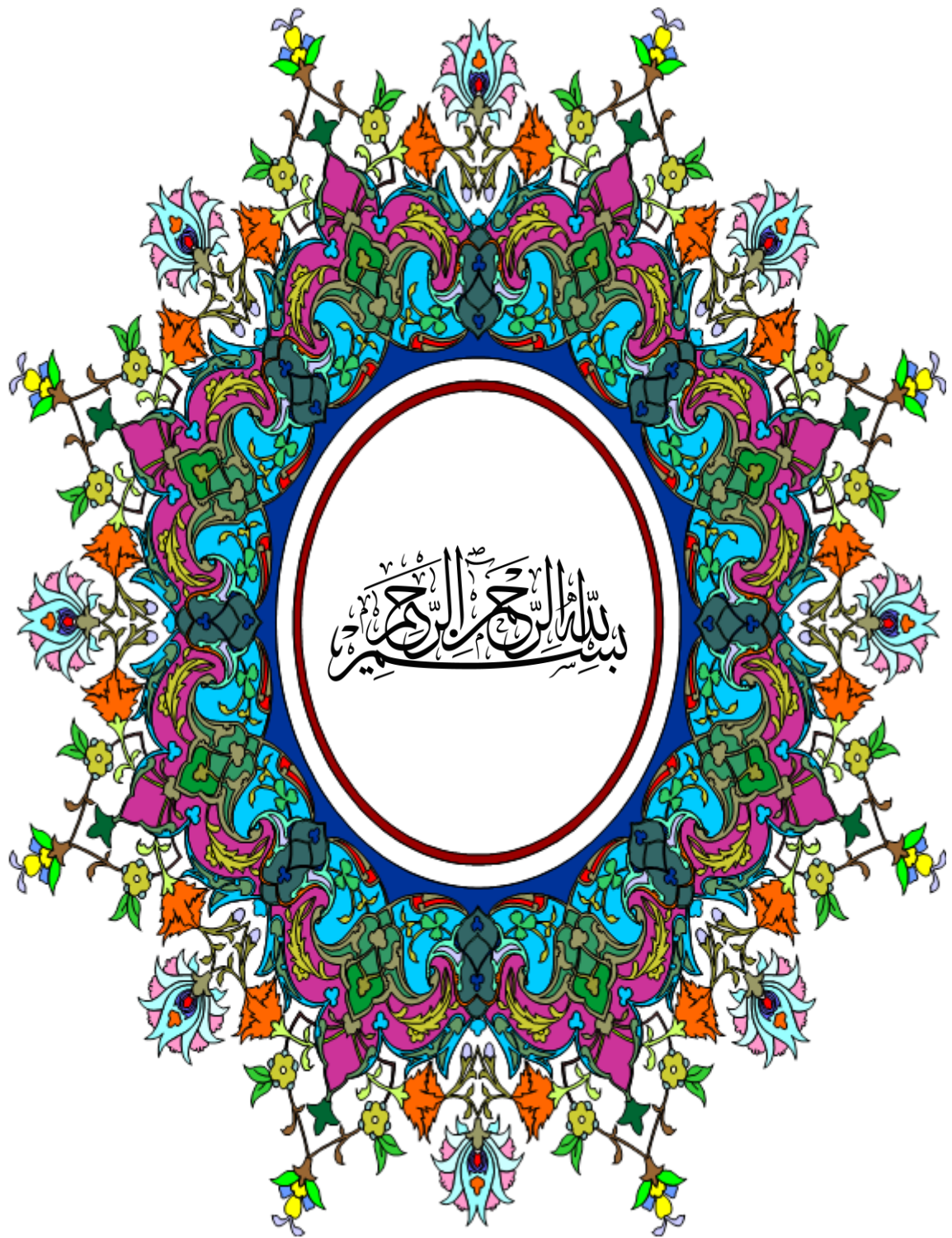






دانشکده برق و رباتیک

رشته‌ی مهندسی برق گرایش کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد

تشخیص عیب سنسور توربین بادی مبتنی بر رؤیتگر با ورودی ناشناخته

نگارنده:

نادر شاه نشین

استاد راهنما:

دکتر محمد علی صدرنیا

بهمن ۱۳۹۹

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، که با وجود تمام سختی های زندگی همواره از من حمایت کردند و راه تحصیل و پیشرفت را برای من فراهم نمودند.

با سپاس از:

از خانواده عزیزم و استاد محترم که من را در دوران تحصیل یاری کردند.

تعهدنامه

اینجانب **نادر شاه نشین** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق کنترل دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع **تشخیص عیب سنسور توربین بادی مبتنی**

بر رؤیتگر با ورودی ناشناخته تحت راهنمایی دکتر محمد علی صدرنیا متعهد می‌شوم:

- 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 می‌باشد 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 می‌گردد.
- 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 :

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

نیاز به توسعه پایدار انرژی هر روز در بین جوامع پیشرفته بیشتر احساس می‌شود و بی‌نیاز شدن از انرژی‌های قدیمی مانند سوخت‌های فسیلی هم اهمیت خود را به خوبی نشان داده است. استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر یک راه حل برای توسعه پایدار انرژی است که می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای سوخت‌های فسیلی با آلاینده‌گی بالا شود. اما موضوع مهم مقرون به صرفه بودن و هزینه‌هایی است که توسعه انرژی‌های نوین مانند توربین‌های بادی در پی دارد. برای تولید برق از انرژی بادی توربین‌های بادی را در میسرهای پر جریان باد قرار می‌دهند، قرار دادن توربین‌های بادی به این شکل در کنار یکدیگر برای تولید برق منجر به ایجاد مزارع بادی می‌شود. مزارع بادی در واقع یک نیروگاه تولید برق از انرژی بادی است. طی سال‌های اخیر تولید برق از انرژی بادی نظر بسیاری از سرمایه گذاران در بخش‌های خصوصی و دولتی را به خود جلب کرده است.

هزینه‌های ساخت نیروگاه‌های بادی بالا است از همین رو تعمیر و نگهداری مزارع بادی برای بازدهی بالاتر و کاهش هزینه‌ها اهمیت بسیار بالایی دارد که نباید به سادگی از آن عبور کرد. سنسورهای به کار رفته در توربین‌های بادی ممکن است که با عیب‌های مختلفی روبرو شوند اما می‌توان با تشخیص به موقع عیب جلوی خسارت‌های وارده را گرفت. یکی از روش‌های گسترده و کاربردی در تشخیص عیب سنسور استفاده از رؤیتگر با ورودی ناشناخته است که اقدام به جداسازی عیب از طریق باقیمانده می‌کند.

واژگان کلیدی: تشخیص عیب، تشخیص عیب سنسور، سنسور توربین بادی، تشخیص عیب سنسور

توربین بادی مبتنی بر رؤیتگر، رؤیتگر با ورودی ناشناخته

- ۱- فصل اول: ۱
- ۱-۱- معرفی ۲
- ۱-۲- چند تعریف در حوزه تشخیص عیب ۲
- ۱-۲-۱- عیب ۳
- ۱-۲-۲- شکست ۳
- ۱-۲-۳- بد عمل کردن ۴
- ۱-۲-۴- خطا ۵
- ۱-۲-۵- اغتشاش ۵
- ۱-۲-۶- باقیمانده ۵
- ۱-۲-۷- نویز ۵
- ۱-۲-۸- قابلیت اطمینان ۵
- ۱-۲-۹- ایمنی ۶
- ۱-۲-۱۰- یکپارچگی ۶
- ۱-۲-۱۱- دسترس پذیری ۷
- ۱-۳- پیشینه کار ۷
- ۱-۳-۱- واحدهای نظارتی به شرح زیر است: ۸
- ۱-۴- انواع عیب ۹

- ۹-۴-۱- عیب سنسور..... ۹
- ۹-۴-۲- عیب عمل گر..... ۹
- ۹-۴-۳- عیب سیستم..... ۹
- ۹-۴-۴- عیب جمع شونده..... ۱۰
- ۹-۴-۵- عیب ضرب شونده..... ۱۰
- ۹-۴-۶- عیب مبتنی بر زمان..... ۱۰
- ۵-۱- انواع شکست و بد عمل کردن..... ۱۱
- ۶-۱- تشخیص عیب..... ۱۱
- ۷-۱- تشخیص عیب با استفاده از روش های بدون مدل..... ۱۲
- ۷-۱-۱- افزونگی سخت افزاری..... ۱۲
- ۷-۱-۲- بررسی حد..... ۱۲
- ۷-۱-۳- آنالیز طیفی اندازه گیری ها در یک فرآیند..... ۱۲
- ۷-۱-۴- استدلال منطقی..... ۱۳
- ۸-۱- تشخیص عیب مبتنی بر مدل..... ۱۳
- ۸-۱-۱- مرحله تولید باقیمانده..... ۱۴
- ۸-۱-۲- مرحله ارزیابی باقیمانده..... ۱۴
- ۸-۱-۳- ساختار کلی تولید باقیمانده..... ۱۵
- ۹-۱- چند روش تشخیص عیب مبتنی بر مدل..... ۱۶
- ۱۰-۱- افزونگی..... ۱۶

- ۱۰-۱-۱- افزونگی سخت افزاری ۱۷
- ۱۰-۲-۱- افزونگی تحلیلی ۱۷
- ۱۱-۱- عدم قطعیت مدل تشخیص عیب ۱۸
- ۱۲-۱- موضوع مقاوم بودن در تشخیص عیب ۱۹
- ۱۳-۱- روش های تولید باقیمانده ۲۰
- ۱۳-۱-۱- تولید باقیمانده با تخمین پارامتر ۲۱
- ۱۳-۲-۱- تشخیص عیب با معادلات توازن ۲۱
- ۱۳-۳-۱- روش های مبتنی بر رؤیتگر ۲۳
- ۲- فصل دوم: ۲۵
- ۲-۱-۱- تاریخچه ۲۷
- ۲-۱-۲- تاریخچه توربین بادی ۲۷
- ۲-۱-۲-۱- تاریخچه سنسور در توربین بادی ۲۹
- ۲-۲-۱- عوامل مهم در انتخاب توربین بادی مناسب ۲۹
- ۲-۲-۱-۱- قدرت بالاتر ۲۹
- ۲-۲-۲- توان اقتصادی ۲۹
- ۲-۲-۳- اندازه توربین ۳۰
- ۲-۲-۴- سرعت توربین بادی ۳۰
- ۲-۲-۵- نوع تعمیر و نگهداری توربین بادی ۳۰
- ۳-۲- عوامل بازدارنده برای به کارگیری توربین های بادی ۳۰

- ۴-۲- ویژگی سنسورهای توربین بادی ۳۱
- ۵-۲- اجزای تشکیل دهنده توربین بادی ۳۱
- ۶-۲- سنسورهای موجود در توربین بادی ۳۴
- ۶-۲-۱- توربین بادی با محوریت افقی ۳۵
- ۶-۲-۲- توربین بادی با محوریت عمودی ۳۶
- ۶-۲-۳- توربین های بادی امروزی ۳۷
- ۷-۲- انواع عیب در توربین بادی ۳۷
- ۸-۲- اهداف تشخیص عیب سنسور توربین بادی ۳۸
- ۹-۲- روش های تشخیص عیب سنسور توربین بادی ۳۸
- ۳- فصل سوم: ۴۱
- ۳-۱- سیستم نامی ۴۳
- ۳-۲- روش های مختلف در تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر ۴۴
- ۳-۲-۱- تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر با ورودی نامعلوم ۴۴
- ۳-۲-۲- اصول اساسی تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر ۴۵
- ۳-۳- تولید باقیمانده بر مبنای رؤیتگر ۴۶
- ۳-۴- رؤیت پذیری ۴۷
- ۳-۵- تشخیص عیب با استفاده از رؤیتگر ۴۷
- ۳-۵-۱- رؤیتگر حالت ۴۸
- ۳-۶- طراحی رؤیتگر با ورودی ناشناخته ۵۱

۳-۷- آشکار سازی تغییر و ارزیابی باقیمانده.....	۵۳
۴- فصل چهارم:	۵۵
۴-۱- مدل فضای حالت	۵۷
۴-۲- ماتریس فضای حالت	۵۷
۴-۳- ورودی ناشناخته در سیستم	۵۸
۴-۴- استفاده از رؤیتگر	۵۸
۴-۵- مقادیر رؤیتگر با ورودی ناشناخته	۵۹
۴-۶- سیستم در حالت ایده آل	۵۹
۴-۷- تعیین حد آستانه	۶۱
۴-۸- حضور عیب در سیستم	۶۱
۴-۹- دقت رؤیتگر در تخمین خروجی سیستم	۶۲
۴-۱۰- سیگنال باقیمانده در حضور عیب	۶۷
۴-۱۱- سیگنال باقیمانده در حضور عیب و ورودی ناشناخته	۶۷
۴-۱۲- تشخیص عیب سنسور مبتنی بر رؤیتگر با ورودی ناشناخته	۶۸
۴-۱۳- ویژگی‌های مهم رؤیتگر با ورودی ناشناخته	۶۹
۵- فصل پنجم:	۷۱
۵-۱- نتیجه گیری	۷۲
۵-۲- پیشنهادها	۷۳
۶- منابع	۷۴

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ گسترش خرابی و بد عمل کردن در اثر عیب ۴
- شکل ۱-۲ بلوک دیاگرام انواع عیب ۹
- شکل ۱-۳ عیب ضرب شونده و عیب جمع شونده ۱۰
- شکل ۱-۴ دسته بندی عیب ها بر اساس زمان ۱۱
- شکل ۱-۵ ساختار کلی تشخیص عیب مبتنی بر مدل ۱۴
- شکل ۱-۶ تولید و ارزیابی باقیمانده در تشخیص عیب مبتنی بر مدل ۱۵
- شکل ۱-۷ ساختار کلی تولید باقیمانده ۱۶
- شکل ۱-۸ یک ساختار کلی برای افزونگی تحلیلی ۱۸
- شکل ۱-۹ مقایسه بین افزونگی سخت افزاری و افزونگی نرم افزاری ۱۸
- شکل ۱-۱۰ تولید باقیمانده با استفاده از معادلات توازن ۲۲
- شکل ۲-۱ اجزای توربین بادی ۳۱
- شکل ۲-۲ توربین بادی با محوریت افقی ۳۶
- شکل ۲-۳ توربین بادی با محوریت عمودی ۳۷
- شکل ۳-۱ بانک رؤیتگرها ۴۵
- شکل ۳-۲ سیستم تشخیص عیب با رؤیتگر حالت ۴۹
- شکل ۳-۳ سیستم تشخیص عیب با استفاده از رؤیتگر خروجی ۵۰
- شکل ۳-۴ بلوک دیاگرام UIO از مرتبه کامل ۵۲
- شکل ۴-۱ تصویر توربین بادی ۵۶
- شکل ۴-۲ خروجی سیستم ۶۰
- شکل ۴-۳ سیگنال باقیمانده در حالت ایده آل ۶۰

- شکل ۴-۴ عیب پله ۶۲
- شکل ۴-۵ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور روتور با تخمین آن در حالتی که فقط عیب حضور دارد ۶۳
- شکل ۴-۶ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور روتور با تخمین آن در حالتی که عیب و ورودی ناشناخته حضور دارد ۶۳
- شکل ۴-۷ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور ژنراتور با تخمین آن در حالتی که فقط عیب حضور دارد ۶۴
- شکل ۴-۸ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور ژنراتور با تخمین آن در حالتی که عیب و ورودی ناشناخته حضور دارد ۶۵
- شکل ۴-۹ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور مبدل با تخمین آن در حالتی که فقط عیب حضور دارد ۶۶
- شکل ۴-۱۰ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور مبدل با تخمین آن در حالتی که عیب و ورودی ناشناخته حضور دارد ۶۶
- شکل ۴-۱۱ سیگنال باقیمانده در حضور عیب ۶۷
- شکل ۴-۱۲ سیگنال باقیمانده در حضور عیب و ورودی ناشناخته ۶۸
- شکل ۴-۱۳ سیگنال باقیمانده با استفاده از ریتگر با ورودی ناشناخته در حضور عیب و ورودی ناشناخته ۶۹

فهرست جداول

جدول ۱-۲ سنسورهای موجود در سیستم توربین بادی ۳۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- معرفی

با پیشرفت تکنولوژی و ظهور اتوماسیون^۱ صنعتی، روش‌های نوین در صنعت جای روش‌های قدیمی را گرفتند به همین دلیل با گذشت زمان دخالت نیروی انسانی در بخش‌های مختلف صنعت کاهش یافت. خطوط تولید، بخش‌های مختلف تولید انرژی و ... با اتکاء به سیستم‌ها هوشمند و قابل برنامه‌ریزی در قسمت‌های گوناگون صنعت جای خود را پیدا کردند. اما بدون شک یکی از دغدغه‌های اساسی مهندسين در همه بخش‌های صنعت، طراحی سیستمی است که در برابر عیب‌های رخ داده واکنش مناسب را نشان دهد. در صورت وقوع عیب در یک سیستم، توقف‌های خارج از برنامه شکل می‌گیرد که منجر به زیان‌های مالی برای فرآیند مورد نظر می‌شود. برای جلوگیری از چنین اتفاقی باید عیب را در زمان مناسب تشخیص داد.

در صورتی که نتوانیم به موقع عیب رخ داده در تجهیزات صنعتی را تشخیص دهیم پیش‌بینی وقوع هر نوع آسیب را باید داشته باشیم. این آسیب می‌تواند بخش‌های مختلف مانند امکانات سخت افزاری را دچار صدمه کند یا اطلاعات موجود را از بین ببرد البته در برخی از موارد هم که آسیب شدید است صدمه رسیدن به نیروی انسانی قابل پیش‌بینی است. باید توجه داشت که دلایل مختلفی می‌توانند موجب شوند تا در تجهیزات صنعتی عیب رخ دهد به علاوه آن سیستم‌های امروزی بسیار پیچیده شده‌اند و با در نظر گرفتن همین دلایل، تنها اتکا داشتن به اپراتورهای انسانی برای مدیریت بخش‌های گوناگون در صنعت نمی‌تواند کافی باشد. با توجه به نکات گفته شده نیاز داشتن به یک سیستم که بتواند عیب را تشخیص دهد یک امر ضروری است. چنین سیستمی باید دارای قابلیت‌های بالایی از جمله تشخیص زود هنگام وقوع عیب به همراه نوع آن و همچنین مقاوم بودن در برابر انواع عدم قطعیت‌ها و نویز را دارا باشد.[1]

۱-۲- چند تعریف در حوزه تشخیص عیب

با توجه به اهمیت بالای تشخیص عیب بهتر است تا با تعدادی از تعاریف مربوط به این حوزه بیشتر

¹ - Automation

آشنا شویم. با توجه به یکتا نبودن تعاریف در این حوزه تصمیم گرفتیم تا از این مرجع [2] استفاده کنیم.

۱-۲-۱- عیب^۱

زمانی که یکی از ویژگی‌ها یا پارامترهای سیستم از شرایط قابل قبول، استاندارد یا معمولی که دارند دچار انحراف غیر مجاز شود عیب در سیستم رخ داده است.

- عیب یکی از حالت‌های داخلی سیستم است.
- عیب موجب می‌شود تا شرایط غیر عادی به وجود آید و باعث کم شدن توانایی‌های یک واحد برای انجام وظایف خود می‌شود.
- عیب‌ها انواع مختلفی دارند که در طراحی، تولید، مونتاژ، عمل‌کرد عادی (مانند ساییده شدن)، عیب بد عمل کردن (مانند اضافه بار)، عیب در نگهداری، عیب سخت افزاری و نرم افزاری.

- وجود عیب از این که سیستم در حال کار کردن است یا خیر مستقل است.
- عیب می‌تواند موجب خرابی یا بد کار کردن در سیستم شود. [2]

۱-۲-۲- شکست^۲

هنگامی که یک وقفه موقت در عمل‌کردی که یک سیستم تحت شرایطی ویژه باید انجام می‌داده به وجود آید شکست رخ داده است. حال اگر این وقفه دائمی باشد تبدیل به خرابی می‌شود که شرایط زیر را دارد:

- خرابی یعنی این که توانایی آن واحد برای انجام کار مورد نظر به پایان رسیده است.
- برای خرابی از گروه بندی‌های متفاوتی استفاده می‌کنند:

✓ خرابی تصادفی

¹ Fault

² failure

✓ خرابی مشخص

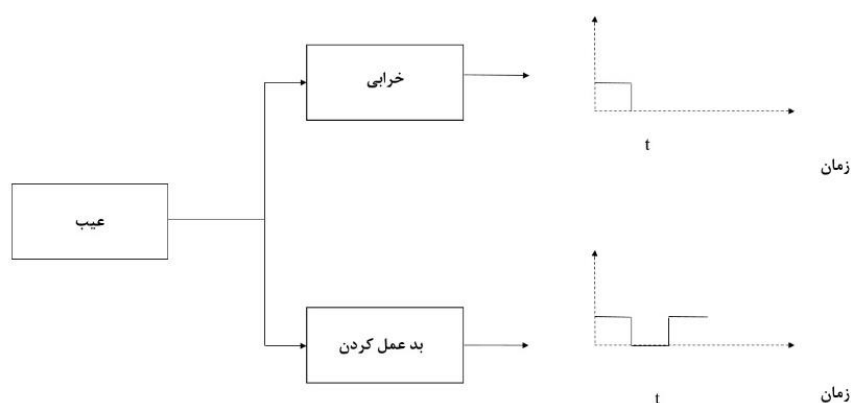
✓ خرابی سامانمند یا علی

۱-۲-۳- بد عمل کردن^۱

زمانی که یک سیستم در عمل کرد مطلوب خود دچار یک بی‌نظمی متناوب شود بد عمل کردن رخ داده است.

