هدف کلّی

فراگیر پس از پایان این درس خواهد توانست دستگاههای عمده و اصلی کمک ناوبری را که به طور عموم بر روی کشتیها موجود هستند، شناسایی کرده و با اجزاء، اصول کار و کاربرد هر یک از آنها آشنا شود.

بخش اوّل

رادار

مقدمه

به طور کلّی رادار وسیله‌ای است برای جمع‌آوری اطلاعات از اشیاء یا هدفهای دور به‌وسیلهٔ فرستادن امواج الکترومغناطیس به سمت آنها و تجزیه و تحلیل سیگنال برگشتی و در نهایت به تصویر کشاندن نتایج حاصل.

رادار به عنوان 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، از جمله وضعیت نامناسب جوّی، 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 این که 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 ناوبری کشتی است.

کاربردهای مختلف یک دستگاه رادار باعث شده تا از آن به عنوان یکی از بااهمیت‌ترین وسایل در عملیات ناوبری نام برده شود. در این کتاب نیز بحث رادار در یک بخش جداگانه مطرح شده و در طی چهار فصلی که به این بخش اختصاص داده شده است، اساس کار رادار، عوامل مؤثر در عملکرد رادار، کاربردهای رادار و اجزای سیستم رادار به‌ترتیب تشریح می‌شوند. از آنجا که این کتاب صرفاً به منظور ارائه یک شناخت عمومی و مقدماتی تدوین شده،ازاین روسعی شده‌است که مطالب به صورت کلّی و ساده بیان شوند.

فصل اوّل

اساس کار رادار

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل :

۱ــ تاریخچه رادار را بیان کند.

۲ــ کلمه رادار را بشناسد و آن را تعریف کند.

۳ــ نحوه کار رادار را روی دستگاه نشان دهد.

۴ــ اصول انعکاس امواج را تشریح کند.

۵ــ شکل موج رادار را با استفاده از دستگاه اسیلوسکوپ نشان دهد.

۶ــ فرکانس تکرار پالس را با استفاده از دستگاه اسیلوسکوپ نشان دهد.

۷ــ مفهوم زمان تکرار پالس را بیان کند.

۸ــ مفهوم عرض پالس را بیان کند.

۹ــ مفهوم زمان استراحت پالس را شرح دهد.

۱۰ــ فرمول تعیین فاصلهٔ هدف را توضیح دهد.

۱ــ۱ــ تاریخچه رادار

پیدایش و توسعهٔ رادار تقریباً همزمان و به طور 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 دههٔ ۱۹۳۰ پدید آمد. در سال ۱۹۴۲ نیروی دریایی آمریکا لفظ رادار (Radar) را به‌عنوان نام این دستگاه به‌کار برد که پس از آن، این لفظ به‌طور جهانی مورد استفاده قرار گرفت. این موضوع که رادار به طور همزمان اما درپی فعالیتهای تحقیقاتی و علمی مستقلی در کشورهای مختلف پدید آمده و شناخته شده‌است جای چندان تعجبی ندارد، زیرا که اصل اولیه در اساس کار رادار یعنی بازتاب امواج رادیویی از سالها قبل از پیدایش رادار شناخته شده و در مجامع علمی مطرح بوده است.

این که امواج رادیویی تولید پژواک یا بازتاب (Echo)[1] می‌کنند، قبل از سال ۱۹۲۰ شناخته شده بود. در حقیقت از این پدیده در اثبات وجود یونسفر (Ionosphere)[2] و دستیابی به ارتفاع لایه‌های مختلف آن، با اندازه‌گیری زمان لازم برای رسیدن بازتاب امواج رادیویی از لایه‌های یونسفر به زمین استفاده شده بود و این امر در ارتباطات رادیویی راه دور بسیار مهم بود. شناخت اصل بازتاب امواج به کارهای تحقیقاتی فیزیکدان آلمانی «هرتز» (Hertz) در زمینه امواج الکترومغناطیسی برمی‌گردد. هرتز در دهۀ ۱۸۸۰ توانست امواج رادیویی را در لابراتوار خود ایجاد کرده نشان دهدکه این امواج در اثر برخورد با اجسام فلزی منعکس می‌شوند، همان‌طوری‌که نور به وسیله آینه منعکس می‌شود.

هنگامی که دانشمند و مخترع ایتالیایی «مارکونی» (Marconi) و سایر همکارانش در ادامه کارهای هرتز به دنبال امکان ایجاد ارتباطات رادیویی بودند، یک دانشمند آلمانی به نام «کریستین هالزمایر» (Christian Hulsmeyer) به منظور جلوگیری از تصادم کشتیها یک دستگاه رادار ساده را به‌وجود آورده و حتّی در سال ۱۹۰۴ آن را در چندین کشور به ثبت رسانید، اما در آن مقطع زمانی علاقه‌مندی کمی به‌وجود چنین دستگاهی وجود داشت.

