

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد کنترل

تشخیص خطا برای توربین بادی با مدل‌های فازی شناسایی شده

نگارنده : سید مسعود فاطمی مطلق

استاد راهنما:

دکتر محمدعلی صدرنیا

بهمن ۱۳۹۵



مدیریت تحصیلات تکمیلی

بسمه تعالی

شماره: ۱۴۵۵

تاریخ: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳

ویرایش: -----

فرم شماره ۷: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای

سید مسعود فاطمی مطلق به شماره دانشجویی ۹۲۱۰۵۹۴ رشته مهندسی برق گرایش کنترل که در تاریخ

۹۵/۱۱/۱۳ تحت عنوان:

تشخیص خطا برای توربین بادی با مدل فازی شناسایی شده

با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

☐ مردود	☐ دفاع مجدد	☒ قبول (با درجه: <u>خوب</u> امتیاز: <u>۱۲.۵۵</u>)
		نوع تحقیق: ☒ نظری ☐ عملی

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۷/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

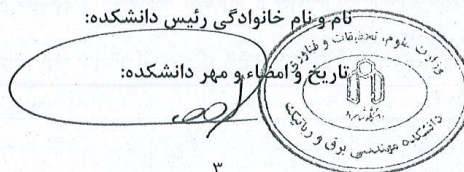
۴- قابل قبول (۱۵ - ۱۴/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	محمد علی صدری	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	---	---	---
۳- استاد مشاور	---	---	---
۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	طهریه الزهی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن اول	سید علی حسینی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	محمد رضا کرمی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



سپاسگزاری:

خداوند بزرگ را شاکرم که لطف خود را شامل حال من نمود تا بتوانم تحقیق خود را به پایان برسانم و بتوانم سهمی هر چند اندک، در راه توسعه علمی ایران عزیز بردارم. همچنین از زحمات و راهنمایی‌های جناب آقای دکتر صدرنیا، استاد محترم راهنما کمال تشکر و سپاس‌گزاری را دارم و در پایان از زحمات خانواده خوبم و دوستان عزیزم و سایر کسانی که در تدوین این تحقیق مرا یاری نمودند، متشکرم و از خداوند منان سلامت و سعادت ایشان را خواستارم.

تعهد نامه

اینجانب سید مسعود فاطمی مطلق دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق-کنترل دانشکده برق و رباتیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه تشخیص خطا برای توربین بادی با مدل های فازی شناسایی شده تحت راهنمایی دکتر محمدعلی صدرنیا متعهد می شوم :

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم 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:

قدرت باد یکی از انرژی‌های تجدید پذیر است و نقش مهمی در آینده منابع انرژی ایفا می‌کند. بدون پرسش، عملکرد سالم سیستم کنترل که مرکز توربین بادی است، بسیار مهم و حیاتی است، البته توربین بادی در شرایط آب و هوایی نامساعد کار می‌کنند. شکست جعبه دنده و یاتاقان و خطاهای گوناگون حسگر معمولاً اتفاق می‌افتد، مانند خطای بایاس حسگر، بهره ثابت حسگر و غیره. همچنین دسترسی به ژنراتورهای بادی مشکل است، زیرا آنها بر روی برج‌های بسیار بلندی واقع شده‌اند، به طوری که ارتفاع آن به طور متوسط به بیست متر یا بیشتر می‌رسد. زمانی که خطا رخ می‌دهد بر روی کیفیت مهندسی اثرات جدی گذاشته و باعث خسارات اقتصادی بزرگی می‌شود. در نتیجه استفاده از روش‌های تشخیص و جداسازی خطا می‌تواند قابلیت اطمینان توربین بادی را حتی زمانی که خطا رخ می‌دهد بهبود بخشد. در این پایان نامه منطق فازی با روش‌های مبتنی بر مدل برای فرموله کردن رویکردهای فازی ترکیب شده است. ایده اصلی آن استفاده از مدل فازی تاکاگی-سوگنو است. سیگنال مانده تفاوت بین خروجی تخمین زده شده و واقعی است. همچنین از روش ماتریس خطی نابرابری برای بررسی پایداری رویکردهای فازی استفاده شده است.

کلمات کلیدی:

توربین بادی، تشخیص و جداسازی خطا، مدل فازی تاکاگی-سوگنو، رویکردهای فازی، ماتریس خطی

نابرابری

فهرست مطالب

فصل اول	۱
مقدمه	۱
۱-۱ تاریخچه کارهای انجام شده:	۳
۲-۱ مطالب فصل‌های بعدی:	۷
فصل دوم	۹
آشکارسازی و جداسازی خطا	۹
۲-۱ چند تعریف [۱۴]:	۱۰
۲-۲ دسته بندی خطاها:	۱۱
۳-۲ روش‌های تشخیص خطا:	۱۵
۴-۲ تشخیص خطای حسگر [۱۵]:	۱۷
فصل سوم	۲۱
توربین بادی	۲۱
۳-۱ مقدمه:	۲۲
۳-۲ تاریخچه:	۲۲
۳-۳ سیر تحولی و رشد استفاده از انرژی بادی:	۲۲
۴-۳ توربین‌های بادی:	۲۳
۵-۳ توربین‌های بادی چگونه کار می‌کنند؟	۲۳
۶-۳ دینامیک‌های توربین بادی:	۲۸
فصل چهارم	۳۱
تشخیص خطا مبتنی بر مدل فازی	۳۱
۴-۱ مدل فازی تاکاگی - سوگنو [۲۰]:	۳۲
۴-۲ جبران توزیع موازی (PDC) [۲۱]:	۳۳
۴-۳ کنترل کننده غیرخطی [۲۰]:	۳۴
۴-۴ مدل رویکر فازی [۲۵]:	۳۵

۳۷	۵-۴ تولید مانده [۲۰]:
۳۸	۶-۴ آنالیز پایداری [۲۵]:
۴۱	فصل پنجم
۴۱	شبیه سازی و نتایج
۵۱	فصل ششم
۵۱	نتیجه گیری و پیشنهادات
۵۲	۶-۱ مقایسه با کارهای گذشته:
۵۳	۶-۲ نتیجه گیری:
۵۳	۶-۳ پیشنهادات:
۵۴	مراجع:

فهرست اشکال

شکل (۱-۲) مکان‌های احتمالی وقوع خطا [۱۴]	۱۱
(شکل ۲-۲) خطای ناگهانی [۱۴]	۱۳
شکل (۳-۲) خطای نرم [۱۴]	۱۳
شکل (۴-۲) خطای متناوب [۱۴]	۱۴
(شکل ۵-۲) خطای جمع شونده [۱۶]	۱۴
(شکل ۶-۲) خطای ضرب شونده [۱۶]	۱۵
شکل (۷-۲) طبقه‌بندی روش‌های تشخیص خطا [۱۴]	۱۵
شکل (۸-۲) تشخیص خطا مبتنی بر مدل [۱۷]	۱۷
شکل (۹-۲) حسگر با خطای بایاس [۱۵]	۱۸
شکل (۱۰-۲) حسگر با خطای از دست دادن بهره‌وری [۱۵]	۱۸
شکل (۱۱-۲) حسگر با خطای دریافت [۱۵]	۱۹
شکل (۱۲-۲) در حالت انجماد حسگر [۱۵]	۱۹
شکل (۱۳-۲) حسگر دارای خطای کالیبراسیون [۱۵]	۲۰
۱-۳ توربین بادی مدرن	۲۴
شکل (۲-۳) بخش‌های توربین بادی افقی	۲۷
شکل (۳-۳) مقدار عددی پارامترهای سیستم [۲۰]	۲۹
شکل (۱-۴) مفهوم جبران توزیع موازی [۲۱]	۳۳
شکل (۲-۴) ساختار رویتگر فازی [۲۰]	۳۷
شکل (۱-۵) توابع تعلق حالت ωt [۲۰]	۴۲
شکل (۲-۵) سرعت چرخشی توربین بدون حضور خطا	۴۳
شکل (۳-۵) سرعت ژنراتور بدون حضور خطا	۴۳
شکل (۵-۵) تخمین سرعت چرخشی توربین بدون حضور خطا	۴۵
شکل (۶-۵) تخمین سرعت ژنراتور بدون حضور خطا	۴۵
شکل (۷-۵) اندازه خطا در حسگر	۴۶

- شکل (۸-۵) مانده ی $(wt - wt)$ با اعمال خطای مربعی..... ۴۷
- شکل (۹-۵) مانده ی $(\omega g - \omega g)$ با اعمال خطای مربعی ۴۷
- شکل (۱۰-۵) مانده ی $(wt - wt)$ با اعمال خطای مثلثی ۴۸
- شکل (۱۱-۵) مانده ی $(\omega g - \omega g)$ با اعمال خطای مثلثی ۴۸
- شکل (۱۲-۵) مانده ی $(wt - wt)$ با اعمال خطای سینوسی..... ۴۹
- شکل (۱۳-۵) مانده ی $(\omega g - \omega g)$ با اعمال خطای سینوسی ۵۰

فصل اول

مقدمه

با افزایش روز افزون جوامع بشری و صنعتی به انرژی و وابسته شدن هر چه بیشتر انسان‌ها به انرژی برق، باید برای برآورده کردن این نیاز، افزایش تولید برق در دستور کار قرار گرفته شود. با توجه به اینکه هم اکنون برای تولید برق از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌شود و منابع سوخت‌های فسیلی محدود و پایان پذیر است و آلودگی‌های زیست محیطی زیادی برجای می‌گذارند، از این رو استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

در حال حاضر استفاده از انرژی باد نسبت به انرژی‌های مرسوم بسیار پرهزینه‌تر هستند و با توجه به اینکه توربین-های بادی در سائز مگاوات بسیار گران و هزینه راه اندازی و نگهداری آنها بالا می‌باشد از این رو قابلیت اطمینان^۱ و ایمنی^۲ آن برای تولید انرژی بسیار مهم می‌باشد. [۱]

هدف از بکارگیری روش‌های تشخیص خطا^۳ اعمال نظارت پیشرفته، مدیریت خطا، بهبود قابلیت اطمینان دسترسی پذیری، کاهش سوانح، میزان پیامدهای آن‌ها و همچنین اعمال تعمیر و نگهداری بهینه است. قابلیت اطمینان و ایمنی در سطح پایین و خاموشی‌های متعدد باعث بالا رفتن هزینه تولید انرژی می‌شود. به منظور دستیابی به سطح بالای قابلیت اطمینان و ایمنی در سیستم‌های کنترلی تشخیص و جداسازی خطا بسیار مهم و حائز اهمیت است. مسئله دیگر شناسایی منبع و میزان خطای وارد شده به سیستم است و اگر بتوان در مراحل اولیه خطا را تشخیص و جداسازی نماییم از خاموشی‌های متعدد و اثرات مخرب محیطی و اقتصادی جلوگیری کرده‌ایم. [۲،۳]

معمولاً استفاده از مدل‌های فازی قابلیت تشخیص و شناسایی خطا را برای کار با سیستم‌های پیچیده در شرایط فقدان اطلاعات کافی و همچنین در مواردی که اندازه‌گیری‌ها از دقت نسبی کمتری برخوردارند،

¹Reliability

² Safety

³ Fault Detection

افزایش می‌دهد. موتور استنتاج الگوریتم فازی^۱ که بخش تحلیلی و مفهوم الگوریتم فازی است با توجه به قوانین فازی و همچنین ورودی‌های سیستم در هر لحظه خروجی را تولید می‌کند. از مزایای منطق فازی، امکان بیان رفتار سیستم در قالب روابط مفهومی ساده "اگر-آنگاه" است. بدیهی است پایگاه دانش مورد اشاره برای تعیین قوانین "اگر-آنگاه" بسیار مهم است زیرا کیفیت عملکرد یک الگوریتم فازی به درستی و صحت قوانین حاکم به آن بستگی دارد. [۲]

۱- تاریخچه کارهای انجام شده:

پژوهش‌های متنوعی در زمینه استفاده از الگوریتم‌های فازی در تشخیص و شناسایی خطا در سیستم‌های مهندسی به انجام رسیده است. به عنوان مثال:

+ در [۴] با اندازه‌گیری جریان‌های سه فاز موتور القایی، آنها را به عنوان ورودی سیستم فازی استفاده و نوع خطاهای تشخیص داده شده در موتور را به عنوان خروجی‌های الگوریتم فازی معرفی کرده است. در این مرجع مشکل تشخیص خطا نرم در استاتور سیم پیچ ماشین القایی در نظر گرفته می‌شود. این مشکل با استفاده از تکنیک جدید تشخیص نقطه‌ی تغییر در سری‌های زمانی، بر اساس فرمول سه مرحله‌ای حل می‌شود. این روش می‌تواند تا دو نقطه تغییر را در سری زمانی تشخیص دهد. اولین گام شامل یک الگوریتم طبقه‌بندی شده شبکه عصبی کوهنن^۲ است که این مدل را تعریف می‌کند که در آن تا یک نقطه تغییر یا دو نقطه تغییر مورد استفاده قرار گیرد. گام دوم شامل یک خوشه‌بندی فازی برای تبدیل داده‌های اولیه، با توزیع دلخواه، که می‌تواند توسط یک توزیع بتا تقریب زده شود. مراکز خوشه فازی با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی شده شبکه عصبی کوهنن مورد استفاده در مرحله اول تعیین می‌شوند. آخرین مرحله، تشخیص

¹ Fuzzy

² Kohonen

نقطه تغییر در سری‌های زمانی که توسط مرحله دوم با توزیع شناخته شده از الگوریتم متروپلیس هستینگز^۱ استفاده می‌شود، است.

