طراحی موتور الکتریکی سرومکانیزم پدستال برای شناسایی اهداف دریایی

ابوالفضل نصیری[1]، سید جلال طباطبائی[2]

۱-استادیار دانشکده فنی، سیگنالی و فضایی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین(علیه‌السلام)؛ nasirieng@gmail.com

۲- مربی سازمانی دانشکده فنی، سیگنالی و فضایی، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین(علیه‌السلام)؛ unique1learning@gmail.com

چکیده:

در این تحقیق، به تحلیل، بررسی و طراحی موتور الکتریکی سرومکانیزم پدستال برای شناسایی اهداف دریایی پرداخته می‌شود. پدستال یکی از بخش‌های اصلی یک سامانه شناسایی، جهت‌یابی و مکان‌یابی راداری است. بر روی پدستال تجهیزات آنتن، رفلکتور، سیستم‌های پردازشی و ... نصب می‌شود. وظیفه اصلی پدستال علاوه بر نصب تجهیزات بر روی آن، چرخش آنتن، رفلکتور و تغییر جهت‌گیری آن می‌باشد. نیروی محرکه پدستال توسط سرومکانیزم الکتریکی و یا سرومکانیزم هیدرولیکی تأمین می‌گردد. در این تحقیق با رویکرد سرومکانیزم الکتریکی به طراحی موتور الکتریکی مورداستفاده در یک پدستال پرداخته می‌شود. تعیین الزامات سیستمی پدستال، مشخصات سرعت و توان موتور الکتریکی پدستال را تعیین می‌شود. در این تحقیق به بررسی یک پدستال با دو درجه آزادی پرداخت می‌شود. بر این اساس ضمن تشریح مختصر موتورهای الکتریکی، موتور گشتاوری به‌عنوان موتور الکتریکی مناسب برای استفاده در سرومکانیزم پدستال معرفی می‌گردد. نتایج تجربی، صحت تحقیقات انجام‌شده را تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی:

سرومکانیزم، پدستال، موتور الکتریکی

Design of Pedestal Servomechanism Electric Motor for Identifying Marine Targets

Abolfazl Nasiri[1], Seyed Jalal Tabatabaei[2]

1- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, *Imam Hossein University for Training Officers & Guards* Tehran, Iran nasirieng@gmail.com

2- Organizational Teacher, Department of Science, Imam Hossein University for Training Officers & Guards Tehran, unique1learning@gmail.com

Abstract

In this research, the analysis, investigation and design of pedestal servo-mechanics electric motor for identification of marine targets is investigated. Pedestal is one of the main parts of a radar identification, orientation and locating system .On the pedestal, antenna equipment, reflectors, processing systems, etc. Installed. The main task of the pedestal in addition to installing the equipment on it is to rotate the antenna, the reflector and change its orientation. Pedestal propulsion is supplied by electrical servomechanism or hydraulic servo mechanism. In this research, with the approach of electrical servomechanism, the design of an electric motor used in a pedal is investigated. Determining the systemic requirements of the pedal determines the speed and power characteristics of the pedal electric motor. In this study, a pedal with two degrees of freedom is investigated. Accordingly, while briefly describing electric motors, the torque motor is introduced as an electric motor suitable for use in pedal servomechanism. The experimental results confirm the accuracy of the researches.

Key Word

Pedestal, servo-mechanics, electric motor

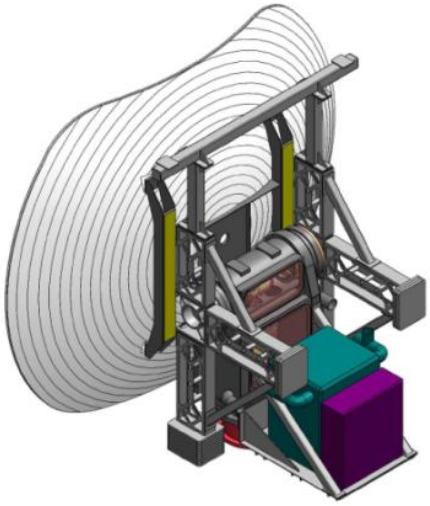
۱- مقدمه

سرومکانیزم به یک زیرسیستم الکترومکانیکی گفته می‌شود که موقعیت و یا سرعت یک سیستم را با دقت و قدرت مناسب کنترل می‌کند. سرومکانیزم با تقویت توان الکتریکی فرمان، امکان جابه‌جایی سیستم را فراهم می‌کند. همچنین با نمونه‌گیری از سنسورهای موجود در سیستم، با استفاده از زیرسیستم کنترل حلقه بسته، موجب کاهش خطای سیستم شده و حرکت سرومکانیزم را تصحیح می‌کند.

