





دانشکده مهندسی مکانیک

رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

پایان نامه کارشناسی ارشد

کنترل مقاوم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد در مود پویا

نگارنده: علی جلالی

استاد راهنما:

دکتر حبیب احمدی

شهریور ماه ۱۳۹۵



دانشگاه گجرات
مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۲۳۱۷ / ۰۳ / الف
تاریخ: ۲۸، ۷، ۹۸
ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای علی جلالی به شماره دانشجویی ۹۲۴۵۶۴۴ رشته مکانیک گرایش طراحی کاربردی تحت عنوان "کنترل مقاوم جستجو گر ژيروسکوپ آزاد در مود پویس" که در تاریخ ۱۶/۶/۹۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: بسیار خوب امتیاز: ۱۸/۲۶) دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد یار	حبیب احمدی	۱- استاذ ارشد
			۲- استاذ مشاور
	استاد یار	علی عباس نژاد	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	حمید رضا ایپک چی	۴- استاذ ممتحن
	استاد یار	امیر جلالی	۵- استاذ ممتحن

رئیس دانشکده علوم انسانی و اجتماعی
امضاء



تشکر از:

از استاد گرامی ام آقای دکتر احمدی بسیار سپاسگزارم چرا که بدون راهنمایی های ایشان
تامین این پایان نامه بسیار مشکل می نمود و با یاریها و راهنماییهای بی چشمداشت ایشان
بود که بسیاری از سختیها برایم آسانتر شدند.

تقدیم به محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه ی تلاشهای
بی دریغشان در دوران مختلف زندگی ام.

و

همسر مهربانم که در تمام طول تحصیل همراه و همگام من بوده است
و با همکاری و از خود گذشتگی مرا در کسب دانش حمایت کرده است.

این پایان نامه را به مهر آیین زندگی،

دختر کوچکم

تقدیم می کنم که با مهربانی کودکانه اش همراه و یاور من در تهیه این
تحقیق بود.

تعهد نامه

اینجانب علی جلالی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی دانشکده مکانیک پردیس خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی کنترل مقاوم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد در مود پویس تحت راهنمایی دکتر حبیب احمدی 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 یا « *Shahrood University of Technology* » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای 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

در موشک های هدایت شونده از ابزاری به اسم جستجو گر جهت افزایش دقت هدف گیری استفاده می شود که عموماً در نوک موشک نصب می گردد. در این تحقیق یک نوع جستجوگر به عنوان جستجوگر ژيروسکوپ آزاد با روتور مغناطیس دائم که با اعمال گشتاور های الکترو مغناطیسی جهت دهی می شود، بررسی شده است. در ابتدای بحث، معادلات حاکم بر دینامیک جستجوگر آزاد به همراه معادلات گشتاور های الکترو مغناطیسی وارد بر آن به ساده ترین شکل استخراج شده است و عملکرد آنها در مقایسه با خواص استاندارد ژيروسکوپ صحنه گذاری شده است. با توجه به غیر خطی بودن معادلات سیستم در اولین گام در راستای کنترل جستجوگر از کنترل کننده خطی ساز پسخورد استفاده شده است. این کنترل کننده با فرض مشخص بودن کامل دینامیک و پارامتر های سیستم با دقت بالا سامانه را کنترل مینماید ولی در شرایط واقعی و با حضور عدم قطعیت ها عملکرد مناسبی ارائه نمی دهد و این مسئله را روشن تر می سازد که در حضور عدم قطعیت ها، خاصیت مقاوم بودن کنترل کننده، باید مد نظر طراح باشد. به همین سبب در ادامه با اعمال کنترل کننده مودلغزشی و بهینه سازی ضرایب کنترل کننده به کمک الگوریتم ژنتیک با در نظر گرفتن مجموع قدر مطلق خطاهای سیستم به عنوان تابع هزینه و مینیمم سازی آن، مشاهده می گردد جستجوگر ژيروسکوپ آزاد، الگوی گل رز را به عنوان مسیر مطلوب پویش می نماید. و در نهایت امکان ایجاد گشتاور برای جهت دهی راستای سامانه بینایی جستجوگر را نتیجه می دهد.

کلمات کلیدی: جستجوگر ژيروسکوپ آزاد، مدل سازی دینامیکی، کنترل کننده خطی ساز پسخورد، کنترل کننده مودلغزشی، عدم قطعیت، مود پویش.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱ - ۱ - مقدمه	۲
۱ - ۲ - روشهای کنترل	۵
۱ - ۲ - ۱ - شرایط عمده ایجاد عدم قطعیت و اغتشاشات	۶
۱ - ۲ - ۲ - کنترل مقاوم و تطبیقی	۶
۱ - ۳ - مروری بر تاریخچه تحقیقات انجام شده	۷
۱ - ۴ - اهداف پایان نامه	۹
۱ - ۵ - ساختار پایان نامه	۹
فصل دوم: مدل سازی.....	۱۱
۱ - ۲ - معادله مومنتوم	۱۲
۲-۲ - بدست آوردن گشتاور الکترومغناطیسی وارد بر روتور مغناطیس دائم ژيروسکوپ	۲۲
۲ - ۳ - بدست آوردن مدل نهایی ترکیبی معادلات مکانیکی و الکترومغناطیسی	۲۶
۲ - ۳ - ۱ - انتقال معادلات مکانیکی به دستگاه سخت واقع در بدنه	۲۶
۲ - ۳ - ۲ - انتقال معادلات الکترومغناطیسی به دستگاه B واقع در قاب داخلی	۲۸
فصل سوم: شبیه سازی و اعتبار سنجی مدل دینامیکی.....	۳۱
۱ - ۳ - مقدمه	۳۲
۲ - ۳ - خواص اصلی قابل مشاهده ژيروسکوپ	۳۲
۳ - ۳ - شبیه سازی	۳۳
۴ - ۳ - تعیین ثابت ها و ضرایب و شرایط اولیه جستجوگر	۳۳
۵ - ۳ - تحلیل و مقایسه حرکت تقدیمی، صلبیت و رقص محوری	۳۴
فصل چهار: طراحی کنترلر.....	۳۹

- ۴ - ۱ - مقدمه ۴۰
- ۴ - ۲ - کنترل جستجوگر در مود پویش ۴۰
- ۴ - ۳ - طراحی کنترل کننده غیر خطی بر مبنای خطی سازی ورودی خروجی ۴۰
- ۴ - ۴ - روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک ۴۲
- ۴ - ۴ - ۱- الگوریتم ژنتیک انواع و دسته بندی ها ۴۳
- ۴ - ۴ - ۲- مرحله اول ۴۵
- ۴ - ۴ - ۳- مرحله دوم ۴۷
- ۴ - ۴ - ۴- مرحله سوم ۵۰
- ۴ - ۴ - ۵- مرحله چهارم ۵۴
- ۴ - ۴ - ۶- مرحله پنجم ۵۵
- ۴ - ۴ - ۷- مرحله ششم ۵۷
- ۴ - ۴ - ۸- مراحل تکمیلی ۵۸
- ۴ - ۴ - ۹- پارامترهای مقایسه ۵۹
- ۴ - ۴ - ۱۰- شرایط ثابت ۵۹
- ۴ - ۴ - ۱۱- نتیجه گیری و خاتمه ۶۰
- ۴ - ۵ - کنترل غیر خطی توسط خطی ساز پسخورد با ورودی پله ۶۲
- ۴ - ۵ - ۱- بهینه سازی ضرایب K_p و K_v کنترل کننده خطی ساز پسخورد توسط الگوریتم ژنتیک ۶۳
- ۴ - ۶ - پویش جستجوگر با الگوی گل رز ۶۴
- ۴ - ۷ - بررسی عملکرد کنترلر ست پوینت با حضور عدم قطعیت ۶۸
- ۴ - ۸ - بررسی عملکرد پویش جستجوگر با الگوی گل رز با حضور عدم قطعیت ۷۰
- ۴ - ۹ - کنترلر مقاوم مود لغزشی ۷۱

۴ - ۹ - ۱ - عملکرد سیستم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد در حالت ست پوینت کنترل (ورودی پله)	
با حضور عدم قطعیت ها	۷۳
۴ - ۹ - ۱ - ۱ - بهینه سازی ضرایب کنترل کننده غیر خطی و مقاوم لغزشی برای حالت ورودی ست	
پوینت یا پله	۷۳
۴ - ۹ - ۲ - عملکرد سیستم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد در ردیابی الگوی گل رز با کنترلر مود لغزشی	۷۵
فصل پنجم : نتیجه گیری	۷۹
۵ - ۱ - نتیجه گیری	۸۰
۵ - ۲ - پیشنهادات	۸۱
پیوست	۸۳
منابع	۸۸

فهرست شکل ها

- (شکل ۱-۱) یک نمونه ژيروسکوپ آزاد ۲
- شکل (۱-۲) سیم پیچهای عملگر جستجو گر ۴
- شکل (۲-۱) روتور متقارن ۱۴
- شکل (۲-۲) تغییرات مومنتوم زاویه ای ۱۵
- (شکل ۳-۲) سه وضعیت متفاوت بردارهای P, Ω, M ۱۶
- شکل (۴-۲) روتور ۱۷
- شکل (۵-۲) فرفره متقارن ۱۸
- شکل (۲-۶) مرکز جرم روتور ژيروسکوپ ۲۰
- شکل (۲-۷) دستگاه مختصات ۲۰
- شکل (۲-۸) سیم پیچها حسگر و عملگر ۲۳
- شکل (۲-۹) روش بیوساوار برای یک حلقه ۲۴
- شکل (۱-۳) گشتاور الکترو مغناطیسی T_x ورودی ۳۴
- شکل (۲-۳) گشتاور الکترو مغناطیسی T_y ورودی ۳۵
- شکل (۳-۳) تغییرات زوایای θ و Ψ پس از اعمال گشتاور های ورودی به مدل ۳۵
- شکل (۴-۳) گشتاور الکترو مغناطیسی T_x ورودی ۳۶
- شکل (۵-۳) گشتاور الکترو مغناطیسی T_y ورودی ۳۶
- شکل (۶-۳) تغییرات زوایای θ و Ψ پس از اعمال گشتاور های ورودی به مدل ۳۷
- شکل (۱-۴) پاسخ خروجی θ و Ψ ۶۳
- شکل (۲-۴) خطای سیستم در زاویه ۶۳
- شکل (۳-۴) خطای سیستم در زاویه Ψ ۶۴
- شکل (۴-۴) الگوی گل رز با داده های جدول (۴-۱۱) ۶۶

- شکل (۴ - ۵) پاسخ سیستم با کنترل کننده خطی ساز پسخورد به مسیر گل رز ۶۷
- شکل (۴ - ۶) خطای رد یابی الگوی گل رز در زاویه θ با کنترل کننده خطی ساز پسخورد ۶۷
- شکل (۴ - ۷) خطای ردیابی الگوی گل رز در زاویه Ψ با کنترل کننده خطی ساز پسخورد ۶۸
- شکل (۴ - ۸) پاسخ و مقدار مطلوب در زاویه θ برای سیستم کنترل کننده خطی ساز پسخورد با حضور عدم قطعیت ۶۹
- شکل (۴ - ۹) پاسخ و مقدار مطلوب در زاویه Ψ برای سیستم کنترل کننده خطی ساز پسخورد با حضور عدم قطعیت ۶۹
- شکل (۴ - ۱۰) پاسخ سیستم با کنترل کننده خطی ساز پسخورد برای ردیابی مسیر گل رز در حضور عدم قطعیت ۷۰
- شکل (۴ - ۱۱) پاسخ سیستم با کنترل کننده خطی ساز پسخورد در زاویه θ و Ψ با ورودی مطلوب الگوی گل رز در حضور عدم قطعیت ۷۰
- شکل (۴ - ۱۲) پاسخ سیستم در زاویه θ به همراه مقدار مطلوب با کنترل کننده مقاوم مود لغزشی ۷۴
- شکل (۴ - ۱۳) پاسخ سیستم در زاویه Ψ به همراه مقدار مطلوب با کنترل کننده مقاوم مود لغزشی ۷۴
- شکل (۴ - ۱۴) نمایش خطای کنترل کننده لغزشی برای زوایای θ و Ψ با ورودی پله ۷۵
- شکل (۴ - ۱۵) پاسخ سیستم به کنترل کننده مود لغزشی در مود پویش الگوی گل رز ۷۶
- شکل (۴ - ۱۶) خطای سیستم کنترل شده با کنترلر لغزشی در زاویه θ نسبت به مسیر مطلوب ۷۷
- شکل (۴ - ۱۷) خطای سیستم کنترل شده با کنترلر لغزشی در زاویه Ψ نسبت به مسیر مطلوب ۷۷

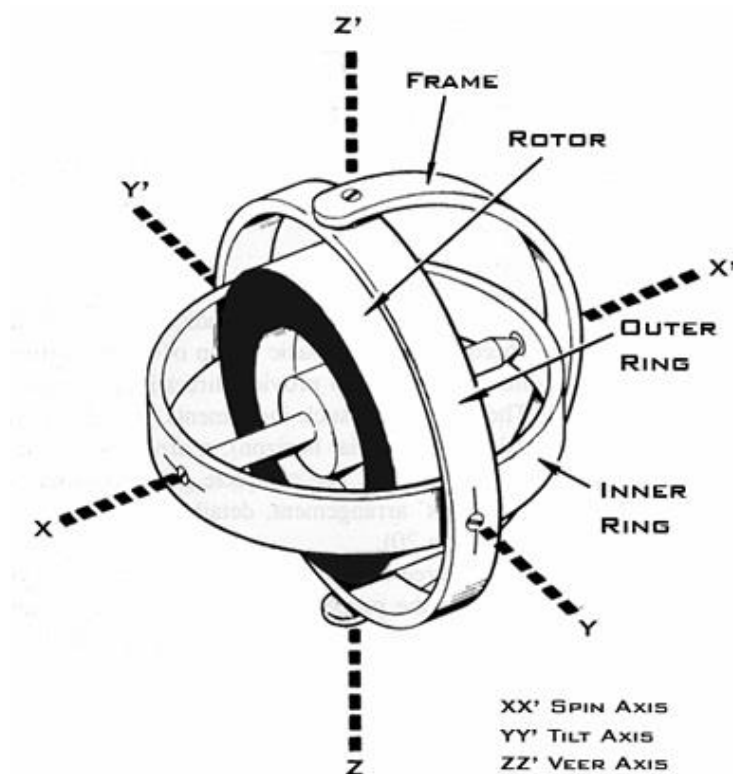
فهرست جداول

جدول (۴- ۱) یک دسته ۱۶ تایی سه‌تایی مرتب که به صورت تصادفی در فضای نمونه رابطه ۱ انتخاب شده اند	۴۶
جدول (۴-۲) مقادیر رابطه (۴- ۷) بازای اعداد مربوط به جدول (۴- ۱) و روش انتخاب ii.	۴۹
جدول (۴- ۳)	۵۲
جدول (۴- ۴)	۵۳
جدول (۴- ۵)	۵۳
جدول (۴- ۶)	۵۳
جدول (۴- ۷) یک مثال ساده از همپوشانی تک نقطه ای	۵۴
جدول (۴- ۸) جهش هنگام همپوشانی	۵۵
جدول (۴- ۹): مقادیر استخراج شده پارامترها و متناظر تبدیل شده آنها به مبنای ۱۰	۵۶
جدول (۴- ۱۰) مقادیر پارامترها و ثوابت برای یک نمونه جستجوگر	۶۲
جدول (۴- ۱۱) مقادیر بهینه ضرایب	۶۲
جدول (۴- ۱۲) ثوابت و زمان تشکیل مسیر گل رز	۶۵
جدول (۴- ۱۳) ضرایب کنترل کننده مقاوم لغزشی برای حالت ورودی ست پوینت یا پله	۷۳
جدول (۴- ۱۴) ضرایب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک برای کنترل کننده مود لغزشی در مود پویش الگوی گل رز	۷۶

فصل اول :

مقدمه

امروزه در پی توسعه فناوری های موشکی، افزایش دقت در هدف گیری و ردیابی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. برای این کار نیاز به ابزاری است که بتواند در میان حرکات چرخشی و غلطشی و خمشی بدنه موشک که باعث تغییر راستای هدف یا خط دید در فضا می شود همواره هدف را در میدان دید خود نگه دارد.



(شکل ۱-۱) یک نمونه ژيروسکوپ آزاد

با توجه به آزادی حرکت در جهات مختلف پس از شلیک در فضا بهترین گزینه جهت افزایش کنترل برسیستم و حفظ راستا استفاده از ژيروسکوپ می باشد [۱]. ژيروسکوپ همانطور که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است ابزاری است که محور دوران آن می تواند جهت چرخش خود در فضا را حفظ نماید [۲]. با استفاده از ژيروسکوپ با دو قاب که قابلیت چرخش در راستای خمش و گردش را

¹ Pitch

² Yaw

داشته باشد و مرکز جرم آن با مرکز سیستم تعلیق منطبق باشد، می‌توان در تئوری، گشتاور نیروی اینرسی حرکت انتقالی و گشتاور عکس‌العمل تکیه‌گاه نسبت به نقطه تعلیق را صفر در نظر گرفت. ابزار حاصل را که خواص دینامیکی خود را از ژيروسکوپ می‌گیرد و به کمک ابزار بینایی هدف را ردگیری می‌کند جستجوگر^۱ می‌گویند. جستجوگر می‌تواند قبل از پرتاب موشک و یا بعد از آن هدف را پیدا کند و روی آن قفل نماید. فن‌آوری مورد استفاده در ابزار بینایی جستجوگر جهت تشخیص هدف، می‌تواند به صورت راداری، لیزری مادون قرمز و یا مرئی باشد [۱۶-۳].

جستجوگر در نوک موشک تعبیه می‌شود، بعد از پیدا کردن هدف که می‌تواند قبل از پرتاب موشک یا بعد از آن انجام شود جستجوگر باید هدف را ردیابی کند به این معنا که آن را ببیند و از اشیا اطراف متمایز کند و بتواند در شرایطی که موشک حرکت وضعی و انتقالی دارد هدف را در میدان دید خود نگه دارد [۱۷].

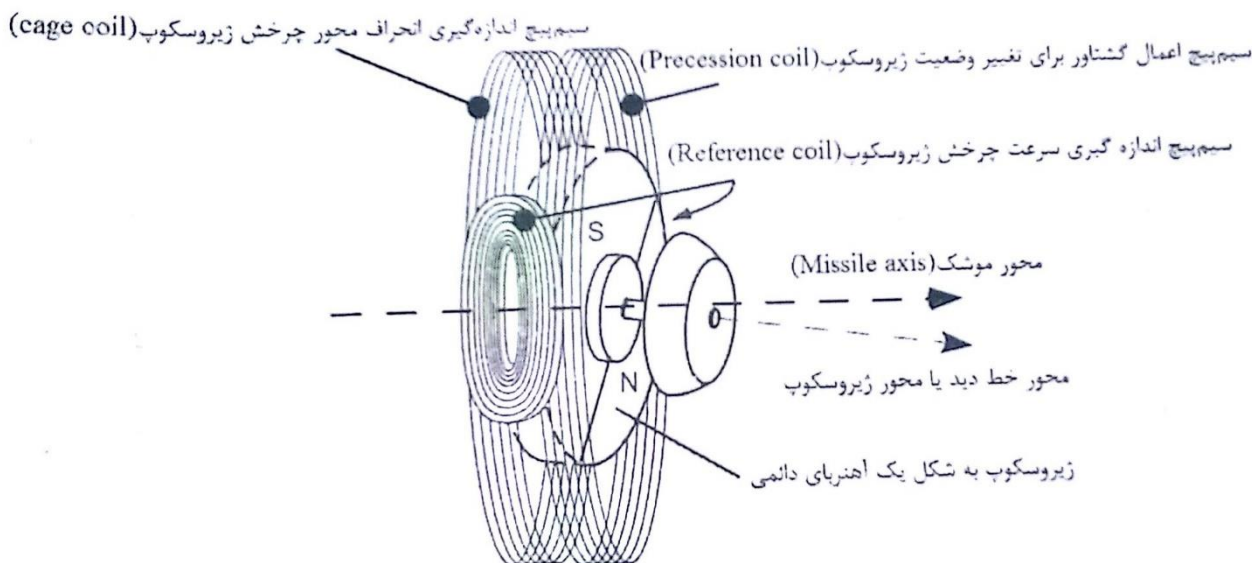
در شکل مونتاژ روی بدنه موشک، دو نوع جستجوگر ثابت و طوقه دار وجود دارد که در این پژوهش روی جستجوگر طوقه دار که طوقه‌هایی با قابلیت چرخش در دو جهت خمش و گردش را دارد بحث می‌شود. در این نوع جستجوگر سعی می‌شود همواره ابزار بینایی به سمت هدف نشانه روی شود و مرکز تصویر روی هدف نگه داشته شود.

به این منظور از مجموعه‌ای سیم پیچ جهت اعمال نیرو به روتور و اصلاح محور چرخش آن استفاده می‌شود. نمای کلی این سیستم در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.

سیم پیچ‌ها به بدنه موشک مقید هستند و علاوه به اعمال گشتاور به ژيروسکوپ وضعیت قرارگیری محور چرخش و تعداد دوران آن نسبت به بدنه موشک را نیز اندازه می‌گیرند.

¹ Seeker

² Tracking



شکل (۱ - ۲) سیم پیچهای عملگر جستجو گر

سیم پیچ حسگر سرعت چرخش^۱ وظیفه اندازه گیری سرعت چرخش محور ژيروسکوپ نسبت به بدنه را به عهده دارد. سیم پیچ های اندازه گیری انحراف محور چرخش ژيروسکوپ^۲ زاویه محور ژيروسکوپ با راستای حرکت موشک را در دوجبهت خمش و گردش اندازه می گیرد.

سیم پیچ های انحراف دهنده^۳ با اعمال گشتاور الکترومغناطیسی محور ژيروسکوپ را جهت دهی می کنند. راجع به جستجوگر ژيروسکوپ آزاد، وو در سال ۱۹۹۷ نحوه عملکرد مولد گشتاور الکترومغناطیسی مدل شده است [۱۸]. در این سیستم روتور دارای مغناطیس دائم می باشد و سیم پیچ ها از یک سو به عنوان حسگر زاویه انحراف عمل می کنند و از سوی دیگر با کنترل جریان عبوری از آنها، گشتاور به محور روتور اعمال می شود. مدل استخراج شده برای این سیستم با داده های واقعی مورد ارزیابی و صحه گذاری قرار گرفته است.

¹ Referenc coil

² Cage coil

³ Percession coil

در مطالعه واگونر در سال ۲۰۰۳ ژيروسکوپ آزاد جستجوگر یک موشک آشیانه یاب الکترواپتیکی به منظور استفاده از یک شبیه ساز جامع موشک به سه رورش مدل سازی شده است [۱۹]. درروش اول معادلات ساده شده ژيروسکوپ آزاد، در روش دوم معادلات کامل استخراج شده به روش نیوتن، و درروش سوم معادلات ساده شده به کمک روش لاگرانز در مدل سازی استفاده شده است. تفاوت معادلات به دست آمده در روش اول و سوم در ثابت فرض کردن سرعت چرخش روتور درروش اول می باشد. دراین تحقیق علاوه بر معادلات ژيرو سکوپ مدل مربوط به سیم پیچ های ح سگر و سیم پیچ های مولد هم استخراج شده است که خروجی های شبیه سازی شده براساس هریک از این سه روش با داده های واقعی در چهار حالت مقایسه شده است که نتایج در حالت دوم استفاده از معادلات کامل با داده های واقعی سازگارتر است.

در مطالعه نوردمن در سال ۲۰۰۴ نیز مسئله مدل سازی ژيرو سکوپ آزاد در یک جستجوگر بررسی شده است. دراین مدل سازی برای تهیه یک شبیه ساز زمان واقعی، به عنوان بخشی از یک تستر سخت افزار در حلقه یک موشک آشیانه یاب الکترواپتیکی استفاده شده است [۲۰]. مقایسه نتایج شبیه سازی با داده های واقعی در زوایای انحراف کوچک مناسب است ولی در زوایای انحراف بزرگ خطا افزایش می یابد.

۱-۲- روشهای کنترل

روشهای کنترل مختلفی در حوزه غیر خطی وجود دارد که یکی از ساده ترین و در دسترس ترین آنها خطی سازی پسخورده می باشد که مبتنی بر ایده تبدیل دینامیک های غیر خطی به شکل خطی با استفاده از پسخورده حالت، که خطی سازی ورودی- حالت نام دارد و مربوط می شود به خطی سازی کامل و خطی سازی ورودی- خروجی که به خطی سازی جزئی مربوط می شود.

کاربردی بودن خطی سازی ورودی- حالت با یک سری شرایط سخت محدود می شود و خطی سازی پسخورده ورودی- خروجی را نمی توان برای مواردی که مرتبه نسبی تعریف شده نیست به کار برد،

به علاوه حل معادلات دیفرانسیل جزئی حاصل از خطی سازی ورودی- حالت به طور عام قانون مند نیست. مشکل اساسی تر ناشی از این حقیقت است که مدل دقیق سیستم غیر خطی در اعمال خطی سازی پس‌خورده قابل دسترس نیست به خصوص در مواقعی که تبدیل خطی سازی به صورت ضعیفی شکل گرفته‌اند، حساسیت خطاهای مدل سازی شدیدتر می شود.

با توجه به این مسئله لازم است برخی از شرایط ایجاد عدم قطعیت در پروسه پرتاب موشک تا برخورد به هدف در ذیل ذکر گردد [۲۱].

۱ - ۲ - ۱ - شرایط عمده ایجاد عدم قطعیت و اغتشاشات :

۱- اغتشاشات ناشی از ضربه شلیک

۲- شتاب غیر ثابت موشک و شتابهای جانبی موشک به هنگام مانور

۳- دینامیک غیر بالانس

۴- متغیر بودن جرم به علت خروج سوخت در حین شلیک

۵- متغیر بودن ضرایب ایرودینامیک ناشی از تغییر غلظت هوا

۶- دینامیک های نادیده گرفته شده در مدل سازی یا فرضیات اولیه

۱ - ۲ - ۲ - کنترل مقاوم و تطبیقی

همانطور که قبلاً اشاره شد عدم دقت در مدل سازی می تواند اثرات نامطلوب شدیدی به سیستم های غیر خطی بگذارد. بنابراین هر طراحی باید آنها را مد نظر قرار دهد. دو روش اصلی مقابله با عدم قطعیت ها، کنترل مقاوم و کنترل تطبیقی می باشد.

ساختار نوعی کنترل کننده مقاوم تشکیل شده است از یک قسمت اسمی، مشابه خطی سازی پسخوردی با قانون کنترل معکوس و جملات اضافی، معطوف به مقابله با عدم قطعیت های مدل شده است. این نوع کنترل دینامیک های مدل نشده را به خوبی پوشش می دهد و عملکرد نسبتاً مناسبی به عدم قطعیت های پارامتری دارد. ساختار کنترل کننده دیگر یعنی کنترل تطبیقی، مشابه کنترل مقاوم است اما اضافه بر آن در حقیقت مدل در حین عمل بر اساس عملکرد اندازه گیری شده به روز می شود و در سیستم کنترل تطبیقی لازم است بازه ای معلوم از تغییرات پارامترها را در اختیار داشته باشیم. در ادامه به بررسی پژوهش های انجام شده در حوزه کنترل جستجوگر ژيروسکوپ آزاد می پردازیم.

۱ - ۳ - مروری بر تاریخچه تحقیقات انجام شده

در مطالعه لی در سال ۱۹۹۸ مدل حلقه اسکن یک جستجوگر پایدار شده که شامل یک ژيروسکوپ می باشد ارائه شده است. کنترلرهای LQG/LTR [۲۳] H^∞ [۲۴] برای حلقه اسکن جستجوگر در حضور عدم قطعیت مدل و اغتشاشات خارجی ارائه شده است. عملکرد کنترلر LQG/LTR با تعیین مقادیر منفرد یکنواخت بالاتر از فرکانسهای بازخورد هدف بهینه شده است و کنترلر H^∞ در قالب کاری H^∞ استاندارد طراحی شده و با مقایسه با مدل بهینه سازی شده و روش H^∞ پیشنهادی علاوه بر حوزه فرکانس حوزه زمان را نیز پوشش می دهد. در این مقاله نشان داده شده است که کنترلر های LQG/LTR و H^∞ طراحی شده عملکرد را بهبود بخشیده اند و خواص مقاومت در برابر عدم قطعیت ها را ارائه داده اند و هر دو کنترلر روی عملکرد حلقه اسکن جستجوگر موثر بوده اند [۲۲].

