سیستم های ژیروسکوپ در صنعت هوافضا

علی شیخ رباط

کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش ساخت و تولید، موسسه آموزش عالی جامی اصفهان

Alisheikhrobat48@gmail.com

خلاصه

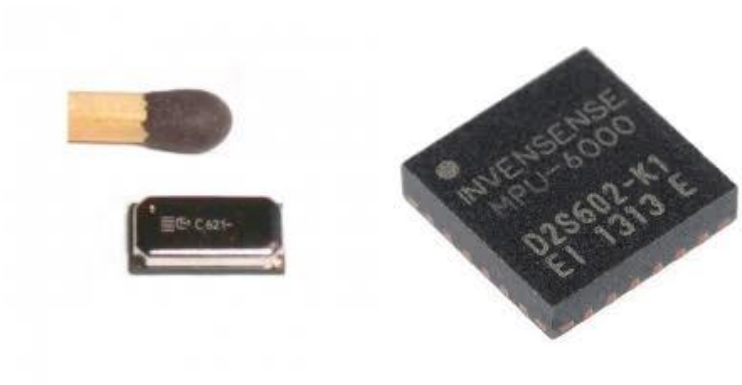
ژیروسکوپ کاربردهای فراوانی در صنعت هوافضا دارد. بر این اساس ژیروسکوپ عضو اصلی سامانه های هدایت اینرسی است که برای اندازه گیری مقدار و سرعت دوران و ایجاد محورهای مختصات مرجع در وسایل هوافضا استفاده می شود؛ که هرگونه حرکت زاویه ای وسیله نسبت به آن سنجیده می شود و در حفظ پایداری حرکت و چرخش دورانی خود در فضا را حفظ می‌کند. ژیروسکوپ از نظر ساختمان به دو درجه آزادی و یک درجه آزادی به سه دسته سرعتی، انتگرالی و مقید تقسیم می شوند از نظر کاربرد در بخش هدایت و ناوبری، پایداری و کنترل، درگیری هدف و تحلیل اطلاعات به‌کار می رود. از خواص ژیروسکوپ، طبق قانون دوم نیوتن خاصیت صلبیت آن است.

کلمات کلیدی: ژیروسکوپ، اینرسی، پایداری، چرخش دورانی، صلبیت.

۱. مقدمه

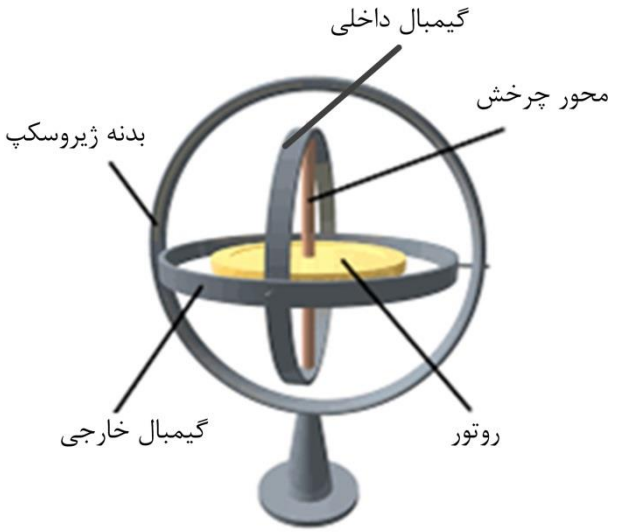
کلمه ژیروسکوپ[۱] واژه‌ی یونانی است که از دو بخش جایرو[۲] به معنای دوران و اسکوپ[۳] به معنای نشان دادن تشکیل شده است. جایرو دستگاه کوچکی است که معمولا شامل دو قسمت حس کننده و پردازشگر بوده و رفتار ارتعاشی و ناخواسته را بر اثر عوامل مختلف اغتشاشی مانند وزش باد و بد کار کردن سیستم و ... خنثی می‌کند. جایرو ها از لحاظ مکانیزم به دو نوع جایرو مکانیکی[۴] و پیزو جایرو[۵] و از نظر عملکردی به دو نوع هدینگ هلد[۶] و غیر هدینگ هلد[۷] تقسیم می‌شوند. در قلب حسگر یک جایرو مکانیکی یک وزنه کوچک و در حال چرخش وجود دارد که از یک موتور الکتریکی کوچک نیرو می‌گیرد. چرخش وزنه خاصیت ژیروسکوپ ایجاد کرده و هر حرکت در راستای محور عرض یا به عبارتی هر چرخشی یا ارتعاشی حول محور عمودی توسط وزنه چرخان احساس می‌شود [۱]. در شکل (۱) دو نمونه از سنسورهای جایرو نشان داده شده است.

