

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش کنترل

تشخیص خطای مقاوم با استفاده از روش H_2/H_∞ برای سیستم‌های فتوولتائیک

نگارنده:

فرهاد راسخ

استاد راهنما:

دکتر محمدعلی صدرنیا

بهمن ۱۳۹۷

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم،دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگی‌ام،چشمان سبز مادرم

به برادرم که همراه همیشگی و پشتوانه‌های زندگی‌ام

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بی‌کران مهربانی‌تان

را سپاس نتوانم بگویم

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

،باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگی‌تان را بزدايد

بوسه بر دستان پرمه‌رتان

به مصداق «من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق» بسی شایسته است از استاد
فرهیخته و فرزانه جناب دکتر محمدعلی صدر نیا که باکرامتی چون خورشید، سرزمین دل را
روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را باراهنمایی‌های کارساز و سازنده بارور
ساختند تقدیر و تشکر نمایم.

از اساتید دانشکده مهندسی برق و رباتیک

از تمام اساتید و دوستان عزیزى که علمشان را بی‌منت می‌بخشند

کمال تقدیر و تشکر رادارم.

بهترین‌های زندگی‌ام

مادر و پدر فداکار و برادر دلسوزم

از صمیم قلب سپاسگزارم

تعهدنامه

اینجانب **فرهاد راسخ** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق (کنترل) دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تشخیص خطای مقاوم با استفاده از روش H_2/H_∞ برای سیستم های فتوولتائیک تحت راه نمائی دکتر محمدعلی صدر نیا متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده 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 آن ها) 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.

فرهاد راسخ

بهمن ۹۷

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

برای مشکل حفاظتی تکنیک عیب‌یابی بر اساس اندازه‌گیری های پارامترهای فتوولتائیک¹ نظیر ولتاژ ، جریان ، شدت تابش ، دما و... مطرح می‌شود. در حال حاضر یکی از مشکلات الگوریتم تشخیص عیب در پنل سلول‌های خورشیدی عدم توانایی آن‌ها در شناسایی محل دقیق رویداد عیب در سیستم است. در این پژوهش به تشخیص و شناسایی مقاوم در برابر عیب در سیستم های فتوولتائیک با استفاده از روش H_2/H_∞ پرداخته شده است . سیستم‌های واقعی همواره شامل نامعینی یا عدم قطعیت‌هایی می‌باشند که این نامعینی‌ها می‌تواند ناشی از عدم قطعیت در حضور اغتشاش باشد . برای نشان دادن کارایی این روش تفاضل خروجی سیستم را با خروجی مدل که سیگنال باقیمانده می‌باشد با استفاده از شبیه سازی مشاهده و تحلیل کرده تا کارایی لازم را برای ادامه کار سیستم تضمین کند. هدف اصلی ارائه یک سیستم تشخیص و شناسایی عیب (FDI) به روش مقاوم می‌باشد به گونه‌ای که تأثیر عیب روی مدل را بیشینه کند تا عیب را به وسیله سیگنال باقیمانده تشخیص دهد و سیستم در مقابل اغتشاش مقاوم باشد تا به کار خود ادامه دهد. روش مقاوم با استفاده از H_2/H_∞ یکی از روش‌هایی است که کارایی سیستم را در حضور اغتشاش و عدم قطعیت‌های مختلف تضمین می‌کند.

واژگان کلیدی: سیستم فتوولتائیک، H_2/H_∞ ، تشخیص و شناسایی عیب (FDI)، نامعینی.

¹ Photovoltaic

² Fault Detection and Isolation

فهرست مطالب

فصل ۱ مقدمه.....	۱
۱-۱ پیشینه کار.....	۲
۲-۱- اتوماسیون فرآیند و نظارت بر آن.....	۵
۳-۱- اصطلاحات علمی.....	۶
۴-۱- مدل های خطا.....	۱۰
۵-۱- مدل های پایه ای خطا.....	۱۱
۶-۱- نمونه هایی از مدل های خطا.....	۱۲
۷-۱- تشخیص عیب.....	۱۴
۸-۱- عیب یابی.....	۱۵
۹-۱- روش های تشخیص خطا مبتنی بر مدل.....	۱۵
۱۰-۱- روش های تشخیص خطا مبتنی بر سیگنال.....	۲۲
۱۱-۱- اهداف تحقیق.....	۲۴
۱۲-۱- ساختار پایان نامه.....	۲۴
فصل ۲ سیستم های فتوولتائیک.....	۲۵
۱-۲- تاریخچه.....	۲۷
۲-۲- پارامترهای مهم در انتخاب سیستم های فتوولتائیک.....	۲۸
۳-۲- محدودیت های استفاده از پنل های خورشیدی.....	۲۸
۴-۲- اجزای سیستم های فتوولتائیک.....	۲۹

۳۰	۲-۵- انواع سیستم های فتوولتائیک.....
۳۳	۲-۶- دسته بندی خطاهای امکان پذیر در سیستم های فتوولتائیک.....
۳۳	۲-۷- مدل سازی سیستم های فتوولتائیک.....
۳۵	فصل ۳ بررسی روش های تشخیص عیب مقاوم.....
۳۶	۳-۱- مقدمه
۳۷	۳-۲- روش های مختلف در تشخیص عیب مقاوم.....
۳۷	۳-۲-۱- فیلتر تشخیص عیب.....
۳۹	۳-۲-۲- مشاهده گر تشخیصی.....
۴۰	۳-۳- معرفی روش
۴۷	فصل ۴ شبیه سازی.....
۴۸	۴-۱- معرفی مدل.....
۵۱	۴-۲- مدل سازی
۵۵	۴-۳- شبیه سازی های انجام شده به روش مقاوم.....
۶۳	فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادها.....
۶۴	۵-۱- نتیجه گیری.....
۶۴	۵-۲- پیشنهادها.....
۶۵	منابع مراجع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- طراحی ساده از یک سیستم اتوماسیون..... ۵
- شکل ۱-۲- گسترش خرابی و بدعمل کردن در اثر عیب..... ۸
- شکل ۱-۳- رفتار خطا با توجه به زمان..... ۱۱
- شکل ۱-۴- ساختار پایه‌ای تشخیص خطا..... ۱۶
- شکل ۱-۵- سیستم تشخیص خطا با رویترگر حالت..... ۱۸
- شکل ۱-۶- سیستم تشخیص خطا با استفاده از رویترگر خروجی..... ۱۹
- شکل ۱-۷- تولید باقیمانده با استفاده از معادلات توازن..... ۲۱
- شکل ۱-۸- بررسی حدود:مقادیر مطلق $Y(t)$ ۲۳
- شکل ۲-۱- اجزای سیستم فتولتاییک..... ۲۹
- شکل ۲-۲- سیستم خارج از شبکه و سیستم مستقیم..... ۳۱
- شکل ۲-۳- سیستم مرتبط با شبکه (سمت راست)-سیستمهای بدون باتری مرتبط با شبکه (سمت چپ)..... ۳۲
- شکل ۳-۱- دیاگرام بلوکی فیلتر تشخیص عیب..... ۳۸
- شکل ۴-۱- شمای کلی عملکرد پنل خورشیدی..... ۴۹
- شکل ۴-۲- ساختار کلی یک سیستم تشخیص با استفاده از رویکرد مبتنی بر مدل باقیمانده..... ۵۰
- شکل ۴-۳- خروجی عیب شبیه‌سازی شده..... ۵۴
- شکل ۴-۴- نتیجه به دست آمده از شبیه‌سازی کل سیستم با استفاده از روش مقاوم..... ۵۵

- شکل ۴-۵- خروجی به دست آمده از فاز ولتاژ در نظر گرفته شده برای سیستم در حالت کلی ۵۶
- شکل ۴-۶- خروجی به دست آمده از عیب های وارد شده به سیستم آنالیز مقدار عیب های ایجاد شده ۵۷
- شکل ۴-۷- ورودی تابش و ولتاژ DC اولیه و توان اولیه برای سیستم فتوولتائیک ۵۷
- شکل ۴-۸- خروجی به دست آمده از ولتاژ و جریان کلی سیستم فتوولتائیک ۵۸
- شکل ۴-۹- توان کلی به دست آمده از سیستم فتوولتائیک بر حسب (KW) ۵۸
- شکل ۴-۱۰- ورودی سیستم فتوولتائیک شبیه سازی شده به وسیله پالس در نظر گرفته شده در سیستم ۵۹
- شکل ۴-۱۱- خروجی ولتاژ و جریان سیستم فتوولتائیک ۶۰
- شکل ۴-۱۲- توان سیستم فتوولتائیک مورد نظر در شبیه سازی در نظر گرفته شده ۶۰
- شکل ۴-۱۳- نتیجه به دست آمده از شبیه سازی کل سیستم با استفاده از روش مقاوم در هنگام ایجاد پالس در سیستم ۶۱

فصل ۱

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائلی که مهندسين کنترل با آن مواجه می‌باشند، طراحی سیستم‌های کنترلی نسل آینده می‌باشد تا در مواقعی که با رویدادهای غیرطبیعی روبرو می‌شوند بتوانند تصمیمات مناسب را به کمک اپراتورها اتخاذ نمایند. توقف‌های برنامه‌ریزی نشده به خاطر خرابی‌ها در اکثر صنایع می‌تواند تأثیرات غیرقابل جبرانی را به دلیل زمان بالای توقف یا هزینه‌های بالای فرایند داشته باشد.

تشخیص ندادن به موقع عیب در تجهیزات می‌تواند منجر به از بین رفتن و صدمه دیدن بخش‌های قابل توجهی از اطلاعات و امکانات و در برخی موارد نیروهای انسانی شود. به دلیل وسعت علت‌های مختلف پدید آمدن این شرایط غیرطبیعی و همچنین پیچیدگی سامانه‌ها و تجهیزات جدید، تنها تکیه کردن بر اپراتورهای انسانی برای مدیریت چنین مشکلاتی کافی نیست. بنابراین نیاز به یک سیستم تشخیص عیب برای عملکرد مناسب و دلخواه هست که باید دارای ویژگی‌هایی نظیر تشخیص سریع وقوع عیب و نوع آن، جداسازی عیب (توانایی سیستم برای تمایز بین عیب‌های مختلف)، مقاوم بودن به انواع مختلف عدم قطعیت‌ها و نویز را داشته باشد [۱].

۱-۱ پیشینه کار:

یکی از مهم‌ترین موضوعاتی که در چند دهه اخیر مورد توجه اکثر کشورهای صنعتی پیشرفته بوده است بحث جلوگیری از اتلاف انرژی می‌باشد. اهمیت این بحث در مهر و موم‌های نخست دهه ۱۹۶۰ زمانی که تقاضا برای عرضه ذخایر نفتی و انرژی ناشی از آن افزایش چشمگیری یافت روشن شد. بنابراین استفاده از منابع جدید انرژی به جای منابع فسیلی امری الزامی است چراکه تداوم حیات بشر با کار و مصرف انرژی همراه است. بنابراین شناخت عوارض ناشی از منابع مختلف تولید انرژی می‌تواند راه حل مناسب و محتمل برای برخورد با این مسئله را در برداشته باشد. بر این اساس تنها استفاده از روش‌های درست مصرف، بهینه‌سازی مصرف انرژی و به کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر می‌تواند بحران انرژی را مهار کند. لذا در راستای سیاست‌های بین‌المللی در زمینه توسعه پایدار، منابع انرژی تجدید پذیر همچون انرژی

خورشیدی، نقش ویژه و قابل توجهی ایفا می‌کند. انرژی‌های تجدید پذیر در کنار مصرف بهینه انرژی معنی پایدار را به خود می‌گیرند [۲].

فناوری فتوولتائیک امروزه به‌عنوان بخش رایجی از واژه شناسی ساختمان با امکان کاربرد در ساختمان‌های موجود و نو مطرح شده است استفاده از این سیستم در پوشش ساختمان بسیار متنوع بوده و راه‌های نوینی به‌سوی طراحان خلاق می‌گشاید. با توجه به پیشرفت روزافزون صنایع گوناگون نیاز به انرژی یکی از مهم‌ترین مقوله‌های هر توسعه و تکاملی محسوب می‌شود. بحث تولید و بهینه‌سازی مصرف انرژی از چالش‌های اساسی در هر کشور می‌باشد. در این بین انرژی غیر فسیلی مانند انرژی باد انرژی خورشیدی زمین‌گرمایی و زیست‌توده از راه‌کارهای جدید تولید انرژی است.

همچنین در تحقیقات بسیاری در ارتباط با انرژی خورشیدی و موانع و مشکلات تولید انرژی و بهینه‌سازی روزافزون آن انجام شده است.

در طی پیشرفت کنترل خودکار در طول سه دهه گذشته، سیستم‌های فنی و واحدهای نظارتی فراوانی به کار گرفته شدند تا حالت‌های ناخواسته و غیرمجاز فرایندها را تشخیص دهند و عکس‌العملی مناسب، جهت حفظ عملکرد فرآیند برای جلوگیری از رخ دادن حادثه و یا فاجعه‌ای عظیم انجام دهند. این واحدهای نظارتی را به شرح زیر می‌توان نشان داد [۳]:

(a) مانیتورینگ: متغیرهای اندازه‌گیری با مقادیر دارای تلورانس چک می‌شوند و هشدار لازم را برای کاربر تولید می‌کنند.

(b) حفاظت خودکار: در مورد حالت‌های فرآیندهای خطرناک، توابع مانیتورینگ به‌طور خودکار اقدامی متقابل را انجام می‌دهند تا اثر خطای وارد شده را به حداقل برسانند.

(c) نظارت به همراه عیب‌یابی خطا: بر پایه متغیرهای قابل اندازه‌گیری، روند محاسباتی انجام می‌گیرد و از طریق تشخیص تغییرات، نشانه‌ها (علائم هشدار) تولید می‌گردند و عیب‌یابی خطا اجرا می‌شود و تصمیم برای اقدام متقابل اتخاذ می‌گردد.

نظارت‌های خودکار در گذشته توسط بررسی حد یا سطح آستانه بعضی متغیرهای مهم فرآیند مانند: نیرو، سرعت، فشار، سطح مایع و دماها صورت می‌گرفت. معمولاً زمانی که مقدار متغیر از سطح تعیین‌شده فراتر می‌رفت هشدار به کاربر داده می‌شد تا عملی در جهت حفاظت از سیستم انجام دهد. این روش در اکثر مواقع از بروز خسارت و اتفاقات جلوگیری می‌کرد. با این وجود در این روش، خطاها خیلی دیر تشخیص داده می‌شدند و خطاهای کوچک نیز از دید اپراتور مخفی می‌ماند و قابل تشخیص نبود. در موارد سیستم حلقه بسته، تغییرات ناخواسته در فرآیندها توسط عملیات کنترل مورد پوشش قرار می‌گیرد و از طریق خروجی قابل‌شناسایی هستند. بنابراین سیستم‌های دارای بازخورد، تشخیص خطاهای فرآیند را به تأخیر می‌اندازند. مزیت بزرگ نظارت بر پایه مقدار محدود کلاسیک¹، سادگی و قابلیت اطمینان بودن است [4]. به‌رحال این سطح آستانه، بعد از یک تغییر بزرگ یا خطای افزاینده طولانی قادر به عکس‌العمل هست. در واقع عیب‌یابی خطای معمولی غیرممکن است. بنابراین گزینه پیشرفته بند C مورد نیاز است که شرایط زیر را برآورده کند:

- تشخیص سریع خطاهای کوچک با رفتار تند زمانی
- عیب‌یابی خطاها در اجزا محرک‌ها و حس‌گرها
- تشخیص خطا در حالت حلقه بسته
- نظارت بر فرآیند در حالت گذرا

هدف از تشخیص زود و سریع عیب آن، این است که زمان کافی برای اقدام مانند: بازسازی ساختارهای کنترلی جهت حداقل نمودن اثر عیب، محافظت و تعمیر وجود داشته باشد. تشخیص زود مخصوصاً به وسیله رابط بین کمیت‌های قابل‌اندازه‌گیری در قالب مدل‌های ریاضی می‌تواند از طریق جمع‌آوری

¹ Classic Threshold

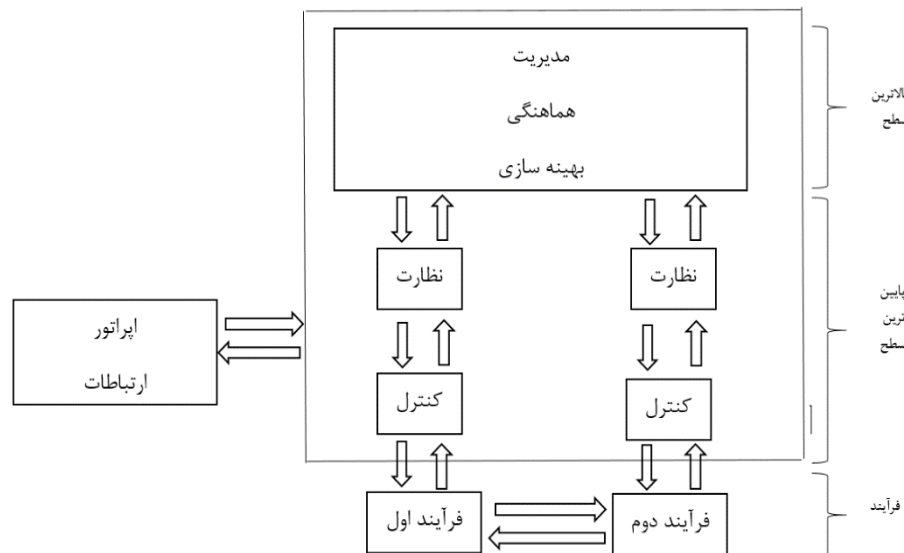
اطلاعات بیشتر به دست آید.

۱-۲ اتوماسیون یک فرآیند و نظارت بر آن

پایین ترین سطح شامل کنترل کننده های کلاسیک، پس خورد و پیش خور است. نظارت در سطح میانی معنا پیدا می کند. بالاترین سطح شامل عملیات کلان از جمله مدیریت و بهینه سازی است. اطلاعات مهم فرآیند نیز در میز نمایش داده می شوند [۵].

در گذشته پیشرفت و بهبود یک فرآیند در پایین ترین سطح آن (سطح فرآیند) انجام می شده است. برای مثال کیفیت حس گرها و محرک ها افزایش پیدا می کرد و یا روش های کنترلی جدیدی ابداع می شد، اما پیشرفت در سطح اپراتوری مستلزم آن بود که توابع نظارتی نیز پیشرفت کنند و بهبود یابند. از طرف دیگر یکپارچگی سیستم های کنترلی نیز مزید بر این علت شد.

شکل ۱-۱، یک طرح ساده از خود کارسازی فرآیند که از دو فرآیند تزویج شده تشکیل شده است را نشان می دهد.



شکل ۱-۱: طرحی ساده از یک سیستم خود کارسازی

سیستم‌های کنترلی زمانی می‌توانند امن و قابل اطمینان باشند تا تمام اجزای فرایند مانند حس‌گرها، محرک‌ها، محاسبه‌گرها و اجزای خود سیستم به‌طور صحیح کار کنند. از طرف دیگر خطاهای سیستم باید به‌سرعت به اپراتور نشان داده شوند و در فرآیندهایی که خطا در آن باجان افراد ارتباط دارد نیز، باید قسمت‌های جایگزین و یا اجزای تجدید ساختار وارد عمل شوند و کنترل سیستم را بر عهده گیرند. روش‌های تشخیص خطا مبتنی بر مدل، برای این که بتوانند تغییرات احتمالی ناشی از خطا را استخراج کنند، از رابطه‌های مربوط به چندین متغیر که در طول فرآیند اندازه‌گیری می‌شوند، استفاده می‌کنند. این روابط اکثراً از نوع تحلیلی هستند که از معادلات مدل فرآیند به دست می‌آیند. دقت شود که این روابط علاوه بر حالت تحلیلی و ریاضی می‌توانند از روابط علت و معلول نیز باشند. برای مثال قوانین اگر-سپس^۱، رابطه بین سیگنال ورودی U و سیگنال خروجی Y توسط مدل ریاضی فرایند بیان می‌شود و با استفاده از روش‌های تشخیص خطای مختلفی که وجود دارد نیز خصوصیات برجسته یک فرایند مانند: پارامترهای یک سیستم θ ، متغیرهای حالت X یا سیگنال باقی‌مانده I استخراج می‌گردند. بعد از به دست آوردن مقادیر سیستم و مقایسه آن‌ها با مقادیر نامی آن و اعمال روش‌های تشخیص می‌توان سیگنال تصمیم‌گیری را تولید کرد. برای به‌کارگیری انواع روش‌های مختلف تشخیص خطا دانستن ساختار سیستم الزامی است.

