز می‌شود. عیب تخمین خروجی به صورت ذیل بدست می‌آید و جهت تخمین عیب بکار می‌رود [14].

$$e_y(t) = y(t) - \hat{y}(t)$$

$$e_y(t - \tau) = h(x(t - \tau)) - h(\hat{x}(t - \tau)) \quad (9 - 3)$$

مشاهده‌گر  $LO$  ساختاری مشابه مشاهده‌گر  $PI$  دارد. اختلاف بین آنها در حقیقت این است که  $LO$  اطلاعات قبلی سیستم را برای تخمین عیب بکار می‌برد. اکنون یک سیستم غیرخطی با تاخیر زمانی مطابق معادله  $3 - 10$  را در نظر بگیرید این سیستم از دو بخش خطی و غیرخطی تشکیل شده است که بخش ضریب  $B$  در ورودی دارای تاخیر است، سیگنال  $d(t)$  نیز اغتشاش است [15].

$$\dot{x} = Ax(t) + \phi(x, u) + Bx(t - t_h) + d(t)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (10 - 3)$$

$x(t)$  بردار حالت غیرقابل اندازه‌گیری،  $y(t)$  بردار خروجی قابل اندازه‌گیری،  $d(t)$  بردار اغتشاش غیرقابل اندازه‌گیری،  $t_h$  تاخیر ثابتی است و  $\phi(x, u)$  یک تابع غیرخطی لیپشیتز<sup>۱۹</sup> است [15].

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x}(t) + \phi(x, u) + B\hat{x}(t - t_h) + Le_y$$

$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \quad (11 - 3)$$

برای فهم مشاهده‌گر  $LO$ ، می‌توانیم سیستم غیرخطی معادله  $3 - 10$  را به صورت یک مدل مرجع پیشنهاد دهیم. سیگنال‌های عیب می‌تواند بوسیله ورودی  $v(t)$  رویت شوند. فرض ۱: اغتشاش  $d(t)$  و مشتق  $\dot{d}$  با حدهای شناخته شده ذیل محدود می‌باشند.

---

<sup>۱۹</sup>-Lipschitz

$$\|d(t)\| \leq b_d \quad \|d\dot{(t)}\| \leq b_{du} \quad (12 - 3)$$

فرض ۲: سیستم ورودی محدود حالت محدود پایدار و مشتق بردار ورودی سیستم  $u$  محدود می باشد.

فرض ۳: توابع  $\Phi(t)$ ,  $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial \Phi}{\partial u}$  محدود می باشد و شرایط لیبشیتز به صورت ذیل تحقق می یابد [14]:

$$\|\Phi(x, u) - \Phi(\hat{x}, u)\| \leq \eta_1 \|x - \hat{x}\| \quad (13 - 3)$$

$$\left\| \frac{\partial \Phi}{\partial x}(x, u) - \frac{\partial \Phi}{\partial x}(\hat{x}, u) \right\| \leq \eta_2 \|x - \hat{x}\| \quad (14 - 3)$$

$$\left\| \frac{\partial \Phi}{\partial u}(x, u) - \frac{\partial \Phi}{\partial u}(\hat{x}, u) \right\| \leq \eta_3 \|x - \hat{x}\| \quad (15 - 3)$$

براساس معادله شماره 3-10 و 3-11، مشاهده گر LO به صورت ذیل پیشنهاد می گردد [15]:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + \phi(\hat{x}, u) + B\hat{x}(t - t_h) + Le_y + v$$

$$v(t) = K_1 v(t - \tau) + K_2 [y(t - \tau) - \hat{y}(t - \tau)] \quad (16 - 3)$$

که  $\hat{x}(t)$  بردار حالت سیستم را تخمین می زند،  $\tau$  مدت زمان نمونه برداری است. ویژگی اصلی LO آن است، که بوسیله عیب های خروجی قبلی سیستم و ورودی قبلی LO،  $v(t - \tau)$  بروز می گردد. این موارد در معادلات شماره 3-16 دیده می شود. این مشاهده گر می تواند هر تغییر در سیستم های دینامیکی را تخمین و تشخیص دهد. در شبیه سازی، LO می تواند به طور مقاوم خطاهای عملگر را تشخیص و تخمین زند. از تفاضل معادله 3-10 از 3-16 می توان خطای حالت را به صورت معادله شماره 3-17 محاسبه نمود:

$$\dot{\tilde{x}}(t) = (A - LC)\tilde{x}(t) + [\phi(x, u) - \phi(\hat{x}, u)] + B\tilde{x}(t - t_h) + d(t) - v(t) \quad (17 - 3)$$

که  $\tilde{x}(t) = x(t) - \hat{x}(t)$  خطای تخمین حالت می باشد، ماتریس A-LC با انتخاب یک ماتریس بهره مناسب می تواند یک ماتریس پایدار باشد [14].

ورودی  $v(t)$  در معادله 3-16 را در نظر بگیرید، نامعادله شماره 3-18 ذیل برقرار است:

$$v^T(t)v(t) \leq 2v^T(t - \tau)K_1^T K_1 v(t - \tau) + 2\tilde{x}^T(t - \tau)(K_2 C)^T (K_2 C)\tilde{x}(t - \tau) \quad (18 - 3)$$

قضیه ۱: یک سیستم غیرخطی تاخیردار با معادله شماره 3 - 11 را در نظر بگیرید، با در نظر گرفتن مفروضات ۱، ۲، ۳ و اینکه یک مشاهده گر LO در معادله 3 - 16 داده شده است. اگر معادله 3 - 25 و نامعادله های 3 - 26 و 3 - 27 برقرار باشد، خطای تخمین حالت، محدود می باشد. اثبات: تابع لیپانوف کاندید ذیل را در نظر بگیرید:

$$V = \tilde{x}^T P \tilde{x} + \int_{t-T}^t \tilde{x}^T(\theta) R \tilde{x}(\theta) d\theta + \int_{t-t_h}^t \tilde{x}^T(\beta) \Gamma \tilde{x}(\beta) d\beta + \int_{t-T}^t v^T(\alpha) v(\alpha) d\alpha \quad (19 - 3)$$

که  $P$ ،  $R$  و  $\Gamma$  ماتریسهای مثبت معین متقارن می باشند. با جایگزینی معادله شماره 3 - 19 در داخل مشتق تابع کاندید لیپانوف  $V$ ، داریم:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \dot{\tilde{x}}^T P \tilde{x} + \tilde{x}^T R \dot{\tilde{x}} + \tilde{x}^T(t) R \tilde{x}(t) - \tilde{x}^T(t - \tau) R \tilde{x}(t - T) + \tilde{x}^T(t) \Gamma \tilde{x}(t) - \\ &\tilde{x}^T(t - t_h) \Gamma \tilde{x}(t - t_h) + v^T(t) v(t) - v^T(t - \tau) v(t - \tau) \\ &= \tilde{x}^T((A - LC)^T P + P(A - LC) + R + \Gamma) \tilde{x} + 2\tilde{x}^T P B \tilde{x}(t - t_h) + \tilde{x}^T P (\Phi(x, u) \\ &- \phi(\hat{x}, u)) + 2\tilde{x}^T P d(t) - 2\tilde{x}^T P v(t) - (t - \tau) R \tilde{x}(t - \tau) - \tilde{x}^T(t - t_h) \Gamma \tilde{x}(t - t_h) \\ &+ v^T(t) v(t) - v^T(t - \tau) v(t - \tau). \end{aligned} \quad (20 - 3)$$

با ترکیب نامعادلات داریم:

$$\begin{aligned} 2\|\tilde{x}^T P\| \|v(t)\| &\leq \tilde{x}^T P P \tilde{x} + v^T(t) v(t) \\ 2\tilde{x}^T P B \tilde{x}(t - t_h) &\leq \tilde{x}^T P P \tilde{x} + \tilde{x}^T(t - t_h) B^T B \tilde{x}(t - t_h) \end{aligned} \quad (21 - 3)$$

از معادله 3 - 20 معادله زیر استخراج می گردد:

$$\begin{aligned} \dot{V} &\leq \tilde{x}^T((A - LC)^T P + P(A - LC) + R + \Gamma) \tilde{x} + 2\tilde{x}^T P P \tilde{x} + 2b_d \|P\| \|\tilde{x}\| \\ &+ 2\tilde{x}^T P (\Phi(x, u) - \phi(\hat{x}, u)) + \tilde{x}^T(t - t_h) B^T B \tilde{x}(t - t_h) + 2v^T(t) v(t) \\ &- \tilde{x}^T(t - \tau) R \tilde{x}(t - \tau) - \tilde{x}^T(t - t_h) \Gamma \tilde{x}(t - t_h) \\ &- v^T(t - \tau) v(t - \tau). \end{aligned} \quad (22 - 3)$$

با در نظر گرفتن فرض های شماره ۱ الی ۳ و نیز معادلات شماره (3 - 10) الی (3 - 11)، معادله 22 - 3 می تواند به صورت ذیل توسعه یابد:

$$\begin{aligned}
 \dot{V} &\leq \tilde{x}^T((A - LC)^T P + P(A - LC) + R + \Gamma + 2PP)\tilde{x} + 2\eta_1 \|P\| \|\tilde{x}\|^2 \\
 &\quad + \tilde{x}^T(t - t_h) B^T B \tilde{x}(t - t_h) + (4 + 2\sigma)v^T(t - \tau) K_1^T K_1 v(t - \tau) \\
 &\quad - \sigma v^T(t)v(t) - \tilde{x}^T(t - \tau) R \tilde{x}(t - \tau) \\
 &\quad - (4 + 2\sigma)\tilde{x}^T(t - \tau)(K_2 C)^T (K_2 C)\tilde{x}(t - \tau) - \tilde{x}^T(t - t_h) \Gamma \tilde{x}(t - t_h) \\
 &\quad - v^T(t - \tau)v(t - \tau) + 2b_d \|P\| \|\tilde{x}\| \\
 &\leq \tilde{x}^T((A - LC)^T P + P(A - LC) + R + \Gamma + 2PP)\tilde{x} + 2\eta_1 \lambda_{\max}(P) \|\tilde{x}\|^2 \\
 &\quad + \tilde{x}^T(t - t_h)(B^T B - \Gamma)\tilde{x}(t - t_h) - \sigma v^T(t)v(t) \\
 &\quad + \tilde{x}^T(t - \tau)\left((4 + 2\sigma)(K_2 C)^T (K_2 C) - R\right)\tilde{x}(t - \tau) + 2b_d \lambda_{\max}(P) \|\tilde{x}\| \\
 &\quad + v^T(t - \tau)\left((4 + 2\sigma)K_1^T K_1 - I\right)v(t - \tau) \quad (23 - 3)
 \end{aligned}$$

که  $I \in \mathbb{R}^{n \times n}$  یک ماتریس شناسایی است و ثابت  $\sigma$  یک ثابت مثبت می باشد. برای هر  $Q = Q^T > 0$ ، یک  $P = P^T > 0$  وجود دارد که معادله ریکارتی ذیل را تحقق می بخشد.

$$(A - LC)^T P + P(A - LC) + R + \Gamma + 2PP = -Q \quad (24 - 3)$$

$$B^T B \leq \Gamma, 0 < (4 + 2\sigma)K_1^T K_1 \leq I, 0 < (4 + 2\sigma)(K_2 C)^T (K_2 C) \leq R, \quad (25 - 3)$$

پس معادله شماره 20 - 3 می تواند به صورت ذیل ساده سازی شود:

$$\begin{aligned}
 \dot{V} &\leq -\lambda_{\min}(Q) \|\tilde{x}\|^2 + 2\eta_1 \lambda_{\max}(P) \|\tilde{x}\|^2 + 2b_d \lambda_{\max}(P) \|\tilde{x}\| - \sigma v^T(t)v(t) \\
 &= -\mu \|\tilde{x}\|^2 + 2b_d \lambda_{\max}(P) \|\tilde{x}\| \\
 &\leq -\frac{\mu}{2\|\tilde{x}\|^2} - \sigma v^T(t)v(t) + 2k_a b_d - \sigma v^T(t)v(t) \quad k_a \geq 0 \quad (26 - 3)
 \end{aligned}$$

که:

$$\mu = \lambda_{\min}(Q) - 2\eta_1 \lambda_{\max}(P) > 0 \quad (27 - 3)$$

باتوجه به معادلات صفحات قبل، قضیه ۱ اثبات کامل گردید. معادله تخمین عیب مشاهده‌گر (معادله شماره 3-17)، اگر پایدار باشد، عیب تخمین  $\hat{x}$  محدود می‌گردد و  $\hat{x}$  نیز محدود می‌شود. متناظراً  $v(t) + d(t)$  نیز محدود می‌شود. که  $d$  اغتشاش را نشان می‌دهد. بنابراین، گفته می‌شود که  $v(t)$  ورودی LO، می‌تواند اغتشاش  $d(t)$  را بازسازی یا تخمین بزند، این مورد در شبیه‌سازی نیز دیده می‌شود. همچنین محدودیت  $v(t) + d(t)$  نیز مقاوم بودن نتایج LO از  $v(t)$  (ورودی LO) را توضیح می‌دهد.  $v(t)$  تاثیرات  $d(t)$  روی تخمین دینامیک‌های عیب را کاهش می‌دهد. مقاوم بودن پارامتر  $v-d$  مقاوم بودن نتایج ILO از ورودی  $v$  را تضمین می‌نماید [15].