سیستم جهت‌یاب و مکان‌یاب موقعیت و زاویه هدف به‌صورت پیوسته تشخیص و دنبال می‌شود. در سرومکانیزم ردیاب، ابتدا آنتن به سمت هدف راهنمایی شده سپس به‌صورت اتوماتیک هدف را دنبال می‌کند. به سرومکانیزم‌هایی که به‌عنوان پایه آنتن به‌منظور موقعیت‌یابی استفاده می‌شود، پدستال[1] گفته می‌شود. در این تحقیق منظور از «سرومکانیزم» همان پدستال می‌باشد که علاوه بر قابلیت حمل تجهیزات مخابراتی و الکترونیکی، قابلیت جستجو با دقت بالا در راستای سمت و ارتفاع را داشته و الزامات سیستم را برآورده می‌کند. در شکل (۱) نمایی از یک سرومکانیزم ارائه شده است. پدستال‌های مختلفی در شرکت‌های معتبر دنیا ساخته شده‌اند، در این بخش نمونه‌هایی از آن‌ها بررسی می‌گردد:

شرکت آنتچ؛[2] این شرکت ایتالیایی سرومکانیزم با سه درجه آزادی طراحی و ساخته است. در این سرومکانیزم از سیستم درایو مستقیم[3] برای کنترل جهت‌یابی استفاده شده است و عملگرهای آن موتورهای الکتریکی DC می‌باشد. سرومکانیزم‌های این شرکت در محیط‌های تا سرعت باد ۱۲۵ km/h قابل استفاده می‌باشد. وزن آن ۵۰ کیلوگرم بوده و از انکودرهای مطلق ۱۳ بیتی برای اندازه‌گیری زاویه بهره می‌برد[۱](شکل ۲ الف).

شرکت ای‌اس‌سی سیگنال؛[4] سرومکانیزم‌های ساخته شده در این شرکت، دارای گستره وسیعی از لحاظ توان است. در سرومکانیزم‌های این شرکت، برای حذف لقی از سیستم Dual-Drive استفاده شده است که از الگوریتم‌های کنترلی به‌منظور حذف لقی استفاده می‌شود.



شکل ۱. نمای کلی سرومکانیزم

در این مجموعه چرخ‌دنده‌های خورشیدی به‌کاررفته و از موتورهای الکتریکی DC جهت نیرومحرکه استفاده می‌شود[۲] (شکل ۲ ب).

شرکت وی‌بل؛[5] سرومکانیزم ساخته شده توسط این شرکت، وزنی در حدود ۴۵۰ کیلوگرم دارد. میزان چرخش در محور سمت آن می‌تواند محدود یا نامحدود باشد درحالی‌که محدوده کاری آن در محور ارتفاع ۳- الی ۱۸۰ درجه است. سرعت آن در محورهای سمت و ارتفاع برابر با ۴۰ و ۲۵ درجه بر ثانیه می‌باشد.[۳] (شکل ۲ ج).

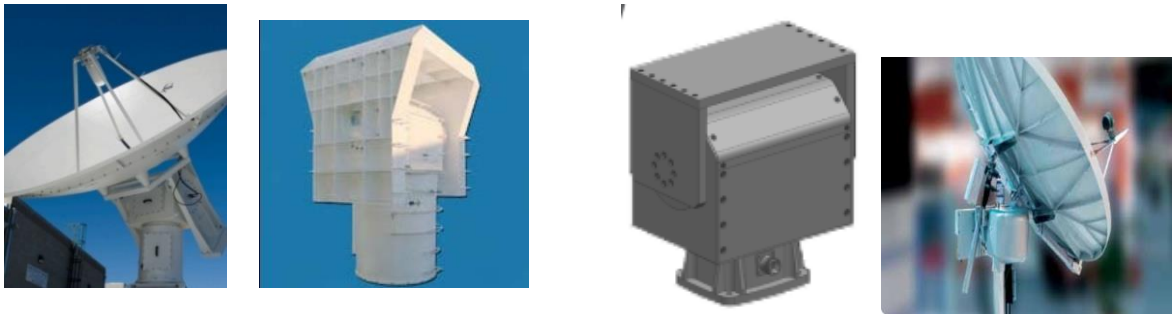
شرکت تی‌سی‌اس؛[6] سرومکانیزم‌های این شرکت قادر است با سرعت ۶۰ مایل بر ساعت عملیات خود را اجرا نماید. همچنین سرعت آن در هر یک از درجات آزادی حداقل ۲۵ درجه بر ثانیه می‌باشد، شتاب آن برابر با ۵۵ درجه بر مجذور ثانیه می‌باشد. تغذیه آن ۱۱۵ ولت با فرکانس ۶۰ هرتز یا ۲۲۰ ولت با فرکانس ۵۰ هرتز می‌باشد. [۴] (شکل ۲ د).

سرعت و توان موتور الکتریکی مورداستفاده در پدستال، وابسته به الزامات سیستمی آن می‌باشد. شکل (۳) شماتیکی از مراحل طراحی پدستال را نشان می‌دهد.

بر این اساس در بخش اول، سرومکانیزم و الزامات طراحی آن ارائه می‌شود. در بخش دوم، الزامات سیستمی سرومکانیزم موردبررسی قرار می‌گیرد.

