بسم الله الرحمن الرحیم

آشنایی با دستگاههای کمک‌ناوبری

رشتهٔ الکترونیک و مخابرات دریایی

زمینهٔ صنعت

شاخهٔ آموزش فنی وحرفه‌ای

شمارهٔ درس ۳۰۳۹

۶۲۳/۸۹ نسل‌پاک، میرحمید
آ ۴۳۳ن آشنایی با دستگاههای کمک‌ناوبری/ مؤلفان :میرحمید نسل‌پاک، محمّدرضا دیّانی. ــ تهران :
۱۳۹۳ شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۹۳.
۱۵۵ ص. : مصور. ــ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شمارهٔ درس ۳۰۳۹)
متون درسی رشتهٔ الکترونیک و مخابرات دریایی، زمینهٔ صنعت.
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا : کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتابهای درسی رشتهٔ الکترونیک و مخابرات دریایی دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش.
۱. دریانوردی ــ ابزار و وسایل. الف. دیّانی، محمّدرضا. ب. ایران. وزارت آموزش و پرورش. دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۹۳

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار(ایمیل) **info@tvoccd.sch.ir**

وب‌گاه (وب‌سایت) **www.tvoccd.sch.ir**

این کتاب در کارگاه ارزشیابی محتوای کتابهای درسی تابستان ۷۴ توسط هنرآموزان و دبیران منتخب سراسر کشور و اعضای کمیسیون تخصصی برنامه‌ریزی و تألیف کتابهای درسی رشتهٔ الکترونیک و مخابرات دریایی براساس نتایج ارزشیابی تکوینی مورد بررسی و تجدید نظر قرار گرفته است.

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : **دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

نام کتاب : **آشنایی با دستگاههای کمک‌ناوبری ـ ۴۷۰/۵**

مؤلفان : **ناخدا میرحمید نسل‌پاک، ناخدا محمّدرضا دیّانی**

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : **ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی**

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹،

وب‌سایت : www.chap.sch.ir

صفحه‌آرا : **معصومه چهره‌آرا ضیابری**

طراح جلد : **طاهره حسن‌زاده**

ناشر : **شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران : تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادّهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)**

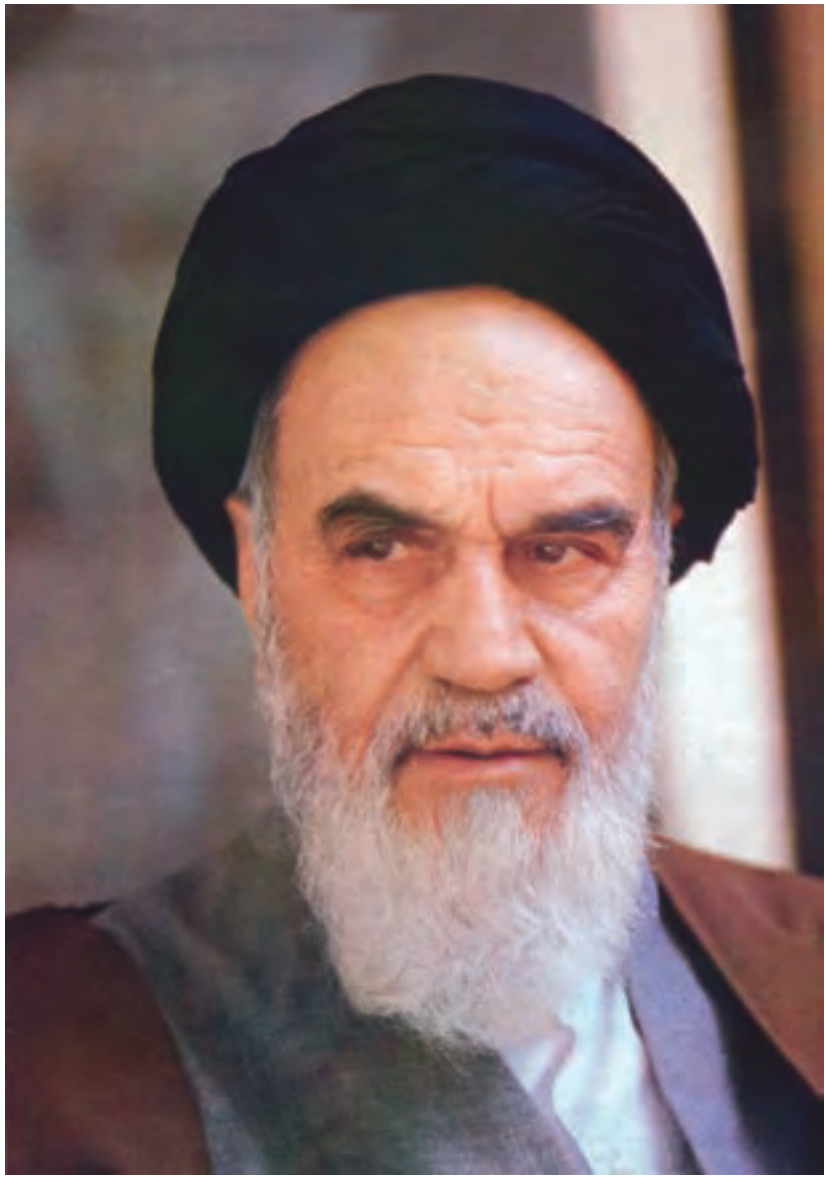
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵

چاپخانه : **شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران «سهامی خاص»**

سال انتشار : **۱۳۹۳**

حقّ چاپ محفوظ است.

شابک ۶-۱۱۱۹-۰۵-۹۶۴ **ISBN 964-05-1119-6**



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتّکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

فهرست مطالب

مقدّمه

هدف کلّی ۱

بخش اوّل ــ رادار

فصل اوّل : اساس کار رادار ۴
۱ــ۱ــ تاریخچه رادار ۴
۲ــ۱ــ شناخت و تعریف رادار ۷
۳ــ۱ــ اساس کار رادار ۷
۴ــ۱ــ انعکاس امواج ۱۰
۵ــ۱ــ شکل موج رادار ۱۲
۶ــ۱ــ فرکانس تکرار پالس (PRF) ۱۲
۷ــ۱ــ زمان تکرار پالس (PRT) ۱۳
۸ــ۱ــ عرض پالس (PW) ۱۳
۹ــ۱ــ زمان استراحت پالس(RT) ۱۴
۱۰ــ۱ــ فرمول تعیین فاصله هدف ۱۴

فصل دوم : عوامل مؤثر در عملکرد رادار ۱۹
۱ــ۲ــ عوامل مؤثر در عملکرد رادار ۱۹
۱ــ۱ــ۲ــ شرایط جوّی ۱۹
۲ــ۱ــ۲ــ ارتفاع هدف نسبت به ارتفاع آنتن ۲۱
۳ــ۱ــ۲ــ مشخصه‌های هدف ۲۱
۲ــ۲ــ عوامل مؤثر در تعیین حداکثر برد رادار ۲۳
۳ــ۲ــ عوامل مؤثر در تعیین حداقل برد رادار ۲۵
۱ــ۳ــ۲ــ بازتاب دوبل ۲۶
۴ــ۲ــ مفهوم تفکیک در فاصله ۲۷
۵ــ۲ــ مفهوم تفکیک در سمت ۲۸
۶ــ۲ــ معادله رادار ۳۰
۷ــ۲ــ قدرت رادار ۳۱
۱ــ۷ــ۲ــ سیکل کار رادار ۳۳

فصل سوم : کاربردهای رادار ۳۵
۱ــ۳ــ انواع مختلف سیستمهای رادار ۳۵
۱ــ۱ــ۳ــ سیستم رادار پالسی ۳۶
۲ــ۱ــ۳ــ سیستم رادار داپلری موج پیوسته ۳۶
۳ــ۱ــ۳ــ سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس ۳۸
۴ــ۱ــ۳ــ سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون پالسی ۳۹
۵ــ۱ــ۳ــ سیستم رادارهای آرایه فازی ۳۹

۶ـ۱ـ۳ـ مقایسه رادارهای پالسی و رادارهای موج پیوسته یا CW ۴۰
۲ـ۳ـ کاربردهای مختلف سیستم رادار ۴۱
۱ـ۲ـ۳ـ رادارهای ناوبری ۴۲
۲ـ۲ـ۳ـ رادارهای جستجوگر ۴۴
۳ـ۲ـ۳ـ رادارهای مراقبت ۴۴
۴ـ۲ـ۳ـ رادارهای ردگیری یا کنترل آتش ۴۶
۵ـ۲ـ۳ـ رادارهای ارتفاع‌یاب ۴۷
۶ـ۲ـ۳ـ رادارهای بیکن ۴۸

فصل چهارم : اجزای سیستم رادار ۵۱
۱ـ۴ـ بلوک دیاگرام سیستم رادار ۵۱
۲ـ۴ـ فرستنده رادار ۵۳
۱ـ۲ـ۴ـ مدولاتور ۵۴
۲ـ۲ـ۴ـ مگنترون ۵۴
۳ـ۲ـ۴ـ تایمر ۵۶
۴ـ۲ـ۴ـ سوئیچهای TR و ATR ۵۷
۳ـ۴ـ گیرنده رادار ۵۸
۴ـ۴ـ آنتن رادار ۵۹
۱ـ۴ـ۴ـ ساختمان و اجزای سیستم آنتن ۶۰
۲ـ۴ـ۴ـ ویوگاید ۶۳
۵ـ۴ـ نشان‌دهنده رادار ۶۴
۱ـ۵ـ۴ـ روشهای نشان‌دهنده ۶۵
۲ـ۵ـ۴ـ اکوی امواج دریا ۶۷
۳ـ۵ـ۴ـ دوایر فاصله ۶۷
۴ـ۵ـ۴ـ دایره متغیّر تعیین فاصله ۶۸
۵ـ۵ـ۴ـ کلیدهای کنترلی صفحهٔ نشان‌دهنده ۶۸
۶ـ۴ـ کاربری سیستم رادار ۶۸
۱ـ۶ـ۴ـ کاربرد کلیدهای کنترلی ۶۹
۲ـ۶ـ۴ـ نحوهٔ روشن کردن رادار ۷۲
۳ـ۶ـ۴ـ ایمنی ۷۲

بخش دوم ــ جایرو، عمق‌یاب و جهت‌یاب رادیویی

فصل پنجم : جایرو ۷۶
۱ـ۵ـ اصول کار جایروسکوپ ۷۶
۲ـ۵ـ خواص جایروسکوپی ۷۸
۱ـ۲ـ۵ـ پایداری تعادل ۷۸
۲ـ۲ـ۵ـ تغییر جهت محوری ۸۰
۳ـ۵ـ اثر گردش زمین بر جایروسکوپ ۸۳
۴ـ۵ـ چرخش ظاهری جایروسکوپ ۸۵
۵ـ۵ـ تبدیل جایروسکوپ به جایرو ۸۸
۶ـ۵ـ نحوهٔ متعادل کردن جایرو ۹۱
۱ـ۶ـ۵ـ روش پاندولی ۹۳
۲ـ۶ـ۵ـ روش غیر پاندولی ۹۸
۷ـ۵ـ قسمتهای مختلف اِلمان حسّاس جایرو ۱۰۵
۱ـ۷ـ۵ـ موتور جایرو ۱۰۶

۲ـ۷ـ۵ـ حلقه عمودی ۱۰۷
۳ـ۷ـ۵ـ وزنه‌های خنثی کننده ۱۰۷
۴ـ۷ـ۵ـ شاخص دنباله‌رو
(فالوآپ) ۱۰۷
۵ـ۷ـ۵ـ سیمهای تعلیق اِلمان
حسّاس(رابط نگاه دارنده) ۱۰۷
۸ـ۵ـ قسمت فانتوم (نگاه‌دارنده
اِلمان حساس) ۱۰۹
۹ـ۵ـ سیستم کنترل جایرو ۱۱۰
۱ـ۹ـ۵ـ موتورجنراتور ۱۱۲
۲ـ۹ـ۵ـ سیستم تغذیه از باتری ۱۱۲
۳ـ۹ـ۵ـ تنظیم‌کننده سرعت
(تابلو کنترل) ۱۱۲
۱۰ـ۵ـ موارد استفاده جایرو ۱۱۲

فصل ششم : عمق یاب ۱۱۹
۱ـ۶ـ مبانی و قوانین امواج
صوتی در آب ۱۱۹
۲ـ۶ـ اصول کار عمق‌یاب ۱۲۲
۳ـ۶ـ قسمتهای تشکیل‌دهنده
عمق‌یاب ۱۲۶
۱ـ۳ـ۶ـ ثبت‌کننده ۱۲۶
۲ـ۳ـ۶ـ فرستنده ۱۲۸
۳ـ۳ـ۶ـ گیرنده ۱۲۸
۴ـ۳ـ۶ـ نشان‌دهنده چراغی ۱۲۸
۵ـ۳ـ۶ـ ترانسدیوسر ۱۳۱
۴ـ۶ـ نحوهٔ کنترل کارکرد و
نحوهٔ استفاده از عمق‌یاب ۱۳۱
۵ـ۶ـ ماهی‌یاب ۱۳۴

فصل هفتم : جهت‌یاب رادیویی ۱۳۷
۱ـ۷ـ انواع جهت‌یاب رادیویی ۱۳۸
۲ـ۷ـ اساس کار جهت‌یاب
رادیویی ۱۴۰
۳ـ۷ـ کاربرد جهت‌یاب
رادیویی ۱۴۲
۴ـ۷ـ قسمتهای مختلف
جهت‌یاب ۱۴۵

واژه‌نامه انگلیسی ۱۴۸

فهرست منابع و مآخذ ۱۵۵

مقدّمه

در پل فرماندهی کشتیهای تجارتی، نفتکش، ماهیگیری، یدک‌کش‌ها، شناورهای تحقیقاتی و سایر انواع شناورها در سراسر جهان، کاپیتانها و افسران ناوبر در راستای انجام وظایف خود متکی به مجموعه دستگاههایی هستند که به طور عموم تحت عنوان «دستگاههای کمک ناوبری» شناخته می‌شوند. رادار، عمق‌یاب، جایرو و جهت‌یاب رادیویی از عمده‌ترین این دستگاهها هستند که اطلاعات لازم را برای هدایت و ناوبری شناورها در اختیار قرار می‌دهند.

منظور از تألیف این کتاب در راستای اهداف برنامه‌ریزی شده نظام جدید آموزشی، آشنایی مقدماتی با این مجموعه دستگاهها است که بر روی شناورها نصب می‌شوند و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ناوبری به عمل هدایت و راهبری کشتی اطلاق می‌شود. به‌زبانی دیگر، به پیدا کردن موقعیت کشتی و همچنین سمت‌یابی و مشخص کردن مسیر حرکت آن «ناوبری» می‌گویند. دستگاههای کمک‌ناوبری مجموعه‌دستگاهها و سیستمهایی هستند که بدین منظور به‌کار گرفته می‌شوند.

از آنجا که با موجودیت شناور در داخل آب بحث ناوبری مطرح می‌شود، شناخت و آشنایی با دستگاههای کمک ناوبری اهمیتی ویژه و خاص دارد. به این مهم باید توجه داشت که سرعت سیر تکامل صنعتی در هر موردی، بخصوص در زمینهٔ علوم و فنون دریایی و بویژه در بخش الکترونیک،

به‌گونه‌ای است که تحولات و پیشرفتهای فنی و تکنولوژیکی دستگاههای کمک ناوبری را چنان سریع و شگرف‌آور کرده است که کسب دانش و آگاهی کامل، تنها با مطالعات مستمر و بهره‌گیری از منابع و مآخذ مختلف امکان‌پذیر است. کتاب حاضر صرفاً به‌منظور ارائه یک شناخت عمومی و مقدماتی تدوین شده است.

آشنایی با دستگاههای کمک ناوبری، برای کلیهٔ کسانی که به نحوی با علوم و فنون دریایی مرتبط هستند ضروری است و به شرحی که در این کتاب تدوین شده، در گرایش الکترونیک و مخابرات دریایی از علوم و فنون دریایی نظام جدید آموزشی، به‌عنوان یک درس اصلی برابر برنامه‌های تدوینی درنظر گرفته شده است. به همین منظور سعی شده است که این کتاب در چارچوب برنامه‌های مصوّب تألیف شود و در اختیار هنرآموزان و هنرجویان قرار گیرد.

با توجه به هدفهای رفتاری و انتظاراتی که از فراگیر می‌رود، این کتاب در دو بخش به‌گونه‌ای تدوین شده است که دانش‌آموزان عزیز را با دانش نظری و عملی دستگاههای کمک ناوبری آشنا سازد. در فصلهای مربوط به بخش اوّل این کتاب که اختصاص به رادار دارد، مطالب زیر به ترتیب تشریح شده است : «تاریخچه و اساس کار رادار، عوامل مؤثر در عملکرد رادار، کاربردهای انواع مختلف رادار، اجزای یک سیستم رادار، فرستنده رادار، گیرنده رادار، آنتن رادار، نشان‌دهندهٔ رادار و نحوهٔ استفاده از رادار». در فصلهای مربوط به بخش دوم، مطالب زیر به ترتیب تشریح شده است : «اصول کار جایرو، اصول کار جایروسکوپ، خواص جایروسکوپ، قسمتهای مختلف اِلمان حسّاس جایرو، سیستم کنترل جایرو، موارد استفاده از جایرو، مبانی و قوانین امواج صوتی، اصول کار عمق‌یاب، قسمتهای تشکیل‌دهنده عمق یاب، موارد استفاده از عمق‌یاب، دستگاه ردیاب ماهی، اساس کار جهت‌یاب رادیویی، انواع جهت‌یاب رادیویی، قسمتهای مختلف جهت‌یاب رادیویی و کاربرد جهت‌یاب رادیویی».

مؤلفان

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.

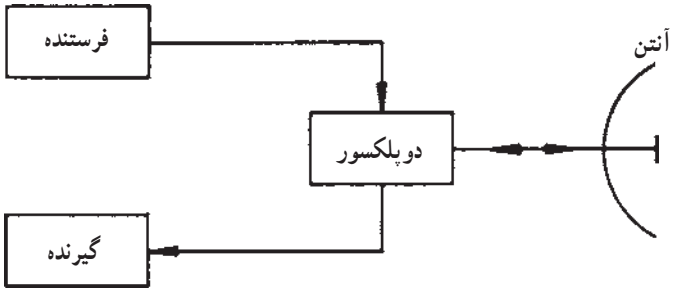
۳ــ۱ــ اساس کار رادار

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

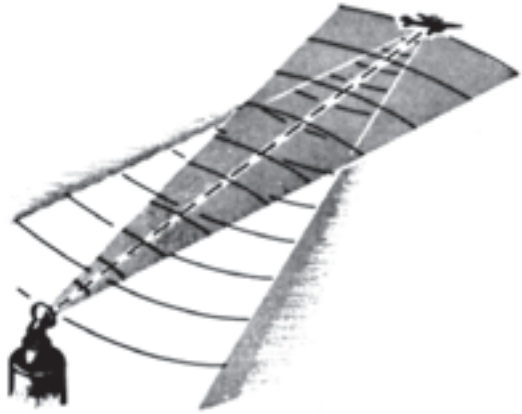


شکل ۱ــ۱ــ بلوک دیاگرام یک رادار ابتدایی

(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.

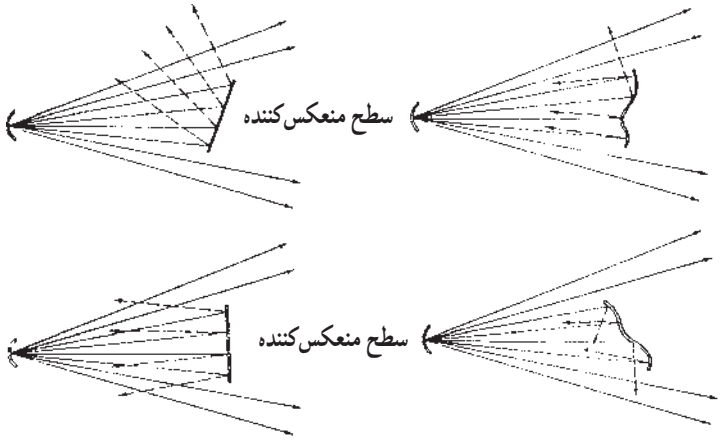
آنتن گیرنده تنها مقدار خیلی کمی از انرژی انتشار یافته را دریافت می‌کند، بنابراین فرستنده باید پالسهای بسیار قوی تولید کند تا آنچه که بازتاب می‌شود قابل بهره‌برداری باشد. با توجه به این که آنتن با سرعت ثابتی می‌چرخد و پرتوهای امواج رادیویی را به‌صورت پالس در فواصل مساوی خیلی

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

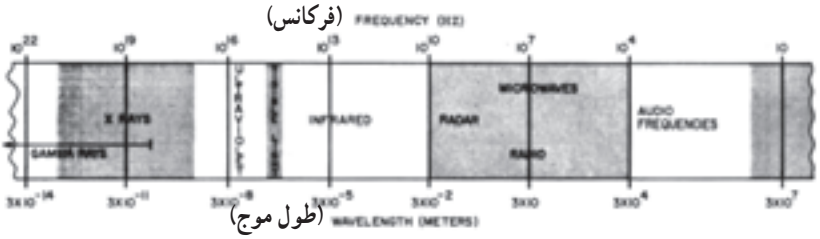
هنگامی که امواج الکترومغناطیسی از طریق آنتن در فضا منتشر می‌شوند، در برخورد یا مواجه شدن با موانع و اشیایی که در مسیر انتشار آنها قرار گرفته باشند تولید بازتاب می‌کنند. انعکاس یا بازتاب از سطوح موانع و اشیاء برابر قانون انعکاس امواج انجام می‌شود ؛ بدین‌ترتیب که امواج ارسالی و منعکس شده در جهتی حرکت خواهند 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 ۴ــ 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.

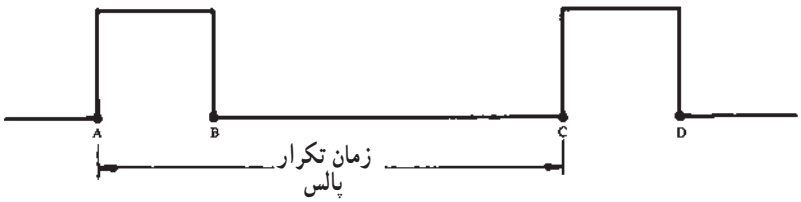
۶ــ۱ــ فرکانس تکرار پالس (PRF)

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

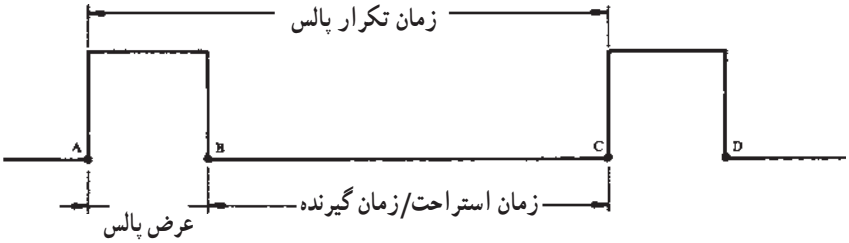
$$PRF = \frac{۱}{PRT} \quad \text{یا} \quad PRT = \frac{۱}{PRF}$$

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 انرژی 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.

$$R = V.t$$

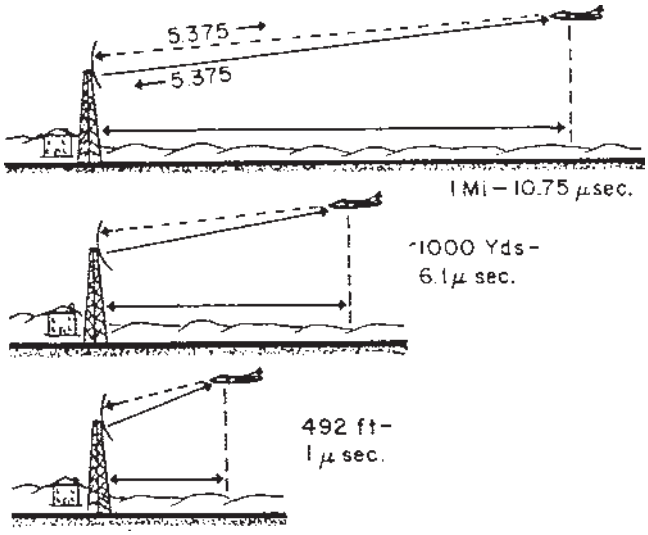
تعیین فاصله یا بُرد در یک سیستم رادار به طور دقیق، بستگی به توانایی رادار در اندازه‌گیری فاصله برحسب زمان طی شده دارد. سرعت امواج الکترومغناطیس در فضا برابر است با ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه (۱۸۶۰۰۰ مایل بر ثانیه یا ۱۶۲۰۰۰ مایل دریایی بر ثانیه[1]) که همان سرعت نور است. وقتی که این امواج پس از برخورد با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

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

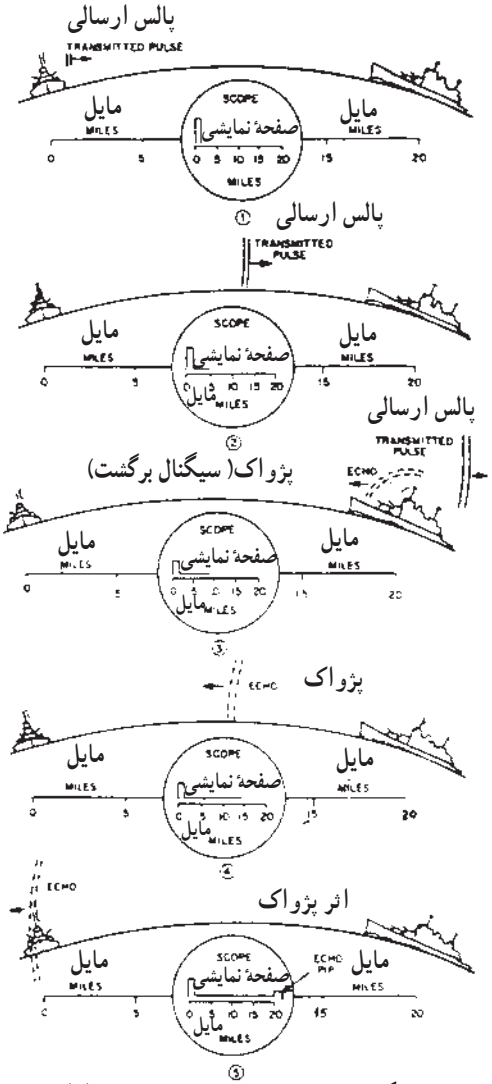
R= ۱ مایل دریایی C= ۱۶۲۰۰۰ مایل دریایی بر ثانیه

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

$t = ۱۲/۳۵ \ \mu Sec$

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 ــ ۶۱/۷۵ 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 به۰/۰۴۶ 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؟

فصل دوم

عوامل مؤثر در عملکرد رادار

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

۱ــ عوامل مؤثر در عملکرد رادار را نام ببرد.

۲ــ عوامل مؤثر در تعیین حداکثر بُرد رادار را تشریح کند.

۳ــ عوامل مؤثر درتعیین حداقل بُرد رادار را تشریح کند.

۴ــ تفکیک در فاصله را با استفاده از دستگاه رادار نشان دهد.

۵ــ تفکیک در سمت را با استفاده از دستگاه رادار نشان دهد.

۶ــ معادله رادار را بنویسد و توضیح دهد.

۷ــ مفهوم قدرت رادار را توضیح دهد.

۱ــ۲ــ عوامل مؤثر در عملکرد رادار

علاوه بر مشخصه‌های فنی دستگاههای مختلف یک سیستم رادار از قبیل قدرت فرستنده، حساسیت گیرنده، عرض پالس، زمان تکرار پالس، ... و فرکانس تکرار پالس که بر عملکرد رادار تأثیرهای مختلفی دارند، عوامل دیگری نیز وجود دارند که هریک به گونه‌ای خاص بر روی نحوهٔ کار و عملکرد رادار تأثیر می‌گذارند. عمده‌ترین این عوامل عبارتند از :

۱ــ شرایط جوّی ؛

۲ــ ارتفاع هدف نسبت به ارتفاع آنتن ؛

۳ــ مشخصه‌های هدف.

۱ــ۱ــ۲ــ شرایط جوّی ــ امواج آبهای اطراف کشتی که درمسیر انتشار امواج راداری قرار می‌گیرند، به‌عنوان مانع مقداری از انرژی منتشره را در جهات مختلف منعکس می‌کنند. بخشی از این انرژی بازتاب شده که دوباره از طریق آنتن دریافت می‌شود، باعث می‌شود تا اکوهایی بر روی صفحه نشاندهنده رادار ظاهر شوند که به‌طور عمده از اکوی هدفهای واقعی ضعیفتر هستند. این اکوهای حاصل از امواج دریا را پژواک دریا (SEA CLUTTER یا SEA ECHO) می‌گویند.

مقدار این اکوها بستگی به وضعیت سطح دریا دارد. بدیهی است درهوای طوفانی میزان پژواک دریا بر روی صفحه رادار زیاد بوده تا فواصل بیشتری توسعه می‌یابد و این امر، تشخیص هدفهایی را که پژواک آنها درمحدودهٔ این پژواکهای دریا قرار گرفته باشند بسیاردشوار می‌کند. در شرایط جوّی نامساعد، پدیدهٔ پژواکهای دریا ضمن این که باعث پراکندگی پرتوهای منتشره راداری خواهند شد که خود سبب می‌شود تا عملکرد رادار در تشخیص و کشف هدفهای دور دست ضعیف شود، در تشخیص اکوی هدفهایی که در فواصل نزدیکتر قرار گرفته‌اند نیز ایجاد دشواری خواهند کرد.

همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد، برد رادار معمولاً محدود به افق است، زیرا لایه یونسفر برای فرکانسهای امواج راداری به عنوان یک سطح منعکس‌کننده عمل نمی‌کند. گاه شرایط جوّی خاصی به وجود می‌آید که سبب می‌شود افق رادار کمی بیشتر از افق دید باشد. اگر چه فرض بر این است که امواج رادار و نور کاملاً مستقیم حرکت می‌کنند، اما تغییرات درجهٔ حرارت و رطوبت لایه تروپوسفر[1] (Tropospher) باعث کاهش ضریب دی‌الکتریک آن با افزایش ارتفاع می‌شود ؛ از این رو تشعشعات راداری همواره به سمت پایین انکسار[2] (Refraction)پیدا کرده درنتیجه افق دید رادار به‌گونه‌ای می‌شود که گویی شعاع کره زمین $\frac{۴}{۳}$ میزان واقعی آن شده است. فرکانسهای پایین بیشتر انکسار پیدا می‌کنند ؛ به همین دلیل در رادارهای دور برد از فرکانسهای پایین استفاده می‌شود. شرایطی که ذکر شد و درنتیجه آن امواج رادار مسیر منحنی شکلی را طی می‌کنند، باعث ایجاد بردهای غیر عادی زیاد یا کم رادار خواهد شد. برای مثال، هدفی که معمولاً در فاصله ۲۰ مایلی به وسیلهٔ رادار کشف می‌شود، ممکن است تحت شرایط خاص جوّی در ۱۲۰ مایلی نیز کشف شود یا برعکس اصلاً کشف نشود. به این پدیده که باعث افزایش یا کاهش غیر عادی برد رادار می‌شود، پدیده فوق انکسار (Super refraction یا Ducting) می‌گویند. توضیح این که وقتی انحنای پرتوهای رادار به سمت پایین باشد، افزایش برد را به‌دنبال خواهد داشت و برعکس وقتی انحنای پرتوها به سمت بالا باشد، نتیجهٔ آن کاهش شدید برد خواهد بود.

درمحدودهٔ فرکانسهای راداری، اتمسفر، به گونه‌ای که برای امواج الکترومغناطیسی با فرکانس کمتر از ۱۰۰۰ مگاهرتز شفاف و بدون مانع است، عمل نمی‌کند که این امر، کاهش انرژی، امواج

۱ــ **تروپوسفر:** پایین‌ترین قسمت اتمسفر را تروپوسفر می‌گویند. این لایه معمولاً از سطح زمین تا فاصله ۱۰ تا ۲۰ کیلومتری امتداد دارد.

۲ــ **انکسار:** شکست امواج را در اثر تغییرات چگالی ناحیه‌ای که امواج از آن عبور می‌کند، انکسار می‌نامند.اگر انکسار وجود نداشت، افق رادار با افق دید برابر می‌شد، در حالی که در اثر ایجاد پدیده انکسار افق رادار تقریباً ۱/۲۵ برابر افق دید است.

راداری را که در اتمسفر منتشر می‌شوند، پدید خواهد آورد. این کاهش انرژی به دلایل زیر است :

۱ــ جذب مستقیم انرژی به وسیلهٔ گازهای موجود در اتمسفر ؛

۲ــ جذب و پراکندگی انرژی به وسیله مواد متراکم موجود در اتمسفر نظیر قطرات باران. از گازهای موجود در اتمسفر، اکسیژن و بخار آب انرژی امواج راداری را جذب می‌کنند. قطرات آب موجود در اتمسفر به صورت مه، ابر یا باران نیز باعث جذب یا پراکنده شدن امواج راداری می‌شوند ؛ بنابراین اتمسفر خود نیز باعث تضعیف امواج راداری می‌شود که این در عملکرد رادار تأثیر منفی خواهد داشت.

۲ــ۱ــ۲ــ ارتفاع هدف نسبت به ارتفاع آنتن ــ ارتفاع رادار و همچنین خود هدف (بلندی هدف نسبت به سطح آب) از عواملی هستند که در تعیین فاصله هدف مؤثرند. بدیهی است هر چه آنتن رادار در ارتفاع بلندتری قرار گرفته باشد، میدان دید رادار وسیع‌تر شده و برد آن افزایش می‌یابد. به همین منوال هر چه هدف از سطح آب بالاتر باشد زودتر در میدان دید رادار قرار می‌گیرد. در اثر همین عوامل است که هواپیماهای دور پرواز در فاصله دورتری نسبت به کشتیها کشف می‌شوند. به‌طور کلی حد اکثر برد رادار که به وسیله دو عامل یاد شده محدود می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید که :

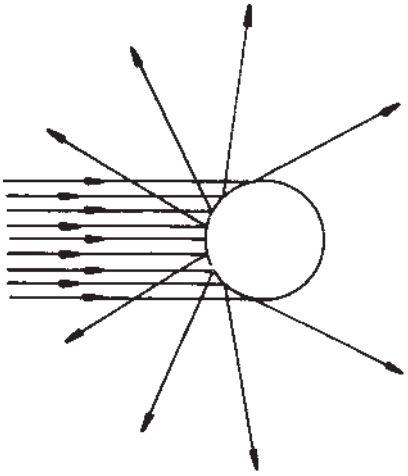
$$R_{max} = \sqrt{۲h_۱} + \sqrt{۲h_۲}$$

در آن R_{max} حداکثر برد بر حسب مایل، $h_۱$ ارتفاع آنتن رادار بر حسب فوت و $h_۲$ ارتفاع یا بلندی هدف نسبت به سطح آب بر حسب فوت است.

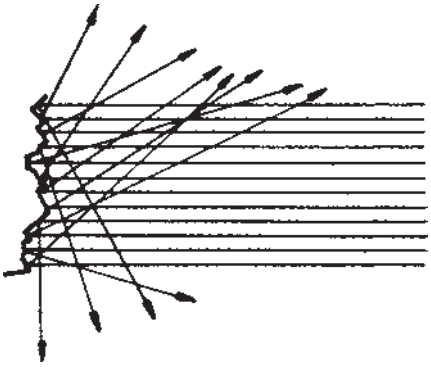
۳ــ ۱ــ ۲ــ مشخصه‌های هدف ــ نوع جنس تشکیل دهنده هدف، شکل و اندازه آن از مشخصه‌هایی است که هر یک به‌گونه‌ای برعملکرد رادار تأثیر می‌گذارد. اشعه‌های نور که با یک جسم برخورد می‌کنند، یا منعکس می‌شوند یا جذب می‌شوند و یا مانند شیشه شعاعهای نور را از خود عبور می‌دهند. همین شرایط در مورد امواج رادار نیز حکمفرما است و همواره جذب بخشی از امواج راداری به وسیلهٔ هدف، قابل انتظار است. بعضی از عناصر، نظیر پوشش مخصوص انتهای خروجی کانال هادی موج در آنتن، امواج را از خود عبور می‌دهد. در بحث رادار، عمل انعکاس که اساس کار بوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا مقدار زیادی به عناصر تشکیل‌دهنده جسم منعکس کننده بستگی دارد. برای نمونه، عمل انعکاس در عناصری مثل فلز و آب بهتر از چوب، سنگ، زمین و نباتات صورت می‌گیرد.

شکل جسم یا هدف نیز یکی از دیگر مشخصه‌های هدف است که برنحوهٔ کار رادار تأثیر می‌گذارد. پرتوهای رادار پس از برخورد باهدف و باتوجه به شکل آن، ممکن است در یک جهت منعکس شده

یا در تمام جهات منعکس شوند. بدیهی است در شرایطی که بازتاب از هدف در یک جهت صورت گیرد، در نحوهٔ کار رادار تأثیر مثبت خواهد داشت. در مواردی که سطح منعکس‌کننده هدف غیر هموار باشد، انعکاس بیشتر در یک جهت همراه با انعکاساتی در سایر جهات صورت خواهد پذیرفت. روشن است که هر چه بازتابهای برگشتی به آنتن گیرنده بیشتر باشد، تصویر بهتری بر روی صفحهٔ نشان دهنده رادار ظاهر خواهد شد. در شکل (۱ــ۲) نحوهٔ انعکاس از یک گوی که در تمام جهات بازتاب می‌شوند، نشان داده شده است. همچنین در شکل (۲ــ ۲) نیز نحوهٔ انعکاس از یک سطح ناهموار نشان داده شده است.



شکل ۱ــ۲ــ انعکاس در تمام جهات

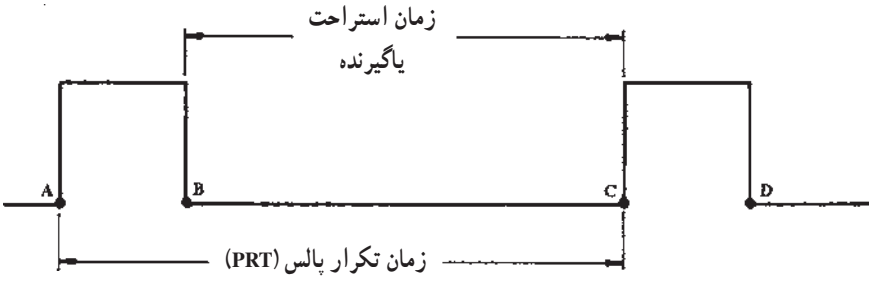


شکل ۲ــ۲ــ انعکاس از سطح ناهموار

علاوه بر نوع جنس و شکل جسم که بر بازتاب امواج راداری اثر می‌گذارند، اندازه جسم نیز بر انرژی اکوهای بازتاب شده اثر می‌گذارد. از این طریق می‌توان به کوچکی یا بزرگی دو اکو که در فاصله مساوی از کشتی خودی قرار دارند پی برد، زیرا اکوی مربوط به یک کشتی بزرگ قویتر از اکوی یک کشتی کوچک که در همان فاصله نسبت به کشتی خودی قرار گرفته است، خواهد بود. در بحث اندازهٔ جسم در مورد هدفهای راداری واژه‌ای به‌کار گرفته می‌شود که نشانگر اندازه هدف است. این واژه «سطح مقطع راداری» است (Radar Cross Section[1]) که مشخص می‌کند سطح مؤثر هدف که امواج را منعکس می‌کنند، به چه میزانی است. برای تشریح مفهوم سطح مقطع راداری، چنانچه یک سطح منعکس کننده ایده‌آلی را درنظر بگیریم که به طور دقیق همان مقدار از انرژی امواج راداری را که خود هدف حقیقی نیز بازتاب می‌دهد منعکس کند، در این صورت میزان مساحت این سطح منعکس کننده ایده‌آل مجازی را سطح مقطع راداری هدف می‌گویند. لازم به توضیح است که وقتی صحبت از اندازهٔ هدف می‌کنیم، در حقیقت منظورمان اندازه‌ای است که امواج رادار در زاویه و حالتی که به هدف برخورد می‌کنند هدف را می‌بینند. برای روشن شدن مطلب به این نکته اشاره می‌کنیم که وقتی یک کشتی را از سینه مشاهده کنیم تصویری از آن حاصل می‌شود که با تصویر به‌دست آمده از حالتی که کشتی را از پهلو (برد راست یا چپ) مشاهده کنیم کاملاً متفاوت خواهد بود و این، همان چیزی است که به عنوان سطح مقطع راداری مطرح است.

۲ــ۲ــ عوامل مؤثر در تعیین حداکثر برد رادار

شکی نیست که به نوعی، برد حداکثر متناسب با قدرت امواج ارسالی رادار است و هر چه قدرت امواج بیشتر باشد، پرتوهای ارسالی فاصله دورتری را طی خواهند کرد. در این مبحث آنچه که مورد نظر است، تعیین حداکثر برد رادار با توجه به مشخصه‌های پالس رادار است. در شکل (۳ــ۲)



شکل ۳ــ۲ــ پالس رادار

۱ــ سطح مقطع راداری را Echo Area یا Target Cross - Section نیز می‌نامند.

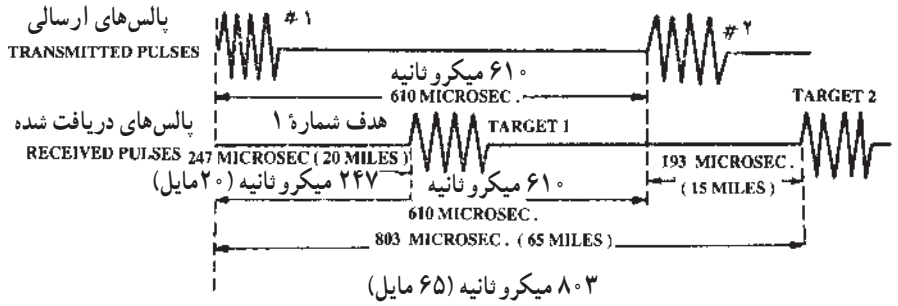
یک پالس رادار نشان داده شده است. همان‌طور که قبلاً شرح داده شد، در فاصله A تا B پالس ارسال می‌شود و در فاصله B تا C که تحت عنوان زمان استراحت یا زمان گیرنده نامیده می‌شود، گیرنده رادار آمادگی دریافت بازتابهای پالس ارسال شده را دارد ؛ بنابراین طولانی‌ترین فاصله‌ای که رادار می‌تواند ببیند، از نظر زمانی به‌وسیله مقدار PRT مشخص می‌شود.

درحالتی که PRT رادار خیلی کم باشد (PRFزیاد)، مشاهده می‌شود که زمان گیرنده کوتاه است ؛ از این رو سیگنال بازتاب برخی از هدفها که در فواصل دورتر قرار دارند، ممکن است پس از ارسال پالس بعدی به گیرنده برسند. بروز چنین وضعی بدیهی است که باعث ابهام در اندازه‌گیری فاصله می‌شود، زیرا رادار بازتاب را مربوط به پالس دوم درنظر گرفته (چون بازتاب در زمان گیرنده بعد از پالس بعدی وارد گیرنده خواهد شد) فاصله‌ای کوتاهتر از مقدار واقعی را نشان می‌دهد ؛ بنابراین حداکثر فاصله‌ای که رادار قادر است برد هدف را به طور واقعی نشان دهد، فاصله‌ای است که بازتاب هدف قبل از شروع پالس بعدی (نقطه C در شکل ۳ــ ۲) به گیرنده رسیده باشد. این فاصله را تحت عنوان «حداکثر فاصله واضح» می‌نامند و مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\text{حداکثر فاصله واضح} = \frac{\text{PRT}}{۱۲/۳۵}$$

دراین‌رابطه فاصله‌برحسب مایل دریایی و PRT برحسب میکرو ثانیه است. توضیح این که عدد ۱۲/۳۵ همان مایل راداری، یعنی زمان رفت و برگشت پالس برای فاصله یک مایل دریایی است و رابطه فوق با یک تناسب ساده حاصل می‌شود.

برای درک بهتر مطلب به شکل(۴ــ ۲) توجه کنید. در این شکل یک پالس راداری با RRT برابر ۶۱۰ میکروثانیه نشان داده شده است. این مقدار PRT مشخص می‌کند که حداکثر فاصله واضح این رادار حدود ۵۰ مایل است. فرض کنید این پالس درمسیر انتشار خود به دو هدف برخورد کند که

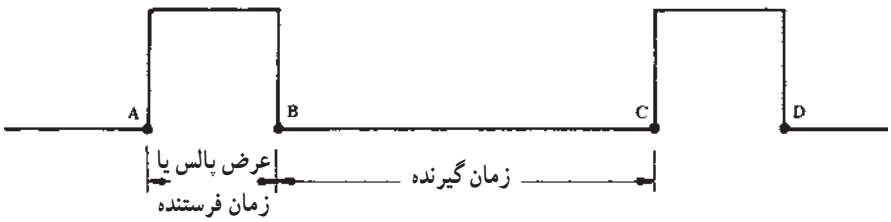


شکل ۴ــ۲ــ حداکثر فاصله واضح

هدف اوّل در فاصله ۲۰ مایلی و هدف دوم در فاصله ۶۵ مایلی قرار گرفته باشند. بازتاب مربوط به هدف اوّل، ۲۴۷ میکروثانیه و بازتاب مربوط به هدف دوم ۸۰۳ میکروثانیه پس از ارسال و انتشار پالس اوّل به گیرنده خواهند رسید. همان طوری که در شکل (۴ــ۲) نیز مشاهده می‌شود، بازتاب هدف اوّل به طور صحیح و درموقعیت زمانی خود نشان داده می‌شود، زیرا فاصله هدف کمتر از حداکثر فاصله واضح رادار (حدود ۵۰ مایل) است ؛ اما بازتاب هدف دوم چون زمان رفت و برگشت پالس بیش از مقدار PRT است، موقعی به گیرنده خواهد رسید که پالس دوم انتشار یافته، گیرنده این بازتاب را دراثر برخورد پالس دوم با هدفی که در فاصله نزدیک قرار گرفته باشد درنظر گرفته و لذا بر روی صفحه نشان دهنده رادار فاصله هدف دوم را ۱۵ مایل نشان خواهد داد که صحیح نمی‌باشد. بنابراین حداکثر فاصله واضح و یا به عبارت دیگر حداکثر فاصله یا برد موثر رادار بستگی به میزان PRT داشته و هرقدر PRT بیشتر باشد، حداکثر برد رادار بیشتر خواهد شد.

۳ــ۲ــ عوامل مؤثر در تعیین حداقل برد رادار

عرض پالس یا زمان فرستنده مدت زمانی است که فرستنده در حال انتشار پالس رادار است و در این فاصله زمانی گیرنده رادار به آنتن وصل نبوده هیچ‌گونه بازتابی دریافت نخواهد شد. حال چنانچه هدفی آن قدر به کشتی خودی نزدیک باشد که سیگنال بازتاب آن قبل از سپری شدن زمان فرستنده، یعنی قبل از خاموش شدن فرستنده و در مدار آمدن گیرنده به آنتن برسد دریافت نخواهد شد، زیرا گیرنده هنوز خاموش است. همان طور که در شکل ۵ــ۲ نشان داده شده است، کوتاهترین



شکل ۵ــ۲ــ حداقل فاصله رادار

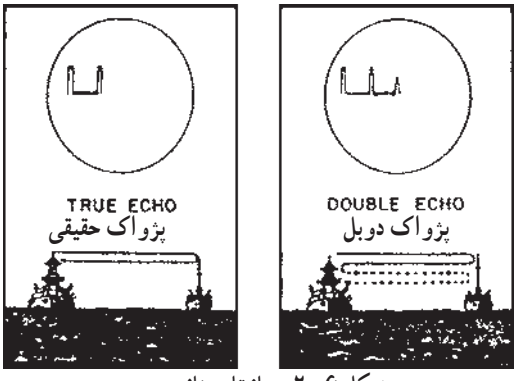
فاصله‌ای که بازتاب یک هدف می‌تواند وارد گیرنده شده بر روی صفحه نشان‌دهنده رادار ظاهر شود، فاصله‌ای است که بازتاب آن در نقطه B، یعنی بلافاصله در شروع به کار گیرنده وارد آنتن رادار شود. با توجه به این که زمان رفت و برگشت پالس باید برابر با زمان عرض پالس (PW) باشد ؛ بنابراین حداقل فاصله از رابطهٔ زیر به دست خواهد آمد :

$$\text{حداقل فاصله رادار} = ۱۶۴ \times PW$$

دراین رابطه فاصله‌برحسب یارد و عرض پالس (PW) برحسب میکروثانیه خواهد بود. توضیح این که بنا بر تعریف مایل راداری، زمان رفت و برگشت پالس برای هدفی که در فاصله ۱۶۴ یاردی واقع شده باشد، برابر یک میکرو ثانیه خواهد بود و رابطه فوق با یک تناسب ساده حاصل خواهد شد.

