پودمان ۳

کاربری رادارهای دریایی

واحد یادگیری ۳

کاربری رادارهای دریایی

آیا تاکنون پی برده‌اید

- رادار چیست و نحوه کار آن در روی کشتی‌ها چگونه است؟
- دستگاه رادار از چه قسمت‌هایی تشکیل‌شده و هر کدام چه ویژگی و کاربردی دارند؟
- اصول انعکاس امواج الکترومغناطیس چگونه است؟
- استفاده از فرکانس‌های بالا در رادار چگونه است؟
- انواع رادارهای مورد استفاده کدام‌اند هر کدام چه کاربردی دارند؟
- کاربری هر کدام از کلیدهای کنترلی رادار چگونه است؟

استاندارد عملکرد

با استفاده و به‌کارگیری صحیح دستگاه‌ها و تجهیزات الکترونیکی در دریا و بر روی شناورها، دریانوردان قادر خواهند بود به تعیین موقعیت در دریا و مشاهده اطراف و محیط دریا در شب و شرایط مختلف جوی و غیره بپردازند. رادار یکی از مهم‌ترین این تجهیزات است که داده‌های دقیقی را برای سفرهای دریایی فراهم آورده و در اختیار ناوبران قرار می‌دهد.

کاربردهای مختلف یک دستگاه رادار باعث شده تا از آن به‌عنوان یکی از با اهمیت‌ترین وسایل در عملیات ناوبری نام برده شود. در این واحد یادگیری اساس کار رادار، کاربردهای رادار، عوامل مؤثر در عملکرد رادار و اجزای سیستم رادار تشریح می‌شوند. همچنین هنرجویان با نحوه عملکرد و استفاده از رادار در روی شناورها آشنا شده، و برای عملیات ناوبری و کاربر روی پل فرماندهی کشتی آماده خواهند شد.

انتظار می‌رود پس از پایان این فصل هنرجویان بتوانند پس از آموزش‌های عملی در کارگاه دریانوردی هنرستان و نیز بازدیدهای مستمر از واحدهای شناور، نحوه صحیح کار با دستگاه رادار را فراگرفته و قسمت‌های مختلف رادار و انواع رادار را تشریح نمایند و نکات ایمنی مربوط به آن را رعایت نمایند.

شکل ۱ــ یک نمونه دستگاه رادار

توجه به شایستگی‌های غیرفنی مانند رعایت نظم و ترتیب و نظافت‌کاری، کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، توجه به محیط‌زیست و اخلاق حرفه‌ای نیز از مواردی است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و باید در تمام مراحل رعایت شود.

لازم به ذکر است با توجه به اینکه این فصل صرفاً به‌منظور ارائه یک شناخت عمومی‌و مقدماتی تدوین شده، سعی گردیده مطالب به‌صورت کلی و ساده بیان شوند (شکل ۱).

بررسی رادار

به‌طورکلی رادار وسیله‌ای است که برای جمع‌آوری اطلاعات از اشیاء یا هدف‌های دور به‌وسیله فرستادن امواج الکترومغناطیس به سمت آنها و تجزیه وتحلیل سیگنال برگشتی و در نهایت نتایج حاصله را به تصویر بکشد.
رادار به‌عنوان یکی از وسایل عمده کمک ناوبری، دستگاهی است که استفاده‌کننده را قادر می‌سازد اشیاء یا هدف‌های موجود در فواصل دور را تقریباً در هر شرایطی، ازجمله وضعیت نامناسب جوی، تاریکی شب و هوای مه‌آلود، کشف و موقعیت آنها را تعیین کند. همچنین رادار وسیله‌ای است برای اندازه‌گیری دقیق فاصله هر جسم یا هدفی که می‌بیند و کشف می‌کند.
رادار علاوه بر اینکه موقعیت سایر کشتی‌ها را به‌صورت اطلاعات، فاصله و سمت نسبت به موقعیت کشتی خودی مشخص می‌کند، برای تعیین موقعیت خود کشتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این همان نقطه‌یابی برای کشتی است شکل(۲).

شکل ۲ـ چند نمونه رادار

واژه رادار مخفف (Radio Detection And Ranging) بوده و به معنی آشکارسازی به کمک امواج الکترومغناطیسی است. با رادار می‌توان اهداف و اجسام در محیط اطراف را که با چشم، غیرقابل دید است تشخیص داد.
همچنین رادار وسیله‌ای است برای اندازه‌گیری دقیق فاصله هر جسم یا هدفی که می‌بیند و کشف می‌کند.
رادار علاوه بر اینکه موقعیت سایر کشتی‌ها را به‌صورت اطلاعات، فاصله و سمت نسبت به موقعیت کشتی خودی مشخص می‌کند، برای تعیین موقعیت خود کشتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. این همان نقطه‌یابی برای کشتی است.

کار در کلاس

در گروه‌های کلاسی درباره موارد استفاده رادار درروی شناورها و در هنگام دریانوردی گفت‌وگو کنید.

بیشتر بدانید

پیدایش و توسعه رادار تقریباً هم‌زمان و به‌طور مستقل در کشورهای آمریکا، انگلستان، آلمان و فرانسه با نام‌های متفاوتی چون دستگاه کشف رادیویی (Radio Detection) یا دستگاه جهت‌یاب رادیویی (Radio Location) در طول دهه ۱۹۳۰ پدید آمد. واژه رادار RADAR اولین بار در سال ۱۹۴۱ به‌وسیله نیروی دریایی آمریکا مورد استفاده قرار گرفت و پس از آن، این لفظ به‌طور جهانی مورد استفاده قرار گرفت. این موضوع که رادار به‌طور همزمان اما در پی فعالیت‌های تحقیقاتی و علمی‌مستقلی در کشورهای مختلف پدید آمده و شناخته‌شده است جای تعجبی ندارد، زیرا که اصل اولیه در اساس کار رادار یعنی بازتاب امواج رادیویی از سال‌ها قبل از پیدایش رادار شناخته‌شده و در مجامع علمی‌مطرح بوده است.

تحقیق کنید

باجست وجو در اینترنت و یا مراجعه به کتاب‌های دریانوردی، تاریخچه‌ای از اختراع و به‌کارگیری رادار درروی شناورها پیدا کنید. مشخص کنید چه دانشمندانی در تکمیل این سیستم نقش داشته‌اند. نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

نکتهٔ ایمنی

قبل از خارج‌کردن مؤثر تجهیزات الکتریکی از جریان برق، هیچ‌گونه فعالیت تعمیر و نگهداری نباید انجام شود. فقط اشخاص ماهر مجاز برای تعمیر تجهیزات الکتریکی هستند.

اساس کار رادارها

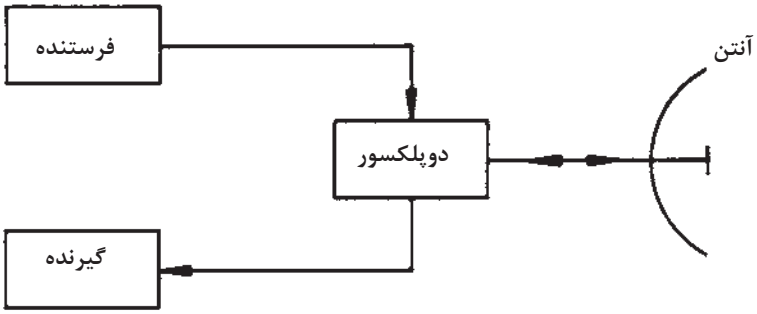
در واقع اختراع رادار از یک پدیده فیزیکی و بسیار طبیعی به نام انعکاس گرفته‌شده است. همه ما بارها و بارها بازگشت صدا را در مقابل صخره‌های عظیم تجربه کرده‌ایم. نور خورشید هم با استفاده از همین پدیده است که هنگام شب با انعکاس از سطح ماه به ما می‌رسد. امواج رادیویی و الکترومغناطیس نیز قابلیت انعکاس و بازتاب دارند و رادار بر اساس همین خاصیت ساده به وجود آمد. بنابراین بشر در ساخت رادار از طبیعت استفاده‌های فراوان و اساسی کرده و با تغییراتی جزئی برای خود وسیله‌ای سودمند ساخته است.

بیشتر بدانید

رادار در طبیعت، بیشترین استفاده را برای خفاش دارد. این پرنده شب‌پرواز، دارای حس بینایی ضعیفی است و به کمک طبیعت راداری که دارد، می‌تواند موانع دور و احتمال برخورد با آن را تشخیص دهد. خفاش هنگام پرواز امواج صوتی خاصی ایجاد می‌کند که پس از برخورد امواج صوتی با اجسام مختلف، منعکس می‌شود و به گوش خفاش می‌رسد. به‌وسیله همین پژواک صداهای ابرصوتی است که نوع مانع و فاصله آن را تشخیص می‌دهد و طوری پرواز می‌کند که از تصادم با آنها در امان باشد. وال‌ها و دلفین‌ها نیز از همین پدیده بازتاب استفاده می‌کنند.

نحوه کار رادار

در یک سیستم رادار، یک آنتن که به‌سرعت می‌چرخد پرتوی از امواج الکترومغناطیسی را شامل پالس‌های کوتاه از انرژی زیاد امواج رادیویی، به خارج از کشتی و در تمام جهات منتشر می‌کند. هرگونه هدف یا مانعی نظیر خشکی یا سایر کشتی‌ها که در معرض انرژی این امواج قرار گیرند، بخش کوچکی از این انرژی را برگشت می‌دهند. این امواج بازتاب شده به خود آنتن فرستنده که در این حالت به‌عنوان آنتن گیرنده عمل می‌کند، می‌رسد. پژواک به‌دست آمده از هدف‌ها که پس از فرایندکردن سیگنال‌های برگشتی و بازتاب شده که بسیار ضعیف هم هستند پدید می‌آید، برای بهره‌برداری بر روی صفحات نشان‌دهنده رادار به نمایش در می‌آید (شکل ۳).



شکل ۳ـ بلوک دیاگرام یک رادار ابتدایی

کار در کلاس

جای خالی را با کلمات مناسب پرکنید.

الف) به‌طورکلی رادار وسیله‌ای است برای ..... یا هدف‌های دور به‌وسیله ..... به سمت آنها و ..... و در نهایت به تصویر کشاندن نتایج حاصل.

ب) رادارهای ناوبری مورد استفاده بر روی کشتی‌های تجاری از نوع ..... بوده و کاربرد اصلی آنها محاسبه ..... و ..... کشتی از خشکی، سایر کشتی‌ها و یا هر جسم شناور بر روی آب می‌باشد.

پ) ..... برای پیداکردن اهدافی که حرکت می‌کنند طراحی می‌شوند. به این صورت که اندازه‌گیری‌ها به‌صورت متوالی انجام‌شده و محل تقریبی هدف تخمین‌زده می‌شود (مسافت، سرعت، زاویه و غیره).

ت) آشکارسازی (کشف)، تعیین موقعیت و مسافت در رادار بر اساس ..... پس از برخورد به هدف است.

کار در کلاس

با ذکر مثال‌هایی ساده از طبیعت و محیط اطراف (مانند چگونگی انعکاس صدا در طبیعت) درباره اساس کار رادارها بحث و گفت‌وگو کنید.

تحقیق کنید

درباره ویژگی امواج الکترومغناطیسی و نحوه استفاده از آنها در دستگاه‌های رادار تحقیق کنید.

فکر کنید

چرا در رادارها به‌جای امواج صوتی، از امواج رادیویی استفاده می‌شود؟

بیشتر بدانید

رادار در ایران از سال ۱۳۳۶ وارد چرخه پدافند هوایی کشور شد.
سیستم راداری کشور در طی جنگ هشت‌ساله آزمون دشوار و موفقیت‌آمیزی را پشت سر گذاشت. پس از پایان جنگ تحمیلی و فرارسیدن دوران بازسازی تجهیزاتی نیروهای مسلح، علاوه بر استفاده از رادارهای سامانه‌های دوربرد موشکی به‌منظور ایجاد پوشش دوربرد، رادارهای مستقلی نیز تأمین شد.
از سال ۱۳۷۷ جرقه‌های طراحی و تولید رادار ملی زده شد که درنهایت به طراحی و ساخت رادار ملی و گیرنده‌های دیجیتالی با عنوان ناظر ۱ و ۲ منجر شد و سامانه‌های راداری فعلی موجود در ایران بیشتر از باند U_{HF} استفاده می‌کنند؛ البته بهترین وضعیت، تلفیقی از رادارهای U_{HF}، و H_F است تا هیچ هدفی چه در سطح مقطع بالا و چه در سطح مقطع پایین از دست نرود. و چون این نیازمندی حس می‌شد که باید رادارهای V_{HF} هم در شبکه کشور باشد، رادارهای کاشف، الوند، مطلع الفجر، ثامن، کاستا و نبو به شبکه یکپارچه پدافند هوایی کشور افزوده شدند.
تحقیقات متخصصان ایرانی سبب شد تا رادار ملی با شرایط برد بسیار بالا و تفکیک‌پذیری فاصله‌ای و زاویه‌ای بسیار خوب و از همه مهم‌تر برای قطع وابستگی از دنیا ساخته شود. مهم‌ترین مزیت رادار ملی، آسایش تیم فنی است؛ چرا که این رادار به سرعت عیب‌یابی و به سرعت نیز رفع عیب می‌شوند.
مزیت دیگر، آسایش تیم عملیاتی است و اینکه این رادار اسکوپ‌های بسیار روشن و واضحی دارد و نیروهای خودی اهداف موردنظر را از بین اهداف ثابت به‌راحتی پیدا می‌کنند. مزیت دیگر این رادار، اتوماسیون آن است به‌طوری که به‌راحتی به شبکه مکانیزه و یکپارچه پدافند هوایی کشور متصل می‌شود.
گذشته از این، محدودیت رادار ملی (به‌ویژه محدودیت‌های راه‌اندازی) نسبت به رادارهایی که در حال حاضر در اختیار است، کمتر می‌باشد.

در حال حاضر رادار ملی در شرق، شمال و غرب کار می‌کند و نشان داده است که شرایط جوی در کارکردش تأثیری ندارد و در تمام فصول سال هم کارکرده است. این رادار هم برای اخطار اولیه و هم برای رهگیری هوایی است و انتظار می‌رود که متخصصان داخلی بتوانند تمام سامانه‌های راداری فعلی را مجهز به رادارهای ملی کنند.

نکتهٔ ایمنی

هنگام استفاده از تجهیزات الکتریکی باید مطمئن باشید که هرگونه کابل‌های قابل‌انعطاف عبوری در اطراف درب‌ها، دریچه‌ها محافظت‌شده است و عایق‌بندی کابل‌ها در اثر باز شدن درها، دریچه‌ها و پوشش‌ها آسیب‌ندیده باشد.