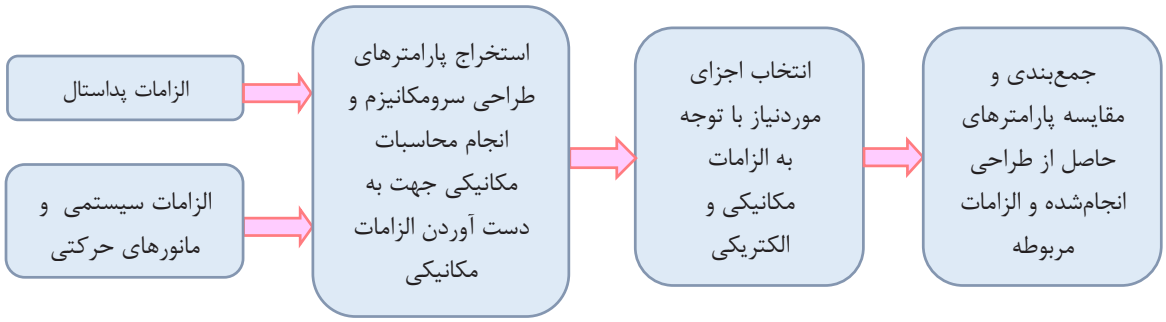
---

[1] Pedestal
[2] Antech
[3] Direct Drive
[4] ASC Signal
[5] WEIBEL
[6] TCS



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۲. الف) پدستال شرکت **Antech** ب) پدستال شرکت **ASC** ج) پدستال شرکت وی‌بل د) پدستال شرکت TCS



شکل ۳. مراحل طراحی سرومکانیزم پدستال

در بخش سوم پارامترهای لازم برای طراحی موتور الکتریکی سرومکانیزم با استفاده از الزامات پیوست فنی و الزامات سیستمی، محاسبات حرکتی و الزامات مکانیکی حرکت به دست آید. در بخش چهارم به طراحی موتور الکتریکی موردنیاز در پدستال پرداخته می‌شود.

۲- الزامات طراحی پدستال

طراحی و ساخت سرومکانیزم پدستال وجه اشتراک زیادی با سایر سرومکانیزم‌ها دارد. از ویژگی‌های مشترک آنها می‌توان به یکپارچه بودن، دقت بالا، قابلیت اجرای مانورهای گوناگون و ضریب اطمینان بالای آنها اشاره نمود. در سامانه‌های جهت‌یابی و موقعیت‌یابی؛ پدستال، آنتن را در یک موقعیت، جهت و یا یک مسیر مشخص قرار می‌دهد تا آنتن عملیات خود را اجرا نماید. الزامات اولیه عملکرد پدستال شامل حداکثر سرعت، دقت و بازه‌های حرکتی، وزن، ابعاد، سیستم کنترل، باد غیرعملیاتی، دمای بیرونی، دمای درونی و سیستم حفاظت می‌توان اشاره کرد. بدین ترتیب، بخش‌های اصلی طراحی یک پدستال به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شود:

- **زیرسیستم توان الکتریکی:** منبع تغذیه اصلی، عملگرها و کابل‌کشی
- **زیرسیستم مکانیک:** ساختار اصلی، چرخ‌دنده‌ها، یاتاقان و اتصالات
- **زیرسیستم کنترل:** مدار کنترل، سنسورها، مانیتورینگ و رابط کاربری گرافیکی

۲-۱- درجات آزادی پدستال

اکثر سرومکانیزم‌ها دو درجه آزادی در راستای سمت[۷] و ارتفاع[۸] دارند. درحالی‌که سرومکانیزم‌های با سه درجه آزادی نیز جهت انجام مانورهای خاص طراحی و ساخته شده است. به‌عنوان نمونه می‌توان فاصله فیدر را در صورت نیاز با افزایش یک درجه آزادی برای هر فرکانس تنظیم کرد.

۲-۲- مأموریت آنتن

در این بخش وظایف مخابراتی آنتن موضوع بحث نیست، صرفاً تأثیر وظایف آنتن بر عملکرد سرومکانیزم

[7] Azimuth

[8] Elevation

موردبررسی قرار می‌گیرد. از جمله تأثیرات مأموریت آنتن بر عملکرد پدستال می‌توان به محدوده زاویه حرکت و سرعت چرخش آنتن در دو راستای سمت و ارتفاع و نیز وزن آنتن را شامل می‌گردد. همچنین مأموریت آنتن الزامات عملکردی و فضای کاری سرومکانیزم را نیز تعیین می‌کند و در شیوه طراحی سرومکانیزم تأثیرگذار است[۵].

