J. Energy Conversion
Volume: 10, Issue: 1, 2023: 41−56

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۱۰، شماره ۱، بهار۱۴۰۲، ص: ۴۱- ۵۶

DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1

تخمین پارامترها و تشخیص عیب سیستمی در پمپ هیدرولیکی با استفاده از رویتگری غیرخطی

فریده الهوردی [۱*]، امین کیانی [۲]

*۱- استادیار، گروه مهندسی برق، واحد اندیمشک، دانشگاه آزاد اسلامی، اندیمشک، ایران
۲- کارشناس ارشد، گروه مهندسی برق، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹، بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱، پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰

چکیده

در این پژوهش تخمین پارامترها و تشخیص عیب سیستم پمپ پیستونی هیدرولیکی که رفتار غیرخطی دارد و از رایج ترین سیستم های الکتروهیدرولیکی مورد استفاده در صنایع حساسی چون هوا و فضا می باشد، مورد بررسی قرار گرفت. معیار عیب‌یابی، سیگنال مانده‌ای است که از اختلاف خروجی سیستم و یک رویتگر غیرخطی محاسبه می‌شود. علت استفاده از رویتگر، تشخیص به موقع عیب و مقاوم بودن آن در برابر اغتشاشات و عدم قطعیت‌های مدل است. در این پژوهش، نشتی در پمپ و تغییر زاویه‌ی صفحه‌ی متحرک Swashplate پمپ هیدرولیکی بعنوان عیب در نظر گرفته شده که بوسیله یک رویتگر غیرخطی تشخیص داده می شود. در نهایت بوسیله‌ی شبیه سازی انجام شده تو سط نرم افزار Matlab اثبات می شود که روش پیشنهادی قادر است حالت‌های سیستم را به خوبی تخمین زده و خطاهای مانده فشارخروجی و سواش پلیت کارکرد نرمال پمپ و یا عیب‌های بوجود آمده را تشخیص و آشکارسازی می‌کند.

* **عهده‌دار مکاتبات:** allahverdi.f@gmail.com

کلمات کلیدی: تشخیص عیب، تخمین حالت، پمپ هیدرولیکی، رویتگر.

۱- مقدمه

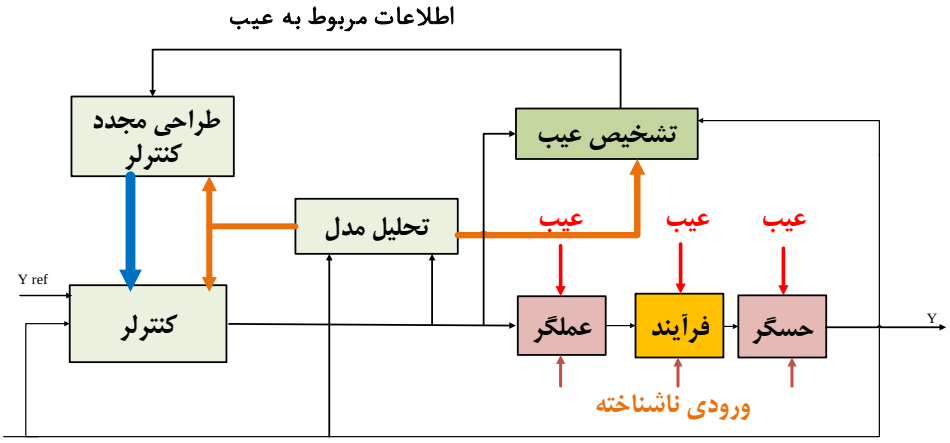
کنترل‌کننده‌های استاندارد به شکلی طراحی می‌شوند که باکمرنگ کردن تأثیرات اغتشاش و نویز وارده به سیستم، عملکرد سیستم را در شرایط قابل قبولی نگهدارند. اما تغییراتی وجود دارد که کنترل‌کننده نمی‌تواند آن‌ها را تنظیم کند. این تغییرات عیب[۱] نامیده می‌شود. به‌بیان‌دیگر می‌توان هرگونه انحراف غیرمجاز در حداقل یک رفتار و یا پارامتر مشخصه‌ی سیستم را عیب تعریف کرد[۱]. افزایش مداوم پیچیدگی و قابلیت اطمینان و بازدهی در سیستم‌های مدرن، نیازمند توسعه‌ی پیوسته‌ی حوزه‌ی کنترل و تشخیص عیب می‌باشد. تشخیص و شناسایی به موقع عیب می‌تواند از توقف ناگهانی سیستم و خسارات جانی و مالی انسان‌ها جلوگیری کند. شکل ۱ نحوه‌ی روبرو شدن با عیب در سیستم‌های مدرن را نشان می‌دهد، بخش اصلی در شکل ۱ سیستم کنترل شده، می‌باشد که شامل عملگر، سنسور و دینامیک فرآیند است. هرکدام از این بخش‌ها می‌تواند تحت تأثیر عوامل بیرونی مانند نویز فرآیند، نویز اندازه‌گیری و یا اغتشاش خارجی قرار گیرد. به علاوه در مواردی که بحث تشخیص عیب باقابلیت اطمینان بالا مطرح می‌شود، بایستی عدم قطعیت‌های سیستم را در نظر گرفت. در چنین شرایطی سیستم همچنان ممکن است

[1] Fault

نحوه استناد به این مقاله: فریده الهوردی، امین کیانی. تخمین پارامترها و تشخیص عیب سیستمی در پمپ هیدرولیکی با استفاده از رویتگری غیرخطی ، مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۲; ۱۰ (۱) :۴۱-۵۶.
DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

تحت تأثیر عیب باشد. در این صورت انتظار ما از سیستم تشخیص عیب این است که بتواند رخداد عیب را از بین سایر عوامل بیرونی متمایز کند.



شکل (۱): تشخیص عیب در سیستم کنترلی مدرن

با توجه به شکل(۱) بلوک تشخیص عیب[1] به موازات سیستم اصلی قرار دارد. که نقش اصلی این بلوک، مانیتور کردن حالات سیستم و جمع‌آوری هرگونه اطلاعات مربوط به عملکرد غیرعادی در هریک از اجزای سیستم است؛ بنابراین وظیفه‌ی تشخیص عیب را می‌توان به سه قسمت عمده تقسیم کرد.[۲]

الف. کشف عیب[2]، این بخش به تصمیم‌گیری درباره‌ی وضعیت سیستم برمی‌گردد. تشخیص اینکه برای سیستم اتفاق غیرعادی رخ داده است و یا سیستم در شرایط عادی در حال کار است.

ب. جداسازی عیب[3]، این بخش به تعیین موقعیت و محل رخدادن عیب می‌پردازد. اینکه کدام سنسور و یا محرک درگیر عیب هستند.

ج. شناسایی عیب[4]، تعیین اندازه، نوع و ماهیت عیب در این بخش جا دارد.

امروزه در صنایع مختلف سیستم‌های تحمل‌پذیر عیب و به دنبال آن آشکارسازی عیب اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. صنایع حساس و گران قیمت همانند صنایع نظامی و دفاعی، صنایع هوافضا و ... به صورت گسترده‌ای از روش‌های مختلف تشخیص عیب استفاده می‌کنند. به عنوان مثال تشخیص عیب در پمپ‌های هیدرولیکی هوشمند مورد استفاده در هواپیماها کاربرد زیادی دارد. با توجه به کاربردهای وسیع سیستم‌های هیدرولیکی عملکرد مؤثر و مناسب این سیستم‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تجربه نشان داده است که سرویس و نگهداری و تشخیص به موقع عیب در این سیستم‌ها باعث افزایش عمر مفید قطعات و اجزای آن‌ها می‌شود برای مثال نشتی در پمپ هیدرولیک می‌توانند سبب ازکارافتادگی عملگر آن گردد. اگر این نشتی‌ها به موقع تشخیص داده نشوند خروجی سیال از سیستم سبب افت شدید فشار در سیستم شده و این افت فشار به نوبه خود باعث توقف کامل عملکرد سیستم هیدرولیک خواهد شد. به دلیل نزدیکی پمپ هوشمند به موتور، سیستم در معرض نویز و اغتشاش، قرار می‌گیرد که عملکرد سیستم را مختل می‌نماید چون سیستم‌های واقعی در معرض اغتشاش در ورودی و خروجی‌های خود هستند مدل کردن این اغتشاشات در سیستم و بررسی عیب‌یابی در این حالت مهم به نظر می‌رسد.