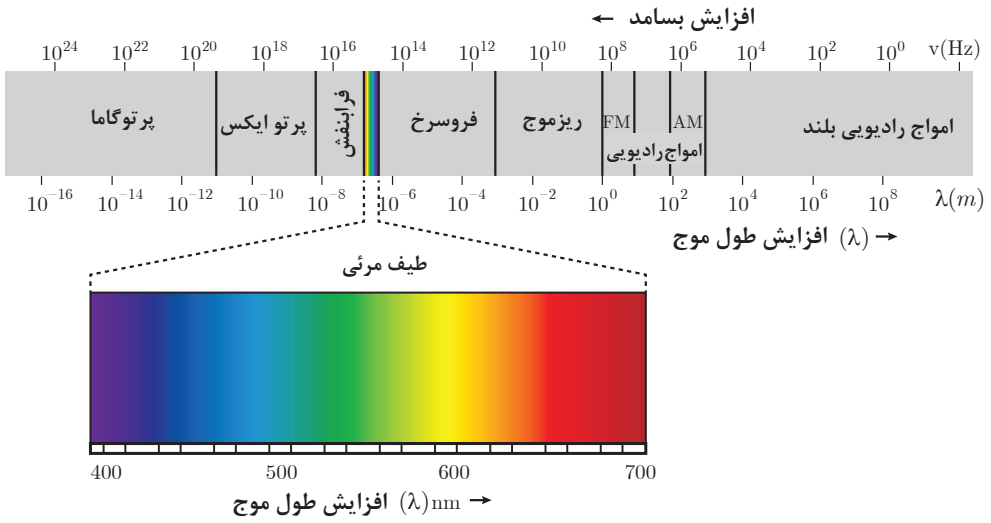
انعکاس امواج

هنگامی‌که امواج الکترومغناطیسی از طریق آنتن در فضا منتشر می‌شوند، در برخورد یا مواجه‌شدن با موانع و اشیایی که در مسیر انتشار آنها قرار گرفته باشند تولید بازتاب می‌کنند. انعکاس یا بازتاب از سطوح موانع و اشیاء برابر قانون انعکاس امواج انجام می‌شود؛ بدین ترتیب که امواج ارسالی و منعکس‌شده در جهتی حرکت خواهند کرد که با خط عمود بر سطح منعکس‌کننده، زوایای مساوی تشکیل دهند. بدیهی است چنانچه امواج ارسالی عمود بر سطح منعکس‌کننده باشد، این زوایا برابر با صفر بوده در نتیجه امواج بازتاب شده نیز در همان جهت به منبع خود برمی‌گردند. انعکاس از سطوح ناهموار در جهت‌های گوناگون صورت می‌پذیرد، از این‌رو امواج بازتاب شده پراکنده می‌شوند و ممکن است تنها بخش ناچیزی از آن به منبع منتشرکننده برگردد. در سیستم رادار میزان انرژی بازتاب شده از مانع یا هدف بسیار مهم است.

کار در کلاس

چه عواملی باعث پراکندگی امواج بازتاب شده راداری می‌شوند؟و این عوامل چه تأثیری در عملکرد مؤثر سیستم رادار دارند؟

با در نظر گرفتن اینکه اساس کار رادار برمبنای اصل انعکاس امواج است و گیرنده رادار با دریافت موج بازتاب شده قادر خواهد بود وجود مانع یا هدف را کشف و فاصله آن را تعیین کند، لازم است که میزان پراکندگی امواج کم باشد تا به مقدار کافی از انرژی امواج بازتاب شده به گیرنده رادار وارد شود. برای اینکه امواج به‌صورت خطی مستقیم حرکت کند و میزان پراکندگی و تفرقه آن کم باشد، معمولاً سعی می‌شود در سیستم‌های رادار از فرکانس‌های بسیار زیاد استفاده شود. این باند فرکانس را باند مایکروویو می‌نامند که فرکانس آن از ۱۰۰۰مگاهرتز به بالا است. در شکل(۴) اسپکتروم امواج الکترومغناطیسی که برحسب فرکانس و طول‌موج ترسیم گردیده نشان داده‌شده است.



شکل۴ـ طیف امواج الکترومغناطیس

هر چند که امواج راداری همچون امواج نور در فضا تقریباً در یک خط مستقیم انتشار می‌یابند، اما به هر حال از آنجا که میزان غلظت هوا در اتمسفر با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند، در امواج راداری کمی‌انحناء ایجاد خواهد شد؛ بنابراین رادار تقریباً کمی‌بیش از افق را می‌تواند ببیند و برای همین است که برد یک رادار جست وجو یا ناوبری محدود به انحناء زمین است. این امر یک موضوع مهم در کشف هدف‌های ارتفاع پایین به شمار می‌رود. افزایش ارتفاع آنتن رادار، افق دید را افزایش می‌دهد، اما برای اینکه بتوان افق دید رادار را به میزان قابل‌ملاحظه‌ای افزایش داد تا به سهولت هواپیماهای ارتفاع پست را کشف کرد، لازم است که رادار را در داخل یک هواپیما نصب‌کرده و عملیات کشف را در هوا انجام داد. این وضعیت به‌عنوان یک سیستم کنترل و هشداردهنده هوایی (Airborne Warning And Control System) می‌شود که به‌اختصار با لفظ آواکس (AWACS) که از اولین حروف کلمات اشاره‌شده در بالا تشکیل‌شده است، شناخته می‌شود. تمام اشیاء و اجسام در برخورد با امواج رادار قادر به انعکاس بخشی از امواج دریافت شده هستند. میزان انرژی منعکس‌شده بستگی به شکل و اندازه جسم و همچنین طول‌موج پرتوهای راداری استفاده‌شده دارد. اشیاء و اجسام بزرگ مانند کشتی‌ها و هواپیماها تقریباً برای طول‌موج تا ۱۰ متر و بیشتر منعکس‌کننده‌های خوبی هستند و طول‌موج مناسب برای اشیاء و اجسام کوچک در حدود چند سانتی‌متر است. بیشتر رادارها امروزه از طول موج‌های در حدود ۲۵ تا ۲۵۰ میلی‌متر استفاده می‌کنند.

پالس

پالس راداری مشخصه‌های گوناگونی دارد که بر اساس آنها عملکرد و خصوصیات رادارها تعیین می‌شوند. پالس در لغت به معنی ضربه است و در رادار به مدت‌زمان ارسال داده‌های راداری؛ طول پالس اطلاق می‌گردد. پالس رادارای دارای نمونه وپالس دارای ویژگی‌های زیر است:

۱	**پالس بلند**	Long Pulse	تعداد فرکانس تکرار پالس کم است. یعنی ارتباط معکوسی بین اندازه پالس و فرکانس تکرار پالس وجود دارد.
۲	**پالس کوتاه**	Short Pulse	دارای فرکانس تکرار پالس زیاد است.

نکته

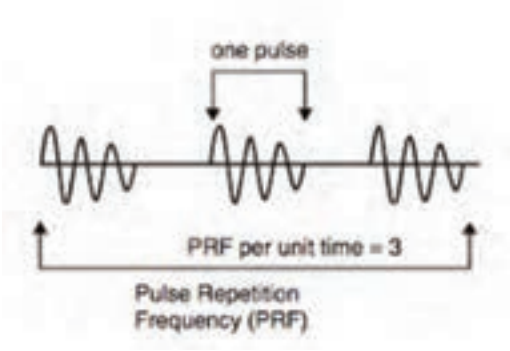
۱ پالس بلند؛ دارای توان بالا، برد بلند و قدرت تفکیک‌پذیری پایین است.
۲ پالس کوتاه؛ دارای توان پایین، برد کوتاه و قدرت تفکیک‌پذیری بالایی است.
۳ رادار از پالس‌های بسیار کوتاه (در حد ۱میکرو ثانیه) با فرکانس خیلی بالا (معمولاً از ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مگاسیکل برثانیه) استفاده می‌کند.
۴ برای استفاده از راداری با طول‌موج ثابت، انتخاب اندازه پالس مناسب؛ کمک مؤثری در استفاده از رادار است.

فرکانس تکرار پالس (PRF) Pulse Repetition Freqeuncy

تعداد پالس‌های فرستاده‌شده در طول زمان یک ثانیه را فرکانس تکرار پالس می‌نامند. شکل(۵).

زمان تکرار پالس (PRT) Pulse Repitition Time:
مدت‌زمان بین شروع یک پالس تا شروع پالس بعدی را زمان تکرار پالس می‌نامند.
زمان تکرار پالس (PRT) و فرکانس تکرار پالس(PRF) عکس یکدیگرند یعنی :

$$PRF = \frac{۱}{PRT} \quad \text{یا} \quad PRT = \frac{۱}{PRF}$$

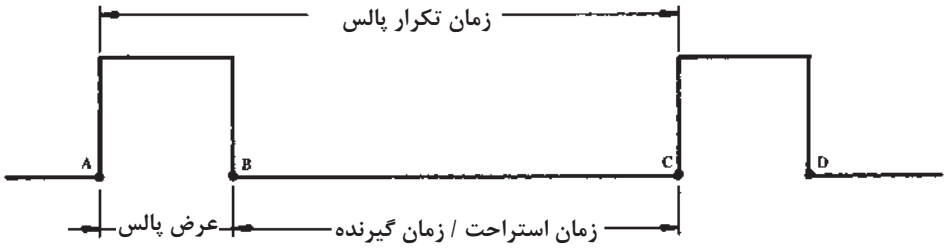


شکل۵ـ پالس و فرکانس تکرار پالس رادار

برای مثال، اگر زمان تکرار پالس برابر با ۱۰۰۰ میکرو ثانیه باشد، مقدار PRF به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$PRF = \frac{۱}{PRF} = \frac{۱}{۱۰۰۰ \times ۱۰^{-۶}} = ۱۰۰۰HZ$$

عرض پالس (pw) عرض پالس (Pulse Width) فاصله زمانی است که طول می‌کشد تا پالس ارسال شود.
در شکل زیر عرض پالس به‌صورت تصویری نشان داده‌شده است. این زمان را زمان فرستنده نیز می‌گویند، زیرا فرستنده تنها در محدوده این زمان است (A تا B) که در حال انتشار امواج از طریق آنتن است. در ضمن، گاه عرض پالس را پهنای پالس نیز می‌نامند شکل(۶).



شکل۶ـ مفهوم عرض پالس و زمان استراحت پالس

زمان استراحت پالس(R_T) Pulse Rest Time: در شکل ۶ فاصله زمانی B تا C را که فرستنده قطع بوده و سیستم رادار در حالت گیرندگی است، زمان استراحت پالس یا زمان استراحت فرستنده می‌نامند. در این مدت گیرنده، بازتاب‌های امواج ارسالی را می‌تواند دریافت کند.
با توجه به مفهوم عرض پالس و زمان استراحت پالس (یا زمان گیرنده) که در شکل بالا نیز نشان داده شده‌اند، مشاهده می‌شود که مجموع عرض پالس و زمان استراحت پالس برابر است بازمان تکرار پالس، یعنی:

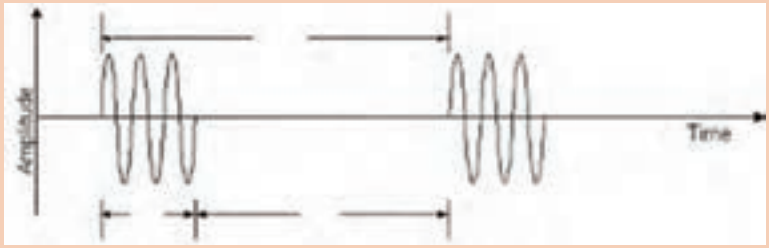
$$PRT = P_w + R_T$$

توجه

الف) چنانچه در طول یک ثانیه ۱۰۰۰ پالس ارسال شود، PRF این رادار برابر با ۱۰۰۰ است.
ب) میزان PRF یک رادار، تعیین‌کننده حداکثر برد مؤثر یک رادار است.
پ) مدت‌زمان دوام پالس را عرض پالس pw می‌نامند.
ت) میزان عرض پالس نشان‌دهنده میزان انرژی است که فرستنده ارسال می‌دارد.

کار در کلاس

هر کدام از مفاهیم P_{RF} ـ R_T و pw را در تصویر مشخص کنید.



فرمول تعیین فاصله هدف

وقتی در حرکت سرعت ثابت باشد، مسافت از حاصل‌ضرب سرعت در زمان طی شده به‌دست می‌آید. این رابطه را می‌توان به‌صورت زیر نوشت که در آن R مسافت پیموده شده، t زمان و v سرعت است. $R=v.i_t$ تعیین فاصله یا برد در یک سیستم رادار به‌طور دقیق، بستگی به توانایی رادار در اندازه‌گیری فاصله برحسب زمان طی شده دارد. سرعت امواج الکترومغناطیسی در فضا برابر است با ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه (۱۸۶۰۰۰ مایل بر ثانیه با ۱۶۲۰۰۰ مایل دریایی بر ثانیه) که همان سرعت نور است. وقتی که این امواج پس از برخورد با مانع بازتاب می‌شوند، هیچ‌گونه تغییری در سرعت آنها رخ نمی‌دهد و با همان سرعت انتشار، بازتاب شده مسیر برگشت را طی می‌کنند. از آنجا که زمان اندازه‌گیری شده در سیستم، زمان رفت‌وبرگشت موج است، در محاسبه و تعیین فاصله آنچه نتیجه خواهد شد دو برابر فاصله مانع است. پس باید فرمول تعیین فاصله را به شرح زیر در نظر بگیریم که در آن C سرعت نور و t زمان رفت‌وبرگشت است.

مایل راداری برای سهولت اندازه‌گیری فاصله موانع، زمان رفت‌وبرگشت موج را برای مانعی که در فاصله یک مایل دریایی قرار گرفته باشد محاسبه می‌کنیم و این زمان را به‌عنوان یک مایل راداری در نظر گرفته زمان رفت‌وبرگشت موج را برای هر فاصله‌ای با یک تناسب ساده و با استفاده از زمان یک مایل راداری به دست می‌آوریم، یک مایل راداری همان‌طوری که در زیر محاسبه‌شده است، برابر است با ۳۵/۱۲ میکروثانیه.

$$R=\frac{C.t}{۲}\rightarrow t=\frac{۲R}{C}$$

R = ۱ مایل دریایی

C=۱۶۲۰۰۰ مایل دریایی بر ثانیه

$$t=\frac{۲\times ۱}{۱۶۰۰۰}=۱۲/۳۵\times ۱۰^{-۶}S_{ec}$$

برای اندازه‌گیری فواصل کوتاه‌تر معمولاً فاصله را برحسب یارد محاسبه می‌کنند.

کار در کلاس

چگونگی تعیین فاصله به‌وسیله رادار که شکل یک هدف (کشتی) در فاصله ۲۰ مایلی از رادار کشتی خودی قرار گرفته است را با رسم شکل بررسی کنید.

کار در کلاس

اگر مانعی در فاصله ۱۵ مایلی از یک سیستم رادار باشد، محاسبه کنید که چه قدر طول خواهد کشید تا موج رادار از آنتن به مانع رسیده بازتاب آن دریافت شود؟

فکر کنید

سرعت نور یا سرعت امواج الکترومغناطیس برحسب یارد برابر است با ۳۲۸ یارد بر میکروثانیه؛
بنابراین زمان رفت‌وبرگشت موج برای مانعی که در فاصله ۱۶۴ یاردی باشد، برابر با .....خواهد بود.

معادله رادار

یک سیستم رادار باید سیگنال‌های ضعیفی را که از هدف‌های دوردست منعکس می‌شوند کشف و دریافت کند. معادله رادار به لحاظ اینکه روابط عوامل مختلفی را که بر روی قدرت سیگنال‌های برگشتی رادار تأثیر دارند نشان می‌دهد از اهمیت زیادی برخوردار است.
معادله رادار که در آن حداکثر فاصله (یا برد) رادار بر مبنای سایر اطلاعات و عوامل مختلف نوشته می‌شود به شرح زیر است:

$$R_{max} = \left(\frac{P.A^{2}.S}{4\pi\lambda^{2}P_{min}}\right)^{\frac{1}{4}}$$

در رابطه ذکرشده برای معادله رادار:
R_{max}= برد حداکثر رادار
P= قدرت (توان) ارسالی
A= سطح دریافتی آنتن گیرنده
(λ)= طول‌موج
P_{min}= حداقل توان قابل دریافت به‌وسیله گیرنده
نتایج بسیار جالب و مهمی را با بررسی دقیق معادله رادار می‌توان به دست آورد. اولین و روشنترین این نتایج عبارت است از اینکه برد حداکثر رادار متناسب با ریشه چهارم توان ارسالی پالسی است. این بدان معنی است که با ثابت بودن تمام عوامل دیگر توان پالسی باید شانزده برابر افزایش یابد تا برد حداکثر رادار دو برابر شود. در نتیجه روشن است چنین افزایش توانی در هر سیستم خاص راداری یا عملی نبوده یا غیراقتصادی خواهد بود. به همین ترتیب روشن است که هر کاهشی در حداقل توان قابل دریافت (P_{min}) همان اثر افزایش توان ارسالی را خواهد داشت. هرچند که این روش بسیار جالب توجهی در برابر روش قبلی (افزایش توان ارسالی) محسوب می‌شود. اما عوامل مختلفی مقدار P_{min} کنترل می‌کنند که باعث می‌شود کاهش میزان P_{min} نیز

حد و حدودی داشته باشد چون در غیر این صورت بر روی سایه عواملی که بر کارکرد نامطلوب رادار مؤثر خواهند بود اثرات منفی خواهد داشت.