در راستای توضیح بیشتر دربارهٔ حداقل فاصله یا برد رادار، چنانچه کل زمان ارسال پالس (عرض پالس) برابر با ۲ میکروثانیه باشد، هیچ پالسی در این محدودهٔ زمانی ۲ میکروثانیه دریافت نخواهدشد. به عبارت دیگر، هیچ بازتابی از هدفهای نزدیکتر از ۳۲۸ یارد (۳۲۸ = ۲×۱۶۴= حداقل فاصله) دریافت نمی‌شود. بدین ترتیب عامل تعیین کننده حداقل برد رادار، عرض پالس است. هر قدر عرض پالس کمتر باشد هدفهای با فاصله کمتر از کشتی خودی بیشتر قابل کشف خواهند بود.

۱ــ۳ــ۲ــ بازتاب دوبل ــ هنگامی که فاصله هدف تا کشتی کمتر از حداقل فاصله رادار باشد، بازتاب پالس وقتی از هدف به کشتی فرستنده امواج می‌رسد گیرنده خاموش بوده قابل دریافت نخواهد بود. در این حالت چنانچه موج ارسال شده به اندازه کافی قوی باشد و شرایط خاصی از نظر نحوهٔ استقرار کشتی و هدف نسبت به یکدیگر وجود داشته باشد، موج بازتاب شده به سطح کشتی خودی برخورد کرده دوباره بازتاب می‌شود. این موج اخیر که در جهت هدف انتشار می‌یابد، در برخورد با هدف همانند یک موج رادار عمل کرده دوباره منعکس می‌شود و به طرف کشتی خودی باز می‌گردد. چون به اندازه کافی زمان سپری شده است و گیرنده روشن است، این بازتاب وارد گیرنده شده به عنوان اِکوی هدفی که در فاصله‌ای دو برابر فاصله حقیقی هدف باشد ظاهر می‌شود، زیرا در حقیقت دوبار این مسیر رفت و برگشت را طی کرده است. چنین بازتابهایی را بازتاب دوبل (Double Echo) می‌نامند. این حالت درشکل (۶ــ۲) نشان داده شده است. البته لازم به ذکر است



شکل ۶ــ۲ــ بازتاب نانویه

که وقوع چنین حالتی برای هدفهایی هم که در فاصله نزدیک اما بیشتر از حداقل فاصله رادار از کشتی قرار گرفته باشند امکانپذیر است. در این صورت اِکوی حقیقی نیز بر روی صفحه نشان‌دهنده رادار ظاهر خواهد شد. همان طور که مشاهده می‌شود، شکل (۶ــ ۲) این حالت رانشان می‌دهد.

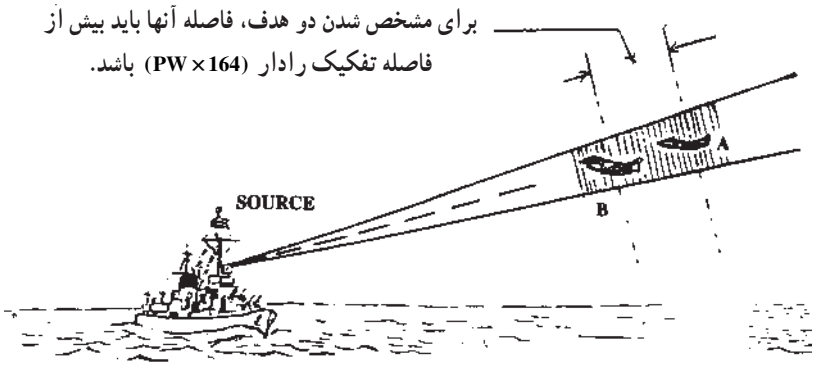
۴ــ۲ــ مفهوم تفکیک در فاصله

تفکیک در فاصله عبارت است از توانایی یک رادار در تشخیص و تفکیک دو هدف که دارای سمت یکسان نسبت به کشتی خودی بوده، اما فاصله آنها متفاوت باشد. در عمل وقتی دو هدف در یک سمت بوده و فاصله میان آنها کم باشد، ازنظر رادار به صورت یک هدف برروی صفحه نشاندهنده رادار ظاهر خواهند شد. حداقل فاصله‌ای که بین این دو هدف باید باشد تا آنها به صورت دو هدف جداگانه به تصویر درآیند، حد تفکیک فاصله نامیده می‌شود.

حد تفکیک فاصله رادار تابعی است از عرض پالس و میزان آن از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن حد تفکیک فاصله برحسب یارد و عرض پالس (PW) نیز برحسب میکروثانیه است :

حد تفکیک فاصله = ۱۶۴ × PW

مفهوم تفکیک در فاصله و یا به عبارت دیگر دقت در فاصله در شکل (۷ ــ ۲) نشان داده شده است. برای مثال، چنانچه راداری را باعرض پالس ۱ میکروثانیه درنظر بگیریم، با استفاده از رابطهٔ مربوطه، میزان حد تفکیک فاصله برابر با ۱۶۴ یارد است ؛ یعنی اگر دو هدف با فاصله‌ای نزدیک به هم و در یک سمت از کشتی خودی قرار گرفته باشند، برای این که دو اکوی مجزا و قابل تفکیک بر روی صفحه نشان‌دهنده داشته باشند باید حداقل ۱۶۴ یارد از یکدیگر فاصله داشته باشند، در غیر



شکل ۷ــ۲ــ حد تفکیک در فاصله

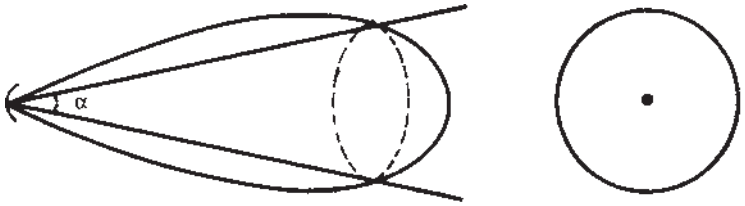
این صورت تنها یک اکو ظاهر خواهد شد.

علت به وجود آمدن این وضعیت که دو هدف تنها یک اکو داشته باشند این است که وقتی دو هدف به هم نزدیک باشند، هنگامی که لبهٔ جلویی پالس برروی هدف دورتر قرارگرفته هدف نزدیکتر نیز در داخل پالس ارسالی بوده و یاحداکثر لبهٔ عقبی پالس بر روی آن قرار می‌گیرد ؛ درنتیجه یک بازتاب ایجاد خواهد شد، مگر آن‌که وقتی لبه جلویی پالس بر روی هدف دورتر قرارگرفت لبه عقبی پالس از روی هدف نزدیکتر گذشته باشد که در این صورت دو اکوی مجزا تشکیل خواهد شد.

۵ــ۲ــ مفهوم تفکیک درسمت

تفکیک در سمت عبارت است از توانایی یک رادار در تشخیص وتفکیک دو هدف که دارای فاصله یکسان از کشتی خودی بوده و سمت آنها متفاوت اما نزدیک به هم باشد. وقتی دو هدف در یک فاصله و در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند، قابل تفکیک از یکدیگر نبوده یک تصویر راداری را ایجاد خواهند کرد، مگر آن‌که فاصله آنها از یکدیگر بیش از مقدار معیّنی باشد.

امواج راداری وقتی از آنتن انتشار می‌یابند به صورت یک خط راست نیستند، بلکه لبه جلویی موج به صورت یک سطح کروی شکل بوده که در طول مسیر انتشار هرچه فاصله زیادتر باشد قطر پرتو رادار بیشتر می‌شود. برای اندازه‌گیری قطر پرتو که به عنوان یک مشخصه پرتو رادار مطرح است، از مفهوم عرض پرتو (Beam Width)که یک معیار زاویه‌ای است، استفاده می‌شود. در شکل (۸ــ۲) تصویری از یک پرتو رادار و همچنین مفهوم عرض پرتو نشان داده شده است. با توجه به‌شکل (۸ــ۲) ملاحظه می‌شود که هر قدر عرض پرتو کمتر باشد، پرتو باریکتر بوده در مسیر انتشار فضای کمتری را تحت پوشش قرار می‌دهد. زاویه α را عرض پرتو می‌نامند و معمولاً میزان آن را با درجه بیان می‌کنند.

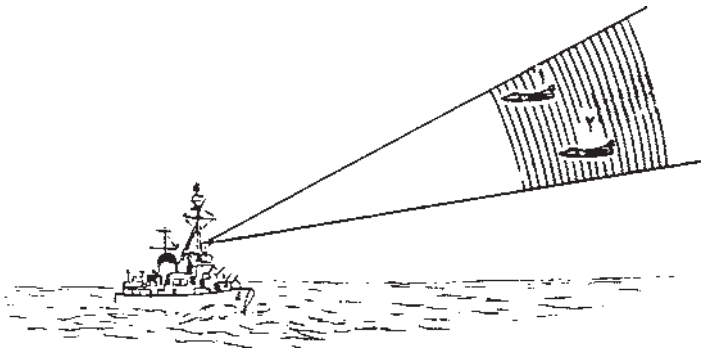


شکل ۸ــ۲ــ تصویری از یک پرتو موج، مفهوم عرض پرتو و سطح مقطع لبه جلویی پرتو

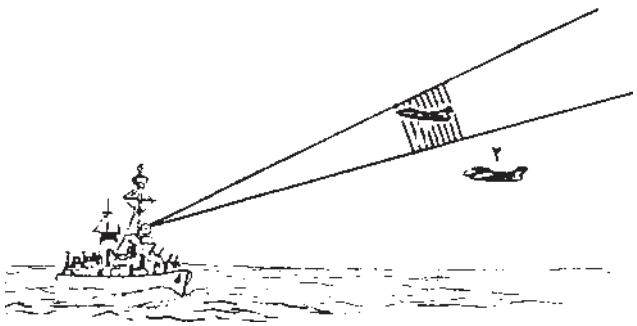
هنگامی که پرتو رادار به دو هدف که در یک فاصله بوده اما نزدیک به هم قرار گرفته باشند برسد، هر دو هدف همزمان در داخل پرتو قرار می‌گیرند و در نتیجه به عنوان یک هدف تلقی شده یک

اکو تولید می‌کنند، مگر آن که پرتو رادار به اندازه‌ای باریک باشد که هر دو هدف همزمان درداخل پرتو قرار نگیرد که دراین صورت دو اکوی مجزا تولید خواهد شد. پس حد تفکیک دو هدف در سمت (و یا به عبارتی دقت در سمت) بستگی به عرض پرتو دارد. با توجه به این که در فواصل دورتر قطر پرتو رادار گسترش می‌یابد، تفکیک هدفها در سمت در فواصل دورتر بسیار دشوارتر خواهد بود.

در شکل (۹ــ۲) دو هدف مشاهده می‌شود که هردو درپرتو رادار قرار گرفته قابل تفکیک نیستند، اما برعکس در شکل (۱۰ــ۲) که عرض پرتو باریکتر است ؛ درهر لحظه تنها یکی از هدفها در داخل پرتو و در معرض پالس قرار می‌گیرد و درنتیجه از یکدیگر قابل تفکیک بوده، به صورت دو اکوی مجزا و مستقل خواهد شد.



شکل ۹ــ۲ــ دو هدف غیر قابل تفکیک در سمت



شکل ۱۰ــ۲ــ دو هدف قابل تفکیک در سمت

پس به طور کلی دقت در سمت یا حد تفکیک در سمت به وسیله عرض پرتو مشخص می‌شود.

برای مثال: اگر عرض پرتو ۲ درجه باشد، دو هدف که در یک فاصله بوده اما نسبت به یکدیگر کمتر از ۲ درجه اختلاف زاویه داشته باشند، قابل تفکیک نبوده و به صورت یک هدف ظاهر می‌شوند.

۶ــ۲ــ 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 ویژه‌ای برخوردار است.

در این جا بدون این که وارد جزئیات بشویم، معادله رادار را جهت آشنایی مقدماتی با آن مطرح کرده و شرح مختصری نیز درمورد آن بیان می‌کنیم. معادله رادار که در آن حداکثر فاصله (یا برد) رادار بر مبنای سایر اطلاعات و عوامل مختلف نوشته می‌شود، به شرح زیر است :

$$R_{max} = \left(\frac{P.A^{۲}.S}{۴\pi \quad {}^{۲}P_{min}}\right)^{\frac{۱}{۴}}$$

در رابطه ذکر شده برای معادله رادار :

R_{max} = برد حداکثر رادار

P = قدرت (توان) ارسالی

A = سطح دریافتی آنتن گیرنده

S = سطح مقطع راداری هدف

λ = طول موج

P_{min} = حداقل توان قابل دریافت به وسیله گیرنده رادار

نتایج بسیارجالب ومهمی رابا بررسی دقیق معادله رادار می‌توان به دست آورد. اوّلین و روشن‌ترین این نتایج عبارت است از این که برد حداکثر رادار متناسب با ریشه چهارم توان ارسالی پالسی[۱] 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. درنتیجه روشن است که چنین افزایش توانی در هرسیستم خاص راداری یا عملی نبوده و یا غیر اقتصادی 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. هر چند که این روش بسیار جالب توجهی در برابر روش قبلی (افزایش توان ارسالی) محسوب می‌شود. اما عوامل مختلفی مقدار P_{min} را کنترل می‌کنند که باعث می‌شود کاهش میزان P_{min} نیز حد و حدودی داشته باشد، چون در غیر این صورت بر روی سایر عواملی که بر کارکرد نامطلوب رادار موثر خواهند بود اثرات منفی خواهد داشت.

۱ــ منظور از توان، همان توان قله پالس رادار (PEAK POWER) است که به طور مشروح‌تر در قسمت بعدی این فصل مطرح خواهد شد.

روش دیگر برای افزایش برد حداکثر رادار، افزایش سطح دریافتی آنتن است که درعمل به معنی افزایش قطر مؤثر آنتن است. متأسفانه در انجام این روش نیز محدودیت وجود دارد، زیرا عرض پرتو (BEAM WIDTH) یک آنتن متناسب با نسبت طول موج به قطر آنتن است و درنتیجه هرگونه تغییر در ابعاد آنتن، عرض پرتو را نیز تغییر خواهد داد و این در بعضی موارد در عملکرد مطلوب رادار محدودیت ایجاد می‌کند.

به طور کلی معادله رادار نحوهٔ 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 مورد نظر آن بهره‌برداری کرده و مشخصه‌های مختلف را تعیین کرد.

مثال ۱: حداکثر برد سیستم راداری را به دست آورید که در طول موج ۳ سانتیمتر کار کرده و دارای توان قله پالسی ۵۰۰ کیلووات باشد. فرض کنید که حداقل توان قابل دریافت برابر با $۱۰^{-۱۳}$ وات، سطح دریافتی آنتن رادار برابر با ۵ متر مربع و سطح مقطع راداری هدف برابر با ۲۰ متر مربع باشد.

$$R_{max} = \left(\frac{P.A^{۲}.S}{۴\pi \quad {}^{۲}P_{min}}\right)^{\frac{۱}{۴}}$$

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

$$= ۶/۸۶\times۱۰^{۵} \text{ متر}$$

$$= ۶۸۶ \text{ کیلومتر } (= ۳۷۰ \text{ مایل دریایی})$$

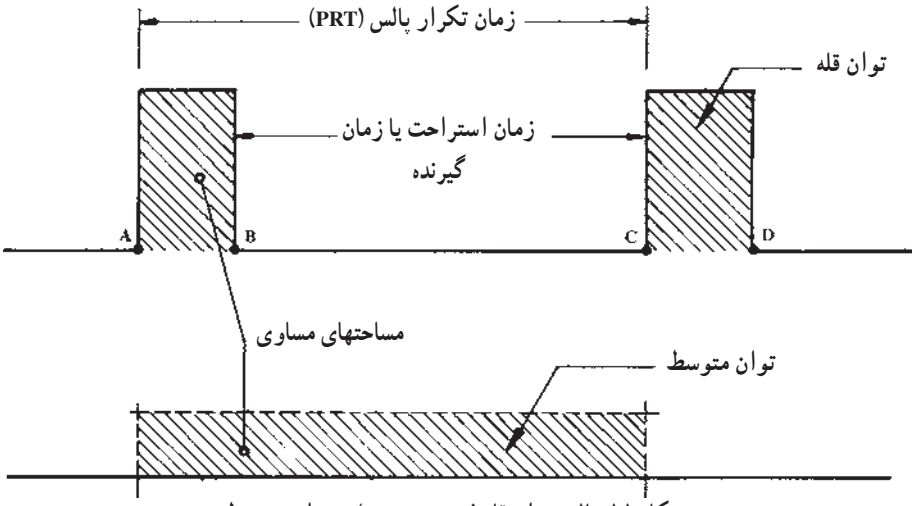
۷ــ۲ــ قدرت رادار

در یک سیستم رادار، فرستنده امواج الکترومغناطیسی را با انرژی زیاد به صورت 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 منتشر شده نهفته است و میزان آن‌را توان قله پالسی (PEAK POWER) می‌نامند.

چون فرستنده یک سیستم رادار در طول سیکل کار خود، تنها برای مدت زمان کوتاهی عمل فرستندگی انجام داده، در بقیه زمان که طولانی نیز است، به حالت خاموش درمی‌آید، توان متوسط فرستنده (AVERAGE POWER) در مقایسه با توان قله (PEAK POWER) در طول زمان تکرار پالس (PRT) بسیار کم خواهد بود.

درشکل (۱۱ــ۲) مفهوم توان قله و توان متوسط نشان داده شده است. در زمان فرستنده که از نقطه A تا B ادامه دارد، قدرت خروجی وجود دارد و این همان قدرت یا توان قلّه یا به عبارتی، قدرت پیک است. در بقیه زمان یعنی از نقطه B تا C که گیرنده شروع به کار 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 درشکل (۱۱ــ۲) مشاهده می شود، توان متوسط میزانی از توان است که چنانچه در طول زمان تکرار پالس تولید شود برابر خواهد بود با توان قله که تنها در مدت زمان کوتاهی (برابر با عرض پالس) تولید خواهد شد. این موضوع در شکل (۱۱ــ ۲) به وسیله سطوح هاشور زده نشان



شکل ۱۱ــ۲ــ توان قله (Peak power) و توان متوسط

داده شده است. رابطهٔ میان توان متوسط که در طول یک سیکل کامل (زمان تکرار پالس ــ 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 بیشترباشد، توان متوسط بیشتر خواهد بود و همچنین هر چه زمان تکرار پالس بیشتر باشد، توان متوسط کمتر خواهد شد.

۱ــ۷ــ۲ــ سیکل‌کارراادار (DUTY CYCLE)ــسیکل‌کارراادار (DUTY CYCLE) عبارت است از نسبت زمانی که فرستنده رادار مشغول کار است به کل زمان یک سیکل رادار که همان زمان تکرار پالس (PRT)است. این تعریف را می‌توان به صورت رابطهٔ زیر نوشت :

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

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

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

مثال ۱: سیکل کار رادار را برای راداری که عرض پالس آن ۲ میکرو ثانیه وفرکانس تکرار پالس آن ۵۰۰۰ هرتز باشد، حساب کنید.

$PW = ۲$ میکرو ثانیه $PRF = ۵۰۰۰$ هرتز

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

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

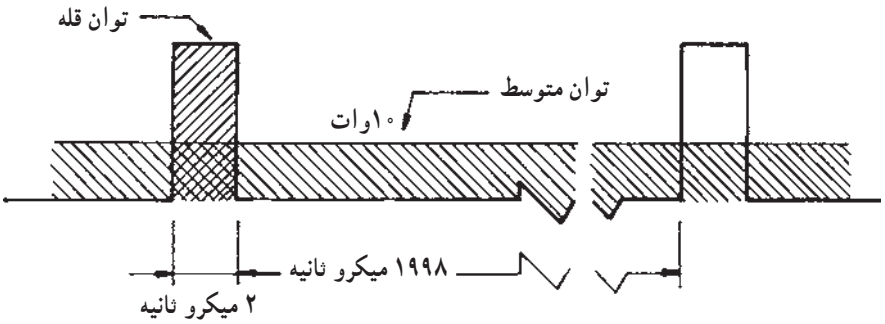
همان طور که درمثال ۱ مشاهده شد، چون بین PRT و PRF یک رابطه عکس $(PRT = \frac{۱}{PRF})$ وجود دارد، می‌توان فرمول مربوط به سیکل کار رادار را به صورت زیر نیز نوشت :

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

مثال ۲: باتوجه به شکل صفحه بعد و مقادیر داده شده، چنانچه توان متوسط این رادار ۱۰ وات باشد، سیکل کار و توان قلّه را حساب کنید.

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

$$\text{سیکل کار} = \frac{PW}{PRT} = \frac{۲}{۲۰۰۰} = ۰/۰۰۱$$



شکل ۱۲ــ۲

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

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

توان قله = ۱۰ کیلووات

پرسش

۱ــ عوامل مؤثر در عملکرد رادار را نام ببرید؟

۲ــ پژواک دریا (SEA CLUTTER) را شرح داده اثرات آن را در عملکرد رادار بیان کنید.

۳ــ اتمسفر چه اثراتی برروی امواج راداری دارد؟

۴ــ سطح مقطع راداری هدف را تعریف کنید.

۵ــ حداکثر فاصله واضح رادار به چه عاملی بستگی دارد؟

۶ــ اگر بخواهیم در یک سیستم رادار هدفهای تا ۶۵ مایلی را کشف کنیم، میزان PRT حداقل چه باید باشد؟

۷ــ اگر عرض پالس ۲ میکروثانیه باشد، حداقل فاصله رادار چه قدر است؟

۸ــ مفهوم تفکیک در سمت را تشریح کنید.

۹ــ سیکل کار رادار را تعریف کرده روابط مربوط را بنویسید.

۱۰ــ اگر فرکانس تکرار پالس ۲۰۰۰ هرتز و سیکل کار رادار ۰/۰۰۲ باشد، عرض پالس چه‌قدر است؟

فصل سوم

کاربردهای رادار

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود در پایان این فصل :
۱ــ انواع مختلف سیستمهای رادار را نام ببرد و تشریح کند.
۲ــ کاربردهای مختلف سیستم رادار را بیان کند.

مطالعه آزاد

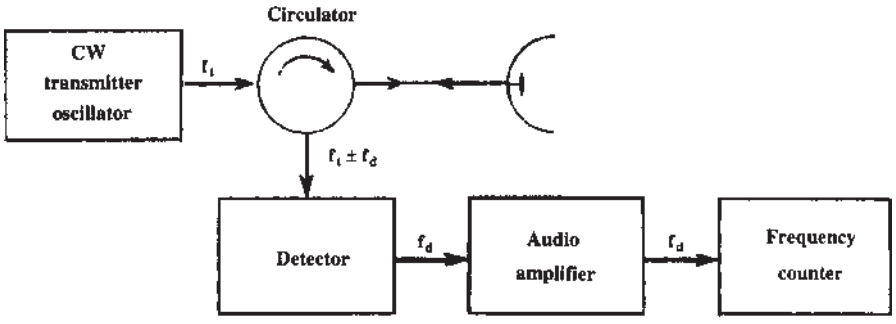
۱ــ۳ــ انواع مختلف سیستمهای رادار

تا این جا آنچه که در رابطه با سیستمهای رادار مطرح شد، تأکید خاص بر سیستم رادار پالسی داشت. هر چند که به طور کل اساس کار کلیه سیستمهای رادار همان است که در فصلهای قبل از آن سخن گفته شد، اما برای آگاهی و آشنایی لازم است اشاره‌ای هرچند مختصر به این سیستمها بشود. به طور کلی انواع مختلف سیستمهای رادار به شرح موارد زیر هستند :

۱ــ سیستم رادار پالسی ؛
۲ــ سیستم رادار داپلری موج پیوسته
(CONTINUOUS - WAVE DOPPLER RADAR) ؛
۳ــ سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس
(FREQUENCY - MODULATED C.W. RADAR) ؛
۴ــ سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون پالسی
(PULSE - MODULATED C.W. RADAR) ؛
۵ــ سیستم رادارهای آرایه فازی
(PHASED ARRAY RADAR SYSTEM).

۱ــ۱ــ۳ــ سیستم رادار پالسی ــ همان طور که قبلاً ذکر شده است، رادارهای پالسی مبادرت به ارسال پالسی از امواج الکترومغناطیسی می‌کنند که این امواج از طریق آنتن در فضا منتشر و در مسیر انتشارخود، پس ازبرخورد با هرگونه مانعی یا هدفی منعکس می‌شوند و بازتاب آن به‌وسیلهٔ گیرنده دریافت و بر روی صفحه نشان دهنده رادار ایجاد اکو می‌کند. چون در این مورد قبلاً به تفصیل صحبت شده و در فصل چهارم کتاب نیز به طور مشروح اجزای مختلف یک سیستم رادار پالسی که کاربرد وسیعی در شناورها دارد مورد بررسی قرار خواهد گرفت، در این قسمت به ذکر این نکته اکتفا می‌کنیم که رادارهای پالسی بیشترین کاربرد را در روی شناورها چه نظامی و چه غیرنظامی دارند و خود به چند دسته تقسیم بندی می‌شوند. رادارهای ناوبری، جستجوگر ورادارهای ردگیری ازجمله این دسته‌بندیها هستند ؛ ضمن این که رادارهای بیکن (RADAR BEACON) نیز از نوع رادارهای پالسی به شمار می‌روند.

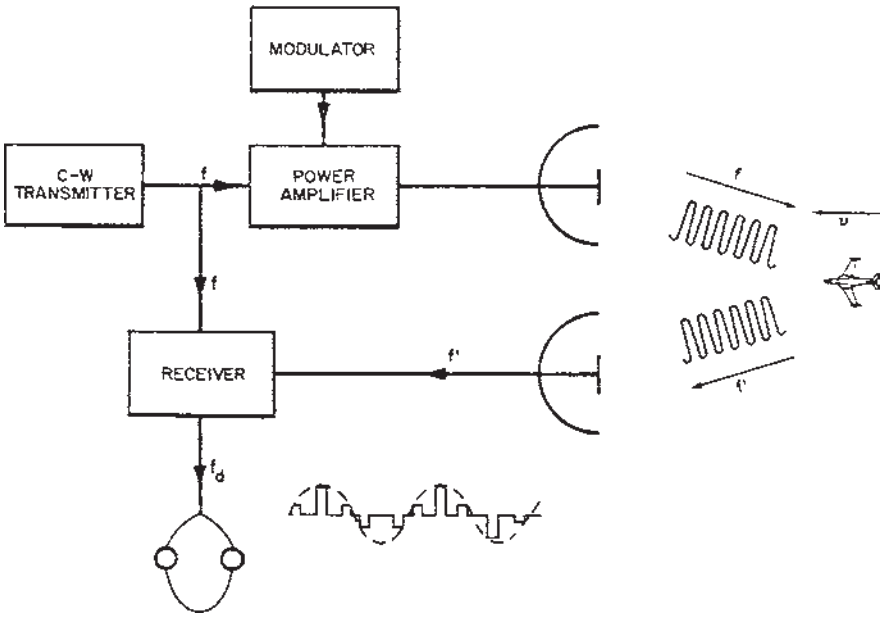
۲ــ۱ــ۳ــ سیستم رادار داپلری موج پیوسته - (CONTINUOUS WAVE-DOPPLER RADAR) ــ یک رادار داپلر ساده مانند آنچه در شکل (۱ــ۳) نشان داده شده است، به جای ارسال پالس، امواج سینوسی پیوسته (CONTINUOUS - WAVE)را از طریق آنتن به‌خارج می‌فرستد. دراین سیستم راداری از اثر داپلر (DOPPLER EFFECT) برای آشکارسازی تعیین و تغییر فرکانسی که به وسیله یک هدف متحرک در برخورد با این امواج ایجاد می شود، استفاده شده و ازآن سرعت نسبی هدف مشخص می‌شود.



شکل ۱ ــ۳ــ یک رادار .C.W داپلر ساده

وقتی امواج راداری پیوسته (C.W.) از یک منبع ثابت انتشار می‌یابند، با یک فرکانس مشخص و ثابتی مسیر خود را طی می‌کنند. این امواج پس از برخورد با یک هدف متحرک دورشونده یا نزدیک شونده و براساس اصل انعکاس امواج، منعکس شده به سمت منبع اولیه بازتاب می‌شوند. فرکانس امواج منعکس شده با توجه به سرعت هدف تغییر خواهد کرد که این تغییر در فرکانس را اثر داپلر (DOPPLER EFFECT) می‌نامند. چنانچه هدف متحرک دورشونده باشد، فرکانس موج منعکس شده کاهش می‌یابد و برعکس، درصورتی که هدف نزدیک شونده بوده به طرف منبع اولیه (محل فرستنده رادار) در حرکت باشد، فرکانس موج منعکس شده افزایش خواهد یافت. اختلاف فرکانس موج ارسالی و موج منعکس شده نشانگر وجود یک هدف متحرک و میزان این اختلاف نیز تعیین کننده سرعت هدف متحرک خواهد بود.

بر خلاف آنچه که در شکل (۱ــ ۳) نشان داده شد، در رادارهای داپلری معمولاً به جای یک آنتن از دو آنتن مجزا، یکی به عنوان فرستنده و دیگری به عنوان گیرنده استفاده می‌شود. درشکل (۲ــ۳) تصویری از یک سیستم رادار داپلری که در آن از دو آنتن مجزا استفاده شده است، نشان داده می‌شود.



شکل ۲ــ۳ــ یک رادار C.W. داپلر با دو آنتن مجزا

رادار داپلر قادر است که اندازه‌گیری دقیق سرعتهای نسبی هدفهای متحرک را با استفاده از توان ارسالی کم، مدارهای ساده، توان مصرفی کم و دستگاههایی با ابعاد خیلی کوچکتر از دستگاههای مشابه‌شان در رادارهای پالسی به‌دست آورد. عملکرد این نوع سیستم رادار بدون تأثیر از حضور هدفهای ساکن وثابت بوده و علاوه بر این، چون گیرنده همواره روشن است (به واسطه داشتن آنتن مجزا) برخلاف سیستم پالسی می‌تواند تا مسافتهای خیلی نزدیک را نیز تحت پوشش خود داشته باشد.

از محدودیتهای این نوع سیستم رادار این است که رادار داپلر قادر به تعیین فاصله هدف نیست. رادار داپلر تنها می‌تواند سرعت هدف را نشان دهد. علت این امر این است که سیگنال ارسالی بدون مدولاسیون بوده گیرنده قادر نخواهد بود حس کند که کدام سیکل بخصوصی از نوسانات (امواج ارسالی)درهر لحظه دریافت شده است ؛ و به همین جهت نخواهد توانست زمان رفت و برگشت سیکل بخصوص دریافت شده را تعیین کند و درنتیجه فاصله هدف تشخیص داده نمی‌شود. با وجود محدودیت ذکر شده، سیستم رادار داپلری کاربردهای زیادی دارد که نمونه‌هایی از آن اندازه‌گیری سرعت در ناوبری هواپیمایی یا اندازه‌گیری سرعت درراردارهای پلیس است.

۳ــ۱ــ۳ــ سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس ــ سیستم رادار داپلری که در قسمت قبل تشریح شد، قادر است هدفهای متحرک را تشخیص داده سرعت آنها را اندازه‌گیری کند، اما نمی‌تواند فاصله هدف را اندازه‌گیری کند. می‌توان به‌وسیله مدولاسیون فرکانس حامل بر این نقص رادار داپلری، یعنی ناتوانی در اندازه‌گیری فاصله غلبه کرد. با انجام این کار اشکال اصلی رادار داپلری .C.W یعنی ناتوانی تشخیص یک سیکل از سیکل دیگر از بین خواهد رفت.

یکی از کاربردهای مهم‌واصلی رادار.C.Wبامدولاسیون‌فرکانس (FREQUENCY MODULATED C.W. RADAR) در ارتفاع‌یاب هواپیما (ALTIMETER)است. در این سیستم اختلاف فرکانسی متناسب با ارتفاع هواپیما بین سیگنالهای فرستنده و گیرنده به‌وجود خواهد آمد. سیگنالی که پس از برخورد با مانع (زمین درمورد ارتفاع‌یاب هواپیما) دریافت می‌شود، قبلاً با فرکانس لحظه‌ای متفاوتی ارسال شده بود (در اثر مدولاسیون فرکانس) و لذا اگر نسبت تغییرات فرکانس با زمان مربوط به روند FM معلوم باشد، به سهولت می‌توان اختلاف زمان بین سیگنالهای ارسالی و دریافت شده را محاسبه کرد که در نتیجه این کار، ارتفاع هواپیما به دست

می‌آید.

ارتفاع‌یاب کاربرد اصلی رادار موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس (FMCW)[1] است. زیرا رادار .C.W هیچ محدودیتی در حداقل برد ندارد و این برعکس رادارهای پالسی است که در حداقل برد، دارای محدودیت بودند. علاوه بر این همان طوری که قبلاً نیز گفته شد، رادار داپلری .C.W، توان کم و سادگی و کوچک بودن تجهیزات را دربرخواهد داشت که در نتیجه برای استفاده درهواپیما که محدودیت وزن همواره مطرح است، مناسب خواهد بود.

۴ــ۱ــ۳ــ سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون پالسی ــ رادارهای داپلری موج پیوسته قادر به اندازه‌گیری فاصله نیستند، از طرف دیگر، رادارهای پالسی توانایی اندازه‌گیری فاصله را دارند، اما قدرت تشخیص هدفهای متحرک و ثابت را از یکدیگر ندارند. سیستمی متشکل از این دو نوع سیستم رادار قادر خواهد بود فاصله و همچنین سرعت هدفهای متحرک را محاسبه و تعیین کند. یکی از کاربردهای این نوع رادار در سیستم نشان‌دهنده هدفهای متحرک MTI (MOVING TARGET INDICATOR) است. با توجه به این که نحوهٔ کار مشابه رادارهای FMCW است، دراین مورد به همین شرح مختصر بسنده می‌کنیم.

۵ــ۱ــ۳ــ سیستم رادارهای آرایه فازی ــ در سیستمهای راداری برای این که امواج راداری در کلیه جهات انتشار یابند لازم است آنتن رادارها همواره در حال چرخش باشند. چرخش آنتنها برای کاربردهای عمومی سیستم رادار مشکلی دربر ندارد، اما در کاربردهای خاص محدودیت حداکثر سرعت چرخش آنتن که ناشی از مکانیزم خود آنتن است، وجود خواهد داشت.

سیستمهای رادارهای آرایه فازی (PHASED ARRAY RADAR) از نوعی آنتن استفاده می‌کنند که خود آنتن مجموعه‌ای ثابت است و پرتو امواج رادار به وسیله مکانیزمهای بسیار پیچیده الکترونیکی در جهات مختلف منتشر می‌شوند. به عبارت دیگر، به جای این که آنتن بچرخد، خود پرتوموج می‌چرخد. دراین سیستم آنتن، آرایه‌ای شامل تعداد زیادی آنتن تکی است که با اعمال تغییر فازهای مختلف به تغذیه‌کنهای آنتنهای تکی و تغییر الکترونیکی تغییر دهنده‌های فاز، پرتو به چرخش درخواهد آمد.

به‌طور کلی یک آرایه آنتن عبارت است از سیستم تشعشعی که شامل چندین

۱ــ FMCW مخفّف FREQUENCY MODULATED CONTINUOUS WAVE است.

تشعشع کننده یا عنصر تکی است. اینها آنقدر نزدیک یکدیگر قرار گرفته‌اند که هر یک در میدان القایی بقیه واقع می‌شوند ؛ بنابراین، این عناصر برروی هم اثر گذاشته یک پرتوکلی را ایجاد می‌کنند که به‌صورت جمع برداری تک‌تک پرتوها حاصل می‌شوند. جمع یا حذف پرتوها در جهت بخصوصی نه تنها به سبب مشخصه‌های هر عنصر، بلکه به وسیلهٔ فواصل میان آنها برحسب طول موج و اختلاف فاز میان نقاط مختلف تغذیه حاصل خواهد شد ؛ از این رو با انتخاب مناسبی می‌توان حذف یا جمع پرتو تشعشعی را در جهات مورد نظر به دست آورد. همچنین ممکن است که آرایه‌ای را برای به‌دست آوردن پرتو تشعشعی تمام جهتی در صفحهٔ افقی طرح کرد (مانند آرایه‌های چهار بازویی که برای فرستنده تلویزیونی استفاده می‌شود).

۶ــ۱ــ۳ــ مقایسه رادارهای پالسی و رادارهای موج پیوسته یا CW ــ

تا این جا روشن است که رادارهای پالسی با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت یک پالس به هدف، فاصله آن را اندازه‌گیری می‌کنند. در رادارهای موج پیوسته (C.W.) از آنجا که پالسی وجود ندارد تا به وسیلهٔ آن بتوان زمان را اندازه گرفت، توانایی اندازه‌گیری فاصله وجود ندارد. روشهای مختلفی وجود دارد که بتوان با اعمال آنها با سیستم رادارهای موج پیوسته نیز فاصله را اندازه‌گیری کرد ؛ هر چند که دقت عمل هیچ یک با آنچه که در سیستم رادارهای پالسی وجود دارد برابری نخواهد کرد. به این ترتیب در مواردی که نیاز است موقعیت و نقطه جغرافیایی یک هدف به طور دقیق تعیین شود، سیستم رادارهای پالسی کاربرد و عملکرد بهتری خواهند داشت.

رادارهای پالسی هر چند که می‌توانند فاصله هدف را اندازه‌گیری وتعیین کنند، اما قادر نیستند اکوی بازتاب شده از هدفهای ثابت و ساکن را فیلتر کنند.

یکی از عواملی که در حداکثر برد رادار در هرسیستمی مطرح وموثر است میزان توانی است که فرستنده باید ارسال کند. رادارهای پالسی این مقدار توان را باید در یک زمان کوتاه ارسال کنند، درصورتی که در رادارهای CW همین مقدار توان در طول کل زمان یک سیکل ارسال می‌شود و نیازمندی رادارهای CW به نیروی برق بسیار کمتر خواهد بود. برای مثال، برای ارسال سیگنالی با توان ۱۰۲۰ کیلووات در فضا برای رادارهای پالسی حدود ۴۶ کیلووات نیروی برق لازم است ؛ درصورتی که این نیازمندی برای رادارهای CW که بتواند همان مقدار توان را در طول یک سیکل انتشار دهد حدود ۲/۱ کیلووات خواهد بود. تجهیزات و دستگاههای مورد استفاده در رادارهای

CW همواره از سادگی، کوچکی ابعاد فیزیکی و سبکی وزن برخوردار خواهند بود که این خود یکی از مزیتهای این نوع سیستم راداری است و آن را مناسب استفاده دروسایل پروازی می‌کند.

۲ــ۳ــ کاربردهای مختلف سیستم رادار

رادار به عنوان وسیله‌ای برای کشف هدف بیش از ۶۰ سال است که پدید آمده است. هرچند که تکنولوژی ساخت آن نسبت به آنچه که در دهۀ ۱۹۳۰ وجود داشت، پیشرفتهای چشمگیری داشته است، اما علت وجودی و نیاز به رادار کماکان همان نیازی است که ۶۰ سال قبل نیز وجود داشت؛ یعنی اندازه‌گیری سمت و فاصله هدف.

بدون در نظر گرفتن این‌که رادار سطحی، هوایی یا زمینی است، این خواسته بالا تغییر نمی‌کند، زیرا هدف هر چه که باشد همگی در مقابل امواج منتشر شده رادار از خود بازتاب نشان خواهد داد. آنچه که به طور وسیع و گسترده تغییر کرده است طراحی سیستم، نحوه و سرعت پروسه کردن بازتابهای امواج، نحوۀ به تصویر کشاندن اطلاعات به دست آمده و همچنین میزان اطلاعاتی است که می‌توان از بازتاب امواج استخراج و بهره‌برداری کرد. کلید اصلی در سیستمهای مدرن امروزی، کامپیوترهای دیجیتال و سیستم پروسه کردن اطلاعات هستند که قادرند اطلاعات زیادی را از سیگنال خام بازتاب شده رادار استخراج کنند و در فرمهای مختلف به تصویر کشانیده یا به نمایش گذارند و علاوه بر اینها شناسایی و ردیابی هدف را نیز انجام دهند.

سیستمهای راداری را ابتدا می‌توان به سه گروه عمده دریایی، هوایی و زمینی تقسیم کرد. در هریک از دسته‌بندیهای ذکر شده نیز می‌توان رادارها را با توجه به نوع کاربرد آن به انواع مختلف تقسیم کرد. در بخش دریایی این تقسیم‌بندی به شرح زیر خواهد بود:

۱ــ رادارهای ناوبری (NAVIGATION RADARS)؛

۲ــ رادارهای مراقبت (SURVEIL LANCE RADARS)؛

۳ــ رادارهای جستجوگر (SEARCH RAD ARS)؛

۴ــ رادارهای کنترل آتش (FIRE CONTROL RADARS) یا ردگیری؛

۵ــ رادارهای ساحلی (BASED COASTAL SURVEILLANCE RDDARS-LAND).

علاوه بر موارد فوق، امروزه در امور غیر نظامی نیز به طور وسیع و گسترده از رادار استفاده

می‌شود که متداولترین آنها عبارتند از :

۱ــ رادار سرعت‌سنج برای کنترل عبور و مرور ماشین در اتوبانها و شاهراههای عظیم و چند باندی ؛

۲ــ سیستم رادار هواشناسی برای تعیین وضعیت جوّی ؛

۳ــ سیستم رادار به منظور راهنمایی و عبور و مرور هوایی و کشتیهای تجارتی ؛

۴ــ سیستم رادار برای کنترل هواپیماها (کنترل ترافیک هوایی) ؛

۱ــ۲ــ۳ــ رادارهای ناوبری (NAVIGATION RADARS) ــ این نوع رادار تقریباً بر روی کلیه شناورهای موجود بوده کاربرد آن برای نقطه‌یابی و همچنین تعیین موقعیت موانع و هدفها با اندازه‌گیری سمت و فاصله آنها است.

تصویری از یک رادار ناوبری که در داخل پل فرماندهی یک کشتی نصب بوده و به وسیله نفر مسؤول برای امور ناوبری مورد استفاده قرار گرفته، در شکل (۳ــ ۳) نشان داده شده است. رادارهای ناوبری هرچند که صرفاً برای ناوبری کشتی به کار گرفته می‌شوند، اما می‌توانند در خصوص کشتیهای نظامی تکمیل کننده سیستم دفاعی کشتی بوده درصورت لزوم و بنا بر مورد، اطلاعاتی را به این سیستم ارائه دهند.

شکل ۳ ــ۳ــ تصویری از یک رادار ناوبری

۲ــ۲ــ۳ــ رادارهای جستجوگر (SEARCH RADARS) ــ هر چند رادارهای ناوبری نیز از جمله رادارهای جستجوگر هستند، اما آنها را جداگانه مورد اشاره قرار دادیم، به لحاظ این که لفظ رادارهای جستجوگر بیشتر برای مصارف نظامی این گونه رادارها به کار می‌روند. رادارهای

جستجوگر بر روی انواع شناورها برای دفاع سطحی، هوایی و همچنین ناوبری مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده به منظورهای ناوبری در کشتیهای تجارتی از کاربردهای وسیع این گونه رادارها است.

یک رادار جستجوگر باید هدفی را بدون این که موجودیت آن را بداند، در یک حجم وسیعی از فضا کشف و مشخص کند و اطلاعات موقعیت هدف را که همانا سمت و فاصله است، تعیین و ارائه دهد. پس کاربرد اصلی این نوع رادار کشف هدف است. بدیهی است در مصارف نظامی اطلاعات به‌دست آمده در خصوص موقعیت هدف به رادارهای ردیابی منتقل می‌شود تا هدف مورد نظر را دنبال کنند و بنابر مورد، اقدامات لازم را انجام دهند.

در شکل (۴ــ ۳) آنتن یک نوع رادار جستجوگر و ناوبری سطحی نشان داده شده است.

شکل ۴ــ۳ــ یک نوع رادار جستجوگر و ناوبری سطحی

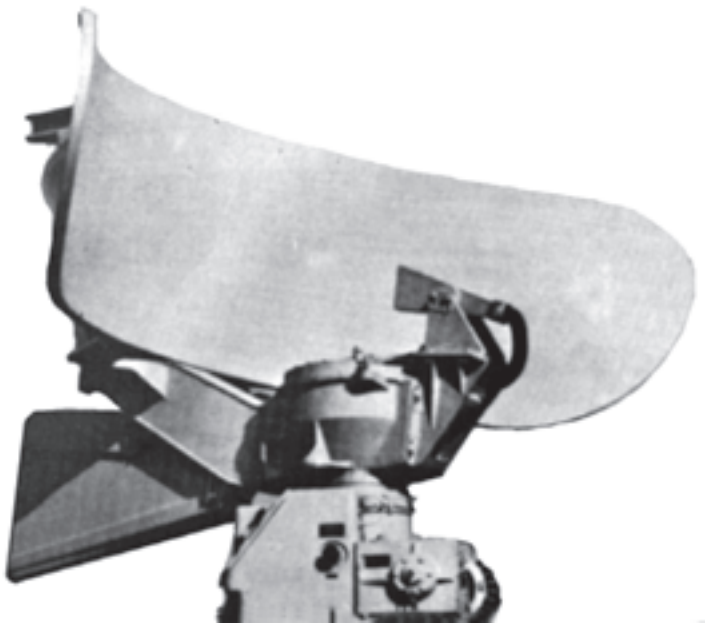
در شکل (۵ــ۳) تصویری از یک نوع رادار جستجوگر و ردیاب هوایی که به صورت یک

شکل ۵ ــ۳ــ یک نوع رادار جستجوگر و ردیاب هوایی

مجموعه در داخل یک محفظه گنبدی شکل (RADAR DOME) قرار گرفته‌اند، نشان داده شده است.

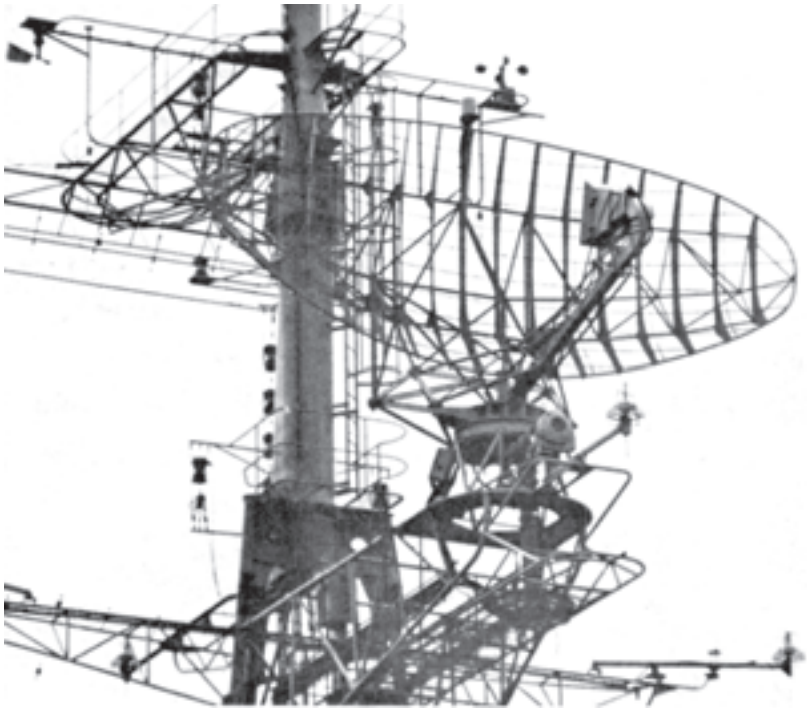
۳ــ۲ــ۳ــ رادارهای مراقبت (SURVEILL ANCE RADARS) ــ همان طوری که از نام این نوع رادارها مشخص است، رادارهای مراقبت برای کشف و شناسایی هواپیماها یا موشکهای پرتاب شده دشمن در فواصل بسیار دور به کار می‌رود. رادارهای مراقبت از مهمترین و ضروری‌ترین سیستمهای یک نیروی دریایی به شمار می‌آید. یک نمونه تاریخی که نتیجه عدم عملکرد صحیح این نوع رادار را نشان می‌دهد، در طول جنگ فالکلند[1] اتفاق افتاد که منجر به غرق شدن ناوشکن انگلیسی شفیلد شد. امروزه با وجود سیستمهای موشکی مدرن علیه شناورهای دریایی، وجود سیستم راداری مراقبت بر روی کشتیها و هواپیماها از ضروریات است، زیرا لازم است که دشمن را در فواصل بسیار دور کشف کرد تا زمان کافی برای انجام مقابله مؤثر امکان‌پذیر باشد.

تصاویری از رادارهای مراقبت سطحی و هوایی با برد متوسط و زیاد درشکلهای (۶ــ۳ و ۷ــ۳) نشان داده شده است.



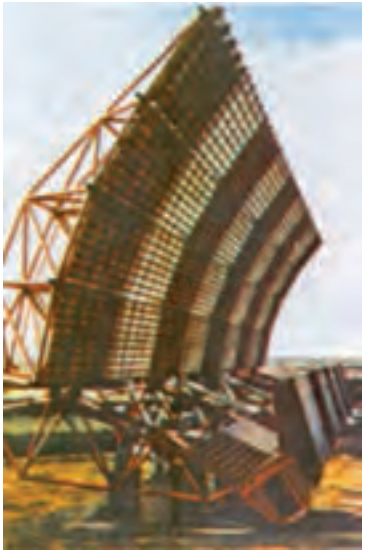
شکل ۶ــ۳ــ یک نوع رادار مراقبت سطحی و هوایی

۱ــ جنگ فالکلند، یک جنگ دریایی بود که بین انگلستان و آرژانتین در دهه اخیر اتفاق افتاد.