۲-۲-۱- فضای کاری آنتن

از جمله الزامات عملکردی می‌توان به محدود یا نامحدود بودن میزان دوران محورها اشاره نمود که الزامات ساخت مختلفی را ایجاد می‌نماید. به‌عنوان نمونه اکثر پدستال‌ها در راستای سمت، محدوده ۱۸۰± درجه را پشتیبانی می‌کنند. البته ممکن است فراخور نیاز برای محدوده حرکت خاصی تنظیم شده باشند. همچنین در راستای ارتفاع نیز محدودیت حرکت متناسب با مأموریت سامانه تعریف می‌گردد. بدین ترتیب که برای اهداف دریایی محدودیت زاویه حرکت تقریباً بین منفی ۵ درجه تا مثبت ۲۵ درجه در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است برای اهداف هوایی محدودیت زاویه حرکت بالاتر خواهد بود.

۲-۲-۲- دقت آنتن

این بخش اصلی‌ترین و نمایان‌ترین ویژگی پدستال آنتن است. طراحی سرومکانیزم باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند آنتن را در موقعیت تعیین‌شده و با دقت اعلام‌شده، قرار دهد. یکی از عناصر مهم در دقت سرومکانیزم آنتن، موتور الکتریکی مورداستفاده در سرومکانیزم می‌باشد. همچنین به‌کارگیری سنسورهای اندازه‌گیری سرعت و موقعیت آنتن نیز حائز اهمیت است. در سامانه‌های جهت‌یابی و موقعیت‌یابی، دقت مناسب و مطلوب برای پدستال در حدود ۰/۱ است. همچنین سرعت مطلوب برای پدستال برای اهداف زمینی، دریایی و هوایی متفاوت است. بدیهی است برای اهداف دریایی سرعت کم و برای اهداف هوایی سرعت خیلی بالاتری تعریف می‌شود.

۲-۲-۳- ابعاد و وزن آنتن

ابعاد و وزن آنتن نیز رابطه مستقیمی در توان، ابعاد و استحکام سرومکانیزم دارد که باید در طراحی موتور الکتریکی لحاظ گردد. بدین ترتیب که متناسب با مأموریت سامانه، با افزایش فرکانس کاری آنتن، ابعاد و وزن آنتن کاهش می‌یابد[۶].

۲-۲-۴- شرایط محیطی

شرایط محیطی به‌کارگیری آنتن نیز در طراحی پدستال اهمیت دارد. از جمله شرایط محیطی می‌توان به دما، رطوبت، سرعت وزش باد و غیره اشاره نمود. وجود باد موافق و یا مخالف در برابر حرکت پدستال در عملکرد پدستال تأثیر مستقیم دارد. پدستال باید توانایی غلبه بر نیروی باد و اجرای موفق عملیات را داشته باشد. بر این اساس در انتخاب موتور الکتریکی برای غلبه بر سرعت وزش باد دقت لازم صورت پذیرد.

۳- الزامات سیستمی سرومکانیزم

در سامانه‌های جهت‌یابی و موقعیت‌یابی، برای شناسایی اهداف روش‌ها و مانورهایی برای پدستال تعریف می‌شود. بدین ترتیب یک سری مشخصات عملکردی، محدودیت‌ها و انتظارات برای اجزای پدستال تعریف می‌گردد. پارامترهای دینامیکی و مانورهای حرکتی سامانه، استخراج می‌شود. از جمله پارامترهای مهم، می‌توان به محدوده‌ی حرکتی هر مانور، حداکثر و حداقل سرعت در هر مانور، شتاب حداکثری، زمان توقف، دقت عملکرد، سرعت تبادل داده و رزولوشن فرمان اشاره کرد[۷]. در ادامه یک روش مورداستفاده در شناسایی اهداف طی چهار مرحله ارائه می‌گردد:

الف) مرحله اول (جستجو اولیه): در این مرحله، هیچ اطلاعات دقیقی از زاویه و موقعیت هدف در دسترس نمی‌باشد و جستجو به‌صورت کلی در دو راستای سمت و ارتفاع در ناحیه مدنظر صورت می‌پذیرد. الزامات سیستمی این مرحله شامل: ۱) تعیین محدوده زاویه‌ای بزرگ برای جستجو، ۲) بیشینه سرعت سرومکانیزم متناسب با اهداف دریایی ۳) در این مرحله دقت کم می‌باشد. این مرحله بیشینه سرعت و بیشینه شتاب موتور الکتریکی پدستال را تعیین می‌کند.

ب) مرحله دوم (جستجوی دقیق): در این مرحله نشانه‌هایی از وجود هدف در برخی زوایا مشخص شده است. در محدوده‌ی مشخص شده، جستجو با دقت بالاتری انجام می‌پذیرد. همچنین محدوده‌ی جستجو در ناحیه کوچک‌تری می‌باشد. الزامات سیستمی این مرحله شامل: ۱) تعیین محدوده کوچک‌تر برای جستجو ۲) کاهش سرعت چرخش ۳) افزایش دقت جستجو

ج) مرحله سوم (شناسایی هدف): در این مرحله از شناسایی، جهت هدف، توسط یک یا چند سامانه شناسایی

می‌گردد. الزامات سیستمی این مرحله شامل: ۱) محدوده‌ی حرکت کم ۲) کمتر شدن سرعت چرخش ۳) افزایش دقت نسبت به مرحله قبل

