

## طراحی و شبیه‌سازی یک نمونه آنتن یکپارچه پهن‌بند و همه‌جهته برای شناورهای دریایی

میثم واهب<sup>(۱)</sup> - سید علی هاشمی<sup>(۲)</sup> - حسین امامی<sup>(۳)</sup> - مهدی امامی<sup>(۳)</sup>

(۱) کارشناس ارشد - گروه برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، اصفهان، ایران

(۲) استادیار - گروه برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، اصفهان، ایران

(۳) دکترا - گروه برق، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۲۴

**خلاصه:** امروزه یکی از مسائل تخصصی و با اهمیت در ساخت شناورهای دریایی، طراحی سامانه ارتباط مخابراتی آنها است. همیشه این موضوع مطرح بوده که چگونه می‌توان ارتباط مناسبی برای شناورها در فواصل گوناگون و شرایط آب و هوایی مختلف دریا برقرار کرد، با توجه به اینکه محدودیت‌هایی همچون، حجم تجهیزات، وزن قابل تحمل و ... در شناورها همیشه وجود داشته است. یکی از قسمت‌های اصلی سامانه ارتباط مخابراتی شناورها، آنتن است. مشکل اصلی، استفاده از آنتن‌ها و دکل‌های گوناگون در شناور می‌باشد، زیرا نیاز است امواج با طول موج‌های مختلف و در مسیرهای گوناگون منتشر شوند. اگر بتوان آنتن را طوری طراحی کرد که با ابعاد مورد نظر و حتی‌الامکان کوچک، باند فرکانسی وسیع و همچنین دارای پوشش همه جهات باشد، می‌توان گفت تا اندازه‌ای مشکل اشاره شده برطرف می‌گردد. هدف از این مقاله طراحی و شبیه‌سازی یک نمونه آنتن یکپارچه پهن‌بند و همه‌جهته است، که محدودیت‌ها و مشکلات فوق در شناور را تا حد مناسبی برطرف نموده و از تجمیع دو آنتن در باند فرکانسی  $\text{HF1}=3\text{-}30\text{MHz}$  و  $\text{VHF2/UHF3}=150\text{-}450\text{MHz}$  تشکیل شده است. این آنتن یکپارچه دارای مشخصات الکتریکی و فیزیکی (اهم)  $50\text{-}\Omega$  امپدانس ورودی، پلاریزاسیون خطی عمودی،  $\text{VSWR4}<2.5$ ،  $\text{Gain (dBi)}<4.8$ ،  $12<$  - قطر حداکثر 18cm و ارتفاع حداکثر 538.2cm می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** آنتن یکپارچه پهن‌بند، شناورهای دریایی، آنتن همه‌جهته.

## Design and Simulation of a Sample of Integrated Broadband Antenna and Omni-Directional for Marine Floats

Maisam Vaheb<sup>(1)</sup> - Ali Hashemi<sup>(2)</sup> - Hossein Emami<sup>(3)</sup> - Mahdi Emami<sup>(4)</sup>

(1) MSc. - Department of Electrical Engineereng, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Majlesi, Esfahan, Iran

m\_ahmad.1357@hotmail.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineereng, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Majlesi, Esfahan, Iran

aht1347@yahoo.com

(3) Assistant Professor - Department of Electrical Engineereng, Majlesi Branch, Islamic Azad University, majlesi, Esfahan, Iran

hosseine57@gmail.com

(4) Ph.D. -Department of Electrical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

m.emami@stu.yazd.ac.ir

Nowadays one of the specialized and important issues in construction of marine floats is to design the communication telecom system between them. Always this issue has been posed how to establish an appropriate communication for floats in different distances and different weather conditions in the sea. Due to the restrictions, such as equipment size, weight bearing on the floats has always existed. One of the main parts of telecom communication system is antenna. The main problem, use antennas and Towers various in floats, As required, waves with different wavelength sand different routes to be published. If the antenna can be designed with small dimensions and possible, wide frequency range and also covered omni-directions, the problem has been mentioned above somewhat is resolved. The purpose of this paper is to design and simulate a sample of integration broadband omni-directional antenna, that resolve restrictions above and Integration of two antennas in frequency range of  $\text{VHF/UHF}=150\text{-}450\text{MHz}$  and  $\text{HF}=3\text{-}30\text{MHz}$  with characteristics of 50ohm input impedance, linear vertical polarization,  $\text{VSWR}<2.5$ , antenna gain ranges between (-12) dBi to (4.8)dBi, the maximum antenna diameter of 18cm, and the maximum height of opened antenna of 538.2cm.

**Index Terms:** Integrated broadband antenna, marine floats, omni directional antenna.

نویسنده مسئول: میثم واهب، کارشناس ارشد - گروه برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، مجلسی، اصفهان، ایران، m\_ahmad.1357@hotmail.com

## ۱- مقدمه

امروزه آنتن‌های یکپارچه دریایی جانشین مجموعه آنتن‌های قدیمی شده‌اند، که فضای زیادی روی برجک اشغال می‌کردند. این آنتن‌ها می‌توانند دو یا چند باند فرکانسی را با ساختاری یکپارچه پوشش دهند و برای جداسازی و ارتباط‌گیری در باندهای فرکانسی مختلف، بعد از آنتن، Splitter و یا Diplexer استفاده می‌گردد.

آنتن شناورهای دریایی محدودیتهایی از لحاظ فضا، وزن و شرایط سخت کارایی در محیط دریایی (از نظر شکل، مواد و پوشش) دارند. آنتنهای یکپارچه این شناورها جهت افزایش کارایی از نظر تشعشی، حفاظت و دوام در شرایط محیطی نیز به کار برده می‌شوند. در چیدمان آنتنها به صورت یکپارچه، الگوی تشعشی هر یک از اجزاء بایستی در طراحی در نظر گرفته شود، زیرا ارتباط مخابراتی در دریا ویژگیهایی دارد، از جمله آن استفاده از فرکانس‌های مختلف است، تا بتوان در فواصل گوناگون ارتباط خوبی را برقرار نمود. همچنین شرایط آب و هوایی مختلف از دیگر ویژگیهای این ارتباط است [۱]. برای ایجاد ارتباط شناورها در فواصل گوناگون و شرایط آب و هوایی مختلف نیاز است امواج با طول موج‌های مختلف و از مسیرهای گوناگون از جمله انتشار زمینی و یا آسمانی منتشر شوند. برای پوشش باند وسیع فرکانس باید از آنتن‌های گوناگون و در جهات مختلف استفاده نمود که این موضوع از مشکلات ارتباطات شناورهای دریایی است. برای کاهش تعدد آنتن‌ها و همچنین کاهش فضای اشغال شده و ... آنتن پهن‌بند و همه‌جهته طراحی می‌گردد، تا بتوان توسط آن ارتباط مناسبی بین شناورهای دریایی برقرار نمود. در طراحی باید این موضوع در نظر گرفته شود که اگر امپدانس و پرتو تشعشع آنتن در محدوده  $2F16=Fu5$  یا بیشتر به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نکند، آنتن را در گروه آنتن‌های پهن‌بند قرار می‌دهیم [۲].