[1] Fault diagnosis
[2] Fault detection
[3] Fault isolation
4 Fault identifiation

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

مسأله اصلی در این پژوهش، تشخیص عیب پمپ هیدرولیکی هوشمند به کمک رویتگر ورودی ناشناخته[1] است که قادر به تشخیص عیب با در نظر داشتن ویژگی‌های غیرخطی، به صورت برخط[2] می‌باشد و توانایی جداسازی عیب از سایر عوامل بیرونی مثل نویز یا اغتشاش را دارد. وجود نشتی در پمپ و فرسودگی اجزای متحرک در پمپ ، از رایج‌ترین عیب‌هایی است که ممکن است اتفاق بیفتد. در صورتی که پمپ دچار عیب شود فشار خروجی پمپ کاهش پیدا می‌کند و خطرات زیان باری را به همراه دارد.بنابراین شایسته است پیش از اینکه پمپ به این مرحله برسد، تمهیداتی برای تشخیص و شناسایی عیب در نظر گرفته شود. معیار عیب‌یابی سیگنال مانده‌ای است که از اختلاف خروجی سیستم و یک رویتگر ورودی ناشناخته غیرخطی محاسبه می‌شود. ایده‌ی رویتگر غیرخطی در راستای بهبود عملکرد و قابلیت اطمینان با توجه به سیگنال مانده[3] می‌باشد. یک سیگنال شاخص خطا، مانده‌ای است که از اطلاعات ورودی و خروجی، برای نظارت بر سیستم استفاده می‌کند. سیگنال مانده تولید شده برای واکنش به یکی از عیب‌هایی که ممکن است در سیستم رخ دهد، طراحی می‌شود. مانده در حالت عادی بدون وقوع عیب، صفر و یا نزدیک به صفر است اما هنگامی که عیبی در سیستم رخ می‌دهد، مانده مقداری غیر از صفر دارد. این به آن معناست که مانده در حالت کلی و ایده‌آل مستقل از ورودی و خروجی است. الگوریتم یا (پردازنده‌ی) که مانده را تولید می‌کند، تولیدکننده مانده نام دارد. تولید مانده برای استخراج اطلاعات عیب سیستم از خود سیستم است. در واقع سیگنال مانده در حالت ایده‌آل فقط باید اطلاعات عیب را داشته باشد. برای اینکه یک آشکارسازی عیب مطمئن داشته باشیم، سیگنال مانده باید تا حد امکان اطلاعات کمی را از دست بدهد.

به منظور ایجاد پایداری و افزایش قابلیت اطمینان طراحی سیستم عیب‌یابی، جداسازی عیب و کنترلرهای تحمل‌پذیر عیب از موضوعات مورد توجه محققین در دو دهه اخیر شده است[۳]. در [۴] بررسی تمامی روش‌های عیب‌یابی مشاهده می‌شود که هدفشان، مطالعه‌ای جامع و البته مقایسه‌ای بین روش‌های مختلف عیب‌یابی می‌باشد. می‌توان از مطالعات ماه[4] و کرامر[5] یاد کرد که به طور خلاصه از تمام روش‌های موجود در عیب‌یابی در آن زمان نام برده اند. این پژوهش درسال ۱۹۹۳ طی سه بخش به روشهای عیب‌یابی پرداخته است: شناسایی الگو، استدلال برپایه‌ی مدل و تطابق مدل. در بخش اول تقریباً کلیه‌ی روش‌های برپایه‌ی حافظه‌ی فرآیند را مورد بررسی قرار داده است. در بخش دوم، تمامی روش‌های کیفی برپایه‌ی مدل توضیح داده شده است؛ و در بخش سوم، تکنیک‌های جستجوی علائم برای عیب‌یابی با استفاده از مدل‌های مختلف بیان شده‌است.

اولین کتاب در زمینه‌ی روش‌های عیب‌یابی، با عنوان تشخیص عیب در سیستم‌های دینامیکی[6] توسط پتن[7]، فرانک[8] و کلارک[9] در سال ۱۹۸۹ به چاپ رسیده است. این کتاب از روش‌های مختلف تشخیص عیب که تا آن زمان در صنعت استفاده می‌شد نام برده است [۵]. علاوه بر این کار در سال ۱۹۸۸، پژوهشی بر روی تئوری و کاربرد تشخیص عیب‌های ناگهانی در سیستم‌ها انجام شد [۶]. همچنین می‌توان مطالعاتی از این دست را در کتاب تشخیص تغییرات ناگهانی ، تئو.ری و کاربرد که در سال ۱۹۹۳ منتشر شده مشاهده کرد [۷]. روش‌های تشخیص عیب با استفاده از افزونگی تحلیلی به طور وسیعی در سیستم‌های دینامیکی پیچیده مانند زمینه‌های هوانوردی، هوافضا، فرآیندهای هسته‌ای، فرآیندهای شیمیایی و فناوری حمل‌ونقل موردبررسی قرار گرفته‌اند. روش‌هایی که بر اساس مدل ریاضی سیستم کار می‌کنند، نیازمند بدست آوردن روابط بین اجزای سیستم با استفاده از قوانین فیزیکی حاکم بر آن‌ها می‌باشد. این روش‌ها نیاز به اطلاعات و داده‌های گذشته از سیستم ندارند و می‌توانند بعد از طراحی مورد استفاده قرار گیرند. روش‌های مختلفی برای شناسایی و تشخیص عیب برحسب مدل وجود دارد که پرکاربردترین آن‌ها تشخیص عیب با استفاده از سیگنال مانده می‌باشد. تولید مانده یک مسئله مهم در آشکارسازی و جداسازی عیب مبتنی بر

[1] Unknown Input Observer
[2] ON-line
[3] Residual
[4] Mah
[5] Kramer
[6] Fault diagnosis in dynamic systems
[7] Patton
[8] Frank
[9] Clark

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

مدل[1] است. روش‌های متفاوت و زیادی برای تولید مانده در دسترس می‌باشد که روش مبتنی بر رویت‌گر، یکی از روش‌های پرکاربرد، تشخیص عیب بر مبنای مدل است. در راستای تشخیص و شناسایی عیب با استفاده از رویتگر ورودی نامعلوم روی هواپیماها، نتایجی خوبی ارائه شد[۸و۹] . رویتگرهای با ورودی ناشناخته، نیز به صورت برجسته برای اولین بار در سال ۲۰۰۱ در [۱۰] بررسی شدند. که در آن کاربرد رویتگر غیرخطی درمخزن راکتور مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش مذکور از دو رویتگر ورودی نامعلوم که یکی خطی و دیگری غیرخطی است استفاده شده و عملکرد رویتگرها از نظر تشخیص عیب با وجود نویز تحلیل شده است. دو مرحله اصلی تشخیص عیب تولید مانده و ارزیابی مانده است که ایده اصلی مقایسه رفتار سیستم با مدل بدون عیب است. در [۱۱] یک روش تشخیص عیب برای پمپ‌های هیدرولیک بر اساس تخمین‌گر شبکه عصبی تابع پایه شعاعی[2] به کمک الگوریتم بهینه‌سازی آشوبناک موازی ارائه کرده‌اند. یک روش تشخیص عیب هوشمند مبتنی بر نظریه دمپستر-شفر [3]به طور خاص برای تشخیص چند عیب رخ داده در شیرهای هیدرولیک در[۱۲] پیشنهاد شده است .در [۱۳] طراحی رویتگر تشخیص عیب تطبیقی برای کلاسی از سیستم‌های غیرخطی با عدم قطعیت پارامتری، معرفی شد. شرایط وجود قسمت تشخیص و شناسایی عیب FDD[4] پیشنهادی بر اساس روش معروف نامساوی ماتریس خطی LMI[5] بدست آمده است. در[۱۴]، رویتگر تشخیص عیب غیرخطی طراحی شده و تابع بهره رویتگر با انتخاب توابع جدید لیاپانوف بدست آمده است. الهوردی و همکاران در پژوهشی در سال ۲۰۲۰ تشخیص عیب حسگری را برای کلاسی از سیستم های غیرخطی با استفاده از رویتگر مدلغزشی انجام دادند[۱۵].

