دانشکده مهندسی هوافضا

پایان نامه کارشناسی ارشد

در رشته : دینامیک پرواز و کنترل

طراحی مشاهده گر مد لغزشی برای شناسایی و تشخیص خطا در سیستم های کنترل پرواز

استاد راهنما

دکتر جعفر روشنی‌یان- دکتر بهروز ابراهیمی

استاد مشاور

دکتر مهدی علیاری

نگارش

سید محمد مهدی حسنی

شهریور1390

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکدهٔ مهندسی هوا فضا

تائیدیه هیات داوران

هیات داوران پس از مطالعه پایان‌نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان‌نامه تحت عنوان: **طراحی مشاهده گر مد لغزشی برای شناسایی و تشخیص خطا در سیستم های کنترل پرواز** توسط آقای **سید محمد مهدی حسنی** صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه **کارشناسی ارشد** در رشته **مهندسی هوافضا** گرایش **دینامیک پرواز و کنترل** با رتبه عالی مورد تائید قرار دادند.

استاد راهنما: آقای دکتر جعفر روشنی‌یان امضاء

استاد راهنمای دوم : آقای دکتر بهروز ابراهیمی امضاء

استاد مشاور: آقای دکتر مهدی علیاری امضاء

استاد ممتحن داخلی: آقای دکتر امضاء

استاد ممتحن داخلی: آقای دکتر امضاء

نماینده تحصیلات تکمیلی: آقای دکتر امضاء

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکدۀ مهندسی هوا فضا

اظهارنامۀ دانشجو

عنوان پایان‌نامه: طراحی مشاهده گر مد لغزشی برای شناسایی و تشخیص خطا در سیستم های کنترل پرواز

استاد راهنما: **دکتر جعفر روشنی‌یان**

دانشجو: **سید محمد مهدی حسنی**

اینجانب **سید محمد مهدی حسنی** دانشجوی دورۀ کارشناسی ارشد مهندسی هوا فضا گرایش دینامیک پرواز وکنترل دانشکدۀ هوا فضا دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این پایان‌نامه توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تأیید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج شده در این پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

سید محمد مهدی حسنی

1390/6/25

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکدۀ مهندسی هوا فضا

فرم حق طبع و نشر و مالکیت نتایج

1. حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسندۀ آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانۀ دانشکدۀ مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد. ضمناً متن این صفحه نیز باید در نسخۀ تکثیر شده وجود داشته باشد.
2. کلیۀ حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی می‌باشد و بدون اجازۀ کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست. همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

بعد از حمد و شکرگزاری به درگاه باریتعالی ، مراتب سپاس و امتنان خویش را از جناب آقای دکتر جعفر روشنی‌یان که بدون راهنماییهای ارزنده‌ی ایشان این کار، به انجام نمی‌رسید اعلام می‌دارم.
همچنین از آقایان دکتر بهروز ابراهیمی، استاد راهنمای دوم و دکتر مهدی علیاری، استاد مشاور پایان-نامه، به پاس راهنماییهای ارزشمند شان قدردانی می‌کنم. همچنین، بر خود واجب می‌دانم از پدر و مادرم بزرگوارم که همواره با دعای خیر خود، امید بخش روشن‌ها بوده است تشکر و قدر دانی نمایم .

چکیده

به طور کلی هزینه هایی که برای ساخت و آماده سازی یک وسیله پرنده می شود، هزینه های زیادی است . این هزینه ها لزوم وجود یک سیستم شناسایی و جبران خرابی را توجیه می کند . شناسایی و تشخیص خطا روشهای گوناگونی دارد ، یکی از این روش ها شناسایی و تشخیص خطا توسط مشاهده گر ها است. در این روش با استفاده از جهش خطای تخمین مشاهده گر و خارج شدن آن از محدوده ی تعریف شده، سیستم متوجه بروز خرابی می شود . هر اندازه سیستم دارای مقاومت بیشتری نسبت به اغتشاشات و نامعینی ها باشد، تشخیص خرابی به سهولت انجام می پذیرد . یکی از روشهای طراحی مشاهده گر مقاوم در برابر اغتشاشات ،طراحی مشاهده گر بر پایه ی تئوری مدلغزشی است . علاوه بر مقاوم بودن این روش ، می توان با استفاده از مشاهده گر مدلغزشی مدل خرابی ایجاد شده را بازسازی کرد . با استفاده از بازسازی خرابی و اعمال آن در مشاهده گر مدلغزشی می توان یک سیستم جبران خطا ایجاد کرد . با استفاده سامانه جبران ساز خرابی، می توان خرابی ایجاد شده در سیستم را جبران کرد به نحوی که سیستم قادر خواهد بود که در هنگام بروز خرابی به حرکت عادی خود ادامه دهد .