با توجه به مشخصات مورد نیاز، آنتن‌های زیر معرفی و مورد بررسی قرار می‌گیرند:

- |                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| الف) آنتن‌های دوقطبی | ب) آنتن‌های مخروطی          |
| ج) آنتن‌های آستینی   | د) آنتن‌های ماریچی          |
| ه) آنتن‌های حلزونی   | و) آنتن‌های متناوب لگاریتمی |
| ز) آنتنهای یگی‌یودا  | ح) آنتن‌های استوانه‌ای [۳]. |

در این مقاله ضمن بررسی آنتن‌های پهن‌بند و همه‌جهته و ارزیابی تحقیقات و کارهای مشابه قبلی نمونه‌ای از یک آنتن پهن‌بند در باند فرکانسی  $HF=3-30MHz$  و نمونه‌ای از یک آنتن پهن‌بند برای باند  $VHF/UHF=150-450MHz$  طراحی و ارائه شده است. سپس با تجمع نمودن این دو آنتن مدلی از یک آنتن یکپارچه پهن‌بند و همه‌جهته طراحی شده، تا بتوان محدودیت فضای موجود در شناور را برطرف نمود. توسط این آنتن و پوشش فرکانسی اشاره شده می‌توان ارتباط تقریباً مناسبی برای شناورهای دریایی و در فواصل گوناگون ایجاد نمود. ضمن اینکه مشکل تعدد آنتن‌ها و فضای اشغال شده نیز برطرف می‌گردد. در نهایت جهت مشخص نمودن ویژگی و مشخصات

آنتن طراحی شده و اعتبار سنجی آنها این آنتن توسط نرم افزار CST شبیه‌سازی شده و پارامترهای آنتن از جمله الگوی تشعشی،  $VSWR$ ، بهره آنتن، نمودار اسمیت چارت، امپدانس آنتن در فرکانسهای مختلف و 7 S-parameters نمایش داده شده است. جهت ساخت آنتن، طراحی آن توسط نرم‌افزار CATIA و جدول ابعاد ارائه گردیده است. مطالب اشاره شده به شرح زیر ارائه می‌شود:

در بخش دوم تحقیقات و کارهای مشابه قبلی ارزیابی و ارائه شده است. در بخش سوم طراحی آنتن مورد نظر بیان خواهد شد. شبیه‌سازی آنتن طراحی شده در بخش چهارم ارائه می‌گردد. مشخصات ساخت آنتن یکپارچه در بخش پنجم و در قسمت ششم نتیجه‌گیری بیان شده است.

## ۲- بررسی تحقیقات و طرح‌های مشابه قبلی

در این مقاله بررسی و تحقیق بر روی آنتن‌های پهن‌بند انجام شده است. آنتن‌هایی که بتوانند محدوده‌ای از باندهای فرکانسی  $VHF/UHF$  و  $HF$  را پوشش دهند (۴۵۰-۱۵۰ مگاهرتز و ۳۰-۳ مگاهرتز). در نظر است پس از تحقیق و طراحی دو آنتن فوق، ساختاری تجمع شده پیشنهاد گردد. در نهایت می‌توان با استفاده از آنتن ارائه شده در این مقاله ارتباط مخابراتی شناورها را برقرار نمود و مسئله تعدد آنتن‌ها و دکل‌ها در سطح شناور را حل کرد. از ویژگیهای این آنتن می‌توان به پهنای باند مناسب، ابعاد کوچک، پوشش همه‌جهت، کارایی مناسب از جمله  $VSWR < 2.5$  و  $Gain < 4.8 (dBi) < 12-$  اشاره کرد. در خصوص طراحی آنتن فوق تحقیقات و فعالیت‌های پژوهشی گذشته در زمینه آنتن‌های پهن‌بند  $VHF/UHF$  و  $HF$  که بعضاً در شناورها و یا ساحل استفاده شده‌اند بررسی شده و نمونه‌هایی از این تحقیقات که به صورت مقاله ارائه شده در این بخش مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

تحقیقات موجود در طراحی آنتن  $VHF/UHF$  نتایج خوبی از جمله در ابعاد مناسب، پوشش فرکانسی مورد نظر و  $VSWR$  پائین داشته است. یکی از تکنیک‌های خوب در طراحی آنتن‌های پهن‌بند استفاده از آستین است.

الف) در سال ۲۰۱۴ آقای یانگ و همکارانش یک ساختار با عملکرد بسیار مناسب در فرکانس‌های  $VHF/UHF$  معرفی نموده‌اند. در این ساختار که از تکنیک آنتن مونوپل آستینی استفاده شده است علاوه بر کاهش ابعاد و حجم در فرکانس طراحی شده افزایش باند قابل ملاحظه و چشمگیری دارد. این آنتن مشکلات ناشی از ارتفاع بلند آنتن‌های مونوپل سیمی سنتی ساده را کاهش داده است و ساختار شکلی دارد. ساخت این آنتن نیز ساده می‌باشد. نتایج در این مقاله بیانگر دستیابی به تطبیق امپدانس مناسب در باند فرکانسی ۱۲۰ تا ۵۰۰ مگاهرتز می‌باشد. همچنین با به کارگیری این ساختار کاهش ابعادی در حدود ۳۰٪ دارد، چرا که در این فرکانس مونوپلی به ارتفاع تقریبی ۶۲ سانتی‌متر مورد نیاز می‌باشد. در بررسی این آنتن مشخص است همه جهات را پوشش می‌دهد لکن یک محدودیت وجود دارد و آن  $VSWR$

پوشش فرکانسی و کارایی دارد و همچنین آنتنی همه‌جهته می‌باشد. ارتفاع این آنتن نیز مناسب می‌باشد لکن عریض بودن آنتن (عرض حدود ۱۸۰ سانتی‌متر) محدودیتی محسوب می‌شود. پوشش باند فرکانسی HF در سامانه مخابراتی شناور نیاز است با آنتنی صورت گیرد که ابعاد مناسب و حتی‌الامکان کوچک داشته باشد و همه جهات را نیز پوشش دهد. آنتن HF طراحی شده در این مقاله ابعاد مناسب و کوچکی داشته و همه جهات را پوشش می‌دهد لکن محدودیتی دارد و آن هم برد تطبیق است و باید بطور جداگانه طراحی و در کنار آنتن قرار گیرد که نیاز است در تحقیقات آینده راهکاری برای افزایش سرعت تطبیق امپدانس در این آنتن به دست آورد. در جدول (۱) مقایسه تحقیقات مشابه و نمونه طراحی شده در این مقاله در سه ویژگی مهم (نمودار VSWR، الگوی تشعشعی و ابعاد فیزیکی) ارائه شده است.

Table (1): Comparison of similar researches and sample design  
جدول (۱): مقایسه تحقیقات مشابه و نمونه طراحی شده

ردیف	عنوان تحقیق	VSWR	الگوی تشعشعی	ابعاد (cm)	وضعیت کاربرد
۱	الف	>2.5	omni	۵۰*۱۴	نا مناسب
۲	ب	<2.5	.....	۷۰*۶۴	نا مناسب
۳	ج	<2.5	.....	۲۲۰۰*۱۲۰۰	نا مناسب
۴	د	<2.5	omni	۳۰۰*۱۸۰	نا مناسب
۵	نمونه طراحی	<2.5	omni	۵۴۰*۱۸	مناسب

### ۳- اصول طراحی آنتن پهن‌بند و همه‌جهته

در طراحی یک آنتن پهن‌بند و همه‌جهته نکات زیر مد نظر قرار می‌گیرد:

الف) امپدانس آنتن در بازه فرکانسی وسیع نباید تغییرات زیادی داشته باشد. این ویژگی در نمودار اسمیت چارت، VSWR، S-parameter خود را نشان می‌دهد، بدین صورت که این نمودارها مقادیر پایینی دارند.

ب) بهره و کارایی آنتن در بازه فرکانسی وسیع مقدار خوب و مناسبی داشته باشد.

ج) نقشه و یا پرتو تشعشعی آنتن همه جهات در یک صفحه را پوشش دهد. به طور مثال در صفحه  $\Theta=90$  [۸].

### ۳-۱- طراحی آنتن یکپارچه

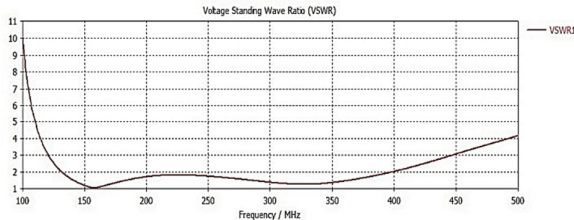
از بررسی صورت گرفته در آنتن‌های اشاره شده در نهایت جهت رسیدن به پهنای باند مورد نیاز و پوشش همه جهات در یک صفحه، از دو آنتن پهن‌بند و همه‌جهته استفاده شده است، که یکی از آنتن‌ها بازه فرکانسی (VHF/UHF) 150-450MHZ و دیگری می‌تواند محدوده فرکانسی (HF) 3-30MHZ را پوشش دهد، سپس این آنتن‌ها به صورت یکپارچه طراحی و نقشه ساخت آن ارائه شده است.