+ در [۵] نیز تشخیص و شناسایی خطا با استفاده از روش‌های فازی در یک سیستم شبیه‌ساز شیرهای صنعتی ارائه شده است. این مرجع، یک معماری مبتنی بر مدل را برای تشخیص و جداسازی خطا بر اساس روش فازی پیشنهاد می‌کند. زمانی که یک خطا رخ می‌دهد، تشخیص خطا با استفاده از باقیمانده انجام می‌شود. سپس، مدل‌های فازی معیوب برای جداسازی خطا استفاده می‌شوند. معماری تشخیص و جداسازی خطا پیشنهاد شده در این مرجع، از یک رویکرد تصمیم‌گیری فازی برای مجزا کردن خطاها استفاده می‌کند، که براساس تجزیه و تحلیل باقیمانده‌ها است. شبیه‌ساز شیر صنعتی برای به دست آوردن چند خطای ناگهانی و نرم استفاده می‌شود، که برخی از خطاهای احتمالی در سیستم واقعی هستند.

+ در [۶] با استفاده از روش روی‌تگر^۲ برای شناسایی خطاهای حسگر در سیستم پیچ^۳ مورد بررسی قرار گرفته است. در این مرجع، یک مدل توربین بادی بر اساس روش شناسایی حلقه بسته ساخته می‌شود، که دینامیک باد در این مدل گنجانده می‌شود. موضوع تشخیص خطا براساس باقیمانده تولید شده توسط فیلتر کالمن بررسی می‌شود. خطاهای جمع شونده و خطاهای ضرب شونده به ترتیب بررسی می‌شوند. موضوع جداسازی خطا با کمک افزونگی حسگر دوگانه پیگیری می‌شود.

+ ورودی نامعلوم روی‌تگر^۴ برای تشخیص خطاهای حسگر^۵ توربین بادی در [۸] معرفی شده است. در این مرجع یک طرح مبتنی بر روی‌تگر برای تشخیص خطاهای حسگر در توربین‌های بادی پیشنهاد می‌شود.

¹ Metropolis-Hastings algorithm

² Observer

³ Pitch

⁴ Unknown Input Observer

⁵ Sensor

+ در [۹] تشخیص و شناسایی خطاهای بلبرینگ‌های خطی در یک موتور خطی را به روش آنالیز سیگنال ارتعاشی اندازه گیری شده، توسط شتاب‌سنج ارائه می‌کنند. موتورهای خطی الکتریکی در اتوماسیون صنعتی در حال گسترش هستند. قسمت متحرک موتور با روش بلبرینگ‌های خطی به بخش ثابت مرتبط است. همین‌طور در بسیاری ماشین - های الکتریکی دیگر، یاتاقان یکی از آسیب پذیرترین قسمت‌ها است، چون آنها مستعد ابتلا به آلودگی هستند. این مرجع یک روش تشخیصی بر اساس تجزیه و تحلیل ارتعاش که اثر ویژه‌ای مربوط به یک خطای خاص است، نشان می‌دهد.

+ تشخیص خطا توربین بادی براساس شبکه مصنوعی در [۱۰] مورد تحقیق قرار گرفته است. این مرجع یک الگوریتم از روش تشخیص الگوی شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه می‌دهد که برای عملیات‌های سیستم کنترل توربین بادی به کار برده می‌شود. این مرجع دو نوع الگوریتم بهبود یافته از شبکه عصبی بر اساس اصول اساسی ارائه می‌کند تا سرعت همگرایی شبکه را بهبود بخشد. به منظور جلوگیری از سقوط شبکه به کمینه محلی از الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی روش تشخیص خطا شبکه عصبی در سیستم کنترل توربین بادی به کار برده شده است. در مرحله اول، این مرجع چند الگوریتم آموزشی بهبود یافته از شبکه‌های عصبی را پیشنهاد می‌کند. همچنین شبیه سازی با استفاده از داده‌های موجود را ایجاد می‌کند. سپس، چند خطا حسگر سیستم کنترل توربین بادی که مصنوعی ساخته می‌شوند شبیه سازی می‌شوند. در نهایت، شش نوع خطا از سیستم کنترل توربین بادی که اغلب رخ می‌دهند با استفاده از شبکه عصبی که توسط الگوریتم ژنتیک بهینه سازی می‌شود، شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی ثابت کرد که الگوریتم بهبود یافته یک روش سریع و کارآمد است که از سقوط شبکه به کمینه محلی جلوگیری می‌کند.

+ [۱۱] تشخیص و شناسایی خطا با استفاده از فیلتر کالمن در سیستم ماشین سوزن را معرفی می‌کند. در این مرجع نویسندگان برای مشکل فیلتر کردن داده‌های گسسته خطی، هنگام استفاده از داده حسگر جریان، یک فیلتر کالمن را پیشنهاد می‌کنند.

+ [۱۲] تشخیص و شناسایی خطا با استفاده از رویترگر حالت و ماتریس خطی نابرابری در موتور القایی سه فاز را معرفی می‌کند. که تخمین اتصال کوتاه درون چرخشی^۱ را در استاتور موتور القایی متصل شده به دلتا نشان می‌دهد. در این مرجع یک طرح رویترگر تطبیقی ارائه می‌شود. رویترگر مذکور قادر به تخمین همزمان سرعت موتور، مقدار چرخش‌های درگیرشده در اتصال کوتاه است. علاوه بر این حالات موتور نیز تخمین زده می‌شود، به این معنی که حتی اگر یک خطا در موتور اتفاق بیفتد جریان‌های مغناطیسی در دسترس هستند. کارآمدی رویترگر پیشنهادی، با استفاده از تست‌های انجام شده در راه‌اندازی تست با موتور القایی طراحی شده، نشان داده می‌شود. با استفاده از این موتور، شبیه سازی خطاهای اتصال کوتاه درون چرخشی ممکن است.

+ همچنین تشخیص و شناسایی خطا برای توربین بادی براساس شبکه عصبی در [۱۳] مورد تحقیق قرار گرفته است. از آنجا که مدل مدار مبدل توربین بادی تغذیه مضاعف معادلات غیرخطی پیچیده‌ی دارد، تشخیص خطا آنلاین معمولاً مشکل است. در این مرجع، با استفاده از ویژگی نگاشت غیرخطی شبکه‌های عصبی، یک روش تشخیص خطا شبکه‌های عصبی دوقطبی، که براساس تجزیه و تحلیل مستقیم موج، پیشنهاد شده است، که به تشخیص خطا آنلاین مدار مبدل توربین بادی منجر می‌شود. نتایج اجرای واقعی نشان می‌دهد که روش ارائه شده بسیار موثر است.

¹ inter-turn

۱-۲ مطالب فصل‌های بعدی:

فصل‌های این پایان نامه به قرار زیر است:

در فصل اول، مقدمه و تاریخچه‌ی از روش‌های مختلف تشخیص خطا را بیان کرده‌ایم. در فصل دوم، انواع خطاها که در سیستم‌های کنترل رخ می‌دهد و روش‌های تشخیص خطا را توضیح می‌دهیم. در فصل سوم، تاریخچه و دینامیک‌های سیستم توربین بادی را توضیح دهیم. در فصل چهارم، تشخیص خطا بر اساس روش مبتنی به مدل فازی را بررسی می‌کنیم. در فصل پنجم، نتایج حاصل از شبیه سازی را ارائه می‌کنیم. در فصل ششم، نتیجه‌گیری و پیشنهادات را بیان می‌کنیم.

فصل دوم

آشکارسازی و جداسازی خطا

۲-۱ چند تعریف [۱۴]:

خطا^۱: یک انحراف ناخواسته در حداقل یکی از مشخصه‌های سیستم از شرایط قابل قبول و استاندارد.

شکست^۲: یک وقفه‌ی موقت در توانایی یک سیستم برای اجرای یک عمل مورد نیاز تحت شرایط عملکردی ویژه.

بد عمل کردن^۳: یک بی‌نظمی متناوب در اجرای عملکرد مطلوب سیستم می‌باشد.

اغتشاش^۴: یک ورودی ناشناخته و کنترل شده که روی سیستم اثر می‌گذارد.

مانده^۵: یک شاخص خطا، براساس تغییر بین اندازه گیری‌ها و محاسبات مبتنی بر مدل.

تشخیص خطا^۶: تعیین وجود خطا و زمان آن.

جداسازی خطا^۷: تعیین نوع، مکان و زمان وقوع خطا با ارزیابی مانده‌ها، این مرحله پس از تشخیص خطا می‌باشد.

شناسایی خطا^۸: تعیین اندازه و رفتار متغیر با زمان، این مرحله پس از جداسازی خطا می‌باشد.

تشخیص خطا^۹: تعیین نوع، اندازه، مکان و زمان وقوع خطا با ارزیابی مانده‌ها، این مرحله ترکیبی از سه قبل است.

¹ Fault

² Failure

³ Malfunction

⁴ disturbance

⁵ Residual

⁶ Fault Detection

⁷ Fault Isolation

⁸ Fault Identification

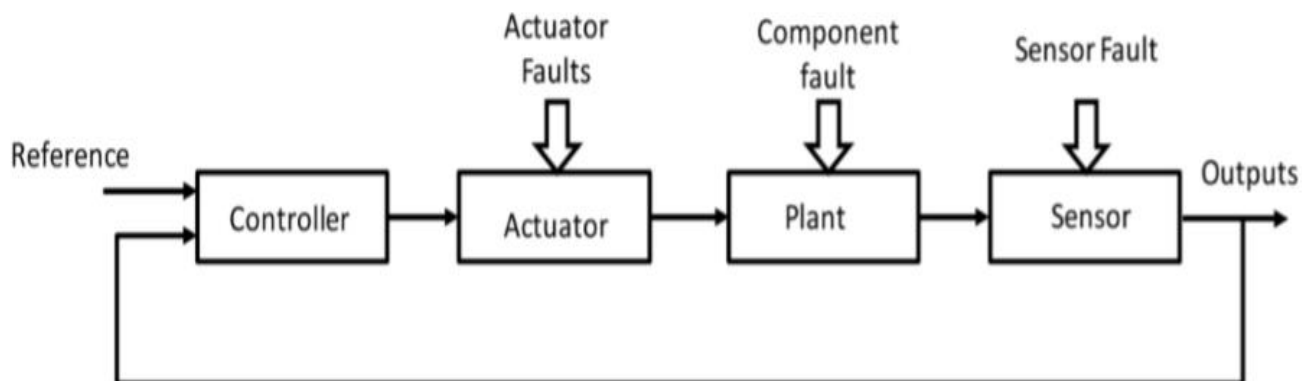
⁹ Fault Diagnosis

۲-۲ دسته بندی خطاها:

خطاها را می توان از چند جنبه مختلف دسته بندی کرد:

الف - بر اساس مکانی که در سیستم رخ می دهند:

خطا می تواند باعث ناپایداری سیستم شود و در حسگرها، محرک ها و اجزا رخ دهد. شکل زیر نمونه ای از مکان هایی که در سیستم کنترل شده، خطاها می توانند تاثیر بگذارند را نشان می دهد.



شکل (۲-۱) مکان های احتمالی وقوع خطا [۱۴]

۱- خطاهای حسگر:

یک سیستم فنی همیشه توسط حسگرها نظارت می شود. تفاوت استفاده حسگرها در کمیت فیزیکی که اندازه می - گیرند، می باشد : شتاب سنج، گرما سنج و....

خطاهای حسگر مستقیماً روی اندازه گیری فرایند تاثیر می گذارند و به صورت های مختلف ظاهر می شوند. وجود مقدار بایاس در خروجی حسگر یکی از متداول ترین خطاها در حسگرها می باشد. عوامل مختلفی در ایجاد خطاهای حسگر موثرند، از جمله می توان خوردگی و خرابی فیزیکی را نام برد.

همچنین اگر اندازه‌گیری حسگرها دچار خطا شود و از آن برای فیدبک به کنترل‌کننده استفاده شود، به روی خروجی کنترل‌کننده موثر خواهد بود. [۱۴]

۲- خطاهای محرک:

در بسیاری از سیستم‌های الکترونیکی و الکتروشیمیایی سیگنال‌های کنترل از کنترل‌کننده به طور مستقیم به سیستم قابل اعمال نیستند در این صورت به محرک‌ها نیاز داریم تا سیگنال‌های کنترلی را به سیگنال‌های تحریک مناسب تبدیل کنند. از این‌رو خطاهای محرک باعث از دست رفتن بخشی از کنش کنترلی می‌شود. عوامل مختلفی در ایجاد خطاهای محرک موثرند از جمله: شکست، فرسودگی، سایش و [۱۵]

۳- خطاهای اجزا:

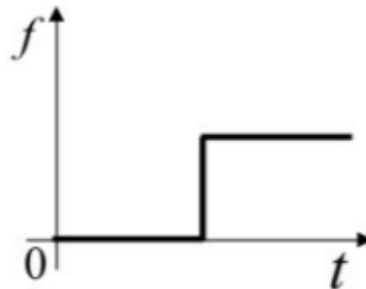
خطاهای اجزا غالباً به عنوان مواردی که برخی تغییر شرایط در سیستم که معادلات دینامیکی نامی سیستم را بی اعتبار کنند، شناخته می‌شوند. مدل‌سازی این خطاها در برخی مواقع بسیار مشکل است با این وجود، خطاهای اجزا به وسیله یک تغییر در معادلات حالت سیستم، که می‌تواند یک تغییر پارامتری یا یک تغییر ساختاری باشد قابل ارائه است. فرسایش و خوردگی قطعات را نیز می‌توان در این قالب بررسی کرد. [۱۵]

ب- براساس مشخصه زمانی:

همچنین خطاها بر اساس مشخصه زمانی می‌توانند به سه دسته زیر طبقه‌بندی شوند:

۱- خطای ناگهانی^۱:

خطای ناگهانی، با تغییرات ناگهانی از یک کمیت در سیستم نشان داده می شود که اغلب به دلیل معیوب بودن قسمتی از سخت افزار رخ می دهد که اثرات مخرب شدیدی به وجود می آورد و باید به سرعت رفع شود. [۱۴]

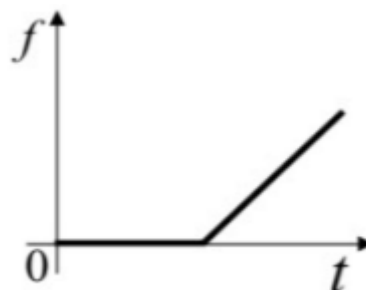


(شکل ۲-۲) خطای ناگهانی [۱۴]

۲- خطای نرم^۲:

خطای نرم، با تغییر آهسته از یک کمیت در سیستم نشان داده می شود که اغلب به دلیل فرسوده و کهنه شدن رخ می دهد. این نوع خطا اثر ضعیفتری در فاصله زمانی کوتاه نسبت به خطای ناگهانی دارد. ولی خطای نرم می تواند اثرات قویتری نسبت به خطای ناگهانی داشته باشد زیرا به مرور زمان زیاد می شود.