به‌طورکلّی قبل از دهۀ ۱۹۳۰، موضوع بازتاب امواج رادیویی بارها در لابراتوارها و آزمایشگاههای علمی مطرح بوده و دربارۀ کاربردهای احتمالی آن نظریاتی ارائه می‌شد. در سال ۱۹۰۰ «نیکلاتسلا» (Nikola Tesla) مخترع آمریکایی که در یوگسلاوی متولد شده بود، در خصوص این که می‌توان به‌وسیله امواج رادیویی، اجسام متحرک مانند کشتی را کشف کرده و موقعیت آن را تعیین کرد مطالبی را بیان کرده بود. همچنین وقتی از رابرت واتسون ــ وات (Robert Watson - Watt) مخترع رادار در انگلستان که مشغول انجام تحقیقات بر روی موضوع بوده، در خصوص احتمال وجود تشعشعات مرگبار (Death Ray) به صورت امواج رادیویی بسیار قوی به‌عنوان یک وسیله دفاعی بر علیه حملات هوایی دشمن سؤال می‌شود، او پاسخ می‌دهد که گرچه این امر به طور کلّی عملی نیست، اما استفاده از امواج رادیویی برای کشف یک هواپیما خیلی پیش از این که دیده شده یا صدایش شنیده شود کاری عملی و امکانپذیر خواهد بود. فعالیتهای دو دانشمند آمریکایی به‌نامهای تیلور (Taylor) و یانگ (Young) که در لابراتوارهای تحقیقاتی نیروی دریایی آمریکا در واشنگتن کار می‌کردند، نیز منجر به این شد که می‌توان دستگاهی ساخت تا به وسیله امواج انتشاری و بازتاب آن، موجودیت اجسامی را که حتّی در پناه دود، تاریکی و هوای مه‌آلود قرار گرفته باشند

۱ــ اِکو (Echo) : به معنی بازتاب یا پژواک بوده، به بخشی از امواج صوتی و یا الکترومغناطیسی اطلاق می‌شود که پس از برخورد با یک مانع منعکس می‌شود و دوباره به منبع منتشرکننده امواج می‌رسد.

۲ــ یونسفر (Ionosphere) : به لایه‌ای از گازهای یونیزه شده نزدیک قسمت فوقانی اتمسفر گویند که امواج رادیویی فرکانس بالا (High Frequency) را منعکس می‌کند. این عمل ارتباطات رادیویی راه دور را امکان‌پذیر می‌کند.

کشف و آشکار کرد.

در دهۀ ۱۹۳۰ (به علت نیاز ضروری برای کشف و تعیین موقعیت هواپیماهای دشمن در شب یا در هوای ابری، تحقیقات پیرامون کشف به وسیله امواج رادیویی (کشف رادیویی) در چندین کشور توجه بیشتری را به خود معطوف داشت. این تحقیقات به‌طور عموم تحت نظارت ارتش و به صورت سرّی انجام می‌گرفت. در انگلستان فعالیت در جهت ایجاد سیستم راداری، در سال ۱۹۳۴ با کار گروهی دانشمندان آغاز شد و اوّلین سیستم راداری آزمایشی که به وسیلۀ آقای واتسون پیشنهاد شده بود، در اواخر بهار سال ۱۹۳۵ در سواحل شرقی انگلستان نصب شد. در شروع جنگ جهانی دوم ایستگاههای رادار برای اعلام وقوع حملات هوایی ایجاد و عملیاتی شدند. اگرچه اکثر قدرتهای بزرگ اساس کار رادار را قبل از شروع جنگ کشف کرده بودند و تلاش وافری نیز در جهت توسعه آن برای کاربردهای نظامی انجام داده بودند، اما سیستم دفاعی انگلستان در سال ۱۹۳۹ احتمالاً پیشرفته‌ترین نوع به حساب می‌آمد.

در اوایل سال ۱۹۴۰ دانشمندان انگلیسی موفق به طراحی و ساخت دستگاهی به نام مگنترون (Magnetron) شد که با به‌کارگیری آن در سیستم رادار امکان تولید فرستنده‌های راداری با قدرت زیاد میسّر شد. این اختراع پیدایش رادارهای مایکروویوی (Microwave Radar) را برای اوّلین بار عملی کرد و در حقیقت تاریخ پیدایش رادار مدرن را می‌توان از تاریخ طراحی و ساخت دستگاه مگنترون دانست.

هرچند که در سالهای قبل از جنگ جهانی دوم، کشورها کارهای تحقیقاتی خود را بر روی موضوع رادار به طور مستقل دنبال می‌کردند، اما در اواخر سال ۱۹۴۰ پس از ورود آمریکا به‌جنگ، انگلستان و آمریکا به‌طور مشترک فعالیتهای خود را ادامه دادند. در طول سالهای جنگ، کارهای تحقیقاتی بر روی رادار به صورتی گسترده ادامه داشت و به طور عمده بر مدرنتر کردن رادار متمرکز بود ؛ به همین علت می‌بینیم که در انگلستان آمار نفراتی که بر روی سیستم رادار فعالیتهای تحقیقاتی می‌کردند، از ۴۰ نفر در سال ۱۹۴۱ به ۴۰۰۰ نفر در سال ۱۹۴۵ می‌رسد و این روند در سایر کشورها نیز مشهود بود.

استفاده مؤثر و موفقیت‌آمیز از سیستم رادار در انگلستان در طول جنگ جهانی دوم به‌منظور مقابله با حملات هوایی دشمن، به‌روشنی کاربرد مؤثر رادار را در مأموریت اصلی آن که نقش نظامی یعنی کشف و تعیین موقعیت هواپیماها درفواصل دور و تحت شرایط نامناسب جوّی بود، نشان داد. در این مدت از رادار در کاربردهای مختلف آن، از جمله کشف و تعیین موقعیت شناورهای نظامی در پهنۀ دریاها نهایت بهره‌برداری به عمل آمد.