بالتر از ۲/۵ بین فرکانس ۱۰۰ تا ۲۵۰ مگا هرتز است که با اهداف پروژه مورد تحقیق در این مقاله همخوانی ندارد. از نیازمندیهای طرح مورد تحقیق می‌توان به ابعاد حداقل، امپدانس ورودی ۵۰ اهم و  $VSWR < 2.5$  و همه‌جهته بودن الگوی تشعشعی آنتن اشاره کرد که باعث شد تحقیقات ادامه یافته و بررسی‌ها بر روی تکنیک‌های دیگر ادامه یابد. آنتن طراحی شده در این مقاله دارای قطر حداکثر ۱۸ سانتی‌متر و  $VSWR < 2.5$  همچنین پرتو تشعشعی همه‌جهته در صفحه می‌باشد [۴].

ب) از روشها و تکنیک‌های دیگر برای طراحی آنتن‌های پهن‌بند استفاده از شکل هندسی مخروط است. آقای زنگ و همکارانش در سال ۲۰۱۴ آنتن مجتمع در باندهای فرکانسی VHF/UHF طراحی و ارائه نموده‌اند [۵]. در این آنتن از تکنیک صفحه و مخروط استفاده شده و تغییراتی در شکل آنتن جهت پهن‌بند نمودن انجام شده است. اگر یکی از مخروطها در آنتن دو مخروطی محدود توسط یک صفحه زمین به شکل یک دیسک جایگزین شود، ساختاری به شکل آنتن دیسک و مخروط یا آنتن تک مخروطی پدید می‌آید. این آنتن در بازه فرکانسی ۱۲۰-۸۰۰ مگاهرتز کارایی داشته و  $VSWR < 2$  همچنین امپدانس ورودی ۵۰ اهم از ویژگیهای خوب این آنتن است. لکن در بررسی مشخصات پرتو تشعشعی ملاحظه می‌شود که این آنتن در صفحه همه-جهته نمی‌باشد و ابعاد فیزیکی آن بزرگ است و مشکل ارتباطی شناورهای دریایی در همه جهات را برطرف نمی‌نماید، زیرا آنتن‌های مد نظر در این تحقیق و قابل استفاده در شناور، نیاز است همه‌جهته باشند. آنتن مجتمع VHF/UHF طراحی شده در این مقاله ضمن دارا بودن ویژگیهای کارایی مناسب مشکل فوق را برطرف و همه جهات را پوشش می‌دهد.

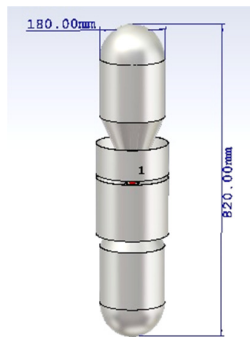
ج) در بررسی آنتن‌های HF ملاحظه شد که آنتن‌های سیمی نمونه مناسبی جهت استفاده در ارتباط مخابراتی دریا است زیرا حجم آنتن کوچک بوده و در مقابل حرکت شناور از خود مقاومتی نشان نداده و بر سرعت حرکت تاثیر نمی‌گذارد ضمن اینکه روشهای گوناگونی در استفاده از این نوع آنتن‌ها وجود دارد. آقای لین و همکارش در سال ۲۰۱۳ تحقیقاتی در خصوص آنتنهای سیمی HF انجام داده و مدلی از این آنتن را ارائه نموده‌اند [۶]. این آنتن دارای  $VSWR < 2.5$  بوده و نیازی به تطبیق امپدانس ندارد، لکن این آنتن ابعاد تقریباً بزرگی دارد (عرض آنتن ۲۲ متر و ارتفاع آن ۱۲ متر) و همچنین پرتو تشعشعی آن همه جهات را پوشش نمی‌دهد. از این آنتن در ساحل و یا کشتی و شناورهای بزرگ می‌توان استفاده نمود، لکن مشکل عدم پوشش همه جهات را دارد که این ویژگیها محدودیت‌هایی به شمار می‌رود. آنتن HF طراحی شده در این مقاله دارای قطر ۶ میلی‌متر و ارتفاع حداکثر ۴۶۰ سانتی‌متر می‌باشد و همه جهات را پوشش می‌دهد، لکن نیاز به برد تطبیق دارد و باید به طور جداگانه برای آنتن طراحی گردد.

د) آقای کیو و همکارانش در سال ۲۰۱۲ نمونه‌ای از یک آنتن HF طراحی و ارائه نموده‌اند [۷]. این آنتن سیمی ویژگیهای خوبی از نظر

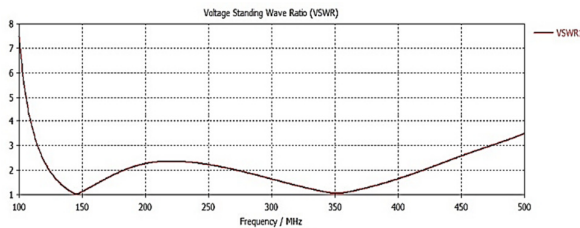


شکل (۳): نمودار VSWR آنتن نمونه اول VHF/UHF  
Fig. (3): VSWR chart of first VHF/UHF antenna

جهت پایین آوردن میزان قطر آنتن و نمودار VSWR در انتهای باند فرکانسی طراحی ادامه یافت، با تغییرات نرم در شکل استوانه‌ای و همچنین استفاده از نیم‌کره جهت افزایش بهره آنتن (اضافه نمودن تشعشعگر) نمونه دوم مطابق شکل (۴) طراحی شد. نمودار VSWR این آنتن در شکل (۵) ارائه شده است. مشخص است که نمودار VSWR در انتهای باند کاهش یافته است.



شکل (۴): آنتن نمونه دوم VHF/UHF  
Fig. (4): Second VHF/UHF antenna



شکل (۵): نمودار VSWR آنتن نمونه دوم VHF/UHF  
Fig. (5): Vswr chart of second VHF/UHF antenna

در مرحله سوم و آخر طراحی، جهت کاهش نمودار VSWR و ابعاد فیزیکی آنتن، تغییر در طراحی ارتفاع آستین‌ها صورت گرفته است در این طراحی به جای مخروط از استوانه استفاده گردیده، در شکل (۶) آنتن طراحی شده مورد نظر نمایش داده شده و نمودار VSWR این آنتن در شکل (۷) ارائه شده است [۹،۱۰].

### ۲-۳- طراحی آنتن VHF/UHF

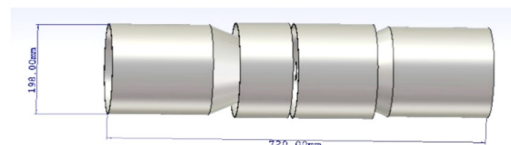
در این تحقیق روش کار برای طراحی آنتن روش مرحله‌ای می‌باشد. برای طراحی آنتن VHF/UHF با توجه به ویژگیهای خواسته شده ابتدا کار را با طراحی آنتن‌های دو قطبی مخروطی، شروع و با تغییراتی در شکل آنتن دو مخروطی، نمونه شکل (۱) طراحی و نتایج شبیه‌سازی آن (نمودار VSWR) مورد بررسی قرار گرفته است. در طراحی اولیه از روابط آنتن دو قطبی نیم موج استفاده شده است.



شکل (۱): آنتن دو مخروطی VHF/UHF  
Fig. (1): Bicone VHF/UHF antenna

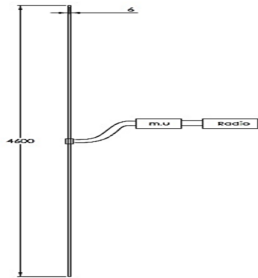
از آنجایی که امپدانس ورودی آنتنهای مخروطی وابسته به زاویه رأس مخروط می‌باشد به دست آوردن امپدانس ورودی ۵۰ اهم موجب زاویه‌ی بزرگتر رأس و در نتیجه، قطر غیر قابل قبولی برای آنتن خواهد شد. به همین دلیل این آنتن با امپدانس ورودی ۱۸۰ اهم طراحی شده است البته با اینکه این آنتن مشخصات بسیار قابل قبولی را در پهنای باند مورد نظر دارا می‌باشد، با توجه به ارتفاع بیش از ۱/۵ متری و قطر بیش از ۶۰ سانتی‌متر این آنتن، استفاده از آن برای کاربرد مورد نظر ما ناممکن خواهد بود.