### ۳-۳-۱- تخمین و تشخیص و جبران‌سازی عیب:

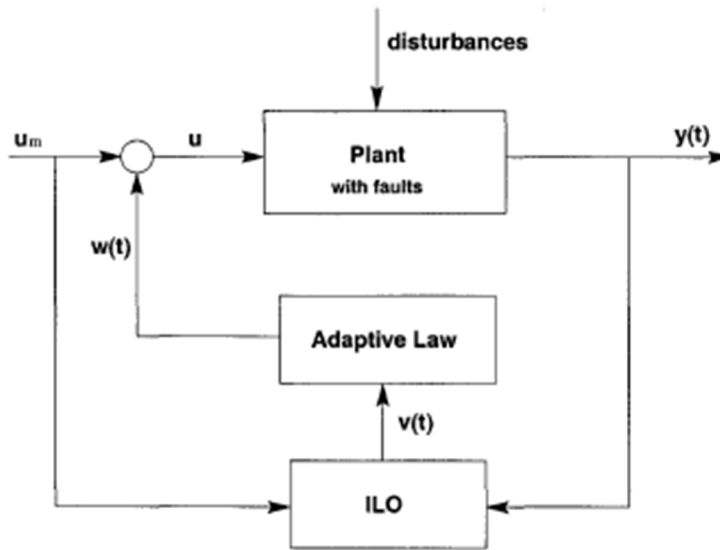
در این قسمت اشاره‌ای کوتاه به بحث تخمین و جبران‌سازی عیب می‌شود. جهت تخمین و جبران‌سازی، متغیر  $W$  به صورت  $BMw(t)$  به سیستم اضافه می‌گردد و به سیستم معادله حالت 3-16 اضافه می‌شود. بردار عیب و اغتشاش تحت ماتریس  $E$  در معادله شماره 3-28 به صورت ذیل ظاهر می‌گردد [15].

$$\hat{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + \phi(\hat{x}, u) + B\hat{x}(t - t_h) + Ed(t) + Ef(t)$$

$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \quad (28 - 3)$$

یک شرط باید در معادله‌ای 3-28 برقرار باشد، تا متغیر  $w$  بتواند طبق شکل 3-۱ خطا را جبران نماید. در این شرط اگر ماتریس  $M$  چنان انتخاب شود که  $BM=E$  باشد، جبران‌سازی خطا قابل اجرا خواهد بود. اگر یک  $W(t)$  به عنوان ورودی کنترل اضافی به روز، تنظیم و اعمال شود معادله 3-29 محقق می‌شود:

$$BMw(t) + Ef(x, t) = 0 \quad (29 - 3)$$



شکل (۳-۱): فرآیند دینامیکی جبران سازی خطا

قانون تطبیق تشخیص، تخمین و روش جبران سازی خطا به صورت ذیل بیان می شود، که  $L, k_1, k_2$  و ماتریس های ثابتی هستند که باید انتخاب شوند [15].

$$\hat{\dot{x}}(t) = A\hat{x}(t) + \phi(\hat{x}(t), \hat{x}(t - t_d)) + Bu_m(t) + Bw(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)) - Ev(t)$$

$$v(t) = K_1 v(t - \tau) + K_2 [y(t - \tau) - \hat{y}(t - \tau)]$$

$$\dot{w}(t) = Fv(t) \quad (30 - 3)$$

### ۳-۴- بررسی عملکرد روش مشاهده گر LO در سیستم غیر خطی:

در دو حالت با اغتشاش و نیز اعمال سیگنال خطا (نقص) بررسی صورت می پذیرد.

### ۳-۴-۱- سیستم غیر خطی همراه با اغتشاش ورودی:

سیستم غیر خطی زیر 3 - 31 را در نظر بگیرید:

$$\dot{x}_1 = 576.65x_2(t - t_h) - 76 - 0.112x_1 - 2.148 \times 10^{-4}x_1^2 - 7.84 \times 10^{-4}(1 - x_2)$$

+d

$$d = 0.15 \sin(5t)$$

$$\dot{x}_2 = 69.498u_1 - 3.114 \times 10^{-2}x_1x_2$$

$$y = [x_1 \ x_2]^T \quad (31 - 3)$$

براساس معادله بالا، مشاهده گر LO متناظر با معادله 3 - 16 به صورت ذیل بازسازی می شود [15]:

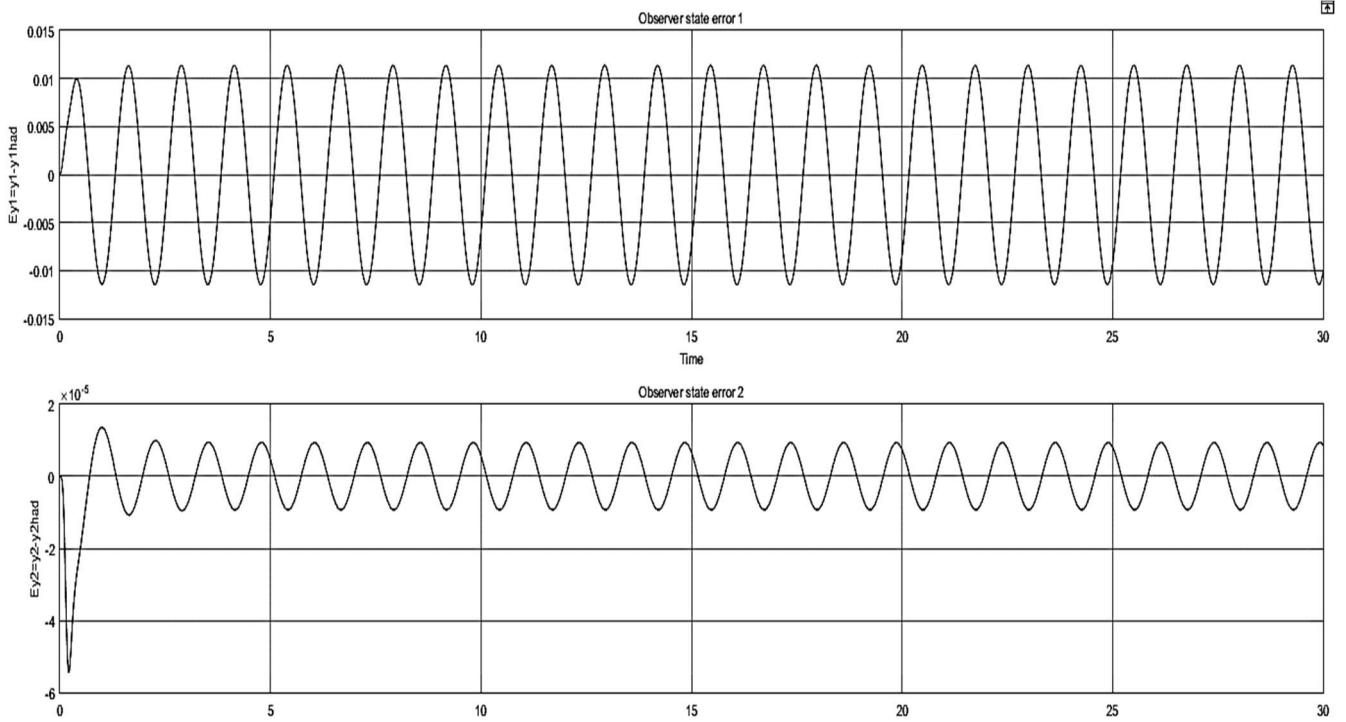
$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_1 = & 576.65\hat{x}_2(t - t_h) - 76 - 0.112\hat{x}_1 - 2.148 \times 10^{-4}\hat{x}_1^2 - 7.84 * 10^{-4}(1 - \hat{x}_2) \\ & + 2e_{y_1}(t) - 0.0001e_{y_2}(t) - v(t) \end{aligned}$$

$$\dot{\hat{x}}_2 = 69.498u_1 - 3.114 \times 10^{-2}\hat{x}_1\hat{x}_2 - 0.0001e_{y_1}(t) + 3e_{y_2}(t)$$

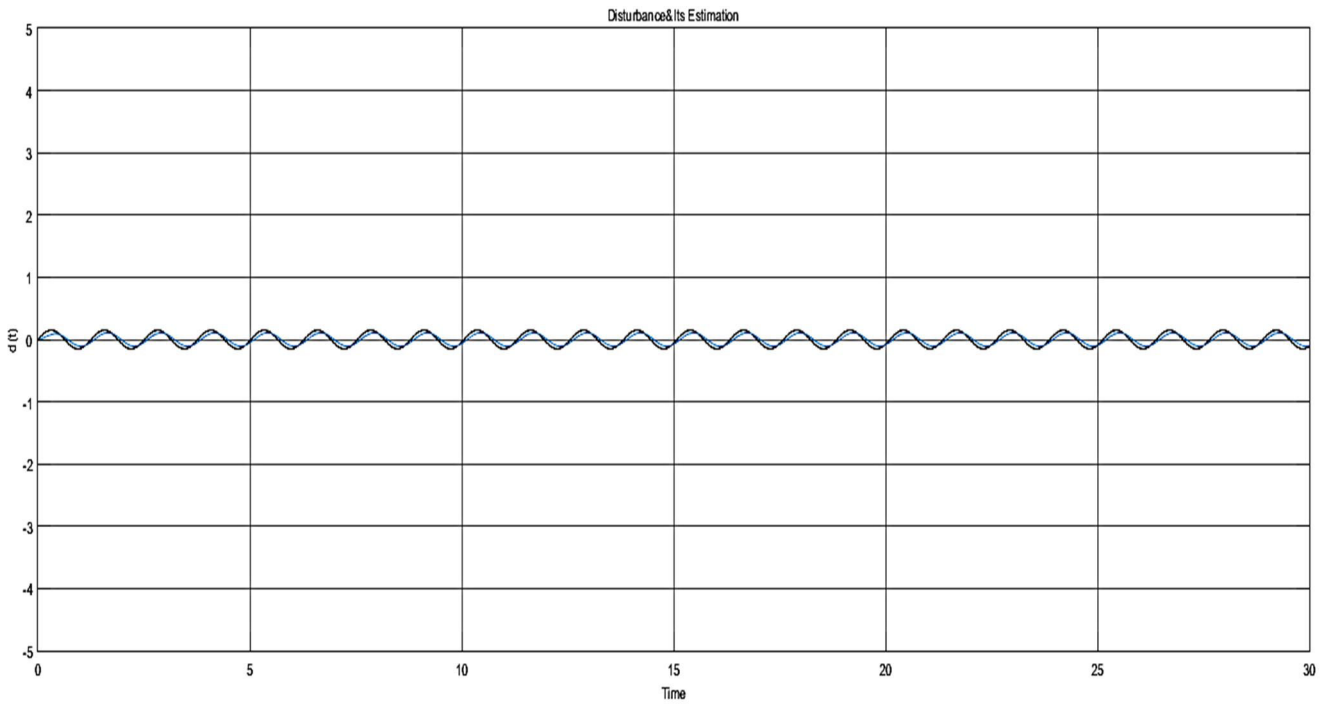
$$v(t) = 0.49v(t - \tau) + 4.8e_{y_1}(t - \tau) - 0.0001e_{y_2}(t - \tau)$$

$$y = [\hat{x}_1 \ \hat{x}_2]^T \quad \tau = 0.01 \quad (32 - 3)$$





شکل (۳-۲): خطای حالت خروجی  $y_1, y_2$



شکل (۳-۳): روییت اغتشاش در پارامتر ورودی  $V$  و مقایسه آن با سیگنال اغتشاش

مقدار اغتشاش واقعی با آنچه در  $V$  رویت می‌شود، دارای تاخیر زمانی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که با توجه به مقدار اغتشاش، مقدار آن در خروجی کاهش یافته است. مقدار اغتشاش در یکی از خروجی‌ها بسیار زیاد حدوداً  $10^{-4}$  برابر و در دیگری به میزان تقریباً کمتری کاهش می‌یابد [15].