در این پایان نامه پس از بررسی انواع مشاهده گر های مدلغزشی ، 2 مشاهده گر مدلغزشی اوتکین و ادواردز برای یک ماهواره بر طراحی می شود. با فرض وقوع خرابی در ژیرسکوپ ماهواره بر عملکرد مشاهده گر های مد لغزشی طراحی شده مورد بررسی قرار می گیرد. سپس با در نظر گرفتن عوامل اغتشاشی و تصادفی ،عملکرد مشاهده گر های طراحی شده با عملکرد فیلتر کالمن و مشاهده گر لیونبرگ مورد مقایسه قرار می گیرد .

در انتها با استفاده از مشاهده گر مدلغزشی خرابی ایجاد شده بازسازی شده و با اعمال آن به سیستم جبران ساز خرابی ، اثر خرابی ایجاد شده حذف می گردد .

فهرست

فصل اول : مقدمه 8

1-1- انگیزه انتخاب تئوری مدلغزشی برای شناسایی و تشخیص خطا 9

2-1- تعاریف 12

3-1- سیر پیشرفت کنترل ساختار متغیر 17

4-1 - مروری بر منابع و مراجع 19

5-1 - شناسایی و تشخیص خطا توسط مشاهده گر ها 30

6-1- روش های شناسایی و تشخیص خطا توسط مشاهده گر ها 33

فصل دوم : تئوری کنترل مد لغزشی 34

1-2- معرفی مد لغزشی 35

1-1-2 – توصیف تئوری مدلغزشی با استفاده از یک مثال 35

2-2- مبانی تئوری 39

3-2 - کنترل ساختار متغیر برای سیستم های خطی 43

1-3-2- تعاریف اولیه 43

2-3-2- انواع سوییچینگ 44

3-3-2- شرایط تحقق و مد دستیابی 46

4-3-2- طراحی کنترلر مد لغزشی 48

4-2- کنترل ساختار متغیر برای سیستم های غیر خطی 51

2_4_1 ـ فرم کانونیک کاهش یافته 51

2_4_2 ـ فرم کانونیک کنترل پذیر[19] 51

2_4_3 ـ فرم ورودی ـ خروجی مستقل[19] 52

2_5 ـ پدیده چترینگ و راههای مقابله با آن [19] 53

2_5_1- روش پیوستگی[19] 53
2_5_2 ـ روش تغییر قانون دستیابی[19] 57
فصل سوم : معرفی انواع مشاهده گر های مدلغزشی مرتبه اول 59
1-3 – مقدمه [56] 60
2-3 - مشاهده گر اوتکین[56] 60
3-3- مشاهده گر Zak[56] 63
4-3 - مشاهده گرمد لغزشی Edwards & Spurgeon[56] 64
3-4-1- مثال [54] 66
3-4-2 - بازسازی خطا توسط مشاهده گر ادواردز [57] 69
فصل چهارم : طراحی مشاهده گر و جبران ساز خرابی مد لغزشی برای ماهواره بر 70
4-1 - مدلسازی دینامیکی[63] 71
4-2 - معر فی انواع خرابی در ژیرسکوپ[58] 76
4-2-1 - Bias Fault 76
4-2-2 - Drift Fault 77
4-2-3 -Loose of Accuracy Fault 78
4-2-4 - Freezing Fault 79
4-2-5 - خطای کالیبراسیون به عنوان خرابی یک سیستم 80
4-2-6 - تاثیر خرابی در ژیرسکوپ 81
4-3 - طراحی مشاهده گر اوتکین 82
4-3-1 - نتایج مشاهده گر اوتکین 83
4-4 - طراحی مشاهده گرمد لغزشی مرتبه 1 با استفاده از روش Edwards & Spurgeon 84
4-4 – 1 -نتایج مشاهده گر Edwards & Spurgeon 85

