

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آشنایی با دستگاه‌های کمک‌ناوبری

رشته الکترونیک و مخابرات دریایی

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۳۰۳۹

نسل پاک، میرحمید	۶۲۳/۸۹
آشنایی با دستگاه‌های کمک‌ناوبری/ مؤلفان: میرحمید نسل پاک، محمدرضا دیانی. - تهران:	آ ۴۳۳ ن
شرکت چاپ و نشر کتابهای درسی ایران، ۱۳۹۵.	۱۳۹۵
۱۵۵ ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۳۰۳۹)	
متون درسی رشته الکترونیک و مخابرات دریایی، زمینه صنعت.	
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتابهای	
درسی رشته الکترونیک و مخابرات دریایی دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش	
وزارت آموزش و پرورش.	
۱. دریانوردی - ابزار و وسایل. الف. دیانی، محمدرضا. ب. ایران. وزارت آموزش و	
پرورش. دفتر تألیف کتابهای درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش. ج. عنوان. د. فروست.	

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز :

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

info@tvoccd.sch.ir

پیام نگار (ایمیل)

www.tvoccd.sch.ir

وب‌گاه (وب‌سایت)

این کتاب در کارگاه ارزشیابی محتوای کتابهای درسی تابستان ۷۴ توسط هنرآموزان و
دیوران منتخب سراسر کشور و اعضای کمیسیون تخصصی برنامه‌ریزی و تألیف کتابهای درسی
رشته 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 - ۴۷۰/۵

مؤلفان : ناخدا میرحمید نسل‌پاک، ناخدا محمدرضا دنیانی

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، 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 - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

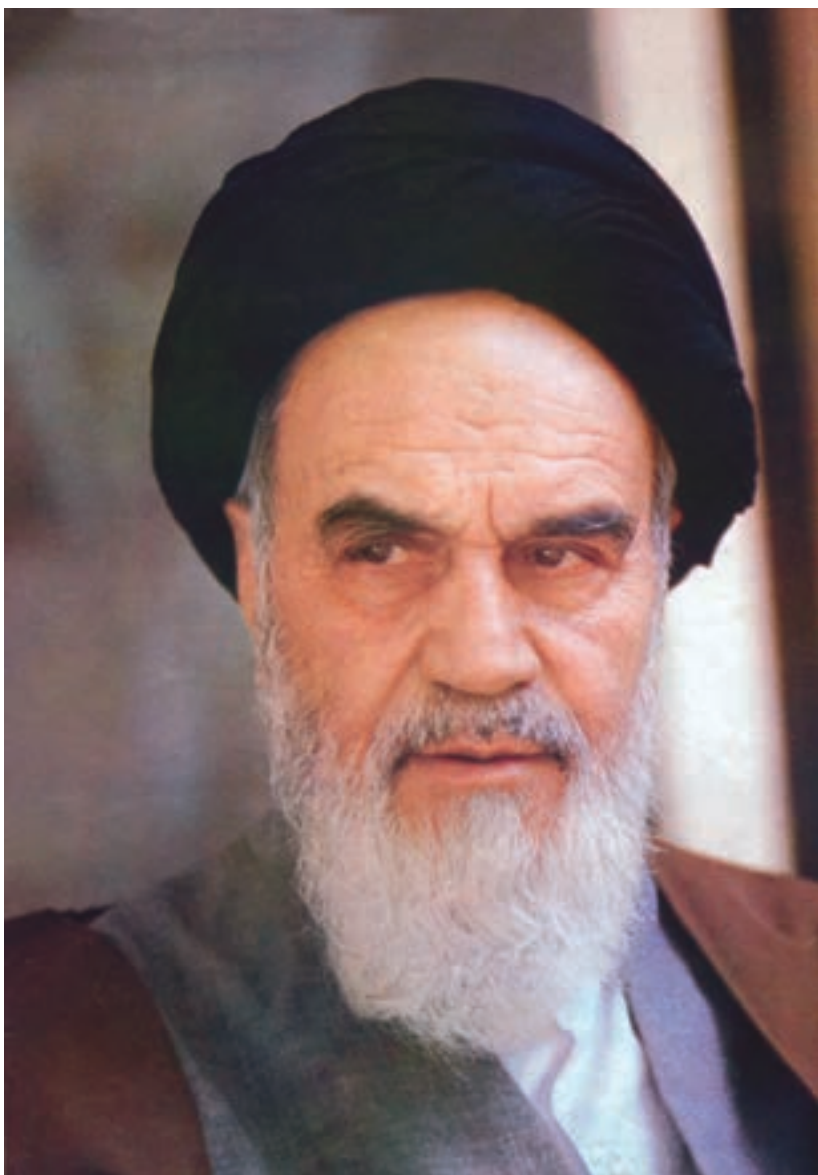
تلفن : ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹-۳۷۵۱۵

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

سال انتشار : ۱۳۹۵

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۹۶۴-۰۵-۱۱۱۹-۶ ISBN 964-05-1119-6



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

امام خمینی «قدس سرّه الشّریف»