شکل ۷ــ۳ــ یک نوع رادار مراقبت هوایی برد زیاد

از جمله این نوع رادارها می‌توان به رادارهای کنترل ترافیک هوایی اشاره کرد که کاربرد بسیار وسیع در فرودگاهها، اعم از نظامی و غیر نظامی دارند. رادارهای کنترل ترافیک هوایی را رادارهای مراقبت پرواز نیز می‌گویند. در شکل (۸ــ۳) نمایی از آنتن یک رادار کنترل ترافیک هوایی نشان داده شده است. همچنین در شکل (۹ــ۳) نمایی از نشان‌دهنده‌های رادارهای مراقبت پرواز در برج کنترل ترافیک فرودگاه نشان داده شده است. بر روی این نشان دهنده‌ها، هر هواپیما با یک علامت + به همراه شماره شناسایی، ارتفاع و مقصد آن نشان داده می‌شود.



شکل ۸ــ۳ــ نمایی از آنتن یک رادار کنترل ترافیک هوایی

شکل ۹ــ۳ــ نمایی از اتاق رادار برج کنترل ترافیک فرودگاه

رادارهای هشداردهنده پیشرس (EARLY - WARNING RADARS) نیز نمونه دیگری از این نوع رادارها هستند که عمل موقعیت‌یابی هدف را در فواصل خیلی دور انجام داده حضور هدفها را به یگانهای عملیاتی وغیره هشدار می‌دهد. رادارهای آواکس[1] از این نمونه است که بر روی هواپیما نصب می‌شود و از آن به‌عنوان یک سیستم کنترل و هشداردهنده هوایی استفاده می‌شود.

۴ــ۲ــ۳ــ رادارهای ردگیری یا کنترل آتش ــ کاربرد این نوع رادارها همان طور که از نام آنها مشخص است، ردیابی یا به‌کارگیری در یک سیستم سلاح به منظور هدایت سیستم توپخانه یا موشکی است. یک رادار ردگیری عمل جستجو را انجام نمی‌دهد، بلکه بر روی یک هدف قفل می‌شود و به‌طور دایم آن را ردگیری می‌کند. درموارد استفاده از رادارهای ردگیری در سیستمهای کنترل‌آتش، هنگامی‌که رادار بر روی هدف قفل شده است (یعنی پرتو موج رادار تنها درجهت هدف بوده به‌طور دائم آن را دنبال می‌کند) اطلاعات به‌دست آمده ازهدف را به‌طور مرتب به کامپیوتر سیستم می‌دهد. کامپیوتر با توجه به موقعیت هدف، سرعت هدف و همچنین سرعت کشتی خودی و سایر عواملی که در پرواز موشک یا حرکت گلوله‌های توپ در مسیرشان به سمت هدف مؤثرند، نقطه فرضی مشخصی را در فضا محاسبه می‌کند و سیستم سلاح پس از نشانه‌گیری به سمت این نقطه موشک یا گلوله را پرتاب می‌کنند. بدیهی است که در نهایت موشک و هدف در یک نقطه به هم تلاقی کرده هدف مُنهدم می‌شود. تصویر یک نوع رادار کنترل آتش دریایی در شکل (۱۰ــ۳) نشان داده شده است.

۱ــ لفظ آواکس (AWACS) از اولین حروف کلمات Airborne Warning And Control System گرفته شده است.

شکل ۱۰ــ۳ــ یک نوع رادار کنترل آتش دریایی

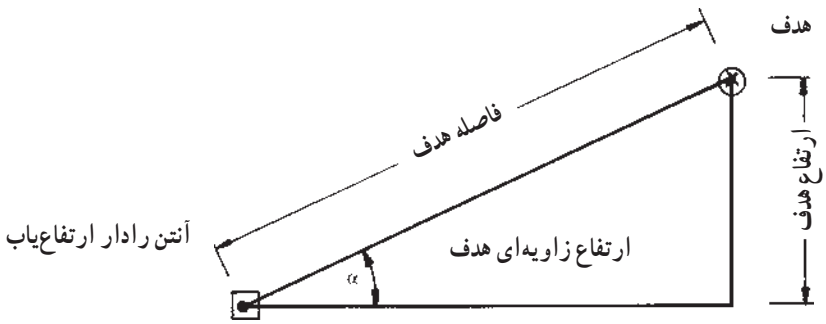
از دیگر کاربردهای این نوع رادارها، ردگیری اجسام آسمانی مانند ماهواره‌ها یا سفینه‌های فضایی است. برای این کار فرستنده‌هایی با توانهای زیاد، گیرنده‌هایی با حساسیت بسیار زیاد و آنتنهایی عظیم و قابل چرخش مورد نیاز است. برای مثال، آنتن بشقابی مستقر در کالیفرنیای آمریکا به قطر ۶۴ متر، قادر به ردگیری مسیر آپولو در راه ماه بوده است. در ضمن توان قله فرستنده این رادار در حدود ۲۵ مگاوات تخمین زده شده است.

۵ــ۲ــ۳ــ رادارهای ارتفاع‌یاب ــ از کاربردهای دیگر رادار، محاسبه ارتفاع هواپیماها است که تحت عنوان رادارهای ارتفاع‌یاب نامیده می‌شوند. درشکل (۱۱ــ۳) تصویری از آنتن یک

شکل ۱۱ــ۳ــ یک نوع رادار ارتفاع یاب

رادار ارتفاع‌یاب نشان داده شده است. این نوع رادار، ارتفاع هواپیما را با استفاده از روابط مثلثاتی محاسبه می‌کند. آنتن در یک سطح عمود شروع به حرکت در جهت بالا و پایین می‌کند (VERTICAL SCAN)[1] ؛ درحالی که همزمان امواج راداری را همانند سایر رادارها از طریق آنتن منتشر می‌کند. با استفاده از ارتفاع زاویه‌ای آنتن که همان ارتفاع زاویه‌ای هدف کشف شده نیز است و همچنین فاصله هدف که به وسیله رادار تعیین شده است، ارتفاع هدف محاسبه می‌شود. درشکل (۱۲ــ۳) نحوهٔ محاسبه ارتفاع هدف هنگامی که هدف به وسیلهٔ رادار کشف و مشخص شد، نشان داده شده است. فاصله هدف به وسیلهٔ رادار تعیین می‌شود وارتفاع زاویه‌ای نیز همان زاویه‌ای است که آنتن رادار هنگام کشف هدف داشته است. با استفاده از روابط مثلثاتی به شرح زیر، ارتفاع هدف محاسبه می‌شود :

$$\text{SIN}\alpha = \frac{\text{ارتفاع هدف}}{\text{فاصله هدف}} \rightarrow \text{ارتفاع هدف} = (\text{SIN}\alpha) \times \text{فاصله هدف}$$



شکل ۱۲ــ۳ــ تعیین ارتفاع به وسیله رادار

اگر ارتفاع هدف را با H و فاصله هدف را با R نشان دهیم، فرمول تعیین ارتفاع به شرح زیر خواهد شد :

$$H = R.\text{SIN}\alpha$$

۶ــ۲ــ۳ــ رادارهای بیکن (BEACON RADARS) ــ یک سیستم رادار بیکن[2] مجموعه کوچکی است شامل یک گیرنده، یک فرستنده و یک آنتن که بیشتر اوقات تمام جهتی است.

۱ــ چرخش آنتن را SCAN یا مرور می‌نامند. در مرور عمودی یا VERTICAL SCAN، آنتن فضا را در یک سطح عمودی تحت پوشش خود قرار می‌دهد.

۲ــ بیکن در حقیقت برجی است شناور یا در ساحل که بر روی آن یک سیستم راداری نصب شده است.

وقتی که رادار دیگری یک سری پالس کد شده را به بیکن بفرستد یا به عبارتی دیگر آن را مورد سؤال قرار دهد، بیکن به وسیله ارسال پالسهایی با کد بخصوصی 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، دراین صورت یک گیرنده مجزا در سیستم رادار سؤال کننده مورد نیاز خواهد بود. توجه داشته باشید که بیکن برخلاف سیستمهای راداری دیگر، پالسها را به طور دائم نمی‌فرستد، بلکه تنها وقتی مورد سؤال قرار می‌گیرد. و سؤال نیز به طور صحیح و با کد مشخص باشد، پاسخ خواهد داد. در این سیستم رادار سؤال‌کننده را INTROGATOR و رادار پاسخ دهنده را که بر روی بیکن نصب است، TRANSPONDER می‌گویند.

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 نشان‌دهندهٔ رادار ایستگاه سؤال‌کننده ظاهر شده و هویت هدف آشکار می‌شود. این سیستمی است که در مراقبت پرواز فرودگاه به کار می‌رود. کاربرد نظامی این سیستم تحت عنوان سیستم‌تشخیص‌دوست‌یا دشمن،معروف به (IDENTIFICATION FRIEND OR FOR IFF) است که برای شناسایی هدفها به عنوان دوست یا دشمن به کار گرفته می‌شود.

کاربرد دیگر بیکنهای راداری شبیه به 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 به طور اتوماتیک و دقیق به وسیلهٔ پالسهای دریافتی تعیین کند.

یکی از مزیتهای بیکنهای راداری که باعث شده این سیستم کاربردهای وسیعی داشته باشد این است که وجود یک بیکن راداری در یک هدف، فاصله‌ای را که هدف می‌تواند ردگیری شود به شدت افزایش می‌دهد. چنین ردگیری فعّالی بُرد خیلی زیادتری نسبت به سیستم ردگیری غیرفعّال خواهد داشت. و این ویژگی به خاطر این است که توان فرستاده شده به وسیلهٔ بیکن راداری خیلی بیشتر از میزان توانی است که این هدف بدون وجود بیکن به طرف ایستگاه ارسال کننده پالسها منعکس می‌سازد و به لحاظ همین مزیت است که بیکنهای راداری کاربردی وسیع در ردگیری اجرام آسمانی دارد.

پرسش

۱ــ کاربرد رادارهای جستجوگر را نام ببرید.

۲ــ کاربردهای رادارهای ردگیری را به‌طور مختصر بیان کنید.

۳ــ اگر فاصله یک هدف هوایی ۱۲ مایل بوده ارتفاع زاویه‌ای آن نیز حدود ۳۰ درجه باشد، ارتفاع این هواپیما را حساب کنید.

۴ــ کاربردهای یک بیکن راداری را بیان و مزیت این نوع سیستم راداری را تشریح کنید.

فصل چهارم

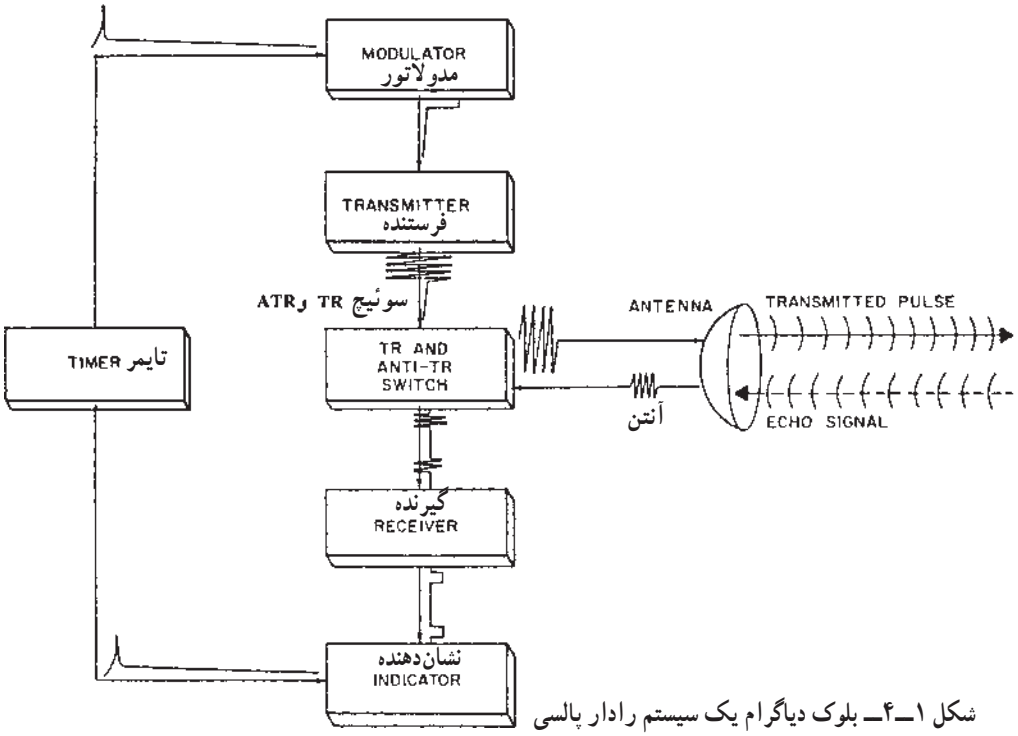
اجزای سیستم رادار

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود درپایان این فصل :
۱ــ بلوک دیاگرام یک سیستم رادار را ترسیم کرده،قسمتهای مختلف آن را نام ببرد.
۲ــ کار فرستنده رادار را تشریح کند.
۳ــ کار گیرنده رادار را تشریح کند.
۴ــ کار آنتن رادار را تشریح کند.
۵ــکار نشان‌دهنده رادار را تشریح کند.
۶ــ به طور عملی ازسیستم رادار استفاده کند.

۱ــ۴ــ بلوک دیاگرام سیستم رادار

سیستمهای مختلف راداری اگرچه در جزئیات به لحاظ خصوصیات هریک، تفاوتهای زیادی با هم دارند، امّا مشخصات اساسی تمام سیستمهای پالسی مشابه هستند. بلوک دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱ــ۴ مربوط به یک سیستم رادار پالسی بوده، شامل اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ یک سیستم رادار پالسی است. به‌طور کلی می‌توان گفت که یک سیستم رادار پالسی، همان‌گونه که در شکل ۱ــ۴ نیز مشخص است، از هفت قسمت مختلف تشکیل شده است که عبارتند از :

۱ــ تایمر (TIMER) ؛
۲ــ فرستنده (TRANSMITTER) ؛
۳ــ مدولاتور (MODULATOR) ؛
۴ــ سیستم آنتن (ANTENNA SYSTEM) ؛
۵ــ سوئیچ TR و anti - TR (TR and anti-TR SWITCH) ؛
۶ــ گیرنده (RECEIVER) ؛
۷ــ نشان‌دهنده (DISPLAYیا INDICATOR).



شکل ۱ــ۴ــ بلوک دیاگرام یک سیستم رادار پالسی

تایمر برای سینکرونیزه کردن (همزمان کردن یا همزمانی) فرستنده و مبنای زمان نشان‌دهنده رادار است.

فرستنده، پالسهای پرقدرتی تولید می‌کند که حاوی انرژی امواج راداری است و این امواج به‌گونه‌ای درسیستم هدایت می‌شوند که ازطریق آنتن درفضا منتشر شوند.

مدولاتور باتولید یک پالس ولتاژ قوی و تغذیه آن به فرستنده سبب می‌شود تا پالسهای فرستنده شکل بگیرند.

مجموعهٔ سیستم آنتن ضمن این که اطلاعات سمت هدف را مشخص می‌کند، به‌طور کلّی دو منظور اساسی دارد که عبارتند از :

۱ــ انتشار انرژی امواج راداری که از خروجی فرستنده به آنتن تغذیه می‌شود. این انتشار یک جهتی بوده که با چرخش آنتن درنهایت درکلیه جهات منتشر خواهد شد.

۲ــ کشف و دریافت انرژی بازتابی از هدف و هدایت آن به سمت گیرنده رادار.

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

سوئیچهای TR و anti - TR (ATR) این‌امکان را به وجود می‌آورند که برای ارسال و دریافت پالس ازیک آنتن مشترک استفاده کرد. این دستگاه که به طور عموم تحت عنوان سوئیچ TR (TRANSMIT - RECEIVE)نامیده می‌شود، همان دوپلکسور است و درعمل وقتی فرستنده کار می‌کند، گیرنده را ازآنتن قطع کرده، آن را درمقابل انرژی بسیار زیاد امواج فرستنده محافظت می‌کند و برعکس درزمانی که گیرنده فعّال می‌شود، گیرنده را به آنتن وصل کرده، اجازه نمی‌دهد انرژی امواج بازتابی وارد فرستنده بشوند.

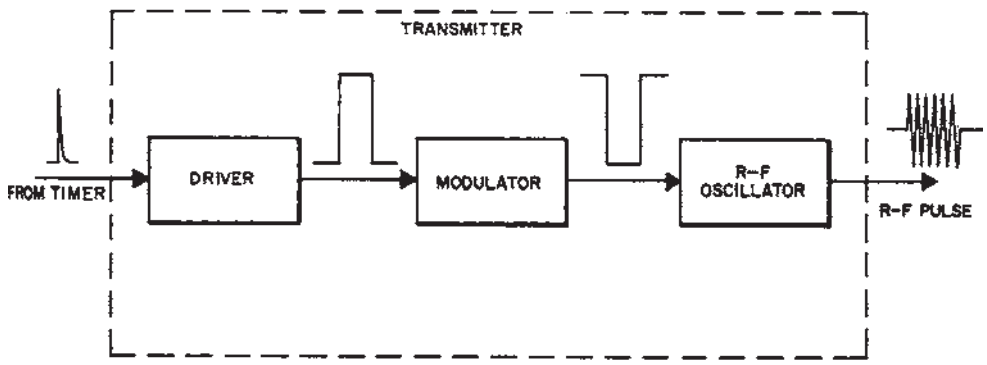
گیرنده رادار پس از دریافت سیگنالهای بازتابی، آنها را تقویت کرده، پس از آشکارسازی و تقویت سیگنالهای اکوی هدف، آنها را جهت تصویرسازی به نشان‌دهنده ارسال می‌دارد.

نشان‌دهنده رادار با دریافت اطلاعات مربوط به هدف از طریق گیرنده برمبنای سیگنال هماهنگ‌کننده زمانی از تایمر، نمای تصویری از اطلاعات رادار را به وجود آورده به نمایش می‌گذارد.

۲ــ۴ــ فرستنده رادار (RADAR TRANSMITTER)

همان‌طوری که گفته شد، فرستنده تحت کنترل تایمر (زمان سنج رادار) مبادرت به تولید پالسهای بسیار قوی می‌کند. فرستنده برای تولید این پالسها از یک نوسان‌ساز فرکانس زیاد (High Freguency Oscillator)استفاده می‌کند که تحت‌عنوان مگنترون نامیده می‌شود. فرکانس تولید شده در مگنترون، طول موج امواج راداری را که در فضا انتشار می‌یابند تعیین می‌کند. از آنجا که فرکانس و طول موج رابطه عکس با یکدیگر دارند، هرچه فرکانس مگنترون بیشترباشد، طول موج امواج منتشر شده کوتاهتر خواهد بود.

درشکل (۲ــ۴) بلوک دیاگرام ساده یک فرستنده رادار نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، یک فرستنده از دو قسمت اساسی به شرح زیر تشکیل یافته است :



شکل ۲ــ۴ــ بلوک دیاگرام یک فرستنده رادار

۱ــ مدولاتور (MODULATOR) ؛

۲ــ مگنترون (MAGNETRON) ؛

علاوه بر مدولاتور ومگنترون که اساسی‌ترین قسمتهای یک فرستنده راداری هستند، چون تایمر و همچنین دوپلکسور یا سوئیچهای TR و ATR در ارتباط نزدیک با فرستنده به‌کار گرفته می‌شود، از این رو در ادامه مطلب این دو قسمت نیز در قالب دستگاههای تشکیل‌دهنده فرستنده رادار تشریح خواهند شد.

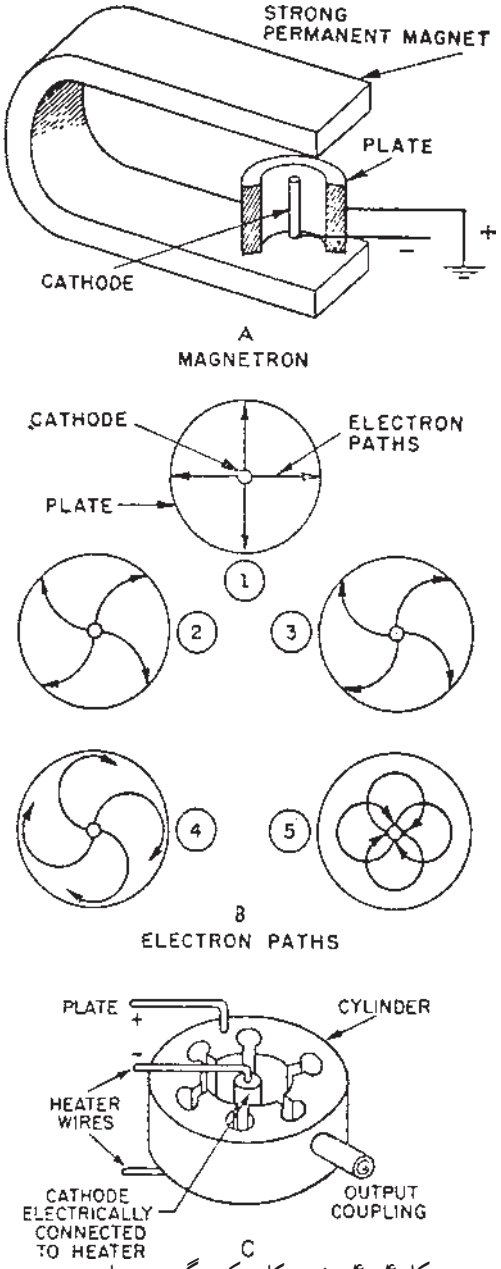
۱ــ۲ــ۴ــ مدولاتور(MODULATOR) ــ از مدولاتور در یک فرستنده برای تولید ولتاژ پالسی شکل قوی که مورد نیاز دستگاه مگنترون است، استفاده می‌شود. به مدولاتور دریک فرستنده رادار، مدار شکل دهنده پالس نیز می‌گویند که به عنوان یک مدار کنترل کننده تغذیه ولتاژ بسیار قوی به مگنترون عمل می‌کند. مدولاتور معمولاً در ورودی خود ولتاژ مستقیم (حدود ۶۰۰۰ ولت) را گرفته ازطریق مدارهای شکل‌دهنده 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 (در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد) تغذیه می‌کند که این عمل در حقیقت همان روشن و خاموش شدن فرستنده است.

۲ــ۲ــ۴ــ مگنترون (MAGNETRON) ــ فرستنده یک نوسان‌ساز امواج راداری است که به‌وسیلهٔ مدولاتور روشن و خاموش (قطع و وصل) می‌شود. نوسان‌ساز به‌کار گرفته شده در رادار به لحاظ این که امواجی با فرکانس بسیار زیاد و پرقدرت تولید می‌کند، با سایرنوسان‌سازهای مورد استفاده در سیستمهای مخابراتی و غیره تفاوت دارد. علت استفاده از فرکانس بالا در رادار، امکان تولید امواجی با طول موج پایین است تا در نتیجه از آنتنهای اندازه کوچک بتوان استفاده کرد.

نوسان‌ساز مورد استفاده در فرستنده رادار تحت عنوان مگنترون نامیده می‌شود. درشکل (۳ــ۴) نمایی از یک مگنترون (نوع حفره‌ای) نشان داده شده است.

شکل ۳ــ۴ــ نمایی از یک مگنترون نوع حفره‌ای

مگنترون یک دیود است که آند آن به زمین وصل شده است و کاتد آن نیز در طول مدتی که مگنترون نوسان می‌کند، به یک پتانسیل منفی بسیار زیاد وصل می‌شود (پتانسیل حاصل ازمدولاتور). این دیود دریک میدان مغناطیسی قوی که به وسیلهٔ یک آهنربای دائم ایجاد شده است، قرار می‌گیرد. برای آشنایی مقدماتی با نحوهٔ کار مگنترون به تصاویر شکل (۴ــ۴) دقّت شود.



شکل ۴ــ۴ــ نحوه کار یک مگنترون ساده

وقتی یک پالس منفی به کاتد وصل شده و میدانی وجود نداشته باشد، الکترونها دریک خط مستقیم از کاتد به سمت آند حرکت خواهد کرد. این عمل درتصویر شماره ۱ شکل (۴ــ۴) نشان داده شده است.

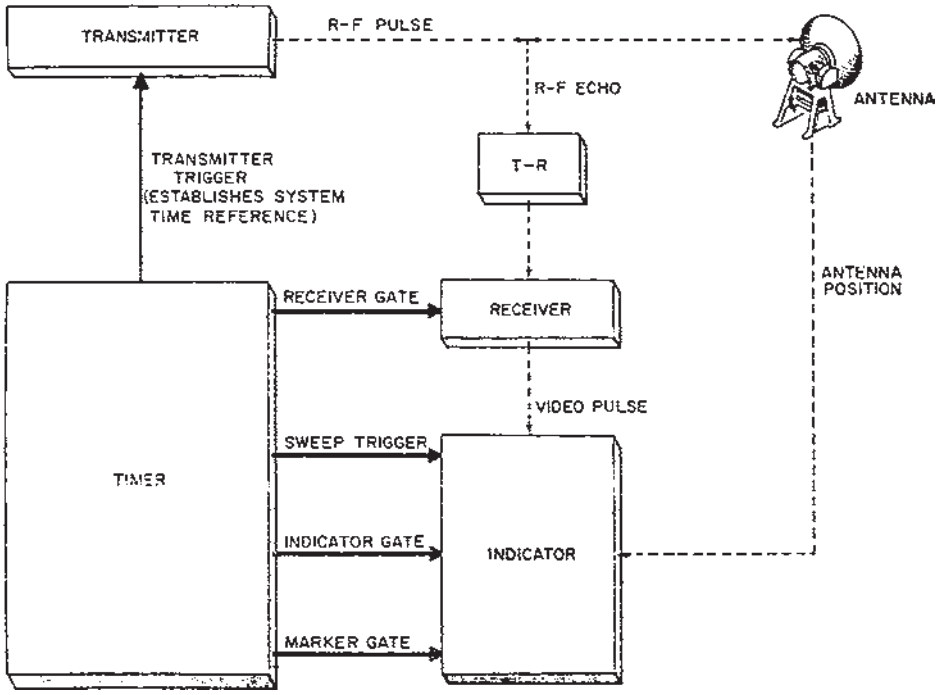
با ایجاد یک میدان مغناطیسی ضعیف مسیر حرکت الکترونها انحناء پیدا کرده، میزان این انحناء با افزایش شدت میدان مغناطیسی بیشتر می‌شود تا درنهایت به حالتی درمی‌آید که الکترونها یک مسیر چرخشی را به دور خود طی کرده، دیگر به آند نمی‌رسد و از این رو هیچ جریانی نیز در آند جاری نمی‌شود. این مراحل در تصاویر شماره ۲ الی ۵ شکل (۴ــ۴) نشان داده شده است.

همان‌طوری که در تصویر C از شکل (۴ــ۴) مشاهده می‌شود، آند در یک مگنترون به صورت یک استوانه مسی بوده که سطح داخلی آن دارای حفره‌هایی منتهی به یک شیار است که به‌عنوان مدارهای رزونانس تنظیم شده عمل می‌کنند. حرکت دایره‌ای الکترونها از مقابل این حفره‌ها باعث می‌شود که یک جریان القایی در دیواره حفره‌ها ایجاد شود. انرژی تولید شده به‌وسیلهٔ مگنترون درحقیقت از میدانی که به‌وسیلهٔ این جریانهای القایی ایجاد می‌شود، به دست می‌آید. فرکانس موج به‌دست آمده بستگی به اندازه استوانه،شدت میدان مغناطیسی و اختلاف ولتاژ بین آند و کاتد دارد، این انرژی تولید شده در داخل مگنترون به وسیلهٔ یک پروب (PROBE) به خارج منتقل می‌شود و از طریق آنتن در فضا انتشار می‌یابد.

۳ــ۲ــ۴ــ تایمر (TIMER) ــ تایمر سیستم رادار، در حقیقت هماهنگ کننده زمانی کار قسمتهای مختلف یک سیستم رادار است. با توجه به این‌که اساس اندازه‌گیری فاصله برمبنای اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت یک پالس به هدف است، عملکرد تایمر اهمیّت خاص پیدا می‌کند. تایمر ضمن این که نقش اساسی در مشخص کردن میزان فرکانس تکرار پالس (PRF)دارد، مطمئن می‌شود که مدولاتور و نشان‌دهندهٔ رادار با یک رابطه زمانی مشخص نسبت به یکدیگر عمل می‌کنند و نقطه شروع کار آنها را درست در لحظه‌ای که فرستنده 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، درشکل (۵ــ۴) نشان داده شده است.

همان‌طوری که درشکل (۵ــ۴) مشاهده می‌شود، تایمر یک تریگر به فرستنده می‌دهد که شروع به‌ارسال امواج کند. با یک تأخیر زمانی (کمی بیش ازعرض پالس یا زمان فرستندگی) با ارسال تریگر دیگری گیرنده را فعال کرده، در لحظه ارسال پالس نیز تریگری به نشان‌دهنده رادار می‌فرستد تا ضمن این که شروع به اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت پالس کند، تصویر ویدئویی مناسبی را نیز به‌طور هماهنگ به نمایش درآورد.

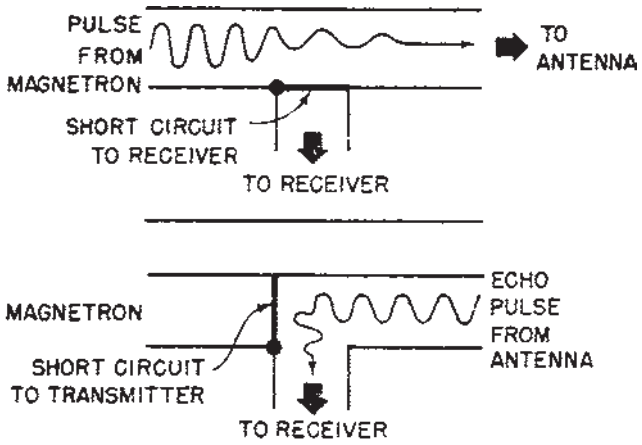


شکل ۵ــ۴ــ عملکرد تایمر در سیستم رادار

به‌طور خلاصه درتایمر زمانهای مورد لزوم در سیستم رادار ساخته می‌شود ؛ بدین‌ترتیب که تریگرهایی که فرکانس آنها برابر PRF رادار است تولید شده در زمان مناسب به مدولاتور، نشان‌دهنده و گیرنده فرستاده می‌شود.

۴ــ۲ــ۴ــ سوئیچهای TR و ATR ــ 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 به‌داخل گیرنده جلوگیری کرد ؛ همچنین امکان اتصال 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 - RECEIVE) در مسیر گیرنده قرار گرفته از ورود پالسهای فرستنده به داخل گیرنده جلوگیری می‌کند ؛ درحالی‌که سوئیچ (ATR) (ANTI TRANSMIT - RECEIVE) در مسیر فرستنده قرار گرفته جلوی فرستنده را مسدود می‌کند وسبب می‌شود گیرنده به آنتن وصل شود. سوئیچهای TR و ATR و نحوه عملکرد آنها به صورت تصویری در شکل (۶ــ۴) نشان داده شده است.



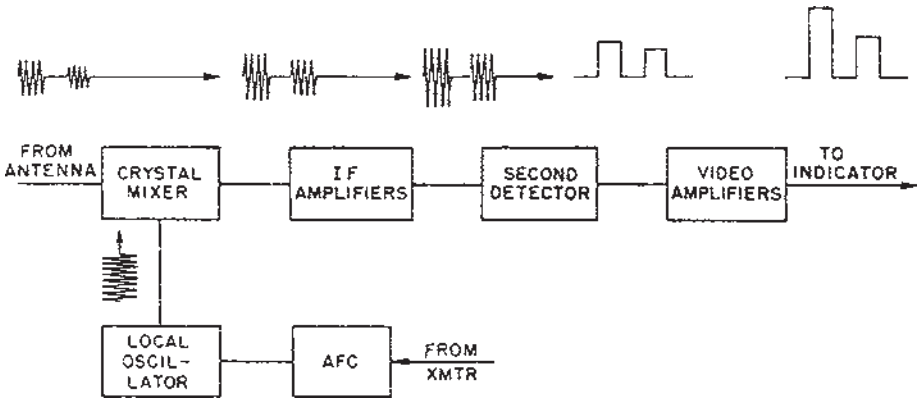
شکل ۶ــ۴ــ عملکرد سوئیچهای TR و ATR

مجموعهٔ سوئیچهای TR و ATR از جمله سوئیچهای الکترونیکی بوده که تحت‌عنوان دوپلکسور (DUPLEXER) نیز نامیده می‌شوند.

۳ــ۴ــ گیرنده رادار (RADAR RECEIVER)

گیرنده رادار، یک نوع خاص گیرنده سوپر هترودایِن است. کار آن دریافت سیگنالهای بازتاب شده ضعیفی است که از طریق آنتن وارد گیرنده می‌شوند و پروسه کردن این سیگنال و درنهایت آشکارسازی پالسهای مربوط به اکوی هدف و تغذیه آن به نشان‌دهنده رادار.

بلوک دیاگرام یک گیرنده رادار درشکل (۷ــ۴) نشان داده شده است. سیگنالهای دریافتی به‌وسیلهٔ آنتن وارد یک مخلوط کننده شده در آن جا با سیگنال تولید شده به وسیلهٔ یک نوسان‌ساز محلی (LOCAL OSCILLATOR)مخلوط و تبدیل به سیگنالی می‌شود که دارای فرکانس ثابت و



شکل ۷ــ۴ــ بلوک دیاگرام یک گیرنده رادار

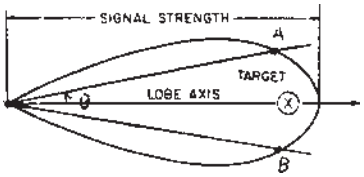
مشخصی به‌مراتب کمتر از فرکانس اولیه است. سیگنال ایجاد شده در تقویت کننده میانی (IF AMPLIFIER) تقویت می‌شود و سپس تحت آشکارسازی قرار می‌گیرد تا پالسهای مربوط به بازتاب اکو از هدف مشخص شده پس از تقویت جهت ایجاد تصویر ویدئویی به نشان‌دهنده رادار وارد شود. معمولاً فرکانس نوسان‌ساز محلی به‌گونه‌ای است که سیگنال خروجی از مخلوط کننده دارای فرکانس متوسط ۶۰ــ۳۰ مگاهرتز خواهد بود.

از نظر فیزیکی معمولاً فرستنده وگیرنده رادار در یک مجموعه دستگاهی قرار گرفته که تحت‌عنوان TRANSCEIVER نامیده می‌شود.

۴ــ۴ــ آنتن رادار (RADAR ANTENNA)

آنتنها به دو دسته عمومی تقسیم‌بندی می‌شوند : آنتنهای جهت‌دار یا جهتی (DIRECTIONAL ANTENNA)وآنتنهای تمام جهتی ــ (DIRECTIONAL ANTENNA OMNI). آنتنهای تمام جهتی انرژی یا امواج راداری را در کلیه جهات منتشر می‌کنند. کاربرد این نوع آنتنها به طور عمده در وسایل ارتباطی و جهت‌یابها است و بندرت درسیستمهای راداری مدرن مورد استفاده قرارمی‌گیرند.

آنتنهای جهت‌دار امواج راداری را در جهت خاصی انتشار می‌دهند. شکل(۸ــ۴) فرم تشعشعی یک آنتن جهت‌دار را نشان می‌دهد. ماکزیمم شدت تشعشع درمرکز پرتو یا لوب (LOBE) قرار دارد و به‌عبارت دیگر هر چه از محور مرکزی پرتو به طرفین برویم از شدت تشعشع کاسته خواهد شد. درنقاط 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.



شکل ۸ــ۴ــ فرم تشعشعی یک آنتن جهت‌دار

کار یک سیستم آنتن عبارت است از انتشار امواج پرانرژی راداری که در قسمت فرستنده تولید و به شکلی به آنتن هدایت می‌شوند و نیز دریافت بازتاب سیگنالهای ارسالی پس از برخورد با موانع و هدفها و هدایت آن به سمت گیرنده رادار.

۱ــ۴ــ۴ــ ساختمان و اجزای سیستم آنتن ــ آنتنها از چند قسمت اصلی به شرح زیر تشکیل می‌شوند :

۱ــ عنصر تشعشع کننده ؛

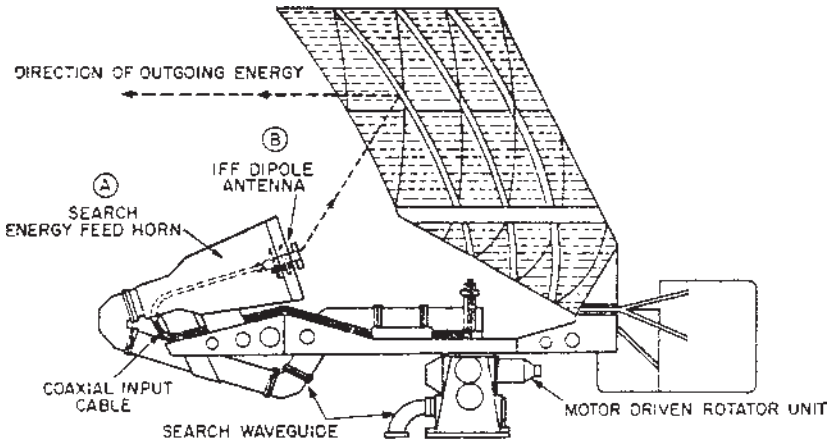
۲ــ منعکس‌کننده ؛

۳ــ سیستم چرخاننده آنتن ؛

۴ــ سیستم سینکروسمت ؛

۵ــ کنتاکت مخصوص نشان‌دهنده سمت سینه کشتی (یا خط سینه کشتی ــ HEADING MARKER).

درشکل(۹ــ۴) تصویری از یک آنتن نشان داده شده است که در آن عنصر تشعشع‌کننده (FEED HORN)، منعکس‌کننده(REFLECTOR) و سیستم چرخاننده آنتن(ROTATOR UNIT MOTOR DRIVEN) مشاهده می‌شوند.



شکل ۹ــ۴ــ تصویری از یک آنتن رادار

عنصر تشعشع کننده ــ امواج را در فضا منتشر می‌کند و منعکس کننده، امواج منتشر شده را با توجه به شکل، اندازه و ابعاد خود شکل و فرم داده در جهت موردنظر و به‌صورت منسجم ارسال می‌دارد. سیستم چرخاننده آنتن که به‌طور عموم از یک موتور الکتریکی با جعبه دنده مربوطه تشکیل شده است، وظیفه چرخش آنتن را به عهده دارد. چرخش آنتن معمولاً با سرعت مشخصی و به‌طور ۳۶۰ درجه است و از این رو پوشش کامل از نظر سمت خواهد داشت.

سیستم سینکروسمت به منظور انتقال سمت آنتن به نشان‌دهنده رادار به‌کار می‌رود و به وسیلهٔ آن می‌توان فهمید که در هر لحظه آنتن در چه سمتی قرار دارد.

بر روی صفحهٔ نشان دهندهٔ رادار معمولاً باید سمت سینه‌کشتی مشخص شود. برای این کار با تعبیه یک میکروسوئیچ در قسمت چرخشی آنتن به گونه‌ای عمل می‌کنند که وقتی آنتن رادار در چرخش خود به وضعیتی می‌رسد که به سمت سینه کشتی است، این سوئیچ عمل کرده، درنتیجه یک خط مشخص و روشنی برروی صفحهٔ نشان دهنده و در جهتی که همان سمت، راه کشتی است (و سینه‌کشتی در آن جهت است) نمایان شود.

به سیستم آنتن رادار SCANNER UNIT نیز می‌گویند. در شکلهای (۱۰ــ۴، ۱۱ــ۴ و ۱۲ــ۴) تصاویری از آنتنهای رادارهای ناوبری نشان داده شده است.

شکل ۱۰ــ۴ و ۱۱ــ۴ــ تصاویری از آنتن رادارهای ناوبری

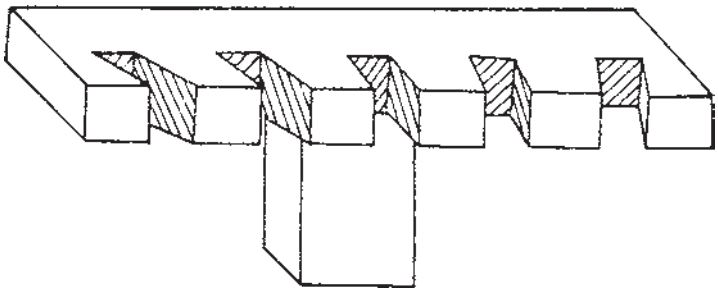
شکل ۱۲ــ۴ــ تصویری از آنتن رادار ناوبری

تشعشع کننده ــ عنصر تشعشع‌کننده در رادارها یک رادیاتور (RADIATOR) بوقی شکل است. از آنجا که در رادار برای انتقال موج از فرستنده به آنتن از ویوگاید (در قسمت بعدی توضیح داده خواهد شد) استفاده می‌شود، نمی‌توان همانند سیستم آنتن دستگاههای مخابراتی برای انتشار امواج از عناصر دیپول (DIPOLE)استفاده کرد ؛ از این رو رادیاتورهای بوقی در قسمت انتهایی ویوگاید قرار دارند که برای انتشار امواج به‌کار می‌روند. چند نمونه از رادیاتورهای بوقی درشکل (۱۳ــ۴) نشان داده شده است. دهانه رادیاتورها به دو منظور گسترش می‌یابند. کنترل زاویه پرتو

شکل ۱۳ــ۴ــ رادیاتورهای بوقی

انتشار یکی از علل این امر است، چون میدانهای الکترومغناطیسی با همان زاویه‌ای که از رادیاتور بوقی خارج می‌گردند در فضا منتشر می‌شوند. همچنین جلوگیری از تشکیل امواج ساکن در داخل ویوگاید که منجر به کاسته شدن از توان خروجی فرستنده می‌شود، دلیل دوم برای شکل بوقی مانند دهانه ویوگاید است.

نوع دیگر منتشرکننده امواج در فضا ویوگاید شیاردار است. در این روش یک ویوگاید به‌طور افقی به‌انتهای ویوگاید اصلی که ازفرستنده 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 تشعشع کننده درآنتن رادارهای ناوبری کاربرد زیاد دارد. تصویری از یک ویوگاید شیاردار درشکل (۱۴ــ۴) نشان داده شده است.

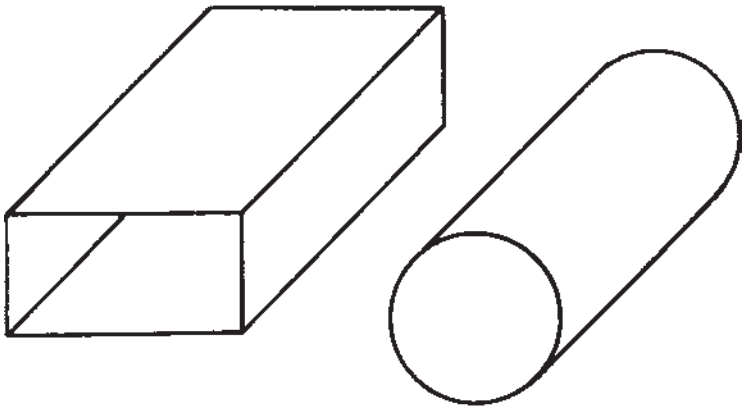


شکل ۱۴ــ۴ــ تصویری از یک ویوگاید شیاردار

در آنتن رادارهای انتهای ویوگاید که بوقی شکل است ؛ به منظور جلوگیری از نفوذ آب‌باران، رطوبت هوا و گرد وغبار به داخل ویوگاید، به وسیلهٔ ورقه نازک فلزی پوشیده شده است. این روکش مخصوص باید همواره تمیز و عاری از هرگونه نمک‌زدگی،دوده و غبار باشد، چه دراین صورت مقداری از انرژی پالس ارسالی و اکوی بازتابی جذب این روکش شده برعملکرد رادار اثر نامطلوب خواهد داشت.

۲ــ۴ــ۴ــ ویوگاید (Waue Guide) ــ ویوگاید یا موج‌بر، نوعی کانال هادی 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، درسیستمهای 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 بسیارزیاد با کمترین تلفات باشد.

ویوگاید نوعی لوله فلزی توخالی با سطح مقطع مستطیل شکل یا دایره است که در آنها انرژی امواج راداری از طریق میدانهای الکترو مغناطیسی انتقال می‌یابد. موج‌برها در فرکانسهای مایکروویوی به لحاظ تلفات کمی که ایجاد می‌کنند، برخطوط انتقال معمولی مزیت وبرتری دارند و این امر کاربرد موج‌برها را در سیستمهای راداری افزایش می‌دهد. درشکل (۱۵ــ۴) تصویری از موج‌برهای با سطح مقطع مستطیلی ودایره‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱۵ــ۴ــ موج‌برهای بامقطع دایره‌ای و مستطیلی

۵ــ ۴ــ نشان‌دهنده رادار (RADAR DISPLAY)

نشان‌دهنده رادار دستگاهی است که بازتاب دریافت شده از هدف وسایر موانع را به‌صورت نقاطی روشن روی صفحهٔ یک لامپ اشعهٔ کاتودیک یا CRT (CATHODE RAY TUBE) نشان می‌دهد. نمایی از یک صفحهٔ نشان دهنده رادار در شکل (۱۶ــ۴) نشان داده شده است.

شکل ۱۶ــ۴ــ تصویری از یک نشان‌دهندهٔ رادار

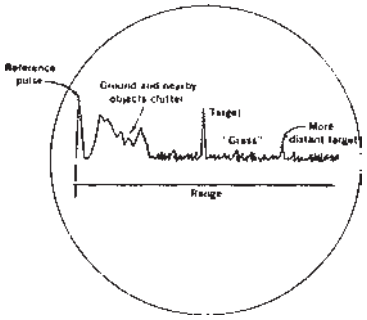
۱ــ۵ــ۴ــ روشهای نشان‌دهنده ــ خروجی یک گیرنده رادار را می‌توان به چند طریق نشان داد که سه روش زیر متداولترین آنها است :

۱ــ مدولاسیون انحراف دریک صفحهٔ لامپ اشعهٔ کاتدی به‌صورت اسکوپ A ؛

۲ــ مدولاسیون شدت یک لامپ اشعهٔ کاتدی به صورت نشان‌دهنده موقعیت نقشه (PPI) ؛

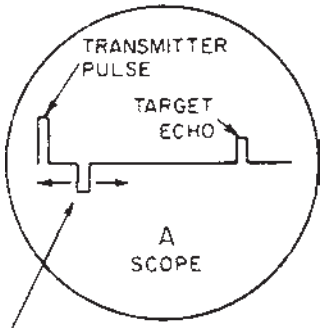
۳ــ تغذیه مستقیم به کامپیوتر برای نشان دادن سایر اطلاعات اضافی مانند ارتفاع و سرعت با انجام محاسبات لازم.

اسکوپ A (ASCOPE) ــ چنان که در شکل (۱۷ــ۴) مشاهده می‌شود، عملکرد این نوع نشان‌دهنده شبیه به کار یک اسیلوسکوپ معمولی است.



شکل ۱۷ــ۴ــ نشان دهندهٔ اسکوپ A

با اعمال یک شکل موج جارو مانند یک جریان دندانه‌اره‌ای به صفحات انحراف افقی CRT اشعهٔ الکترونی به آهستگی از چپ به راست حرکت می‌کند و سپس به نقطه شروع برمی‌گردد. زمان برگشت بسیار سریع و با حذف اشعه همراه است ؛ از این رو حرکت برگشت اشعه مشاهده نمی‌شود. در غیاب سیگنال دریافتی دراثر بازتابهای هدف یا هر مانعی دیگر، نشان‌دهنده همانند یک اسیلوسکوپ، یک خط افقی را نشان می‌دهد. خروجی آشکار شده گیرنده رادار به صفحات انحراف عمودی اعمال شده در نتیجه متناسب با خروجی گیرنده، انحراف در خط افقی ایجاد خواهد شد. شکل (۱۷ــ۴) موج دندانه ارّه‌ای اعمال شده به صفحات انحراف افقی با پالسهای ارسالی به وسیلهٔ فرستنده، همزمان (سینکرون) بوده عرض صفحهٔ CRT متناظر با زمان بین پالسهای همجوار است ؛ در نتیجه فاصلهٔ انحرافات در اشعهٔ افقی ازنقطه شروع اشعه در سمت چپ، متناسب با فاصله هدف خواهد بود. این موضوع در شکل (۱۸ــ۴) به‌روشنی به تصویر درآمده است.



شکل ۱۸ــ۴ــ نشان دهندهٔ اسکوپ A

اولین تک‌پالس درسمت چپ صفحهٔ مربوط به پالس ارسالی به وسیلهٔ فرستنده است که در اثر تریگر ارسالی از طریق مدولاتور ایجاد می‌شود. پالس بعدی که کمی ضعیفتر

و به‌صورت عمودی به‌طرف بالا ظاهر می‌شود، مربوط به اکوی یک هدف است. فاصله این پالس از تک‌پالس موجود که به عنوان مبنا به‌شمار می‌رود، در حقیقت فاصله هدف خواهد بود. پالس منفی نشان داده شده در شکل (۱۸ــ۴) مربوط به فاصله‌سنج است. با حرکت دادن این پالس به‌وسیلهٔ دستگیره‌ای که به همین منظور وجود خواهد داشت، می‌توان این پالس را بر روی پالس هدف منتقل کرد و به این ترتیب فاصله هدف را بر روی یک نشانگر خواند.