توسعهٔ رادار پس از پایان جنگ جهانی دوم همچنان ادامه داشت. بسیاری از کاربردهای غیرنظامی رادار در اثر توسعهٔ مصارف نظامی پدید آمد. رادارهای ناوبری برای کشتیها و هواپیماها، رادار کنترل ترافیک هوایی، رادارهای تعیین ارتفاع، رادارهای هواشناسی، رادار کنترل سرعت اتومبیلها برای پلیس و... از جملهٔ این موارد هستند. بلافاصله پس از پایان جنگ جهانی دوم چندین کارخانه سازنده رادار در آمریکا و انگلستان سیستمهای راداری سادهای را معرفی و ارائه کردند که برای ناوبری ساحلی مناسب بود. این شروعی بود برای آن‌که در ادامه بهترین، توسعه یافته‌ترین و مدرن‌ترین دستگاههای راداری ساخته و به جهانیان عرضه شود. این روند با سرعت در راستای توسعه دستگاه رادار که امروزه نه تنها به عنوان یک وسیله کمک ناوبری بر روی شناورهای نظامی و تجارتی کاربرد دارد بلکه در تمامی زمینه‌ها به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد، کماکان ادامه دارد.

۲ــ۱ــ شناخت و تعریف رادار

واژه رادار (RADAR) که اولین بار در سال ۱۹۴۱ به‌وسیله نیروی دریایی آمریکا مورد استفاده قرار گرفت، از اولین حروف (ACRONYM) کلمات (Radio Detection And Ranging) به معنی آشکارسازی و تعیین فاصله رادیویی تشکیل یافته است. استفاده مؤثر از رادار در آشکارسازی (کشف)، تعیین موقعیت و مسافت بر اساس اندازه‌گیری زمان انرژی منتشر شده از رادار و انعکاس (بازتاب) آن پس از برخورد به‌هدف است.

در یک‌سیستم رادار، یک‌آنتن‌که به‌سرعت می‌چرخد پرتوی از امواج الکترومغناطیسی را شامل پالسهایی 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 به عنوان آنتن گیرنده عمل می‌کند، می‌رسد. پژواک به‌دست آمده از هدفها که پس از پُروسه کردن سیگنالهای برگشتی و بازتاب شده که بسیار ضعیف هم هستند پدید می‌آید، برای بهره‌برداری بر روی صفحات نشان‌دهنده رادار به نمایش درمی‌آید.

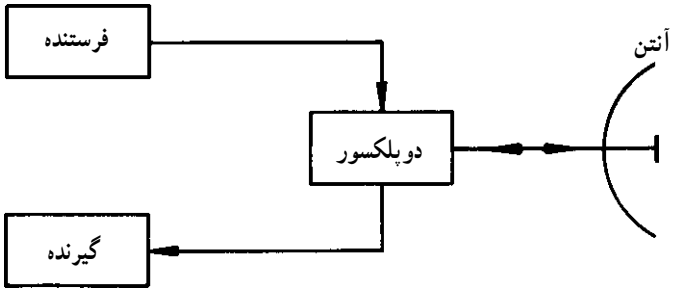
۳ــ۱ــ اساس کار رادار

اصلی که رادار برمبنای‌آن‌کار می‌کند،در عمل شبیه به اصل انعکاس صدا است. پدیده انعکاس امواج صوتی یک پدیده شناخته شده است. برای مثال، هرگاه شخصی در یک روز مه‌آلود در رودخانه یا دریاچه مشغول قایق سواری باشد و بداند که در مقابل خود ارتفاعات و موانعی وجود

دارند، می‌تواند برای تعیین موقعیت این موانع که به‌لحاظ شرایط جوّی موجود قابل رؤیت نیستند، دستهای خود را به طور بوقی شکل در جلوی دهان گرفته با صدای بلند فریاد بزند و شروع به شمردن ثانیه‌ها (زمان) کند تا انعکاس صدای خود را بشنود. پس از مشخص شدن زمان رفت و برگشت صوت (صدای فریاد) و با استفاده ازسرعت صوت که در حدود ۳۴۰ متر بر ثانیه (۱۱۰۰پا در ثانیه) است، شخص می‌تواند محاسبه کند که امواج صوتی او چه فاصله‌ای را طی کرده است (مسیر رفت و برگشت). نصف رقم به‌دست آمده، فاصله قایق تا مانع خواهد بود.

رادار به طور دقیق بر مبنای اصل ذکر شده در بالا عمل می‌کند، با این تفاوت که به‌جای امواج صوتی از امواج رادیویی استفاده می‌کند. امواج رادیویی با سرعتی معادل ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه (۱۸۶۰۰۰ مایل بر ثانیه) که به مراتب بیشتر از سرعت امواج صوتی است، حرکت می‌کند و از این رو قادر است فواصل بسیار دورتری را از نظر وجود موانع مورد بررسی قرار دهد.