فهرست مطالب

۲۱	۳-۱-۲- مشخصه‌های هدف	مقدمه
	۲-۲- عوامل مؤثر در تعیین	
۲۳	۱- حداکثر برد رادار	هدف کلی
	۳-۲- عوامل مؤثر در تعیین	
۲۵	۱- حداقل برد رادار	بخش اوّل - رادار
۲۶	۱-۳-۲- بازتاب دوپل	
	۴-۲- مفهوم تفکیک در	فصل اوّل : اساس کار رادار ۴
۲۷	فاصله	۱-۱- تاریخچه رادار ۴
۲۸	۵-۲- مفهوم تفکیک در سمت	۱-۲- شناخت و تعریف رادار ۷
۳۰	۶-۲- معادله رادار	۱-۳- اساس کار رادار ۷
۳۱	۷-۲- قدرت رادار	۱-۴- انعکاس امواج ۱۰
۳۳	۱-۷-۲- سیکل کار رادار	۱-۵- شکل موج رادار ۱۲
		۱-۶- فرکانس تکرار پالس
۳۵	فصل سوم : کاربردهای رادار	(PRF) ۱۲
	۱-۳- انواع مختلف سیستمهای	۱-۷- زمان تکرار پالس (PRT) ۱۳
۳۵	رادار	۱-۸- عرض پالس (PW) ۱۳
۳۶	۱-۱-۳- سیستم رادار پالسی	۱-۹- زمان استراحت پالس (RT) ۱۴
	۲-۱-۳- سیستم رادار داپلری	۱۰-۱- فرمول تعیین فاصله هدف ۱۴
۳۶	موج پیوسته	فصل دوم : عوامل مؤثر در عملکرد رادار ۱۹
	۳-۱-۳- سیستم رادار موج	۱-۲- عوامل مؤثر در عملکرد
۳۸	پیوسته با مدولاسیون فرکانس	رادار ۱۹
	۴-۱-۳- سیستم رادار موج	۱-۱-۲- شرایط جوّی ۱۹
۳۹	پیوسته با مدولاسیون پالسی	۱-۲-۱- ارتفاع هدف نسبت
	۵-۱-۳- سیستم رادارهای آرایه	به ارتفاع آنتن ۲۱
۳۹	فازی	

- ۳-۵-۴- دواير فاصله ۶۷
- ۴-۵-۴- دايره متغير تعيين فاصله ۶۸
- ۵-۵-۴- کلیدهای کنترلی صفحه نشان دهنده ۶۸
- ۶-۴-۴- کاربری سیستم رادار ۶۸
- ۱-۶-۴- کاربرد کلیدهای کنترلی ۶۹
- ۲-۶-۴- نحوه روشن کردن رادار ۷۲
- ۳-۶-۴- ایمنی ۷۲

بخش دوم - جايرو، عمق ياب و جهت ياب راديويي

- فصل پنجم : جايرو ۷۶
- ۱-۵-۵- اصول کار جايروسکوپ ۷۶
- ۲-۵-۵- خواص جايروسکوپي ۷۸
- ۱-۲-۵- پایداری تعادل ۷۸
- ۲-۲-۵- تغيير جهت محوری ۸۰
- ۳-۵-۵- اثر گردش زمین بر جايروسکوپ ۸۳
- ۴-۵-۵- چرخش ظاهري جايروسکوپ ۸۵
- ۵-۵-۵- تبدیل جايروسکوپ به جايرو ۸۸
- ۶-۵-۵- نحوه متعادل کردن جايرو ۹۱
- ۱-۶-۵- روش پاندولی ۹۳
- ۲-۶-۵- روش غير پاندولی ۹۸
- ۷-۵-۵- قسمتهای مختلف الیمان ۹۸
- حساس جايرو ۱۰۵
- ۱-۷-۵- موتور جايرو ۱۰۶

- ۳-۱-۶- مقایسه رادارهای پالسی و رادارهای موج پیوسته یا CW ۴۰
- ۲-۳-۳- کاربردهای مختلف سیستم رادار ۴۱
- ۱-۲-۳- رادارهای ناوبری ۴۲
- ۲-۲-۳- رادارهای جستجوگر ۴۴
- ۳-۲-۳- رادارهای مراقبت ۴۴
- ۴-۲-۳- رادارهای ردگیری یا کنترل آتش ۴۶
- ۵-۲-۳- رادارهای ارتفاع ياب ۴۷
- ۶-۲-۳- رادارهای بيکن ۴۸

- فصل چهارم : اجزای سیستم رادار ۵۱
- ۱-۴-۴- بلوک دیاگرام سیستم رادار ۵۱
- ۲-۴-۴- فرستنده رادار ۵۳
- ۱-۲-۴- مدولاتور ۵۴
- ۲-۲-۴- مگنترون ۵۴
- ۳-۲-۴- تایمر ۵۶
- ۴-۲-۴- سوئیچهای TR و ATR ۵۷
- ۳-۴-۴- گیرنده رادار ۵۸
- ۴-۴-۴- آنتن رادار ۵۹
- ۱-۴-۴- ساختمان و اجزای سیستم آنتن ۶۰
- ۲-۴-۴- ويوگاید ۶۳
- ۵-۴-۴- نشان دهنده رادار ۶۴
- ۱-۴-۵- روشهای نشان دهنده ۶۵
- ۲-۴-۵- اکوی امواج دریا ۶۷