- بد عمل کردن یک توقف موقت در عملکرد سیستم است.
- بد عمل کردن می‌تواند از یک یا چند عیب به وجود بیاید.
- به طور معمول بعد از شروع کار سیستم و با وارد آمدن فشار به آن بد عمل کردن رخ می‌دهد.

در شکل ۱-۱ می‌توانید رابطه بین عیب، خرابی و بد عمل کردن را ببینید. عیب قابلیت این را دارد که به صورت ناگهانی مانند تابع پله یا به صورت تدریجی گسترش پیدا کند. فرض می‌کنیم مشخصه سیستم هم متناظر با عیب توسعه پیدا می‌کند. با عبور مشخصه سیستم از حد مجاز، یک عیب در زمان t برای آن معین می‌شود.



شکل ۱-۱ گسترش خرابی و بد عمل کردن در اثر عیب

¹ - malfunction

۱-۲-۴- خطا^۱

زمانی که خروجی واقعی یک سیستم با مقدار اندازه‌گیری شده یا محاسبه شده آن متفاوت باشد و انحراف رخ دهد خطا اتفاق افتاده است. احتمال این که خطا در سیستم توسط انسان به وجود آید زیاد است.

۱-۲-۵- اغتشاش^۲

ورودی‌های ناشناخته و کنترل نشده به سیستم را اغتشاش می‌گویند. اغتشاش می‌تواند به صورت درونی یا بیرونی باشد.

۱-۲-۶- باقیمانده^۳

یک مشخصه عیب است که بر اساس انحراف بین اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مبتنی بر معادلات مدل شکل می‌گیرد. با توجه به باقیمانده می‌توان وجود عیب در سیستم را فهمید.

۱-۲-۷- نویز^۴

سیگنال ورودی و ناخواسته‌ای است که بر روی سیگنال‌های دیگر اثر نامطلوب می‌گذارد. این سگنال نامطلوب می‌تواند در سیستم اختلال ایجاد کند.

۱-۲-۸- قابلیت اطمینان^۵

بتوانایی سیستم در انجام وظیفه خود تحت شرایط تعیین شده که دارای هدف و رویکردی در یک زمان معین باشد را قابلیت اطمینان می‌گویند.

- یک ویژگی که در طول زمان ادامه دار باشد.

^۱ - Error

^۲ - Disturbance

^۳ - Residual

^۴ - Noise

^۵ - Reliability

- این قابلیت را دارد که تحت تأثیر خرابی و بد عمل کردن قرار بگیرد.
- یک معیار برای اندازه گیری قابلیت اطمینان، به دست آوردن میانگینی از زمان خرابی است که برابر می شود با: $MTTF = \frac{1}{\lambda}$ که در آن λ نرخ خرابی ها در واحد زمان است.

۱-۲-۹-ایمنی^۱

- توانایی هر سیستم در این که به افراد و محیط پیرامون خود آسیبی وارد نکند را ایمنی می گویند.
- ایمنی یکی از شاخص های مهم قبل از شروع به کار است.
- قابلیت این که سیستم منجر به ایجاد خطر نشود.
 - ایمنی به تأثیر عیب ها، خرابی ها و بد عمل کردن ها به خطر می افتد.
 - برای ایمنی می توان یک حد از ریسک را مشخص کرد.
- همه اقداماتی که در جهت بالا بردن سطح قابلیت اطمینان، پیشگیری از وقوع عیب، بد عمل کردن و خرابی صورت می گیرد، در راستای بالا بردن سطح ایمنی است. با جلوگیری از اثر گذاری خطرات موارد ذکر شده می توان سطح ایمنی را بالا برد و افراد به همراه محیط را ایمن کرد. به طور کلی ایمنی و قابلیت اطمینان با یکدیگر در ارتباط هستند.

۱-۲-۱۰-یکپارچگی^۲

می توان یکپارچگی در سیستم را می توان توانایی شناخت و کشف عیب ها در کار خود و اطلاع رسانی به کاربر دانست. یکپارچگی را با مترادف با قابلیت اطمینان است که در مرجع [2] به شکل زیر تعریف شده است:

احتمال این که سیستم وابسته به ایمنی در همه شرایط و در بازه زمانی مشخص به شکل رضایت بخشی بتواند وظایف خود را انجام دهد را یکپارچگی می گویند.

¹ - Safety

² - integrity

۱-۲-۱- دسترس پذیری^۱

انجام وظیفه یک سیستم یا تجهیز به طور مؤثر و رضایت بخش در هر زمان را دسترس پذیری می‌گویند.

- یک معیار برای اندازه گیری دسترس پذیری $A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$ و میانگین

زمان تعمیر خواهد بود.

- برای داشتن یک دسترس پذیری خوب باید اندازه $MTTF$ نسبت به $MTTR$ بزرگ باشد.

اما این موضوع زمانی به دست می‌آید که :

۱. زمان فعالیت $MTTF$ بزرگ باشد:

✓ در بهترین حالت: اجزایی با قابلیت اطمینان بالا

✓ میزان قابل قبول: عیب‌های قابل تحمل به همراه افزونگی در سیستم

۲. زمان تعمیر $MTTR$ کوچک باشد:

✓ تشخیص عیب به سرعت و با اطمینان صورت گیرد.

✓ تعمیر و از بین بردن عیب با سرعت و اطمینان انجام شود.[2]

۱-۳- پیشنهاد کار

با بالا رفتن تقاضا برای کالا و خدمات راهی به جزء گسترش صنایع وجود نداشت به همین دلیل اتوماسیون به بخش سیستم‌های صنعتی ورود پیدا کرد. این اتفاق در دهه ۱۹۶۰ رخ داد و به خوبی توانست قابلیت‌های بالای اتوماسیون را بر عمل‌کرد سیستم‌های مختلف صنعتی نشان دهد. کاهش دخالت انسان در فرآیندها، بالا رفتن کیفیت محصول نهایی، خلاصی اپراتور از انجام دادن کارهای یکنواخت و همچنین کاهش دستمزدها از جمله مزایای ظهور اتوماسیون بود.[1]

شدت گسترش اتوماسیون در دهه ۱۹۷۰ با ارزان شدن و افزایش کامپیوترها همراه بود. افزایش نقش

¹ - Availability

میکرو کامپیوترها در صنایع و همراهی آن‌ها با اتوماسیون موجب شد قابلیت اطمینان به اتوماسیون بالا رود و دسترسی به آن‌ها بهتر از قبل شود. تکنولوژی گفته شده با پیشرفت در زمینه‌های حسگرها، عملگرها و باس^۱ های ارتباطی همراه بود. البته پیشرفت‌های (HMI)^۲ نیز در این دوره در حال رشد بود که تأثیر بسیاری در پیشرفت‌های اتوماسیون داشت، همچنین گسترش تحقیقات در مفاهیم تئوری عملکرد فرآیندها و اتوماسیون توانست کمک بزرگی به این پیشرفت‌ها کند. [2]

اما برای این‌که بتوان حالت‌های پیش‌بینی نشده و غیر مجاز در فرآیندهای صنعتی را تشخیص داد از کنترل خودکار بهره گرفته شد که در سال‌های بعد از آن پیشرفت‌های زیادی داشت. با پیشرفت‌های بزرگ در بخش کنترل خودکار، فرآیندها می‌توانستند در شرایط مختلف عکس‌العمل‌های مناسبی را از خود نشان دهند این امر موجب می‌شود تا فرآیند مورد نظر در برابر حادثه و یا فاجعه‌های بزرگ حفظ شود.

۱-۳-۱- واحدهای نظارتی^۳ به شرح زیر است:

- **مانیتورینگ:** کنترل از راه دور و نظارت بر روی فرآیند متغیرهای مختلف که اندازه‌گیری آنها انجام شده است را برای اپراتور ارسال می‌کند. البته این مقادیر دارای مقداری تolerانس^۴ نیز می‌باشند.
- **حفاظت خودکار:** حفاظت خودکار برای حالت‌های پر خطر موجود در فرآیند به کار می‌رود. در این شرایط توابع مانیتورینگ به صورت خودکار می‌توانند عکس‌العمل متقابلی را انجام دهند. به این شکل عیب‌ها و خطاهای وارد شده به پایین‌ترین سطح خود می‌رسد.
- **نظارت (مانیتورینگ) به همراه عیب‌یابی:** برای انجام محاسبات باید متغیرهای قابل اندازه‌گیری را در نظر گرفت و به وسیله شناسایی تغییرات، علامت‌ها تولید می‌شوند. به این

¹ - Bus

² - Human Machine Interface

³ - Monitoring

⁴ - Tolerance

ترتیب عیب‌یابی صورت می‌گیرد و می‌توان با توجه به اتفاق رخ داده اقدام مناسب را برای

مقابله با عیب به وجود آمده انجام داد.[1]

۴-۱- انواع عیب

عیب‌ها به طور کلی بر روی سه بخش از سیستم ظاهر می‌شوند. که از نظر مکانی این سه بخش عبارتند از:

۱-۴-۱- عیب سنسور

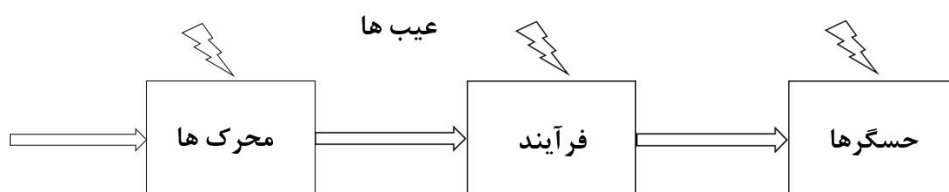
همان‌طور که از اسم این عیب مشخص است در سنسورها رخ می‌دهد و با عیب‌های مقیاس گذاری، قطعی ارتباط و ... است.

۱-۴-۲- عیب عمل‌گر

عیب عمل‌گر هم در محرک‌ها یا همان اکچویتورها اتفاق می‌افتد که سوئیچ آف^۱ و اشباع شدگی از این دست عیب‌ها هستند.

۱-۴-۳- عیب سیستم

این عیب در بخش اصلی فرآیند اتفاق می‌افتد. عیب سیستم در یک قطعه یا المان از فرآیند رخ می‌دهد.



شکل ۱-۲ بلوک دیاگرام انواع عیب

البته باید گفت که عیب‌ها را به شکل دیگری هم دسته‌بندی می‌کنند. این دسته‌بندی بر اساس

¹ - Switch-Off

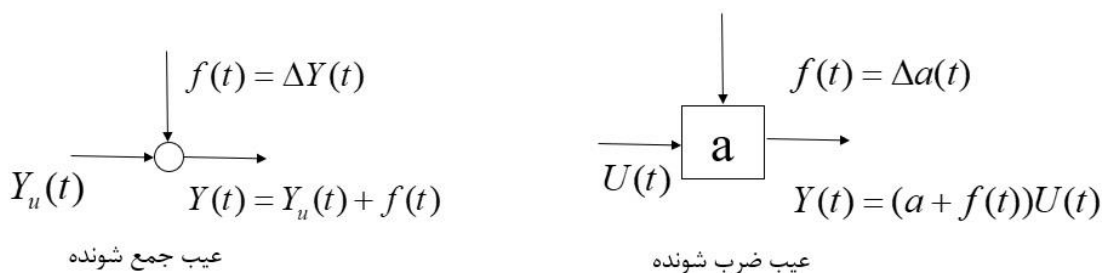
این است که عیب‌ها به چه شکل بر روی متغیرهای سیستم اثر می‌گذارند. بر اساس این دسته بندی می‌توان عیب‌ها را به نوع جمع شونده و ضرب شونده هم تقسیم کرد.[2]

۱-۴-۴- عیب جمع شونده

این نوع عیب بر روی متغیرها به شکل جمع شونده اثر خود را نشان می‌دهند که آفست^۱ حسگر یک نمونه آن است.

۱-۴-۵- عیب ضرب شونده

عیب‌های ضرب شونده بر روی پارامترهای سیستم به وسیله یک عامل ضربی اثر خواهند گذاشت. در شکل زیر می‌توانید تصویر عیب جمع شونده را در تصویر (a) و عیب ضرب شونده را در تصویر (b) ببینید.[2]



شکل ۱-۳ عیب ضرب شونده و عیب جمع شونده

۱-۴-۶- عیب مبتنی بر زمان

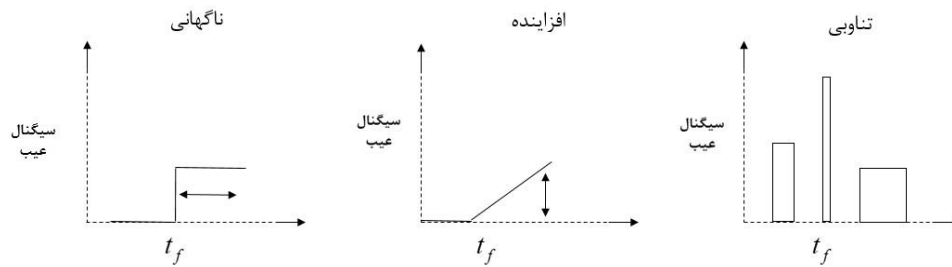
یکی دیگر از عیب‌های رخ داده در انواع سیستم‌ها، سنسور و عمل‌گر عیب‌هایی است که مبنای آن بر اساس زمان است. این نوع عیب به چند شکل مختلف رخ می‌دهد که هر کدام نشانه‌هایی دارد.

- عیب ناگهانی یا پله‌ای که به صورت ناگهانی رخ می‌دهد و یک تغییر نامطلوب را از خود به جای می‌گذارد.

- عیب افزایشنده یا شیب نوع دیگری از عیب است که به تدریج افزایش پیدا می‌کند و لغزش‌های

¹ -Offset

نامطلوبی را در مقادیر سالم ایجاد می‌کند. [2]



شکل ۱-۴ دسته بندی عیب ها بر اساس زمان

۵-۱- انواع شکست و بد عمل کردن

این اتفاقات انواع و دلایل متفاوتی دارد که در نتیجه آن سیستم دچار مشکل می‌شود.

- **تغییر زیاد پارامترها در یک مدل :** مدل سازی کردن برخی از فرآیندها غیر ممکن است

اما این فرآیندها می‌توانند به شکل یک پارامتر جمع شوند و اثرگذاری خود را بر روی سیستم داشته باشند. برای شکست پارامتری وجود اغتشاش نیاز است. این اتفاق در محیط و از طریق چند متغیر مستقل به فرآیند ورود می‌کند. تغییر در ضریب انتقال گرما در نتیجه انسداد مبدل گرمایی مثالی برای این بخش است.

- **بد عمل کردن ساختاری:** این اتفاق در فرآیند شکل می‌گیرد که در نتیجه آن یک تغییر در جریان اطلاعاتی متغیرها رخ می‌دهد.

بد عمل کردن سنسور و عمل گر: در این دو بخش شکست‌های بزرگی رخ می‌دهد. بعضی از تجهیزات سیگنال‌های مورد نیاز فیدبک را تأمین می‌کنند که برای کنترل کردن هر فرآیندی مورد نیاز است. هرگونه شکست در این تجهیزات می‌تواند یک انحراف زیاد و غیر قابل قبول را در سیستم ایجاد کند. [1]

۶-۱- تشخیص عیب

برای تشخیص عیب به طور کلی از ۲ روش استفاده می‌شود که مبنای یکی از آن روش‌ها مدل فرآیند

است که برای بیان اطلاعات به کار می‌رود و دیگری روشی است که بدون استفاد از مدل فرآیند اقدام به تشخیص عیب می‌کند. حال روشی که برای تشخیص عیب از مدل استفاده می‌کند خود دارای دو شکل اصلی است. [2]

- روش تحلیلی که ورودی و خروجی فرآیند موجود را بر اساس توابع ریاضی محاسبه و بیان می‌کنند.

- روش کیفی که در آن روابط کیفی مبنای روش تشخیص عیب است.

۱-۷- تشخیص عیب با استفاده از روش های بدون مدل

تشخیص عیب از این راه روش‌های متفاوتی مانند تکنیک افزونگی سخت افزاری، بررسی حد و دارد که از مدل ریاضی نظارت شده استفاده نمی‌کنند. [2]

۱-۷-۱- افزونگی سخت افزاری

این روش یکی از راه‌های گران قیمت و پر وزن برای تشخیص عیب است. در این روش برای به دست آوردن یک متغیر از چند سنسور استفاده می‌کنند که تفاوت اندازه گیری در نتایج به دست آمده یک عیب را نشان می‌دهد.

۱-۷-۲- بررسی حد

برای استفاده از این روش برای متغیرها یک حدود توسط محاسبات کامپیوتری تعیین می‌شود. هرگونه مقایرت در نتایج به دست آمده نشان دهنده عیب در سیستم است.

۱-۷-۳- آنالیز طیفی اندازه گیری ها در یک فرآیند

اغلب متغیرهای موجود در یک فرآیند دارای طیف فرکانسی مشخصی هستند که نرمال بودن شرایط را از روی آن‌ها می‌توان متوجه شد. وجود مقایرت این اندازه گیری‌ها عیب موجود در سیستم را نشان می‌دهد.

۱-۷-۴- استدلال منطقی

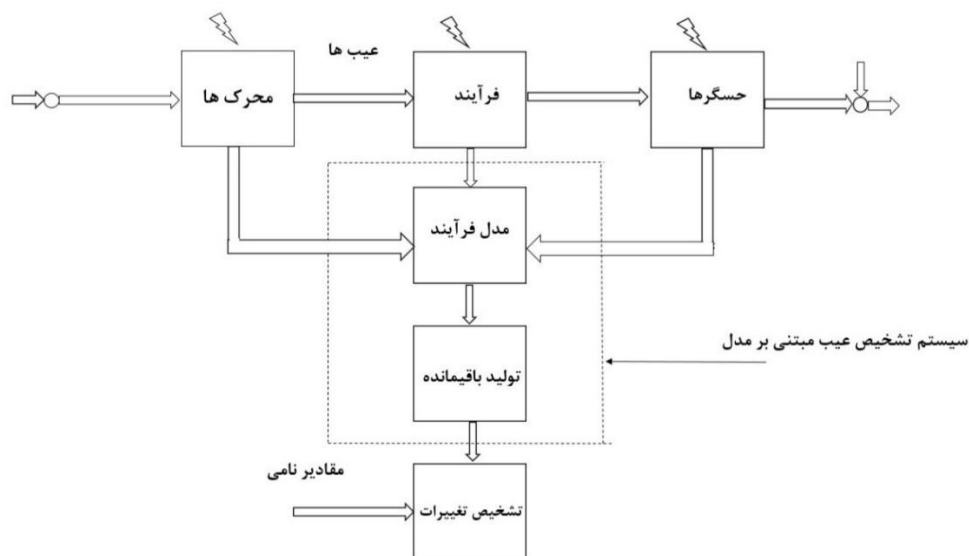
این روش گستره بزرگی دارد که می‌تواند نقش مکمل را برای روش‌هایی که در قبل‌تر به آن اشاره شد بازی کند. در این روش ارزیابی سیگنال‌های عیب به دست آمده از سخت افزار یا نرم افزارهای تشخیص هدف اصلی است.

۱-۸- تشخیص عیب مبتنی بر مدل

با داشتن یک مدل واضح از فرآیند نظارت شده می‌توان تشخیص عیب مبتنی بر مدل را انجام داد. همه روش‌هایی که مبنای کار آن‌ها بر اساس مدل است به ۲ مرحله نیاز دارند. [2]

- مرحله اول تولید باقیمانده
- مرحله دوم ارزیابی باقیمانده

در همه روش‌های تشخیص عیب مبتنی بر مدل اطلاعات مورد نظر با توجه به سیگنال‌های مختلف که از اندازه‌گیری با استفاده از مدل ریاضی فرآیند به دست می‌آیند صورت می‌گیرد. به این شکل دیگر نیازی به تغییر سخت افزاری در فرآیند وجود ندارد و تنها با انجام محاسبات ریاضی می‌توان عیب‌های رخ داده در سیستم را پیدا و آن‌ها را تشخیص داد. در شکل زیر هم می‌توانید ساختار کلی اساس کار سیستم تشخیص عیب مبتنی بر مدل را ببینید.



شکل ۱-۵ ساختار کلی تشخیص عیب مبتنی بر مدل

۱-۸-۱- مرحله تولید باقیمانده

از هر سیستمی یک رفتاری انتظار می‌رود. تفاوت رفتار بین انتظاری که از یک سیستم داریم و چیزی که در نتیجه واقعی به ما می‌دهد باقیمانده نام دارد. چنین اختلافی به وضوح نشان می‌دهد که یک عیب درون سیستم وجود دارد. در صورتی که شرایط عادی باشد و سیستم عاری از هرگونه عیبی باشد این اختلاف باید به سمت صفر میل کند. نبود اختلاف بین پیش بینی و نتیجه واقعی بیانگر سالم بودن سیستم است.

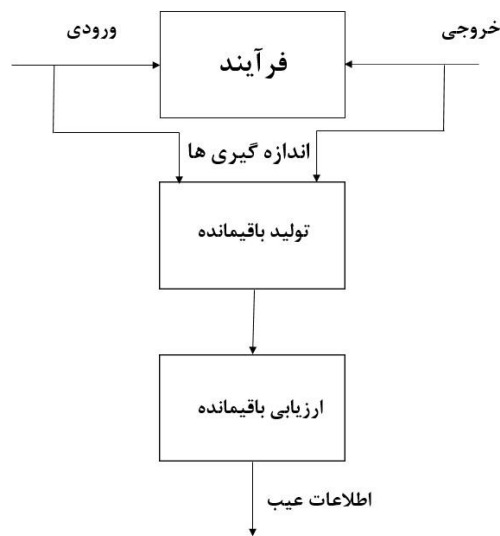
حال برای این که بتوانیم این تفاوت را به دست آوریم به نوعی افزونگی نیاز داریم. (در ادامه در مورد این افزونگی توضیح خواهیم داد) باقیمانده فقط اطلاعات مربوط به عیب پیدا شده را به همراه خود دارد. اما برای این که مطمئن شویم تشخیص عیب صحیح بوده اتلاف اطلاعات عیب در تولید باقیمانده باید تا حد امکان کوچک باشد.