[1] . Gyroscope
[2] . Gyro
[3] . Scope
[4]- Mechanical Gyro
[5]- Prezo Gyro
[6]- Heding Hold
[7]- Non-Heading Hold



شکل ۱- دو نمونه از سنسور جایرو [۱].

بر این اساس معنای تحت‌اللفظی ژیروسکوپ دوران نما است یکی از مسایل جالب در دینامیک حرکت ژیروسکوپی است. حرکت ژیروسکوپی هنگامی رخ می‌دهد که محوری که یک جسم حول آن می‌چرخد، خود حول محور دیگری دوران داشته باشد. در شکل (۲) یک ژیروسکوپ نشان داده شده است.



شکل ۲- اجزای اصلی یک ژیروسکوپ [۲].

در این ژیروسکوپ یک روتور که دارای یک دیسک می‌باشد حول محور متصل به حلقه‌ای با نام گیمبال داخلی دوران می‌کند. گیمبال داخلی خود حول محور دوران متصل به قطعه‌ای به نام گیمبال خارجی دوران می‌کند. گیمبال خارجی نیز حول محور متصل به بدنه ثابت ژیروسکوپ دوران می‌کند. همان گونه که از شکل مشخص است، محورهای دوران روتور، گیمبال داخلی و گیمبال خارجی دو به دو بر هم عمود هستند.

ژیروسکوپ کاربردهای مهندسی فراوانی دارد به عنوان نمونه ژیروسکوپ عضو اصلی سامانه‌های هدایت اینرسی است که برای اندازه‌گیری مقدار و سرعت دوران و ایجاد محورهای مختصات مرجع در وسایل نقلیه هوایی، فضایی و دریایی (مانند هواپیما، موشک، ماهواره، فضاپیما، کشتی و زیردریایی) استفاده می‌شود. با استفاده از این وسیله می‌توان جهت یا محورهای

ثابتی را برای وسیله نقلیه تعریف کرد که هرگونه حرکت زاویه‌ای وسیله نقلیه نسبت به محورهای آن سنجیده شود. از کاربردهای دیگر ژیروسکوپ حفظ پایداری حرکت است. وقتی فرفره‌ی کوچکی را با کمک نیروی انگشتان خود بچرخانیم ملاحظه خواهد شد که فرفره حول محورش و روی نوک‌تیز خود شروع به چرخش می‌کند.

بدون چرخش فرفره، امکان ایستادن فرفره روی نوکش وجود ندارد. در واقع چرخش فرفره حول محورش موجب پایداری و حفظ جهت فرفره می‌شود. این توضیح ساده مبنای کارکرد ژیروسکوپ می‌باشد. در شکل (۳) یک ژیروسکوپ چرخان در حال تعادل نشان داده شده است.



شکل ۳- ژیروسکوپ در حال چرخش که به بدنه صورت پایدار قرار گرفته است [۲].

طبق اصل بقای اندازه حرکت زاویه‌ای، هر جسم متقارن در حال چرخش سعی دارد جهت خود را همواره در فضا حفظ کند. از این رو اگر یک جسم متقارن را با دور بالا بچرخانیم و اطراف آن را با یاتاقان و بلبرینگ آزاد بگذاریم که نیروهای خارجی بر آن اعمال نشود، یا چرخش قابی که جسم درون آن دوران می‌کند، جهت چرخش جسم دوار تغییر نمی‌کند؛ بنابراین می‌توانیم با کمک این وسیله در اجسام متحرک جهت ثابتی داشته باشیم که وضعیت فعلی خود را در هر لحظه با آن مقایسه نماییم و لذا موقعیت زاویه‌ای و محاسبه سرعت تغییر سرعت زاویه‌ای را به دست آوریم.