- ۱۲۶ ۱-۳-۶- ثبت کننده
- ۱۲۸ ۲-۳-۶- فرستنده
- ۱۲۸ ۳-۳-۶- گیرنده
- ۱۲۸ ۴-۳-۶- نشان دهنده چراغی
- ۱۳۱ ۵-۳-۶- ترانسدیوسر
- ۴-۶- نحوه کنترل کارکرد و
- ۱۳۱ نحوه استفاده از عمق یاب
- ۱۳۴ ۵-۶- ماهی یاب
- ۱۳۷ فصل هفتم : جهت یاب رادیویی
- ۱۳۸ ۱-۷- انواع جهت یاب رادیویی
- ۲-۷- اساس کار جهت یاب
- ۱۴۰ رادیویی
- ۳-۷- کاربرد جهت یاب
- ۱۴۲ رادیویی
- ۴-۷- قسمت‌های مختلف
- ۱۴۵ جهت یاب
- ۱۴۸ واژه نامه انگلیسی
- ۱۵۵ فهرست منابع و مآخذ
- ۱۰۷ ۲-۷-۵- حلقه عمودی
- ۳-۷-۵- وزنه های خنثی کننده ۱۰۷
- ۴-۷-۵- شاخص دنباله رو
- ۱۰۷ (فالوآپ)
- ۵-۷-۵- سیمهای تعلیق الیمان
- ۱۰۷ حساس (رابط نگاه دارنده)
- ۵-۸- قسمت فانوم (نگاه دارنده)
- ۱۰۹ (الیمان حساس)
- ۵-۹- سیستم کنترل جابرو ۱۱۰
- ۱-۹-۵- موتور جنراتور ۱۱۲
- ۲-۹-۵- سیستم تغذیه از باتری ۱۱۲
- ۳-۹-۵- تنظیم کننده سرعت
- ۱۱۲ (تابلو کنترل)
- ۱۰-۵- موارد استفاده جابرو ۱۱۲
- ۱۱۹ فصل ششم : عمق یاب
- ۱-۶- مبانی و قوانین امواج
- ۱۱۹ صوتی در آب
- ۲-۶- اصول کار عمق یاب ۱۲۲
- ۳-۶- قسمت‌های تشکیل دهنده
- ۱۲۶ عمق یاب

مقدمه

در پل فرماندهی کشتیهای تجارتي، نفتکش، ماهیگیری، یدک کش ها، شناورهای تحقیقاتی و سایر انواع شناورها در سراسر جهان، کاپیتانها و افسران ناویر در راستای انجام وظایف خود متکی به مجموعه دستگاههایی هستند که به طور عموم تحت عنوان «دستگاههای کمک ناویری» شناخته می شوند. رادار، عمق یاب، جاپرو و جهت یاب رادیویی از عمده ترین این دستگاهها هستند که اطلاعات لازم را برای هدایت و ناویری شناورها در اختیار قرار می دهند.

منظور از تألیف این کتاب در راستای اهداف برنامه ریزی شده نظام جدید آموزشی، آشنایی مقدماتی با این مجموعه دستگاهها است که بر روی شناورها نصب می شوند و مورد استفاده قرار می گیرند. ناویری به عمل هدایت و راهبری کشتی اطلاق می شود. به زبانی دیگر، به پیدا کردن موقعیت کشتی و همچنین سمت یابی و مشخص کردن مسیر حرکت آن «ناویری» می گویند. دستگاههای کمک ناویری مجموعه دستگاهها و سیستمهایی هستند که بدین منظور به کار گرفته می شوند.

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

به گونه‌ای 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 به منظور ارائه یک شناخت عمومی و مقدماتی تدوین شده است.

آشنایی با دستگاههای کمک ناوبری، برای کلیه 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، به عنوان یک درس اصلی برابر برنامه‌های تدوینی در نظر 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 به گونه‌ای تدوین شده است که دانش‌آموزان عزیز را با دانش نظری و عملی دستگاههای کمک ناوبری آشنا سازد. در فصلهای مربوط به بخش اول 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، نشان‌دهنده رادار و نحوه 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 الیمان حساس جایرو، سیستم کنترل جایرو، موارد استفاده از جایرو، مبانی و قوانین امواج صوتی، اصول کار عمق‌یاب، قسمتهای تشکیل‌دهنده عمق‌یاب، موارد استفاده از عمق‌یاب، دستگاه ردیاب ماهی، اساس کار جهت‌یاب رادیویی، انواع جهت‌یاب رادیویی، قسمتهای مختلف جهت‌یاب رادیویی و کاربرد جهت‌یاب رادیویی».

مؤلفان

هدف کلی

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 کلی رادار وسیله‌ای است برای جمع‌آوری اطلاعات از اشیاء یا هدفهای دور به وسیله 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 جوئی، 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 به صورت 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 به ترتیب تشریح می‌شوند. از آنجا که این کتاب صرفاً به منظور ارائه یک شناخت عمومی و مقدماتی تدوین شده، از این رو سعی شده است که مطالب به صورت کلی و ساده بیان شوند.