مدل‌های به‌کاررفته برای فرآیندها می‌توانند زمان پیوسته و یا زمان گسسته باشند که مدل زمان پیوسته خود به معادلات خطی، غیرخطی یا متغیر با زمان دسته‌بندی می‌شوند. از نکات دیگر در تشخیص عیب، نحوه ظهور و حضور در مدل فرآیند است.

۱-۳ اصطلاحات علمی

از آنجایی که شاخه مورد بحث در مورد عیب‌ها و خرابی در سیستم در حوزه‌های مختلف علمی وارد شده است، تعاریف و اصطلاحات موجود یکتا نیستند. برای این که به تعریف و توضیح این اصطلاحات بپردازیم از مرجع [۳] استفاده می‌کنیم.

¹ If-then Rule

۱-۳-۱ عیب

انحراف غیرمجاز حداقل یکی از مشخصه‌های سیستم از مقدار مجاز، استاندارد و شرایط نرمال خود.

- عیب یکی از حالت‌های داخلی سیستم است
- عیب، شرایط غیرعادی است که ممکن است موجب کمبود و نقصان در توانایی یک واحد برای انجام کاری شود.
- انواع مختلفی از عیوب در طراحی، عیب در تولید، عیب در مونتاژ، عیب عملکرد عادی (مانند ساییده شدن)، عیب بدعمل کردن (مانند اضافه بار)، عیب در نگهداری و پشتیبانی از سیستم، عیب در سخت‌افزار و نرم‌افزار و عیب در عملکرد کاربر می‌تواند وجود داشته باشد. (برخی از عیوب، خطا هم نامیده می‌شوند، مخصوصاً که اگر توسط انسان به وجود آمده باشند)
- عیب در سیستم مستقل از این است که سیستم در حال کار کردن است یا خیر
- ممکن است عیب موجب خرابی و بدکار کردن شود [۳].

۱-۳-۲ خرابی

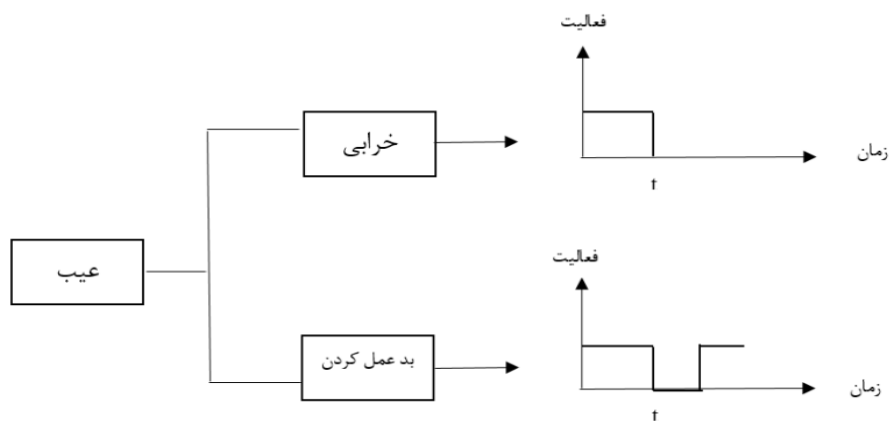
وقفه دائمی در توانایی سیستم برای انجام کار موردنیاز تحت شرایط خاص.

- خرابی، پایان توانایی یک واحد در انجام کار موردنیاز است
 - دسته‌بندی‌های مختلفی برای خرابی‌ها وجود دارد:
 - تعداد خرابی‌ها: تکی و گروهی.
 - از نقطه نظر قابلیت پیش‌بینی:
- * خرابی‌های تصادفی (غیرقابل پیش‌بینی، از لحاظ آماری مستقل از خرابی‌های دیگر هستند).
- * خرابی‌های مشخص (قابل پیش‌بینی برای شرایط خاص)
- * خرابی‌های سامانمند یا علی (وابسته به شرایط خاص)

۱-۳-۳ بدعمل کردن

بی‌نظمی‌های متناوب و دوره‌ای در اجرای فعالیت طراحی شده برای سیستم.

- بد عمل کردن، توقف موقت در فعالیت سیستم است.
 - از یک یا چند عیب ناشی می‌شود.
 - معمولاً پس از شروع کار سیستم و با وارد آوردن فشار بر آن به وجود می‌آید.
- شکل ۱-۲ ارتباط بین عیب، خرابی و بدعمل کردن را نشان داده است. عیب، می‌تواند به صورت ناگهانی، مانند تابع پله، یا به تدریج گسترش یابد. فرض می‌شود مشخصه سیستم متناظر با عیب هم متناسب با توسعه عیب، آلوده می‌گردد. پس از عبور از حدود مجاز برای مشخصه سیستم، عیبی در زمان t برای مشخصه سیستم معین می‌شود.



شکل ۱-۲: گسترش خرابی و بدعمل کردن در اثر عیب

۴-۳-۱ قابلیت اطمینان

توانایی سیستم برای انجام فعالیت مورد نیاز تحت شرایط معین شده، با هدف و رویکرد، در یک بازه زمانی معین.

- شاخصه‌ای است که در طول زمان دوام داشته باشد.
- می‌تواند از خرابی‌ها و بدعمل کردن‌ها تأثیر بپذیرد.
- یک معیار برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان، میانگین زمان خرابی $MTTF = \frac{1}{\lambda}$ است و در آن λ نرخ خرابی‌ها در واحد زمان است [۳].

۱-۳-۵ ایمنی

توانایی این که سیستم به افراد، تجهیزات و محیط صدمه‌ای نزند.

- توانایی این که سیستم موجب خطر نشود
 - ایمنی، نگران تأثیر خطرات عیوب، خرابی‌ها و بدعمل کردن‌ها است.
 - ایمنی می‌تواند شبیه به حالتی که ریسک از حد مشخصی کمتر است، در نظر گرفته شود.
- اقدامات لازم برای ارتقاء قابلیت اطمینان، در جهت جلوگیری از عیوب، خرابی‌ها و بدعمل کردن است. بدین ترتیب، بهبود در قابلیت اطمینان، موجب ارتقاء سطح ایمنی می‌شود [۳].

۱-۳-۶ دسترس پذیری

احتمال این که یک سیستم یا تجهیزات در هر بازه زمانی، وظیفه خود را به‌طور رضایت بخش و مؤثر انجام خواهد داد.

- معیاری برای اندازه‌گیری دسترس‌پذیری $A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$ است و $MTTR$ میانگین زمان تعمیر است.
- برای رسیدن به یک دسترس‌پذیری مناسب، باید مقدار $MTTF$ نسبت به $MTTR$ بزرگ باشد. این امر زمانی محقق می‌شود که:

۱- زمان فعالیت $MTTF$ بزرگ باشد:

✓ حالت خیلی خوب: اجزایی با قابلیت اطمینان بالا

✓ حد قابل قبول: عیوب قابل تحمل با به‌کارگیری افزونگی در سیستم

۲- زمان تعمیر $MTTR$ کوچک باشد:

✓ تشخیص عیب سریع و مطمئن باشد

✓ تعمیر و رفع عیب سریع و مطمئن باشد [۳].

۱-۳-۷ یکپارچگی

یکپارچگی یک سیستم، توانایی کشف عیوب در کار خودشان و اطلاع دادن به کاربر است. سال‌ها این مفهوم همراه با سیستم‌های بحرانی بوده است. یکپارچگی مترادف با اصطلاح قابلیت اعتماد و اطمینان است. این اصطلاح در مرجع [۳] به صورت زیر تعریف شده است:

یکپارچگی، احتمال این است که یک سیستم وابسته به ایمنی کار خود را تحت همه شرایط در یک بازه زمانی به طور رضایت بخش انجام دهد، می‌باشد.

۱-۴ مدل‌های خطا

انتخاب مدل مناسب برای خطای یکی از عوامل مؤثر در بررسی عملکرد سیستم تشخیص خطاست. درک فیزیکی از توصیف خطاهای رخ داده در مدل واقعی یک فرایند، بررسی اثرات خطا بر روی مدل ریاضی تعیین شده برای همان فرآیند و همچنین پیش‌بینی رفتار سیستم را آسان‌تر خواهد کرد. البته این هدف با بررسی دقیق فرآیند و با استفاده از یک فیلتر تشخیص خطای مناسب حاصل می‌گردد. برای بروز خطا در یک سیستم فیزیکی دلایل زیادی را می‌توان بیان نمود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

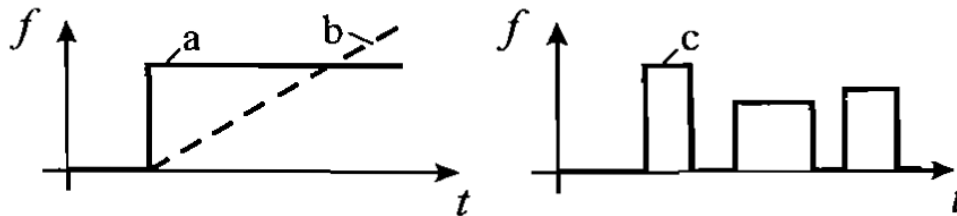
- اشتباه در طراحی سیستم و یا طراحی در مونتاژ آن
- اشتباه در عملکرد اجزای سیستم و فقدان نگهداری مناسب از تجهیزات و قطعات موجود
- از کار افتادگی سیستم، خوردگی و زنگ‌زدگی، فرسودگی و سایش ناشی از عملکرد طبیعی اجزای یک سیستم که در ارتباط دائم باهم می‌باشند.

با توجه به نوع عملکرد خطا و رفتار خطا بعد از رخ دادن آن‌ها می‌توان آن‌ها را به طریق مختلف دسته‌بندی نمود. یک خطا ممکن است به طور ناگهانی و در اندازه‌های کوچک و بزرگ در یک سیستم رخ دهد و یا همچنین به طور افزایشی تدریجی مانند شیب در سیستم بروز کند. به جهت سهولت در بررسی خطاها و رفتار آن‌ها در یک چهارچوب معین می‌توان خطاها را به دسته‌های شناخته شده زیر دسته‌بندی نمود [۲].

۵-۱ مدل‌های پایه‌ای خطا

همان‌طور که گفته شد خطا یک تغییر ناخواسته در رفتار طبیعی سیستم و یا حداقل در یکی از خصوصیات (متغیرهای) فرایند می‌باشد. این خصوصیات می‌تواند یکی از کمیت‌های فیزیکی موجود باشد. اگر کمیت موردنظر جزئی از یک قانون مانند: $Y(t) = g[U(t), x(t), \theta]$ در نظر گرفته شود، آنگاه سیگنال‌های $U(t)$ و $Y(t)$ از جمله سیگنال‌هایی هستند که به راحتی قابل اندازه‌گیری و استفاده می‌باشند.

مهم‌ترین خصوصیات این سیگنال‌ها در دسترس بودن آنهاست که بعد از رخ دادن اتفاق ناخواسته اثر خود را به نوعی در سیگنال متغیر ورودی $U(t)$ ، سیگنال خروجی $Y(t)$ ، متغیرهای حالت $x(t)$ ، یا توابع θ نشان می‌دهد. بنابراین خطا به صورت تغییر در یک پارامتر یا سیگنال ظهور می‌کند. وابستگی زمانی انواع خطاها در ادامه نشان داده شده است.



شکل ۳-۱: رفتار خطا با توجه به زمان

به شکل ۲-۲ توجه کنید:

- خطای ناگهانی (پله) حالت (a)
- خطای افزایشنده (شیب) حالت (b)
- خطای متناوب حالت (c)

۱-۶ نمونه‌هایی از مدل‌های خطا

انواع خطاها و نحوه مدل کردن آن وابسته به مفاهیم اولیه در سیستم‌های واقعی است. به همان دلیل چند خطای مهم در سیستم‌های عملی در ادامه مورد توجه قرار می‌گیرد [۳].

۱-۶-۱ خطای حسگر

حسگرها و سیستم‌های اندازه‌گیری المان‌های دینامیکی هستند که توسط آن‌ها متغیرهای خروجی $Y(t)$ اندازه‌گیری می‌شوند. بدون تجهیزات کالیبراسیون، تشخیص صحت عملکرد یک حسگر سخت می‌باشد. اگر خروجی واقعی یک حسگر را Y_0 در نظر گرفته شود، آنگاه رفتار استاتیکی یک حسگر ممکن است خطی باشد:

$$Y(t) = C_0 + C_1 Y_0(t) \quad (1-1)$$

و یا غیرخطی باشد:

$$Y(t) = C_0 + C_1 Y_0(t) + C_2 Y_0^2(t) + \dots \quad (1-2)$$

رفتار دینامیکی یک حسگر برای تغییرات کوچک همیشگی را می‌توان به‌طور تقریبی با مدل خطی تقریب زد و توسط تابع تبدیل زیر نشان داد.

$$G_s(s) = \frac{\Delta Y(s)}{\Delta U(s)} = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{B_s(s)}{A_s(s)} \quad (1-3)$$

و در موارد ساده با یک lag مرتبه اول نیز قابل بیان است:

$$G_s(s) = \frac{K_s}{1 + T_1 s} \quad (1-4)$$

با بهره:

$$K_s = C_1 + 2C_2 \quad (1-5)$$

خروجی یک حس گر معمولاً تحت تأثیر انواع اغتشاشات داخلی و خارجی است. اغتشاشات خارجی توسط محیط اطراف و حس گر به وجود می آیند، مانند: اثرات مغناطیسی. اغتشاشات داخلی که توسط خود حس گر ایجاد می شوند. این گونه اغتشاشات بر اثر تغییر در منبع تغذیه، مقاومتها، خازن ها، سلفها یا اصطکاک به وجود می آید و در نهایت رفتار دینامیکی حس گر تغییر می کند.

به طور کلی پنج دسته عمده خطاها برای یک حس گر را می توان به شرح زیر بیان کرد:

- آفست ثابت ΔY
- تغییرات بهره ΔK_s
- خاصیت هیستریزیس
- از دست دادن دقت اندازه گیری

۱-۶-۲ خطای محرک

محرکها آخرین جزء یک عملکرد کنترلی هستند که نقش مهمی را در یک فرآیند کنترلی ایفا می کنند زیرا باید توان لازم برای ساخت و ایجاد متغیر کنترلی مورد نظر را تأمین نمایند. اگر سیستمی شامل یک کنترل کننده قوی بوده ولی از نظر محرک دارای ضعف باشد به طوری که نتواند سیگنال کنترلی تولید شده را به فرآیند انتقال دهد در مجموع عملکرد سیستم ضعیف ارزیابی می گردد.

اکثر محرکها در سیستمهای نوین، سیستمهای قدرتی، هیدرولیکی یا پنوماتیکی هستند. با توجه به قابلیت انتقال توان بسیار بالا در این گروه از محرکها، این دسته از محرکها ذاتاً حجیم و بزرگ می باشند و وزن و اندازه زیاد این قطعات محدودیتهایی را برای استفاده از آنها در حالت ذخیره ایجاد می کند. به همین دلیل تمرکز بر روی خطاهای محرکها امروزه بیشتر مورد توجه قرار می گیرد.

۱-۶-۳ خطای اجزای سیستم^۱

این دسته از خطاها به طور عمده باعث تغییر در درایه‌های ماتریس فضای حالت سیستم یا ضرایب معادله دینامیکی سیستم می‌گردند و با توجه به اغتشاش ذاتی سیستم‌های فیزیکی تشخیص این نوع خطاها در سیستم‌های بزرگ بسیار سخت است.

۱-۷-۷-تشخیص عیب

برای تشخیص عیب سیستم‌های دینامیکی در حالت کلی دو رویکرد عمده وجود دارد. استفاده از نشانه‌های تحلیلی و استفاده از نشانه‌های ابتکاری و ابداعی^۲ (انسانی) که در ادامه هر یک به طور مختصر توضیح داده می‌شود.

۱-۷-۱- تولید نشانه‌های تحلیلی^۳

دانستنی‌های تحلیلی یک فرآیند، برای تولید اطلاعاتی به کار برده می‌شوند که قابل سنجش باشند. به این معنی که بتوان آن‌ها را اندازه‌گیری نمود و با مقادیر مشخص دلخواهی مقایسه کرد. رسیدن به این هدف نیازمند پردازش داده‌ها بر اساس متغیر اندازه‌گیری شده در فرایند است تا سیگنال تصمیم‌گیری مطابق با مراحل زیر تولید گردد [۳]:

- چک کرد میزان سیگنال‌های اندازه‌گیری شده به طور مستقیم (مقادیر اندازی گیری شده، فراتر از حد قابل قبول سیگنال است یا نه).
- آنالیز فرایندهای ریاضی با استفاده از تخمین پارامترها، تخمین حالت و معادلات توازن، مقادیر نوعی پارامترها، متغیرهای حالت و یا باقی‌مانده‌ها.

۱-۷-۲- تولید نشانه‌های ابتکاری

علاوه بر اطلاعات اندازه‌گیری برای تولید نشانه‌های تحلیلی، نشانه‌های ابتکاری نیز قابل تولید هستند. که به صورت اطلاعات کیفی از اپراتور ها به دست می‌آیند. به وسیله مشاهدات و دریافت اطلاعات

¹ Component Fault

²Heuristic

³ Analytical

محیطی، مقادیر نوعی انسانی در قالب رنگ، بو، غلظت، ارتعاشات، فرسودگی، ازهم گسیختگی و غیره به دست می‌آیند. تاریخچه یک فرآیند که شامل اطلاعات مهم مانند روند نگهداری سیستم، تعمیرات آن، انواع خطاهای پیشین رخ داده در سیستم، دوره عمر دستگاه‌های موجود در سیستم، منابع بیشتر اطلاعات انسانی را در اختیار طراح قرار می‌دهند. به موارد فوق می‌توان اطلاعات استاتیکی که از طریق تجربه با همین روش‌ها یا روش‌های مشابه به دست آمده‌اند را نیز اضافه کرد. به این طریق نشانه‌های ابداعی تولید شده در فوق را می‌توان با استفاده از متغیرهای زبانی مانند توصیفات کوچک، متوسط و بزرگ یا اعدادی دارای مفهوم مشخص برای کاربر به کاربرد.

۸-۱ عیب‌یابی

مراحل تشخیص عیب شامل تعیین نوع خطا، اندازه و مکان خطا و همچنین زمان روی دادن خطا است که بر پایه رویتگرهای تحلیلی یا نشانه‌های ابتکاری می‌توان به این هدف دست یافت. اگر اطلاعات بیشتری در مورد خطا و علل پیدایش آن مورد نظر باشد می‌توان از روش‌هایی مانند طبقه‌بندی آماری و هندسی یا شبکه‌های عصبی و خوشه‌های فازی استفاده نمود. همچنین اگر آگاهی قبلی از علیت نشانه‌های خطا در دسترس باشد، می‌توان سیستم تشخیص خطا را در قالب شبکه‌های علیت، استراتژی استدلال خطایاب^۱ به کاربرد. سلسله پیشرو و پس‌رو^۲ با الگوریتم بولین برای اتفاقات باینری با استدلال تقریبی برای اتفاقات احتمالی نیز به کار برده می‌شوند. در نهایت سیستم عیب‌یابی خطا نشان دهنده نوع، اندازه و مکان خطاهای محتمل‌تر و همچنین زمان دقیق تشخیص است [۳].

۹-۱ روش‌های تشخیص خطا مبتنی بر مدل

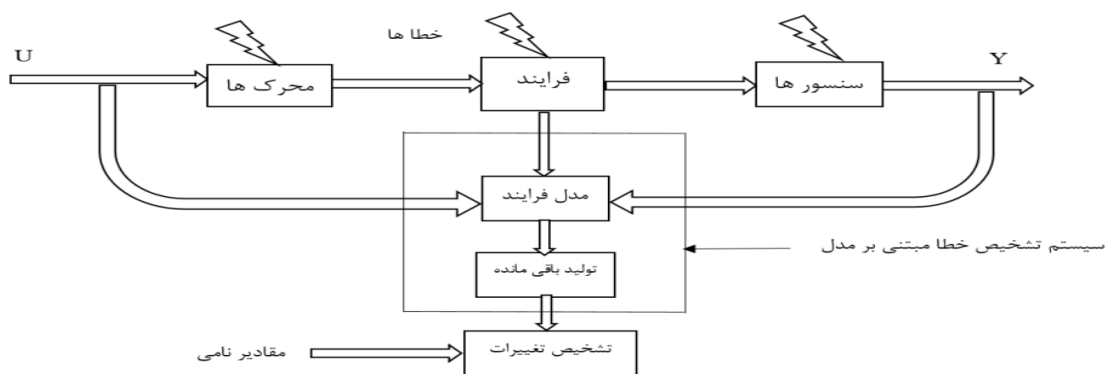
روش‌های مختلف خطا با استفاده از مدل‌های ریاضی در طول ۳۰ سال گذشته رشد چشمگیری کرده‌اند. در این قسمت روش‌های پایه‌ای به‌طور مختصر توضیح داده می‌شوند. این عمل شامل تشخیص خطاها در اجزای سیستم، محرک‌ها و حس‌گرها است. در تمامی این روش‌ها، اطلاعات

¹ Diagnosis Reasoning Strategies

² Forward And Backward Chaining

موردنظر با اتکا به سیگنال‌های مختلف قاب اندازه‌گیری از مدل ریاضی فرایند به دست می‌آیند از مهم‌ترین روش‌هایی که برای تشخیص خطابه کار می‌رود می‌توان به تشخیص خطا با استفاده از شناسایی سیستم، رویتگر حالت و معادلات توازن اشاره کرد [۶].