۱-۸-۲- مرحله ارزیابی باقیمانده

برای تشخیص عیب باید الگوریتمی را در نظر گرفت. یکی از موارد مهم در این الگوریتم وجود بخش مربوط به تصمیم گیری است که در آن ارزیابی باقیمانده صورت می‌گیرد. در ادامه اشاره‌ای به جابه‌جایی

عیب که مربوط به سیگنالی است که در آن عیب رخ داده صورت می‌گیرد. این سیگنال باید اطلاعات مربوط به تأثیر عیب بر روی باقیمانده را با خود حمل کند.

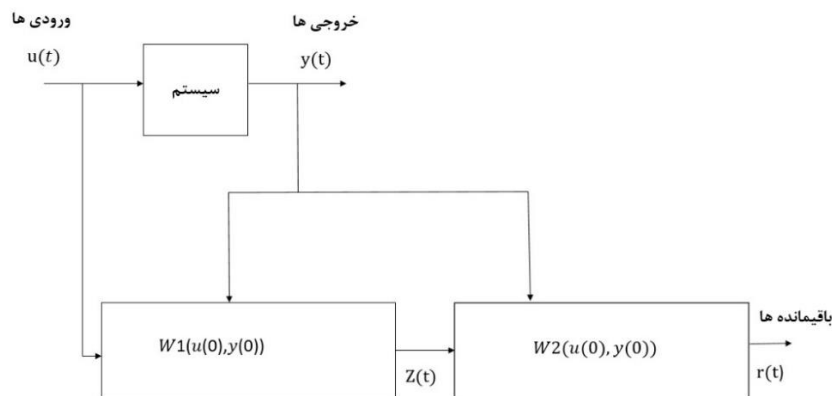
گفتنی است که بیشتر کارهای مربوط به تشخیص عیب مبتنی بر مدل به بخش تولید باقیمانده مربوط می‌شود. به این دلیل که اگر بخش تولید باقیمانده به خوبی طراحی شده باشد دیگر موضوع مربوط به تصمیم‌گیری کار زیاد سختی نیست.



شکل ۱-۶ تولید و ارزیابی باقیمانده در تشخیص عیب مبتنی بر مدل

۱-۸-۳- ساختار کلی تولید باقیمانده

پراهمیت‌تریم بخش در تولید باقیمانده به روش مبتنی بر مدل معرفی سیگنال‌های باقیمانده است که به عیب وابسته هستند اما از حالت‌های عمل‌کردی سیستم مستقل هستند. آن‌ها می‌توانند تفاوت بین اندازه‌گیری‌های سیستم حقیقی و سیگنال‌های متناظر مربوط به مدل ریاضی را ارائه دهند. پراکاربردترین روش‌های تشخیص عیب از یک داتش مقایسه‌ای استفاده می‌کنند که از ویژگی‌های سیگنال‌های معینی بهره‌برداری می‌کنند. به عنوان مثال طیف، رنج دینامیکی سیگنال و تغییرات آن ممکن است که مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱-۷ ساختار کلی تولید باقیمانده

در شکل بالا سیگنال کمکی $z(t)$ به وسیله W_1 تولید می‌شود و با اندازه گیری $y(t)$ همراه است. همچنین سیگنال نشانه $r(t)$ هم با استفاده از W_2 تولید می‌شود. حال اگر هیچ عیبی در سیستم نباشد شرایط زیر برآورده می‌شود.

$$z(t) = W_1$$

$$r(t) = W_2 = 0$$

هنگامی که سیستم دچار عیب می‌شود باقیمانده مربوط به $r(t)$ دیگر صفر نخواهد بود.

۹-۱- چند روش تشخیص عیب مبتنی بر مدل

- رویکردهای خروجی، تخمین گرها، فیلترها
- معادله توازن
- شناسایی و تخمین پارامتر

مزیت مهم این روش‌ها آشکار شدن نوع عیب است. عیب‌های جمع شوند با یک متغیر فرآیند جمع می‌شوند و عیب‌های ضرب شونده که ضرب متغیرهای فرآیند هستند را این روش‌ها می‌توانند از یک‌دیگر جدا کنند. به این ترتیب با وجود این روش‌ها نتایج متفاوتی توسط عیب‌های مختلف تولید می‌شوند. [3]

۱۰-۱- افزونگی

افزونگی یکی از روش‌های تشخیص عیب است که به دو شکل سخت افزاری و تحلیلی انجام می‌شود. هر کدام از آن‌ها مزیت‌هایی دارند که می‌توان از طریق آن‌ها عیب رخ داده در سیستم را تشخیص داد،

اما وجود ایراداتی در این روش‌ها باعث شده که افزونگی هم مانند خیلی از روش‌های دیگر تشخیص عیب بدون مشکل نباشد.[4]

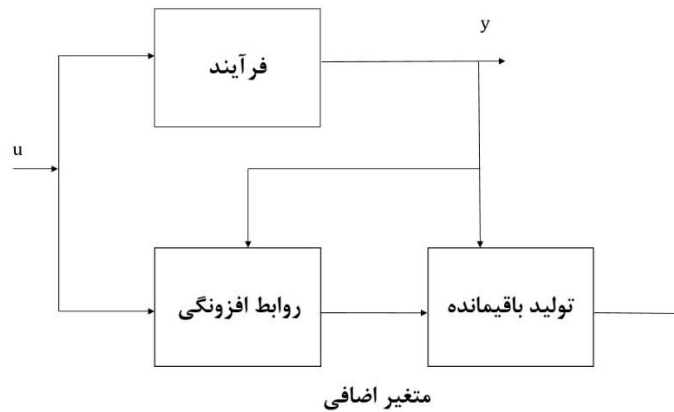
۱-۱۰-۱- افزونگی سخت افزاری

یکی از روش‌های قدیمی برای تشخیص عیب است که با اضافه کردن تجهیزات فیزیکی به سیستم شکل می‌گیرد. در این روش باید سنسورهای مازادی را به سیستم وارد کنید و مسیرهای چندگانه‌ای از سنسورها، عمل‌گرها و ... را برای این کار در نظر بگیرید. از این روش برای کنترل سیستم‌های گران قیمت مانند صنایع نفتی، هوایی و ... استفاده می‌شود. یکی از مزیت‌های مهم در این روش این است که اطمینان به افزونگی به طور کامل با کیفیت سخت افزارها (سنسور و عمل‌گر) مرتبط است و دیگر نیازی به تحلیل‌های یک فرد کارشناس ندارد.

اما لازم به ذکر است که پیاده سازی چنین روشی بسیار دشوار است. فضای زیاد، سنگین شدن سیستم، تداخل، به وجود آمدن نویز و همچنین هزینه‌های بالای که یکی از اصلی‌ترین دلایل داشتن محدودیت در این روش است مانع گسترش روش تشخیص عیب افزونگی سخت افزاری شده است. به همین دلیل روش دیگری وجود دارد که با استفاده از مدل سازی ریاضی افزونگی تحلیلی را انجام می‌دهد.[2]

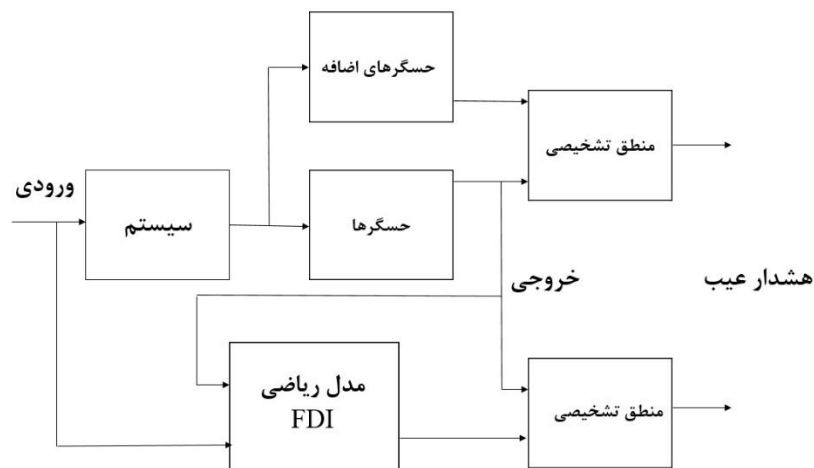
۱-۱۰-۲- افزونگی تحلیلی

برای این که بتوانید افزونگی تحلیلی را انجام دهید باید بین متغیرهای فرآیند یک وابستگی تابعی پیدا کنید. این اتفاق توسط یک مجموعه از روابط جبری در بین حالت‌ها، ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم به دست می‌آید. می‌توانید یک ساختار کلی از افزونگی تحلیلی را در شکل زیر ببینید.



شکل ۸-۱ یک ساختار کلی برای افزونگی تحلیلی

در روش‌هایی که مبنای آن بر اساس مدل است هیچ جزء اضافه سخت افزاری برای تشخیص عیب وجود ندارد. در روش تحلیلی یک الگوریتم تشخیص عیب بر مبنای مدل به وسیله نرم افزار بر روی یک کامپیوتر کنترل فرآیند قابل اجراء است. این تحلیل نرم افزاری از مدل ریاضی تحت بررسی استفاده می‌کند، به همین دلیل است که از آن به عنوان روش تشخیص عیب مبتنی بر مدل نام برده می‌شود. در ادامه می‌توانید یک مقایسه افزونگی سخت افزاری و افزونگی نرم افزاری را ببینید. [5]



شکل ۹-۱ مقایسه بین افزونگی سخت افزاری و افزونگی نرم افزاری

۱۱-۱- عدم قطعیت مدل تشخیص عیب

در بخش‌های قبلی به خوبی توضیح دادیم که به چه شکل می‌توان از یک مدل ریاضی سیستم نظارت شده برای تشخیص عیب استفاده کرد. البته لازم به ذکر است که به علت وجود عدم قطعیت‌های

مدل، پارامترهای نامشخص، نویز و اغتشاش یک مدل دقیق و کامل از سیستم نظارت شده در دسترس نیست. به همین دلیل اگر در فرآید مذکور هیچ گونه عیبی وجود نداشته باشد همیشه ما با یک عدم تطابق بین مدل ریاضی و سیستم واقعی مواجه هستیم.

در چنین شرایطی کار تشخیص عیب سخت تر می شود به خصوص زمانی که سیستم هشدار را اشتباهی یا یک هشدار از دست رفته را نشان می دهد. به همین دلیل تأثیری که عدم قطعیت، نویز، اغتشاش و ... بر روی تشخیص عیب مبتنی بر مدل می گذارد را باید به خوبی در نظر گرفت تا نتیجه مطلوبی حاصل شود.

برای دریافت بهترین نتیجه از این روش باید تشخیص عیب مبتنی بر مدل نسبت به عدم قطعیت ها حساس نباشد. البته در مواقعی کم شدن حساسیت مدل نسبت به عدم قطعیت با کاهش حساسیت مدل نسبت به عیب ها هم همراه است. برای چنین شرایطی می توان یک تعریف بهتر در نظر گرفت و عنوان کرد افزایش عدم حساسیت به عدم قطعیت مدلسازی به منظور تأمین افزایش حساسیت نسبت به عیب است.

از وظایف پر اهمیت در تشخیص عیب مبتنی بر مدل این است که عیب های افزاینده سیستم به خوبی تشخیص داده شود. عیب های افزاینده در قیاس با عیب های ناگهانی تأثیرگذاری کمتری بر روی باقیمانده دارد و حتی ممکن است که به وسیله اغتشاش های موجود پنهان شوند. گفتنی است که عیب های سخت را می توان راحت تر آشکارسازی کرد دلیل این امر هم طولانی بودن تأثیر آنها نسبت به عدم قطعیت های مدلسازی شده است و برای تشخیص، رخ دادن آنها به وسیله تخمین باقیمانده، یک آستانه^۱ ثابت کافی است. [6]

۱-۲-۱- موضوع مقاوم بودن در تشخیص عیب

مقاوم^۲ بودن یک اطلاع در کنترل اتوماتیک است که برای توصیف حساس نبودن یا تغییر ناپذیر

^۱ -Threshold

^۲ - Robust

بودن عمل کرد سیستم‌های کنترلی نسبت به شرایط نامناسب مانند اغتشاشات، عدم تطابق مدل فرآیند با تغییر در پارامترها استفاده می‌شود. همچنین شمای تشخیص عیب هم باید نسبت به اغتشاشاتی که گفته شد مقاوم باشد، این در حالی است که سیستم‌های کنترل اتوماتیک نباید در برابر عیب‌های واقعی مقاوم باشد.

در چنین شرایطی طراح باید دقت داشته باشد که حساسیت تشخیص عیب نسبت به عیب‌ها را به خوبی رعایت کند و یا حتی در صورت لزوم آن‌ها را هم افزایش دهد. مقاوم بودن هم مانند ویژگی حساس بودن باید به طور کامل از مودهای عیب و اغتشاش، استقلال لازم را داشته باشد.

به زبان ساده‌تر مسأله تشخیص عیب مقاوم به تولید باقیمانده مقاوم که کار ارزیابی باقیمانده مقاوم را به دنبال خواهد داشت می‌پردازد. وجود اغتشاش، نویز و عدم قطعیت مدلسازی باعث تولید باقیمانده‌هایی می‌شود به غیر از عیب به نویز و اغتشاش هم ارتباط دارد. از همین رو برای اطمینان بیشتر یک ساختار تشخیص عیب مقاوم را در نظر می‌گیرند که حساسیت به عیب و اجتناب از حساسیت به نویز و اثرات عدم قطعیت را مدل می‌کند.

دکوپله^۱ کردن کامل بین اثرات عیب‌های مختلف و یا از بین بردن اثر عیب‌های ورودی نامعلوم به طور مستقل از مودهای عیب بخش مهم و پر چالش این بخش است.[7]

۱-۱۳- روش های تولید باقیمانده

یکی از مهم‌ترین بخش‌های مربوط به تشخیص عیب مبتنی بر مدل تولید کردن باقیمانده است. این کار از روش‌های متفاوتی انجام می‌شود که هر کدام از آن‌ها مزیت‌های مربوط به خود را دارند.

- تشخیص عیب با تخمین پارامتر
- روش‌های بردار توازن
- روش‌های مبتنی بر رؤیتگر

¹ - Decouple

۱-۱۳-۱- تولید باقیمانده با تخمین پارامتر

شرایط تئوری و محاسباتی با شرایط عملی بسیار متفاوت است. به همین دلیل در خیلی از مواقع پارامترهای موجود در فرآیند اصلاً شناخته نمی‌شوند یا به اندازه‌ای که باید آن‌ها را شناخت، شناخته نمی‌شوند. حال پارامترهای یاد شده را می‌توان به وسیله اندازه‌گیری سیگنال‌های ورودی و خروجی در صورتی که ساختار اساسی مدل شناخته شده باشند، تعیین کرد.

روش نام برده بر این اساس بنا شده که پارامترهای فیزیکی سیستم منعکس می‌شوند و ایده اصلی آن این است که پارامترهای مربوط به فرآیند حقیقی به صورت آنلاین با استفاده از روش‌های تخمین پارامتر، تخمین زده می‌شوند. و در ادامه کار با نتایج پارامترهای مدل مرجع که در ابتدا تحت شرایط بدون عیب به دست آمده مقایسه می‌شوند. به این ترتیب هرگونه اختلافی در اینجا دیده شود یک نوع عیب به شمار می‌رود. [8]

۱-۱۳-۲- تشخیص عیب با معادلات توازن^۱

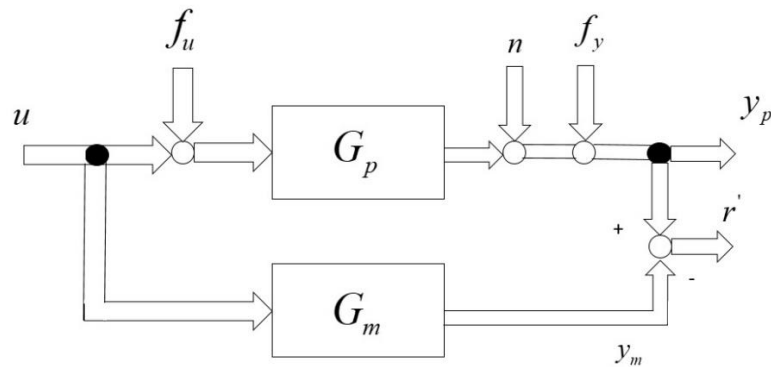
یکی از اولین روش‌های تشخیص عیب مبتنی بر مدل ریاضی استفاده از یک مقایسه بین سیستم اصلی و سیستم مدل شده است به صورت ریاضی است. در این روش نحوه بررسی بر اساس یک مدل ثابت G_m موازی با فرآیند G_p است که به طور هم زمان اجرا می‌شود و تفاضل رفتاری این دو سیستم، مطابق با روند نشان داده شده در شکل ۱-۱۰ عیب خورگی را تولید می‌کند. [9]

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

همانطور که در معادله بالا دیده می‌شود در صورت وجود هر گونه مشکلی که موجب عدم هماهنگی مدل فیزیکی و مدل ریاضی آن گردد. خروجی باقیمانده از مقدار صفر خارج شده و این عدم هماهنگی را اعلام می‌کند.

عملکرد کلی این سیستم را می‌توانید در شکل ۱-۱۰ می‌توانید مشاهده کنید.

¹ - Parity Equations



شکل ۱-۱۰ تولید باقیمانده با استفاده از معادلات توازن

فرض را بر این اساس بگذارید که مدل اصلی سیستم فیزیکی را بتوان توسط تابع تبدیلی به شکل

معادله ۱-۲ عنوان کرد:

$$G_p(s) = \frac{y_p(s)}{u(s)} = \frac{B_p(s)}{A_p(s)} \quad (۲-۱)$$

اگر سیستم مدل شده ریاضی آن را به شکل معادله ۱-۳ در نظر گرفته شود:

$$G_m(s) = \frac{y_m(s)}{u(s)} = \frac{B_m(s)}{A_m(s)} \quad (۳-۱)$$

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

$$G_p(s) = G_m(s) + \Delta G_m(s) \quad (۴-۱)$$

در رابطه بالا $\Delta G_m(s)$ عیب مدل کردن را نشان می‌دهد. به مانند حالت تخمین پارامتر در این روش هم می‌توان به دو شکل باقیمانده را محاسبه کرد. حالت اول آن عیب خروجی و در حالت دوم هم عیب چند جمله‌ای را است. نحوه عملکرد ساختار عیب چند جمله‌ای در شکل ۱-۱۰ نشان داده شده است.

با توجه به این ساختار سیگنال باقیمانده را می‌توان به شکل زیر عنوان کرد:

$$r(s) = A_m(s)y(s) - B_m(s)u(s) = A_m(s)[G_p(s)[u(s) + f_u(s) + n(s) + f_y] - B_m(s)u(s)] \quad (۵-۱)$$

اگر مدل ریاضی و مدل فیزیکی به طور کامل بر یکدیگر منطبق باشند، سیگنال باقیمانده به شکل

معادله ۱-۶ خواهد شد.

$$r(s) = A_m(s)[n(s) + f_y] - B_m(s)f_u(s) \quad (۱-۶)$$

همانطور که در معادله بالا مشاهده می‌شود، عیب جمع شونده در ورودی توسط چند جمله‌ای $B_m(s)$ مدل فیلتر می‌شود. همچنین عیب ضرب شونده در خروجی هم از فیلتر $A_m(s)$ عبور می‌کند و توانایی این را دارد که منجر به افزایش درجه مشتق در چند جمله‌ای گردد. در این روند برای فرآیندهای خطی که یک ورودی و یک خروجی (SISO) فقط می‌توان یک باقیمانده را در خروجی تولید کرد به همین دلیل هم تشخیص عیب در چنین شرایطی کار ساده‌ای نیست. اما زمانی شرایط بهتر می‌شود که در طراحی معادلات توازن برای فرآیندهای SISO یا فرآیندهای MIMO در مدل زمان پیوسته سیگنال‌های میانی نیز قابل اندازه‌گیری باشند. از این روش برای بررسی صحت مدل‌سازی فرآیند نیز استفاده می‌شود. طراحی در این روش هم می‌تواند بر اساس معادلات حالت و هم بر اساس توابع تبدیل سیستم انجام بگیرد.

۱-۱۳-۳- روش‌های مبتنی بر رؤیتگر

برای این که بتوانید از رؤیتگر به عنوان یک تشخیص دهنده عیب استفاده کنید باید تخمینی از خروجی یک سیستم را داشته باشید. این کار به وسیله رویتگرهایی مانند لوئنبرگر^۱ در فضاهای قطعی و فیلتر کالمن^۲ در شرایط و محیط‌های نویزی صورت می‌گیرد. به این ترتیب عیب تخمین خروجی به عنوان باقیمانده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

البته گفتنی است که در هنگام استفاده از رؤیتگر به منظور تشخیص عیب، تخمین زدن خروجی امری ضروری است اما به طور معمول تخمین بردار حالت نیاز نمی‌شود. یکی از مزیت‌های انتخاب رؤیتگر به عنوان تشخیص دهنده عیب انعطاف پذیری آن در انتخاب بهره‌هایش است که منجر به گوناگون بودن طرح‌های تشخیص عیب می‌شود. [10]

^۱ - Luenberger

^۲ - kalman filter

فصل دوم

توربین بادی

بعد از اختراع برق تولید انبوه آن یکی از چالش‌های بزرگ در زمینه مهندسی و تأمین انرژی بوده که این موضوع همچنان هم ادامه دارد. انسان برای برطرف کردن نیاز خود به انرژی و سهولت استفاده از آن، برق را جایگزین خیلی از انرژی‌های دیگر کرد. به علاوه آن برق مزایای بسیار دیگری همچون گسترش یافتن تکنولوژی و رفاه را به همراه خود دارد.