در طراحی مرحله دوم از آنتن استوانه‌ای استفاده شده است. قطر آنتن حداکثر قطر مجاز در این تحقیق (20cm) و طراحی ارتفاع در انتهای باند فرکانسی صورت گرفت. همچنین آستینهایی جهت پهن‌بند شدن آنتن، طراحی شده است. این آنتن ویژگیهای مناسبی دارد. شکل (۲) آنتن مورد نظر را نشان می‌دهد. نمودار VSWR آنتن نمونه اول که به صورت نسبی مناسب است در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل (۲): آنتن نمونه اول VHF/UHF  
Fig. (2): First VHF/UHF antenna

با استفاده از اضافه نمودن برد تطبیق امپدانس (MU8) به صورت دستی و یا اتوماتیک موضوع پوشش پهنای باند HF برطرف می‌گردد [۱۱،۱۲،۱۳].



شکل (۸): آنتن HF  
Fig. (8): HF antenna

### ۳-۴- طراحی برد تطبیق آنتن HF

برد تطبیق وظیفه تطبیق امپدانس منبع تغذیه ورودی (یا گیرنده) و ساختار آنتن را در فرکانس مختلف به عهده دارد که به صورت دستی و اتوماتیک این عمل صورت می‌گیرد. نمونه‌هایی از طراحی مدار تطبیق در فرکانس‌های مورد نیاز در این تحقیق (۳ و ۹ و ۱۶.۵ و ۲۳ مگاهرتز) نمایش داده شده است. این فرکانسها جهت ارتباطات شناور با اهداف مورد نظر و در فواصل مختلف به کار برده می‌شود [۱۴]، [۱۵].

البته مشخص است که آنتن طراحی شده می‌تواند در کلیه فرکانسهای باند HF به کمک مدار تطبیق امپدانس مربوطه مورد استفاده قرار گیرد. جهت طراحی مدار تطبیق امپدانس آنتن سیمی از طریق شبیه-سازی آنتن و نمودار اسمیت، امپدانس آنتن محاسبه شده است. طراحی مدار تطبیق توسط نرم‌افزار RF9 design (Smith chart) صورت گرفته است. همانطور که در شبیه‌سازی مشخص است، پس از تطبیق، امپدانس آنتن به مرکز نمودار اسمیت نزدیک شده، که این بیانگر انتقال حداکثر توان به آنتن است [۱۶].

### ۳-۵- طراحی مدار تطبیق امپدانس در فرکانس 3MHz

مدار تطبیق امپدانس اصولاً از المانهای سلف و خازن تشکیل شده که بر اساس منطق نمودار اسمیت، امپدانس را به مرکز نمودار منتقل نموده و به تعبیری تطبیق صورت می‌گیرد. در فرکانسهای پائین نیاز است مقاومت اهمی کوچک نیز در مدار تطبیق در نظر گرفته شود. در شکل (۹) تطبیق امپدانس آنتن HF در فرکانس ۳ مگاهرتز نمایش داده شده است.

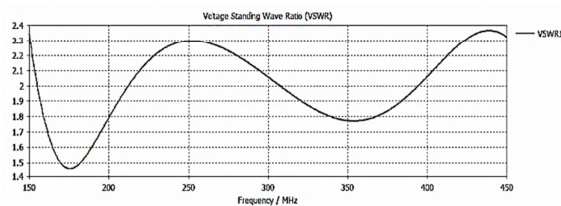
$$Z_o=50\Omega, f=3\text{MHz}, L_s=166108.4\text{nH}$$

$$R_s=5.5\Omega, C_{sh}=2937.5\text{PF}$$

$$\text{antenna Impedance}=0.0013-j3079.9\Omega \text{ VSWR}=1.1$$



شکل (۶): آنتن VHF/UHF  
Fig. (6): VHF/UHF antenna

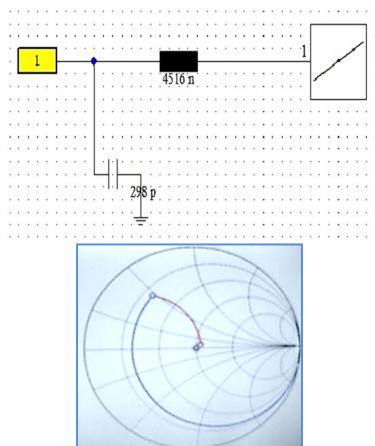


شکل (۷): نمودار VSWR آنتن VHF/UHF  
Fig. (7): VSWR chart VHF/UHF antenna

همانطور که در این طراحی اثبات می‌شود با استفاده از آنتن استوانه‌ای و نیم‌کره می‌توان پهنای باند قابل قبولی را پوشش داد. ضمن اینکه این آنتن از انواع دو قطبی نیم‌موج بوده و ضمن پوشش همه جهات دارای پلاریزاسیون خطی عمودی است.

### ۳-۳- طراحی آنتن HF

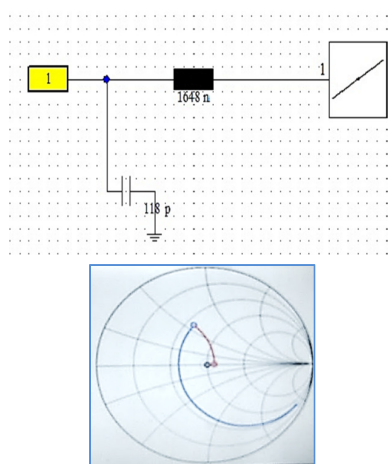
نکته مهم در حوزه فرکانس HF بزرگ بودن طول موج و متفاوت بودن مسیر انتشار امواج است که قسمتی از امواج از مسیر آسمان و برخورد با لایه‌های جو منتشر می‌شود، و در نهایت باعث می‌شود ابعاد آنتن بسیار بزرگ باشد. طراحی آنتن در باند HF به دو صورت ممکن است. نوع اول آنتن‌هایی هستند که بصورت تلفاتی عمل کرده و ابعاد بزرگی دارند. این آنتن‌ها راندمان پایینی داشته و کل باند را پوشش می‌دهند. نوع دوم آنتن‌هایی هستند که به کمک برد تطبیق امپدانس، کل باند را پوشش می‌دهند. آنتنهای رزونانسی دو قطبی و تک قطبی از جمله نوع دوم هستند و به تنهایی باند باریکی از فرکانس را پوشش می‌دهند. البته این نوع از آنتن‌ها دارای ابعاد کوچکتری هستند. با توجه به محدودیت فضا و کاهش ابعاد آنتن در این تحقیق طراحی بر روی آنتن سیمی دو قطبی (آنتن نیم موج) در فرکانس 30MHz انجام شده است. ضخامت این آنتن، از سیمی به قطر ۶ میلی‌متر و ارتفاع آن از محاسبات طول آنتن در انتهای باند به دست آمده است. شکل (۸) آنتن طراحی شده را نشان می‌دهد. همانطور که اشاره شد این آنتن از نوع رزونانسی بوده و در محدوده 30MHz کارایی دارد. لذا مدار تطبیق امپدانس در فرکانس‌های مورد استفاده در این تحقیق طراحی و



شکل (۱۱): مدار تطبیق به همراه شبیه‌سازی نمودار اسمیت 16.5 MHz  
Fig. (11): Matching circuit with simulation of Smith Chart 16.5 MHz

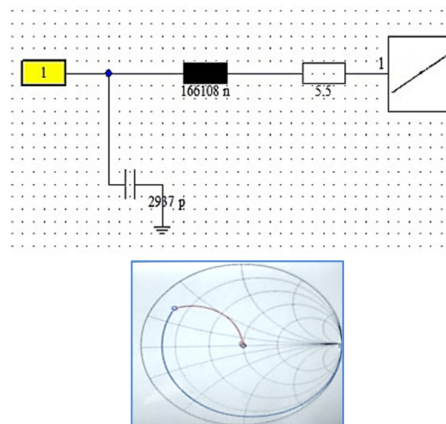
۳-۸- طراحی مدار تطبیق امپدانس در فرکانس 23MHz  
همانطور که در شکل (۱۲) مشخص است، مدار تطبیق امپدانس آنتن HF در فرکانس ۲۳ مگاهرتز با مقادیر کمتری از سلف و خازن نمایش داده شده است.