در شکل (۱ــ۱) بلوک دیاگرام یک رادار ابتدایی نشان داده شده است. وقتی فرستنده به‌وسیله سیگنالی که مشخص کننده شروع زمان است تریگر (Trigger) شود، تولید پالسهای خیلی کوتاه امواج رادیویی می‌کند و این امواج از طریق آنتن به‌صورت پرتو باریکی انتشار می‌یابد. دوپلکسور



شکل ۱ــ۱ــ بلوک دیاگرام یک رادار ابتدایی

(Duplexer) به مثابه یک کلّیدی است که به‌موقع آنتن را بنا بر مورد به فرستنده یا گیرنده وصل می‌کند، بنابراین زمانی که فرستنده تولید پالس می‌کند، آنتن به فرستنده وصل است. آنتن که به‌صورت از پیش تعیین شده‌ای (از نظر سرعت و نحوه چرخش) می‌چرخد و معمولاً از نوع جهتی است، پالس تولید شده را در سمتی که در هر لحظه به خود می‌گیرد منتشر می‌سازد. سرعت چرخش آنتن هرقدر که زیاد باشد، در مقایسه با زمانی که طول می‌کشد پالسها از هدف یا هدفها به آنتن برگردند خیلی کم است. وقتی پالسهای ارسال شده یک شئ مثلاً یک کشتی دیگر برخورد کند و قسمتی از انرژی امواج رادیویی ارسالی به‌وسیلهٔ سطح کشتی که در کلّیه جهات از جمله به طرف خود کشتی ارسال کنندهٔ امواج منعکس می‌شود، به آنتن سیستم رادارکه در این شرایط به گیرنده وصل شده است برسد، آنتن

هنوز در همان جهتی است که امواج را ارسال کرده بود، از این رو بازتاب امواج به‌راحتی به‌وسیلهٔ آنتن دریافت خواهند شد و جهت آنتن نیز نشانگر جهتی است که مانع یا هدف وجود داشته است.

نحوهٔ انتشار امواج رادیویی و بازتاب آن پس از برخورد با یک هدف مانند هواپیما درشکل (۲ــ ۱) نشان داده شده است. در عمل بلافاصله پس از این که پالس تولید شده در فرستنده منتشر شد، دوپلکسور فرستنده را از آنتن قطع کرده گیرنده را به آنتن وصل می‌کند تا امکان دریافت سیگنالهای بازتاب شده از موانع و هدفهای موجود در محیط به‌وسیلهٔ آنتن فراهم شود.

شکل ۲ــ۱ــ انتشار امواج رادیویی و بازتاب آن

بازتاب پالس ارسال شده پس از دریافت به‌وسیلهٔ آنتن وارد گیرنده رادار شده، پس از پُروسه شدن به‌صورت یک پژواک یا اِکو (Echo) بر روی دستگاه نشان‌دهنده به تصویر درمی‌آید. در مراحل مختلف تولید پژواک، فاصله زمانی بین انتشار پالس و دریافت بازتاب آن بدقت اندازه‌گیری می‌شود. چون سرعت انتشار امواج رادیویی مشخص و ثابت است، می‌توان به‌راحتی فاصله مانع یا هدفی را که موجود بوده و باعث شده است بخشی از امواج منتشر شده منعکس شوند، محاسبه کرد. علاوه بر محاسبه فاصله، از آنجا که سمت و جهتی که آنتن در هنگام دریافت بازتاب امواج قرار داشته همان جهت مانع یا هدف است، با به‌کارگیری سیستم رادار توانسته‌ایم سمت و فاصله یک مانع یا هدف را به‌طور دقیق مشخص کنیم.

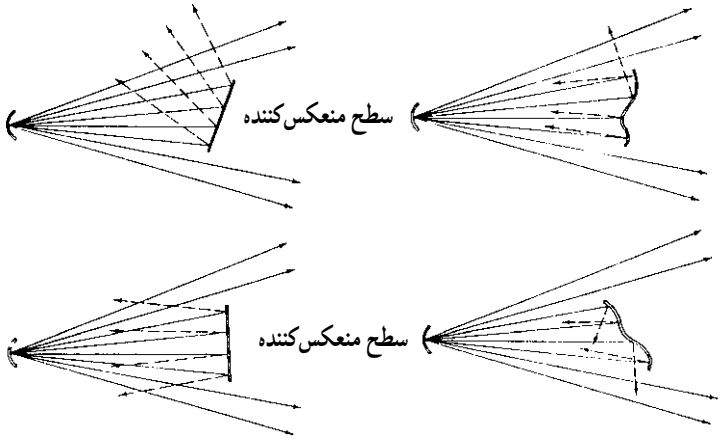
آنتن گیرنده تنها مقدار خیلی کمی از انرژی انتشار یافته را دریافت می‌کند، بنابراین فرستنده باید پالسهای بسیار قوی تولید کند تا آنچه که بازتاب می‌شود قابل بهره‌برداری باشد. با توجه به این که آنتن با سرعت ثابتی می‌چرخد و پرتوهای امواج رادیویی را به‌صورت پالس در فواصل مساوی خیلی

کوتاه منتشر می‌کند، مشاهده می‌شود که سیستم رادار تمام افق را تحت کاوش خود قرار داده موانع و هدفهای موجود را در اطراف کشتی مشخص کرده وجود آنها را با تعیین سمت و فاصله به تصویر خواهد کشانید.