عضو اصلی ژیروسکوپ‌های مکانیکی، یک دستگاه دوار یا روتور است که معمولا با سرعت زیاد حول محور تقارن خود دوران می‌کند این سرعت از ۳۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰۰ دور در دقیقه می‌باشد لذا در اثر اینرسی جرم دوار، اندازه حرکت نسبتا بزرگی ایجاد می‌شود. اگر یاتاقان‌بندی محور چرخش را در طوقه‌ای معلق تعبیه کنیم به نحوی که گشتاور خارجی به آن وارد نشود، با وجود تمام حرکت‌های قاب، محور چرخش روتور همواره به جهت ثابتی اشاره می‌کند و موقعیت خود را در فضا حفظ می‌کند. با این روش می‌توان جهت و یا محورهای ثابتی را برای وسیله نقلیه تعریف کرد که هرگونه حرکت زاویه‌ای نسبت به این محورها سنجیده شود.

۲. تاریخچه

نخستین پدیده‌ی ژیروسکوپی، ۱۲۵ سال قبل از میلاد حضرت مسیح توسط ایرخوس کشف شد. تا زمان نیوتن یعنی اواخر قرن ۱۷ میلادی، تنوع چندانی در این خصوص صورت نگرفت؛ اما در قرن ۱۸، برخی محققین مانند اولر، تحقیقات قابل ملاحظه‌ای در دینامیکی اجسام دوار صورت دادند. در همین قرن، در انگلستان درباره ایجادیک افق مصنوعی برای کشتی‌ها، بررسی‌هایی عمل آمد. به این منظور از یک قرقره دوار استفاده شد که یک آینه مسطح عمود بر امتداد محور چرخش آن قرار داشت. [۳]

در اواسط قرن ۱۹، فوکو، دانشمند فرانسوی برای نشان دادن دوران زمین از یک ژیروسکوپ استفاده کرد که این بار به علت نداشتن یک موتور الکتریکی مناسب، به شکل دقیقی انجام نگرفت. همین دانشمند بود که برای نخستین بار در سال ۱۸۵۲ میلادی نام ژیروسکوپ را برای آن برگزید و در سال ۱۹۰۰ شخصی آلمانی به نام آنشوش کامف تصمیم به ساختن زیردریایی برای کاوش در قطب شمال گرفت؛ اما وسایل هدایت و راه‌یابی دقیق برای این کار وجود نداشت. به‌ویژه قطب‌نماهای مغناطیسی در محدوده قطب شمال به دلیل وجود میدان‌های مغناطیسی قوی، از دقت و عملکرد صحیح می‌افتادند. از این رو تلاش کرد تا قطب نمای دیگری که مستقل از خواص مغناطیسی عمل کند بسازد. تلاش وی منجر به ساخت قطب نمایی شد که بر اساس خواص ژیروسکوپی کار می‌کرد و آن را قطب‌نمای ژیروسکوپی نام نهادند. این قطب‌نما، در واقع نخستین وسیله دقیق هدایت و راه‌یابی است که بر اساس اصول اینرسی کار می‌کرد.

پیشرفت صنعت و پدیدار شدن وسایل نقلیه فضایی، لزوم ابداع و هدایت و کنترل دقیق را بیش از پیش آشکار ساخت. به ویژه وقوع جنگ جهانی اول و دوم و تولید نسل‌های جدید انواع هواپیما و موشک‌ها، دانشمندان و محققین را به نحو بارزی بر آن داشت تا در زمینه ابداع وسایل دقیق‌تر و با کیفیت بالاتر تلاش بیشتری صورت دهند. قدم اساسی در این زمینه طی جنگ جهانی دوم در دانشگاه ام‌آی‌تی آمریکا برداشته شد که تحت سرپرستی شخصی به نام چارلز دراپر، ژیروسکوپ‌هایی دقیق و کوچک برای نصب روی هواپیما ساخته شد که به خاطر همین تلاش‌هایش او را آقای جایرو لقب نهادند. پس از جنگ جهانی دوم، روش هدایت و ناوبری اینرسی به عنوان روشی دقیق و قابل اعتماد برای هدایت وسایل فضایی ساخته شد. نخستین سامانه هدایت که به‌طور کامل بر مبنای اصول اینرسی توسط ژیروسکوپ‌ها و شتاب‌سنج ها عمل می‌کرد و در آن از یاتاقان‌های گازی برای تعلیق طوقه‌ها استفاده شده بود، در سال ۱۹۵۰ مورد آزمایش پروازی قرار گرفت. امروزه نیز سامانه هدایت اینرسی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای هدایت و کنترل در امر هوانوردی و فضانوردی و همچنین هدایت موشک‌ها، کشتی‌ها و زیردریایی‌ها به‌طور گسترده مورد استفاده قرار دارد و به طبع این امر، انواع مختلفی از ژیروسکوپ‌ها و شتاب‌سنج‌ها اختراع شده‌اند که در این مقاله به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۳. ژیروسکوپ‌ها