۲- تشخیص عیب بر مبنای رویتگر:

رویتگر، تخمینی از متغیرهای حالت سیستم‌های دینامیک را با استفاده از ورودی‌ها و خروجی اندازه‌گیری شده توسط حسگرها و مدل ریاضی سیستم فراهم می‌کند در اکثر سیستم‌ها متغیرهای حالت زیادی وجود دارد که برای کنترل و پایداری سیستم باید متغیرهای حالت اندازه‌گیری شوند اما در عمل به علت در دسترس نبودن، وجود نویز و یا گران بودن حسگر نمی‌توان تمامی متغیرها را اندازه‌گیری کرد در این شرایط استفاده از رویتگرها امری الزام‌آور می‌باشد. در تئوری استاندارد کنترل،کار رویتگر تخمین دقیق مقادیر حالت‌های سیستم است. از طرفی بسیاری از قوانین کنترل بدست آمده از مفهوم فضای حالت نیاز به اطلاعاتی در مورد حالت‌ها دارد بنابراین رویتگرهای حالت که از خطای بین خروجی اندازه‌گیری شده و مدل قابل تنظیم استفاده می‌کنند، می‌توانند جایگزینی برای روش‌های آشکارسازی عیب بر اساس مدل باشند. فرض می‌شود ساختار و پارامترهای مدل کاملاً شناخته شده هستند به هر حال استفاده از رویتگر برای آشکارسازی و جداسازی عیب نکات ویژه‌ای دارد. استفاده از حسگرها مشکلات زیادی به همراه دارد که استفاده از آنها به‌صرفه نیست. اول، حسگرها گران هستند هزینه حسگر می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای هزینه کل یک سیستم کنترل را افزایش دهد. در بسیاری از موارد، حسگرها و کابل‌های مربوط به آنها یکی از گران‌ترین اجزا در سیستم هستند. دوم، حسگرها و سیم‌کشی‌های مرتبط با آنها، قابلیت اطمینان سیستم‌های کنترل را کاهش می‌دهند. سوم، اندازه‌گیری بعضی از سیگنال‌ها به دلیل غیرقابل دسترسی و محیط‌های نامناسب عملی نیست(به عنوان مثال اندازه‌گیری دمای روتور موتور الکتریکی). چهارم، حسگرها معمولاً خطاهای مهمی مانند نویز تصادفی،اغتشاش و خطاهای دوره‌ای و پاسخ محدود را ایجاد می‌کنند.

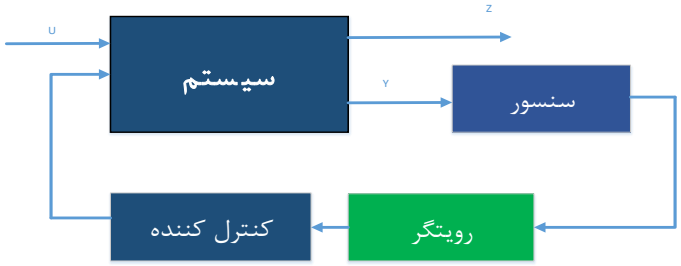
مهم‌ترین عمل در تشخیص و تفکیک خطای مبتنی بر مدل، تشکیل مانده غیر حساس نسبت به اغتشاش است. عموم روش‌های مورد استفاده برای این منظور مبتنی بر جداسازی اغتشاش هستند. از این منظر، فاکتورهای نامعین در مدل‌سازی یا شناسایی به عنوان اغتشاش در نظر گرفته می‌شوند. از میان روش‌های مختلف مبتنی بر مدل، استفاده از رویتگرها یکی از ایده‌های

[1] Model base
[2] Radial Basis Function
3 Dempster-Shafer
4 Fault Detection and Diagnostic
5 Linear Matrix Inequality

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

مناسب در تشخیص و جداسازی عیب است. از این میان تشکیل مانده با استفاده از روش‌هایی همانند رویتگر خروجی، رویتگر با ورودی ناشناخته، رویتگر مد لغزشی و ... به دلیل دیدگاه مناسب تشخیص عیب و نیز به دلیل سادگی در اجرا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده‌اند.

هدف از طراحی رویتگر بدست آوردن متغیرهای حالت سیستم مورد نظر می‌باشد. به طور کلی رویتگرها به دو دسته خطی و غیرخطی تقسیم می‌شوند. در طراحی به روش خطی صرفاً از دینامیک خطای خروجی استفاده می‌شود(خطای خروجی‌ها از مقادیر مرجع مدنظر قرار می‌گیرد). رویتگرها معمولاً در طرح‌های تشخیص کنترل و عیب سیستم‌های غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند[۱۶].



شکل ۲: نقش رویتگر در سیستم کنترل

در بسیاری از روش‌های کنترل غیرخطی از قبیل فیدبک خطی‌ساز برای ساختن سیگنال کنترلی نیاز به تمامی متغیرهای حالت است. اغلب در کاربردهای واقعی اندازه‌گیری تمامی متغیرهای حالت امکان‌پذیر نبوده و یا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. در این موارد تخمین متغیرهای حالت برای استفاده در کنترل کننده الزامی است. سیستمی که متغیرهای حالت آن تخمینی از متغیرهای حالت سیستم اصلی باشند را رویتگر می‌نامند.

۱-۲ رویتگر ورودی ناشناخته

رویتگرها معمولاً در طرح‌های تشخیص کنترل و عیب سیستم‌های غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند در بعضی موارد ورودی‌های سیستم ناشناخته و یا به صورت جزئی ناشناخته‌اند که این امر منجر به ظهور رویتگر ورودی ناشناخته شده‌اند. ایده اصلی استفاده از رویتگر ورودی نامعلوم، تخمین حالت‌های سیستم است، آن‌چنان که ورودی‌های چون اغتشاش،نویز و عیب بر روی آنها تأثیری نداشته باشد. این روش اولین بار در [۱۷] معرفی شد و به عنوان یک روش مؤثر در طراحی سیستم شناسایی عیب مورد استفاده قرار گرفت.

اگر چه ریشه‌های رویتگر ورودی ناشناخته UIO[1] را می‌توان به اوایل دهه ۱۹۷۰ کشف کرد. مشکل طراحی چنین رویتگرها هنوز هم از دیدگاه‌های نظری و عملی بسیار مهم است. در اکثر سیستم‌ها متغیرهای حالت زیادی وجود دارد که برای کنترل کننده و پایداری سیستم باید اندازه‌گیری شوند اما در عمل به علت در دسترس نبودن، وجود نویز و یا گران بودن حسگر نمی‌توان تمامی متغیرها را اندازه‌گیری کرد در این شرایط استفاده از رویتگرها امری الزام‌آور می‌باشد. برای بیشتر رویتگرهای ورودی ناشناخته خطی و غیرخطی، اثبات شده است که شرط لازم و کافی برای ساخت چنین رویتگرهایی این است که صفرهای تغییرناپذیر سیستم باید سمت چپ صفحه مختلط قرار بگیرند و شرط تطبیق رویتگر برآورده شود. درسال‌های اخیر روش‌های متنوعی برای تخمین ورودی‌های نامعلوم ارائه شده است، زمانی که ورودی نامعلوم نشان دهنده اغتشاشات یا اثر عدم قطعیت‌ها در سیستم باشند شناخت آنها برای سیستم کنترل مقاوم مفید است رویتگرهای ورودی نامعلوم یکی از روش‌های تخمین می‌باشند که با استفاده از ورودی خروجی‌های معلوم، ورودی‌های غیرقابل اندازه‌گیری را تخمین می‌زنند. ورودی‌های نامعلوم

[1] Unknown Input Observer

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

ممکن است نشان دهنده‌ی اثر خطاهای عملگر و یا اجزای سیستم باشند در اینصورت تشخیص، جداسازی عیب و تخمین آن‌ها امکان‌پذیر می‌باشد[۱۸].