### ۳-۴-۲- نتایج شبیه سازی در حضور عیب و نویز در ورودی:

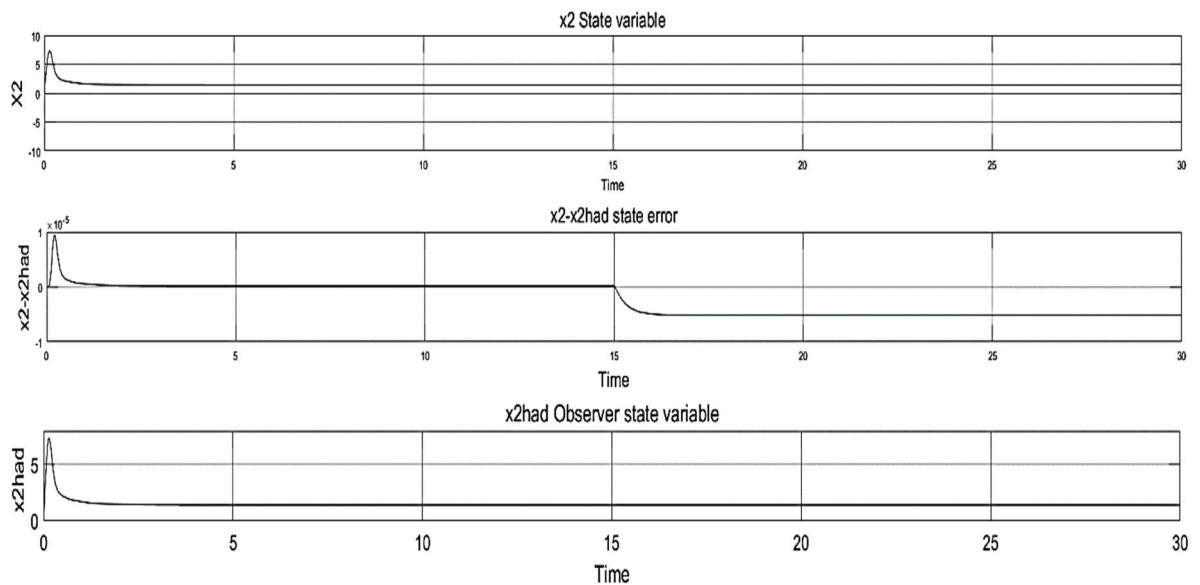
$$\dot{x}_1 = 576.65x_2(t - t_h) - 76 - 0.112x_1 - 2.148 \times 10^{-4}x_1^2 - 7.84 \times 10^{-4}(1 - x_2)$$

$$+F + d$$

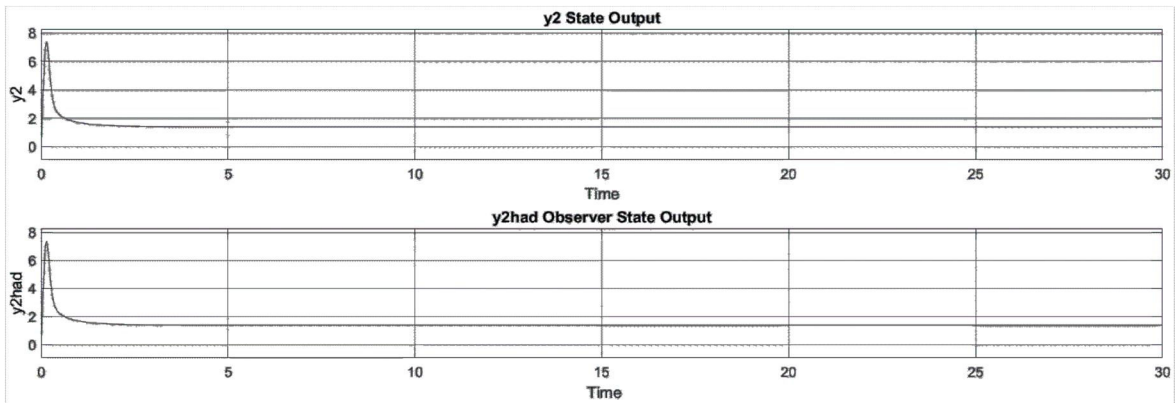
$$F = 0.02 u(t - 15)$$

$$\dot{x}_2 = 69.498u_1 - 3.114 \times 10^{-2}x_1x_2$$

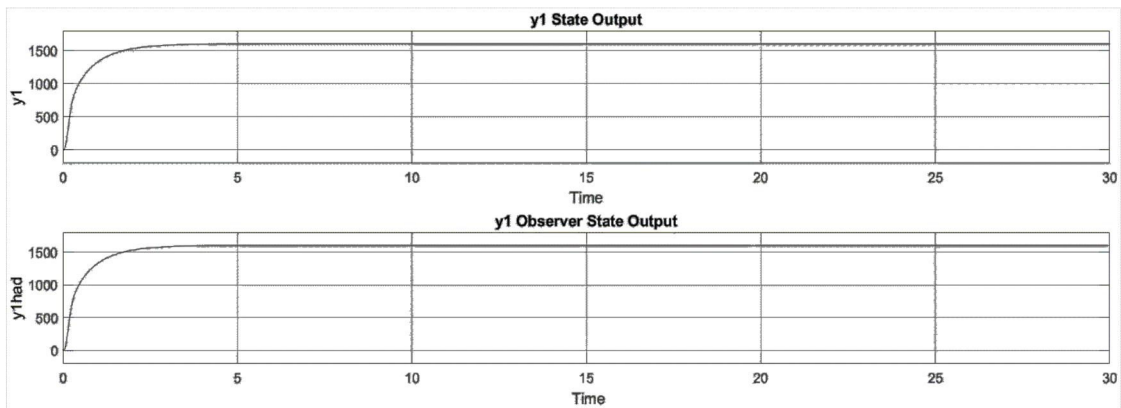
$$y = [x_1 \ x_2]^T \quad (33 - 3)$$



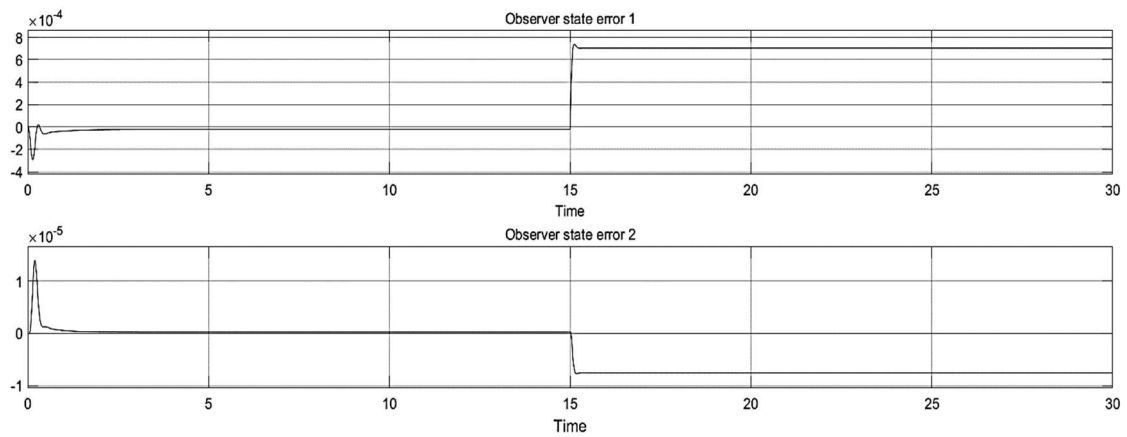
شکل (۳-۴): مقدار واقعی  $x_2$  و مقدار خطای حاصله (نمودار وسط) و مقدار تخمینی  $x_2$



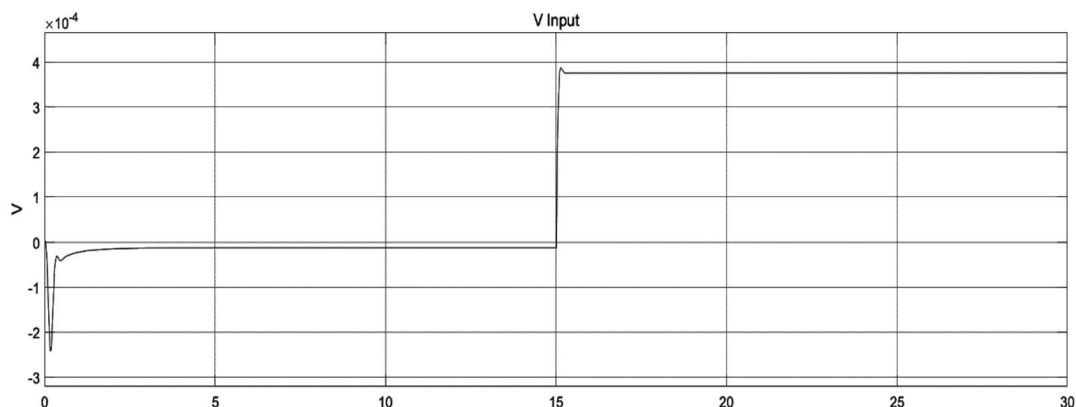
شکل (۵-۳): مقدار واقعی و تخمینی  $y_2$



شکل (۶-۳): مقدار واقعی و تخمینی  $y_1$



شکل (۷-۳): تشخیص مقدار عیبی خروجی  $y_1, y_2$



شکل (۳-۸): رویت خطاهای تشخیص داده شده در پارامتر ورودی V

عیب با مقدار ۰.۰۲ در ثانیه ۱۵ به سیستم اعمال می‌شود و همان طور که ملاحظه می‌شود در خروجی دوم رویت می‌گردد. از بررسی شبیه سازی‌های فوق در دو حالت مختلف نتایج ذیل قابل حصول می‌باشد:

۱. جداسازی عیب می‌تواند در یک وضعیت زمانی باشد. عیب می‌تواند در همان زمان تخمین زده شود. مشاهده گر LO عملکرد مناسبی در خصوص تشخیص خطای این سیستم غیرخطی نمونه دارد.

۲. در مشاهده گر LO امکان رویت تمامی عیب‌ها در متغیر V به نسبت لونبرگر وجود دارد.

۳. اغتشاش خروجی که معمولاً به وسیله یک مشاهده گر لونبرگر تقویت می‌گردد، توسط LO تضعیف می‌شود.

۴. همان طور که در قضیه ۱ آمده بود، پایداری سیستم حلقه بسته مشاهده گر LO با وجود نامعینی‌ها و زمانی که عیب حسگر وجود دارد، تضمین می‌باشد.

۵. با ایجاد تغییرات در LO می‌توان از آن هم جهت تشخیص عیب و هم تخمین و جبران‌سازی عیب با در نظر گرفتن شرایط، استفاده نمود. [15].

۶. مشاهده گر LO در واقع یک سیستم تطبیقی است، که با مقدار عیب‌های خروجی و ورودی‌های قبلی به روز می‌شود.

### ۳-۴-۳- خصوصیات مانده‌ها:

در حالت ایده آل مانده‌ها تنها به وسیله خطاها مشخص می‌شوند و به هر جهت بخاطر وجود خطاهای مدل، سیگنال‌های ورودی ناشناخته، اغتشاشات در خروجی‌ها، مانده‌ها به طور پیوسته تغییر می‌کنند. این نشان می‌دهد که باید آستانه‌های عریض‌تر برای مانده‌ها بکار برده شود. اما از طرفی خیلی آستانه‌های بزرگ اجازه رخداد خطاهای (عیب‌های) کوچک را نمی‌دهند. راه‌های ذیل برای بهبود وضعیت تداخل وجود دارد [16].

۱. مانده‌های رخ داده برای خطاهای خاص.

۲. تاثیر فیلترینگ فرکانس بالا روی سیگنال‌هایی شبیه نویز جدا از موارد فرکانس پایین ناشی از رخداد خطاها که از فیلترینگ پایین گذر بدست می‌آید.

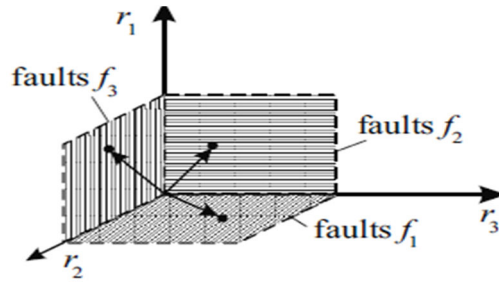
۳. بیشینه حساسیت خطای مانده‌ها.

۴. مقاوم بودن در مقابل خطاهای مدل.

۵. آستانه‌های تطبیقی، بسته به تحریک ورودی دارد.

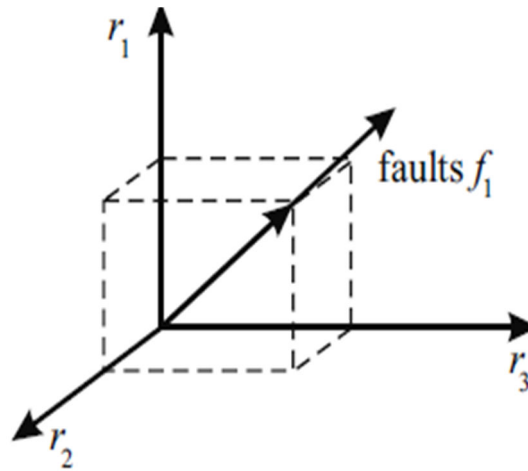
تمام اندازه‌گیری‌ها، هدفی برای حساسیت مانده‌ها به خطاها و مقاوم بودن در مقابل اثرات اغتشاش دارد. مانده‌ها در دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف- مانده‌های ساختاری: هدف از طراحی مانده‌های ساختاریافته آن است، که معین کند، اثر تعدادی از خطاها ظاهر شده و تعدادی ظاهر نشده است. این نشان می‌دهد، که مانده‌ها تنها تحت تاثیر زیر فضاهای خاصی در فضای برداری هستند. همان‌طور که شکل (۳-۹) نیز نشان می‌دهد، بردارهای مانده ساختاری حداقل مستقل از یکی از بردارهای خطاها هستند [16].