۳-۱. ساختمان اساسی انواع ژیروسکوپ

ژیروسکوپ از نظر ساختمان به دو دسته یک درجه آزادی و دو درجه آزادی تقسیم می‌شود که در این تقسیم‌بندی‌ها، توانایی حرکت روتور نسبت به چارچوب یا بدنه ژیروسکوپ مورد نظر است. اگر روتور علاوه بر حرکت دورانی خود حول محور چرخش، بتواند حول یک محور دیگر دوران کند، به آن ژیروسکوپ یک درجه آزادی می‌گویند و چنان چه بتواند حول دو

محور دیگر دوران کند، به آن ژیروسکوپ دو درجه‌ای اطلاق می‌رود. در اینجا به اختصار به معرفی هر یک از این ژیروسکوپ‌ها می‌پردازیم.

۳-۲- ژیروسکوپ دو درجه آزادی

این ژیروسکوپ نخستین نوع ژیروسکوپ است و بیش‌تر در سامانه‌های کنترل آتش، وسایل کنترل موقعیت و قطب‌نماهای ژیروسکوپی از آن استفاده می‌شود. این نوع ژیروسکوپ را (ژیروسکوپ دو محوره) یا (ژیروسکوپ سه بدنه‌ای) نیزمی‌نامند. این نوع ژیروسکوپ، افزون بر محور چرخش روتور دارای دو محور دوران دیگر نیز می‌باشد که توسط دو عدد طوقه معلق درونی و بیرونی فراهم شده است و در حالت عادی محور چرخش و این دو نسبت به هم متعامد هستند. مجموعه طوقه داخل (که در واقع تکیه‌گاه چرخش را فراهم می‌کند)، محور چرخش و روتور را مجموعه دوار می‌گویند. تکیه‌گاه‌های طوقه داخلی در طوقه خارجی قرار دارد که می‌تواند در آن دوران کند. طوقه خارجی نیز به نوبه خود، درون تکیه‌گاه‌هایی قرار دارد که در بدنه ژیروسکوپ تعبیه شده و می‌تواند داخل آن‌ها حرکت دورانی داشته باشد. برای اندازه‌گیری حرکت‌های محور چرخش حول دو محور طوقه داخلی و خارجی از نوع حس کننده-که در امتداد این محورها سوار شده است-استفاده می‌شود. همچنین برای ایجاد حرکت‌های عمدی و مشخص و اندازه‌گیری شده محور رخش حول این دو محور، از وسایل محرکه مختلفی مانند مولد گشتاور استفاده می‌شود.

۳-۳. ژیروسکوپ یک درجه آزادی

ژیروسکوپ یک درجه آزادی، نوع تکمیل شده ژِیروسکوپ دو درجه آزادی بوده و پس از آن به وجود آمده است. در این نوع ژیروسکوپ، سه محور متعامد مشخص وجود دارد که عبارت‌اند از محور ورودی (که بدنه حول آن دوران می‌کند)، محور خروجی (که محور دوران طوقه نسبت به بدنه است) و محور چرخش در ابتدا که این سه محور کاملا بر هم عمودند. روتور این نوع ژیروسکوپ، به جز حرکت حول چرخش، تنها می‌تواند حول یک امتداد دیگر یعنی امتداد محور طوقه داخلی، دوران نماید (نسبت به بدنه جایرو) ژیروسکوپ یک درجه آزادی را می‌توان در حالت کلی به سه دسته تقسیم کرد:

۳-۳-۱. ژیروسکوپ‌های سرعتی

در این نوع، عامل بازگرداندن طوقه مجموعه دوار به وضعیت اولیه، یک عنصر الاستیک مانند فنر است و برای تعیین سرعت زاویه‌ای وسیله نقلیه ای که ژیروسکوپ روی آن سوار شده بکار می‌رود و در چنین حالتی، محور ورودی عمود بر دو محور چرخش و طوقه است.