نویز و اغتشاش به عنوان ورودی ناشناخته در نظر گرفته می‌شود. هدف از طراحی این رویتگـر، جداسازی نویز و اغتشاش از مانده می‌باشد. به منظور، طراحی رویتگر با ورودی ناشناخته سیستم دینامیکی زیر که در معرض اغتشـاش قـرار دارد در نظر گرفته می‌شود.

$$\begin{cases}\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Ed(t)\\ y(t) = Cx(t)\end{cases} \quad (۱)$$

در معادله (۱) A یک ماتریس مربعی n بعدی است. B ماتریس ورودی، C ماتریس خروجی و x به‌عنوان بردار متغیرهای حالت سیستم عضو R^{n}، و U(t) بردار ورودی مشخص عضو فضای R^{r} و d(t) بردار ورودی ناشناخته عضو فضای R^{q} و خروجی سیستم یعنی $y(t)$ عضو فضای R^m است؛ ورودی سیستم یعنی $u(t)$، عضو فضای R^r است.A و B، C و E ماتریس‌های معلوم و با ابعاد مناسب هستند. شایان‌ذکر است که‌ترم ناشناخته Ed(t) می‌تواند نشانگر اغتشاش‌های جمع‌شونده، انواع مختلفی از عدم قطعیت‌های مدل‌سازی (نویز ، ترم‌های غیرخطی مدل نشده، دینامیک زمان پیوسته و نیز خطا) باشد.

علاوه بر این ترم ناشناخته ممکن است در معادله خروجی نیز ظاهر شود.

$$y(t) = Cx(t) + E_y d(t) \quad (۲)$$

برای سیستم فوق رویتگر با ورودی ناشناخته رویتگری است که مقدار خطای تخمین حالت e(t) در آن علیرغم وجود ترم‌های ناشناخته در ورودی، به صورت مجانبی به صفر میل کند.

مسئله طراحی رویتگر با ورودی ناشناخته برای سیستم معرفی شده و نیز برای کلاس‌هایی از سیستم‌های غیرخطی، برای مدت طولانی مورد مطالعه طراحان و مهندسین کنترل در سراسر جهان قرار گرفت که حاصل آن ارائه روشهایی برای طراحی رویتگر مرتبه کامل و نیز رویتگر مرتبه کاهش‌یافته بود. در بخش حاضر یک روش برای طراحی رویتگر ورودی ناشناخته از مرتبه کامل و با هدف تشخیص عیب ارائه شده است. شرایط لازم و کافی برای طراحی رویتگر مذکور نیز بیان‌شده‌اند. اطمینان از حصول این شرایط در عمل امری بسیار ساده است که منجر به سادگی روشن طراحی رویتگر UIO می‌شود.

اما از آن جایی که‌ترم $E_y d(t)$ با استفاده از اعمال یک تبدیل بر روی خروجی قابل حذف است،درعمل معادله کلی رویتگر ورودی ناشناخته به صورت زیر است.

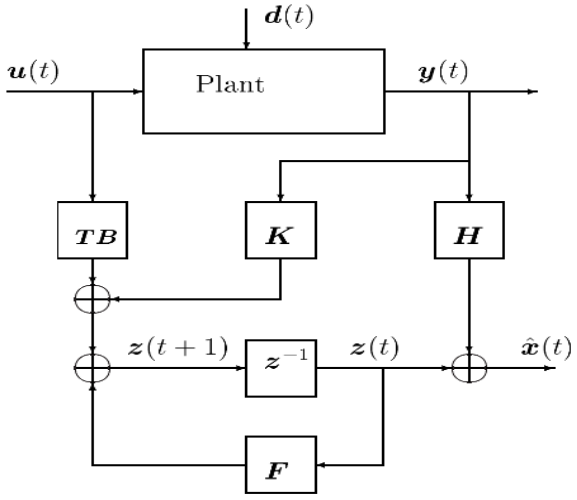
$$\begin{cases}\dot{z}(t+1) = Fz(t) + T\,Bu(t) + K\,y(t)\\ \hat{x}(t) = z(t) + Hy(t)\end{cases} \quad (۳)$$

در این معادله Z(t) متغیر حالت عضو R^{n} و $\hat{x}(t)$ تخمین حالت x(t)، در حالیکه F,T,K و H ماتریس‌هایی هستند که جهت جدا کردن ورودی ناشناخته طراحی می‌شوند.که به عنوان پارامترهای آزاد در نظر گرفته می‌شوند.همان‌طور که انعطاف ما را برای طراحی زیاد می‌کند می‌توانیم اثر نویز و اغتشاش را در نظر بگیریم.

رویتگر با معادلات توصیف شده در شکل (۳) نشان داده شده است:

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]



شکل۳: بلوک دیاگرام رویتگر ورودی ناشناخته

خطای تخمین حالت بدست آمده توسط معادله (۴) که به سیستم معادله (۱) اعمال شده است توسط معادله زیر شرح داده می‌شود:

$$\begin{cases} e_x(t+1) = [A - HCA - K_1C]e_x(\dot{t}) + [F - (A - HCA - K_1C)]z(t) \\ \qquad + k_2 - (A - HCA - K_1C]y(T) \\ \qquad + [T - (I - HC)]Bu(T) + (HC - I)Ed(T) \end{cases} \quad (۴)$$

از آنجا که $k = k_1 + k_2$ است برای تنظیم کردن پارامترهای آزاد و صفر کردن عیب روابط باید به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$\begin{aligned} &(HC - I)E = 0 \\ &I - HC = T \\ &A - HCA - K_1\,C = F \\ &FH = K_2 \end{aligned} \quad (۵)$$

خطای تخمین حالت به صورت زیر خواهد بود:

$$e_x(t+1) = F\,e_x(t) \quad (۶)$$

با در نظر گرفتن روابط گفته شده اگر در حالت گسسته مقادیر ویژه‌ی F درون دایره واحد قرار گیرد می‌توان گفت سیستم پایدار است و $\hat{x}$ به سمت x میل خواهد کرد وخطای e(t) به صورت مجانبی به صفر میل می‌کند، و تخمین زده شده تخمین درستی است.

شرط لازم و کافی برای طراحی UIO :

$$1 - Rank\,(CE) = Rank\,(E) \quad (۷)$$

$2 - (A_1\ , C)\quad detectable\ pair$ رویت پذیری زوج

اگر شرط ۱ و ۲ در رابطه (۷) برقرار باشد می‌توانیم UIO را طراحی کنیم. شرط اول به معنای آن است که تعداد سطرهای مستقل در ماتریس C نباید کمتر از تعداد ستون‌های مستقل از ماتریس E باشد. این بدان معناست که بیشترین تعداد اغتشاش‌هایی که قابل جداسازی هستند نمی‌توانند بیشتر از اندازه‌گیری‌های مستقل باشد علاوه بر آن در صورت عدم وجود ورودی ناشناخته در سیستم، با تنظیم T=1 ، H=0 و E=0 ، رویتگر تبدیل به یک رویتگر لیونبرگر ساده می‌شود. در این حالت،

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

شرط اول صادق بوده و شرط دوم رویت پذیری زوج (A,C) خواهد بود سپس با در نظر گرفتن K_1 به عنوان پارامتر آزاد که محاسبه آن بر اساس پایداری F صورت می‌گیرد.و می‌توان بقیه پارامترها با در نظر گرفتن شرایط (۵) نیز تنظیم کنیم.

۳- تخمین حالات سیستم پمپ هیدرولیک هوشمند[1] IHPS

پمپ به عنوان قلب سیستم هیدرولیک انرژی مکانیکی را که توسط موتورهای الکتریکی تأمین می‌گردد به انرژی هیدرولیکی تبدیل می‌کند در واقع پمپ در یک سیکل هیدرولیکی یا نیوماتیکی انرژی سیال را افزایش می‌دهد تا در مکان مورد نیاز این انرژی افزوده به کار مطلوب تبدیل گردد. بازده یک پمپ بطور کلی به میزان تلرانس‌ها و دقت بکار رفته در ساخت ، وضعیت مکانیکی اجزاء و بالانس فشار بستگی دارد. به منظور رفع نیازهای هواپیمای مدرن مانند سرعت بالا، تحرک بالا، وزن کم و ظرفیت بار بالا، سیستم پمپ هیدرولیکی هوشمند برای بهبود بهره‌وری هیدرولیک هواپیما بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. یک سیستم هیدرولیک هواپیما با پمپ هوشمند به دلیل داشتن مزایا به یک بعد مهم جهت توسعه و پیشرفت در آینده تبدیل شده است و همچنین الزامات، قابلیت اطمینان سیستم و امنیت بالا در هواپیما نیز به طور قابل توجهی استفاده از سیستم پمپ هوشمند را افزایش می‌یابد و این نشان می‌دهد که تشخیص به‌موقع عیب، قابلیت اطمینان پمپ هوشمند را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. طبق تعریف، یک پمپ هیدرولیکی به طور کلی نوعی سیستم منبع پمپ است که خروجی آن به راحتی با کمک یک کنترلر هوشمند برای مطابقت با الزامات سیستم هیدرولیک یک هواپیمای واقعی قابل کنترل باشد. برای تحقق کنترل فیدبک خروجی، حسگرهای لازم شامل حسگرهای فشار، حسگرهای جابه‌جایی، و حسگرهای دما روی پمپ هوشمند نصب می‌شوند .[۱۹].