4-5- طراحی جبرانساز در هنگام بروز خرابی 91
4-5 -1- تئوری 91
4-5 -2- نتایج 93
فصل پنجم . نتیجه گیری و پیشنهاد هایی برای کارهای آینده 94
5-1 – مقدمه 95
5-2- مقایسه ی مشاهده گر مدلغزشی و مشاهده گر لیونبرگ 95
5-3- مقایسه ی مشاهده گر مدلغزشی و مشاهده گر کالمن 97
5-4 - جمع بندی 99
5-5 - بررسی مزایا و معایب مشاهده گر مدلغزشی 100
5-6- پیشنهاد های برای کارهای آینده 102
ث 104
ت 112
پیوست 1 . طراحی مشاهده گر لیونبرگ برای تشخیص خطا 113
پ1-1 - تئوری 113
پ 1 – 2 - روند طراحی یک مشاهده گر لیونبرگ 116
پ1-3- بررسی حساسیت مشاهده گر به Fault 118
5-4 . طراحی آستانه ثابت برای فرایند تشخیص خطا 119
پ1-4-شناسایی و تشخیص خطای انواع خرابی با استفاده از مشاهده گر لیونبرگ 119
خرابی Bias: 119
خرابی Drift: 119
پیوست 2 - طراحی مشاهده گر کالمن 120
پ2 -1- تئوری 120

پ2-2- روند طراحی مشاهده گر کالمن.....122
پ2-3- بررسی حساسیت مشاهده گر به Fault.....124
پ 3 . آستانه تطبیقی.....126
پ4. نمایی از Plant شبیه ساز ی شده.....126

فهرست اشکال :