۳-۳-۲. ژیروسکوپ‌های انتگرالی

در این نوع، عامل اصلی مقاومت در برابر دوران طوقه مجموعه دوار حول محور خودش نسبت به بدنه ژیروسکوپ، گشتاور ناشی از دمپینگ سیالی با لزجت بالا است و برای اندازه‌گیری جابجایی دورانی بکار می‌رود. در این ژیروسکوپ، چون مجموعه دوار در یک سیال شناور است، اصطکاک تکیه‌گاه‌های محور خروجی کاهش می‌یابد و در نتیجه خطای ژیروسکوپ کم می‌شود.

۳-۳-۳. ژیروسکوپ‌های مقید

چنانچه در ژیروسکوپ انتگرالی از سیال با لزجت کم و یا گاز استفاده می‌شود، در این صورت واکنش قابل توجهی به عنوان گشتاور ناشی از دمپینگ سیال نداریم و تنها عاملی که سعی می‌کند از خارج شدن طوقه از وضعیت اولیه جلوگیری کند، واکنش اینرسی مجموعه دوار است. به چنین ژیروسکوپ‌هایی، ژیروسکوپ مقید می‌گویند.

۳-۴. تقسیم‌بندی ژیروسکوپ‌ها

علاوه بر تقسیم‌بندی بر حسب تعداد درجات آزادی، ژیروسکوپ‌ها را می‌توان بر حسب نوع کاربرد نیز تقسیم‌بندی نمود. بر این مبنا، ژیروسکوپ‌ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند.

۳-۴-۱. ژیروسکوپ‌هایی که در بخش هدایت و ناوبری کاربرد دارند

وظیفه اصلی این ژیروسکوپ‌ها، ایجاد امتدادهایی معین در فضای اینرسی است. این نوع ژیروسکوپ‌ها، بسیار دقیق بوده و توانایی حس کنندگی بالایی دارند. خطای آن‌ها کم بوده و بیشتر در هواپیماها، بالگردها، فضاپیماها و موشک‌های دوربرد به کار می‌رود.

۳-۴-۲. ژیروسکوپ‌هایی که در بخش پایداری و کنترل بکار می‌رود

وظیفه این نوع ژیروسکوپ‌ها، حس کردن و کنترل حرکات زاویه‌ای است. این ژیروسکوپ‌ها نیاز به دقت‌های بکار رفته در ژیروسکوپ‌های نوع (۳-۴-۱) را ندارد. این نوع ژیروسکوپ‌ها در هواپیماها و موشک‌ها بکار می‌رود که البته وظیفه آن‌ها نسبت به ژیروسکوپ‌های هدایت و ناوبری متفاوت است. در شکل (۴) یک نمونه از این سیستم‌های ناوبری در هواپیما نشان داده شده است.



شکل ۴- نمایشگر جایروسکوپ در هواپیما [۳].

۳-۴-۳. ژیروسکوپ‌هایی که در درگیری، هدف‌یابی و در پایداری و کنترل آنتن وسایل فضایی بکار می‌روند

این نوع ژیروسکوپ، درموشک‌هایی که صفحه رادار آن‌ها روی هدف قفل می‌رود و به این ترتیب، موشک را تا رسیدن به هدف هدایت می‌کند، کاربرد دارد.

۳-۴-۲- ژیروسکوپ‌هایی که برای تجزیه تحلیل اطلاعات پروازی (در حین پرواز یا پس از آن) بکار می‌رود.

این تجهیزات مهم و بسیار حائز اهمیت در حین پرواز و پس از آن می باشد. در شکل (۵) ژیروسکوپ هواپیمای ایرباس A300 نشان داده شده است.