روش دیگر برای افزایش برد حداکثر رادار افزایش سطح دریافتی آنتن است که در عمل به معنی افزایش قطر مؤثر آنتن است. متأسفانه در انجام این روش نیز محدودیت وجود دارد زیرا عرض پرتو (BEAMWIDTH) یک آنتن متناسب با نسبت طول‌موج به قطر آنتن است و در نتیجه هرگونه تغییر در ابعاد آنتن عرض پرتو را نیز تغییر خواهد داد و این در بعضی موارد در عملکرد مطلوب رادار محدودیت ایجاد می‌کند. به‌طورکلی معادله رادار نحوه ارتباط عوامل مختلف را که در عملکرد رادار مؤثرند بیان می‌کند. از این معادله می‌توان در طراحی سیستم‌های راداری متناسب با نوع کاربرد و خصوصیات موردنظر آن بهره‌برداری کرده و مشخصه‌های مختلف را تعیین کرد.

مثال

حداکثر برد سیستم راداری را به‌دست آورید که در طول‌موج ۳ سانتی‌متر کارکرده و دارای توان قله پالسی ۵۰۰ کیلو وات باشد. فرض کنید که حداقل توان قابل دریافت برابر با ۱۰ وات سطح دریافتی آنتن رادار برابر با ۵ مترمربع و سطح مقطع راداری هدف برابر با بیست مترمربع باشد.

$$\clubsuit_{\clubsuit} = \frac{P.A^{۲}.S}{۴\pi\lambda^{۲}P_{\clubsuit}}^{\frac{۱}{۴}}$$

$$R_{max} = [\frac{۵۰۰\times۱۰^{۳}\times۵^{۲}\times۲۰}{۴\pi\times(۰/۰۳)^{۲}\times۱۰^{-۱۳}}]^{\frac{۱}{۴}} = (\frac{۲۵}{۳۶\pi}\times۱۰^{۲۴})^{\frac{۱}{۴}}$$

$= ۶/۸۶\times۱۰^{۵}$ متر

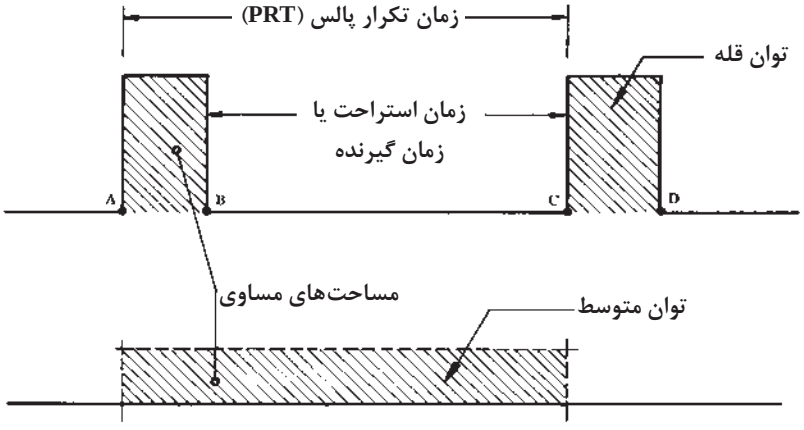
$=$ ۶۸۶ کیلومتر (=۳۷۰ مایل دریایی)

قدرت رادار

در یک سیستم رادار فرستنده، امواج الکترومغناطیسی را با انرژی زیاد به‌صورت پالس‌هایی کوتاه ایجاد کرده از طریق آنتن منتشر می‌سازد. از آنجا که زمان دوام پالس (یا عرض پالس) باید کم باشد تا امکان دریافت اکو هدف‌های بسیار نزدیک فراهم باشد و از طرفی نیز پالس رادار باید توان (قدرت) کافی داشته باشد تا بازتاب قابل دریافتی از هدف‌های دوردست و در حداکثر برد وجود داشته باشد، لازم است فرستنده رادار خروجی بسیار قوی داشته باشد تا بتواند پالس‌های راداری با انرژی زیاد و کافی را تولید کند. توان مؤثر و مفید فرستنده رادار در پالس منتشرشده نهفته است و میزان آن را توان قله پالسی (PEAK POWER) می‌نامند. چون فرستنده پیک سیستم رادار در طول سیکل کار خود، تنها برای مدت‌زمان کوتاهی عمل فرستندگی انجام داده، در بقیه زمان که طولانی نیز است، به حالت خاموش در می‌آید، توان متوسط فرستنده (AVERAGE POWER) در مقایسه با توان قله (PEAK POWER) در طول زمان تکرار پالس (PRT) بسیار کم خواهد بود.

در شکل (۷) مفهوم توان قله و توان متوسط نشان داده‌شده است. در زمان فرستنده که از نقطه A تا B ادامه دارد قدرت خروجی وجود دارد و این همان قدرت یا توان قله یا به عبارتی قدرت پیک است. در بقیه زمان

یعنی از نقطه B تا C که گیرنده شروع به‌کار می‌کند تا بازتابه‌ای پالس‌های ارسالی را دریافت کند مقدار توان صفر است. از آنجا که اندازه‌گیری میزان توان قله عملی نیست، معمولاً توان متوسط فرستنده اندازه‌گیری شده بر مبنای روابطی که میان توان قله و توان متوسط وجود دارد، میزان توان قله فرستنده مشخص می‌شود همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، توان متوسط میزانی از توان است که چنانچه در طول زمان تکرار پالس تولید شود برابر خواهد بود با توان قله که تنها در مدت‌زمان کوتاهی (برابر عرض پالس) تولید خواهد شد. این موضوع در شکل (۷) به‌وسیله سطوح هاشور زده نشان داده‌شده است.



شکل ۷ـ توان قله (peak power) و توان متوسط

رابطه میان توان متوسط که در طول یک سیکل کامل (زمان تکرار پالس ـ PRT) مصرف می‌شود و توان قله که در طول زمان عرض پالس تولید می‌شود، به شرح فرمول زیر است:

$$\frac{\text{توان متوسط}}{\text{توان قله}} = \frac{\text{عرض پالس}}{\text{زمان تکرار پالس}} = \frac{Pw}{PRT}$$

این رابطه نشان می‌دهد که هر چه عرض پالس بیشتر باشد، توان متوسط بیشتر خواهد بود
همچنین هر چه زمان تکرار پالس بیشتر باشد، توان متوسط کمتر خواهد شد.

ـ سیکل کار رادار (DUTY CYCLE)ـ سیکل کار رادار عبارت است از نسبت زمانی که فرستنده رادار مشغول کار است به‌کل زمان یک سیکل رادار که همان زمان تکرار پالس(PRT) است. این تعریف را می‌توان به‌صورت رابطه زیر نوشت:

$$\text{سیکل کار رادار} = \frac{\text{عرض پالس}}{\text{زمان تکرار پالس}} = \frac{Pw}{PRT}$$

مشاهده می‌شود که سیکل کار رادار ضمن اینکه نسبت عرض پالس به زمان تکرار پالس است، هم‌زمان برابر است با نسبت توان متوسط پالس به توان قله. رابطه زیر در این خصوص وجود دارد:

$$\text{سیکل کار رادار} = \frac{Pw}{PRT} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{توان قله}}$$

مثال

سیکل کار رادار را برای راداری که عرض پالس آن ۲ میکروثانیه و فرکانس تکرار پالس آن. ۵۰۰۰ هرتز باشد، حساب کنید

چون بین PRT و PRF یک رابطه عکس وجود دارد

$$PRF = ۵۰۰۰ \text{ هرتز} \quad Pw = ۲ \text{ میکرو ثانیه}$$

$$PRT = \frac{۱}{PRF} = \frac{۱}{۵۰۰۰} = ۲۰۰ \text{ میکرو ثانیه}$$

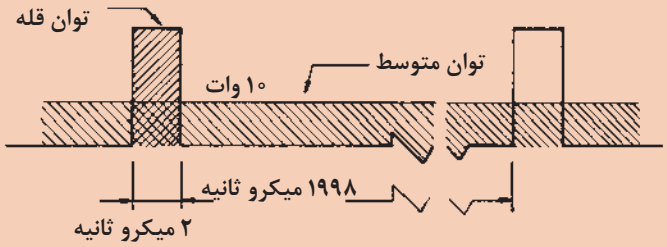
$$\text{سیکل کار} = \frac{Pw}{PRT} = \frac{۲}{۲۰۰} = ۰/۰۱$$

می‌توان فرمول مربوط به سیکل کار رادار را به‌صورت زیر نیز نوشت:

$$\text{سیکل کار} = \frac{Pw}{PRT} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{توان قله}} = Pw \times PRF$$

مثال

با توجه به شکل روبه‌رو و مقادیر داده‌شده، چنانچه توان متوسط این رادار ۱۰ وات باشد سیکل کار و توان قله را حساب کنید.



$$PRT = Pw + RT = ۲+۱۹۹۸ = ۲۰۰۰ \text{ میکروثانیه}$$

$$\text{سیکل کار} = \frac{Pw}{PRT} = \frac{۲}{۲۰۰} = ۰/۰۱$$

$$\text{سیکل کار} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{توان قله}} \rightarrow \text{توان قله} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{سیکل کار}}$$

$$\text{توان قله} = \frac{\text{توان متوسط}}{\text{سیکل کار}} = \frac{۱۰}{۰/۰۰۱} = ۱۰۰۰۰ \text{ وات}$$

کیلو وات: ۱۰ = توان قله

کار درکلاس

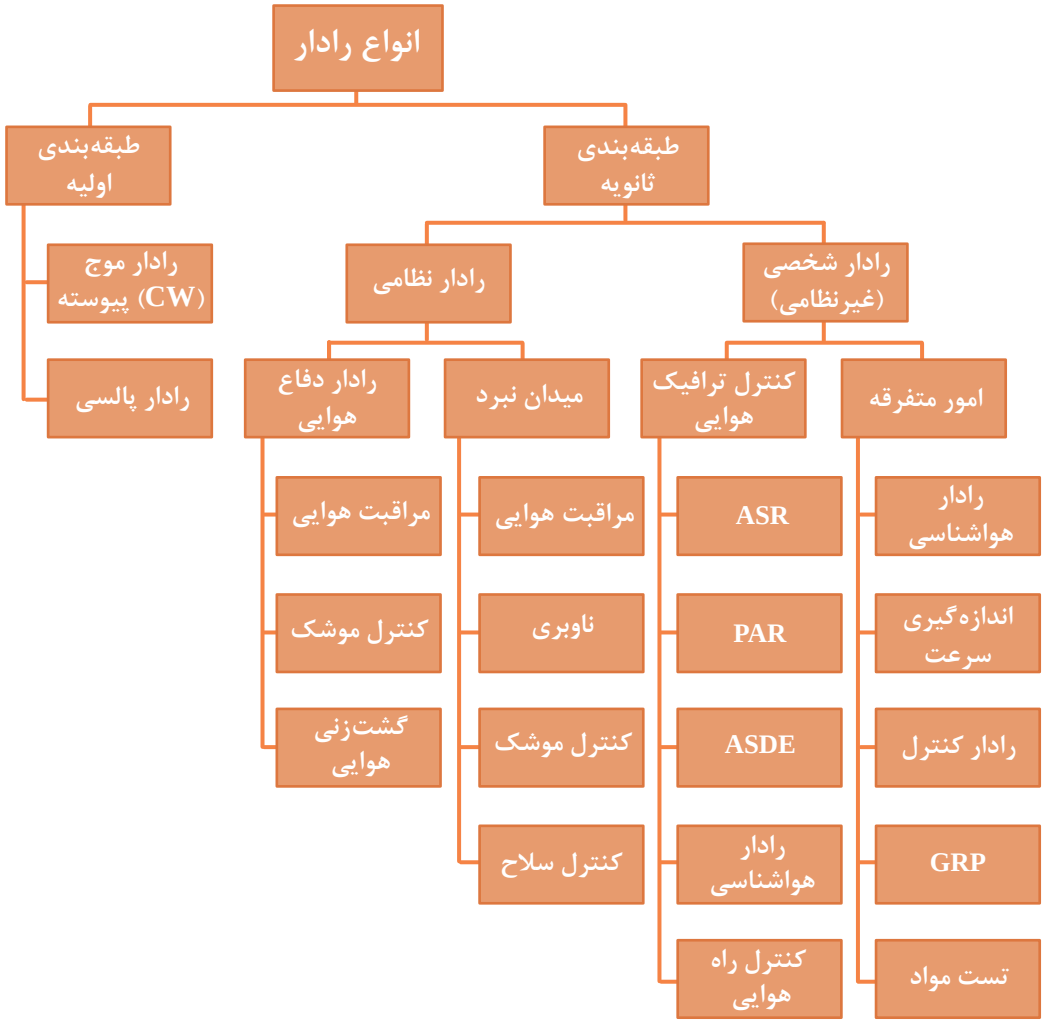
سیکل کار رادار را برای راداری که عرض پالس آن ۵ میکروثانیه و فرکانس تکرار پالس آن یک کیلو هرتز باشد، حساب کنید.

فیلم

فیلم مربوط به انواع رادارها و کاربرد آنها را مشاهده نمایید.

انواع رادارو کاربردهای آن

دسته‌بندی انواع رادارها را می‌توان براساس سخت‌افزار، نرم‌افزار، تکنیک‌های پردازش سیگنال، نوع کارکرد، فرکانس کاری و غیره انجام داد. در شکل (۸) نموداری از تقسیم‌بندی رادارها ارائه شده است:



شکل ۸ــ نمودار انواع رادارها

همان‌گونه که در نمودار بالا می‌بینید کاربرد رادارها در دو حوزه‌های وسیع مختلف اعم از نظامی و غیرنظامی (شخصی) و در اهداف زمینی، هوایی، دریایی، فضایی و هواشناسی می‌باشد. کاربردهای نظامی رادار دارای طیف و انواع گسترده‌ای بوده و کاربردهای غیرنظامی رادار نیز در جهت صلح و آرامش و راحتی زندگی انسان استفاده می‌شود.

کار در کلاس

در جدول زیر کاربردهای نظامی رادار بیان شده است. با راهنمایی هنرآموز خود ستون توضیحات را به‌طور اختصار کامل کنید.

ردیف	کاربرد	توضیحات
۱	دیده‌بانی	
۲	ناوبری نظامی	
۳	کنترل و هدایت آتش	
۴	ردیابی	

کار در کلاس

در جدول زیر به برخی از کاربردهای غیرنظامی رادار اشاره شده است. با راهنمایی هنرآموز خود ستون توضیحات را به‌طور اختصار کامل کنید.

ردیف	کاربرد	توضیحات
۱	کنترل ترافیک هوایی	
۲	ناوبری هوایی و دریایی	
۳	جلوگیری از تصادف کشتی‌ها	
۴	فضایی	
۵	کنترل سرعت	
۶	کنترل خط تولید	
۷	هواشناسی	
۸	زمین‌شناسی	
۹	کشاورزی	
۱۰	تصویربرداری	

کار در کلاس

در جدول و تصاویر زیر رادارهایی که در حوزه نظامی کاربرد دارند آورده شده است، ستون توضیحات و کاربرد را با راهنمایی هنرآموز خود کامل کنید.

۱	رادارهای جست‌وجوگر	
۲	رادارهای مراقبت	
۳	رادارهای ردگیری یا کنترل آتش	
۴	رادارهای ارتفاع‌یاب	

شکل ۹ــ یک نوع رادار جست‌وجوگر و ناوبری سطحی و یک نوع رادار جست‌وجوگر و ردیاب هوایی که به‌صورت یک مجموعه در داخل یک محفظه گنبدی شکل (Radar Dome) قرار گرفته‌اند.

شکل ۱۰ــ یک نوع رادار مراقبت هوایی برد زیاد و یک نوع رادار مراقبت سطحی و هوایی

شکل۱۱ـ یک نوع رادار کنترل آتش دریایی

شکل۱۲ـ یک نوع رادار ارتفاع‌یاب

بیشتر بدانید

از جمله رادارهای مراقبت می‌توان به رادارهای کنترل ترافیک هوایی اشاره کرد که کاربرد بسیار وسیع در فرودگاه‌ها، اعم از نظامی و غیرنظامی دارند. رادارهای کنترل ترافیک هوایی را رادارهای مراقبت پرواز نیز می‌گویند. در شکل زیر نمایی از آنتن یک رادار کنترل ترافیک هوایی و نیز نشان‌دهنده‌های رادارهای مراقبت پرواز در برج کنترل ترافیک فرودگاه نشان داده شده است.