نشان‌دهنده موقعیت نقشه ــ در این نوع نشان‌دهنده، نقشه کاملی ازمنطقه موجود در اطراف کشتی خودی تا فاصله‌ای که برابر مشخصات رادار مورد استفاده باشد، نشان داده می‌شود. به‌همین سبب به این نوع نشان‌دهنده PLAN POSITION INDICATOR یا PPI می‌گویند.

اکوی تولید شده به وسیلهٔ هرمانعی (از جمله هدف)، به وسیلهٔ گیرنده تبدیل به پالس الکتریکی می‌شود. این پالس در لامپ تصویر CRT به شرحی که در ذیل بیان خواهد شد، قابل رؤیت می‌شود.

آنتن از طریق رابط الکتریکی به سیم‌پیچهایی که در گلوگاه لامپ تصویر (CRT) قرار دارند، متصل است و چرخش این سیم‌پیچها با گردش آنتن کاملاً همزمان است. سیم‌پیچهای منحرف کننده همانند یک لامپ اسیلوسکوپ به‌وسیلهٔ جریان دندانه اره‌ای تغذیه می شوند. هر سیکل جریان دندانه‌اره‌ای به‌طور دقیق درلحظه ارسال پالس به وسیلهٔ فرستنده شروع می‌شود. در این وضعیت پرتو الکترونی نه‌تنها از مرکز صفحه به طرف لبه صفحهٔ تصویر حرکت می کند، بلکه به طوردایم حرکت دورانی حول لامپ خواهد داشت. درخشندگی در هر نقطه صفحه، نشان‌دهنده وجود یک مانع در مسیرانتشار پالس فرستنده است که منجر به ایجاد بازتاب شده و این بازتاب پس از دریافت به‌وسیلهٔ گیرنده و تبدیل به پالس الکتریکی، در لامپ تصویر وارد شده، نقاط نورانی را بر روی صفحه بوجود می‌آورند. اکوی هدفها که به وسیلهٔ نقاط نورانی نشان داده می‌شوند، به گونه‌ای تصویر می‌شوند که موقعیت نقاط متناظر با موقعیت فیزیکی هدف از نظرسمت و فاصله آن برابر با فاصله شعاعی از مرکز تا نقطه نورانی مورد نظر است.

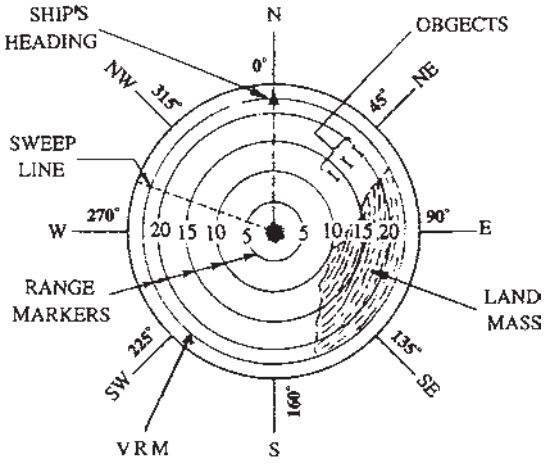
قسمت درونی صفحهٔ تصویر با ماده‌ای (فسفر) پوشیده شده است که خاصیت پس‌تابشی دارد. چنانچه از این خاصیت استفاده نمی‌شد، هر اکو پس از ظاهر شدن بر روی صفحهٔ تصویر به سرعت محو و از بین می‌رفت و دوباره پس از یک گردش دیگر آنتن بر روی صفحه ظاهر می‌شد. خاصیت پس تابشی صفحهٔ تصویر باید به اندازه‌ای باشد که حداقل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

آشکارسازی اتوماتیک هدف ــ دراین روش خروجی گیرنده‌های رادار به کامپیوتر و سیستمهای پروسه کردن و تجزیه وتحلیل اطلاعات داده شده تا اطلاعات مربوط به هدف را در

نشانگرهای مربوط به نمایش درآورند. در این روش اپراتورهای رادار نقشی در کشف وکسب اطلاعات هدف با بررسی نشان‌دهنده رادار ندارد و مراحل مختلف به طور اتوماتیک انجام می‌پذیرد.

۲ــ۵ــ۴ــ اکوی امواج دریا (SEA ECHO) ــ امواج آبهای اطراف کشتی نیز اکوهایی بر روی صفحهٔ رادار تولید می‌کنند که به‌طور عمده از اکوی سایر کشتیها ضعیفتر هستند. به این اثر، اکوی موج دریا (SEA CLUTTER یا SEA ECHO) می‌گویند. این اکوها روشنایی مستمری بر روی صفحهٔ رادار ندارند و به‌صورت نقاط یا لکه‌های کوچکی در تمام سطح صفحهٔ رادار به طور موقتی نمودار می‌شوند. اکوی امواج نزدیک به کشتی به طور طبیعی قویتر از اکوهای امواج دوردست است. مقدار این اکوها همچنین بستگی به وضعیت سطح آب دارد. معمولاً حداکثر بردی که این اکوها قابل رؤیت هستند، حدود ۳ الی ۴ مایل است. در بردهای نزدیکتر،اکوهای امواج به قدری قوی هستند که اغلب صفحهٔ رادار را اشباع می‌کنند ؛ به همین جهت در این شرایط تشخیص اکوها امکانپذیر نخواهد بود.

۳ــ۵ــ۴ــ دوایر فاصله (RANGE RINGS) ــ بر روی صفحهٔ نشان‌دهنده PPI دایره‌های متحدالمرکزی به فواصل یکسان در اثر شعاع روبش ایجاد می‌شود. به این دایره‌ها، دوایر فاصله می‌گویند. هر دایره نشانگر فاصله معیّنی برروی صفحهٔ رادار است. در شکل (۱۹ــ۴) نمایی از یک صفحهٔ رادار نوع PPI به همراه خط سینه‌کشتی (SHIP,S HEADING MARKER)، دوایر فاصله (RANGE RINGS) و دایره متغیر تعیین فاصله (VARIABLE RANGE MARKER) نشان داده شده است. در این شکل فاصلهٔ هر دایره ۵ مایل وماکزیمم فاصله‌ای که این صفحه به نمایش درمی‌آورد، ۲۵ مایل است.



شکل ۱۹ــ۴ــ تصویر صفحهٔ نشان‌دهنده PPI

۴ــ۵ــ۴ــ دایره متغیّر تعیین فاصله (VARIABLE RANGE MARKER)ــ این دایره همانند دوایر فاصله بر روی صفحهٔ PPI تشکیل می‌شود ؛ با این تفاوت که موقعیت ثابت نبوده به‌وسیلهٔ یک دستگیرهٔ قابل کنترل است. ازاین دایره برای اندازه‌گیری فاصله هدف یا هر مانع دیگری استفاده می‌شود. طرز عمل به این ترتیب است که با چرخاندن دستگیره مربوط به نحوی اقدام می‌کنیم که این دایره بر روی هدف مورد نظر قرار گیرد ؛ سپس فاصله هدف را از روی نشانگر فاصله که در قسمت بالای نشان‌دهنده رادار موجود است، می‌توان به دست آورد. دایره متغیر تعیین فاصله درشکل (۱۹ــ۴) نشان داده شده است.

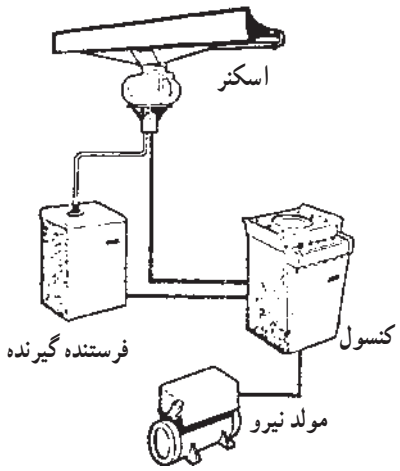
۵ــ۵ــ۴ــ کلیدهای کنترلی صفحهٔ نشان‌دهنده ــ صفحهٔ نشان‌دهنده رادار یا کنسول رادار تعدادی کلید کنترلی دارد که با به کارگیری آنها می‌توان از مجموعه سیستم رادار وخود کنسول بهره‌برداری کرد. این کلیدها در انواع کنسولها ممکن است متفاوت باشند، اما تعدادی از این کلیدها که بر روی صفحهٔ کلیه کنسولهای رادار وجود دارند، به‌شرح زیر هستند :

۱ــ کلید اصلی روشن و خاموش کردن سیستم رادار
۲ــ سوئیچ تنظیم‌کننده FOCUS
۳ــ سوئیچ تنظیم‌کننده BRILLIANCE
۴ــ سوئیچ تنظیم‌کننده RECEIVER GAIN
۵ــ سوئیچ تنظیم‌کننده VIDEO GAIN
۶ــ سوئیچ SEA ECHO SUPPRESSION (یا ANTI SEA / CLUTTER)
۷ــ سوئیچ ANTI - CLUT TER RAIN / SNOW
۸ــ سوئیچ انتخاب عرض پالس (پهنای پالس)
۹ــ سوئیچ انتخاب فاصله (RANGE SWITCH)
۱۰ــ سوئیچ مربوط به دوایر تعیین فاصله (RANGE RINGS)
۱۱ــ سوئیچ مربوط به دایره متغیر تعیین فاصله (VARIABLE RANGE MARKER)
۱۲ــ سوئیچ مربوط به خط سینه‌کشتی (HEADING MARKER)
۱۳ــ سوئیچ مربوط به شدت نور (DIMMER)
۱۴ــ صفحهٔ نشانگر سمت (CURSOR)

۶ــ۴ــ کاربری سیستم رادار

استفاده از سیستم رادار که امروزه به صورت متداول تقریباً بر روی انواع شناورها نصب

می‌شود، مستلزم آشنایی عملی با یک سیستم رادار است. بر روی شناورها معمولاً یک سیستم رادار به شرح شکل (۲۰ــ۴) قرار گرفته است. موتور ژنراتور ورگولاتور ولتاژ مربوطه برای تأمین برق موردنیاز سیستم رادار است. فرستنده و گیرنده (TRANSCEIVER) به صورت یک یونیت شامل مدولاتور، مگنترون وقسمتی از گیرنده است. در برخی از انواع رادار فرستنده و بخشی از گیرنده درسیستم آنتن قرار دارد و سایر قسمتهای دیگر گیرنده نیز در داخل کنسول رادار نصب می‌شود. قسمت کنسول رادار که شامل لامپ تصویر وکلیدهای کنترلی است، معمولاً در اطاق سکان، پل فرماندهی یا هرمکان مناسب دیگری که استفاده کننده اشراف کاملی بر سطح دریای جلوی کشتی داشته باشد (در خصوص رادارهای ناوبری)، نصب می‌شود.



شکل ۲۰ــ۴ــ تصویری از یک سیستم رادار

۱ــ۶ــ۴ــ کاربرد کلیدهای کنترلی ــ آشنایی با کاربرد هر یک از کلیدهای کنترلی برای کسانی که به نحوی با رادار سر و کار دارند، ضرورت دارد. این اطلاعات معمولاً به طور مشروح در کتب راهنمای فنی رادار مربوطه ذکر شده است. در این جا به طور خلاصه کاربرد کلیدهای کنترل عمده و مهم را شرح می‌دهیم. تصویری ازیک کنسول رادار که کلیدهای کنترلی آن در دو طرف صفحهٔ نشان دهنده رادار تعبیه شده‌اند، در شکل (۲۱ــ۴) نشان داده شده است.

کلید (POWER SWITCH)ــ این کلید معمولاً سه وضعیتی بوده و برای روشن و خاموش کردن دستگاه رادار به‌کار می‌رود. سه وضعیت این کلید عبارتند از :

۱ــ حالت خاموش (OFF) ؛

۲ــ حالت آماده بهره برداری (STAND - BY) ؛

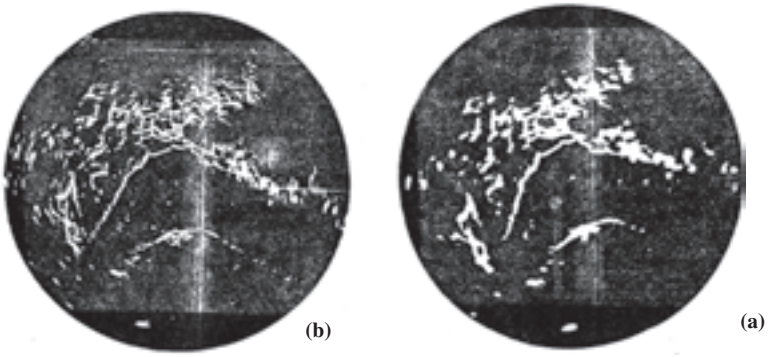
۳ــ حالت روشن (ON) .

شکل ۲۱ــ۴ــ تصویری از یک کنسول رادار نوع ایستاده

در وضعیت STAND - BY، دستگاه به‌حالت آماده بوده اما هیچ‌گونه انتشار موج صورت نمی‌گیرد.

سوئیچ تنظیم FOCUS ــ با این سوئیچ می‌توان تمرکز کانونی الکترونها را تنظیم کرد تا تصویر حاصل برروی صفحهٔ PPI از وضوح خوبی برخوردار باشد. عملکرد این سوئیچ درشکل **۲۲ــ۴** نشان داده شده است.

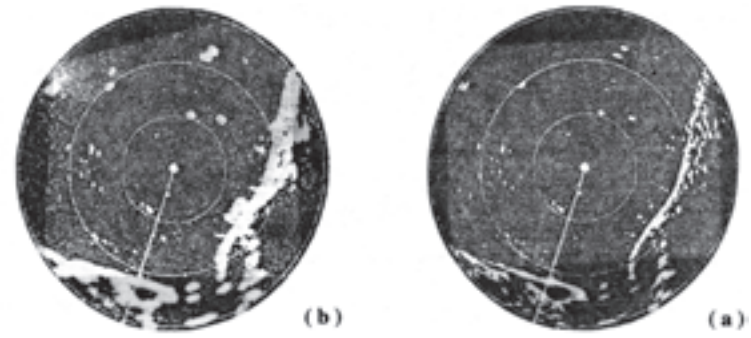
سوئیچ تنظیم BRILLIANCE ــ درخشندگی صفحهٔ تصویر را می‌توان به‌وسیلهٔ این سوئیچ تنظیم کرد و به حد مطلوب رسانید. شفافیّت تمام صفحهٔ تصویر و همچنین دایره‌های ثابت و متغیر فاصله، بستگی به نحوه تنظیم این سوئیچ دارد. شفافیّت مطلوب زمانی حاصل می‌شود که خط روبش



شکل ۲۲ــ۴ــ تصویر (a) صفحهٔ نشان دهندهٔ قبل از تنظیم FOCUS، تصویر (b) پس از تنظیم FOCUS

درمرحلهٔ نزدیک به محو شدن قرار گیرد.

سوئیچ تنظیم RECEIVER GAIN ــ با این سوئیچ می‌توان میزان تقویت‌کنندگی گیرنده رادار را به‌نحوی تنظیم کرد که تصویر مطلوبی را داشته باشیم. در سیستم رادار سیگنالهای مزاحم یا پارازیت به صورت نقاط تصویری و با شفافیت غیر همگون، درتمام صفحهٔ تصویر پراکنده می شوند که در اصطلاح به این وضعیت GRASS می‌گویند. اگر میزان تقویت درگیرنده زیاد باشد، اکوهای GRASS روشنتر می‌شود، تا حدی که گاه تشخیص اکوهای واقعی بر روی صفحهٔ رادار غیر ممکن می شود. این سوئیچ باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که اکوهای GRASS ضعیف بوده، مزاحمتی برای کاربر رادار ایجاد نکند. عملکرد این سوئیچ درشکل (۲۳ــ۴) نشان داده شده است. در تصویر (a) میزان تقویت مناسب است، اما در تصویر (b) تقویت بیش از حد است.



شکل ۲۳ــ۴ــ عملکرد سوئیچ RECEIVER GAIN

سوئیچ انتخاب عرض پالس (PULSE - WIDTH SELECTOR) ــ با این کلید می‌توان عرض پالس موردنظر را انتخاب کرد. معمولاً دو وضعیت برای این کلید وجود دارد که عبارتند از :

۱ــ LONG PULSE

۲ــ SHORT PULSE

سوئیچ انتخاب فاصله ــ این یکی از سوئیچهای مهم در کنسول رادار است. به‌وسیلهٔ این سوئیچ می‌توان شعاع ناحیه تحت پوشش صفحهٔ رادار را تغییر داد. معمولاً این سوئیچ در هفت وضعیت برد ثابت ($\frac{3}{4}$ ، $1\frac{1}{2}$ ، ۳ ، ۶ ، ۱۲ ، ۲۴ و ۴۸ مایل) می‌تواند قرار بگیرد. برای مثال، اگر برد ۲۴ مایل انتخاب شود تنها هدفهایی که حداکثر فاصله آنها ۲۴ مایل است، بر روی صفحهٔ رادار ظاهرخواهند شد یا به عبارتی شعاع صفحهٔ رادار ۲۴ مایل است.

صفحهٔ نشانگر سمت (CURSOR) ــ سمت اکوهای موجود بر روی صفحهٔ رادار به‌وسیلهٔ

چرخش صفحهٔ نشانگر سمت (CURSOR) و قرار دادن خط شعاعی مبنا بر روی هدف قابل تعیین است. با چرخاندن دستگیره مربوط می‌توان این صفحه را به حرکت درآورد تا قطر صفحهٔ نشانگر به‌طور دقیق برروی اکوی مورد نظر که تعیین سمت آن مدنظر است، قرار گیرد. دراین وضعیت سمت هدف از روی درجه‌بندی دور صفحه خوانده می‌شود.

۲ــ۶ــ۴ــ نحوهٔ روشن کردن رادار ــ روش روشن کردن و تنظیم هرنوع خاصی از رادارها درکتابچه‌ای که همراه خود دستگاه ارائه می شود، نگارش شده است که ضرورت دارد قبل از بهره برداری ازسیستم رادار مورد مطالعه قرارگیرد. موارد مهمی که باید درهنگام روشن کردن سیستم رادار رعایت کرد، به‌شرح زیر هستند :

۱ــ حصول اطمینان از این که آنتن می‌تواند آزادانه چرخش کند ومانعی بر سر راه آن وجود ندارد.

۲ــ مطمئن شوید که کلیدهای کنترلی مربوط به محو اکوی امواج، شفافیت و تقویت‌گیرنده دروضعیت حداقل قرارگرفته باشد.

۳ــ برای روشن کردن رادار برابر دستورالعمل کتاب راهنمای مربوطه عمل کنید.

۳ــ۶ــ۴ــ ایمنی ــ سلولهای زنده 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 به‌همراه داشته باشد. تشعشع امواج الکترومغناطیسی درمحدوده باند فرکانسی رادار به‌وسیلهٔ آنتنها، هر چند که قادر به کشتن افراد نیست، اما ایجاد جراحات وسوانح قابل تصور است. شدت سیگنالهای راداری که به ایجاد اثرات سوء منجر شود، بالا است ؛ از این رو تنها رادارهای بسیار پرقدرت، نظیر رادارهایی که برای کشف موشکهای قاره‌پیما در بردهای زیاد به‌کار می‌رود، می‌توانند خطرناک باشند، البته آن هم درفاصله‌های نزدیک به رادار.

رادارهایی که برای موارد عادی به کار گرفته می‌شوند به طورعمده بی‌خطر هستند، مگراین که سلولهای زنده بدن به طور مستقیم درمعرض انتشار امواج راداری ساطع شده از آنتن و درفاصله چند فوتی از آن قرار گرفته باشند.

ولتاژهای RF ممکن است در اشیاء فلزی زمین نشده، نظیرمهارهای سیمی یا نردبانها، جریانهای القایی به‌وجود آورد ؛ از این رو 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 کار بر روی آنتنها، احتیاطهای لازم ایمنی را به عمل آورده، مطمئن شویم دستگاه مربوطه خاموش است.

مهارها، کابلها ونردبانها باید دارای اتصال به زمین باشند. در هنگام کار درارتفاع حتماً از

کمربند ایمنی استفاده کرده از قرار دادن مواد قابل اشتعال در نزدیکی و درمسیر انتشار امواج RF خودداری شود.

چشمان انسان نسبت به حرارت ایجاد شده در اثر جذب بیش از حد امواج رادیویی حسّاس است ؛ از این رو هیچ گاه نباید به طورمستقیم به انرژی RF تشعشعی نگاه کرد. در ضمن ارگانهای حیاتی بدن نیز به این حرارت حساس هستند و به منظور حفظ سلامتی نباید به طور مستقیم در مسیر تشعشع آنتنها ایستاد.

آنتنها و خطوط انتقال به طور عموم دارای یک محدوده خطرانرژی RF هستند که به وسیلهٔ خطوط قرمز مشخص شده است و درموقع انتشار نباید در داخل این محدوده‌ها ایستاد.

پرسش

۱ــ بلوک دیاگرام یک سیستم رادار را کشیده قسمتهای مختلف آن را نام ببرید.
۲ــ کار مدولاتوررا بیان کنید.
۳ــ عمل دوپلکسور یا سوئیچ T - R را با رسم شکل شرح دهید.
۴ــ قسمتهای‌مختلف‌یک‌فرستنده‌راداررا نام برده،کارهریک‌را به‌طورخلاصه بیان کنید.
۵ــ اساس کار یک مگنترون رادار را شرح دهید.
۶ــ آندمگنترون معمولاً به چه شکلی واز چه جنسی است؟
۷ــ تایمر رادار به چه قسمتهای دیگر سیستم رادار تریگر ارسال می‌دارد؟
۸ــ کار مخلوط کننده در قسمت گیرنده رادار را شرح دهید.
۹ــ علت استفاده از فرکانسهای بالا در رادار را بیان کنید.
۱۰ــ انواع آنتنها را نام ببرید.
۱۱ــ در رادارهای ناوبری از چه نوع راداری استفاده می‌شود؟
۱۲ــ قسمتهای مختلف یک آنتن را نام ببرید.
۱۳ــ ویوگاید را تشریح کنید.
۱۴ــ از طریق نشان دهنده نوع A چه اطلاعاتی به دست می‌آید؟
۱۵ــ به وسیلهٔ صفحهٔ نشان دهندهٔ نوع PPI چگونه سمت هدف را تعیین می‌کنیم؟
۱۶ــ کاربرد سوئیچ کنترلی VARIABLE RANGE MARKER را تشریح کنید.

بخش دوم

جایرو ،عمق‌یاب و جهت‌یاب رادیویی

مقدمه

این بخش از کتاب شامل دستگاههای جایرو، عمق‌یاب و جهت‌یاب رادیویی است و به لحاظ این‌که تمام این سیستمها،دریانوردان را در هنر هدایت بی‌خطر کشتیها یاری می‌کنند، به‌عنوان دستگاههای کمک ناوبری مطرح هستند.

در این بخش سعی شده است که اصول کار این دستگاهها و نحوهٔ به‌کارگیری هریک از آنها به‌طور ساده تشریح شود. اهمیت و نفوذ روزافزون سیستمهای مدرن کمک ناوبری در طول دههٔ اخیر در آمارهای انتشار یافته از سوی کمپانی لویدز لندن در رابطه با کاهش کشتیهای از دست رفته کاملاً مشهود است. به همین سبب فراگیری و شناخت این سیستمها اهمیتی ویژه دارد. امید است که این مطالب بتواند در ارتقاءِ دانش هنرجویان گرایش الکترونیک و مخابرات دریایی مفید واقع شود.

فصل پنجم

جایرو

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

۱ــ اصول کار جایروسکوپ را با استفاده از دستگاه نشان دهد.

۲ــ خواص جایروسکوپی را بیان کند.

۳ــ اثر چرخش زمین را بر جایرو تشریح کند.

۴ــ چرخش ظاهری جایروسکوپ را شرح دهد.

۵ــ چگونگی تبدیل جایروسکوپ به جایرو را تشریح کند.

۶ــ نحوهٔ متعادل کردن جایرو را توضیح دهد.

۷ــ قسمتهای مختلف اِلمان حساس را تشخیص دهد.

۸ــ کار نگاه‌دارندهٔ اِلمان حساس را تشریح کند.

۹ــ در مورد سیستم کنترل جایرو توضیح دهد.

۱۰ــ عملکرد جایرو را نشان دهد.

۱ــ۵ــ اصول کار جایروسکوپ

جایرو اسباب بازی قرن اخیر در واقع همان اسباب بازی قدیمی،یعنی فرفره چرخان است. فرفره مربوط به قبل از میلاد مسیح بود ؛ اما تا قبل از سال ۱۷۶۵ میلادی کسی به تئوری مربوط به آن نپرداخته بود تا این که پس از سال ۱۸۰۰ میلادی تحقیقات در این زمینه شروع شد. سرانجام در سال ۱۸۵۲ میلادی اولین جایروسکوپ به وسیله فوکالت (Foucalt) ساخته شد. او کسی بود که حالت گردش کره زمین را به نمایش درآورد. جایرو ساخته شده به‌وسیلهٔ وی فاقد موتور راه‌انداز و چرخ دنده حرکت بود. در طول این قرن به مرور زمان کم کم جایرو به‌عنوان یک وسیله علمی باقی ماند.

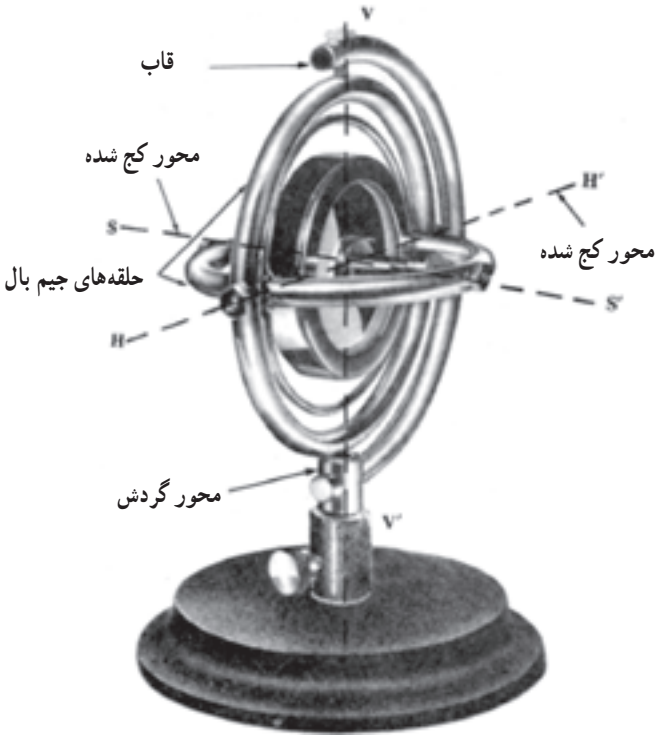
پس از یک رکود دراز مدت،در چندین دههٔ گذشته جایرو به عنوان یک ابزار کمکی در کنترل سیستمهای نظامی دریایی مانند کنترل آتش و در ناوبری به عنوان نشان‌دهنده راه کشتیها و هواپیماها

و به‌عنوان سیستم تعادل کننده موشکها به‌طور گسترده‌ای به‌کار گرفته شده است. در این بخش سعی شده است که خواص جایروسکوپی و اصول تبدیل یک جایروسکوپ به جایرو قطب نمایی به گونه‌ای ساده تشریح شود.

برای درک قطب‌نمای جایرو، باید بعضی از اصول و پدیده‌های جایروسکوپی را دانسته به‌اصطلاحات موجود در این رشته از فیزیک آشنا بود. در این بخش اصول مربوط تشریح می‌شود.

جایروسکوپ آزاد چرخ سنگین یا روتوری مُعَلّق است که محور آن می‌تواند در هرجهتی بچرخد. محور روتور به وسیله ۲ بلبرینگ S و S′ در یک حلقه نگهداری می‌شود. این حلقه به وسیله یاتاقانهای H و H′ در یک حلقه خارجی نسبتاً بزرگتر نگهداری می‌شود. حلقه خارجی به وسیله یاتاقانهای V و V′ در قالب نگهدارنده سوار شده است. این دو حلقه نگاه دارنده جیم‌بال نام دارند.

قاب نگاه دارنده قسمتی از جایروسکوپ به حساب نمی‌آید، بلکه تنها آن را نگاه می‌دارد. روتور و دو جیم‌بال در حول محورهای خود که بر هم عمود بوده در مرکز ثقل روتور همدیگر را قطع می‌کنند، موازنه شده‌اند (شکل ۱ــ۵).



شکل ۱ــ۵ــ جایروسکوپ

روتور جایروسکوپ دارای سه درجه آزادی است :

الف. آزادی چرخش ؛

ب. آزادی گردش ؛

پ. آزادی انحرافی.

این سه درجه آزادی به روتور اجازه می‌دهند که داخل قاب نگاه‌دارنده در هر وضعیتی قرار گیرد. روتور می‌تواند حول محور خود بچرخد و این اولین درجه آزادی عمل روتور است. حلقه جیم‌بال داخلی می‌تواند روی یاتاقانهای خود حول محور افقی $H-H'$ بچرخد، این دومین درجه آزادی عمل آن است. حلقه جیم بال خارجی می‌تواند روی یاتاقانهای خود حول محور $V-V'$ بچرخد، این سومین درجه آزادی عمل جایروسکوپ است.

۲ــ۵ــخواص جایروسکوپی

یک فرفره در حال چرخش می‌ایستد و تعادلش را حفظ می‌کند ؛ همچنین یک تایر در حال حرکت می‌تواند روی زمین بچرخد، بدون آن‌که تعادلش را از دست بدهد. این‌گونه پدیده‌ها مربوط به‌خواص اجسام در حال چرخش بوده و به عنوان اثرات جایروسکوپی شناخته شده است. حال وقتی روتور جایروسکوپ شکل (۱ــ۵) به‌سرعت می‌چرخد، جایروسکوپ چرخان دارای دو خاصیت است که در موقع سکون از آنها برخوردار نیست. این دو خاصیت که امکان استفاده از جایروسکوپ را به‌عنوان قطب‌نمای جایرو فراهم می‌سازد، عبارتند از :

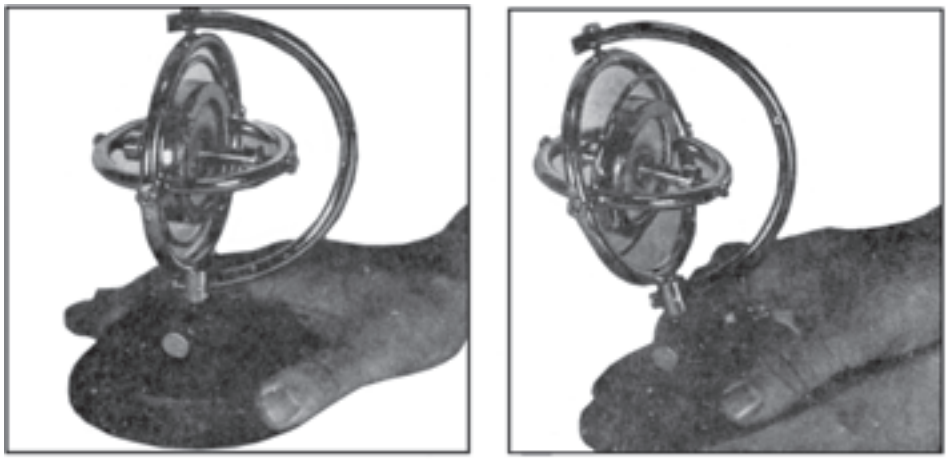
۱ــپایداری تعادل (Rigidity) ؛

۲ــتغییر جهت محوری (PRECESSION).

۱ــ۲ــ۵ــپایداری تعادل (Rigidity)ــ هرگاه روتور یک جایروسکوپ را همراه با محور آن که در یک جهت ثابت شده است، بچرخانیم (شکل ۲ــ۵) روتور بدون توجه به وضع قرار گرفتن قاب جایروسکوپ با محور خود در همان جهت تعیین شده به چرخش خود ادامه خواهد داد (شکل ۲ــ۵). درصورتی‌که بلبرینگها بدون اصطکاک باشد و روتور بچرخد، هرگونه چرخش قاب نگاه‌دارنده تأثیری در تعادل روتور نسبت به فضا نخواهد داشت.

این خاصیت جایروسکوپ را پایداری تعادل می‌نامند. این خاصیت را می‌توان به کمک قانون نیوتن که مربوط به حرکت است، توجیه کرد.

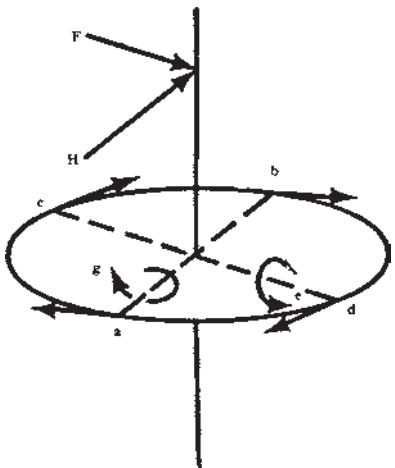
(قانون نیوتن: هرجسم در حال حرکت با یک سرعت ثابت در یک خط مستقیم به حرکت خود ادامه می‌دهد، مگر این‌که تحت‌تأثیر یک نیروی خارجی قرار گیرد.)



شکل ۲ــ۵ــ پایداری و تعادل صفحه جایروسکوپ چرخان

هر نقطه از یک چرخ‌گردان در یک مسیر مُدوّر می‌چرخد. به علت وجود خاصیت اینرسی (قانون اول نیوتن) چنین نقطه‌ای تمایل دارد که در طول یک خط مستقیم مماس بر مسیر مدور خود حرکت کند. کشش مولکولی داخل چرخ، مسیر کلیه ذرات داخل چرخ را به‌صورت مدور درمی‌آورد.

ذراتی از روتور را در نقاط a ، b، c و d درنظر بگیرید (شکل ۳ــ۵). نیروی لحظه‌ای F که به محوراعمال شده سعی دارد جهت مسیر را در نقاط c و d تغییر دهد؛ یعنی نقطه c تمایل حرکت به‌طرف بالا و نقطه d میل حرکت به‌طرف پایین خواهند داشت. به علت وجود انرژی جنبشی خیلی زیاد این نقاط در مقابل هرگونه تغییر مسیر یا تغییر جهت مقاومت می‌کنند که این امر به‌دلیل پایداری صفحه است. انرژی و مومنتم (momentom) روتور سعی می‌کنند که صفحهٔ روتور و یکسوئی محور را در فضا ثابت نگاه دارند.



شکل ۳ــ۵ــ روتور چرخان با یک محور عمودی

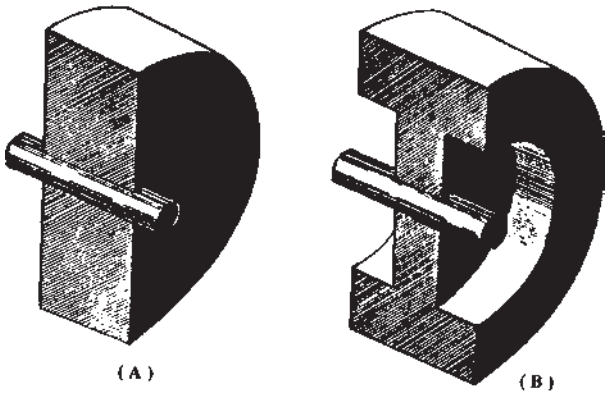
پایداری یک جایروسکوپ را می‌توان با استفاده از عوامل زیر بیشتر کرد :

۱ــ سنگینتر کردن روتور ؛

۲ــ سریعتر چرخاندن روتور ؛

۳ــ تمرکز کردن وزن روتور نزدیک به محیط آن.

اگر دو روتور با سطح مقطعهایی نظیر شکل (۴ــ۵) وجود داشته باشد که هم وزن بوده و با سرعت مساوی بچرخند،روتور شکل (B ــ۴ــ۵) پایدارتر از روتور شکل (A ــ۴ــ۵) خواهد بود. علت این امر تمرکز وزن روتور در نزدیک محیط آن است.



شکل ۴ــ۵

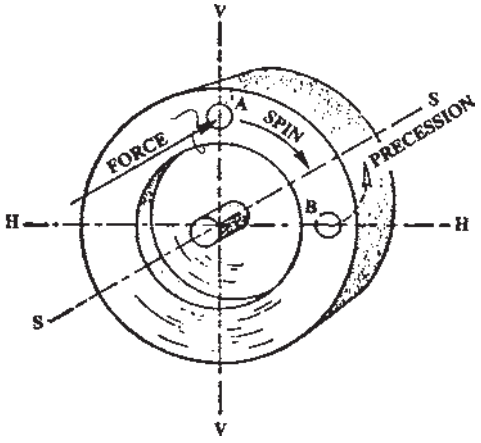
۲ــ۲ــ۵ــ تغییر جهت محوری (PRECESSION) ــ به علت اینرسی جایروسکوپی، مشخص شد که حرکت قاب نگاه‌دارنده بیرونی اثری در جهت ایستایی محور جایروسکوپ چرخان ندارد. برای تغییر جهت لازم است که به روتور جایروسکوپ یا محور آن نیرو وارد شود.

یک نیروی افقی (F) در یک انتهای محور شکل (۳ــ۵) اثری چرخشی ایجاد کرده که جایروسکوپ را حول محور ab کج می‌کند. اگر روتور درحال چرخش نباشد،محور آن تحت‌تأثیر نیروی اعمال شده خواهد چرخید.

وقتی که روتور می‌چرخد،پایداری آن باعث می‌شود که روتور در مقابل گردش حول ab مقاومت کرده در عوض حول محور cd در جهت فلش e بچرخد. برعکس، اگر نیرویی بخواهد جایروسکوپ را حول محور cd بچرخاند،به همین طریق مقاومتی در مقابل آن ایجاد شده، درنتیجه جایروسکوپ حول محور ab انحراف پیدا می‌کند. اگر نیرو در جهت H اعمال شود،عمل چرخش در جهت فلش g صورت خواهد گرفت.

چرخش جایروسکوپ حول محور عمود بر محوری‌که نیروی گشتاوری وارد شده است،تغییر جهت محوری (PRECESSION) نامیده می‌شود. تغییر جهت محوری موقعی ظاهر می‌شود که نیرویی بخواهد روتور چرخان جایروسکوپ را منحرف کند.

تغییر جهت محوری که بر اثر نیروی وارده به وجود می‌آید همیشه حول محوری است که با محوری‌که نیروی گشتاوری به آن اعمال شده، زاویه ۹۰ درجه بسازد. برای تعیین سمت تغییر جهت محوری درشکل (۵ــ۵) نشان داده شده است.



شکل ۵ــ۵

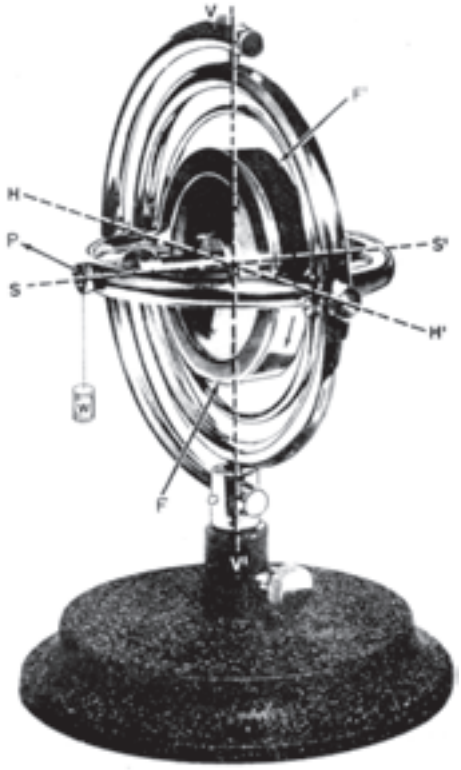
نیروی وارد شده به نقطه A در بالای چرخ را درنظر بگیرید. این نقطه در جهت نیروی اعمال شده حرکت نمی‌کند، بلکه نقطه‌ای که در موقعیت ۹۰ درجه‌ای جهت حرکت قرار گرفته در جهت نیروی وارده حرکت خواهد کرد. بدین طریق سمت تغییر جهت محوری تعیین می‌شود. تا زمانی که نیروی اعمال شده وجود داشته باشد،تغییر جهت محوری وجود خواهد داشت. اگر صفحه‌ای که نیرو از طریق آن اعمال می‌شود بدون تغییر باقی بماند، جایروسکوپ آنقدر تغییر جهت می‌دهد تا صفحهٔ روتور با صفحهٔ نیرو یکی شود. در این وضعیت نیرو در حول محور چرخان بوده و هیچ‌گونه تغییر جهتی به‌وجود نمی‌آید.

اگر صفحه نیرو با سرعتی برابر و در جهت مشابه با تغییر جهت محوری که به وجود می‌آورد حرکت کند، عمل تغییر جهت محوری ادامه خواهد یافت. این وضع درشکل (۶ــ۵) نشان داده شده است. در آن نیروی تغییر دهنده صفحهٔ چرخش به‌وسیلهٔ وزنه W که از انتهای محور افقی آویزان است، تأمین می‌شود.

اگرچه وزنه نیرویی به طرف پایین وارد می‌کند،اما نیرویی که در مقابل ذرات چرخ گردان ایجاد می‌شود افقی است. این نیرو مطابق شکل که با فلشهای F و F′ مشخص شده است،بین ذرات چرخ

تقسیم می‌شود. اگر روتور در جهت عقربه‌های ساعت بچرخد، تغییر جهت محوری در سمت فلش P رخ خواهد داد.

در اثر تغییرجهت محوری جایروسکوپ،وزنه نیز با آن به حرکت درمی‌آید ؛ بنابراین نیروهای F و F′ به طور مداوم در زاویه قائمه به صفحهٔ چرخش عمل کرده، تغییر جهت محوری بی‌انتها ادامه خواهد داشت.



شکل ۶ــ۵ــ تغییر جهت محوری مداوم

تشریح دقیق از چگونگی تغییر جهت محوری مستلزم استفاده از نمایشهای برداری گشتاورها و حرکات زاویه‌ای است که از حدود بحث این کتاب خارج است.

به هرحال مفهوم کلمه گشتاور را که در مبحث قطب نمای جایرو موارد استفاده زیادی دارد، باید فراگرفت. برطبق تعریف، گشتاور عبارت است از حاصل ضرب نیرویی که گردش را باعث می‌شود در فاصله عمودی خط اثر نیرو تا محور چرخش.

وقتی‌که نیرو در امتداد یک خط مستقیم یا روی یک نقطه اثر می‌گذارد،نیروی گشتاوری در یک صفحه ظاهر می‌شود که در این حالت آن را گشتاور حول یک محور می‌گویند.

نیرویی که روی محور جایروسکوپ عمل می‌کند،گشتاوری حول یک یا هر دو محور

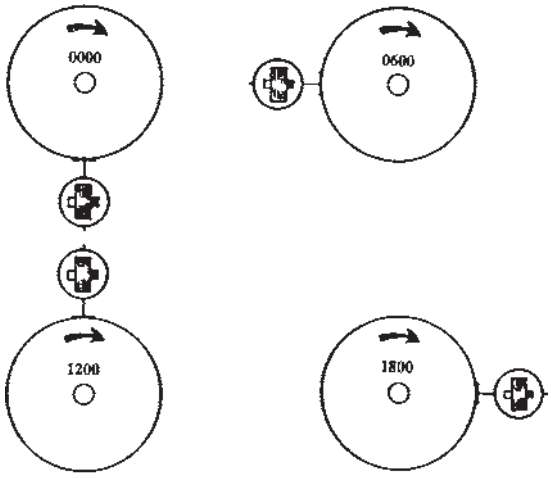
جایروسکوپ ایجاد می‌کند. برای یک نیروی معیّن هرچه فاصله آن تا محور چرخش بیشتر باشد، گشتاور آن بیشتر خواهد بود. اگر نیرو برروی محور چرخان اثر کند گشتاور صفر خواهد بود.

$(F \times 0 = 0)$

هر نیرویی که از طریق مرکز ثقل جایروسکوپ به آن وارد می‌شود، زاویه صفحهٔ چرخش را تغییر نمی‌دهد، اما دستگاه جایروسکوپ را بدون آن که وضعیت روتورش در فضا تغییر کند به حرکت درمی‌آورد. این نیرو را که به مرکز ثقل جایروسکوپ وارد می‌شود، نیروی انتقال (Force of Translation) می‌گویند. بدین‌ترتیب جایروسکوپ چرخان را می‌توان به‌وسیله قاب نگاه‌دارنده آن آزادانه در فضا حرکت داد، بدون آن‌که صفحهٔ چرخش روتور تغییر کند. علت وجود این حالت، این است که نیروی اعمال شده به قاب نگاه‌دارنده در امتداد مرکز ثقل روتور عمل می‌کند و یک نیروی انتقال به حساب می‌آید. این عمل هیچ گونه گشتاوری در حول روتور جایرو ایجاد نمی‌کند.

۳ــ۵ــ اثر گردش زمین بر جایروسکوپ

همان‌طور که قبلاً شرح داده شد، یک جایروسکوپ با چرخش آزاد می‌تواند بدون آن که زاویه صفحهٔ چرخش خود را تغییر دهد، در هر جهتی حرکت کند. اگر این جایروسکوپ را در خط استوا روی سطح زمین قرار دهیم، به‌طوری که محور چرخش آن افقی بوده، در جهت شرقی غربی قرار گیرد، ناظری که در فضا است و از ناحیه پایین قطب جنوب به آن نگاه می‌کند، ملاحظه خواهد کرد که چرخش زمین در جهت عقربه‌های ساعت از غرب به شرق بوده و جایروسکوپ هم با آن حرکت می‌کند (شکل ۷ــ۵).

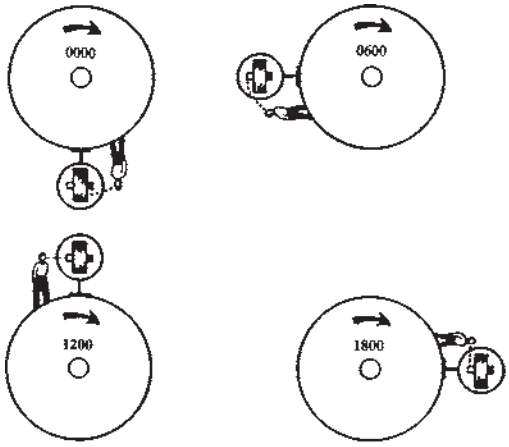


شکل ۷ــ۵

با گردش زمین پایداری صفحه باعث ثابت ماندن چرخ درفضا شده و همواره درهمان صفحه باقی خواهد ماند. همان‌گونه که درشکل (۷ــ۵) نشان داده شده است، فرض کنید که جایروسکوپ در ساعت 0000 به‌کار انداخته شده و شروع به چرخش کرده است،در حالی که محور آن در جهت شرقی ــ غربی و به موازات سطح زمین است. در ساعت 0600 یعنی شش ساعت بعد زمین ۹۰ درجه چرخیده و محور جایروسکوپ به موازات حالت اول قرار می‌گیرد. در ساعت ۱۲۰۰ زمین به اندازه ۱۸۰ درجه چرخیده است،در حالی که وضعیت جایروسکوپ تغییر نکرده است.

در ساعت ۱۸۰۰ زمین ۲۷۰ درجه چرخیده،اما کماکان وضعیت جایروسکوپ به همان حالت باقی مانده است. در نهایت در ساعت 0000 زمین ۳۶۰ درجه چرخیده و جایروسکوپ به وضعیت اولیه خود برگشته است.

این پایداری صفحه از نظر ناظری که در سطح زمین است کاملاً متفاوت است. با چرخش زمین به‌نظر می‌رسد که چرخ جایروسکوپ حول محور افقی خود دوران می‌کند. شکل (۸ــ۵) چگونگی وضع جایروسکوپ را برای ناظری که در سطح زمین و در کنار جایروسکوپ است، نشان می‌دهد.



شکل ۸ــ۵

فرض کنید که جایروسکوپ در ساعت 0000 شروع به چرخش کند،درحالی که محور چرخش آن افقی بوده جهت غربی آن به طرف ناظر باشد، در ساعت 0600، یعنی ۶ ساعت بعد از چرخش جایروسکوپ زمین بظاهر منحرف شده و از نظر ناظر محور در جهت عمود بر سطح زمین قرار گرفته است. در ساعت ۱۲۰۰محور جایروسکوپ دوباره به وضع افقی برگشته،اما از دید ناظر محور روتور۱۸۰ درجه چرخیده است. در ساعت ۱۸۰۰ محور دوباره عمود بر سطح زمین بوده و به بالا نشانه می‌رود. در ساعت 0000، زمین ۳۶۰ درجه چرخیده محور جایروسکوپ به وضع اولیه خود برمی‌گردد.