در مطالعه اشمیتندورف و همکاران در سال ۱۹۹۹ طراحی کنترلر ردیاب مقاوم برای حلقه اسکن جستجوگر مطرح می شود که مدل در شرایط عدم قطعیت قرار دارد. هدف مجبور کردن جستجوگر به ردیابی دقیق مسیرهای ارائه شده در حضور نامعینی ها می باشد. دو مسیر دایره ای و گل رز برای استفاده در شبیه سازی تست مقاوم بودن کنترلر ها ساخته شده اند. نتایج تئوری کنترلی H^∞ برای حالت بازخورد کامل و خروجی بازخورد برای طراحی کنترلر استفاده شده است و علاوه بر این برای رعایت

محدودیت های فیزیکی در مورد نیروی مغناطیسی کنترل کننده از فیلترهای خاصی استفاده شده است. برای هردو مسیر اسکن کنترلرهای مقاوم توانسته‌اند ردیابی دقیقی از مسیرها ارائه دهند [۲۵].

در مطالعه لی و اشمیدیت در سال ۲۰۰۲ کنترل H^∞ با دو درجه آزادی برای سیستم حلقه اسکن جستجوگر بررسی شده است، به این ترتیب که مدل پارامتری سیستم حلقه اسکن جستجوگر تعریف شده است و یک روش جدید مدل سازی براساس مقادیر واقعی پارامترهای نامعین و طراحی کنترلرهای مقاوم H^∞ ارائه شده است که تاثیر عدم قطعیت های پارامتری روی عملکرد پایداری حلقه بسته را بررسی می نماید. این روش روی یک سیستم حلقه اسکن جستجوگر با سه پارامتر نامعین به کار گرفته شده و نتایج نشان داده است که طراحی کنترلر H^∞ با دو درجه آزادی، عملکرد را بهبود بخشیده است و خواص مقاوم را نیز در برابر نامعینی ها ارائه نموده است [۲۶].

در مطالعه اس جی و همکاران در سال ۱۹۹۷ مسئله طراحی کنترل کننده برای یک ردیاب دو درجه آزادی به کمک شبکه عصبی (Radial Base Function) مورد بررسی قرار گرفته است. نکته حائز اهمیت در این ردیاب پایدار سازی آن به کمک ژيروسکوپ آزاد بوده و عملکرد آن معادل یک جستجوگر ژيروسکوپ آزاد در حالت جستجوی هدف است [۲۷].

هارمیر و همکاران در سال ۲۰۱۲ برای کنترل مقاوم حلقه اسکن جستجوگر مورد استفاده در پویش هدف و ردیابی آن از کنترل مقاوم مود لغزشی در حضور عدم قطعیت ها و تاثیرات اغتشاشات خارجی بهره گرفته‌اند [۲۸]. معادلات دینامیکی براساس صلب بودن سیستم جستجوگر و بدون ناهماهنگی توزیع وزن در آن نوشته شده است و معادلات حرکت موتورهای DC مولد حرکت قاب‌های جستجوگر نیز تعیین شده است که نتایج با شبیه سازی مورد تایید قرار گرفته است.

بارتوزویچ در سال ۱۹۹۸ کنترل تطبیقی مورد بررسی قرار گرفته است که برای پایدار کردن جستجوگر در برابر عدم قطعیت های پارامتری، کاربرد دارد و سرعت عملکرد آن در برابر اغتشاشات خارجی محدود می باشد و عملکرد کند ارائه می کند [۲۹]. روش خطی سازی پسخورد در مطالعه والدمن در ۲۰۰۲

بحث شده است و در نهایت به این نتیجه می‌رسد که کنترل با خطی سازی پسخورد نمی‌تواند در برابر عدم قطعیت‌ها و اغتشاشات عملکرد مقاومی را ارائه دهد [۳۰].

ادوارد و اسپرجن در ۱۹۹۸، وو چونگ و همکاران در ۲۰۰۰ و گوپال در ۲۰۰۹ در مورد عملکرد کنترلر مودلغزشی بحث کرده‌اند و قابلیت‌هایی نظیر دفع اثر اغتشاشات خارجی و ساده سازی و کاهش مرتبه کنترلر و مقاومت در برابر عدم قطعیت‌ها به عنوان نقاط قوت آن ذکر شده است [۳۱-۳۳].

۱ - ۴ - اهداف پایان نامه

هدف این تحقیق ارائه مدل سازی دینامیکی ساختار ژيروسکوپ آزاد و مدل سازی گشتاورهای الکترومغناطیسی وارد بر روتور مغناطیس دائم جستجوگر، به شکلی ساده و روان می‌باشد و پس از آن کنترل جستجوگر ژيروسکوپ آزاد با کنترل کننده های غیر خطی، و بررسی تأثیر دینامیک های مدل نشده و پارامتر های نامعین روی کنترل کننده ها، می‌باشد. در نهایت با ارائه کنترل کننده مقاوم سامانه بینایی جستجوگر ژيروسکوپ آزاد را در راستای مورد نظر جهت دهی خواهد نمود و با دنبال نمودن الگوی گل رز به عنوان مسیر مطلوب توانایی کنترل کننده آزمایش می‌شود.

۱ - ۵ - ساختار پایان نامه

بعد از مقدمه ارائه شده در این فصل که شامل توضیحاتی پیرامون جستجوگرها، شرایط واقعی پیرامون یک جستجوگر و توضیح اجمالی کنترل های غیر خطی به همراه مروری بر تاریخچه تحقیقات پیشین می‌باشد در فصل دوم با تحلیل دینامیک ژيروسکوپ آزاد به کمک معادلات مومنوم و انرژی معادلات دینامیکی سیستم استخراج می‌شود و با تدوین روابط حاکم بر الکترومغناطیس جستجوگر روابط گشتاور های وارده را فرمول بندی می‌گردد. بعد از مشخص شدن معادلات دینامیکی و مغناطیسی با انتخاب یک دستگاه مختصات مناسب و انتقال معادلات بدست آمده به آن معادلات کامل سیستم ارائه می‌گردد.

در فصل سوم در جهت محک زدن معادلات استخراج شده با شبیه سازی آنها به کمک نرم افزار متلب خصوصیات سیستم مدل شده با خصوصیات استاندارد ژيروسکوپ آزاد که در کتاب های مرجع و مقالات علمی مطرح شده است مورد مقایسه قرار می گیرد. این مقایسه باعث اطمینان و اعتبار معادلات می گردد.

در فصل چهارم مراحل طراحی کنترل کننده ارائه می شود که با توجه به غیر خطی بودن مدل سیستم کنترل کننده خطی ساز پسخورد به سیستم اعمال می گردد و در دو حالت ورودی پله و پویش گل رز مدل سازی می شود که بدون در نظر گرفتن اثر عدم قطعیت ها کنترل کننده موفق عمل می کند اما در حضور عدم قطعیت ها کنترل کننده خطی ساز پسخورد قابل استفاده نمی باشد. با توجه به وجود عدم قطعیت ها و نامعینی ها و لزوم استفاده از کنترل کننده مقاوم، کنترل کننده مود لغزشی برای دو حالت ورودی کنترلی پله و پویش گل رز اعمال می گردد، که نتایج حاصل کنترل پذیری مناسب و ردیابی قابل قبولی را ارائه می دهد. لازم به ذکر است که به کمک الگوریتم ژنتیک که در این فصل چگونگی کار کرد آن توضیح داده شده است، ضرایب کنترل ها بهینه سازی می گردد تا بهترین حالت با کمترین میزان خطا بدست آید.

در آخر عملکرد سیستم در جهت پویش مسیر دلخواه تحت کنترل، کنترل کننده های مختلف بررسی می گردد و نتیجه گیری تحقیق ارائه می شود.

فصل دوم :

مدل سازی

یکی از جالب ترین مسائل دینامیک حرکت ژيروسکوپ است این حرکت در صورتی رخ می دهد که محوری که جسم حول آن می چرخد، خود نیز حول محور دیگری دوران کند. گرچه تشریح کامل این حرکت پیچیدگی های قابل توجهی دارد ولی عمومی ترین و مفید ترین مسائل حرکت ژيروسکوپی هنگامی اتفاق می افتد که محور روتور دوار با سرعت ثابت و با حرکت تقدیمی کند حرکت کند.

۲ - ۱ - معادله مومنتوم

معادله (۲ - ۱) بیان می کند که برآیند برداری گشتاور نیرو های خارجی وارد بر هر سیستم جرم حول نقطه ثابت با میزان تغییر مومنتوم زاویه ای سیستم حول آن نقطه ثابت برابر است.

$$\sum M = \dot{H} \quad (۲-۱)$$

در صورتی که H مومنتوم زاویه ای برحسب مولفه هایی بیان شود، که نسبت به دستگاه مختصات متحرک xyz با سرعت زاویه ای Ω دوران می کند رابطه (۲-۱) به صورت زیر خواهد بود:

$$\sum M = \left(\frac{dH}{dt}\right)_{xyz} + \Omega \times H = (\dot{H}_x i + \dot{H}_y j + \dot{H}_z k) + \Omega \times H \quad (۲-۲)$$

با بسط دادن جملات عبارت (۲-۲) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \sum M &= (\dot{H}_x - H_y \Omega_z + H_z \Omega_y) i \\ &+ (\dot{H}_y - H_z \Omega_x + H_x \Omega_z) j \\ &+ (\dot{H}_z - H_x \Omega_y + H_y \Omega_x) k \end{aligned} \quad (۳-۲)$$

معادله (۳-۲) کلی ترین شکل معادله گشتاور حول یک نقطه ثابت و یا حول مرکز جرم می باشد

Ω_z و Ω_y و Ω_x مولفه های سرعت زاویه ای دوران محورهای مرجع

H_z و H_y و H_x مولفه های مومنتوم زاویه ای حول مرکز جرم یا یک نقطه ثابت

برای جسمی است که با سرعت زاویه ای لحظه ای ω در حال دوران می باشد . در رابطه (۴-۲) مؤلفه های مومنوم زاویه ای ارائه شده است.

$$H_x = I_{xx}\omega_x - I_{xy}\omega_y - I_{xz}\omega_z$$

$$H_y = -I_{yx}\omega_x + I_{yy}\omega_y - I_{yz}\omega_z \quad (۴-۲)$$

$$H_z = -I_{zx}\omega_x - I_{zy}\omega_y + I_{zz}\omega_z$$

و ω_x و ω_y و ω_z مؤلفه های سرعت زاویه ای جسم می باشد.

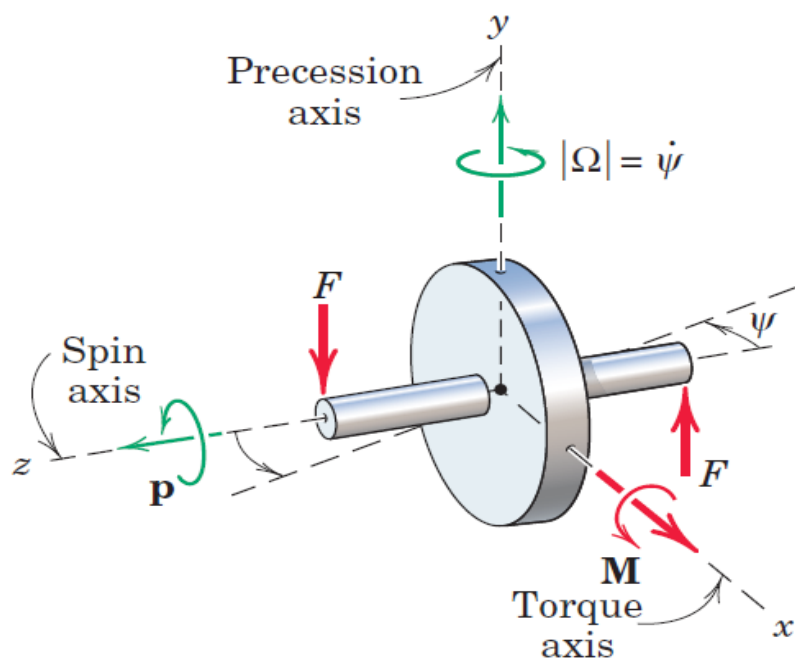
اگر محورهای مختصات به جسم الصاق شوند در این شرایط در مختصات xyz ممان ها و حاصل ضرب اینرسی نسبت به زمان تغییر ناپذیر بوده و $\Omega = \omega$ می باشد و معادله (۲-۳) به شکل زیر خواهد شد:

$$\sum M_x = \dot{H}_x - H_y\omega_y + H_z\omega_y$$

$$\sum M_y = \dot{H}_y - H_z\omega_x + H_x\omega_z$$

$$\sum M_z = \dot{H}_z - H_x\omega_y + H_y\omega_x \quad (۵-۲)$$

شکل (۲-۱) روتور متقارنی را نشان می دهد که با سرعت زاویه ای زیاد p حول محور z دوران می کند که به سرعت چرخش حول محور خود موسوم است. اگر دور نیروی F را که کوپل M را در جهت بردار x شکل می دهند به محور روتور اعمال کنیم محور روتور با سرعت زاویه ای آرام $\Omega = \dot{\Psi}$ که به سرعت تقدیمی (پیشروش) معروف است حول محور y دوران می کند.

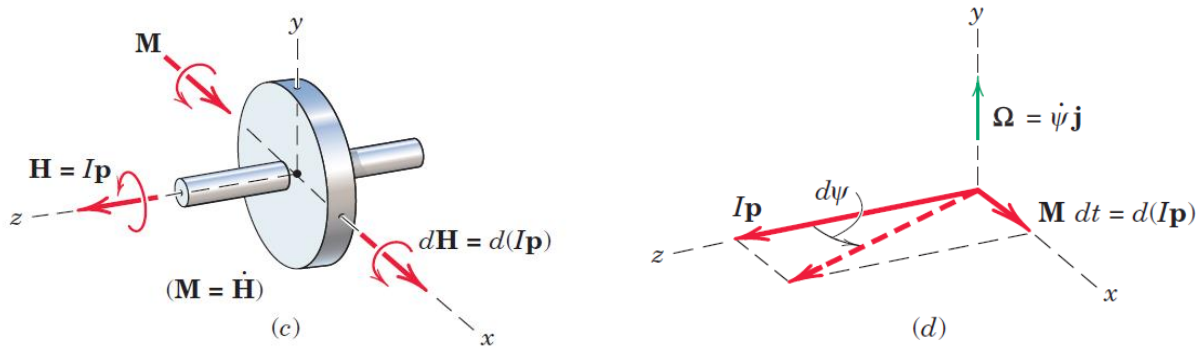


شکل (۲-۱) روتور متقارن

در نتیجه سه محور داریم که عبارتند از محور چرخش p ، محور گشتاور M و محور تقدیمی (پیشروش) Ω که از قاعده دست راست پیروی می کند.

باتوجه به شکل (۲-۲) معادله $M = \dot{H}$ که در مورد هر نوع سیستم جرم، اعم از صلب یا غیر صلب بر اساس مرکز جرم با نقطه ثابت O صادق است را در نظر می گیریم با توجه به متقارن بودن روتور به ازای یک میزان بالا از سرعت چرخش p و یک میزان پایین از Ω حول محور y مومنتوم زاویه ای را می توان توسط بردار $H = I p$ نشان داد که $I = I_{zz}$ همان اینرسی روتور حول محور دوران است. در ابتدا از مولفه کوچک مومنتوم زاویه ای حول محور y که حرکت تقدیمی کمی را در پی دارد صرف نظر می کنیم اعمال کوپل M عمود بر H سبب می شود که یک تغییر $dH = d(I p)$ در مومنتوم زاویه ای به وجود آید. ملاحظه می کنیم که dH و در نتیجه dp برداری است در جهت کوپل M چون داریم $M = H$ که می توان آن را به صورت $M dt = dH$ نیز نوشت، می توان دید که بردارهای M, H

dH , که شبیه بردارهای F, G, dG (در حالت حرکت منحنی الخط) می باشد با این نگرش خیلی عجیب نخواهد بود که با اعمال گشتاور M حول محور x محور روتور حول محور y حرکت تقدیمی داشته باشد.



شکل (۲-۲) تغییرات مومنتوم زاویه ای

در شکل (۲-۲ d) ملاحظه می شود که در فاصله زمانی dt بردار مومنتوم زاویه ای $I\mathbf{p}$ به اندازه زاویه $d\psi$ چرخش می کند به طوریکه در حالت حدی $\tan \psi = d\psi$ داریم :

$$d\psi = \frac{M dt}{I p} \quad (۲-۶)$$

یا

$$M = I \frac{d\psi}{dt} p \quad (۲-۷)$$

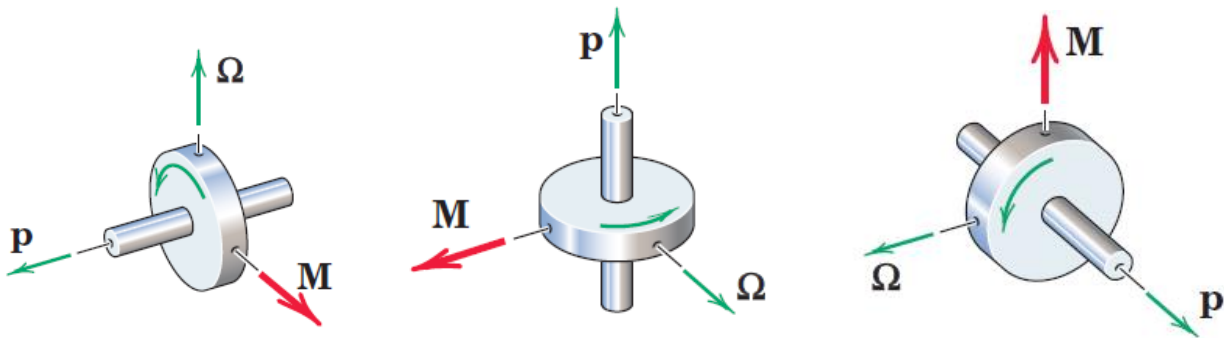
در صورتیکه $\Omega = \frac{d\psi}{dt}$ بیانگر اندازه سرعت تقدیمی باشد داریم

$$M = I \Omega p \quad (۲-۸)$$

و با توجه به عمود بودن دو به دو بردارهای M, Ω, p به هم و رابطه برداری آنها می توان به صورت ضرب برداری نوشت :

$$M = I \Omega \times p \quad (۲-۹)$$

رابطه (۲-۹) کاملاً به رابطه حاکم به حرکت منحنی الخط $F = m \omega \times v$ شبیه می باشد. رابطه فضایی صحیح بین سه بردار را می توان این گونه مدون کرد که dH و در نتیجه dp در جهت M می باشند براساس آن جهت صحیح حرکت تقدیمی Ω مشخص می شود و بردار سرعت چرخشی p همیشه تمایل به دوران به سمت بردار گشتاور M را دارد (شکل ۲-۳) سه وضعیت متفاوت، سه بردار مذکور را نشان می دهد.



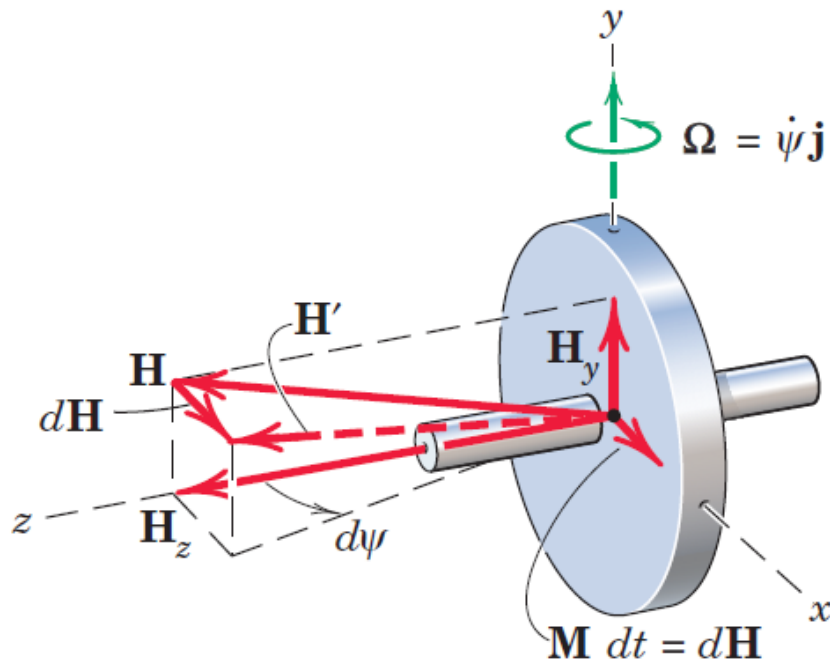
(شکل ۲-۳) سه وضعیت متفاوت بردارهای M , Ω , p

در حرکت ژيروسکوپ فرض شده که دوران حول محور روتور، بزرگ و حرکت تقدیمی کوچک است گرچه از معادله (۲-۸) می توان دید به ازای مقادیر معینی از I و M حرکت تقدیمی Ω باید در صورت بزرگ بودن p ، کوچک باشد.

حال حرکت تقدیمی پایدار را که در آن Ω اندازه ثابتی دارد بررسی می گردد. در شکل (۲-۴) روتور حول محور y دارای ممان اینرسی و نیز یک سرعت زاویه ای تقدیمی است پس حول این محور یک مؤلفه مومنتوم زاویه ای دیگر وجود خواهد داشت و دو مؤلفه $H_z = Ip$ و $H_y = I_0 \Omega$ را خواهیم داشت که I_0 همان I_{yy} و I نیز I_{zz} می باشد مومنتوم زاویه ای کل H در شکل نشان داده شده است تغییر در H همانند قبل به صورت $dH = M dt$ است و حرکت تقدیمی انجام شده در طی زمان dt عبارت از زاویه $d\psi$ می باشد.

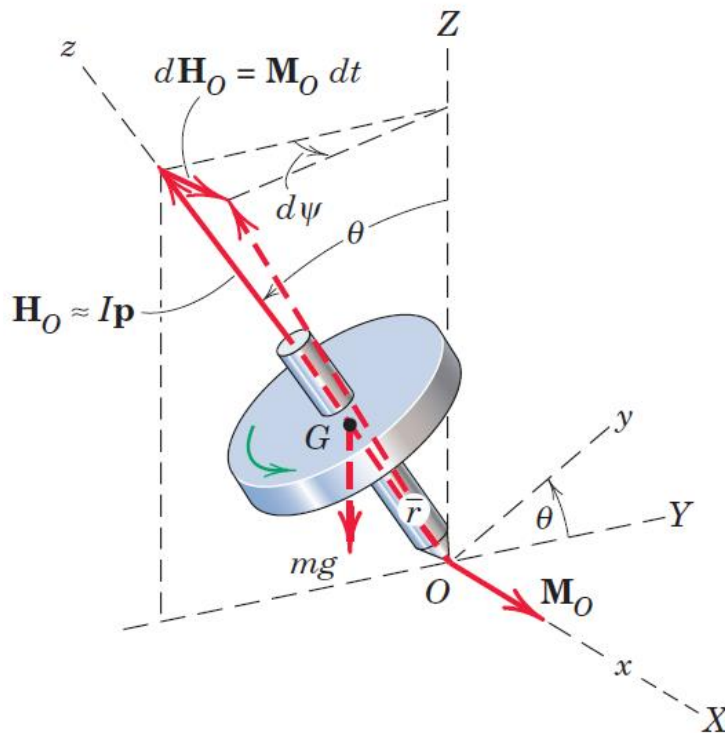
$$d\psi = M dt / H_z = M dt / I_p \quad (۲-۱۰)$$

در نتیجه معادله (۲-۸) در مورد حرکت تقدیمی پایدار که محور دوران روتور بر محور حرکت تقدیمی عمود است توصیف دقیقی ارائه می دهد.



شکل (۲-۴) روتور

در شکل (۲-۵) حرکت تقدیمی پایدار یک فرفره متقارن در نظر گرفته شده است که با سرعت زاویه‌ای زیاد p حول محور خود در حال چرخش است و به نقطه O تکیه دارد. در اینجا محور دوران فرفره با محور قائم z که حرکت تقدیمی حول آن صورت می گیرد زاویه θ را می سازد مجدد از مؤلفه مومنتوم زاویه ای کوچک که ناشی از حرکت تقدیمی است صرف نظر می کنیم و H را مساوی I_p در نظر می گیریم. پس مومنتوم زاویه ای حول محور فرفره فقط ناشی از دوران فرفره حول محور خودش می باشد. نیروی وزن حول O ایجاد گشتاور $mgr \sin \theta$ می کند که \bar{r} فاصله مرکز جرم تا O می باشد.



شکل (۲ - ۵) فرفره متقارن

باتوجه به شکل (۲-۵) درفاصله زمانی dt بردار H_O به اندازه $dH_O = M_O dt$ درجهت M_O تغییر می کند و در این حین θ بدون تغییر می ماند.

دیفرانسیل زاویه حرکت تقدیمی حول Z چنین است:

$$d\varphi = \frac{M_O dt}{I_p \sin\theta} \quad (۲ - ۱۱)$$

با قراردادن مقدار $M_O = mg \bar{r} \sin\theta$ ، $\Omega = d\psi/dt$ ، و در نظر گرفتن شعاع ژیراسیون سرعت حرکت تقدیمی چنین است:

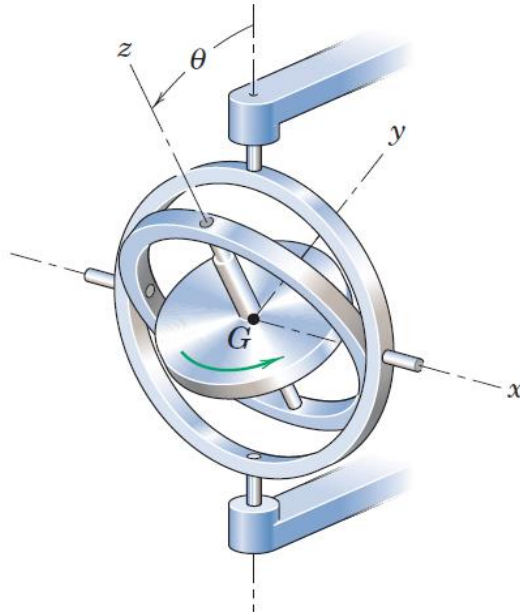
$$\Omega = \frac{g\bar{r}}{K^2 p} \quad (۲ - ۱۲)$$

معادله (۲ - ۱۲) یک معادله تقریبی است و مبتنی بر این فرض که مومنوم زاویه ای حاصل از Ω در مقایسه با مومنوم زاویه ای p ناچیز است. بر اساس این تحلیل در صورت برقراری معادله (۲-۱۲) فرقه تحت زاویه θ دارای حرکت تقدیمی پایدار خواهد بود و در غیر این صورت حرکت تقدیمی فرقه ناپایدار خواهد شد و با کاهش سرعت چرخش p دامنه نوسانات θ افزایش خواهد یافت که به این خاصیت ژيروسکوپ (رقص محوری) می گویند.

اکنون معادله (۲-۳) که معادله کلی مومنوم زاویه ای در مورد یک جسم صلب است به طور مستقیم مورد استفاده قرار می گیرد و به جسمی که حول محور تقارنش دوران می کند اعمال می شود این معادله در مورد دوران حول یک نقطه ثابت یا حول مرکز جرم معتبر است.