شکل ۱-۴ ساختار پایه‌ای سیستم تشخیص خطا بر اساس مدل ریاضی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴: ساختار پایه‌ای تشخیص خطا

۱-۹-۱ تشخیص خطا با استفاده از تخمین پارامتر

روش‌های مبتنی بر فرآیند نیازمند به دانش در مورد فرآیند و پارامترهای آن هستند. در مورد سیستم‌های خطی پیوسته در زمان، می‌توان از پاسخ ضربه و معادلات دیفرانسیل مربوط به پاسخ فرکانسی استفاده کرد. در حالت عملی پارامترهای فرآیند یا هیچ‌کدام مشخص نیستند یا این‌که تعدادی از آن‌ها مشخص هستند. بنابراین اگر ساختار اصل مدل فرآیند در دسترس باشد، می‌توان پارامترها را از طریق تخمین پارامتر با اندازه‌گیری سیگنال‌های ورودی و خروجی، به دست آورد. اولین روش (تخمین حداقل مربعات)، نسبت به پارامترها خطی است و می‌توان از آن برای تخمین مستقیم پارامترها به صورت بازگشتی یا غیر بازگشتی بهره گرفت. روش دوم نیازمند روش‌های بهینه‌سازی عددی و روش‌های تکرارشونده است. البته در شرایطی که فرآیند تأثیرپذیر از اغتشاشات است بسیار دقیق عمل می‌کند. نشانه‌ها، انحراف پارامترهای فرآیند $\Delta\theta$ هستند. از آنجایی که پارامترهای فرآیند

با ضرایب فیزیکی فرآیند p ارتباط دارند، تعیین تغییر در فرآیندهای Δp ، موجب راحتی

در تعیین عیب شده و بینش فیزیکی بیشتری می‌دهد [۳].

۱-۹-۲ تشخیص عیب با استفاده از مشاهده‌گرها

در فرآیندهایی که پارامترها شناخته شده‌اند هر کدام از مشاهده‌گرهای حالت یا مشاهده‌گرهای خروجی می‌توانند استفاده شوند. از آنجایی رویتگرهای حالت، از خطای خروجی متغیرهای اندازه‌گیری شده فرآیند و فرایند مدل شده، برای تشخیص خطا استفاده می‌کنند، از محبوب‌ترین روش‌های تشخیص خطا بر پایه مدل ریاضی می‌باشند. در این روش فرض بر این است که ساختار و پارامترهای فرآیند به‌طور دقیق شناخته شده باشند. رویتگرهای حالت، متغیرهای حالتی را که باید مورد بررسی قرار گیرند با توجه به دو فاکتور مهم، که اولین آن وضعیت اولیه (مقدار اولیه) متغیرها و دومی دوره زمانی اندازه‌گیری سیگنال‌ها است را در روند طراحی در نظر می‌گیرند. رویکرد مختلفی برای تشخیص خطا با این روش پیشنهاد شده است که اکثر آن‌ها بر پایه رویتگرهای کلاسیک لیونبرگر، فیلتر کالمن و یا رویتگر خروجی استوار است.

رویتگر حالت

یک فرایند خطی و تغییرناپذیر با زمان را می‌توان توسط معادلات فضای حالت زیر بیان کرد [۶]:

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t) \quad (1-6)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

هدف اصلی استفاده از رویتگر حالت، بازسازی متغیرهای حالتی است که غیرقابل اندازه‌گیری هستند. اساس کار این روش، استفاده از سیگنال‌های ورودی و خروجی سیستم می‌باشد که به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری هستند. \hat{x} متغیر حالتی است که توسط رویتگر تخمین زده می‌شود. این روش‌های تشخیص خطا به‌طور عمده نیازمند سیگنال‌های خروجی قابل اندازه‌گیری و استفاده از تحلیل داخلی چندگانه سیستم‌های چند متغیره هستند.

معادله شماره (۷-۱) رفتار خطا را در این حالت نشان می‌دهد که با گذشت زمان به‌طور نمایی به سمت صفر میل می‌کند [۶]:

$$\hat{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + He(t) \quad (1-7)$$

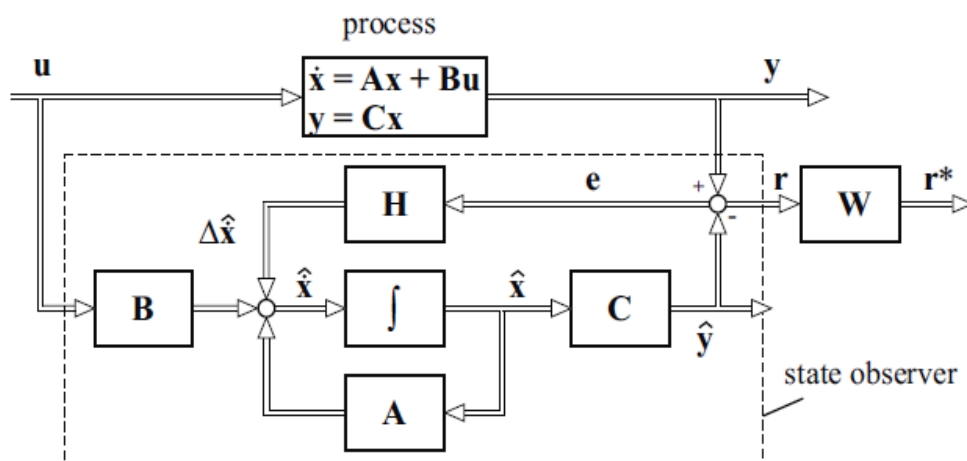
$$e(t) = y(t) - C\hat{x}(t) \quad (1-8)$$

$$\tilde{x} = x - \hat{x} \quad (1-9)$$

$$\dot{\tilde{x}} = [A - HC]\tilde{x}(t) \quad (1-10)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{x}(t) = 0$$

در سال‌های اخیر ارتقاء مقاوم بودن سیستم‌های تشخیص خطا با توجه به تغییرات پارامترها منجر به روشی به نام سیگنال ورودی نامعلوم^۱ شده است. برای مثال با فیلتر کردن خطای خروجی به صورت $r(t) = We(t)$ به اضافه طراحی مخصوص برای بازخورد H ، این هدف قابل دستیابی است که در فصل شبیه‌سازی به‌طور مفصل به آن پرداخته خواهد شد. شکل ۲-۵ شمای کلی این روش را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵: سیستم تشخیص خطا با رویکرد حالت

¹ Unknown Input

اگر معادلات حاکم بر سیستم را به صورت معادلات (۱-۱۱) در نظر بگیرید [۶]:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + Vv(t) + Lf(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Mf(t) \end{aligned} \quad (1-11)$$

هدف اصلی، تولید باقی مانده‌ای است که مستقل از ورودی‌های ناشناخته $v(t)$ باشد. برای رسیدن به این هدف از یک انتقال خطی به صورت معادله (۲-۱۲) استفاده می‌شود:

$$\xi(t) = T_1 x(t) \quad (1-12)$$

به این ترتیب متغیرهای جدید $\xi(t)$ ساخته می‌شوند. خروجی رویتگر مورد نظر $\eta(t)$ است بنابراین هیچ ارتباط مستقیمی بین خروجی $y(t)$ فرایند و خروجی خطا وجود ندارد و می‌توان نوشت:

$$\eta(t) = T_2 y(t) \quad (1-13)$$

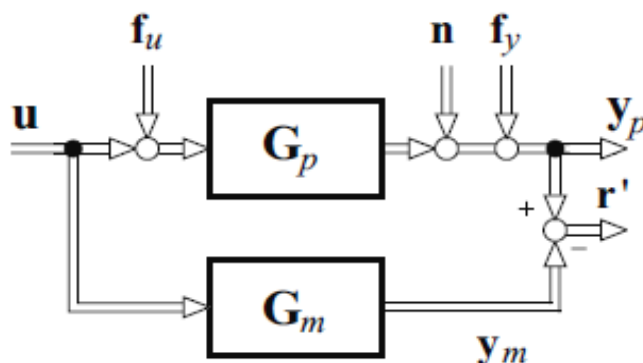
۳-۹-۱ تشخیص خطا با استفاده از معادلات توازن

یکی از سراسرترین روش‌های مبتنی بر مدل ریاضی در سیستم‌های تشخیص خطا مقایسه سیستم اصلی و سیستم مدل شده به صورت ریاضی است. نحوه بررسی به این صورت است که یک مدل ثابت G_m موازی با G_p فرآیند به طور هم‌زمان اجرا می‌شود و تفاضل رفتاری این دو سیستم، مطابق با روند نشان داده شده در شکل ۷-۱ خطای خروجی را تولید می‌کنند [۳].

$$r(t) = [G_p(s) - G_m(s)]u(s) \quad (1-14)$$

همان طور که در معادله (۱۴-۱) داده می‌شود در صورت بروز هرگونه اتفاقی که موجب عدم هماهنگی مدل فیزیکی و مدل ریاضی آن گردد خروجی باقی مانده از مقدار صفر خارج شده و این عدم هماهنگی را اعلام می‌کند.

عملکرد کلی این سیستم در شکل ۷-۱ نشان داده شده است [۳].



شکل ۷-۱: تولید باقی‌مانده با استفاده از معادلات توازن

فرض کنید که مدل اصلی سیستم فیزیکی را بتوان توسط تابع تبدیلی به فرم معادله (۲-۱۵) بیان کرد:

$$G_p(s) = \frac{y_p(s)}{u(s)} = \frac{B_p(s)}{A_p(s)} \quad (1-15)$$

اگر سیستم مدل شده ریاضی آن را به صورت معادله (۲-۱۶) در نظر گرفته شود:

$$G_m(s) = \frac{y_m(s)}{u(s)} = \frac{B_m(s)}{A_m(s)} \quad (1-16)$$

به طوری که پارامترهای آن به طور کامل شناخته شده و دارای مقدار ثابتی باشند:

$$G_p(s) = G_m(s) + \Delta G_m(s) \quad (1-17)$$

به طوری که $\Delta G_m(s)$ خطای مدل کردن را نشان می‌دهد. مشابه با حالت تخمین پارامتر در این روش نیز می‌توان به دو صورت باقی‌مانده را محاسبه نمود. حالت اول آن خطای خروجی و حالت دوم آن خطای چند جمله‌ای است. نحوه عملکرد ساختار خطای چند جمله در شکل ۷-۱ نشان داده شده است.

با توجه به این ساختار سیگنال باقی‌مانده را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$r(s) = A_m(s)y(s) - B_m(s)u(s) = \quad (1-18)$$

$$A_m(s)[G_p(s)[u(s) + f_u(s) + n(s) + f_y] - B_m(s)u(s)]$$

اگر مدل ریاضی و مدل فیزیکی کاملاً بر هم منطبق باشند، آنگاه سیگنال باقی مانده برابر با معادله (۱-۱) خواهد بود.

$$r(s) = A_m(s)[n(s) + f_y] - B_m(s)f_u(s) \quad (1-19)$$

همان طور که از معادله (۱-۱۹) دیده می شود، خطای جمع شونده در ورودی توسط چند جمله ای $B_m(s)$ مدل فیلتر می شود و همچنین خطای ضرب شونده در خروجی نیز از فیلتر $A_m(s)$ عبور می کند و می تواند باعث افزایش درجه مشتق چند جمله ای گردد. در این روش برای فرآیندهای SISO فقط یک باقی مانده می توان تولید نمود و بنابراین این تمایز بین خطاها آسان نیست. آزادی بیشتر در طراحی معادلات توازن زمانی به دست می آید که برای فرآیندهای SISO یا برای فرآیندهای MIMO برای مدل زمان پیوسته سیگنال های میانی نیز قابل اندازه گیری باشند. از این روش برای بررسی صحت مدل سازی فرآیند نیز استفاده می شود. طراحی در این روش هم می تواند بر اساس معادلات حالت و هم بر اساس توابع تبدیل سیستم صورت بگیرد.

۱-۱۰ روش های تشخیص عیب مبتنی بر سیگنال

تشخیص عیب بر اساس اندازه گیری سیگنال در حالت ساده با استفاده از بررسی حدود یا بررسی روند و یا در حالت پیچیده تر از مدل های خاص سیگنال، روش های استخراج ویژگی های خاص سیگنال و تشخیص تغییر استفاده می شود. روش های متناظر به تفصیل در مرجع [۳] آورده شده است.

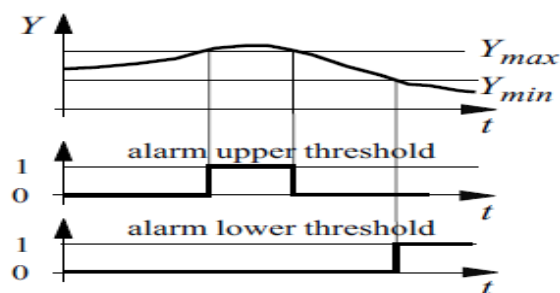
۱-۱۰-۱ روش بررسی حدود

در حالت کلی، دو مقدار حدی بیشینه Y_{max} و کمینه Y_{min} کمینه، که آستانه نامیده می شوند، در نظر گرفته می شوند. در حالت عادی داریم:

(۱-۲۰)

$$Y_{\min} < Y(t) < Y_{\max}$$

این رابطه، بیانگر این مفهوم است که اگر متغیر نمایش داده شده (Y) در محدوده‌ای مشخص مانند رابطه بالا صدق کند، آنگاه می‌توان گفت که سیستم در شرایط عادی و نرمال کار می‌کند. اگر یکی از حدود بالا یا پایین نقض شود، نشان‌دهنده این مطلب است که عیبی در فرآیند رخ داده است. شکل ۱-۸ را مشاهده کنید. این روش ساده در بسیاری از سیستم‌های خودکار استفاده می‌شوند. مقادیر آستانه، معمولاً بر اساس تجربه و برقراری مصالحه انتخاب می‌شوند. این مصالحه میان تشخیص سریع عیب و اجتناب از هشدارهای اشتباه برقرار است.



شکل ۱-۸: بررسی حدود: مقادیر مطلق $Y(t)$

۱-۱۰-۲ روش بررسی روند

یک روش ساده و ممکن برای بررسی روند حرکت، محاسبه مشتق اول $\dot{Y} = \frac{dy}{dt}$ ، روند متغیر نمایش داده شده و بررسی حدود زیر:

(۱-۲۱)

$$\dot{Y}_{\min} < \dot{Y}(t) < \dot{Y}_{\max}$$

اگر آستانه نسبتاً کوچک انتخاب شود، هشداردهنده می‌تواند زودتر از بررسی حدود مقادیر مطلق به صدا درآید. برای نمونه، از بررسی روند برای اندازه‌گیری فرسودگی ماشین‌ها استفاده می‌شود. بررسی حدود مقادیر مطلق و روند می‌توانند باهم ترکیب شوند. از دیگر روش‌های موجود برای تشخیص عیب مبتنی

بر سیگنال، استفاده از آستانه دودویی، تطبیقی و بررسی‌های معقول است که برای مطالعه بیشتر می‌توان به [۳] مراجعه کرد.

۱-۱۱ اهداف تحقیق

پیش‌تر به دلایل نیاز حیاتی سیستم‌های کنترلی به تشخیص عیوب پرداختیم. یکی از شرایط تشخیص عیب نیاز به مقاوم بودن آن می‌باشد. تشخیص خطا مبتنی بر مدل از مدل ریاضی استفاده می‌کند. بهترین مدل دارای قابلیت اطمینان و کارایی در FDI می‌باشد. باین‌حال مدل‌سازی خطاها و اغتشاش اجتناب‌ناپذیر است، و از این‌رو نیاز به توسعه الگوریتم‌های FDI مقاوم وجود دارد. در یک سیستم FDI، باقی‌مانده باید به عدم قطعیت، غیر حساس باشد، در حالی که حساس به خطاها است، و در نتیجه مقاوم باشد. هر دو خطاها و مدل‌سازی عدم قطعیت (اغتشاشات و خطاهای مدل‌سازی) باقی‌مانده را تحت تاثیر قرار می‌دهند. ذات FDI مقاوم، به تبعیض بین آن‌هاست. مقاوم بودن نسبت به اغتشاش و خطای مدل‌سازی. در این تحقیق به تشخیص عیب مقاوم سیستم فتوولتاییک در حضور اغتشاشات و خطای سیستم به روش H_2/H_∞ پرداخته شده است.

۱-۱۲ ساختار پایان‌نامه

در فصل دوم به معرفی سیستم فتوولتاییک و مدل آن و انواع خطاهای وارد بر سیستم پرداخته شد. در فصل سوم درباره روش‌های مقاوم و روش اتخاذشده در این تحقیق توضیح داده شده است. در فصل چهارم روش انتخاب‌شده را بر روی سیستم اعمال نموده و روی‌تگر طراحی گردید. در فصل پنجم نتیجه‌گیری لازم را انجام و پیشنهادها را برای کارهای آینده ارائه دادیم.

فصل ۲

سیستم های فتوولتائیک

اهمیت انرژی در عصر ما به اندازه‌ای است که، کمبود آن را به بحران انرژی تغییر می‌کنند. وجود بحران انرژی به معنای از کار افتادن تدریجی کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها، اختلال در حمل و نقل، ایجاد صف اتومبیل در جایگاه‌های فروش بنزین و... می‌باشد. در صدسال گذشته وابستگی به انرژی به شدت افزایش یافته است و ما به شدت به سوخت‌های فسیلی که رو به پایان هستند وابسته شده‌ایم. در حال حاضر نفت، گاز، زغال سنگ ۸۰ درصد از انرژی مصرفی جهان را تأمین می‌کنند. مصرف انرژی در پنجاه سال گذشته بیشتر از مصرف انرژی جهان تا سال ۲۰۳۰ در حدود ۵۷ درصد افزایش داشته است. با توجه به معضلات سوخت‌های فسیلی (آلودگی محیط زیست، تجدید ناپذیری و...) دنیا به انرژی‌های نو شامل خورشید، باد، بيو انرژی، زمین گرمایی و... تمایل نشان داده است.

خورشید تنها خود منبع عظیم انرژی است. طبق برآوردهای علمی در حدود ۵۰۰۰ میلیون سال از تولد این گوی آتشین می‌گذرد و در هر ثانیه ۴/۲ میلیون تن از جرم خورشید بر اثر همجوشی هسته‌ای به انرژی تبدیل می‌شود. با توجه به وزن خورشید که حدود ۳۳۳ هزار برابر وزن زمین است این کره نورانی را میتوان به عنوان منبع عظیم انرژی تا ۵ میلیارد سال آینده به حساب آورد. میزان دما در مرکز خورشید حدود ۱۰ تا ۱۴ میلیون درجه سانتی گراد می‌باشد که تابش از سطح آن با حرارتی نزدیک به ۵۶۰۰ درجه سانتی گراد به صورت امواج الکترومغناطیسی در فضا منتشر می‌شود.

۱-۲ تاریخچه

انسان از زمان‌های دور از نور و گرمای خورشید استفاده می‌کرده است. هزاران سال قبل، انسان‌های نخستین آموختند که چگونه پوست حیوانات و گیاهان خوردنی را زیر نور خورشید خشک کنند. آن‌ها کم‌کم فهمیدند که اگر غار محل زندگی‌شان رو به آفتاب باشد، در ماه‌های سرد زمستان گرم‌تر باقی می‌ماند. حدود ۳۰۰ سال قبل یک دانشمند سوئیسی آب گرم‌کنی ساخت که با استفاده از انرژی خورشید آب را گرم می‌کرد. این آب گرم‌کن، جعبه‌ای چوبی بود که درب شیشه‌ای و کف سیاه و تیره داشت. قسمت سیاه، گرمای خورشید را جذب کرده و آب را گرم می‌کرد دمای آن را به حدود ۸۸ درجه سانتی‌گراد می‌رساند. حدود دویست سال قبل نیز در فرانسه از پرتوهای خورشید برای جوش آوردن آب یک دیگ بخار برای راه‌اندازی یک دستگاه چاپ روزنامه استفاده می‌کردند. استفاده از انرژی خورشیدی در قرن معاصر پس از بحران انرژی در سال ۱۹۷۳ عمومیت پیدا کرد و بعد از آن مسائل زیست‌محیطی گازهای گلخانه‌ای باعث شد تا از سال ۱۹۹۰ به‌طور جدی به انرژی خورشیدی پرداخته شود.