پیدایش سوخت‌های فسیلی مانند نفت و گاز و مواد معدنی دیگر مانند ذغال سنگ راه مناسبی را پیش پای تولید کنندگان انرژی برق گذاشت. به شکلی که تولید برق با استفاده از این چنین سوخت‌های بسیار راحت و مقرون به صرفه‌تر از سابق شد. اما مشکل بزرگ سوخت‌های فسیلی تجدید ناپذیر بودن آن بود. همچنین نفت، گاز و ... آلودگی‌های زیست محیطی دارند که از دیگر مشکلات چنین سوخت‌هایی به شمار می‌رود.

طی دهه‌های گذشته نیاز به جایگزین کردن سوخت‌های فسیلی با انرژی‌هایی که همیشه در دسترس باشند و آلودگی‌های کمتری نسبت به این نوع انرژی‌ها داشته باشند بسیار احساس می‌شد. به همین دلیل تولید برق توسط انرژی باد یا خورشید بسیار مورد توجه قرار گرفت. به شکلی که طی یک دهه اخیر اکثر سیاست‌گذاری‌های تولید برق در کشورهای توسعه یافته یا کشورهای در حال توسعه به سمت تولید برق از چنین انرژی‌هایی رفته است. [11]

توربین بادی توانایی تبدیل انرژی جنبشی موجود در باد به انرژی الکتریکی را دارد که نام آن توان بادی^۱ است. توربین‌های بادی را در دو مدل با محوریت متفاوت می‌سازند.

- محور افقی^۲

- محور عمودی^۳

توربین‌های بادی را در انواع مختلف و برای کاربردهای گوناگون می‌سازند. توربین‌های بادی در اندازه‌های کوچک را برای شارژ کردن باتری‌های توان کمکی در قایق‌های بادبانی طراحی و مورد استفاده

¹ - Wind power

² - Horizontal Axis Wind Turbine

³ - Vertical Axis Wind Turbine

قرار می‌دهند. اما توربین‌های بادی بزرگ را برای به چرخش درآوردن ژنراتور^۱ و تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جریان‌های باد سرگردان در بخش‌های مختلف کره زمین منجر شد تا استفاده از توربین‌های بادی برای تولید برق محبوبیت زیادی را پیدا کند. توربین بادی دارای تکنولوژی پیچیده‌ای است که هر بخش آن از اجزاء مختلفی تشکیل شده است. این بخش‌ها در توربین بادی به کار گرفته شده است تا باد با چرخاندن پره بتواند انرژی الکتریکی تولید کند.

سنسور در همه بخش‌های صنعت کاربردهای فراوانی دارد. برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف به این وسیله نیاز است. توربین بادی هم یکی از وسیله‌های نیروگاهی است که مانند خیلی از بخش‌های صنعت نیاز دارد تا بسیاری از پارامترهای مختلف آن اندازه‌گیری شود. سنسورهای توربین بادی در بخش‌های مختلفی مانند ژنراتور که اندازه سرعت آن نیاز است مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سنسور یکی از سیستم‌های کنترلی است که امکان وقوع عیب در آن محتمل است و وجود هرگونه عیبی در آن می‌تواند مشکلاتی در سیستم را به وجود آورد. به همین دلیل تشخیص عیب به یکی از بخش‌های مهم در علم کنترل تبدیل شده تا بتوان از وقوع اتفاقات احتمالی مانند شکست، بد عمل کردن

و ... جلوگیری کرد[12]

۱-۲- تاریخچه

توربین بادی دارای تاریخچه گسترده‌ای است که از آن در گذشته به شکل دیگری استفاده می‌شد. همچنین انواع سنسورها هم از گذشته تا به حال جایگاه ویژه‌ای در بخش‌های مختلف صنعت از جمله همین توربین‌های بادی دارد.

۱-۱-۲- تاریخچه توربین بادی

برای اولین بار انسان از توربین چرخان برای به گردش درآوردن آسیاب‌های بادی استفاده کرد. اولین

¹ - Generator

آسیاب‌های بادی به طور کاملی با آسیب‌های بادی هلندی که همیشه در تصورات ما وجود داشته‌اند بسیار متفاوت است. تعدا پره‌ها در این نوع آسیاب‌ها به ۱۲ می‌رسد و از بالا به یک تیر همانند بادبان‌های کشتی آویزان هستند. محور اصلی در مرکز دایره واقع شده است و پره‌ها از یکدیگر و همچنین سطح زمین فاصله ثابتی دارد. این که این نوع طراحی از کجا الهام گرفته شده است دقیق مشخص نیست اما پیش بینی می‌شود که از بادبان‌های کشتی این مدل برداری انجام شده باشد.

استفاده از انرژی باد به سال‌های دور سده دوم پیش از میلاد مسیح در ایران می‌رسد. ایرانیان در باستان توانستند برای اولین بار توسط انرژی بادی چرخ چاه را به حرکت درآورده و آب را از درون چاه به سطح زمین برسانند. همچنین اولین آسیاب بادی در ایران مربوط به سده هفتم میلادی در سیستان می‌شود. این اتفاق برای اروپاییان در قرون وسطا افتاد و در انگلستان بین سده‌های ۱۱ تا ۱۲ میلادی رخ داد.

برای اولین بار شخصی به نام جیمز بلایت^۱ که اهل اسکاتلند بود در سال ۱۸۸۷ میلادی توانست یک توربین بادی با کاربری تولید برق را بسازد. این وسیله یک دستگاه شارژ باتری بود. کمی بعد چارلز فرانسیس براش^۲ توانست یک توربین بادی خودکار را بسازد و آن را در کلویلند آمریکا راه اندازی کند. در سال ۱۹۰۸ آمریکا از ۷۲ توربین بادی برای تولید برق استفاده می‌کرد، این توربین‌ها در شمال آمریکا واقع شده بودند و توان تولیدی معادل ۵ تا ۲۵ کیلووات برق را داشتند.

این رویه ساخت توربین‌های بادی در آمریکا ادامه داشت. در آن دوران هنوز شبکه برق سراسری در آمریکا راه اندازی نشده بود و از این توربین‌ها برای تأمین انرژی منابع استفاد می‌شد. با شروع سال ۲۰۰۶ اتحادیه اروپا خبر پیشی گرفتن استفاده از انرژی‌های نو به جای انرژی‌های فسیلی را داد و به این ترتیب جایگاه مهم توربین‌های بادی به خوبی برای همگان روشن شد. از شروع سال ۲۰۰۰ تا به حال این بخش از تولید انرژی هر سال به طور متوسط میزان ۲۵٪ رشد داشته است که نشان از حمایت‌های

^۱ - James Blyth

^۲ - Charles F. Brush

همه جانبه بخش‌های دولتی و خصوصی را دارد.

۲-۱-۲- تاریخچه سنسور در توربین بادی

با پیدایش نیمه هادی‌ها ساخت انواع سنسورها گسترش پیدا کرد. استفاده سنسورها در توربین‌های بادی زمانی افزایش پیدا کرد که این وسیله به بخش مهمی از صنعت تبدیل شد. در بخش‌های مهمی از توربین بادی سنسور استفاده می‌شود که در بخش‌های بعدی به آن خواهیم پرداخت. اما به عنوان مثال یکی از بخش‌هایی که نیاز به سنسور دارد باد سنج است.

در ابتدای ساخت توربین بادی کنترل این وسیله کار سختی بود اما با پیشرفت تکنولوژی و ساختن انواع کنترلر، کنترل کردن شرایط به ویژه شرایط باد و پره‌ها به یک امر حیاتی تبدیل شد. سنسور بادسنج مقادیر اندازه‌گیری شده را به کنترلر می‌فرستد تا در صورت تغییر شرایط کنترلر بتواند اوضاع را کنترل کند. [13]

۲-۲- عوامل مهم در انتخاب توربین بادی مناسب

برای انتخاب مناسب یک توربین بادی باید عواملی را در نظر بگیرید تا در نهایت بتوانید بهترین بهره را از این وسیله صنعتی ببرید.

۲-۲-۱- قدرت بالاتر

استفاده از یک توربین که بتواند بیشترین قدرت را داشته باشد یک انتخاب مناسب است. به این ترتیب می‌توانید بیشترین بازدهی را از آن انتظار داشته باشید. انتخاب توربین‌های بادی با محوریت افقی به دلیل بالا بودن ضریب کارایی، انتخاب به مراتب مناسب‌تری از توربین‌های بادی با محوریت عمودی هستند.

۲-۲-۲- توان اقتصادی

به توربین‌هایی که می‌توانند توان بالایی از برق را تولید کنند توجه بیشتری می‌شود. این نوع از

توربین‌ها به مراتب دارای توجیه اقتصادی بیشتری هستند. با این تفاسیر به هر میزانی که توربین ظرفیت تولیدی بالاتری را داشته باشد می‌تواند انرژی برق بیشتری را تولید کند و هزینه‌های انجام شده را زودتر بازگرداند. در حال حاضر توربین‌های ۴۰۰ مگاواتی و یک و نیم مگاواتی در شرایط بهتری برای انتخاب قرار دارند.[14]

۲-۲-۳- اندازه توربین

به هر میزان که اندازه توربین بادی نسبت به نمونه‌های دیگر این تجهیز از قطر کمتری برخوردار باشد اما توان تولیدی آن بالاتر باشد انتخاب مقرون به صرفه‌تری خواهد بود. به این شکل هزینه‌های انجام شده برای تولید برق در بهترین حالت خود قرار می‌گیرد.

۲-۲-۴- سرعت توربین بادی

داشتن سرعت مناسب می‌تواند یکی از معیارهای انتخاب توربین بادی خوب باشد. داشتن سرعت نامی نزدیک به سرعت متوسط باد یکی از معیارهای انتخاب توربین مناسب در این بخش است.

۲-۲-۵- نوع تعمیر و نگهداری توربین بادی

نوع توربین بادی که برای استفاده انتخاب می‌شود باید ساده‌ترین سیستم را بین انواع توربین‌ها داشته باشد. به این شکل تعمیر و نگهداری آن به مراتب کار ساده‌تری می‌شود. به همین دلیل توربین‌های بادی با محوریت افقی که نصب آن‌ها هم ساده‌تر است برای استفاده در مزارع پیشنهاد می‌شود.[15]

۲-۳- عوامل بازدارنده برای به کارگیری توربین‌های بادی

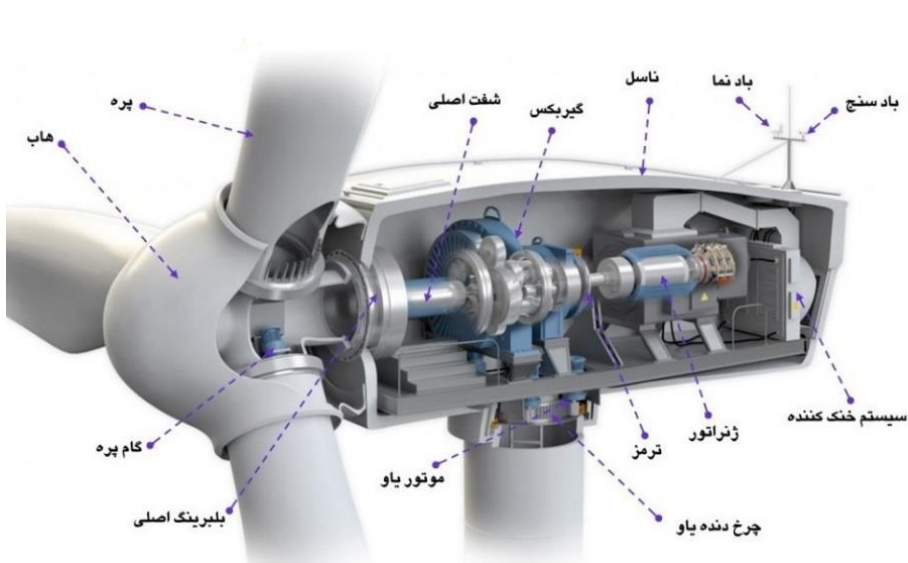
- هزینه ساخت، طراحی و راه اندازی اولیه آن بسیار بالا است
- در همه جای کره زمین منابع بادی به یک اندازه در دسترس نیست

۴-۲- ویژگی سنسورهای توربین بادی

- باید فقط به خاصیت‌های اندازه‌گیری حساس باشد تا دقت آن در بالاترین سطح قرار گیرد. به این شکل می‌توان ضریب عیب^۱ و خطا را کاهش داد.
- در برابر دیگر خاصیت‌های که درون سنسور وجود دارد حساس نباشد.
- بر روی خاصیتی که قرار است آن را اندازه‌گیری کند تأثیر منفی نگذارد.
- بر روی دیگر اجزای سیستم تأثیر منفی نگذارد. [16]

۵-۲- اجزای تشکیل دهنده توربین بادی

برای آشنایی بیشتر شکل یک توربین بادی مربوط به شرکت نوردتانک^۲ که اجزای آن به خوبی مشخص شده است را در تصویر زیر نشان داده‌ایم.



شکل ۲-۱ اجزای توربین بادی

۱. باد سنج^۳: سرعت باد توسط این وسیله اندازه‌گیری شده و پس از آن برای کنترل کننده‌های

توربین ارسال می‌شود.

^۱ - fault coefficient

^۲ - Nordtank

^۳ - Anemometer

۲. **پره‌ها**^۱: یکی از اصلی‌ترین عوامل تولید برق در توربین همین بخش است که دارای دو یا سه پره است و با وزش باد به حرکت در می‌آید.

۳. **ترمز**^۲: در برخی مواقع ممکن است که به توقف موتور نیاز باشد. ترمز عمل نگه داشتن موتور را انجام می‌دهد. نوع ترمز کردن می‌تواند به شکل مکانیکی، الکتریکی یا هیدرولیکی باشد.

۴. **کنترلر**^۳: کنترلرها یکی از اساسی‌ترین بخش‌های توربین بادی هستند که از ایجاد خرابی در سیستم جلوگیری می‌کنند. هنگامی که سرعت باد به ۸ الی ۱۶ mph برسد توربین را راه‌اندازی می‌کنند و زمانی که سرعت توربین به ۶۵ mph می‌رسد سیستم را خاموش می‌کند. دلیل این امر هم بالا رفتن دما در چنین شرایطی است که موجب آسیب دیدن توربین می‌شود.

۵. **گیربکس**^۴: توربین بادی دارای دو شفت است که یکی سرعت پایین و دیگری سرعت بالا نام دارد به این دو شفت چرخ دنده‌ها متصل است که باعث افزایش سرعت چرخش از ۳۰ تا ۶۰ rpm به چیزی حدود ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ rpm می‌شود. برای این‌که ژنراتور بتواند برق تولید کند توربین باید این افزایش سرعت را داشته باشد. برای چرخش ژنراتورها این گیربکس‌ها نیاز است و قیمت بالای آن‌ها و وزن زیادی که دارند باعث شده کار را کمی برای توربین سخت کند.

۶. **ژنراتور**^۵: ژنراتور در توربین کار تولید برق را بر عهده دارد. در اکثر توربین‌ها از نوع ژنراتورهای القایی استفاده می‌کنند.

۷. **شفت با سرعت بالا**^۶: کار اصلی این بخش به حرکت درآوردن ژنراتور برای تولید برق است.

۸. **شفت با سرعت پایین**^۷: به دور محور شفت پایین می‌چرخد و سرعت چرخش آن هم چیزی بین ۳۰ تا ۶۰ دور در دقیقه می‌باشد.

¹ - Blades

² - Brake

³ - Controller

⁴ - Gear box

⁵ - Generator

⁶ - High-speed shaft

⁷ - Low-speed shaft

۹. روتور^۱: بال‌های توربین و هاب^۲ روی به آن وصل شده‌اند.

۱۰. برج^۳: همان دیرک‌های قدیم که در حال حاضر به شکل یک برج درآمده‌اند و به شکل لوله

هستند. این برج‌ها را از جنس فولاد می‌سازند و اجزای دیگر بر روی آن قرار می‌گیرند.

۱۱. جهت باد^۴: تکنولوژی جدیدی در ساخت توربین‌های بادی به کار رفته است که قابلیت چرخش

پره‌ها بر خلاف جهت باد را هم دارد. چنین توربین‌هایی از فناوری جهت باد بهره‌مند می‌شوند.

۱۲. باد نما^۵: برای اندازه‌گیری جهت باد باید از این وسیله استفاده کرد تا جهت قرار گیری توربین

نسبت به باد در وضعیت مناسب‌تری قرار بگیرد.

۱۳. درایو انحراف^۶: در زمان وزش باد بر خلاف گردش توربین از این وسیله استفاده می‌شود.

همچنین در اوقاتی که وزش باد از روبرو به روتور می‌وزد از این وسیله استفاده می‌شود. در حالت عادی

و گردش در جهت موافق توربین از این وسیله استفاده خاصی نمی‌شود.

۱۴. موتور انحراف^۷: بخش انحراف توسط این موتور به حرکت در خواهد آمد.

۱۵. ناسل^۸: روتور به این بخش وصل می‌شود که یکی از قسمت‌های اصلی توربین بادی است. ناسل

را در بالای برج قرار می‌دهند که جعبه دنده، شافت اصلی ژنراتور، بخش کنترل و ترمز را شامل می‌شود.

۱۶. سیستم هیدرولیک^۹: به جک^{۱۰} و یونیت^{۱۱} هیدرولیکی و دیگر بخش‌های مربوط به آن سیستم

هیدرولیک گفته می‌شود. جک هیدرولیکی از یک سیلندر و پیستون دو طرفه ساخته شده است و با

رفتن باد به هر قسمت از آن جک به سمت دیگر (یعنی مخالف) حرکت می‌کند. لازم به ذکر است که

1 - Rotor

2 - Hub

3 - Tower

4 - Wind direction

5 - Wind vane

6 - Yaw drive

7 - Yaw motor

8 - Nacelle

9 - Hydraulic system

10 - Jack

11 - Unit

یونیت هیدرولیکی از الکتروموتور، پمپ، مخزن تأمین فشار اولیه، شیرهای هیدرولیکی، شیلنگ‌های انتقال سیال به دو ناحیه داخل سیلندر جک، مخزن روغن، روغن مخصوص و تجهیزات جانبی دیگر تشکیل شده است.

زمانی که فرمان مورد نظر دریافت شود، پمپ مقداری روغن را از داخل مخزن به درون محفظه جلو یا عقب سیلندر جک ارسال می‌کند تا جک بتواند در حد نیاز محور تراورس^۱ را در مسیر و جهت مورد نیاز حرکت دهد. گفتنی است که محور تراورس به بخشی گفته می‌شود که از سوراخ داخل شفت اصلی عبور می‌کند، که یک طرف آن با جک هیدرولیکی و طرف دیگر با مکانیزم مثلی قرار گرفته درون هاب ارتباط دارد. کار اصلی این محور به حرکت درآوردن جک هیدرولیکی است که در نهایت منجر به چرخش درآمدن پره‌ها می‌شود. [17]

۲-۶- سنسورهای موجود در توربین بادی

سنسورهای متنوعی در توربین بادی به کار گرفته شده تا بتوانند اندازه گیری‌های مورد نیاز را انجام دهند. قبل از معرفی سنسورهای موجود در توربین بادی بهتر عنوان کنیم که در مدل سازی سیستم‌های تبدیل انرژی بادی به طور معمول از دینامیک سنسورهای به کار رفته صرف نظر می‌کنند. دلیل این امر هم سرعت بالای آن‌ها در قیاس با دینامیک توربین بادی است. اما بادسنج از این قائده مستثنا است که به شکل یک فیلتر پایین گذر مرتبه اول با ثابت زمانی نیم ثانیه مدل می‌شود. بعد از آن سیگنال‌های اندازه‌گیری شده با نویز توزیع شده گوسی میانگین صفر و انحراف معیاری که در جدول آمده است به کار می‌رود. [18]

جدول ۲-۱ سنسورهای موجود در سیستم توربین بادی

متغیری که قرار است اندازه گیری شود	نوع سنسور	انحراف معیار
سرعت زاویه‌ای ژنراتور	انکدر سرعت	0.0158 rad / s
زاویه فراز	انکدر ^۲	0.2°

^۱ - Traverse axis

^۲ - Encoder

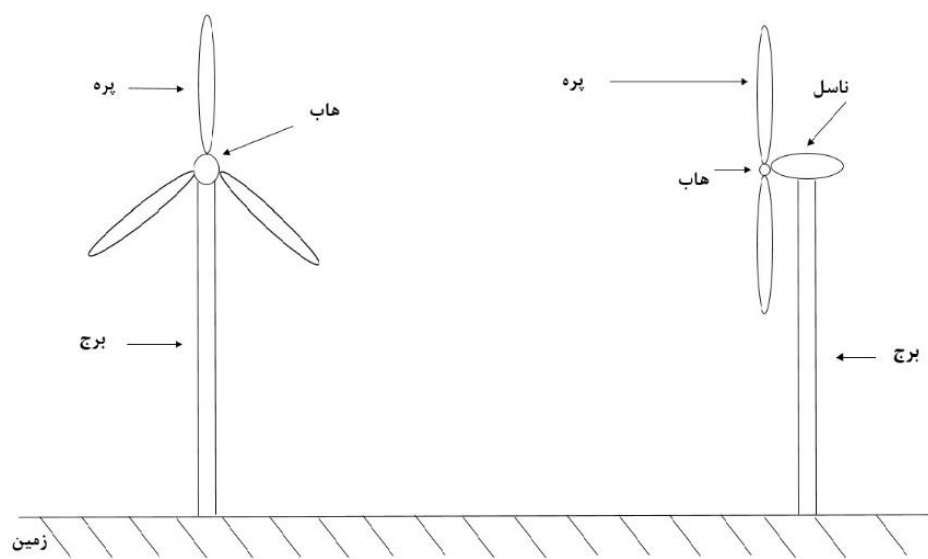
0.025 rad / s	انکدر سرعت	سرعت روتور توربین
0.01 m / s^2	شتاب سنج	شتاب برج
0.5 m / s	باد سنج	سرعت باد (سرعت در یک نقطه)
0.01 v	-	ولتاژهای ژنراتور
0.01 A	-	جریان‌های ژنراتور

۲-۶-۱- توربین بادی با محوریت افقی

توربین‌های بادی که محور اصلی آن‌ها به صورت افقی است و در صنعت برق آن‌ها را به اختصار HAWT عنوان می‌کنند. در این نوع از توربین‌های بادی روتور و ژنراتور الکتریکی را در بالای یک برج بلند قرار می‌دهند و در مسیر وزش باید جای گذاری می‌کنند.