۴ــ۱ــ انعکاس امواج

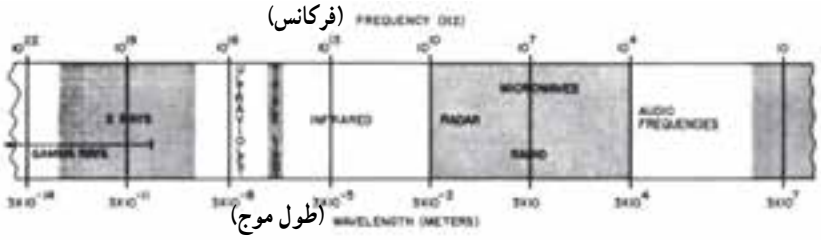
هنگامی که امواج الکترومغناطیسی از طریق آنتن در فضا منتشر می‌شوند، در برخورد یا مواجه شدن با موانع و اشیایی که در مسیر انتشار آنها قرار گرفته باشند تولید بازتاب می‌کنند. انعکاس یا بازتاب از سطوح موانع و اشیاء برابر قانون انعکاس امواج انجام می‌شود ؛ بدین‌ترتیب که امواج ارسالی و منعکس شده در جهتی حرکت خواهند کرد که با خط عمود بر سطح منعکس‌کننده، زوایای مساوی تشکیل‌دهند. 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 این رو 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. گاه انرژی امواج ارسالی به علت وجود موانع طبیعی چون گرد و غبار، برف و بخار آب، در مسیر انتشار پراکنده شده از قدرت آن کاسته می‌شود که این امر در عملکرد مؤثر سیستم رادار تأثیر بدی خواهد داشت. علاوه بر این، ناهمواری و ناهنجاری در سطوح منعکس‌کننده موانع از مواردی است که باعث می‌شود پراکندگی در امواج بازتاب شده ایجاد شود. در شکل (۳ــ۱) چند نوع از سطوح منعکس‌کننده و وضعیت امواج ارسالی و بازتاب شده نشان داده شده است.



شکل ۳ــ ۱ــ نحوهٔ انعکاس امواج از سطوح منعکس‌کننده موانع

با در نظرگرفتن‌این که‌اساس‌کار 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 این که امواج به صورت 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(Microwave) می‌نامند که فرکانس آن از ۱۰۰۰ مگاهرتز به بالا است. در شکل (۴ ــ ۱) اسپکتروم امواج الکترومغناطیس که برحسب فرکانس و طول موج ترسیم گردیده نشان داده شده است.



شکل ۴ ــ ۱ــ طیف امواج الکترومغناطیس

هرچند که امواج راداری همچون امواج نور در فضا تقریبا در یک خط مستقیم انتشار می‌یابند، اما به‌هر حال از آنجا که میزان غلظت هوا در اتمسفر با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند، در امواج راداری کمی انحناء ایجاد خواهد شد ؛ بنابراین رادار تقریباً کمی بیش از افق را می‌تواند ببیند و برای همین است که برد یک رادار جستجو یا ناوبری محدود به انحناءِ زمین است. این امر یک موضوع مهم در کشف هدفهای ارتفاع پایین به‌شمار می رود.

افزایش ارتفاع آنتن رادار، افق دید رادار را افزایش می‌دهد، اما برای این که بتوان افق‌دیدرادار را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش داد تا به‌سهولت هواپیماهای ارتفاع پست را کشف‌کرد، لازم است که‌رادار را درداخل یک هواپیما نصب کرده و عملیات کشف را در هوا انجام داد. این وضعیت به‌عنوان یک سیستم کنترل و هشداردهنده هوایی (Airborne Warning And Control System) نامیده می‌شود که به اختصار با لفظ آواکس (AWACS) که از اولین حروف کلمات اشاره شده در بالا تشکیل شده است، شناخته می‌شود.

تمام اشیاء و اجسام در برخورد با امواج رادار قادر به انعکاس بخشی از امواج دریافت شده هستند. میزان انرژی منعکس شده بستگی به شکل و اندازه جسم و همچنین طول موج پرتوهای راداری استفاده شده دارد. اشیاء و اجسام بزرگ مانند کشتیها و هواپیماها تقریباً برای طول موجهای

تا ۱۰ متر و بیشتر منعکس کننده‌های خوبی هستند و طول موج 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.

۵ــ۱ــ شکل موج رادار

همان‌گونه که در اساس کار رادار گفته شد، رادارهای باصطلاح پالسی (Pulse Radar) قادرند با اندزه‌گیری زمان رفت و برگشت پالس رادار، فاصله موانع و هدفهای موجود در مسیر انتشار را محاسبه کنند. نمونهٔ یک پالس رادار در شکل (۵ــ۱) نشان داده شده است.

شکل ۵ ــ۱ــ نمونه یک پالس رادار

هنگامی که فرستنده رادار به وسیلهٔ سیگنال زمان تحریک یا تریگر می‌شود، یک پالس رادار شامل نوسانات فرکانس زیاد امواج الکترومغناطیسی با انرژی زیاد که در داخل فرستنده تولید می‌شود، از طریق آنتن انتشار می‌یابد. زمان این انتشار همان‌گونه که در شکل (۵ــ۱) نشان داده شده است، از نقطه A تا B است. وقتی پالس ارسال شد، فرستنده در طول زمان بین B تا C از آنتن قطع شده و آنتن به گیرنده رادار وصل می‌شود تا در طول این زمان بازتابهای پالس ارسال شده را پس از برخورد با موانع و هدفها دریافت کند. این عمل با ارسال پالس دیگری (حد فاصل C تا D) تکرارمی شود.

پالس راداری مشخصه‌های گوناگونی دارد که بر اساس آنها عملکرد و خصوصیات رادارها تعیین می شوند. این مشخصه‌ها در قسمتهای بعدی تشریح می‌شوند.