روش تشخیص عیب مبتنی بر مدل تحلیلی یکی از مهم‌ترین روش‌ها در حوزه تشخیص عیب است [۴]. روش‌های بر پایه مدل سیستم، به‌طور کلی سریع‌تر و دقیق‌تر از رویکرد بدون مدل است. این روش‌ها از ایده تولید سیگنال باقی‌مانده استفاده می‌کنند که از عدم تطابق بین رفتار تخمین زده‌شده و سیستم واقعی حاصل می‌شود [۵]. روش‌های گوناگونی برای تولید سیگنال باقی‌مانده وجود دارد که می‌توان به روش‌های مبتنی بر رویکرد^۱، معادلات برابری^۲ و تخمین پارامتر^۳ اشاره کرد [۶].

اولین اقدامات در زمینه تشخیص عیب به اوایل دهه هفتاد برمی‌گردد [۷]. برخی تحقیقات انجام‌شده در این زمینه در ادامه معرفی شده است:

- تشخیص عیب مقاوم برای توربین‌های بادی با استفاده از روش مبتنی بر مدل مرجع [۸].

¹ Observer based approach

² Parity equation approach

³ Parameter estimation approach

- روش تنظیم عضویت برای طراحی سیستم تشخیص عیب مقاوم [۹].
- یک رویکرد احتمالی جهت شناسایی عیب مقاوم برای یک کلاس از سیستم‌های غیرخطی [۱۰].

۲-۲ پارامترهای مهم در انتخاب سیستم‌های فتوولتاییک

مهم‌ترین مواردی را که بایستی در انتخاب سیستم‌های فتوولتاییک جهت تولید الکتریسیته در نظر گرفت عبارت‌اند از:

الف- چینش پانل‌ها: چیدمان پانل‌ها و تعداد آرایه‌ها باید متناسب با شکل و ابعاد مکان مورد نظر باشد. دریچه‌ها و پنجره‌های موجود بر روی سقف با آرایه‌ها تداخل نداشته باشند

ب- ظرفیت اقتصادی: پنل‌های با ظرفیت بالا به سبب توان تولیدی بیشتر که اولاً قابل اتصال به شبکه و ثانیاً دارای توجیه اقتصادی شامل سرمایه‌گذاری اولیه و برگشت سرمایه مناسب‌تری هستند مورد توجه بیشتری می‌باشند. هرچه ظرفیت بالاتری انتخاب شود انرژی بیشتری تولید خواهد نمود و از نظر اقتصادی هزینه واحد انرژی پایین خواهد بود.

ج- اندازه: پنل‌هایی که نسبت به پنل‌های مشابه خود از قطر کمتر و توان بالاتر، در نتیجه انرژی تولید سالیانه بیشتر برخوردار باشند و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشند.

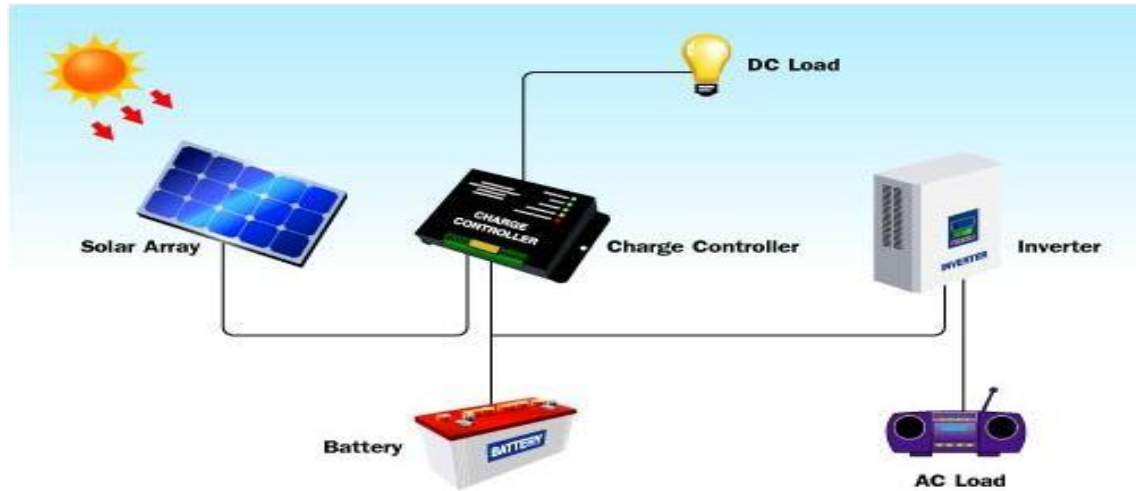
د- نوع ساختار تعمیرات و نگهداری: هرچه ساختار پنل‌ها ساده‌تر و تعمیرات آن آسان‌تر باشد هزینه نگهداری آن کمتر است و برای نصب در مسیرهای صعب العبور اولویت دارد.

۲-۳ محدودیت‌های استفاده از پنل‌های خورشیدی

- ۱- هزینه اولیه طراحی، ساخت و یا خرید بالا
- ۲- محدودیت در دسترسی به منابع مناسب تابش خورشید و افتادن سایه و... بروی پنل

۴-۲ اجزای سیستم‌های فتوولتائیک

شکل ۲-۱ اجزای بکار رفته در سیستم‌های فتوولتائیک را نشان می‌دهد [۱۱]:



شکل ۲-۱: اجزای سیستم فتوولتائیک

۱- آرایه‌های فتوولتائیک

آرایه‌های فتوولتائیک به‌طور کلی به دو حالت سری یا موازی به هم متصل می‌شوند. این آرایه‌ها به حالت ثابت و یا ردیاب متحرک که بنا بر فصل سال با زاویه خورشید خود را تطبیق می‌دهند.

۲- باتری

بانک باتری تعدادی باتری را شامل می‌شود که معمولاً ۱۲ ولتی بوده و به‌صورت سری به هم متصل شده و ولتاژ سیستم را تأمین می‌نماید.

۳- مبدل

برق تولیدی توسط پانل‌های خورشیدی به‌صورت DC بوده و با کمک مبدل‌ها به برق AC تبدیل می‌گردد. مبدل‌ها در انواع و سازه‌های مختلفی ساخته می‌شوند و برخی از آنها بازده بسیار بالایی دارند

۴- دستگاه کنترل شارژ باتری

دستگاه کنترل شارژ باتری در سیستم‌های فتوولتائیک منفصل از شبکه به منظور جلوگیری از تخلیه کامل باتری‌ها و یا شارژ بیش از حد باتری‌ها به کار می‌رود کلیه سیستم‌های استاندارد منفصل از شبکه خورشیدی خانگی دارای دستگاه کنترل شارژ باتری هستند.

۵- سازه‌های فلزی یا ساختمانی

از اجزا اصلی سیستم‌های فتوولتائیک بوده و نگهدارنده ماژول در جهت و زاویه خاص به سمت نور خورشید هستند. جنس سازه‌های ساختمانی از فلز یا مواد مصنوعی مقاوم در برابر عواملی نظیر باد و بارندگی می‌باشند.

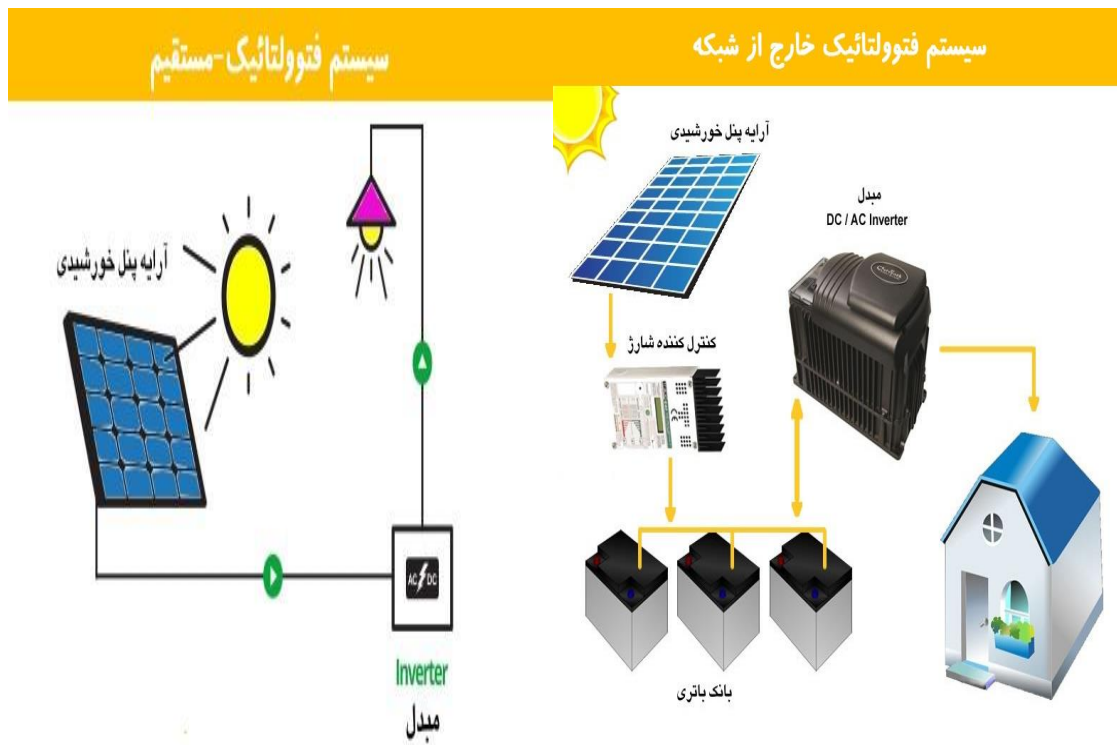
۵-۲ انواع سیستم‌های فتوولتائیک

۲-۵-۱ سیستم‌های PV مستقیم (PV-DIRECT SYSTEMS)

ساده‌ترین نوع سیستم‌های الکتریکی خورشیدی هستند با کمترین اجزا (اساساً آرایه‌ی PV و بار). به دلیل آنکه آن‌ها به باتری و نیروگاه دسترسی ندارند تنها زمانی که خورشید در حال تابش است به بارها نیرو می‌بخشند. این بدان معناست که تنها مناسب تعداد کمی از موارد مورد نیاز منتخب از جمله برای لوله‌کشی آب و تهویه می‌باشند (وقتی که خورشید می‌تابد، پنکه یا پمپ به راه می‌افتد).

۲-۵-۲ سیستم‌های خارج از شبکه (OFF-GRID SYSTEMS)

اگرچه رایج‌ترین نوع در مکان‌های دور فاقد خدمات برق‌رسانی هستند، ولی این سیستم‌ها می‌توانند در هر جایی بکار روند، به‌طور مستقل از شبکه عمل می‌کنند تا تمامی الکتریسیته‌ی منازل را فراهم نمایند. این سیستم‌ها یک بانک باتری به‌منظور ذخیره‌ی الکتریسیته‌ی خورشیدی برای استفاده در طول شب یا هوای ابری، یک کنترل‌کننده‌ی شارژ برای جلوگیری از شارژ بیش‌ازحد، یک مبدل برای تبدیل نیروی آرایه‌ی PV، DC به AC برای استفاده با وسایل خانگی AC، و تمامی انفصالات موردنیاز، پایش و وسایل محافظ الکتریکی مربوط می‌باشند.



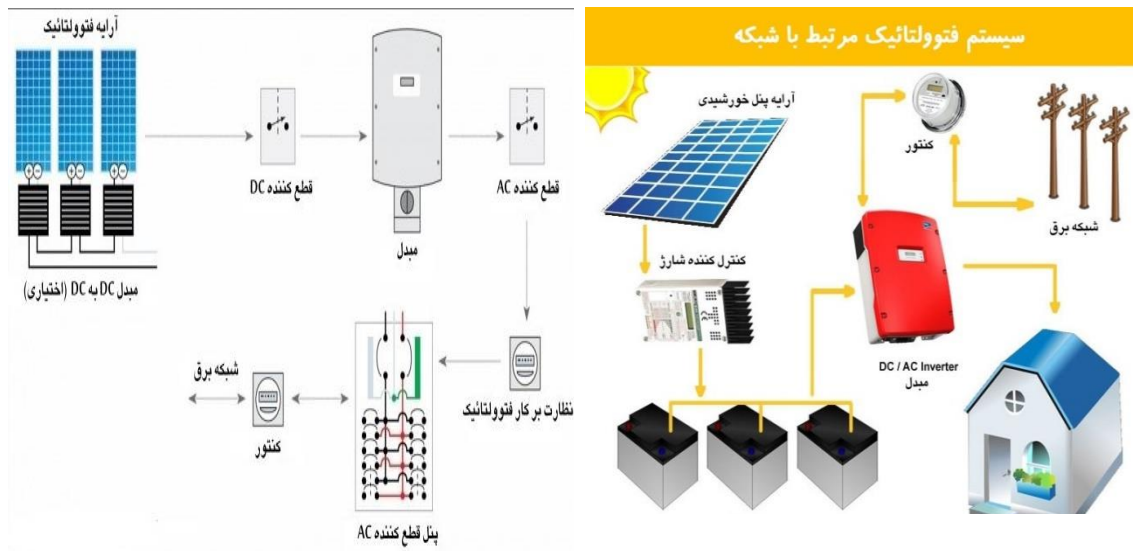
شکل ۲-۲: سیستم خارج از شبکه (سمت راست) - سیستم مستقیم (سمت چپ)

۲-۵-۳ سیستم‌های مرتبط با شبکه با باتری پشتیبان:

این نوع از لحاظ طرح و اجزا بسیار شبیه به سیستم خارج از شبکه می‌باشد، اما شبکه‌ی برق را اضافه می‌کند که از نیاز سیستم به فراهم کردن تمامی انرژی در تمامی اوقات می‌کاهد.

۲-۵-۴ سیستم‌های بدون باتری مرتبط با شبکه:

رایج‌ترین سیستم‌های PV این دسته با عناوین روی شبکه، مرتبط با شبکه، متقابل با نیروگاه، شبکه بست یا شبکه‌ی مستقیم شناخته می‌شوند. آن‌ها الکتریسیته‌ی خورشیدی را تولید نموده و آن را به سمت نیروگاه‌ها و شبکه‌ی برق الکتریکی راه می‌اندازند و استفاده‌ی الکتریسیته‌ی خانوارها یا کسب‌وکارها را فراهم می‌کنند.



شکل ۲-۳: سیستم مرتبط با شبکه (سمت راست) - سیستم‌های بدون باتری مرتبط با شبکه (سمت چپ)

۶-۲ دسته‌بندی خطاهای امکان‌پذیر در سیستم‌های فتوولتاییک

خطا پدیده‌ای است که می‌تواند در قسمت‌های مختلف یک سیستم تحت کنترل، اتفاق بیفتد. به همین دلیل خطاها را برم مبنای آن‌که در کدام قسمت از سیستم رخ می‌دهند، دسته‌بندی می‌کنند [۱۲].

۱- خطای حس گر: این نوع خطا نشان‌دهنده اطلاعات نادرستی است که حس گر در اختیار سیستم قرار می‌دهد.

۲- خطای محرک: این خطا باعث از بین رفتن کامل و یا جزئی کنترل سیستم می‌شود. به‌عنوان مثال یک محرک کاملاً از دست‌رفته، محرکی است که بدون توجه به ورودی اعمال شده به آن، هیچ عمل تحریکی انجام نمی‌دهد.

۳- خطای عنصر^۱: خطاهایی که در اجزای سیستم اتفاق می‌افتند و تمامی خطاهایی که نتوان آن‌ها را به‌عنوان خطای محرک یا خطای حس گر در نظر گرفت، خطای عنصر هستند. در واقع این نوع خطا بیانگر تغییر در پارامترهای فیزیکی سیستم می‌باشند که معمولاً باعث تغییر در رفتار دینامیکی سیستم تحت کنترل می‌شوند.

۷-۲ مدل‌سازی سیستم‌های فتوولتاییک

تکنولوژی استفاده از سلول‌های PV به‌عنوان سازگارترین تکنولوژی با محیط‌زیست شناخته شده است [۱۳]. مدل استفاده‌شده می‌تواند توان خروجی پنل‌های PV را در دما و شدت تابش‌های مختلف خورشید پیش‌بینی کند [۱۴]. ولتاژ مدارباز سلول در هر دما و شدت تابش خورشید توسط رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$V_x = s \cdot \frac{E_i}{E_{iN}} TCV \cdot (T - T_N) + sV_{max} - s \cdot (V_{max} - V_{min}) \cdot \exp\left(\frac{E_i}{E_{iN}} \cdot \ln\left(\frac{V_{max} - V_{oc}}{V_{max} - V_{min}}\right)\right)$$

¹ Component

که در آن، V_x ولتاژ مدار باز برحسب ولت [V]، در هر شدت تابش خورشید مؤثر برخوردی به سطح پنل (E_i) برحسب [w/m^2] و دما (T) است، E_{In} شدت تابش خورشید در شرایط تست استاندارد (STC) ($1000 [W/m^2]$) است، ضریب دمایی V_{oc} برحسب [V/C]، T دمای پنل خورشید برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد، T_N دمای شرایط استاندارد آزمایش که $25^{\circ}C$ است، S تعداد پنل‌های فتوولتاییک سری شده؛ P تعداد پنل‌های فتوولتاییک موازی شده؛ V_{max} حداکثر ولتاژ مدار باز در دمای $25^{\circ}C$ و شدت تابش [w/m^2] 1200 است. V_{min} حداقل ولتاژ مدار باز در دمای $25^{\circ}C$ و شدت تابش [w/m^2] 200 است و V_{oc} ولتاژ مدار باز در دمای $25^{\circ}C$ و شدت تابش [w/m^2] 1000 می‌باشد.

جریان مدار کوتاه سلول خورشیدی (I_x) در هر دما و شدت تابش خورشید توسط رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$I_x = p \cdot \frac{E_i}{E_{iN}} \cdot [I_{sc} + TC_i \cdot (T - T_N)] \quad (5)$$

که در آن I_{sc} جریان مدار کوتاه در دمای $25^{\circ}C$ و شدت تابش [w/m^2] 1000 و TC_i ضریب دمایی I_{sc} برحسب [$A/^{\circ}C$] است. جریان خروجی پنل فتوولتاییک برحسب آمپر [A] توسط رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$I(V) = \frac{I_x}{1 - \exp(-\frac{1}{b})} \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{V}{bV_x} - \frac{1}{b}\right) \right] \quad (6)$$

که در آن V ولتاژ خروجی پنل برحسب ولت [V] و b مشخصه ثابت است که بر اساس منحنی $I-V$ با استفاده از رابطه (۷) با یک‌روند تکرار محاسبه می‌شود. محدوده تغییرات b بین $0.1-0.18$ می‌باشد.

$$b_{n+1} = \frac{V_{op} - V_{oc}}{V_{oc} \cdot \ln\left(1 - \frac{I_{op}}{I_{sc}} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-1}{b}\right)\right)\right)} \quad (7)$$

نهایتاً توان خروجی پنل فتوولتاییک P برحسب وات [W] طبق رابطه (۸) محاسبه می‌شود ($I(V)V$).

$$p(V) = \frac{V \cdot I_x}{1 - \exp(-\frac{1}{b})} \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{V}{bV_x} - \frac{1}{b}\right) \right] \quad (8)$$

فصل ۳

بررسی روش های مختلف تشخیص عیب مقاوم

بسته به اینکه چه اهدافی را در مدل سازی دنبال می کنیم، انواع مختلفی از سیستم برای توضیح یک فرآیند وجود دارد که در بین آن ها مدل های خطی تغییر ناپذیر با زمان^۱ (LTI) ساده ترین و در عین حال پرکاربرد ترین آن هاست. در این بررسی یک سیستم را در عدم حضور اغتشاش و عیب، سیستم نامی می نامیم و فرض می شود که سیستم نامی یک سیستم LTI باشد [۱۵].

چنانچه می دانیم دو نمایش استاندارد ریاضی از سیستم های LTI وجود دارد: ماتریس انتقال و مدل فضای حالت. ماتریس انتقال، یک نمایش ورودی-خروجی از رفتار دینامیکی یک سیستم LTI در حوزه فرکانسی است. از این پس برای حالت نمایش، از نامگذاری $G_{yu}(s) \in LH_{\infty}^{m \times k_u}$ استفاده می شود که نشان دهنده ی ماتریس انتقال از بردار ورودی $u \in R^{k_u}$ به بردار خروجی $y \in R^m$ است یعنی:

$$y(s) = G_{yu}(s)u(s) \quad (3-1)$$

همچنین فرض می شود $G_{yu}(s)$ یک ماتریس انتقال گویای حقیقی است.