د) مرحله چهارم (قفل بر روی هدف): در این مرحله بر اساس سیگنال‌های دریافتی از هدف، پدستال آن را دنبال می‌کند. بدین ترتیب هر سه سامانه زاویه هدف را شناسایی نموده و با استفاده از اطلاعات جهت‌یابی سامانه‌ها، موقعیت هدف شناسایی می‌گردد. الزامات سیستمی این مرحله شامل: ۱) تعیین محدوده حرکت متناسب با زاویه و سرعت هدف. ۲) به حداقل رسیدن سرعت چرخش پدستال. ۳) حداکثر دقت مورد انتظار سامانه. در این مرحله کمینه سرعت و بیشینه دقت موتور الکتریکی پدستال تعیین می‌گردد.

۴- طراحی موتور الکتریکی

در بخش ۳، الزامات طراحی و سیستمی پدستال بررسی و شرح داده شد. در این بخش با تمرکز بر روی این الزامات، اجزای سرومکانیزم انتخاب می‌شود. همچنین محاسبات لازم برای شتاب‌گیری و غلبه بر اصطکاک سیستم نیز بیان می‌گردد. در انتهای این بخش، گشتاور و توان موردنیاز در دو راستای سمت و ارتفاع به‌منظور انتخاب و طراحی موتور الکتریکی پدستال ارائه می‌گردد.

براساس مانورهای حرکتی و الزامات پدستال، پارامترهای تعیین‌کننده در محاسبات موتور الکتریکی سرومکانیزم عبارتند از کمینه و بیشینه سرعت، بیشینه شتاب، حداقل مانور یا همان رزولوشن حرکتی و دقت موقعیت‌یابی. در این بخش تعدادی از پارامترهای الزامات طراحی و سیستمی پدستال مورد تأیید قرار می‌گیرند و برخی دیگر با در نظر گرفتن فرض‌های عملیاتی، مقدار جدیدی برای آنها لحاظ خواهد شد. بدین ترتیب مقادیر بیشینه شتاب، بیشینه و کمینه سرعت، وزن و حجم پدستال، توان و سرعت سروموتور الکتریکی تعیین می‌گردد. بر اساس اطلاعات موجود در بخش ۳ حداکثر سرعت پدستال تعیین می‌گردد و سرعت سروموتور و نسبت تبدیل چرخ‌دنده نیز استخراج می‌گردد.

سرعت سروموتور متناسب با حداکثر سرعت موردنیاز پدستال تعیین می‌گردد. برای افزایش کنترل‌پذیری و بازدهی موتورهای الکتریکی، سرعت آنها نزدیک به نقطه کار انتخاب می‌گردد. در غیر این صورت همان‌طورکه در شکل (۴) مشخص است گشتاور و بازدهی موتور الکتریکی کاهش یافته و خرابی سیستم و دمای کاری موتور افزایش می‌یابد.

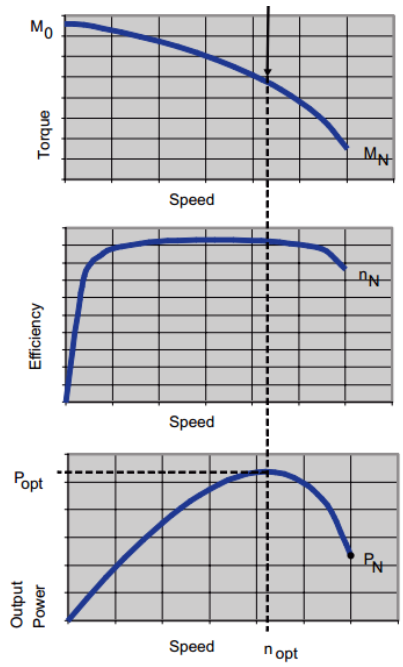
سروموتورها به دو صورت DC یا AC مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سروموتورهای DC، کنترل سرعت عمدتاً به روش PWM انجام می‌گیرد. همچنین کنترل سرعت سروموتورهای AC با استفاده از روش کنترل فرکانس انجام می‌شود. در سرعت‌های پایین پدستال، دقت کنترل سرعت سروموتور وابسته به سرعت نامی آن می‌باشد. در سروموتورهای DC که کنترل سرعت سروموتور به روش PWM انجام می‌شود؛ کاهش زیاد چرخه کاری، موجب عدم تأمین چگالی انرژی موردنیاز جهت حرکت سروموتور می‌گردد. همچنین کاهش زیاد چرخه کاری موجب کاهش دقت سروموتور می‌شود. به‌علاوه کاهش زیاد فرکانس کاری در سروموتورهای AC، دقت عملکرد آنها را کاهش می‌دهد؛ بنابراین انتخاب سرعت نامی مناسب برای سروموتور متناسب با الزامات سیستمی پدستال، از اهمیت بالایی برخوردار است. در حالت ایده‌آل انتخاب سروموتور با سرعت نامی برابر با بیشینه سرعت مورد نیاز سروموتور در پدستال انجام می‌شود.