در توربین‌های کوچک برای این‌که بتوانند جهت وزش باد را مشخص کرد از یک بادنمای کوچک استفاده می‌شود اما در توربین‌های بزرگ از یک سنسور که با سروو موتور^۱ در ارتباط است استفاده می‌کنند. در این نوع توربین‌های بادی یک جعبه دنده به کار رفته است که می‌تواند سرعت پایین پره‌ها را برای ژنراتورها افزایش دهد.

^۱ - Servo motor



شکل ۲-۲ توربین بادی با محوریت افقی

۲-۶-۲- توربین بادی با محوریت عمودی

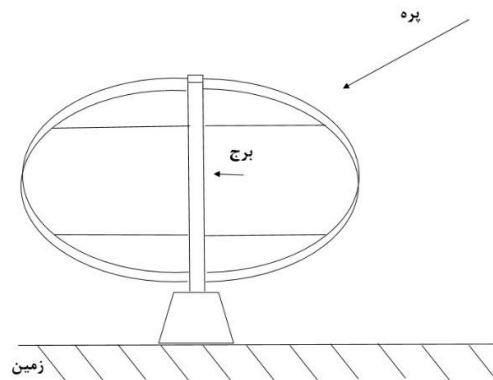
اما نوع دیگری از توربین‌های بادی هستند که نحوه قرار گرفتن محور آن‌ها به صورت عمودی است و در صنعت برق این نوع از توربین‌ها به اختصار VAWT می‌گویند. در این نوع از توربین‌های بادی روتور اصلی به صورت عمودی قرار می‌گیرد. از بهترین مزیت‌هایی که می‌توان برای توربین‌های بادی با محوریت عمودی عنوان کرد نیاز نداشتن به تنظیم جهت قرارگیری نسبت به جهت وزش باد است. این مزیت برای مکان‌های که باد دارای یک الگوی وزش خاصی نیست بسیار مناسب است. برای مثال در بالای ساختمان‌های مسکونی چنین قابلیتی یک نوع مزیت به شمار می‌رود. این توربین‌ها دارای ایراداتی مانند: کم‌بودن سرعت دورانی آن‌ها و در نتیجه زیاد بودن گشتاور و هزینه بیشتر سیستم انتقال قدرت، بارگذاری دینامیکی زیاد پره‌ها و همچنین پیچیدگی زیاد طراحی و تحلیل ایرفویل^۱ پره‌ها پیش از ساخت (پیش‌نمونه یا پروتوتایپ^۲) است.

اما به غیر از این مزیت و عیب‌های یاد شده ویژگی دیگر این نوع از توربین‌های بادی مکان قرارگیری جعبه دنده و ژنراتور است. به دلیل عمودی بودن محور، این دو بخش می‌توانند در نزدیکی زمین قرار

^۱ - Airfoil

^۲ - Prototype

گیرند که دسترسی آن برای تعمیر و نگهداری قسمت‌های یاد شده به مراتب ساده‌تر است.



شکل ۲-۳ توربین بادی با محوریت عمودی

۲-۶-۳- توربین های بادی امروزی

برای این که بتوان از باد انرژی برق تولید کرد به توربین‌های بادی که قدرت بیشتر و توان تجاری داشته باشند نیاز است. این توربین‌ها به طور معمول به شکل ۳ پره هستند و از طریق کنترل از راه دور در جهت وزش باد قرار داده می‌شوند. البته لازم به ذکر است که توربین‌های بادی با ۲ پره و یا حتی ۱ پره هم مورد استفاده قرار می‌گیرند اما بیشتر بخش‌های تولید برق از نوع ۳ پره آن استفاده می‌کند. طول این پره‌ها به طور معمول چیزی بین ۲۰ تا ۴۰ متر یا حتی از این هم بیشتر ممکن است باشد. همچنین سرعت دورانی آن‌ها چیزی بین ۱۰ تا ۲۲ دور بر دقیقه است. این پره‌ها بر روی یک برج فولادی قرار می‌گیرند که ارتفاعی معادل ۶۰ تا ۹۰ متر را دارند. سرعت توربین از طریق جعبه دنده افزایش پیدا می‌کند، در برخی از توربین‌های بادی می‌توان با تغییر سرعت انرژی بیشتری تولید کرد اما برخی دیگر در سرعت ثابت کار می‌کنند.[17]

۲-۷- انواع عیب در توربین بادی

توربین بادی هم مانند خیلی از سیستم‌های دیگر در صنعت دچار عیب و ایراد می‌شود. بخش‌های مختلفی را می‌توان در توربین بادی پیدا کرد که عیب در آن‌ها ممکن است رخ دهد. اما به طور کلی

عیب در توربین بادی به ۳ بخش دسته بندی می شود.

- **عیب حسگر:** حسگرها یکی از بخش های مهم در توربین بادی هستند که در صورت وقوع عیب در آنها اطلاعات اشتباهی را در اختیار سیستم قرار می دهند.
- **عیب عمل گر:** وقوع عیب در یک عمل گر می تواند جزء یا کل سیستم کنترلی در توربین بادی را از بین ببرد.
- **عیب اجزاء^۱:** هر نوع عیبی که در اجزاء مختلف سیستم رخ دهد به همراه همه عیب هایی که نشود آنها در گروه عیب های سنسور و عمل گر قرار داد را باید در عیب اجزاء دسته بندی کرد. در حقیقت این عیب نشان دهنده یک تغییر فیزیکی در سیستم است که منجر به تغییر رفتار دینامیکی در سیستم تحت کنترل می شود [19].

۸-۲- اهداف تشخیص عیب سنسور توربین بادی

توضیح دادیم که سنسور توربین بادی چه وظایفی را بر عهده دارد. وجود هر گونه عیب درون سنسورهای توربین بادی می تواند منجر به یک شکست یا بد عمل کردن شود. از همین رو جلوگیری کردن یا پیدا کردن عیب سنسور می تواند از بروز دیگر مشکلات جلوگیری کند.

- بهبود عمل کرد سیستم
- جلوگیری از ضرر و زیان
- خروجی مطلوب

۹-۲- روش های تشخیص عیب سنسور توربین بادی

برای تشخیص عیب سنسور راه های مختلفی وجود دارد که با توجه به شرایط و نیاز باید بهترین راه را پیدا کرد. تشخیص عیب سنسور توربین بادی مبتنی بر رؤیتگر با ورودی ناشناخته می تواند یکی از راه های بسیار قوی برای پیدا کردن عیب سنسور باشد که مواردی همچون نویز، اغتشاش و ... را هم در

¹ - Component Fault

نظر می‌گیرد. این روش یکی از شناخته شده‌ترین روش‌های موجود در مهندسی کنترل است که در

تشخیص عیب محرک و سیستم هم می‌توان از آن استفاده کرد.[20]

فصل سوم

تشخیص عیب سنسور

مبتهی بر رؤیتگر

با گذشت زمان و پیشرفت فناوری استفاده از کنترل کننده‌های پیچیده، سنسورها و عمل‌گرهای پیشرفته به یک نیاز مهم تبدیل شده است. اما وجود عیب در هر فرآیندی یک امر بدیهی است که موجب کاهش عمل‌کرد مفید سیستم‌های مورد نظر می‌شود و در برخی از مواقع هم همین عیوب می‌توانند یک حادثه بزرگ و جبران ناپذیر را به وجود آورند. به همین دلیل هم نیاز به راه‌هایی که بتوانیم از آن طریق عیب‌های رخ داده در فرآیند را شناسایی و جداسازی کنیم روز به روز بیشتر احساس می‌شود.

تشخیص عیب از یک طرف به علت بالا بردن امنیت و از طرف دیگر هم به دلیل بالا بردن کیفیت عمل‌کرد سیستم‌های صنعتی به یک موضوع بسیار مهم در بخش‌های مختلف تبدیل شده است. در عمل خیلی از روش‌های تشخیص و جداسازی عیب از برخی ویژگی‌های سیگنال مانند دامنه و فرکانس برای تشخیص عیب بهره می‌برند. برای مثال می‌توان سطح یا میزان دینامیک سیگنال، بالاترین نرخ تغییرات و طیف آن را چک کرد تا بتوان عیب‌های مورد نظر را تشخیص داد.

البته لازم به ذکر است که چنین روش‌هایی ایرادات و مشکلات مربوط به خود را دارد که باعث می‌شود متخصصین به فکر راه‌های جدیدی برای تشخیص عیب و جداسازی آن از سیستم بیفتند. عیوب این روش را می‌توان به شکل زیر توضیح داد:

- باید اطلاعات قبلی مربوط به سیگنال‌های را به طور کامل داشته باشیم، دانستن ویژگی‌های آن یک امر ضروری است.

- این ویژگی‌ها به طور کامل به ویژگی‌های نقاط کار سیستم بستگی دارند که می‌تواند در خیلی از مواقع تغییر کند.

برای این که بتوان چنین ضعف‌هایی را از بین برد روش‌های جدیدی بر اساس مدل وجود دارند که تولید باقی‌مانده را انجام می‌دهند و به نقاط کار سیستم هیچ وابستگی ندارند و به طور مستقل عمل می‌کنند. این باقیمانده‌ها فقط به عیب‌های موجود حساس هستند و به این ترتیب می‌توانند عیوب رخ داده را برطرف کنند.

در این بین مانده‌ها کمیت‌هایی هستند که اختلاف بین متغیرهای سیستم واقعی و مدل ریاضی را به ما نشان می‌دهند. با توجه به مدل ریاضیاتی سیستم خیلی از روابط استاتیکی و دینامیکی که به صورت ثابت در نظر گرفته می‌شوند به دست می‌آیند و هرگونه اختلاف و تجاوز از این روابط می‌تواند به عنوان باقیمانده مورد استفاده قرار گیرند. هنگامی که در سیستم باقیمانده داشته باشیم یعنی یک تجاوز نسبت به روابط در سیستم واقعی رخ داده است و مقدار باقیمانده صفر نخواهد بود.

طی سال‌های گذشته در صنایع مختلف بیشترین عیوب رخ داده مربوط به سنسورها است به همین دلیل هم بیشترین مطالعه و تحقیق برای تشخیص و جداسازی عیب به این بخش مربوط می‌شود. به همین منظور در ابتدا مقدار اندازه‌گیری شده متغیرهای سیستم با مقادیری که ^۱(UIO) تخمین زده است را مقایسه می‌کنیم، به این شکل یک مقداری از باقیمانده را می‌توانید به دست آوریم. به بیان بهتر باید بگوئیم که وجود باقیمانده یعنی این که در سیستم ما عیبی رخ داده است.

در ادامه، این باقیمانده باید مورد بررسی قرار گیرد تا مشخص گردد که در سیستم عیبی وجود دارد یا خیر. در چنین شرایطی اگر سیستم موجود در حالت ایده‌آل و بدون عیب خود قرار داشته باشد باقیمانده صفر یا کمتر از حد آستانه خواهد بود، اما در صورتی که سیستم دچار عیب شده باشد دیگر مانده ما صفر نخواهد بود و همین موضوع یعنی در سیستم عیبی رخ داده است. مهم‌ترین ویژگی و مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های تشخیص عیب مقاوم بودن آن نسبت به ورودی‌های ناشناخته در سیستم است. [21]

۳-۱- سیستم نامی

انتخاب یک مدل برای انجام پروژه‌های تحقیقاتی یک امر ضروری است و بسته به این که چه اهدافی را دنبال می‌کنید مدل سیستم شما می‌تواند متفاوت باشد. یکی از ساده‌ترین و بهترین مدل‌های موجود برای نوع خطی نامتغیر با زمان (LTI)^۲ است که کاربرد گسترده‌ای هم زمینه‌های پژوهشی و تحقیقاتی

^۱ - Unknown Input Observer

^۲ - Linear Time Invariant

دارد. دو مدل استاندارد ریاضی برای نشان دادن سیستم‌های خطی تغییر ناپذیر با زمان وجود دارد.

- ماتریس انتقال

- مدل فضای حالت

در این بحث ما از مدل فضای حالت استفاده خواهیم کرد که نحوه بیان آن به صورت زیر خواهد بود

$$\begin{aligned}x &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}\quad (۱-۳)$$

۲-۳- روش‌های مختلف در تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر

روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان بر اساس آن تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر را انجام داد و به نتیجه مطلوب رسید. هرچند که انتخاب این مسیر باید با توجه به شرایط و انتظارات باشد اما برخی از روش‌ها بر روی نوع رؤیتگر تمرکز دارد و برخی دیگر بر روی مقاوم بودن ورودی نسبت به ورودی‌های ناشناخته تمرکز می‌کنند. رؤیتگرها توانایی این را دارند که عیب‌های رخ داده در سنسور را نشان دهند به همین دلیل هم استفاده از آن‌ها برای انجام تشخیص عیب بسیار کاربرد دارد.

۳-۲-۱- تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر با ورودی نامعلوم

رؤیتگرها دارای ورودی‌های متفاوتی هستند. در صورتی که ورودی را بشناسیم و قابل اندازه‌گیری باشد می‌توان گفت که ورودی معلوم است. اما همیشه اینطور نیست و ممکن است که ورودی به صورت ناشناخته باشد.

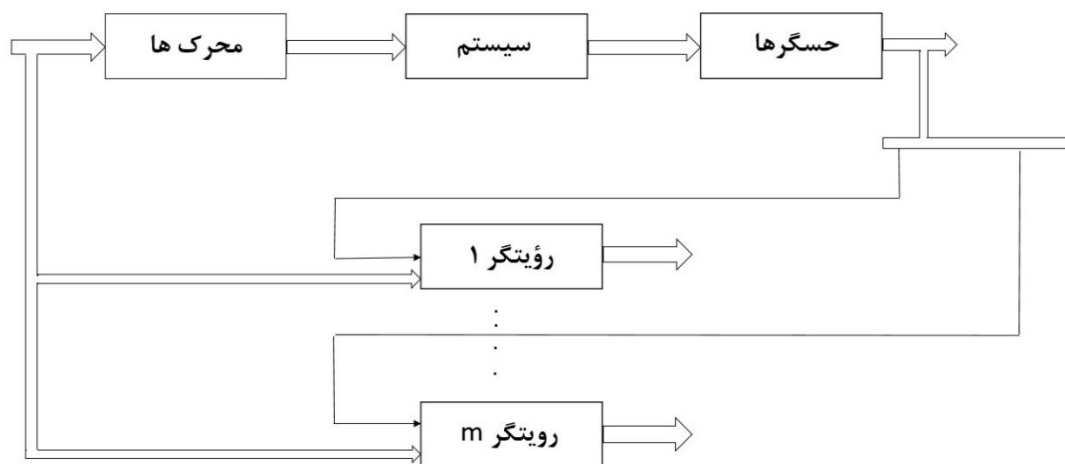
برای این که بتوانیم بهترین بازدهی را در روش‌های تشخیص عیب مبتنی بر مدل داشته باشیم باید تأثیر اغتشاشات مدل نشده مانند عدم قطعیت‌های پارامتری، تغییرات در پارامترهای سیستم، نویز سیستم و نویز اندازه‌گیری را به خوبی در نظر بگیریم. زیرا که این تأثیرات به صورت یک ورودی ناشناخته یا نامعلوم می‌توانند بر روی سیستم تأثیر بگذارند.

این ورودی‌های نامعلوم به صورت یک هشدار اشتباه در سیستم عمل کرده و کار تشخیص عیب را با مشکل روبرو می‌کنند. به همین دلیل برای کاهش اثر ورودی‌های ناشناخته باید رؤیتگری طراحی

شود تا بتواند میزان هشدارهای اشتباهی را تا حد امکان کاهش داد.

۳-۲-۲- اصول اساسی تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر

عیب می‌تواند بر روی همه اجزاء از جمله عمل گرها، همه بخش‌های یک سیستم و یا روی سنسورها اتفاق بیفتد. تشخیص متفاوت بودن این عیب‌ها می‌تواند بسیار مفید باشد. زیرا برای جداسازی هر عیب نیاز به رؤیتگر متفاوتی داریم. چنین چیزی یعنی این که روش‌های تشخیص عیب متفاوتی را نیاز داریم. برای تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر باید بتوان تولید و ارزیابی مجموعه باقیمانده‌ها را به بهترین شکل ممکن انجام داد. البته در کنار این باید بتوان بین عیب‌های مختلف تمایز قائل شد که ورودی‌های نامعلوم در چنین شرایطی تشخیص داده شوند. به همین دلیل برای این کار یک بانک^۱ از رؤیتگرها را در نظر می‌گیرند تا نتیجه مورد نیاز حاصل شود. این بانک در شکل زیر نشان داده شده است که رؤیتگر نسبت به عیب یا گروهی از عیب‌ها حساس است، این درحالی است که به اغتشاشات مدل نشده، نویز، عدم قطعیت‌های مدل‌سازی و تغییرات پارامتری فرآیند غیر حساس است [22].



شکل ۳-۱ بانک رؤیتگرها

^۱ - Bank

۳-۳- تولید باقیمانده بر مبنای رؤیتگر

یک سیستم حقیقی را در نظر بگیرید که متغیرهای اندازه گیری شده y_i را با سیگنال‌های متناظر از مدل نامی $\hat{y}_i$ مقایسه می‌کند $e_i = y_i - \hat{y}_i$ تفاضل این دو فیدبک می‌شود تا ردگیری سیستم بهبود پیدا کند. در این پیکر بندی یک رؤیتگر وجود دارد که در آن بردار e از e_i عیب رؤیت شده را نشان می‌دهد. برای تشخیص عیب یک تابع از e یا یک تابع از e_i به عنوان یک باقیمانده از r مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این تابع، اطلاعات مربوط به عیب را با خود حمل می‌کند. در حالت عادی اگر هیچ اتفاقی رخ ندهد رؤیتگر فرآیند را دنبال می‌کند تا این که باقیمانده فقط به ورودی‌های ناشناخته بستگی داشته باشد. یعنی اغتشاشات مدل نشده مثل نویز سیستم و نویز اندازه گیری، انحرافات پارامتری یا عدم قطعیت‌های مدلسازی در سیستم.

هرچند که در صورت وقوع عیب، رؤیتگر سیستم مورد نظر را با دقت کمتری مدل خواهد کرد و دامنه محتویات باقیمانده افزایش خواهد یافت اما می‌توان وجود عیب را به خوبی تشخیص داد. به همین دلیل عیب با بررسی کردن میزان افزایش باقیمانده که توسط عیب یا عیب‌هایی ایجاد شده است آشکارسازی می‌شود. این اولین ایده تشخیص عیب به وسیله رؤیتگر حالت است.

به همین دلیل باید رؤیتگرهای حالت نام برده به بهترین شکل طراحی شوند تا یک تمایز بهینه بین اثرات عیب و ورودی‌های ناشناخته ایجاد کنند. به چنین رؤیتگرهایی که به طور مشخص برای تشخیص عیب طراحی می‌شوند "رؤیتگرهای تشخیص عیب" گفته می‌شود.

یکی از مزیت‌های بزرگ در روش رؤیتگر با ورودی ناشناخته این است که ویژگی‌های دکوپله سازی به مودهای^۱ عیب، یعنی تکامل زمانی و سازه‌های عیب و ورودی‌های ناشناخته بستگی ندارد. [23]

¹ - Modes

۴-۳- رؤیت پذیری

اما قبل از این که تصمیم به طراحی رؤیتگر بگیرید بهتر است که مطالبی را در مورد موضوع رؤیت پذیر بودن بدانید. این موضوع اصلی ترین بخش مربوط به طراحی رؤیتگر است.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du\end{aligned}\quad (۲-۳)$$

در صورتی می توان به معادله بالا رؤیت پذیر گفت که برای هر حالت اولیه نامعلوم $x_{(0)}$ یک مقدار متناهی $t_1 < 0$ موجود باشد به طوری که دانستن مقدار ورودی u و خروجی y بر روی بازه $[0, t_1]$ برای تعیین حالت اولیه x_0 به طور منحصر به فرد کفایت کند. در غیر این صورت به معادله مذکور رؤیت ناپذیر گفته می شود. [24]

۴-۵- تشخیص عیب با استفاده از رؤیتگر

برای تشخیص عیب مبتنی بر رؤیتگر با توجه به نیاز و پارامترها موجود می توان از رؤیتگرهای حالت، لئونبرگر یا خروجی استفاده کرد. استفاده از رؤیتگرهای حالت و لئونبرگر از محبوب ترین روش های تشخیص عیب مبتنی بر مدل ریاضی هستند. با استفاده از رؤیتگرها می توان سیگنال باقیمانده را تشخیص، و در نتیجه به وجود عیب در سیستم یا فرآیند موجود دسترسی پیدا کرد. هر کدام از رؤیتگرهای نام برده شده ویژگی های منحصر به فردی دارند که می توان از آن ها در جهت اهداف تشخیص عیب استفاده نمود.