اساس کار رادار

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

- ۱- تاریخچه رادار را بیان کند.
- ۲- کلمه رادار را بشناسد و آن را تعریف کند.
- ۳- نحوه کار رادار را روی دستگاه نشان دهد.
- ۴- اصول انعکاس امواج را تشریح کند.
- ۵- شکل موج رادار را با استفاده از دستگاه اسیلوسکوپ نشان دهد.
- ۶- فرکانس تکرار پالس را با استفاده از دستگاه اسیلوسکوپ نشان دهد.
- ۷- مفهوم زمان تکرار پالس را بیان کند.
- ۸- مفهوم عرض پالس را بیان کند.
- ۹- مفهوم زمان استراحت پالس را شرح دهد.
- ۱۰- فرمول تعیین فاصله هدف را توضیح دهد.

۱-۱- تاریخچه رادار

پیدایش و توسعه 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 جهت یاب رادیویی (Radio Location) در طول دهه ۱۹۳۰ پدید آمد. در سال ۱۹۴۲ نیروی دریایی آمریکا لفظ رادار (Radar) را به عنوان نام این دستگاه به کار برد که پس از آن، این لفظ به طور جهانی مورد استفاده قرار گرفت. این موضوع که رادار به طور همزمان اما در پی فعالیتهای تحقیقاتی و علمی مستقلی در کشورهای مختلف پدید آمده و شناخته شده است 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)^۱ می‌کنند، قبل از سال ۱۹۲۰ شناخته شده بود. در حقیقت از این پدیده در اثبات وجود یونسفر (Ionosphere)^۲ 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 دهه ۱۸۸۰ توانست امواج رادیویی را در لابراتوار خود ایجاد کرده نشان دهد که این امواج در اثر برخورد با اجسام فلزی منعکس می‌شوند، همان طوری که 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 به وجود آورده و حتی در سال ۱۹۰۴ آن را در چندین کشور به ثبت رسانید، اما در آن مقطع زمانی علاقه‌مندی کمی به وجود چنین دستگاهی وجود داشت.

به‌طور کلی قبل از دهه ۱۹۳۰، موضوع بازتاب امواج رادیویی بارها در لابراتوارها و آزمایشگاههای علمی مطرح بوده و درباره کاربردهای احتمالی آن نظریاتی ارائه می‌شد. در سال ۱۹۰۰ «نیکلا تسلا» (Nikola Tesla) مخترع آمریکایی که در یوگسلاوی متولد شده بود، در خصوص این که می‌توان به وسیله 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 - 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 به عنوان یک وسیله دفاعی بر علیه حملات هوایی دشمن سؤال می‌شود، او پاسخ می‌دهد که گرچه این امر به طور کلی 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 به نامهای 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 حتی در پناه دود، تاریکی و هوای مه‌آلود قرار گرفته باشند

۱- [کو (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.

۲- 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 دهه 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 به طور عموم تحت نظارت ارتش و به صورت سری انجام می گرفت. در انگلستان فعالیت در جهت ایجاد سیستم راداری، در سال ۱۹۳۴ با کار گروهی دانشمندان آغاز شد و اولین سیستم راداری آزمایشی که به وسیله 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 وافر نیز در جهت توسعه آن برای کاربردهای نظامی انجام داده بودند، اما سیستم دفاعی انگلستان در سال ۱۹۳۹ احتمالاً پیشرفته ترین نوع به حساب می آمد.

در اوایل سال ۱۹۴۰ دانشمندان انگلیسی موفق به طراحی و ساخت دستگاهی به نام مگنترون (Magnetron) شد که با به کارگیری آن در سیستم رادار امکان تولید فرستندههای راداری با قدرت زیاد میسر شد. این اختراع پیدایش رادارهای میکروویوی (Microwave Radar) را برای اولین بار عملی کرد و در حقیقت تاریخ پیدایش رادار مدرن را می توان 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 می کردند، اما در اواخر سال ۱۹۴۰ پس از ورود آمریکا به جنگ، انگلستان و آمریکا به طور 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 می بینیم که در انگلستان آمار نفراتی که بر روی سیستم رادار فعالیتهای تحقیقاتی می کردند، از ۴۰ نفر در سال ۱۹۴۱ به ۴۰۰ نفر در سال ۱۹۴۵ می رسد و این روند در سایر کشورها نیز مشهود بود.

استفاده مؤثر و موفقیت آمیز از سیستم رادار در انگلستان در طول جنگ جهانی دوم به منظور مقابله با حملات هوایی دشمن، به روشنی کاربرد مؤثر رادار را در مأموریت اصلی آن که نقش نظامی یعنی کشف و تعیین موقعیت هواپیماها در فواصل دور و تحت شرایط نامناسب جوئی بود، نشان داد. در این مدت از رادار در کاربردهای مختلف آن، از جمله کشف و تعیین موقعیت شناورهای نظامی در پهنه دریاهای نهایت بهره برداری به عمل آمد.

توسعه رادار پس از پایان جنگ جهانی دوم همچنان ادامه داشت. بسیاری از کاربردهای غیرنظامی رادار در اثر توسعه 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 جمله 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 آن که 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 تجارتي کاربرد دارد بلکه در تمامی زمینه‌ها به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد، کماکان ادامه دارد.

۲-۱- 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 به هدف است.