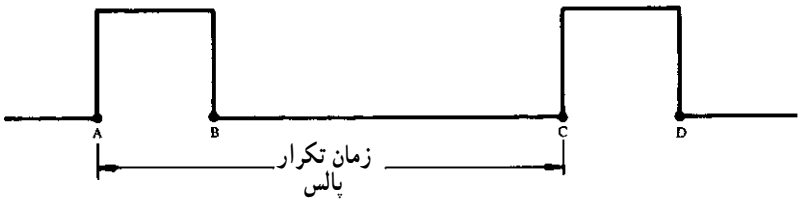
۶ــ۱ــ فرکانس تکرار پالس (PRF)

برابر تعریف، تعداد پالسهای فرستاده شده در طول زمان یک ثانیه را فرکانس تکرار پالس (Pulse Repitition Frequency) می‌نامند. برای مثال، چنانچه در طول یک ثانیه ۱۰۰۰ پالس

ارسال شود، PRF این رادار برابر با ۱۰۰۰ است. میزان PRF یک رادار همان‌گونه که در فصل دوم به آن اشاره خواهد شد، تعیین‌کننده حداکثر برد مؤثر یک رادار است.

۷ــ۱ــ زمان تکرار پالس (PRT)

برابر تعریف، مدت زمان بین شروع یک پالس تا شروع پالس بعدی را زمان تکرار پالس (Pulse Repitition Time) می‌نامند. همان‌طور که در شکل (۶ــ۱) نشان داده شده است، فاصله زمانی بین A تا C را زمان تکرار پالس می‌گویند. زمان تکرار پالس (PRT) و فرکانس تکرار پالس (PRF) عکس یکدیگرند ؛ یعنی :



شکل ۶ــ۱ــ مفهوم زمان تکرار پالس

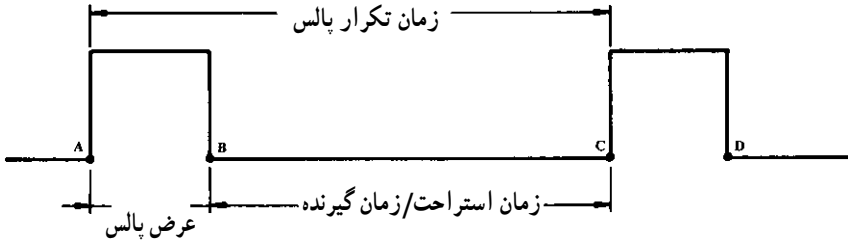
$$PRF = \frac{۱}{PRT} \quad \text{یا} \quad PRT = \frac{۱}{PRF}$$

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

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

۸ــ۱ــ عرض پالس (PW)

عرض پالس (Pulse Width) فاصله زمانی است که طول می‌کشد تا پالس ارسال شود. به‌تعبیری دیگر، مدت زمان دوام پالس را عرض پالس می‌نامند. مفهوم عرض پالس به صورت تصویری نیز در شکل (۷ــ۱) نشان داده شده 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. درضمن، گاه عرض پالس را پهنای پالس نیز می‌نامند. میزان عرض پالس نشان‌دهنده میزان انرژیی است که فرستنده ارسال می‌دارد.



شکل ۷ــ ۱ــ مفهوم عرض پالس و زمان استراحت پالس

۹ــ۱ــ زمان استراحت پالس (RT)

درشکل (۷ــ۱)، فاصله‌زمانی B تا C را که‌فرستنده قطع بوده و سیستم رادار در حالت گیرندگی است، زمان استراحت پالس (Pulse Rest Time) یا زمان استراحت فرستنده می‌نامند. اطلاق عبارت زمان گیرنده نیز به مفهوم فوق مصطلح است ؛ به سبب این که 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 (۷ــ۱) نیز نشان‌داده شده‌اند ،مشاهده می‌شود که مجموع عرض پالس و زمان استراحت پالس برابر است با زمان تکرار پالس، یعنی :

$$PRT = PW + RT$$

۱۰ــ۱ــ فرمول تعیین فاصله هدف

وقتی در حرکت سرعت ثابت باشد، مسافت از حاصلضرب سرعت در زمان طی شده به دست می‌آید. این رابطه را می‌توان به‌صورت زیر نوشت که در آن R مسافت پیموده شده، t زمان و V سرعت است.

$$R = V.t$$

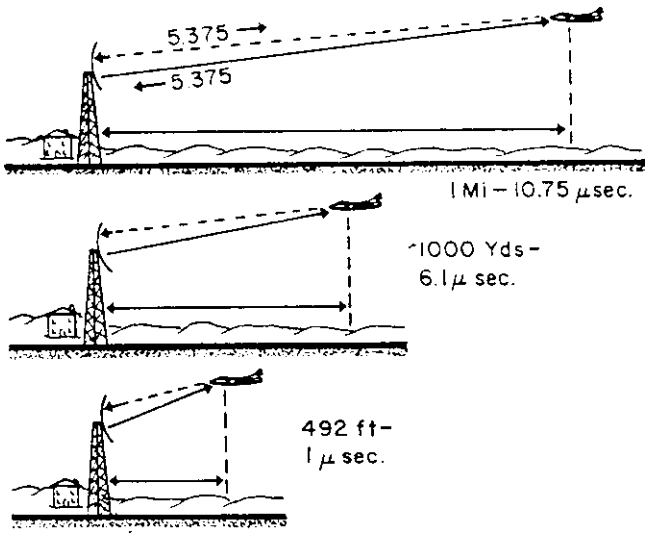
تعیین فاصله یا بُرد در یک سیستم رادار به طور دقیق، بستگی به توانایی رادار در اندازه‌گیری فاصله برحسب زمان طی شده دارد. سرعت امواج الکترومغناطیس در فضا برابر است با ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه (۱۸۶۰۰۰ مایل بر ثانیه یا ۱۶۲۰۰۰ مایل دریایی بر ثانیه[1]) که همان سرعت نور است. وقتی که این امواج پس از برخورد با 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

۱ــمایل دریایی (NAUTICAL MILE) واحد طول بوده برابر است با ۱۸۵۲ متر. (هر مایل معمولی برابر است با ۱۶۰۹ متر یا ۵۲۸۰ فوت).