$Z_o=50\Omega$  ,  $f=23\text{MHz}$ ,  $L_s=1648.6\text{nH}$ ,  
 $C_{sh}=118.06\text{PF}$   
antenna Impedance= $29.47-j209.74\Omega$  VSWR=1.14



شکل (۱۲): مدار تطبیق به همراه شبیه‌سازی نمودار اسمیت 23 MHz  
Fig. (12): Matching circuit with simulation of Smith Chart 23 MHz

۳-۹- یکپارچه نمودن آنتن‌های VHF/UHF و HF جهت استقرار بر روی شناور  
با توجه به فضای محدود بر روی شناور دو نمونه آنتن طراحی شده به صورت شکل (۱۳) جهت استقرار بر روی شناور یکپارچه و جمع‌شده است. پیشنهاد می‌گردد، جهت جمع کردن آنتن سیمی HF، از بازوی

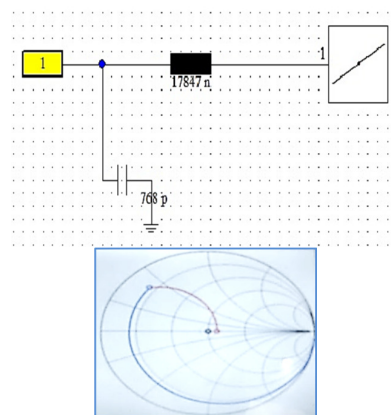


شکل (۹): مدار تطبیق به همراه شبیه‌سازی نمودار اسمیت 3 MHz  
Fig. (9): Matching circuit with simulation of Smith chart 3 MHz

### ۳-۶- طراحی مدار تطبیق امپدانس در فرکانس 9MHz

در شکل (۱۰) مدار تطبیق آنتن HF در فرکانس ۹ مگاهرتز نمایش داده شده است، ملاحظه می‌شود که در این فرکانس نیازی به مقاومت اهمی نیست.

$Z_o=50\Omega$  ,  $f=9\text{MHz}$ ,  $L_s=17847.6\text{nH}$   
 $C_{sh}=768.17\text{PF}$   
antenna Impedance= $7.85-j989.24\Omega$  VSWR=1.18



شکل (۱۰): مدار تطبیق به همراه شبیه‌سازی نمودار اسمیت 9 MHz  
Fig. (10): Matching circuit with simulation of Smith chart 9 MHz

### ۳-۷- طراحی مدار تطبیق امپدانس در فرکانس 16.5MHz

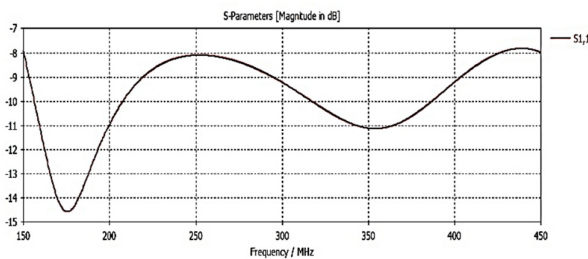
در شکل (۱۱) مدار تطبیق امپدانس در وسط باند HF نمایش داده شده است، مقادیر سلف و خازن با افزایش فرکانس، کاهش می‌یابد.

$Z_o=50\Omega$  ,  $f=16.5\text{MHz}$ ,  $L_s=4516\text{nH}$   
 $C_{sh}=298.55\text{PF}$   
antenna Impedance= $13.16-j443.52\Omega$  VSWR=1.17

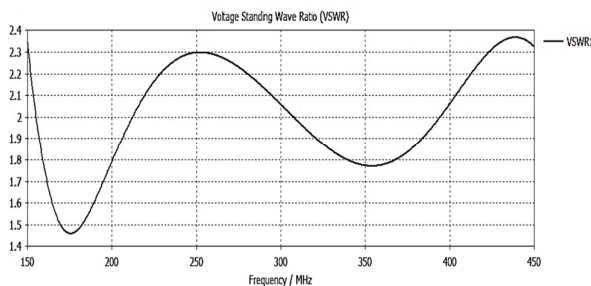


شکل (۱۴): شبیه‌سازی آنتن VHF/UHF  
Fig. (8): Simulation VHF/UHF antenna

از نتایج شبیه‌سازی در شکل (۱۵) مشخص است میزان S-parameter یا  $S_{11}$  که همان موج بازگشتی یا انعکاسی است (پارامتر پراکندگی) پائین است ( $S\text{-parameter} < -8\text{dB}$ ) و همچنین مقدار VSWR که نسبت موج ساکن یا نسبت موج ایستای ولتاژ است. در شکل (۱۶) نمایش داده شده که از طریق این نسبت، میزان تطبیق امپدانس تغذیه و ساختار آنتن تعیین می‌گردد. همان طور که مشخص است این نسبت نیز کوچک است ( $VSWR < 2.4$ ). در نهایت مشخص است، آنتن شبیه‌سازی شده در باند فرکانسی مورد نظر تغییرات امپدانس پائینی داشته و این آنتن پهن‌بند می‌باشد و توان مناسبی را منتقل می‌نماید و به اصطلاح کارایی مناسبی دارد.



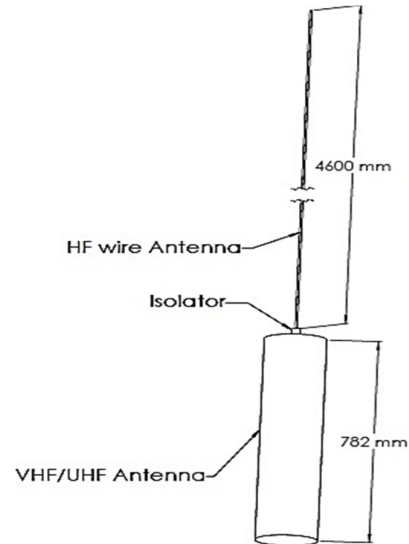
شکل (۱۵): نمودار s-parameter  
Fig. (15): S-parameter chart



شکل (۱۶): نمودار VSWR آنتن VHF/UHF  
Fig. (16): VSWR chart VHF/UHF antenna

مکانیکی استفاده شود تا بتوان ابعاد کل آنتن را در زمانهای عدم استفاده باز هم کوچکتر کرد.

دکل ثابت آنتن جمع‌شده یکپارچه بایستی طراحی هیدرودینامیکی مناسبی داشته باشد، لذا شناور باید بتواند در داخل آب و در شرایط بد آب و هوای دریایی با سرعت حرکت کند. همانطور که مشخص است آنتن سیمی HF توسط قطعه عایق بر روی آنتن VHF/UHF قرار گرفته است. حداکثر قطر آنتن جمع‌شده در قسمت پائین 18cm و ارتفاع آن 538.2cm می‌باشد.



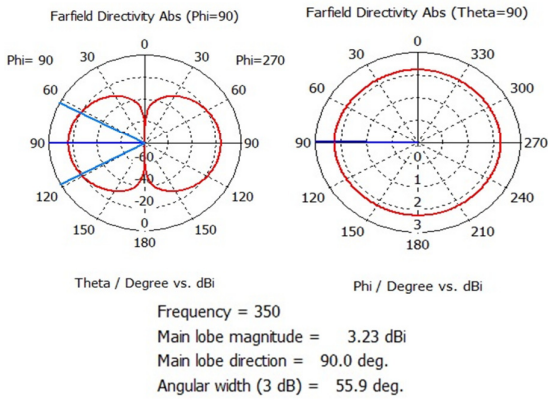
شکل (۱۳): آنتن یکپارچه  
Fig. (13): Integrated antenna

#### ۴- شبیه‌سازی آنتن

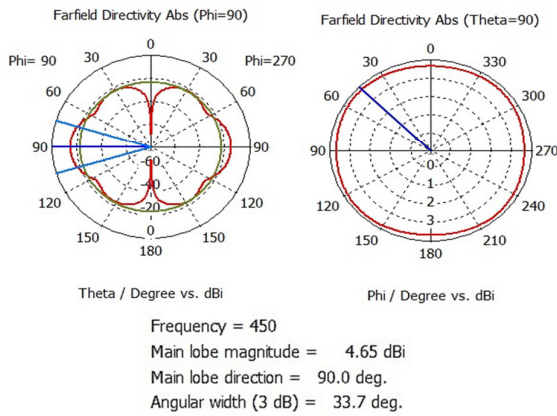
در این بخش آنتن طراحی شده توسط نرم‌افزار CST شبیه‌سازی و مشخصات آنتن نمایش داده می‌شود. در شبیه‌سازی صورت گرفته روکش تفلون جهت عایق‌بندی اطراف آنتن در نظر گرفته شده و جنس تشعشع‌کننده PEC10 فرض شده است.