شکل ۵- ژیروسکوپ هواپیمای ایرباس A300 [۴]

با توجه به اهمیت ژیروسکوپ در صنعت هوافضا، بعضی هواپیماها دارای دو ژیروسکوپ اصلی و کمکی می باشند تا در صورت نیاز و از کار افتادن ژیروسکوپ اصلی از ژیروسکوپ کمکی جهت تحلیل اطلاعات پروازی از آن استفاده کنند. در شکل های (۶ و ۷) به ترتیب ژیروسکوپ اصلی و ژیروسکوپ کمکی نشان داده شده است.



شکل ۶- ژیروسکوپ اصلی هواپیمای McDonnell Douglas MD-88 [۵]



شکل ۶- ژیروسکوپ کمکیMcDonnell Douglas MD-88 [۵]

۳-۵. انواع ژیروسکوپ

۳-۵-۱. ژیروسکوپ‌های DTG [1]

این ژیروسکوپ که بر اساس اندازه حرکت زاویه‌ای عمل می‌کند، تقریبا در سال ۱۹۶۰ ابداع شد. در این ژیروسکوپ، عامل اصلی دوران،یک موتور الکتریکی است که محور دوار آن توسط زوج میله دیگری با خاصیت فنر پیچشی دارند-به طوقه متصل شده است. خود طوقه نیز توسط زوج میله دیگری با خاصیت فنر پیچشی به روتور که بر خلاف انواع پیشین در قسمت بیرونی طوقه قرار دارد متصل است. خاصیت این دو زوج میله‌های فنری این است که در یک سرعت خاص از دوران، که به آن حالت تشدید می‌گویند. عملکرد آن‌ها به گونه‌ای است که دستگاه مانند یک ژیروسکوپ روتور آزاد عمل می‌کند. این ژیروسکوپ‌ها از نظر ابعاد بسیار کوچک و سبک هستند.

۳-۵-۲. ژیروسکوپ‌های لیزری

این ژیروسکوپ، بر خلاف ژیروسکوپ‌های قبلی دارای هیچ جسم تحرکی که ایجاد اندازه حرکت خطی یا زاویه‌ای کند نیست. لکن از آنجا که کاربرد آن شبیه ژیروسکوپ‌های معمولی برای اندازه‌گیری دوران است، آن را در زمره ژیروسکوپ‌های لیزری رده‌بندی می‌کنند. در این ژیروسکوپ از دو پرتو نور لیزر در یک مسیر بسته و در دو جهت مخالف استفاده می‌شود. نخستین نمونه تجاری آن در هواپیماهای بوئینگ ۷۵۷-۷۵۶ وایرباس ۳۱۰ بکار رفته است. مزیت آن، در قابلیت اطمینان بیشتر، دامنه دینامیکی وسیع‌تر و مقاومت خوب در مقابل شتاب‌های زیاد است.

۳-۵-۳. ژیروسکوپ‌های فیبر نوری

این ژیروسکوپ، تحقق آخرین اندیشه‌های بشر در ساخت ژیروسکوپ است. چرا که در نوع خود کوچک بوده و به‌طور آنی روشن می‌شود، عمر طولانی دارد، احتیاجی به خدمات نگهداری نداشته و ارزان است. همچنین احتیاج به سامانه تعلیق طوقه‌ای ندارند. مبنای عملکرد این ژیروسکوپ، شبیه ژیروسکوپ لیزری است، با این تفاوت که در آن به جای لیزر از یک نور پولاریزه استفاده می‌شود. این فناوری در اواسط دهه‌ی ۱۹۷۰ در دانشگاه یوتای آمریکا ابداع شد.

۳-۵-۴. ژیروسکوپ دیاپازنی

نوع دیگری از ژیروسکوپ‌ها که بر اساس اندازه حرکت خطی عمل می‌کند، از سامانه حفظ تعادل برخی حشرات الهام گرفته شده است. این حشرات با استفاده از دو عضو غضروفی مرتعش کوچک که در طرفین بدنشان قرار دارد تعادل خود را حفظ می‌کنند. ژیروسکوپی که بر این مبنا ساخته شده است، به آن ژیروسکوپ دیاپازنی یا ژیروسکوپ ارتعاشی می‌گویند. روی پایه اصلی این ژیروسکوپ، دو شاخک فلزی (شبیه دیاپازن) قرار دارد که توسط آهنربای الکتریکی به نوسان در می‌آید. این نوسانات در جهت عکس یکدیگر است یعنی یا از هم دور می‌شوند یا به هم نزدیک می‌شوند. در اثر این دو حرکت، هر ذره مادی از شاخک‌ها، دارای مولفه شتاب کوریولیس [2] خواهد شد که راستای این شتاب در امتداد محور X است.