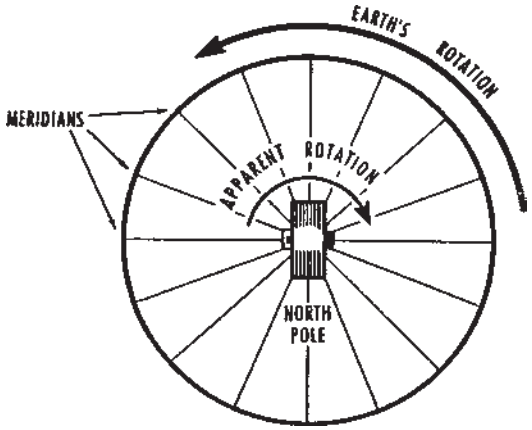
۴ــ۵ــ چرخش ظاهری جایروسکوپ

چرخش جایروسکوپ را ازدید ناظری که در سطح زمین ایستاده است،چرخش ظاهری می‌گویند. چرخش ظاهری درنتیجه پایداری صفحه که سعی می‌کند صفحهٔ چرخ جایروسکوپ را به‌موازات وضعیت اولیه آن در فضا نگاه دارد، به‌وجود می‌آید.

از این گردش ظاهری یا انحراف محور افقی جایروسکوپ به عنوان اثر سرعت افقی زمین تلقی می‌شود (HORIZONTAL EARTH RATE EFFECT). مقدار این اثر با کسینوس عرض جغرافیایی‌تغییر می‌کند . مقدار آن در استوا ماکزیمم‌و در دو قطب‌می‌نیمم‌است. TILT = □ cos LAT (انحراف ظاهری).

cos LAT در استوا برابر یک و در قطب برابر صفر است.

حال فرض کنید جایروسکوپ چرخان که محور آن افقی است، در قطب شمال استقرارداده شود (شکل۹ــ۵) ، ناظری که از روی سطح زمین به آن نگاه می‌کند، جایروسکوپ را در حال چرخش حول محور عمودیش می‌بیند و برای ناظری که از فضا نگاه می‌کند، جایروسکوپ ثابت بوده،



شکل ۹ــ۵ــگردش ظاهری جایروسکوپ در قطب شمال

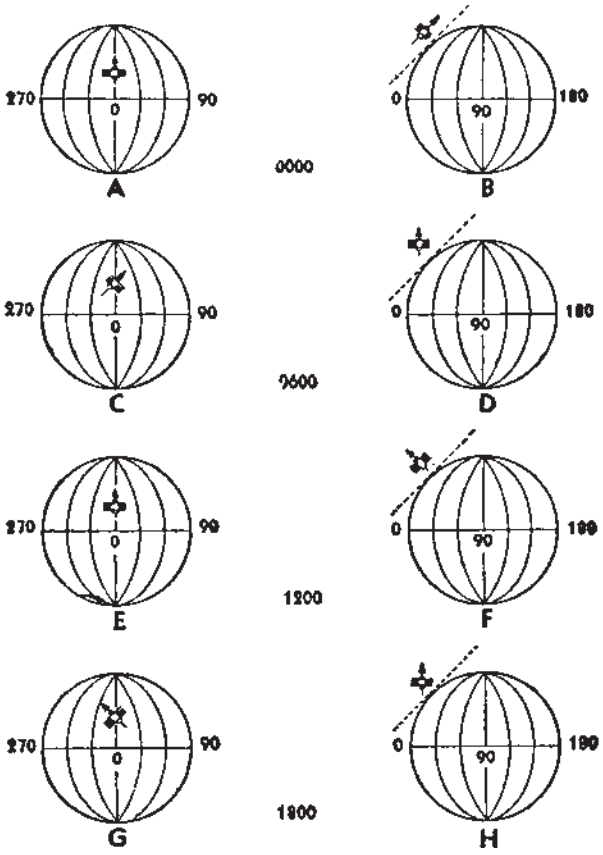
زمین در زیر آن می‌چرخد. این چرخش ظاهری حول محور عمودی به عنوان اثر سرعت عمودی زمین تلقی شده (Vertecal earth Rate effect) و با سینوس عرض جغرافیایی تغییر می‌کند.مقدار آن در دو قطب ماکزیمم و در استوا می‌نیمم است.

$$DRIFT = \omega \sin LaT.$$

وقتی که محور جایروسکوپ در هر نقطه زمین موازی با محور زمین قرار گیرد، چرخش ظاهری حول محور جایروسکوپ بوده قابل مشاهده نیست. در هر نقطه بین استوا و هر کدام از دو

قطب جایروسکوپی که محور چرخش آن با محور چرخش زمین موازی نباشد، دارای یک چرخش ظاهری است که ترکیبی از حرکت افقی و عمودی زمین است.

همان طوری که در شکل (۱۰ــ ۵) می بینید،چرخش ظاهری با قرار دادن محور یک جایروسکوپ چرخان در امتداد نصف النهار و به موازات سطح زمین در ۴۵ درجه طول جغرافیایی و صفر درجه عرض جغرافیایی نشان داده شده است.



شکل ۱۰ــ۵ــ گردش ظاهری جایروسکوپ در طول جغرافیایی ۴۵° شمالی

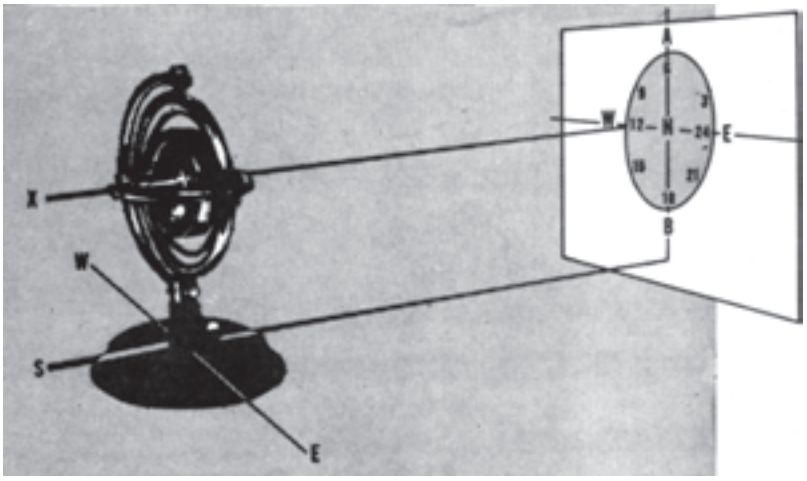
با چرخش زمین،موقعیتهای جایروسکوپ در ساعتهای ۰۶۰۰ و ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ چرخش ظاهری را حول محورهای افقی و عمودی نشان می‌دهند. هر دو شکل مربوط به یک جایروسکوپ است،منتهی از زوایای مختلف بررسی شده‌اند تا حرکت را در حول هر دو محور نشان دهند. در هر دو حالت، ناظر در بالای سطح زمین بوده اما با زمین می‌چرخد. هر دو شکل باید با یکدیگر ملاحظه شوند،زیرا حرکتی مشابه را در صفحات مختلف نشان می‌دهند.

قسمتهای A و B شکل (۱۰ـ۵) جایروسکوپ چرخان را در ساعت 0000 نشان می‌دهند. محور بر روی نصف النهار قرار گرفته با سطح زمین موازی است. حرکت ظاهری جایروسکوپ در ساعت ۰۶۰۰ (شکلهای C و D)بستگی به گردش زمین دارد و محور جایروسکوپ از مسیر خود نسبت به‌نصف النهار خارج شده در ۴۵ درجه شرقی نصف‌النهار قرار می‌گیرد. (محور به ظاهر به اندازه ۴۵ درجه از حالت افقی انحراف پیدا کرده است) در ساعت ۱۲۰۰ (قسمتهای E و F)محور جایروسکوپ دوباره به نصف‌النهار برمی‌گردد، اما در این حالت محور به اندازه ۹۰ درجه از سطح افقی انحراف می‌یابد. در ساعت ۱۸۰۰ (قسمتهای H و G) محور در ۴۵ درجه غرب نصف‌النهار قرار گرفته و انحراف به ۴۵ درجه تقلیل یافته است.

بعد از ۲۴ ساعت که مطابق با وضعیت ساعت 0000 روز بعد است، محور دوباره روی نصف‌النهار قرار گرفته و در وضعیت افقی خواهد بود. عمل تمام جایروسکوپهای آزاد در هر طول جغرافیایی بین صفر تا ۹۰ درجه مشابه است. این گردش ظاهری نسبت به سطح زمین بوده و علت ایجاد آن گردش زمین است.

اگر یک جایروسکوپ را طوری در هر قسمت از سطح زمین قرار دهیم که محور گردش آن با محور قطبی زمین موازی نباشد،به نظر می‌رسد که در طول ۲۴ ساعت حول خطی که از مرکز جایروسکوپ گذشته و با محور زمین موازی است می‌چرخد.

این گردش ظاهری وقتی از جهت جنوب به شمال مشاهده شود،جهت عکس عقربه‌های ساعت است و مسیری را که محور سمت شمال در فضا مشخص می‌کند،خط EAWB خواهد بود (شکل ۱۱ـ۵).



شکل ۱۱ـ۵ـ مسیر محور چرخان یک جایروسکوپ آزاد

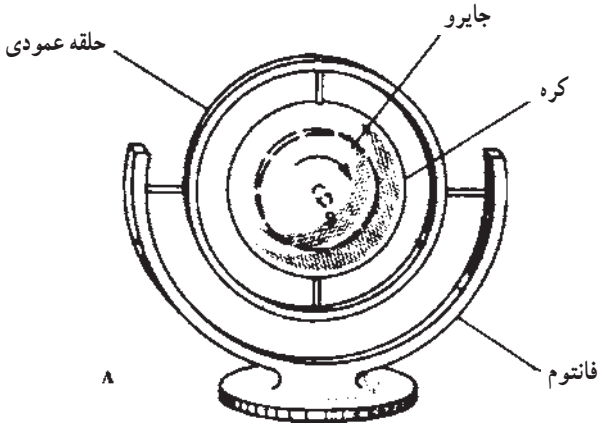
در هر طول جغرافیایی تأثیر گردش زمین باعث می‌شود که انتهای شمالی محور جایروسکوپ در شرق نصف‌النهار بالا رفته و در غرب نصف‌النهار پایین بیاید.

این اثر انحرافی باعث می‌شود که جایروسکوپ به‌صورت یک دستگاه شمال‌یاب درآید.

۵ــ۵ــ تبدیل جایروسکوپ به جایرو

قبل از این که یک جایروسکوپ ساده را بتوان به‌صورت یک قطب نما درآورد، باید در اجزای متشکله جایروسکوپ تغییراتی جزیی به‌وجود آورد.

همان‌طوری که از شکل (A ــ ۱۲ــ۵) پیداست، روتور یا چرخ در داخل یک محفظه یا کره قرار گرفته که این کره به نوبهٔ خود در داخل یک حلقه عمودی جا داده شده است. این وسایل در مجموع روی یک پایه نصب شده‌اند که حلقه فانتوم نامیده می‌شوند.



شکل A ــ ۱۲ــ ۵ــ جایروسکوپ ساده

با صرف‌نظر کردن از نیروهای خارجی،حال فرض می‌کنیم که جایروی چرخان وضعیت خود را در فضا حفظ می‌کند. در این حالت این مسأله مطرح می‌شود که جایرو چگونه می‌تواند شمال حقیقی را پیدا کرده و آن را حفظ کند.

شمال در این حالت در جهتی است که به‌وسیله خط افقی در سطح نصف‌النهار از نقطه قابل رؤیت در هر نقطه از سطح زمین نسبت به قطب شمال دیده می‌شود.

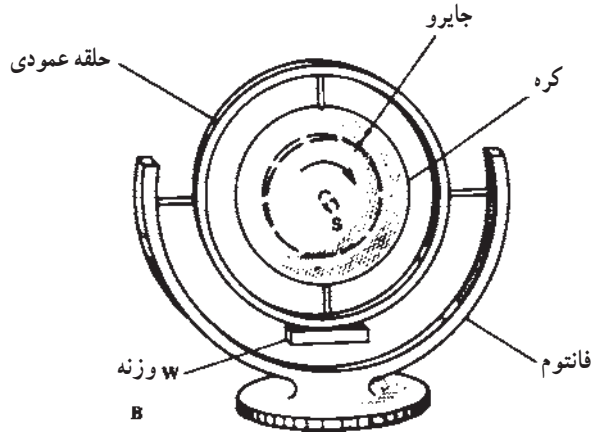
به منظور تبدیل جایروسکوپ به قطب نمای جایرو باید به گونه‌ای آن را تکامل بخشید که بتواند :

۱ــ محورش را روی صفحهٔ نصف‌النهار تنظیم کند.

۲ــ محورش را تقریباً افقی تنظیم کند.

۳ــ محورش را در حالت افقی در صفحهٔ نصف‌النهار نگاه دارد.

برای اصلاحات بیشتر در ساختمان جایروسکوپ ساده، وزنه W را در انتهای حلقه عمودی قرار می‌دهند. این عمل باعث سنگین شدن قسمت پایین دستگاه شده، به آن حالت پاندولی می‌دهد (شکل B ــ۱۲ــ ۵).



شکل B ــ۱۲ــ ۵ــ جایروسکوپ اصلاح شده

هنگامی‌که جایرو درخط استوا واقع است، محور آن‌افقی بوده در امتداد شرقی ــ غربی قرار می‌گیرد. وقتی از غرب به آن نگاه کنید، روتور آن را می‌بینید که در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخد. در نقطه A شکل (۱۳ــ۵) جایرو و حلقه عمودی به طور عمودی قرار گرفته، هیچ نیروی گشتاوری در اثر وزنه W وارد نمی‌شود.

همان‌طوری که زمین گردش می‌کند، نقطه B (شکل ۱۳ــ۵) نیروی اینرسی و تغییر جهت محوری جایروسکوپ عمل کرده، محور و حلقه عمودی تمایل پیدا می‌کنند که به‌صورت افقی درآیند. عامل به وجود آورنده حالت پاندولی یا وزنه،در حالی که بالا می‌رود، تحت کشش نیروی جاذبه زمین قرار گرفته،یک نیروی گشتاوری حول محور افقی جایرو اعمال می‌شود.

نیروی گشتاوری که در اثر نیروی جاذبه وزنه در اطراف محور افقی جایرو وارد می‌شود،تغییر جهت محوری جایرو را در جهتی که در قسمت C (شکل ۱۳ــ۵) نشان داده شده، باعث می‌شود. جایرو در این حالت از وضعیت شرقی ــ غربی خود خارج می‌شود. وقتی انتهای جایرو که قبلاً به‌سمت مشرق بوده (از این به بعد انتهای شمالی خوانده می‌شود)، به صعود خود ادامه دهد، نیروی گشتاور حاصل از نیروی جاذبه و وزنه بر روی جایرو زیادتر می‌شود، زیرا بازویی که وزنه بر روی آن عمل می‌کند در اثر انحراف زیاد بلندتر می‌شود.

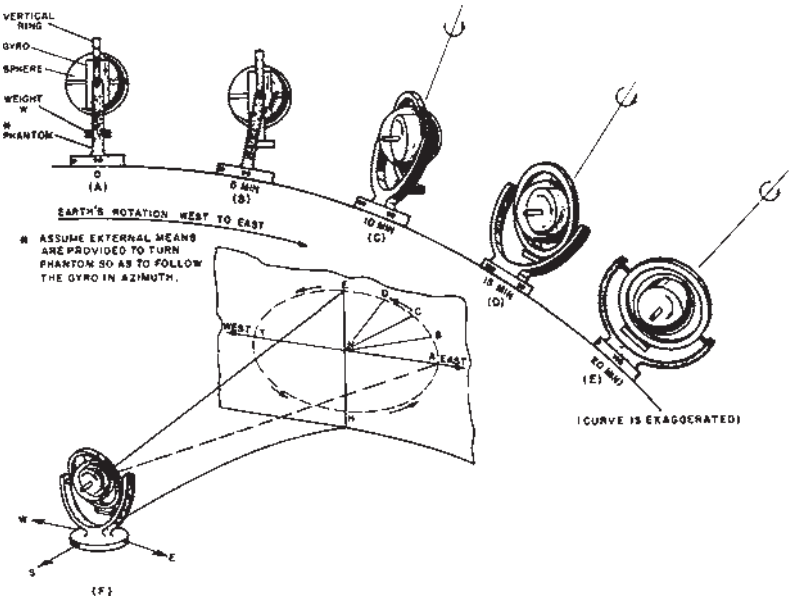
چون سرعت تغییر جهت محوری نسبت مستقیم با مقدار انحراف دارد،جایرو با سرعت زیاد

به‌دور محور عمودی خود گردش می کند. درحالت E (شکل ۱۳ــ۵) محور جایرو با حداکثر انحراف، ماکزیمم تغییر جهت محوری و حداکثر نیروی گشتاوری که در اثر نیروی جاذبه بر وزنه به‌وجود می‌آید،در روی نصف‌النهار قرار می‌گیرد.

اثر وزنه پاندولی سبب می‌شود که جایرو هنگام عبور از روی نصف النهار تغییر جهت دهد. موقعی که انتهای شمالی محور جایرو از روی نصف‌النهار عبور می‌کند، انحراف آن در اثر گردش زمین کاهش می‌یابد. در اثر کاهش مقدار انحراف، سرعت تغییر جهت محوری نیز تا زمانی که محور جایرو در حالت افقی قرار گیرد کم می‌شود. در این حالت انحراف در جهت مغرب متوقف می‌شود و وزنه‌ای که به پایین آویزان است هیچ‌گونه نیروی گشتاوری حول محور افقی تولید نمی‌کند. در این نقطه انحراف غربی محور از نصف‌النهار درست به اندازه انحراف شرقی آن از نصف‌النهار است.

ادامه گردش زمین باعث پایین رفتن انتهای شمالی محور می‌شود،در حالی که وزنه در انتهای دیگر محور افقی در جهت مخالف بالا می‌رود.

اثر این تغییر جهت محوری در جهت مخالف بوده، محور جایرو را هنگام عبور از روی نصف‌النهار به وضعیت اولیه خود برمی‌گرداند. در این نقطه سیکل دوباره تکرار می‌شود، مگر این که عاملی نوسان را متوقف سازد. در شکل F (۱۳ــ۵) نوسان انتهای محور جایرو روی یک صفحه عمودی تصویر شده است.



شکل ۱۳ــ۵ــ اثر وزنه و گردش روی جایروسکوپ

نسبت حرکت جایرو حول محور افقی (که به وسیله گردش ظاهری به وجود می‌آید) به حرکت تغییرجهت محوری‌حول محور عمودی (که به وسیله وزنه پاندولی ظاهرمی‌شود) شکل بیضی را به‌وجود می‌آورد.

چنانچه وزنه سنگینتر شود، تغییر جهت محوری سریعتر عمل کرده، درنتیجه شکل بیضی مسطح خواهد شد. اگر وزن وزنه کاهش یابد،سرعت تغییر جهت محوری کُندتر شده و شکل بیضی به‌دایره نزدیکتر می‌شود.

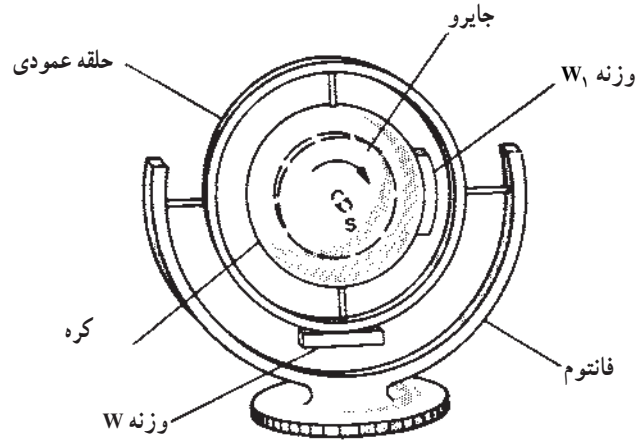
زمان یک نوسان کامل برحسب دقیقه را زمان تناوب نوسان می‌نامند. بدون توجه به زاویه نوسان چرخ برای هر سرعت و اندازه مشخص چرخ در یک نقطه معلوم از زمین، زمان تناوب نوسانات یکسان خواهد بود. عامل تغییردهندهٔ زمان تناوب، وزنه‌ای است که روی حلقه عمودی قرار دارد.

اکنون روشن است که با افزایش وزنه W به حلقه عمودی، یک جایرو شمال‌یاب ساخته می‌شود. علاوه بر این باید نوسانات را متوقف ساخته و در یک نصف‌النهار آن را به حالت تعادل درآوریم.

مطالعه آزاد

۶ــ۵ــ نحوهٔ متعادل کردن جایرو

برای جلوگیری از نوسان جایرو در حول مدار نصف‌النهار،اجازه دهید که یک وزنه اضافی کوچکتر W_1 را به سمت شرقی محفظه روتور یا کره، همان طوری که درشکل (۱۴ــ۵) نشان داده شده، اضافه کنیم.



شکل ۱۴ــ۵ــ جایروسکوپ با وزنه‌هایی روی کره و حلقه عمودی

با تراز بودن محور جایرو،هیچ مؤلفه‌ای از گشتاور حول محور عمودی جایرو به‌وسیله نیروی جاذبه روی وزنه W_1 ایجاد نمی‌شود و نیروی گشتاوری به‌وسیله یاتاقانهای محور عمودی مهار می‌شود. به هر حال هنگامی که درنتیجه چرخش زمین محور جایرو کج می‌شود، محور عمودی به‌طرف خارج صفحه متمایل می‌گردد.

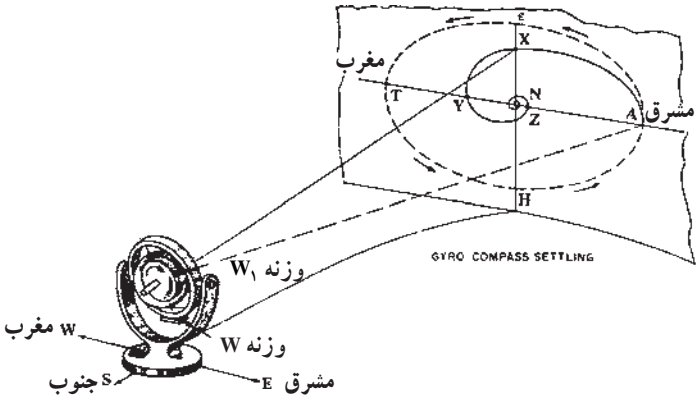
نیروی جاذبه روی وزنه W_1 که آن را به طرف پایین می‌کشد،یک نیروی گشتاوری حول محور عمودی وارد کرده و باعث می‌شود که محور چرخش به عقب تغییر جهت محوری داده و به حالت افقی نزدیک شود.

با هر دو وزنه W و W_1 ،جایرو در اثر حرکت زمین شروع به انحراف می‌کند. اگر خارج از نصف‌النهار باشد، باعث تغییر جهت محوری آزیموت به سمت نصف‌النهار شده جایرو به سمت پایین به حالت تراز درمی‌آید ؛ در نتیجه عمل تراز وزنه W_1 هنگام نزدیک شدن به مدار نصف‌النهار موجب می‌شود که انحراف کمتری در اطراف نصف‌النهار انجام شود.

نتیجهٔ این عمل ترکیبی انحراف کمتر محور جایرو هنگام رسیدن به مدار نصف‌النهار است ؛ بنابراین، این تغییر جهت محور جایرو در مغرب نصف‌النهار به اندازه تغییر جهت محور جایرو در شرق نصف‌النهار (که در ابتدای نوسان به وجود آمده) نخواهد بود.

به هرحال نوسان ادامه داشته، پس از رسیدن به حد غربی خود، انتهای شمالی جایرو به طرف پایین کج خواهد شد.

همان‌گونه که تشریح شد،نوسانات متوالی از نظر اندازه بتدریج کوچک شده مسیر آنها طبق شکل (۱۵ــ۵) از حالت بیضی خارج شده و به شکل مارپیچ درآمده است. با



شکل ۱۵ــ۵ــ اثر هر دو وزنه روی جایروسکوپ

درنظر گرفتن عمل وزنه‌ها تنها حالت سکونی که برای جایرو امکانپذیر است، زمانی خواهد بود که محور جایرو افقی بوده و روی نصف‌النهار قرار داشته باشد.

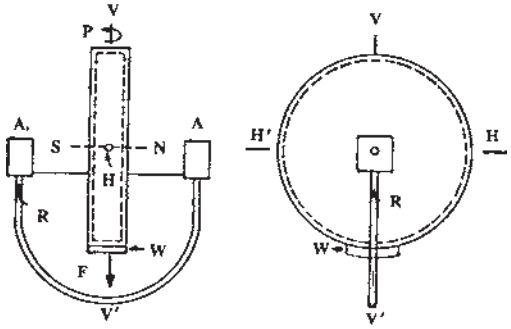
این جایروسکوپ آزاد اکنون به یک قطب نمای جایرو تبدیل شده است که می‌تواند روی نصف‌النهار قرار گرفته تراز شود. زمان تناوب را می‌توان با تغییر وزن وزنه W عوض کرده با تغییر اندازه W_1 ، سرعت رسیدن به حالت سکون را میزان کرد.

قطب‌نمای جایروی ابتدایی برای استفاده در استوا بر روی یک سکوی ثابت طرح‌ریزی شده است. امروز قطب‌نمای جایرو طوری طرح‌ریزی شده که بتواند در شتابها و حرکات کشتیها در هر طول جغرافیایی عمل خود را انجام دهد.

اساس روشهای جاری

روشهای مختلفی برای جایگزینی وزنه‌هایی که تا به حال از آنها یاد کرده‌ایم، وجود دارد. دربارهٔ دو روش جاری متداول در این جا بحث خواهد شد.

۱ــ۶ــ۵ــ روش پاندولی ــ در بعضی قطب‌نماهای جایرویی از وزنه W براساس آنچه گفته شد، استفاده می‌شود؛ هرچند که به جای وزنه W_1 از یک بالستیک روغنی مطابق شکل (۱۶ــ۵) استفاده شده است.



محور چرخان ـ S,N

محور عمودی ـ V,V'

محور افقی ـ H,H'

مخزنهای روغن متصل شده ـ A,A

محدود کننده جریان روغن ـ R

مشخصه وزنه یا پاندول ـ W

نیروی جاذبه ـ F

شکل ۱۶ــ ۵ــ طرز عمل میرایی قطب نمای پاندولی

دو مخزن که در داخل آنها روغن رقیق ریخته شده است، هم خط با محور شمالی ــ جنوبی روتور به دو طرف محفظه روتور متصل شده‌اند. این دو مخزن به‌وسیله لوله باریکی به یکدیگر مربوط هستند، به طوری که روغن می‌تواند به آهستگی از یک مخزن به مخزن دیگر جاری شود.

به‌خاطر باریک بودن مسیر حرکت روغن در لوله رابط، عمل میرایی به تأخیر می‌افتد. اثر این تأخیر موجب کندتر کردن اثر وزنه پاندولی می‌شود.

اگر انتهای شمالی محور جایروسکوپ بالا رود، وزنه پاندولی نیرویی را به‌طرف پایین به محور بالایی یا شمالی وارد می‌سازد ؛ در همین موقع روغن :

۱ــ از مخزن شمالی به مخزن جنوبی جاری می‌شود.

۲ــ نیروی کمی به انتهای پایینی یا جنوبی وارد می‌سازد.

به علت مسیر باریک روغن در لوله رابط، جریان روغن برای مدتی بی‌اثر می‌شود. اگر انحراف برای مدت کافی ادامه داشته باشد، انباشته شدن روغن کافی در مخزن جنوبی، اثر وزنه پاندولی را در انتهای بالایی محور کم می‌کند. هرچه مدت زمان انحراف بیشتر باشد، مقدار روغن در مخزن جنوبی بیشتر شده و نیروی وارده به‌وسیله وزنه پاندولی بر روی محور شمالی کمتر خواهد شد.

اگر این انحراف معکوس شود و محور جنوبی بالا رود، روغن اضافی موجود در مخزن جنوبی بر انتهای بالایی محور نیرو وارد می‌سازد ؛ از این‌رو مدت کمی پس از معکوس شدن انحراف، وزن روغن مخزن جنوبی به نیروی اعمال شده به‌وسیلهٔ وزنه بر روی محور بالایی جنوبی افزوده می‌شود.

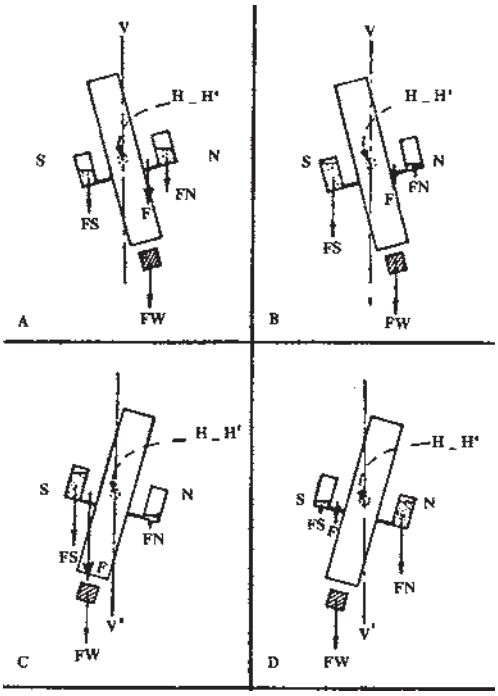
در شکل A (۱۷ــ۵) محور با انتهای شمالی خود به سمت بالا انحراف پیدا کرده زمان کافی برای عبور مقدار زیادی از روغن به مخزن جنوبی وجود نداشته است.

در شکل B (۱۷ــ۵) حالت انحراف به مدت کافی باقی مانده تا مقدار زیادی از روغن به مخزن جنوبی جاری شود و نیروی حاصل به مقدار زیادی کاهش یابد.

در شکل C (۱۷ــ۵) حالت انحراف معکوس شده است و هنوز مقداری روغن اضافی در مخزن جنوبی وجود دارد. این روغن اضافی به وزنه پاندولی اضافه شده باعث زیاد شدن نیرو می‌شود.

در شکل D (۱۷ــ۵) محور جنوبی برای مدتی به طرف بالا کج شده و روغن در مخزن شمالی جمع شده است ؛ به‌طوری که اثر وزنه کاهش یافته است. طول فلشها

مقدار نیروی اعمال شده را نشان می‌دهد.



FW نیرو به وسیله وزنه پاندولی اعمال شده
FS نیرو به وسیله روغن مخزن جنوبی اعمال شده
F نیروی نتیجه
FN نیرو به وسیله روغن مخزن شمالی اعمال شده

شکل ۱۷ــ۵ــ عمل مخزنهای میرا کننده

اگر قطب‌نمایی را که به اندازه ۳۰ درجه در شرق نصف‌النهار منحرف شده و تراز است، در نظر بگیریم (شکل ۱۸ــ۵) سرعت زمین باعث بالا رفتن محور شمالی خواهد شد.

این عمل باعث می‌شود که وزنه پاندولی و محور شمالی ارتفاع بگیرند ؛ در نتیجه یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی به وجود آمده،باعث تغییر جهت محوری، محور عمودی به سمت غرب می‌شود. هرچند که به علت ارتفاع گرفتن محور شمالی، مخزن شمالی بالا می‌رود، این کار باعث انتقال روغن به مخزن جنوبی می‌شود.

این عمل انتقال روغن به‌مخزن جنوبی، به‌خاطر باریک بودن لوله اتصال به آهستگی انجام گرفته است و در شروع اثر چندانی نخواهد داشت.

به مرور زمان روغنی که در مخزن جنوبی جمع می‌شود یک نیروی گشتاوری حول محور افقی تولید می‌کند که با نیروی گشتاوری تولید شده به وسیله وزنه پاندولی مخالفت کرده در نتیجه نیروی گشتاوری حاصل، از نیروی گشتاوری که به وسیله وزنه

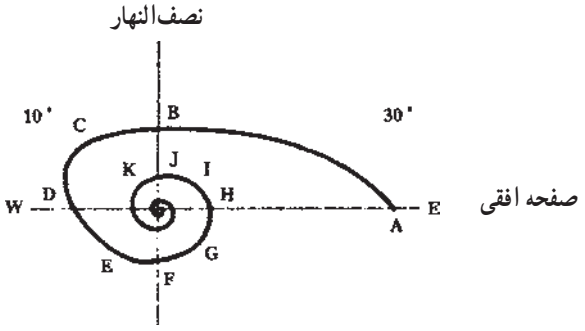
پاندولی تولید می‌شود کمتر خواهد بود.

سرعت تغییر جهت محوری به خاطر کم‌بودن نیروی گشتاوری که باعث تغییر جهت محوری می‌شود، کم خواهد بود. محور شمالی قطب‌نما تا زمانی‌که در مشرق نصف‌النهار باشد به صعود ادامه می‌دهد ؛ به‌طوری که وزنه پاندولی در تمام این مدت، نیروی گشتاوری کافی اعمال می‌کند تا در اثر آن محور مزبور به نصف‌النهار نزدیک شود (نقطه B شکل ۱۸ــ۵).

در هرحال این محور نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند، زیرا در این موقع دارای حداکثر انحراف بوده در نتیجه تغییر جهت محوری آن حداکثر خواهد بود.

هنگامی که محور شمالی قطب‌نما، نصف‌النهار را به طرف غرب قطع کند، گردش زمین باعث پایین آمدن محور شمالی خواهد شد.

این عمل باعث کاهش بیشتر تأثیر وزنه پاندولی خواهد شد و به علت بالا رفتن محور شمالی، روغن به مخزن جنوبی منتقل می‌شود تا سرانجام نقطه‌ای به‌دست خواهد آمد که در آن نیروی گشتاوری حاصل از روغن بالستیکی کاملاً برابر و مخالف با نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی خواهد بود. در این موقع، نیروی گشتاوری منتجه حول محور افقی صفر است (شکل ۱۸ــ۵ نقطه C) ؛ بنابراین تغییر جهت محوری به‌طرف غرب متوقف می‌شود. در هر حال محور شمالی قطب‌نما (که در غرب نصف‌النهار قرار دارد) در اثر گردش زمین به پایین آمدن خود ادامه داده و درنتیجه نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی را کم می‌کند.



شکل ۱۸ــ۵ــ مسیری که به وسیله محور شمالی یک قطب‌نمای پاندولی میرا شده دنبال می‌شود.

اکنون نیروی گشتاوری حاصل از بالستیک روغن از نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی بیشتر بوده و باعث می‌شود گردش محور در جهت غرب انجام گیرد، حتی اگر هنوز محور تراز نشده باشد.

وقتی محور شمالی تراز شود نقطه D شکل (۱۸ــ۵) کماکان به دلیل باریک بودن لوله رابط مقداری روغن اضافی در مخزن جنوبی وجود خواهد داشت.

وجود روغن اضافی در مخزن جنوبی باعث می‌شود که تغییر جهت محوری به‌سمت شرق ادامه داشته محور شمالی در اثر گردش زمین به پایین آمدن ادامه دهد ؛ درنتیجه محور جنوبی بالا خواهد رفت.اکنون وزنه پاندولی یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی به وجود آورده که در ضمن باعث تغییر جهت محوری به سمت شرق می‌شود.

در این موقع بالستیک روغن و وزنه پاندولی نیروهای گشتاوری وارد می‌سازند که به یکدیگر کمک می‌کنند. در حالی که محور جنوبی ارتفاع یافته است، روغن آنقدر به مخزن شمالی منتقل می‌شود تا نقطه‌ای به‌دست آید که در آن‌جا مقدار روغن در هر دو مخزن مساوی باشد (نقطه E شکل ۱۸ــ۵). تغییر جهت محوری به علت نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی به سمت شرق ادامه دارد و محور جنوبی ارتفاع یافته باعث انتقال روغن به مخزن شمالی می‌شود. این عمل مقداری روغن اضافی را در مخزن شمالی به وجود می‌آورد که باعث می‌شود نیروی گشتاوری حول محور افقی با نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی مخالفت کند. تا زمانی‌که محور شمالی در غرب نصف‌النهار باشد، به پایین آوردن خود ادامه داده در نتیجه نیروی گشتاوری کافی برای رسیدن به نصف‌النهار تولید می‌کند (نقطه F شکل ۱۸ــ۵).

در این موقع حداکثر انحراف و حداکثر تغییر جهت محوری به‌وجود خواهد آمد که در نتیجه محور مزبور نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند.

محور شمالی قطب‌نما اکنون در شرق نصف‌النهار است که در اثر گردش زمین بالا رفته باعث کم شدن اثر وزنه پاندولی می‌شود.

در این مدت روغن در مخزن شمالی جمع می‌شود و سرانجام به نقطه‌ای خواهد رسید که در آن جا نیروی گشتاوری حاصل از بالستیک روغن به طور کامل مساوی و مخالف نیروی گشتاوری ایجاد شده به وسیلهٔ وزنه پاندولی را کاهش می‌دهد.

اکنون بالستیک روغن نیروی گشتاوری بیشتری از نیروی گشتاوری وزنه پاندولی ایجاد کرده باعث می‌شود که تغییر جهت محوری در سمت غرب انجام گیرد، حتی اگر محور شمالی هنوز تراز نشده باشد.

هنگامی که محور شمالی تراز می‌شود (نقطه H شکل ۱۸ــ۵)، به علت باریک

بودن لوله ارتباطی هنوز مقداری روغن در مخزن شمالی وجود دارد که باعث تغییر جهت قطب‌نما به طرف غرب می‌شود.

وقتی محور شمالی در اثر گردش زمین ارتفاع می‌گیرد، وزنه پاندولی را به‌طرف شمال بالا برده، یک نیروی گشتاوری حول محور افقی ایجاد می‌کند که باعث تغییر جهت محوری به سمت غرب می‌شود.

نیروهای گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی بالستیک روغن یکدیگر را کمک می‌کنند.

اکنون که محور شمالی ارتفاع گرفته است، روغن به مخزن جنوبی منتقل شده، سرانجام به نقطه‌ای خواهد رسید که مقدار روغن در هر دو مخزن مساوی باشد (نقطه I شکل ۱۸ــ۵). در اثر وزنه پاندولی تغییر جهت محوری در جهت غرب ادامه یافته، عمل انتقال روغن به مخزن جنوبی که اکنون یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی تولید می‌کند، ادامه خواهد یافت. این نیروی گشتاوری با نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی مخالفت می‌کند تا زمانی‌که محور شمالی در شرق نصف‌النهار قرار دارد به‌عمل بالا رفتن ادامه می‌دهد.

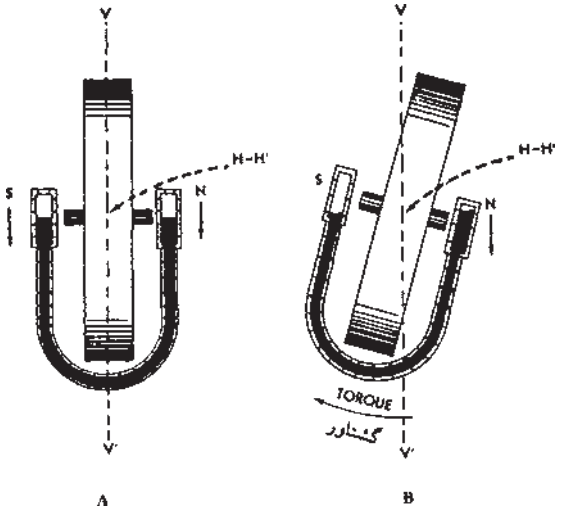
وقتی محور شمالی به نصف‌النهار رسید ،دارای حداکثر انحراف و بنابراین حداکثر تغییر جهت محوری بوده، در نتیجه نمی‌تواند در نصف‌النهار باقی بماند (نقطه J شکل ۱۸ــ۵). این عمل تا حدود ۲۱/۵ نوسان ادامه می‌یابد و سپس قطب‌نما متوقف شده روی نصف‌النهار قرار می‌گیرد.

به علت حرکت آهسته روغن،اثر مخزنهای میرایی همیشه پس از اثر وزنه پاندولی ظاهر می‌شود. این زمان تأخیری بالستیک روغن را به‌عنوان یک عنصر میرایی مفید درمی‌آورد، زیرا بالستیک اجازه می‌دهد که وزن روغن، درست در موقع دور شدن نوسانات از نصف‌النهار با آنها مخالفت کند.

۲ــ۶ــ۵ــ روش غیر پاندولی ــ روش دیگر برای جایگزینی وزنه‌ها، استفاده از بالستیک جیوه‌ای است. در این روش از دو مخزن جیوه که هر کدام در یک انتهای محور روتور سوار شده‌اند، استفاده شده است. این دو مخزن به‌وسیله یک لوله به‌یکدیگر وصل شده‌اند ؛ به‌طوری که جیوه می‌تواند آزادانه از یک مخزن به مخزن دیگر جریان پیدا کند (شکل A ۱۹ــ ۵).

هنگامی که محور تراز باشد، مقدار جیوه در هر دو مخزن و وزن آنها برابر بوده

نیرویی که هر کدام به انتهای محور وارد می‌سازند، با یکدیگر مساوی است.



شکل ۱۹ــ۵ــ عمل متعادل‌کننده یک بالستیک جیوه‌ای

بنابراین در حول محورها هیچ‌گونه نیروی گشتاوری ایجاد نخواهد شد. هنگامی‌که محور منحرف می‌شود، حتی به مقدار خیلی کم شکل(B ۱۹ــ۵)جیوه از طریق لوله ارتباطی از مخزن بالایی به مخزن پایینی جاری می‌شود.

در این موقع مقدار جیوه دو مخزن دیگر برابر نخواهد بود، چون مخزن پایین به‌علت داشتن جیوه سنگینتر شده است ؛ بنابراین مخزن پایینی، نیرویی بیشتر از مخزن بالایی به محور وارد می‌سازد که در نتیجه یک نیروی گشتاوری در حول محور $H - H'$ به‌وجود می‌آید.

این نیروی گشتاوری که به ظاهر میل به انحراف بیشتری دارد، به‌جای این عمل تغییر جهت محوری را در حول محور عمودی $V - V'$ سبب می‌شود. وقتی از انتهای جنوبی محور به روتور نگاه کنید، خواهید دید که روتور در این قطب‌نما،عکس جهت عقربه‌های ساعت گردش می‌کند. هنگامی که انتهای شمالی پایین باشد، جیوه اضافی در مخزن شمالی فشاری به سمت پایین بر روی انتهای شمالی محور وارد ساخته، تغییر جهت محوری در جهت مشرق یا در جهت حرکت عقربه ساعت ایجاد می‌کند. موقعی که انتهای شمالی بالا است، جیوه اضافی در مخزن جنوبی فشاری به‌سمت پایین بر روی انتهای جنوبی محور وارد ساخته، باعث گردش محور در جهت غرب یا عکس عقربه‌های ساعت می‌شود.

همان‌طور که می‌دانید، زمانی که انتهای شمالی محور روتور در شرق نصف‌النهار قرار گیرد، گردش زمین باعث بالا رفتن انتهای شمالی این محور می‌شود.

وقتی یک بالستیک جیوه‌ای به جایروسکوپ اضافه می‌شود، بالا رفتن محور شمالی یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی ایجاد می‌کند که تغییر جهت محوری در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت یا در جهت مغرب تولید می‌کند. وقتی که انتهای شمالی محور در غرب نصف‌النهار باشد، گردش زمین باعث پایین آمدن آن می‌شود.

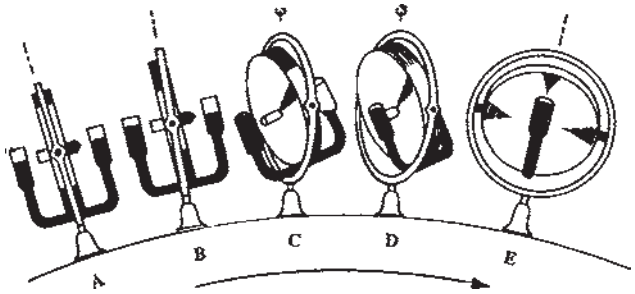
محور شمالی اگر پایین باشد، باعث می‌شود که بالستیک جیوه‌ای یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی تولید کرده، یک تغییر جهت محوری در جهت حرکت عقربه ساعت یا درجهت مشرق به‌وجود بیاید.

اگر این جایروسکوپ همراه با بالستیک جیوه‌ای خود روی خط استوا طوری قرار گیرد که محور آن به طرف مشرق نصف النهار و چرخش روتور آن در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت باشد (شکل A ــ ۲۰ــ۵)، انتهای شمالی محور به‌علت چرخش زمین در زیر آن به طرف بالا کج می‌شود.

وقتی این حالت کج شدن اتفاق افتاد، جیوه از مخزن شمالی به مخزن جنوبی جریان یافته و مخزن جنوبی سنگینتر می‌شود. مخزن جنوبی یک نیروی گشتاوری حول محور افقی وارد می‌سازد (شکل B ــ ۲۰ــ۵)،این نیروی گشتاوری باعث یک حرکت محوری در حول محور عمودی به سمت نصف‌النهار و مغرب می‌شود. چون زمین به‌طور دائم می‌چرخد، جایروسکوپ به‌طور متناوب به‌طرف بالا کج می‌شود و بنابراین جیوه بیشتری به داخل مخزن جنوبی جاری شده و نیروی گشتاوری حول محور افقی بتدریج همراه با زیاد شدن تغییر جهت محوری حول محور عمودی زیادتر می‌شود (شکل C و D ۲۰ــ ۵).

این انحراف تا زمانی که محور جایروسکوپ روی نصف‌النهار قرار دارد، به‌سمت بالا ادامه خواهد داشت (شکل E ۲۰ــ۵) و مقدار جیوه مخزن جنوبی از مخزن شمالی بیشتر بوده جایروسکوپ در بیشترین مقدار خود به سمت بالا کج می‌شود. در این نقطه سرعت تغییر جهت محوری در حداکثر مقدار خود است.

پس از این‌که محور جایروسکوپ، نصف‌النهار را قطع کرد، به سمت پایین کج می‌شود و درنتیجه جیوه از مخزن جنوبی به مخزن شمالی جریان می‌یابد. این انتقال



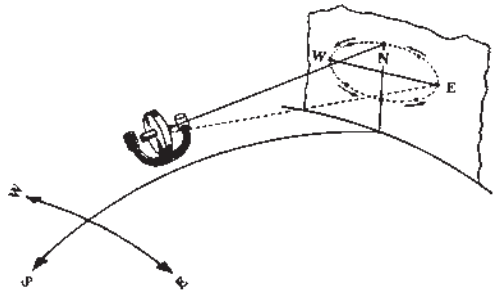
شکل ۲۰ــ۵ــ چرخش زمین از غرب به شرق

جیوه بتدریج نیروی گشتاوری را درحول انتهای جنوبی محور کاهش می‌دهد که در ضمن سرعت تغییر جهت محوری جایروسکوپ نیز متناسب با آن در حول محور عمودی کاهش می‌یابد. وقتی محور جایروسکوپ دوباره تراز شد، به سمت مغرب نصف‌النهار نشانه رفته، جیوه به مقدار مساوی در دو مخزن تقسیم می‌شود ؛ درنتیجه هیچ نیروی گشتاوری به محور شمالی یا جنوبی وارد نشده تغییر جهت محوری متوقف می‌شود.

همین‌طور که زمین به حرکت خود ادامه می‌دهد، انتهای شمالی محور جایروسکوپ به‌طرف پایین کج شده جیوه به داخل مخزن شمالی جریان می‌یابد که یک نیروی گشتاوری به انتهای شمالی محور چرخان وارد می‌سازد ؛ از این‌رو جهت گردش محور معکوس شده در جهت شرق قرار می‌گیرد. کج شدن محور چرخان به‌طرف پایین ادامه داشته مقدار نیروی گشتاوری و سرعت تغییر جهت محوری افزایش می‌یابد.

زمانی که محور جایروسکوپ به نصف‌النهار می‌رسد، سرعت گردش محور آن دوباره به حداکثر رسیده در این موقع به طرف پایین کج می‌شود. پس از گذشتن جایروسکوپ ازنصف‌النهار، چرخش زمین باعث می‌شود که انتهای شمالی محور جایروسکوپ به طرف بالا شروع به کج شدن کند. مادامی‌که این عمل اتفاق می‌افتد، نیروی گشتاوری حول محور شمالی بتدریج به صفر رسیده حرکت تغییر جهت محوری حول محور عمودی آهسته می‌شود تا این‌که محور جایروسکوپ دو مرتبه افقی‌تر شده وتغییر جهت محوری متوقف می‌شود.

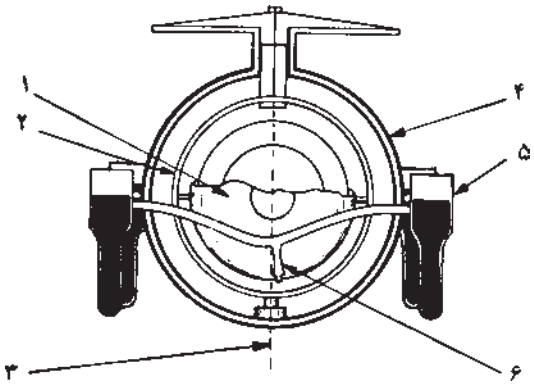
وقتی محور جایروسکوپ افقی می‌شود، محور به سمت نقطه شروع حرکت اولی خود برمی‌گردد. شکل (۲۱ــ۵) نشان می‌دهد که مسیر طی شده به‌وسیلهٔ محور شمالی جایروسکوپ شکل بیضی دارد و تا زمانی‌که روتور جایروسکوپ به چرخش خود ادامه دهد، جایروسکوپ به نوسان خود ادامه می‌دهد.