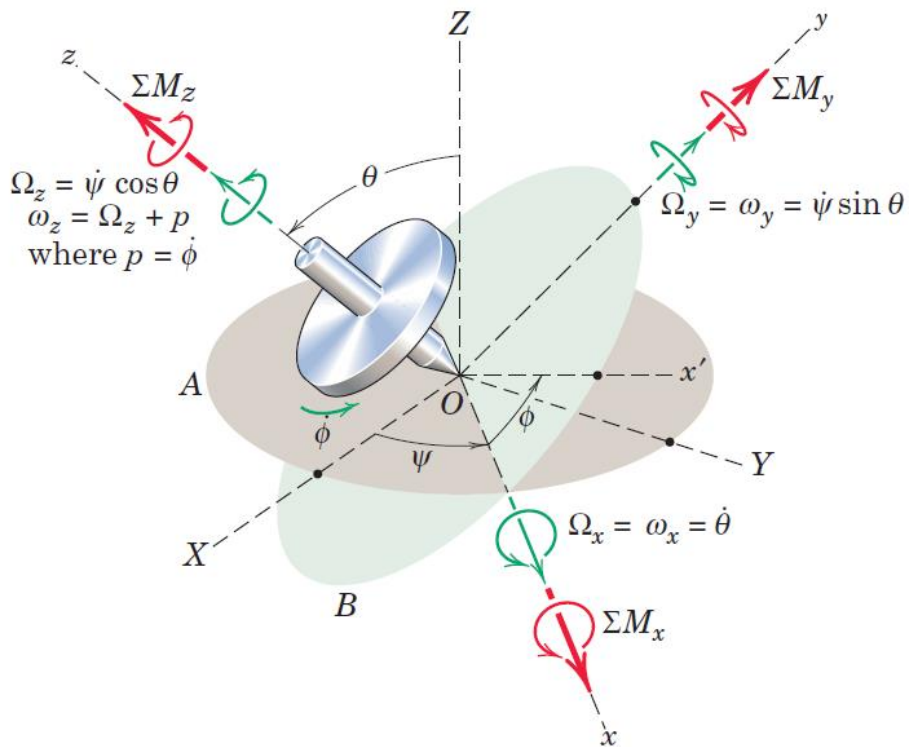
یک فرقه در حال دوران، موتور یک ژيروسکوپ و یک کپسول فضایی، نمونه هایی از اجسامی هستند که حرکت شان می تواند توسط معادلات مربوط به دوران حول یک نقطه مورد تشریح قرار گیرد. معادلات کلی گشتاور در مورد این دسته از مسائل نسبتاً پیچیده بوده و حل کامل آنها مستلزم حل انتگرال های بیضوی و انجام برخی از محاسبات طولانی است اما از حرکت به صورت دوران حول یک نقطه و دوران حول محور تقارن حرکت تقدیمی پایدار ایجاد می شود که این شرایط باعث ساده سازی و حل آسانتر معادلات می گردد.

همانگونه که در شکل (۲-۶) در مورد روتور ژيروسکوپ نشان داده شده است مرکز جرم به عنوان مبدا دستگاه مختصات در نظر گرفته شده است و محورهای y, x محورهای اصلی اینرسی گذرنده از نقطه G هستند که بدون در نظر گرفتن دوران محورها یا دوران جسم نسبت به محورها (چرخش حول محور z)، ممان های اینرسی حول محورهای y, x نسبت به زمان ثابت باقی می ماند. ممانهای اینرسی به صورت $I_{yy} = I_{xx} = I_0, I_{zz} = I$ نشان داده می شوند و حاصل ضرب های اینرسی در این حالت صفر می باشند.



شکل (۲-۶) مرکز جرم روتور ژيروسکوپ

قبل از به کارگیری معادله (۳-۲) دستگاه مختصاتی را معرفی می کنیم که با شرایط فیزیکی ما سازگار باشد. این دستگاه مختصات در شکل (۲-۷) نشان داده شده است



شکل (۲-۷) دستگاه مختصات

محورهای $x-y-z$ در فضا ثابت بوده و صفحه A محورهای $x-y$ و نقطه O واقع بر محور روتور را در بر می گیرد. صفحه B نقطه O را در بر داشته و همیشه عمود بر محور روتور می باشد. میزان انحراف محور روتور از محور قائم Z با زاویه θ اندازه گیری می شود که همچنین معیاری برای سنجش زاویه بین دو صفحه A, B است. محور x محل تقاطع این دو صفحه است که زاویه Ψ را با محور x می سازد. محور y در صفحه B قرار دارد و محور Z بر محور روتور منطبق است. زوایای θ و Ψ وضعیت محور روتور را به طور کامل مشخص می کنند. زاویه \emptyset که زاویه بین محور x و x' می باشد تغییر مکان زاویه ای روتور نسبت به دستگاه xyz را نشان می دهد و سرعت چرخش جسم حول محور خودش برابر $P = \dot{\emptyset}$ می باشد.

مولفه های سرعت زاویه ای ω روتور و سرعت زاویه ای Ω برای محورهای xyz به صورت زیر خواهد بود:

$$\Omega_x = \dot{\theta}$$

$$\Omega_y = \dot{\Psi} \sin \theta$$

$$\Omega_z = \dot{\Psi} \cos \theta \quad (2-13)$$

$$\omega_x = \dot{\theta}$$

$$\omega_y = \dot{\Psi} \sin \theta$$

$$\omega_z = \dot{\Psi} \cos \theta + P$$

باید به این نکته توجه کرد که محورها و خود جسم دارای مؤلفه های یکسان سرعت زاویه ای در جهت X, Y می باشند ولی مؤلفه های Z آنها به دلیل وجود سرعت زاویه ای نسبی P با یکدیگر متفاوت می باشند.

مؤلفه های مومنتوم زاویه ای از رابطه (۲-۴) به صورت زیر می باشند:

$$H_x = I_{xx}\omega_x = I_o\dot{\theta}$$

$$H_y = I_{yy}\omega_y = I_o\dot{\Psi} \sin \theta \quad (2-14)$$

$$H_z = I_{zz}\omega_z = I(\dot{\Psi} \cos \theta + p)$$

با قراردادن مؤلفه های سرعت زاویه ای مومنتوم زاویه ای در معادله (۲-۳) داریم :

$$\sum M_x = I_o(\ddot{\theta} - \dot{\Psi}^2 \sin \theta \cos \theta) + I\dot{\Psi}(\dot{\Psi} \cos \theta + P) \sin \theta$$

$$\sum M_y = I_o(\ddot{\Psi} \sin \theta + 2\dot{\Psi}\dot{\theta} \cos \theta) - I\dot{\theta}(\dot{\Psi} \cos \theta + P) \quad (2-15)$$

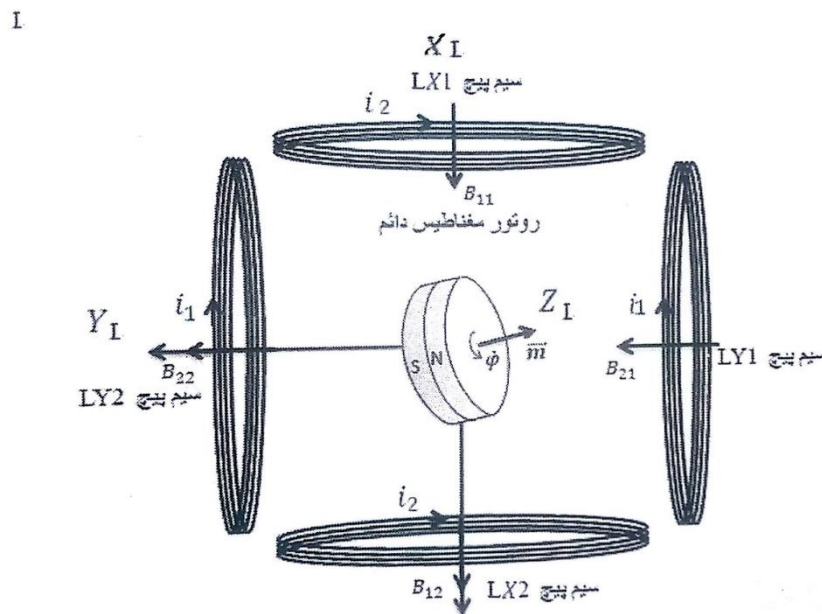
$$\sum M_z = I \frac{d}{dt} (\dot{\Psi} \cos \theta + P)$$

معادلات (۲-۱۵) معادلات کلی دوران یک جسم متقارن حول یک نقطه ثابت O و نیز حول مرکز جرم G می باشد [۲].

۲-۲- بدست آوردن گشتاور الکترومغناطیسی وارد بر روتور مغناطیس دائم ژيروسکوپ

براساس ساختمان کلی جستجوگر سیم پیچ هایی در اطراف روتور مغناطیس دائم نصب می شوند که با تغییر مقدار جریان عبوری از آنها میتوان میدان مغناطیسی دلخواهی از روتور مغناطیس دائم

جستجوگر عبور داد و به تبع آن گشتاور الکترومغناطیسی را به روتور مغناطیس دائم وارد کرد و به این ترتیب می توان با تغییر جریان سیم پیچها وضعیت راستای سامانه بینایی جستجوگر را نیز تغییر داد.



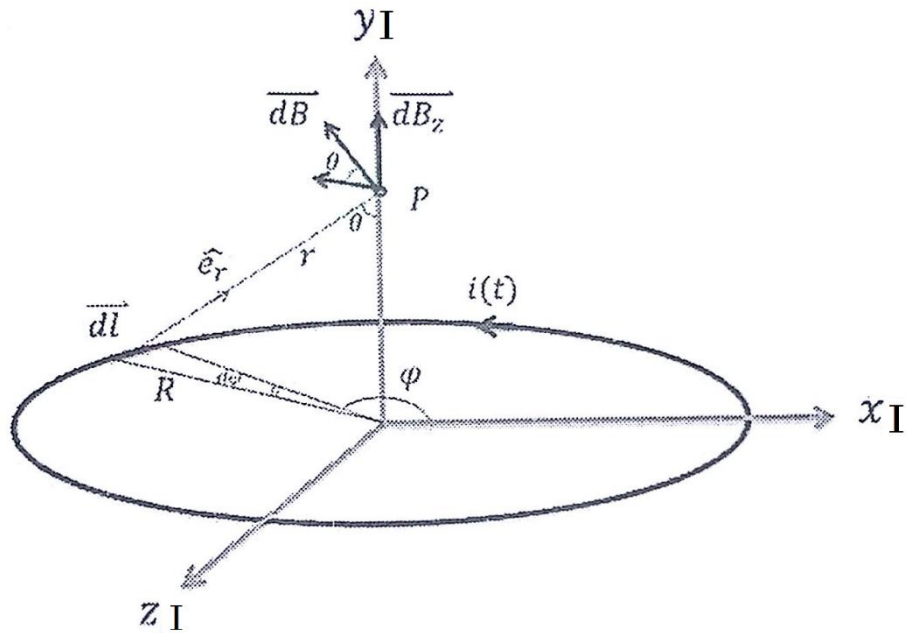
شکل (۲-۸) سیم پیچها حسگر و عملگر

زوج سیم پیچ L_{y1} و L_{y2} روی پوسته جستجوگر و در دستگاه لخت I نصب شده اند و در صورت عبور جریان i_1 از آنها میدان یکدیگر را در جهت Y_1 تقویت می کنند و زوج سیم پیچ L_{x1} و L_{x2} نیز روی پوسته جستجوگر و در دستگاه لخت I نصب شده اند و در صورت عبور جریان i_2 از آنها میدان یکدیگر را در جهت X_1 تقویت می کنند.

میتوان مدل ساده شده روتور مغناطیس دائم جستجوگر را مشابه یک میله مغناطیس دائم با بردار مغناطیدگی \vec{m} فرض کرد که بردار \vec{m} مغناطیدگی دوقطبی روتور را نشان می دهد این بردار همیشه در راستای دید جستجوگر است. در این صورت گشتاور الکترومغناطیسی وارد شده به روتور جستجوگر عبارت است از:

$$\vec{T} = \vec{m} \times \vec{B} \quad (۲-۱۶)$$

رابطه (۲ - ۱۶) نشان می دهد ضرب خارجی بردار مغناطیدگی m روتور مغناطیس دائم ، در بردار میدان مغناطیسی B حاصل از سیم پیچ ها، گشتاور اعمالی به روتور را ایجاد می کنند. برای بدست آوردن میدان مغناطیسی هر زوج سیم پیچ در محل روتور از روش بیوساوار مطابق شکل (۲-۹) برای یک حلقه شروع می کنیم.



شکل (۲-۹) روش بیوساوار برای یک حلقه

در اثر عبور جریان از المان dL برای یک حلقه جریان، چگالی میدان مغناطیسی در جهت y با مقدار \vec{dB} ایجاد می شود که طبق قانون بیوساوار داریم:

$$\vec{dB} = \frac{M_0}{4\pi} \frac{idL \times \hat{e}_r}{r^2} \quad (۲ - ۱۷)$$

M_0 ثابت تراوایی مغناطیسی برابر $4\pi \times 10^{-7} \text{ T.M/A}$

\hat{e}_r بردار یکه المان توزیع جریان از مرکز تا نقطه p است.

برای داشتن B کل باید روی المان idL انتگرال گرفت.

$$B = \int \overrightarrow{dB} = \frac{M_0}{4\pi} \int \frac{i\overrightarrow{dL} \times \widehat{e}_r}{r^2} = \frac{M_0}{4\pi} \int \frac{i\overrightarrow{dS} \times \vec{r}}{r^3} \quad (۱۸ - ۲)$$

حال میدان در جهت y_1 را بدست می آوریم:

$$By = \int dB \cdot \sin\theta = \frac{M_0}{4\pi} \int \frac{i \cdot dL \times \widehat{e}_r}{r^2} \sin\theta = \frac{M_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \frac{i \cdot R \cdot d\varphi \cdot r}{r^3} \cdot \frac{R}{r} =$$

$$\frac{R^2 M_0}{2(R^2 + y^2)^{3/2}} i \quad (۱۹ - ۲)$$

دو سیم پیچ Ly_1 و Ly_2 رو به رو و متقارن هستند و هرکدام N دور حلقه سیم دارند پس میدان در وسط دو سیم پیچ با $2N$ دور حلقه به شکل زیر می باشد.

$$\overrightarrow{By} = \frac{R^2 M_0 N}{(R^2 + y^2)^{3/2}} i \quad (۲۰ - ۲)$$

با توجه به توضیحات ارائه شده برای نوشتن میدان ایجاد شده توسط دو زوج سیم پیچ شکل (۲-۸) در مرکز دوران روتور مغناطیسی، می توانیم دو رابطه زیر را بنویسیم.

$$\overrightarrow{By} = \frac{R^2 M_0 N}{(R^2 + y^2)^{3/2}} i_1 \quad (۲۱ - ۲)$$

$$\overrightarrow{Bx} = \frac{R^2 M_0 N}{(R^2 + x^2)^{3/2}} i_2$$

با فرض آنکه ابعاد سیم پیچ ها به اندازه ای بزرگ باشد که میدان در تمامی نقاط قرارگیری روتور تقریباً یکسان باشد می توان با دو پارامتر ثابت α و β رابطه (۲۱ - ۲) را ساده کرد:

$$\overrightarrow{By} = \alpha i_1 \quad (۲۲ - ۲)$$

$$\overrightarrow{Bx} = \beta i_2$$

بردار میدان مغناطیسی در دستگاه سخت I توصیف می شود و برابر است با :

$$\vec{B}^I = \begin{bmatrix} \beta i_2 \\ \alpha i_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (23 - 2)$$

۳ - ۲ - بدست آوردن مدل نهایی ترکیبی معادلات مکانیکی و الکترومغناطیسی

با توجه به مشخص شدن معادلات دینامیکی ژيروسکوپ آزاد و میدان مغناطیسی ناشی از سیم پیچ ها باید معادله کلی $\sum M = \tau$ را نوشت با این فرض که، تنها نیروی خارجی اعمالی به روتور نیروی گشتاور الکترومغناطیسی می باشد.

نکته حائز اهمیت دستگاه های مختصاتی است، که معادلات روی آن تعریف می شوند معادلات مربوط به دینامیک ژيروسکوپ، رابطه (۲-۱۵)، روی قاب داخلی جستجوگر آزاد تعریف شده اند و معادلات مربوط به گشتاور الکترومغناطیسی، رابطه (۲-۲۱)، روی بدنه جستجوگر تعریف می شوند جهت ترکیب مدل مکانیکی و الکترومغناطیسی باید یکی از این دو دستگاه مختصات را انتخاب کنیم و تمامی معادلات را به آن انتقال دهیم.

برای تبدیل دستگاه مختصات لخت I به دستگاه مختصات قاب داخلی B نیاز به سه زاویه دوران (θ, Ψ, φ) و در نهایت یک ماتریس دوران داریم که این عمل به کمک ماتریس های دوران اویلر (پیوست ۱) ممکن می شود.

۳ - ۲ - ۱ - انتقال معادلات مکانیکی به دستگاه سخت واقع در بدنه

معادلات (۲-۱۵) که بر مبنای دستگاه B واقع در قاب داخلی نوشته شده اند به کمک ماتریس دوران R_B^I (پیوست ۱) روی دستگاه لخت I انتقال می یابند.

$$M^I = R_B^I M^B \quad (24 - 2)$$

معادله (۲-۲۴) به صورت ماتریسی به شکل زیر خواهد بود.

$$\begin{bmatrix} \sum M_{xI} \\ \sum M_{yI} \\ \sum M_{zI} \end{bmatrix} = [R_B^I] \begin{bmatrix} \sum M_{xB} \\ \sum M_{yB} \\ \sum M_{zB} \end{bmatrix} \quad (۲-۲۵)$$

پس از انجام محاسبات و جایگذاری S به جای sin و C به جای cos خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \sum M_{xI} = & C\phi C\Psi(I_o\ddot{\theta}) - S\theta C\theta C\phi C\Psi(I\dot{\Psi}^2 - I_o\dot{\Psi}^2) + C\phi C\Psi S\theta(I\dot{\Psi}P) - \\ & (S\phi C\theta S\theta + C\phi S\Psi S^2\theta)(I_o\ddot{\Psi}) + (I_o2\dot{\Psi}\dot{\theta} - I\dot{\theta}\dot{\Psi})(-S\phi C^2\theta + \\ & C\phi S\Psi S\theta C\theta) + S\phi C\theta(I\dot{\theta}P) + (S\phi S\theta C\theta + C\phi S\Psi C^2\theta)(I\ddot{\Psi}) - \\ & (S\phi S^2\theta + C\phi S\Psi C\theta S\theta) \times (I\dot{\Psi}\dot{\theta}) + (S\phi S\theta + C\phi S\Psi C\theta)(I\ddot{\phi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{yI} = & S\phi C\Psi(I_o\ddot{\theta}) - S\phi C\Psi S\theta C\theta(I_o\dot{\Psi}^2 + I\dot{\Psi}^2) + S\phi C\Psi S\theta(I\dot{\Psi}P) + \\ & (C\phi C\theta S\theta + S\phi S\Psi S^2\theta)(I_o\ddot{\Psi}) + (C\phi C^2\theta + S\phi S\Psi S\theta C\theta)(2I_o\dot{\Psi}\dot{\theta}) - \\ & (C\phi C\theta + S\phi S\Psi S\theta)(I\dot{\theta}P) - (C\phi S\theta C\theta - S\phi S\Psi C^2\theta)(I\ddot{\Psi}) - (C\phi S^2\theta + \\ & 2S\phi S\Psi C\theta S\theta + C\phi C^2\theta)(I\dot{\Psi}\dot{\theta}) + (C\phi S\theta + S\phi S\Psi C\theta)(I\ddot{\phi}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{zI} = & -S\Psi(I_o\ddot{\theta}) + S\Psi S\theta C\theta(I_o\dot{\Psi}^2 - I\dot{\Psi}^2) + C\Psi S^2\theta(I_o\ddot{\Psi}) + \\ & C\Psi S\theta C\theta(2I_o\dot{\Psi}\dot{\theta}) - C\Psi S\theta(I\dot{\theta}P) + C\Psi C^2\theta(I\ddot{\Psi}) - 2C\Psi C\theta S\theta(I\dot{\Psi}\dot{\theta}) + \\ & C\Psi C\theta(I\ddot{\phi}) \end{aligned}$$

(۲-۲۶)

همانگونه که از معادلات (۲-۲۶) بر می آید غیر خطی بودن معادلات فوق و وابستگی هر سه معادله به

$\ddot{\theta}$ ، $\ddot{\Psi}$ ، $\ddot{\phi}$ باعث پیچیدگی زیاد معادلات می گردد و عملاً محاسبات را سخت تر می کند.

۲-۳-۲ - انتقال معادلات الکترومغناطیسی به دستگاه B واقع در قاب داخلی

معادلات (۲-۲۲) که در دستگاه لخت روی بدنه جستجوگر تعریف می شوند به کمک ماتریس دوران R_I^B (پیوست ۱) روی دستگاه B واقع بر قاب داخلی انتقال می یابد.

$$B^B = R_I^B B^I \quad (۲-۲۷)$$

$$B^B = \begin{bmatrix} C\psi C\varphi(\beta i_2) + C\psi S\varphi(\alpha i_1) \\ S\theta S\psi C\varphi(\beta i_2) - C\theta S\varphi(\beta i_2) + S\theta S\psi S\varphi(\alpha i_1) + C\theta C\varphi(\alpha i_1) \\ C\theta S\psi C\varphi(\beta i_2) + S\theta S\varphi(\beta i_2) + C\theta S\psi S\varphi(\alpha i_1) - S\theta C\varphi(\alpha i_1) \end{bmatrix} \quad (۲-۲۸)$$

بعد از انتقال میدان مغناطیسی B از دستگاه سخت به قاب داخلی باید مقدار گشتاور الکترومغناطیسی ناشی از میدان B به روتور مغناطیس دائم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد با مغناطیدگی M از رابطه (۲-۱۰) محاسبه نمود:

$$T = M^B \times B^B \quad (۲-۲۹)$$

با جایگذاری مقادیر و ضرب خارجی دو بردار :

$$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_B = \begin{bmatrix} (M\alpha i_1)(-S\theta S\psi S\varphi - C\theta C\varphi) + (M\beta i_2)(-S\theta S\psi C\varphi + C\theta S\varphi) \\ (M\alpha i_1)(C\psi S\varphi) + (M\beta i_2)(C\psi C\varphi) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (۲-۳۰)$$

حال با پیروی از مدل کلی $\Sigma M = \tau$ مدل کامل جستجوگر به شکل زیر خواهد بود:

$$\begin{cases} I_0(\ddot{\theta} - \dot{\Psi}^2 S\theta C\theta) + I\Psi(\dot{\Psi}C\theta + P)S\theta = (M\alpha i_1)(-S\theta S\Psi S\varphi - C\theta C\varphi) + \\ \quad (M\beta i_2)(-S\theta S\Psi C\varphi + C\theta S\varphi) \\ (I_0(\ddot{\Psi}S\theta + 2\dot{\Psi}\dot{\theta}C\theta) - I\dot{\theta}\dot{\Psi}C\theta - I\dot{\theta}P) = (M\alpha i_1)(C\Psi S\varphi) + (M\beta i_2)(C\Psi C\varphi) \\ I(\ddot{\Psi}C\theta - \dot{\Psi}\dot{\theta}S\theta + \ddot{\varphi}) = 0 \end{cases}$$

(۳۱ - ۲)

فصل سوم :

شبیه سازی و اعتبار سنجی

مدل دینامیکی

یکی از روشهای اعتبار سنجی برای ارزیابی مدل سازی انجام شده مقایسه نتایج شبیه سازی سیستم با داده های تجربی و نتایج معتبر در مقالات و مراجع علمی می باشد. لذا جهت اعتبار سنجی معادلات به دست آمده از شبیه سازی دینامیکی سیستم و مقایسه آن با رفتار مورد انتظار، از خواص ژيروسکوپ آزاد استفاده خواهد شد. و با اعمال گشتاورهای الکترومغناطیسی به روتور جستجوگر نتیجه حاصل از شبیه سازی با رفتار مورد انتظار از یک جستجوگر واقعی مقایسه می شود و صحت معادلات بدست آمده ارزیابی می گردد.

۳- ۲- خواص اصلی قابل مشاهده ژيروسکوپ [۳۴]

با بررسی معادلات ژيروسکوپ آزاد دو خاصیت اصلی آن یعنی سختی ژيروسکوپی و حرکت تقدیمی را می توان تحلیل نمود.

در حالت عادی در صورتی که به یک جسم صلب گشتاور وارد شود مطابق قانون دوم نیوتن آن جسم در اثر این گشتاور شتاب زاویه ای برابر اندازه گشتاور بخش بر سختی دورانی جسم می گیرد. معادلات ژيروسکوپ آزاد بیانگر این واقعیت است که اگر گشتاوری به ژيروسکوپ وارد شود، ژيروسکوپ سرعت زاویه ای برابر با اندازه گشتاور بخش بر تکانه زاویه ای روتور می گیرد و این به این معناست که در اثر حرکت روتور اولاً اعمال گشتاور باعث ایجاد سرعت زاویه ای به جای شتاب زاویه ای می شود و ثانیاً سرعت زاویه ای ایجاد شده در اثر تقسیم گشتاور بر تکانه زاویه ای که، در طراحی ژيروسکوپ ها مقدار بزرگی انتخاب می شود، به شدت تضعیف می شود. این خاصیت را سختی یا صلبیت ژيروسکوپ می گویند.

نکته دیگر که می توان مشاهده کرد این است که گشتاور اعمالی حول محور Y باعث ایجاد سرعت زاویه ای θ حول محور X می شود و گشتاور اعمالی حول محور X باعث ایجاد سرعت زاویه ای Ψ

حول محور Y می شود. یعنی ژيروسکوپ آزاد در اثر اعمال گشتاور سرعت زاویه ای متناسب با گشتاور اعمالی تقسیم بر تکانه زاویه ای روتور در جهت ضرب خارجی بردار تکانه زاویه ای، در گشتاور اعمالی، می گیرد. خاصیت اخیر را حرکت تقدیمی ژيروسکوپ می نامند.

خاصیت دیگر این معادلات وجود نوسان نامیرا با فرکانس ثابت در خروجی های مدل کامل می باشد در کتب مرجع دینامیک و ژيروسکوپ [۲] [۳۵] [۳۶] این نوسان را رقص محوری می نامند.

۳ - ۳ - شبیه سازی

معادلات کلی (۲-۲۳) بدست آمده در فصل قبل در محیط شبیه سازی نرم افزار متلب مدل می گردد و به جهت ساده سازی عبارات مربوط به گشتاورهای الکترومغناطیسی را با T_x , T_y خلاصه نموده و با اعمال ورودی های پله به T_x , T_y سیستم ارزیابی می شود.