۴-۱- محاسبات گشتاور

در طراحی گشتاور پدستال، سه عامل تعیین‌کننده است: ۱) گشتاور حرکتی پدستال. ۲) گشتاور مقاوم ناشی از باد. ۳) گشتاور مقاوم اصطکاک. همچنین گشتاور موردنیاز برای ایجاد شتاب در مانورهای حرکتی، وابسته به وزن بخش متحرک در دو راستای سمت و ارتفاع و بیشنیه گشتاور موردنیاز می‌باشد. بیشینه سرعت باد منطقه اجرای مأموریت نیز در طراحی گشتاور تعیین‌کننده است. بیشینه باد سرعت منطقه، بر اساس گزارش‌های ثبت‌شده در چند دهه گذشته قابل‌استخراج است. بیشنیه سرعت باد در دقت کنترل سرعت‌های پایین پدستال بیشتر نمایان می‌شود. بررسی دقیق‌تر اثر اغتشاش ناشی از باد، با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی CFD انجام می‌شود. همچنین محاسبات دقیق اصطکاک با استفاده از کاتالوگ بلبرینگ‌ها صورت می‌گیرد. قابل‌ذکر است افزایش طول عمر پدستال با افزایش اصطکاک رابطه مستقیم دارد. در نهایت مجموع سه گشتاور عنوان‌شده، بیشینه گشتاور موردنیاز موتور الکتریکی پدستال را تعیین می‌کند (رابطه (۱))[۸].

$$M = M_f + M_{Wind} + M_\alpha \qquad (۱)$$

در اینجا، M گشتاور مجموع موردنیاز سامانه، M_f گشتاور ناشی از اصطکاک، M_{wind} گشتاور ناشی از باد و M_α گشتاور تأمین‌کننده شتاب موتور الکتریکی پدستال می‌باشد.



شکل ۴. نمودار گشتاور، بازدهی و توان خروجی موتور برحسب سرعت

۴-۲- محاسبه توان حرکتی

بیشینه توان موتور الکتریکی در بدترین شرایط باد، بیشترین سرعت و بالاترین شتاب موردنیاز مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌گردد[۸].

$$P_m = M \times \omega \qquad (۲)$$

در اینجا، P_m بیشینه توان موردنیاز برای موتور الکتریکی و ω سرعت زاویه سروموتور می‌باشد.

بر اساس مطالب ارائه‌شده، بیشینه گشتاور سروموتور M محاسبه می‌گردد. به‌صورت متداول و بر اساس تجربه سروموتور با در نظر گرفتن گشتاور 2*M انتخاب می‌گردد. اعمال ضریب ۲ در انتخاب سروموتور برای جبران عوامل مقاوم متفرقه در نظر گرفته می‌شود. برای جلوگیری از آسیب دیدن مجموعه انتقال قدرت، گشتاور قابل‌تحمل برای آن‌ها نیز با ضریب ۲ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه ضرایب برای انتخاب گیربکس باید حداقل ۲ برابر شود که در پدستال‌های بزرگ عدد قابل‌توجهی به حساب می‌آید. یکی از راهکارهای غلبه بر گشتاور حداکثر، کاهش سرعت باد عملیاتی برای عملکرد عادی سیستم می‌باشد. اعمال چنین فرضی در طراحی، به معنای غیرعملیاتی شدن سیستم در سرعت‌های بالاتر باد نیست؛ بلکه ممکن است سرعت پدستال در زوایای خاصی کندتر شود؛ چرا که مقداری از انرژی موردنیاز برای شتاب‌گیری سیستم صرف غلبه بر باد می‌شود. با توجه به نمودارهای هواشناسی سرعت و جهت باد در طول سال برای منطقه مشخص است و می‌تواند نگاه مناسبی به طراح بدهد. متوسط داده‌های تجمعی شدت باد در جنوب ایران در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. نسبت تجمعی رخداد سرعت‌های بالای باد در طول سال برای جنوب کشور

احتمال رخداد (تجمعی)	سرعت باد (کیلومتر بر ساعت)
۱۶	۴۰<
۳۳	۴۰>
۲۱	۵۰>
۱۳	۶۰>
۸	۷۰>
۵	۸۰>
۳	۹۰>
۱	۱۰۰>
۰	۱۱۰>

حداکثر در ۱۳ درصد اوقات ممکن است سرعت باد بالاتر از ۶۰ km/h برسد و در ۸ درصد اوقات ممکن است سرعت باد بیشتر از ۷۰ کیلومتر بر ساعت شود. انتخاب این دو بازه برای عملکرد نرمال مجموعه، می‌تواند ضمن تضمین عملکرد مناسب و دقیق، تأمین تجهیزات انتقال قدرت را با احتمال بیشتری امکان‌پذیر نماید.