در روش تشخیص عیب با استفاده از رؤیتگر حالت مبنا بر این اساس است که ساختار و پارامترهای موجود در فرآیند شناخته شده هستند. رؤیتگرهای حالت وظیفه دارند تا متغیرهای حالت را مورد بررسی قرار دهند و این کار را با توجه به دو اصل مهم انجام می دهند:

- وضعیت اولیه (مقدار اولیه) متغیرها
- دوره زمانی اندازه گیری سیگنال ها

این دو مورد در طراحی رؤیتگر در نظر گرفته می شود. رویکردهای متفاوتی برای تشخیص عیب با

این روش در پیش گرفته شده است اکثر بر اساس رویتهای کلاسیک لئونبرگر، فیلتر کالمن یا رویتهر خروجی است.

۳-۵-۱- رویتهر حالت^۱

برای یک فرآیند خطی که تغییر ناپذیر با زمان^۲ باشد معادلات فضای حالت زیر حاکم است: [25]

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

دلیل به کار بردن رویتهر حالت این است متغیرهای حالتی را که قابل اندازه گیری نیستند دوباره بازسازی کند. رویتهر مذکور این کار را با استفاده از سیگنالهای ورودی و خروجی سیستم است که اندازه گیری آنها به شکل مستقیم میسر است. $\hat{x}$ یک متغیر حالت است که به وسیله رویتهر تخمین زده شده است. در این روشهای تشخیص عیب به طور کلی نیاز دارد تا از سیگنالهای خروجی قابل اندازه گیری استفاده کند. همچنین برای این کار استفاده از تحلیلهای داخلی چندگانه سیستمهای چند متغیره^۳ هم نیاز است.

با توجه به معادله (۳-۴) می توان فهمید که رفتار عیب در این حالت با گذشت زمان به صورت نمایی^۴ به طرف صفر می رود.

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + He(t) \quad (4-3)$$

$$e(t) = y(t) - C\hat{x}(t) \quad (5-3)$$

$$\tilde{x} = x - \hat{x} \quad (6-3)$$

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{x}} &= [A - HC]\tilde{x}(t) \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{x}(t) &= 0\end{aligned}\quad (7-3)$$

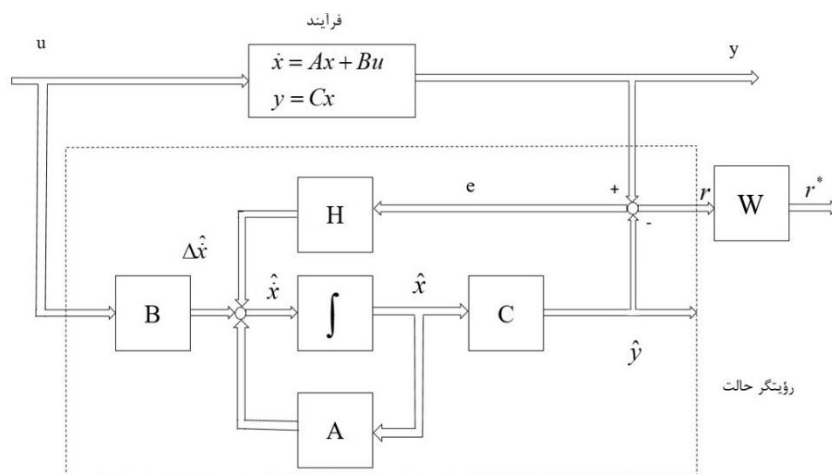
¹ - State Observer

² - linear time invariant

³ - MIMO

⁴ - Exponential

طی سال های گذشته بر روی مقاوم کردن سیستم های تشخیص عیب به خوبی کار شده است که این امر با توجه به تغییرات پارامترها باعث شده روشی به نام سیگنال ورودی ناشناخته^۱ به وجود آید. به عنوان نمونه با فیلتر کردن عیب خروجی به شکل $r(t) = We(t)$ به علاوه طراحی به خصوص برای بازخورد^۲ H، این هدف قابل دسترسی است. در زیر شمای کلی رؤیتگر حالت آورده شده است که می توانید بخش های مختلف آن را مشاهده کنید.



شکل ۳-۲ سیستم تشخیص عیب با رؤیتگر حالت

همان گونه که در شکل مشاهده می شود به اضافه عملکرد فرایند اصلی، رؤیتگر به طور موازی با آن توانسته متغیرهای مورد نیاز را تخمین زده و با خروجی اصلی سیستم مقایسه کند. این موضوع یکی از قابلیت های مهم در رؤیتگر حالت است.

رؤیتگر لوئنبرگر

معروف ترین و پر کاربردترین رؤیتگری که در تشخیص عیب استفاده می شود همین رؤیتگر لوئنبرگر است که به نحوی پایه و اساس دیگر رؤیتگرها هم هست. این رؤیتگر به صورت زیر است.

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}} &= A\hat{x}(t) + Bu(t) \\ \hat{y}(t) &= C\hat{x}(t) + Du(t)\end{aligned}\quad (۸-۳)$$

هرچند که این رؤیتگر ساده ترین در نوع خود است اما وجود یک مشکل باعث شده تا استفاده از آن

^۱ - Unknown Input

^۲ - Feedback

تا حدودی کمتر شود. در صورتی که شرایط اولیه سیستم و مشاهده گر یکسان نباشد عیب به طور مستقیم به A مربوط می شود که چنین چیزی موجب می شود تا در صورت ناپایدار شدن A عیبها افزایش یابند. برای چنین مشکلی یک راه حل وجود دارد، که می توان تأثیر خروجی سیستم را به کمک ماتریس L از وابستگی شرایط اولیه جدا کرد. با شرط این که $A-LC$ پایدار باشد داریم:

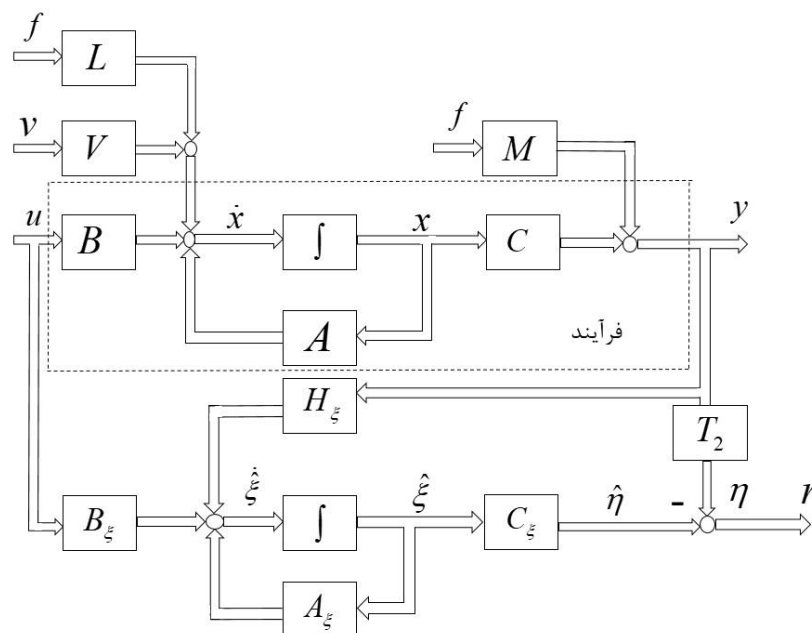
$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}} &= A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y}(t) &= C\hat{x}(t) + Du(t)\end{aligned}\quad (9-3)$$

رؤیتگر بالا یک نوع رؤیتگر لوئنبرگر مرتبه کامل است. این نوع از رؤیتگرها در برابر ورودیهای ناشناخته مقاوم هستند.

رؤیتگر خروجی

از دیگر روشهای کلاسیک در رؤیتگر حالت برای تخمین متغیرهای حالت استفاده از رؤیتگر خروجی است. در صورتی که به طور خاص عیب در متغیرهای حالت هدف ما نباشد می توان از رؤیتگرهای خروجی یا رؤیتگرهای تابعی برای پیدا کردن عیب استفاده کرد.

در شکل زیر بلوک دیاگرام عملکرد رؤیتگرهای خروجی نشان داده شده است.



شکل ۳-۳ سیستم تشخیص عیب با استفاده از رؤیتگر خروجی

اگر معادلات حاکم بر سیستم به شکل زیر باشد: [25]

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + Vv(t) + Lf(t) \\ y(t) &= Cx(t) + Mf(t)\end{aligned}\quad (10-3)$$

هدف اصلی این است که یک باقیمانده تولید کنیم که از ورودی‌های ناشناخته $V(t)$ مستقل باشد.

برای اینکه به این هدف برسیم باید از یک انتقال خطی به شکل معادله زیر استفاده کنیم.

$$\xi(t) = T_1 x(t) \quad (11-3)$$

به این شکل متغیرهای جدید $\xi(t)$ ساخته می‌شوند. خروجی رؤیتگر مورد نظر $\eta(t)$ است بنابراین

هیچ ارتباط مستقیمی بین خروجی $y(t)$ فرآیند و خروجی عیب وجود ندارد و به این شکل دیگر می‌توان معادله زیر را نوشت:

$$\eta(t) = T_2 y(t) \quad (12-3)$$

۳-۶- طراحی رؤیتگر با ورودی ناشناخته

از ویژگی‌های بارز در رؤیتگر با ورودی ناشناخته این است که می‌تواند اغتشاش را از باقیمانده جدا کند. برای طراحی کردن یک UIO سیستم زیر که در معرض اغتشاش d قرار گرفته است را در نظر می‌گیریم.

$$\begin{aligned}x &= Ax + Bu + Ed \\ y &= Cx\end{aligned}\quad (10-3)$$

حال یک رؤیتگر به فرم زیر را در نظر بگیرید :

$$\begin{aligned}\dot{z} &= Fz + TBu + Ky \\ \hat{x} &= z + Hy\end{aligned}\quad (11-3)$$

$\hat{x}$ ماتریس تخمین زده شده حالت

z ها طوری طراحی می‌شوند که اغتشاش را از خطای تخمین حالت جداسازی کنند.

طبق معادله‌های (۳-۱۰) و (۳-۱۱) می‌توان بردار خطا را به دست آورد.

$$\begin{aligned}
 e_{(t)} &= x_{(t)} - \hat{x}_{(t)} = x_{(t)} - z_{(t)} - Hy_{(t)} \\
 &= x_{(t)} - z_{(t)} - HCx_{(t)} \\
 &= (I - HC)x_{(t)} - z_{(t)}
 \end{aligned}
 \tag{۱۲-۳}$$

با استفاده از معادله (۱۲-۳) مشتق بردار عیب به دست می‌آید.

$$\begin{aligned}
 \dot{e} &= (A - HCA - K_1C)e_{(t)} - [F - (A - HCA - K_1C)]z(t) \\
 &\quad - [K_2 - (A - HCA - K_1C)H]y_{(t)} - [T - (I - HC)]Bu_{(t)} \\
 &\quad - (I - HC)Ed_{(t)}
 \end{aligned}
 \tag{۱۳-۳}$$

در صورتی که روابط زیر برقرار باشد می‌توان گفت که $K = K_1 + K_2$ است.

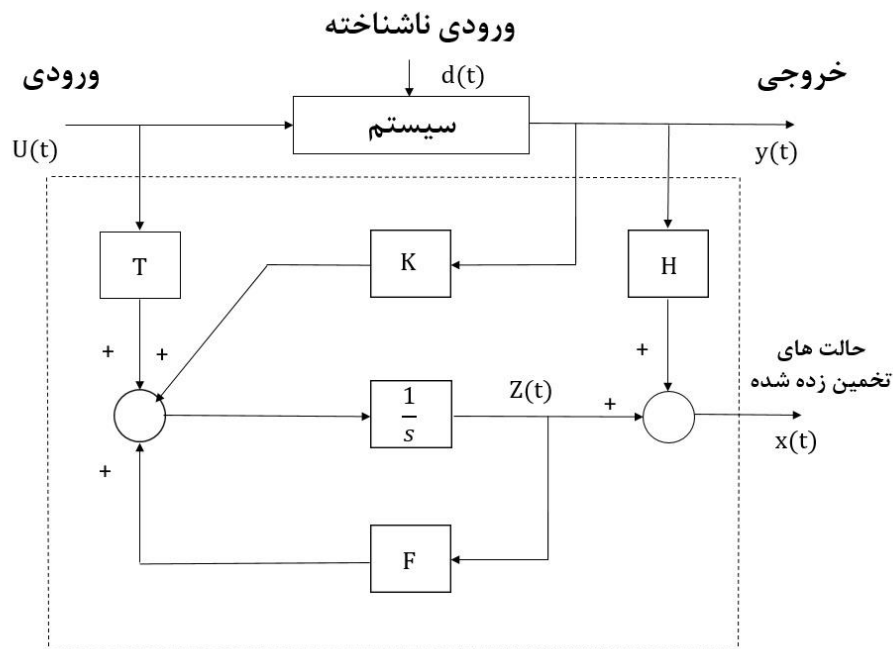
$$(HC - I)E = 0$$

$$T = I - HC$$

$$F = A - HCA - K_1C$$

$$K_2 = FH \tag{۱۴-۳}$$

در شکل زیر می‌توانید شکل کامل بلوک دیاگرام یک رزیتگر با ورودی ناشناخته را ببینید [26].



شکل ۳-۴ بلوک دیاگرام UIO از مرتبه کامل

۳-۷- آشکار سازی تغییر و ارزیابی باقیمانده

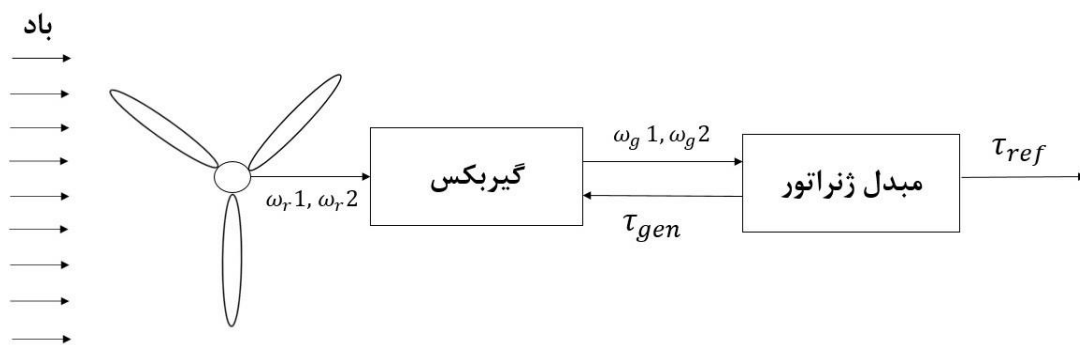
دلیل اصلی طراحی رؤیتگر برای به دست آوردن باقیمانده است که دارای ویژگی‌های جداسازی مناسب برای سیستم‌های دینامیکی است. هنگامی که تولید باقیمانده صورت گرفت در مرحله بعد باید دید که در سیستم عیبی رخ داده است یا سیستم بدون عیب به کار خود ادامه می‌دهد. با استفاده از فرآیند تصمیم می‌توان باقیمانده‌های سیستم را مورد آزمایش قرار داد. اما به دلیل نویز، اغتشاش و دیگر سیگنال‌های ناشناخته که بر روی سیستم نظارت شده وجود دارد می‌توان فرآیند تشخیص را از روش‌های آماری هم انجام داد. همچنین لازم به ذکر است که برای ارزیابی می‌توان از شبکه‌های عصبی^۱ هم استفاده کرد. [27]

¹ - Neural Networks

فصل چهارم

شبه سازی

توربین در نظر گرفته شده در این بحث از نوع سه تیغه آن است که کاربرد گسترده‌ای برای تولید انرژی به صورت انبوه دارد. در این توربین، باد بین تیغه‌های پره رفته و باعث گردش آن می‌شود. این چرخش با حفظ نسبت خاصی بین نوک سرعت تیغه و سرعت باد به دست می‌آید. سرعت چرخش به وسیله سنسور گشتاور^۱ کنترل می‌شود. در بخش قدرت، گشتاور مبدل به صورت کامل نگه داشته می‌شود و سرعت چرخش هم با کنترل زاویه تیغه نسبت به زمین تنظیم می‌شود که انتقال نیروی آیرودینامیکی^۲ از باد به تیغه را تغییر می‌دهد. بخشی از توربین بادی را در شکل زیر می‌توانید مشاهده کنید.



شکل ۴-۱ تصویر توربین بادی

حال موضوعی که مطرح می‌شود سنسورهای اندازه‌گیری شده در توربین بادی است. $\omega_{r,1}$ و $\omega_{r,2}$ دو پارامتر مربوط به اندازه‌گیری سرعت روتور هستند که یکی از سنسورهای توربین بادی به شمار می‌رود. همچنین پارامترهای $\omega_{g,1}$ و $\omega_{g,2}$ برای اندازه‌گیری سرعت ژنراتور مورد استفاده قرار می‌گیرند که از دیگر سنسورهای استفاده شده در توربین بادی است. همچنین از τ_{gen} برای اندازه‌گیری گشتاور ژنراتور کنترل شده با مرجع گشتاور τ_{ref} استفاده می‌شود.

روتور توربین بادی دارای تعدادی تیغه است که در اکثر موارد این تعداد به ۳ پره می‌رسد. این تیغه‌ها به وسیله باد جابه‌جا می‌شوند سرعت آن وابستگی مستقیمی به میزان وزش باد دارد. سرعت باد در همیشه به صورت یک‌سانی نمی‌وزد و تحت شرایط محیطی است. همین موضوع باعث می‌شود که

^۱ - Torque

^۲ - Aerodynamic

گشتاور محرک تولید شده به وسیله رورتور همیشه در حال تغییر باشد. البته لازم به ذکر است که جهت باد که منجر به چرخ پره‌ها می‌شود نیز بر روی گشتاور محرک تأثیر خواهد گذاشت.

زویه پره هم از دیگر عواملی است که به شکل مستقیم در جذب انرژی آیرودینامیکی توسط رورتور نقش مستقیم دارد. رورتور توسط یک گیربکس به ژنراتور متصل است که قرار است انرژی مکانیکی دریافت شده را به وسیله یک شفت به انرژی الکتریکی تبدیل کند و آن را به شبکه اصلی توزیع برق برساند. [28]

۴-۱- مدل فضای حالت

برای تشخیص عیب سنسور در توربین بادی باید یک مدل فضای حالت برای آن در نظر بگیریم. مدل فضای حالت زیر به این منظور در نظر گرفته شده است.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu + Ed \\ y &= Cx\end{aligned}\quad (4-1)$$

d اغتشاش درون سیستم یا همان ورودی ناشناخته است. همچنین E هم ماتریس ورودی ناشناخته است.

۴-۲- ماتریس فضای حالت

برای در نظر گرفتن سیستم بالا نیاز داریم تا اطلاعات مورد نیاز را جای گذاری کنیم. ماتریس‌های فضای حالت سیستم به صورت زیر است.

$$A = \begin{bmatrix} -1.3787 & -0.3799 & 0 & 0 \\ 1.991 & -0.1122 & 0.6630 & 0 \\ 0 & 5.9700 & -11.9400 & 5.9700 \\ 0 & 0 & 1.3300 & -1.3300 \end{bmatrix}\quad (4-2)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & -0.0008 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0491 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.2302 \end{bmatrix}\quad (4-3)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4-4)$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5-4)$$

۴-۳- ورودی ناشناخته در سیستم

ورودی ناشناخته به بخشی از ورودی گفته می‌شود که به طور ناخواسته در آن قرار بگیرد. در هر جایی ورودی ناخواسته می‌تواند به شکل‌های متفاوتی مانند اغتشاش، نویز یا عدم قطعیت خود را نشان دهد. در سیستم بالا ماتریس E یک ورودی ناشناخته است.

۴-۴- استفاده از رُیتگر

رُیتگرها توانایی نشان دادن عیب موجود در سیستم را دارند. برای تشخیص عیب سنسور در این بحث ما از یک رُیتگر با ورودی ناشناخته استفاده کرده‌ایم. رُیتگر طراحی شده برای تشخیص عیب از نوع لوئبرگر است.

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}} &= A\hat{x} + Bu + L(y - c\hat{x}) \\ \hat{y} &= C\hat{x} \end{aligned} \quad (6-4)$$

طراحی رُیتگر با داشتن پارامترهای معادله بالا امکان‌پذیر است. اما وجود گین بهره رُیتگر در این معادله الزامی است. گین بهره رُیتگر به شکل زیر است.

$$L = \begin{bmatrix} 28.5708 & -1.2756 & 0.5581 \\ -1.5732 & 40.0147 & 10.4887 \\ 0.1766 & 9.3118 & 9.1550 \\ 0.8110 & 8.7065 & 21.4145 \end{bmatrix} \quad (7-4)$$

لازم به ذکر است که مقادیر ویژه بهره رُیتگر بالا همگی در سمت چپ محور $j\omega$ دارد که این موضوع نشان دهنده صحت اعداد به دست آمده است. این ریشه‌ها از رابطه $\det[\lambda I - (A - LC)]$ به

دست آمده است.

۴-۵- مقادیر رؤیتگر با ورودی ناشناخته

ماتریس‌های فضای حالت رؤیتگر با ورودی ناشناخته شامل T, F, K و H است. که مقدار هر کدام از آن‌ها را در زیر ارائه کرده‌ایم.