رادارهای هشداردهنده پیشرس (Early Warning Radars) نیز نمونه دیگری از رادارهای مراقبت هستند که عمل موقعیت‌یابی هدف را در فواصل خیلی دور انجام داده حضور هدف‌ها را به یگان‌های عملیاتی و غیره هشدار می‌دهد.

تحقیق کنید

درگروه‌های کلاسی و با هدایت هنرآموز خود یکی از فعالیت‌های زیر را انجام دهید.

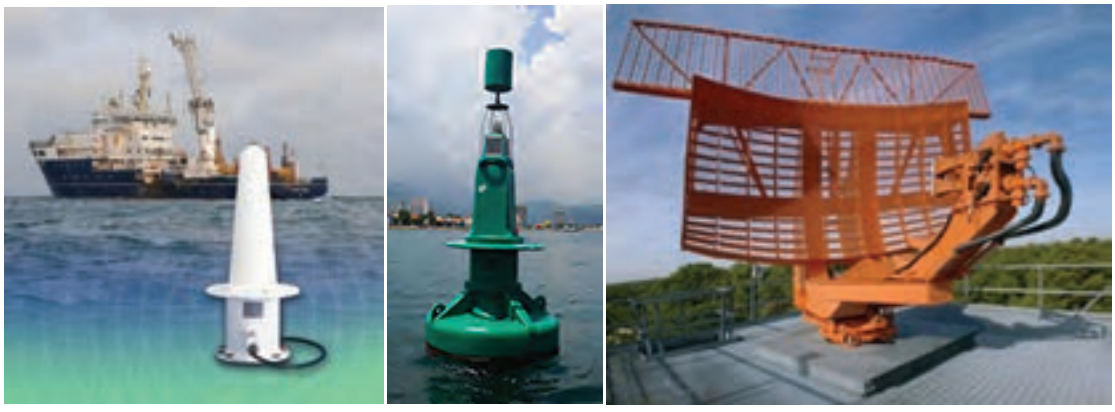
۱ پرده‌نگاری درباره کاربردهای غیرنظامی و استفاده‌های عمومی رادارها تهیه‌کرده و در کلاس ارائه دهید.

۲ در گفت‌وگو با فرماندهان و افسران شناورها، گزارشی درباره چگونگی استفاده از رادار دراجتناب از تصادم کشتی‌ها در دریا تهیه کنید.

رادارهای بیکن (Beacon Radars)

بیکن در حقیقت برجی است شناور یا در ساحل که بر روی آن یک سیستم راداری نصب شده است. یک سیستم رادار بیکن مجموعه کوچکی است شامل یک گیرنده، یک فرستنده و یک آنتن که بیشتر اوقات تمام جهتی است.

وقتی که رادار دیگری یک سری پالس کد شده را به بیکن بفرستد یا به‌عبارتی دیگر آن را مورد سؤال قرار دهد، بیکن به‌وسیله ارسال پالس‌هایی با کد به‌خصوصی به آن جواب خواهد داد. پالس‌های بیکن ممکن است دارای همان فرکانس رادار سؤال‌کننده باشد که در این صورت آنها به‌وسیله ایستگاه اصلی همراه با برگشتی‌های پالس ارسالی دریافت می‌شوند. چنانچه پالس‌های بیکن دارای فرکانس مخصوص خود باشد، در این صورت یک گیرنده مجزا در سیستم رادار سؤال‌کننده موردنیاز خواهد بود. در این سیستم رادار سؤال‌کننده را Introgator و رادار پاسخ‌دهنده را که بر روی بیکن نصب است، Transponder می‌گویند شکل (۱۳).



شکل ۱۳ـ انواع رادارهای بیکن

کاربرد دیگر بیکن‌های راداری شبیه فانوس‌های دریایی است. در این کاربرد یک هواپیما یا کشتی با تعدادی بیکن راداری که موقعیت آنها به‌طور دقیق شناخته شده است، در ارتباط بوده (ارتباط راداری) در نتیجه قادر خواهد بود که محل خودش را به‌طور اتوماتیک و دقیق به‌وسیله پالس‌های دریافتی تعیین کند.

تحقیق کنید

دربارهٔ کاربردهای بیکن‌های راداری تحقیق کرده و در کلاس ارائه دهید.

نکته

توجه داشته باشید که بیکن برخلاف سیستم‌های راداری دیگر، پالس‌ها را به‌طور دائم نمی‌فرستد، بلکه تنها وقتی مورد سؤال قرار می‌گیرد و سؤال نیز به‌طور صحیح و با کد مشخص آشنایی با کاربرد هر یک از کلیدهای کنترلی برای کسانی که با رادار سروکار دارند، ضروری است.
این اطلاعات به‌طور معمول در دفترچهٔ راهنمای فنی رادار مربوطه ذکر می‌شود.

کاربرد بیکن راداری: یکی از کاربردهای یک بیکن راداری، شناساندن خودش است. این کاربرد وقتی است که مثلاً یک بیکن راداری در داخل یک هدف مانند هواپیما نصب شده باشد و وقتی مورد سؤال قرار می‌گیرد، با ارسال یک پالس پاسخ می‌دهد و سپس این پالس بر روی صفحه نشان‌دهنده رادار ایستگاه سؤال‌کننده ظاهر شده و هویت هدف آشکار می‌شود. این سیستمی است که در مراقبت پرواز فرودگاه به‌کار می‌رود. کاربرد نظامی این سیستم تحت عنوان سیستم تشخیص دوست یا دشمن، معروف به IFF (Identification Friend or Forien) است که برای شناسایی هدف‌ها به‌عنوان دوست یا دشمن به‌کار گرفته می‌شود.

رادارها بر اساس آنتن

رادارها بر اساس محل قرارگیری آنتن‌ها به چند دسته به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

رادارهای مونواستاتیک Monostatic Radar

رادارهایی که فرستنده و گیرندهٔ آنها در یک نقطه واقع است رامونواستاتیک می‌نامیم. در واقع فاصلهٔ بین گیرنده و فرستنده در این رادارها بسیارکوچک‌تر از فاصله نقطهٔ استقرار رادار نسبت به هدف است لذا فرستنده و گیرنده یک فضای یکسان را پوشش می‌دهند. در اغلب موارد فرستنده و گیرندهٔ رادار مونواستاتیک در یک سامانه تعبیه شده و از یک آنتن استفاده می‌کنند.

نکته

جداسازی گیرندگی و فرستندگی در این رادارها که از یک آنتن گیرنده فرستنده استفاده می‌کنند توسط واحدی به نام سلول گیرنده/ فرستنده یا T/R cell یا دوپلکسر Duplexer صورت می‌گیرد. این سلول وظیفه دارد در حالت فرستندگی ورودی گیرنده را بلوکه کند. زیرا در این رادارها به کمک اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت سیگنال و ضرب آن در سرعت حرکت موج (سرعت نور) فاصله هدف استخراج می‌شود.
همچنین سرعت هدف را می‌توان به کمک خاصیت شیفت داپلرفرکانس اکو هدف محرک تشخیص داد.

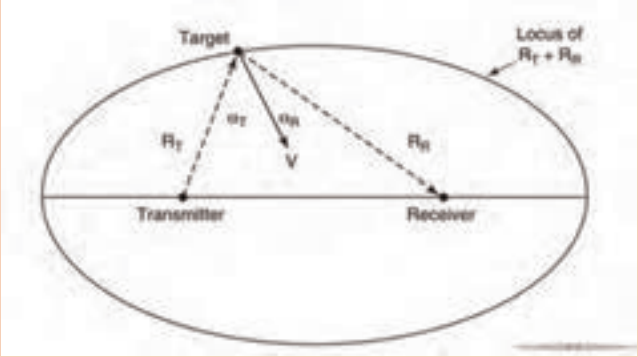
رادارهای بای‌استاتیک Bistatic Radar

در این نوع رادارها آنتن گیرنده و فرستنده در فاصله‌ای دور از یکدیگر قرار دارند. این امر سبب جلوگیری از تداخل مد فرستندگی/ گیرندگی می‌شود و علاوه بر این سبب کاهش آسیب‌پذیری سامانه در برابر حملات هوایی می‌شود چرا که می‌توان چندین آنتن گیرندهٔ پسیو را با یک فرستنده به‌کار گرفت.
جهت رهگیری هواگردهایی که با فرم‌دهی خاص بدنه از دید رادار پنهان می‌شوند، از این نوع رادار استفاده می‌شود.

بیشتر بدانید

در این نوع رادارها سیگنال پس از طی فاصلهٔ RT به هدف رسیده و بازتاب آن با طی فاصلهٔ RR به گیرنده می‌رسد. لذا مجموع این فاصله را می‌توانیم به کمک فرمول زیر بیابیم:

$R_T + R_R = CT$



رادارهای آرایه فازی

در رادارهای آرایه فازی تعدادی آنتن، سیگنال‌های با فاز متفاوت از یکدیگر تولید می‌کنند که این امر سبب تقویت سیگنال در جهت دلخواه و تضعیف آن در جهت‌های نامناسب می‌شود. لذا به کمک این رادارها می‌توان بدون نیاز به حرکت دادن مکانیکی جهت لوب اصلی آنتن را تغییر داد. علاوه بر این با توجه به تعدد آرایه‌های ارسال، دریافت می‌توان هر تعداد از آرایه‌های یک آنتن را برای کار خاصی اختصاص داد.

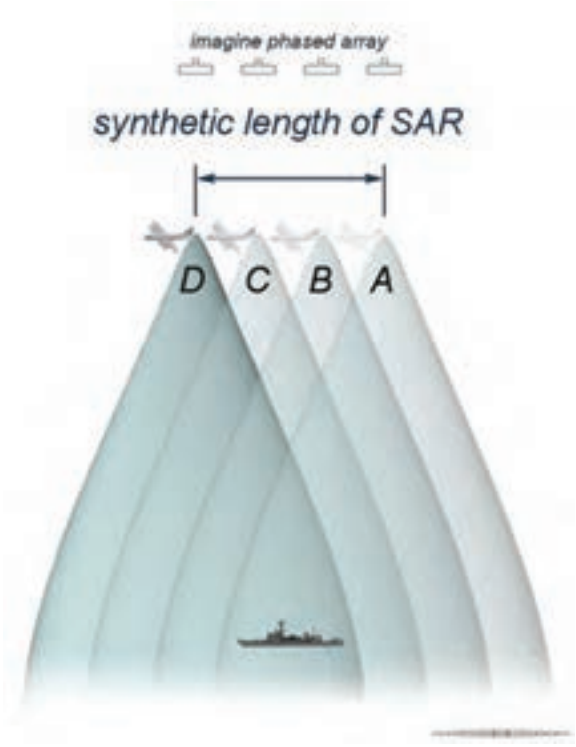
دو گونهٔ اصلی رادارهای آرایه فازی عبارت‌اند از:

۱	**غیرفعال**	در این نوع رادارها تغذیهٔ کلیهٔ آنتن‌ها توسط یک منبع مولد واحد صورت می‌گیرد و به کمک شیفت‌دهنده‌های فاز می‌توان فاز خروجی هر آرایه را تغییر داد. در این نوع آنتن تنها یک پرتو اصلی می‌توان تولید کرد.
۲	**فعال**	در این نوع رادارها هر آرایه مولد مستقلی دارد لذا کنترل بیشتری بر روی آرایه‌ها وجود داشته و امکان تولید چندین پرتو اصلی وجود دارد. لازم به ذکر است قیمت تمام شدهٔ این نوع آنتن به علت پیچیدگی‌های فراوان بیش از نوع غیرفعال است.

رادارهای روزنه مصنوعی Syntactic Apreture Radar

برای تهیهٔ یک نقشه دقیق از زمین و عوارض موجود در آن لازم است از یک آنتن طویل استفاده کنیم اما امکان ساخت و به‌کارگیری راداری با آنتن بزرگ جهت دستیابی به رزولوشن بالا از عوارض زمینی امکان‌پذیر نیست. برای رفع این مشکل از تکنیک رادار دریچه مصنوعی یا SAR (Syntactic Apreture Radar) استفاده می‌شود.

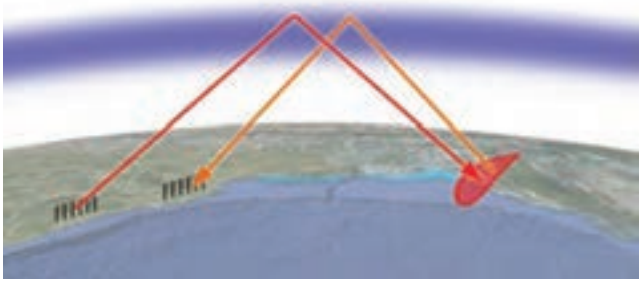
در این تکنیک هواگرد در حال حرکت اقدام به ارسال دریافت امواج کرده و بدین ترتیب یک آنتن طویل شبیه‌سازی می‌شود شکل(۱۴).



شکل۱۴ـ رادار روزنه مصنوعی

رادارهای فرا افق نگر OTH Over_the_horizon

در این نوع رادارها از خاصیت بازتاب یونوسفریک امواج الکترومغناطیسی جهت دستیابی به دید فرا افق استفاده می‌شود. این رادارها دارای آنتن‌هایی بزرگ، توان راه‌اندازی بالا و زمان پردازشی طولانی هستند. هر چند دقت زاویه و برد در این رادارها پایین است اما می‌توانند به‌عنوان رادار پیش اخطار مناسب به‌کار گرفته شوند شکل (۱۵).



شکل۱۵ـ رادار ماورای افق

فکر کنید

به نظر شما چرا این نوع رادارها معمولاً در باند HF (۳ الی ۳۰ مگاهرتز) به‌کار گرفته می‌شوند؟

تحقیق کنید

در مورد تقسیم‌بندی انواع رادار برحسب آنتن‌ها تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

رادارها بر اساس فرستنده

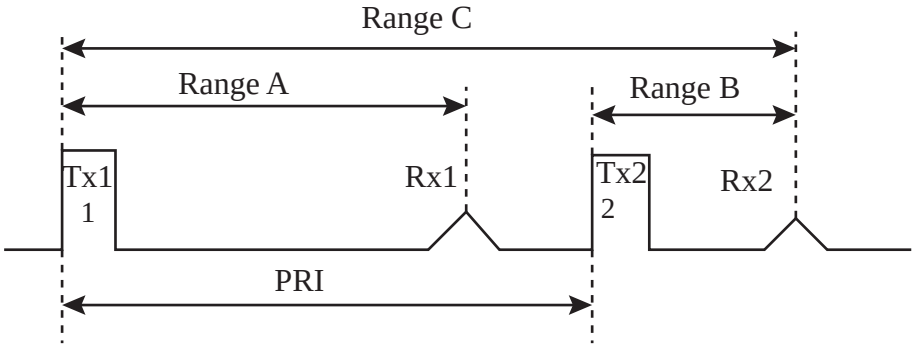
رادارها بر اساس نحوه فرستادن امواج رادار به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱ـ رادارهای پالسی Pulsed

رادار پالسی راداری است که ابتدا یک پالس ارسال می‌کند و سپس منتظر رسیدن اکو اهداف می‌ماند. این امر مانع از تداخل بین گیرندگی و فرستندگی می‌شود و امکان استفاده از یک آنتن واحد به‌عنوان گیرنده و فرستنده را فراهم می‌آورد. با اندازه‌گیری زمان بین ارسال و دریافت می‌توان برد هدف را به‌دست آورد (رادارهای مونواستاتیک). از آنجا که رادارهای مونواستاتیک نمی‌توانند هم‌زمان به ارسال و دریافت امواج مبادرت ورزند دارای برد کور هستند که از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$R_M = \frac{CT}{۲}$$

در این فرمول R فاصله و C سرعت نور و T زمان هست. به‌عبارت دیگر رادار زمانی در مد گیرندگی قرار دارد که انتهای پالس ارسالی از آنتن خارج شده باشد. شایان ذکر است ممکن است پس از ارسال دو پالس اکوی پالس اول به رادار برسد که در این حالت دچار ابهام در برد خواهیم شد.