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

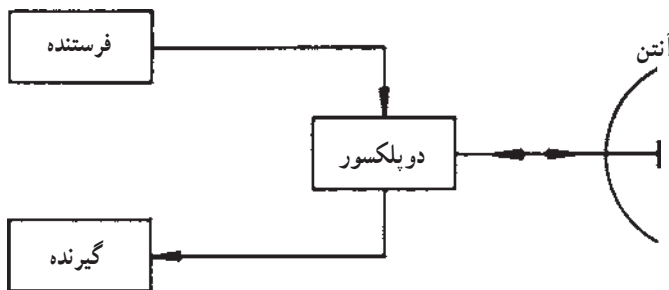
۳-۱- اساس کار رادار

اصلی که رادار بر مبنای آن کار 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 جوئی موجود قابل رؤیت نیستند، دستهای خود را به‌طور 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 از سرعت صوت که در حدود 340 متر بر ثانیه (1100 پا 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 فایق تا مانع خواهد بود.

رادار به‌طور 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 300000 کیلومتر بر ثانیه (186000 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.

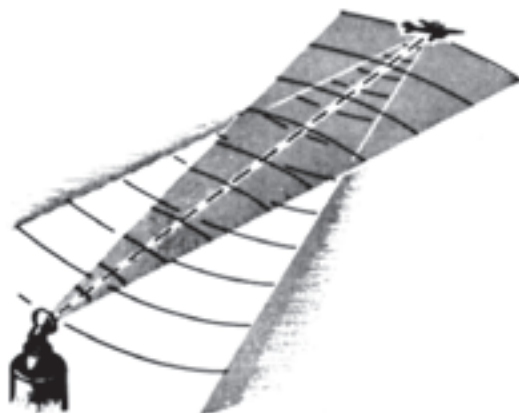
در شکل (۱-۱) بلوک دیاگرام یک رادار ابتدایی نشان داده شده است. وقتی فرستنده به‌وسیله سیگنالی که مشخص‌کننده شروع زمان است تریگر (Trigger) شود، تولید پالسهای خیلی کوتاه امواج رادیویی می‌کند و این امواج از طریق آنتن به‌صورت پرتو باریکی انتشار می‌یابد. دوپلکسور



شکل ۱-۱- بلوک دیاگرام یک رادار ابتدایی

(Duplexer) به مثابه یک کلیدی است که به موقع 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 هر قدر 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 شیء مثلاً یک کشتی دیگر برخورد کند و قسمتی از انرژی امواج رادیویی ارسالی به‌وسیله سطح کشتی که در کلیه جهات از جمله به طرف خود کشتی ارسال‌کننده امواج منعکس می‌شود، به آنتن سیستم رادار که 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 به راحتی به وسیله آنتن دریافت خواهند شد و جهت آنتن نیز نشانگر جهتی است که مانع یا هدف وجود داشته است. نحوه انتشار امواج رادیویی و بازتاب آن پس از برخورد با یک هدف مانند هواپیما در شکل (۱-۲) 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 می کند تا امکان دریافت سیگنالهای بازتاب شده از موانع و هدفهای موجود در محیط به وسیله آنتن فراهم شود.



شکل ۱-۲- انتشار امواج رادیویی و بازتاب آن

بازتاب پالس ارسال شده پس از دریافت به وسیله آنتن وارد گیرنده رادار شده، پس از پروسه شدن به صورت یک پژواک یا اکو (Echo) بر روی دستگاه نشان دهنده به تصویر درمی آید. در مراحل مختلف تولید پژواک، فاصله زمانی بین انتشار پالس و دریافت بازتاب آن بدقت اندازه گیری می شود. چون سرعت انتشار امواج رادیویی مشخص و ثابت است، می توان به راحتی 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 به کارگیری سیستم رادار توانسته ایم سمت و فاصله یک مانع یا هدف را به طور دقیق مشخص کنیم.

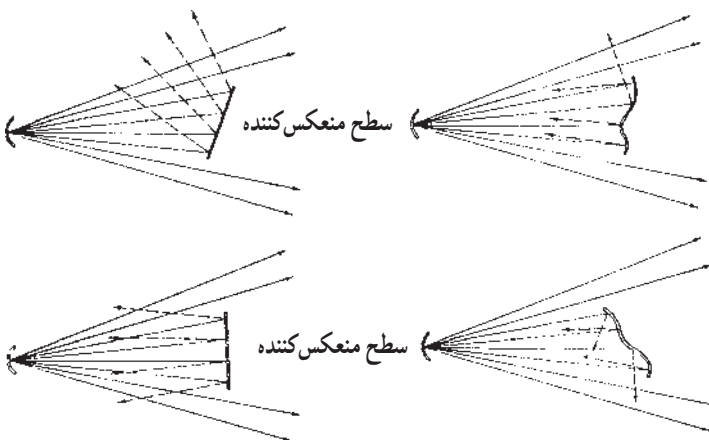
آنتن گیرنده تنها مقدار خیلی کمی از انرژی انتشار یافته را دریافت می کند، بنابراین فرستنده باید پالسهای بسیار قوی تولید کند تا آنچه که بازتاب می شود قابل بهره برداری باشد. با توجه به این که آنتن با سرعت ثابتی می چرخد و پرتوهای امواج رادیویی را به صورت پالس در فواصل مساوی خیلی

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.