۳ - ۴ - تعیین ثابت ها و ضرایب و شرایط اولیه جستجوگر

جهت شبیه سازی مدل جستجوگر نیاز به مقادیر عددی ثابت ها و ضرایب و تعیین شرایط اولیه مدل می باشد به این منظور برای پارامترهای مختلف از مقادیر نوعی زیر استفاده می گردد:

$$I_0 = 15.10^{-6} Kg.m^2$$

$$I = 30.10^{-6} Kg.m^2$$

$$P = 2\pi.140 Rad/Sec$$

شرایط اولیه به شکل زیر خواهد بود:

$$\Psi_{(0)} = 10^0$$

$$\dot{\Psi}_{(0)} = 0$$

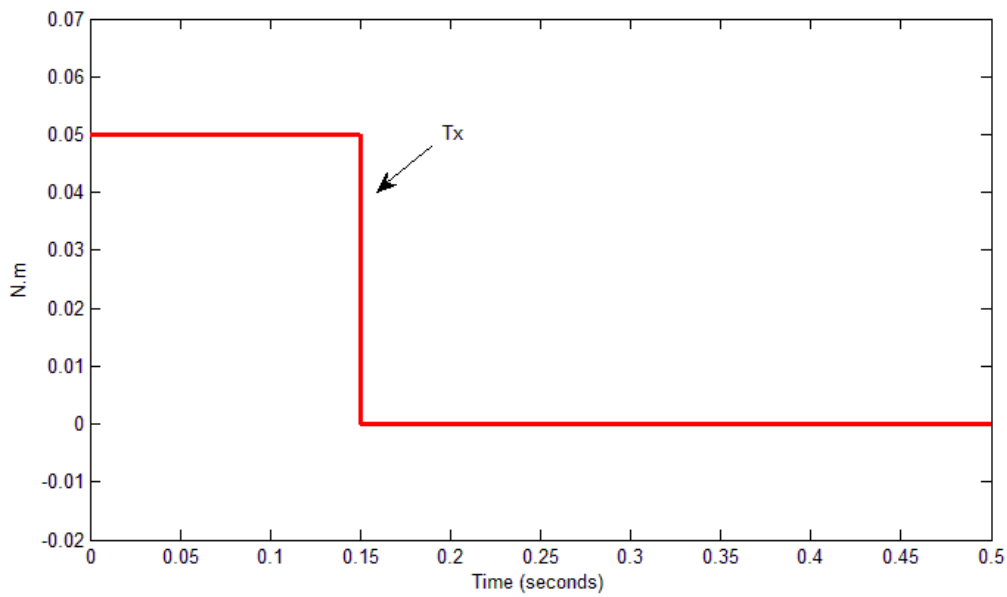
$$\theta(0) = 25^0$$

$$\dot{\theta}(0) = 0$$

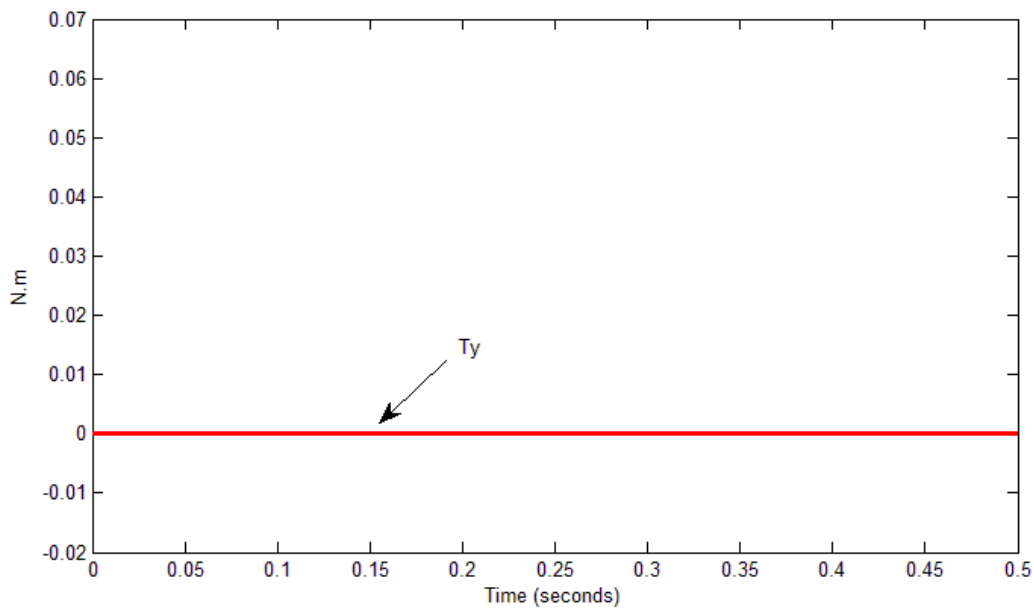
وزمان پروسه شبیه سازی نیز ۰,۵ ثانیه تنظیم می گردد

۳-۵- تحلیل و مقایسه حرکت تقدیمی، صلبیت و رقص محوری

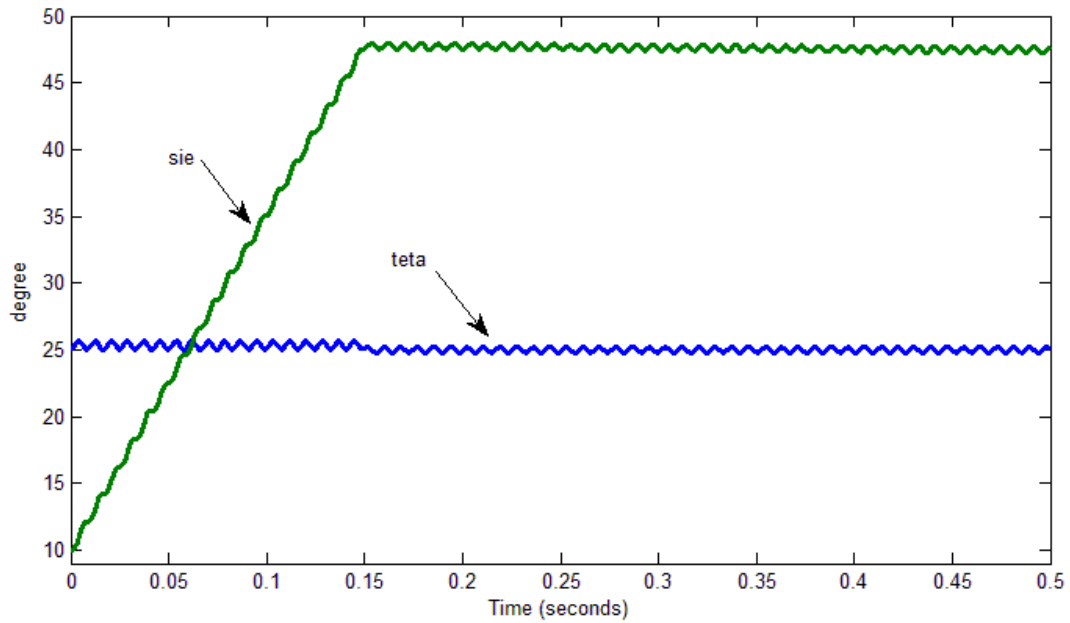
با اعمال ورودی پالس $T_X = 0.05$ ، $T_Y = 0$ مدل شبیه سازی می شود. مشاهده می گردد که اعمال گشتاور حول محور X باعث ایجاد تغییر حول محور Y و در زاویه Ψ می گردد و مقدار زاویه حول محور X یعنی θ تغییری ایجاد نمی گردد. شکلهای (۳-۱) تا (۳-۳) نتایج این شبیه سازی و رشد و عدم تغییر زوایا را نشان می دهد.



شکل (۳-۱) گشتاور الکترو مغناطیسی T_x ورودی

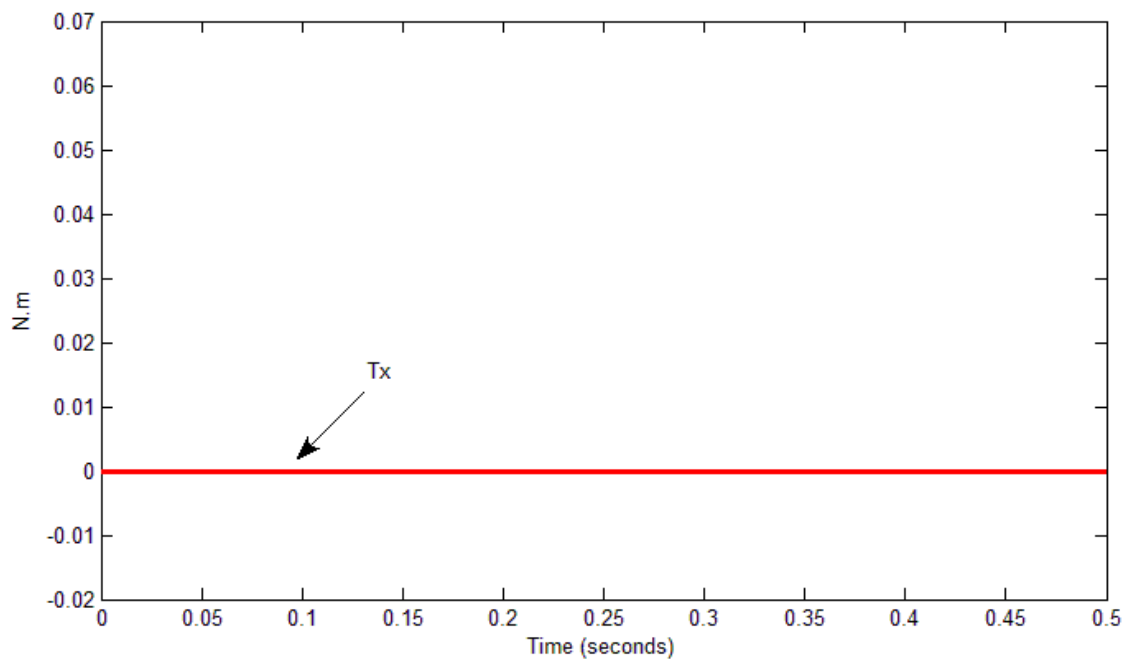


شکل (۳-۲) گشتاور الکترو مغناطیسی T_y ورودی

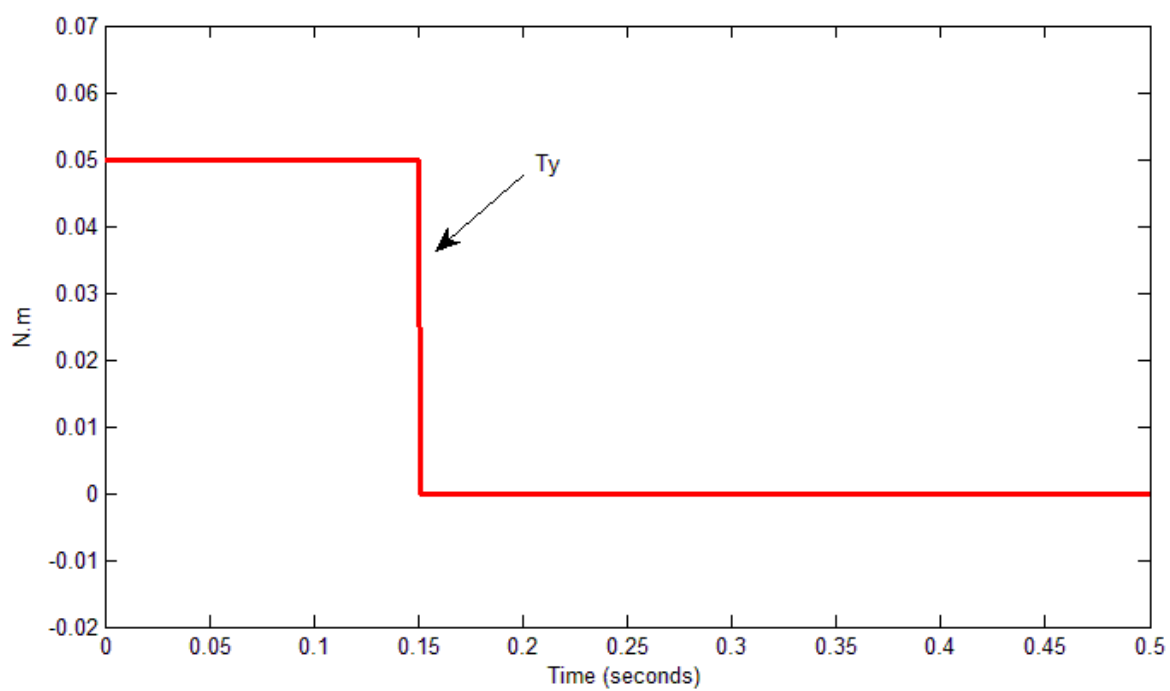


شکل (۳-۳) تغییرات زوایای Ψ و θ پس از اعمال گشتاور های ورودی به مدل

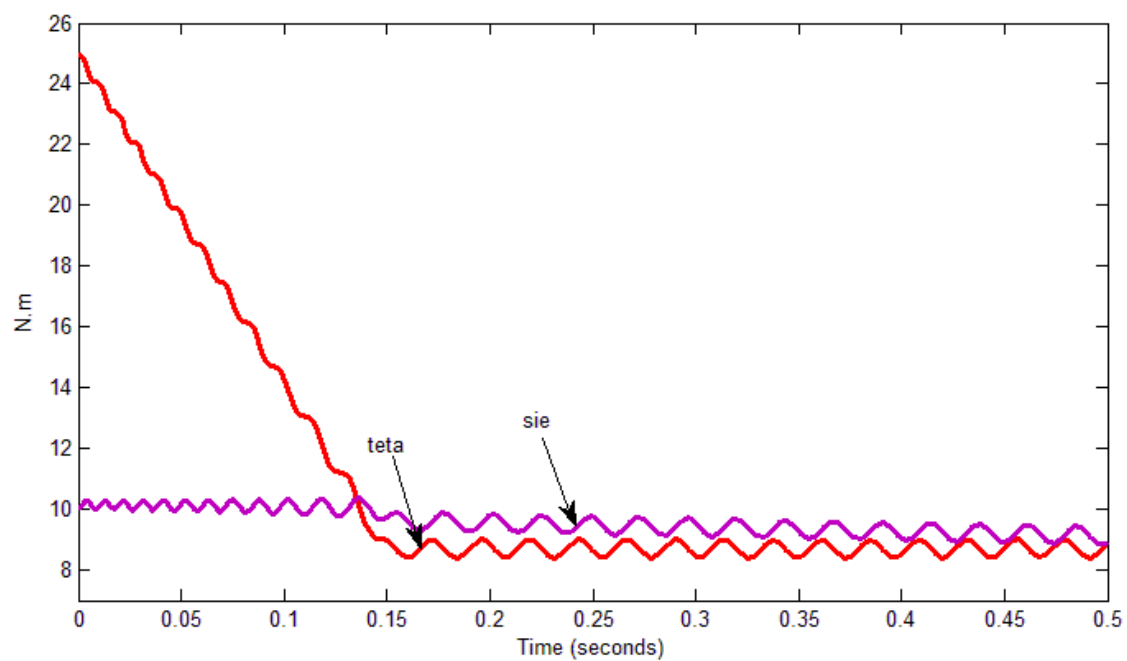
در این مرحله با اعمال ورودی پالس $T_Y=0.05$ و $T_X=0$ مدل مجدد شبیه سازی می گردد و مشاهده می شود که با اعمال گشتاور حول محور Y رشد زاویه θ حول محور X ایجاد می گردد و حول محور اعمال گشتاور تغییری ایجاد نمی شود نتایج این شبیه سازی در شکل های (۳-۴) تا (۳-۶) ارائه شده است .



شکل (۳-۴) گشتاور الکترو مغناطیسی T_X ورودی



شکل (۳ - ۵) گشتاور الکترو مغناطیسی T_y ورودی



شکل (۳ - ۶) تغییرات زوایای θ و Ψ پس از اعمال گشتاور های ورودی به مدل

همانطور که در شکل های (۳-۳) و (۳-۶) مشاهده می شود با اعمال گشتاور حول محور X روتور ژيروسکوپ در جهت محور Y و با تغییر زاویه Ψ پاسخ می دهد و با اعمال گشتاور در حول محور Y روتور ژيروسکوپ در جهت محور X و با تغییر زاویه θ پاسخ می دهد که این نشانگر خاصیت تقدیمی ژيروسکوپ می باشد.

بعد از قطع گشتاور خارجی مشاهده می گردد که زاویه θ و Ψ دیگر تغییر نمی کند و در اندازه خود بعد از اعمال گشتاور باقی می مانند که این رفتار تاییدی بر خاصیت صلبیت ژيروسکوپ می باشد. در نهایت نوسانات سینوسی که هر دو زاویه θ و Ψ نشان می دهند نیز موید خاصیت رقص محوری می باشد که هر چه سرعت چرخش روتور بیشتر باشد دامنه آنها کوچکتر خواهد شد لازم به ذکر است که این نوسانات ناخواسته می باشند هر چه بتوان آنها را کاهش داد به کنترل سیستم کمک می کند.

فصل چہارم :

طراحی کنٹرلر

در فصل گذشته با شبیه سازی معادلات دینامیکی به دست آمده و مقایسه آنها با خواص ارائه شده برای ژيروسکوپ اعتبار معادلات مورد ارزیابی قرار گرفت. حال با اطمینان از صحت معادلات استخراج شده، در این فصل با ارائه کنترلر مناسب هدف اصلی این تحقیق یعنی، تغییر راستای سامانه بینایی جستجوگر با اعمال گشتاور های الکترو مغناطیسی و رساندن سیستم به مکان مطلوب امکان پذیر می گردد.

۴-۲- کنترل جستجوگر در مود پویش

هدف از کنترل جستجوگر در مود پویش قراردادن محور راستای بینای جستجوگر یا همان محور دوران ژيروسکوپ آزاد در کوتاهترین زمان ممکن در وضعیت مورد نظر می باشد. راستای محور ژيروسکوپ آزاد به مقادیر زوایای θ و Ψ بستگی دارد که با تغییر مقدار جریان ورودی i_1 و i_2 و به تناسب آن T_X و T_Y ، اعمالی به محور روتور مغناطیس دائم می توان این زوایا را کنترل نمود. این نکته قابل ذکر می باشد که هدف جستجوگر موشک در مد پویش پیدا کردن هدفی خاص از یک فضای قابل دید توسط سامانه بینایی است.

با توجه به این مسئله که مدل به دست آمده برای جستجوگر، غیر خطی می باشد می توان جهت کنترل آن از کنترل کننده ی غیر خطی استفاده نمود.

۴-۳ - طراحی کنترل کننده غیر خطی بر مبنای خطی سازی ورودی خروجی

با توجه به اینکه در سیستم مورد مطالعه، هدف طراحی کنترل کننده ای است که خطای ردیابی در مد پویش را برای θ و Ψ به صفر برساند. لذا کنترل کننده ای در این مبحث طراحی می شود که هدف فوق را محقق نماید. این کنترل کننده از نوع خطی سازی ورودی - خروجی است و با تنظیم i_1 و i_2 و به دنبال آن اعمال T_X و T_Y دینامیک خروجی مورد نظر را خطی می نماید و خطای خروجی را به صفر می رساند.

مقادیر $\ddot{\theta}$ و $\ddot{\Psi}$ از معادله (۲-۲۳) که در فصل دوم برای دینامیک کلی مدل ارائه شده بود به شکل زیر استخراج می شود:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{I_0} (I_0 \dot{\Psi}^2 S \theta C \theta - I \dot{\Psi} (\dot{\Psi} C \theta + P) S \theta + (M \alpha i_1) (-S \theta S \Psi S \varphi - C \theta C \varphi) + (M \beta i_2) (C \theta S \varphi))$$

$$\ddot{\Psi} = \frac{1}{I_0 S \theta} (-I_0 2 \dot{\Psi} \dot{\theta} C \theta + I \dot{\theta} \dot{\Psi} C \theta + I \dot{\theta} P + (M \alpha i_1) (C \Psi S \varphi) (M \beta i_2) (C \Psi C \varphi)) \quad (1-4)$$

$$(1-4)$$

با توجه به این نکته که ایده خطی سازی پسخورد یعنی حذف غیر خطیها و اعمال یک دینامیک خطی دلخواه را می توان برای دسته ای از سیستمهای غیر خطی که به اصطلاح فرم همراه یا فرم متعارفی کنترل پذیر دارند به کار برد لذا رابطه (۴-۱) به صورت فرم همراه اصلاح می شود.

$$\begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\Psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{I_0} (I_0 \dot{\Psi}^2 S \theta C \theta - I \dot{\Psi} (\dot{\Psi} C \theta + P) S \theta) \\ \frac{1}{I_0 S \theta} (-I_0 2 \dot{\Psi} \dot{\theta} C \theta + I \dot{\theta} \dot{\Psi} C \theta + I \dot{\theta} P) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{I_0} M \alpha (-S \theta S \Psi S \varphi - C \theta C \varphi) & \frac{1}{I_0} M \beta (-S \theta S \Psi C \varphi + C \theta S \varphi) \\ \frac{1}{I_0 S \theta} M \alpha (C \Psi S \varphi) & \frac{1}{I_0 S \theta} M \beta (C \Psi C \varphi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{i}_1 \\ \dot{i}_2 \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

ملاحظه می شود که فرم همراه $\dot{x}^{(n)} = f(x) + b(x)u$ ایجاد شده است و $f(x)$ و $b(x)$ توابع غیر خطی هستند حال می توان با ورودی کنترلی زیر سیستم را کنترل نمود

$$u = \frac{1}{b} [v - f] \quad (3-4)$$

و برای وظایفی که شامل ردیابی خروجی دلخواه $X_d(t)$ باشد قانون کنترل v به صورت زیر می باشد

$$v = \ddot{X}_d + kv(\dot{X}_d - \dot{X}) + kp(X_d - X) \quad (4-4)$$

مقادیر با اندیس d نشان دهنده مقدار های مطلوب می باشد. مقادیر ثابتهای kp و kv باید طوری انتخاب شوند که ریشه ها همگی سمت چپ محور موهومی در صفحه مختلط قرار گیرند تا منجر به دینامیک پایدار نمایی شود. در این مرحله با شبیه سازی و مدل کردن معادلات در محیط شبیه سازی نرم افزار متلب می توانیم عملکرد کنترلرها را چک نمود.

در اینجا با توجه به وجود ضرایب در معادلات غیر خطی سیستم لازم است به کمک یک روش بهینه سازی این ضرایب به شکل بهینه جهت به حداقل رساندن خطا طراحی گردند. روشهایی از قبیل روش داگوچی و الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفتند که روش داگوچی در عمل مفید نبوده و با اتلاف وقت زیاد و دستی بودن مراحل آن و عدم همگرایی مناسب به سمت ضرایب بهینه، مناسب این مسئله نمی باشد، لذا با توجه به نوع مسئله الگوریتم ژنتیک می تواند مفید باشد. در ادامه روش بهینه سازی به کمک الگوریتم ژنتیک توضیح داده می شود و با کمک گرفتن از آن ضرایب بهینه طراحی می گردد.

۴-۴ - روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک

به دنبال پیشرفت سریع علوم مختلف در قرن ۲۰، توابع غیر خطی غیر تحلیلی مختلفی از معادلات ریاضی توصیف کننده پدیده های مختلف در طبیعت بوجود آمدند که برای طراحیهای مختلف مهندسی نیاز به حل آنها و یافتن پاسخ بود. به تدریج معادلات توصیف کننده سیستمهای طبیعی کاملتر شدند و این موجب افزایش درجات آزادی و پارامترهای مختلف موجود در سیستم شد. از سوی دیگر نیاز به بهینه سازی هر ساختار موجب می شد تا که در یک فضای نمونه گسترده و براساس دقت مورد نظر طراح تابع مربوطه یا سیستم خاص مورد بحث، بارها مورد تحلیل عددی قرار گیرد که این امر از نظر زمانی و اقتصادی بسیار غیر بهینه بود. در حدود ۶۰ سال پیش اولین ایده های الگوریتم ژنتیک با بهره گیری و الهام از ساختارهای طبیعی بوجود آمد. در روشهای معمول آنالیز ریاضی بر اساس نوع سیستم و دقت مورد نظر طراح، سیستم باید با تعدادی تکرار در مقادیر پارامترهای مختلف

مورد بررسی قرار گیرد که این امر در بسیاری سیستمها با پیچیدگی بالا زمان بر، غیر اقتصادی و مردود می باشد. از سوی دیگر روش حل نیز بر اساس مساله مورد بحث تغییر می یابد که این امر برای کسانی که فقط نیازمند حل مساله خود هستند و بعضا تسلط کافی به آنالیز ریاضی ندارند مشکل ساز می باشد. الگوریتم ژنتیک به عنوان روشی نسبتا بهینه، پربازده و موثر با قابلیت بکارگیری در طیف بسیار گسترده ای از مسائل بدون مشکل واگرایی در اکثر موارد [۳۸]، بدون نیاز به درک عمیق ریاضی به عنوان روشی بسیار کارا برای اکثر محققین و طراحان علوم مختلف قابل استفاده است [۳۹] [۴۰] [۴۱]. بر این اساس در این تحقیق ابتدا روشهای مختلف پیاده سازی الگوریتمهای ژنتیک از مراجع و مقالات مختلف استخراج می شوند. با توجه به گستردگی الگوریتمهای ژنتیک موجود، سعی خواهد شد مقالات و کتب مقایسه ای لاتین در این مرحله مبنای کار قرار داده شوند.

مسائل بهینه سازی با فرض مشخص بودن محدوده تغییرات هر پارامتر با روش ژنتیک قابل حل می شوند، در این روش فضای کاری بر مبنای دو (دودویی) می باشد و تمامی اعداد و محدوده پارامترها باید به مبنای دو منتقل شوند [۴۲].

۴ - ۱ - الگوریتم ژنتیک انواع و دسته بندی ها

برای شروع باید بدانیم که مساله مورد بحث قابل حل بوسیله الگوریتم ژنتیک است یا خیر. دسته مسائلی که به هرگونه بهینه سازی نیاز داشته باشند توسط این روش معمولا قابل حل هستند.

برای مثال دستگاه معادله دیفرانسیل با مفروضات زیر داده شده و شرایط اولیه آن نیز مشخص شده است. f_1, f_2, f_3 توابعی معلوم و مشخص هستند. شما میخواهید ضرایب مجهول α, β, γ را طوری تعیین کنید که $x(t)$ در نقطه ای مثل $t=1$ ماکزیمم باشد. برای حل چنین سوالی میتوان از الگوریتم ژنتیک استفاده کرد اما برای حل خود معادله با α, β, γ معلوم از الگوریتم ژنتیک استفاده نمی شود.

$$\begin{aligned} \gamma \frac{\partial^3 y}{\partial t^3} + \beta \frac{\partial^3 x}{\partial t^3} + \alpha \frac{\partial^2 x \partial^2 y}{\partial t^4} &= f_1(x, y, k) \\ \alpha^2 \frac{\partial^2 k}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \beta^2 \frac{\partial y k}{\partial t^2} &= f_2(x, y, k) \\ \gamma^2 \frac{\partial^2 k}{\partial t^2} + \beta^2 \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{\partial y \partial x \partial k}{\partial t^3} + \alpha \frac{\partial^2 y x}{\partial t^3} &= f_3(x, y, k) \end{aligned} \quad (5-4)$$

در شروع باید محدوده مجاز تغییرات هر یک از پارامترها مشخص شود. در هر مثال عملی یا سیستم پارامترها در یک فضای مشخص و محدود تعریف میشوند. برای نمونه $2 < \alpha < 5, 0.1 < \beta < 1, 2.1 < \gamma < 2.32$ علاوه بر آن شما دقت جواب را نیز مشخص میکنید. دقت هر پارامتر با توجه به نوع سیستم، اهمیت پارامتر، محدودیتهای عملی و ... مشخص میشود. در این مثال نمونه دقت α برابر 0.0001، دقت β برابر 0.000001 و دقت γ را 0.001 فرض می‌کنیم.

با توجه به اینکه الگوریتم ژنتیک در فضای مبنای دو(دودویی) کار میکند تمامی اعداد و محدوده پارامترها باید به مبنای ۲ منتقل شوند. این کار براحتی میتواند توسط هر یک از نرم افزارهای ریاضی موجود صورت گیرد با قید این نکته که تعداد بیت هنگام انتقال توسط دقت تعریف شده مشخص میگردد. برای هر متغیر داریم:

$$N = \log_2 \left(\frac{X_e - X_f}{Re} \right)$$

N = تعداد بیت

(6-4)

X_f = ابتدای بازه

X_e = انتهای بازه

Re = دقت متغیر

در صورتی که N عددی غیر صحیح باشد باید به نزدیکترین عدد صحیح بیشتر از خود گرد شود. برای مثال عدد N برای متغیرهای رابطه ۱ به صورت مقابل بدست می‌آید.

$$N_a = \log_2 \left(\frac{5-2}{0.0001} \right) = \log_2 (30000) = 14.87 \rightarrow 15$$

$$N_\beta = \log_2 \left(\frac{0.9}{0.000001} \right) = \log_2 (900000) = 19.78 \rightarrow 20$$

$$N_\gamma = \log_2 \left(\frac{0.22}{0.001} \right) = \log_2 (220) = 7.78 \rightarrow 8$$

حال می توان یک نگاشت بین اعداد مبنای دو ۱۵ بیتی و فضای نمونه پارامتر α تعریف کرد که در آن هر عدد مبنای دو معادل یک عدد در این فضا خواهد بود. در جدول مقابل این موضوع به صورت عددی نشان داده شده است.

$$0000000000000000 \rightarrow 2$$

$$0000000000000001 \rightarrow 2 + \frac{5-2}{2^{15}} = 2.000091$$

$$0000000000000010 \rightarrow 2 + 2 \times \frac{5-2}{2^{15}} = 2.00018$$

$$0000000000000011 \rightarrow 2 + 3 \times \frac{5-2}{2^{15}} = 2.00027$$

(۴ - ۷)

⋮
⋮
⋮

$$1111111111111111 \rightarrow 2 + 2^{15} \times \frac{5-2}{2^{15}} = 5$$

برای دو متغیر دیگر نیز همین وضعیت بر اساس تعداد بیت آنها و بازه مربوطه برقرار خواهد بود.