فرم استاندارد نمایش حالت یک سیستم پیوسته در زمان LTI به صورت زیر است:

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t), x(0) = x_0 \quad (3-2)$$

$$y(t) = cx(t) + Du(t) \quad (3-3)$$

که در آن $x \in R^n$ بردار حالت، x_0 شرط اولیه سیستم، $u \in R^{k_u}$ بردار ورودی و $y \in R^m$ بردار خروجی ماتریس های A, B, C, D ماتریس های ثابت حقیقی با بعد مناسب هستند. روابط (۲-۲) و (۳-۲) را

تحقق فضای حالت $G_{yu}(s) = C(sI - A)^{-1}B + D$ می نامند و به صورت زیر نمایش می دهند

¹ Linear Time Invariant

$$G_{yu}(s) = (A, B, C, D) \text{ یا } G_{yu}(s) = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

۳-۲ روش های مختلف در تشخیص عیب مقاوم

در این بخش روش های مختلف برای تشخیص عیب مبتنی بر رویتگر را معرفی می کنیم. پیش از معرفی این روش ها، مشاهده گر لوئنبرگر^۱ را شرح می دهیم که پایه بقیه مطالب می باشد.

ساده ترین مشاهده گر، مشاهده گر بدیهی^۲ است که به صورت زیر می باشد:

$$\hat{x} = A\hat{x}(t) + Bu(t) \quad (3-5)$$

اما این مشاهده گر علاوه بر سادگی، یک محدودیت بزرگ دارد که از کاربرد آن می کاهد. در صورت یکی نبودن شرایط اولیه سیستم و مشاهده گر عیب مستقیماً به A وابسته می شود و اگر A ناپایدار باشد عیب افزایش می یابد [۱۶ و ۱۷]. با اضافه کردن تاثیر خروجی سیستم با کمک ماتریس بهره L به معادله (۳-۵) می توان وابستگی به شرایط اولیه را از بین برد.

با فرض اینکه A-LC پایدار باشد، داریم:

$$\hat{x} = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)) \quad (3-6)$$

$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t) + Du(t) \quad (3-7)$$

مشاهده گر فوق یک مشاهده گر مرتبه کامل^۳ لوئنبرگر است.

۳-۲-۱ فیلتر تشخیص عیب^۴

فیلتر تشخیص عیب اولین نوع تولید مانده ساز^۵ مبتنی بر مشاهده گر است که در سال های آغازین دهه هفتاد میلادی توسط برد و جونز معرفی شد. هسته این روش مشاهده گر مرتبه کامل است [۱۵].

¹ Lunberger Observer

² Trivial Observer

³ Full-Order Observer

⁴ Fault Detection Filter

⁵ Residual Generator

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - C\hat{x}(t) - Du(t)) \quad (3-8)$$

بر اساس معادله فوق سیگنال باقیمانده عبارتند از:

$$r = y - \hat{y} = y - C\hat{x} - Du \quad (3-9)$$

با معرفی متغیر $e = x - \hat{x}$ داریم:

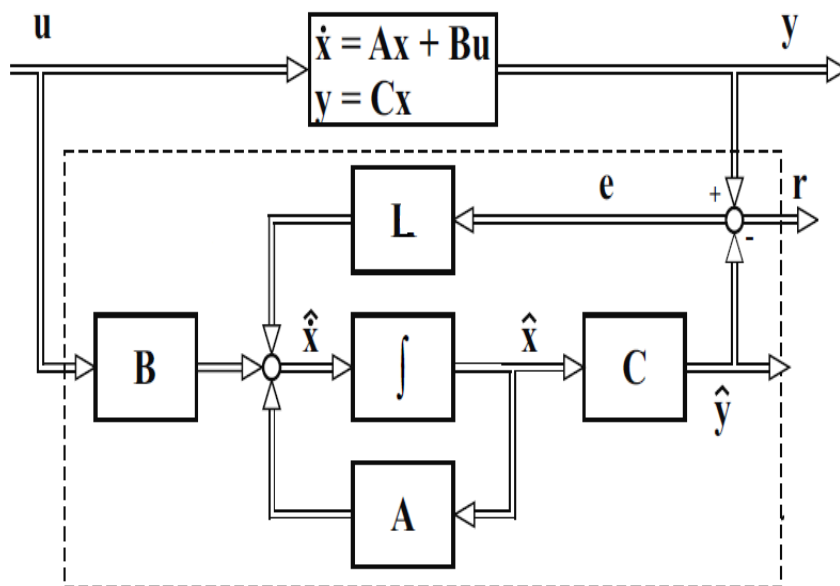
$$\dot{e} = (A - LC)e \quad (3-10)$$

$$r = Ce \quad (3-11)$$

یادآوری میکنیم که L به گونه ای انتخاب می شود که $A-LC$ پایدار باشد در این صورت:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (x(t) - \hat{x}(t)) = 0 \quad (3-12)$$

بلوک دیاگرام یک مشاهده گر مرتبه گر کامل به منظور تولید سیگنال مانده مطابق شکل (۱-۳) است.



شکل (۱-۳) دیاگرام بلوکی فیلتر تشخیص عیب

۲-۳-۳ مشاهده گر تشخیصی^۱

این نوع مشاهده گر بسیار شبیه به مشاهده گر لوئنبرگر است و به همین دلیل بسیار مورد توجه است. مبنای این مشاهده گر به شکل زیر است [۱۵ و ۱۸]:

$$\dot{z} = Gz + Hu + Ly \quad (۱۳-۳)$$

$$\hat{y} = \bar{w}z + \bar{V} + \bar{Q} \quad (۱۴-۳)$$

که در آن $z \in R^s$ و S مرتبه مشاهده گر است که می تواند برابر، کوچکتر و یا بزرگتر از n باشد. مشاهده گر های مرتبه بالا نقش به سزایی در بهینه سازی سیستم های تشخیص عیب ایفا می کنند.

با فرض $G_{yu} = C(sI - A)^{-1}B + D$ ، ماتریس های $G, H, L, \bar{V}, \bar{W}, \bar{Q}$ و $T \in R^{s \times n}$ باید شرایط مشهور به شرایط لوئنبرگر را برآورده کنند:

• G پایدار می باشد.

$$G$$

$$TA - GT = LC.H = TB - LD$$

$$C = \bar{W}T + \bar{V}C, \bar{Q} = -\bar{V}D + D$$

که در این صورت تخمین درست از y خواهیم داشت:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (y(t) - \hat{y}(t)) = 0 \quad (۱۵-۳)$$

با مقایسه این روش و فیلتر تشخیص عیب که در بخش قبل به آن اشاره شد، نتیجه می گیریم که:

- در مشاهده گر تشخیصی دارای مرتبه آزادی طراحی بیشتری هستیم.
- در عین حال مراحل طراحی پیچیده تر است

^۱ Diagnostic Observer

۳-۳ معرفی روش H_2-H_∞

در این تحقیق روش H_2-H_∞ اتخاذ گردیده که به توضیح آن می پردازیم:

۳-۳-۱ مشاهده گر مقاوم به کمک تکنیک H_2 :

برای هر سیستم سیگنال باقی مانده، هم متأثر از اغتشاش و هم متأثر از عیب است. لذا همواره این نگرانی وجود دارد که آنچه از سیگنال مانده به عنوان تشخیص داده می شود اثر اغتشاش باشد. بنابراین تلاش می شود که اثر ورودی ناشناخته روی سیگنال مانده کمتر شود [۱۵]

$$R(s) = N_d(s)d(s) + N_f(s)f(s) \quad (3-9)$$

$$N_d(s) = c(sI - A + Lc)^{-1}(E_d - LF_d) + F_d \quad (3-10)$$

$$N_f(s) = c(sI - A + Lc)^{-1}(E_f - LF_f) + F_f \quad (3-11)$$

با توجه به روابط (۳-۹) تا (۳-۱۱) به دنبال طراحی ماتریس بهره مشاهده گر L به نحوی هستیم که $N_d(s)$ تا حد امکان کوچک باشد. به عبارت دیگر داریم:

$$\min \left\| c(sI - A + Lc)^{-1}(E_d - LF_d) \right\|_2 \quad (3-12)$$

قضیه ۱-۲: برای سیستم $c(sI - A + Lc)^{-1}(E_d - LF_d)$ فرض کنید

۱- (A, C) تشخیص پذیر باشد.

۲- F_d دارای مرتبه سطری کامل^۱ باشد

۳- مرتبه ماتریس $\begin{pmatrix} A - j\omega I & E_d \\ C & F_d \end{pmatrix}$ به ازای $\omega \in [0, \infty)$ کامل باشد

^۱ Full row rank

$$\min \|c (sI - A + Lc)^{-1} (E_d - LF_d)\|_2 = (\text{trace}(CXCT^T))^{1/2} \quad (\text{آنگاه: } 3-13)$$

به ازای

$$(14-3)$$

$$L = XC^T + E_d F_d^T$$

به دست می‌آید که $X \leq 0$ پاسخ معادله ریکاتی زیر است:

$$(A - E_d F_d^T C)X + X(A - E_d F_d^T C)^T - XC^T C X + E_d E_d^T - F_d^T F_d E_d^T = 0$$

برای اثبات رجوع کنید به [15].

۳-۳-۲ مشاهده‌گر مقاوم به کمک تکنیک H_∞

پیش از پرداختن به این موضوع لازم است به پاره‌ای مقدمات ریاضی بپردازیم. همچنین از ارائه برخی تعریف‌ها و اثبات‌ها خودداری کرده و تنها به ارجاع خواننده به متون دیگر اکتفا می‌کنیم [20].

قضیه ۳-۲: فرض کنید $X = Ric(H), H \in \text{dom}(Ric)$

۱- X متقارن حقیقی است؛

۲- X در معادله ریکاتی زیر صدق می‌کند؛

$$A^* X + XA + XRX + Q = 0 \quad (3-15)$$

۳- $A + RX$ پایدار است.

اثبات: رجوع کنید به [20].

^۱ برای تعارف فوق رجوع کنید به [20]

قضیه ۲-۳: فرض کنید H هیچ مقدار ویژه موهومی نداشته باشد و R نیمه معین مثبت یا نیمه معین منفی باشد؛ آنگاه $H \in \text{dom}(\text{Ric})$ است اگر و تنها اگر (A, R) پایدار پذیر باشد.

نتیجه ۲-۱: فرض می‌کنیم $\gamma > 0$ و $G(s) = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \in RH_\infty$ و

$$H = \begin{pmatrix} A + BR^{-1}D^*C & BR^{-1}B^* \\ -C^*(I + DR^{-1}D^*)C & -(A + BR^{-1}D^*C)^* \end{pmatrix}$$

که در آن $R = \gamma^2 I - D^*D$ سپس بندهای زیر معادل‌اند:

$$\|G\|_\infty < \gamma - 1$$

$$\sigma(D) < \gamma - 2$$

$$H \in \text{dom}(\text{Ric}) \text{ و } \sigma(D) < \gamma - 3$$

$$\text{Ric}(H) \geq 0 \text{ و } H \in \text{dom}(\text{Ric}) \text{ و } \sigma(D) < \gamma - 4$$

$$X = X^* \geq 0 \text{ و } \sigma(D) < \gamma - 5$$

$$x(A + BR^{-1}D^*C) + (A + BR^{-1}D^*C)^*X + XBR^{-1}B^*X + C^*(I + DR^{-1}D^*)C = 0$$

و $A + BR^{-1}D^*C + BR^{-1}B^*X$ هیچ مقدار ویژه‌ای روی محور موهومی ندارد.

$$\sigma(D) < \gamma - 6 \text{ و وجود دارد } X = X^* \geq 0$$

$$x(A + BR^{-1}D^*C) + (A + BR^{-1}D^*C)^*X + XBR^{-1}B^*X + C^*(I + DR^{-1}D^*)C < 0$$

$$\left(\begin{array}{ccc} XA + A^*X & XB & C^* \\ B^*X & -\gamma I & D^* \\ C & D & -\gamma I \end{array} \right) \text{ وجود دارد } X = X^* \geq 0$$

اثبات رجوع کنید به [۲۰].

نتیجه فوق مبنای طراحی در متون مختلف کنترل مقاوم و روش‌های مبتنی بر H_∞ و تکنیک LMI^1 در طراحی مشاهده‌گر تشخیص‌دهنده‌ی عیب مقاوم است.

با توجه به توضیحات و قضایای فوق می‌توان به کمک نرم بی‌نهایت مشاهده‌گر مقاوم در برابر ورودی ناشناخته را به صورت زیر ارائه داد:

قضیه ۲-۴: برای سیستم $c(sI-A+Lc)^{-1}(E_d-LF_d)$ فرض کنید:

۱- (A, C) تشخیص پذیر باشند.

۲- F_d دارای مرتبه سطری کامل باشد.

۳- مرتبه ماتریس $\begin{pmatrix} A - j\omega I & E_d \\ C & F_d \end{pmatrix}$ به ازای $\omega \in [0, \infty)$ کامل باشد.

آنگاه وجود دارد $\gamma > 0$ که:

$$\left\| c(sI - A + Lc)^{-1}(E_d - LF_d) + F_d \right\|_\infty < \gamma \quad (3-16)$$

به ازای

$$L = -(XC^T + E_d F_d^T)R^{-1}$$

$$R = \gamma^2 I - F_d^T F_d$$

که در آن $X \leq 0$ پاسخ معادله ریکاتی زیر است [۱۵].

$$(A - E_d F_d^T C)X + X(A - E_d F_d^T R^{-1} C)^T - XC^T R^{-1} CX + E_d(I - F_d^T R^{-1} F_d)E_d^T = 0 \quad (3-17)$$

¹ Linear Matrix Inequality

۳-۳-۳ مشاهده گر مقاوم به کمک تکنیک H_2/H_∞

روش های ارائه شده تا بدین جا به تضعیف اثر اغتشاش روی سیگنال مانده می پرداختند. در این بخش به ارائه روشی می پردازیم که به طور هم زمان اثر اغتشاش روی مانده را کاهش و در عین حال اثر عیب را روی آن افزایش می دهد. برای نشان دادن معیاری از اثر عیب روی مانده از H_2 استفاده می کنیم که باید ماکزیمم شود و برای نشان دادن اثر اغتشاش روی مانده از H_∞ استفاده می کنیم [۲۳].

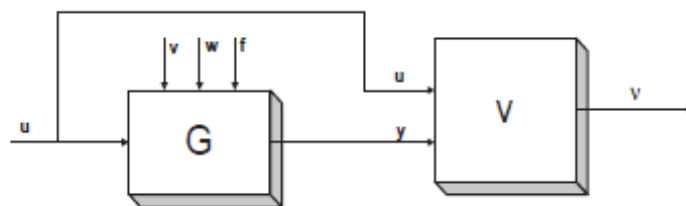
معیار H_2 و H_∞ به صورت زیر تعریف می شود [۲۳].

$$H_2 = \|T_{rf}\|_2 = \inf_{\omega} \sigma(T_{rf}(j\omega)) > \beta_0 \quad (3-18)$$

$$H_\infty = \|T_{nd}\|_\infty = \sup_{\omega} \bar{\sigma}(T_{nd}(j\omega)) < \gamma_0 \quad (3-19)$$

T_{rd} و T_{rf} توابع انتقال از f و d به r هستند.

شکل (۱) سیستم تشخیص و عیب را نشان می دهد. هدف از طراحی تشخیص و عیب بدست آوردن V که U و Y را می گیرد و تولید می کند. سیگنال باقیمانده V نشان می دهد که آیا در سیستم G عیب رخ داده یا خیر. عیب f در صورتی اتفاق می افتد که از v از حد آستانه بزرگتر یا ناگهانی باشد.



A fault detection system.

پارامتر V به عنوان فیلتر لوئبرگر داریم:

$$V: \begin{cases} \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + B_1u + K(y - D_1u - C\hat{x}) \\ v = -C\hat{x} + y - D_1u \end{cases} \quad (۲۰-۳)$$

با داشتن رابطه بالا حالا به دنبال حل K می پردازیم:

$$T: \begin{cases} \dot{e} = Ae + B_2v + B_3w + B_4f, e(0) = e_0 \\ v = Ce + D_3 + D_4f \end{cases} \quad (۲۱-۳)$$

زمانی که $e = x - \hat{x}$:

$$A = A - KC, B_2 = B_2, B_3 = B_3 - KD_3, B_4 = B_4 - KD_4 \quad (۲۲-۳)$$

از رابطه (۲۱-۳) باقیمانده به صورت زیر بیان می شود:

$$v = \bar{v} + v_0 \quad (۲۳-۳)$$

$$\bar{v} = T_1e_0 + T_2v + T_3w + T_4f, v_0 = D_3w \quad (۳-۲۴)$$

$$T_1 := (A, I_n, C, 0)$$

$$T_2 := (A, B_2, C, 0)$$

$$T_3 := (A, B_3, C, 0)$$

$$T_4 := (A, B_4, C, D_4)$$

واضح است که اثر شرایط اولیه غیرصفر از T_1 به صفر می رسد. از این رو ماتریس انتقال از V به W به V کاهش دهیم این انگیزه به دنبال بهینه سازی سوق می دهد. اگر $F=0$ که K به دست می آید و مسئله حل می شود که رابطه زیر میرسیم:

$$\min \sup \|T_2v + T_3w\|_p^2 \quad (۳-۲۶)$$

با توجه به روابط برای مشکل مینیمم سازی زیر می توان از روش ریکاتی و LMI استفاده کرد:

$$T_r[B_3^T Q B_3] = T_r[(B_3^* - \epsilon \Delta K D_3)^T Q (B_3^* - \epsilon \Delta K D_3)] = T_r[\Delta B_3^T Q \Delta B_3] \quad (۲۷-۳)$$

$$\geq [B_3^{*T} Q B_3^*] \geq [B_3^{*T} Q^* B_3^*]$$

$$\min\{T_r[B_3^T Q B_3]: Q = Q^T > 0 \text{ and } R(Q) < 0\} \quad (۳-۲۸)$$

محدودیت مسئله (۳-۲۸) را می توان با استفاده از K, Q, Z پیدا کرد و در ضمن باید K, Q, Z در یک فضای ماتریس بزرگ جایگزین شوند.

$$\min T_r[Z] \begin{pmatrix} Z & (B_3 - KD_3)^T Q \\ Q(B_3 - KD_3) & Q \end{pmatrix} \geq 0 \quad (3-29)$$

$$\begin{pmatrix} (A - KC)^T Q + Q(A - KC) & QB_2 & C^T \\ B_2^T & -\gamma^2 I & 0 \\ C & 0 & -I \end{pmatrix} < 0$$

$$Z = Z^T \geq 0, \quad Q = Q^T > 0$$

پس از حل جبری مشکل بهینه سازی رابطه (۳-۲۹) اصلاح می شود و U, Z, Q پیدا می شود و به رابطه نهایی زیر می رسمیم:

$$\begin{pmatrix} Z & (B_3^T Q - D_3^T) U^T \\ Q(B_3 - UD_3) & Q \end{pmatrix} \geq 0 \quad (30-3)$$

$$\begin{pmatrix} A^T Q + QA - C^T U^T - UC & QB_2 & C^T \\ B_2^T Q & -\gamma^2 I & 0 \\ C & 0 & -I \end{pmatrix} < 0$$

$$Z = Z^T \geq 0, \quad Q = Q^T > 0$$

خلاصه روش H_2/H_∞ :

۱- $\gamma > 0$ باشد و مسئله شروع می شود.

۲- از نتایج H_∞ استفاده می کنیم اگر K وجود داشته باشد نرم $\|T_2\|_\infty < \gamma$ محدودیت ندارد به منظور ارتقا، γ افزایش پیدا می کند و محدودیت H_∞ قابل اجراست در غیر اینصورت ادامه پیدا می کند.

۳- مشکل LMI در (۳۰-۳) برای بدست آوردن U و Q حل کنید.