۴-۱- انعکاس امواج

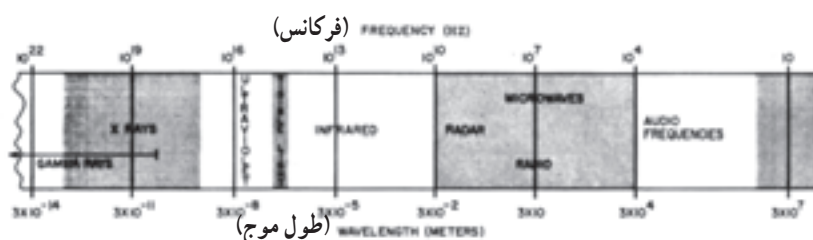
هنگامی که امواج الکترومغناطیسی از طریق آنتن در فضا منتشر می‌شوند، در برخورد یا مواجه شدن با موانع و اشیایی که در مسیر انتشار آنها قرار گرفته باشند تولید بازتاب می‌کنند. انعکاس یا بازتاب از سطوح موانع و اشیاء برابر قانون انعکاس امواج انجام می‌شود؛ بدین ترتیب که امواج ارسالی و منعکس شده در جهتی حرکت خواهند کرد که با خط عمود بر سطح منعکس کننده، زوایای مساوی تشکیل دهند. بدیهی است چنانچه امواج ارسالی عمود بر سطح منعکس کننده 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 منعکس کننده موانع از مواردی است که باعث می‌شود پراکندگی در امواج بازتاب شده ایجاد شود. در شکل (۳-۱) چند نوع از سطوح منعکس کننده و وضعیت امواج ارسالی و بازتاب شده نشان داده شده است.



شکل ۳-۱- نحوه انعکاس امواج از سطوح منعکس کننده موانع

با در نظر گرفتن این که اساس کار رادار بر مبنای 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 می شود در سیستمهای رادار از فرکانسهای بسیار زیاد استفاده شود. این باند فرکانس را باند مایکروویو (Microwave) می نامند که فرکانس آن از 10^{10} مگاهرتز به بالا است. در شکل (۴-۱) اسپکتروم امواج الکترومغناطیس که بر حسب فرکانس و طول موج ترسیم گردیده نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- طیف امواج الکترومغناطیس

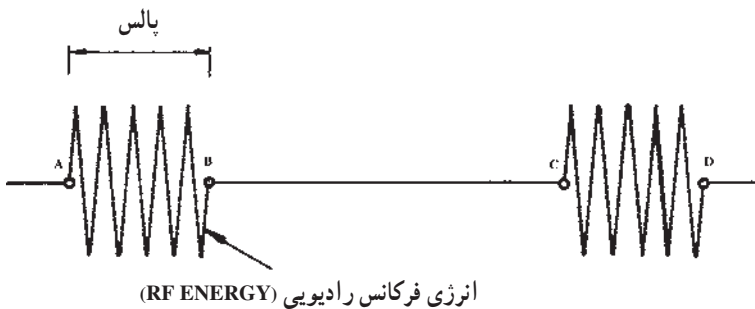
هر چند که امواج راداری همچون امواج نور در فضا تقریباً در یک خط مستقیم انتشار می یابند، اما به هر حال از آنجا که میزان غلظت هوا در اتمسفر با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می کند، در امواج راداری کمی انحناء ایجاد خواهد شد؛ بنابراین رادار تقریباً کمی بیش از افق را می تواند ببیند و برای همین است که برد یک رادار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

افزایش ارتفاع آنتن رادار، افق دید رادار را افزایش می دهد، اما برای این که بتوان افق دید رادار را به میزان قابل ملاحظه ای افزایش داد تا به سهولت هواپیماهای ارتفاع پست را کشف کرد، لازم است که رادار را در داخل یک هواپیما نصب کرده و عملیات کشف را در هوا انجام داد. این وضعیت به عنوان یک سیستم کنترل و هشدار دهنده هوایی (Airborne Warning And Control System) نامیده می شود که به اختصار با لفظ آواکس (AWACS) که از اولین حروف کلمات اشاره شده در بالا تشکیل شده است، شناخته می شود. 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.

۱-۵- شکل موج رادار

همان‌گونه که در اساس کار رادار گفته شد، رادارهای باصطلاح پالسی (Pulse Radar) قادرند با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت پالس رادار، فاصله موانع و هدفهای موجود در مسیر انتشار را محاسبه کنند. نمونه یک پالس رادار در شکل (۱-۵) نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- نمونه یک پالس رادار

هنگامی که فرستنده رادار به وسیله 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 (۱-۵) 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) تکرار می‌شود. پالس راداری مشخصه‌های گوناگونی دارد که بر اساس آنها عملکرد و خصوصیات رادارها تعیین می‌شوند. این مشخصه‌ها در قسمتهای بعدی تشریح می‌شوند.