شکل ۱۶ـ ارسال و دریافت امواج در رادار پالسی

حال اگر یک رادار پالسی از خاصیت شیفت داپلر جهت استخراج سرعت هدف استفاده کند به آن رادار پالس داپلری می‌گوییم.

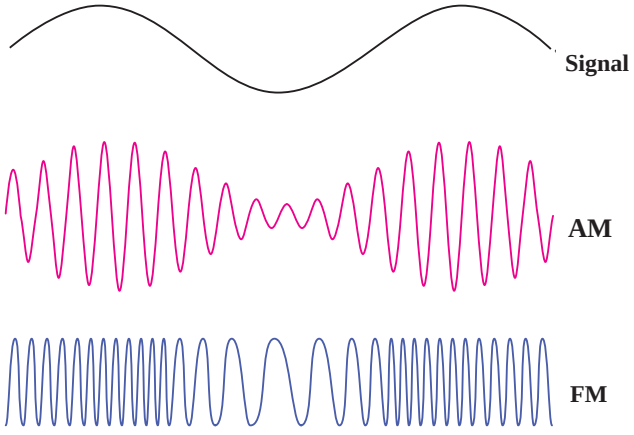
تحقیق کنید

در مورد کاربرد رادارهای پالسی تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید

۲ـ رادارهای موج پیوسته CW۱ (Continuous_wave)

این نوع رادار دائماً به ارسال و دریافت امواج مبادرت می‌ورزند. سرعت هدف در این نوع رادارها از طریق سنجش شیفت داپلر استخراج می‌شود. در صورت اعمال تغییر در فرکانس موج ارسالی (مدولاسیون FM)

رادار را رادار موج پیوسته مدوله فرکانسی یا FMCW می‌نامیم این نوع رادار موج پیوسته با توجه به اعمال تغییر در فرکانس موج ارسالی می‌تواند با توجه به فرکانس اکو دریافتی برد هدف را نیز محاسبه کند. تداخل بین گیرنده و فرستنده در این نوع رادارها توان مورد آنها را محدود می‌کند و ایزولاسیون بین گیرنده و فرستنده مسئله‌ای حیاتی است. یک مثال ساده از این نوع رادارهای سنجش سرعت مورداستفاده توسط پلیس است.



شکل ۱۷ــ شکل موج‌های رادارهای موج پیوسته

تحقیق کنید

در مورد کاربرد رادارهای موج پیوسته تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

انواع رادارها بر اساس باند، فرکانس و طول‌موج

رادارها بر اساس باند فرکانسی به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌گردند:

جدول ۲ــ رادارها بر اساس باند فرکانسی مورد استفاده

باند	فرکانس	طول‌موج	کاربرد
HF	۳ـ۳۰ MHz	۱۰ـ۱۰۰ m	سیستم رادار ساحلی، رادارهای ماورای افق فرکانس بالا
P	< ۳۰۰ MHz	۱ m+	برای سامانه‌های هشدار راداری پیشین استفاده می‌شد
VHF	۳۰ـ۳۰۰ MHz	۱ـ۱۰ m	برای بردهای خیلی بلند، نفوذکننده در زمین
UHF	۳۰۰ـ۱۰۰۰ MHz	۰,۳ـ۱ m	برای بردهای خیلی بلند مانند؛ اخطار اولیه موشک‌های بالستیک، نفوذکننده در زمین، نفوذکننده در شاخ و برگ؛ فرکانس فوق‌العاده زیاد

L-BAND	۱ـ۲ GHz	۱۵ـ۳۰ cm	سامانه‌های مراقبت و کنترل ترافیک هوایی
S-BAND	۲ـ۴ GHz	۷/۵ ـ۱۵ cm	سامانه‌های مراقبت با برد متوسط، پایانه کنترل ترافیک هوایی، سیستم هواشناسی برد بلند، رادار دریایی با برد کوتاه
C-BAND	۴ـ ۸ GHz	۳/۷۵ ـ ۷/۵ cm	فرستنده خودکار ماهواره‌ای، باند میانه باندهای S و X، هواشناسی، رهگیری برد بلند.
X-BAND	۸ـ۱۲ GHz	۲/۵۳ ـ۲/۷۵ cm	هدایت موشک، رادار دریایی، هواشناسی، مراقبت زمینی و نقشه‌برداری با تفکیک متوسط، رهگیری با برد کوتاه، در آمریکا برای فرودگاه‌ها دربرد نزدیک با فرکانس ۱۰/۵۲۵ GHz ۲۵± MHz استفاده می‌شود، نام X به دلیل محرمانه بودن فرکانس آن در طول جنگ جهانی بود.
Ku	۱۲ـ۱۸ GHz	۱/۶۷ـ۲/۵ cm	این باند راداری به علت فرکانس کمتر (under) از K به نام Ku نامیده می‌شود. تفکیک بالا، اغلب برای فرستنده‌های خودکار ماهواره‌ای استفاده می‌گردد.
K	۱۸ـ۲۴ GHz	۱/۱۱ـ۱/۶۷ cm	در زبان آلمانی kurz به معنی کوتاه است، جذب بخار آب سبب محدودیت شده بنابراین Ku و Ka برای مراقبت استفاده می‌شوند، باند K برای تعیین ابرها در هواشناسی و پلیس برای تعیین سرعت خودروها استفاده می‌گردد.
Ka	۲۴ـ۴۰ GHz	۰/۷۵ـ۱/۱۱ cm	این باند راداری به علت فرکانس بالاتر (after) از K به نام Ka نامیده می‌شود نقشه‌برداری دربرد کوتاه، مراقبت فرودگاه، تصویربرداری راداری که برای اندازه‌گیری قطر ورق‌های فلزی با نور قرمز انجام می‌شود. همچنین برای موشک‌های کروز مورداستفاده قرار می‌گیرد.
V	۴۰ـ۷۵ GHz	۴/۰ـ۷/۵ mm	این باند راداری به‌شدت توسط اکسیژن اتمسفر جذب می‌گردد و در فرکانس ۶۰ GHz تشدید می‌شود.
W	۷۵ـ۱۱۰ GHz	۲/۷ـ۴/۰ mm	برای خودروهای آزمایشی هوشمند استفاده می‌شود، برای مشاهده هواشناسی با قدرت تفکیک بالا و تصویربرداری استفاده می‌گردد.
UMB	۱/۶ـ۱۰/۵ GHz	۱۸/۷۵ ـ ۲/۸ cm	برای رادار نفوذکننده دیوار و تصویربرداری استفاده می‌شود

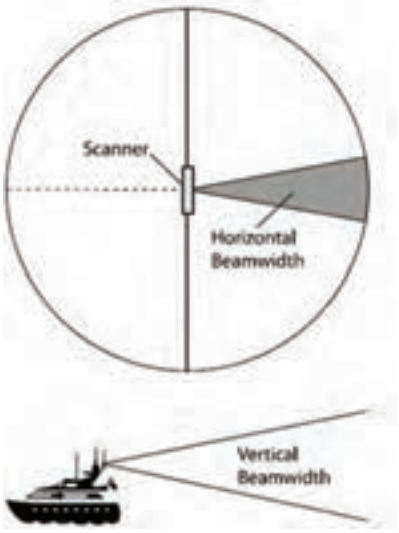
فکر کنید

علّت استفاده از فرکانس بالا در رادار چیست؟

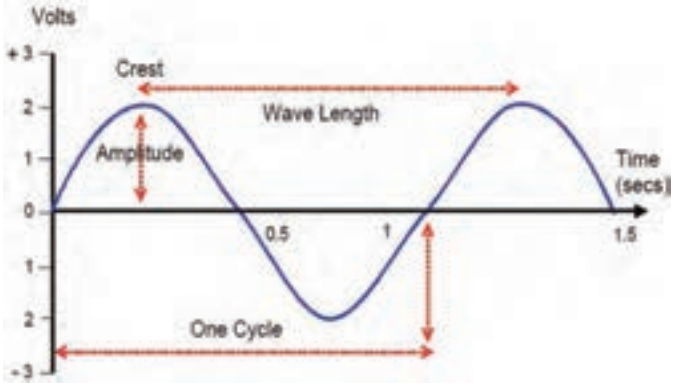
ویژگی‌های طول موج راداری:

طول موج راداری مورد استفاده دارای ویژگی‌هایی است که به شرح زیر هست:

۱	ارتباط مستقیمی بین طول‌موج راداری و پهنای بیم افقی رادار وجود دارد. با باریک شدن پهنای بیم افقی رادار سبب تفکیک‌پذیری بهتر اهداف و دقت در اکوهای جزییات اهداف می‌گردد.(شکل ۱۸و۱۹)
۲	طول آنتن (اسکنر) رادار با طول‌موج ایجاد شده ارتباط مستقیمی دارد. بنابراین برای افزایش طول‌موج راداری نیازمند اسکنری با ابعاد بزرگ‌تر می‌باشد.



شکل ۱۸ــ پهنای افقی و عمودی موج



شکل ۱۹ــ طول‌موج و دامنهٔ موج

مقایسه رادارهای S_BAND و X_BAND

شکل ۲۰ــ رادارهای S_BAND و X_BAND

بیشترین طول‌موج مورداستفاده در رادارهای سطحی شامل باندهای X و S هست. رادار S_BAND با طول‌موج ۱۰ سانتی‌متر در مقایسه با رادار X_BAND با طول‌موج ۳ سانتی‌متر؛ دارای پالس بلندتر و پهنای بیم راداری بزرگ‌تری هستند و به دلیل داشتن طول‌موج بلندتر، در هوای طوفانی و خراب، تأثیر اکوها کاذب ناشی از امواج روی آنها به مراتب کمتر است و در نتیجه دارای تصویری بهتر هستند به‌خصوص اگر رادار در حالت پالس کوتاه قرار گیرد شکل (۲۱).

شکل ۲۱ـ مقایسه رادارهای S_BAND و X_BAND

چنانچه نیاز به هدف‌یابی در فواصل دور باشد، استفاده از رادارها ۱۰ سانتی‌متری نسبت به رادارهای ۳ سانتی‌متری بهتر است، به‌خصوص اگر رادار در حالت پالس بلند قرار داشته باشد. ولی در فواصل نزدیک (کمتر از ۱۲ مایل) معمولاً از رادارهای X_BAND استفاده می‌شود زیرا دقت آن بالاتر است. بنابراین برای مشاهده جزییات اهداف و تفکیک‌پذیری بهتر از باند X با طول‌موج ۳ سانتی‌متر که کوچک‌تر از طول‌موج ۱۰ سانتی‌متر است استفاده شود.

کار در کلاس

با توجه به توضیحات متن، استفاده از دو رادار با طول موج‌های X , S در روی شناورها چه ضرورتی دارد؟ و چرا باند S (با طول‌موج ۱۰ سانتی‌متر) در رادارهای دریایی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد؟

تحقیق کنید

کنوانسیون سولاس چه الزاماتی را برای استفاده شناورها از رادار باند X بیان کرده است؟

نکتهٔ ایمنی

نصب رادار باند X در کشتی یک الزام است چون اکوهای مربوط به وسایل کمک ناوبری مجهز به RACON و دستگاه پاسخ‌گر راداری (Search and Rescue Transponer)SART فقط بر روی صفحه نمایشگر رادارهای X_BAND ظاهر می‌شود.

فکر کنید

با مقایسه دو باند راداری X , S با طول موج‌های مختلف، چه نتیجه‌ایی حاصل می‌شود؟

جدول ارزشیابی

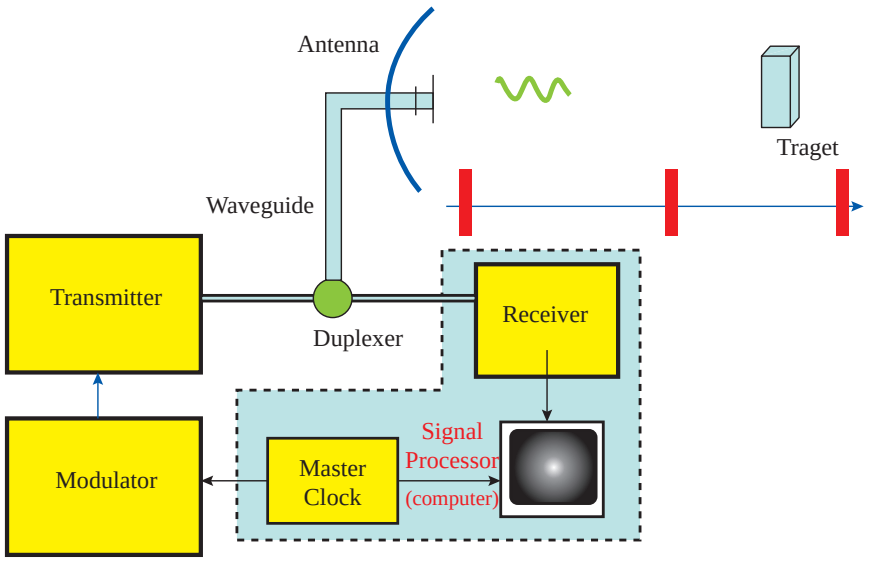
عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
کاربری رادارهای دریایی	بررسی کارکرد انواع رادارها	کار با انواع رادارهای دریایی	بالاتر از حد انتظار	۱ اساس کار رادار را بشناسد. ۲ معادله رادار و فرکانس تکرار پالس را بررسی کرده رابطه آن را با زمان تکرار پالس بیان کند. ۳ انواع رادارهای دریایی را بررسی نماید. ■ هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ اساس کار رادار را بشناسد. ۲ معادله رادار و فرکانس تکرار پالس را بررسی کرده رابطه آن را با زمان تکرار پالس بیان کند. ۳ انواع رادارهای دریایی را بررسی نماید. ■ هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از انتظار	۱ اساس کار رادار را بشناسد. ۲ معادله رادار و فرکانس تکرار پالس را بررسی کرده رابطه آن را با زمان تکرار پالس بیان کند. ۳ انواع رادارهای دریایی را بررسی نماید. ■ هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					

کاربری رادار

اجزای سیستم رادار

هر یک از سیستم‌های مختلف راداری دارای تفاوت‌های زیادی در خصوصیات و جزئیات هستند، ولی قسمت‌ها و مشخصات بیشتر رادارهای مورد استفاده در کشتی‌ها یکسان می‌باشد.

در شکل (۲۲) بلوک دیاگرام و اجزای اصلی تشکیل‌دهنده یک سیستم رادار پالسی نشان داده‌شده است.



شکل ۲۲ـ بلوک دیاگرام رادار پالسی

همان‌گونه که در شکل می‌بینید یک سیستم رادار از قسمت‌های زیر تشکیل‌شده است:

۱	تایمر	Timer/Master Clock
۲	فرستنده	Transmitter
۳	مدولاتور	Modulator
۴	سیستم آنتن	Antenna/Scanner
۵	دوپلکسر	Duplexer
۶	گیرنده	Receiver
۷	نشان‌دهنده	Display

کار در کلاس

با توجه به شکل بالا و توضیحات هنرآموز، کاربردها را به قسمت مربوطه وصل کنید.