برای شبیه‌سازی از فضای حالت پمپ هیدرولیک هوشمند استفاده می‌کنیم که آن را می‌توان به صورت زیر بیان کرد.

$$\begin{cases}\dot{x}(t) = Ax(t) + Bg(v,y,u) + B_d d_u \\ y(t) = Cx(t)\end{cases} \quad (۸)$$

در سیستم پمپ هیدرولیک هوشمند، زاویه‌ی صفحه‌ی لغزاننده γ و فشار خروجی واقعی Ps را می‌توان به ترتیب با حسگرهای LVDT[2] و حسگرهای فشار نصب‌شده روی پمپ به دست آورد.مدل پمپ هوشمند به صورت رابطه (۸) آمده است و مقادیر ماتریس‌ها در (۹) آمده است.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0.0021 & 0 & -8.0195 * 10^{-6} & 6.3150 * 10^{-8} \\ 0 & -3.2386 * 10^{-8} & -1.3462 * 10^{13} & 0 \\ 1.7611 * 10^{14} & 0 & 0 & -184.9057 \end{bmatrix}$$

$$Bg(v,y,u) = [0 \quad 0 \quad 3.5269 * 10^{4} \quad 0]^T$$

$$B_d = [0 \quad 0 \quad 2.6415 * 10^{12} \quad 0]^T \qquad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (۹)$$

متغیرهای حالت سیستم و ورودی کنترلی به صورت زیر می‌باشد:

ورودی سیستم، فشار ورودی پمپ است $U = P_u$ و حالات سیستم به ترتیب عبارتند از:

[1] intelligent hydrualic pump system
[2] Linear Variable Differential Transformer

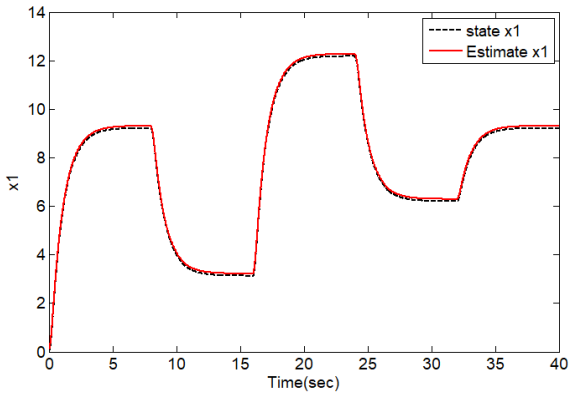
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

$$X=\begin{bmatrix} X1=\gamma \\ X2=\dot{\gamma} \\ X3=P_{vl} \\ X4=P_s \end{bmatrix} \begin{matrix} Angle\ Swashplate \\ Derivative\ angle\ swashplate \\ load\ pressure\ of\ the\ swashplate \\ Output\ pressure \end{matrix}$$

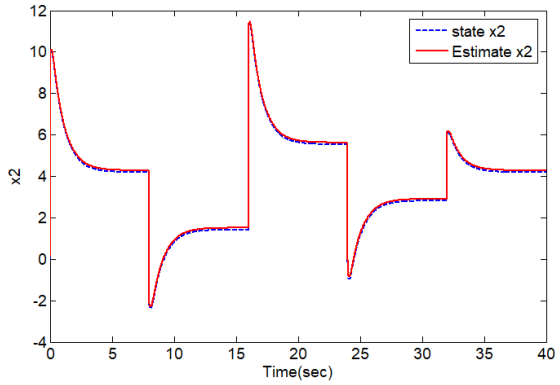
$$\begin{cases} x(t)=[x_1 \ \ x_2 \ \ x_3 \ \ x_4]^T=[\gamma \ \ \dot{\gamma} \ \ P_{VL} \ \ P_s \ \ ]^T \\ y(t)=[\gamma \ \ \ P_s]^T \\ u=[P_u] \\ d_u=[|Q_L|\ ] \end{cases} \quad (۱۰)$$

X_1 : زاویه سواش پلیت
X_2: مشتق زاویه سواش پلیت
X_3: فشار روی سواش پلیت
X_4 : فشار خروجی

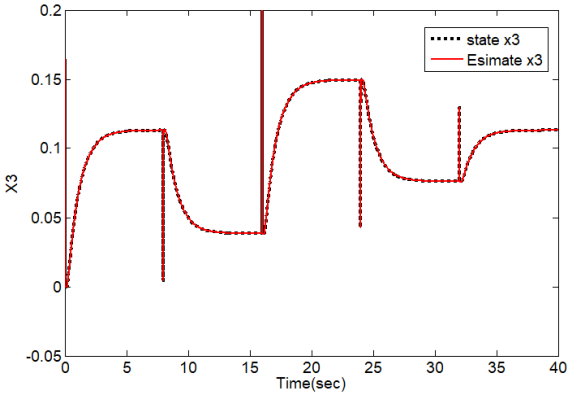
یک مکانیزم تغییر دهنده زاویه سواش پلیت پشت پیستون‌ها، که می‌توان حجم جابه‌جایی یک پمپ را تغییر داد. این مکانیزم در واقع کورس حرکت هر پیستون را تغییر می‌دهد. حالت دوم مشتق زاویه سواش پلیت در زمان‌های مختلف است در واقع نرخ تغییرات سواش پلیت می‌باشد و حالت سوم فشار بار بر روی سواش پلیت و حالت آخر فشار خروجی پمپ است. شکل های ۴ تا ۷ نشان دهنده‌ی متغیرهای حالت و تخمین آن‌ها با استفاده از رویتگر ورودی ناشناخته غیرخطی ارائه شده است. در این شکل‌ها حالت‌های واقعی سیستم با استفاده از رنگ قرمز، تخمین این حالت‌ها با استفاده از رویتگر UIO با خط چچین مشکی نشان داده شده است.



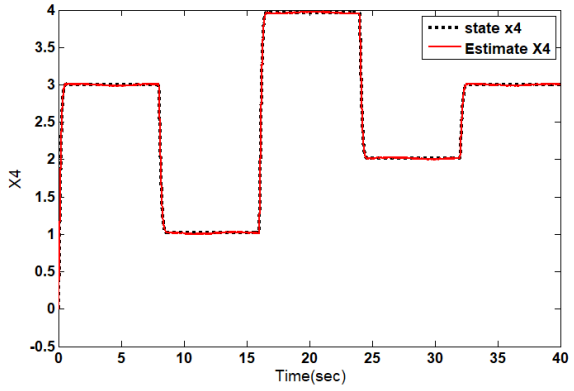
شکل ۴: متغیر x_1 و تخمین آن($\hat{x}1$) با استفاده از رویتگر در حضور ورودی نامعلوم



شکل۵: متغیر x_2 و تخمین آن($\hat{x}2$) با استفاده از رویتگر در حضور ورودی نامعلوم



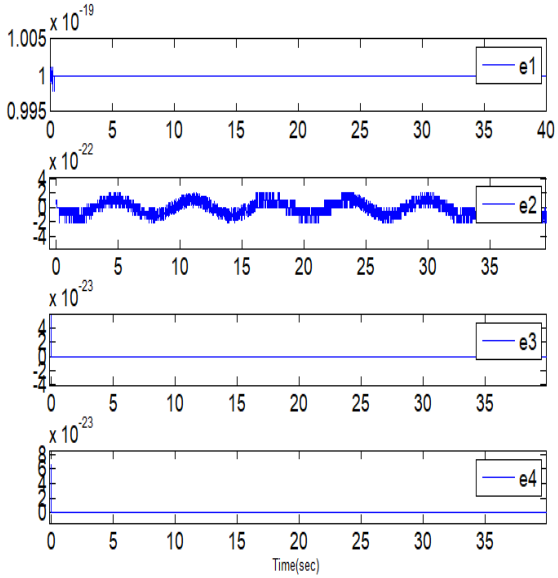
شکل۶: متغیر x_3 و تخمین آن($\hat{x}3$) با استفاده از رویتگر در حضور ورودی نامعلوم



شکل۷: متغیر x_4 و تخمین آن($\hat{x}4$) با استفاده از رویتگر در حضور ورودی نامعلوم

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

همانطور که ملاحظه می‌شود، رویتگر ورودی ناشناخته غیرخطی به خوبی قادر به تخمین متغیرهای حالت سیستم در حضور ورودی‌های نامعلوم و اغتشاش‌های زیاد است. شکل ۸ نشان دهنده‌ی خطای تخمین حالت‌های سیستم که اختلاف میان مقدار واقعی و مقدار تخمین زده شده‌ی آن توسط رویتگر ورودی ناشناخته غیرخطی تعریف می‌شود، می‌باشد.