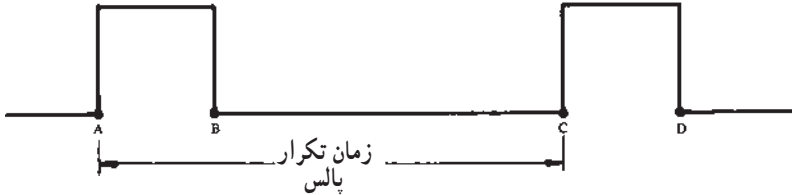
۱-۶- فرکانس تکرار پالس (PRF)

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

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

۱-۷- زمان تکرار پالس (PRT)

برابر تعریف، مدت زمان بین شروع یک پالس تا شروع پالس بعدی را زمان تکرار پالس (Pulse Repetition Time) می نامند. همان طور که در شکل (۱-۶) نشان داده شده است، فاصله زمانی بین A تا C را زمان تکرار پالس می گویند. زمان تکرار پالس (PRT) و فرکانس تکرار پالس (PRF) عکس یکدیگرند؛ یعنی:



شکل ۱-۶- مفهوم زمان تکرار پالس

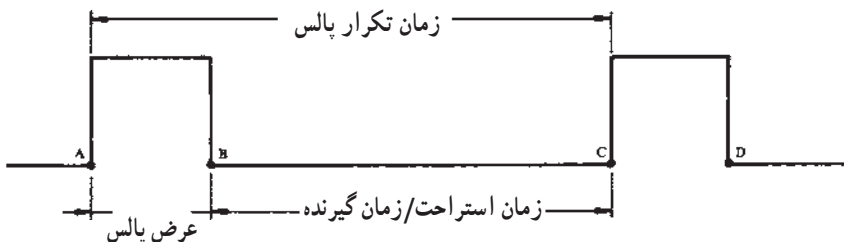
$$PRF = \frac{1}{PRT} \text{ یا } PRT = \frac{1}{PRF}$$

برای مثال، اگر زمان تکرار پالس برابر با ۱۰۰۰ میکروثانیه باشد، مقدار PRF به شرح زیر محاسبه می شود:

$$PRF = \frac{1}{PRT} = \frac{1}{1000 \times 10^{-6}} = 1000$$

۱-۸- عرض پالس (PW)

عرض پالس (Pulse Width) فاصله زمانی است که طول می کشد تا پالس ارسال شود. به تعبیری دیگر، مدت زمان دوام پالس را عرض پالس می نامند. مفهوم عرض پالس به صورت تصویری نیز در شکل (۱-۷) نشان داده شده است. این زمان را زمان فرستنده نیز می گویند، زیرا فرستنده تنها در محدوده این زمان است (A تا B) که در حال انتشار امواج از طریق آنتن است. در ضمن، گاه عرض پالس را پهنای پالس نیز می نامند. میزان عرض پالس نشان دهنده میزان انرژی است که فرستنده ارسال می دارد.



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

۹-۱- زمان استراحت پالس (RT)

در شکل (۷-۱)، فاصله زمانی B تا C را که فرستنده قطع بوده و سیستم رادار در حالت گیرندگی است، زمان استراحت پالس (Pulse Rest Time) یا زمان استراحت فرستنده می نامند. اطلاق عبارت زمان گیرنده نیز به مفهوم فوق مصطلح است؛ به سبب این که در این مدت گیرنده، بازتابهای امواج ارسالی را می تواند دریافت کند.

با توجه به مفهوم عرض پالس و زمان استراحت پالس (یا زمان گیرنده) که در شکل (۷-۱) نیز نشان داده شده اند، مشاهده می شود که مجموع عرض پالس و زمان استراحت پالس برابر است با زمان تکرار پالس، یعنی:

$$PRT = PW + RT$$

۱۰-۱- فرمول تعیین فاصله هدف

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

$$R = V \cdot t$$

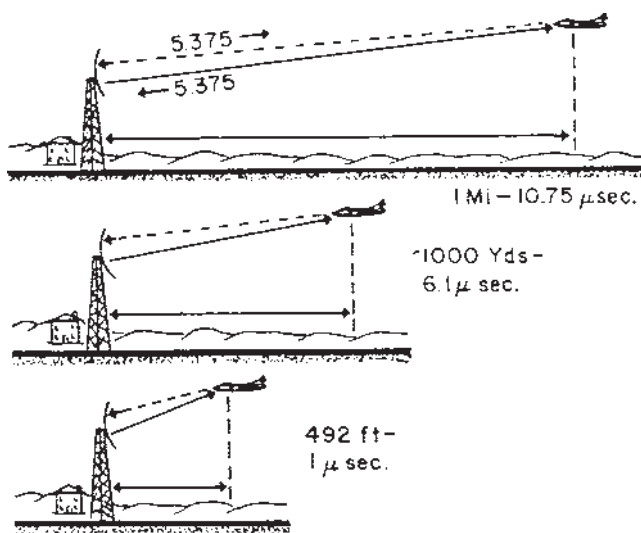
تعیین فاصله یا بُرد در یک سیستم رادار به طور دقیق، بستگی به توانایی رادار در اندازه گیری فاصله برحسب زمان طی شده دارد. سرعت امواج الکترومغناطیس در فضا برابر است با ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه (۱۸۶۰۰۰ مایل بر ثانیه یا ۱۶۲۰۰۰ مایل دریایی بر ثانیه) که همان سرعت نور است. وقتی که این امواج پس از برخورد با مانع بازتاب می شوند، هیچ گونه تغییری در سرعت آنها رخ نمی دهد و با همان سرعت انتشار، بازتاب شده مسیر برگشت را طی می کنند. از آنجا که زمان

۱- مایل 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.

$$R = \frac{C \cdot t}{2}$$

در شکل (۸-۱) زمان رفت و برگشت موج برای چند هدف (هوایما) در فواصل مختلف به صورت تصویری نشان داده شده است.