۱	کاربرد این قسمت هم‌زمان کردن فرستنده و مبنای زمان نشان‌دهنده رادار است.	الف	آنتن
۲	این قسمت پالس‌های پرقدرتی تولید می‌کند که حاوی انرژی امواج راداری است.	ب	دوپلکسر
۳	با تولید یک پالس ولتاژ قوی و تغذیه آن به فرستنده سبب می‌شود تا پالس‌های فرستنده شکل بگیرد.	پ	مدولاتور
۴	مشخص‌کردن اطلاعات سمت هدف با انتشار امواج راداری و در نهایت کشف و دریافت امواج برگشتی و هدایت آن به سمت گیرنده	ت	تایمر
۵	این قسمت پس از دریافت سیگنال‌های بازتابی، آنها را تقویت کرده، پس از آشکارسازی و تقویت سیگنال‌های اکوی هدف، آنها را جهت تصویرسازی به نشان‌دهنده ارسال می‌دارد.	ث	گیرنده
۶	یک سوئیچ موج بر است که فرستنده و گیرنده را به آنتن مرتبط می‌کند.	ج	فرستنده

کار در منزل

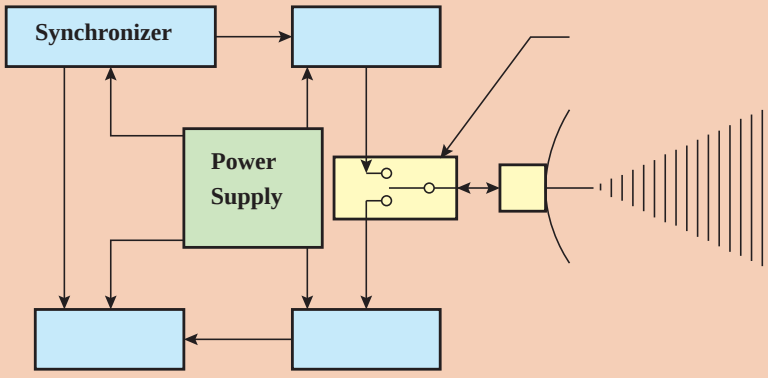
تصاویری از بلوک دیاگرام رادار را تهیه‌کرده و به همراه توضیحات در کلاس نصب نمایید.

نکته

اکثر سیستم‌های رادار پالسی برای ارسال و دریافت پالس از یک آنتن استفاده می‌کنند.

فعالیت کلاسی

هر کدام از قسمت‌ها را در بلوک دیاگرام زیر جاگذاری کنید.

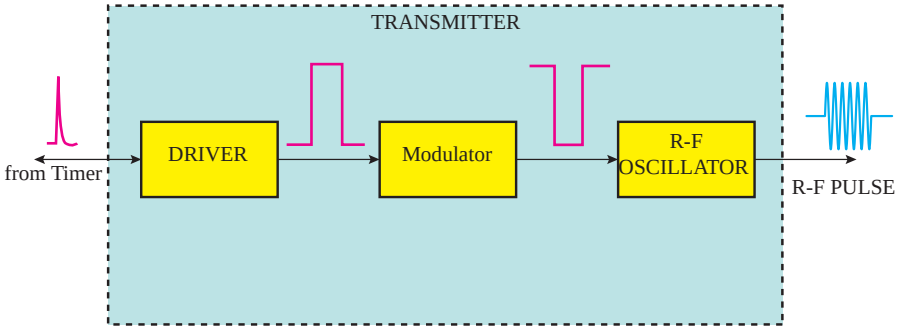


Receiver	Antenna/	Duplexer	Modulator	Transmitter

فرستنده رادار (Radar Transmitter)

همان‌طوری که گفته شد، فرستنده تحت کنترل تایمر (زمان‌سنج رادار) مبادرت به تولید پالس‌های بسیار قوی می‌کند. فرستنده برای تولید این پالس‌ها از یک نوسان‌ساز فرکانس زیاد (HighFreguency Oscillator) استفاده می‌کند، که تحت عنوان مگنترون نامیده می‌شود. فرکانس تولیدشده در مگنترون، طول‌موج امواج راداری را که در فضا انتشار می‌یابند، تعیین می‌کند. از آنجا که فرکانس و طول موج رابطه عکس با یکدیگر دارند، هر چه فرکانس مگنترون بیشتر باشد، طول‌موج امواج منتشرشده کوتاه‌تر خواهد بود.

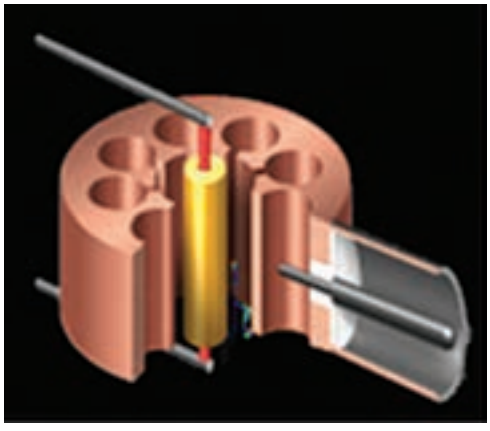
در شکل (۲۳) بلوک دیاگرام ساده یک فرستنده رادار نشان داده‌شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، یک فرستنده از دو قسمت اساسی به شرح زیر تشکیل یافته است:



شکل ۲۳ــ یک بلوک دیاگرام فرستنده رادار

الف) مدولاتور (Modulator): از مدولاتور در یک فرستنده برای تولید ولتاژ پالسی شکل قوی که مورد نیاز دستگاه مگنترون است، استفاده می‌شود. به مدولاتور در یک فرستنده رادار، مدار شکل‌دهندهٔ پالس نیز می‌گویند که به‌عنوان یک مدار کنترل‌کنندهٔ تغذیه ولتاژ بسیار قوی به مگنترون عمل می‌کند.

مدولاتور معمولاً در ورودی خود ولتاژ مستقیم (حدود ۶۰۰۰ ولت) را گرفته، از طریق مدارهای شکل‌دهندهٔ پالس و یک سوئیچ قطع و وصل که سرعت عمل آن هماهنگ با PRF رادار است، یک ولتاژ پالسی شکل بسیار زیاد (حدود ۲۴۰۰۰ ولت منفی) را به آند مگنترون تغذیه می‌کند، که این عمل در حقیقت همان روشن و خاموش شدن فرستنده است.



شکل ۲۴ــ نمایی از یک مگنترون

ب) مگنترون (Magenteron): فرستنده یک نوسان‌ساز امواج راداری است که به وسیلهٔ مدولاتور روشن و خاموش (قطع و وصل) می‌شود. نوسان‌ساز به‌کار گرفته شده در رادار به لحاظ اینکه امواجی با فرکانس بسیار زیاد و پرقدرت تولید می‌کند، با سایر نوسان‌سازهای مورد استفاده در سیستم‌های مخابراتی و غیره تفاوت دارد.

نوسان‌ساز مورد استفاده در فرستنده رادار تحت عنوان مگنترون (Magenteron) نامیده می‌شود. در شکل(۲۴) نمایی از یک مگنترون (نوع حفره‌ای) نشان داده‌شده است.

مگنترون یک دیود است که آند آن به زمین وصل شده است و کاتد آن نیز در طول مدّتی که مگنترون نوسان می‌کند، به یک پتانسیل منفی بسیار زیاد وصل می‌شود (پتانسیل حاصل از مدولاتور). این دیود در یک میدان مغناطیسی قوی که به‌وسیلهٔ یک آهنربای دائم ایجاد شده است، قرار می‌گیرد.

فعالیت کارگاهی

از نزدیک مشخصات مربوط به یک مگنترون را چک کرده و موارد مهم را به خاطر بسپارید.

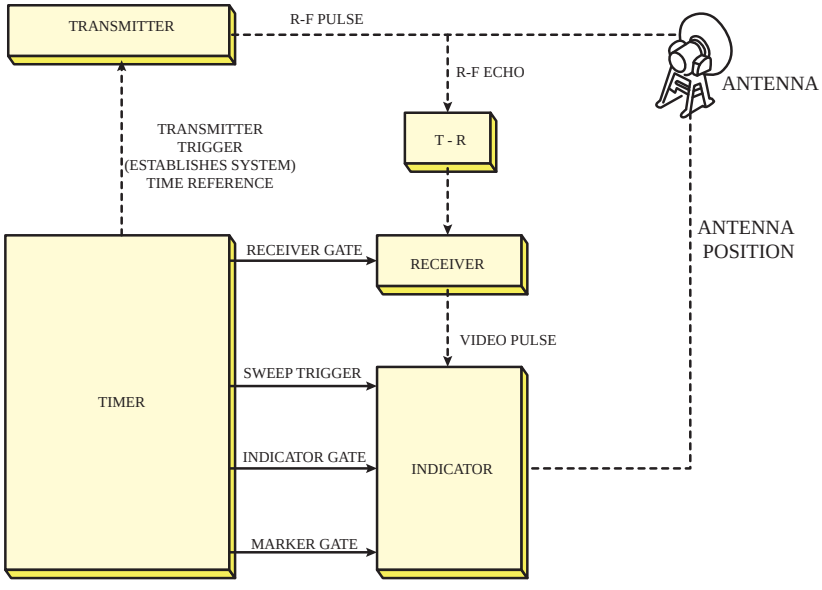
فعالیت کارگاهی

با توجه به بلوک دیاگرام فرستنده قسمت‌های مختلف آن را تشریح کنید.

تایمر (Timer)

تایمر سیستم رادار، در حقیقت هماهنگ‌کنندهٔ زمانی کار قسمت‌های مختلف یک سیستم رادار است. با توجّه به اینکه اساس اندازه‌گیری فاصله بر مبنای اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت یک پالس به هدف است، عملکرد تایمر اهمیت خاص پیدا می‌کند. تایمر ضمن اینکه نقش اساسی در مشخص‌کردن میزان فرکانس تکرار پالس (p_{RF}) دارد، مطمئن می‌شود که مدولاتور و نشان‌دهندهٔ رادار با یک رابطه زمانی مشخص نسبت به یکدیگر عمل می‌کنند و نقطهٔ شروع کار آنها را درست در لحظه‌ای که فرستندهٔ پالس حاوی انرژی امواج راداری را تولید می‌کند، با ارسال پالس‌هایی که تریگر (Trigger) نامیده می‌شود، آغاز می‌کند.

بلوک دیاگرام یک سیستم رادار که در آن عملکرد تایمر به‌طورکلی مشخص شده است، در شکل ۲۵ نشان داده‌شده است. همان‌طور مشاهده می‌شود، تایمر یک تریگر به فرستنده می‌دهد که شروع به ارسال امواج کند. با یک تأخیر زمانی (کمی‌بیش از عرض پالس یا زمان فرستندگی) با ارسال تریگر دیگری گیرنده را فعّال کرده، در لحظهٔ ارسال پالس نیز تریگری به نشان‌دهندهٔ رادار می‌فرستد تا ضمن اینکه شروع به اندازه‌گیری زمان رفت‌وبرگشت پالس کند، تصویر ویدئویی مناسبی را نیز به‌طور هماهنگ به نمایش درآورد.



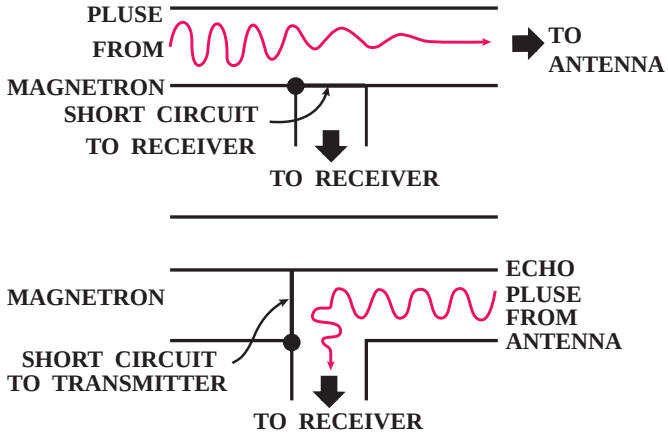
شکل ۲۵ـ عملکرد تایمر در سیستم رادار

به‌طور خلاصه در تایمر زمان‌های مورد لزوم در سیستم رادار ساخته می‌شود؛ بدین ترتیب که تریگرهایی که فرکانس آنها بر p_{RF} رادار است، تولیدشده در زمان مناسب به مدولاتور، نشان‌دهنده و گیرنده فرستاده می‌شود.

سوئیچ‌های TR و ATR

در سیستم رادار وقتی از یک آنتن برای فرستنده و گیرنده استفاده می‌شود، به نحوی باید از ورود انرژی بسیار قوی فرستنده در زمان ارسال پالس به داخل گیرنده جلوگیری کرد؛ همچنین امکان اتّصال آنتن به گیرنده را برای دریافت اکوهای بازتاب شده و ممانعت از ورود سیگنال‌های دریافتی به قسمت فرستنده که سبب تضعیف سیگنال خواهد شد، فراهم کرد.

سوئیچ TR (Transmit ـ Receive) در مسیر گیرنده قرارگرفته از ورود پالس‌های فرستنده به داخل گیرنده جلوگیری می‌کند، در حالی که سوئیچ (ATR) (Anti Transmit ـ Receive) در مسیر فرستنده قرارگرفته، جلوی فرستنده را مسدود می‌کند و سبب می‌شود گیرنده به آنتن وصل شود. سوئیچ‌های ATR و TR و نحوهٔ عملکرد آنها به‌صورت تصویری در شکل (۲۶) نشان داده‌شده است.



شکل ۲۶ـ عملکرد سوئیچ‌های ATR و TR

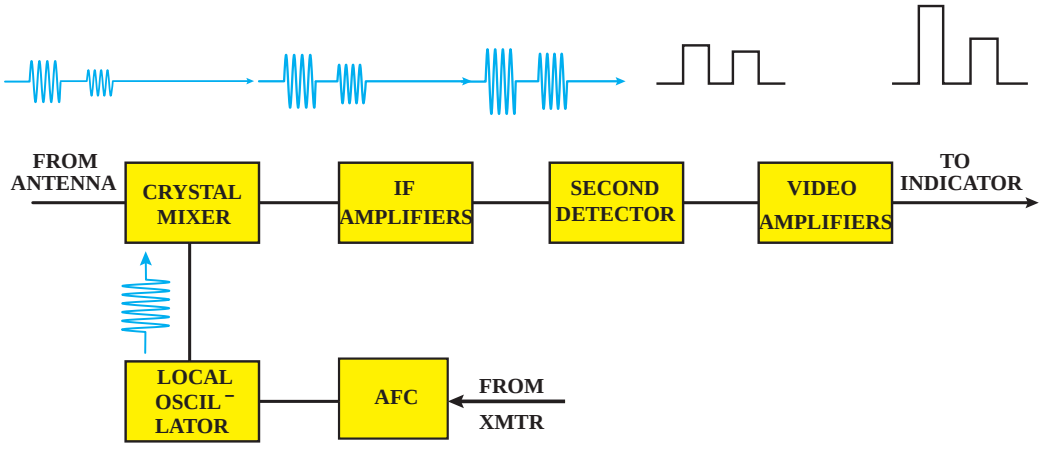
مجموعه سوئیچ‌های و ATR ازجمله سوئیچ‌های الکترونیکی بوده که تحت عنوان دوپلکسور (DUPLEXER) نیز نامیده می‌شود.

گیرنده رادار (Radar Receiver)

گیرنده رادار، یک نوع خاص گیرنده سوپر هترودین است. کار آن دریافت سیگنال‌های بازتاب شدهٔ ضعیفی است که از طریق آنتن وارد گیرنده می‌شوند و پروسه کردن این سیگنال‌ها و در نهایت آشکارسازی پالس‌های مربوط به اکوی هدف و تغذیهٔ آن به نشان‌دهنده رادار.

بلوک دیاگرام یک گیرنده رادار در شکل ۲۷ نشان داده‌شده است. سیگنال‌های دریافتی به وسیلهٔ آنتن وارد یک مخلوط‌کننده شده، در آنجا با سیگنال تولیدشده به‌وسیلهٔ یک نوسان‌ساز محلی (Local Oscillator) مخلوط و تبدیل به سیگنالی می‌شود که دارای فرکانس ثابت و مشخصی به‌مراتب کمتر از فرکانس اولیه است. سیگنال ایجاد شده در تقویت‌کنندهٔ میانی (IF-Amplifier) تقویت می‌شود و سپس تحت آشکارسازی قرار

می‌گیرد تا پالس‌های مربوط به بازتاب اکو از هدف مشخص‌شده پس از تقویت، جهت ایجاد تصویر ویدئویی به نشان‌دهندهٔ رادار وارد شود. معمولاً فرکانس نوسان‌ساز محلی به‌گونه‌ای است که سیگنال خروجی از مخلوط‌کنندهٔ دارای فرکانس متوسّط ۶۰ـ۳۰ مگاهرتز خواهد بود شکل (۲۷).