[1] . Dynamically Tuned Gyroscope
[2] . Coriolis

۳-۶. خواص ژیروسکوپ

۳-۶-۱. خاصیت صلبیت ژیروسکوپ

ژیروسکوپ همان‌گونه که اشاره شد از خاصیت صلبیت استفاده می‌کند، طبق قانون دوم نیوتن که می‌گوید، مجموعه گشتاورهای خارجی وارد بر سیستم دوار حول نقطه صفر برابر است با تغییرات زمانی اندازه حرکت زاویه‌ای سیستم حول همان نقطه، لذا چون اندازه حرکت زاویه‌ای سیستم برابر صفر است، مقدار و جهت بردار اندازه حرکت زاویه‌ای ژیروسکوپ در فضای اینرسی ثابت می‌ماند.

۳-۶-۲- حرکت تقدیمی

چنانچه گشتاوری مانند M در راستایی غیر از راستای بردار مومنتوم زاویه‌ای به روتور اعمال شود، محور چرخش در راستای برداری عمود بر صفحه بردار گشتاور خارجی و مومنتوم زوایه‌ای دوران خواهد کرد. جهت دوران به این صورت است که بردار مومنتوم زوایه‌ای همواره با طی زاویه کوچک‌تر به طرف بردار گشتاور خارجی بچرخد، لذا وقتی چرخ دوچرخه را به صورت عمود می‌چرخانیم. نیروی وارد شده به آن‌طرف زمین موجب چرخش دوچرخه دور خود می‌شود.

۳-۷. کاربرد سنسورهای ژیروسکوپ

ژیروسکوپ سنسوری است برای اندازه‌گیری زاویه اجسام مختلف نسبت به یک مبدأ. این سنسور در مکان‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ثابت نگه‌داشتن اجسام و ماشین‌آلات
- امنیت در خودرو(اجسام متحرّک)
- شبیه‌سازی حرکت انسان در ربات
- نقشه‌برداری از سطوح مختلف سطح زمین
- سیستم‌های اتو پایلِت در هواپیماها و هلیکوپترها
- کنترل و تصحیح زاویه‌ی حرکت ربات‌های (بازوهای) صنعتی
- برای حفظ تعادل و کنترل ماشین‌ها و ربات‌ها.

۴. نتیجه گیری

یکی از مسائل مهم در صنعت هوافضا، ماهیت ژیروسکوپ در پایداری و کنترل می باشد؛ که عوامل مختلف رفتار ارتعاشی ناخواسته برای مواجهه با عواملی مثل توده متلاطم هوا و یا جریان آشفته را خنثی می کند. بر همین اساس ژیروسکوپ سرعت دورانی را به موقعیت زاویه‌ای تبدیل می کند و برای دستیابی به دقت و پایداری اطلاعات سنسور ژیروسکوپ اهمیت بالایی دارد. لیکن عملکرد ژیروسکوپ‌ها بسیار دقیق و حس‌کنندگی بالایی دارند و خطاهای آن کم می باشد. ژیروسکوپ‌ها بیشتر در هواپیماها و موشک‌های دوربرد به‌کار می رود که در هواپیماه‌ها در پایداری و کنترل و در موشک‌ها صفحه رادار آن‌ها روی هدف قفل و به این ترتیب موشک را تا رسیدن به هدف هدایت می کند، کاربرد دارد.

۵. مراجع

[۱] شیخ رباط، علی، (۱۴۰۱)، کنترل ایستادن یک ربات دوپا با استفاده از سیستم حسگر جایرو، جهاد دانشگاهی واح دصنعتی اصفهان.

[2] https://www.faramechanic.com/adams/gyroscope/.

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope.

[4] https://www.quora.com/What-is-the-function-of-gyroscopes-in-airplane.

[۵] سازمان هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران، هواپیمای ایرباس A300.

[۶] سازمان هواپیمایی جمهوری اسلامی ایران، هواپیمای ایرباس McDonnell Douglas MD-88.