شکل (۳-۹): رویت خطاهای مانده‌های ساختاری [16]

ب-مانده‌های جهتی: این طراحی تمایل به رسیدن به بردار خاصی در فضای مانده برای هر خطا می‌باشد، شکل (۳-۱۰) چنین جهتی ثابت است را نشان می‌دهد. همچنین در سیگنال‌های گذرای دینامیکی، جهت بردار مانده باید حفظ شود [16].



شکل (۳-۱۰): مانده‌های جهتی [16]

مانده‌ها معمولاً در مقابل یک آستانه چک می‌شوند. که آستانه برای انحرافات منفی و مثبت و متجاوز از مقدار حداقلی و حداکثری در نظر گرفته می‌شود. نتایج این چک خروجی باینری در ذیل آورده شده است [16]:

$$r_i^* = \begin{cases} 0 & \text{if } |r_i(t)| < r_{thi} \\ 1 & \text{if } |r_i(t)| > r_{thi} \end{cases} \quad (34 - 3)$$

اگر  $r_i^* = 1$  گردد، نشان می‌دهد، که یکی از مانده‌ها از آستانه تجاوز کرده است.

## فصل چهارم

معرفی مدل‌های باتری و تشخیص

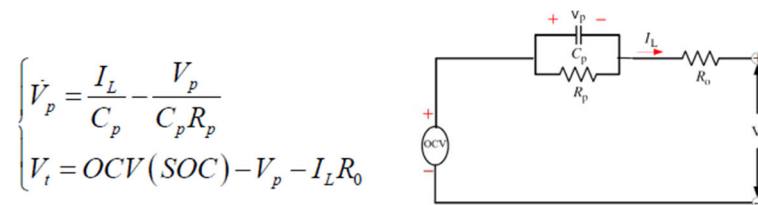
عیب با مشاهده‌گر لونی‌گر و LO

#### ۴-۱- مقدمه

در این فصل مدل‌های باتری معرفی می‌گردند. ابتدا مدل فضای حالت جهت یک باتری لیتیوم یون ارائه می‌گردد و سپس مدل پیشنهادی باتری‌های صنعتی در سیمولینک مطلب ارائه می‌شود. در ادامه نیز مدل یک باتری سرب اسیدی که از تجربه و آزمایش استخراج شده است ارائه می‌گردد. بدلیل اهمیت و هزینه زیادی که روی سیستم پایش باتری انجام شده است. نیاز است، که سیستم تشخیص عیب به صورت بر خط روی سیستم فعال شود، تا در صورتی که یکی از پارامترهای الکتریکی مدل باتری تغییرات غیر عادی دارد، تشخیص داده شود.

#### ۴-۲- مدل فضای حالت باتری لیتیومی:

مدار معادل یک باتری به صورت کلی مطابق شکل بیان می‌شود. می‌توان معادلات فضای حالت ترمینال باتری را به صورت معادلات شماره 4 - 1 استخراج نمود [5].



$$\begin{cases} \dot{V}_p = \frac{I_L}{C_p} - \frac{V_p}{C_p R_p} \\ V_t = OCV(SOC) - V_p - I_L R_s \end{cases}$$

شکل (۴-۱): مدار معادل عمومی یک باتری

$$\dot{v}_p = -\frac{1}{R_p C_p} v_p + \frac{1}{C_p} I \quad v_t = v_p + I R_s + v_{oc} \quad v_{oc} = k_1 SOC + k_2$$

$$\dot{v}_t = \dot{v}_p + I \dot{R}_s + I \dot{R}_s + \dot{v}_{oc} \quad \dot{v}_t = k_1 \frac{I}{C_n} - \frac{1}{R_p C_p} v_p + \frac{1}{C_p} I$$

$$\dot{v}_t = \frac{1}{R_p C_p} v_t + \frac{k_1}{R_p C_p} SOC + \frac{k_2}{R_p C_p} + \left( \frac{1}{C_p} + \frac{k_1}{C_n} + \frac{R_s}{R_p C_p} \right) I \quad (1-4)$$



جهت دستیابی به مشخصه الکتریکی یک باتری می توان به دیتاشیت آن مراجعه نمود. نوع باتری انتخابی از نوع لیتیومی A123 و شماره آن ANR26650m1-B می باشد، که مشخصات آن در جدول ۴-۱ آمده است. مقدار پارامترهای الکتریکی برای چنین باتری بدین صورت است:  $R_s=0.01$ ,  $R_p=0.004$   $C_p=156F$  [5].

Nominal capacity	2.3 Ah
Nominal voltage	3.3 V
Internal resistance	10 mΩ
Voltage range	4.2 to 2.0 V
Recommended charging method	3 to 3.6 A CCCV 45 mins
Recommended charging and cutoff voltage at 25°	3.6 to 2 V
Operating temperature	-30° to 60°
Core cell weight	70 gram

جدول (۴-۱) مشخصات سلول باتری [5]

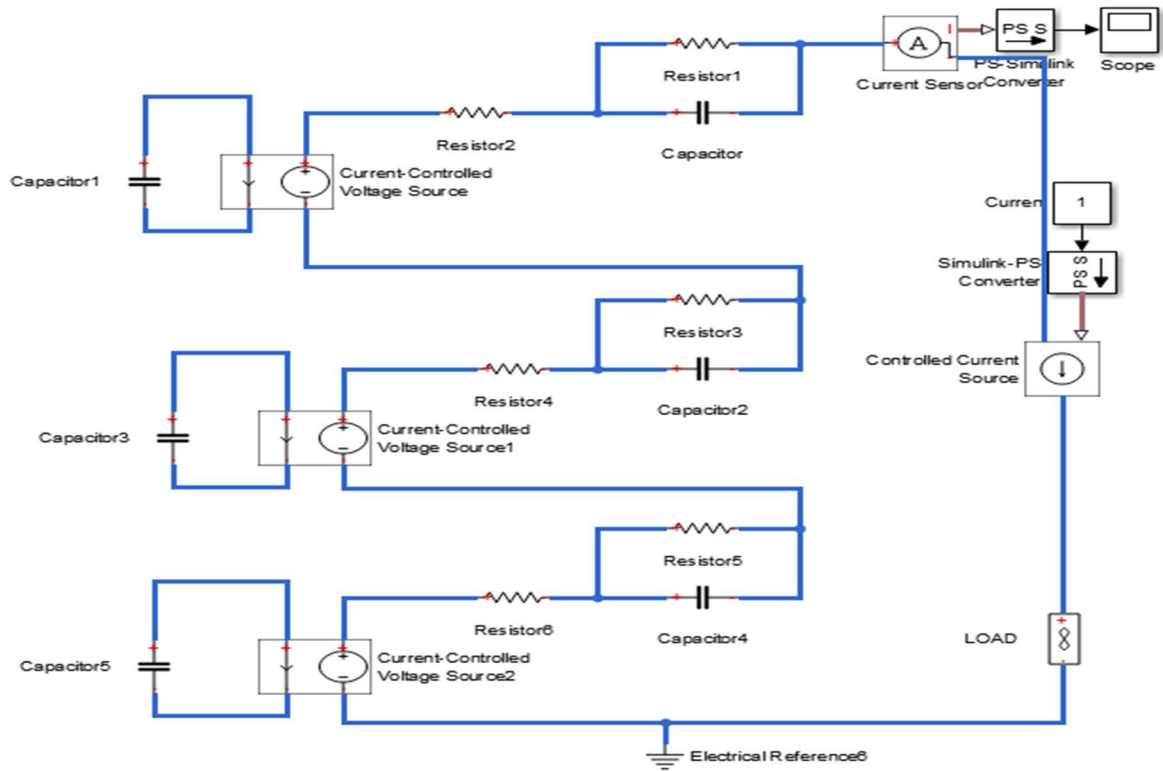
.. در معادله ۴ - ۲ متغیر حالت  $x$ ، ولتاژ ترمینال باتری می باشد و ورودی، برداری سه تایی متشکل از  $\text{SOC}^2$  و  $1$  و  $I$  جریان عبوری می باشد.  $D$  بردار اغتشاش و  $F$  نیز بردار عیب خواهد بود. عیب ها از تغییر مقاومت داخلی  $R_s$  نتیجه می شود که به جریان ورودی کنترل  $I$  وابسته می باشد، بنابراین ما جریان شارژ یا دشارژ را انتخاب می کنیم که  $3A$  می باشد و به صورت المان های ماتریس  $F$  نشان داده می شود. روابط معادلات شماره ۴ - ۲ برای باتری لیتیوم یون سه سلول مطابق شکل ۴-۲ نوشته شده است و با توجه مقادیر  $R_p$ ،  $R_s$ ،  $C_p$  در ذیل محاسبه شده اند [5]. شکل ۴-۱ برای سه سلول باتری توسعه داده می شود و شکل ۴-۲ نتیجه می شود.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.67 & 0 & 0 \\ 0 & -1.6026 & 0 \\ 0 & 0 & -1.6038 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1797 & 5.2486 & 0.023 \\ 0.1793 & 5.249 & 0.0227 \\ 0.1795 & 5.25 & 0.0225 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{SOC} \\ 1 \\ I \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f1 \\ f2 \\ f3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1 \\ 1 \\ 0.05 \end{bmatrix} d$$

۲۰-state of charge

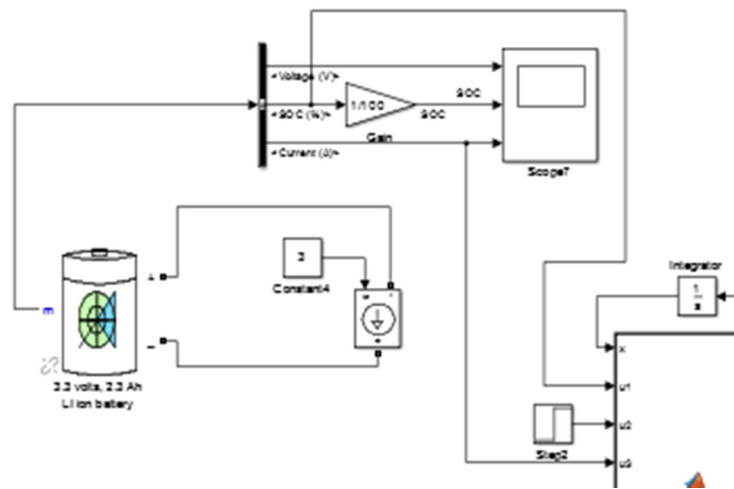
$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} X$$

(2 - 4)



شکل (۲-۴): مدار معادل الکتریکی یک باتری سه سلول

Soc و I را می توان مطابق شکل ۳-۴ از یک مدار معادل الکتریکی با استفاده از یک بلوک باتری لیتیوم یون در کتابخانه Simscape سیمولینک تامین نمود. که خروجی های بلوک جهت ورودی های سیستم فضای حالت تامین می شود.



شکل (۳-۴): تامین SOC و I از یک مدار باتری

### ۳-۴- تشخیص عیب دو روش لونبرگر و LO در مدل باتری لیتیم یون:

همان طور که در بخش ۲-۴ بیان شد، از مدل فضای حالت برای بیان سیستم باتری استفاده می شود. در این بخش با ایجاد سیگنال نقص که در اثر تغییر مقاومت درونی بوجود آمده است، وقوع آن تعیین می شود [14]. طبق معادله شماره (4-3) مشاهده گر لونبرگر بکار برده شده است. L از سعی و خطا بدست آمده است و مقدار آن به صورت ذیل می باشد.

$$L = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0.05 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} -1.67 & 0 & 0 \\ 0 & -1.6026 & 0 \\ 0 & 0 & -1.6038 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0.05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 0.1797 & 5.2486 & 0.023 \\ 0.1793 & 5.249 & 0.0227 \\ 0.1795 & 5.25 & 0.0225 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SOC \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0.05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y} = C [\hat{x}_1 \hat{x}_2 \hat{x}_3]^T \quad (3-4)$$

طبق معادله شماره (4-4) مشاهده‌گر LO بکار برده شده است L از سعی و خطا بدست آمده است و مقدار آن در ذیل معرفی شده است.