#### ۴-۱- شبیه‌سازی آنتن VHF/UHF

در این شبیه‌سازی مشخصات الگوی، بهره، VSWR، امپدانس ورودی نمودار اسمیت و S-parameter محاسبه و ارائه شده است. در شکل (۱۴) آنتن VHF/UHF شبیه‌سازی شده مشخص است.

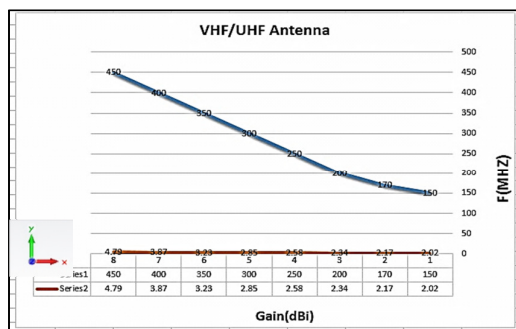


شکل (۲۰): الگوی تشعشعی آنتن VHF/UHF در فرکانس 350MHZ  
Fig. (20): Antenna radiation pattern in 350 MHz



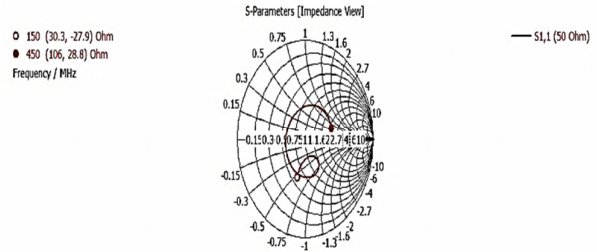
شکل (۲۱): الگوی تشعشعی آنتن VHF/UHF در فرکانس 450MHZ  
Fig. (21): Antenna radiation pattern in 450 MHz

در شکل (۲۲) نمودار بهره آنتن نسبت به تغییرات فرکانس مشخص شده است. با افزایش فرکانس بهره آنتن نیز افزایش می‌یابد. ( $2.02 < \text{Gain} < 4.8 \text{ dBi}$ )



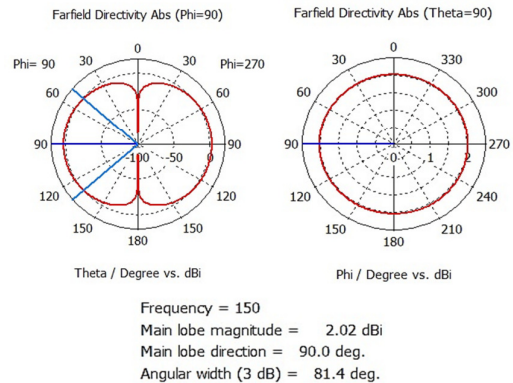
شکل (۲۲): نمودار بهره آنتن VHF/UHF در فرکانس 150-450MHZ  
Fig. (22): Chart antenna gain for 150-450MHz

همانطور که در شکل (۱۷) مشخص است، نمودار اسمیت این آنتن در فرکانس‌های ۱۵۰-۴۵۰ مگاهرتز در اطراف مرکز در حال نوسان است و تغییرات امپدانس آنتن کم است، که مشخص می‌کند این آنتن در پهنای باند وسیعی در حدود ۳:۱ می‌تواند کارایی مناسبی داشته باشد.

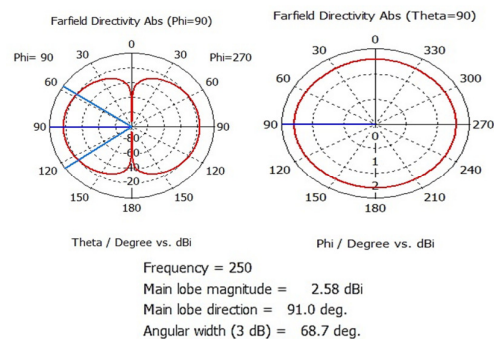


شکل (۱۷): نمودار اسمیت آنتن VHF/UHF  
Fig. (17): Smith Chart VHF/UHF antenna

در شکل‌های (۱۸) و (۱۹) و (۲۰) و (۲۱) الگو و الگوی تشعشعی آنتن در چهار فرکانس نمونه (۱۵۰، ۲۵۰، ۳۵۰، ۴۵۰ مگاهرتز)، در صفحه E و H نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود آنتن به صورت همه‌جهته عمل کرده و لوب اصلی تمام جهات یک صفحه ( $\text{Theta}=90$ ) را پوشش می‌دهد.



شکل (۱۸): الگوی تشعشعی آنتن VHF/UHF در فرکانس 150MHZ  
Fig. (18): Antenna radiation pattern in 150 MHz

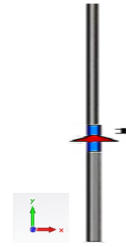


شکل (۱۹): الگوی تشعشعی آنتن VHF/UHF در فرکانس 250MHZ  
Fig. (19): Antenna radiation pattern in 250 MHz



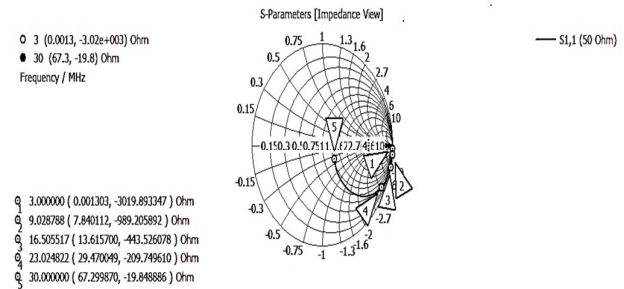
#### ۲-۴- شبیه‌سازی آنتن HF به همراه برد تطبیق

در شکل (۲۳) ساختار آنتن سیمی شبیه‌سازی شده مشخص گردیده است.



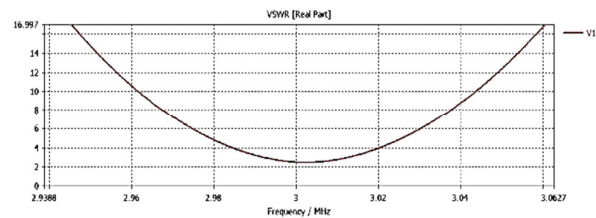
شکل (۲۳): شبیه‌سازی آنتن HF  
Fig. (23): HF antenna simulation

همانطور که در شکل (۲۴) مشخص است، امپدانس آنتن HF جدای از فرکانس ۳۰ مگاهرتز که فرکانس طراحی آنتن است، دارای مقدار موهومی بسیار بزرگ بوده و در حاشیه نمودار اسمیت قرار دارد و تطبیق امپدانس در فرکانس‌های دیگر ضروری است.