اندازه‌گیری شده در سیستم، زمان رفت و برگشت موج است، در محاسبه و تعیین فاصله آنچه که 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 رفت و برگشت است.

$$R = \frac{C.t}{۲}$$

در شکل (۸ ــ ۱) زمان رفت و برگشت موج برای چند هدف (هواپیما) در فواصل مختلف به‌صورت تصویری نشان داده شده است.



شکل ۸ــ۱ــ زمان رفت و برگشت

۱ــ۱۰ــ۱ــ مایل راداری ــ برای سهولت اندازه‌گیری فاصلهٔ موانع، زمان رفت و برگشت موج را برای مانعی که در فاصله یک مایل دریایی قرار گرفته باشد محاسبه می‌کنیم و این زمان را به‌عنوان یک مایل راداری درنظر گرفته زمان رفت و برگشت موج را برای هر فاصله‌ای با یک تناسب ساده و با استفاده از زمان یک مایل راداری به‌دست می‌آوریم. یک مایل راداری همان‌طوری که در زیر محاسبه شده است، برابر است با ۱۲/۳۵ میکروثانیه.

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

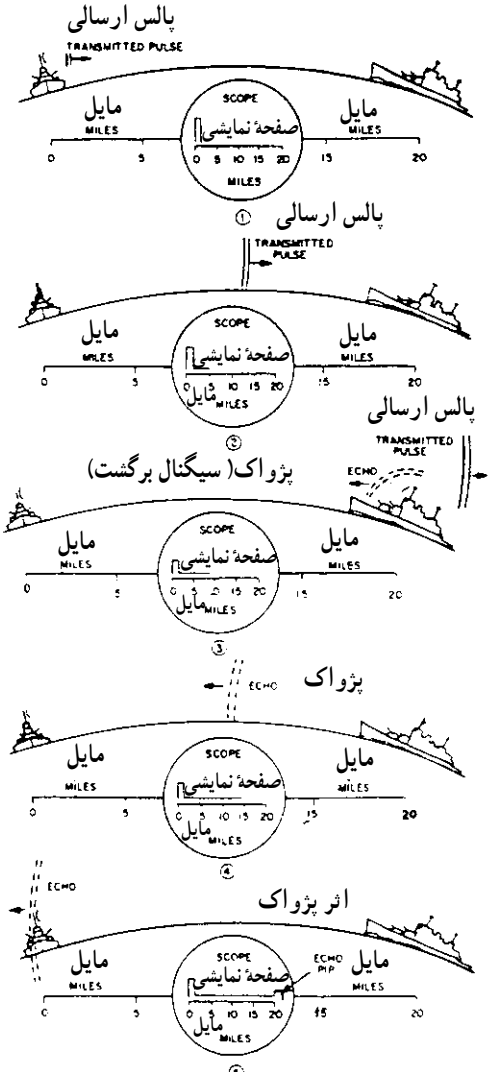
R= ۱ مایل دریایی C= ۱۶۲۰۰۰ مایل دریایی بر ثانیه

$$t = \frac{۲ \times ۱}{۱۶۲۰۰۰} = ۱۲/۳۵ \times ۱۰^{-۶} \quad \text{Sec.}$$

$t = ۱۲/۳۵ \ \mu Sec$

برای اندازه‌گیری فواصل کوتاهتر معمولاً فاصله را برحسب یارد محاسبه می‌کنند. سرعت نور یا سرعت امواج الکترومغناطیس برحسب یارد برابر است با ۳۲۸ یارد بر میکروثانیه ؛ بنابراین زمان رفت و برگشت موج برای مانعی که در فاصله۱۶۴ یاردی باشد، ۱میکروثانیه خواهد بود.

۲ــ۱۰ــ۱ ــ تعیین فاصله به‌وسیله رادار ــ به منظور آشنایی و درک بهتر نحوهٔ اندازه‌گیری فاصله در یک سیستم رادار، شرح خلاصه‌ای را با بهره‌گیری از تصاویر شکل (۹ ــ۱) بیان خواهیم کرد. در این شکل یک هدف (کشتی) در فاصله ۲۰ مایلی از رادار کشتی خودی قرار گرفته است. با



شکل ۹ــ ۱ــ تعیین فاصله به وسیله رادار

استفاده از زمان مایل راداری (۱۲/۳۵ میکروثانیه) درمی‌یابیم که در مجموع ۲۴۷ میکروثانیه طول خواهد کشید تا موج تابشی ارسال شده، به هدف برخورد کرده و دوباره به سیستم رادار بازگردد. در طول این مدت مراحل زیر انجام می‌گیرد.

۱ــ با ملاحظه تصویر شماره ۱ (در شکل ۹ــ۱) می‌بینیم که در لحظهٔ صفر، پالس فرستاده شده از آنتن منتشر می‌شود. درهمین موقع یک خط عمود نیز بر صفحهٔ نشان‌دهندهٔ رادار و در درجه‌بندی صفر فاصله ظاهر می‌شود.