شکل۸:خطای تخمین متغیرهای حالت

همانطور که ملاحظه می‌شود، خطای تخمین متغیرهای حالت در رویتگر، بسیار نزدیک به صفر است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت رویتگر ورودی ناشناخته غیر خطی قادر به تخمین حالت‌های سیستم با دقت بالا و در زمانی کوتاه در حضور اغتشاش و عیب می‌باشند.

۴- تشخیص عیب در سیستم پمپ هوشمند براساس رویتگر ورودی ناشناخته:

رویتگر UIO برای سیستم پمپ هیدرولیکی هوشمند IHPS به صورت زیر طراحی شده است:

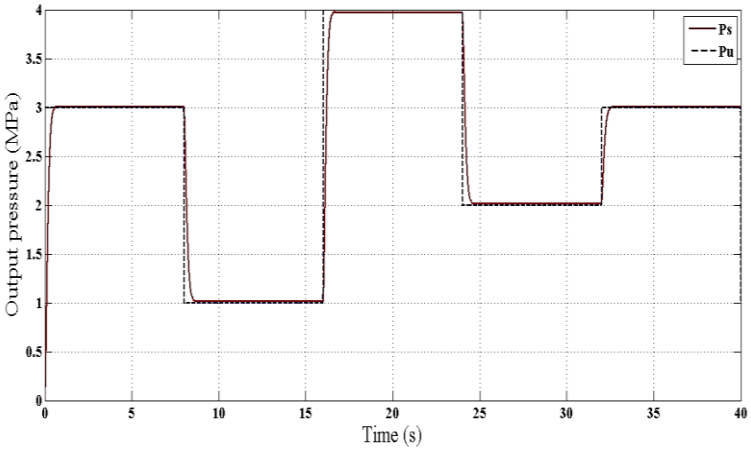
$$\begin{cases} \dot{z}(t) = N(p)z(t) + Gg(v.y.u) + Mf(\hat{x}.u) + L(p)y \\ \hat{x}(t) = z(t) - Ey(t) \end{cases} \qquad (۱۱)$$

در رابطه فوق z(t) حالت رویتگر است، $\hat{x}(t)$ نشان دهنده‌ی بردار تخمین حالت x(t) است، $N(p) = \sum_{j=1}^{np} \rho j\, Nj$ و $L(p) = \sum_{j=1}^{np} pjLj$ که $j = 1,2,\dots,np$ است. ماتریس‌های E N(ρ) , G , M , L(ρ), بهره‌ها و ماتریس‌های رویتگر هستند که باید تعیین شوند تا $\hat{x}(t)$ به صورت مجانبی به x(t) میل کند و با سایر الزامات طراحی مطابقت داشته باشد. N_j و L_j به ترتیب از زیر ماتریس‌های N(ρ) و L(ρ) با توابع وزنی مختلف ρ_j می‌باشند. تابع $f(\hat{x}, u)$ از عوامل نامعینی در رویتگر است. پارامترهای اصلی سیستم پمپ هیدرولیک هوشمند بصورت رابطه ۱۲ می باشند. به کمک نرم‌افزار متلب یک مدل شبیه‌سازی شده پمپ هوشمند برقرار شد و رویتگر طبق روش‌های گفته شده طراحی شد، شبیه‌سازی برای دو نوع عیب پمپ هیدرولیک هوشمند انجام می‌شود یکی از این عیب‌ها نشتی در پمپ هوشمند و عیب دیگرخرابی، فرسودگی یا آسیب دیدن اجزای مکانیکی است. هنگامی که پمپ هوشمند در حالت نرمال عمل می‌کند فشار خروجی از ۲۱ تا ۲۸ مگاپاسکال متغیر است و فشار ورودی بر حسب نیاز تنظیم می‌شود. فشار خروجی خاص در شکل (۹) نشان داده شده است بدیهی است که خروجی فشار پمپ هوشمند ps سیگنال pu را در حالت نرمال به خوبی دنبال می‌کند.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

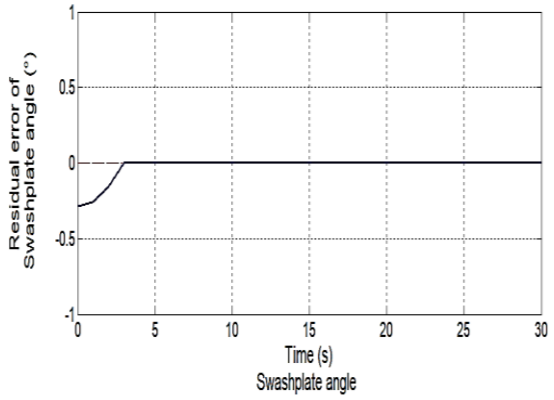
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

$$\begin{cases} N(\rho) = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & -2 \\ 10.784 & 0 & 0/00080195 & -2 \\ -1 & -3.23286*10^{8} & -1620.769 & -2 \\ -1 & 0 & 0 & -200 \end{bmatrix} \\ M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.2204*10^{-16} \end{bmatrix} \\ L(\rho) = \begin{bmatrix} 1 & -4.4409*10^{-16} \\ 1 & -3.9333*10^{-6} \\ 1 & -4.4409*10^{-16} \\ 1 & -2.8422*10^{-14} \end{bmatrix} \\ E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}^{T} \end{cases} \quad (۱۲)$$

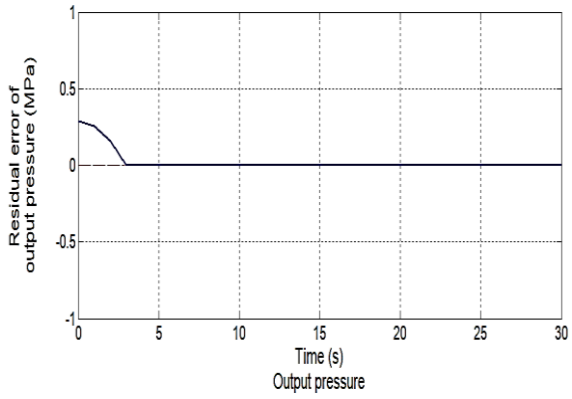


شکل ۹: فشار خروجPs ، دنبال کننده فشار ورودی Pu در حالت نرمال

همان‌طور که در شکل های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود خطای مانده سواش پلیت و فشار خروجی بدست آمده توسط رویتگر تقریباً صفر است. این بدان معناست که رویتگر کارکرد نرمال پمپ هوشمند را نشان دهد و هیچ نوع عیبی رخ نداده است. در واقع اختلاف حالت سیستم و حالت تخمین زده شده توسط رویتگرصفراست.