[۱۴]



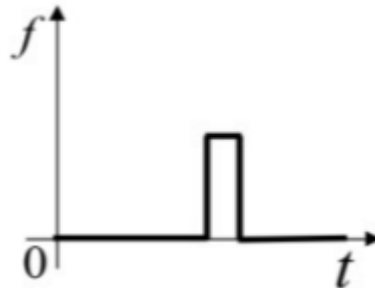
(شکل ۲-۳) خطای نرم [۱۴]

¹ Abrupt Fault

² Incipient Fault

۳- خطای متناوب^۱:

به خطایی گفته می‌شود که به طور متناوب رخ می‌دهد و از بین می‌رود مانند ایجاد شدن اتصال جزئی در سخت افزار. [۱۴]

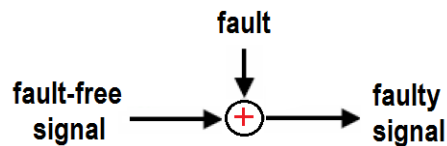


شکل (۲-۴) خطای متناوب [۱۴]

ج) بر اساس این که چگونه در سیستم مدل شوند:

خطای جمع شونده^۲:

در واقع، آفست^۳ در حسگر و محرک و یا دریفت^۴ در حسگر خطای جمع شونده محسوب می‌شوند. که اولی را می‌توان با مقدار ثابت و دومی را با تابع شیب تعریف کرد که در واقع، آفست باعث می‌شود یک مقدار ثابت، اضافه یا کم شود و دریفت باعث می‌شود تابعی که همواره زیاد یا کم می‌شود اضافه یا کم شود. نکته‌ای که باید به آن اشاره کرد آن است که وقوع خطای جمع شونده روی پایداری سیستم تاثیری ندارد. [۱۶]



(شکل ۲-۵) خطای جمع شونده [۱۶]

¹ Intermittent Fault

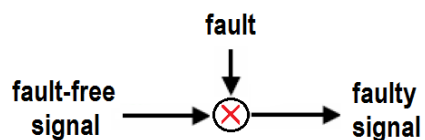
² Additive Fault

² Offset

³ Drift

خطای ضرب شونده^۱:

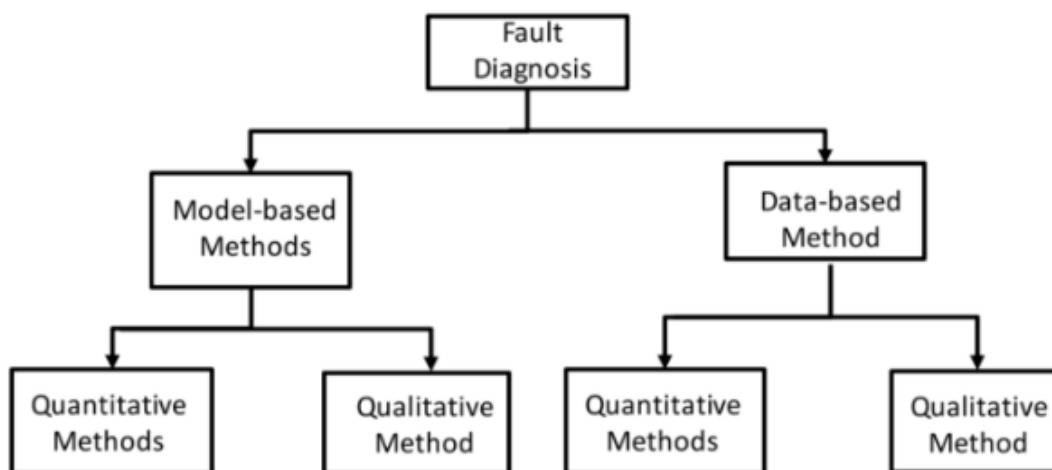
در واقع عملکرد بد در فرآیند، محرک و حسگر سبب تغییرات در پارامترهای مدل می‌شود که آن را خطای ضرب شونده می‌گوییم و به عنوان تغییرات پارامتری مدل می‌شوند. و همچنین خطای ضرب شونده ممکن است مستقیماً روی پایداری سیستم تاثیر بگذارد. [۱۶]



(شکل ۲-۶) خطای ضرب شونده [۱۶]

۲-۳ روش‌های تشخیص خطا:

به طور کلی روش‌های تشخیص خطا به دو دسته تقسیم می‌شوند:



شکل (۲-۷) طبقه‌بندی روش‌های تشخیص خطا [۱۴]

^۱ Multiplicative Fault

۱- روش مبتنی بر مدل:

روش مبتنی بر مدل نیز به دو مدل دسته بندی می‌شوند: ۱- روش‌های کمی ۲- روش‌های کیفی

در روش کمی به مدل ریاضی فرآیند نیاز داریم تا شرایط سیستم بررسی شود. این مدل با توجه به دانشی که از مشخصات فیزیکی فرآیند داریم ساخته می‌شود. همچنین رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های فرآیند ارائه می‌شود. بنابراین مشخصه خطا در فرآیند از بررسی ریاضی ورودی‌ها به دست می‌آید. روش کمی بر اساس مدل به ۴ دسته مطابق زیر طبقه بندی می‌شود: [۱۴]

- روش مبتنی بر رویتگر

- روش فضای برابری

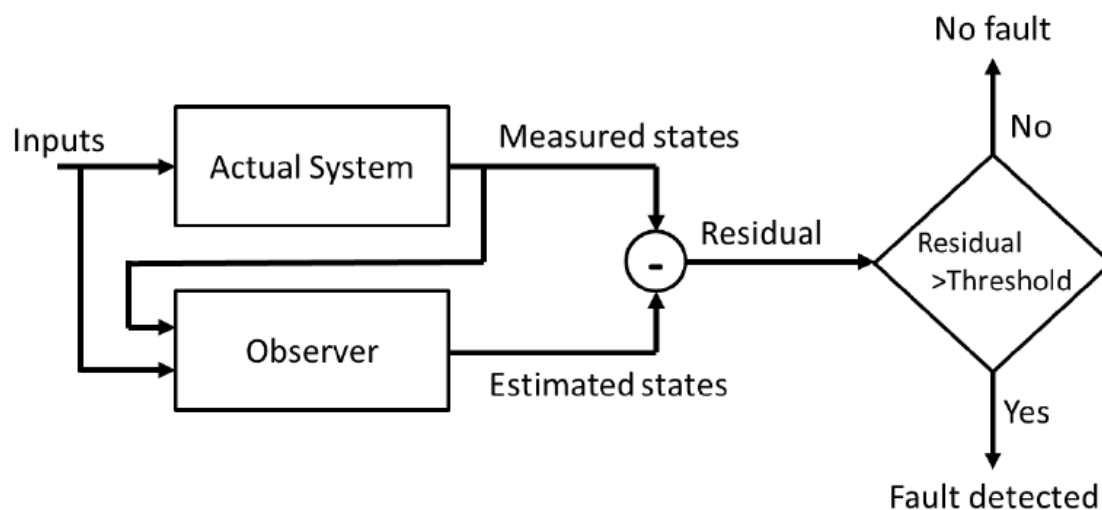
- روش ساختار ویژه

- روش شناسایی پارامتر^۱

طراحی همه‌ی روش‌های تشخیص خطا مبتنی بر مدل با توسعه یک رویتگر، براساس مدل مناسب سیستم آغاز می‌گردد. رویتگر تخمینی از حالت‌های سیستم در شرایط عملکرد سالم فراهم می‌کند. سیگنال مانده با مقایسه حالت‌های سیستم اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده تولید می‌شود. تا زمانی که سیستم تحت شرایط عملکرد سالم کار می‌کند، تفاوت بین حالت‌های واقعی و تخمین زده شده باید از یک مقدار آستانه کمتر باشد. در صورتی که رویتگر به درستی طراحی شده باشد، زمانی که خطا رخ می‌دهد، دینامیک‌های

¹ Parameter Identification

سیستم واقعی تغییر خواهند کرد اما دینامیک‌های رویتگر بدون تغییر باقی خواهند ماند. تشخیص خطا با مقایسه مانده و حد آستانه از پیش تعریف شده انجام می‌شود. [۱۷]



[۱۷] شکل (۲-۸) تشخیص خطا مبتنی بر مدل

۲- روش مبتنی بر داده:

بطور کلی داده‌های سیگنال ورودی/ خروجی بطور مستقیم برای بررسی فرآیند مورد استفاده قرار می‌گیرد و اساسا هیچ گونه شناختی از ساختار فیزیکی و معادلات ریاضی حاکم به سیستم در دسترس نیست و سیستم کاملا به صورت جعبه سیاه فرضی می‌شود. [۱۴]

۲-۴ تشخیص خطای حسگر [۱۵]:

معمول ترین خطای حسگر عبارت است از :

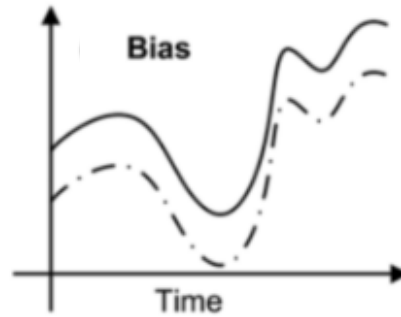
الف - حسگر فاقد خطا است در اصطلاح خطا آزاد^۱ نامیده می‌شود.

¹ Fault free

$$y_L(t) = x_L(t) \quad \forall t \geq t_0$$

ب- حسگر خطای بایاس دارد.

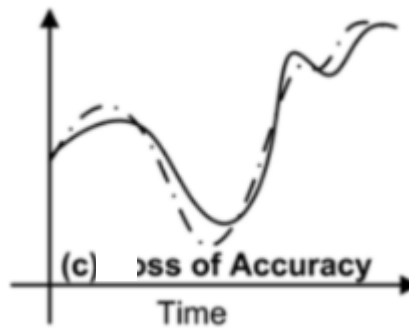
$$y_i(t) = x_i(t) + b_i \quad b_i(t) = 0 \quad b_i(t_{Fi}) \neq 0$$



شکل (۹-۲) حسگر با خطای بایاس [۱۵]

پ- حسگر دچار مشکل «از دست دادن بهره وری» شده است.

$$y_i(t) = x_i(t) + b_i(t) \quad |b_i(t)| \leq \bar{b}_i \quad \dot{b}_t(t) \in L^\infty$$

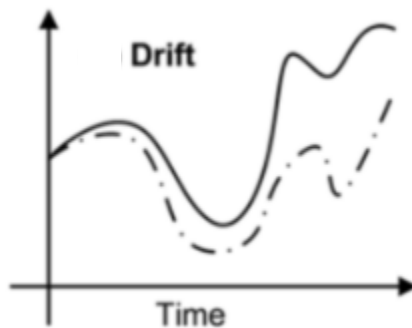


شکل (۱۰-۲) حسگر با خطای از دست دادن بهره وری [۱۵]

ت- حسگر دارای خطای دریفت^۱ است.

^۱ Drift

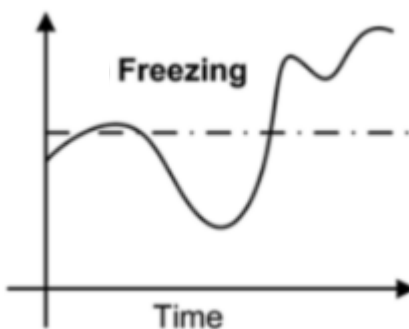
$$y_i(t) = x_i(t) + b_i(t) \quad |b_i(t)| = c_i t \quad 0 < c_i \ll 1 \quad \forall t \geq t_{fi}$$



شکل (۱۱-۲) حسگر با خطای دررفت [۱۵]

ث- در این حالت خروجی از ورودی تاثیر نمی‌پذیرد و در یک مقدار ثابت باقی می‌ماند که در اصطلاح انجماد حسگر^۱ می‌گویند.

$$y_i(t) = x_i(t_{fi}) \quad \forall t \geq t_{fi}$$



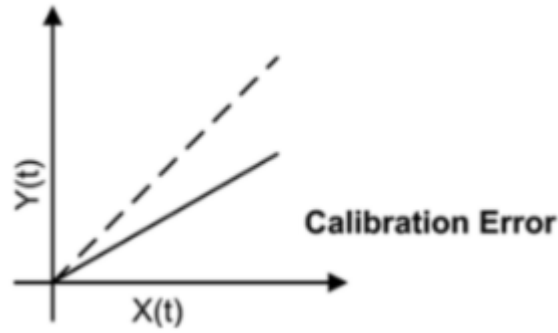
شکل (۱۲-۲) در حالت انجماد حسگر [۱۵]

ج- در این حالت حسگر دارای خطای کالیبراسیون^۲ می‌باشد.