شکل 1 - 1 : بلوک دیاگرام کنترل غیر خطی 12

شکل 1 - 2 : پاسخ سیستم به هر کدام از بهره های متغیر 12

شکل 1 - 3: پاسخ کلی سیستم 13

شکل 1 - 4: بلوک دیاگرام کنترل به همراه سامانه تشخیص خطا 31

شکل 1 - 5:نمایی از یک ماهواره بر 33

شکل 2 - 1: بلوک دیاگرام سیستم 36

شکل 2 - 2: تعریف مناطق مختلف با توجه به منطق سوییچینگ 36

شکل 2 - 3: ترسیم نمودار سیستم در فضای فازی برای الف) $y = 4$ ب) $y = -4$ 37

شکل 2 - 4: ترسیم نمودار سیستم ساختار متغیر در فضای فازی 38

شکل 2 - 5: نمایی از روش فیلیپوف 42

شکل 2 - 6: نمایی از حالت سوییچینگ به صورت درجه ثابت 44

شکل 2 - 7: نمایی از حالت سوییچینگ به صورت درجه آزاد 45

شکل 2 - 8: نمایی از حالت سوییچینگ به صورت مدلغزشی نهایی 46

شکل 2 - 9: توابع سوییچ 54

شکل 2 - 10:نمایش مد لغزشی و مدشبه لغزشی در صفحه فازی 57

شکل 3 - 1: نمایی از پاندول معکوس طراحی شده 66

شکل 4 - 1: تغییرات ضرایب دینامیکی در حرکت طولی 74

شکل 4 - 2: تغییرات ضرایب دینامیکی در حرکت طولی 75

شکل 4 - 3: بلوک دیاگرام عملگر 76

شکل 4 - 4: تاثیر خرابی بایاس بر روی عملکرد سنسور 77

شکل 4 - 5: تاثیر خرابی دریفت بر روی عملکرد سنسور 78

شکل 4 - 6 :تاثیر خرابی کاهش دقت بر روی عملکرد سنسور 79

شکل 4 - 7:تاثیر خرابی فریز بر روی عملکرد سنسور 80

شکل 4 - 8:تاثیر خرابی کالیبراسیون بر روی خروجی سنسور.....81
شکل 4 - 9:خطای مشاهده گر اوتکین در تخمین تغییر آهنگ تغییر زاویه.....83
شکل 4 - 10 : نمودار خطای تعقیب برنامه فراز.....85
شکل 4 - 11: نمودار تغییرسرعت زاویه ای فراز.....85
شکل 4 - 12: نمودار تغییرسرعت زاویه ای فراز.....86
شکل 4 - 13: نمودار خطای تعقیب برنامه فراز.....87
شکل 4 - 14:پاسخ مشاهده گر ادواردز به خرابی Bias.....88
شکل 4 - 15: تغییرسرعت زاویه ای فراز بدون حضور خرابی.....90
شکل 4 - 16: تغییرسرعت زاویه ای فراز درحضور خرابی.....90
شکل 4 - 17: جبران خرابی به وجود آمده با استفاده از روش 1.....92
شکل 4 - 18:جبران خرابی به وجود آمده با استفاده از روش 2.....92
شکل 4 - 19: جبران خرابی در حضور فالت Bias با استفاده از روش 1.....93

فصل اول : مقدمه

- انگیزه انتخاب تئوری مدلغزشی برای شناسایی و تشخیص خطا
- تعاریف
- سیر پیشرفت کنترل ساختار متغیر
- مروری بر منابع
- شناسایی و تشخیص خطا توسط مشاهده گر ها

1 - 1 - انگیزه انتخاب تئوری مدلغزشی برای شناسایی و تشخیص خطا

در سیستم های هوافضایی نظیر دیگر سیستم های مکانیکی ، الکتریکی و الکترومکانیکی روش های مختلف کنترل اعم از کنترل کلاسیک و مدرن مورد استفاده قرار می گیرد . با افزایش پیچیدگی سیستم ها و به منظور برآورده ساختن خواسته های مختلف از سیستم های کنترل زاویه ای ، رفته رفته روش های کنترل کلاسیک جای خود را به روش های جدید کنترل می دهند .

سیستم های کنترلی کلاسیک ، عمدتاً سیستم های رگولاتوری هستند که اهداف طراحی آنها ، پایدارسازی وکاهش خطای حالت ماندگار سیستم های نسبتاًساده است . در طراحی کلاسیک سیستم های کنترل همانند روش های پاسخ فرکانسی یا مکان هندسی ریشه ها از مدل های تابع تبدیل در حوزه لاپلاس استفاده می شود.

با طراحی فضاپیماها ، هواپیماهای جنگنده و موشک های هدایت شونده بسیار پیشرفته ، دسته مهم دیگری از سیستم های کنترل ، تحت عنوان کنترل مدرن، توسعه یافت تا همگام با پیشرفت سریع فناوری بتواند نیازهای کنترلی را برآورده بسازد.

مسئله ی در طراحی سیستم کنترل زاویه ای برای ماهواره بر ها، وجود مشخصه های غیرپایدار این قبیل وسایل پرنده می باشد . بعبارت دیگر این دسته از وسایل پرنده یک سیستم دینامیکی هستند که تنها می توانند توسط یک مدل با پارامترهای متغیر با زمان و غیردقیق توضیح داده شوند . بنابراین یک، سیستم کنترل زاویه ای ، با دینامیک متغیر با زمان و پارامترهای نامعین و مجموعه ای از اغتشاشات مختلف مواجه می باشد. در این شرایط کنترل با بهره ثابت (کنترل کلاسیک)درنتیجه ماهیت بسیار ناپایدار دینامیکی وسیله پرنده خراب می شوند و عمل نمی کنند . چراکه ، کنترل کننده خطی نیز در ناحیه محدود و معینی از کارکرد سیستم مورد قبل می باشد ، اما هنگامیکه حوزه عملکرد سیستم در ناحیه بزرگ تری قرار داشته باشد ، کنترل کننده خطی رفتار مطلوبی از خود نشان نمی دهد. با توجه به اینکه رفتار غیرخطی سیستم در این نواحی توسط کنترل کننده خطی جبران نمی شود ، امکان ناپایداری سیستم وجود خواهد داشت . بنابراین برای اینکه یک سیستم را بتوان به کمک روش های خطی کنترل نمود ، احتیاج به یک مدل خطی از سیستم می باشد . در حالیکه برای برخی رفتارهای غیرخطی خاص ، بعلت طبیعت ناپیوسته شان نمی توان تقریب خطی بدست آورد . به این رفتارها که در بسیاری از سیستم های غیرخطی وجود دارد ، غیر خطی سخت می گویند .