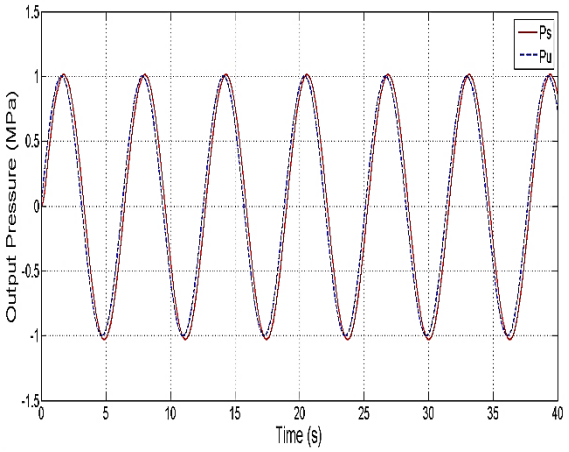
شکل ۱۰: خطای مانده ،زاویه swashplate در حالت نرمال



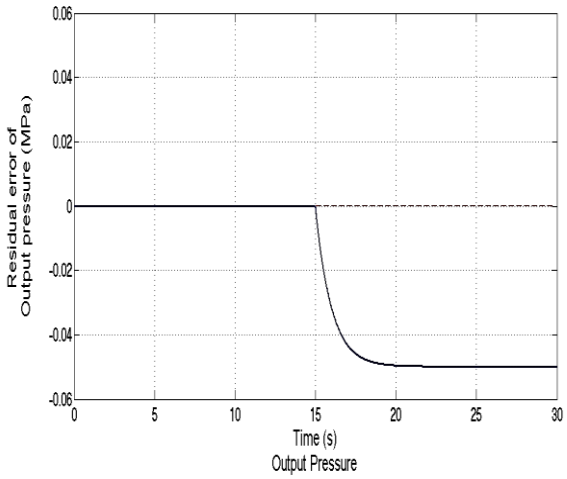
شکل ۱۱: خطای مانده ، فشار خروجی در حالت نرمال

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

فرض کنید سیستم پمپ هیدرولیک هوشمند برای ردیابی سیگنال موج سینوسی در حضور عیب‌های مختلف سیستم در سطح بالا مورد نیاز است مسیرهای ردیابی و خطاهای مانده برای ورودی سیگنال $p_u = (25 + \sin t) \times 10$ در شرایط نرمال در شکل(۱۲) نشان داده شده است.



شکل۱۲: خروجی فشار دنبال کننده فشار ورودی در وضعیت نرمال



شکل۱۳: خطای مانده سواش پلیت برای عیب I

به منظور بررسی قابلیت تشخیص عیب و توانایی رویتگر ورودی ناشناخته غیرخطی برای شناسایی عیب ، عیب های زیر وارد سیستم می‌شوند:

۱-خرابی یا فرسودگی که برای اجزای متحرک مکانیکی به وجود می‌آید. که به‌عنوان عیب I بیان می‌شود: موقعی که زمان عملیات به پانزده ثانیه می‌رسد عیب اعمال می‌شود یعنی سفتی فنر در مکانیزم متغیر به ۵۰٪ مقدار واقعی می‌رسد. سختی فنر باعث ناپایداری اجزای مکانیکی می‌شود.

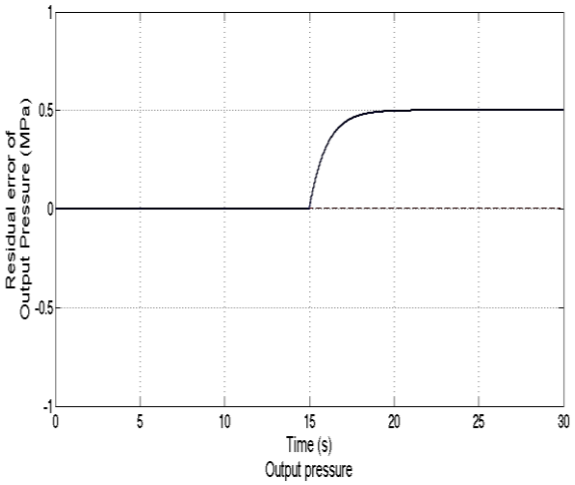
۲-نشتی در پمپ هوشمند که به‌عنوان عیب II در نظر گرفته می‌شود. موقعی که زمان عملیات به پانزده ثانیه می‌رسد از طریق افزایش نشتی‌ها ضریب C_{p1} به ۱۰۵% درصد مقدار واقعی می‌رسد. نشتی به وجود آمده در پمپ مستقیماً روی فشار خروجی تأثیر می‌گذارد و عملکرد پمپ را مختل می‌کند.

نتایج شبیه‌ساز شده در شکل (۱۳) نشان داده شده است قبل از اینکه عیب به سیستم وارد شود خطای مانده صفر است. پس از گذشت ۱۵ ثانیه عیب، وارد سیستم می‌شود و دامنه خطای مانده زاویه سواش پلیت مقداری غیر از صفر را اختیار می‌کند، به این معنی که کاهش سفتی فنر به طور مستقیم باعث عیب در اجزای متحرک مکانیکی می‌شود و رویتگر به‌درستی عیب را آشکارسازی می‌کند.

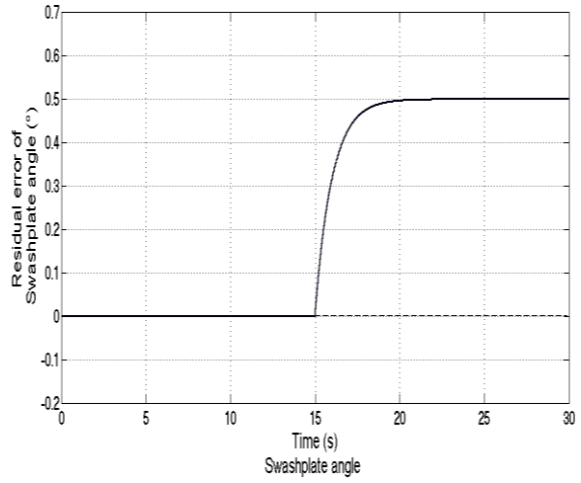
شکل (۱۴) افزایش خطای مانده فشار خروجی در ثانیه ۱۵را نشان می‌دهد، به این معنی که فشار خروجی واقعی پمپ هوشمند، پایین‌تر از مدل ایده‌آل است. در اصل عیب به وجود آمده باعث پایین آمدن فشار خروجی می‌شود و در نتیجه پمپ قادر به تولید فشار بالا در هنگام وقوع عیب نیست می‌توان گفت که مانده به خطای I حساس است و می‌تواند برای تشخیص این نوع عیب استفاده شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

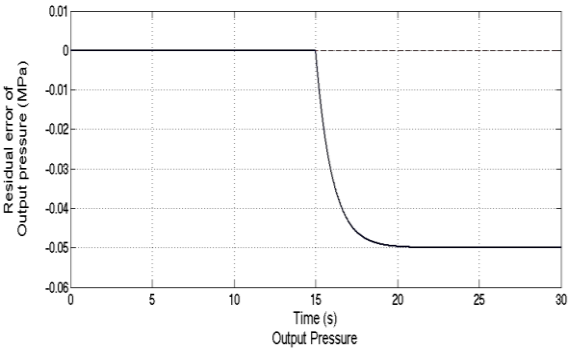


شکل ۱۴: خطای مانده فشار خروجی برای عیب I

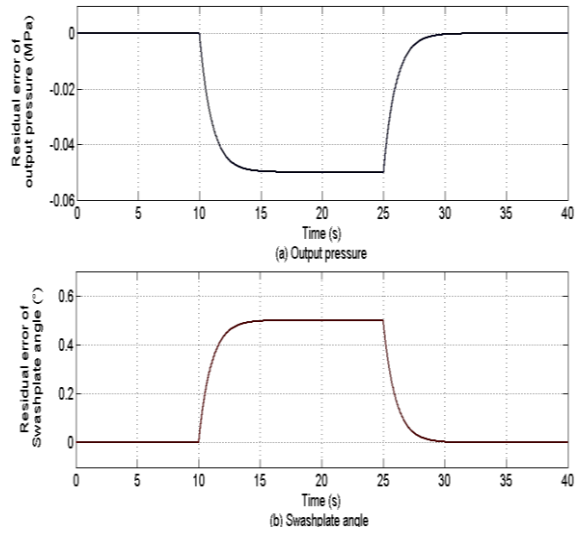


شکل ۱۵: خطای مانده سواش پلیت بر حسب عیبII

در شکل(۱۵) هنگامی که زمان عملیات به ۱۵ ثانیه می‌رسد عیب II رخ می‌دهد، خطای مانده، بزرگ‌تر از صفر است. با توجه به شکل۱۵ رویتگر به درستی عیب را تشخیص داده است. به منظور رسیدن به حالت تعادل جدید، مقدار واقعی سواش پلیت کمتر از مقداری است که رویتگر نشان می‌دهد.