¹ sensor freezing

² calibration error

$$y_i(t) = k_i(t)x_i \quad 0 < \bar{k} \leq k_i(t) \leq 1 \quad \forall t \geq t_{fi}$$



شکل (۲-۱۳) حسگر دارای خطای کالیبراسیون [۱۵]

که t_{fi} زمان وقوع خطا در i امین حسگر و b_i ضریب دقت بطوریکه $b_i \in [-\bar{b}_i, \bar{b}_i]$ که $\bar{b}_i > 0$ علاوه بر این $k_i \in [\bar{k}_i, 1]$ که $\bar{k}_i > 0$ حداقل اثر بخشی حسگر می باشد. ما می توانیم موارد بالا را به جز مورد انجماد حسگر با حالت کلی ریاضی زیر نشان دهیم :

$$y = k_m x + B$$

که k_m ماتریس قطری معین مثبت که عناصر آن به آهستگی از $[\bar{k}_i, 1]$ تغییر می کنند و عناصر بردار B نیز به آهستگی از $[-\bar{b}_i, \bar{b}_i]$ تغییر می کنند. [۱۵]

فصل سوم

توربین بادی

۳-۱ مقدمه:

امروزه با رشد روز افزون مصرف انرژی استفاده از سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها جهت تولید انرژی الکتریکی رو به افزایش است. با توجه به تولید آلاینده‌های زیست محیطی توسط نیروگاه‌ها و نیاز روز افزون به انرژی الکتریکی ضرورت تولید انرژی الکتریکی با روش‌های نوین و بدون تولید آلاینده‌های زیست محیطی بیشتر مد نظر مدیریت کلان تولید انرژی قرار می‌گیرد. یکی از گونه‌های انرژی که جهت تولید نیروی الکتریسیته مورد استفاده قرار می‌گیرد انرژی بادی است. با توجه به اینکه انرژی بادی جزء انرژی‌های تجدید پذیر می‌باشد و تبدیل آن به انرژی الکتریکی با راندمان بالا و استهلاک پایین صورت می‌پذیرد. در نتیجه استفاده از انرژی بادی جهت تولید انرژی الکتریکی مقرون به صرفه می‌باشد. [۱۸]

۳-۲ تاریخچه:

انرژی باد با ساخت ماشین‌های اولیه بادی در روزگار قدیم مورد استفاده قرار گرفت. احتمالاً نخستین ماشین‌های بادی توسط یونانیان ساخته شده است. مصری‌ها، رومی‌ها و چینی‌ها برای قایقرانی و آبیاری از انرژی باد استفاده کرده اند. بعدها استفاده از توربین‌های بادی با محور قائم در سراسر کشورهای اسلامی معمول شد. سپس دستگاه‌های بادی با محور قائم با میله‌های چوبی توسعه یافت به طوریکه در اواسط قرن نوزدهم در حدود ۹ هزار ماشین بادی به منظورهای گوناگون مورد استفاده قرار می‌گرفت. [۱۸]

۳-۳ سیر تحولی و رشد استفاده از انرژی بادی:

باد یکی از مظاهر انرژی خورشیدی و همانند هوای متحرک است. و پیوسته قسمت کوچکی از تابش خورشید که از خارج به اتمسفر می‌رسد، به انرژی باد تبدیل می‌شود. گرم شدن زمین و جو آن به طور نامساوی و غیر یکنواخت سبب تولید جریان‌های همرفت می‌شود و نیز حرکت نسبی جو زمین عامل تولید باد می‌گردد.

دو درصد از انرژی خورشید که به زمین می‌رسد به باد تبدیل می‌گردد. ۳۵٪ انرژی باد در ضخامت یک کیلومتری از سطح زمین موجود است. محاسبات نشان می‌دهد، که برای تمام سیاره زمین، انرژی موجود 10.3×10^{14} وات بر مترمربع است که بیست برابر انرژی مصرفی فعلی دنیا می‌باشد. [۱۸]

۳-۴ توربین‌های بادی:

انرژی باد نظیر سایر منابع انرژی تجدید پذیر، بطور گسترده ولی پراکنده در دسترس می‌باشد. تابش نامساوی خورشید در عرض‌های مختلف جغرافیایی به سطح ناهموار زمین باعث تغییر دما و فشار شده و در نتیجه باد ایجاد می‌شود. به علاوه اتمسفر کره زمین به دلیل چرخش، گرما را از مناطق گرمسیری به مناطق قطبی انتقال می‌دهد که باعث ایجاد باد می‌شود. انرژی باد طبیعتی نوسانی و متناوب داشته و وزش دائمی ندارد.

از انرژی‌های بادی جهت تولید الکتریسیته و نیز پمپاژ آب از چاه‌ها و رودخانه‌ها، آرد کردن غلات، کوبیدن گندم، گرمایش خانه و مواردی نظیر اینها می‌توان استفاده نمود. استفاده از انرژی بادی در توربین‌های بادی که به منظور تولید الکتریسته بکار گرفته می‌شوند از نوع توربین‌های سریع محور افقی می‌باشند. هزینه ساخت یک توربین بادی با قطر مشخص، در صورت افزایش تعداد پره‌ها زیاد می‌شود. [۱۸]

۳-۵ توربین‌های بادی چگونه کار می‌کنند؟

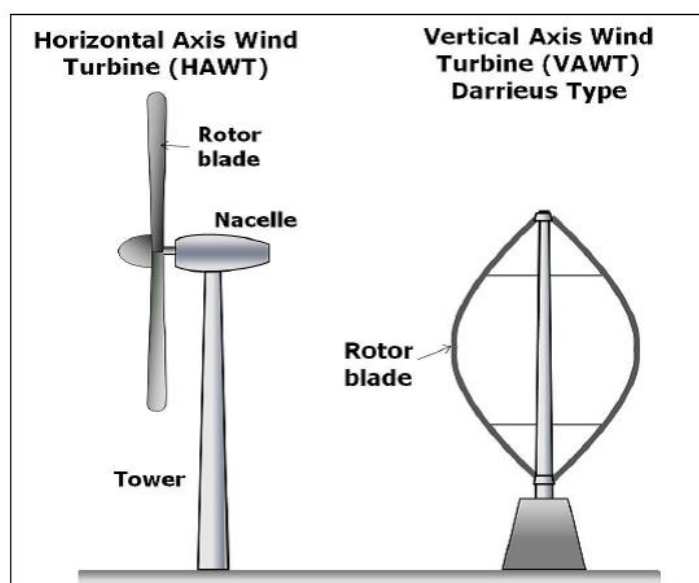
توربین‌های بادی انرژی جنبشی باد را به توان مکانیکی تبدیل می‌نمایند و این توان مکانیکی از طریق شفت به ژنراتور انتقال پیدا کرده و در نهایت انرژی الکتریکی تولید می‌شود. توربین‌های بادی بر اساس یک اصل ساده کار می‌کنند. انرژی باد دو یا سه پره‌ای را که به دور روتور توربین بادی قرار گرفته‌اند را به چرخش در می‌آورد. روتور به یک شفت مرکزی متصل می‌باشد که با چرخش آن ژنراتور نیز به چرخش در آمده و الکتریسیته تولید می‌شود. [۱۸]

توربین‌های بادی بر روی برج‌های بلندی نصب شده‌اند تا بیشترین انرژی ممکن را دریافت کنند بلندی این برج‌ها به ۳۰ تا ۴۰ متر بالاتر از سطح زمین می‌رسند. توربین‌های بادی در بادهایی با سرعت کم یا زیاد و در طوفان‌ها کاملاً مفید می‌باشند. [۱۸]

توربین‌های بادی مدرن به دو شاخه اصلی می‌شوند:

۱- توربین‌های با محور افقی^۱

۲- توربین‌های با محور عمودی^۲



۳-۱ توربین بادی مدرن

¹ Horizontal Axis Wind Turbine

² Vertical Axis Wind Turbine

داخل توربین بادی به چه صورت می‌باشد:

۱ - باد سنج^۱: این وسیله سرعت باد را اندازه گرفته و اطلاعات حاصل از آنرا به کنترل کننده‌ها انتقال می‌دهد.

۲ - پره‌ها^۲: بیشتر توربین‌ها دارای دو یا سه پره می‌باشند. وزش باد بر روی پره‌ها باعث بلند کردن و چرخش پره‌ها می‌شود.

۳ - ترمز^۳: از این وسیله برای توقف روتور در مواقع اضطراری استفاده می‌شود. عمل ترمز کردن می‌تواند بصورت مکانیکی، الکتریکی یا هیدرولیکی انجام گیرد.

۴ - کنترلر^۴: کنترلرها وقتی که سرعت باد به ۸ تا ۱۶ mph می‌رسد ماشین را راه اندازی می‌کنند و وقتی سرعت از ۶۵ mph بیشتر می‌شود دستور خاموش شدن ماشین را می‌دهند. این عمل از آن جهت صورت می‌گیرد که توربین‌ها قادر نیستند زمانی که سرعت باد به ۶۵ mph می‌رسد حرکت کنند زیرا ژنراتور به سرعت به حرارت بسیار بالایی خواهد رسید.

۵ - گیربکس^۵: چرخ دنده‌ها به شفت سرعت پایین متصل هستند و آنها از طرف دیگر همانطور که در شکل مشخص شده به شفت با سرعت بالا متصل می‌باشند و افزایش سرعت چرخش از ۳۰ تا ۶۰ rpm به سرعتی حدود ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ rpm را ایجاد می‌کنند. این افزایش سرعت برای تولید برق توسط ژنراتور الزامی است. هزینه ساخت گیربکس‌ها بالاست درضمن گیربکس‌ها بسیار سنگین هستند. مهندسان در حال انجام

¹ Anemometer

² Blades

³ Brake

⁴ Controller

⁵ Gear box

تحقیقات گسترده‌ای می‌باشند تا درایوهای مستقیمی کشف نماید و ژنراتورها را با سرعت کمتری به چرخش درآورند تا نیازی به گیربکس نداشته باشند.

۶-ژنراتور^۱: که وظیفه آن تولید برق متناوب می‌باشد.

۷-شفت با سرعت بالا^۲: که وظیفه آن به حرکت در آوردن ژنراتور می‌باشد.

۸-شفت با سرعت پای^۳: روتور حول این محور چرخیده و سرعت چرخش آن ۳۰ تا ۶۰ دور در دقیقه می‌باشد.

۹-روتور^۴: بال‌ها و هاب به روتور متصل هستند.

۱۰-برج^۵: برج‌ها از فولادهایی که به شکل لوله درآمده‌اند ساخته می‌شوند. توربین‌هایی که بر روی برج‌هایی با ارتفاع بیشتر نصب شده‌اند انرژی بیشتری دریافت می‌کنند.

۱۱-جهت باد^۶: توربین‌هایی که از این فن‌آوری استفاده می‌کنند در خلاف جهت باد نیز کار می‌کنند در حالی که توربین‌های معمولی فقط جهت وزش باد به پره‌های آن باید از روبرو باشد.

۱۲-باد نما^۷: وسیله‌ای است که جهت وزش باد را اندازه‌گیری می‌کند و کمک می‌کند تا جهت توربین نسبت به باد در وضعیت مناسبی قرار داشته باشد.

¹ Generator

² High-speed shaft

³ Low-speed shaft

⁴ Rotor

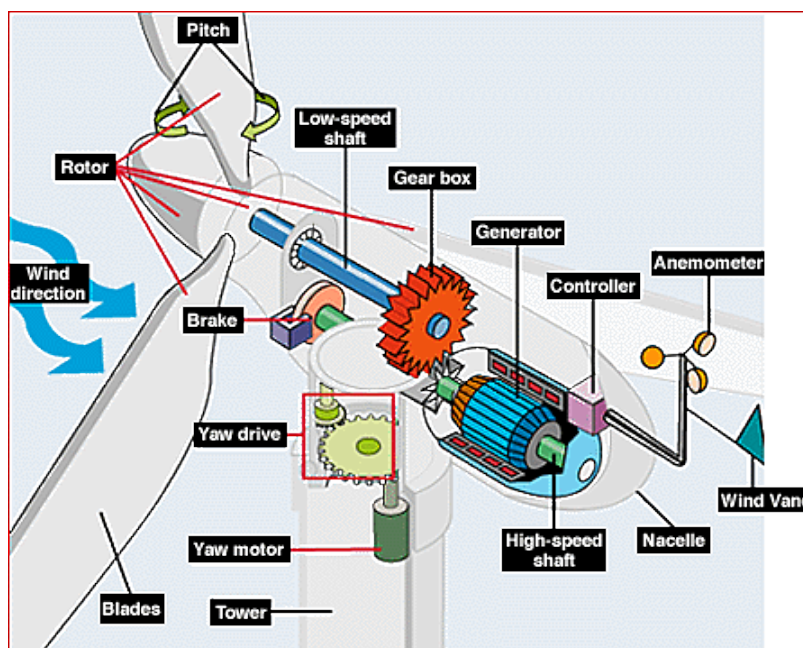
⁵ Tower

⁶ Wind direction

⁷ Wind vane

۱۳- **دراپور انحراف**^۱: وسیله ایست که وضعیت توربین را هنگامی که باد در خلاف جهت می‌وزد کنترل می‌کند و زمانی استفاده می‌شود که قرار است روتور در مقابل وزش باد از روبرو قرار گیرد اما زمانی که باد در جهت توربین می‌وزد نیازی به استفاده از این وسیله نمی‌باشد.