۴ - ۴ - ۲ - مرحله اول

در این مرحله الگوریتم برای هر نمونه، تعداد مشخصی نقطه شروع انتخاب میکند [۴۲]. تعداد نقاط شروع باید برای تمام متغیرها یکسان باشد و معمولاً این تعداد توانی از دو است.

الگوریتم ها را در این مرحله به دو گروه کلی تقسیم می کنیم [۴۳]:

الف) انتخاب نمونه های اولیه به صورت منظم و با فواصل مساوی در فضای مجاز برای تغییر پارامترها صورت می گیرد.

¹ Initial Population

ب) انتخاب نمونه های اولیه به صورت کاملا تصادفی است.

بدیهی است اگر طراح اطلاعاتی درباره محدوده احتمالی پارامترها داشته باشد انتخاب نمونه های بیشتر در آن محدوده می تواند سرعت همگرایی را بالا ببرد اما در اینجا فرض بر این است که هیچ پیش زمینه اطلاعاتی درباره محدوده جواب وجود ندارد و لذا روش الف مزیت خاصی نسبت به روش ب نخواهد داشت.

نمونه های اولیه برای هر پارامتر با نمونه های مربوط به پارامترهای دیگر ادغام و در ۱۶ دسته ۳ تایی مرتب میشوند. اگر انتخاب نمونه ها به ترتیب بود که این چیدمان به ترتیب خواهد بود و در صورتی که از گروه ب الگوریتم استفاده می کنیم سه تایی ها تصادفی مرتب خواهند شد. ترتیب ادغام متغیرها هم در نهایت اهمیت خاصی در کارایی الگوریتم ندارد. به عنوان یک مثال ۱۶ دسته سه تایی مرتب که با توجه به گروه ب الگوریتم و اعداد رابطه ۱ بوجود آمده در زیر آورده شده است.

	α	β	γ
1	4.8504	0.94192	2.1979
2	2.6934	0.92521	2.305
3	3.8205	0.46924	2.2025
4	3.4579	0.90428	2.1921
5	4.6739	0.1521	2.2862
6	4.2863	0.41758	2.2155
7	3.3694	0.83185	2.1446
8	2.0555	0.10888	2.2479
9	4.4642	0.225	2.2844
10	3.3341	0.28249	2.1043
11	3.8463	0.27885	2.2499
12	4.3758	0.64341	2.1835
13	4.7654	0.34497	2.283
14	4.2146	0.27893	2.2106
15	2.5288	0.11375	2.2561
16	3.2171	0.77211	2.1944

جدول (۴ - ۱) یک دسته ۱۶ تایی سه تایی مرتب که به صورت تصادفی در فضای نمونه رابطه ۱ انتخاب شده اند.

پس از بدست آوردن جدول (۴-۱) این ۱۶ سه تایی باید در رابطه اولیه جایگزین شده و مقدار تابع برای هر دسته به صورت مجزا محاسبه شود. انتخاب روش حل برای مساله مورد بحث در این قسمت وابسته به نوع مساله و نظر طراح است. برای مثال اگر مساله مربوط به پیدا کردن غلظت بهینه مواد در یک واکنش شیمیایی باشد به ازای هر دسته یکبار باید واکنش انجام و نتیجه آن به دست آید. در رابطه (۴-۵) میتوان از روشی مثل رانگ کوتا مساله را به ازای هر دسته جداگانه حل کرد و در رابطه‌ای مانند (۴-۸) کافیسیت بازای هر دسته یکبار مقدار تابع محاسبه شود.

$$f(\alpha, \beta, \gamma) = \log(\alpha^3 + \beta(\gamma - 2.5) + 3) + 2\sin(\alpha\beta^\gamma) + 3\cos(\gamma\beta^2\alpha) \quad (۴-۸)$$

۴-۳- مرحله دوم

در این قسمت بر اساس نتیجه بدست آمده برای هر زوج سه تایی نیمی از دسته‌ها باید حذف شوند. این حذف میتواند بروشهای مختلفی صورت گیرد [۴۳].

i. $\frac{N}{2}$ نمونه بهتر برداشته می شود و $\frac{N}{2}$ نمونه ضعیف از نظر طراح حذف می شوند.^۱

ii. $\frac{N}{2}$ نمونه براساس شانس زندگی انتخاب می گردند.^۲ در این روش هر نمونه براساس بهینه‌گی از نظر طراح امکان باقی ماندن دارد اما این امکان خود متغیری تصادفی است.

iii. در این روش نیز $\frac{N}{2}$ نمونه براساس شانس زندگی انتخاب می گردند. اما در صورتی که نمونه برتر جزو آن‌ها نباشد نمونه ضعیف تر یا یکی از نمونه‌ها به تصادف حذف و نمونه برتر یا نخبه جایگزین آن می شود.^۳

iv. این روش مشابه قسمتهای ii و iii است با این تفاوت که یک نمونه میتواند چند بار نیز انتخاب شود.

¹ Ideal Selection

² Roulette wheel (fitness-proportional)

³ Elitism

روش یک ایده آل طرح ریزی شده اما روشهای ۲ و ۳ به واقعیت طبیعت نزدیک ترند. بدیهی است قویترین شیر ممکن است بر اساس سانحه ای طبیعی از بین برود و یک شیر ضعیف ممکن است بر حسب تصادف باقی بماند، گرچه این احتمال ضعیف است اما به هر حال وجود دارد. نحوه بکار گیری روش یک بسیار ساده است کفایت مقادیر بدست آمده را مرتب و $N/2$ دسته متناظر با مقادیر بیشتر را انتخاب کنیم. اما در مورد روشهای ۲ و ۳ موضوع کمی تفاوت دارد. برای روشن شدن موضوع برای رابطه ۳ و اعداد جدول ۱ مساله را حل می کنیم. ابتدا برای هر دسته تابع محاسبه میشود. حال با فرض اینکه هدف پیدا کردن ماکزیمم تابع است باید به هر مقدار تابع یک شانس زندگی نسبت داده شود و اعداد با شانس بیشتر احتمال انتخاب شدن بیشتری داشته باشند. الگوریتمهای مختلفی میتوان برای چنین کاری پیشنهاد کرد که یکی از روشهای متداول به شرح زیر است:

. الف. یک نگاشت خطی به صورت زیر صورت گیرد.

$$\text{Min} \rightarrow 1 \quad \text{max} \rightarrow \text{max} + 1 - \text{min}$$

ب. به هر مقدار تابع یک فاصله $[A B]$ نسبت داده شود. این فاصله باید برای اعداد بیشتر بزرگتر و برای اعداد کمتر کوچکتر باشد. علاوه بر آن فاصله های انتخابی باید به ترتیب بوده و هیچ همپوشانی نداشته باشند. عدد min معادل با فاصله $[0 1]$ خواهد بود. بقیه بازه ها با یک فرمول بازگشتی به صورت زیر قابل محاسبه اند.

$$A_i = B_{i-1} \quad B_i = A_i + F_i$$

حد آخرین بازه را B_{max} مینامیم.

ج. به تعداد $N/2$ عدد تصادفی بین 0 و B_{max} انتخاب می کنیم. مقادیر تابع متناظر با فاصله هایی که این اعداد در آن قرار میگیرند انتخاب میشوند. طبیعی است اعداد با فاصله های بیشتر احتمال انتخاب بالاتری دارند. اگر دو عدد در فاصله ای که مربوط به یک مقدار تابع بود قرار گرفت در قسمتهای ii و

iii عمل آن قدر تکرار میشود تا $N/2$ مقدار تابع انتخاب شوند اما در روش iv دو عدد در یک فاصله هم قابل قبولند.

جدول (۴-۲) مقادیر رابطه (۴-۷) به ازای اعداد مربوط به جدول (۴-۱) و روش انتخاب ii.

شماره دسته	عدد تصادفی	Bi	Ai	مرحله الف	f
7	43.731	1	0	1	-2.7231
14	99.398	9.3257	1	8.3257	4.6026
14	98.663	15.303	9.3257	5.9776	2.2545
10	68.602	24.379	15.303	9.0761	5.353
9	57.39	33.159	24.379	8.7795	5.0564
15	103.99	39.7	33.159	6.5406	2.8175
14	94.961	47.417	39.7	7.7173	3.9942
11	74.537	55.23	47.417	7.8134	4.0902
14	94.539	63.82	55.23	8.5902	4.8671
11	76.307	72.149	63.82	8.3288	4.6057
6	39.524	80.427	72.149	8.2775	4.5543
6	33.486	86.017	80.427	5.5904	1.8672
6	39.434	93.419	86.017	7.4017	3.6785
9	61.727	101.77	93.419	8.3557	4.6326
12	84.038	109.81	101.77	8.0345	4.3114
		115.58	109.81	5.768	2.0449

در جدول (۴-۲) ابتدا برای مقادیر جدول (۴-۱) مقدار تابع محاسبه شده است. طبق توضیح الگوریتم ابتدا نگاشت برای مقادیر تابع انجام شده، پس از آن فاصله ها بدست آمده اند و در نهایت با انتخاب اعداد تصادفی بین صفر و 115.58 نیمی از دسته ها انتخاب شده اند. همانطور که در قسمت ج الگوریتم هم توضیح داده شده است بدلیل آنکه بعضی دسته ها تکراری هستند این عمل آنقدر تکرار شده است که نیمی از دسته ها مشخص شوند. شماره دسته های انتخابی در ستون آخر آورده شده است. در مراحل پیشرفته طراح الگوریتم میتواند طوری نحوه انتخاب دسته ها را برنامه ریزی کند که

هر دسته ای که انتخاب شد از پرو سه حذف شود. در این صورت دیگر نیازی به تکرار زائد نخواهیم داشت و با همان $N/2$ عدد تصادفی انتخاب شده در مرحله اول، دسته ها مشخص میشوند.

در صورتی که در مثال فوق از روش iv استفاده می‌کردیم همان $N/2$ مقدار اول کافی بود و نیازی به تکرار ا اضافه نبود. در روش iii هم باید یکی از دسته ها حذف و دسته ۴ جایگزین آن می‌شد چرا که مقدار ماکزیمم را دارا است. در روش a هم دسته های انتخاب شده با توجه به مقادیر تابع شماره های 5,4,2,11,10,9,14,15 می‌شد. در مورد مزیت و یا عیب هر یک از این روشها به تفصیل در فصل بعدی بحث خواهیم کرد.

۴ - ۴ - ۴ - مرحله سوم

در این مرحله ابتدا نمونه های مربوط به دسته هایی که انتخاب نشده اند حذف می‌شوند. نمونه های باقی مانده یا همان نمونه های انتخابی مرحله دوم در این قسمت دو به دو با هم ترکیب شده و $N/2$ نمونه جدید می‌سازند. این ترکیب یا همپوشانی^۱ میتواند بروشهای مختلفی صورت گیرد اما در هر صورت باید سه تایی های مرتب که شامل مقادیر پارامترها در دسته های انتخاب شده بود ابتدا به مقادیر متناظر مبنای دوشان تبدیل شده و با هم ترکیب شوند. نحوه بدست آوردن مقادیر متناظر مبنای دو نمونه ها مشابه چیزی است که در رابطه (۴-۶) آورده شده است. مقادیر مبنای دو پارامترها در این مرحله به صورت متوالی ترکیب شده و تشکیل یک عدد واحد در مبنای دو را می‌دهند که نماینده دسته مربوط به آن پارامترها است. در حقیقت این عدد معادل سلول بنیادی (کروموزوم) در طبیعت است که همه مشخصات پارامترها را در خود دارد. هر دو عدد (دو سلول بنیادی) با هم ترکیب و دو عدد جدید می‌سازند (معادل آمیزش زوجین و تولید دو بچه) که این دو عدد جدید مشخصات خود را از سلول های اولیه به ارث می‌برند. تفاوت الگوریتمها در این قسمت در نوع ترکیب دو عدد

¹ Cross Over

هنگام تولید نمونه های جدید و نحوه انتخاب سلولهایی (دسته هایی) است که قرار است با هم ترکیب شوند.

i. دو دسته ای که قرار است ترکیب شوند به صورت تصادفی انتخاب می شوند. به عبارت دیگر $N/4$ عدد تصادفی از 1 تا $N/2$ انتخاب و دو بدو با هم در نظر گرفته می شوند.

ii. انتخاب به صورت ترتیبی. دو دسته ای که بهترین مقدار را دارند با هم ترکیب و بهمین صورت تا انتها دو بدو دسته ها با هم در نظر گرفته شوند.

روش انتخاب دسته ها تاثیر مهمی در سرعت و یا دقت الگوریتم ایفا نمی کند لذا در اینجا چندان به آن نخواهیم پرداخت.

نحوه ترکیب دو عدد (سلول) اولیه و تولید اعداد جدید نیز به دو دسته کلی زیر تقسیم میشود.

a. نقطه همپوشانی مشخص نیست و به صورت تصادفی در کروموزوم های والدین انتخاب می گردد اما یک نقطه است. این عدد در هر زوج والدین و در هر بار تکرار تفاوت می کند. الگوریتم در هر بار اجرا باید به تعداد $N/4$ عدد تصادفی بین 1 و تعداد کل بیت عدد ادغام شده تولید کند. هر زوج دسته در نقطه همپوشانی خود شکسته و بیت های آنها با هم جابجا می شوند.

b. مشابه a است با این تفاوت که چند نقطه (برای مثال 5 نقطه) همپوشانی در هر زوج داریم^۳ و هر زوج دسته به این ترتیب در چند نقطه می شکنند و جابجا میشوند. در طبیعت هنگام همپوشانی بین 1 تا 8 نقطه شکست می تواند وجود داشته باشد.

نحوه بدست آوردن اعداد مبنای دو مربوط به هر پارامتر، تبدیل آنها به والدین و در نهایت دسته بندی و ترکیب والدین در جدول 3 نشان داده شده است. مقادیر پارامترها از جدول (4-1) و نحوه انتخاب

¹ Selected Population

² Single point crossover

³ Multi point crossover

N/2 دسته برتر (روش اول مرحله دوم) صورت گرفته است. شماره دسته های انتخاب شده، مقدار تابع برای هر یک از آنها و مقادیر پارامترهای هر یک در جدول (۴ - ۳) آورده شده است. در نهایت شماره دسته های قبلی پاک و شماره دسته جدید به گروه های باقی مانده نسبت داده میشود. در جدول (۴ - ۴) مقادیر متناظر مبنای ۲ برای هر پارامتر در هر دسته آورده شده است. دقتها بر اساس رابطه (۴ - ۶) در نظر گرفته شده اند. در جدول (۴ - ۵) مقادیر پارامترها با هم ترکیب و والدین (سلول بنیادی) مربوط به هر دسته را بوجود آورده اند.

جدول (۴ - ۳)

شماره دسته	مقدار تابع	α	β	γ	شماره دسته جدید
15	4.3114	2.5288	0.11375	2.2561	1
11	4.5543	3.8463	0.27885	2.2499	2
2	4.6026	2.6934	0.92521	2.305	3
10	4.6057	3.3341	0.28249	2.1043	4
14	4.6326	4.2146	0.27893	2.2106	5
9	4.8671	4.4642	0.225	2.2844	6
5	5.0564	4.6739	0.1521	2.2862	7
4	5.353	3.4579	0.90428	2.1921	8

جدول (۴ - ۴)

شماره دسته	α	B	γ
1	001011010010000	00000011111010010000	10110110
2	100111011000110	00110010110111110111	10101110
3	001110110010110	11101010101110100100	11101111
4	011100011101100	00110011111010000111	00000101
5	101111001111110	00110010111001011000	10000001
6	110100100100100	00100011100011100110	11010111
7	111001000010110	00001110110100011111	11011001
8	011111000110101	11100100110001100011	01101011

جدول (۴-۵)

شماره دسته	سلول نهایی حاصل از ترکیب نمونه ها
1	001011010010000000001111101001000010110110
2	1001110110001100011001011011111011110101110
3	0011101100101101110101010111010010011101111
4	0111000111011000011001111101000011100000101
5	1011110011111100011001011100101100010000001
6	1101001001001000010001110001110011011010111
7	1110010000101100000111011010001111111011001
8	0111110001101011110010011000110001101101011

اگر از روش همپوشانی یک نقطه ای در جدول (۴-۵) استفاده کنیم و فرض کنیم هر دو دسته متوالی یک زوج والدین تشکیل میدهند

جدول (۴-۶)

شماره دسته	نقطه همپوشانی	دسته های ترکیب شده و دسته های بدست آمده
1	41	<u>001011010010000000001111101001000010110110</u>
2		<u>1001110110001100011001011011111011110101110</u>
9		001011010010000000001111101001000010110110
10		1001110110001100011001011011111011110101110
3	11	<u>00111011001</u> 01101110101010111010010011101111
4		<u>01110001110</u> 11000011001111101000011100000101
11		00111011001 <u>11000011001111101000011100000101</u>
12		01110001110 <u>01101110101010111010010011101111</u>
5	26	<u>10111100111111000110010111</u> 00101100010000001
6		<u>11010010010010000100011100</u> 01110011011010111
13		10111100111111000110010111 <u>01110011011010111</u>
14		11010010010010000100011100 <u>00101100010000001</u>
7	21	<u>111001000010110000011</u> 101101000111111011001
8		<u>011111000110101111001</u> 0011000110001101101011
15		111001000010110000011 <u>0011000110001101101011</u>
16		011111000110101111001 <u>1011010001111111011001</u>

در جدول (۴-۶) شماره های متوالی که والدین محسوب میشده اند ابتدا و در زیر آنها دسته های حاصل نشان داده شده است. نقطه همپوشانی نیز که برای هر زوج تابعی تصادفی است در ستون دوم نشان داده شده است. کاملاً مشخص است که دو زوج از نقطه همپوشانی شکسته و بیت‌های آنها جابجا شده است. مثلاً در جدول (۴-۷) این وضعیت در ستونهای ۷ و ۸ به صورت گویا نشان داده شده است.

جدول (۴-۷) یک مثال ساده از همپوشانی تک نقطه ای

7	21	<u>111001000010110000011101101000111111011001</u>
8		<u>0111110001101011110010011000110001101101011</u>
7	ستون ۷ از بیت ۱ تا ۲۱	<u>111001000010110000011</u>
8	ستون ۸ از بیت ۲۲ تا ۴۳	<u>0011000110001101101011</u>
	نمونه حاصل	<u>1110010000101100000110011000110001101101011</u>

۴-۴-۵- مرحله چهارم

دسته بندی بعدی براساس عاملی به نام جهش صورت می گیرد. شبیه سازی های عددی نشان می دهد در سیستم های نسبتاً پیچیده، جهش یا تغییر ناگهانی کروموزوم (بیت) ها هنگام ترکیب، عامل مهمی در رسیدن به جواب دقیق است. در این روش به ازای احتمال مشخص و از قبل تعریف شده، اما بسیار کمی ممکن است والدین هنگام بوجود آوردن بچه به صورت نامتعارف عمل کنند و یک بیت که در حالت نرمال یک یا صفر است به صورت برعکس به صفر یا یک تبدیل شود. به بیت شماره ۱۳ مربوط به ستون ۷ در همپوشانی جدول (۴-۸) دقت کنید.

¹ Mutation

جدول (۴ - ۸) جهش هنگام همپوشانی

7	21	<u>111001000010110000011</u> 1011010001111111011001
8		011111000110101111001 <u>0011000110001101101011</u>
7	ستون ۷ از بیت ۱ تا ۲۱	<u>111001000010110000011</u>
8	ستون ۸ از بیت ۲۲ تا ۴۳	↓
	نمونه حاصل	<u>111001000010010000011</u> 0011000110001101101011

احتمال جهش براساس پیچیدگی ساختار تعیین می شود و در ساختارهای با تغییرات ناگهانی این احتمال زیاد و در ساختارهای معمولی کم است. هدف اصلی اینکار جلوگیری از همگرایی سیستم به نقاط ماکزیمم و مینیمم محلی هنگام رسیدن به جواب است به خصوص در سیستم های دارای تعداد زیاد ماکزیمم و مینیمم محلی نزدیک به هم. تعیین صحیح احتمال جهش برای آنکه الگوریتم هم سرعت همگرایی زیاد داشته باشد و هم به جواب دقیق منجر شود اهمیت زیادی دارد چرا که در صورت زیاد بودن عدد انتخاب شده زمان رسیدن به جواب دقیق بسیار طولانی است و در صورتی که عدد کم انتخاب شود جواب از دقت کافی برخوردار نخواهد بود.

۴ - ۴ - ۶ - مرحله پنجم

آخرین مرحله الگوریتم شرط اتمام عملیات و اعلام جواب محسوب میشود. هنگام نزدیک شدن الگوریتم به جواب نهایی نمونه ها به سمت هم میل کرده و در نهایت والدین و نوزادان همه به صورت یک عدد ثابت در می آیند. در این حالت در صورتی که هنوز نمونه ها با هم فاصله زیادی داشته باشند کلیه مراحل ۲ به بعد باید از نو تکرار شود. ابتدا پارامترهای مربوط به ستون های تازه تولید شده از عدد مربوط به ستون مربوطه استخراج میشوند. این عمل عکس کاری است که در مرحله سوم صورت گرفت.

به این صورت که در نمونه ۴۳ بیتی موجود ۱۵ بیت اول مربوط به پارامتر α ، ۲۰ بیت دوم مربوط به پارامتر β و ۸ بیت آخر مربوط به γ هستند. این اعداد مبنای دو دوباره باید به مقادیر متناظر در فضای مجاز تغییرات پارامتر تبدیل شوند. این فرایند عکس کاری است که در رابطه (۴-۶) انجام شد. به این ترتیب جمعیت اولیه N عضوی دوباره تشکیل خواهد شد. جدول (۴-۹) نحوه این دوباره سازی و تبدیل به مقادیر متناظر را برای دسته های تولید شده در جدول (۴-۶) نشان می دهد.

جدول (۴-۹): مقادیر استخراج شده پارامترها و متناظر تبدیل شده آنها به مبنای ۱۰

دسته	α	مبنای ۱۰	β	مبنای ۱۰	γ	مبنای ۱۰
9	001011010010000	2.5288	00000011111010010000	0.11375	10110110	2.2564
10	100111011000110	3.8463	00110010110111110111	0.27885	10101110	2.2495
11	001110110011100	2.694	00110011111010000111	0.28249	00000101	2.1043
12	011100011100110	3.3336	11101010101110100100	0.92521	11101111	2.3054
13	101111001111110	4.2147	00110010111011100110	0.27905	11010111	2.2848
14	110100100100100	4.4642	00100011100001011000	0.22488	10000001	2.2109
15	111001000010110	4.6739	00001100110001100011	0.14491	01101011	2.192
16	011111000110101	3.458	11100110110100011111	0.91148	11011001	2.2865

با معلوم بودن دسته N تایی نمونه ها کارها دوباره از نو باید تکرار شود. یعنی بازای مقادیر پارامترها مساله حل، $N/2$ نمونه برتر استخراج و همپوشانی صورت گیرد. این چرخه تا زمانی تکرار میشود که شرط اتمام عملیات محقق شود. بسته به نظر طراح میتوان شرایط مختلفی را برای اتمام چرخه تکرار قرار داد. شباهت نمونه ها به یکدیگر هنگامی که $N/2$ نمونه باقی مانده از حد معینی که دقت یا بهینگی جواب آنرا مشخص می کند به هم نزدیکتر شدند برنامه از چرخه تکرار خارج شده و نمونه برتر را به عنوان جواب اعلام می کند.

i. نزدیکی جوابها به یکدیگر، ممکن است نمونه ها به هم نزدیک شوند اما به علت شیب بسیار زیاد تابع در نزدیکی نقطه بهینه هنوز اختلاف زیادی بین مقدار بهینه با مقدار نمونه برتر موجود باشد و این موجب خطا خواهد شد. در این موارد معیار، اختلاف بین مقدار نمونه برتر و ضعیف ترین نمونه باقی مانده محک خوبی محسوب می شود. لازم به ذکر است که این اختلاف باید به درصد سنجیده شود در غیر اینصورت کارایی نخواهد داشت. برای نمونه فرمول زیر می تواند شرط قابل قبولی برای پایان الگوریتم محسوب شود.

$$\frac{(f_{n/2} - f_1)}{f_1} < \varepsilon \quad (9-4)$$

در رابطه (۴-۹) مقدار نمونه برتر و f_1 مقدار کمترین نمونه در نمونه های باقی مانده فرض میشوند. ε هر چه کمتر انتخاب شود دقت جواب بدست آمده بیشتر است اما به همان نسبت تعداد تکرار لازم برای رسیدن به جواب بیشتر خواهد بود. مقادیر ε معمولاً کمتر از 0.1 انتخاب میشود.

۴-۴-۷- مرحله ششم

این مرحله بعد از خاتمه الگوریتم و یافتن جواب می تواند مطرح شود تا دقت جواب بالا رود. پس از خروج از برنامه عادی، ممکن است هنوز نمونه ها تا مقدار بهینه خود فاصله بسیار اندکی داشته باشند. برای حذف این فاصله برنامه می تواند باندازه $\alpha \pm N_\alpha$, $\beta \pm N_\beta$, $\gamma \pm N_\gamma$ که همان دقت مربوط به هر متغیر است مقدار آنها را جابجا کند و مجدداً تابع را محاسبه کند. در صورتی که یکی از این ۸ مقدار جدید بهتر از مقدار قبلی شد تغییرات را در همان راستا ادامه دهد تا به جواب برسد. این کار در مواردی انتخاب می شود که دقت بسیار بالا مدنظر طراح باشد. برای مثال اگر α , β , γ $\alpha + N_\alpha$ جواب بهتری داشت مقدار $\alpha + N_\alpha$ جایگزین α قبلی می شود و این کار آنقدر تکرار می شود که جواب بهینه بدست آید. روشهای گوناگونی وجود دارد که با ترکیب الگوریتم های عددی مرسوم و

الگوریتم ژنتیک سعی شده سرعت همگرایی و دقت جواب بالا رود که بدلیل تعدد بیش از حد روشها و خاص بودن استفاده آنها در بعضی مسائل در این طرح به آنها پرداخته نمی‌شود.

۴-۴-۸- مراحل تکمیلی

در برخی مقالات یا کتب روشهایی برای بالا بردن کارایی الگوریتم پیشنهاد شده است. این روشها به دلیل عمومی نبودن و کاربرد در بعضی موارد خاص در مراحل مختلف الگوریتم که در قسمتهای قبل گفته شد آورده نشد. در این قسمت به صورت مختصر به بعضی از مهمترین و پرکاربردترین آنها اشاره می‌کنیم [۴۴].

A. ابتدا فضای نمونه به چند زیر قسمت تقسیم شود. مقدار پارامترها در این زیر فضاها محاسبه شود. با توجه به مقدار محاسبه شده تابع در این قسمتها برای نمونه های اولیه مقادیری انتخاب شود که تمرکز آنها در قسمتهای با مقدار بیشتر قرار دارد. به عبارت دیگر نمونه های اولیه با دید کلی نسبت به مکان جواب احتمالی انتخاب شود.

B. در شروع الگوریتم تعداد نمونه های اولیه زیاد و احتمال جهش کم باشد. با پیش رفتن حل و همگرا شدن نمونه ها، تعداد نمونه ها انتخابی کمتر شود و به ازای آن احتمال جهش را افزایش دهیم.

C. الگوریتم به صورت وقتی با همگرا شدن نمونه ها، تعداد نمونه ها را کاهش دهد و احتمال جهش را افزایش. برای انجام شدن صحیح این کار باید معیار دقیقی از برای کم شدن تعداد نمونه و افزایش احتمال جهش در نمونه ها بازای همگرا شدن آنها تعریف شود.

D. تنظیم تعداد نقاط همپوشانی بر اساس سرعت همگرا شدن جواب، الگوریتم تعداد نقاط همپوشانی را طوری تغییر دهد که سریعترین همگرایی در مراحل مختلف حاصل شود.

به صورت کلی می توان اینطور گفت که تنظیم پارامترهای الگوریتم به صورت دینامیک و بر اساس پیشرفت حل و سرعت همگرایی می تواند نقش بسزایی در افزایش کارایی الگوریتم داشته باشد اما

در صورتی که طراح از سیستم خود هیچ گونه اطلاع قبلی نداشته باشد این امر خود به پیچیدگی های خاصی منجر می شود که بعضا مزیت های چنین تنظیماتی را از بین می برد لذا برای سیستم های عادی و متداول استفاده از الگوریتم اولیه یا ابتدایی ژنتیک ترجیح داده می شود.