شکل ۲۱ــ۵ــ زمان تناوب قطب نمای میرا نشده در استوا

در این قطب نمای غیرپاندولی که از بالستیک جیوه ای استفاده می شود، میراشدن نوسانات با به کاربردن قسمتی از نیروی گشتاوری ایجاد شده به وسیله عمل نیروی جاذبه مؤثر بر بالستیک جیوه‌ای صورت می‌گیرد که در این صورت مقداری از انحراف که به‌وسیله گردش زمین به محور روتور داده شده از بین می‌رود.

همان‌طور که قبلاً در مبحث بالستیکهای جیوه‌ای شرح داده شد، مخزنها به‌طور مستقیم به دو انتهای محور روتور روی یاتاقانها نصب شده‌اند. در قطب نمای واقعی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، بالستیک در روی حلقه فانتوم طوری متکی شده است که تنها نقطه اتصال آنها با قسمت حساس جایروسکوپ از طریق یک بازوی اتصال بوده که در مقابل قسمت انتهای محفظه روتور مقاومت می‌کند (شکل ۲۲ــ۵). محفظه روتور مانند حلقه داخلی جایروسکوپ بوده، یاتاقانی را که محور بر روی آن می‌چرخد، نگاه می‌دارد.



۱ــ قفسه روتور
۲ــ حلقه عمودی
۳ــ خط مرکز
۴ــ قسمت فانتوم
۵ــ بالستیک جیوه‌ای
۶ــ بازوی اتصال خارجی

شکل ۲۲ــ۵ــ اجزای قطب نمای غیر پاندولی

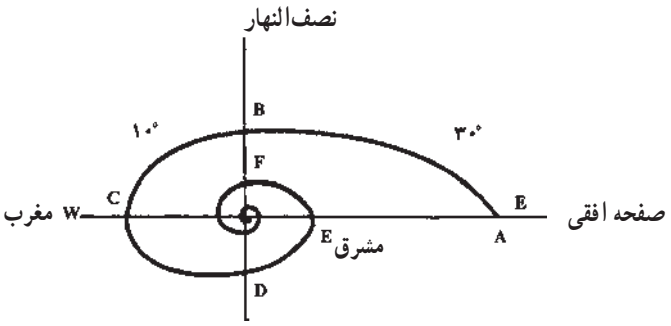
اگر نقطه اتصال بین بالستیک جیوه‌ای و محفظه روتور در یک خط با محور عمودی باشد، تنها نیروی گشتاوری که به‌وسیله بالستیک جیوه‌ای وارد می‌شود، به‌دور محور افقی اثر گذاشته تغییر جهت محوری حاصل تنها در حول محور عمودی انجام می‌گیرد. در این صورت قطب‌نما تنها در اطراف نصف‌النهار نوسان خواهد کرد.

درهرحال، اگر نقطه اتصال بین مخازن بالستیک و محفظه روتور به اندازه کسری از اینچ به‌طرف شرق محور عمودی قرار داده شود (شکل ۲۲ــ ۵)، نیروی ایجاد شده به‌وسیله بالستیک جیوه‌ای به هر دو محور افقی و عمودی اعمال شده نیروی گشتاوری به دور هر دو محور وارد می‌شود و سپس تغییر جهت محوری در حول هر دو محور عمودی و افقی رخ می‌دهد. تغییر جهت محوری در حول محورافقی خیلی آهسته‌تر از تغییر جهت محوری در حول محور عمودی صورت می‌گیرد، زیرا نقطه اتصال به‌فاصله خیلی کمی از محور عمودی تغییر محل داده شده است.

وقتی که قطب‌نما در ۳۰ درجه شرقی نصف‌النهار تراز شود (نقطه A شکل ۲۳ــ۵)، گردش زمین باعث بالا رفتن محور شمالی می‌شود. وقتی انتهای شمالی بالا رفت سبب می‌شود که جیوه به مخزن جنوبی منتقل شود.

اثر جاذبه زمین روی این جیوه اضافی در مخزن جنوبی باعث اعمال نیروهای گشتاوری در حول هر دو محور افقی و عمودی می‌شود. نیروی گشتاوری حول محور افقی باعث تغییر جهت محوری انتهای شمالی محور جایروکمپاس به سمت مغرب در حول محور عمودی می‌شود. نیروی گشتاوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت محوری انتهای شمالی محور قطب‌نمای جایرو به‌طرف پایین در حول محور افقی می‌شود. در این موقع، تغییر جهت محوری حول محور افقی با گردش ظاهری در حول محور افقی مخالفت می‌کند. تغییر جهت محوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت قطب‌نما به‌طرف نصف‌النهار می‌شود. در هرحال، قطب‌نما نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند (نقطه B شکل ۲۳ــ۵). زیرا در این موقع قطب‌نما در حداکثر انحراف خود است و به همین جهت دارای حداکثر سرعت تغییر جهت محوری در حول محور عمودی خواهد بود.

در حالی که جایرو تغییر جهت محوری داده از نصف‌النهار می‌گذرد، جهت گردش ظاهری در حول محور افقی و جهت تغییر جهت محوری در حول محور افقی هر دو به طرف پایین خواهند بود. این عمل باعث تراز جایرو می‌شود (نقطه C شکل ۲۳ــ۵).



شکل ۲۳ــ۵ــ مسیری که به وسیله محور شمالی یک قطب‌نمای غیر پاندولی میرا شده دنبال می‌شود.

هنگامی که محور تراز شد، تغییر جهت محوری به‌علت عدم اعمال نیروی گشتاوری به‌وسیله بالستیک جیوه‌ای متوقف می‌شود.

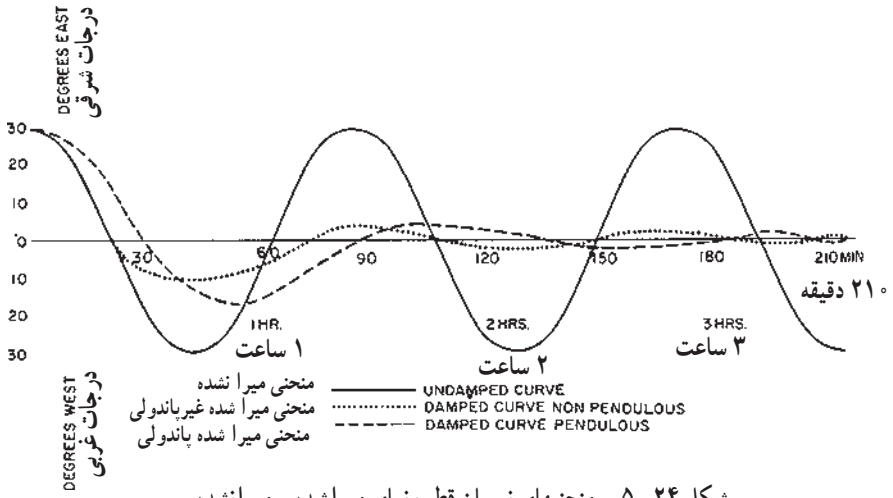
اگر نیروهای گشتاوری لازم و کافی اعمال شده باشند، قطب‌نما تنها به اندازه ۱۰ درجه از غرب نصف‌النهار دور شده، نوسان به اندازهٔ ۶۶ درصد کاهش می‌یابد.

مادامی‌که زمین به گردش خود ادامه می‌دهد، باعث می‌شود که قطب‌نما به حالت تراز باقی نماند. گردش ظاهری حول محور افقی سبب می‌شود که محور شمالی به طرف پایین کج شود. این عمل باعث انتقال جیوه به مخزن شمالی می‌شود. اثر جاذبه زمین بر روی این جیوه اضافی در مخزن شمالی موجب ایجاد نیروهای گشتاوری در حول محور افقی و عمودی می‌شود. نیروی گشتاوری حول محور افقی سبب تغییر جهت محوری درحول محور عمودی گردیده و انتهای شمالی به طرف مشرق حرکت می‌کند. نیروی گشتاوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت محوری در حول محور افقی شده و انتهای شمالی به طرف بالا حرکت می‌کند و دوباره با گردش ظاهری حول محور افقی مخالفت می‌کند.

تغییر جهت محوری حول محور عمودی باعث تغییر جهت محوری جایرو به‌طرف نصف‌النهار می‌شود (نقطه D شکل ۲۳ــ۵) و جایرو نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند، زیرا در این زمان دارای حداکثر انحراف و در نتیجه دارای حداکثر سرعت تغییر جهت محوری بوده و باعث می‌شود که جایرو با تغییر جهت محوری از نصف‌النهار بگذرد. اکنون که محور شمالی دوباره در شرق نصف‌النهار قرار دارد، گردش ظاهری حول محور افقی و سمت تغییر جهت محوری حول محور افقی باعث می‌شوند که محور شمالی با سرعت بیشتری تراز شود (نقطه E شکل ۲۳ــ۵). در این لحظه قطب‌نما

تقریباً به اندازه $3\frac{1}{3}$ درجه شرقی از نصف‌النهار دور می‌شود. این عمل میرایی تقریباً به اندازه $1\frac{1}{2}$ نوسان ادامه دارد ؛ سپس قطب‌نما روی نصف‌النهار قرار می‌گیرد.

برای مقایسه، منحنیهای نوسان یک قطب‌نمای میرا نشده (Undamping) و منحنیهای نوسان یک قطب‌نمای غیرپاندولی و پاندولی میرا شده در شکل (۲۴ــ۵) نشان داده شده‌اند. زمان تناوب نوسانات میرا شده برای هر دو قطب‌نما تا حدی بیشتر از زمان تناوب نوسانات میرا نشده بوده و همچنین زمان تناوب میرا شده قطب‌نمای پاندولی از قطب‌نمای غیرپاندولی بیشتر است.



شکل ۲۴ــ۵ــ منحنیهای نوسان قطب نمای میرا شده و میرا نشده

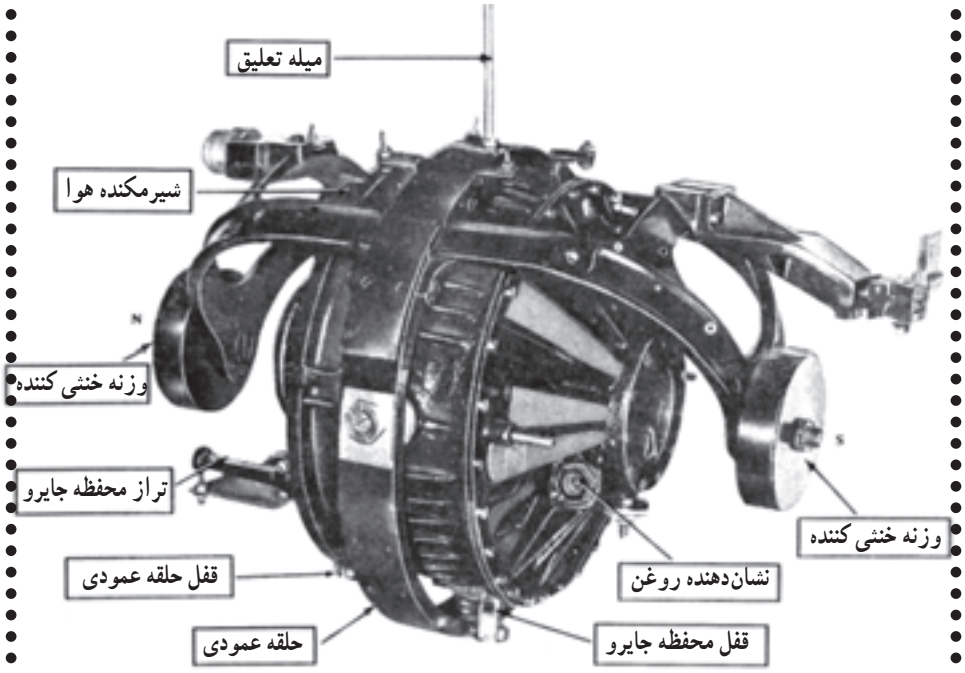
مقداری که هر نوسان متوالی از نصف‌النهار می‌گذرد به‌وسیله دستگاه میراکننده کاهش می‌یابد ؛ البته مقدار این کاهش در کلیه نوسانات یکسان نیست.

در قطب نمای پاندولی کاهش مقدار نوسان اول از نوسانات بعدی کمتر است. در قطب‌نمای غیر پاندولی، کاهش مقدار نوسان اول از نوسانات بعدی بیشتر است. میانگین مقداری که نوسانات متوالی بتدریج کاهش می‌یابند، درصد میرایی یا ضریب میرایی نامیده می‌شود. میانگین این مقدار در حدود ۷۰ درصد در قطب نماهای پاندولی و غیرپاندولی است.

۷ــ ۵ــ قسمتهای مختلف اِلمان حسّاس جایرو (Sensitive element)

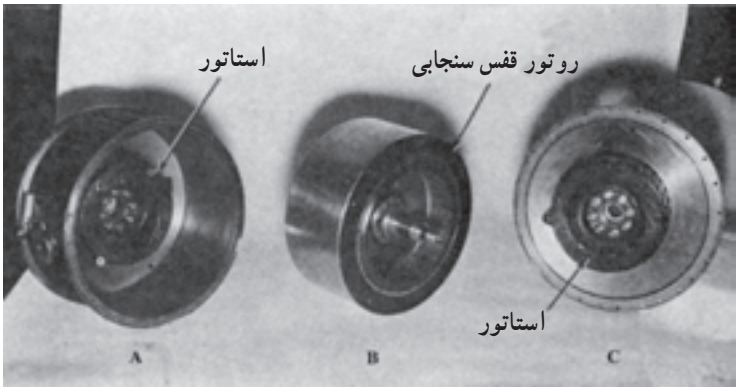
قسمت حساس جایرو که در شکل (۲۵ــ۵) نشان داده شده است، همان سیستم

شمال‌یاب قطب‌نما است. این قسمت شامل دستگاه جایرو، حلقه عمودی، وزنه‌های خنثی‌کننده، شاخص دنباله‌رو و قسمت مُعلّق است. اجزای قطب‌نمای جایرو اسپری مارک ۱۱ مدل ۶ به عنوان نمونه تشریح می‌شود.



شکل ۲۵ــ۵ــاجزای قسمت حسّاس قطب‌نمای اسپری مارک ۱۱ مدل ۶

۱ــ۷ــ۵ــ موتور جایرو ــ این دستگاه یک نیروی جهت‌دار برای قسمت حساس فراهم می‌سازد که باعث شمال‌یابی قطب‌نما می‌شود. این دستگاه شامل موتور و محفظه است (شکل ۲۶ــ۵).



شکل ۲۶ــ۵ــ A و C استاتور موتور جایرو. B روتور موتور جایرو

دور موتور جایرو خیلی زیاد است (درحدود ۱۱۰۰۰ دور در دقیقه). محفظه موتور شکل C و A (۲۶ــ۵) دارای یک سیم‌پیچ دو استاتوری سه فاز است که هر استاتور بر روی نیمی از محفظه سوار شده است.

محفظه، ضد نفوذ هوا است و موتور در خلأ کار می‌کند تا اصطکاک حاصل از مقاومت هوا را کم کند.

۲ــ۷ــ۵ــ حلقه عمودی ــ حلقه عمودی (شکل ۲۵ــ۵) به یک سیستم آویزان از قسمت سر فانتوم وصل شده است. حلقه فانتوم با حلقه عمودی متحدالمرکز بوده، قسمت حساس را کاملاً احاطه کرده است. یاتاقانهای نگاه‌دارنده فوقانی و تحتانی از حرکات عرضی حلقه عمودی در داخل حلقه فانتوم جلوگیری می‌کند. جدار خارجی یاتاقان بالایی به‌وسیله حلقه فانتوم نگاه داشته می‌شود و جدار داخلی یاتاقان از بست پایینی قسمت معلق تشکیل شده است. همچنین جدار خارجی یاتاقان پایینی در انتهای حلقه عمودی متصل شده و جدار داخلی از یک بست عمودی که از انتهای حلقه فانتوم به طرف بالا رفته، تشکیل شده است. برای جلوگیری از انحراف محفظه جایرو حول محور افقی خود هنگامی‌که قطب‌نما کار نمی‌کند. یک قفل برای محفظه جایرو تعبیه شده است. همچنین یک قفل نیز برای حلقه عمودی به منظور هم خط نگاه داشتن حلقه عمودی با حلقه فانتوم درنظر گرفته شده است.

۳ــ۷ــ۵ــ وزنه‌های خنثی‌کننده ــ وزنه‌های خنثی‌کننده (شکل ۲۵ــ۵) به‌وسیله دو قاب که به حلقه عمودی متصل است، نگهداری می‌شوند. این قابها در پشت دو انتهای محور روتور قرار گرفته‌اند. عمل این وزنه‌ها برای متعادل کردن وزن جایرو در اطراف محور عمودی است. آرمیچر انتقال‌دهنده سیگنال یا ترانسفورمر دنباله‌رو به یک بازو متصل است که به‌طور افقی از قسمت بالایی قاب وزنه خنثی‌کننده جنوبی بیرون آمده است.

۴ــ۷ــ۵ــ شاخص دنباله‌رو (فالو آپ) ــ شاخص دنباله‌رو وضعیت حلقه فانتوم را نسبت به اِلمان حسّاس نشان می‌دهد. این شاخص از یک صفحهٔ مدرّج و یک عقربه تشکیل شده است. صفحه برحسب درجه مدرّج شده و مرکز آن با حرف «O» نشان داده شده است تا در صورت وجود انحراف بین فانتوم و اِلمان حسّاس مشخص شود.

۵ــ۷ــ۵ــ سیمهای تعلیق اِلمان حسّاس (رابط نگاه دارنده) ــ سیمهای تعلیق (شکل ۲۵ــ۵) تمام اِلمان حسّاس را از قسمت فانتوم آویزان نگاه می‌دارند. این

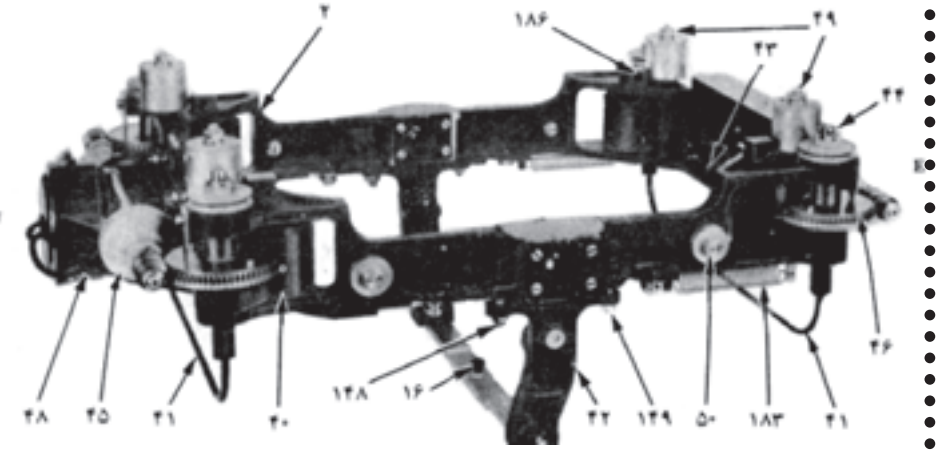
قسمت شامل تعدادی سیمهای باریک فولادی است که از انتهای بالایی به یک بست نگاه دارنده و از انتهای پایین به یک بست هدایت‌کننده متصل شده‌اند. یک مهره تنظیم، بست نگاه‌دارنده را به قسمت فانتوم متصل می‌کند و وسیله‌ای است برای نگاه داشتن قسمت حساس به‌صورت عمودی. بست راهنما (Guide Stud) از طریق یک حفره که در قسمت بالایی حلقه عمودی قرار داده شده، عبور کرده و به‌وسیله یک مهره به‌حلقه، اتصال داده شده است.

بالستیک جیوه‌ای ــ بالستیک جیوه‌ای (متعادل کننده جیوه‌ای) از قسمتهایی تشکیل یافته که نیروی کنترل کننده جاذبه را به دستگاه جایرو اعمال کرده و باعث می‌شوند که جایرو شمال‌یابی کند. این قسمت دارای یک قاب ثابت است که روی یاتاقانهای حلقه فانتوم نگهداری می‌شود. این یاتاقانها با یاتاقانهای محفظه افقی در حلقه عمودی طوری در یک خط قرار گرفته‌اند که بالستیک جیوه‌ای بتواند آزادانه درحول محور مشرق ــ مغرب قسمت حساس کج شود.

قاب مزبور در هر یک از چهار گوشه خود یک مخزن جیوه دارد. مخزنهای شمالی و جنوبی در کنارهٔ شرقی قطب‌نما به‌وسیله یک لوله «U» شکل و مخزنهای شمالی و جنوبی در کنارهٔ غربی نیز به همین ترتیب به یکدیگر ارتباط یافته‌اند. نیروی کنترل‌کننده جاذبه بالستیک جیوه‌ای از طریق بست قابل تنظیم یاتاقان که روی بازوی اتصال بالستیک سوار است، به انتهای محفظه جایرو اعمال می‌شود (شکل ۲۷ــ۵).

یاتاقان اتصال از محور عمودی به اندازه کمی به طرف مشرق منحرف می‌شود تا مقدار میرایی تنظیم شود. هنگامی که حذف میرایی مورد نظر باشد، یک سولونوئید (یا مغناطیس حذف کننده میرایی) به وسیله یک کلید خودکار (حذف کننده میرایی) تحریک شده یک پیستون را جذب می‌کند که جذب این پیستون موجب حرکت بازویی می‌شود و تا وقتی که یاتاقان اتصال با محور عمودی جایرو در یک خط قرار گیرد، حرکت آن ادامه خواهد داشت.

علاوه بر این، هر مخزن جیوه از پایه نگاه‌دارنده خود طوری منحرف می‌شود که بتواند به دور شاخهٔ خود در قوسی برابر ۱۱۰ درجه بچرخد تا بازوی اهرم هریک از مخزنها را تکان دهد. به این ترتیب زمان تناوب یک نوسان میراکننده قطب‌نمای جایرو در تمام طولهای جغرافیایی به وسیله میزان کردن مخازن جیوه ثابت نگاه داشته می‌شود. این تنظیم کردن را تنظیم طول جغرافیایی بالستیک می‌نامند.



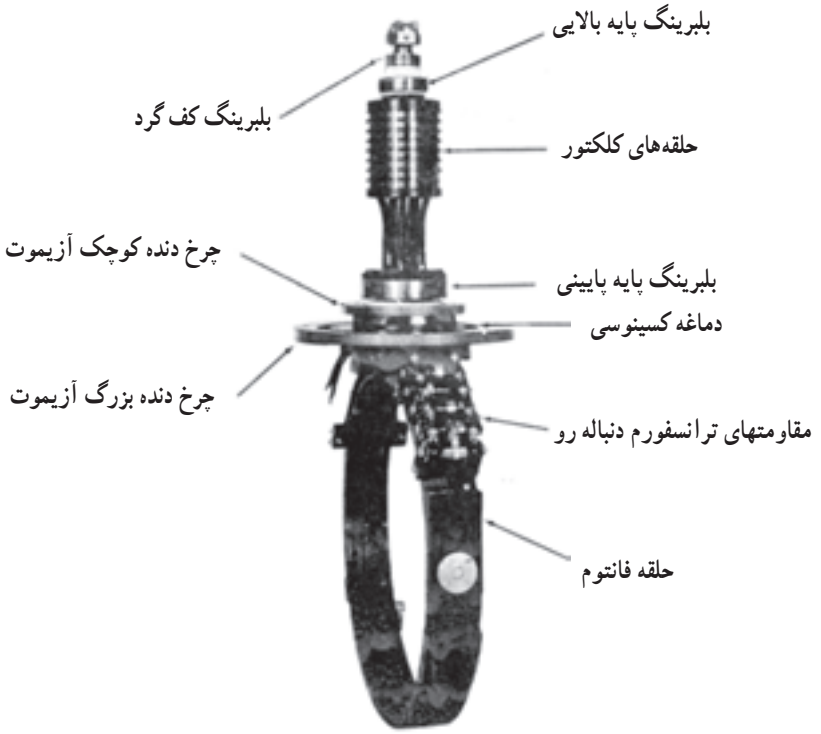
۲قاب بالستیک جیوه‌ای
۱۶ بست اتصال
۴۰ مخازن جیوه
۴۱ لوله جیوه
۴۲ بازوی اتصال
۴۳ بست نگاه دارنده بالستیک جیوه‌ای
۴۴ مهره نگهدارنده مخزن جیوه‌ای
۴۵ چرخ تنظیم طول جغرافیایی
۴۶ صفحهٔ مدرّج طول جغرافیایی
۴۸ مغناطیس حذف کنندهٔ میرایی
۴۹ وزنه‌های بالانس کنندهٔ غیر پاندولی
۵۰ وزنه‌های بالانس کنندهٔ افقی
۱۴۸ پیچ تنظیم غیر میرایی
۱۴۹ تنظیم میرایی
۱۸۳ فنر اتصال مغناطیس
۱۸۶ حفره‌های پیچ تراز کننده

شکل ۲۷ــ ۵ــ بالستیک جیوه‌ای

۸ــ۵ــقسمت فانتوم (نگاه‌دارنده اِلمان حسّاس)

فانتوم (شکل ۲۸ــ۵) از مجموعه قسمتهایی که قسمت حساس را نگهداری می‌کند، تشکیل شده است. این قسمت یک استوانه توخالی است که به‌طور شعاعی از حلقه فانتوم خارج شده است. قست فانتوم به‌وسیله سیمهای تعلیق، قسمت حساس را نگاه می‌دارد و از خود هیچ‌گونه خاصیت شمال‌یابی ندارند، اگرچه همواره جهت شمال را نشان می‌دهد (زیرا طوری ساخته شده که تمام حرکات قسمت حساس را به‌وسیلهٔ عمل سیستم تعقیب‌کننده دنبال می‌کند).

یک یاتاقان کف گِرد روی بدنه در مرکز دستگاه اسپایدر مطابق شکل (۲۸ــ۵) قرار گرفته است و وزن قسمتهای فانتوم و حساس را تحمل می‌کند. یاتاقانهای بالایی



شکل ۲۸ــ۵ ــ قسمت فانتوم اسپری مارک ۱۱

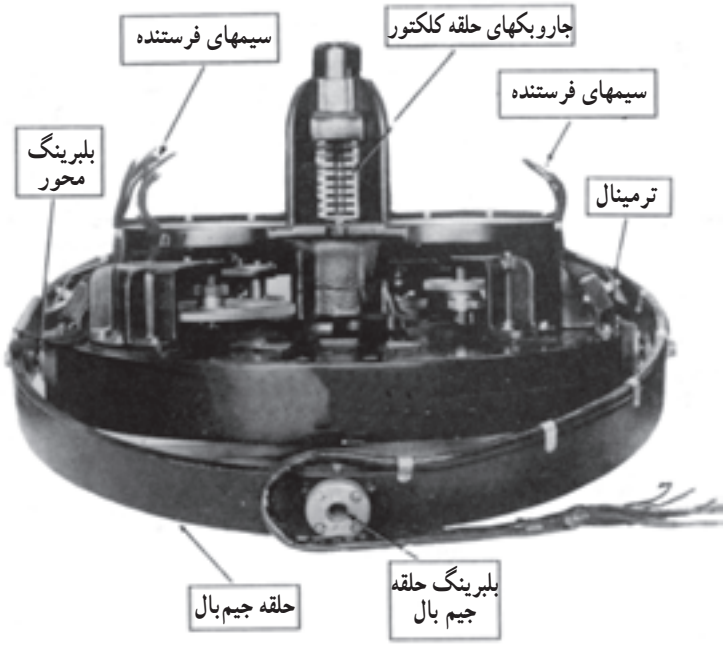
و پایینی بدنه، آن را با محور عمودی اسپایدر در یک خط نگاه می‌دارند، اما قسمت فانتوم را آزاد می‌گذارند تا در حول محور عمودی خود بچرخد.

حلقه فانتوم همچنین یاتاقانهایی را که حامل بالستیک جیوه‌ای هستند،نگاه می‌دارد. محور این یاتاقانها با محور یاتاقانهای افقی دستگاه جایرو منطبق هستند. حلقه‌های کلکتور روی بدنه فانتوم در زیر یاتاقان بالایی بدنه سوار شده‌اند تا مدارهای مختلف الکتریکی را از قسمت ثابت به قسمتهای متحرک قطب‌نما اتصال دهند. چرخ‌دنده‌های بزرگ و کوچک آزیموت در مکانیزم آزیموت دنباله‌رو قرار دارند.

اسپایدر ــ اسپایدر (شکل ۲۹ــ۵) یک میز دایره‌ای ازجنس آلیاژ آلومینیوم است که تمام قسمت داخلی یا متحرک قطب‌نما را به‌وسیله دستگاهی که روی آن یاتاقانهای کف‌گرد قرار دارند ؛ نگاه می‌دارد.

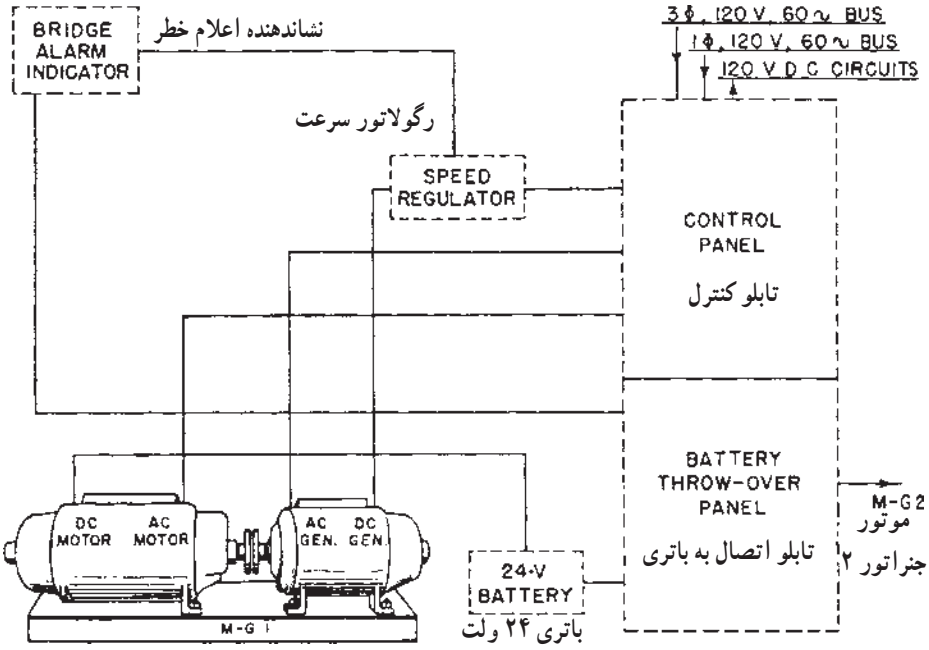
۹ــ۵ــ سیستم کنترل جایرو

سیستم کنترل و اعلام خطر جایرو شامل یک موتور جنراتور، رگولاتور سرعت، پانل کنترل، پانل تغذیه از باتری و سیستم اعلام خطر است. کلید نشاندهنده‌ها و کلیدهای



شکل ۲۹ــ۵ــ اسپایدر جایروی اسپری مارک ۱۱

کنترل بر روی پانل کنترل نصب شده‌اند. شکل (۳۰ــ۵) قسمتهای مختلف یک سیستم کنترل جایرو را نشان داده است.



شکل ۳۰ــ۵ــ سیستم کنترل و اعلام خطر

سیستم تغذیه جایرو شامل منبع اصلی و اضطراری است که سیستم اصلی آن برق سه فاز متناوب و برق اضطراری آن منبع جریان مستقیم باتری است.

۱ــ۹ــ۵ــ موتور جنراتور ــ برای هر دستگاه جایرو، یک کنورتور مجزا درنظر گرفته شده است. هر دستگاه کنورتور شامل یک موتور القایی، یک موتور اضطراری DC، یک جنراتور AC و یک جنراتور DC است. موتور القایی و موتور اضطراری DC روی یک شافت مشترک در داخل یک قاب سوار شده‌اند. جنراتور AC و جنراتور DC همچنین روی یک شافت مشترک در داخل یک پوسته قرار گرفته‌اند. شافتهای این دو واحد به‌طور مستقیم متصل شده‌اند.

۲ــ۹ــ۵ــ سیستم تغذیه از باتری ــ هر دستگاه موتور جنراتور به‌صورت یک واحد کامل درآمده و روی یک صفحهٔ نگاه‌دارنده سوار شده است. تحت شرایط عادی، موتور القایی عامل تحرک جنراتور AC و جنراتور DC است و در صورت قطع برق، موتور القایی تحرک لازم را از طریق موتور DC که از برق باتری تغذیه می‌کند، به‌دست می‌آورد.

۳ــ۹ــ۵ــ تنظیم‌کننده سرعت (تابلو کنترل) ــ تنظیم‌کننده سرعت دستگاهی است که تغییرات ولتاژ منبع تغذیه یا فرکانس آن را جهت ثابت نگاه داشتن سرعت موتور القایی کنترل می‌کند؛ بنابراین ولتاژ اعمال شده به موتور جایرو دارای مقداری ثابت است.

۱۰ــ۵ــ موارد استفاده جایرو

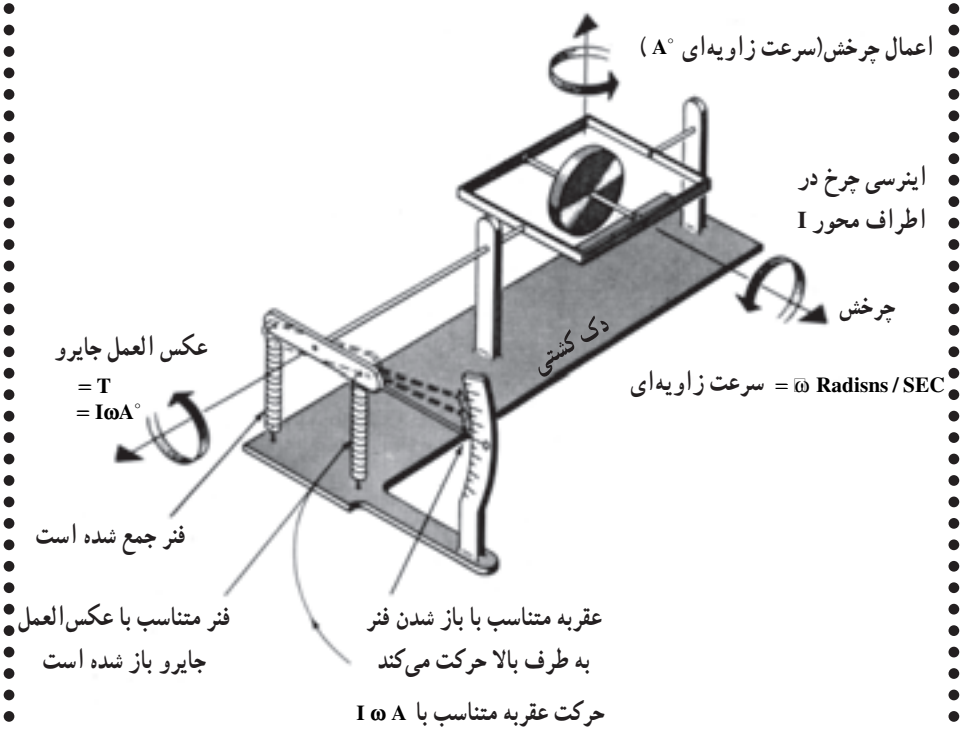
جایروها به دو صورت کلّی استفاده می‌شوند: نوع اول جایروهایی که از طریق یکی از محورها مهار شده‌اند (Constrained Gyro) و دیگری جایرویی که از سه درجه آزادی برخوردار است (FREE GYRO).

جایرو مهار شده (Constrained Gyro) ــ جایرویی که یک درجه آزادی آن به‌وسیله یک فنر یا یک موتور گشتاوری ثابت شده و ممکن است به دو صورت استفاده شود.

نوع اول ــ تغییر جهت محوری به جایرو اعمال و عکس‌العمل جایرو اندازه‌گیری می‌شود. این اصول کار یک مشتق‌گیر که شتاب را محاسبه می‌کند می‌باشد (Rate Gyro) دراشکال (۳۱ــ۵ و ۳۲ــ۵) نمونه‌هایی از مشتق‌گیرها برای اندازه‌گیری شتاب چرخش

کشتی و اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خط دید (Line of Sight) تشریح می‌شود.

همان‌گونه که درشکل (۳۱ــ۵) نشان داده شده است، کشتی نیروی موردنیاز تغییر جهت محوری را با تغییر راه ایجاد کرده و در نتیجه فنر سمت چپ مهارکننده محور جمع و فنر سمت راست باز می‌شود. از این طریق عکس‌العمل جایرو که همان شتاب تغییر راه کشتی است، اندازه‌گیری می‌شود.

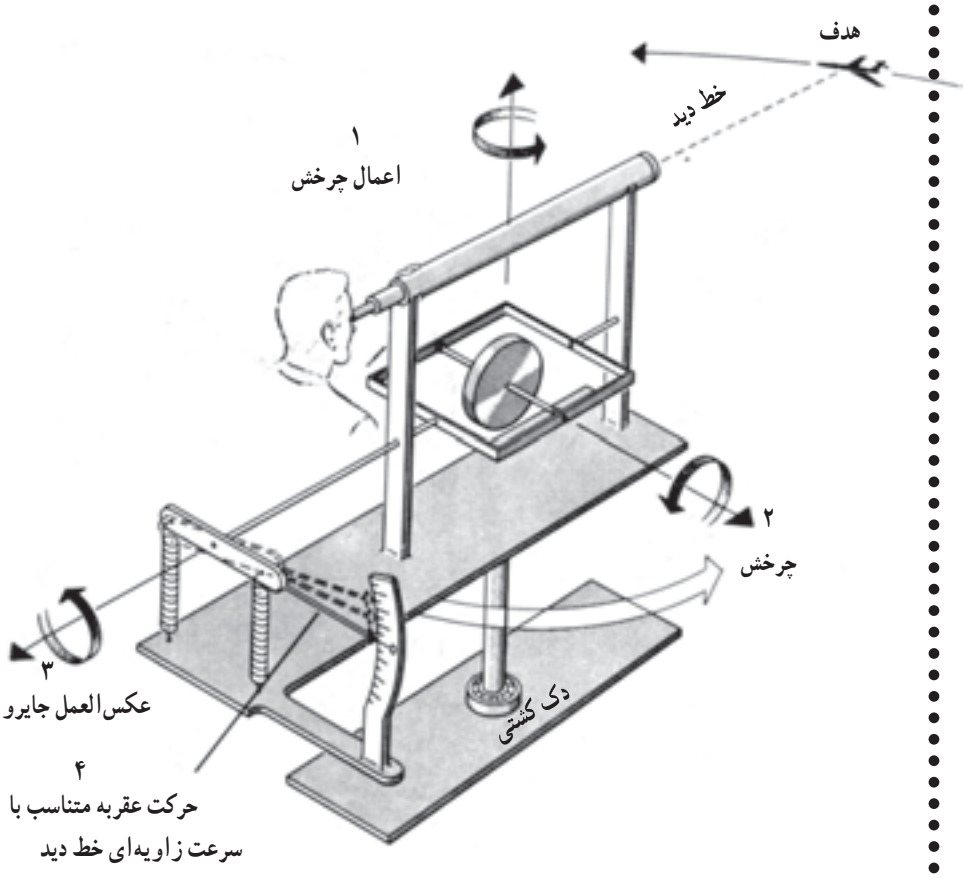


شکل ۳۱ــ۵

در شکل (۳۲ــ۵) اصول جایروی مشتق‌گیر (شتاب‌سنج) که برای اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خط دید (Line of Sight) است، نشان داده شده است. وقتی تلسکوپ به‌دنبال هدف حرکت داده می‌شود،تغییر جهت محوری حاصل موجب تغییر حالت فنرها شده و در نتیجه عکس‌العمل جایرو اندازه‌گیری می‌شود.

نوع دوم ــ استفاده دیگر از جایروی مهار شده (Constrained Gyro) عبارت است از اعمال گشتاور و اندازه‌گیری تغییر جهت محوری. در این حالت جایرو به‌صورت یک انتگرال‌گیر عمل می‌کند، زیرا تغییر گشتاور ورودی برحسب زمان را محاسبه

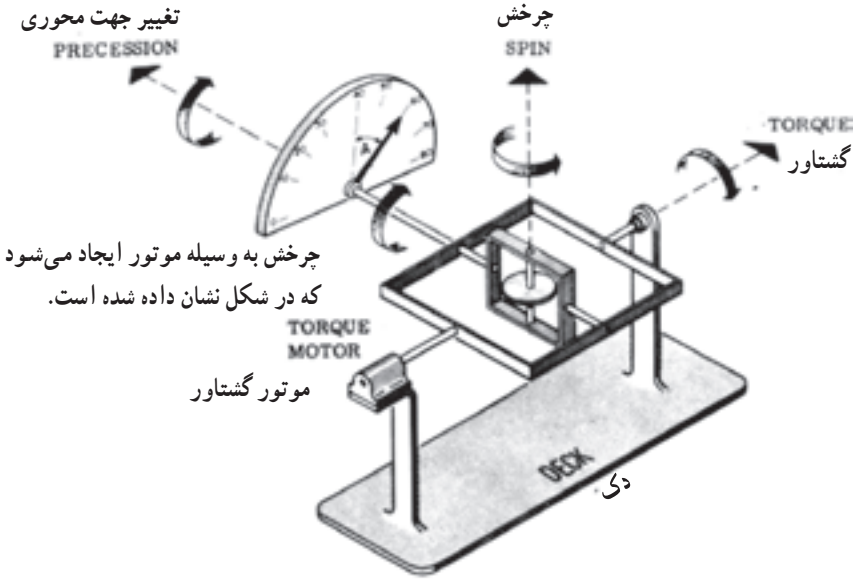
می‌کند. در جایروی نوع اخیر یعنی انتگرال‌گیرها می‌توان با مشاهدهٔ تغییر زاویه محوری، انتگرال گشتاور را برحسب زمان محاسبه کرد.



شکل ۳۲ــ ۵

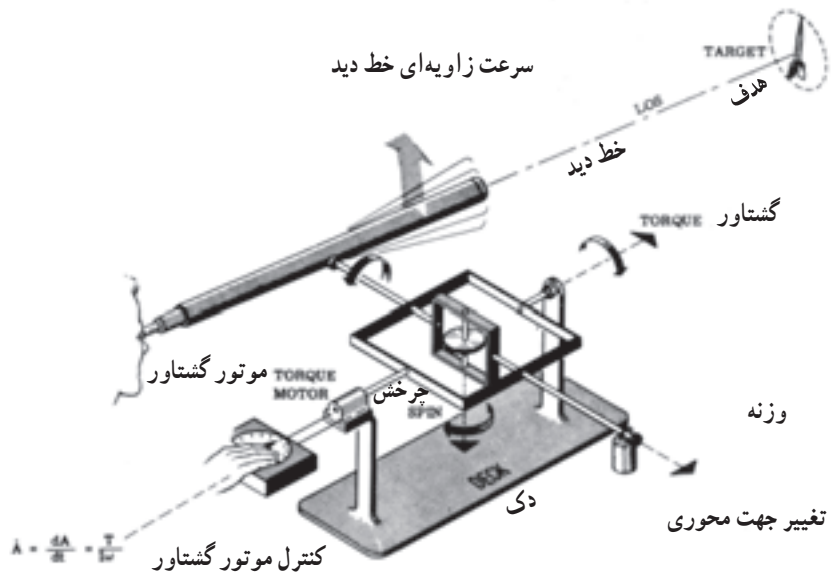
در یک انتگرال‌گیر می‌توان با مشاهده زاویه تغییر جهت محوری، انتگرال گشتاور را نسبت به زمان محاسبه کرد یا این‌که نیروی گشتاوری را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که جایرو خط دید (Line of Sight) را دنبال کند.

انتگرال‌گیر مستقیم ــ گشتاوری متناسب با مقدار مورد لزوم به جایرو اعمال و موجب تغییر جهت محوری می‌شود. با توجه به این‌که شتاب تغییر جهت محوری متناسب با گشتاور است، زاویه تغییر جهت محوری با انتگرال گشتاور نسبت به زمان متناسب است (شکل۳۳ــ۵).



شکل ۳۳ــ ۵

جایروی انتگرال‌گیر می‌تواند سرعت زاویه را همچنین از راه غیرمستقیم اندازه‌گیری کند. فرض کنید می‌خواهیم سرعت زاویه‌ای خط دید (L.O.S) را که بر روی هدفی متحرک حرکت می‌کند، اندازه‌گیری کنیم. در شکل (۳۴ــ۵) یک تلسکوپ به جایرو متصل است و جایرو به‌گونه‌ای تنظیم شده است که حرکت تلسکوپ حاصل از تغییر جهت محوری و خط دید (L.O.S) هر دو یک مسیر را طی می‌کنند.



شکل ۳۴ــ ۵

گشتاوری به جایرو اعمال می‌شود و آنقدر تغییر می‌کند تا این‌که هدف به‌طور دقیق بر روی محور تلسکوپ تنظیم شود.

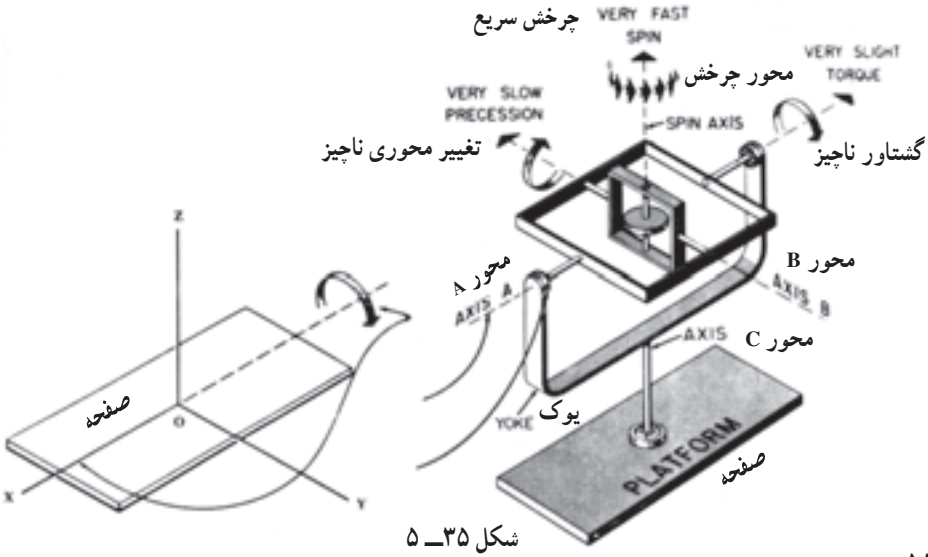
همان‌گونه که ملاحظه شد، گشتاور به ورودی سیستم اعمال و تغییر جهت محوری در خروجی ظاهر گردید یا به عبارت دیگر خروجی انتگرال ورودی است.

ما دریافتیم که با چه مقدار ورودی می‌توانیم خروجی سیستم را برای دنبال کردن هدف تنظیم کنیم. چنین روشی را انتگرال‌گیر غیرمستقیم می‌نامند.

جایروی آزاد (FREE Gyro) ــ تفاوت جایروی آزاد و جایروی مهار شده در این است که جایروی آزاد می‌تواند در هر سه محور آزادی عمل داشته باشد. با استفاده از اصول آن می‌توان یک مرجع با جهت ثابت تعیین کرد. موارد استفاده آن را می‌توان در المان ثابت (Stable Element) برای مرجع عمودی و در جایرو کمپاس برای مرجع افقی نام برد. ابتدا شرحی در رابطه با خصوصیاتی از جایرو که به‌عنوان یک مرجع با جهت ثابت عمل می‌کند خواهیم داشت.

فرض کنید یک جایروی سنگین و بزرگ در حال چرخش که آزادی حرکت در سه محور دارد، بر روی صفحه‌ای (Plat form) که قادر است در حول هر یک از سه محور Ox و Oy و Oz حرکت کند، نصب شده است.

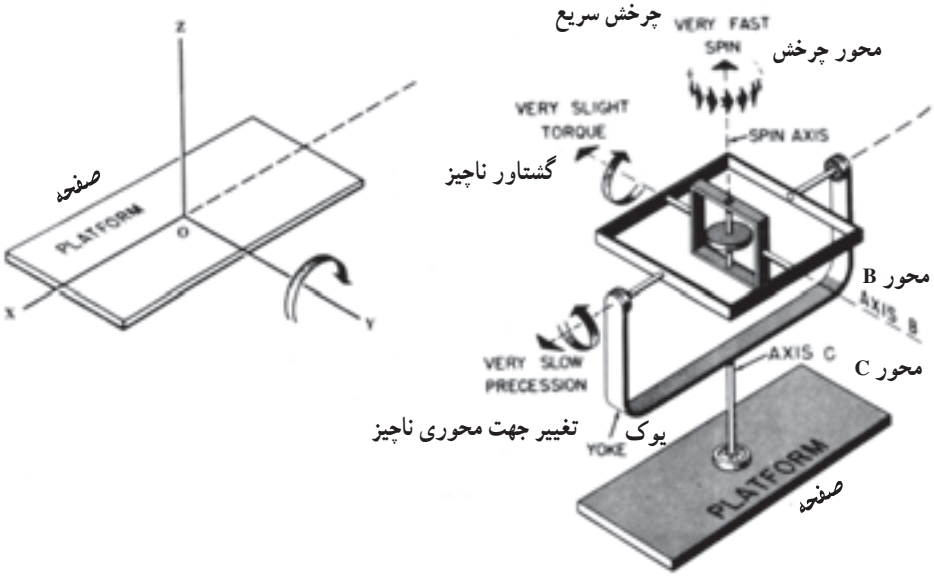
اگر صفحه حول محور Ox بچرخد، گشتاور ناچیزی که در اثر اصطکاک بلبرینگها به‌وجود می‌آید به محور A وارد می‌شود و حاصل آن یک تغییر جهت محوری آرام به اطراف محور B است (شکل۳۵ــ۵).