۴-۳- موتور و درایو

انتخاب موتور الکتریکی مناسب برای پدستال یکی از چالش‌های اصلی در مرحله طراحی است. با توجه به توان موردنیاز پدستال که در بخش‌های قبلی استخراج شد و با اعمال ضریب مناسب و با در نظر گرفتن موتورهای موجود در بازار انتخاب مناسب صورت می‌پذیرد. با توجه به مأموریت پدستال، دقت موتور مورداستفاده در سرومکانیزم پدستال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا از انواع سروموتورهای DC، AC، موتور پله‌ای[۹] و موتور گشتاوری[۱۰] در پدستال‌ها

[9] Step Motor

[10] Torque Motor

استفاده می‌شود. هر یک از این موتورها یک سری خصوصیات ویژه دارند که بنا بر نیاز به‌کارگیری می‌شوند:

سروموتورها یا موتورهای کنترل‌دار، دسته‌ای از موتورهای الکتریکی هستند که در سیستم‌های کنترل حلقه بسته مورداستفاده قرار می‌گیرند. در این موتورها تغییر سرعت سریع می‌باشد. معمولاً این موتورها دارای قطر کم با طول زیاد هستند[۹]. با توجه به تجهیزات جانبی این موتورها نسبت به موتورهای معمولی، قیمت بالاتری دارند. سروموتورها به دو صورت DC و AC موجود هستند.

۴-۳-۱- سروموتور DC

در صنعت اتوماسیون، سروموتورهای اولیه عموماً DC بودند؛ زیرا سال‌های بسیاری کنترل جریان از طریق تریستورها صورت می‌گرفت. سروموتور DC مجموعه‌ای از یک موتور DC، چرخ‌دنده و برد کنترل است که با نمونه‌گیری از موقعیت و یا سرعت خروجی، ورودی را دنبال می‌کند. سروموتورهای DC در انواع موتور DC موازی، تحریک مستقل و آهنربای دائم استفاده می‌شود. بر این اساس سروموتورهای DC به دو صورت سروموتورهای DC جاروبک‌دار (موتور DC موازی و تحریک مستقل) و سروموتورهای DC بدون‌جاروبک[1](آهنربای دائم) موجود هستند. در کاربردهای حساس از نوع بدون جاروبک استفاده می‌گردد تا نیاز به سرویس و نگهداری کمتری داشته باشد[۱۰].

۴-۳-۲- سروموتور AC

با پیشرفت تکنولوژی ساخت قطعات نیمه‌هادی قدرت و طراحی و ساخت مبدل‌های فرکانسی و توان بالا، امکان کنترل سرعت موتورهای AC با سهولت بیشتری فراهم گردید. بدین ترتیب استفاده از موتورهای AC در صنعت گسترش چشم‌گیری پیدا نمود. لذا سروموتورهای AC نیز کاربردهای بیشتری در صنعت پیدا کردند. ساختار سیم‌پیچی سروموتورهای AC نسبت به نوع DC مستحکم‌تر است (استفاده از موتورهای القایی قفس سنجابی) و نیاز به سرویس و نگهداری کمتری دارند (به‌علت عدم وجود جاروبک). همچنین سروموتورهای AC در توان‌های پایین عملکرد بهتری دارند. آرمیچر سروموتورهای AC قابلیت تبادل گرمایی بالاتری دارد. بعلاوه راندمان سروموتورهای AC نسبتاً بالاست (در حدود ۹۰ درصد)[۱۱].

۴-۳-۳- موتور پله‌ای

موتور پله‌ای در کاربردهای کنترل سرعت و موقعیت به‌صورت حلقه باز مورداستفاده قرار می‌گیرد. این موتور بدون جاروبک و سنکرون است که حرکت آن به‌صورت پله‌ای و گسسته است. در حالت کلی موتورهای پله‌ای به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که در هر گام مقداری زاویه (۱/۸، ۲، ۲/۵، ۵، ۱۵، ۳۰) را طی می‌کنند. ازآنجایی‌که موقعیت و سرعت این موتورها با کمک سیستم‌های کنترل پیشرفته رایانه‌ای به‌دقت قابل‌کنترل است؛ لذا در بسیاری از کاربردهای مرتبط با کنترل دقیق موقعیت، مانند رباتیک، مورداستفاده قرار می‌گیرند[۱۱].

۴-۳-۴- موتور گشتاوری

این موتور بدون نیاز به چرخ‌دنده واسط، گشتاور موردنیاز را تأمین می‌کند. این کار از افزوده شدن اجزا و پیچیدگی طرح نهایی جلوگیری می‌کند. همچنین دقت بالای موتورهای گشتاوری، هالو شفت بودن و ابعاد کوچک‌تر این موتورها مجموعه کاملی از مزایای موردنیاز برای طراحی مکانیک مجموعه را فراهم می‌کند. به‌کارگیری موتور گشتاوری و هارمونیک درایو، یک مجموعه سرومکانیزم یکپارچه با بالاترین دقت، حداقل پیچیدگی و قابلیت اطمینان بالا را فراهم می‌کند. استفاده از موتورهای یکپارچه با اجزایی مانند یاتاقان، انکودر، موتور و ... می‌تواند قابلیت اطمینان و ساده‌سازی موتور را افزایش داده و ضمن کاهش ابعاد، کنترل‌پذیری و رؤیت‌پذیری را افزایش دهد[۱۲]. در شکل (۵) موتور گشتاوری ارائه شده است.