۴-۴-۹- پارامترهای مقایسه

برای مقایسه روشهای موجود، پارامترهای مورد بحث سرعت همگرایی الگوریتم و دقت جواب در نظر گرفته شده اند. در حقیقت در تمامی کاربردها این دو پارامتر مهم می باشد چرا که هدف استفاده از روشی چون الگوریتم ژنتیک، رسیدن به جواب دقیق در زمانی بسیار کم در شرایطی است که مساله از نظر تحلیلی غیر قابل حل بوده و حل عددی آن زمان بر است. سرعت همگرایی الگوریتم ها در ابتدا ممکن است بسیار زیاد و در هنگام نزدیک شده به جواب کم شود که برای مقایسه صحیح الگوریتمها در این قسمت به صورت معادل از تعداد محاسبه تابع هنگام رسیدن به جواب استفاده شد که در حقیقت نشان دهنده نسبی سرعت همگرایی است و کمتر شدن آن متناظر با بالا رفتن سرعت همگرایی الگوریتم می باشد.

برای مثال اگر با ۳۲ نمونه اولیه شروع می کنیم و بعد از ۱۲ بار تکرار به جواب نهایی میرسیم تعداد کل محاسبه تابع برابر بوده است با $32 + 11 \times 16 = 208$ چرا که در بار اول برای تمام نقاط و در دفعات بعد فقط برای نمونه های تولید شده این محاسبه انجام شده است و هر چه تعداد این محاسبه کمتر باشد نشان دهنده همگرایی سریعتر الگوریتم است.

۴-۴-۱۰- شرایط ثابت

با توجه به فرم تصادفی الگوریتم ژنتیک در انتخاب نقاط همپوشانی، نقاط شروع، بیت های دارای جهش و و تفاوت نتایج آن هم در اجراهای مختلف و هم در توابع مختلف، مقایسه روشها کار آسانی نمی باشد لذا در حالت های یک متغیره و چند متغیره برای توابع با فرمهای مختلف هر روش

۲۰۰ بار برای هر تابع پیاده سازی و در انتها برای حذف نتایج بسیار خاص و بالا بردن درستی ۲۰ نتیجه بسیار بد و بسیار خوب حذف و نتایج باقی مانده میانگین گیری شدند تا نتایج به مقدار واقعی بسیار نزدیک شود.

تفاوت در الگوریتمهای مختلف شامل موارد زیر می شود:

الف. نقاط شروع منظم یا تصادفی (مرحله اول)

ب. انتخاب $N/2$ نمونه به صورتهای ایده آل، انتخاب بر اساس شانس زندگی با تکرار و بی تکرار،

انتخاب بر اساس شانس زندگی و باقی ماندن نمونه برتر (مرحله دوم)

ج. روش ترکیب دسته ها به صورت ترتیبی قوی با قوی یا به صورت تصادفی (مرحله سوم)

د. تعداد نقاط همپوشانی (مرحله سوم)

ه. سیستم های دارای جهش یا بدون جهش (مرحله چهارم)

و. دقت نمونه یا تعداد بیت آن (مرحله مقدمه شروع)

ز. تعداد نقاط شروع اولیه

۴-۴-۱۱- نتیجه گیری و خاتمه

لازم به توضیح است بدلیل تنوع انواع توابع در هنگام بهینه سازی و ساختار تصادفی الگوریتم ژنتیک کلیه نتیجه گیری ها با قید معمولاً صورت گرفته است و در برخی توابع خاص ممکن است این نتیجه-گیریها صحت لازم را نداشته باشد.

ا. انتخاب نقاط شروع اولیه به صورت تصادفی در فضای نمونه موجود دقت پاسخ را بالا می برد که

این امر خصوصاً در سیستم های با پیچیدگی بالا مشهودتر است.

- ii. در مرحله انتخاب نمونه های برتر، انتخاب ایده آل در کلیه موارد سرعت همگرایی و دقت جواب را به صورت همزمان بهبود می بخشد.
- iii. دقت نمونه از نظر تعداد بیت و نحوه ترکیب دسته ها قوی با قوی یا تصادفی تاثیر معنی داری در پارامترهای سرعت همگرایی و دقت جواب نشان نداد. در مقایسه ها از ترکیب تصادفی استفاده شده است. دقت نمونه ها نیز به صورت دلخواه انتخاب شد.
- iv. سیستم باید الزاما دارای جهش باشد.
- v. انتخاب صحیح تعداد نمونه های اولیه و احتمال جهش بسیار مهم است. در سیستم های با پیچیدگی بالا این دو مقدار زیاد تر از سیستم های با پیچیدگی کمتر است. تاثیر احتمال جهش از تعداد نمونه اولیه مهمتر تلقی میشود زیرا شبیه سازیها نشان داد معمولا میتوان با تعداد نمونه شروع کمتر و احتمال جهش بیشتر سرعت همگرایی سیستم را بدون کاهش دقت جواب افزایش داد. هر دو این پارامترها دارای مقادیر بحرانی در هر سیستم است که با کمتر شدن از آن مقدار، پاسخ بدست آمده دیگر دقت کافی نخواهد داشت.
- vi. در صورت انتخاب صحیح تعداد نقاط اولیه و احتمال جهش در سیستم وابستگی پاسخ به تعداد نقاط همپوشانی کم میشود و عدد ۷ یا ۵ یا ۹ عددی مناسب برای این پارامتر است اما در صورتی که دو پارامتر اول صحیح انتخاب نشوند وابستگی پاسخ به تعداد نقاط همپوشانی زیاد و در سیستمهای مختلف متفاوت است. این وابستگی در دقت جواب مشهود است و در سرعت همگرایی سیستم چندان اثری ندارد.
- vii. با توجه به عدم اطلاع دقیق طراح هنگام بهینه سازی از پیچیدگی ذاتی سیستم اگر بتوان با بکارگیری روشی عمومی وابستگی الگوریتم را به پارامترهای نامعلوم تعداد نقاط اولیه و احتمال جهش کم کرد در آن صورت سیستم کارایی بسیار بالاتری خواهد داشت.

۴-۵ - کنترل غیر خطی توسط خطی ساز پسخورد با ورودی پله

با فرض $X_d = [\theta_d] = [10]$ و $\dot{X}_d = [\dot{\theta}_d] = [0]$ و $\ddot{X}_d = [\ddot{\theta}_d] = [0]$ به عنوان

مقادیر مطلوب و فرض ثوابت مطابق جدول (۴-۱۰) سیستم را مدل می نماییم .

جدول (۴-۱۰) مقادیر پارامترها و ثوابت برای یک نمونه جستجوگر

نام پارامتر	مقدار	واحد
I_o	$30 \cdot 10^{-6}$	Kg.m^2
I	$30 \cdot 10^{-6}$	Kg.m^2
M	12	N.m/T
α	$3.5 \cdot 10^{-3}$	Rev.T/A
β	$3.5 \cdot 10^{-3}$	Rev.T/A

۱-۴-۵ - بهینه سازی ضرایب K_p و K_v کنترل کننده خطی ساز پسخورد توسط الگوریتم

ژنتیک

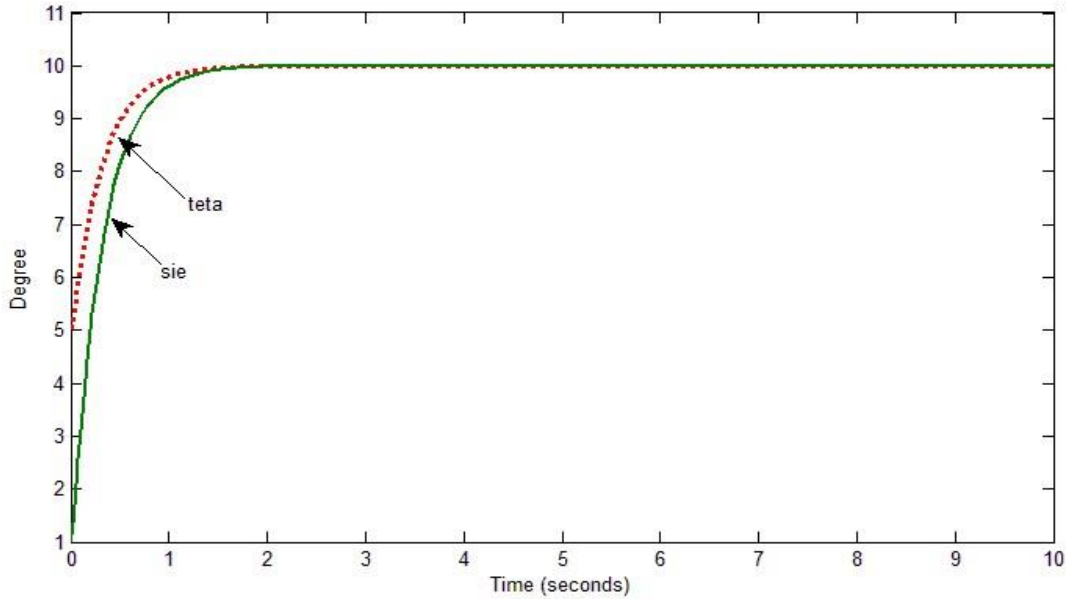
به کمک روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک وبا معلوم کردن حدود تغییرات ضرایب طبق جدول

(۴-۱۱) مقادیر بهینه ضرایب بدست آمده است :

جدول (۴-۱۱) مقادیر بهینه ضرایب

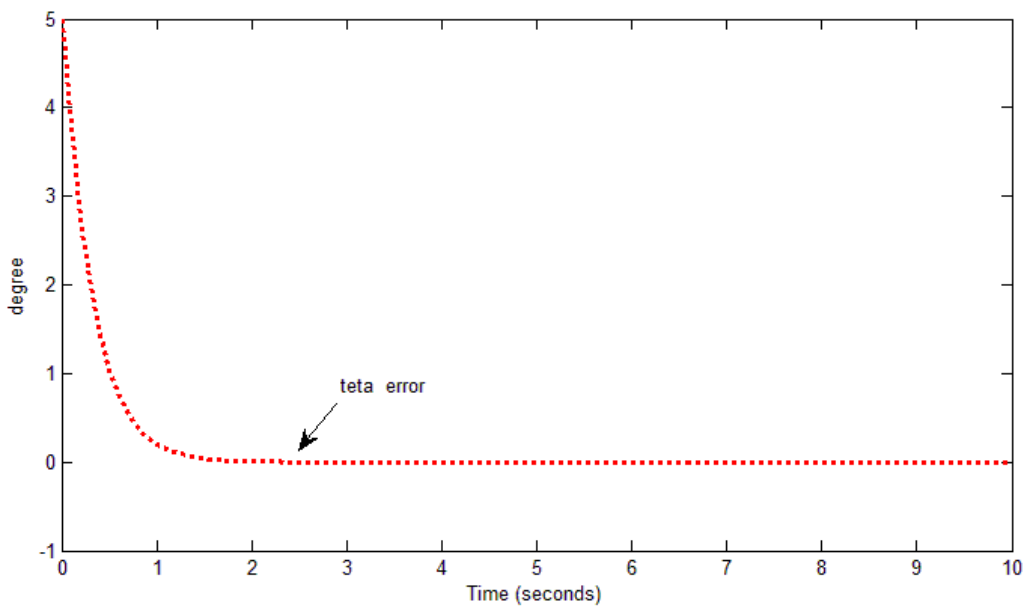
مقدار	ضرایب کنترل کننده غیر خطی، خطی سازی پسخورد
۶۴/۸۵۵۹	K_v
۱۹۹/۴۸۷۵	K_p

با قرار دادن مقادیر در روابط سیستم و شبیه سازی در نرم افزار متلب نتایج در شکل های (۴-۱) ، (۴-۲) و (۴-۳) نمایش داده شده است.

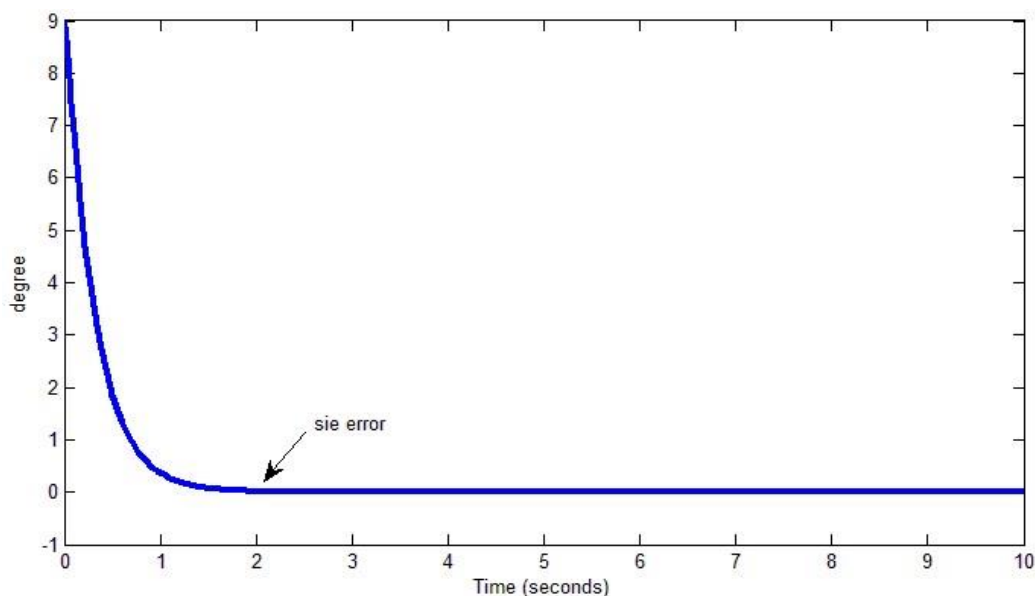


شکل (۴-۱) پاسخ خروجی θ و ψ

همانطور که در شکل (۴-۱) مشاهده می شود مقادیر θ و ψ در زمانی نزدیک به دو ثانیه به مقدار مطلوب رسیده و به آن منطبق شده اند و در طی زمان مقدار مطلوب را حفظ می کنند .



شکل (۴-۲) خطای سیستم در زاویه θ



شکل (۴-۳) خطای سیستم در زاویه Ψ

مقادیر خطا در شکل های (۴-۲) و (۴-۳) به صفر رسیده است و سیستم پایدار و تحت کنترل می باشد.

۴-۶ - پویش جستجو گر با الگوی گل رز

در جستجو گر هایی که دارای سامانه بینایی نوری مثل لیزر یا مادون قرمز هستند، به دلیل ملاحظات حساسیتی و حفظ دقت، میدان دید سامانه های بینایی محدود است، لذا برای ایجاد ناحیه تما شای وسیع تر، حسگر های سامانه بینایی جستجو گر بر ساز و کار طوقه دار نصب می شوند. مثل شکل (۱-۱) حال اگر راستای مرکز سامانه بینایی را تحت الگوی خاصی حرکت دهیم، در این صورت با وجود میدان دید اندک سامانه بینایی، میدان دید قابل مشاهده برای جستجوگر افزایش می یابد.

یکی از الگو های معروف که سامانه بینایی جستجو گر ها با آن پویش می کند الگوی گل رز می باشد [۳۷] الگوی گل رز در دستگاه کارتزین مطابق رابطه (۴-۱۰) و (۴-۱۱) تشکیل می گردد.

$$X = \frac{\delta}{2} (\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t)) \quad (10 - 4)$$

$$Y = \frac{\delta}{2} (\sin(2\pi f_1 t) - \sin(2\pi f_2 t)) \quad (11 - 4)$$

t زمان تشکیل الگوی گل رز می باشد.

δ تعیین کننده تعداد گلبرگ ها می باشد.

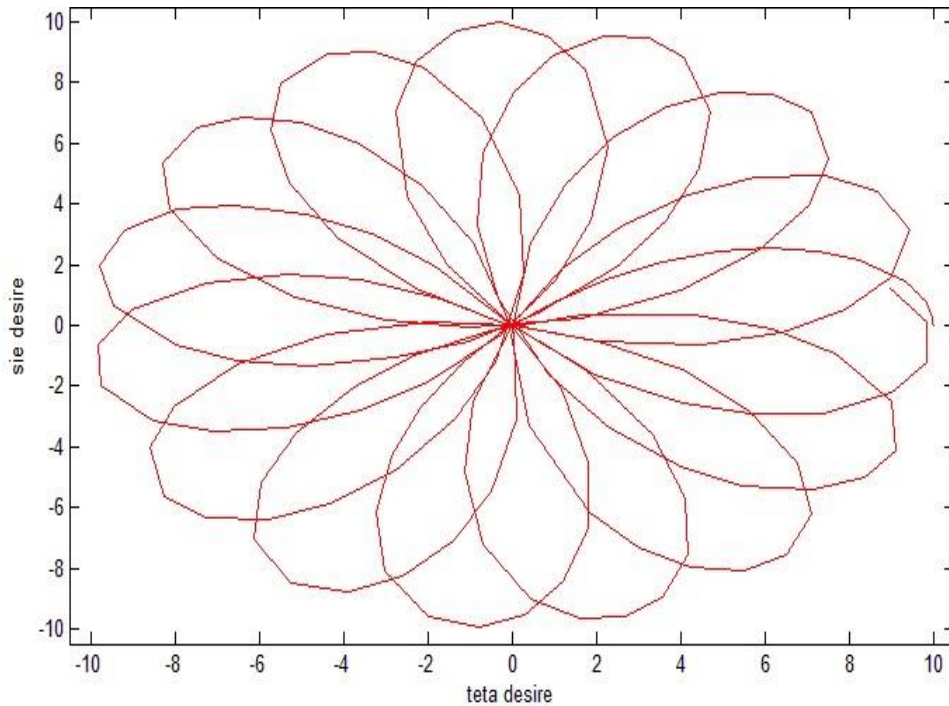
f_1 تعیین کننده اندازه گلبرگ ها می باشد .

f_2 تعیین کننده سرعت تشکیل گل می باشد.

تنوع جستجوگرها و متغیر بودن میدان دید سامانه های بینایی باعث تنوع در الگوی پوشی شده است . لذا در این تحقیق برای نمونه یک الگوی گل رز با ثوابت مطابق جدول (4-12) را مبنا قرار می دهیم . در شکل (4-4) مسیر پوش گل رز نشان داده شده است .

جدول (4-12) ثوابت و زمان تشکیل مسیر گل رز

مقدار	نام ثابت
10	δ
1,375	F 1
0,5	F 2
8	زمان تشکیل (S)



شکل (۴-۴) الگوی گل رز با داده های جدول (۴-۱۱)

حال اگر ورودی های x و y گل رز مربوطه را به عنوان $\theta_d(t)$, $\Psi_d(t)$ در نظر بگیریم برای مقادیر

$\theta_d(t)$ و $\dot{\theta}_d(t)$ و $\ddot{\theta}_d(t)$ و $\Psi_d(t)$ و $\dot{\Psi}_d(t)$ و $\ddot{\Psi}_d(t)$ مطابق روابط (۴-۱۲) خواهیم داشت :

$$\theta_d(t) = \frac{\sigma}{2} (\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t))$$

$$\dot{\theta}_d(t) = \frac{\sigma}{2} (-2\pi f_1 \sin(2\pi f_1 t) - 2\pi f_2 \sin(2\pi f_2 t))$$

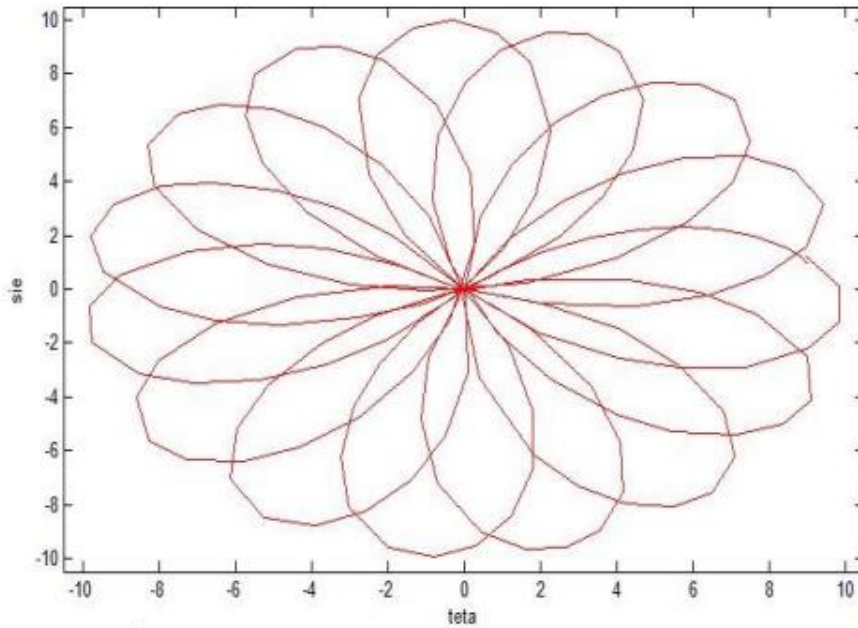
$$\ddot{\theta}_d(t) = \frac{\sigma}{2} ((-2\pi f_1)^2 \cos(2\pi f_1 t) - (2\pi f_2)^2 \cos(2\pi f_2 t))$$

$$\Psi_d(t) = \frac{\sigma}{2} (\sin(2\pi f_1 t) - \sin(2\pi f_2 t)) \quad (۴-۱۲)$$

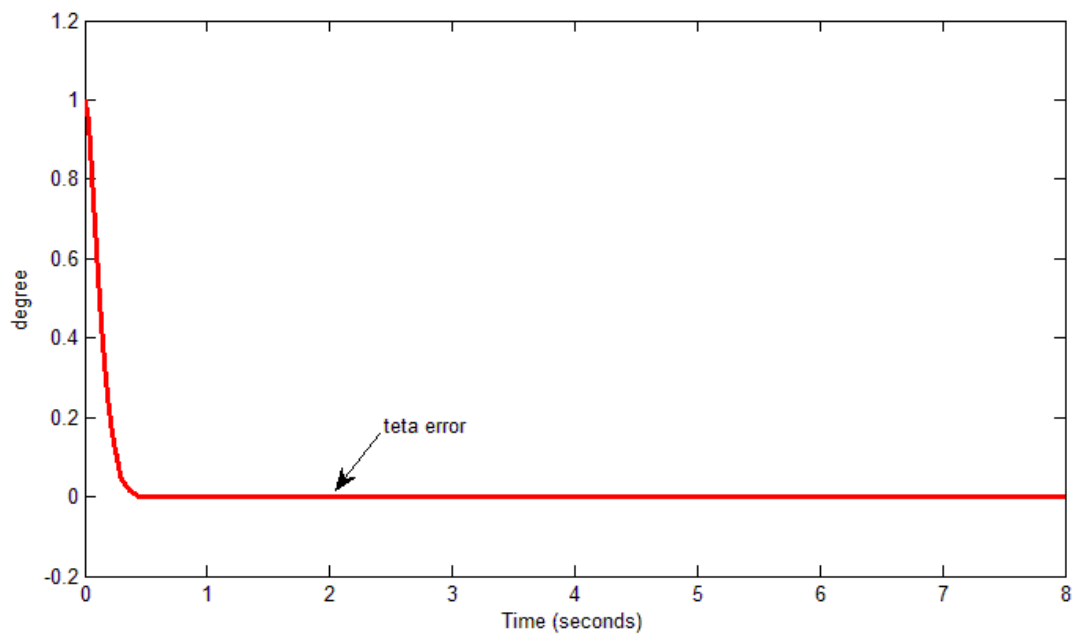
$$\dot{\Psi}_d(t) = \frac{\sigma}{2} (2\pi f_1 \cos(2\pi f_1 t) - 2\pi f_2 \cos(2\pi f_2 t))$$

$$\ddot{\Psi}_d(t) = \frac{\sigma}{2} ((-2\pi f_1)^2 \sin(2\pi f_1 t) + (2\pi f_2)^2 \sin(2\pi f_2 t))$$

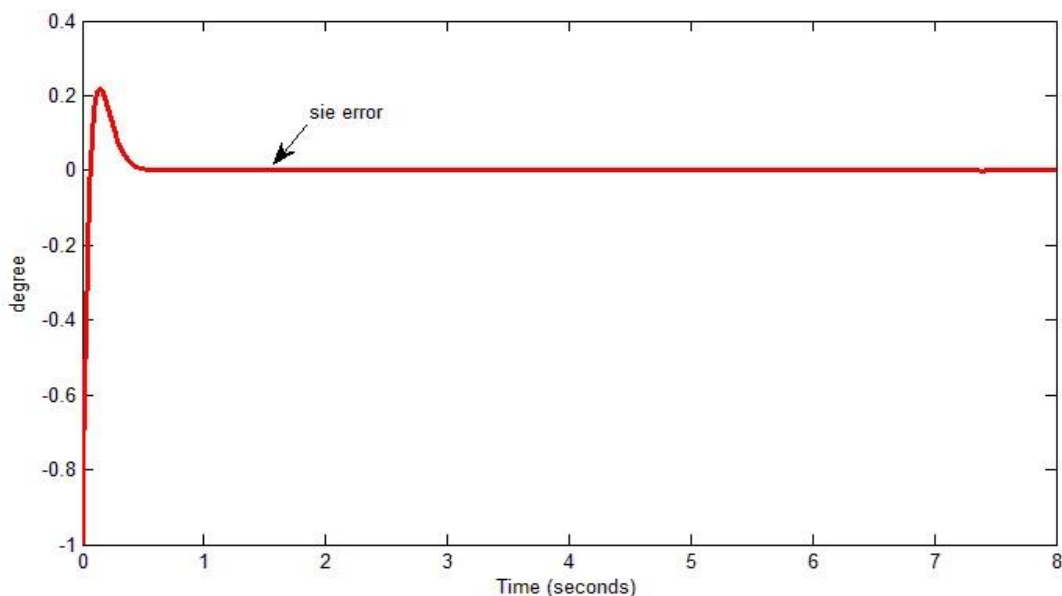
حال به کمک روابط (۴-۱۲) و اعمال آنها به عنوان مسیر مطلوب و بهینه سازی ضرایب کنترلر به کمک الگوریتم ژنتیک با فرض تابع هزینه به شکل مجموع قدرمطلق اختلاف مقدار مطلوب با پاسخ سیستم از ثانیه یکم تا ثانیه دهم و مینیمم سازی آن و جایگذاری مقدار ضرایب بهینه مطابق جدول (۴-۱۲) نتایج حاصل از شبیه سازی در شکل (۴-۵)، (۴-۶) و (۴-۷) ارائه گردیده است.



شکل (۴-۵) پاسخ سیستم کنترل کننده خطی ساز پسخورد به مسیر گل رز



شکل (۴-۶) خطای رد یابی الگوی گل رز در زاویه θ با کنترل کننده خطی ساز پسخورد



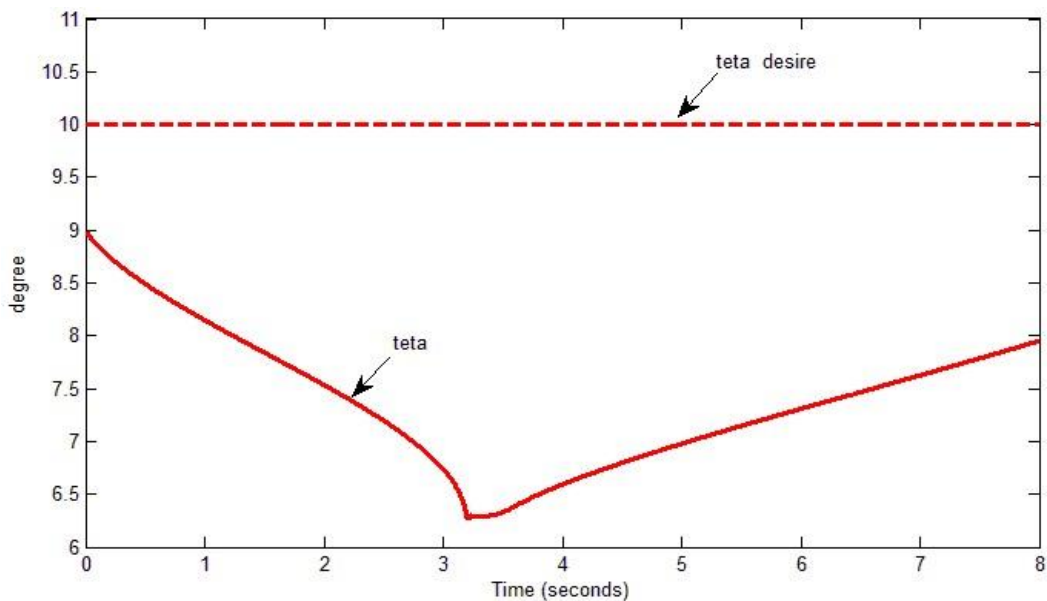
شکل (۴-۷) خطای ردیابی الگوی گل رز در زاویه Ψ با کنترل کننده خطی ساز پسخورد

در شکل (۴-۵) مشاهده می شود که پاسخ سیستم به خوبی مسیر الگوی گل رز را دنبال می نماید و خطای ردیابی در پویش گل رز برای زاویه θ در شکل (۴-۶) و برای زاویه Ψ در شکل (۴-۷) ارائه گردیده است که نشان دهنده پایداری و تحت کنترل بودن سیستم است.