شکل ۲۷ـ بلوک دیاگرام یک گیرنده رادار

از نظر فیزیکی معمولاً فرستنده و گیرندهٔ رادار در یک مجموعه دستگاهی قرارگرفته که تحت عنوان TRANSCEIVER نامیده می‌شود.

فعالیت کارگاهی

با توجه به بلوک دیاگرام گیرنده قسمت‌های مختلف آن را تشریح کنید.

کار در کلاس

با حضور در کارگاه ناوبری قسمت‌های مختلف رادار را از نزدیک مشاهده کنید.

آنتن رادار Radar Antenna / Scanner

کار یک سیستم آنتن عبارت است:

ـ از انتشار امواج پر انرژی راداری که در قسمت فرستنده تولید و به شکلی به آنتن هدایت می‌شوند.

ـ و دریافت بازتاب سیگنال‌های ارسالی پس از برخورد با موانع و هدف‌ها و هدایت آن به سمت گیرنده رادار.

تصاویری از آنتن‌های رادارهای ناوبری در شکل(۲۸) و (۲۹) نشان داده شده است.

شکل۲۸ـ آنتن رادار و رادم برای محافظت قسمت چرخنده آنتن رادار

شکل ۲۹ـ آنتن رادار

به قسمت گردان سیستم آنتن رادار که عمل ارسال و دریافت امواج را انجام می‌دهد کاوشگر یا اسکنر (Scanner Unit) نیز می‌گویند. طول آنتن (اسکنر) رادار با طول موج ایجاد شده ارتباط مستقیمی دارد. بنابراین برای افزایش طول‌موج راداری نیازمند اسکنری با ابعاد بزرگ‌تر هست شکل (۳۰).

شکل ۳۰ـ قسمت گردان سیستم آنتن

کار در کلاس

در جدول زیر قسمت و اجزای سیستم اصلی آنتن آورده شده است. با راهنمایی هنرآموز خود، نقش هر کدام از قسمت‌ها را بنویسید.

۱	عنصر تشعشع کننده	
۲	منعکس‌کننده	
۳	سیستم چرخانندهٔ آنتن	
۴	سیستم سینکروسمت	
۵	کنتاکت مخصوص نشان‌دهنده سمت سینه کشتیmarkerHeading	

نکات ایمنی

۱ هرگونه کار در نزدیکی آنتن‌های هوایی باید فقط مطابق با مجوز انجام کار انجام شود. نکات هشداردهنده باید در مکان‌های مناسب تا زمانی که کار به پایان می‌رسد نصب شود.
۲ به هیچ یک از دریانوردان نباید در مجاورت آنتن‌های هوایی، در مدت‌زمانی که آنتن‌ها دارای جریان برق هستند، اجازه انجام کار داده شود.
۳ برای دور کردن هر شخصی از نزدیکی تجهیزات درجایی که خطر شوک الکتریکی و صدمه به کارکنان از طریق اشعه ایکس یا دیگر تشعشعات وجود دارد از علائم هشداردهنده مناسب استفاده شود.
۴ اسکنر رادار باید در محلی نصب شود که اطراف آن تا جای ممکن خالی از هرگونه مانع باشد.

فکر کنید

نصب اسکنر رادار در ارتفاع بالا، چه مزایا و معایبی می‌تواند داشته باشد؟

کار در کلاس

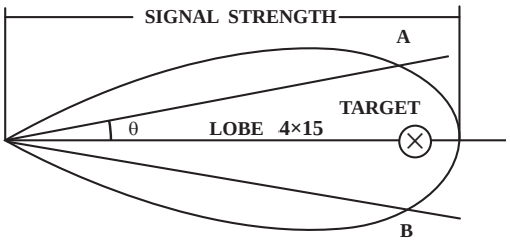
نوع یا شکل اجسام مختلف چه تأثیری بر روی اکوهای دریافتی دارد؟

انواع آنتن‌ها

آنتن‌ها به دودستهٔ عمومی تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱ـ آنتن‌های جهت‌دار یا جهتی	Directional Antenna	امواج راداری را در جهت خاصی انتشار می‌دهند.
۲ـ آنتن‌های تمام جهتی	Omni Directional Antenna	انرژی یا امواج راداری را در کلیه جهات منتشر می‌کنند.

آنتن‌های تمام جهتی این نوع آنتن‌ها به‌طور عمده در وسایل ارتباطی و جهت‌یاب‌ها است و به‌ندرت در سیستم‌های راداری مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرند.



فرم تشعشعی یک آنتن جهت‌دار

شکل روبه‌رو فرم تشعشعی یک آنتن جهت‌دار را نشان می‌دهد. ماکزیمم شدّت تشعشع در مرکز پرتو یا لوب (Lobe) قرار دارد و به‌عبارت‌دیگر هرچه از محور مرکزی پرتو به‌طرفین برویم از شدّت تشعشع کاسته خواهد شد. در نقاط A و B توان انتشار نصف توان ماکزیمم است؛ از این‌رو این نقاط را نقاط نیم‌توان (Half Power Points) گفته، زاویه θ را عرض (یا پهنای) پرتو می‌نامند. معمولاً پهنای پرتو رادارها بین یک تا دو درجه و گاهی نیز تا چند درجه است.

تشعشع کننده

عنصر تشعشع‌کننده در رادارهای یک رادیاتور (Radiator) بوقی شکل است. از آنجا که در رادار برای انتقال موج از فرستنده به آنتن از ویوگاید (Wave Guide) استفاده می‌شود، نمی‌توان همانند سیستم آنتن دستگاه‌های مخابراتی برای انتشار امواج از عناصر دیپل (Dipole) استفاده کرد؛ ازاین‌رو رادیاتورهای بوقی در قسمت انتهایی ویوگاید قرار دارند که برای انتشار امواج به کار می‌روند. چند نمونه از رادیاتورهای بوقی در شکل (۳۱) نشان داده‌شده است.

چهارگوش　　هرمی　　مخروطی

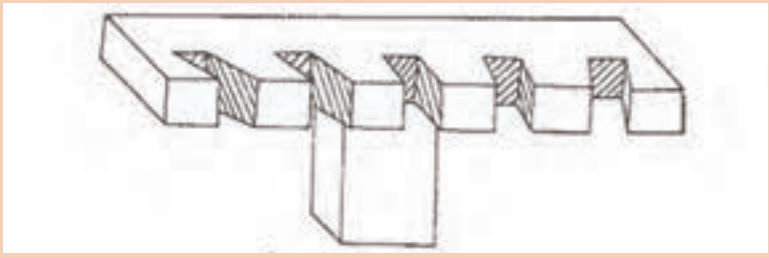
شکل ۳۱ـ رادیاتورهای بوقی

کار در کلاس

دلیل گسترش دهانهٔ رادیاتورها چیست؟

بیشتر بدانید

نوع دیگر منتشرکنندهٔ امواج در فضا ویوگاید شیاردار است. در این روش یک ویوگاید به‌طور افقی به انتهای ویوگاید اصلی که از فرستنده وارد آنتن می‌شود، وصل شده در قسمت جلویی این ویوگاید چند شیار ایجاد می‌شود تا امواج بتوانند از این شیارها خارج شده در فضا منتشر شوند. این نوع تشعشع‌کننده در آنتن رادارهای ناوبری کاربرد زیاد دارد. تصویری از یک ویوگاید شیاردار در شکل زیر نشان داده شده است.



نکته

به‌منظور جلوگیری از نفوذ آب باران، رطوبت هوا و گرد و غبار به داخل ویوگاید، انتهای آن (که بوقی شکل است) به‌وسیلهٔ ورقه نازک فلزی پوشیده شده است. این روکش مخصوص باید همواره تمیز و عاری از هرگونه نمک‌زدگی، دود و غبار باشد، چه در این صورت مقداری از انرژی پالس ارسالی و اکوی بازتابی جذب این روکش شده، بر عملکرد رادار اثر نامطلوب خواهد داشت.

بیشتر بدانید

ویوگاید (Wave Guide)

ویوگاید یا موج‌بر، نوعی کانال‌هادی موج است که امواج راداری تولید شده در فرستنده را به سمت آنتن رادار هدایت می‌کند. برخلاف سیستم‌های ارتباطی که برای انتقال امواج رادیویی به آنتن از خطوط انتقال معمولی (کابل کواکسیال) استفاده می‌کنند، در سیستم‌های راداری برای انتقال امواج راداری موجود در باند مایکروویو و به لحاظ قدرت‌های بالا، لازم است از نوعی خط انتقال استفاده شود که قادر به تحمل قدرت‌های بسیار زیاد با کمترین تلفات باشد.

تحقیق کنید

درباره ویوگاید، نحوه کار و ویژگی‌های آن در سیستم‌های راداری مطالبی را تهیه کرده و در کلاس ارائه دهید.

فعالیت کارگاهی

قسمت‌های مختلف به اسکنر و ویوگاید را از نزدیک مشاهده و تشریح کنید.

تحقیق کنید

تعداد دور چرخش آنتن و نحوه به حرکت درآمدن موتور اسکنر را تشریح نمایید.

نمایشگر رادار Radar Display

نشان‌دهندهٔ رادار دستگاهی است که بازتاب دریافت شده از هدف و سایر موانع را به‌صورت نقاطی روشن روی صفحه نشان می‌دهد. نمایشگر، اطلاعات و انعکاس‌های دریافتی را طوری نمایش می‌دهد که بتواند احتیاجات کاربرد را فراهم کند، جست‌وجو و مسیریابی خودکار را کنترل کند و وقتی هدف شناسی شد بتواند اطلاعات مورد نظر را استخراج کند.

شرکت‌های تولیدکننده رادار با ارائه محصولات متنوع درصدد ارائه محصول با کیفیت و کاربری مناسب هستند ولی چیزی به‌عنوان صفحه کلید استاندارد برای کلیدهای کنترلی رادارها وجود ندارد و پانل‌های کنترل رادار و حتی اصطلاحات تولیدکننده‌ها متفاوت است، با این‌حال سازمان جهانی دریانوردی علائم استانداردی را برای کلیدهای کنترل راداری جهت سهولت استفاده از رادار برای ایمنی شناورها تعریف نموده است. تصویری از یک رادار ناوبری که در داخل پل فرماندهی یک کشتی نصب بوده و به‌وسیله نفر مسئول برای امور ناوبری مورداستفاده قرار می‌گیرد را در شکل (۳۲) می‌بینید.

شکل ۳۱ـ تصویری از یک نمایشگر رادار ناوبری

اکوی هدف‌ها که به‌وسیلهٔ نقاط نورانی نشان داده می‌شوند، به‌گونه‌ای تصویر می‌شوند که موقعیت نقاط متناظر با موقعیت فیزیکی هدف از نظر سمت و فاصله آن برابر با فاصلهٔ شعاعی از مرکز تا نقطهٔ نورانی موردنظر است.

تحقیق کنید

در مورد انواع اکوهای کاذب تحقیق کرده و نتیجه را به‌صورت پرده‌نگار در کلاس به نمایش در آورید.

نکته ایمنی

چشم‌ها به‌طور ویژه به امواج کوچک الکترومغناطیسی و امواج فرا سرخ حساس هستند. مراقبت‌های ویژه باید در زمان کار با این تجهیزات در نظر گرفته شود و نباید به‌طور مستقیم به داخل اسکنرهای رادار در زمانی که رادار فعال است نگاه کرد.

بیشتر بدانید

قسمت درونی صفحهٔ تصویر با مادّه‌ای (فسفر) پوشیده شده است، که خاصیت پس‌تابشی دارد. چنانچه از این خاصیت استفاده نمی‌شد، هر اکو پس از ظاهر شدن بر روی صفحهٔ تصویر به‌سرعت محو و از بین می‌رفت و دوباره پس از یک گردش دیگر آنتن بر روی صفحه ظاهر می‌شد.
خاصیت پس‌تابشی صفحهٔ تصویر باید به‌اندازه‌ای باشد که حداقل پس از یک دور گردش کامل آنتن رادار، اکوی مزبور همچنان تابش خود را حفظ کند.

آشکارسازی اتوماتیک هدف

در این روش خروجی گیرنده‌های رادار به کامپیوتر و سیستم‌های پردازش و تجزیه و تحلیل اطلاعات داده‌شده تا اطلاعات مربوط به هدف را در نشانگرهای مربوط به نمایش درآورند. در این روش اپراتورهای رادار نقشی در کشف و کسب اطلاعات هدف با بررسی نشان‌دهندهٔ رادار ندارد و مراحل مختلف به‌طور اتوماتیک انجام می‌پذیرد.

الف) کاربرد کلیدهای کنترلی صفحهٔ نشان‌دهنده رادار: صفحهٔ نشان‌دهندهٔ رادار (یا کنسول رادار) تعدادی کلید کنترلی دارد که با به‌کارگیری آنها می‌توان از مجموعه سیستم رادار و خود کنسول بهره‌برداری کرد. تصویری از نمونه کلیدهای کنترلی یک کنسول رادار که در صفحهٔ نشان‌دهنده رادار تعبیه شده‌اند، در شکل نشان داده شده است. این کلیدها در انواع کنسول‌ها ممکن است متفاوت باشد شکل (۳۳).

شکل ۳۳ـ کلیدهای کنترلی

نکته

آشنایی با کاربرد هر یک از کلیدهای کنترلی برای کسانی که به نحوی با رادار سروکار دارند، ضرورت دارد. این اطّلاعات معمولاً به‌طور مشروح در کتب راهنمای فنی رادار مربوطه ذکرشده است.

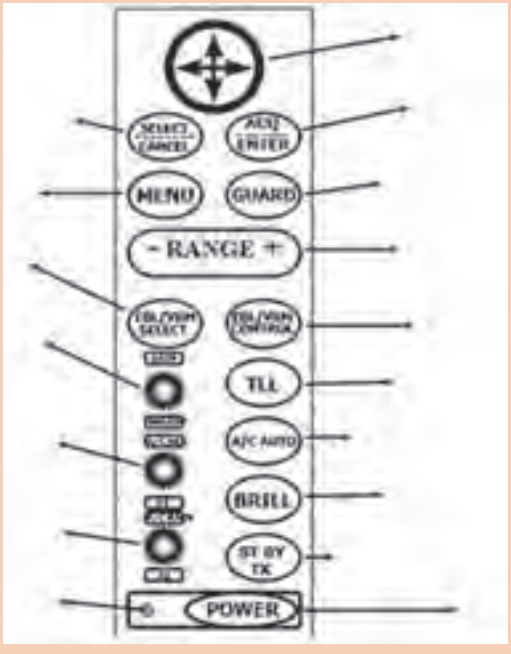
فعالیت کارگاهی

در کارگاه دریانوردی و یا بازدید از شناورها، با کلیدهایی که بر روی صفحهٔ نشان‌دهنده رادار قرار گرفته‌اند آشنا شده و کاربرد هر کدام را فرا بگیرید.جدول را مطابق آموخته‌های عملی خود کامل کنید.