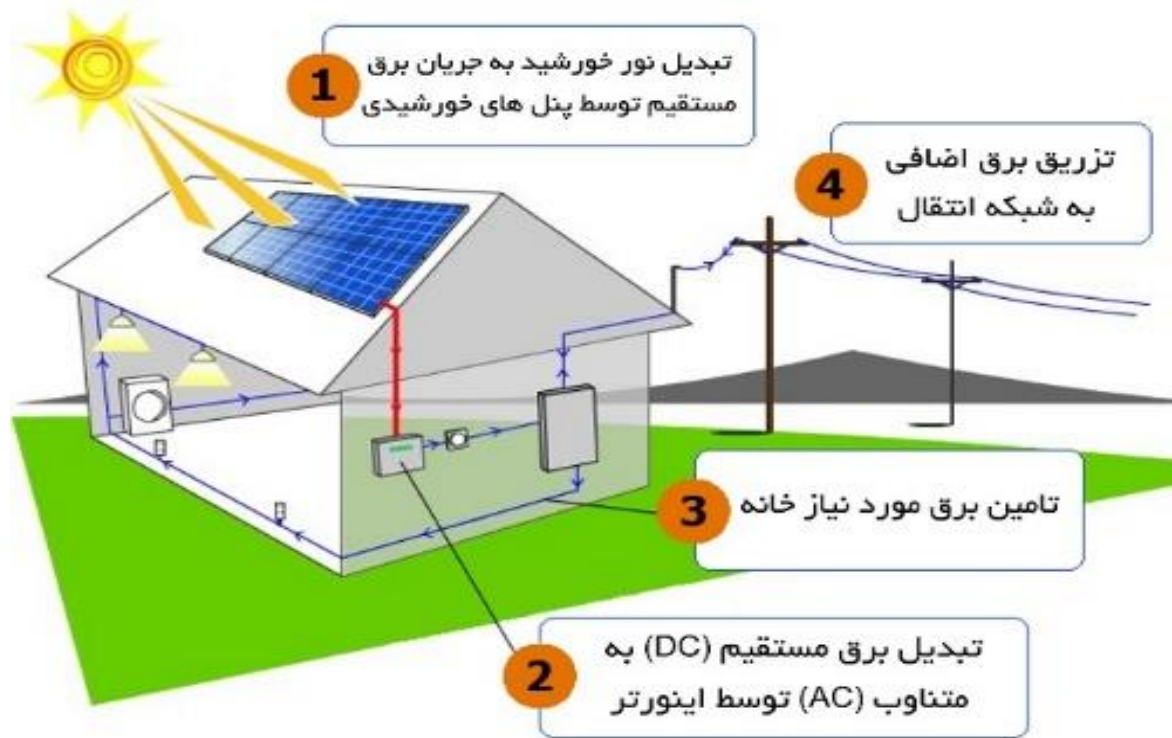
۴- با استفاده از گین K و استفاده از رابطه $K = Q^{-1}U$ سیگنال باقیمانده V را حساب کنید .

این الگوریتم با استفاده از نرم افزار متلب اجرا می شود.

شبيه‌سازی

۴-۱- معرفی مدل

هدف سیستم تشخیص عیب بر پایه مدل، طراحی مکانیزمی است که بتواند سیگنال‌های شناسایی عیب را تولید کند. این سیگنال‌ها که سیگنال‌های باقی مانده نامیده می‌شوند با سطوح آستانه‌ای که از قبل تعریف شده‌اند مقایسه می‌گردند و در نهایت بروز عیب را اعلام می‌دارند. برای رسیدن به این هدف تکنیک‌های تشخیص زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است. بروز عیب در هر سیستم و فرآیند دینامیکی اجتناب‌ناپذیر است و می‌تواند صدمات جانی، مالی و زیست محیطی به بار آورد. به همین جهت بحث امنیت و ایمنی سیستم‌ها امروزه بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است [۲۲]. در صورت بروز یک عیب، اولین گام برای مقابله با آن آشکارسازی آن است. هر چه زمان آشکارسازی کم‌تر باشد زودتر می‌توان با عیب ایجادشده مقابله نمود. اما مشکل اصلی که سیستم‌های عملی با آن روبه‌رو هستند وجود اغتشاشات و نویز است که به سیستم وارد می‌شوند. طراحی سیستم تشخیص عیب به گونه‌ای که بتواند اثر اغتشاش و نویز را به حداقل رسانده و اثر عیب را به حداکثر برساند، باعث پیدایش شاخه‌ای در سیستم‌های تشخیص عیب شده است که امروزه با نام تشخیص عیب مقاوم شناخته می‌شود. هدف اصلی در یک سیستم تشخیص عیب، تولید سیگنالی به نام باقی‌مانده است که عملیات تصمیم‌گیری بر اساس آن صورت می‌گیرد. در این پژوهش طراحی فیلتر تشخیص عیب به روش معادلات توازن با معیار H_2/H_∞ بیان شده است و با انجام شبیه‌سازی‌های موردنیاز در سیستم‌های فتوولتائیک به معرفی الگوریتمی جهت طراحی سیستم تشخیص عیبی (FDI) پرداخته می‌شود که بتواند کمبودها و معایب روش‌های پیشین را برطرف نماید و سیستمی با بهبود عملکرد قابل توجه ارائه دهد. یک سیستم فتوولتائیک در طول عملیات خود در معرض عیب‌های مختلف هست. نقص و کاستی‌های متعدد منجر به کاهش عملکرد سیستم و حتی در کل سیستم می‌شود. پس، ضروری است که عملکردهای PV را به‌طور مداوم پیگیری و کنترل کند تا از نقص الکتریکی و نقص عملکرد سیستم فتوولتائیک جلوگیری شود. البته، به دست آوردن اطمینان از عملکرد پنل فتوولتائیک، نیاز به سیستم‌های نظارتی پیشرفته دارد.



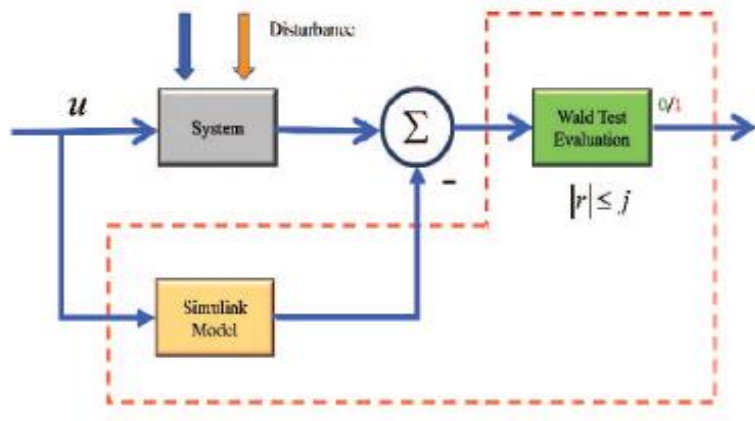
شکل (۱-۴) شمای کلی عملکرد پنل خورشیدی

در این پژوهش روش جدیدی از نظارت و شناسایی عیب در سیستم‌های فتوولتائیک ارائه می‌دهد که عمدتاً بر اساس تجزیه و تحلیل تلفات قدرت سیستم فتوولتائیک^۱ (PV) با استفاده از پردازش سیگنال‌های آماری است. اولاً، مدل مبتنی بر مدار جهانی برپایه پنل‌های فتوولتائیک ارائه می‌شود. سپس توسعه‌ی تشخیص عیب بر اساس نرم افزار در محیط MATLAB / Simulink انجام می‌شود. با تجزیه و تحلیل تشخیص عیب مبتنی بر مدل، سیگنال باقی مانده از مقایسه سیمولینک و مدل واقعی تولید می‌شود. برای مشاهده سیگنال از داده‌های دلخواه، تکنیک آزمایش Wald روی سیگنال باقی مانده اعمال می‌شود. یک مدل باقی مانده بر اساس چرخه آزمون نسبت ترافیک عددی (WSPRT) برای تشخیص خطای برق در سیستم PV معرفی شده است.

سیستم اغلب شامل یک حلقه کنترل است که مشکل را پیچیده‌تر می‌کند. یک پارامتر مهم در یک سیستم تشخیص، نرخ هشدار اشتباه است، که چگونه این سیستم یک عیب را در یک محیط عاری از عیب را نشان

¹ Photovoltaic

می‌دهد. تشخیص عیب مبتنی بر مدل، که مبتنی بر رویکرد باقیمانده‌ها است، در کاربردهای صنعتی بسیار رایج است. این روش تشخیصی به طور کلی در دو مرحله متوالی انجام می‌شود: ۱- باقی مانده از سیگنال هدف (مقایسه با خروجی تخمینی) ۲- باقیمانده ارزیابی.



شکل (۲-۴) ساختار کلی یک سیستم تشخیص با استفاده از رویکرد مبتنی بر مدل باقیمانده

خروجی های سیستم با مقدار مورد انتظار آنها براساس وضعیت فرآیند مقایسه می‌شوند. بنابراین، آستانه‌ها را می‌توان بسیار تنگ‌تر کرد و احتمال شناسایی عیب در مرحله اولیه دوره نمونه برداری به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. این مرحله ارزیابی باقیمانده هاست که مقدار آن به‌صورت باینری است و به همین دلیل است که عیب در سیستم تغییر یا تایید می‌کند که، مقایسه سطح باقیمانده با یک آستانه از پیش تعریف شده می‌باشد. سایر راه حل های پیچیده دیگری که مبتنی بر روش های آماری قدرتمند هستند نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در میان این روش‌ها در این پژوهش از روش ¹WSA استفاده شده است.

این روش به ویژه در صورتی مناسب است که داده‌ها به‌طور متوالی جمع‌آوری شوند. تجزیه و تحلیل توالی از آزمون فرضیه کلاسیک متفاوت است که در آن تعداد موارد مورد آزمایش یا جمع‌آوری در ابتدای

¹ Wald Sequential Average

آزمایش ثابت شده است. در آزمون فرضیه کلاسیک، جمع آوری داده ها بدون تحلیل و بررسی داده ها انجام می شود. پس از جمع آوری داده ها، تجزیه و تحلیل انجام می شود و نتیجه گیری می شود [۲۴].

۴-۲ مدل سازی

برنامه های کاربردی زیادی وجود دارد که در آن تصمیم گیری در زمان واقعی (real time) بر اساس داده های اندازه گیری شده ضروری است که انجام شود. آزمایش متوالی یک رویکرد ریاضی است که در این موارد مورد استفاده قرار می گیرد و با متوقف کردن آزمایش، زمانی که شواهد کافی برای نتیجه گیری وجود دارد، به صرفه جویی در هزینه و زمان کمک می کند. هنگام استفاده از این روش باید میان زمان لازم برای تصمیم گیری و خطای احتمالی سازش صورت گیرد [۲۵].

حال سوال این است که در روش تولید شاخص های عیب بر اساس نقطه شناسایی (تصمیم)، سیستم مورد نظر به صورت نرمال است یا نه؟

این مشکل با استفاده از آزمون تست Wald با موفقیت حل شد. تست ترتیب Wald با ساختن یکی از سه تصمیم ممکن می شود: (۱) پذیرفتن فرضیه، (۲) رد فرضیه و (۳) ادامه دادن به مشاهدات. اگر یکی از دو تصمیم اولیه اتخاذ شده باشد، آزمون متوقف می شود.

در صورت تصمیم سوم، آزمایش ادامه می یابد تا اینکه تصمیم اول یا دوم اتخاذ شود.

بنابراین تعداد مشاهدات مورد نیاز به نتیجه مشاهدات بستگی دارد و از پیش تعیین نشده است.

برای بیان این مساله، از رسمی سازی Wald استفاده می شود. فرض می کنیم H_0 و H_1 یک نمونه متغیر تصادفی و K دارای تراکم توزیع $P(K|H_0)$ و $P(K|H_1)$. تصمیم در این فرض باید بر اساس نتایج حاصل از مشاهدات حاصل شود.

در حقیقت ما نباید از سیگنال هایی که ما در حال کار با آن سر و کار داریم صرف نظر کنیم؛ بنابراین ما به عنوان سیگنال های تصادفی با آمار شناخته شده با توجه به حضور یا عدم عیب ها مدل سازی می کنیم. توجه داشته باشید که لازم است حالت های مختلف عملیات را مدل سازی کنیم.

برای هر لحظه می توانیم دو آستانه را تعریف کنیم. $A(k)$ و $B(k)$. با توجه به مقدار نسبت احتمال Δ با توجه به دو آستانه قبلی، هر دو تصمیم H_0 را اگر PV تحت شرایط $UUSC^1$ و یا H_1 تحت شرایط USC^2 باشد.

تصمیم تست به صورت زیر توضیح داده می شود:

$$\begin{aligned} \Delta(k) &\leq A(k) \\ B(k) &\leq \Delta(k) \\ A(k) &\leq \Delta(k) \leq B(k) \end{aligned}$$

حالت اول در صورتی است که فرضیه تصمیم H_0 معتبر باشد و حالت دوم در صورتی است که فرضیه تصمیم H_1 معتبر باشد. و در حالت بی طرف به مشاهدات بعدی A و B رفته و عیب های مربوط به روند تصمیم گیری کنترل می شود.

تحت فرضیه H_0 ، انحراف K دارای چگالی احتمال $f(e/H_0)$ و H_1 دارای چگالی احتمال $f(e/H_1)$ است. نسبت احتمال به صورت زیر تعریف می شود.

$$V = \frac{f(e/H_1)}{f(e/H_0)}$$

پیدا کردن A و B یک چالش است. بنابراین برای اهداف عملی، آستانه بالا و پایین آن ها را به صورت زیر

تخمین می زنیم:

¹ under uniform shading conditions

² uniform shading conditions

$$A = \frac{P_{ND}}{1 - P_F}$$

$$B = \frac{1 - P_{ND}}{P_F}$$

که در آن P_{ND} احتمال عدم تشخیص عیب می باشد.

برای مشاهدات گاوسی مستقل از احراف معیار σ و میانگین μ_0 تحت H_0 و μ_1 تحت H_1 ، به

صورت زیر تست می شود:

$$S(k) = \left| \sum_{i=1}^n (e_i - \mu_0) \right|$$

$$kM + S_0 < S(k) < kM + S_1$$

$$M = \frac{\mu_1 - \mu_0}{2}$$

$$S_1 = \frac{\sigma^2}{(\mu_1 - \mu_2)} \ln(B(k)), \quad S_0 = \frac{\sigma^2}{(\mu_1 - \mu_2)} \ln(A(k))$$

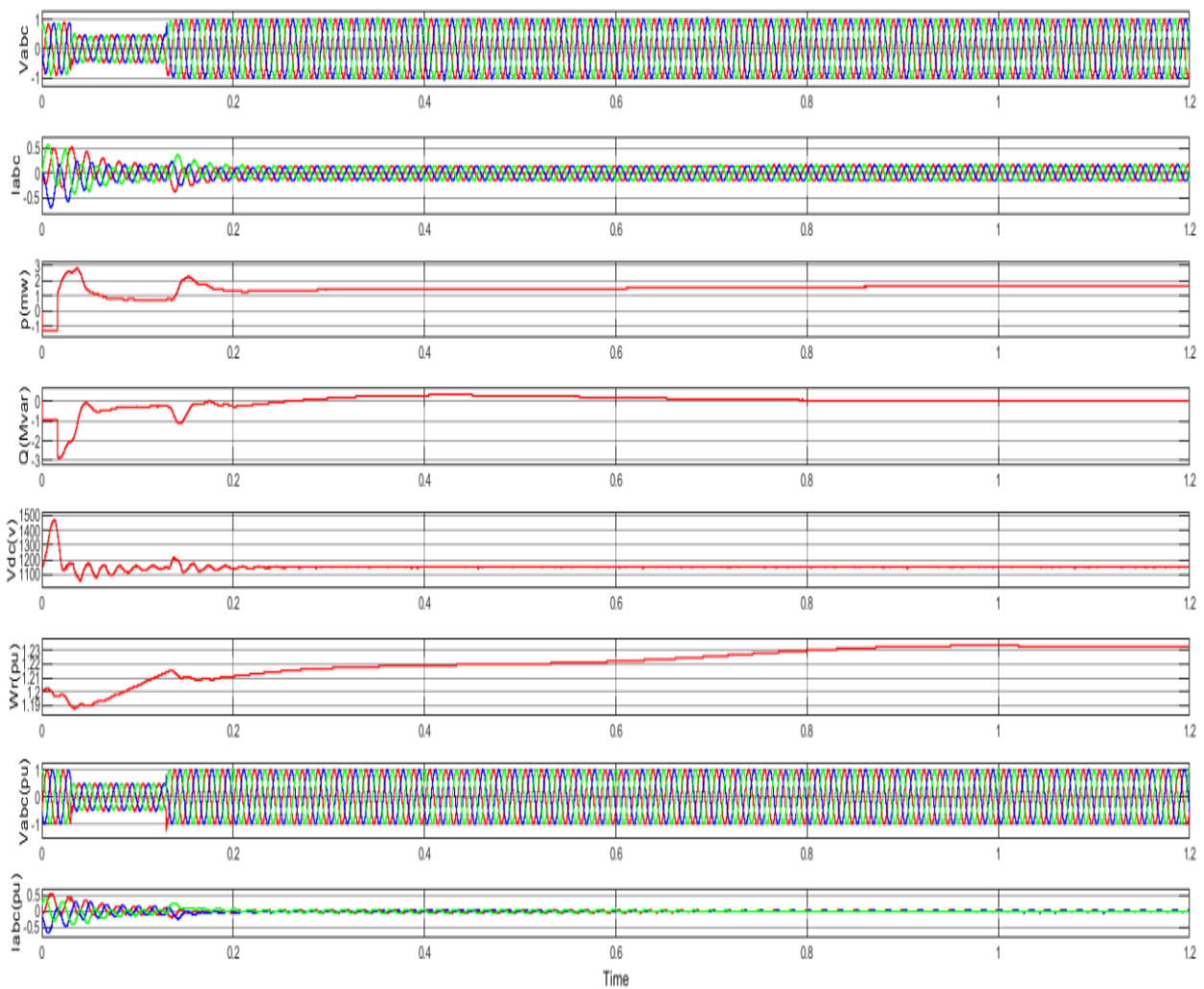
برنامه در یک حلقه اصلی ۲۶ تایی اجرا می شود. این حلقه ابتدا فایلی برای ورودی های سیمولینک تشکیل می دهد سپس سیمولینک را برای تحلیل آن قسمت فرا خوانی کرده و نتیجه را در یک جدول ذخیره سازی می کند. جدول نتایج این شبیه سازی در تصویر ۳-۴ قابل مشاهده است.

TABLE

Loading	SD					E				
0.875	0.00015428	0.00016784	0.00011103	8.9434e-05	6.6248e-05	0.00093991	0.0013914	0.001266	0.0014254	0.0014858
0.91	0.00017734	0.00015706	0.00010975	8.8386e-05	6.6091e-05	0.0010788	0.0013046	0.0012513	0.0014105	0.0014823
0.945	0.00017834	0.00016603	0.00011641	8.5797e-05	6.6473e-05	0.0010852	0.0013747	0.0013281	0.0013699	0.0014909
0.98	0.00017645	0.00015067	0.00011219	9.0523e-05	6.3831e-05	0.0010813	0.0012465	0.0012801	0.0014436	0.0014324
1.015	0.00017765	0.00016222	0.00011481	8.6657e-05	6.6286e-05	0.0010807	0.0013481	0.0013099	0.0013814	0.0014874
1.05	0.00015842	0.00015598	0.00010866	8.7326e-05	6.5525e-05	0.00096369	0.0012949	0.0012413	0.0013927	0.0014698
1.085	0.00016182	0.00015414	0.00011299	8.624e-05	6.0082e-05	0.00098877	0.0012792	0.0012903	0.0013747	0.0013508
1.12	0.00016168	0.00014853	0.00011079	8.7167e-05	6.0607e-05	0.00098988	0.0012321	0.0012649	0.0013893	0.0013605
1.155	0.00017391	0.00016081	0.00010617	8.5852e-05	6.4516e-05	0.0010591	0.0013355	0.0012123	0.0013684	0.0014488
1.19	0.00019861	0.00016481	0.00011502	8.6274e-05	6.149e-05	0.0012188	0.001367	0.0013138	0.0013761	0.0013794
1.225	0.00014306	0.00015547	0.00010626	8.5486e-05	5.9731e-05	0.0008732	0.0012904	0.0012148	0.0013644	0.0013408
1.26	0.00016942	0.00017515	0.00010936	8.4965e-05	6.1165e-05	0.0010364	0.0014509	0.0012495	0.0013548	0.0013722
1.295	0.00015966	0.00016526	0.00010014	8.8159e-05	5.8118e-05	0.00097212	0.0013653	0.0011427	0.0014063	0.0013072
1.33	0.00014663	0.00015951	0.00010567	8.6634e-05	5.8735e-05	0.0008924	0.0013234	0.0012053	0.0013812	0.0013174
1.365	0.00016166	0.00017612	0.00011513	9.3053e-05	5.9203e-05	0.00098397	0.0014553	0.0013133	0.001484	0.0013327
1.4	0.00013591	0.00017532	0.00010596	9.0955e-05	5.7657e-05	0.00083574	0.0014499	0.0012121	0.0014516	0.0012931
1.435	0.0001887	0.00017926	0.0001129	8.7167e-05	5.7733e-05	0.0011489	0.0014852	0.0012884	0.0013899	0.0012948
1.47	0.00015861	0.00020364	0.00011224	9.058e-05	5.824e-05	0.00096484	0.0016822	0.0012806	0.0014447	0.0013066
1.505	0.00018744	0.00019849	0.00011276	8.9297e-05	5.5954e-05	0.0011405	0.0016388	0.0012877	0.0014236	0.0012552
1.54	0.00021104	0.00018853	0.00011907	9.2582e-05	5.7104e-05	0.0012885	0.0015584	0.0013614	0.0014762	0.0012816
1.575	0.00017958	0.00021291	0.00011819	9.4549e-05	5.7687e-05	0.0010928	0.0017567	0.0013525	0.0015074	0.0012953
1.61	0.00019559	0.00020265	0.00011657	9.5962e-05	5.5756e-05	0.0011967	0.0016743	0.0013327	0.0015303	0.0012521
1.645	0.00018729	0.00019251	0.00012294	9.2449e-05	5.5644e-05	0.0011398	0.0015887	0.0014049	0.0014746	0.0012496
1.68	0.0001839	0.00020389	0.00012314	9.4848e-05	5.7275e-05	0.0011201	0.0016829	0.0014078	0.0015121	0.0012871
1.715	0.00016234	0.00022491	0.00013163	9.1365e-05	5.8379e-05	0.00099376	0.0018556	0.0015039	0.0014562	0.0013115
1.75	0.00018349	0.00020633	0.00013399	9.2225e-05	5.8701e-05	0.0011386	0.0017028	0.0015306	0.0014701	0.0013176

شکل (۳-۴) خروجی عیب شبیه سازی شده

با توجه به شبیه سازی صورت گرفته در این بخش می توان عنوان نمود که پی عیب های وارد شده به سیستم می توان شبیه سازی را به نحوی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد که سیستم شبیه سازی مورد نظر خروجی های متفاوتی را نیز دارد که در پی آن ممکن است خروجی های سیستم به صورت چشمگیری تغییر کند و همچنین می توان این عیب ها را با استفاده از روش مقاوم ارائه شده تشخیص داده و به صورت قابل توجهی این عیب ها را کم کرد. در ادامه نتایج شبیه سازی انجام شده در محیط نرم افزار متلب را مشاهده نمایید که در تمامی نمودار ها محور افقی زمان سیمولیشن برنامه می باشد که در اینجا آن را برابر $1/2$ ثانیه قرار داده ایم ، همچنین محور عمودی هر نمودار در بالای نمودار نمایش داده شده است.