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.67 & 0 & 0 \\ 0 & -1.6026 & 0 \\ 0 & 0 & -1.6038 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1797 & 5.2486 & 0.023 \\ 0.1793 & 5.249 & 0.0227 \\ 0.1795 & 5.25 & 0.0225 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{SOC} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.05 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 - \hat{y}_1 \\ y_2 - \hat{y}_2 \\ y_3 - \hat{y}_3 \end{bmatrix} + v$$

$$L = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0.05 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y} = C [\hat{x}_1 \hat{x}_2 \hat{x}_3]^T$$

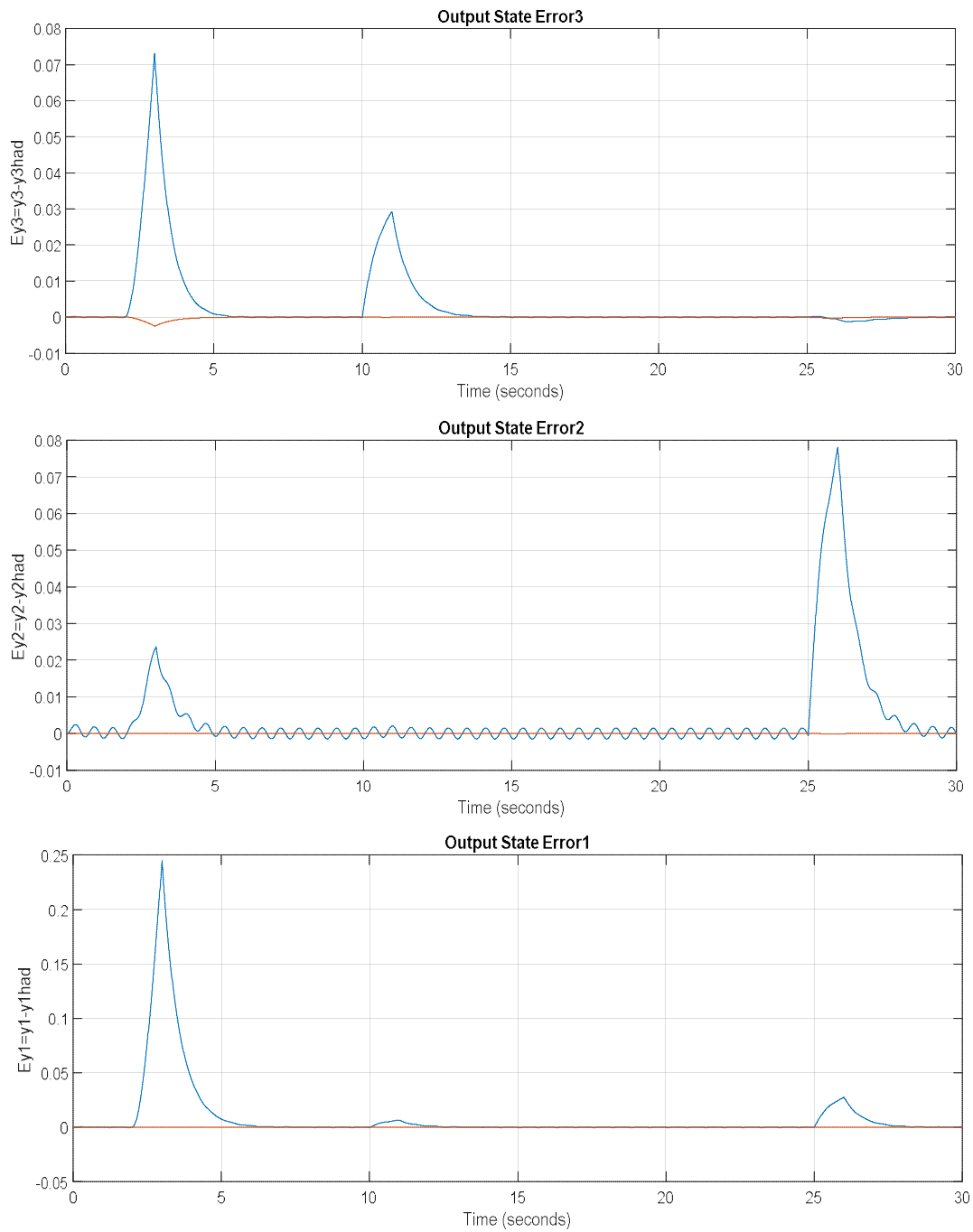
$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.02 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1(t - t_h) \\ v_2(t - t_h) \\ v_3(t - t_h) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0 & 0.002 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 - \hat{y}_1 \\ y_2 - \hat{y}_2 \\ y_3 - \hat{y}_3 \end{bmatrix} \quad (4-4)$$

$r(t)$  ورودی شیب و  $u(t)$  ورودی پله را نشان می‌دهد. سیگنال عیب به قرار ذیل تعریف می‌شود.

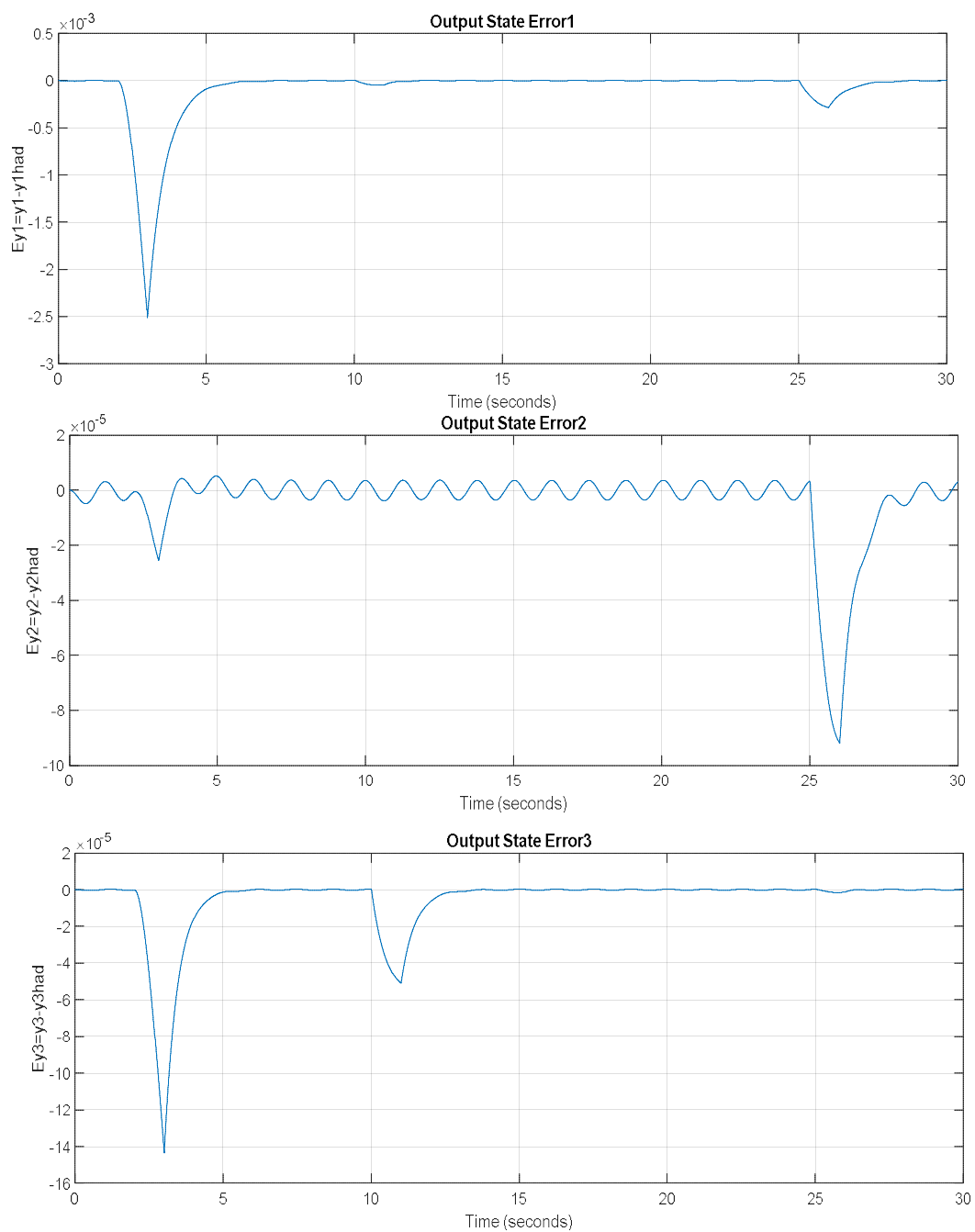
$$f = \begin{bmatrix} 0.25(r(t-2) - r(t-3) - u(t-3)) \\ 0.25(u(t-25) - u(t-26)) \\ 0.02(u(t-11) - u(t-12)) \end{bmatrix} \quad (5-4)$$

سیگنال اغتشاش در معادله تعریف 4-6 آمده است.

$$d = 0.015\text{Sin}(10t) \quad (6-4)$$



شکل (۴-۴): مقایسه تشخیص عیبها در خروجی یک و دو و سه مشاهده گر LO و لونیبرگر



شکل (۴-۵): تشخیص عیبها در خروجی یک و دو و سه مشاهدهگر LO، در ورودی V

مشاهدهگرهای LO و لونیبرگر قبل از رخداد هر عیب همگرا می‌شوند. مطابق شکل ۴-۴ هر دو مشاهدهگر عملکرد مشابه و مناسبی در تشخیص خطای (عیب) این سیستم دارند. مضاف بر اینکه مشاهده تمام خطاها در V مزیتی برای مشاهدهگر LO محسوب می‌شود.

### ۴-۳-۱- تشخیص و تخمین و جبران سازی عیب با بکارگیری LO: (ارتقایافته)

در فصل ۳ در خصوص حالت شناسایی و تشخیص خطا و جبران سازی خطای مشاهده گر صحبت گردید. در این بخش معادله سیستم باتری مشابه معادله (۴-۲) می باشد و در این قسمت مشاهده گر LO روی سیستم باتری با معادلات حالت (4-1) قرار داده شده است معادلات مشاهده گر به صورت معادلات شماره (4-6) بیان شده است.

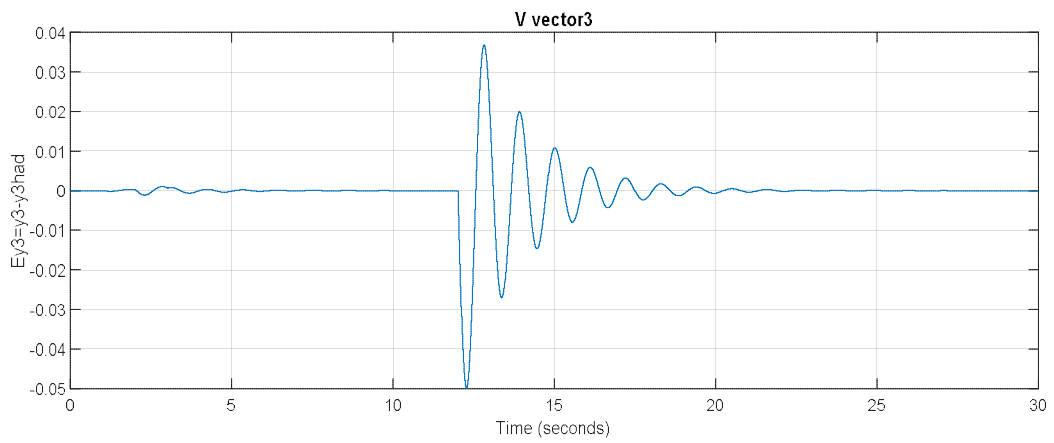
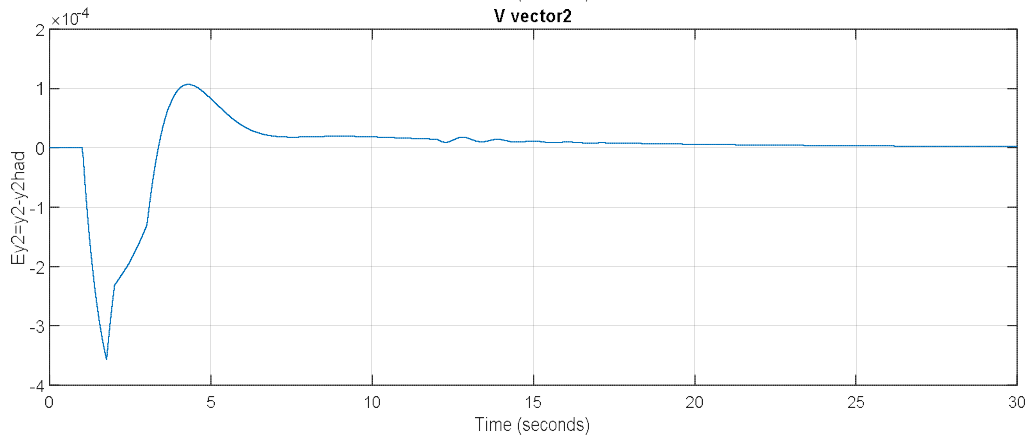
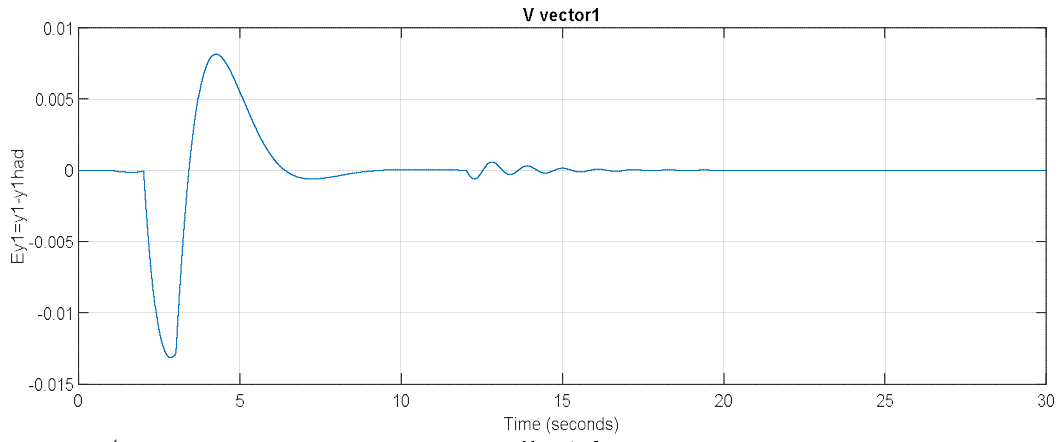
$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.67 & 0 & 0 \\ 0 & -1.6026 & 0 \\ 0 & 0 & -1.6038 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1797 & 5.2486 & 0.023 \\ 0.1793 & 5.249 & 0.0227 \\ 0.1795 & 5.25 & 0.0225 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{SOC} \\ 1 \\ I \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0.01 \\ 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 - \hat{y}_1 \\ y_2 - \hat{y}_2 \\ y_3 - \hat{y}_3 \end{bmatrix} + v \\ L = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 & 0.01 \\ 0 & 0.01 & 0 \\ 0 & 0.02 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$\hat{y} = C [\hat{x}_1 \hat{x}_2 \hat{x}_3]^T$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} = [0.2 \quad 0.1 \quad 0.1] \begin{bmatrix} v_1(t-t_h) \\ v_2(t-t_h) \\ v_3(t-t_h) \end{bmatrix} + [0.01 \quad 0.001 \quad 0.02] \begin{bmatrix} y_1 - \hat{y}_1 \\ y_2 - \hat{y}_2 \\ y_3 - \hat{y}_3 \end{bmatrix} \quad t_h = 0.01$$