ردیف	نام کلید	کاربرد
۱	کلید اصلی روشن و خاموش‌کردن سیستم رادار (POWER SWETCH)	
۲	سوئیچ تنظیم‌کننده Focus	
۳	سوئیچ تنظیم‌کننده Brillianc	
۴	سوئیچ تنظیم‌کننده Receiver Gain	
۵	سوئیچ انتخاب عرض پالس (پهنای پالس)	
۶	سوئیچ انتخاب فاصله (Range Switch)	
۷	سوئیچ مربوط به دوایر تعیین فاصله (Range Rings)	
۸	سوئیچ مربوط به دایره متغیّر تعیین فاصله (Variable Range Marker)	
۹	صفحهٔ نشانگر سمت (Cursor)	
۱۰	تیون Tune	

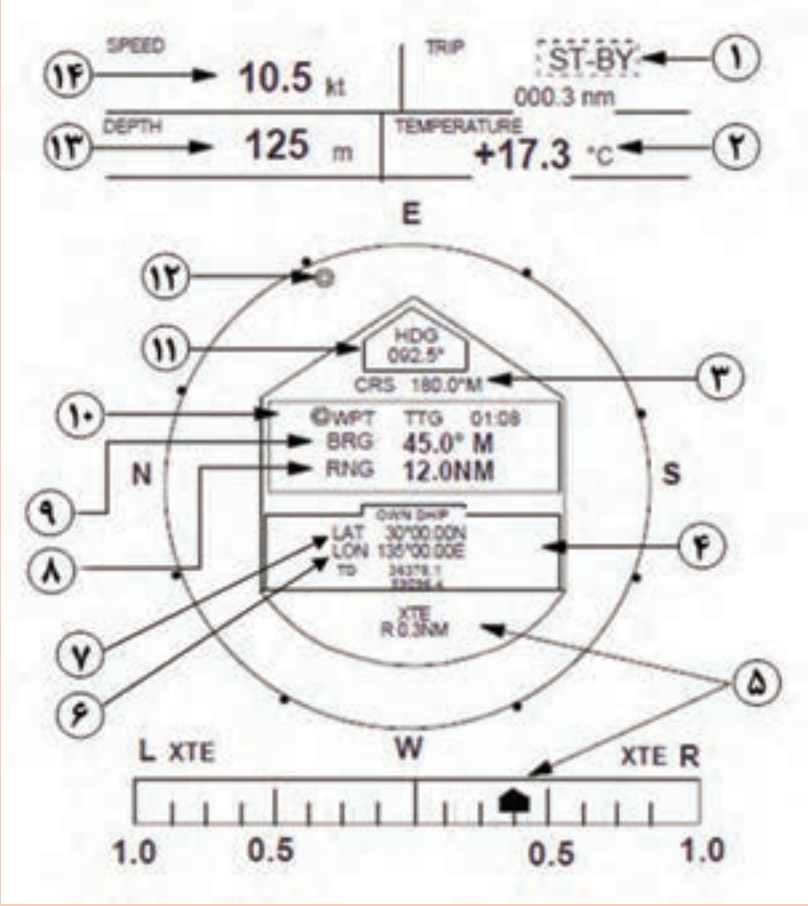
فعالیت کارگاهی

با توجه به صفحه‌نمایش رادار (Display) در شکل زیر، نام یا کاربرد هر کدام از کلیدها را مشخص کنید.



فعالیت کارگاهی

در تصویر زیر صفحه نمایش رادار در زمان فعال بودن (ST_BY) و حالت نمایش اطلاعات ناوبری (NAV) نشان داده شده است. توضیحات مربوط به هر قسمت را در جدول بنویسید.



۱		۸	
۲		۹	
۳		۱۰	
۴		۱۱	
۵		۱۲	
۶		۱۳	
۷		۱۴	

نکته ایمنی

نور رادار نبایستی سبب اختلال در مشاهده کاربران پل فرماندهی در شب شود. با استفاده از تنظیم درخشندگی و استفاده از چشمی مناسب صفحه رادار یا استفاده از کاور مناسب در پل فرماندهی سبب کنترل نور صفحه نمایش راداری می‌شویم. در شکل زیر پانل کنترلی و چشمی صفحه رادار نشان داده شده است.

نکته

تغییر برد راداری به طول پالس رادار PRF، (فرکانس تکرار پالس) و کیفیت اکوی هدف بستگی دارد. توجه داشته باشید برای دیده‌بانی مناسب و ایمن نیازمند برد راداری هستیم که اهداف قابل تشخیص باشند.

بیشتر بدانید

رادارها قادرند اهداف متحرک را از اهداف ثابت تشخیص دهند. به این منظور فرایندی فنی به نام MTI وجود دارد. بر این اساس اگر سرعت یک هدف از ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت کمتر بود آن هدف را حذف و بالاتر از آن را به‌عنوان هدف متحرک نشان دهد. این سامانه در حقیقت فیلتر نشان‌دهنده اهداف متحرک از ثابت است.

بحث کلاسی

تحقیق کنید رادار چگونه قادر به تعیین ارتفاع هدف می‌باشد؟

فکر کنید

علائم زیر در صفحه نمایشگر رادار نشان‌دهنده چیست؟

ب) روشن کردن رادار: موارد مهمی که باید در هنگام روشن کردن سیستم رادار رعایت کرد، به شرح زیر هستند:

۱ روش روشن کردن و تنظیم هر نوع خاصی از رادارها در کتابچه‌ای که همراه خود دستگاه ارائه می‌شود، نگارش شده است که ضرورت دارد قبل از بهره‌برداری از سیستم رادار مورد مطالعه قرار گیرد.

۲ اطمینان حاصل کنید که آنتن می‌تواند آزادانه چرخش کند و مانعی بر سر راه آن وجود ندارد.

۳ مطمئن شوید که کلیدهای کنترلی مربوط به محور اکوی امواج، شفّافیت و تقویت گیرنده در وضعیت حداقل قرارگرفته باشد.

نکات ایمنی

۱ سلول‌های زندهٔ بدن قادر به جذب یک حدّ مجاز از امواج رادیویی هستند. این عمل باعث افزایش درجه حرارت بدن می‌شود و البته ممکن است اثرات نامطلوب نیز به همراه داشته باشد. تشعشع امواج الکترومغناطیسی در محدودهٔ باند فرکانسی رادار به‌وسیلهٔ آنتن‌ها، هر چند که قادر به کشتن افراد نیست، امّا ایجاد جراحات و سوانح قابل تصوّر است. شدّت سیگنال‌های راداری که به ایجاد اثرات سوء منجر شود، بالا است؛ از این‌رو تنها رادارهای بسیار پرقدرت، نظیر رادارهایی که برای کشف موشک‌های قاره‌پیما در بردهای زیاد به‌کار می‌رود، می‌توانند خطرناک باشند، البته آن هم در فاصله‌های نزدیک به رادار.
رادارهایی که برای موارد عادی به کار گرفته می‌شوند به‌طور عمده بی‌خطر هستند، مگر اینکه سلول‌های زنده بدن به‌طور مستقیم در معرض انتشار امواج راداری ساطع شده از آنتن و در فاصله چند فوقی از آن قرار گرفته باشند.

۲ ولتاژهای RF ممکن است در اشیاء فلزی زمین نشده، نظیر مهارهای سیمی یا نردبان‌ها، جریان‌های القایی به وجود آورد؛ از این‌رو ممکن است اشخاصی که در آن زمان با این اشیاء در تماس باشند، شوک دریافت کرده و به سویی پرت شوند. به همین منظور لازم است قبل از نزدیک شدن و کاربر روی آنتن‌ها، احتیاط‌های لازم ایمنی را به عمل آورده، مطمئن شویم دستگاه مربوطه خاموش است.

۳ مهارها، کابل‌ها و نردبان‌ها باید دارای اتّصال به زمین باشند. در هنگام کار در ارتفاع، حتماً از کمربند ایمنی استفاده کرده؛ از قرار دادن مواد قابل اشتعال در نزدیکی و در مسیر انتشار امواج RF خودداری شود.

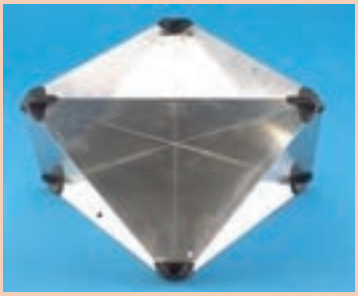
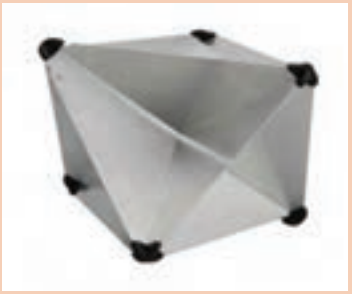
۴ چشمان انسان نسبت به حرارت ایجاد شده در اثر جذب بیش از حدّ امواج رادیویی حسّاس است؛ از این‌رو هیچ‌گاه نباید به‌طور مستقیم به انرژی تشعشعی نگاه کرد. در ضمن، ارگان‌های حیاتی بدن نیز به این حرارت حساس هستند و به‌منظور حفظ سلامتی نباید به‌طور مستقیم در مسیر تشعشع آنتن‌ها ایستاد.

۵ آنتن‌ها و خطوط انتقال به‌طور عموم دارای یک محدوده خطر انرژی RF هستند که به‌وسیلهٔ خطوط قرمز مشخص‌شده است و در موقع انتشار نباید در داخل این محدوده‌ها ایستاد.

منعکس‌کننده‌های راداری

کار در کلاس

در تصاویر زیر چند نمونه منعکس‌کننده‌های راداری (Radar Reflector) را مشاهده می‌کنید. درباره نقش و دلیل به‌کارگیری آن در قایق‌های نجات با همکلاسی‌های خود بحث و گفت‌وگو کنید.

رادار آرپا : Automatic Radar Plotting Aid: سیستم آرپا برد الکترونیکی متصل به رادار و یک پردازشگر است که می‌تواند اطلاعات حرکتی اهداف شامل؛ راه و سرعت شناور مقابل، نزدیک‌ترین نقطه عبور شناورهای اطراف کشتی (CPA) را محاسبه و در اختیار کاربر قرار دهد.

نمایشگر رادارهای آرپا موقعیت کشتی‌های اطراف کشتی شمارا نشان داده و مسیر مناسب برای کشتی جهت جلوگیری از بروز تصادم را انتخاب می‌کنند شکل (۳۴).

شکل۳۴ـ رادارهای آرپا

تحقیق کنید

الف) اطلاعات حرکتی اهداف را چگونه می‌توان استخراج نمود؟
ب) برای اندازه‌گیری فاصله اهداف تا شناور (محل آنتن رادار) از کدام کلید استفاده می‌شود؟
پ) کدام کلید کنترلی برای تعیین سمت اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرد؟
ت) با استفاده از کدام کلید می‌توان حلقه‌های متحدالمرکزی را در نمایشگر رادار ایجاد نمود و فاصله اهداف را تعیین نمود؟
ث) برای نمایش دنباله اهداف در صفحه رادار از چه کلیدی استفاده می‌شود؟

نکته

کلید شبیه‌ساز Trial برای شبیه‌سازی حرکت شناور خودی با سرعت و راه موردنظر است که بر اساس زمان تأخیری Delay که برای آن مشخص شده است کار می‌کند. در این حالت رادار اهداف واقعی را نشان نمی‌دهد بنابراین هوشیاری کاربر در به‌کارگیری این ابزار را می‌طلبد.

فعالیت کارگاهی

در بازدید از پل فرماندهی شناورها با کاربرد کلیدهای تنظیم راداری آشنا شوید و موارد خواسته‌شده را مشخص کنید.

بیشتر بدانید

سیستم ردیابی و شناسایی از راه دور (Long Range Tracking and Identification) LRIT این سیستم جزو الزامات کنوانسیون سولاس بوده و از آن برای ارسال خودکار اطلاعات شماره شناسایی شناور، موقعیت جغرافیایی و ساعت و روز ارسال موقعیت جغرافیایی جهت بهره‌برداران (کشورهای صاحب پرچم، بندر و ساحلی و بهره برداری ایمنی) استفاده می‌شود.

ATA (Automatic Tracking Aid) : این دستگاه شبیه رادار آرپا بوده و برای نمایش اطلاعات (به‌صورت گرافیکی و عددی) بر روی هدف‌های نقطه شده (تِرَک شده) جهت ترسیم مسیر حرکت ایمن و عاری از احتمال تصادم به‌کار می‌رود.

تحقیق کنید

با توجه به آموزش‌های عملی خود در کارگاه و نیز بازدیدهایی که در طی سال تحصیلی از شناورها خواهید داشت، درباره نحوهٔ کار و استفاده از انواع رادارها درروی کشتی گزارشی تهیه کرده و در کلاس ارائه دهید.

نکته ایمنی

فقط اشخاص ماهر مجاز به تعمیر تجهیزات الکتریکی هستند. و دستورالعمل‌های کارخانه سازنده باید برای همه تجهیزات با ولتاژ بالا فراهم شود و همواره در دسترس باشد.

تحقیق کنید

ولتاژهای موردنیاز برای راه‌اندازی قسمت‌های مختلف رادار اعم از اسکنر و مدولاتور و صفحه نمایش چقدر می‌باشد؟

کاربرد هدف‌های کاذب در عملیات اسکورت کاروان‌ها

نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران به‌منظور محافظت خطوط کشتی‌رانی و تقلیل آسیب‌های ناشی از حملات موشکی در تردد کشتی‌های تجاری و نفت‌کش دست به ابتکار و نوآوری زد.
طراحی و ساخت هدف‌های کاذب نقطه عطفی در نبردهای دریایی بود. ساخت و استقرار هدف‌های کاذب در قالب عملیات فریب در اسکورت کاروان‌ها تا پایان جنگ کاربرد اساسی داشت. این فناوری درکارخانجات بوشهر و بندرعباس به دست نیروهای متخصص و کارآمد نداجا به تولید انبوه رسید. هدف‌های کاذب که سطح مقطع راداری (اکو راداری) بزرگی را به‌صورت مجازی ایجاد می‌کنند، در نقاط مختلف مسیر حرکت کاروان‌ها یدک شده و یا به حالت لنگر در دریا شناور باقی می‌ماندند تا به هنگام شلیک موشک‌های کروز دریایی و هوا به سطح دشمن، موشک‌ها را فریب داده و به‌طرف خود بکشانند.
یدک‌کش‌هایی که اهداف کاذب را در مسیر کاروان یدک می‌کردند همواره در معرض بیشترین میزان خطر اصابت موشک قرار داشتند که این امر برای حفاظت از کاروان‌های تجاری و نفت‌کش، اجتناب‌ناپذیر بود و در راستای انجام این مأموریت خطرناک، نداجا شهدا و جاویدالاثرهای فراوانی را تقدیم نموده است.

جدول ارزشیابی

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
کاربری دستگاه رادار	بررسی اجزای یک سیستم راداری	کار با دستگاه رادار	بالاتر از حد انتظار	۱ بلوک دیاگرام یک سیستم رادار را کشیده، قسمت‌های مختلف آن را بررسی نماید. ۲ قسمت‌های مختلف یک فرستندهٔ رادار را نام‌برده، کار هر یک را به‌طور خلاصه بیان کنید. ۳ اساس کار یک مگنترون و تایمر رادار و مخلوط‌کننده را شرح دهید و آندمگنترون معمولاً به چه شکلی و از چه جنسی است؟ ■ هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ بلوک دیاگرام یک سیستم رادار را کشیده، قسمت‌های مختلف آن را بررسی نماید. ۲ قسمت‌های مختلف یک فرستندهٔ رادار را نام‌برده، کار هر یک را به‌طور خلاصه بیان کنید. ۳ اساس کار یک مگنترون و تایمر رادار و مخلوط‌کننده را شرح دهید و آندمگنترون معمولاً به چه شکلی و از چه جنسی است؟ ■ هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از انتظار	۱ بلوک دیاگرام یک سیستم رادار را کشیده، قسمت‌های مختلف آن را بررسی نماید. ۲ قسمت‌های مختلف یک فرستندهٔ رادار را نام‌برده، کار هر یک را به‌طور خلاصه بیان کنید. ۳ اساس کار یک مگنترون و تایمر رادار و مخلوط‌کننده را شرح دهید و آندمگنترون معمولاً به چه شکلی و از چه جنسی است؟ ■ هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان از ۳					
نمره پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی کاربری رادارهای دریایی

۱ـ شرح کار:

- بررسی انواع رادارهای مورد استفاده در شناورها و ضرورت به‌کارگیری هر کدام از آنها
- بررسی انواع رادارهای دریایی
- بررسی کاربری رادار

۲ـ استاندارد عملکرد:

شناخت انواع رادارهای موجود در روی کشتی

۳ـ شاخص‌ها:

توانایی کار با انواع رادارهای موجود در روی کشتی

۴ـ شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کارگاه مجهز به نمونه‌ای از رادار مورد استفاده در روی کشتی، به همراه بازدید نوبه‌ای و مرتب از واحدهای شناور

ابزار و تجهیزات: دستگاه رادار

۵ـ معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	بررسی رادار	۲	
۲	کار با انواع رادارها	۱	
۳	کاربری انواع رادار	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها، ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار ۳ـ اخلاق حرفه‌ای، ۴ـ استفاده صحیح و مناسب از ابزار و تجهیزات ناوبری	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.