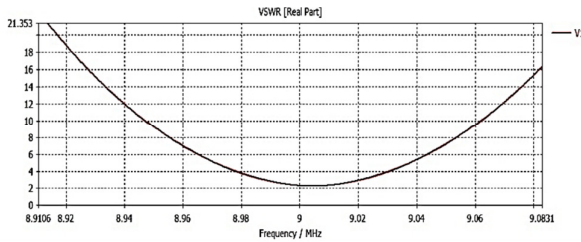


شکل (۲۴): نمودار اسمیت آنتن HF قبل از تطبیق امپدانس  
Fig. (24): HF antenna Smith chart before impedance matching

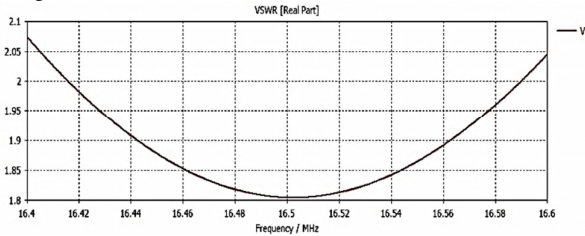
در شکل‌های (۲۵) و (۲۶) و (۲۷) و (۲۸) نمودارهای VSWR آنتن HF بعد از تطبیق امپدانس در فرکانس‌های مورد نیاز 3,9,16.5,23MHz نمایش داده شده و تأیید می‌کند که این نسبت پائین و مناسب است. در شکل (۲۹) نمودار VSWR آنتن HF در فرکانس 30MHz بدون تطبیق ارائه شده است.



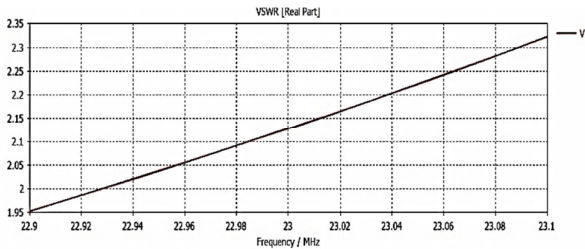
شکل (۲۵): نمودار VSWR آنتن HF در فرکانس 3MHz بعد از تطبیق  
Fig. (25): HF antenna VSWR chart in 3MHz after the match



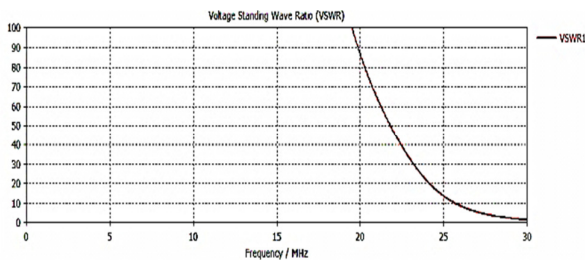
شکل (۲۶): نمودار VSWR آنتن HF در فرکانس 9MHz بعد از تطبیق  
Fig. (26): HF antenna VSWR chart in 9MHz after the match



شکل (۲۷): نمودار VSWR آنتن HF در فرکانس 16.5MHz بعد از تطبیق  
Fig. (27): HF antenna VSWR chart in 16.5MHz after the match

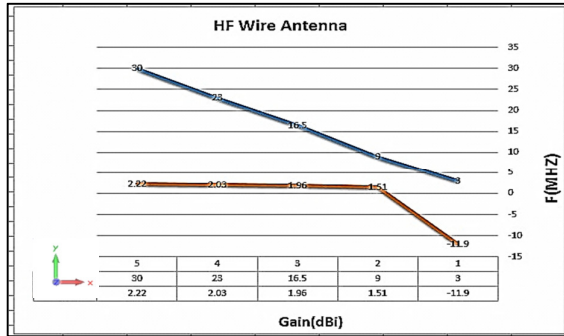


شکل (۲۸): نمودار VSWR آنتن HF در فرکانس 23MHz بعد از تطبیق  
Fig. (28): HF antenna VSWR chart in 23MHz after the match



شکل (۲۹): نمودار VSWR آنتن HF در فرکانس 30MHz  
Fig. (29): HF antenna VSWR chart the 30MHz

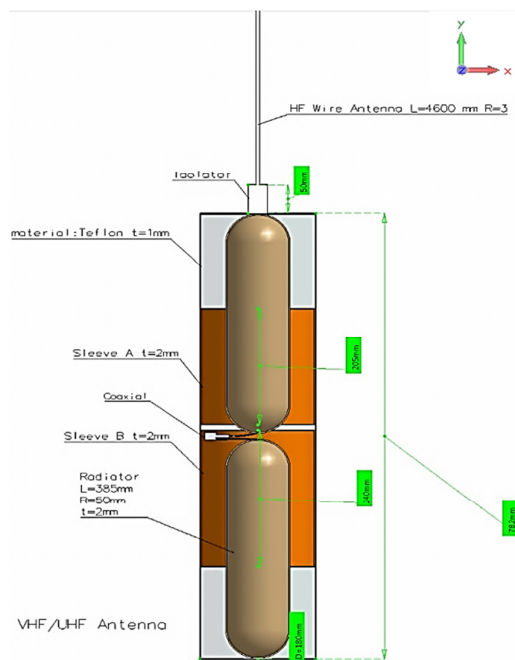
در شکل‌های (۳۰) و (۳۱) و (۳۲) الگوی تشعشعی آنتن در سه فرکانس مختلف باند HF (ابتداء، وسط و انتهای باند) به صورت نمونه نشان داده شده است. همان طور که مشخص است آنتن به صورت همه‌جهته عمل کرده و لوب اصلی آن تمام جهات یک صفحه (Theta=90) را پوشش می‌دهد.



شکل (۳۳): نمودار بهره آنتن HF در فرکانس 3-30MHz  
Fig. (33): Chart antenna gain for 3-30MHz

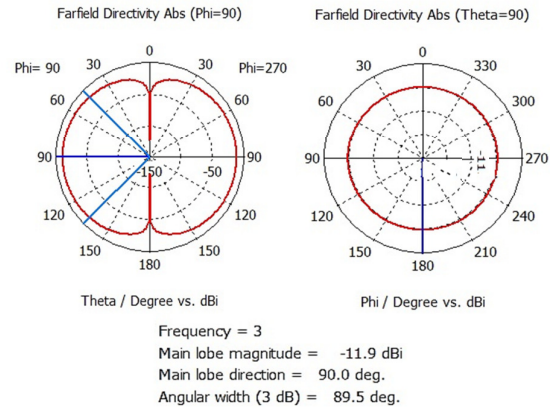
### ۵- مشخصات ساخت آنتن

در این بخش با عنایت به امکان‌سنجی ساخت آنتن، نقشه ساخت آنتن توسط نرم‌افزار CATIA شبیه‌سازی و در شکل (۳۴) نمایش داده شده است. همچنین جدول‌های (۲) و (۳) ابعاد و جنس پیشنهادی برای ساخت را ارائه می‌نماید [۱۷، ۱۸].

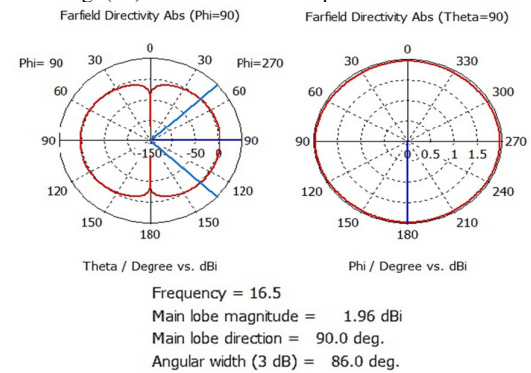


شکل (۳۴): نقشه ساخت آنتن یکپارچه  
Fig. (34): Build map of integrated antenna

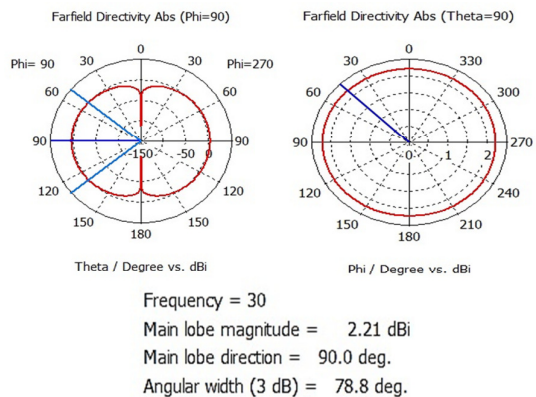
در شکل (۳۳) نمودار بهره آنتن HF نسبت به تغییرات فرکانس مشخص است. با افزایش فرکانس بهره آنتن نیز افزایش می‌یابد. ( $-12 < \text{Gain} < 2.22 \text{dBi}$ )



شکل (۳۰): الگوی تشعشعی آنتن HF در فرکانس 3MHz  
Fig. (30): Antenna radiation pattern in 3 MHz