۱۴- **موتور انحراف**^۲: برای به حرکت در آوردن دراپو انحراف مورد استفاده قرار می‌گیرد. [۱۸]



شکل (۲-۳) بخش‌های توربین بادی افقی

ژنراتور مهمترین بخش توربین است از این رو باید قابلیت اطمینان آن تضمین شود. خطاهای ممکن در این سیستم شامل حسگر ژنراتور سرعت و سرعت چرخشی توربین است.

¹ Yaw drive

² Yaw motor

۳-۶ دینامیک‌های توربین بادی:

دینامیک سیستم به صورت زیر است: [۲۰]

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + W_I$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (۱ - ۳)$$

که:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{k_\omega \omega_t - f_T}{J_T} & 0 & \frac{-1}{J_T} \\ 0 & \frac{f_G}{J_G} & \frac{1}{J_G} \\ d + \frac{k(k_\omega \omega_t - f_T)}{J_T} & \frac{k}{J_G} f_G & \left(\frac{k}{J_T} - \frac{k}{J_G} \right) \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{J_G} & \frac{k}{J_G} \end{bmatrix}^T$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$x(t) = \begin{bmatrix} \omega_t & \omega_G & T_G \end{bmatrix}$$

$$W_I^T = \begin{bmatrix} \chi \cdot V & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (۲ - ۳)$$

u بردار ورودی، V سرعت توربین، x بردار حالت، W_I^T اغتشاش باد، $\chi = 0.1$ واریانس جز تصادفی از

تغییر باد، ω_G سرعت چرخشی ژنراتور، J_T و J_G به ترتیب اینرسی توربین و ژنراتور، f_T و f_G ضریب

اصطکاک محور در روتور و ژنراتور، d ضریب میرایی، k ضریب سختی، T_G گشتاور الکترومغناطیسی،

$T_{G,ref}$ مرجع گشتاور الکترومغناطیسی، T_{aero} گشتاور آیرودینامیکی و ضریب آیرودینامیکی به صورت

زیر تعریف می‌شود:

$$k_\omega = \frac{-1}{2} \rho \pi L^5 \frac{C_p}{\lambda^5} \quad (۳ - ۳)$$

مقدار عددی پارامترهای سیستم در جدول زیر بیان شده است:

Rated power	600 [kW]
The radius of the turbine L	35 [m]
Air density ρ	1.225 [kg /m3]
Rated wind speed	12.35 [m/s]
Cut-in speed	4 [m/s]
Cut-out speed	25 [m/s]
The stiffness coefficient k	16.8570 N.ms/rad
The shaft damping d	3324.2 N.ms/rad
The generator inertia J_G	63.857 kg.m2
The turbine inertia J_T	82988 kg.m2
The friction coefficient f_T	0.3071 kg.m /s
The friction coefficient f_G	399.1060 kg.m /s

شکل (۳-۳) مقدار عددی پارامترهای سیستم [۲۰]

با قرار دادن پارامترهای سیستم با توجه به شکل (۳-۳) داریم:

$$A_1 = \begin{bmatrix} -0.1995 & 0 & -1.205 * 10^{-5} \\ 0 & 6.51 & 0.01566 \\ 3321 & 101.3 & -0.2536 \end{bmatrix}$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} -0.0083 & 0 & -1.205 * 10^{-5} \\ 0 & 6.51 & 0.01566 \\ 3324.1 & 101.3 & -0.2536 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = B_2 = [0 \quad -0.01566 \quad 0.2538]^T$$

$$C = [0 \quad 1 \quad 0] \quad (۴-۳)$$

فصل چهارم

تشخیص خطا مبتنی بر مدل فازی

۴-۱ مدل فازی تاکاگی - سوگنو^۱ [۲۰]:

مدل فازی تاکاگی - سوگنو خواص دینامیکی سیستم غیر خطی را با قوانین فازی که دارای سیستم‌های خطی در قسمت نتیجه می‌باشد، توصیف می‌کند.

فرض کنید r تعداد قوانین فازی باشد، داریم:

: قانون i ام

IF $f_1(x(t))$ is N_1^i AND AND $f_\theta(x(t))$ is N_θ^i

Then $\dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t)$

$$y(t) = C_i (x(t)) \quad (۴ - ۱)$$

که $x(t) \in R^{n \times 1}$ بردار حالت، $u(t) \in R^{m \times 1}$ بردار ورودی، $y(t) \in R^{g \times 1}$ بردار خروجی، $A_i \in R^{n \times n}$ ، $C_i \in R^{g \times n}$ و $B_i \in R^{n \times m}$ ماتریس‌های ثابت سیستم هستند.

$f_1(x(t))$ ،، $f_\theta(x(t))$ متغیرهای مقدم، N_α^i مجموعه فازی قانون i ام مربوط به تابع $f_\alpha(x(t))$ ، $\alpha = 1, \dots, \theta$ و $i = 1, \dots, r$ یک عدد مثبت صحیح است.

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r \mu_i (f(t)) [A_i x(t) + B_i u(t)]$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^r \mu_i (f(t)) C_i x(t) \quad (۴ - ۲)$$

¹ Takagi-sugeno (TS)

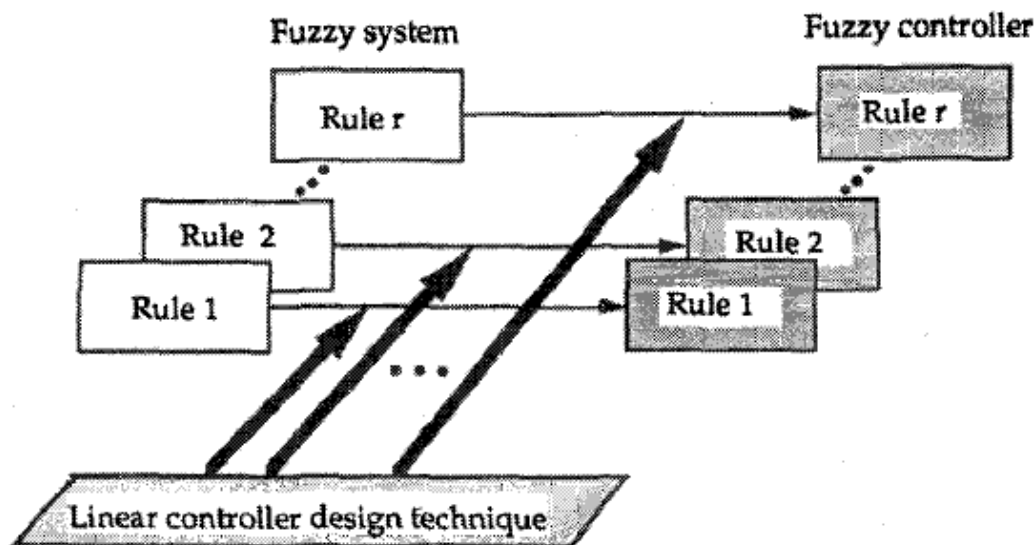
$$\mu_i f(t) = \frac{h_i(x(t))}{\sum_{i=1}^r h_i(x(t))} \quad h_i(x(t)) = \prod_{\alpha=1}^{\theta} N_{\alpha}^i x(t) \quad (3-4)$$

$\mu_i f(t)$ ارزش درستی برای متغیر مقدم $f(t)$ و $\mu_i f(t)$ محدودیت‌های زیر را برآورده می‌کند:

$$0 \leq \mu_i(f(t)) \leq 1 \quad \sum_{i=1}^r \mu_i(f(t)) = 1 \quad \forall \quad i=1,2,\dots,r \quad (4-4)$$

۲-۴ جبران توزیع موازی (PDC)^۱ [۲۱]:

ما از جبران توزیع موازی برای طراحی کنترل کننده های فازی به منظور پایدارسازی سیستم فازی استفاده می‌کنیم. ایده این روش طراحی یک جبران ساز برای هر قانون مدل فازی است. برای هر قانون، ما می‌توانیم از تکنیک‌های طراحی کنترل خطی استفاده کنیم. در نتیجه کنترل کننده فازی نهایی، که در کل غیر خطی است. ترکیب فازی از هر کنترل کننده خطی منحرفرد می‌باشد. شکل زیر مفهوم جبران توزیع موازی را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۴) مفهوم جبران توزیع موازی [۲۱]

¹ Parallel Distributed Compensation (PDC)

۳-۴ کنترل کننده غیرخطی [۲۰]:

برای مدل فاز (۴ - ۱) ما کنترل کننده فاز با روش PDC می‌سازیم و فرض می‌کنیم که سیستم فاز (۴ - ۱) به طور محلی کنترل پذیرست. یک فیدبک حالت توسط ماتریس نایبرابری خطی^۱ برای طراحی کنترلر برای هر زیر سیستم استفاده می‌شود.

: قانون نام کنترلر

IF $g_1(x(t))$ is M_1^j AND ... AND $g_\Omega(x(t))$ is M_Ω^j

Then $u(t) = -G_j x(t)$ (۴ - ۴)

که M_B^j یک مجموعه فاز قانون i مربوط به تابع $(g_B(x(t)))$ ، $\beta = 1, \dots, \Omega$ ، $j = 1, 2, \dots, c$ و Ω یک عدد صحیح مثبت و $G_j \in R^{m \times n}$ بردار بهره فیدبک j ، c تعداد قوانین. سپس خروجی نهایی کنترلر فاز:

$$u(t) = - \sum_{j=1}^c m_j(g(t)) G_j (x(t)) \quad (۵ - ۴)$$

$$m_j(g(t)) = \frac{q_j(x(t))}{\sum_{i=1}^c q_i(x(t))} \quad q_j(x(t)) = \prod_{\beta=1}^{\Omega} M_\beta^j(g(t)) \quad (۶ - ۴)$$

$$0 \leq m_j(g(t)) \leq 1 \quad \sum_{i=1}^r m_i(g(t)) = 1 \quad \forall \quad i=1,2,\dots,r \quad (۷ - ۴)$$

¹ Linear Matrix Inequalities (LMI)

از معادله (۴-۲) و (۴-۵) سیستم کنترل فازی هست:

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \mu_i(f(t)) m_j(g(t)) (A_i - B_i G_j) x(t) \quad (۴-۸)$$

۴-۴ مدل رویتگر فازی [۲۵]:

در این بخش روش طراحی رویتگر فازی شامل تخمین حالت برای مدل فازی TS ارائه می‌شود. از آنجایی که همه‌ی حالت‌ها را نمی‌توان اندازه‌گیری کرد از این رو طراحی یک رویتگر فازی به منظور پیاده‌سازی کنترلر فازی (۴-۵) ضروری است. و فرض می‌کنیم که مدل سیستم فازی (۴-۱) به طور کلی رویت پذیر است. رویتگرهای فازی باید شرایط زیر را برآورده کنند:

$$x(t) - \hat{x}(t) \rightarrow 0 \quad \text{as} \quad t \rightarrow \infty \quad (۴-۹)$$

که $\hat{x}(t)$ تخمین بردار حالت توسط رویتگر فازی است. این شرایط تضمین می‌کند که خطای حالت ماندگار بین $x(t)$ و $\hat{x}(t)$ به صفر میل کند.

: قانون لام رویتگر

IF $F_1(x(t))$ is N_1^i AND ... AND $F_\theta(x(t))$ is N_θ^i

Then $\hat{x}(t) = A_i \hat{x}(t) + B_i u(t) + L_i(y(t)) - \hat{y}(t)$

$$\hat{y}(t) = C_i \hat{x}(t) \quad i = 1, 2, \dots, r \quad (۴-۱۰)$$

که $i = 1, \dots, r$, L_i ماتریس خطای رویت و $y(t)$ و $\hat{y}(t)$ به ترتیب خروجی سیستم فازی و رویتگر فازی هستند.

$f_1(x(t)), \dots, f_r(x(t))$ به متغیرهای حالت تخمین زده شده توسط رویتر فازای وابسته نیست، داریم:

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r \mu_i (f(t)) [A_i x(t) + B_i u(t) + L_i (y(t) - \hat{y}(t))]$$

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=1}^r \mu_i (f(t)) C_i x(t) \quad (4-11)$$

ما از همان وزن $h_i(x(t))$ تعریف شده در 4-1 استفاده می‌کنیم. ساختار رویتر فازای در شکل 4-1 نشان داده شده است. با توجه به معادله (4-4) و (4-5) و حالت تخمین زده شده ما کنترلر فازای زیر را بدست می‌آوریم:

: قانون کنترلر

IF $g_1(x(t))$ is M_1^j AND ... AND $g_\Omega(x(t))$ is M_Ω^j

Then $u(t) = -G_j \hat{x}(t) \quad j=1,2,\dots,c \quad (4-12)$

و خروجی کنترلر فازای بصورت:

$$u(t) = - \sum_{j=1}^c m_j(g(t)) G_j (\hat{x}(t)) \quad (4-13)$$

به ترتیب با جایگزینی (4-13) در (4-2) و (4-11) و $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ مل بدست می‌آوریم:

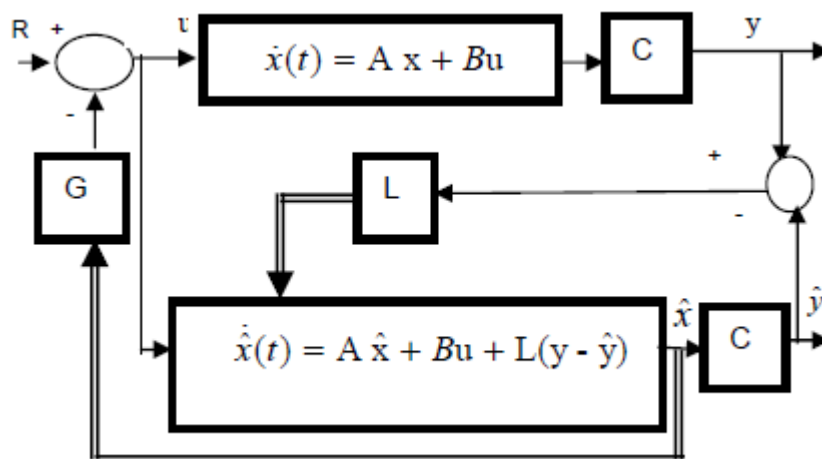
$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \mu_i m_j ((A_i - B_i G_j) x(t) + B_i G_j e(t))$$

$$\dot{e}(t) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \mu_i m_j (A_i - L_i C_j) e(t) \quad (۴-۱۴)$$

بنابراین :

$$\dot{x}_a(t) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \mu_i m_j F_{ij} x_a(t)$$

$$x_a(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ e(t) \end{bmatrix} \quad F_{ij} = \begin{bmatrix} A_i - B_i G_j & B_i G_j \\ 0 & A_i - L_i C_j \end{bmatrix} \quad (۴-۱۵)$$



شکل (۴-۲) ساختار رویتگر فازی [۲۰]

۴-۵ تولید مانده [۲۰]:

سیگنال مانده می‌تواند با مقایسه مقدار اندازه گیری شده و تخمین زده شده خروجی‌ها تولید شود.