(۴-۸)

$$F = \begin{bmatrix} -2.1854 & -0.6495 & -0.6643 & 0.2571 \\ 1.3587 & -0.9045 & -0.0013 & 0.0454 \\ -0.1880 & 6.1162 & -12.6043 & 6.3677 \\ -0.3930 & -0.2339 & 0.6657 & -1.6421 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} -0.4808 & -0.6471 & -0.6471 \\ 0.5997 & 1.1224 & 0.5640 \\ -0.1216 & -0.0850 & -0.0572 \\ -0.3482 & -0.1365 & 0.2210 \end{bmatrix}$$

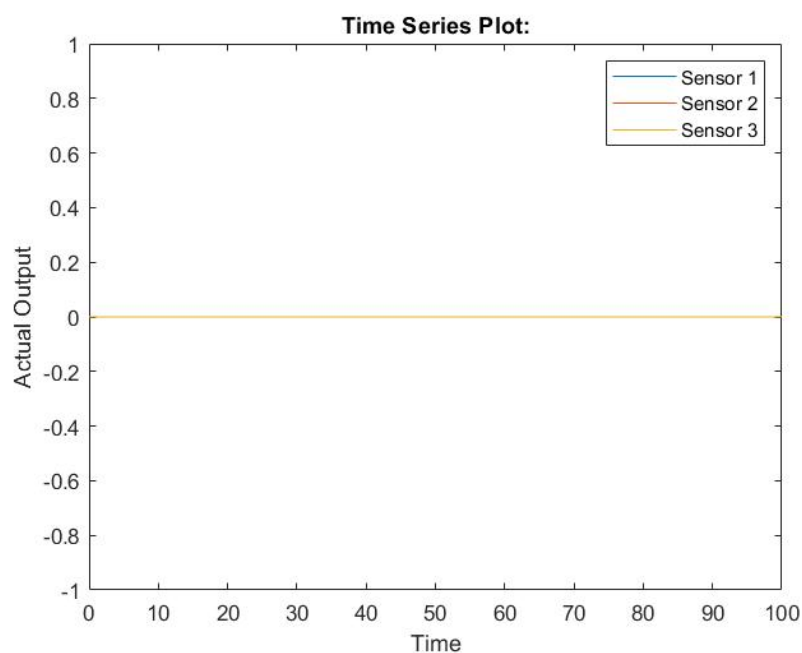
(۴-۹)

$$H = \begin{bmatrix} 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \\ 0.3333 & 0.3333 & 0.3333 \end{bmatrix} \quad (۴-۱۰)$$

$$T = \begin{bmatrix} 0.6667 & -0.3333 & 0 & -0.3333 \\ -0.3333 & 0.6667 & 0 & -0.3333 \\ -0.3333 & -0.3333 & 1 & -0.3333 \\ -0.3333 & -0.3333 & 0 & 0.6667 \end{bmatrix} \quad (۴-۱۱)$$

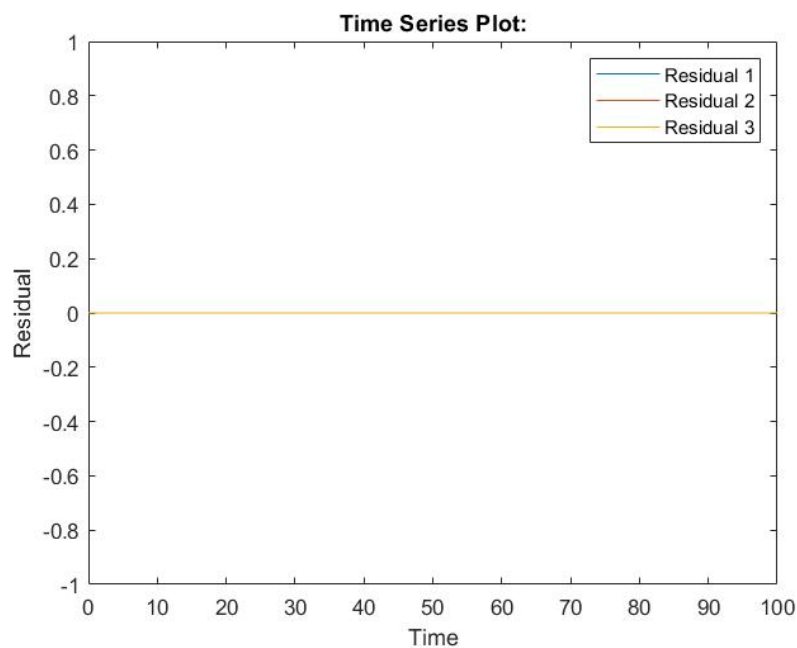
۴-۶- سیستم در حالت ایده آل

زمانی که عیب و ورودی ناشناخته در سیستم وجود نداشته باشد حالت ایده آل است. به همین دلیل باقیمانده ما صفر خواهد بود. لازم به ذکر است که باقیمانده تفاضل خروجی سیستم و تخمینی است که رؤیتگر انجام داده است.



شکل ۴-۲ خروجی سیستم

با توجه به ورودی سیستم مشاهده می‌شود که خروجی هر ۳ سنسور در حالت ایده آل صفر است. دلیل آن هم نبود عیب و ورودی ناشناخته است. خروجی سیستم با توجه به ورودی آن به دست می‌آید که ما در اینجا ورودی را برای سیستم صفر در نظر گرفته‌ایم.



شکل ۴-۳ سیگنال باقیمانده در حالت ایده آل

به علت نبودن عیب و ورودی ناشناخته باقیمانده وجود ندارد. در چنین حالتی سیستم ما در حالت ایده آل به سر می‌برد. صفر بودن ورودی در کنار نبود عیب و ورودی ناشناخته باعث می‌شود که هم خروجی سیستم به شکل صفر درآید و هم باقیمانده‌ای در سیستم نداشته باشیم. اما برای این که متوجه شویم عکس‌العمل سیستم در برابر عیب به چه شکل است در ادامه آن را به سیستم اضافه می‌کنیم.

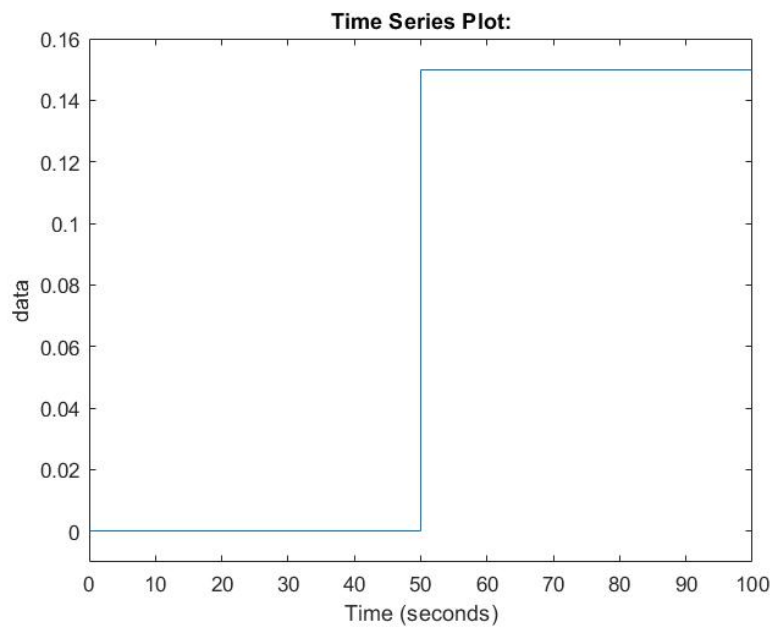
۴-۷- تعیین حد آستانه

به طور عموم مقدار آستانه بر اساس تجربه تعیین می‌شود. همیشه برای برقراری یک مصالحه مناسب باید بین تشخیص سریع عیب و دوری از هشدارهای اشتباه بهترین حالت را در نظر گرفت. به طور کلی انتخاب حد آستانه به شکلی است که حساسیت مورد نظر به وجود آید. همچنین با توجه به حداکثر ظرفیت تحمل عیب سیستم، اگر از آن مقدار بیشتر شود سیستم دچار اختلال خواهد شد. در چنین شرایطی با توجه به حداکثر مقدار سیگنال باقیمانده در حالتی که عیبی رخ نداده است، فقط اغتشاش وارد شده به سیستم در نظر گرفته می‌شود. [29]

۴-۸- حضور عیب در سیستم

تا به حال سیستم ما در حالت ایده آل به سر می‌برد و خبری از عیب در آن نبود. اما در حال حاضر تصمیم داریم با اعمال عیب به آن رفتار سیستم را مشاهده کنیم. به همین دلیل در ورودی سیستم عیب پله را اضافه می‌کنیم.

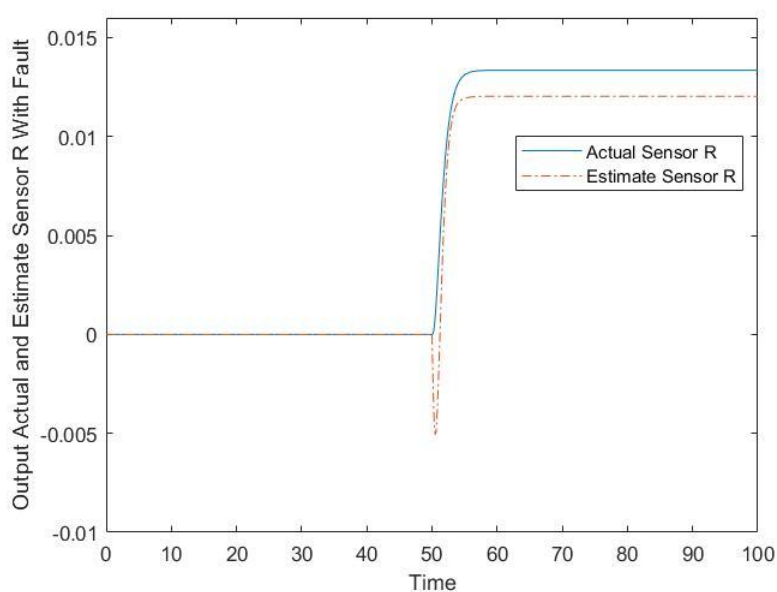
این عیب را در ورودی سیستم اضافه می‌کنیم که مقدار آن ۰.۱۵ است. با اضافه شدن چنین عیبی در ورودی، سیستم از حالت ایده آل خود خارج شده و باقیمانده از مقدار صفر تغییر خواهد کرد. لازم به ذکر است برای هر ۳ سنسور از همین عیب در ورودی استفاده خواهیم کرد.



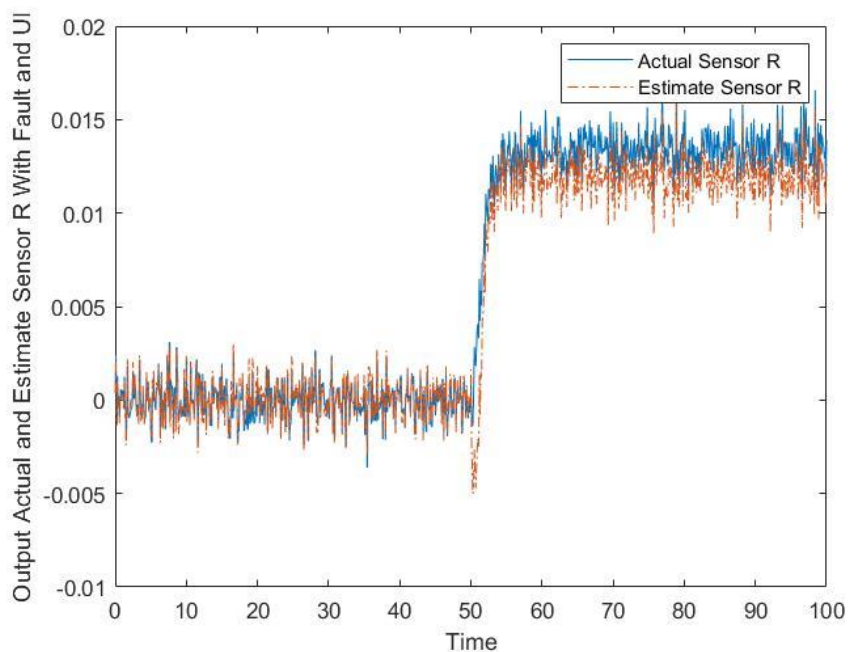
شکل ۴-۴ عیب پله

۴-۹- دقت رؤیتگر در تخمین خروجی سیستم

برای نشان دادن دقت رؤیتگر با ورودی ناشناخته قبل از این که کار تشخیص عیب را انجام دهیم تصمیم داریم بین خروجی واقعی هر سنسور با تخمین آن را مقایسه کنیم. به هر میزانی که فاصله بین تخمین صورت گرفته و خروجی واقعی کمتر باشد رؤیتگر ما از دقت بالاتری برخوردار است. به همین دلیل در زیر تخمین را برای هر ۳ سنسور روتور، ژنراتور و مبدل انجام می‌دهیم. لازم به ذکر است که ما این تخمین‌ها را هم در شرایطی که فقط عیب حضور داشته باشد و هم در شرایطی که عیب به همراه ورودی ناشناخته در سیستم باشد بررسی می‌کنیم.

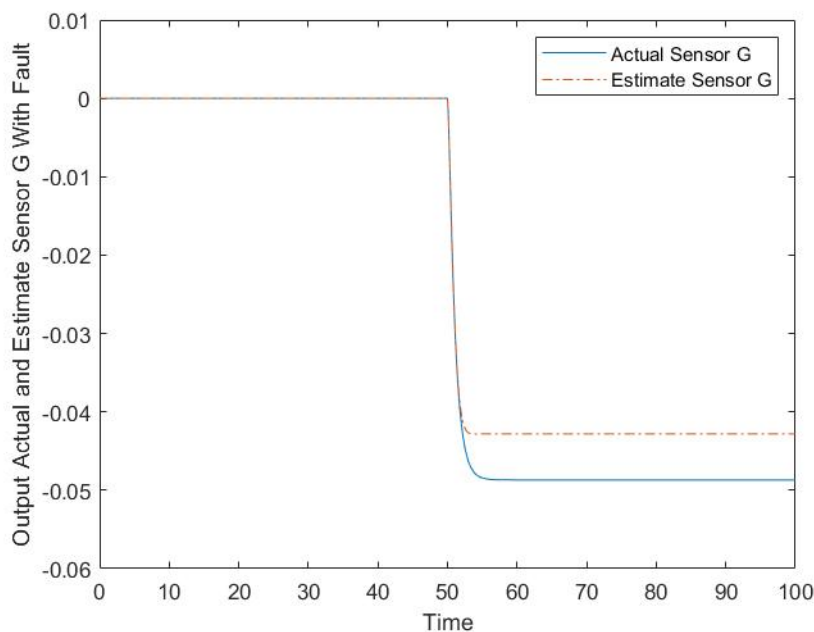


شکل ۴-۵ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور روتور با تخمین آن در حالتی که فقط عیب حضور دارد همانطور که در شکل بالا مشاهده می شود رؤیتگر به خوبی توانسته خود را به خروجی واقعی سیستم برساند و مسیر مشخص شده را دنبال کند. حال اگر به سیستم ورودی ناشناخته اعمال کنیم تغییراتی ایجاد خواهد شد اما رؤیتگر همچنان باید بتواند عمل تخمین را انجام دهد.



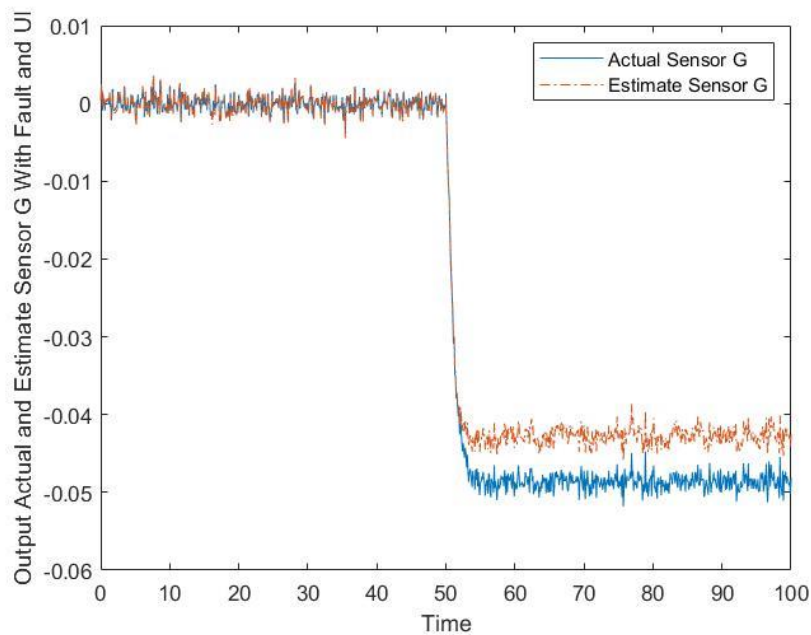
شکل ۴-۶ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور روتور با تخمین آن در حالتی که عیب و ورودی ناشناخته حضور دارد

تأثیر ورودی ناشناخته بر روی خروجی سیستم در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود اما رؤیتگر توانسته به خوبی در حضور این نوع ورودی‌ها کار تخمین را انجام دهد. در ادامه هم موارد قبل را برای سنسور ژنراتور بررسی کنیم.



شکل ۴-۷ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور ژنراتور با تخمین آن در حالتی که فقط عیب حضور دارد تخمین بالا در شرایطی صورت گرفته است که فقط عیب در سیستم وجود دارد. شکل بالا نشان می‌دهد تخمین صورت گرفته در سنسور ژنراتور اختلاف بسیار کمی با واقعیت دارد و از دقت بالایی برخوردار است.

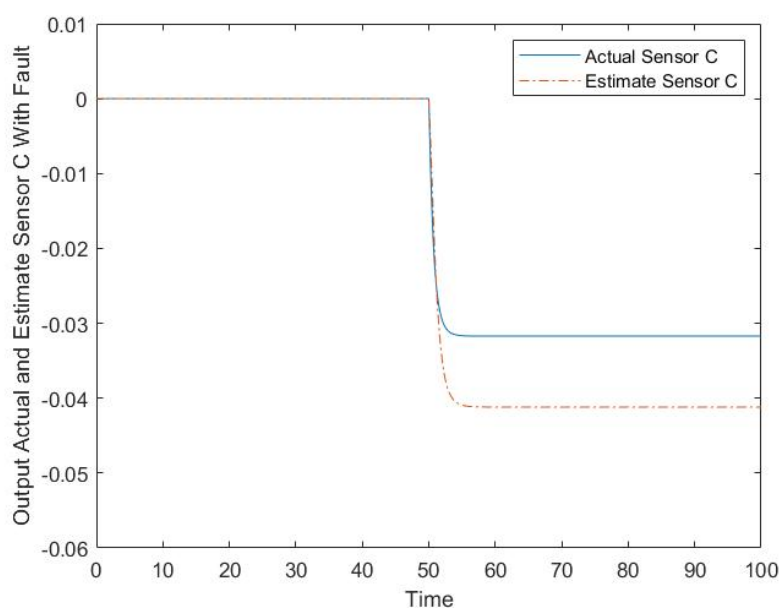
در ادامه برای اینکه دقت رؤیتگر برای تخمین خروجی سنسور ژنراتور بهتر مشخص شود ورودی ناشناخته را اضافه می‌کنیم. اضافه شدن ورودی ناشناخته به سنسور ژنراتور به طور طبیعی هم بر روی خروجی سیستم تأثیر خواهد گذاشت و هم بر روی تخمین آن، اما مقاومت بالای سیستم و رؤیتگر به شکلی است که می‌توان قدرت و دقت آن را به خوبی از روی خروجی به دست آمده تشخیص داد.



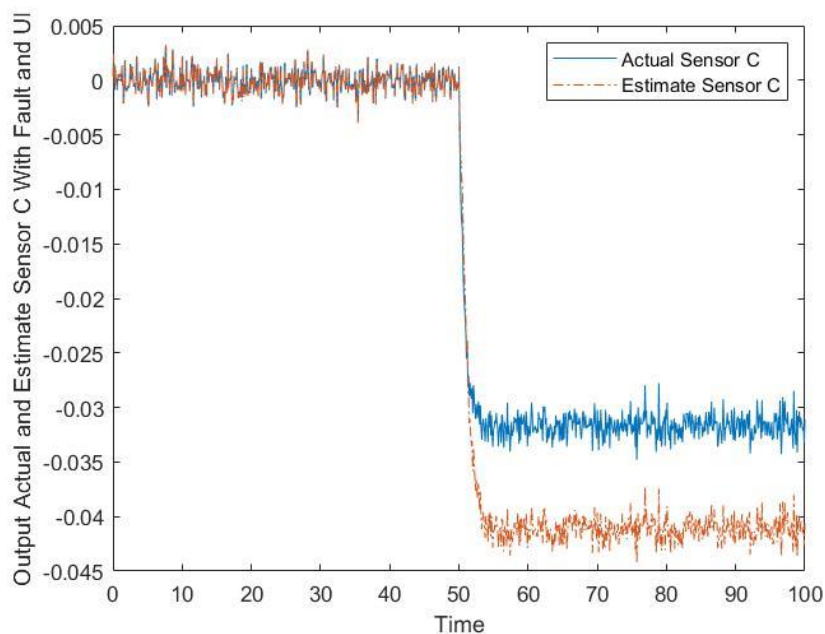
شکل ۴-۸ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور ژنراتور با تخمین آن در حالتی که عیب و ورودی ناشناخته حضور دارد

با وجود اضافه شدن ورودی ناشناخته به سیستم رؤیتگر توانسته به خوبی کار تخمین را انجام دهد و دقت بالای خود را هم در چنین شرایطی حفظ کند. این موضوع نشان دهنده دقت بالای رؤیتگر است که با وجود ورودی‌های ناشناخته مقاومت خود در برابر آن‌ها را حفظ کرده است. مقاوم بودن رؤیتگر در چنین شرایطی جزء مزایا و ویژگی‌های مثبت آن به شمار می‌رود.

در نهایت تخمین‌های صورت گرفته را به روشی که برای ۲ سنسور قبلی انجام دادیم برای سنسور مبدل هم انجام خواهیم داد و نتایج را بررسی می‌کنیم. با توجه به یکسان بودن رؤیتگر استفاده شده در سنسور مبدل پیش بینی می‌شود که خروجی سیستم در ۲ حالت فقط عیب و عیب به همراه ورودی ناشناخته دقت بالای خود را داشته باشد.