رفتارهای پیچیده و گاه غیرقابل پیش بینی سیستم های غیر خطی توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است . بعنوان مثال وقتی برای یک فرایند خطی تابع تبدیل موجود باشد ، مفاهیمی همچون پایداری براحتی از

روی آن قابل بیان است . در حالیکه در فرایندهای غیرخطی چنین نیست . در طراحی کنترل کننده برای فرایند های غیر خطی ، نه تنها رفتارهای سیستم غیر خطی باید شناخته شود بلکه باید با استفاده از روش های عملی سیستم را مجبور به انجام رفتارهای مشخص و معلوم ازدیدگاه طراح نمود.

یک روش معمول در مواجهه با سیستم های غیرخطی اینست که سیستم را حول یک نقطه کارکرد خطی نموده و با استفاده از این سیستم خطی موضعی که تقریبی از سیستم غیرخطی در حوالی نقطه کارکرد است، به طراحی کنترل کننده پرداخت . همانطور که ذکر شد ، این روش همواره مناسب نمی باشد ، زیرا با فاصله گرفتن سیستم از نقطه کارکرد ، طراحی انجام شده جواب گو نخواهد بود . امروزه به کمک روش های عددی و وجود کامپیوترهای پیشرفته با سرعت مناسب ، بسیاری از معادلات دیفرانسیل غیرخطی حاکم بر پدیده فیزیکی ، مانند جریان سریال لزج ، ارتعاشات غیرخطی و دینامیکی پیچیده اجسام در حال حرکت با دقت و سرعت خوبی حل می گردند. اما فرمول بندی و ارائه مدل ریاضی برای توصیف رفتار بسیاری از پدیده های فیزیکی چندان آسان نیست و این از پیچیدگی هایی است که در مسایل کنترل ، بویژه در سیستم های غیرخطی بروز می یابد و به نامعینی در مدل و پارامترهای آن مرسوم است . نامعینی فرآیندها به دو دسته ساختاری و غیر ساختاری تقسیم می شوند . نامعینی ساختاری بدلیل متغیر بودن بعضی از پارامترهای سیستم پیش می آید و نامعینی غیرساختاری که عمدتاً در فرکانس های بالا حضور می یابد ، ناشی از عدم دقت در مدلسازی یا دینامیک های مدل نشده سیستم می باشد .

در کنترل کلاسیک می توان مشاهده نمود که پس از استخراج معادلات دینامیکی که توصیف کننده سیستم مورد نظر می باشد ، باید معادلات خطی سازی شوند . اما برای سیستم هایی که دارای هرگونه محدودیت روی متغیر های وضعیت از نقطه تعادل زیادی باشد ، دیگر نمی توان از روش های کنترل خطی استفاده نمود ، برای حل چنین مسایلی ، روش های متعددی بکارگرفته شده اند که اصلی ترین آنها روشهای کنترل تطبیقی[1] و کنترل مقاوم[2] هستند .

در کنترل تطبیقی با استفاده از پردازنده های پرقدرت ، پارامترهای سیستم در هر لحظه تخمین زده می شونهد و در همان لحظه نیز فرمان کنترلی محاسبه و به سیستم اعمال می گردد . بعبارتی ساختار کنترل کننده در این روش دائماً در حال تغییر و بازسازی است . این روش ، بلادرنگ و در نتیجه پرهزینه است و

---

1. Adaptive Control.
2. Robust Control .

استفاده از آن در مواردی توصیه می گردد که امکان تعیین تغییرات پارامترهای سیستم خارج از زمان عملکرد میسر نباشد