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

$$\begin{cases} \|r(t)\| \leq Th & \text{Normal} \\ \|r(t)\| > Th & \text{Fault} \end{cases} \quad (۴-۱۶)$$

که ${}^1\text{Th}$ مقدار آستانه است.

۴-۶ آنالیز پایداری [۲۵]:

ابتدا معادله (۴-۱۵) را به صورت زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \dot{x}_a(t) = & \sum_{i=1}^r \mu_i(f(t)) m_j(g(t)) F_{ii} x_a(t) \\ & + 2 \sum_{i < j}^r \mu_i(f(t)) m_j(g(t)) \left\{ \frac{F_{ij} + F_{ji}}{2} \right\} x_a(t) \end{aligned} \quad (4-17)$$

قضیه: با فرض اینکه تعداد قوانین دو تا باشد، نقطه تعادل سیستم کنترل فازی پیوسته توصیف شده با معادله (۴-۱۷) پایدار مجانبی است اگر وجود داشته باشد، یک ماتریس معین مثبت P و یک ماتریس نیمه معین مثبت Q بطوریکه:

$$F_{ii}^T P + P F_{ii} + Q < 0 \quad (4-18)$$

$$\left(\frac{F_{ij} + F_{ji}}{2} \right)^T P + P \left(\frac{F_{ij} + F_{ji}}{2} \right) - Q \leq 0 \quad i < j \quad (4-19)$$

برای همه i و j به جز جفت‌های (i, j) بطوریکه:

$$\mu_i(f(t)) m_j(g(t)) = 0$$

از شرایط پایداری قضیه فوق و روش ماتریس خطی نابرابری (LMI) برای سیستم فازی (۴-۱۴) داریم:

$$P_1 A_i^T - M_{1i}^T B_i^T + A_i P_1 - B_i M_{1i} + Y < 0 \quad (4-20)$$

$$A_i^T P_2 - C_i^T N_{2i}^T + P_2 A_i - N_{2i} C_i + Q_{22} < 0 \quad (4-21)$$

$$P_1 A_i^T - M_{1j}^T B_i^T + A_i P_1 - B_i M_{1j} - 2Y + P_1 A_j^T - M_{1i}^T B_j^T + A_j P_1 - B_j M_{1i} < 0 \quad i < j \quad (4-22)$$

¹ Threshold

$$A_i^T P_2 - C_j^T N_{2i}^T + P_2 A_i - N_{2i} C_j - 2Q_{22} + A_j^T P_2 - C_i^T N_{2j}^T + P_2 A_j - N_{2j} C_i < 0$$

$$< 0 \quad i < j \quad (۲۳ - ۴)$$

برای همه ی i و j به جز جفت های (i,j) بطوریکه:

$$\mu_i(f(t))m_j(g(t)) = 0$$

P_1, P_2 ماتریس معین مثبت و Y, Q_{22} ماتریس نیمه معین مثبت .

با برقراری شرایط فوق بهره G_i و بهره رویتگر L_i در صورت وجود طبق روابط زیر بدست می آید: [۲۴]

$$G_i = M_{1i} P_1^{-1} \quad , \quad L_i = P_2^{-1} N_{2i} \quad (۲۴ - ۴)$$

برای حل عددی و بدست آوردن ماتریس G_i و L_i از نرم افزار متلب استفاده می کنیم ، G_1 و G_2 و L_1 و L_2 به صورت زیر بدست می آید:

$$G_1 = \begin{bmatrix} -7.567008041880980e + 02 \\ -5.660174113490436e + 04 \\ 3.612913357347709e + 03 \end{bmatrix}$$

$$G_2 = \begin{bmatrix} -7.535146684568091e + 02 \\ -5.647225167122303e + 04 \\ 3.604830933242919e + 03 \end{bmatrix}$$

$$L_1 = \begin{bmatrix} 21.741923702651352 \\ 24.361996889228330 \\ 1.804437118607330e + 04 \end{bmatrix}$$

$$L_2 = \begin{bmatrix} 22.894988779960514 \\ 24.309606214375112 \\ 1.816871418187104e + 04 \end{bmatrix}$$

فصل پنجم

شبیه سازی و نتایج

در این بخش برای نشان دادن روش مطرح شده نتایج آن را بر روی مدل توربین ارائه شده در فصل سوم پیاده سازی شده بررسی می شود.

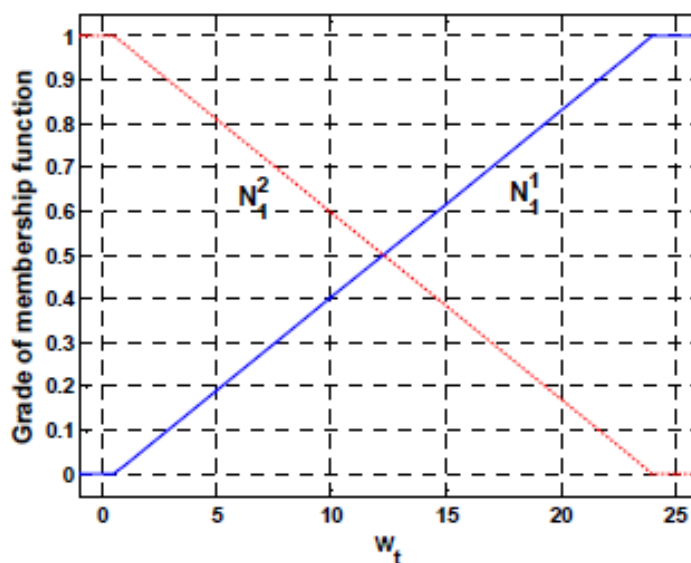
سیستم توصیف شده در فصل سوم توسط مدل فازی TS ارائه می شود و قانون فازی آن به صورت زیر بیان می شود:

If ω_t is N_1^i

Then $\dot{x}(t) = A_i x(t) + B_i u(t) + W_i$

$$y(t) = Cx(t) \quad i = 1, 2 \quad (1-5)$$

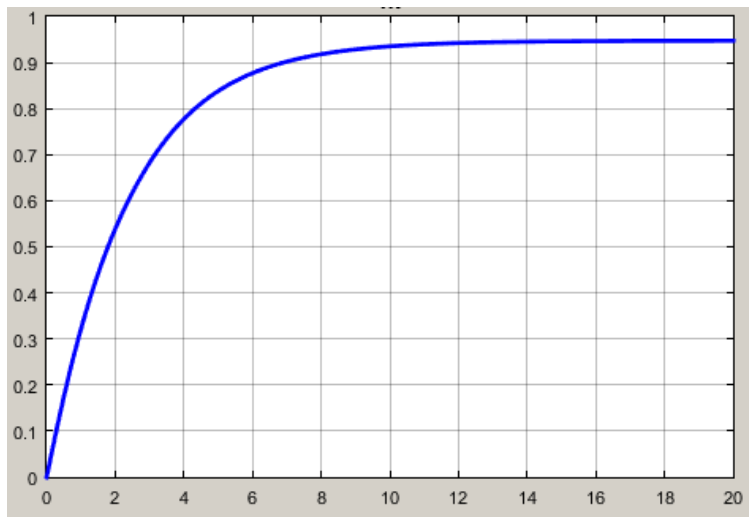
و تابع تعلق متغیر ω_t را به صورت زیر تعریف می کنیم:



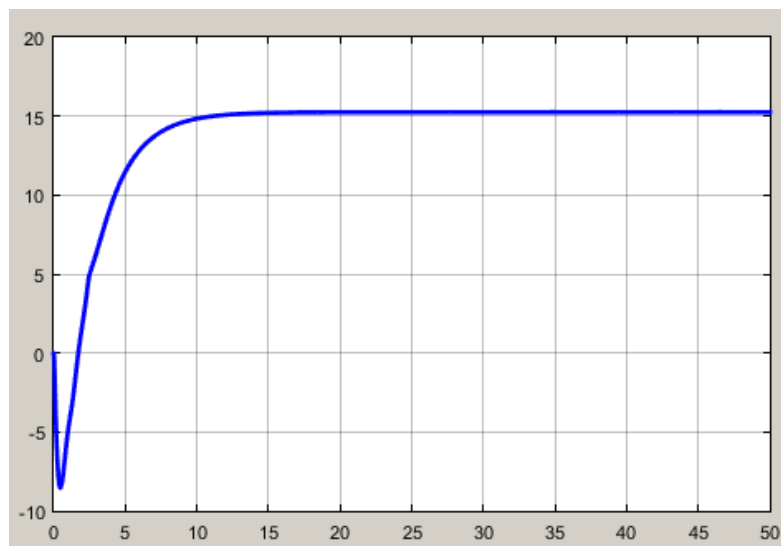
شکل (۱-۵) توابع تعلق حالت ω_t [۲۰]

نتایج شبیه سازی :

شکل (۲-۵) سرعت چرخشی توربین و شکل (۳-۵) سرعت ژنراتور و همانطور که مشاهده می‌شود حالت‌های سیستم پایدار شده‌اند.

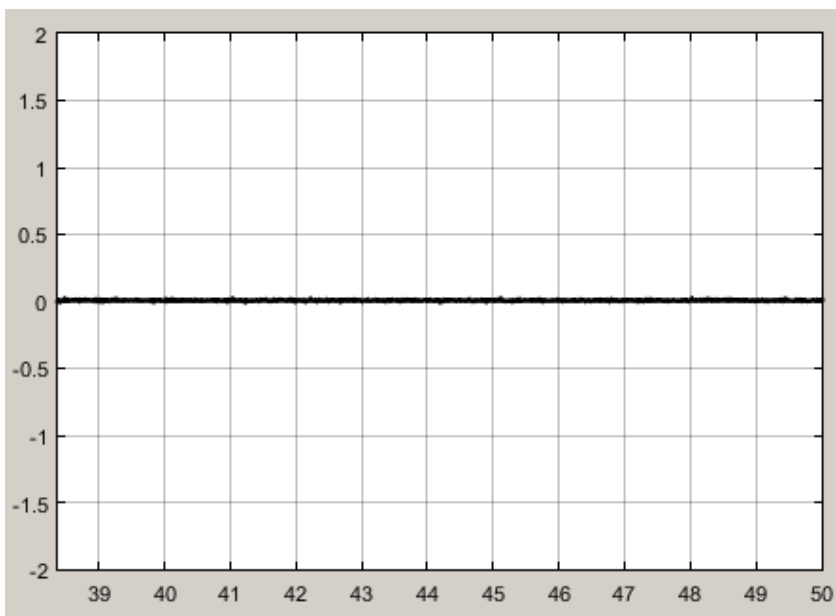


شکل (۲-۵) سرعت چرخشی توربین بدون حضور خطا



شکل (۳-۵) سرعت ژنراتور بدون حضور خطا

شکل (۴-۵) باقیمانده را بدون حضور خطا نشان می‌دهد. و در حالتی که خطایی رخ نداده است و خطا (در اینجا منظور اختلاف بین خروجی واقعی و خروجی تخمینی است) $(\text{error} = y - \hat{y})$ را به دست می‌آوریم.