شکل ۴-۹ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور مبدل با تخمین آن در حالتی که فقط عیب حضور دارد دقت بالای تخمین خروجی سیستم برای سنسور مبدل هم کارآمد است و این رؤیتگر توانسته در حضور عیب تخمینی را انجام دهد که با واقعیت کمترین اختلاف را دارد. در ادامه هم ورودی ناشناخته را به سیستم اضافه می‌کنیم تا شرایط را با حضور آن بررسی کنیم.



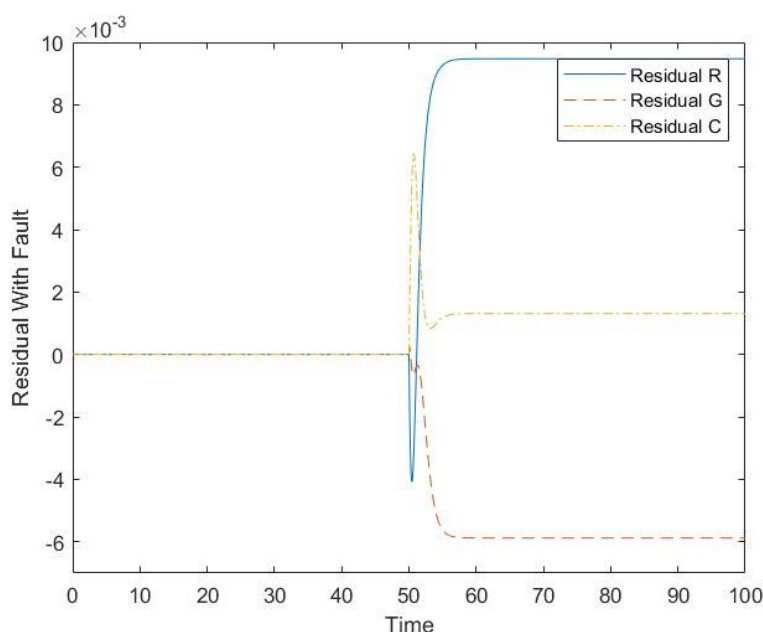
شکل ۴-۱۰ مقایسه بین خروجی واقعی سنسور مبدل با تخمین آن در حالتی که عیب و ورودی ناشناخته حضور دارد

در شکل بالا مشاهده می‌شود که حضور ورودی ناشناخته نتوانسته مشکلی در کار تخمین سیستم ایجاد کند و رزیدو دقت بالای خود را حفظ کرده است.

با توجه به شکل‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت که رزیدو استفاده شده برای تشخیص عیب با ورودی ناشناخته از دقت بالایی برخوردار است و می‌تواند کار تشخیص عیب را به خوبی انجام دهد.

۴-۱۰- سیگنال باقیمانده در حضور عیب

برای تشخیص عیب باید تغییرات رخ داده در باقیمانده‌ها را بررسی کرد. با توجه به اعمال عیب به سیستم دیگر باقیمانده‌ها صفر نخواهند بود.



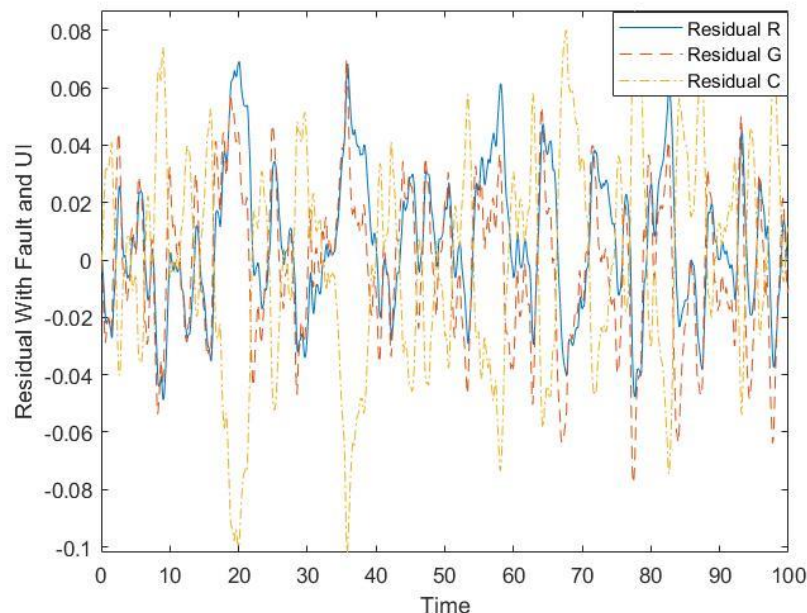
شکل ۴-۱۱ سیگنال باقیمانده در حضور عیب

در شکل بالا باقیمانده مربوط به ۳ سنسور مختلف دیده می‌شود. این باقیمانده‌ها بیانگر وجود عیب در سیستم هستند که با توجه به نبود ورودی ناشناخته در سیستم تشخیص آن‌ها کار دشواری نیست و می‌توان با استفاده از رزیدو کار تشخیص عیب را انجام داد.

۴-۱۱- سیگنال باقیمانده در حضور عیب و ورودی ناشناخته

در حالت عادی و ایده آل در صورتی که عیب در سیستم وجود داشته باشد می‌توان با یک رزیدو

کار تشخیص عیب را انجام داد. اما در صورتی که به همین سیستم و رؤیتگر ورودی ناشناخته اعمال شود سیگنال باقیمانده تغییراتی خواهد داشت.

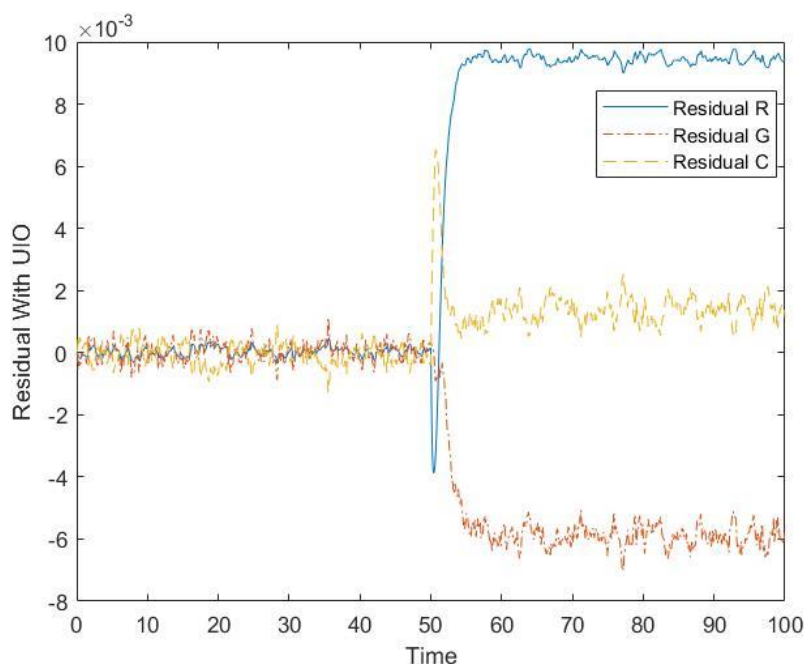


شکل ۴-۱۲ سیگنال باقیمانده در حضور عیب و ورودی ناشناخته

همانطور که در شکل بالا دیده می‌شود تشخیص عیب مانند شکل قبل کار ساده‌ای نیست و دیگر نمی‌توان سیگنال‌های باقیمانده را از ورودی‌های ناشناخته تشخیص داد. برای این که بتوان در چنین شرایطی هم کار تشخیص عیب را انجام داد باید یک رؤیتگر که نسبت به ورودی‌های ناشناخته مقاوم باشد را طراحی کرد. به این شکل می‌توان عیب‌های رخ داده درون سیستم را تشخیص دهیم.

۴-۱۲- تشخیص عیب سنسور مبتنی بر رؤیتگر با ورودی ناشناخته

برای مقاوم شدن سیستم نسبت به ورودی‌های ناشناخته ما اقدام به طراحی یک رؤیتگر با ورودی ناشناخته کرده‌ایم که مقادیر فضای حالت آن را در بخش‌های قبل همین فصل آورده شده است. همچنین در انتهای فصل ۳ شکل ۳-۲ نحوه قرار گرفتن بلوک‌های مختلف UIO به طور کامل توضیح داده شده است که ما از همان شکل در اینجا استفاده کرده‌ایم.



شکل ۴-۱۳ سیگنال باقیمانده با استفاده از رؤیتگر با ورودی ناشناخته در حضور عیب و ورودی ناشناخته در شکل بالا به خوبی کار تشخیص عیب صورت گرفته و سیگنال‌های باقیمانده را می‌توان دید. مشاهده می‌شود که استفاده از رؤیتگر با ورودی ناشناخته می‌تواند تأثیرات ورودی ناشناخته را از بین ببرد و کار تشخیص عیب را آسان کند. هرچند که ورودی‌های ناشناخته و رؤیتگر مذکور باعث شده‌اند که حساسیت سیستم نسبت به عیب‌ها تا حدودی کاهش پیدا کند اما همچنان مشاهده می‌کنیم که با این شرایط هم می‌توان مانند حالت ایده آل کار تشخیص عیب را انجام داد.

۴-۱۳- ویژگی‌های مهم رؤیتگر با ورودی ناشناخته

در صورتی که نتوان عیب موجود در سیستم را تشخیص داد سیستم دچار مشکلات بزرگی می‌شود که از جمله آن می‌توان به بدعمل کردن یا شکست اشاره کرد. چنین اتفاقی می‌تواند موجب هزینه‌های بالایی شوند که ارزش نتیجه را کاهش می‌دهند. همچنین در صورتی که فضای کافی وجود نداشته باشد نمی‌توان از تجهیزات سخت افزاری برای تشخیص عیب در سیستم و سنسورهای موجود در توربین بادی استفاده کرد.

حال روش‌هایی وجود دارند که هر کدام دارای مزیت‌هایی هستند. طراحی رؤیتگر یکی از روش‌های

مهم و مناسب در تشخیص عیب است که کاربرد بسیاری در صنعت پیدا کرده است. سادگی استفاده و قدرت بالای این روش موجب شده است که متخصصین از رؤیتگر به عنوان یک روش بسیار ایده آل در تشخیص عیب و به خصوص تشخیص عیب سنسور استفاده کنند.

اما ورودی‌های ناشناخته بزرگترین ایراد در بخش عملیاتی است که در طراحی‌ها باید آن را در نظر گرفت، در غیر این صورت ممکن است کار تشخیص عیب را دچار مشکل کند. با طراحی یک رؤیتگر با ورودی نامعلوم می‌توان سیستم و رؤیتگر را در برابر ورودی‌های ناشناخته مقاوم کرد. با توجه به شکل ۴-۱۳ می‌توان فهمید که رؤیتگر با ورودی ناشناخته می‌تواند عیب را به خوبی تشخیص دهد همچنین اغتشاش و نویز هم روی آن تأثیری نداشته باشد.

فصل پنجم

نتیجه گیری و

پیشنهادهای

۵-۱- نتیجه گیری

توربین‌های بادی به طور عموم دور از شهرها نصب شده و دسترسی به آن‌ها به صورت مداوم کمی سخت. برای دسترسی مداوم به این توربین‌ها هزینه‌های تعمیر و نگهداری بسیار بالا خواهد رفت از همین رو بهتر است که روش‌هایی را برای کاهش هزینه‌ها در بخش تعمیر و نگهداری در نظر گرفت. بخش‌های مختلفی در توربین بادی هستند که ممکن است با عیب مواجه شوند. سنسور، عمل‌گر و سیستم از بخش‌های اصلی هستند که با عیوب مختلفی ممکن است که روبرو شوند.

سنسورهای مختلفی در توربین بادی وجود دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به سنسور رتور، ژنراتور، مبدل و ... اشاره کرد. همین‌طور عمل‌گرهای مختلفی هم در توربین بادی فعال هستند و امکان وجود هرگونه عیب در آن‌ها محتمل است. برای تشخیص و جداسازی عیب در توربین بادی باید از روش‌های موجود تشخیص عیب استفاده کرد. کمبود فضای استفاده از تجهیزات فیزیکی را برای این کار کمی سخت می‌کند به همین دلیل بهتر است از روش‌های سیگنالی برای تشخیص و جداسازی عیب استفاده کرد.

تشخیص عیب سنسور به وسیله رؤیتگر یکی از روش‌های پر کاربرد در بخش تشخیص و جداسازی عیب است که بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از رؤیتگر منجر به ایجاد یک باقیمانده می‌شود که وجود عیب در سیستم را نشان می‌دهد. اما وجود برخی از عوامل ناشناخته که در ورودی قرار می‌گیرند موجب شده است که کار تشخیص عیب از طریق باقیمانده کمی سخت شود. این ورودی‌های ناشناخته می‌توانند موجب هشدارهای بی مورد در تشخیص عیب شوند که از جمله آن‌ها می‌توان به اغتشاش، نویز و عدم قطعیت اشاره کرد.

طراحی رؤیتگر با ورودی ناشناخته یکی از بهترین راه کارهای موجود در تشخیص عیب سنسور است که می‌تواند در برابر ورودی‌هایی مانند اغتشاش و نویز مقاوم باشد. مقاوم بودن سیستم در برابر نویز توسط رؤیتگر تضمین می‌شود و می‌توان عیب رخ داده در سنسور را تشخیص و جداسازی کرد.

۵-۲- پیشنهادها

استفاده از روش رؤیتگر با ورودی ناشناخته نشان داد که می‌توان عیوب مختلف سنسورهای موجود در توربین بادی را شناسایی کرد. همچنین با استفاده از روش رؤیتگر با ورودی ناشناخته می‌توان عیب‌های بخش‌های دیگر مانند محرک و سیستم را هم شناسایی و آنها در برابر ورودی‌های ناشناخته مقاوم کرد.

البته گفتنی است که برای تشخیص عیب سنسور در بخش‌های دیگر صنعت هم می‌توان از رؤیتگر با ورودی ناشناخته استفاده کرد. رؤیتگرها قابلیت این را دارند که عیب‌های رخ داده در سنسورهای مختلف را تشخیص داده و نشان دهند.

-
-
- [1] J. Chen and R. J. Patton, *Robust model-based fault diagnosis for dynamic systems*, vol. 11, no. 14. 1999.
- [2] R. Isermann, *Fault-Diagnosis Systems*. 2006.
- [3] L. Shang and G. Liu, "Sensor and actuator fault detection and isolation for a high performance aircraft engine bleed air temperature control system," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 19, no. 5, pp. 1260–1268, 2011, doi: 10.1109/TCST.2010.2076353.
- [4] P. F. Odgaard, J. Stoustrup, and M. Kinnaert, "Fault-tolerant control of wind turbines: A benchmark model," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 21, no. 4, pp. 1168–1182, 2013, doi: 10.1109/TCST.2013.2259235.
- [5] J. Gertler, "Analytical Redundancy Methods in Fault Detection and Isolation - Survey and Synthesis," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 24, no. 6, pp. 9–21, 1991, doi: 10.1016/s1474-6670(17)51119-2.
- [6] H. Haes Alhelou, M. E. Hamedani Golshan, and J. Askari-Marnani, "Robust sensor fault detection and isolation scheme for interconnected smart power systems in presence of RER and EVs using unknown input observer," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 99, pp. 682–694, 2018, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.02.013.
- [7] M. Pazera, M. Witczak, and N. Kukurowski, "Robust unknown input observer design for simultaneous actuator and sensor faults," *2019 24th Int. Conf. Methods Model. Autom. Robot. MMAR 2019*, pp. 366–371, 2019, doi: 10.1109/MMAR.2019.8864649.
- [8] S. Huang and K. K. Tan, "Fault detection and diagnosis based on modeling and estimation methods," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 20, no. 5, pp. 872–881, 2009, doi: 10.1109/TNN.2009.2015078.
- [9] T. Höfling and R. Isermann, "Fault detection based on adaptive parity equations and single-parameter tracking," *Control Eng. Pract.*, vol. 4, no. 10, pp. 1361–1369, 1996, doi: 10.1016/0967-0661(96)00146-3.
- [10] E. Bernardi and E. J. Adam, "Observer-based fault detection and diagnosis strategy for industrial processes," *J. Franklin Inst.*, vol. 357, no. 14, pp. 10054–10081, 2020, doi: 10.1016/j.jfranklin.2020.07.046.
- [11] N. Talebi, M. A. Sadrnia, and A. Darabi, "Fault detection of wind energy

conversion systems using recurrent neural networks,” *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 52–70, 2015, doi: 10.1080/14786451.2013.876025.

[12] V. Akhmatov, *Analysis of dynamic behaviour of electric power systems with large amount of wind power*, no. April. 2003.

[13] “‘Word Wind Energy Report 2010,’ in Proc. 10th Word Wind Energy Conference. Cairo, Egypt: Word Energy Association, Nov 2011.”

[14] K. Ghanbarpour, F. Bayat, and A. Jalilvand, “Wind turbines sustainable power generation subject to sensor faults: Observer-based MPC approach,” *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 30, no. 1, 2020, doi: 10.1002/2050-7038.12174.

[15] Y. Liu, R. J. Patton, and S. Shi, “Wind turbine asymmetrical load reduction with pitch sensor fault compensation,” *Wind Energy*, vol. 23, no. 7, pp. 1523–1541, 2020, doi: 10.1002/we.2496.

[16] H. Habibi, I. Howard, and R. Habibi, “Bayesian Fault Probability Estimation: Application in Wind Turbine Drivetrain Sensor Fault Detection,” *Asian J. Control*, vol. 22, no. 2, pp. 624–647, 2020, doi: 10.1002/asjc.1973.

[17] F. Blaabjerg and Z. Chen, “Power electronics for modern wind turbines,” *Synth. Lect. Power Electron.*, vol. 1, pp. 1–68, 2005, doi: 10.2200/S00014ED1V01Y200602PEL001.

[18] T. S. Hristov, S. D. Miller, and C. A. Friehe, “Linear time-invariant compensation of cup anemometer and vane inertia,” *Boundary-Layer Meteorol.*, vol. 97, no. 2, pp. 293–307, 2000, doi: 10.1023/A:1002742508203.

[19] M. Rahnavard, M. Ayati, and M. R. H. Yazdi, “Robust actuator and sensor fault reconstruction of wind turbine using modified sliding mode observer,” *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 41, no. 6, pp. 1504–1518, 2019, doi: 10.1177/0142331218754620.

[20] X. Wei, M. Verhaegen, and T. van den Engelen, “Sensor Fault Diagnosis of Wind Turbines for Fault Tolerant,” *IFAC Proc. Vol.*, vol. 41, no. 2, pp. 3222–3227, 2008, doi: 10.3182/20080706-5-kr-1001.00547.

[21] Z. Gao, X. Liu, and M. Z. Q. Chen, “Unknown input observer-based robust fault estimation for systems corrupted by partially decoupled disturbances,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 4, pp. 2537–2547, 2016, doi: 10.1109/TIE.2015.2497201.

[22] S. Li, H. Wang, A. Aitouche, Y. Tian, and N. Christov, “Robust unknown input observer design for state estimation and fault detection using linear parameter varying model,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 783, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1742-6596/783/1/012001.

- [23] P. F. Odgaard and B. Mataji, "Observer-based fault detection and moisture estimating in coal mills," *Control Eng. Pract.*, vol. 16, no. 8, pp. 909–921, 2008, doi: 10.1016/j.conengprac.2007.10.008.
- [24] J. Kypuros, "Modern Control Systems," *Syst. Dyn. Control with Bond Graph Model.*, pp. 468–513, 2020, doi: 10.1201/b14676-15.
- [25] V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, K. Yin, and S. Kavuri, "A review of process fault detection and diagnosis, Part I: Quantitative model-based methods," *Comput. Chem. Eng.*, vol. 27, pp. 293–311, 2003.
- [26] J. Zarei and J. Poshtan, "Sensor fault detection and diagnosis of a process using unknown input observer," *Math. Comput. Appl.*, vol. 16, no. 1, pp. 31–42, 2011, doi: 10.3390/mca16010031.
- [27] L. Lu, Y. He, T. Wang, T. Shi, and B. Li, "Self-Powered Wireless Sensor for Fault Diagnosis of Wind Turbine Planetary Gearbox," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 87382–87395, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2925426.
- [28] P. F. Odgaard and J. Stoustrup, "Unknown input observer based detection of sensor faults in a wind turbine," *Proc. IEEE Int. Conf. Control Appl.*, pp. 310–315, 2010, doi: 10.1109/CCA.2010.5611266.
- [29] H. Sun, Y. Zi, and Z. He, "Wind turbine fault detection using multiwavelet denoising with the data-driven block threshold," *Appl. Acoust.*, vol. 77, pp. 122–129, 2014, doi: 10.1016/j.apacoust.2013.04.016.

Abstract

The need for sustainable energy development is becoming more and more felt among advanced societies, and the elimination of the need for old energy such as fossil fuels has also shown its importance. Using Renewable energy is a solution for sustainable energy development that can be a very good alternative to high-emission fossil fuels. But the important issue is the cost-effectiveness and costs of developing new energy sources such as wind turbines. To generate electricity from wind energy Power plants from wind turbines have been set up, which has attracted the attention of many private and public sectors.

But the issue of maintenance of this equipment is very important that should not be easily overlooked. The sensors used in wind turbines may encounter various defects, but the damage can be prevented by timely detection. One of the most widespread and practical methods in detecting sensor defects is the use of a viewer with an unknown input that attempts to isolate the defect through the residual.

Key words: Fault Detection, Sensor Fault Detection, Wind Turbine Sensor, Observer-Based Wind Turbine Sensor Fault Detection, Unknown Input Observer



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical Engineering and Robotic

M.Sc.Thesis in Control Engineering

**Sensor fault detection in wind turbine based on unknown
input observer**

By: Nader Shahneshin

Supervisor:
Dr.M.A.Sadrnia

January 2021