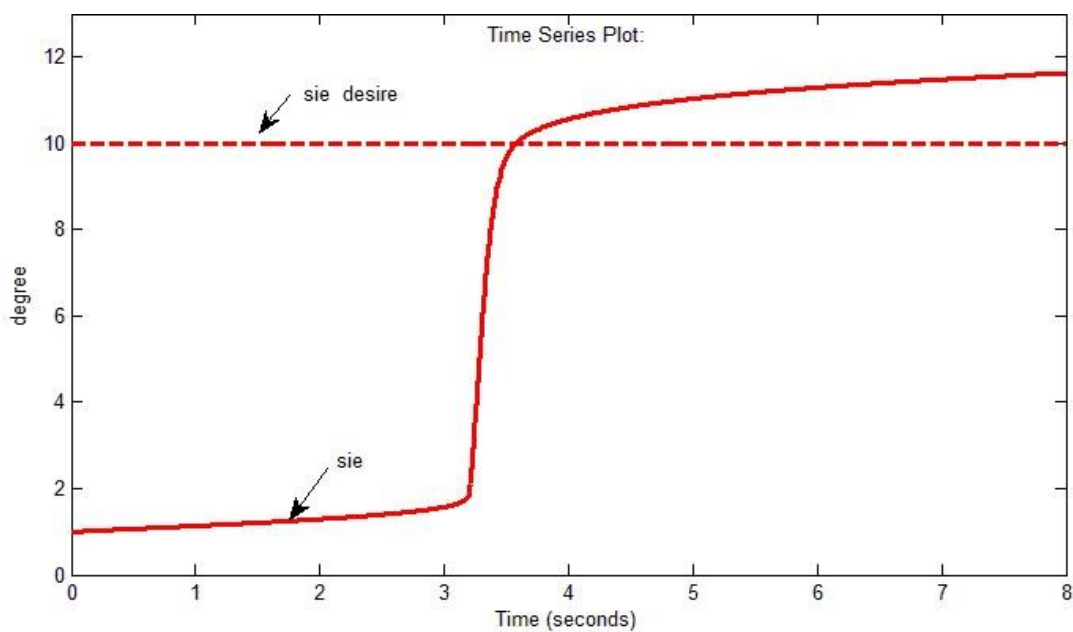
در قسمت ۴-۵ و ۴-۶ سیستم با فرض معلوم بودن پارامترها و دینامیک و بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت ها بررسی شده و کنترلر غیرخطی خطی سازی پسخورد اعمال شده است، حال آنکه وجود عدم قطعیت های پارامتری و ساختاری غیرقابل کتمان می باشد و لازم است مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۷ - بررسی عملکرد کنترلر ست پوینت با حضور عدم قطعیت

با در نظر گرفتن ۵۰٪ نامعینی در مدل سیستم، مجدد با ضرایب بدست آمده و شرایط اولیه و مقادیر مطلوب مطابق قسمت ۴-۵ شبیه سازی در محیط شبیه سازی نرم افزار متلب انجام می گیرد در شکل (۴-۸) و (۴-۹) نتایج بدست آمده قابل رویت می باشد.



شکل (۴-۸) پاسخ و مقدار مطلوب در زاویه θ برای سیستم کنترل کننده خطی ساز پسخورد با حضور عدم قطعیت

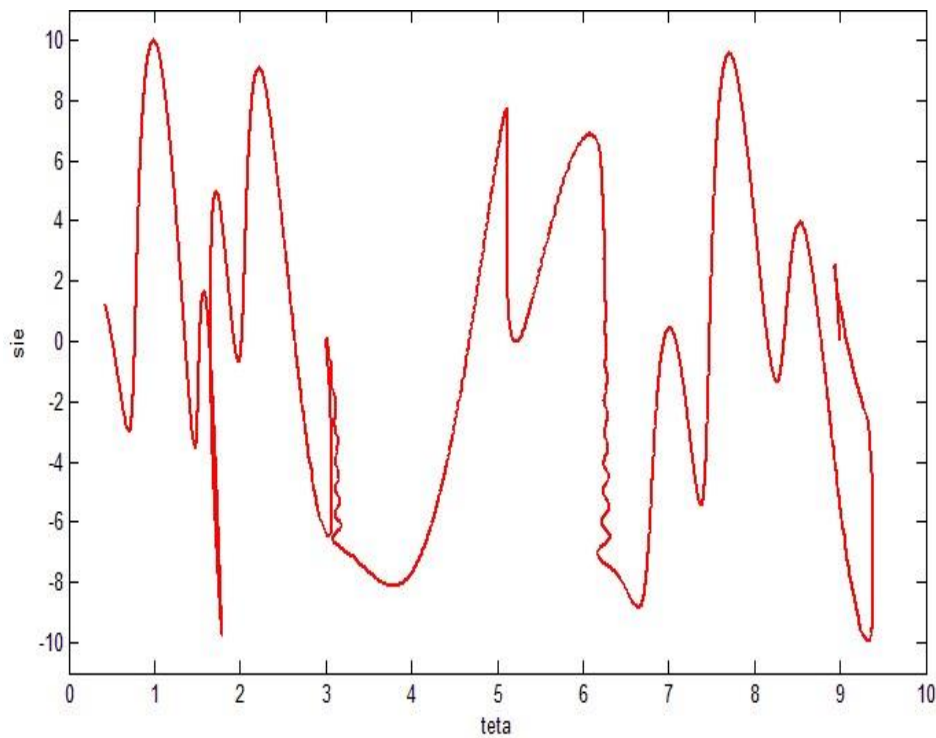


شکل (۴-۹) پاسخ و مقدار مطلوب در زاویه ψ برای سیستم کنترل کننده خطی ساز پسخورد با حضور عدم قطعیت

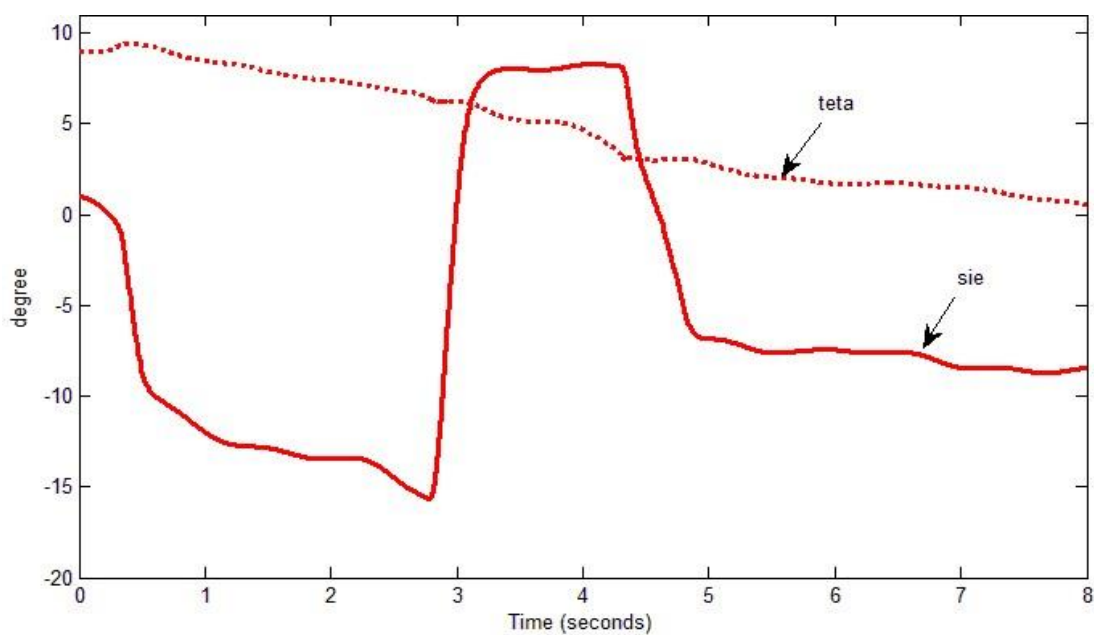
ملاحظه می گردد که کنترل کننده خطی ساز پسخورد در کل زمان پروسه توانایی کنترل و هدایت سیستم به سمت مطلوب را ندارد و در صورت افزایش زمان پروسه نیز عملاً قادر به کنترل سیستم نخواهد بود. این کنترل کننده در برابر عدم قطعیت های مدل کاربردی پیدا نمی کند.

۴-۸ - بررسی عملکرد پویش جستجوگر با الگوی گل رز با حضور عدم قطعیت

در این قسمت با اعمال ۵۰٪ نامعینی در مدل سیستم، در شرایط کاملاً مشابه قسمت ۴-۶ مجدداً شبیه سازی را انجام می دهیم، نتایج حاصله در شکل (۴-۱۰) و شکل (۴-۱۱) قابل مشاهده است.



شکل (۴-۱۰) پاسخ سیستم با کنترل کننده خطی ساز پسخورد برای ردیابی مسیر گل رز در حضور عدم قطعیت



شکل (۴-۱۱) پاسخ سیستم با کنترل کننده خطی ساز پسخورد در زاویه θ و ψ با ورودی مطلوب الگوی گل رز در حضور عدم قطعیت

کنترل غیرخطی، خطی ساز ورودی و خروجی تاحدودی از خود در برابر عدم قطعیت مقاومت نشان می دهد که ناشی از خاصیت PD می باشد اما با حضور عدم قطعیت های ساختاری و پارامتری دیگر قابل استفاده نمی باشد و همانطور که در شکل های (۴-۸)، (۴-۹)، (۴-۱۰) و (۴-۱۱) دیده می شود مقادیر و مسیرهای مطلوب را دنبال نمی کند و خطا را به سمت صفر نمی رساند لذا با توجه به این مسئله لازم است که یک کنترلر مقاوم که توانایی کنترل کردن جستجوگر با وجود عدم قطعیت و نامعینی را داشته باشد طراحی نماییم.

۴-۹- کنترلر مقاوم مود لغزشی^۱

در مدل غیر دقیق که ممکن است به علت، عدم قطعیت های سیستم، مثل پارامترهای نامعلوم یا به خاطر انتخاب هدف دار یک نمایش ساده شده از دینامیک های سیستم ایجاد شده باشد. مشکل عدم دقت در مدلسازی می تواند اثرات نامطلوب شدیدی بر سیستم های غیرخطی بگذارد بنابراین هر طرح کنترلی باید این نکته را مدنظر داشته باشد.

یک روش ساده برای کنترل مقاوم به اصطلاح کنترل لغزشی نامیده می شود. طرح کنترل کننده لغزشی در سیستم هایی که قابل اعمال است روشی قانون مند برای مسئله حفظ پایداری و عملکرد یکنواخت در رو به رویی با بی دقتی های مدلسازی است به علاوه با اجازه دادن به اینکه مصالحه ای بین مدل سازی و عملکرد به صورت ساده ای، کمی شود، می توان کل فرایند طراحی را روشن کرد. کنترل لغزشی با موفقیت در جابه جا کننده های روبات، وسایل نقلیه زیرآبی، موتورهای الکتریکی و سیستم های قدرت مورد استفاده قرار گرفته است.

هدف روش کنترلر لغزشی ردیابی X و \dot{X} به سمت X_d و \dot{X}_d می باشد که به این عمل ردیابی مسیر آمی گویند. جهت رسیدن به این هدف سطحی تعریف می کنیم به عنوان سطح لغزش و سیستم

¹ Sliding Mode Controller

² Trajectory Tracking

را هدایت می کنیم که روی سطح لغزش به سمت مبدأ بلغزد. پس متغیر جدیدی به نام S که حاوی دینامیک خطا می باشد تعریف می کنیم.

$$S = \dot{e} + \lambda e \quad (۴ - ۱۳)$$

S سطح لغزش می باشد در صورتی که قانون کنترلی u را طوری طراحی کنیم که برای $T \geq 0$ مقدار $S = 0$ بماند سیستم کنترل می شود. برای اینکه S به سمت صفر میل کند تابع لیاپانوفی تعریف می کنیم که مثبت معین باشد و مشتق آن منفی معین باشد، که معنی آن کاهش سطح انرژی و میل به سمت مبدأ می باشد. از تعریف تابع لیاپانوف (۴ - ۱۴) به صورت زیر:

$$V(s) = \frac{1}{2} S^2 \quad (۴ - ۱۴)$$

و اعمال شرط $\dot{V}(s) < 0$ رابطه کلیدی (۴ - ۱۵) بدست خواهد آمد

$$\dot{S} \operatorname{sgn}(S) \leq -\eta \quad (۴ - ۱۵)$$

که η یک مقدار ثابت و مثبت می باشد .

از جاگذاری معادله دینامیک سیستم و مشتق تابع S و فرض معلوم بودن حدود نامعینی های دینامیک سیستم ($\hat{f}(x)$) و معلوم بودن $b(x)$ قانون کنترل به شکل رابطه (۴ - ۱۶) خواهد بود.

$$u = \frac{(\eta + \rho) \operatorname{sgn}(S) + [\ddot{x}_d - \hat{f}(x) + \lambda \dot{e}]}{b(x)} \quad (۴ - ۱۶)$$

که در آن $\hat{f}(x)$ قسمت میعین مدل سیستم می باشد و ρ حدود نامعینی سیستم تعریف شده است و η یک مقدار مثبت مطلق می باشد و λ یک ثابت اکیداً مثبت می باشد در مسئله مدل سیستم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد مقدار نامعینی را ۵۰٪ دینامیک سیستم در نظر می گیریم و عملکرد سیستم را در دو حالت دنبال کردن یک تابع پله به عنوان مطلوب و در مرحله بعد دنبال کردن مدل گل رز مورد بررسی قرار می دهیم.

۴-۹-۱- عملکرد سیستم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد در حالت ست پوینت کنترل (ورودی

پله) با حضور عدم قطعیت ها

با فرض مقدار $X_d = \begin{bmatrix} 10 \\ 10 \end{bmatrix}$ و $\dot{X}_d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ و $\ddot{X}_d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ سیستم در محیط شبیه سازی نرم افزار متلب شبیه سازی می گردد. دو ثابت η و λ نیز باید تعیین شوند. مقدار λ بیانگر سرعت کنترل پذیر شدن یا هم گرایی سیستم می باشد ولی جهت تعیین η لازم است از یک روش بهینه سازی استفاده شود. پس از بررسی چند روش و الگوی بهینه سازی ضرایب معادلات از جمله روش تاگوچی و الگوریتم ژنتیک روش بهینه سازی به کمک الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار می گیرد.

۴-۹-۱-۱- بهینه سازی ضرایب کنترل کننده غیر خطی و مقاوم لغزشی برای حالت ورودی

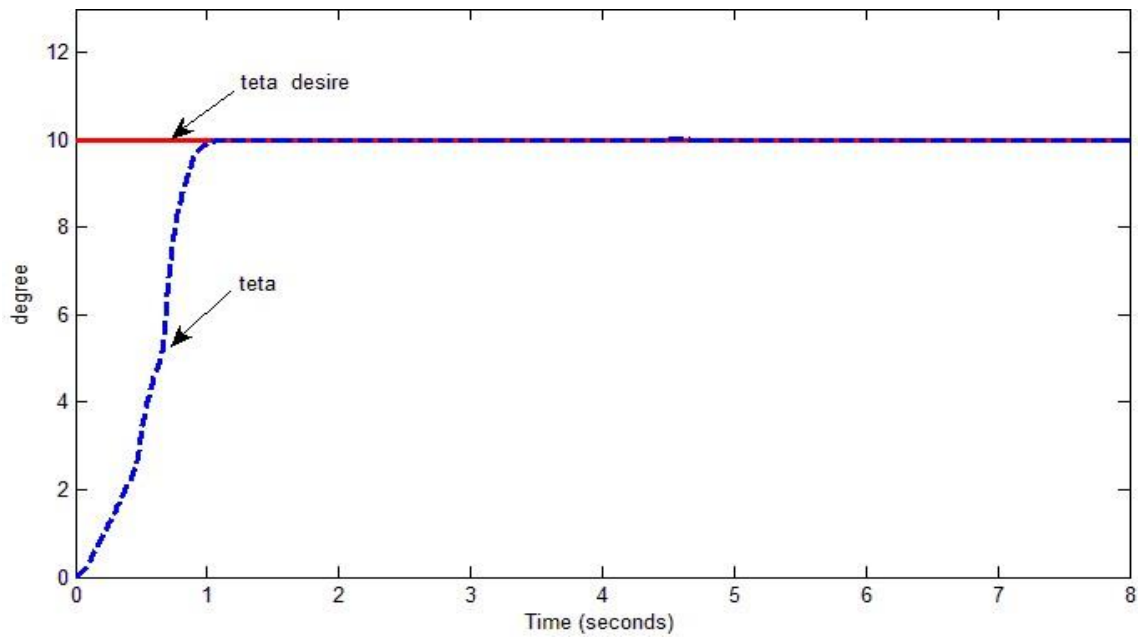
ست پوینت یا پله

به کمک الگوریتم ژنتیک و فرض مقادیر مطلوب مطابق بند ۴-۴-۱ مقادیر ثابت های η مطابق جدول زیر بدست می آید.

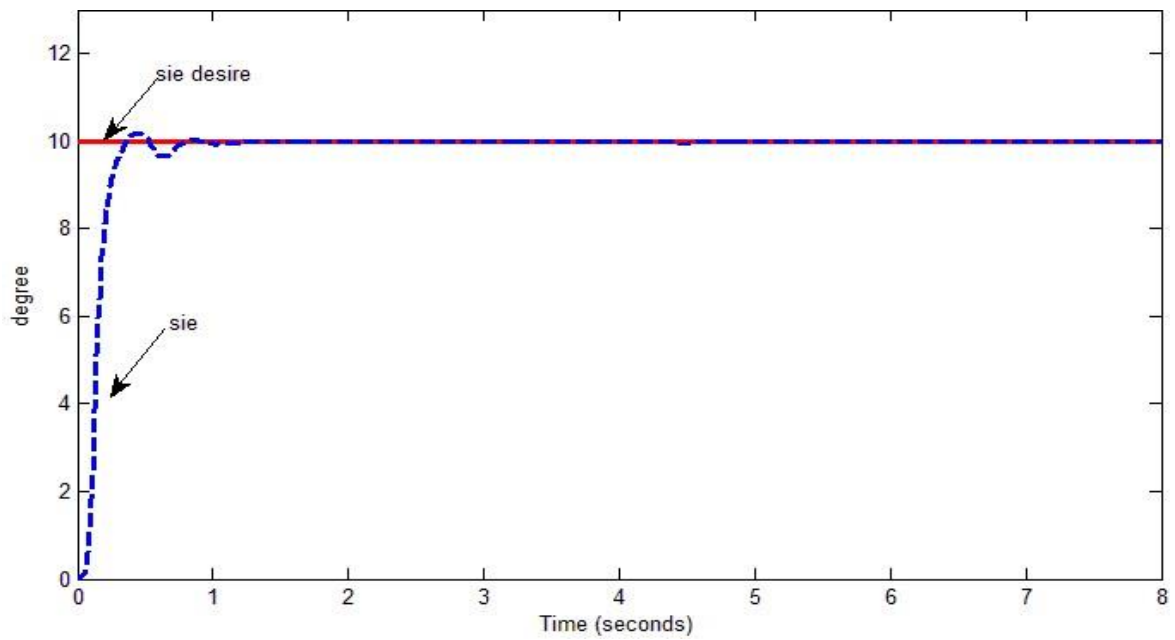
جدول (۴-۱۳) ضرایب کنترل کننده مقاوم لغزشی برای حالت ورودی ست پوینت یا پله

مقدار	ضرایب کنترل کننده مقاوم لغزشی
۹۶/۰۱۴۷	η_1
۳۵/۶۴۸۴	η_2

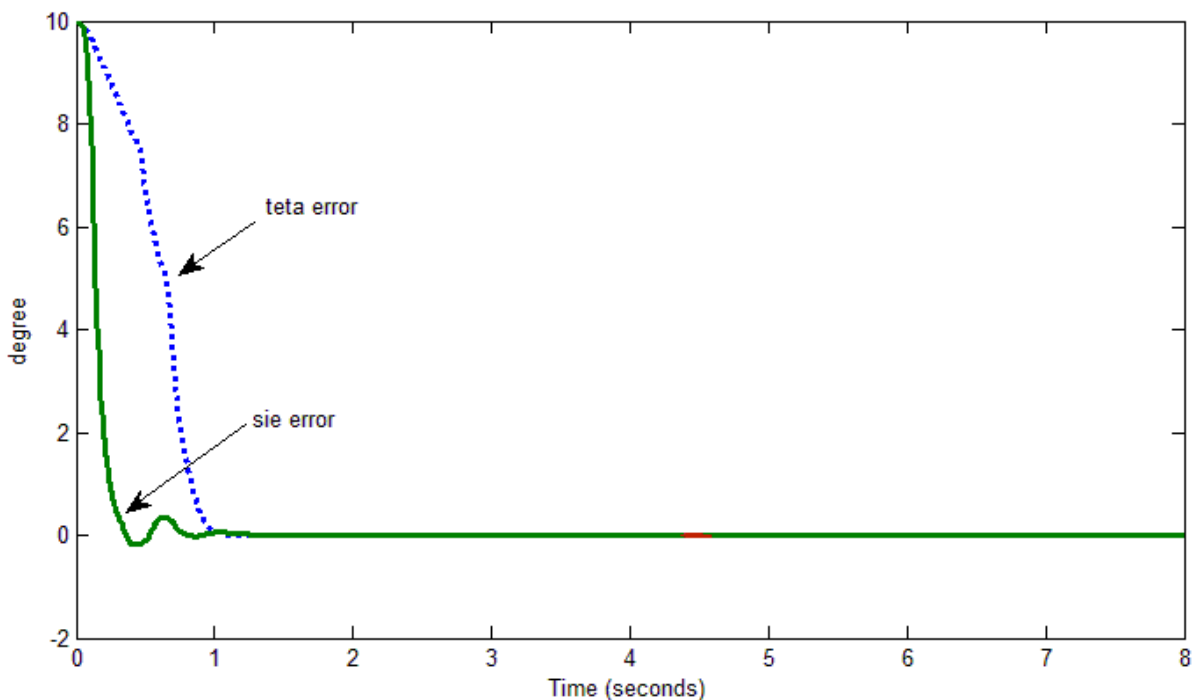
به کمک ضرایب بدست آمده ، در قسمت شبیه سازی نرم افزار متلب، جستجوگر ژيروسکوپ آزاد شبیه سازی می گردد. نتایج این شبیه سازی در شکل های (۴-۱۲) ، (۴-۱۳) و (۴-۱۴) ارائه گردیده است .



شکل (۴ - ۱۲) پاسخ سیستم در زاویه θ به همراه مقدار مطلوب با کنترل کننده مقاوم مود لغزشی



شکل (۴ - ۱۳) پاسخ سیستم در زاویه Ψ به همراه مقدار مطلوب با کنترل کننده مقاوم مود لغزشی



شکل (۴-۱۴) نمایش خطای کنترل کننده لغزشی برای زوایای θ و Ψ با ورودی پله

همانطور که در شکل های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) دیده می شود کنترلر لغزشی با کنترل سیستم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد پاسخ سیستم را که در شکل با $teta$ و sie نشان داده شده است را به مقدار مطلوب می رساند و مقدار خطا در شکل (۴-۱۴) به نمایش در آمده است که در مجموع نشان دهنده پایداری و کنترل پذیری سیستم می باشد.

۴-۹-۲ - عملکرد سیستم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد در ردیابی الگوی گل رز با کنترلر

مود لغزشی

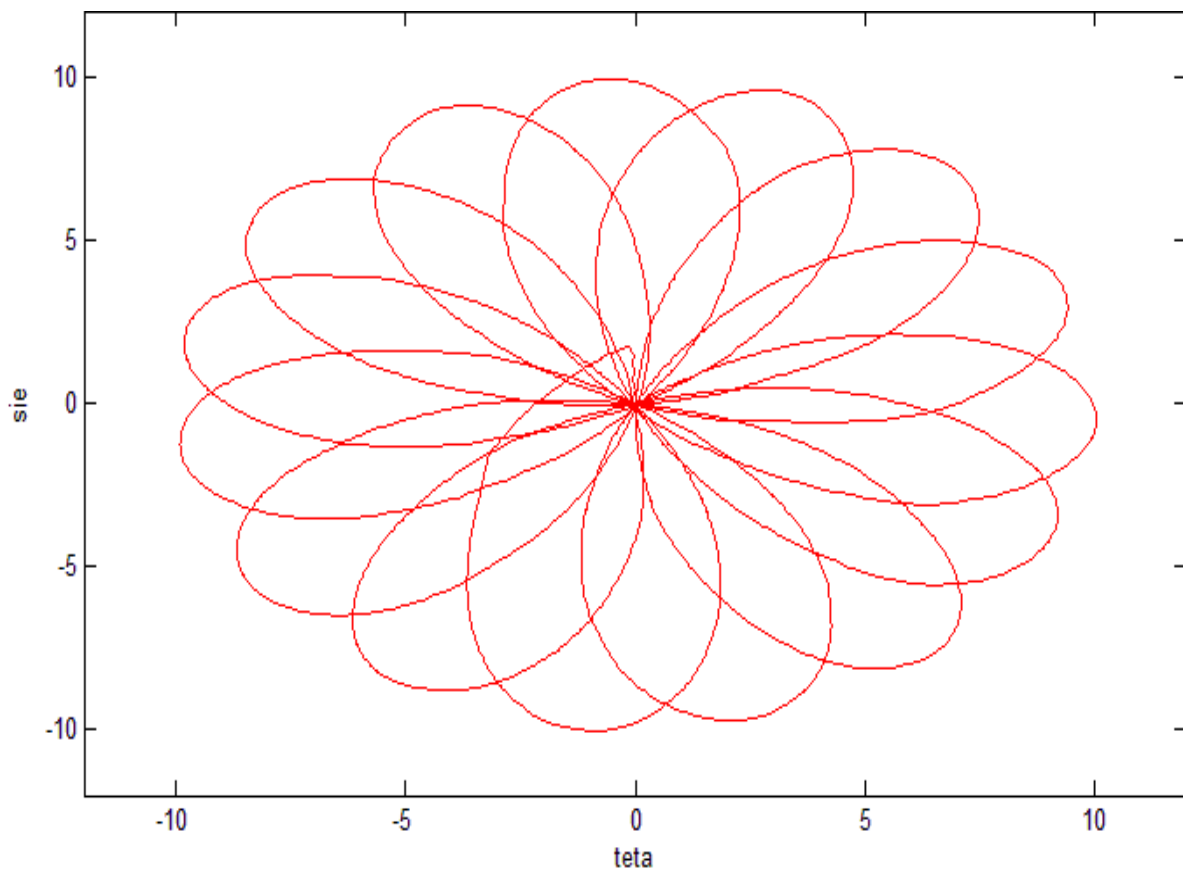
در این مرحله جهت بررسی سیستم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد در حالت پویا و ردیابی مسیر با انتخاب الگوی گل رز و قرار دادن روابط (۴-۱۲) به عنوان مسیر مطلوب در رابطه کنترلر مود لغزشی عمل شبیه سازی در نرم افزار متلب انجام می گیرد.