در مورد نحوه انتخاب درایو مناسب، بدیهی است که متناسب با انتخاب موتور، انتخاب درایور نیز صورت می‌پذیرد.

شکل ۵. موتور گشتاوری شرکت LS Mecapion

[1] Brushless

۵- نتایج انتخاب و پیاده‌سازی

بر اساس مأموریت سامانه جهت‌یابی و موقعیت‌یابی، همچنین بر اساس مطالب ارائه‌شده در بخش‌های ۳ و ۴ و نیز محاسبات توان و گشتاور (روابط ۱ و ۲) انتخاب موتور الکتریکی صورت پذیرفت. بدین ترتیب برای هر دو راستای سمت و ارتفاع موتور گشتاوری شرکت LS Mecapion با توان W ۳۷۷ انتخاب شد. در شکل (۶) تصویر پدستال و موتور گشتاوری انتخاب‌شده را نشان می‌دهد. در شکل (۶ الف) تصویر موتورها با طراحی صورت گرفته با نرم‌افزار سالیدورک نمایش داده شده است. در تصویر (۶ ب) تصویر پدستال طراحی‌شده با نرم‌افزار سالیدورک ارائه شده است. همچنین شکل (۶ ج) تصویر موتورهای انتخاب‌شده برای پدستال را نشان می‌دهد. در نهایت در شکل (۶ د) موتورهای نصب‌شده بر روی پدستال نشان داده می‌شود. نتایج تجربی عملکرد مناسب پدستال صحت طراحی موتور گشتاوری انتخاب‌شده را تأیید نمود.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اصول طراحی موتور الکتریکی پدستال ارائه گردید. نخست الزامات طراحی پدستال شامل: زیرسیستم کنترل، زیرسیستم توان الکتریکی و زیرسیستم موتور الکتریکی تشریح گردید. همچنین درجات آزادی پدستال معرفی شدند. به‌علاوه مأموریت آنتن شامل: فضای کاری، دقت، ابعاد و وزن و شرایط محیطی آنتن بیان گردید. در ادامه به الزامات سیستمی پدستال پرداخته شد. در اینجا مدهای کاری جستجوی پدستال بررسی و نحوه مکان‌یابی پستال بیان شد. سپس به بررسی طراحی موتور الکتریکی پرداخته شد. در این بخش محاسبات گشتاور، توان حرکتی، موتور و درایور ارائه گردید.

در این تحقیق موتور گشتاوری به‌عنوان موتور مناسب جهت به‌کارگیری در پدستال معرفی گردید. استفاده از این موتور موجب سادگی سیستم، عدم نیاز به چرخ‌دنده، افزایش دقت جهت‌یابی و مکان‌یابی، کاهش ابعاد پدستال و افزایش قابلیت اطمینان سیستم را فراهم می‌کند.

شکل ۶. تصاویر موتور گشتاوری و پدستال الف) طراحی نقشه موتورها با سالیدورک. ب) طراحی پدستال با سالیدورک. ج) موتورهای انتخاب شده. د) نصب موتورها بر روی پدستال

مراجع

[1] https://m.antech.it

[2] https://www.digisat.org

[3] https://weibelradars.com

[4] https://www.tcs.la

[5] Maral, G. Bousquet, M. (2009) Satellite Communications Systems Fifth Edition. West Sussex: A John Wiley and Sons Ltd Publication.

[۶] فریار شمشیری امیرکلایی; رضا حسن‌زاده قاسمی. "کنترل یک ربات زیرسطحی جدید با پایداری و مانور پذیری بالا به‌منظور تعقیب هدف " *دوفصلنامه مهندسی شناورهای تندرو*18, 55, 1398, 39-28.

[7] Pattan, B. (1996) Satellite Systems Principles and Technologies. Springer

[۸] مبانی ماشین‌های الکتریکی- ج چاپمن-محمود دیانی- انتشارات نص – بهار ۱۳۹۰

[9]. DC Motors, Speed Controls, Servo Systems, ELECTRO-CRAFT CORPORATION, Science Direct

[۱۰] الکتریک پهپاد- ابوالفضل نصیری، منصور احد نژاد و میثم حاجی- انتشارات دانشگاه هوافضا - ۱۳۹۸

[۱۱] ماشین‌های الکتریکی مخصوص، محمدرضا فیضی و کامران خفافی- انتشارات دانشگاه تبریز - ۱۳۸۰

[۱۲] محمودرضا رضوی‌زاده؛ میثم رئیس‌دانایی. "موقعیت‌یابی هدف متحرک دریایی با استفاده همزمان از ماهواره‌های GEO و فیلتر کالمن" *دوفصلنامه مهندسی شناورهای تندرو* 21, 60, 1401, 70-60.