۲ ــ۶۱/۷۵ میکروثانیه بعد پالس ارسال شده ۱۰ مایل به طرف هدف پیش رفته است. خط فاصله بر روی صفحه نشان‌دهنده رادار در این مدت تنها به میزان ۵ مایل پیش می‌رود.

۳ــ ۱۲۳/۵ میکروثانیه بعد از این که پالس رادار از طریق آنتن منتشر شد، به هدف که در فاصله ۲۰ مایلی قرار گرفته می‌رسد و سپس منعکس می‌شود. در این لحظه فاصله‌نگار رادار ۱۰ مایل را نشان می‌دهد.

۴ــ با توجه به تصویر شماره ۴ (در شکل ۹ــ۱)، مشاهده می‌کنیم که ۱۸۵/۲۵ میکروثانیه بعد از شروع پالس اولیه، موج بازتاب که در مسیر برگشت خود است تا نیمه راه به سمت رادار رسیده است. در این لحظه فاصله‌نگار رادار ۱۵ مایل را نشان می‌دهد.

۵ــ هنگامی که موج بازتاب پالس اولیه به آنتن رادار رسیده وارد گیرنده می‌شود، زمان طی شده برای این مسیر و رفت و برگشت به ۲۴۷ میکروثانیه می‌رسد و فاصله‌نگار رادار نیز ۲۰ مایل را که همان فاصله هدف است، نشان می‌دهد. توضیح این که موج بازتاب که بسیار ضعیف است، پس از دریافت، به وسیلهٔ گیرنده تقویت شده باعث می‌شود تا بر روی صفحه نشان‌دهنده رادار و در فاصله ۲۰ مایلی یک خط عمودی ظاهر شود که در حقیقت موقعیت هدف نسبت به کشتی خودی است.

۳ــ۱۰ــ۱ــ خطاهای محاسبه فاصله و سمت ــ هر چند در فاصله زمانی که طول می‌کشد تا امواج راداری مسیر رفت و برگشت خود را به سمت هدف طی کنند، آنتن و خود هدف به لحاظ سرعتی که دارند از موقعیت اولیه خود جابه‌جا خواهند شد، اما با انجام محاسبات لازم مشاهده می‌کنیم که خطاهای ایجاد شده در فاصله و حتی سمت به حدی ناچیز است که در عمل می‌توان از آنها صرف‌نظر کرد. برای مثال، چنانچه یک هواپیما در فاصله ۵۰ مایلی در حال پرواز باشد، بازتاب یا اکوی مربوطه مجبور است ۵۰ مایل دریایی را طی کند که زمانی حدود ۰/۰۰۰۳۱ ثانیه به‌طول خواهد انجامید. چنانچه سرعت هواپیما ۶۰۰ مایل بر ساعت (حدود ۳۰۰ متر بر ثانیه) باشد، در همین زمان هواپیمای مذکور تنها حدود ۰/۱ متر (۰/۱=۰/۰۰۰۳۱×۳۰۰) جابه‌جا شده که تأثیر چندانی بر فاصله و سمت هواپیما نخواهد داشت. این اختلاف و خطا در خصوص کشتیها که به مراتب دارای

سرعت کمتری نسبت به هواپیما هستند بسیار ناچیز است.

به‌گونه‌ای مشابه می‌توان خطای ناشی از گردش آنتن را نیز محاسبه کرد. در وضعیتی که سرعت گردش آنتن ۲۵ دور در دقیقه باشد، تغییرات زاویه‌ای در زمان یک ثانیه برابر با ۱۵۰درجه $(۲۵ \times \frac{۳۶۰}{۶۰} = ۱۵۰)$ خواهد بود. این تغییر در زمان ۰/۰۰۰۳۱ ثانیه به ۰/۰۴۶ درجه $(۰/۰۰۰۳۱ \times ۱۵۰ = ۰/۰۴۶)$ خواهد رسید که با توجه به ناچیز بودن ا ین رقم می‌توان از این اختلاف صرف نظر کرد.

بنابراین چنین نتیجه می‌شود که به لحاظ سرعت فوق‌العاده زیاد انتشار امواج راداری در زمان ایجاد اکو (پژواک) بر روی صفحه نشاندهنده رادار، خطاهای مربوط به فاصله و سمت کاملاً قابل گذشت است.

پرسش

۱ــ خلاصه‌ای از تاریخچه پیدایش و توسعه رادار را بیان کنید.

۲ــ رادار (RADAR)اولین حرف چه کلماتی است و به چه منظوری به‌کار می‌رود؟

۳ــ دو پارامتر اصلی هدف که به‌وسیله رادار تعیین می‌شوند کدام‌اند؟

۴ــ اساس کار رادار را بیان کنید.

۵ــ فرکانس تکرار پالس را تعریف کرده رابطه آن را با زمان تکرار پالس بیان کنید.

۶ــ عرض پالس را تعریف کرده بگویید این مفهوم را با چه عبارات دیگری بیان می‌کنند؟

۷ــ اگر زمان تکرار پالس یک رادار ۵۰۰ میکروثانیه باشد، مقدار PRF آن را محاسبه کنید.

۸ــ یک مایل راداری را تعریف کرده زمان آن را بیان کنید.

۹ــ میزان سرعت نور را برحسب کیلومتر و مایل بر ثانیه بیان کنید.

۱۰ــ 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؟