روش های کنترل مقاوم بر این محور استوارند که با یک منطق کنترلی ثابت تغییرات پارامترهای نامعین ، بتواند پاسخگوی اهداف کنترلی نظیر عملکرد مناسب و پایداری حلقه بسته باشد . این روش ها را می توان به دو دسته روش های حوزه زمانی و روش های حوزه فرکانسی تقسیم کرد . یکی از روش های معروف و پرقدرت حوزه زمانی ، روش کنترلی مدلغزشی[3] از گروه سیستم های ساختار متغیر است . سیستم کنترل ساختار متغیر همانطور که از نامش پیداست ، کلاسی از سیستم های کنترلی می باشد که قانون کنترلی درآن عمدتاً در طول فرایند کنترلی طبق قوانین تعریف شده در فضای حالت تغییر می کند .

این روش کاربردهای زیادی در زمینه های مختلف نظیر کنترل پرواز ، رباتیک ، نیروگاه های قدرت و غیره دارد . کنترل ساختار متغیر مبتنی بر توابع سوئیچ در فضای حالت می باشد که برای ایجاد یک سطح لغزش بکار می روند. توابع سوئیچ ، مسیر فضای حالت را بر روی سطح لغزش طراحی شده، نگه می دارند و در نتیجه دینامیک مطلوب برای سیستم ایجاد می گردد که نسبت به نامعینی های سیستم (ساختاری و غیر ساختاری) تا حد زیادی مقاوم و غیر حساس می باشد .

کنترل مدلغزشی بخاطر عدم حساسیت ذاتی و مقاوم بودن در برابر اغتشاشات و نامعینی های فرایند ،؛ یک الگوریتم کنترل قوی و جذاب است .

بخاطر این که ماهواره بر همیشه بصورت ایده آل مدل نشده و توصیفات ریاضی بصورت کامل نمی تواند حرکت وسیله پرنده را توضیح دهد ، این روش بعنوان یک طرح مناسب برای مانورهای این وسیله پرنده بررسی می شود.

دلایل فوق را می توان برای طراحی یک مشاهده گر مد لغزشی ذکر کرد چراکه طراحی مشاهده گر دوگان طراحی یک کنترلر است. علاوه براین مزیت های تئوری مدلغزشی برای جبران ساز خرابی با اهمیت تر می شوند. چراکه در طراحی جبران ساز خرابی خواص مقاوم بودن مشاهده گر در برابر انواع نامعینی ها و اغتشاشات خود را بیش از پیش اهمیت دارد .

---

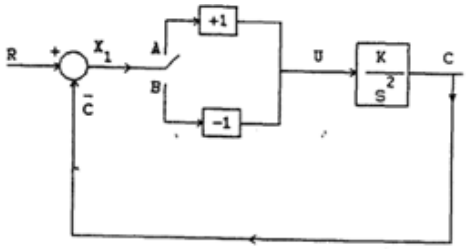
3. Sliding Mode Control

یکی از مشکلات شناسایی و تشخیص خطا امکان تشخیص اشتباه خطا است، چنانچه سیستم نسبت به اغتشاشات عملکرد مناسبی نداشته باشد امکان بروز تشخیص اشتباه وجود دارد. لذا وجود یک مشاهده گر مقاوم در برابر اغتشاشات می تواند احتمال تشخیص اشتباه خرابی را کم کند. مدلغزشی یکی از تئوری های قوی در زمینه ی مقاومت در برابر اغتشاشات و نامعینی ها است. لذا انتخاب این مشاهده گر برای تشخیص و شناسایی خرابی در سیستمی مانند ماهواره بر که انواع اغتشاشات و نامعینی ها در طی مسیر خود دارد ، یک انتخاب مناسب است.