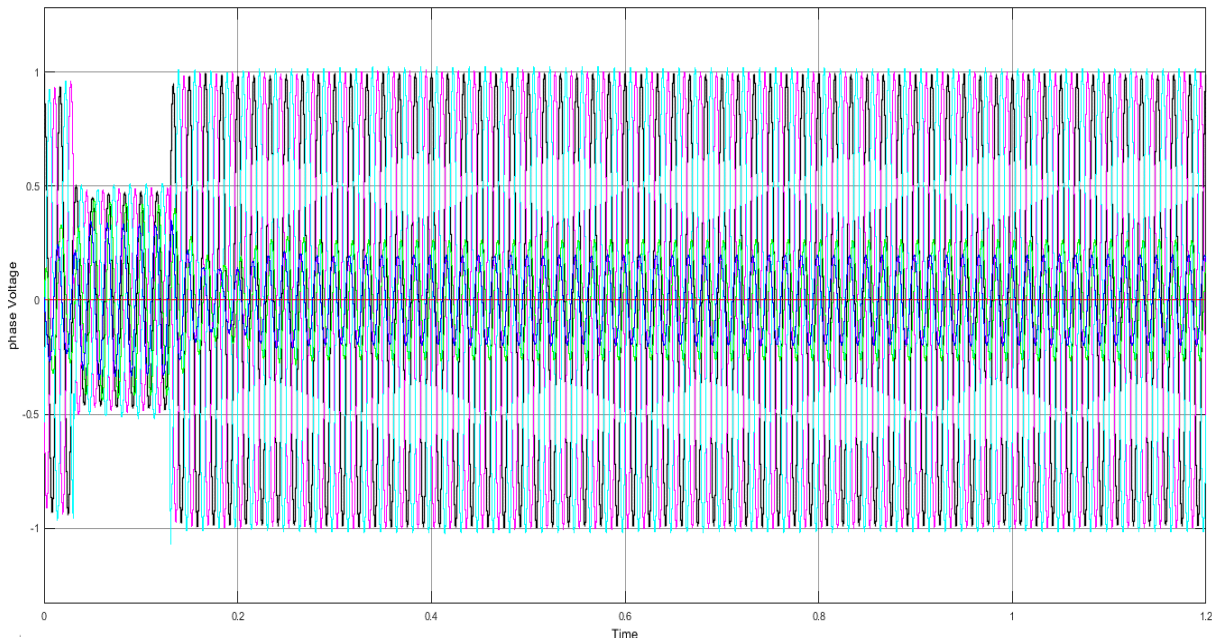


شکل ۴-۴: نتیجه به دست آمده از شبیه سازی کل سیستم با استفاده از روش مقاوم

همان طور که در این سیستم نمایش داده می شود شکل خروجی های مربوط به شبیه سازی های سیستم مورد نظر را در حالت های مختلف می توان مورد بررسی قرار داد که با توجه به آن همان طور که مشاهده می شود در بخش هایی از بازه ی زمانی عیب هایی در سیستم رخ می دهد و با توجه به آن می توان عنوان نمود که با استفاده از روش مقاوم مورد نظر این عیب ها کم شده و در نتیجه حالت عیب ها در سیستم از بین رفته و همچنین می توان مشاهده کرد که سیستم به حالت اولیه ی خود و بدون عیب می رسد.

در این نمودار می توان خروجی های ولتاژ و جریان متصل به شبکه و هم چنین ولتاژ و جریان DC و همچنین توان اکتیو و راکتیو کلی سیستم مورد نظر را مشاهده نمود در هر حالتی که ولتاژ و جریان کل شبکه دارای عیب در خروجی سیستم شده باشد در این صورت توان اکتیو و راکتیو سیستم نیز دچار عیب شده و همچنین این که

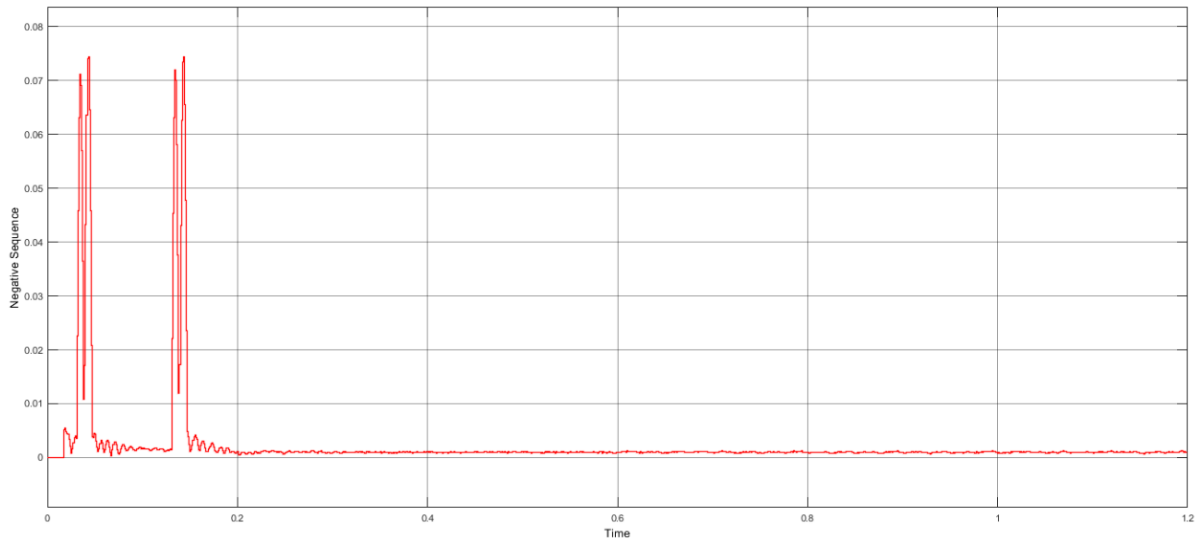
می توان مشاهده نمود که پس از اعمال روش مقاوم در این بخش این عیب ها از بین رفته و سیستم به حالت ثابت و پایدار خود نیز می رسد.



شکل ۴-۵: خروجی به دست آمده از فاز ولتاژ در نظر گرفته شده برای سیستم در حالت کلی

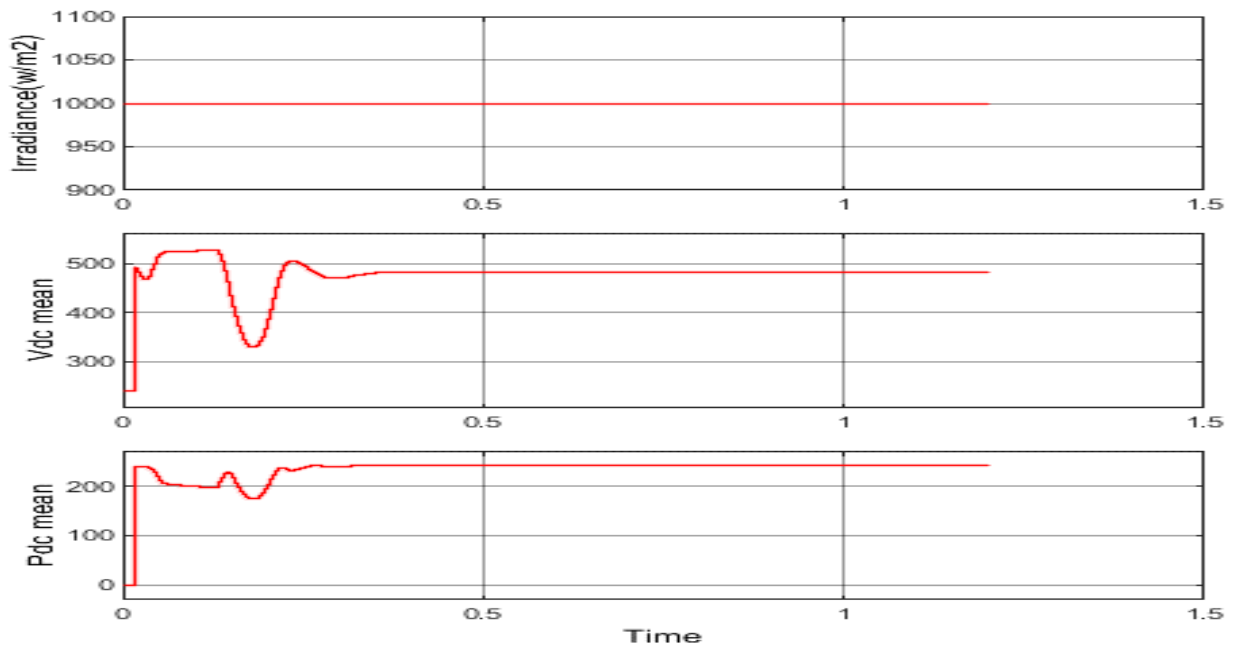
همان طور که در این بخش مشاهده می شود فاز ولتاژ در نظر گرفته شده در این بخش با توجه به شبیه سازی صورت گرفته در این بخش در بخشی از بازه ی زمانی دارای عیب می باشد و این بخش ها پس از اعمال روش مقاوم شناسایی می شود و سیستم به حالت اولیه و ثابت پایدار خود می رسد.

همان طور که در شکل ۴-۶ مشاهده می شود مقدار عیب های وارد شده به سیستم در بازه های زمانی اولیه یعنی حدود ۰/۰۵ تا ۰/۲ ثانیه نسبت به زمان های دیگر بسیار زیاد می باشد و این ناشی از عیب عملکردی سیستم در هنگام مشاهده ی خروجی های در نظر گرفته شده برای سیستم می باشد و همان طور که در این خروجی ها مشاهده می شود برای برطرف نمودن عیب های مشاهده شده در این بخش می توان از روش مقاوم در این بخش استفاده نمود.

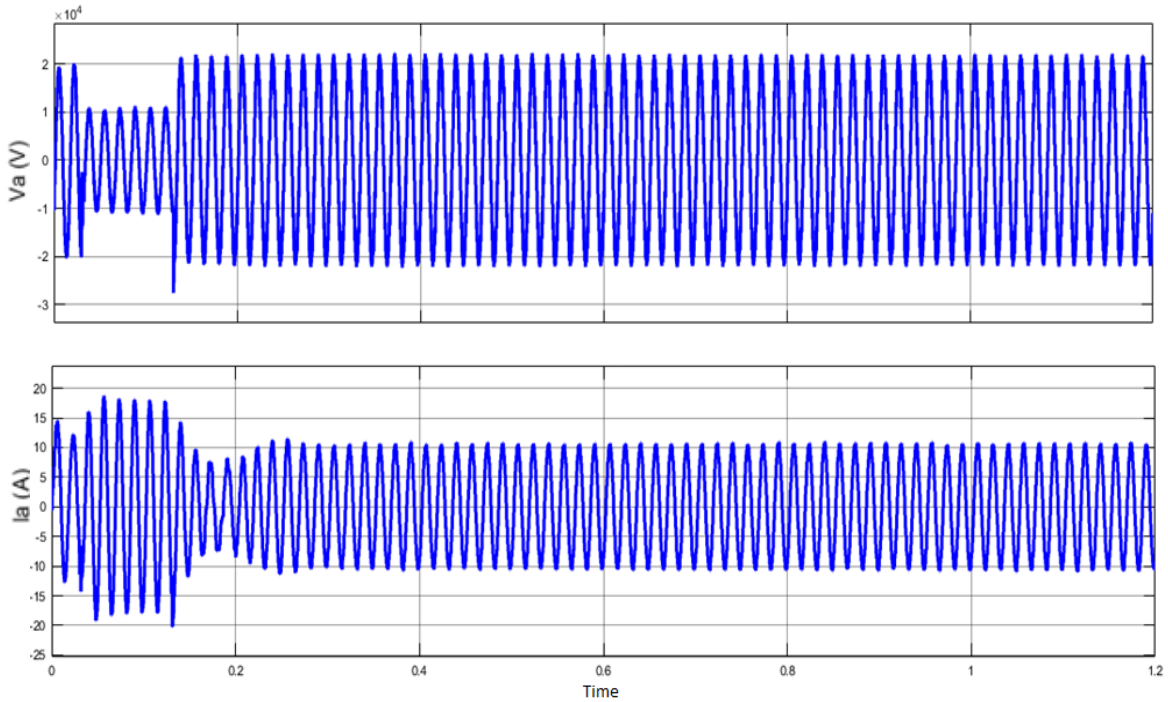


شکل ۴-۶: خروجی به دست آمده از عیب های وارد شده به سیستم آنالیز مقدار عیب های ایجاد شده

همان طور که در این سیستم مشاهده می شود می توان با استفاده از خروجی های در نظر گرفته شده در این بخش توان و ولتاژ خروجی و جریان خروجی کلی سیستم را به دست آورد همان طور که در این بخش مشاهده می شود زاویه ی تابش در نظر گرفته شده در این بخش حدود ۱۰۰۰ وات بر متر مربع می باشد و همچنین ولتاژ و توان سیستم در این سیستم نیز به صورتی می باشد که پس از مدتی به پایداری اولیه می رسد.

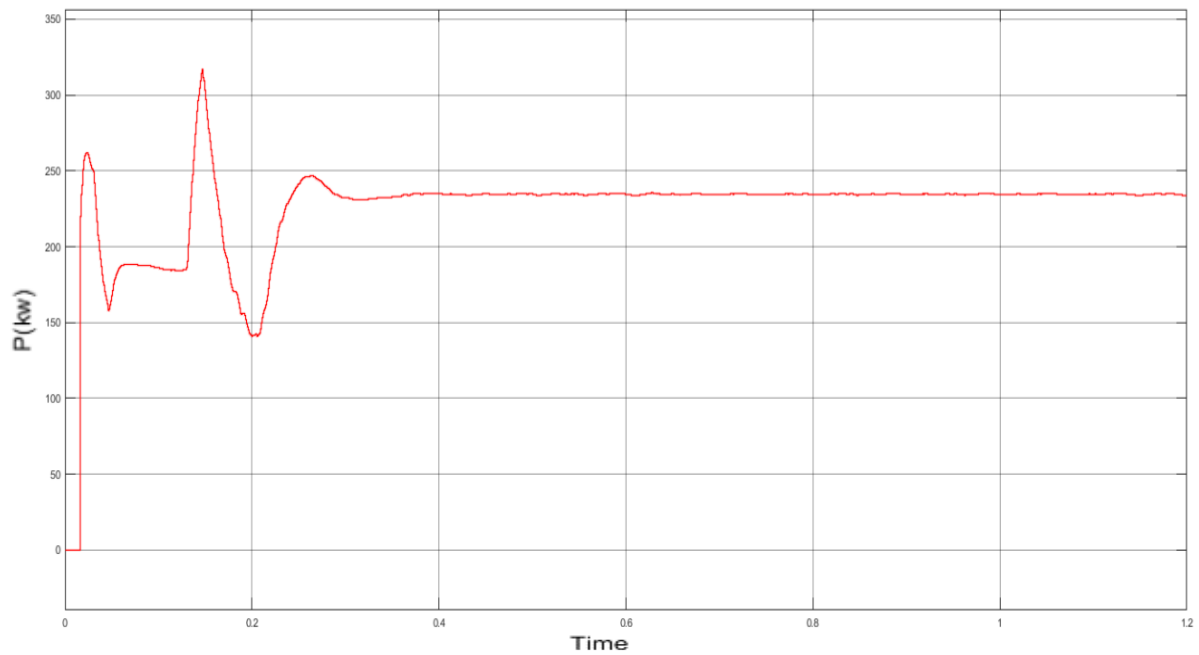


شکل ۴-۷: ورودی تابش و ولتاژ DC اولیه و توان اولیه برای سیستم فتوولتاییک



شکل ۴-۸: خروجی به دست آمده از ولتاژ و جریان کلی سیستم فتوولتائیک

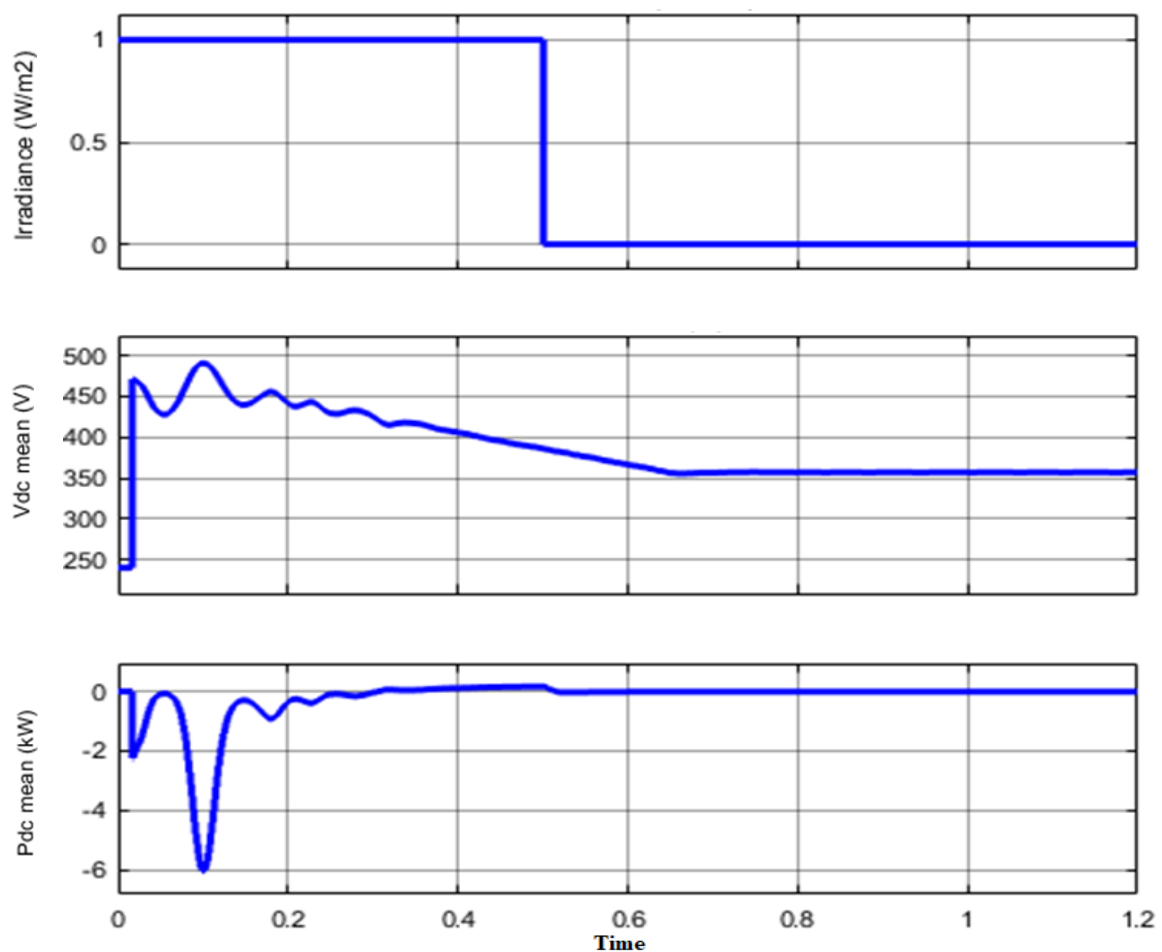
همان طور که در این سیستم مشاهده می شود ولتاژ و جریان سیستم فتوولتائیک در بخش هایی از زمان دچار عیب می باشد و همچنین این که همان طور که مشاهده می شود سیستم دارای خروجی های پایدار و منظمی می باشد.