ضرایب کنترلر مود لغزشی با فرض مینیمم کردن مقدار مجموع قدرمطلق های اختلاف پاسخ سیستم در زاویه θ و زاویه ψ با مقادیر مطلوب سیستم از ثانیه یک الی دهم پروسه به کمک الگوریتم ژنتیک مطابق جدول (۴-۱۳) بهینه سازی شده است.

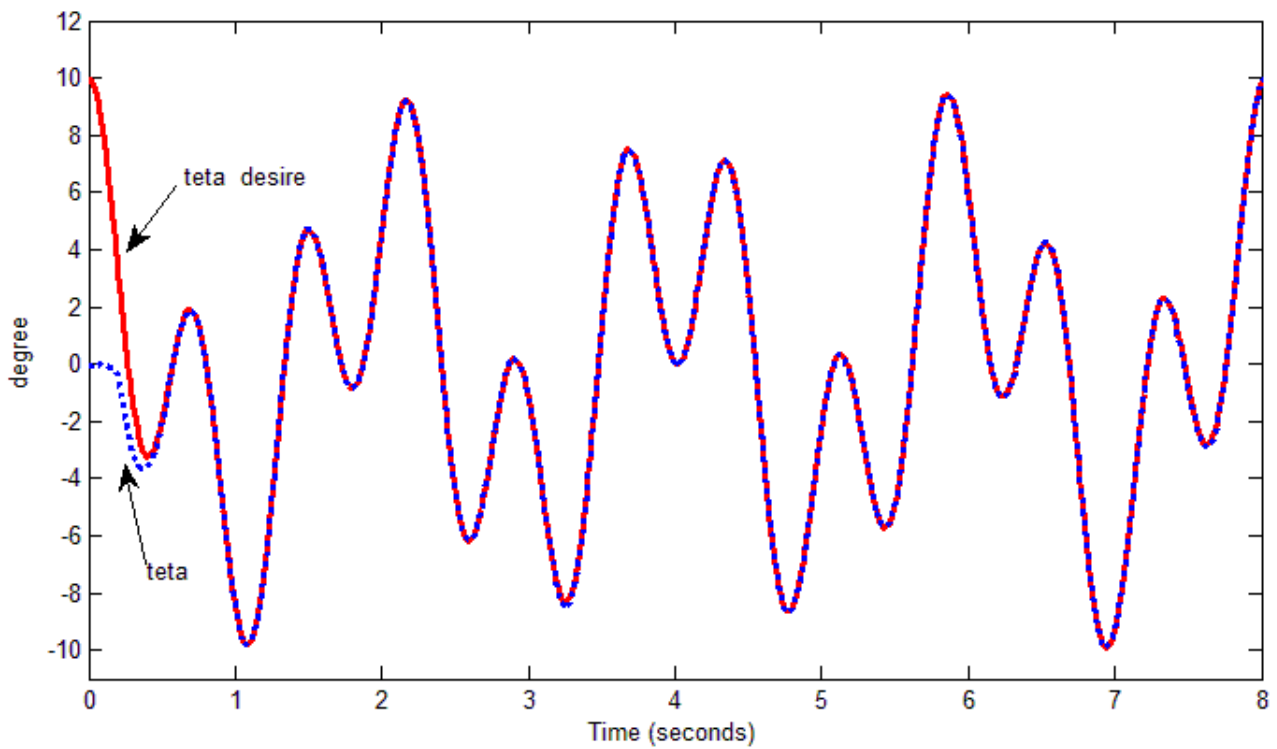
جدول (۴-۱۴) ضرایب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک برای کنترل کننده مود لغزشی در مود پویای الگوی گل رز

مقدار	ضرایب کنترل کننده غیر خطی و مقاوم لغزشی در پویای گل رز
۸۱,۳۷۶۴	η_1
۵۲,۹۳۷۰	η_2

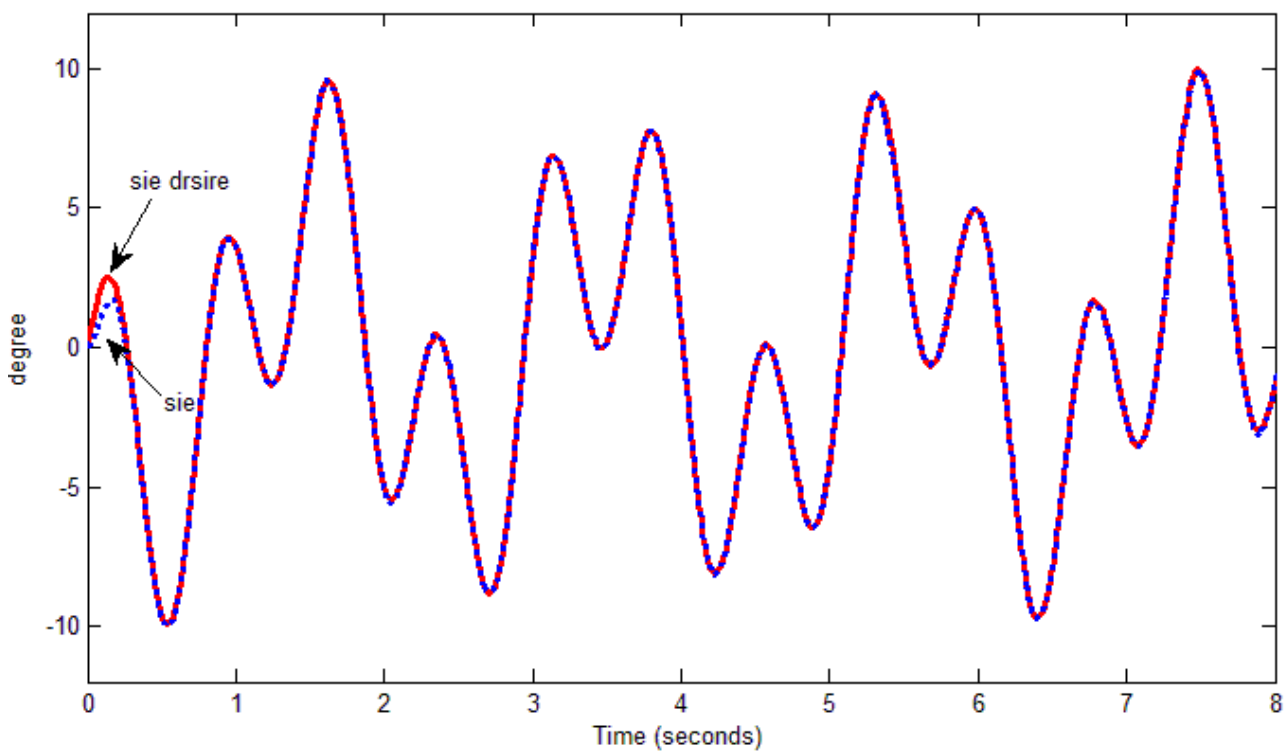
نتایج این شبیه سازی در شکل های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) و (۴-۱۷) ارائه شده است.



شکل (۴-۱۵) پاسخ سیستم به کنترل کننده مود لغزشی در مود پویای الگوی گل رز



شکل (۴ - ۱۶) خطای سیستم کنترل شده با کنترلر لغزشی در زاویه θ نسبت به مسیر مطلوب



شکل (۴ - ۱۷) خطای سیستم کنترل شده با کنترلر لغزشی در زاویه Ψ نسبت به مسیر مطلوب

شکل ردیابی مسیر گل رز (۴-۱۵) نشان دهنده دنبال کردن الگو توسط سیستم جستجوگر ژيروسکوپ آزاد تحت کنترلر مواد لغزشی می باشد و میزان خطای این ردیابی نسبت به مسیر مطلوب برای هر کدام از زاویه های θ و ψ به ترتیب در شکل های (۴-۱۶) و (۴-۱۷) ارائه شده است. زمان منطبق شدن با مسیر مطلوب کمتر از دو دهم ثانیه می باشد که با وجود پنجاه در صد عدم قطعیت مدل نسبت به حالت مدل معلوم با کنترل کننده خطی ساز پسخورد بسیار بهتر عمل می کند که نشان دهنده توانایی های کنترل مقاوم مود لغزشی می باشد .

فصل پنجم :

نتیجه گیری

۵ - ۱ - نتیجه گیری

در فصل دوم معادلات جستجوگر آزاد به همراه روابط گشتاورهای الکترومغناطیسی به صورت ساده و روان استخراج گردید و این معادلات در فصل سوم به روش مقایسه با خواص ژيرو سكوپ آزاد مورد اعتبار سنجی قرار گرفت. معادلات حاکم بر جستجوگر آزاد از نوع غیر خطی بوده و لازم است از روشهای کنترلی مربوط به سیستمهای غیر خطی جهت کنترل آن استفاده نمود.

در ادامه طراحی کنترل کننده غیر خطی را در فصل چهارم مورد بررسی قرار دادیم. اولین روش مورد بررسی روش معروف خطی سازی پسخورد می باشد که در دو حالت اعمال کنترلر با مقدار مطلوب ثابت به شکل یک تابع پله و حالت دیگر به شکل پویش مسیر الگوی گل رز در این تحقیق مورد بحث قرار گرفته است. نتایج حاصل از این مدل سازی در صورت کامل بودن دینامیک مدل و مشخص بودن کلیه پارامترها به شکلی ایده آل قابل قبول می باشد اما شرایط واقعی در عمل این حالت را غیر ممکن جلوه می دهد و پس از بررسی کنترل کننده خطی ساز با شرایط وجود عدم قطعیت نتایج کاملاً نا امید کننده، نا پایدار و غیرکنترل شده بدست می آید.

وجود عدم قطعیت ها در مدل سیستم، استفاده از یک روش کنترل مقاوم را اجتناب ناپذیر می کند. در امتداد مسیر طراحی کنترل کننده در فصل چهارم با در نظر گرفتن شرایط واقعی، از کنترل کننده مقاوم مود لغزشی استفاده می کنیم. این کنترل کننده نیز در دو حالت اعمال کنترلر با مقدار مطلوب ثابت به شکل یک تابع پله و حالت دیگر به شکل پویش مسیر الگوی گل رز، با فرض ۵۰ درصد عدم قطعیت مدل سازی گشته است و به کمک الگوریتم ژنتیک با فرض مینیمم سازی خطا ضرایب کنترل کننده بهینه سازی شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده مقاومت کنترل کننده لغزشی در برابر عدم قطعیت ها می باشد. نتایج بدست آمده از پویش مسیر الگوی گل رز و خطای ردیابی بدست آمده، سیستم را کنترل پذیر و پایدار معرفی می نماید.

۵ - ۲ - پیشنهادها

در این پروژه تا مرحله کنترل پایدار جستجوگر آزاد، تحقیق انجام شده است و در ادامه پیشنهادات زیر در جهت ادامه مسیر پیشنهاد می گردد:

- بهبود نتایج حاصل از روشهای کنترل مقاوم جستجوگر در شرایط عملی، با کمک گرفتن از متخصصین الکترونیک جهت حذف نویز و نوسانهای با دامنه بسیار کوچک باقی مانده در سیستم کنترل شده .
- اعمال روشهای تلفیقی کنترل مقاوم - تطبیقی روی مدل سیستم و تحلیل نتایج آن.
- در صورت تامین منابع مالی ساخت یک سامانه جستجوگر آزاد و توسعه عملی تحقیقات .

پیوست

پیوست ۱:

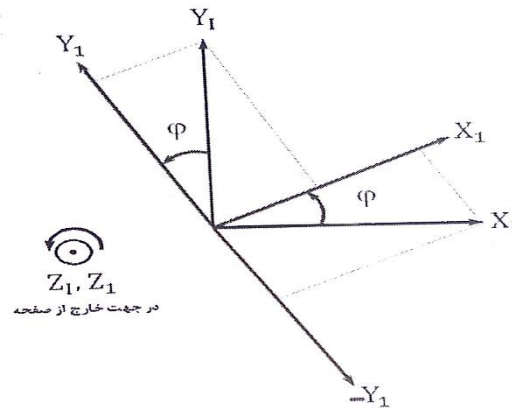
پ - ۱ - زوایای اویلر: هر گاه دستگاه مرجع I با دوران $R_{x'y'z'}(\theta, \Psi, \varphi)$ تبدیل به دستگاه B شود سه مقدار θ و Ψ و φ توصیف عددی دستگاه B در I می باشد.

$$[B] = R_{x'y'z'}(\theta, \Psi, \varphi) [I]$$

زوایای θ و Ψ و φ به طور کلی زوایای اویلر توصیف کننده دستگاه B در I می باشند و به ترتیب غلطش، خمش و گردش نامیده می شوند.

پ - ۱ - ۱ - دوران اول اولر (گردش)

در شکل (پ - ۱) دوران دستگاه $X_1 Y_1 Z_1$ حول بردار Z_1 به اندازه φ نشان داده شده است.



شکل (پ - ۱)

$$X_1 = \cos(\varphi) \cdot x_1 - \sin(\varphi) \cdot y_1$$

$$Y_1 = \sin(\varphi) \cdot x_1 + \cos(\varphi) \cdot y_1$$

$$Z_1 = z_1$$

و خواهیم داشت

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix}$$

¹ Euler angels

² Roll

³ Pitch

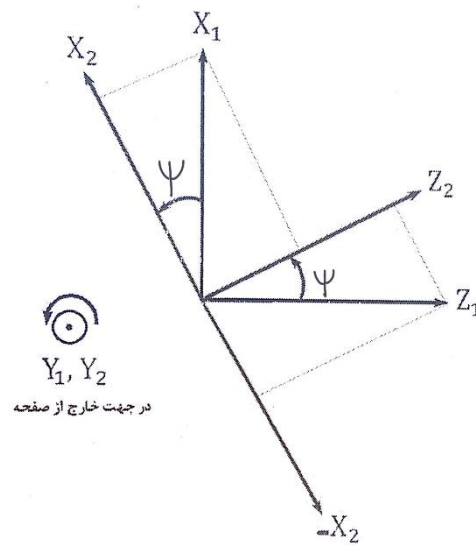
⁴ Yaw

و می توان نوشت

$$I = {}_1^1 C. [P]^{-1} [p]$$

پ - ۱-۲ - دوران دوم اویلر (خمش)

در شکل (پ - ۲) دوران دستگاہ $X_2 Y_2 Z_2$ حول بردار Y_1 به اندازه Ψ نشان داده شده است.



شکل (پ-۲)

$$X_1 = \cos(\Psi) \cdot x_2 + \sin(\Psi) \cdot z_2$$

$$Y_1 = y_2$$

$$Z_1 = -\sin(\Psi) \cdot x_2 + \cos(\Psi) \cdot z_2$$

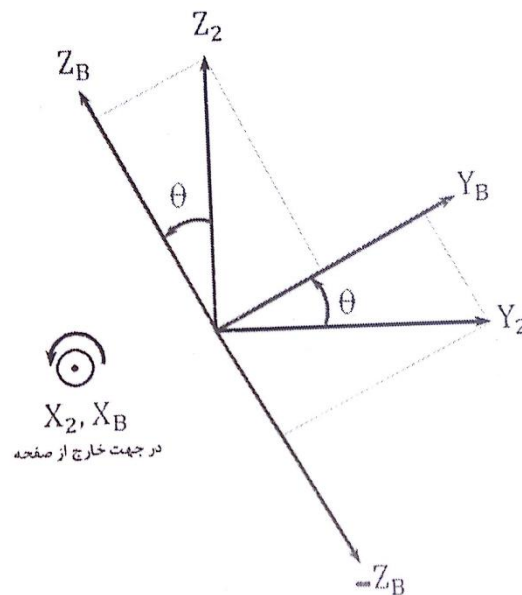
و خواهیم داشت

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Psi & 0 & \sin \Psi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \Psi & 0 & \cos \Psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

$${}^1 = {}_2^1 c [p]^2 [p]$$

پ-۱-۳- دوران سوم اویلر (غلطش)

در شکل (پ-۳) دوران دستگاه $X_B Y_B Z_B$ حول بردار X_2 به اندازه θ نشان داده شده است.



شکل (پ-۳)

$$X_2 = X_B$$

$$Y_2 = \cos(\theta) \cdot Y_B - \sin(\theta) \cdot Z_B$$

$$Z_2 = \sin(\theta) \cdot X_B + \cos(\theta) \cdot Z_B$$

و خواهیم داشت

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_B \\ y_B \\ z_B \end{bmatrix}$$

و می توان نوشت

$$c [p]^{B^r} =_{B^r} [p]$$

می توان روند تغییر زوایای اوپلر توضیح داده شده را به صورت زیر نشان داد



ماتریس دوران اوپلر برای انتقال از دستگاه I به دستگاه B یا توصیف دستگاه B در دستگاه I به شکل زیر خواهد بود:

$${}^B I C = {}_1^I C {}_2^1 C {}_B^2 C$$

به جهت خلاصه نویسی S را به جای sin و C را به جای cos استفاده می کنیم

$${}^B I C = \begin{bmatrix} C \phi C \Psi & -S \phi C \theta + C \phi S \Psi S \theta & S \phi S \theta + C \phi S \Psi C \theta \\ S \phi C \Psi & C \phi C \theta + S \phi S \Psi S \theta & -C \phi S \theta + S \phi S \Psi C \theta \\ -S \Psi & C \Psi S \theta & C \Psi C \theta \end{bmatrix}$$

ماتریس دوران اوپلر برای انتقال از دستگاه B به دستگاه I یا توصیف دستگاه I در دستگاه B به شکل زیر خواهد بود:

$${}_I^B C = {}_2^B C {}_1^2 C {}_I^1 C$$

$${}_I^B C = \begin{bmatrix} C \Psi C \phi & C \Psi S \phi & -S \Psi \\ S \theta S \Psi C \phi - C \theta S \phi & S \theta S \Psi S \phi + C \theta C \phi & S \theta C \Psi \\ C \theta S \Psi C \phi + S \theta S \phi & C \theta S \Psi S \phi - S \theta C \phi & C \theta C \Psi \end{bmatrix}$$

منابع

[۱] کفراشی، م. (۱۳۹۳)، "مدل سازی و کنترل جستجوگر ژيروسکوپ آزاد با عملگر الکترومغناطیسی در مد پویش"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۲] جل . ال . مریم ، ال . جی . کریک (۱۳۸۳) "مکانیک مهندسی: دینامیک" جلد دوم ، سعید محجوب مقدس، ویرایش پنجم،

انتشارات سپاهان.

[3] Ekstrand B.,(2001),”**Tracking Filters and Models for Seeker Applications**”, IEEE Trans.On Aerospace and Electronic Systems, Vol.37, No.3,pp.965-977.

[4] M R Ananthasayanam, A K Sarkar,A Bhattacharya,P K Tiwari, P Vora,(2005),”**Nonlinear Observer State Estimation From Seeker Measurements and Seeker-Radar Measurements Fusion**”,in AIAA Guidance, Navigation,and Control Conference and Exhibit,San Francisco, California, 15 – 18 August 2005, AIAA 2005-6066.

[5] P G Bhlae, P N Diwedi, P Kumar. A Bhattacharya,(2006),”**Estimation of ballistic coefficient of reentry vehicle with divided defference filtering using noisy rf seeker data**”in Industrial Tecnology.2006.ICIT 2006.IEEE International Conference on, Dec. 2006,pp.1087 1092.

[6] M R Ananthasayanam, A K Sarkar, P Vora,A Bhattacharya,P K Tiwari,(2006), “**Observer State Estimation in Cartesian and Polar Frame From Noisy Seeker Meeasurements Using EKF and UKF**”,in AIAA Conference on Guidance , control and Navigation ,July-August 2006.

[7] A M Tapas,N Prabhaker, V Srinivas Rao,”**Adaptive Estimation of Line of Sight Rate measurement from a Radio Frequency Seeker**”,Defence Science Journal, Vol. 55,no.3,July 2005,pp.307 -312.

[8] P Vora, P K Tiwari,R N Bhattacharjee, (2005) , “**Radio Frequency Seeker Modelling and Seeker Filter Design**”, Defence Science Journal , Vol.55, no.3,July 2005,pp.337-348.

[9] P N Divedi , A Bhattacharya, P Bhale, (2005), “**Fast Convergence of Ballistic Coefficient to Estimate Re-entry Vehicle Acceleration using EKF from Noisy RF Seeker Data**”, Proceedings of National systems Conference,India, 2005.

- [10] A K Bhattacharyya, Shrabani Bhattacharya, Tanushree Garai, Siddhartha Mukhopadhyay, (2008), “ **Noise Modelling of RF Seeker for Homing Guidance Applications**”, Proceedings of ICAS 2008, February 2008, Hyderabad, India, pp.255-261.
- [11] D . H. Titterton, (2006), “**Development of Infrared Countermeasure Technology and Systems**”, Springer Berlin/ Heidelberg, 2006.
- [12] C . Kopp, (1982),”**Heat-Seeker Missile guidance**”, Australian Aviation.
- [13] S. P .Mahulikar et al , (2008),”**Infrared Signature Studies of Airborne targets**”, Proceedings of the International Conference on Aerospace Science and Technology.
- [14] R . D . Hudson, (1969), “**Infrared System Engineering**”, Willy, 1969.
- [15] M . Harshavardhan,”**Hide and Seeker The Art of Stealth**”, Aerospace Engineering Association, vol. 1 , issue 1.
- [16] Barbara Stuart, (2004) , “**Infrared Spectroscopy : Fundamentals and Application**”, Willy,2004.
- [17] Ekstrand B.,(2001),”**Tracking Filters and Models for Seeker Applications**”, IEEE Trans.On Aerospace and Electronic Systems, Vol.37, No.3,pp.965-977.
- [18] Wu W. S.” **Using Integral Coil to Drive a Two-Axis Gyroscope**” IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol.33, No.1, pp.322-328,. January 1997.
- [19] Waggoner B. A.” **A Comparison of Gyroscope Digital Models for an Electro-Optical/Infrared Guided Missile Simulation**” Electrical Engineering M.S. thesis, Rose-Hulman Institute of Technology, USA, Feb. 2003.
- [20] Nordman T.” **Modelling of Gyro in an IR Seeker for Real-time Simulation**”, M.S.thesis, Sweden, Jan. 2004.

[21] ژان-ژاک ا. اسلوتین ، وتیپینگ لی (۱۳۸۲) "کنترل غیر خطی کاربردی" محمد رضا هاشمی گلپایگانی، منوچهر احمدوند ، امیر همایون جعفری . چاپ اول، مرکز نشر دانشگاهی.

[22] Lee H. P.” Scan Loop Control Design for a Spin Stabilized Seeker”, IEE Proc. Of Control Theory Application, Vol.145, No.2, pp.119-126,. 1998.

[23] ATHANS, M “A tutorial on the LQG/LTR method” Proceedings of the American Control conference, Seattle, WA, 1986, pp.1289-1296.

[24] DOYLE, J C , GLOVER, K , KHARGONEKAR,p.p., and FRANCIS, B A “State-space solutions to standard H₂ and H_∞ control problems”, IEEE Trans, 1989, AC-34, (8), pp. 831- 847 .

[25] Schmitendorf W. E., Kao Y. K. and Hwang H. Y.” Robust Tracking Controller for a Seeker Scan Loop”, IEEE Trans. on Control System Technology, Vol.7, No. 2, pp.282-288., March 1999.

[26] Lee H. P. and Schmidtd D.K.” Robust Two Degree-of-freedom H_∞ Control of a Seeker Scan Loop System”, IEE Proc.of Control Theory Application, Vol.149, No.2, pp.149-156,. 2002.

[27] Ge S. S., Lee T. H. and Zhao Q.” Real-time Neural Network Control of A Free Gyro Stabilized Mirror System”, Proceedings of the American Control Conference Albuquerque, New Mexico, pp.1076-1082, June 1997.

[28] Dharmveer, Shailaja Kurode, Prasad Parkhi and Bhagyashri Tamhane,“Robust Control for Seeker Scan Loop using Sliding Modes,” 12th International Conference on Control, Automations and Systems, ICC Jeju Island, Korea, October 17-21, 2012.

[29] A. Bartoszewicz , “Discrete-time quasi-sliding-mode control strategies,”IEEE Trans. on Ind. Electron., vol. 45, no. 1, pp. 633–637, 1998.

[30] Jacques Waldmann, “Line-of-Sight Rate Estimation and Linearizing Control of an Imaging Seeker in a Tactical Missile Guided by Proportional Navigation,” IEEE Trans. On Control Systems Technology, vol. 10, no. 4, pp. 556–567, July, 2002

[31] M. Gopal” Digital Control and State Variable Methods, Tata McGraw- Hill Education Private Limited” edition third, 2009.

[32] C. Edwards and S. Spurgeon,”Sliding Mode Control:Theory and Applications”,Taylor and Francis, 1998.

[33] Wu-Chung Su, Sergey V. Drakunov and Umit Ozguner “An O(T²) Boundary Layer in Sliding Mode for Sampled-Data Systems,” IEEE .Trans. On Automatic Control, Vol. 45, No. 3, pp. 482– 485, March,2000.

[۳۴] عاروان م (۱۳۸۶)، رساله دکتری، "مدل سازی جستجو گر الکترو اپتیکی و تخمین نرخ چرخش دید در حضور اغتشاش"، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

[35] Pytel A.and Kiusalaas J.” Engineering Mechanics: Statics and Dynamics” Harper-Collins, 10 East 53rd Street, N.Y. USA, 1996.

- [36] Thomson W. T." Introduction to Space Dynamics" Dover publications. Inc., New York, 1986.
- [37] Richard P. Birchenall, Mark A . Richardson , Butters Roy Walmsley,(2011), "Modelling an advanced Man PAD with dual band detectors and a rosette scanning seeker head" Infrared Physics & Technology.
- [38] F. Herrera, M. Lozano" Heterogeneous Distributed Genetic Algorithms Based on the Crossover Operator, Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications", 2-4 September 1997, Conference Publication No. 446, IEE. 1997.
- [39] S.O.Orero, M.R.Irving" Economic dispatch of generators with prohibited operating zones: a genetic algorithm approach", IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 143, No. 6, November 1996.
- [40] A. Gaspar, P. Collard" Time Dependent Optimization with a Folding Genetic Algorithm", IEEE, 1997.
- [41] M.S. Bright and T. Arslan" a Genetic Algorithm for the High-Level Synthesis of DSP Systems for Low Power, Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications" 2-4 September 1997, Conference Publication No. 446, IEE. 1997.
- [42] Ulrich Bodenhofer" Genetic Algorithms: Theory and Applications, Fuzzy logic laboratorium Linz-Hagenberg, Third edition", 2003/2004.
- [43] David A Coley" An Introduction to Genetic Algorithm for Scientist and Engineers, World Scientific, Singapore" 1999.
- [44] Mitchell Melanie" An Introduction to Genetic Algorithms" MIT Press, Fifth printing, 1999.
- [45] M. A. Mma, B. L. Walcott" Stability And Optimality In Genetic Algorithm Controllers", Proceedings of the 1996 IEEE International Symposium on Intelligent Control, Dearborn, MI , September 15-18,1996.

Abstract:

Guided missiles use seekers to improve target accuracy. In this study, free gyroscope seeker with permanent magnet rotor which guided with electromagnetic torque was investigated. At first, free gyro seeker's dynamic equations as well as related electromagnetic torque equations were extracted in the simplest form and then were validated with standard properties of free gyro seeker. Regarding the nonlinear equations of system, the Linear Feedback System was used to control the seeker. The linear feedback system controls the system precisely in hypothetical case that dynamics and parameters of system are fully determine; but it has a poor performs in real situation and in the presence of uncertainties, so the designer must consider the resistance of controller. In next step acts of sliding mode controller, optimization of controller parameters using genetic algorithm and minimizing the total absolute error of system as the cost function shows the free gyro seeker choose the rose pattern as optimal path. At the end the possibility of creating torque come out for guiding the visual system of seeker.

Key Word:

free gyroscope seeker, dynamical modeling, linear feedback system, sliding mode controller, uncertainties,



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanical Engineering

MSc Theseis in Mechanical Engineering Applied Mechanics

**Robust control system design free gyroscope seeker in
scanning mode**

by:Ali Jalali

Supervisor:

Habib Ahmadi

**A Thesis Submitted as Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science Mineral Processing(M. Sc)**

September 2016