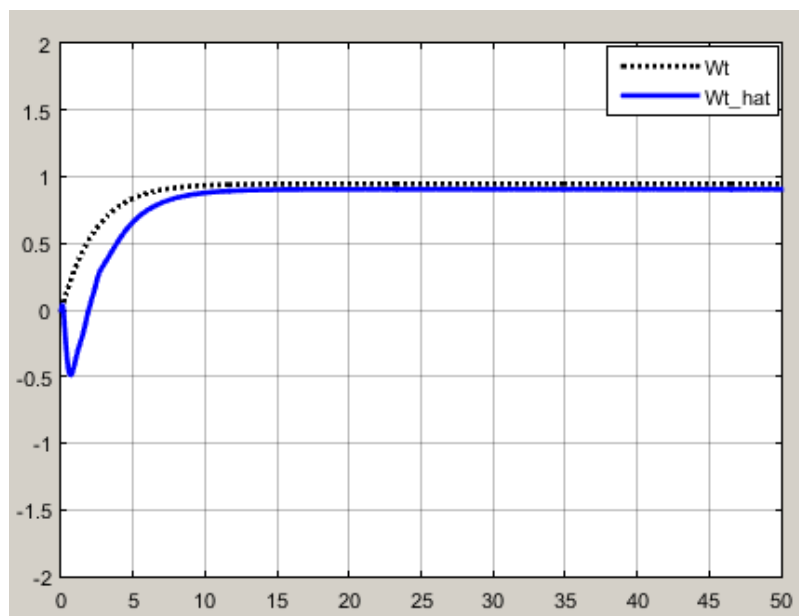


شکل (۴-۵) مانده بدون حضور خطا

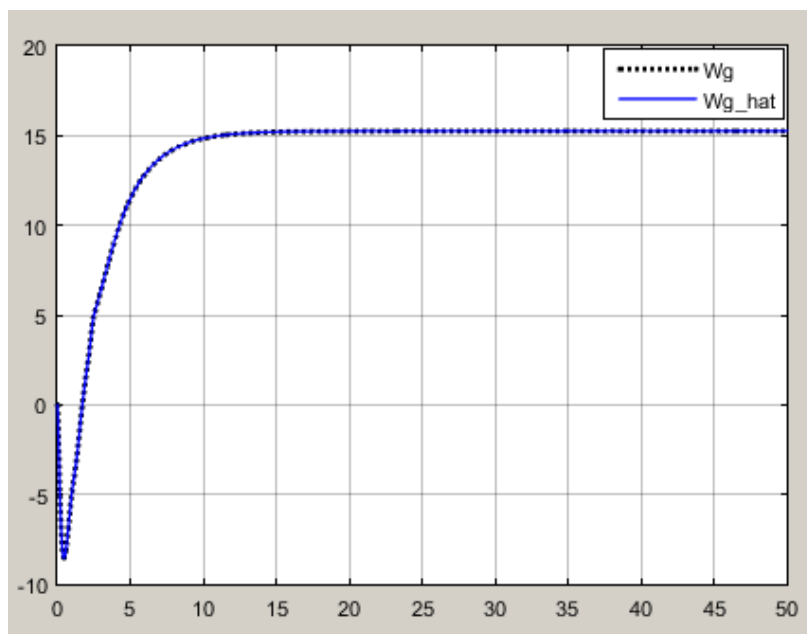
کاملاً مشخص است که برای طراحی رویتگر حالت، رویت پذیری سیستم بسیار مهم است. با توجه به تعریف رویت پذیری، سیستم ما کاملاً رویت پذیر است.

شکل (۵-۵) تخمین سرعت چرخشی توربین است و همانطور که مشاهده می‌شود پس از ثانیه نهم تخمین حالت به خوبی صورت گرفته است.

شکل (۶-۵) تخمین سرعت ژنراتور بدون حضور خطا است و همانطور که مشاهده می‌شود از همان ابتدا تخمین حالت به خوبی صورت گرفته است.

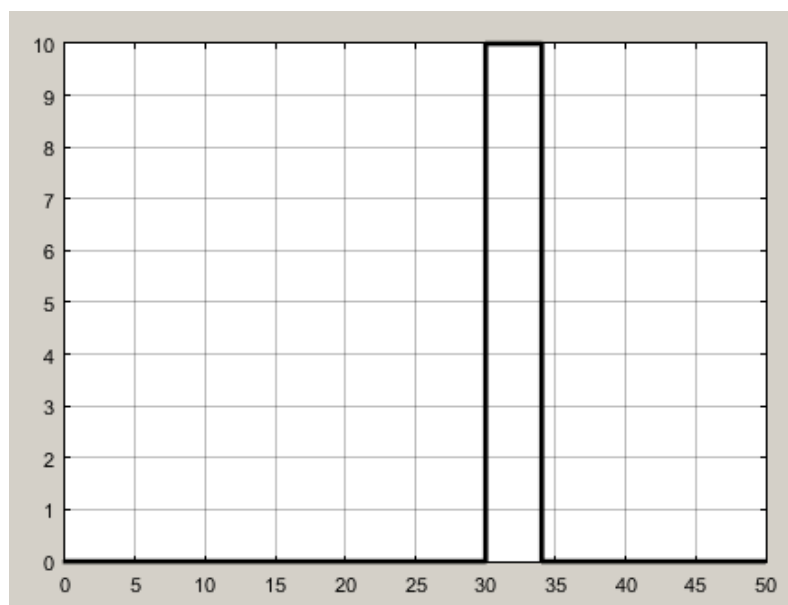


شکل (۵-۵) تخمین سرعت چرخشی توربین بدون حضور خطا



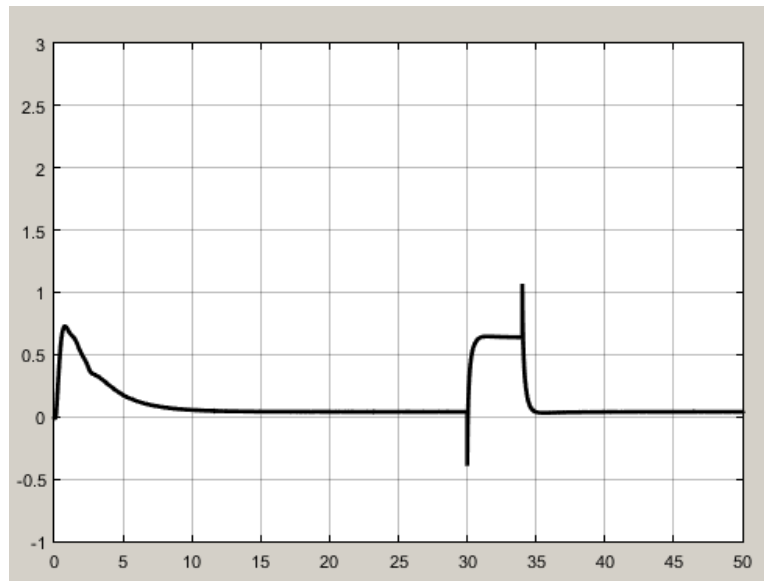
شکل (۵-۶) تخمین سرعت ژنراتور بدون حضور خطا

شکل (۷-۵) اندازه خطا در حسگر را نشان می‌دهد که بین ثانیه‌های سی ام تا سی و چهارم، به سیستم اعمال می‌شود.

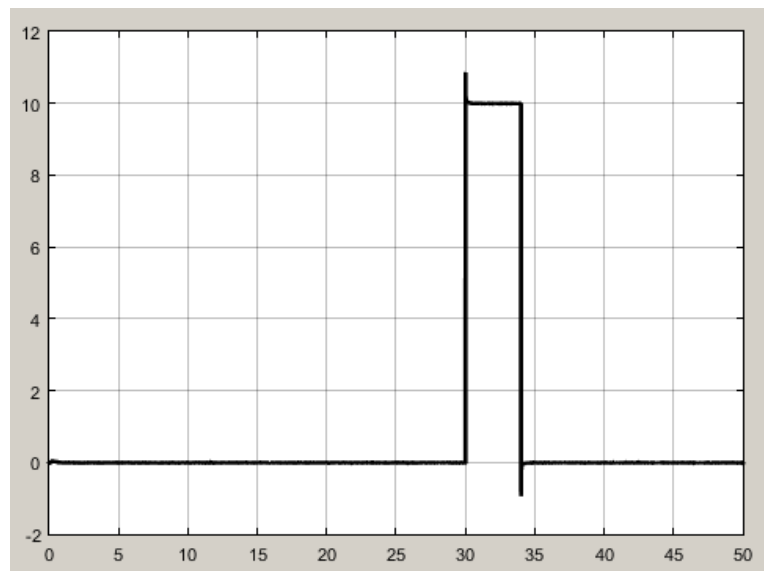


شکل (۷-۵) اندازه خطا در حسگر

با اعمال خطای (۷-۵) به حسگر شکل (۸-۵) مانده $(\omega_t - \hat{\omega}_t)$ و شکل (۹-۵) مانده $(\omega_g - \hat{\omega}_g)$ در حسگر خروجی (سرعت ژنراتور) را نشان می‌دهد همانطور که در شکل‌ها می‌بینیم خطا تقریباً صفر است مگر در زمان‌هایی که خطا وارد شده است که سریعاً به مقدار صفر بر می‌گردد. با توجه به این که این روش حساس به خطاهای ناگهانی است، همانطور که در شکل‌ها می‌بینیم، خطا بین ثانیه‌های سی ام تا سی و چهارم به ترتیب در حسگرهای اول و دوم رخ داده است و زمان آشکارسازی بسیار ناچیز می‌باشد و در این روش خطای از دست رفته وجود ندارد که از مزایای اصلی این روش است.



شکل (۸-۵) مانده ی $(\omega_t - \hat{\omega}_t)$ با اعمال خطای مربعی

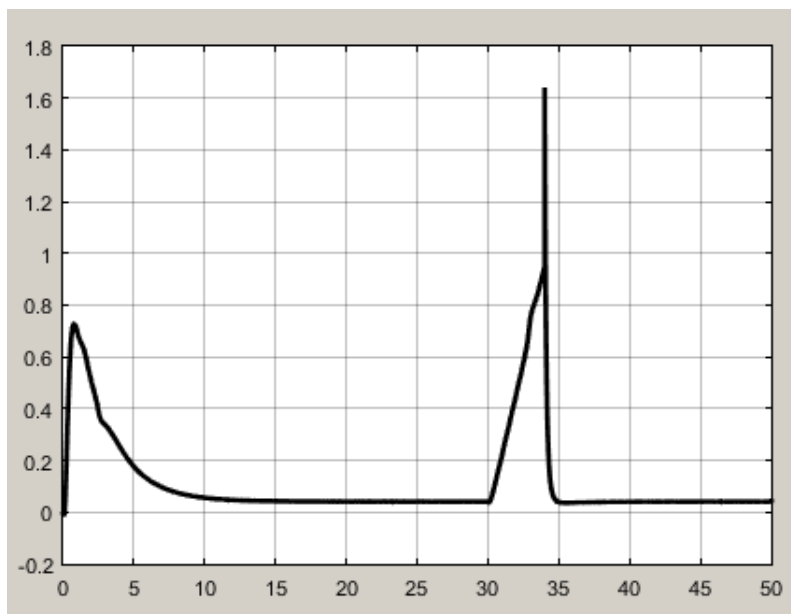


شکل (۹-۵) مانده ی $(\omega_g - \hat{\omega}_g)$ با اعمال خطای مربعی

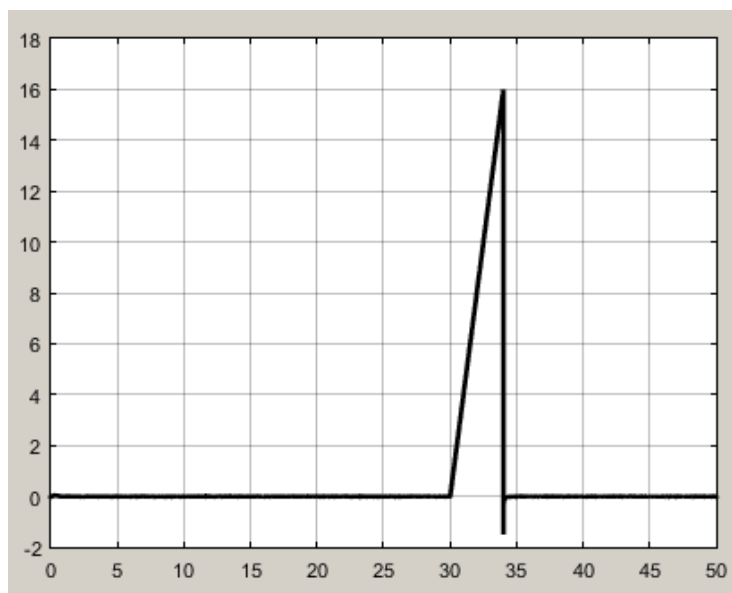
با اعمال خطای مثلی به حسگر شکل (۱۰-۵) مانده $(\omega_t - \hat{\omega}_t)$ و شکل (۱۱-۵) مانده $(\omega_g - \hat{\omega}_g)$

در حسگر خروجی (سرعت ژنراتور) را نشان می‌دهد و همانطور که مشاهده می‌شود خطا تقریباً صفر است

مگر در زمان‌هایی که خطا وارد شده است که سریعاً به مقدار صفر بر می‌گردد. می‌بینیم که بین ثانیه‌های سی تا سی و چهارم خطای نرم رخ داده است و این روش دقت بسیار بالایی دارد و سرعت آشکارسازی بسیار خوب است. زمان و مکان خطاهای رخ داده در حسگرها نمایش داده شده است.