شکل ۴-۹: توان کلی به دست آمده از سیستم فتوولتائیک بر حسب (kW)

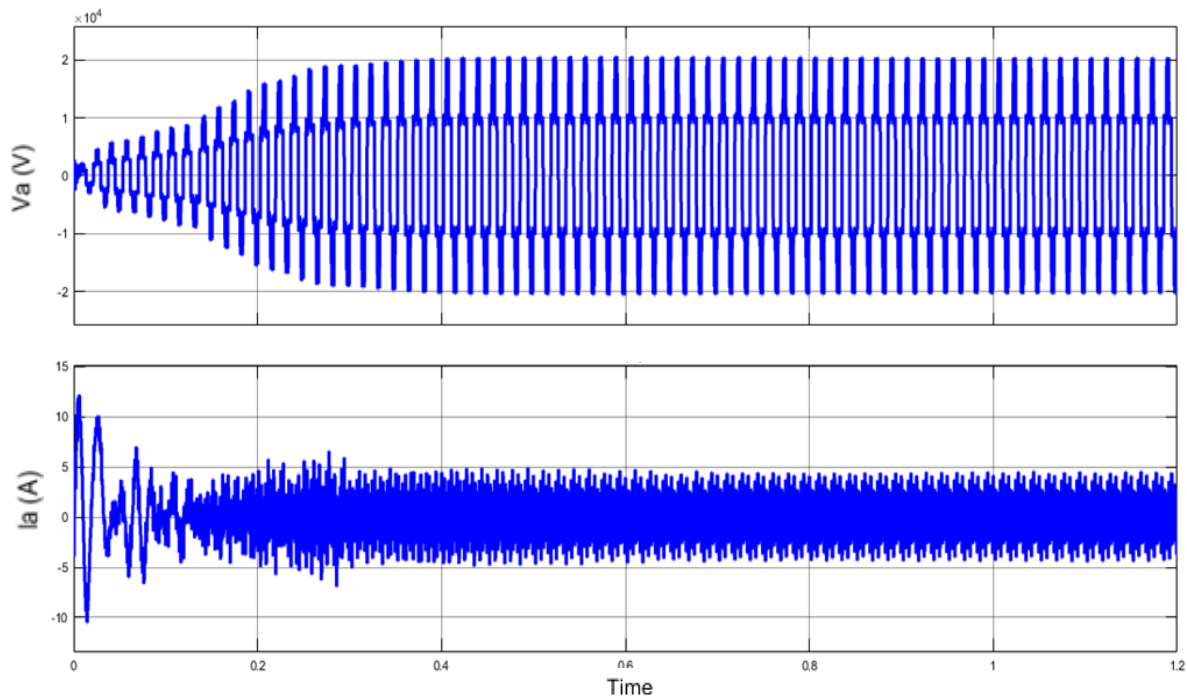
همان طور که در شکل ۴-۹ مشاهده می شود توان کلی به دست آمده از سیستم فتوولتاییک به صورتی می باشد که در بخش هایی از بازه ی زمانی این توان ثابت می باشد و این مساله ناشی از عملکرد مناسب سیستم فتوولتاییک است.

در این بخش با استفاده از پالس موج مربعی می خواهیم در سیستم فتوولتاییک مورد نظر پالس ایجاد نماییم تا نحوه ی ایجاد عیب در خروجی های مورد استفاده در این بخش را مشاهده نماییم.



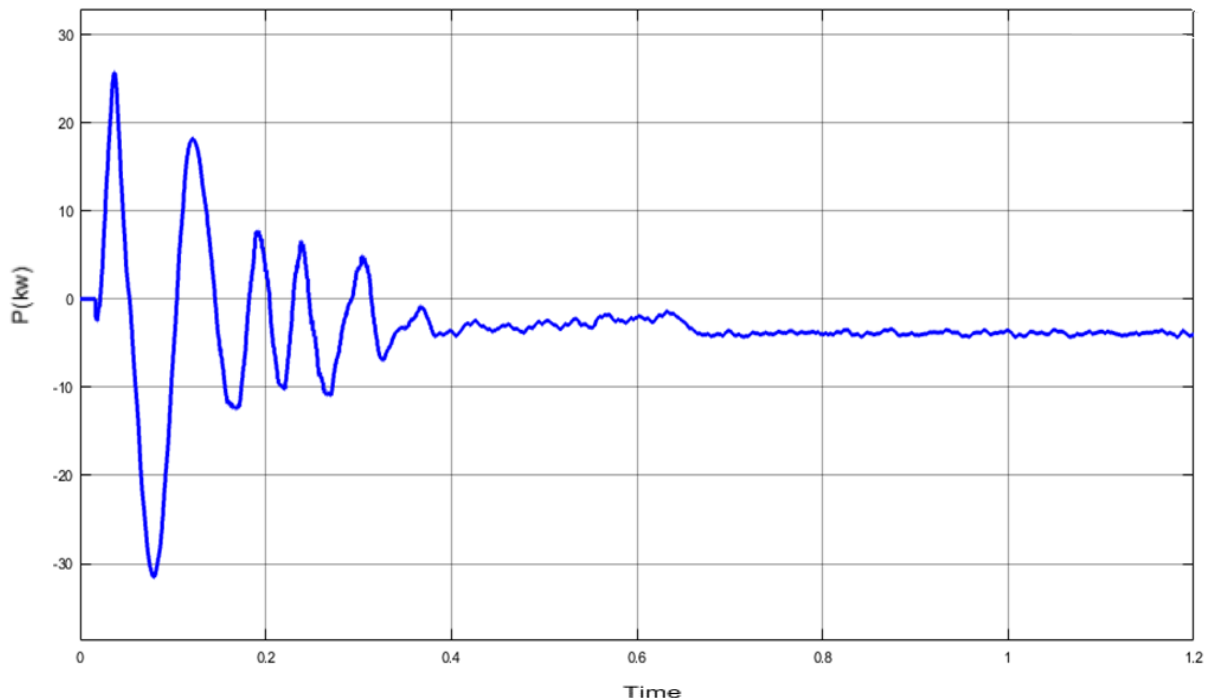
شکل ۴-۱۰: ورودی سیستم فتوولتاییک شبیه سازی شده به وسیله ی پالس در نظر گرفته شده در سیستم

همان طور که در سیستم فتوولتاییک مورد نظر مشاهده می شود ورودی تابش و ولتاژ ورودی و همچنین توان ورودی سیستم فتوولتاییک به نحوی می باشد که سیستم مورد نظر دارای اغتشاش در ورودی خود می باشد و همچنین این که سیستم مورد نظر دارای ورودی های با اغتشاش بیشتری می باشد.



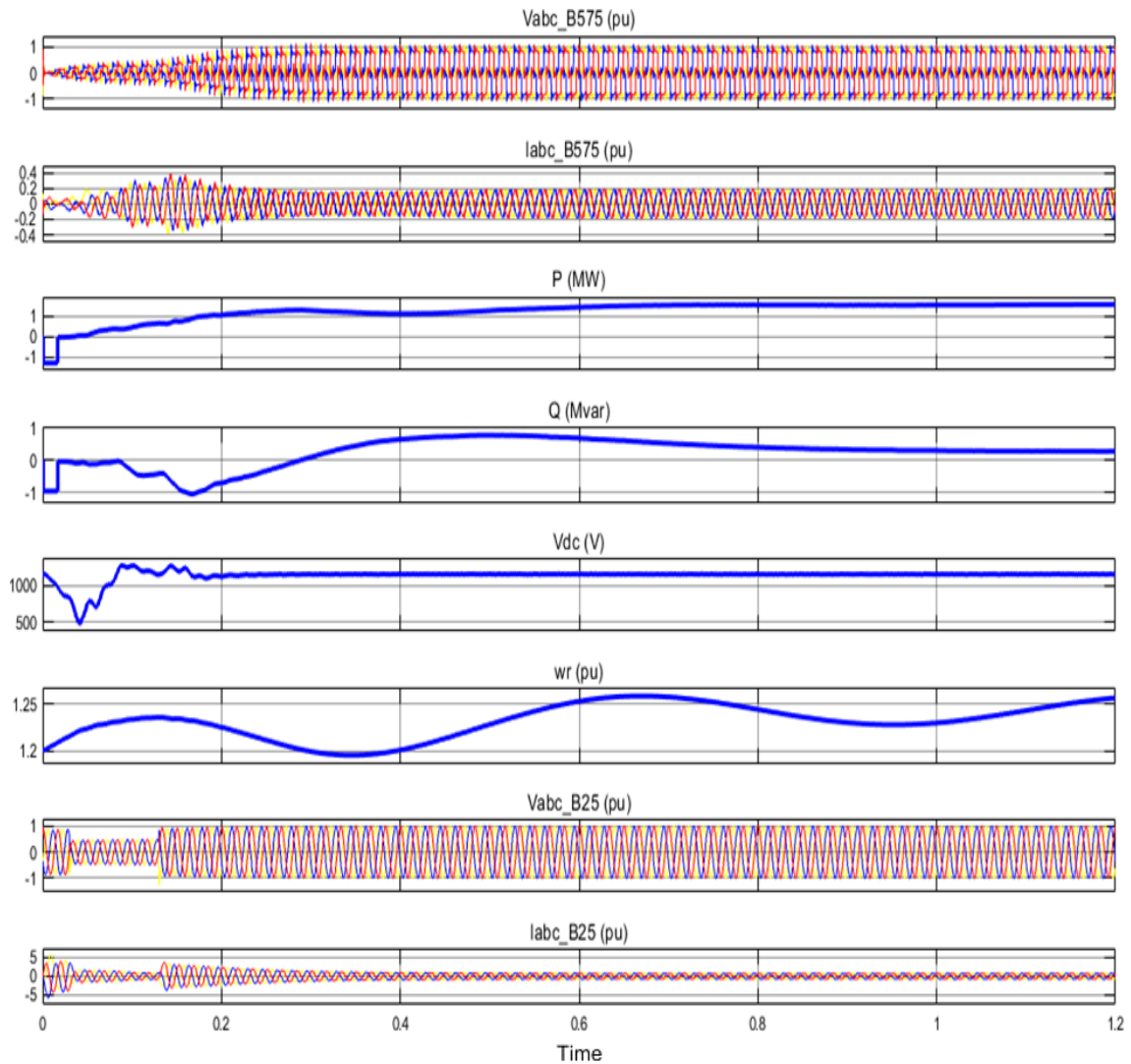
شکل ۴-۱۱: خروجی ولتاژ و جریان سیستم فتوولتاییک

همان طور که در شکل ۴-۱۱ مشاهده می شود خروجی ولتاژ و جریان به صورتی می باشد که در این سیستم خروجی ها با اغتشاش و اعوجاجات هارمونیک بسیاری در طول روند انتقال روبه رو می باشد و این عیب ها به وسیله ی روش مقاوم مورد نظر قابل شناسایی و رفع می باشد.



شکل ۴-۱۲: توان سیستم فتوولتاییک مورد نظر در شبیه سازی در نظر گرفته شده

همان طور که در شکل ۴-۱۲ مشاهده می شود توان سیستم فتوولتائیک مورد نظر در این بخش به نحوی می باشد که سیستم مورد نظر دارای اغتشاشات و اعوجاجات هارمونیک بسیاری در طول روند انتقال می باشد.



شکل ۴-۱۳: نتیجه به دست آمده از شبیه سازی کل سیستم با استفاده از روش مقاوم در هنگام ایجاد پالس در سیستم

همان طور که در شکل ۴-۱۳ مشاهده می شود در این شبیه سازی صورت گرفته در طول انتقال در بخش هایی از بازه های زمانی اغتشاشات سیستم زیاد می باشد و همچنین این که سیستم مورد نظر با استفاده از روش مقاوم بخش هایی از این عیب های ایجاد شده را شناسایی و سیستم پس از مدت زمان کوتاهی به حالت تعادل و پایدار خود نیز دست می یابد اما حالت تعادل ایجاد شده در سیستم مورد نظر کمتر از حالت اولیه ی سیستم می باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱-۵ نتیجه گیری

امروزه سیستم‌های فتوولتائیک به عنوان منبع جدید قدرت درصد بالایی از سرمایه‌گذاری‌ها را به خود اختصاص داده است. بحث امنیت و ایمنی سیستم‌ها امروزه بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. هدف اصلی در یک سیستم تشخیص عیب، تولید سیگنالی به نام باقی مانده است که عملیات تصمیم‌گیری بر اساس آن صورت می‌گیرد تشخیص عیب مقاوم یک راه مناسب افزایش اطمینان عملکرد آن‌ها و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌باشد. در این تحقیق روش مقاوم جهت تولید سیگنال باقیمانده به روش مبتنی بر مشاهده گر بررسی شد. هدف طراحی رویتر H_2/H_{∞} و استفاده از آن در تشخیص و جداسازی عیب مقاوم در سیستم فتوولتائیک است. با توجه به نتایج بدست آمده دیدیم که در روش مقاوم H_2/H_{∞} عملکرد خوبی داشته و به طوری که تاثیر عیب روی سیگنال باقی مانده افزایش و درعین حال اثر ورودی ناشناخته تقریباً محو می‌شود. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که مشاهده گر قادر است عیب را بعد از رخ دادن، تشخیص دهد که نشان می‌دهد باقی مانده حساسیت بالا به عیب دارد و الزامات را برآورده کرده است.

۲-۵ پیشنهادها

مساله تشخیص عیب مقاوم، یکی از موضوعات بسیار مهم دنیای صنعتی امروز می‌باشد که همچنان جای تحقیقات گسترده دارد و اقدامات بسیار زیادی در این زمینه می‌توان انجام داد. در ادامه چند پیشنهاد برای بهبود کار ارائه می‌گردد:

۱- برای تحقیقات آتی می‌توان قسمت‌های مختلف از اجزای سیستم فتوولتائیک را در نظر گرفت و با روش H_2/H_{∞} یا روش‌های دیگر بررسی کرد.

۲- بررسی و استفاده از مدل غیر خطی و استفاده از مشاهده گرهای غیر خطی جهت انجام امر تشخیص

منابع و مراجع:

- [1] Nandi, Subhasis, Hamid A. Toliyat, and Xiaodong Li. "Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors—A review." *IEEE transactions on energy conversion* 20.4 (2005): 719-729.
- [2] Hwang, Inseok, et al. "A survey of fault detection, isolation, and reconfiguration methods." *IEEE transactions on control systems technology* 18.3 (2010): 636-653.
- [3] Isermann, Rolf. *Fault-diagnosis systems: an introduction from fault detection to fault tolerance*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [4] Zhang, Youmin, and Jin Jiang. "Bibliographical review on reconfigurable fault-tolerant control systems." *Annual reviews in control* 32.2 (2008): 229-252.
- [5] sobhani-tehrani, e. and k. khorasani (2009). *fault diagnosis of nonlinear systems using a hybrid approach*, springer science and business media.
- [6] Isermann, Rolf. "Model-based fault-detection and diagnosis—status and applications." *Annual Reviews in control* 29.1 (2005): 71-85.
- [7] Simani, Silvio, Cesare Fantuzzi, and Ron J. Patton. *Model-based fault diagnosis in dynamic systems using identification techniques*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [8] Alif, Adil, Mohamed Darouach, and Mohamed Boutayeb. "Design of Robust H_∞ Reduced-Order Unknown-Input Filter for a Class of Uncertain Linear Neutral Systems." *IEEE Transactions on Automatic Control* 55.1 (2010): 6-19.
- [9] Nazir, Moazzam, et al. "Robust fault detection for wind turbines using reference model-based approach." *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 29.3 (2017): 244-252.
- [10] Zhong, Maiying, et al. "A probabilistic approach to robust fault detection for a class of nonlinear systems." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 64.5 (2017): 3930-3939.

[۱۱] سعیدی، پونه، ۱۳۹۳، بررسی امکان پذیری بکارگیری سلول های فتوولتائیک جهت روشنایی معابر، اولین کنفرانس

اکوانرژی ایران

- [12] Stoyan, Kanev, and M. Verhaegen. "Robust fault-tolerant control." Faculty of Applied Physics, University of Twente", Ph. D. Thesis (2004).
- [13] Mohammadi, M., S. H. Hosseinian, and G. B. Gharehpetian. "GA-based optimal sizing of microgrid and DG units under pool and hybrid electricity markets." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 35.1 (2012): 83-92.
- [14] Ortiz Rivera, E. I. (2006). Modeling and analysis of solar distributed generation, Ph.D. Dissertation, Department of Electrical and Computer Engineering, Michigan State University.
- [15] Ding, Steven X. Model-based fault diagnosis techniques: design schemes, algorithms, and tools. Springer Science & Business Media, 2008.
- [16] Chen, Chi-Tsong. Linear system theory and design. Oxford University Press, Inc., 1998.
- [17] Dorf, Richard C., and Robert H. Bishop. Modern control systems. Pearson, 2011.
- [18] Edwards, fault tolerant flight control. *Lecture Notes in Control and Information Sciences* 399:1-560.
- [19] Isermann, Rolf. Fault-diagnosis systems: an introduction from fault detection to fault tolerance. Springer Science & Business Media, 2006.
- [20] Frank, Paul M., and Xianchun Ding. "Survey of robust residual generation and evaluation methods in observer-based fault detection systems." *Journal of process control* 7.6 (1997): 403-424.
- [21] Liu, Li, and Emmanuel Collins. "ROBUST FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS FOR PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MOTORS By." (2006).
- [۲۲] حسنی، مومنی، دانشگاه تبریز، کارشناسی ارشد، ۱۳۹۶، عیب یابی در آرایه‌های فتوولتائیک
- [23] Khosrowjerdi, M-J., Ramine Nikoukhah, and Nader Safari-Shad. "Fault detection in a mixed H2/H ∞ setting." *Decision and Control, 2003. Proceedings. 42nd IEEE Conference on. Vol. 2. IEEE, 2003.*
- [24] Sloan, M. K., & Fennell, M. J. (2016). U.S. Patent No. 9,226,701. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [25] Davarifar, M., et al. "Real-time model base fault diagnosis of PV panels using statistical signal processing." *Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2013 International Conference on. IEEE, 2013.*

Abstract:

For this protection problem, the technique is based on measurements of photovoltaic parameters such as voltage, current, radiation intensity, temperature, etc. At present, one of the problems of the fault detection algorithm in the solar cell panel inability is the detection of the exact location of the defect event in the system. In this research, defect detection and identification in photovoltaic systems has been investigated using the H_2 / H_∞ method. Real systems always include uncertainties or disturbances that these uncertainties can be due to uncertainty in the presence of disturbances. The system, however, has the necessary flexibility to function properly for uncertainties. In this research, a Robust method using H_2 / H_∞ has been used to design an fault detection system. To demonstrate the efficiency of this method, the system outputs the difference between the output of the model and the remaining signal, using the simulation to ensure that the system continues to work. The main purpose is to provide a Fault Detection and Isolation System (FDI) using H_2 / H_∞ Robust method in such a way as to maximize the effect of the fault on the model to detect the defect by the residual signal and the system is Robust to Disturbance so that it can carry on. A Robust method using H_2 / H_∞ is one of the methods that ensures system performance in the presence of disturbances and various uncertainties.

Key words: Photovoltaic system, H_2/H_∞ , Fault Detection(FDI), uncertainties



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

Robust fault detection Using H_2/H_∞ on Photovoltaic systems

By:

Farhad Rasekh

Supervisor:

Dr. Mohammad Ali.Sadrnia

January 2019