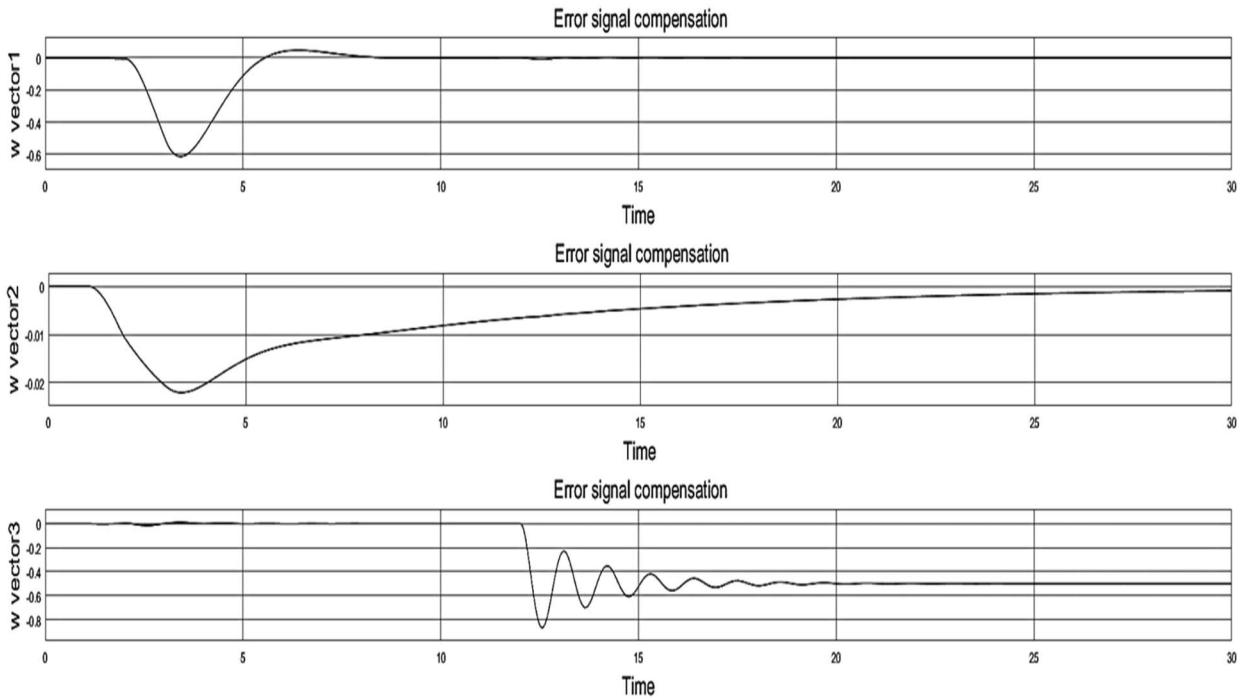
$$\dot{w}(t) = 50v(t) \quad (6-4)$$

جهت تست عیب سه بردار عیب غیرهمزمان در نظر گرفته شده است و در یک مرحله اغتشاش از نوع سینوسی اعمال گردید، سیگنال های عیب به صورت ذیل به سیستم باتری اعمال می شوند. سیگنال عیب f1 با پالس به اندازه ۰.۲۵ در زمان ۱۰ تا ۱۲ رخ می دهد، سیگنال عیب f2 با پالس به اندازه ۱ در زمان ۲ تا ۳ و سیگنال عیب f3 در لحظه ۱۲ به اندازه ۰.۵ رخ می دهد. نمودار تشخیص عیب در شکل ۴-۶ رسم شده است.



شکل (۴-۶): رویت عیب در خروجی شماره ۱، شماره ۲، شماره ۳ از طریق متغیر  $V$





شکل (۴-۷): خطاهای خروجی پس از اعمال جبران ساز

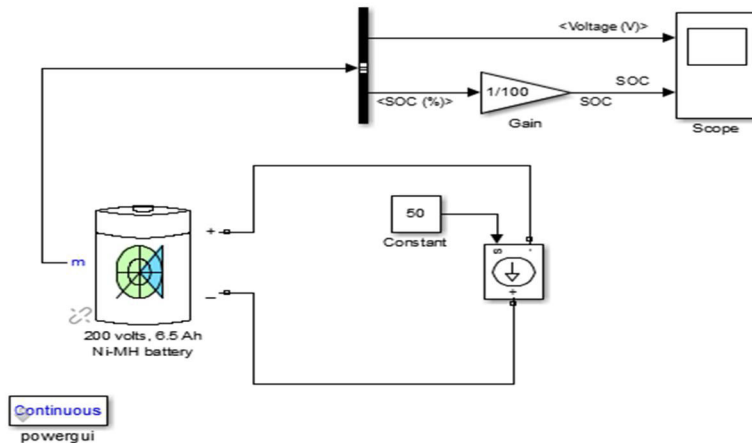
#### ۴-۴-۴ مدل باتری در سیمولینک:

##### ۴-۴-۴-۱ باتری نیکل-هیدرید:

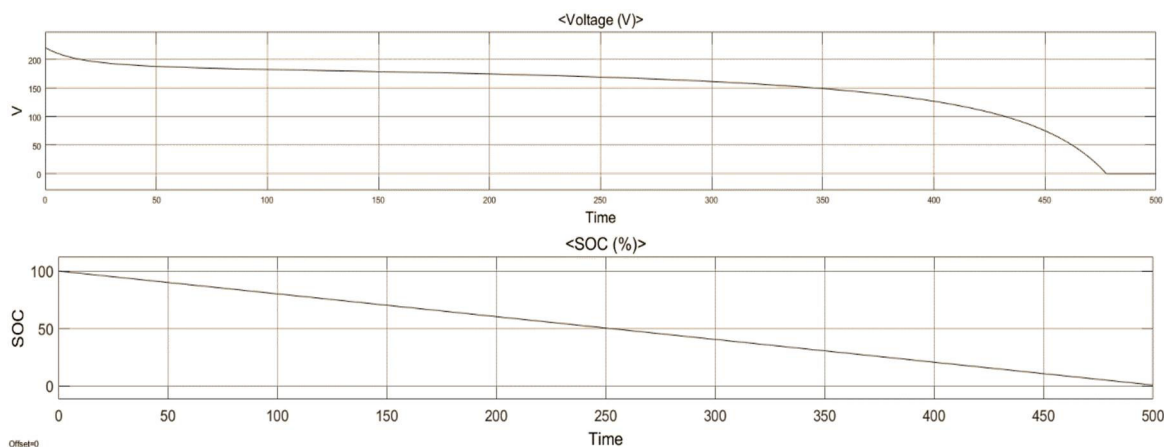
در بررسی اسناد گوناگون با مدل های تقریباً مشابهی از باتری ها مواجه می شویم. این مدل ها را می توان با یک مدار الکتریکی شبیه سازی نمود. پارامترهای مداری از اندازه گیری، در زمان های گوناگون به وسیله یک تابع درون یابی می شوند، یا توسط الگوریتم های شناسایی سیستم تخمین زده می شوند. در هر حالت بعضاً با مراجعه به کاتالوگ باتری قابل دستیابی هستند. در این بخش از مدل های مختلف باتری استفاده شده است و مشاهده گر حالت نیز جهت تشخیص عیب در هر مرحله به کار برده می شود. یک مدل باتری صنعتی که در نرم افزار مطلب بخش SimPower/Electic Drives/Extra Source تعریف شده است، انتخاب گردیده و پارامترهای مشخصه مدل Ni-MH نیکل-هیدرید در بخش تنظیمات مدل وارد می گردد [13].

مدار در شکل ۸-۴ و مشخصه ولتاژی در شکل ۹-۴ رسم شده است.

#### Ni-MH Battery Model



شکل (۸-۴): مدار باتری نیکل-هیدرید



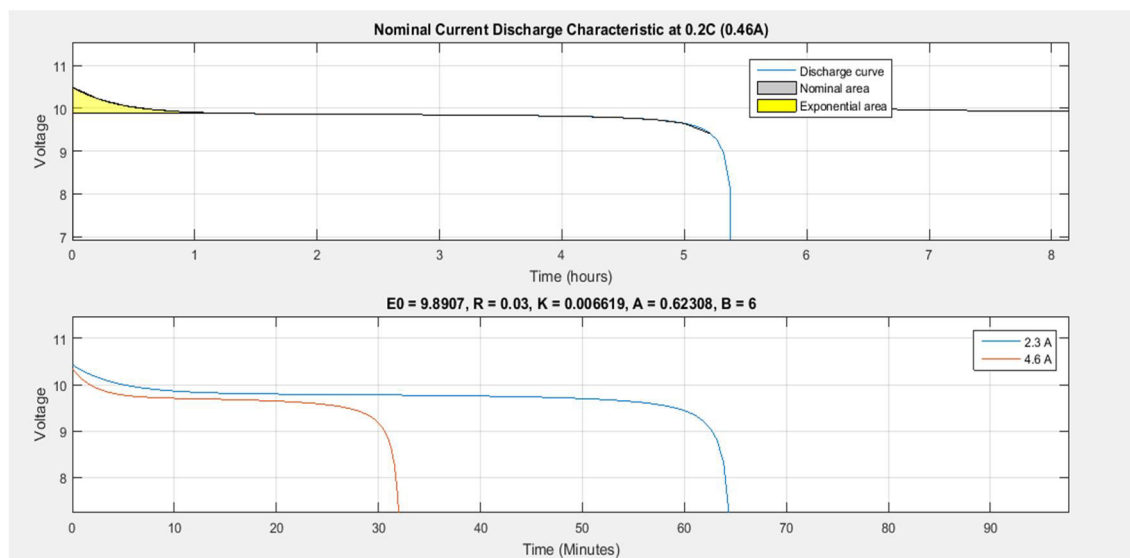
شکل (۹-۴): مشخصه ولتاژ ترمینال باتری و SOC یک باتری نیکل-هیدرید

#### ۴-۴-۲- مدل باتری لیتیوم یون

همانند قسمت پیشین در بلوک باتری می توان مدل باتری را لیتیوم یون انتخاب کرده و با استفاده از

مقادیر جدول ۱-۴ مدل را تکمیل نمود و نمودار تغییرات ولتاژی را بر اساس نرخ جریان‌ها در گذر

زمان مطابق شکل ۱۰-۴ رسم نمود.