شکل ۳۵ــ ۵

بنابراین وقتی که صفحه حول محور Ox می‌چرخد، محور B در وضعیت افقی و محور چرخش جایرو به حالت عمودی باقی می‌ماند.

حال اگر صفحه به دور محور Oy به‌جای محور Ox بچرخد، یک گشتاور ناچیز که از اصطکاک بین محور B و بلبرینگهای آن حاصل می‌شود و یک تغییر جهت محوری ناچیز حول محور A، موجب می‌شود که محور X همراه با صفحه (Plat form) منحرف شود ؛ اما محور B هیچ‌گونه چرخش در فضا نداشته بنابراین محور چرخش به‌صورت عمودی ثابت می‌ماند.

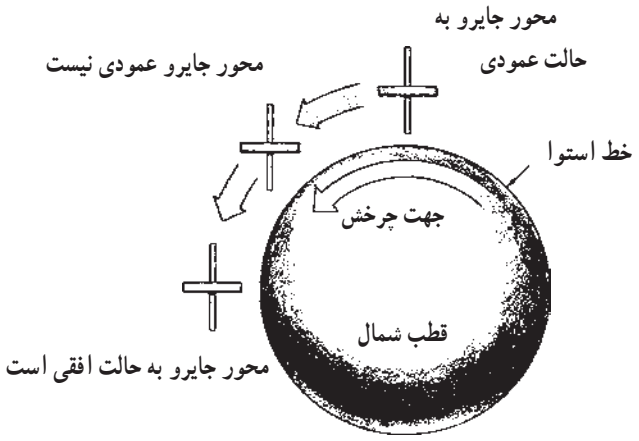


شکل ۳۶ــ ۵

در نتیجه با چرخش جایرو حول محورهای x و y وضعیت جایرو در فضا ثابت می‌ماند، اما با چرخش حول محور Oz جیم‌بال داخلی ثابت نمی‌ماند. دلیل این امر به‌خاطر موازی بودن محور گشتاور ایجاد شده (در بلبرینگهای محور C) با محور چرخش است ؛ بنابراین تغییر جهت محوری در جایرو حاصل نمی‌شود و در نتیجه حتی گشتاور کوچکی نیز موجب چرخش جیم‌بال‌ها و جایرو همراه با پایه خواهد شد.

برای این که پایداری سیستم حول OC میسر شود باید دومین جایرو به گونه‌ای نصب شود که محور چرخش آن افقی باشد ؛ بدین‌منظور می‌تواند به جیم‌بال داخلی نصب شود.

در سال ۱۸۵۲ لئون فوکالت با استفاده از این خاصیت، چگونگی چرخش زمین را نشان داد. برای درک بهتر جایرو در روی خط استوا قرار داده شده است (شکل ۳۷ـ۵).



شکل ۳۷ـ ۵

از این خاصیت (پایداری تعادل) می‌توان از دو روش اصلی استفاده کرد : یکی برای اندازه‌گیری چرخش صفحه (Plat form) و دیگری برای ایجاد دومین صفحه تعادل (Stable Plat form). به‌طور عمومی می‌توان چنان بیان کرد که یک جایروی آزاد (FREE GYRO) همراه با متعلقات کمکی می‌تواند ایجاد کننده یک مرجع ثابت باشد.

پرسش

۱ـ جایروسکوپ چیست؟

۲ـ خواص جایروسکوپی را نام ببرید و هر یک را تعریف کنید.

۳ـ پایداری یک جایرو را چگونه می‌توان افزایش داد؟

۴ـ گشتاور را تعریف کنید.

۵ـ چگونگی وضع جایروسکوپ را از دید ناظری که در سطح زمین و در کنار جایروسکوپ است تشریح کنید.(جایروسکوپ روی خط استوا قرار دارد).

۶ـ سه شرط لازم برای تبدیل جایروسکوپ به قطب‌نمای جایرو را به‌طور مختصر شرح دهید.

فصل ششم

عمق یاب

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود در پایان این فصل :
۱ــ مبانی و قوانین امواج صوتی در آب را شرح دهد.
۲ــ نحوه کار عمق‌یاب را روی دستگاه نشان دهد.
۳ــقسمتهای تشکیل‌دهنده عمق‌یاب را روی دستگاه عملاً نشان دهد.
۴ــ کار ثبت‌کننده را توضیح دهد.
۵ــکار فرستنده را توضیح دهد.
۶ــکار گیرنده را توضیح دهد.
۷ــکار نشاندهنده چراغی را شرح دهد.
۸ــکار ترانسدیوسر را بیان کند.
۹ــنحوهٔ استفاده و نحوهٔ کنترل عمق یاب را روی دستگاه نشان دهد.
۱۰ــ طرز کار ماهی‌یاب را توضیح دهد.

۱ــ۶ــ مبانی و قوانین امواج صوتی در آب

عمق‌یاب دستگاه الکترونیکی است که برای اندازه‌گیری عمق آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سال ۱۹۲۵ به عنوان یکی از دستگاههای مهم ناوبری که تقریباً بر روی همهٔ کشتیها نصب می‌شود، مدّ نظر بوده است.

تعریف پژواک ــ پژواک عبارت است از دریافت انعکاس صدا بر اثر برخورد آن با مانع. مهمترین نکته مهم درباره پژواک این است که همواره با یک تأخیر زمانی نسبت به صوت اصلی شنیده می‌شود. یا به عبارت دیگر، یک فاصله زمانی هرچند کوتاه بین تولید صدا و دریافت پژواک وجود دارد. وجود چنین پدیده‌ای به دلیل زمانی است که امواج صوتی برای حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر تلف می‌کنند ؛ بنابراین قبل از این که امکان شنیدن پژواک در مرکز ایجاد صدا وجود داشته باشد،

لازم است که صوت ۲ برابر فاصله بین منبع و مانع را طی کرده باشد. این واقعیت و همچنین سرعت ثابت صوت در آب، به عنوان اصول کار عمق‌یاب مدّنظر قرار می‌گیرد.

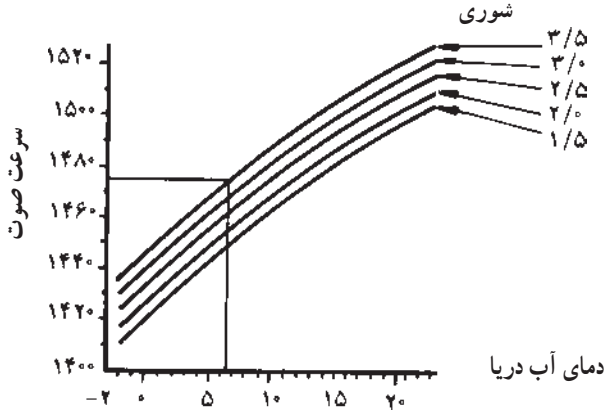
حرکت صدا در آب ــ حرکت صدا در آب به مراتب سریعتر از حرکت صدا در هوا است و می‌تواند مسافت زیادی را قبل از این که کاملاً میرا یا ضعیف شود طی کند. سرعت صوت در آب تا حدی به درجه حرارت، فشار و غلظت آب بستگی دارد، اما تا آنجا که در رابطه با کار عمق‌یاب مربوط می‌شود تغییراتش ناچیز و قابل اغماض است.

در مواردی که نیاز به دقت بیشتری باشد، تصحیحات مورد نظر با توجه به تغییرات درجه حرارت، فشار و غلظت (درجه شوری) با استفاده از جدولهای مربوط اعمال می‌شود.

سرعت متوسط صوت در آب برای اکثر عمق‌یاب‌ها ۱۵۰۰ متر بر ثانیه (۴۹۲۰ فوت بر ثانیه) درنظر گرفته می‌شود ؛ بنابراین طراحی کلیهٔ اجزای دستگاه و محاسبات بر همین اصل استوار است. چنانچه عمق‌یاب به‌طور دقیق برای آب شور تنظیم شده باشد، عمق واقعی در آب شیرین در حدود ۳ درصد کمتر از عمق خوانده شده است.

در این‌گونه موارد در صورت لزوم می‌توان تصحیحات لازم را به مورد اجرا گذاشت. شکل (۱ــ۶) منحنیهای سرعت صوت را در مقابل دما برای درجات شوری مختلف آب نشان می‌دهد.

در حالت کلی می‌توان از سرعت میانگین صوت در آب استفاده کرد، زیرا در آبهای کم‌عمق، اختلافات مربوط به عمق خوانده شده که تحت تأثیر دما و درجه شوری و فشار قرار می‌گیرند، کوچک هستند و در عمقهای زیاد، این اختلافات از نظر دریانوردی دارای اهمیت کمتری هستند.

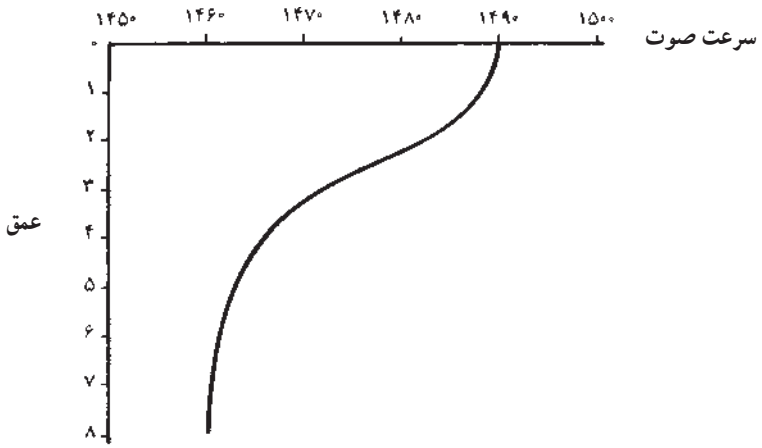


شکل ۱ــ۶ــ نسبت بین دمای آب و سرعت صوت در آب دریا برای درجات شوری مختلف

به‌عنوان نتیجه‌گیری از وضعیت فشار در اعماق مختلف (جدا از اثر دما و شوری آب) می‌توان این اصل را درنظر گرفت که به ازای هر ۱۰۰ متر ازدیاد عمق، ۱/۸ متر در ثانیه سرعت صوت افزایش پیدا می‌کند.

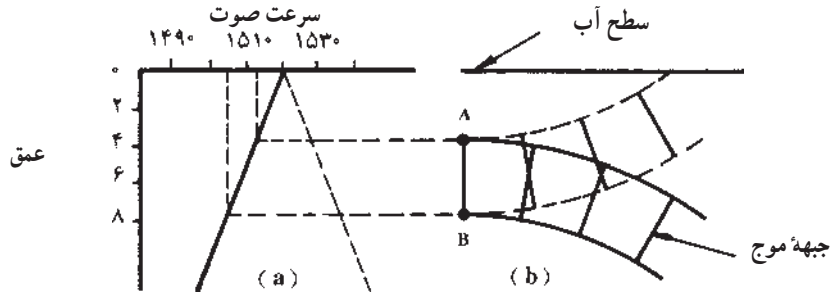
اختلافات مربوط به دما و درجه شوری آب در اعماق بیشتر تأثیر بیشتری بر روی سرعت امواج صوتی می‌گذارند ؛ بنابراین، سرعت صوت همزمان با زیاد شدن عمق می‌تواند افزایش یا کاهش پیدا کند. بعضی مواقع سرعت صوت در لایه‌های بالایی آب کاهش پیدا می‌کند و دوباره در لایه‌های پایین‌تر افزایش پیدا می‌کند.

شکل (۲ــ۶) مثالی از سرعت در مقابل افزایش عمق را نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۶ــ سرعت صوت ممکن است با تغییر عمق افزایش یا کاهش یابد.

جبههٔ موج (Wave front) یک پرتو، به‌صورت سطحی عمود بر جهت انتشار صدا است. در برخی از دستگاهها مانند سونار، جهت پرتو به صورت افقی انتشار یافته در این جهت جبهه موج به‌صورت سطح عمودی ظاهر می‌شود (شکل ۳ــ۶).



شکل ۳ــ ۶ــ چنانچه سرعت صوت در نقطه A بیش از نقطه B باشد، پرتو به طرف پایین خم خواهد شد و اگر کمتر از نقطه B باشد، به طرف بالا انحنا پیدا خواهد کرد.

چنانچه در نقطه‌ای مانند A سرعت صوت بیش از نقطه B باشد، شکست پرتو رو به پایین خواهد بود و چنانچه سرعت در نقطه A کمتر از نقطه B باشد، پرتو به‌طرف بالا انحناء پیدا می‌کند.

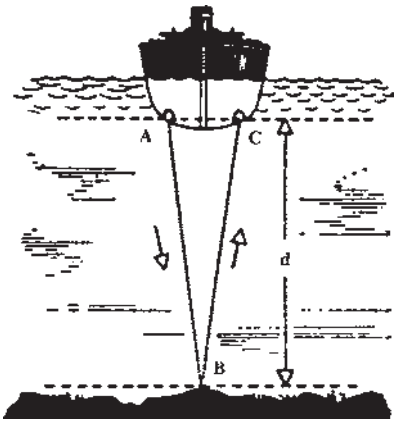
هنگامی که پرتو به سطح آب رسید، معمولاً به‌طرف پایین منعکس خواهد شد. در عمق‌یابها چون به‌صورت عمودی و رو به پایین انتشار می یابد، انکساری (انحناء پرتو) رخ نخواهد داد.

تعداد پالسهایی که در هر دقیقه به‌وسیله عمق‌یاب انتشار می‌یابد، در حدود بین ۱۰ تا ۶۰۰ پالس است و فرکانس ارتعاشات صوتی بین ۱۰ کیلوهرتز و ۵۰ کیلوهرتز است. گوش انسان تنها قادر به‌شنیدن ارتعاشات صوتی با فرکانسهای در حدود بین ۱۰۰ هرتز تا ۱۸ کیلوهرتز است. فرکانسهای استفاده شده در این سیستم، خارج از محدوده برد شنوایی بوده آنها را فرکانسهای مافوق صوت (Ultrasonic) می‌گویند.

علت اصلی استفاده از فرکانسهای مافوق صوت این است که ماشین‌آلات و همچنین حرکت خود کشتی ارتعاشاتی در محدوده فرکانسهای شنوایی تولید می‌کنند. اگر ترانسدیوسر گیرنده، قابلیت تشدید فرکانس بالاتری را داشته باشد، معمولاً ارتعاشات تداخلی، قابل‌قبول این ترانسدیوسر نخواهد بود. اگر هم مقداری از این ارتعاشات جذب گیرنده شوند، عبور آنها از مدارهای نوسان‌ساز امکانپذیر نخواهد بود، زیرا این مدارها تنها روی فرکانس مورد نیاز عمق‌یاب تنظیم شده‌اند. مزیت دیگر استفاده از فرکانسهای بالا در این است که ابعاد ترانسدیوسر کوچکتر خواهد شد.

۲ــ۶ــاصول کار عمق‌یاب

اصول کار این سیستم که در نهایت منجر به اندازه‌گیری عمق آب زیر کشتی می‌شود، به شرح زیر است : پالسهای کوتاهی از ارتعاشات صوتی به‌طور متناوب (حدود ۱۰۰ بار در دقیقه) در آب زیر کشتی تولید و به‌صورت عمودی به طرف کف دریا ارسال می‌شوند. بستر دریا این پالسها را منعکس کرده پس از مدّت زمانی که متناسب با عمق دریا است، اکوی مربوط به این پالسها به‌وسیله کشتی دریافت می‌شوند. در این زمان پالسها دو برابر مسافت بین زیر کشتی و بستر دریا را طی کرده‌اند(شکل ۴ــ۶). چنانچه دریا زیاد کم عمق نباشد می‌توان خطای فیثاغورث ــ PYTHA) (GORAS ERROR را با توجه به این که d کمتر از AB است، نادیده فرض کرد (شکل ۴ــ۶).



شکل ۴ــ۶ــاصول کار عمق‌یاب

سرعت انتشار صوت در آب دریا ثابت و برابر با ۱۵۰۰ متر در ثانیه است ؛بنابراین فاصله d را می‌توان از فرمول $2d = Vt$ یا $d = \frac{Vt}{2}$ محاسبه کرد. در این فرمول Vسرعت صوت در آب و t زمان طی شده از لحظه ارسال صوت تا دریافت اکو است. به‌عنوان مثال، چنانچه زمان بین ارسال پالس و دریافت اکو ۱ ثانیه باشد، معلوم می‌شود که پالسها مسافتی برابر با ۱۵۰۰ متر را طی کرده‌اند ؛ از این‌رو عمق آب برابر با ۷۵۰ متر یا $\frac{1500}{2} = 750$ متر خواهد شد.

به جای نشان دادن زمان بر روی نشانگر،می‌توان عمق مربوط را برحسب متر، فادوم (FATHOM) و یا فوت نشان داد.

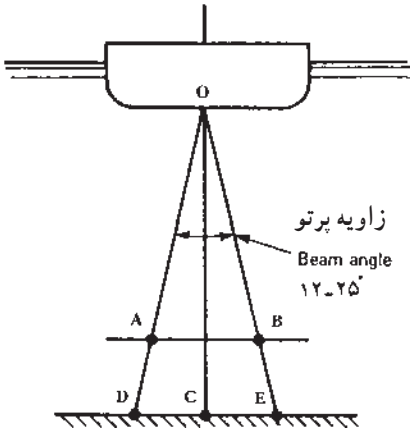
در آبهای کم‌عمق و زمانی‌که فاصله بین C و A خیلی زیاد باشد، عمق نشان داده شده به‌وسیله دستگاه بیشتر از مقدار حقیقی خواهد بود ؛ بنابراین در چنین وضعیتهایی اعتماد به عمق خوانده شده از طریق عمق‌یاب خطرناک است.

عمق اندازه‌گیری شده به‌صورت اتوماتیک ثبت می‌شود و ضمن این‌که مقدار عمق در هر لحظه قابل دسترسی است، اعماق مربوط به سفر طی شده به‌وسیلهٔ یک کشتی نیز قابل ثبت است.

برای مثال، چنانچه ۱۰۰ عمق یابی در هر دقیقه انجام شود و سرعت کشتی ۱۰ گره دریایی باشد،فاصله بین دو عمق‌یابی متوالی برابر ۳ متر یعنی $\frac{10 \times 1852}{60 \times 100}$ می‌شود.رقم به‌دست آمده نشان می‌دهد که ناوبر می‌تواند در جریان تغییرات ناگهانی عمق که ناشی از وجود تپه‌ها یا دره‌های زیر آبی است، قرار بگیرد. در عمل نشان دادن کلیه تغییرات بر روی نقشه ها امکانپذیر نیست.

انعکاس، انکسار و جذب ارتعاشات صوتی در آب

در شکل (۴ــ۶) مسیر امواج صوتی به طرف بستر دریا به صورت یک خط نشان داده شده است. در حقیقت ارسال این امواج در قالب پرتویی از امواج شکل (۵ــ۶) با سطح مقطع دایره‌ای یا بیضی شکل صورت می‌گیرد.

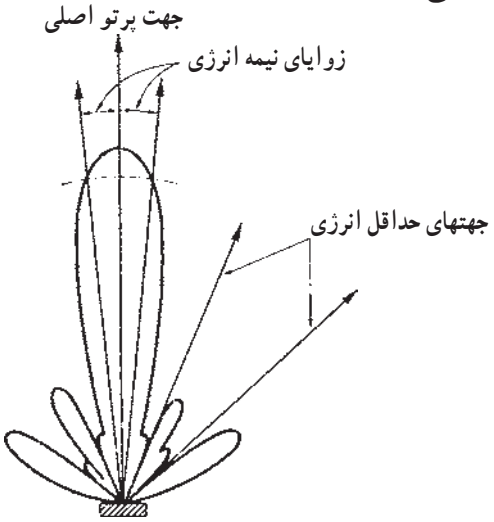


شکل ۵ــ۶ــ حداکثر انرژی در مسیر OC و نیمی ازحداکثر قدرت در مسیرهای OD و OE واقع می‌شود.

پرتو مدوّر دارای یک زاویه پرتو (زاویه OA و OB در شکل ۵ــ۶) است که مقدار آن بین ۱۲ تا ۲۵ درجه است. شدت نوسانات بین A و B ثابت نیست و این شدت در مسیر OC بیشترین مقدار خود را دارا است و با دور شدن از این مسیر، شدت آن بتدریج کاهش پیدا می‌کند. در محدوده زاویه پرتو، انرژی انتشار امواج برابر با نصف همین انرژی در مسیر OC است.

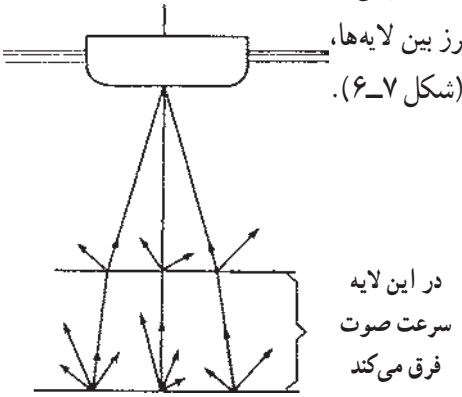
همانند پرتو امواج رادیویی، پرتو امواج صوتی نیز در آب دارای لوبهای جانبی (side lobes) هستند (شکل ۶ــ۶). این‌گونه لوبها اثری در تعیین عمق آب ندارند.

زمانی‌که امواج لایه‌های مختلف آب را که دارای مشخصات متفاوت (اختلاف در دما، درجه



شکل ۶ــ۶ــ انرژی انتشار یافته یک ترانسدیوسر همراه با لوبهای جانبی

شوری و همچنین حضور عناصر مختلف در آب) هستند طی می‌کنند، در این لایه‌ها دچار انکسار و انعکاس می‌شوند. این اعمال به جهت تغییر سرعت صوت پس از ورود به آب دریای غیرنرمال به وقوع می‌پیوندد. در مرز بین لایه‌ها، انکسار همراه با انعکاس معمولاً ضعیف به‌وجود می‌آید (شکل ۷ــ۶).



شکل ۷ــ۶ــ نمایشی از اختلاف سرعت و همچنین انعکاس و انکسار امواج صوتی در محدوده دو لایه

به هر حال عمل انتقال از یک لایه به لایه بعدی معمولاً تدریجی صورت می‌گیرد ؛ بنابراین به‌جای انکسار یا شکست ناگهانی امواج، انحنای تدریجی در سمت انتشار امواج به‌وجود خواهد آمد.

چون بستر دریا هرگز کاملاً مسطح نیست، سمت انعکاس امواج صوتی بیشتر در جهات مختلف (DIFFUSE REFLECTION) خواهد بود تا در یک جهت، درحقیقت ترکیبی از انعکاسهای هم‌جهت و مختلف‌الجهت در برخورد امواج با بستر دریا به‌وجود می‌آید و انعکاس در کلیه جهات است که موجب دریافت اکو در گیرنده عمق‌یاب می‌شود. چنانچه انعکاسهای یک بستر شیب‌دار کاملاً هم‌جهت باشد، اکویی در کشتی قابل دریافت نخواهد بود.

هرچه طول موج با توجه به میانگین ابعاد بی‌قاعدگیهای بستر دریا کوتاهتر باشد، انعکاسهای هم‌جهت نیز کمتر خواهد بود ؛ بنابراین طول موج کوتاهتر یا به عبارت دیگر فرکانس بالاتر، انعکاسهای مطلوبی در جهات مختلف درپی خواهد داشت.

در طول زمان بین انتشار پالس و دریافت اکو، کشتی از محل قبلی خود مقداری جابه‌جا می‌شود، اما این مسافت حتی برای سرعتهای زیاد مثلاً ۵۰ گره دریایی و عمق ۳۰۰ متر، بیش از ۱۰ متر نخواهد بود که در محاسبات و دریافت اکو به‌وسیله کشتی خللی ایجاد نمی‌کند.

در زمان انتشار امواج صوتی، مقداری از انرژی مزبور جذب و باعث تضعیف در انتشارات ترانسدیوسر گیرنده می‌شود ؛ علاوه بر این‌که به موازات افزایش سطح مقطع پرتو، انرژی هر واحد از کل سطح مقطع پرتو کاهش پیدا می‌کند.

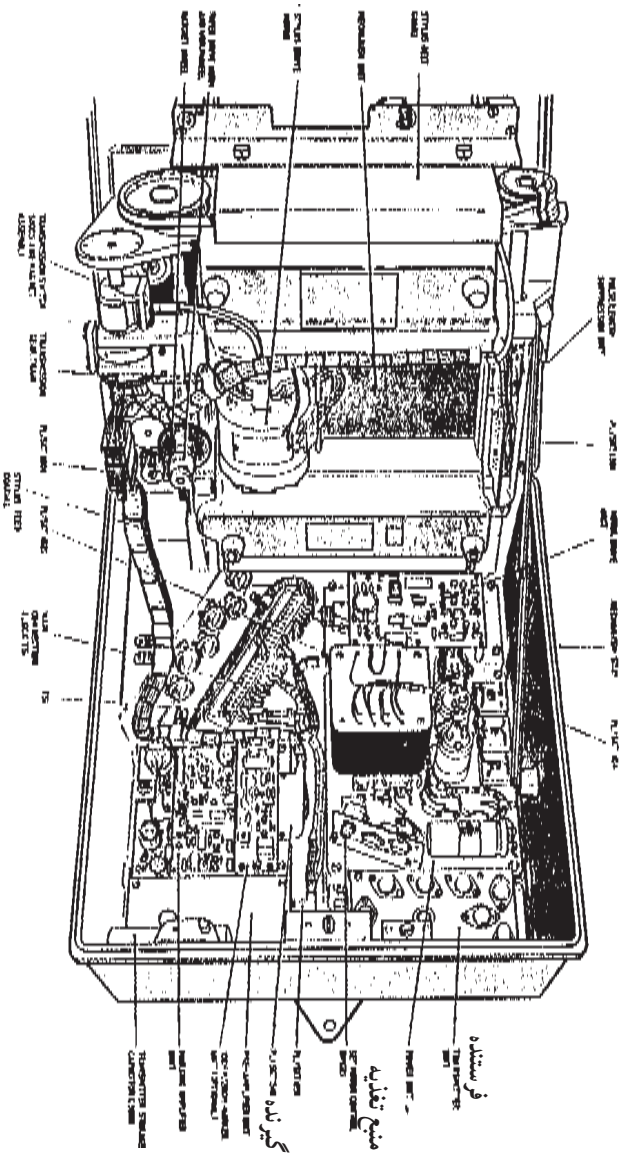
برای مثال، دو برابر شدن عمق، باعث چهار برابر شدن سطح تحت پوشش پرتو می‌شود و درنتیجه انرژی مربوط به هر واحد سطح چهار بار کوچکتر می‌شود ؛ به همین علت، انرژی اکوی دریافت شده در واحد سطح نوسان‌ساز گیرنده نیز چهار بار تقلیل می‌یابد. از این موضوع نتیجه‌گیری می‌کنیم که شدت اکو با توجه به اعماق مختلف، دارای کمیتهای مختلف خواهد بود. برای پرهیز از دریافت چنین اکوهایی با شدتهای متفاوت، در سیستمهای عمق‌یاب تقویت امواج به‌صورت خودکار صورت می‌گیرد. روشن است که هرچه اکو دیرتر دریافت شود، تقویت بیشتری نیز به مورد اجرا گذارده می‌شود.

جذب انرژی امواج را نیز می‌توان با کاهش فرکانس تقلیل داد ؛ بنابراین در برخی عمق‌یاب‌های ویژه، برای تعیین عمقهای خیلی زیاد از فرکانسهای حدود ۱۰ کیلوهرتز استفاده می‌شود. عمق‌یاب‌های موجود در کشتیها قادر به تعیین عمق تا اعماق بین ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر هستند و معمولاً کمترین عمقی که می‌تواند اندازه‌گیری شود بین ۰/۵ تا ۱ متر است.

۳ــ۶ــقسمتهای تشکیل‌دهنده عمق‌یاب

قسمتهای تشکیل‌دهندهٔ عمق‌یاب همان‌گونه که درشکل (۸ــ۶) نشان داده شده است، از ثبت‌کننده، ترانسدیوسر و منبع تغذیه تشکیل شده است.

۱ــ۳ــ۶ــ ثبت کننده ــ ثبت‌کننده خود شامل منبع تغذیه، فرستنده، گیرنده و سیستم گرداننده

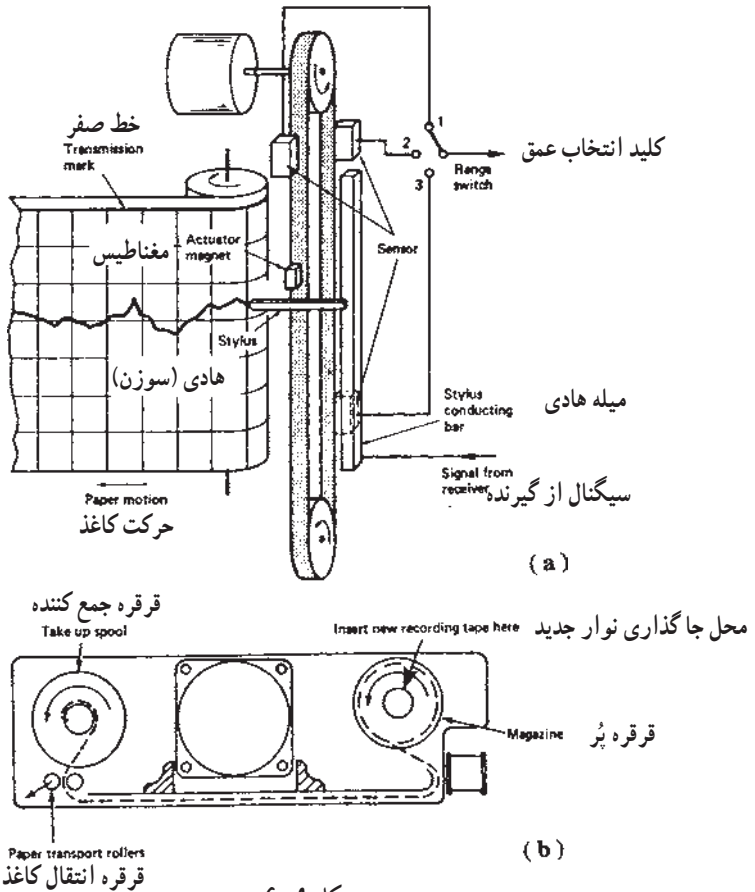


شکل ۸ــ۶

موتور است.

ثبت کننده از نوارهای کاغذی عریض که حرکت آرامی بر روی یک سطح فلزی دارند ؛ استفاده می‌کند. حرکت این نوار کاغذی از یک قرقره به قرقره دیگر صورت می‌گیرد. هر قرقره پُر می‌تواند ۳۰ الی ۱۰۰ ساعت نیاز عمق‌یابی را برطرف کند. انتهای هر رول کاغذ به‌وسیله یک خط عریض رنگی علامتگذاری شده است.

همان‌گونه که در شکل (۹ــ۶) نشان داده شده است، حرکت این نوار کاغذی از سمت راست به‌چپ صورت می‌گیرد. یک تسمه که بر روی آن سوزن ثبت‌کننده نصب شده، به‌وسیله یک موتور الکتریکی در روی دو پولی با سرعت ثابتی می‌گردد. سوزن ثبت‌کننده بر روی صفحه حرکت می‌کند. نوار کاغذی با لایه فلزی بسیار نازک نظیر آلومینیوم پوشیده شده و این لایه خود به‌وسیله لایه دیگری از غیرهادیها روکش شده است. زمانی‌که به‌وسیلهٔ گیرنده یک ولتاژ الکتریکی به سوزن ثبت‌کننده فرستاده می‌شود، لایه بالایی آلومینیوم می‌سوزد و سطح فلزی لایه به صورت لکه قهوه‌ای رنگ نمودار



شکل ۹ــ۶

می‌شود. پودر حاصل از این عمل را باید هر چند مدّت یکبار از داخل عمق‌یاب جمع‌آوری کرد.

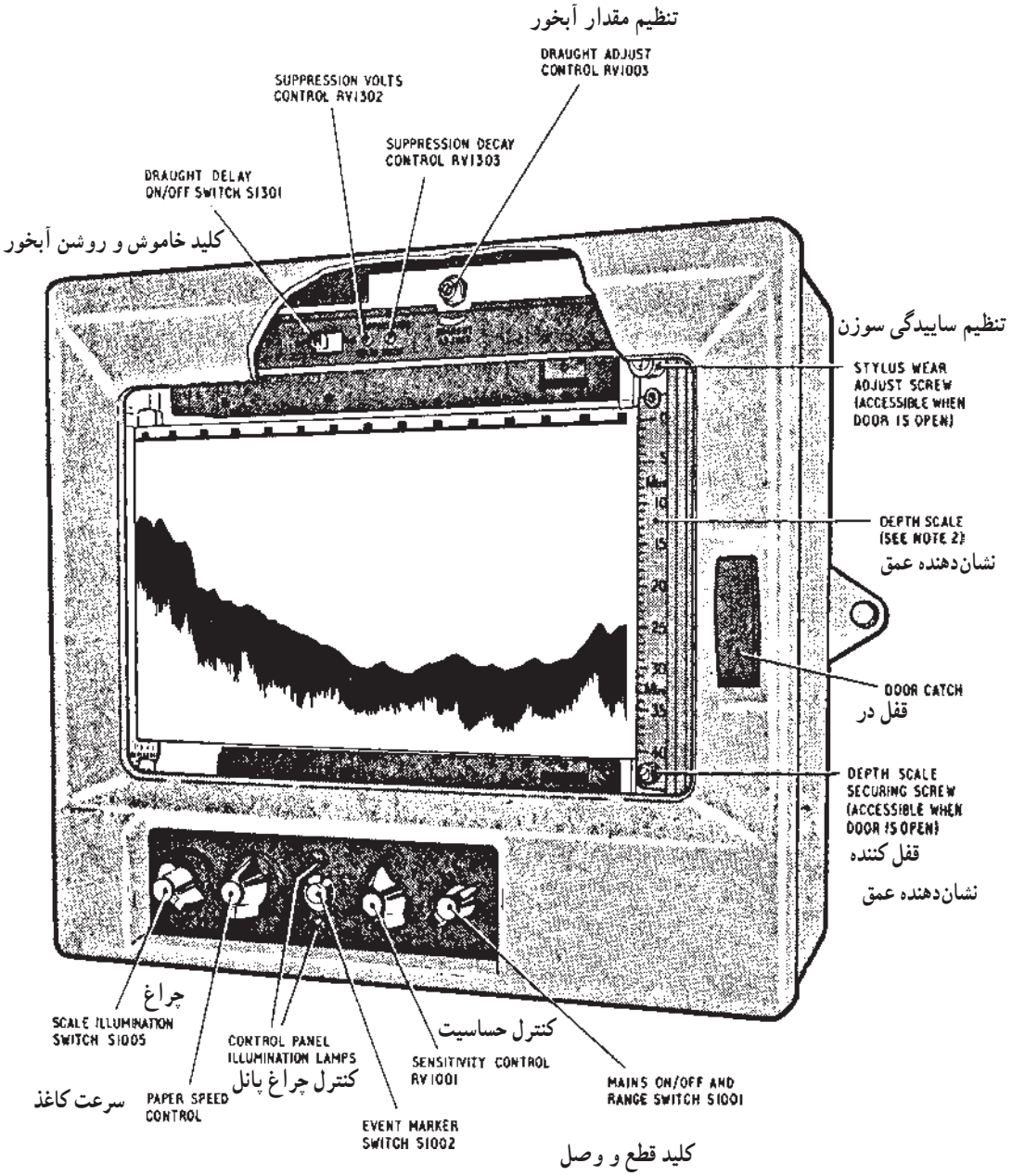
۲ــ۳ــ۶ــ فرستنده ــ زمانی که قطعه مغناطیس نصب شده بر روی تسمه از سنسور در ارتباط با وضعیت شماره ۱ کلید انتخاب عبور می‌کند، مدار بسته می‌شود. با بسته شدن مدار، مولد تولید یک پالس می‌کند و فرستنده این پالس را ارسال می‌کند. در این وضعیت، سوزن ثبت‌کننده بر روی خط صفر نوار کاغذی قرار خواهد داشت.

ارتعاشات پالس مکانیکی از طریق ترانسدیوسر به طرف بستر دریا ارسال می‌شود، اما برخی از آنها از طریق بدنه کشتی با مسیرهای دیگر به‌طور مستقیم وارد ترانسدیوسر گیرنده می‌شوند. ترانسدیوسر گیرنده، این پالسهای مکانیکی را تبدیل به پالسهای الکتریکی می‌کند. این پالسها از طریق گیرنده و میله هادی به سوزن ثبات منتقل می‌شود و سپس در روی نوار کاغذی لکه‌های قهوه‌ای رنگ ایجاد می‌کند. فاصله زمانی بین بسته شدن مدار و ایجاد لکه به وسیله سوزن ثبات، صفر است ؛ بنابراین خط ایجاد شده به‌وسیلهٔ این لکه‌ها، شروع‌ارسال‌پالس‌در آب دریا را نشان می‌دهند. به این خط، خط صفر(ZERO LINE) می‌گویند.

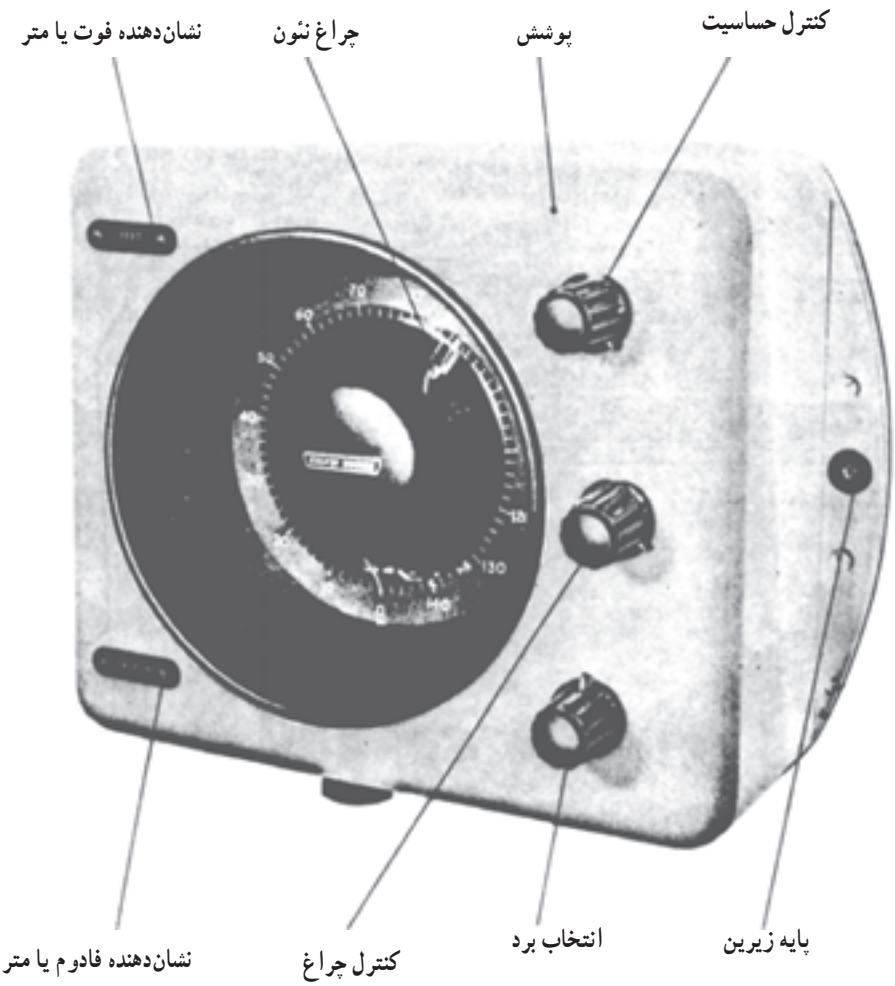
۳ــ۳ــ۶ــ گیرنده ــ اکوی برگشتی به ترانسدیوسر گیرنده (چنانچه دو ترانسدیوسر جداگانه باشد) تبدیل به پالس الکتریکی شده پس از تقویت به سوزن ثبات که حالا مقداری از خط صفر فاصله گرفته، وارد می‌شود. هرچه عمق بیشتر باشد، فاصله بین لکه جدید و خط صفر بیشتر خواهد شد، لکه جدید عمق را نشان می‌دهد و مقدار آن را می‌توان از درجه‌بندی نوشته شده بر روی نشانگر پلاستیکی یا درجه‌بندی چاپ شده بر روی خود نوار کاغذی خواند. همزمان با حرکت آهسته نوار کاغذی به‌طرف چپ، لکه‌های ناشی از انتشار پالسها بر روی کاغذ خط افقی (خط صفر) ایجاد می‌کند. لکه‌های ناشی از دریافت اکو نیز نموداری از وضعیت عمق بستر دریا را بر روی نوار ثبت می‌کند (شکل ۱۰ــ۶).

سرعت حرکت سوزن ثبات باید ثابت باشد ؛ بنابراین مقدار دور در دقیقه موتور الکتریکی که پولی را می‌چرخاند باید با توجه به سرعت استاندارد صوت، مقدار کاملاً ثابتی باشد. سرعت پولی در ثبت کننده‌ای که درجه‌بندی آن برحسب فادوم است، باید ۶ برابر شود. مقدار عمق را می‌توان از همان درجه‌بندی برحسب فوت به‌دست آورد، زیرا هرفادوم برابر با شش فوت است.

۴ــ۳ــ۶ ــ نشان‌دهنده چراغی ــ در بعضی از عمق‌یاب‌ها از نشاندهنده‌های چراغی به‌عنوان یک تکرارکننده اضافی که امکان رؤیت عمق را برای اپراتور مهیا می‌سازد، استفاده می‌کنند (شکل ۱۱ــ۶).



شکل ۱۰ــ۶ــ ثبت کننده عمق یاب

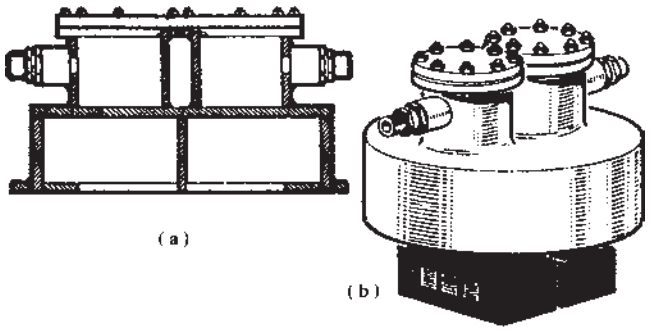


شکل ۱۱ــ۶ــ نشان دهنده چراغی

در این نشان‌دهنده‌ها، مقدار عمق به‌وسیله یک چراغ نئون که در یک صفحه مدوّر درجه‌بندی‌شده می‌چرخد، نشان داده می‌شود.

با مقایسه لامپهای معمولی، لامپ نئون در هنگام قطع و وصل شدن کلید خاموش و روشن می‌شود. هنگامی‌که لامپ مزبور از وضعیت صفر درجه‌بندی مدوّر عبور می‌کند، یک پالس ارسال می‌شود. زمانی که اکوی مربوط به این پالس دریافت می‌شود، برای لحظه‌ای لامپ نئون روشن می‌شود. روشن شدن متوالی لامپ در همان نقطه ما را قادر می‌سازد تا مقدار عمق را از درجه بندی مزبور حتی از فاصله کمی دورتر بخوانیم.

۵ــ۳ــ۶ــترانسدیوسر (TRANSDUCER)ــ ترانسدیوسر فرستنده پس از دریافت نوسان الکتریکی شروع به ارتعاش کرده امواج صوتی را ارسال می‌کند. نوسان ساز گیرنده که پس از دریافت اکو شروع به ارتعاش می‌کند، آنها را به نوسان الکتریکی تبدیل می‌کند و به گیرنده می‌فرستد. سطح ارتعاش شونده ترانسدیوسر، در تماس با آب است و ابعاد آن در حدود ۲۰×۱۰ سانتیمتر است (شکل ۱۲ــ۶).



a ــمقطع عمودی

b ــنمای خارجی همراه با دو ترانسدیوسر در قسمت تحتانی

شکل ۱۲ــ۶ــ محفظه ترانسدیوسرهای فرستنده و گیرنده

ترانسدیوسرهای استفاده شده درعمق‌یابها از دو نوع تغییرپذیر مغناطیسی (Magnetostrictive) یا تغییرپذیر الکتریکی (Electrostrictive) هستند. در برخی از کریستالها بر اثر دریافت جریان الکتریسیته در دو سطح آنها، دچار انقباض یا انبساط می‌شوند که از این خاصیت (تغییرپذیری الکتریکی) می‌توان در ترانسدیوسرها برای ایجاد ارتعاشات لازم استفاده کرد. همین خصوصیت در یک میله فلزی زمانی که وارد میدان مغناطیسی می‌شود، به وقوع خواهد پیوست از این خاصیت (تغییرپذیری مغناطیسی) نیز می‌توان برای ایجاد ارتعاشات لازم در ترانسدیوسرها استفاده کرد.

چنانچه ترانسدیوسر در داخل محفظه مخصوص در زیر کشتی قرار نگرفته باشد، باید در هنگام رنگ‌آمیزی بدنه زیرین کشتی دقت شود که لایه‌های مرتعش‌شونده ترانسدیوسر اسکراب و رنگــ آمیزی نشوند. بدیهی است در صورت انجام این عمل قسمت رنگ شده مانع از انتقال ارتعاشات در آب خواهد شد.

۴ــ۶ــ نحوهٔ کنترل کارکرد و نحوهٔ استفاده از عمق‌یاب

عمق واقعی برابر مجموع عمق نشان داده شده به وسیلهٔ عمق‌یاب و فاصله عمودی ترانسدیوسرها تا سطح آب است. عمق عمودی و عمق نشان داده شده بر اثر گذشت زمان قابل تغییر هستند ؛ بنابراین

توصیه می‌شود که سالی چند بار عمق‌یاب با انجام عمق یابی دستی مورد کنترل قرار گیرد.

عمق‌یاب دستی از قطعه‌ای سرب که به انتهای یک طناب مدرّج متصل شده، تشکیل شده است. برای اندازه‌گیری عمق حقیقی به دو یا سه مورد عمق‌یابی دستی، در محلی از کشتی که نزدیکتر به ترانسدیوسر باشد کافی به نظر می‌رسد. چنانچه در مقایسه عمق به دست آمده از این طریق با عمق خوانده شده از دستگاه عمق‌یاب تفاوتی مشاهده شد، مشخص می‌شود که عمق یاب نیاز به تنظیم دارد.

بنابراین موتور الکتریکی گرداننده محور ثبات، سریعتر یا آهسته‌تر از وضعیت واقعی می‌شود. چنانچه مقدار عمق نشان داده شده دستگاه خیلی بیشتر از عمق حقیقی بود، دور موتور الکتریکی باید کاهش و در صورت عکس، افزایش پیدا کند.

پس ازتنظیم سرعت موتور، بهتر است چند بار دیگر از نظر اطمینان با عمق‌یاب دستی مقدار عمق حقیقی آب به‌دست آید.

در اکثر عمق‌یابها تعداد گردش محور ثبات در هر دقیقه به وسیلهٔ یک دورسنج نشان داده می‌شود. خواندن سرعت محور ثبات از این دورسنج حتماً باید در زمانی صورت گیرد که دستگاه گرم شده و حداقل چند دقیقه‌ای از زمان روشن کردن آن گذشته باشد.

روش دیگری که برای کنترل دستگاه عمق‌یاب به‌کار می‌رود، استفاده از یک میله توخالی است. برای این منظور یک میله توخالی با مقطع چهار ضلعی را که درون آن از هوا پر شده باشد، در حالت افقی به وسیله مقداری طناب تا عمق معیّنی در زیر کشتی به آب می‌دهند. هوای درون میله موجب انعکاس پالسهای عمق‌یاب شده باعث می‌شود که مقدار عمق برای ما مشخص شود تا در صورت نیاز، تصحیحات لازم را اعمال کنیم. مزیت این روش در این است که کنترل عمق‌یاب را می‌توان در هر عمقی به مورد اجرا گذاشت.

اثر دادن مقدار آبخور در عمق یاب ــ اگر پالس درست در لحظه‌ای که محور ثبات از خط صفر می‌گذرد ارسال می‌شود، فاصله بین ترانسدیوسر تا بستر دریا را می‌توان به‌طور مستقیم از دستگاه خواند ؛ اما چون ترانسدیوسرها همیشه در پایین‌ترین نقطه بدنه زیر آبی کشتی نصب نشده‌اند، این عمق همیشه برابر با فاصله کیل (keel) تا بستر دریا نخواهد بود. در برخی از دستگاهها، امکان تنظیم خط صفر با خط کنترل صفر یا تأثیر دادن مقدار آبخور به آن موجود است.