2-1 - تعاریف

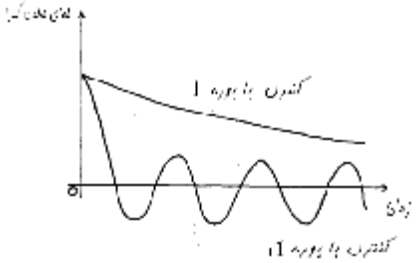
- **.کنترل ساختار متغیر**[4]

نوعی کنترل که بر پایه ی تغییر ساختار کنترلی است، که این تغییر بر اساس مقتضیات زمان انجام می شود .نمایی از آن را می توان درشکل (1-1) مشاهده کرد :



شکل 1 - 1 : بلوک دیاگرام کنترل غیر خطی

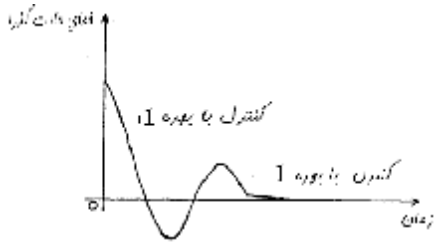
نمودار هر کدام از حالت ها ی شکل (1-1)را در فضای فازی شکل(1-7) می توان مشاهده کرد:



شکل 1 - 2 : پاسخ سیستم به هر کدام از بهره های متغیر

حال اگر این دو حالت را بهم ترکیب کنیم داریم.

[4] Variable Structure Control.



شکل 1 - 3: پاسخ کلی سیستم

همانطور که مشاهده می شود با انتخاب مناسب هرکدام از بهره ها خطای حالت گذرا به صفر رسید که این خاصیت مهم کنترل ساختار متغیر است.

- **تئوری مد لغزشی**[5]

این نوع کنترل یکی از انواع کنترل ساختار متغیر است که بعضاً بدلیل خصوصیت مقاوم در مقابله با اغتشاشات و نامعینی ها کنترل ساختار متغیر با این عنوان، یعنی کنترل مدلغزشی شناخته می شود. اساس کار این روش اینست که مثلاً در یک سیستم مرتبه دوم وقتی متغیر حالت تعریف شده سیستم از دو طرف به سمت صفحه لغزش می رود ، به محض رسیدن به صفحه لغزش روی آن صفحه باقی می ماند که در نتیجه حرکت روی این صفحه مرتبه سیستم را به یک تقلیل می دهد. همچنین این صفحه دارای خواص مقاوم بودن در مقابل اغتشاشات نیز است چرا که رفتار سیستم روی این صفحه فقط بستگی به شیب این صفحه دارد .

- **.مدلغزشی**[6]

حرکت بر روی صفحه لغزش به صورتی که روی آن باقی بماند و در طی زمان به سمت نقطه تعادل سیستم حرکت می کند را حرکت مدلغزشی می گویند.

- **مد دستیابی**[۷]

منطقه ای که دینامیک سیستم روی آن حرکت می کند تا به مدلغزشی برسد را مد دستیابی می گویند.

---

1. Sliding Mode Control
2. Sliding mode
3. Reaching Mode

- **شرط دستیابی**[8]

شرایطی که تحت آن سیستم باید روی مد دستیابی حرکت کند تا به صفحه لغزش برسد، را شرط دستیابی می گویند.

- **سطح لغزش**[9]

سطحی که سیستم بعد از رسیدن به آن سوییچ کند و روی آن باقی بماند و در طی زمان به سمت نقطه تعادل حرکت کند ، را سطح لغزش می گویند.

- **کنترل معادل** [10]

تعبیری پیوسته از یک کنترل متغیر که در واقع معدل 2 کنترل در دو سمت سطح لغزش است که توسط فیلیپوف ارائه شد.در حقیقت با استفاده از کنترل معادل قسمت های غیرخطی حذف و سیستم به صورت خطی تبدیل می شود.

- **خط سوییچ**[11]

خطی که برای سیستم های مرتبه دو حکم سطح لغزش را دارد و به محض رسیدن سیستم به مد لغزشی ،سیستم باید روی آن حرکت کند.

- **تئوری صفحه فازی**

تئوری که در آن می توان سیستم های مرتبه دوم را مدلسازی کرد و در مورد پایداری و کنترل آن بحث کرد .

- **خطای چترینگ**[12]

نوسانات حول سطح لغزش که بدلیل عدم ایده آل بودن عملگرها و دینامیک های مدل نشده ایجاد می شود که جزء معایب کنترل مد لغزشی است و باید برای کاهش یا از بین بردن آنها اقداماتی را انجام داد.

---

4. Reaching Condition

9. Sliding Surface

10. Equivalent Control

11. Switching Line

12. Chattering