شکل ۱۶: خطای مانده فشار خروجی بر حسب عیبII



شکل ۱۷: آشکارسازی موفق عیب I و II در حضور ورودی نامعلوم

به منظور خنثی کردن مشکل ناشی از نشت ، فشار خروجی واقعی باید بیشتر از مقدار محاسبه شده توسط مدل ایده‌آل باشد. بنابراین مقدار مانده کمتر از صفر است. با توجه به شکل های (۱۵) و (۱۶) خطای مانده قابلیت تشخیص و شناسایی عیب دوم در تمامی زمان‌ها دارد. هر چه عیب بزرگ‌تر باشد مقدار خطای مانده بیشتر خواهد بود بنابراین، آستانه خطاهای مانده را می‌توان از طریق این روش پیدا کرد. حداقل سطح قابل‌قبول عیب می‌تواند بر اساس نتایج شبیه‌سازی تنظیم شود.

در شکل ۱۷ یک عیب ناگهانی در ثانیه ۱۰ برای پمپ رخ می‌دهد مشاهده می‌شود که دامنه‌ی مانده تغییر می‌کند و به‌درستی عیب را آشکار می‌کند. بعد از گذشت ۱۵ ثانیه عیب پمپ رفع می‌شود و رویتگر ورودی ناشناخته تخمین درستی از حالت را نشان می‌دهد و مانده مجدداً صفر می‌شود.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

نتایج شبیه‌سازی برای حالت‌های مختلف پمپ که در معرض عیب قرار می‌گیرد به وضوح نشان می دهد که رویتگر ورودی ناشناخته در حضور نویز، مانده با دامنه‌های مناسب تولید می‌کند بنابراین برای دو نوع عیبی که در پمپ هیدرولیک هوشمند رخ می‌دهد حالت‌های معیوب به صورت قابل قبولی آشکارسازی می‌شوند و سیگنال های مانده تولید شده می‌توانند عیب را به درستی تشخیص دهند.

۵- نتیجه‌گیری

ایده اصلی استفاده از رویتگر ورودی ناشناخته تخمین حالت‌های سیستم است آن‌چنان‌که ورودی‌هایی چون اغتشاش و نویز روی آن تأثیری نداشته باشد و بتواند مانده ای مقاوم در برابر اغتشاشات تولید کند. عیب یابی پمپ هیدرولیک هوشمند که معادلات فضای حالت آن غیرخطی و دارای تاخیر زمانی می باشد با طراحی رویتگر ورودی ناشناخته غیرخطی انجام گرفت و تخمین کلیه حالات با دقت انجام شد بطوریکه دینامیک خطای تخمین به طور مجانبی به صفر می رسید. نتایج نشان داد خطاهای مانده فشار خروجی و سواش پلیت، نه تنها قادر است وضعیت کارکرد نرمال پمپ IHPS را دقیقاً تشخیص دهد، بلکه قادر است عیب‌های واردشده به سیستم را نیز شناسایی کند. این پژوهش به بررسی عیب های ناگهانی و تشخیص سریع آنها پرداخته و روش پیشنهاد شده یک روش تشخیص عیب مؤثر است که برای سیستم‌های زمان واقعی از جمله پمپ‌های هوشمند مورد استفاده در هواپیما و همچنین دیگر سیستم‌های هیدرولیک کاربرد دارد.

مراجع

[1] Chiang, L. H., Russell, E. L., & Braatz, R. D.. Fault detection and diagnosis in industrial systems. vol.17, no.4, (2001) 32-41.

[2] Witczak, M., Modelling and estimation strategies for fault diagnosis of non-linear systems: from analytical to soft computing approaches. Springer Science & Business Media. Vol. 354. (2007).

[3] V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, K. Yin and S. N. Kavuri, "A review of process fault detection and diagnosis Part I: Quantitative model-based methods", Computers & Chemical Engineering 27, (2002) 293-311

[4] V. Venkatasubramanian, R. Rengaswamy, K. Yin and S. N. Kavuri, Apr, "A review of process fault detection and diagnosis Part III: Process history based methods", Computers & Chemical Engineering 27, (2002) 327-346

[5] Patton, R.J., Frank, P.M. and Clarke, R.N., Fault diagnosis in dynamic systems: theory and application. Prentice-Hall, Inc. (1989).

[6] M. Basseville, Detecting changes in signals and systems- a survey, Automatica, vol.24, no.3, (1988) 309-326.

[7] Basseville, M. and Nikiforov, I.V. Detection of abrupt changes: theory and application, Vol. 104. Englewood Cliffs: Prentice Hall. (1993)

[8] Isermann, Rolf., Model-based fault-detection and diagnosis–status and applications, Annual Reviews in control 29, no. 1, (2005) 71-85

[9] Edwards, Christopher, Sarah K. Spurgeon, and Ron J. Patton, Sliding mode observers for fault detection and isolation, Automatica Vol. 36, no. 4, (2000) 541-553.

[10] S. Dash, S. Kantharao, R. Rengaswamy, and V. Venkatasubramanian, Application and evaluation of a linear/restricted nonlinear observer to a nonlinear CSTR, European symposium on computer aided process engineering, Denmark, (2001) 853-858.

[11] Lu C, Ma N, Wang ZP, Fault detection for hydraulic pump based on chaotic parallel rbf network, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing Vol 49 ,(2011) 1-10.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

[12] Xiancheng Ji, Yan Ren, Hesheng Tang, Chong Shi, Jiawei Xiang, An intelligent fault diagnosis approach based on Dempster-Shafer theory for hydraulic valves, Measurement, Vol 165,(2020).

[13] Hadi Azmi, Alireza Yazdizadeh, Robust adaptive fault detection and diagnosis observer design for a class of nonlinear systems with uncertainty and unknown time-varying internal delay, ISA Transactions, (2022).

[14] Zhi-Hui Zhang, Li-Ying Hao, Mingjie Guo, Fault detection for uncertain nonlinear systems via recursive observer and tight threshold, Applied Mathematics and Computation, Vol 414,(2022).

[15]Farideh Allahverdi, Amin Ramezani & Mehdi Forouzanfar, Sensor fault detection and isolation for a class of uncertain nonlinear system using sliding mode observers, Automatika, 61:2, (2020), 219-228.

[16] Ellis, G., Observers in control systems: a practical guide, Elsevier. eBook ISBN: 9780080513010,(2002) 1-4

[17] Watanabe, K., and D. M. Himmelblau. , Instrument fault detection in systems with uncertainties, International Journal of Systems Science 13, no. 2 (1982) 137-158.

[18] Trinh, H. and Fernando, T,. Functional observers for dynamical systems Springer Science & Business Media ,Vol. 420, (2012) 45-50.

[19] Wu ZM, Shi QL, Bai PF, Zhong F , Simulation analysis of load sensing system based on amesim. Machine Tool & Hydraulics. (2013) 41-44.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

چکیده انگلیسی:

State Estimation and fult detection in hydraulic pump using nonlinear Observer

Farideh Allahverdi[1] , Amin Kiani[2]

[1]Department of Electrical Engineering, Andimeshk Branch, Islamic Azad University, Andimeshk, Iran
[1]Department of Electrical Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

Received: October 2022, Accepted: December 2022

Abstract

In this research, parameter estimation and fault detection in hydraulic pump which is one of the most common systems used in sensitive industries such as aerospace and it has nonlinear behavior is investigated. The detection criterion is the residual signal calculated from the difference between the system output and an unknown input parameter. The reason for using the nonlinear observer is the timely detection of faults and its resistance to model disturbances and uncertainties. In this research, the leakage in the pump and the change of swashplate angle of the hydraulic pump are considered as faults and they could be detected by a nonlinear observer in time. Finally, it is proved by Matlab simulation software that the proposed method is able to estimate the system states well and reveal the faults.

Key words: Fault detection, Estate Estimation, Hydraulic pump, Observer.
*corresponding author: allahverdi@gmail.com

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1]

Cite this article as: Farideh Allahverdi, Amin Kiani, State Estimation and fult detection in hydraulic pump using nonlinear Observer. Journal of Energy Conversion, 2023, 10(1), 41-56. DOR**:** **20.1001.1.20089813.1402.10.1.3.1**