برای محاسبه عمق واقعی، فاصله عمودی بین سطح آب و ترانسدیوسر را باید به عمق به‌دست آمده از دستگاه اضافه کرد. در کشتیهای مخصوص حمل بار، این فاصله قابل تغییر خواهد بود.

کلیدهای کنترل ــ عمق‌یاب‌های بسیار ساده تنها دارای دویا سه کلید کنترل، نظیر خاموش و روشن کردن دستگاه (بعضی مواقع همراه با حالت Stand - By)، کلید کنترل تنظیم تقویت دستگاه

به‌صورت دائم یا لحظه به لحظه و کلید کنترل مقدار روشنایی صفحه ثبت‌کننده هستند.

هرچه دستگاه پیشرفته‌تر باشد، بدیهی است که از کلیدهای کنترل بیشتری بهره خواهد برد. علاوه بر کنترلهای فوق، کلیدهای کنترل زیر ممکن است در دستگاههای عمق‌یاب وجود داشته باشند :

۱ــ کلید انتخاب برد ؛

۲ــ چنانچه درجه‌بندی متریک وجود نداشته باشد، کلیدی برای تغییر از فوت به فادوم و به‌عکس ؛

۳ــتکمه فشاری خط نشانه ثابت ؛ وقتی این تکمه فشار داده می‌شود، محور ثبات خطی در تمام عرض کاغذ می‌کشد این خط برای علامتگذاری یک زمان مشخص کشیده می‌شود.

۴ــکلید کنترل برای تغییر سرعت انتقال کاغذ ؛

۵ــکلید کنترل برای تنظیم خط صفر یا تأثیر دادن مقدار آبخور ؛

۶ــکلید کنترل برای کشیدن کاغذ ؛ بدون تماس کامل بین کاغذ و صفحهٔ فلزی زیرین، جریان الکتریسیته برقرار نخواهد شد.

۷ــکلید برای تغییر از ترانسدیوسر سینه به پاشنه یا راست به چپ ؛

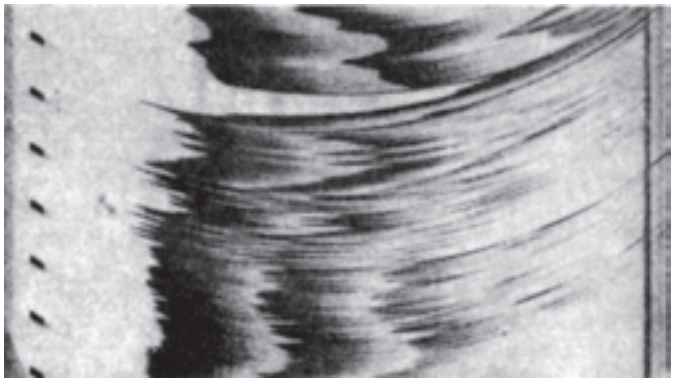
۸ــکلید کنترل برای تنظیم عمق حداقل بر روی دستگاه (در این عمق هشدارهای لازم به‌وسیله دستگاه داده خواهد شد) ؛

۹ــکلید برای تغییر طول پالس و تعداد پالسها در هر دقیقه ؛

۱۰ــکلید تغییر وضعیت منحنی عمق از نرمال به واضحتر ؛

۱۱ــکلید کنترل برای تغییر سرعت موتور الکتریکی.

دومین و سومین اکوــ زمانی که بستر دریا صخره‌ای باشد حساسیت عمق‌یاب بر روی بیشترین مقدار تنظیم شده باشد، اغلب چندین خط اکو بخصوص در آبهای کم عمق بر روی کاغذ ثبت خواهد شد (شکل ۱۳ــ۶).



شکل ۱۳ــ۶ــ ایجاد دومین و سومین اکو

این عمل به جهت انعکاس متوالی پالسها بین بستر دریا کیل کشتی یا بین بستر دریا و سطح آب صورت می‌پذیرد. در این وضعیتها اولین اکو باید از نظر تعیین مقدار عمق ملاک قرار گیرد.

برای مثال، چنانچه عمق‌یاب بر روی برد صفحه تا ۳۰ متر تنظیم شده باشد، یک اکو ممکن است در عمق ۱۸ متری ثبت شود. در همین شرایط، چنانچه در ابتدا عمق‌یاب بر روی برد دوم (۲۵ تا ۵۵ متر) تنظیم شده باشد، این خطر وجود دارد که اکوی بعدی در ۳۶ متری (۳۶=۱۸×۲) و به‌طریقی مشابه امکان داشت در برد سوم (۵۰ تا ۸۰ متر) سومین اکو،در عمق ۵۴ متر (۵۴= ۱۸×۳) ثبت شود.

برای جلوگیری از ثبت این‌گونه عمقهای کاذب و خطرناک، لازم است همیشه عمق‌خوانی را از کوچکترین برد شروع کرده و در صورت عدم دریافت اکو، به‌ترتیب کلید مربوط را به بردهای بزرگتر بگردانیم.

۵ــ۶ــ ماهی‌یاب

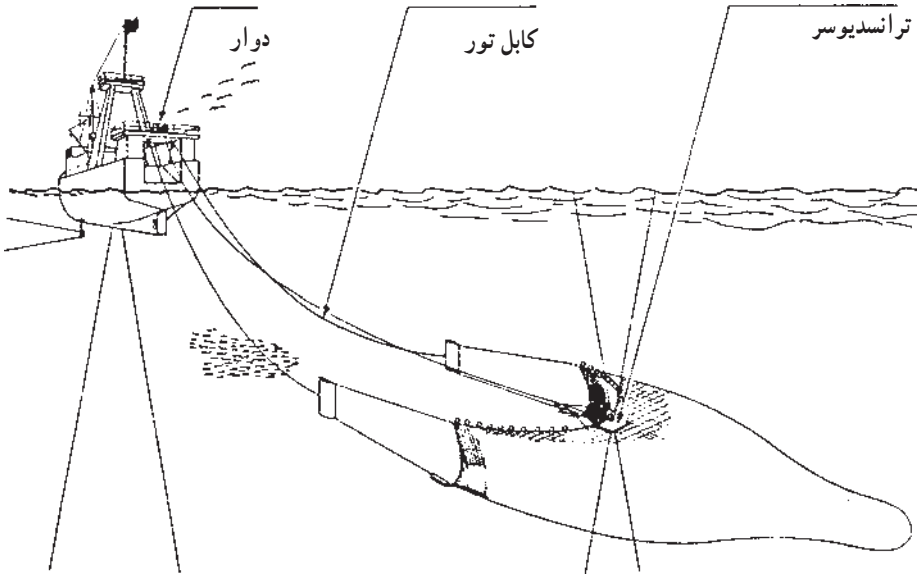
ماهی‌یاب دستگاهی است که برای تعیین محل اجتماع ماهیها استفاده می‌شود. اصول کار ماهی‌یاب شبیه عمق‌یاب است و تنها تفاوت میان آنها در محل نصب ترانسدیوسرها و همچنین زاویه تابش امواج صوتی است.

در عمق یاب ترانسدیوسرها در زیر کشتی نصب می‌شود و امواج به‌صورت عمودی به بستر دریا ارسال و بازتاب آن دریافت می‌شود.

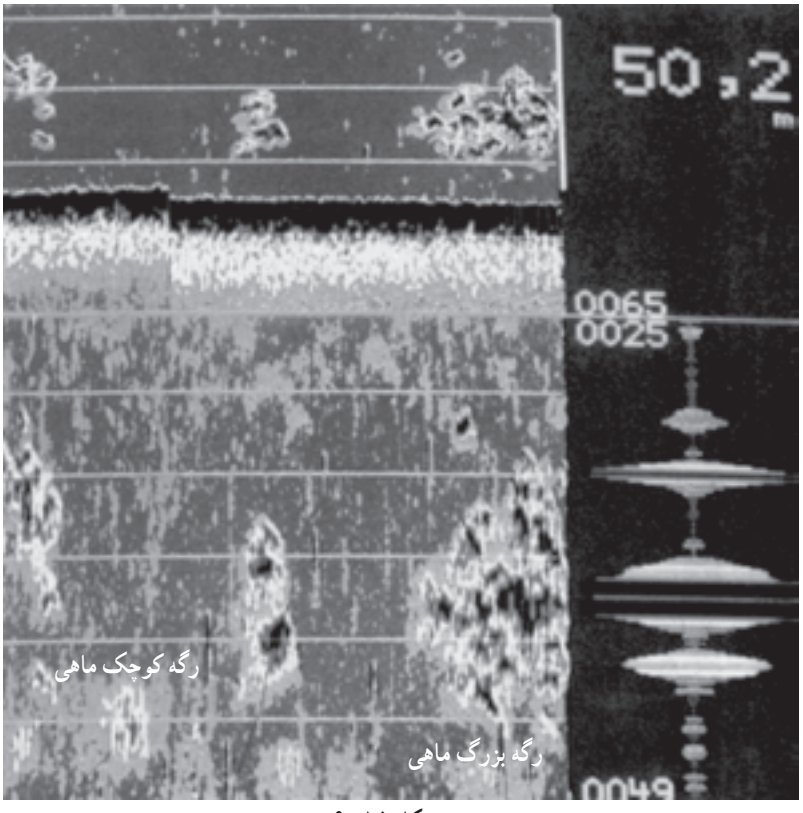
در ماهی‌یاب، ترانسدیوسر نصب شده در زیر کشتی به‌گونه‌ای است که قادر است اجتماع ماهیها را در زیر و در زوایای اطراف کشتی نشان دهد. لازم به ذکر است که نوعی ماهی‌یاب وجود دارد که ترانسدیوسرهای آن بر روی دهنهٔ تور که به داخل آب فرستاده می‌شود، نصب شده است.

این ترانسدیوسرها قادر هستند هم اجتماع ماهیها را در زیر و داخل دهنهٔ تور و هم محل ماهیهای بالای تور و فاصله تور تا سطح آب را تعیین کنند. این ترانسدیوسرها در داخل یک محفظه فایبرگلاس در مرکز دهنه تور نصب شده‌اند. این محفظه علاوه بر ترانسدیوسر، شامل یک آمپلی فایر و رله نیز است. ترانسدیوسر زیرین دارای یک زاویه تابش نسبتاً زیاد بوده در نتیجه یک پوشش خوبی در داخل دهنه تور فراهم می‌سازد. دستگاه ماهی‌یاب مجهز به سوئیچی است که می‌توان ترانسدیوسر زیری یا بالایی را انتخاب کرد (شکل ۱۴ــ۶).

شکل رنگی (۱۵ــ۶) که به وسیلهٔ دستگاه ماهی‌یاب اطلس تهیه شده است، امکان شناسایی نوع ماهی را با توجه به اکوهای دریافتی در اختیار اپراتور می‌گذارد.



شکل ۱۴ــ۶



شکل ۱۵ــ۶

پرسش

۱ــ پژواک را تعریف کنید.

۲ــ سرعت صوت در آب به چه عواملی بستگی دارد؟

۳ــ افزایش عمق آب چه اثری بر سرعت صوت در آب دارد؟

۴ــ اصول کار عمق‌یاب را توضیح دهید.

۵ــ انکسار را تعریف کنید.

۶ــ اجزای یک ثبت‌کننده عمق را نام ببرید.

۷ــ عمل ترانسدیوسر را شرح دهید.

۸ــ انواع ترانسدیوسرها را نام ببرید.

۹ــ علت ایجاد چندین اکو بر روی ثبات را شرح دهید.

۱۰ــ تفاوت میان ماهی‌یاب و عمق‌یاب را تشریح کنید.

فصل هفتم

جهت‌یاب رادیویی

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود در پایان این فصل :
۱ــ انواع جهت‌یاب رادیویی را نام ببرد.
۲ــ اساس کار جهت‌یاب رادیویی را توضیح دهد.
۳ــ کاربرد جهت‌یاب رادیویی را تشریح کند.
۴ــ قسمتهای مختلف جهت‌یاب را روی دستگاه نشان دهد.

جهت‌یاب رادیویی MF - DF

قبل از اختراع وسایل رادیویی، کشتیها از موقعیت تخمینی آینده که با توجه به آخرین موقعیت معلوم کشتی محاسبه می‌شود، به دریانوردی می‌پرداختند. در این وضعیتها، درجه اعتماد به نقاط تعیین شده بستگی به دقت محاسبات زمان، سرعت کشتی، اثر جریان باد، جریانهای کشندی و جریان آب داشت. زمانی که دریانوردان در آبهای ساحلی و همزمان با دید ضعیف در حال دریانوردی بودند، وسایل تولید صوت و همچنین در شب چراغهای ساحلی با برد نورانی کم تنها وسایلی بودند که می‌توانستند آنها را در ناوبری یاری کنند.

وقتی که وضعیت دید با شکل‌گیری بیشتر مه کاهش پیدا می‌کرد، چراغهای ساحلی دیگر قابل رؤیت نبودند. چنانچه تعیین موقعیت دقیق کشتی از روی اصوات و علائم مه که از فانوسهای دریایی یا کشتیهای نورانی شنیده و دیده می‌شد امکانپذیر نبود، کشتیها مجبور به توقف و انداختن لنگر می‌شدند و تنها نشانه از حضور کشتی دیگر در مه، علائم صوتی آن کشتی بود که از دور به گوش می‌رسید. با ورود وسایل رادیویی به پهنه دریاها، ناوبری دچار تحول شد و با استفاده از این وسایل، دریانوردان قادر شدند تا ضمن محاسبه نقطه دقیق کشتی، مسیر مطمئن را در آبراههای ساحلی بدون توجه به وضعیت دید، انتخاب کنند و خود را به بندر برسانند.

علیرغم وجود مه، می‌توان با به‌کارگیری این وسایل از موقعیت سایر کشتیهای موجود در آن حوالی مطلع شد. دستگاه جهت‌یاب فرکانس متوسط یا MF - DF تنها وسیله رادیویی بود که تا قبل از سال ۱۹۳۹، در دریا مورد استفاده قرار می‌گرفت. در طول جنگ دوم جهانی، دستگاههای رادیویی زیادی ساخته و به بازار عرضه شد.

۱ــ۷ــ انواع جهت‌یاب رادیویی

وسایل رادیویی را می‌توان با توجه به نوع به‌کارگیری، نظیر استفاده در دریانوردیهای اقیانوسی، ساحلی یا ناوبری در کانال، به‌گونه‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد.

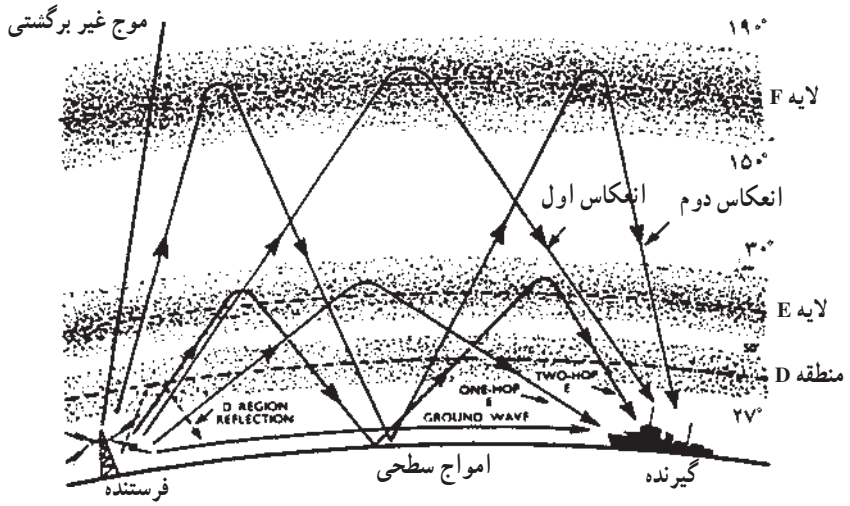
درجه دقت هر یک از وسایل، با توجه به نحوه به‌کارگیری آنها متفاوت است. در جدول ۱ــ۷ انواع سیستمهایی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند، درج شده است.

جدول ۱ــ۷

نحوه به‌کارگیری	فاصله از نزدیکترین محل خطر(میل دریایی)	دقت مورد نیاز	زمان اضطرار	سیستمهای موجود
دریانوردی اقیانوسی	بیش از ۵۰	±۱ درصد فاصله از نزدیکترین محل خطر	۱۵ دقیقه	۱ــ MF ــ DF ساحلی ۲ــ لورن ۳ــ کنسول ۴ــ دکا
دریانوردی ساحلی	بین ۲۰ تا ۵۰	$\pm\frac{1}{2}$ میل تا ۲۰۰ یارد	۵ تا $\frac{1}{2}$ دقیقه	۱ــ MF ــ DF ۲ــ لورن ۳ــ کنسول ۴ــ دکا ۵ــ رادار
دریانوردی در کانال		±۵۰ یارد	بفوریت	۱ــ دکا ۲ــ رادار

تحقیقات انجام شده نشانگر آن است که کمربندی از گازهای یونیزه شده در حد فاصل بین ۲۷ تا ۲۲۰ مایلی از سطح زمین کشیده شده است و این کمربند که یونسفر (IONOSPHERE) نامیده می‌شود، به مقدار کافی امواج رادیویی خاصی را به روی زمین منعکس می‌کند.

یونسفر از سه ناحیه اصلی تشکیل شده است (شکل ۱ــ۷) و بین هر یک از نواحی لایه‌ای از بیشترین غلظت یونیزاسیون وجود دارد.



شکل ۱ــ۷ــ امواج سطحی

نواحی و لایه‌هایی از یونسفر که بیشترین تأثیر را بر برد امواج رادیویی می‌گذارند، به‌ترتیب عبارتند از :

ناحیه D با ارتفاع بین ۲۷ تا ۵۰ مایل، ناحیه E با ارتفاع بین ۵۰ تا ۹۰ مایل و ناحیه F با ارتفاع بین ۱۵۰ تا ۱۹۰ مایل از سطح زمین.

یکی از اثرات این نواحی و لایه‌ها، انحراف امواج رادیویی است. وقتی این انحراف به‌قدری باشد که امواج رادیویی به طرف زمین منعکس شوند، موج برگشتی را موج انعکاس هوایی می‌گویند. در بعضی از وضعیتها، امواج هوایی ممکن است در مسیر خود دو یا چند انعکاس از لایه‌های E یا Fداشته باشد که در آن صورت به آنها موج دو برگشتی، سه‌برگشتی و... می‌گویند. امواج هوایی منعکس شده از ناحیه D معمولاً به جهت بیش از حد ضعیف بودن آنها، نمی‌توانند دارای وضعیت چند برگشتی باشند.

امواج انعکاس هوایی، مسافتی بیش از امواج سطحی طی می‌کنند و سیگنال ارسالی در گیرنده رادیویی قابل دریافت خواهد بود. موج سطحی یک برگشتی از لایه E و انعکاسات انجام شده از لایه

F را می‌توان بر روی نشانگر سیستم لورن ملاحظه کرد. ترکیبات مربوط به امواج هوایی ناحیه D، بر نحوه کارکرد دستگاه دکا مؤثر است ؛ در صورتی که بر روی دستگاه لورن که در فرکانسهای بالاتری به کار خود ادامه می‌دهند بدون اثر است.

با توجه به این که غلظت یونیزاسیون لایه‌های مختلف در طول شب کمتر از روز است، اثرات امواج هوایی که به وسیلهٔیک گیرندهٔرادیویی تجربه می‌شود، متفاوت خواهد بود.

در طول روز امواج هوایی ضعیف می‌شوند و ضمن انعکاس به‌وسیلهٔناحیه D یونسفر، در مراجعت به زمین در برد امواج سطحی قابل دریافت هستند. این ضعیف شدن امواج به‌قدری نیست که باعث تداخل شدید آنها با یکدیگر شود. در این وضعیت امواج منعکس شده از لایه E یونسفر، قبل از رسیدن به زمین به وسیله ناحیه D جذب شده هیچ یک از امواج به لایه F یونسفر نخواهند رسید.

در طول شب امواج هوایی هنگام گذر از ناحیه D کمتر ضعیف می‌شوند ؛ بنابراین انعکاس این امواج از لایه‌های E و F، برخی در محدوده برد امواج سطحی و بعضی فراتر از این محدوده به زمین مراجعت خواهند کرد. با توجه به نوع سیستم در حال استفاده، امواج هوایی بر روی گستره برد مفید تأثیر می‌گذارد و در بعضی مواقع باعث محدود شدن آن و در پاره‌ای موارد دیگر منجر به افزایش برد مفید می‌شود. در جدول ۲ــ۷ نتیجه دریافت این گونه امواج از نظر میزان دقت و گستره انتشار خلاصه شده است.

همان‌گونه که در جدول ۲ــ۷ ذکر شده است، هر یک از سیستمهای نقطه‌یاب رادیویی از نظر فرکانس، برد مؤثر و روش کار با یکدیگر متفاوت هستند. لذا تشریح و چگونگی انجام کار کلیه آنها از بحث این کتاب خارج است و تنها به تشریح در مورد جهت‌یاب فرکانس متوسط MF - DF اکتفا شده است.

۲ــ۷ــاساس کار جهت‌یاب رادیویی

اصول کار جهت‌یاب رادیویی، براساس خصوصیات جهت سنجی یک آنتن عمودی حلقه‌ای ساده پایه‌ریزی شده است. شدت سیگنال القا شده در یک چنین حلقه‌ای که به‌وسیله ورود جریان امواج الکترومغناطیسی ارسالی از یک فرستنده به‌وجود می‌آید، بستگی به وضعیت قرار گرفتن حلقه نسبت به جریان دارد. چنانچه حلقه حول یک محور عمودی دوران کند، شدت سیگنال از حداکثر تا صفر تغییر پیدا می‌کند. نسبت تغییر سیگنال زمانی بیشترین مقدار را خواهد داشت که حلقه در وضعیت حداقل خود قرار گیرد و این همان وضعیتی است که معمولاً در جهت‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وضعیت حداقل را می‌توان با گوش کردن از طریق یک گوشی یا نگاه کردن به عقربه

جدول ۲ـ۷

سیستم	روش	فرکانس (کیلو سیکل)	برد در روی دریا (میل دریایی)		ملاحظات
			روز	شب	
MF_DF در کشتی	نوع حلقه‌ای DF	۲۵۰ـ۶۰۰	۳۰۰	۲۵	
MF_DF ساحلی	نوع میله‌ای DF ADCOCK	۳۰۰ـ۶۰۰	۵۰۰	۵۰۰ و به بالا	در شب بین فواصل ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی تا ۴ درجه خطا مشاهده شده است.
MF_DF ساحلی	نوع حلقه‌ای DF	۲۵۰ـ۶۰۰	۲۰۰	۲۵	
کنسول	با مقایسه دامنه موج ممتد تعدیل شده	۲۰۰ـ۵۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	از این سیستم نمی‌توان در حد فواصل ۲۵ میلی ایستگاه استفاده کرد.
لورن	با مقایسه اختلاف زمان پالس	۱۷۵۰ـ۱۹۵۰	۶۰۰	۱۲۰۰	
دکا	با مقایسه فاز موج ممتد	۸۰ـ۱۵۰	۳۰۰ ۱۰۰ـ۳۰۰ (دقت پایینتر)	۰ـ۷۵	

نشانگر یا لامپ کاتدی به‌دست آورد. به‌جای چرخاندن آنتن می‌توان از سیستمی استفاده کرد که در آن به‌جای یک آنتن حلقه‌ای از دو آنتن حلقه‌ای عمود بر هم ثابت استفاده شده باشد.

در این سیستم جهت امواج ورودی به‌وسیلهٔ یک زاویه یاب رادیویی که در اتاق DF تعبیه شده است، مشخص می‌شود. این آنتن ساده را می‌توان در نقطه‌ای از کشتی نصب کرد که کمتر در معرض خطاهای ناشی از میدانهای ثانویه القاء شده به‌وسیله بدنه و پیکربندی فوق عرشه کشتی قرار گیرد.

مسیر امواج رادیویی معمولاً در راستای دوایر عظیمه حرکت می‌کنند. اگر این امواج ساحل

را قطع کنند، با توجه به مقدار زاویه‌ای که با خط ساحلی می‌سازند، ممکن است تا چندین درجه منحرف شوند. انحراف ساحلی موج موقعی صفر خواهد بود که امواج رادیویی عمود به خط ساحلی باشند. هنگامی که امواج از خشکی به طرف دریا حرکت می‌کنند، همواره انحرافی در جهت خط ساحلی خواهند داشت. خطاهای بزرگتر مواقعی پیش می‌آید که امواج رادیویی، گذری از روی یک منطقه تپه‌ای داشته باشند. بهترین راه پیشگیری از این خطاها، استقرار فرستنده‌ها در ساحل یا در ایستگاههای شناور ساحلی است، زیرا در این وضعیت، امواج ارسالی از فرستنده تا دریافت آنها به‌وسیلهٔ گیرنده کشتیها گذر مستمری بر روی دریا خواهند داشت.

۳ــ۷ــ کاربرد جهت‌یاب رادیویی

کشتی از ایستگاه ساحلی تقاضای سمت می‌کند و به‌دنبال آن، برای یک دقیقه شروع به ارسال معرف رادیویی خود می‌کند. ایستگاه ساحلی سمت کشتی را می‌گیرد و آن را به کشتی برمی‌گرداند. تنها وسیله مورد نیاز کشتی برای انجام این کار، در اختیار داشتن یک فرستنده ــ گیرنده فرکانس متوسط است ؛ البته کشتی باید از موقعیت جغرافیایی ایستگاه مطلع باشد.

بعضی مواقع تعدادی از ایستگاههای جهت‌یاب که تحت کنترل یک ایستگاه هستند، کار خود را به‌صورت گروهی ادامه می‌دهند. در چنین وضعی کشتی می‌تواند موقعیت خود و دریافت چندین سمت از ایستگاه گروهی را درخواست کند. یک کشتی می‌تواند موقعیت خود را با دریافت دو یا چند سمت از ایستگاههای مستقل، پیدا کند. این کشتی همچنین می‌تواند نقطه خود را با روش انتقال خط مکان و به‌وسیله دو سمت که از یک ایستگاه می‌گیرد، روی نقشه ترسیم کند.

ایستگاه جهت‌یاب رادیویی، بر روی نقشه‌های دریایی با حروف خلاصه (R.D.F) مشخص شده و ممکن است اختصار قدیمی آنها که به صورت (W/ TDF) است، هنوز در برخی از نقشه‌های قدیمی به چشم بخورد.

سیگنالهای دریافتی از یک فرستنده نشانگر سمت فرستنده یا سمت قرینه آن است. به منظور رفع این ابهام، معمولاًدر بیشتر سیستمهای جهت‌یاب از یک «پایه» حساس استفاده می‌کنند، بدون این وسیله ایستگاههای ساحلی قادر نخواهند بود سمت صحیح کشتی را مشخص کنند.

سمت ایستگاه رادیویی ساحلی را می‌توان در حین تماس رادیویی این ایستگاه با کشتیهای دیگر به‌دست آورد. ایستگاههای ساحلی که بنا به تقاضای کشتیها و به منظور جهت‌یابی، امواجی را مخابره می‌کنند بر روی نقشه‌های دریایی با حروف اختصاری (R) مشخص شده‌اند.

رادیو بیکن‌های ساحلی در اطراف سواحل و اغلب در روی فانوسهای دریایی و کشتیهای

نورانی نصب شده‌اند. این رادیو بیکن‌ها به‌طور عمده در گروههای دو یا سه تایی که از یک فرکانس و برنامه زمان‌بندی مشخص استفاده می‌کنند، قرار دارند. مخابره این رادیوبیکن‌ها که در فواصل از پیش تعیین شده در هوای مساعد و بیشتر در هوای مه‌آلود انجام می‌شود، به‌صورت ترکیبی از حروف شناسایی است. رادیوبیکن‌ها در روی نقشه‌های دریایی با حروف اختصاری (.R.B) مشخص شده‌اند ؛ البته ممکن است نمونه قدیمی این اختصار که به صورت (W/ TB) است، هنوز در برخی نقشه‌های موجود درج شده باشد.

سیستم نقطه‌یاب با گستره جهانی (The Global Positioning System)

امروزه با توجه به پیشرفت تکنولوژی سیستم GPS که با بهره‌گیری از زمان واقعی و دقیقتر از سایر سیستمها عمل می‌کند، به‌طور گسترده مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در این سیستم دقت عمل با ۱۰۰ متر برای استفاده ناوگان تجاری و با دقت ۱۶ متر برای نیروهای نظامی ناتو و سایر استفاده کنندگان منظور شده است. علاوه بر تعیین موقعیت نقطه در سه بعد (طول، عرض و ارتفاع روی سطح دریا)، GPS قادر است اطلاعاتی در رابطه با سرعت و دقت هماهنگ شده جهانی به مصرف‌کنندگان این سیستم ارائه کند. جهت دقت بالا در تعیین ابعاد سه‌گانه، از این سیستم نیز می‌توان در تعیین مختصات نقاط مختلف زمین و سایر موارد ذیربط استفاده به‌عمل آورد.

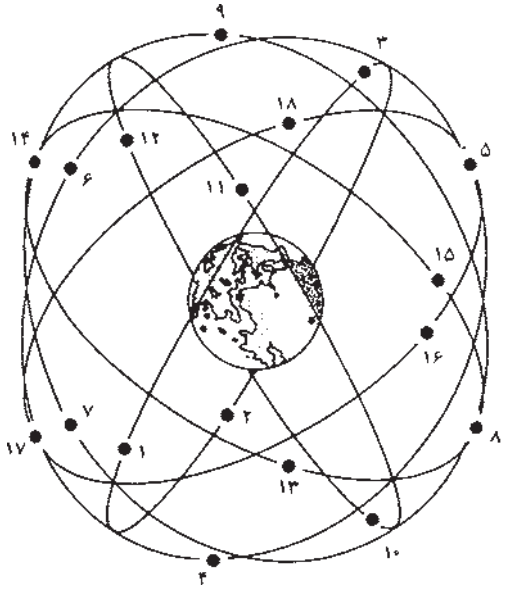
ماهواره‌های مزبور با سرعت ۳/۹ کیلومتر در ثانیه و در ارتفاع ۲۰۲۰۰ کیلومتری زمین در مدار خود حرکت خواهند کرد. ارتفاع ماهواره‌های سیستم موجود فعلی که ترانزیت نام دارد، ۱۱۰۰ کیلومتر است.

حسن انتخاب ارتفاع بیشتر در این است که مدارها کمتر در معرض تأثیر بی‌قاعدگیهای ناشی از گستردگی نامنظم جرم کره زمین قرار می‌گیرند.

GPS سرعت واحد استفاده کننده را با بهره‌گیری از پدیده داپلر (Doppler effect) محاسبه می‌کند. ضخیمتر شدن منحنیهای داپلر که ناشی از ارتفاع بالاتر ماهواره است، تنها عیب این سیستم است که می‌تواند بر دقت سرعت تعیین شده به‌وسیلهٔ این سیستم اثر بگذارد. به‌هر حال برای جبران این عیب همواره حداقل ۴ ماهواره جهت ردگیری در اختیار خواهند بود. با بهره‌گیری از پدیده داپلر، سرعت کشتیها را می‌توان تا حدود ۰/۱ متر در ثانیه مورد محاسبه قرار داد.

مجموعه این سیستم از شش سطح مداری که در هر مدار سه ماهواره در حال گردش است، تشکیل می‌شود. علاوه بر ماهواره‌های ذکر شده، سه ماهواره یدکی نیز در مدار فضایی قرار خواهند داشت تا در صورت نیاز با ارسال فرمانهای رادیویی از زمین، به وضعیت عملیاتی دربیایند.

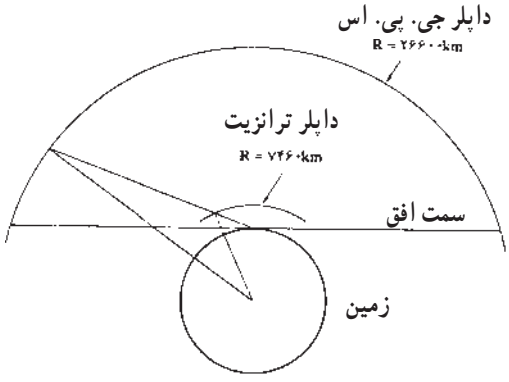
شکل ۲ــ۷ هر مدار را که دربرگیرنده سه ماهواره است نشان می‌دهد. ماهواره‌ها در هر مدار با زاویه ۱۲۰ درجه (۳÷۳۶۰) نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. زاویه بین هر یک از شش صفحهٔ مداری که با صفحهٔ استوا (زاویه میل INCLINATION) ۵۵ درجه و زاویه بین هر یک از دو صفحهٔ مداری متوالی ۶۰ درجه (۶÷۳۶۰) است.



شکل ۲ــ۷

در وضعیت نشان داده شده در شکل (۲ ــ۷) کره زمین در هر روز بخوبی یک دور کامل حول محور شمال‌ــجنوب خود گردش می‌کند. در همین زمان هر ماهواره دو بار مدار خود را کامل می‌کند. پس از این که یک ماهواره رو به شمال از استوا گذر کرد، نوبت ماهواره بعدی رو به جنوب است که از استوا عبور کند. زمانی که ماهواره نیم دور مدار را کامل می‌کند، زمین ۹۰ درجه گردش می‌کند.

در شکل (۳ــ۷) شعاع سیستم GPS و سیستم ترانزیت با منظور کردن شعاع کره زمین نشان داده شده است.



شکل ۳ــ۷

وضعیت قرار گرفتن ماهواره‌های GPS استفاده کنندگان را قادر می‌سازد تا در هر نقطه واقع بر سطح زمین یا نزدیک به سطح زمین، بتوانند موقعیت خود را با دریافت مداوم و مستقیم سیگنالهای

ناوبری از حداقل چهار ماهواره به‌دست آورند.

مطالعه آزاد

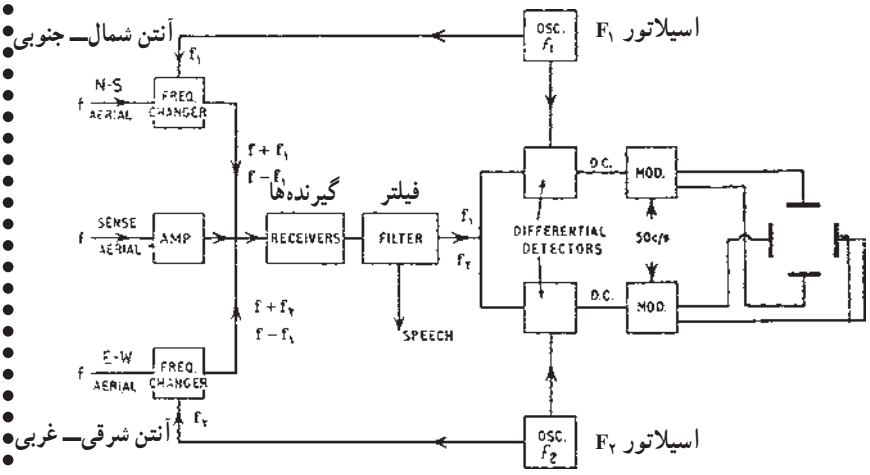
۴ــ۷ــ قسمتهای مختلف جهت‌یاب

یک سیستم جهت‌یاب اتوماتیک زمانی از ارزش قابل ملاحظه‌ای برخوردار است که جهت تجزیه و تحلیل به اپراتور نیاز نداشته یا نیازی در حد بسیار اندک داشته باشد. استفاده از امواج .M.F و .H.F در جهت‌یابها به دلیل تأثیر لایه‌های یونسفر بر آنها غیر قابل تصور است. هر دو محدوده فرکانسی .M.F و .H.F به‌طور غیرقابل پیش‌بینی تحت‌تأثیر لایه یونسفر قرار می‌گیرند.

آنتن چرخان گانیو (شامل ۲ حلقه مشابه عمود بر هم است که به‌منظور جهت‌یابی اتوماتیک باند .H.F استفاده شده است)، هنگامی می‌تواند این عمل را کاملاً به‌صورت اتوماتیک انجام دهد که موقعیت منبع تولید سیگنال ثابت بوده و تغییراتی نداشته باشد. پس برای شناخت یک سیستم کاملاً اتوماتیک باید سیستمهای VHF و UHF که در حال حاضر به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند، مورد مطالعه قرارگیرند. به منظور آشنایی کلی با نحوهٔ کار سیستم DF دیاگرام بلوکی یک سیستم و کارکرد آن به‌طور اختصار تشریح می‌شود.

در سیستمهای پیشرفته ابتدایی که از .C.R.T (Cathode Ray Tube) به‌عنوان نشان‌دهنده سمت استفاده می‌شد، سیگنالهای دریافتی به‌وسیله آنتن از دو آمپلی‌فایر که یکی برای شمال ــ جنوب و دیگری جهت مشرق ــ مغرب در نظر گرفته شده عبور می‌کند. لازمه نمایش صحیح سمت این خواهد بود که بهره (Gain) هر دو آمپلی‌فایر برابر باشد و به‌همین صورت نیز باقی بماند ؛ همچنین سیگنالها از تغییر فاز مساوی پس از عبور از تقویت‌کننده‌ها برخوردار باشند. در واقع رسیدن به شرایط فوق بسیار دشوار خواهد بود. برای غلبه بر این شکل اعمال تغییراتی در فرکانس سیگنالهای دریافتی از آنتنها مطرح خواهد شد. این سیگنالها از یک آمپلی‌فایر مشترک که فرکانس میانی (IF) را تقویت می‌کند، عبور کرده سپس در دومین مرحله بازیابی از یکدیگر جدا می‌شوند. فرکانس اسیلاتورهای محلی کمی از فرکانس صوتی بیشتر است. در شکل (۴ــ۷) یک دیاگرام سیستم جهت‌یاب نشان داده شده است.

بنابراین مشاهده شد که ملزومات سیستم عبارت خواهد بود از گیرنده‌های با بهره



شکل ۴ــ ۷ــ دیاگرام بلوکی یک جهت‌یاب VHF

(Gain) ثابت و تغییرات فازی در محدودهٔ فرکانس $2F_1$ یا $2F_2$، هر کدام که بزرگتر است، با استفاده از اسیلاتورهای محلی که دارای فرکانسی بیشتر از فرکانس صوتی باشند، می‌توان با عبور دادن سیگنال از فیلترهای پایین گذر که در خروجی گیرنده تعبیه شده‌اند، همزمان ضمن آشکارسازی صوت، امکاناتی نیز به منظور جهت‌یابی در اختیار داشت. پس از فیلتر کردن سیگنالهای صوتی در خروجی گیرنده، سیگنالهای مربوط به‌اسیلاتورهای محلی آشکار خواهد شد، به‌گونه‌ای که دامنه این موج متناسب با سیگنالها در دو آنتن مربوطه است. خروجی حاصل از این دو آشکارساز شامل ولتاژ DC که متناسب است با دامنه سیگنال دریافتی از آنتن مربوطه و قطبیت آن، بستگی به این دارد که سیگنال دریافتی از کدام لوب (lobe) از دیاگرام قطبی آنتن است.

اگر این سیگنالها به سیستم پیچهای عمودی و افقی یک لامپ CRT متصل شود، نقطه حاصل بر روی صفحهٔ نشان‌دهنده سمت است که به‌طور دقیق قابل خواندن نیست ؛ از این‌رو با اعمال تغییراتی می‌توان نقطه فوق را به خطی تبدیل کرد که آسانتر قابل بهره‌برداری باشد.

پرسش

۱ــ انواع جهت‌یاب رادیویی را نام برده، موارد استفاده هر یک را توضیح دهید.

۲ــ لایه‌های یونسفر را نام برده، فواصل هر یک را از کره زمین بیان کنید.

۳ ــ اثرات لایه‌های یونسفر را بر روی امواج رادیویی توضیح دهید.

۴ ــ اساس کار جهت‌یاب رادیویی را تشریح کنید.

۵ــ نحوهٔ به‌کارگیری جهت‌یاب رادیویی را توضیح دهید.

۶ــ مزایای سیستم G.P.S را توضیح دهید.

واژه‌نامه انگلیسی

A

1 - ACRONYM	اولین حروف کلمات ــ ایجاد یک لفظ اختصاری با کنار هم گذاشتن اولین حروف کلمات
2 - Airborne Warning And Control System (AWACS)	سیستم هشداردهنده و کنترل هوایی
3 - Altimeter	ارتفاع سنج
4 - Antenna System	سیستم آنتن
5 - Anti - Clutter Rain / Snow Switch	سوئیچ تعدیل اکوهای باران یا برف

B

6 - Beam Width	عرض (پهنای) پالس
7 - Brilliance	شفافیت

C

8 - Cathode Ray Tube (CRT)	لامپ اشعه کاتودیک
9 - Constrained Gyro	جایرو مهار شده
10 - Continuous Wave (CW)	موج پیوسته
11 - Continuous Wave Doppler Radar	رادار داپلری موج پیوسته
12 - Cursor	صفحهٔ نشانگر سمت

D

13 - Death Ray	اشعه مرگ
14 - Diffuse Reflection	انعکاس پراکنده
15 - Dipole	دیپل ــ نوعی آنتن رادیویی دو قطبی
16 - Dimmer	دیمر ــ کنترل کننده شدّت روشنایی
17 - Display	نشان‌دهنده
18 - Directional Antenna	آنتن جهتی
19 - Doppler Effect	اثر داپلر ــ تغییر فرکانس امواج پیوسته بر اثر برخورد با یک هدف متحرک
20 - Double Echo	اکوی دوبل ــ اکوی مجدد ــ بازتاب ثانویه
21 - Drift	انحراف خطی
22 - Ducting	پدیده کانال یا پدیده فوق انکسار
23 - Duplexer	دوپلکسور ــ کلید الکترونیکی فرستنده ــ گیرنده
24 - Duty cycle	سیکل کار

E

25 - Early Warning Radars	رادارهای هشداردهنده پیشرس
26 - Echo	اکو ــ بازتاب ــ پژواک
27 - Electrostrictive	تغییرپذیری الکتریکی

F

28 - Feed Horn	عنصر تشعشع‌کننده
29 - Fire Control Radars	رادارهای کنترل آتش
30 - Focus	تمرکز کانونی ــ تنظیم درجه وضوح تصویر
31 - Force of Translation	نیروی انتقال

32 - Free Gyro — جایروی آزاد

33 - Frequency - Modulated CW Radar (FMCW) — رادارهای موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس

G

34 - Gain — بهره

35 - Grass — چمن‌ـبازتابهای ناخواسته برروی نشاندهنده رادار

36 - Guide Stud — بست راهنما

H

37 - Half - Power Point — نقطه نیم توان/ نصف توان

38 - Heading Marker — خط سینه کشتی

39 - High Frequency (Hf) — فرکانس زیاد

40 - HF Oscillator — نوسان‌ساز فرکانس زیاد

41 - Horizontal Earth Rate Effect — اثر سرعت افقی زمین

I

42 - Identification Friend or Foe (IFF) — سیستم تشخیص دوست از دشمن

43 - Inclination — زاویه میِل

44 - Indicator — نشان‌دهنده

45 - Introgator — سؤال‌کننده

46 - Ionosphere — لایه یونسفر

L

47 - Line of Sight — خط دید

48 - Lobe — لوب‌ـگلبرگ

49 - Local Oscillator — نوسان‌ساز محلی

50 - Long Pulse	(عرض) پالس بلند

M

51 - Magneto strictive	تغییرپذیری مغناطیسی
52 - Magnetron	مگنترون ــ نوسان‌ساز فرکانس زیاد
53 - Microwave	امواج فرکانس زیاد
54 - Mixer	مخلوط‌کننده
55 - Modulator	مدولاتور
56 - Momentum	اینرسی حرکتی
57 - Motor - Driven Rotation Unit	سیستم چرخاننده الکتریکی آنتن
58 - Moving Target Indicator (MTI)	نشان‌دهنده هدفهای متحرک

N

59 - Navigation Radar	رادار ناوبری
60 - Nautical Mile	مایل دریایی

O

61 - Off	خاموش
62 - Omni - Directional Antenna	آنتن تمام جهتی
63 - On	روشن

P

64 - Peak Power	توان ماکزیمم ــ توان قلّه
65 - Phased Array Radar System	سیستم راداری آرایه فازی
66 - Plan Position Indicator (PPI)	نشان‌دهنده موقعیت نقشه‌ای
67 - Platform	سکو
68 - Pmin	توان حداقل ــ توان می‌نیمم
69 - Power Switch	سوئیچ برق

70 - Precession تغییر جهت محوری

71 - Probe پروب ــ حلقه

72 - Pulse - Modulated CW Radar (PMCW) رادار موج پیوسته با مدولاسیون پالسی

73 - Pulse Radar رادار پالسی

74 - Pulse Repitition Frequency (P.R.F) فرکانس تکرار پالس

75 - Pulse Repitition Time (PRT) زمان تکرار پالس

76 - Pulse - Rest Time (RT) زمان استراحت پالس

77 - Pulse Width عرض (پهنای) پالس

78 - Pulse Width Selector سوئیچ انتخاب عرض پالس

R

79 - Radar رادار

80 - Radar Antenna آنتن رادار

81 - Radar Beacon بیکن راداری

82 - Radar Cross Section سطح مقطع راداری

83 - Radar Display نشان‌دهنده رادار ــ کنسول رادار

84 - Radar Dome محفظه گنبدی شکل رادار

85 - Radar Receiver (RX) گیرندهٔ رادار

86 - Radar Transmitter (TX) فرستندهٔ رادار

87 - Radiator تشعشع کننده

88 - Radio Detection کشف رادیویی

89 - Radio Detection and Ranging (RADAR) کشف رادیویی و تعیین فاصله

90 - Radio Location تعیین موقعیت رادیویی

91 - Range Rings دوایر فاصله

92 - Rate Gyro شتاب‌سنج

93 - Receiver گیرنده

94 - Receiver Gain تقویت گیرنده

95 - Reflector منعکس کننده

96 - Refraction	انکسار
97 - Rmax	حداکثر فاصله
98 - Rigidity	پایداری تعادل

S

99 - Sea Clutter	بازتاب امواج دریا
100 - Sea Echo	اکوی دریا
101 - Sea Echo Suppression	محو اکوی دریا
102 - Search Radar	رادار جستجوگر
103 - Scanner Unit	دستگاه اسکنر ــ آنتن رادار
104 - Sensitive Element	اِلمان حسّاس
105 - Side Lobe	لوبهای جانبی ــ گلبرگهای جانبی
106 - Stable Element	المان ثابت
107 - Stand - By	در حالت آماده باش
108 - Super - Refraction	پدیده فوق انکسار
109 - Surveillance Radar	رادار مراقبت

T

110 - Target	هدف
111 - Target Cross - Section	سطح مقطع هدف
112 - Tilt	انحراف
113 - Timer	تایمر ــ زمان سنج رادار
114 - Transceiver	فرستنده/گیرنده
115 - Transducer	ترانسدیوسر
116 - Transmit	فرستادن ــ ارسال کردن
117 - Transmitter	فرستنده
118 - T - R Switch	سوئیچ الکترونیکی فرستنده/گیرنده

119 - Transponder	پاسخ‌دهنده
120 - Trigger	تریگر ــ تحریک کننده ــ شروع کننده
121 - Troposphere	لایه تروپوسفر

U

122 - Ultrasonic	مافوق صوت
123 - Undamping	میرا نشده

V

124 - Variable Range Marker (VRM)	دایره متغیر تعیین فاصله
125 - Vertical Earth Rate Effect	اثر سرعت عمودی زمین
126 - Vertical Scan	مرور عمودی آنتن ــ حرکت عمودی آنتن ــ جستجوی عمودی
127 - Video Gain	تقویت تصویری

W

128 - Wave Front	جبهه موج
129 - Waveguide	ویوگاید ــ موج‌بر

Z

130 - Zero Line	خط صفر

فهرست منابع و مآخذ

۱ــاصول تئوری رادیو، رادار و آنتن ؛ نشریه آموزشی شماره ۱ــ۳ــ۱۵۷۵ ؛ فرماندهی آموزشهای هوایی نیروی هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران ؛ تهران ؛ ۱۳۶۵.

۲ــتکنیسین رادار و جنگهای الکترونیکی ؛ نشریه آموزشی ؛ فرماندهی آموزش تخصصهای دریایی نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران ؛ انزلی ؛ ۱۳۶۳.

۳ــسلطانی، جواد ؛ ناوبری الکترونیک و رادار ؛ ژی.جی، سونن‌برگ ؛ مؤسسه آموزشی علوم و فنون دریایی و صیادی کیش ؛ تهران ؛ بهار ۱۳۷۰.

۴ــدکتر حجت کاشانی، فرخ، دکتر صفی‌الدین صفوی نائینی ؛ سیستمهای مخابرات الکترونیکی ؛ (جلد دوم)، جرج کندی ؛ انتشارات فنی حسینیان ؛ تهران ؛ چاپ دوم ۱۳۶۹.

۵ــ Encyclopedia Britannica (Vol.18), William Benton Publisher, U.S.A. 1973.

۶ــ The New Illustrated Scrence and Invention Encyclopedia (Vol.16) , H.S. Stuttman Inc. Publishers, Westport, Connecticut 06889.

۷ــ IC Electrician 3 & 2, Published by Naval Education And Training Support Command, U.S.A. / 1973.

۸ــG.J. Sonnenberg, Radar And Electronic Navigation, Sixth Edition, Butterworths, 1988.