شکل (۳۱): الگوی تشعشعی آنتن HF در فرکانس 16.5MHz  
Fig. (31): Antenna radiation pattern in 16.5 MHz



شکل (۳۲): الگوی تشعشعی آنتن HF در فرکانس 30MHz  
Fig. (32): Antenna radiation pattern in 30 MHz

در شکل (۳۳) نمودار بهره آنتن HF نسبت به تغییرات فرکانس مشخص است. با افزایش فرکانس بهره آنتن نیز افزایش می‌یابد. ( $-12 < \text{Gain} < 2.22 \text{dBi}$ )

### ۶- نتیجه گیری

طراحی آنتنهای پهن باند و همه‌جهته از موضوعات مهم حال حاضر است. خصوصاً اینکه در شناورهای دریایی محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. در تحقیقات صورت گرفته با تغییرات در آنتن پهن باند مخروطی و استوانه نمودن مخروطها، مدلی از یک آنتن پهن باند طراحی گردید. که می‌تواند پهنای باند ۳:۱ را در حوزه باندهای فرکانسی VHF و UHF (۱۵۰-۴۵۰ مگاهرتز) پوشش داده و در این محدوده  $VSWR < 2.5$  بوده و همه جهات در یک صفحه را از نظر ارسال و دریافت پشتیبانی نماید. همچنین جهت باند HF با توجه به محدودیت در شناور، طراحی در حوزه آنتنهای سیمی دو قطبی انجام گرفت و در فرکانس ۳۰ مگاهرتز آنتن نیم موج طراحی گردید و با توجه به تغییرات امپدانس این آنتن در فرکانس‌های مختلف، مشکل از طریق اضافه نمودن مدار تطبیق امپدانس برطرف شد. در نهایت آنتن جمع‌شده و یکپارچه طراحی شده در بازه  $HF=3-30MHz$  و  $VHF/UHF=150-450MHz$  در قالب نقشه ساخت ارائه شد که دارای ویژگی: اهم = ۵۰ امپدانس ورودی، پلاریزاسیون خطی عمودی،  $VSWR < 2.5$ ،  $Gain < 4.8dBi$ ،  $Gain > 12$ ، قطر آنتن جمع‌شده حداکثر 18cm و ارتفاع آن حداکثر 538.2cm می‌باشد. لذا می‌توان از شبیه‌سازی صورت گرفته نتیجه گرفت آنتن یکپارچه از مشخصات نسبتاً خوبی برخوردار است و سه باند فرکانسی اشاره شده را پوشش می‌دهد. لکن در حوزه HF پیشنهاد می‌گردد موضوع کاهش ابعاد آنتن و طراحی برد تطبیق به صورت اتوماتیک و افزایش سرعت تطبیق در آینده مورد تحقیق قرار گیرد.

### پی‌نوشت

- 1- High Frequency
- 2- Very High Frequency
- 3- Ultra High Frequency
- 4- Voltage Standing Wave Ratio
- 5- Upper Frequency
- 6- Lower Frequency
- 7- Scattering parameters
- 8- Matching Unite
- 9- Radio Frequency
- 10- Perfect Electric Conductor

Table (2): The physical dimensions of the proposed material for HF antenna

جدول (۲): ابعاد فیزیکی و جنس پیشنهادی آنتن HF

ردیف	عنوان	وظیفه	ارتفاع (mm)	قطر (mm)	جنس ماده
۱	سیم	تشعشعگر	۲۳۰۰	۶	برنز آلومینیوم + پوشش الکتروپلیت منیزیم
۲	روکش	عایق و آب بند	۴۶۰۰	۲	Epoxy/teflon

Table (3): The physical dimensions of the proposed material for VHF/UHF antenna

جدول (۳): ابعاد فیزیکی و جنس پیشنهادی آنتن VHF/UHF

ردیف	عنوان	ارتفاع (mm)	قطر خارجی (mm)	ضخامت (mm)	جنس ماده
۱	استوانه (تشعشعگر)	۲۸۵	۱۰۰	۲	+ Fe-80Ni پوشش الکتروپلیت روی
۲	نیم کره (تشعشعگر)	۵۰	۱۰۰	۲	+ Fe-80Ni پوشش الکتروپلیت روی
۳	آستین A	۲۰۵	۱۷۸	۲	+ Fe-80Ni پوشش الکتروپلیت روی
۴	آستین B	۲۴۰	۱۷۸	۲	+ Fe-80Ni پوشش الکتروپلیت روی
۵	روکش (عایق و آب بند)	۷۸۲	۱۸۰	۱	Teflon Epoxy

نکته مهم در طراحی، محل قرار گرفتن آستین‌ها است. اگر محل تغذیه از وسط آنتن دو قطبی مبدا مختصات در نظر گرفته شود، محل شروع آستین A از ارتفاع ۲۰+ (روی محور Y) و محل شروع آستین B از ارتفاع ۱۰+ (روی محور Y) می‌باشد.

### References

- [1] F. Eskandari, Z. Firoozeh, "Submarine integrated antenna", National Conference on Science and Technology Under The Sea, Iran. 2007.
- [2] C.A. Balanis, "Antenna theory analysis and design", 3rd ed. Reading, New York: John Wiley, 2005. [E-book] Available
- [3] J. Volakis, "Antenna engineering hand book", 4th ed. Reading, New York: MCGRAW- Hill, 2007. [E-book] Available
- [4] Y. Zhang, G. Fu "Research on a novel wide-band sleeve antenna", IEEE Trans. on Antennas and Wireless Propagation, Vol. 4, pp. 1-4, Aug 2014.

- [5] Y. Zhang, I. Glover, "Design of an ultra wideband VHF/UHF antenna for partial discharge detection", Proceeding of the IEEE/ICSPCC, pp.487-490, Gulin, Aug. 2014.
- [6] W. Lin, Z. Shen "Broadband horizontally polarized HF antenna with extremely low profile above conducting ground", Proceeding of the IEEE/APSURCI, pp. 688-689, Orlando, July 2013.
- [7] J. Qiu, Y. Zhang "Novel miniaturized broadband HF antenna", Proceeding of the IEEE/ICMMT, pp. 1-3, Shenzhen, May 2012.
- [8] Y. Huang, K. Boyle, "Antennas from theory to practice", Reading, New York: John Wiley, 2008. [E-book] Available
- [9] Y. zhang, Z.Y. Hang, G. Fu, L. Yang, "Research on a novel wide-band sleeve antenna", Proceeding of the IEEE/URSIGASS, pp. 1-4, Beijing, Aug. 2014.
- [10] J. Chu, C. Ruan, X. Liang, Y. Cui, "A small size broadband antenna used in VHF/UHF band," Proceeding of the IEEE/ISAPE, pp. 254-256, Kunming, Nov. 2008.
- [11] F. Plonski, C. Gyenes, "Efficient HF submarine antennas", Proceeding of the IEEE/APS, pp. 1-4, San Diego, July 2008.
- [12] L. Mattioni, G. Marrocco, "Design of a broadband HF antenna for multimode naval communications", IEEE Trans. on Antennas and Wierless Propagation, Vol. 4, pp. 179-182, June 2005.
- [13] L. Mattioni, G. Marrocco, "Design of a broadband HF antenna for multimode naval communications to VHF/UHF ranges", IEEE Trans. on Antennas and Wierless Propagation, Vol. 6, pp. 83-85, March 2007.
- [14] C. Bowick, "RF circuit design", 2th ed. Reading, Amsterdam: Elsevier, 2008. [E-book] Available.
- [15] W. Blodgett "3.5 to 30 MHZ automatic antenna impedance matching system", Ph.D. Dissertation, Dept. Elect. Eng., California Polytechnic Univ., USA, 2012.
- [16] J. Yu, W. Dong, "Impedanc matching using the smith chart", Applied Mechanics and Materials, Vol. 701-702, pp. 1158-1161, Dec. 2014.
- [17] D.L. Malkinski, "Advanced magnetic materials", Win Chester: Intech, 2012. [E-book] Available.
- [18] D. Gavrilă, H. Gavrilă, "Dielectrice properties of the composite insulator mica epoxy", IEEE Trans. on Advanced Materials Research, Vol. 701, pp. 47-52, May 2013.