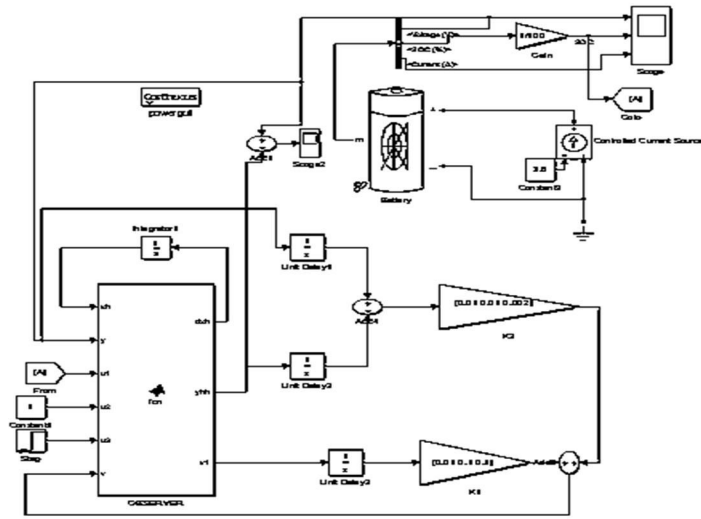


شکل (۴-۱۰): ولتاژ ترمینال باتری

دینامیک های ولتاژ ترمینال می تواند به وسیله یک برنامه مطلب اجرا شده قابل دسترس باشد. شکل ۴-۹ یک مدل خطی را نمایش می دهد. اندازه گیری های واقعی ولتاژ ترمینال در شکل ۴-۱۰ یک مشخصه غیرخطی را در نواحی انتهایی و شروع نشان می دهد، که بطور کامل با خروجی مدل تطبیق ندارد. همانطور که شکل فوق نشان می دهد، ولتاژ ترمینال یک خط مستقیم است، که یک رابطه خطی با زمان دارد. بنابراین در این ناحیه، بین ولتاژ خروجی مدل و ولتاژ اندازه گیری شده ترمینال مطابقت وجود دارد.

#### ۴-۲-۱-۴-۴-۱- استقرار یک مشاهده گر حالت LO:

جهت تشخیص عیب در این مرحله یک مشاهده گر حالت LO را در مدار یک سیستم بلوک باتری لیتیوم یون بر اساس مقادیر جدول ۴-۱ و مطابق شکل ۴-۱۰ قرار می دهیم.



شکل (۴-۱۱): استقرار یک مشاهده گر LO در مدار باتری لیتیوم یون

در این مدار، معادله سیستم مشابه بخش (۴-۲) می باشد. خطای مفروض اعمال شده به ورودی سیستم (منبع مدار) به صورت معادله ۴-۷ می باشد:

$$f = (u(t - 450) - u(t - 455)) \quad (7 - 4)$$

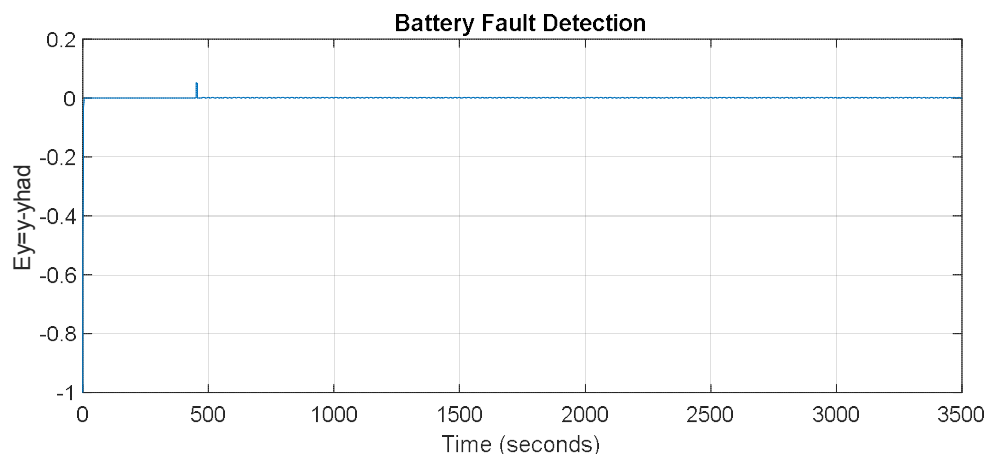
معادلات مشاهده گر LO (معادلات ۴-۸)، نیز به طور مشابه به صورت ذیل تعریف شده است.

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.67 & 0 & 0 \\ 0 & -1.6026 & 0 \\ 0 & 0 & -1.6038 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \hat{x}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.1797 & 5.2486 & 0.023 \\ 0.1793 & 5.249 & 0.0227 \\ 0.1795 & 5.25 & 0.0225 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SOC \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$+ 0.05 V_t + v$$

$$\hat{y} = C [\hat{x}_1 \hat{x}_2 \hat{x}_3]^T \quad C = I \quad V_t = \hat{y}_1 + \hat{y}_2 + \hat{y}_3$$

$$v(t) = 0.1v(t - 0.01) + 0.01 V_t \quad (8 - 4)$$



شکل (۴-۱۲): تشخیص خطای باتری از نوع لیتیوم یون

تشخیص عیب توسط این مشاهده گر در زمان ۴۵۵ رویت شد. عیب  $f$  بوسیله تغییر مقاومت داخلی ایجاد می شود و در لحظه زمانی ۲۵ ثانیه رخ می دهد. مشاهده گرهای LO و لونها قبل از رخداد هر عیب همگرا می شوند.

#### ۴-۵- مدل باتری سرب اسید AGM بر اساس تغییر پارامتریک المانها بر حسب SOC:

مقادیر فرمولهای اساسی در هر باتری و نیز محاسبه پارامترهای اساسی در ذیل آمده است. با استفاده از این فرمولها به شبیه سازی یک مدل باتری سیلد می پردازیم [17].



شکل (۴-۱۳): شکل باتری AGM مدل PVX-890T

مدل سیستم در این باتری همانند روابط ۴-۱ بدست می آید و مقادیر پارامترهای مدل از جدول ۴-۲ محاسبه می گردد. [17].

$$DOD = \left( \frac{Q_d}{Q_{rated}} \right) \times 100\%$$

$$SOC = \left( \frac{Q_d - Q_d}{Q_{rated}} \right) \times 100\% = 1 - SOC \quad SOC(i, t) = SOC(t_0) - \frac{\int_{t_0}^t i(\tau) d\tau}{3600 \times \text{Nominal Capacity}}$$

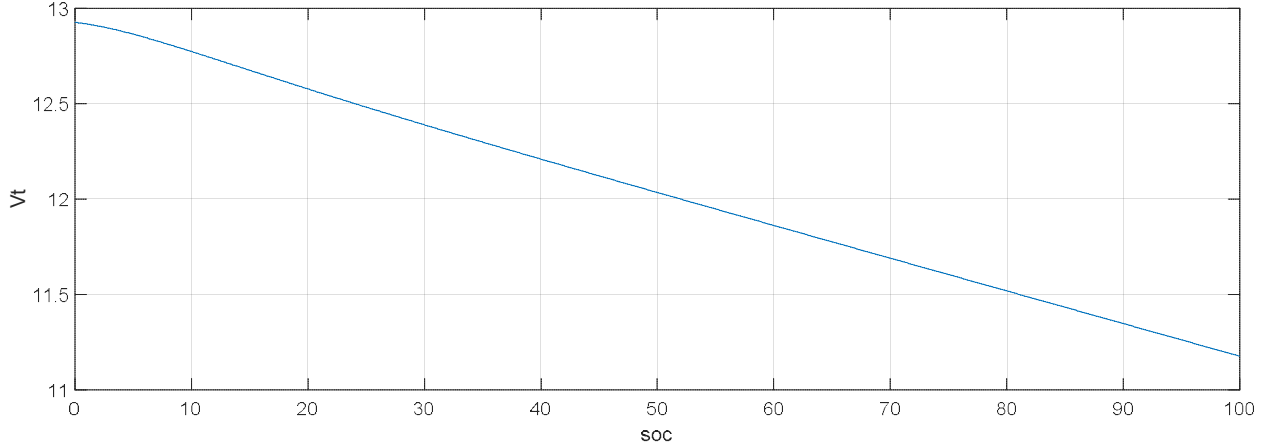
$$V_s = V_s(t_0) - \frac{1}{C_s} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau$$

$$R_s(I) = aI^{-b}$$

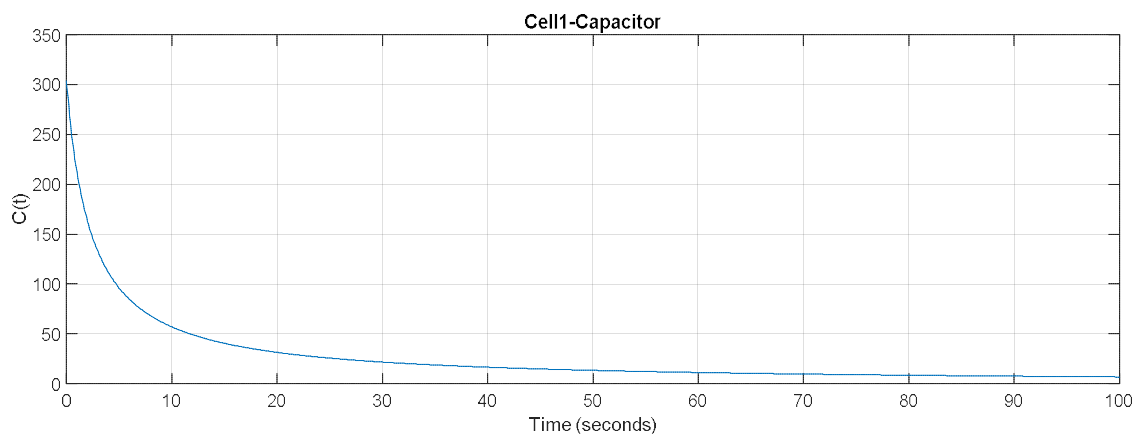
$$V_b = -1.19(0.0117SOC + 0.9565)SOC + \frac{0.076(0.0117 \cdot .9565)SOC}{1.06((0.0117 \cdot .9565)SOC - 0.06)} + V_s(t_0) - IR_s$$

$$C_s = \frac{Ah \times 3600}{-1.190 \times (0.012I + 0.957) - \frac{0.076(0.012I + 0.957)}{1.060 \times (0.012I + 0.957)(1 - SOC) - 1.060^2}}$$

$$V_b(I, SOC) = V_s(t_0) - \frac{\int_{t_0}^t i(\tau) d\tau}{C_s(I, SOC)} - IR_s - IR_t \left( 1 - e^{-\frac{t}{R_t C_t}} \right) - V_c e^{-\frac{t}{R_t C_t}} \quad (9 - 4)$$



شکل (۴-۱۴): مقدار ولتاژ ترمینال انتهایی باتری



شکل (۴-۱۵): مقدار تغییر ظرفیت خازن

پارامترهای دینامیک محاسبه شده عبارتند از:

جدول (۴-۲): مقادیر پارامترهای الکتریکی [17]

پارامتر	مقدار
$R_s$	$R_t + R_t$
$R_s'$	0.0175 ohms
$R_t$	$0.0489e^{-0.1471} + 0.0171SOC - 0.00275$
$R_t C_t$	۱۲

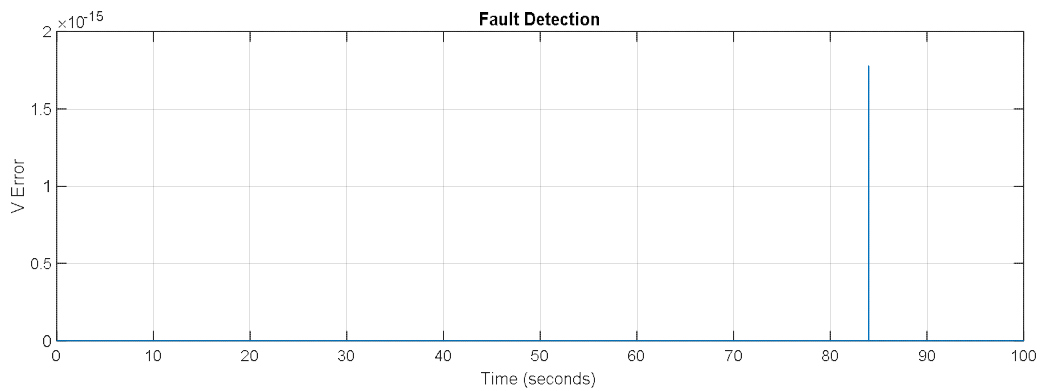
#### ۴-۵-۱ تشخیص خطا (عیب) با استفاده از مشاهده گر حالت LO:

جهت تشخیص عیب یک سرب اسید AGM از مدل روابط شماره ۴.۸ در قسمت قبل استفاده شده و مقدار خطای اعمال شده در مقاومت درونی باتری در معادله شماره 4 - 11 بیان گردیده است. مقدار اغتشاش اعمالی در معادله 4 - 10 بیان شده است:

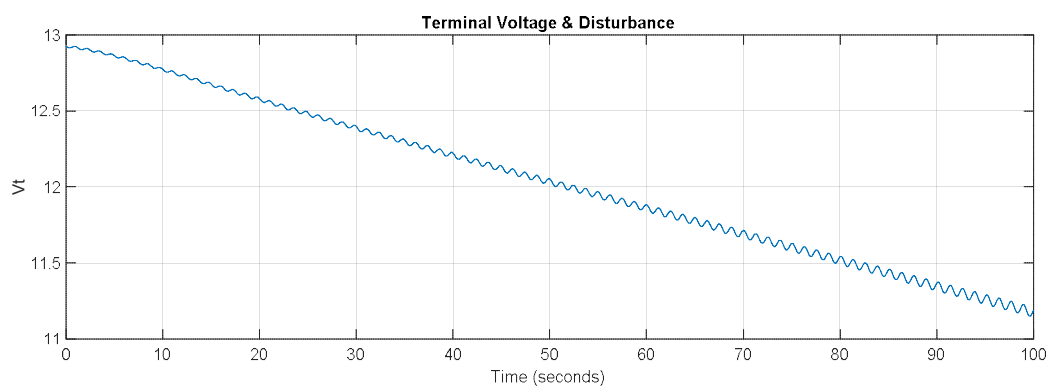
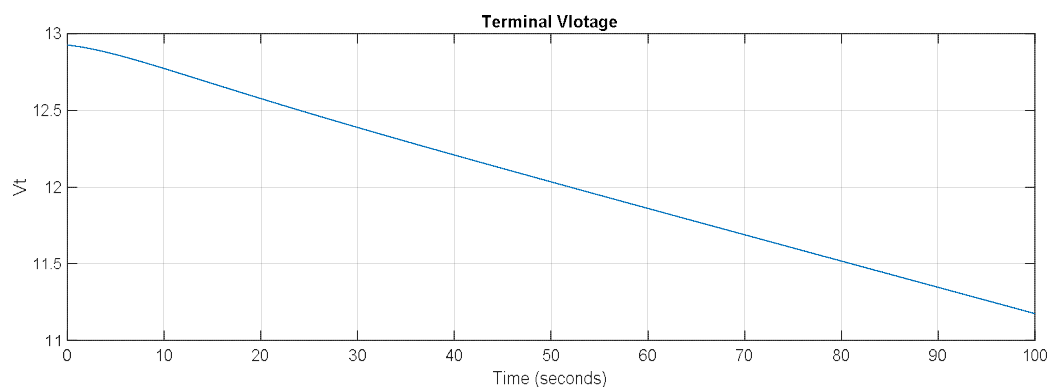
$$d = 0.015 \sin(5t) \quad (10 - 4)$$

مقدار عیب اعمالی در معادله 4 - 11 بیان شده است:

$$f = 0.05(u(t - 84) - u(t - 84.5)) \quad (11 - 4)$$



شکل (۴-۱۶): تشخیص عیب تغییر مقاومت  $R_S$



شکل (۴-۱۷): خروجی ترمینال با وجود اغتشاش در منبع ورودی

با توجه به مقادیر عیب اعمال شده، رخداد خطا در لحظه ۸۴ تشخیص داده شده است همچنین اغتشاش وارد شده در ورودی قابل رویت می‌باشد.



## فصل پنجم

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۵-۱- نتیجه‌گیری:

با توجه به اهمیت تولید برق اضطراری در مکان‌های حساس و نیز نقش کلیدی باتری در منابع تغذیه اضطراری، استقرار سیستم پایش باتری توسعه پیدا نموده است. همان طور که عنوان شد این سیستم از سه سطح سنسور، کنترل و سرورها تشکیل شده است. که با توجه به مشخصات فنی و کمی باتری‌خانه مورد بهره برداری قرار می‌گیرد. جهت تشخیص عیب باتری از روش تشخیص خطا بر پایه مدل با استفاده از مشاهده‌گر حالت لونبرگر و LO استفاده گردید. مشاهده‌گر حالت LO یک مشاهده‌گر غیرخطی، تطبیقی و مشاهده‌گر لونبرگر یک مشاهده‌گر خطی است. باتری صنعتی نمونه یک باتری سه سلول می‌باشد. از آنجا که یافتن مدل باتری دور از دسترس نیست استفاده از راهکار تشخیص عیب براساس مدل یک راهکار مفید می‌باشد. اساس مدل سازی باتری‌ها در یک مدل الکتریکی واحد مشابه می‌باشد. جهت ارائه مدل از سه روش فضای حالت، بلوک باتری نمونه در نرم افزار سیمولینک مطلب و نیز مدلی که از آزمایش باتری سرب اسیدی AGM بدست آمده است استفاده گردید. اما در عمل بخاطر دقیق نبودن مدل‌ها باید تفراسی جهت خطا در نظر گرفت. جهت مدل فضای حالت از هر دو مشاهده‌گر استفاده گردید و جهت مدل‌های دیگر با توجه به غیرخطی بودن مدل‌ها از مشاهده‌گر LO استفاده شد. این روش در کنار قابلیت‌های در خور توجه خود، از محدودیت‌های چندی نیز رنج می‌برد. مهمترین آن‌ها عبارتند از:

1. کارایی آن در بخش خاصی از سیستم‌های غیرخطی.

2. مدل باتری دقیق نیست و در عمل شناسایی خطا را سخت می‌کند. بعنوان نمونه از شارژ خودبخودی باتری صرف‌نظر شده است.

3. ضعف مقاوم، در برابر نامعینی‌های پارامتری و دینامیک‌های مدل نشده در سیستم.

مشاهده‌گر LO برای هدف تخمین و جداسازی خطا (عیب)، به طور لحظه‌ای یک رشته سه سلول باتری طراحی شد، درجه حساسیت جداسازی منطقی عیب می‌تواند به صورت ذیل توضیح داده شود: وقتی که  $i$  امین عیب اتفاق می‌افتد مانده تشخیص خطای متناظر صفر یا زیر آستانه طراحی باقی

می‌ماند، تا زمانی که تمام دیگر مانده‌های تشخیص خطا غیرصفر شود. در این وضعیت جداسازی و تشخیص خطا می‌تواند پیاده‌سازی گردد. به طور کلی تشخیص عیب با مشاهده‌گرهای مفروض، ساده‌تر است. نتایج شبیه‌سازی‌ها بوضوح تاثیرات استراتژی FDI پیشنهادی برای سه رشته سلول را نشان می‌دهد. از آنجا که در مدل باتری اسید سربی ارائه شده، وضعیت شارژ به عنوان ورودی سیستم در نظر گرفته شده است و پارامتر المان‌های مدل وابسته به تغییر شارژ می‌باشند، این موضوع با مدل پیشنهادی مشاهده‌گر، مطابقت دارد و دلیل استفاده از مشاهده‌گر LO می‌باشد.

## ۵-۲- پیشنهادات:

۱. از مشاهده‌گر مد لغزشی، و نیز مشاهده‌گر با ورودی ناشناخته می‌توان بجای مشاهده‌گر LO استفاده نمود و نحوه تاثیر آن را بررسی و مقایسه نمود.
۲. برای نوع باتری سیلد اسید نیز، نتایج را بررسی و تکرار کرد. می‌توان مدل باتری را به صورت تطبیقی طراحی نمود و تشخیص عیبی آن لاین را به آن اضافه نمود.
۳. با سنجش مقادیر اصلی پارامترهای باتری، مدل الکتریکی غیرخطی یک نوع باتری را از طریق درون‌یابی محاسبه نمود و سپس به شبیه‌سازی اقدام نمود.
۴. مدل‌های در نظر گرفته شده در این پایان نامه کامل نبوده و نیاز است پارامترهای تاثیر گذار دیگر نظیر دما و شارژ خودی را به مدل الکتریکی اضافه نمود.



مراجع

- [1] Wu C., Zhu C., Ge Y. and Zhao Y., (2016), "A Diagnosis Approach for Typical Faults of Lithium-ion Battery Based on Extended Kalman Filter", *Journal of Electrochemical Science.*, 11, pp. 5289-5301.
- [2] He H., Liu Z. and Hua Y., (2015), "Adaptive Extended Kalman Filter based Fault Detection and Isolation for a Lithium-Ion Battery Pack", *The 7th International Conference on Applied Energy*, P1951, Abu Dhabi, United Arab Emirates.
- [3] Liu Z., and He H., (2015), "Model-based Sensor Fault Diagnosis of a Lithium-Ion Battery in Electric Vehicles", *Journal of Energies.*, 8, pp. 6509-6527.
- [4] Zhong M. Y., Ye H., Shi P., and Wang G., (2005), "Fault detection for Markovian jump systems", *Journal of Systems Science* , 40, 4, pp. 397-402.
- [5] Chen W., Saif M., Li M., and WuSimultaneous H., (2014), "Fault Isolation and Estimation of Lithium-Ion Batteries via Synthesized Design of Luenberger and Learning Observers", *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22, 1, pp. 290-295.
- [6] Chen W. and Saif M., (2007), "A Sliding Mode Observer-based Strategy for Fault Detection, Isolation, and Estimation in a Class of Lipschitz Nonlinear Systems", *Journal of Syst. Sci.*, 38, 12, pp. 943-955.
- [7] Guan Y. and Saif M., (1991), "A Novel Approach to the Design of Unknown Input Observers", *IEEE Trans. Autom. Control*, 36, 5, pp. 632-639.
- [8] Xing Y., Eden W., Kwok L. and Pecht M., (2015), "Battery Management Systems in Electric and Hybrid Vehicles", *Journal of Energies.*, 4, pp. 1840-1852.
- [9] Power Agent Systems. Remote Battery Monitoring. (2014), Available from: [www.poweragentsystem.com](http://www.poweragentsystem.com).
- [10] Hou C., Wang JOURNAL and Gao C., (2016), "Design of Remote Monitoring and Evaluation System for UPS Battery Performance", *Journal of. u- and e-Service, Science and Technology*, 9, 5, pp. 291-303.
- [11] Saputra O., Chae S., Kim Y., Shin S., (2015), "Remote Monitoring of Lead-Acid Battery Based on WLAN", *3rd International Conference on Industrial Application Engineering*, P209, Kitakyushu, Japan.
- [12] Friedland B, (1999), "Reduced-Order State Observers", *Journal of .Control Systems, Robotics and Automation.*, 8, pp. 88-99.
- [13] Horváth Z. and Molnárka G., (2014), "Design Luenberger Observer for an Electromechanical Actuator", *Journal of . actatech*, 7, 4, pp. 328-340.
- [14] CHEN W., (2003), PhD. thesis, "Robust Fault Diagnosis and Compensation in Nonlinear Systems via Sliding Mode and Iterative Learning Observer", Eng, Simon Fraser University.
- [15] CHEN W. and SAIF M., (2001), "An Iterative Learning Observer-Based Approach to Fault Detection and Accommodation in Nonlinear Systems, 40th IEEE Conference on Decision and Control, P4469, Orlando, Florida , USA.
- [16] Isermann R., (2005), "Fault-Diagnosis System An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance", Vol .4, PTP-Berlin Protago, Gmbh, German, pp. 210-212.
- [17] Pen W., (2011), Master of Science. thesis, "Accurate Circuit Model for Predicting the Performance of Lead-Acid AGM Batteries", Eng, Nevada University.

## **Abstract**

Industrial batteries have a variety of applications and are of great importance in various industries. This thesis first explores the importance of monitoring the status of the industrial battery (BMS). Subsequently, the components and overall infrastructure of a battery status monitoring system are reviewed and the differences between the battery monitoring system and the UPS monitoring system are noted, but battery monitoring systems can not estimate and predict battery faults. In this thesis, three electrical modeling protocols are first expressed in industrial batteries, then a fault vector is applied at a particular moment to the internal resistance of the battery model and added to the input. Changes in internal resistance cause a fault in the battery. This test is repeated in different states in terms of the number of fault vector, quantity, and also the disturbance at the input. The effect of the disturbance signal on the input is also investigated. To detect a battery fault, was used by Lüneburger observer and LO observer. Finally, the results of the LO observer function are displayed on a nonlinear system and the benefits of using this observer to identify the fault are expressed.

**Key words:** Industrial battery, Battery Monitoring System, Fault Detection, Lüneburger Observer and LO Observer.



**Faculty of Electrical Engineering and Robotic**  
**M.Sc. Thesis in Control Engineering**

**Sensor Fault Estimation and Monitoring in Industrial battery**

**By: Javad Bozorgmehr**

**Supervisor:**  
**Dr. Mohmad Ali Sadrnia**

**September 2017**