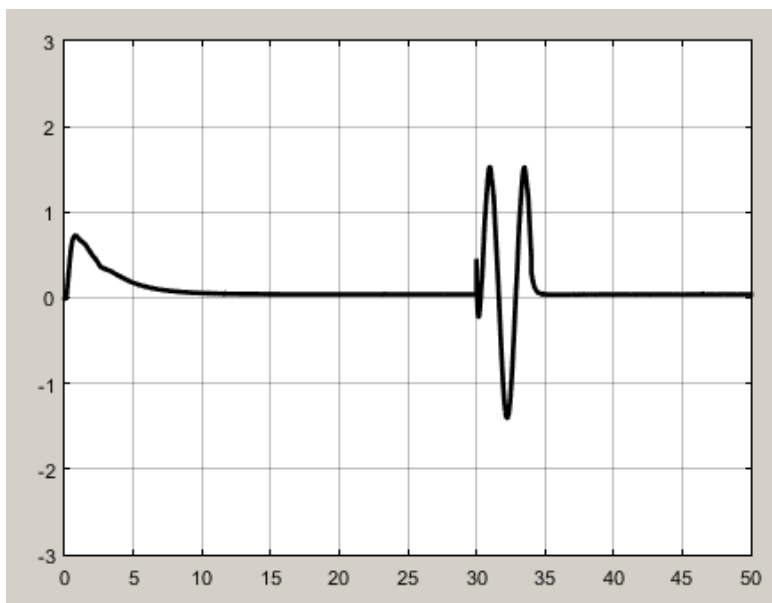


شکل (۵-۱۰) مانده ی $(\omega_t - \hat{\omega}_t)$ با اعمال خطای مثلی

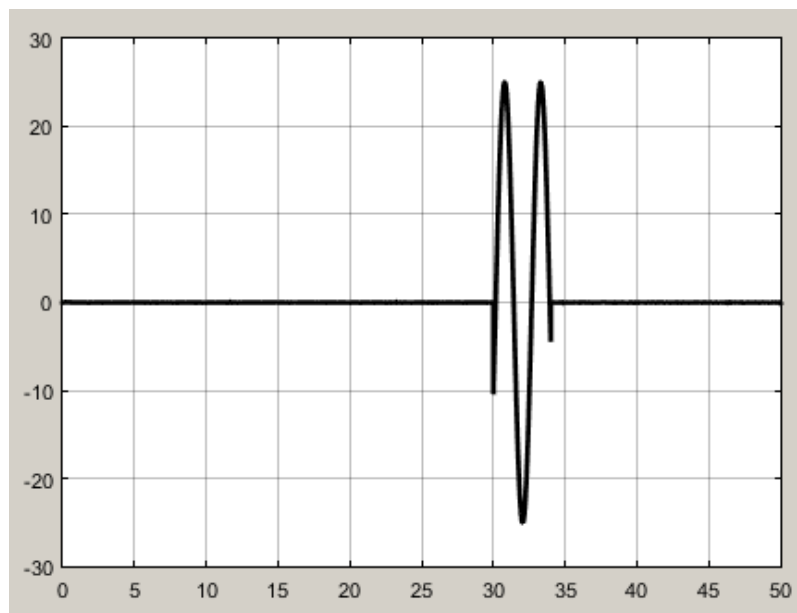


شکل (۵-۱۱) مانده ی $(\omega_g - \hat{\omega}_g)$ با اعمال خطای مثلی

با اعمال خطای سینوسی به حسگر شکل (۵-۱۲) و شکل (۵-۱۳) به ترتیب مانده های $(\omega_t - \hat{\omega}_t)$ و $(\omega_g - \hat{\omega}_g)$ در حسگر خروجی (سرعت ژنراتور) را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۱۲) مانده ی $(\omega_t - \hat{\omega}_t)$ با اعمال خطای سینوسی



شکل (۵-۱۳) مانده ی $(\omega_g - \hat{\omega}_g)$ با اعمال خطای سینوسی

بعد از تشخیص موفقیت آمیز خطا نوبت ارزیابی سیگنال های مانده است. می توان یک سیستم منطقی نشانگر خطا طراحی کرد که نشان دهد کدام حسگر معیوب است. برای جداسازی خطای حسگر بررسی می کنیم که آیا مانده از مقادیر آستانه از پیش تعریف شده تجاوز می کند یا نه. در طراحی، تجاوز از آستانه با منطق و خلاف آن با منطق نشان داده می شود.

فصل ششم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ مقایسه با کارهای گذشته:

در تحقیقات گذشته برای تشخیص و شناسایی خطا از روش‌های متعددی مانند: روش فضای برابری و روش مبتنی بر رویتگر استفاده شده است. ما در این پایان نامه از روش مبتنی بر رویتگر استفاده کرده‌ایم که این روش با توسعه یک رویتگر براساس مدل مناسب سیستم است آغاز می‌گردد. روش تشخیص خطای فضای برابری در توصیف ریاضی--وار دینامیک‌های سیستم تشخیص خطا و همچنین در الگوریتم حل مساله با تشخیص خطا مبتنی بر رویتگر تفاوت بسیاری دارد. تولید کننده مانده بر اساس فضای برابری فرم غیر بازگشتی را بکار می‌برد در حالی که تولید کننده مانده براساس رویتگر فرم بازگشتی را به کار می‌برد. در روش تشخیص خطای فضای برابری، دینامیک‌های سیگنال مانده با توجه به خطاها و ورودی‌های نامعلوم به فرم معادلات جبری ارائه می‌شوند. یکی از مشکلات در روش فضای برابری آن است که احتمال دارد خطاها با دامنه کم را تشخیص ندهد. اصول اساسی روش‌های مبتنی بر رویتگر، تخمین خروجی سیستم بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم نظارت شده با یک فیلتر یا رویتگر است و مانده، اختلاف بین خروجی‌های واقعی و تخمین زده شده است.

همچنین در تحقیقات گذشته برای تشخیص خطای سیستم که از روش مبتنی بر رویتگر فازی استفاده شده است برای آنالیز پایداری سیستم، توابع تعلق مدل فازی طوری انتخاب می‌شوند که پایداری سیستم تضمین شود، ولی در این پایان‌نامه براساس روش LMI و حل نامعادلات مربوطه توسط نرم‌افزار متلب، پایداری سیستم را تضمین کرده‌ایم. مزیت روش استفاده شده این پایان‌نامه نسبت به تحقیقات پیشین، محاسبات و روابط ریاضی ساده‌تری دارا می‌باشد که پیاده‌سازی آن راحت‌تر و سریع‌تر انجام می‌گیرد.

۶-۲ نتیجه گیری:

در این پایان نامه تشخیص خطا با توربین بادی با مدل‌های فازی مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است. در این بررسی از روش‌های PDC ، رویتگر فازی و LMI استفاده کرده‌ایم و تلاش کردیم تا با ارائه راهکاری جدید و مناسب، گامی به جلو در این مسیر برداشته شود.

۶-۳ پیشنهادات:

تشخیص و جداسازی خطا از موضوعاتی بوده که طی دهه‌های گذشته مورد توجه محققین زیادی بوده و در این پایان‌نامه نیز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و پیشنهاداتی معرفی گردیده است ولی برای ارائه راهکاری مناسب‌تر و بهتر شدن نتایج، پیشنهادات زیر بیان می‌گردد:

۱- می‌توان بجای روش PDC از روش PPDC که باعث کاهش پارامترهای کنترل می‌شود استفاده کرد.

۲- همچنین می‌توان برای پایداری و طراحی رویتگر از روش‌های بهینه‌تر دیگری استفاده کرد.

مراجع:

[1] S. Simani, S. Farsoni and P. Castaldi "Fault Diagnosis of a wind Turbine Benchmark Via Identified Fuzzy Model", 2014 IEEE Transactions on Industrial Electronics 1-8.

میرآبادی، زارعی خ، صندیزاده م. "تشخیص و شناسایی خطا در سیستم سوزن با روش الگوریتم فازی" [۲]

[3] R.Patton, P..Frank and R.Clark, "Issues of Fault Diagnosis for Dynamic System" Springer – Verlag London 2000.

[4] D. Angelo, M. Palharcs, R.M.Takahashi, R. H. C. Loschi, R.H. Baccarini, L.M.R. and Caminhas, W.M. (2011) "Incipient Fault Detection in Induction Machine Stator – Winding Using a Fuzzy – Bayesian Change Point Detection Approach", Journal of Applied Soft Computing, Vol. 41, Issuet.

[5] Mendonca, L. Sousa, J. and Costa, J. "An Architecture for Fault Detection and Isolation Based on Fuzzy Methods", Expert Systems with Applications, 2008.

[6] X. Wei, M. Verhaegen, and T. van den Engelen, "Sensor fault diagnosis of wind turbines for fault tolerant", In Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control, pp. 3222-3227, Seoul, South Korea, July

[7] S. X. Ding,(2008) ,"Model-based fault diagnosis techniques: design schemes, algorithms, and tools", Springer.

[8] P.F. Odgaard, J. Stoustrup, R. Nielsen, and C. Damgaard, "Observer based detection of sensor faults in wind turbines", In Proceeding of Marseille, France, March 2009.

[9] C. Bianchini,F. Immovilli, M. Cocconcelli, R. Rubini and Bellini, A. (2011) “Fault detection of linearbearings in brushless AC linear motors by vibrationanalysis“, IEEE Transactions on Industrial Electronics,Volume: 58 , Issue: 5, pp. 1684 – 1694.3174-3179, 2007.

[10] H. Guolian, J. Pan, W. Zhentao, and Z. Jianhua, “Research on Fault Diagnosis of Wind Turbine Control System Based on Artificial Neural Network”, Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation, Jinan, China, pp. 4875-4879, 2010.

[11] F. Marquez, and F. Schmid, (2007) “A digital filter based approach to the remote condition monitoring of railway turnouts“, Journal of Reliability Engineering and System Safety, Vol. 92, pp. 830–840.

- [12] C. S. Kallesoe, P. Vadstrup, H. Rasmussen, and R. Zamanabadi, (2006) "Observer based estimation of stator winding faults in delta-connected induction motors, a LMI approach", Industry Applications Conf., 41st, IAS Annual Meeting, pp. 2427 – 2434.
- [13] W.Zhe, and G. Qingding, "The Diagnosis Method for Converter Fault of the Variable Speed Wind Turbine Based on the Neural Networks", Innovative Computing, Information and Control, 2007. ICICIC '07. Second International Conference, pp. 613-615, 2007.
- [14] X.Feng"Predictive Control Approaches to Fault Tolerant Control of Wind Turbines", University of Hull,2014.
- [15] E. Sobhani Tehrani, K. Khorasani, " Fault Diagnosis of Nonlinear Systems Using a Hybrid Approach" :Springer Science Business Media LLC , 2009.
- [16] Ding S.X, "Model – based Fault diagnosis techniques: desing shemes, algorithms, and tools, springer,2008.
- [17] H.Ferdowsi,"Model Based Fault Diagnosis and Prognosis of Nonlinear Systems",Missouri University of Science and Technology,2013.
- [18] پایگاه اطلاع رسانی انجمن مهندسين
برق
- [19] X. Yang and X. Liu Qiang Wu," Integral Fuzzy Sliding Mode Control for Variable Speed Wind Power System", Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics August 18 - 21, Jinan, China, pp.1289-1294, 2007.
- [20] E. Kamal, A. Aitouche, M. Bayart, "Fault diagnosis based on Fuzzy observer for wind energy conversion system". 2013.
- [21] H. O. Wang, K. Tanaka, and M. F. Griffin, "An approach to fuzzy control of onlinesystems: stability and the design issues," IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 4, no. 1, pp.14-23,, 1996.
- [22] V. F. Montagner, R. C. L. F. Oliveira ,and Pedro L. D. Peres ,“Convergent LMI relaxations for quadratic stabilizability and H control of Takagi-Sugeno fuzzy systems ”, IEEE Trans on Fuzzy Systems, vol. 17 no.4, pp. 863-873, 2009.
- [23] B. Ding ,“Stabilization of Takagi–Sugeno Model via Nonparallel Distributed Compensation Law”, EEE Trans on Fuzzy Systems, vol.18, no.1, pp.188 94, 2010.
- [24] C. Ghorbel, A. Abdelkrim, and M. Benrejeb ,“Takagi–Sugeno (TS) fuzzy model, linear matrix inequalities (LMI), quadratic Lyapunov function, fuzzy observers, unmeasurable premise variables”, Control and Intelligent Systems, 2010.

[25] K. Tanaka, T. Ikeda and Hua O. Wang "Fuzzy regulators and fuzzy observer: relaxed stability condition and LUI- based design", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol 6. No. 2, May 1998.

عطاری ح. (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "آشکارسازی و جداسازی خطای محرک با استفاده از رویکرد تطبیقی روی هواپیمای بدون سرنشین"، برق و رباتیک، دانشگاه شاهرود.

مفیدی م. (۱۳۹۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "تشخیص و جداسازی خطای حسگر بر اساس مدل با استفاده از روش معادلات برابری و شبکه عصبی"، برق و رباتیک، دانشگاه شاهرود.

علوی نیا م. (۱۳۹۳)، رساله دکتری، "طراحی سیستم کنترل کننده تحمل پذیر خطا برای کمپرسور گاز"، برق و رباتیک، دانشگاه شاهرود.

قربانی وشکی ف. (۱۳۹۲)، پایان نامه ارشد، "تشخیص خطای مقاوم با استفاده از رویکرد ورودی نامعلوم بر روی زیردریایی بدون سرنشین"، برق و رباتیک، دانشگاه شاهرود.

تشنه لب م. (۱۳۸۵)، "سیستم های فازی و کنترل فازی"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

[۳۰]

Abstract

Wind power is a kind of renewable energy and plays an important role in the future energy supply. Without question, the safe operation of control system which is the center of wind turbine is essential to ensure the running of the unit. However, wind turbine usually works under the bad environment. The gearbox and bearing failure and various sensor faults often occur, such as sensor bias fault, sensor constant gains and so on. Wind generators are also inaccessible since they are situated on extremely high towers, which are normally 20 m or greater in height. When fault occurs it will seriously affect the engineering quality and cause great economic losses. Consequently the use of advanced fault detection, isolation and accommodation methods could improve the reliability of the turbine, even though, for some faults. In this thesis fuzzy logic is combined with the model-based method to formulate the so-called fuzzy observers. The main idea is to use the Takagi-Sugeno fuzzy model. The diagnostic signal a residual is the difference between the estimated and actual system outputs. In this thesis, the linear matrix inequality approach is used to analyze the global stability of the fuzzy observer.

Key word:

Wind Turbine, sensor fault, Takagi-Sugeno fuzzy model, fuzzy observer, linear matrix inequality



Shahrood University of Technology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering
M.Sc.thesis

Fault Diagnosis of a Wind Turbine via Identified Fuzzy Models

By: Seied Masoud Fatemi Motlagh

Supervisor:
Dr. Mohammad Ali Sadrnia

February 2017