شکل ۸-۱- زمان رفت و برگشت

۱-۱۰-۱ مایل راداری - برای سهولت اندازه‌گیری فاصله 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 در نظر گرفته زمان رفت و برگشت موج را برای هر فاصله‌ای با یک تناسب ساده و با استفاده از زمان یک مایل راداری به دست می‌آوریم. یک مایل راداری همان طوری که در زیر محاسبه شده است، برابر است با ۱۲/۳۵ میکروثانیه.

$$R = \frac{C \cdot t}{2} \rightarrow t = \frac{2R}{C}$$

$$R = 1 \text{ مایل دریایی}$$

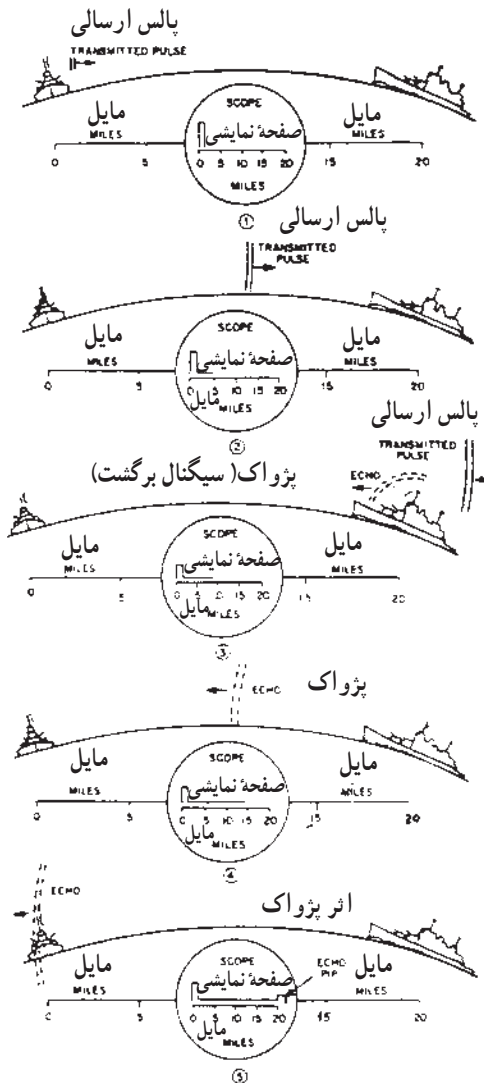
$$C = 162000 \text{ مایل دریایی بر ثانیه}$$

$$t = \frac{2 \times 1}{162000} = 12/35 \times 10^{-6} \text{ Sec.}$$

$$t = 12/35 \text{ } \mu\text{Sec}$$

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 فاصله ۱۶۴ یاردی باشد، ۱ میکروثانیه خواهد بود.

۱-۱۰-۲- تعیین فاصله به وسیله رادار- به منظور آشنایی و درک بهتر نحوه اندازه‌گیری فاصله در یک سیستم رادار، شرح خلاصه‌ای را با بهره‌گیری از تصاویر شکل (۹-۱) بیان خواهیم کرد. در این شکل یک هدف (کشتی) در فاصله ۲۰ مایلی از رادار کشتی خودی قرار گرفته است. با



شکل ۹-۱- تعیین فاصله به وسیله رادار

استفاده از زمان مایل راداری (۱۲/۳۵ میکروثانیه) در می یابیم 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 می گیرد.

۱- با ملاحظه تصویر شماره ۱ (در شکل ۹-۱) می بینیم که در لحظه صفر، پالس فرستاده شده از آنتن منتشر می شود. در همین موقع یک خط عمود نیز بر صفحه نشان دهنده رادار و در درجه بندی صفر فاصله ظاهر می شود.

۲- ۶۱/۷۵ میکروثانیه بعد پالس ارسال شده ۱۰ مایل به طرف هدف پیش رفته است. خط فاصله بر روی صفحه نشان دهنده رادار در این مدت تنها به میزان ۵ مایل پیش می رود.

۳- ۱۲۳/۵ میکروثانیه بعد از این که پالس رادار از طریق آنتن منتشر شد، به هدف که در فاصله ۲۰ مایلی قرار گرفته می رسد و سپس منعکس می شود. در این لحظه فاصله نگار رادار ۱۰ مایل را نشان می دهد.

۴- با توجه به تصویر شماره ۴ (در شکل ۹-۱)، مشاهده می کنیم 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 فاصله نگار رادار ۱۵ مایل را نشان می دهد.

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

۳-۱-۱- خطاهای محاسبه فاصله و سمت - هر چند در فاصله زمانی که طول می کشد 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 جابه جا خواهند شد، اما با انجام محاسبات لازم مشاهده می کنیم که خطاهای ایجاد شده در فاصله و حتی سمت به حدی ناچیز است که در عمل می توان از آنها صرف نظر 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 0.00031 ثانیه به طول خواهد انجامید. چنانچه سرعت هواپیما ۶۰۰ مایل بر ساعت (حدود ۳۰۰ متر بر ثانیه) باشد، در همین زمان هواپیمای مذکور تنها حدود 0.1 متر ($0.1 = 0.00031 \times 300$) جابه جا 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.

به گونه‌ای 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 ۱۵° درجه ($۱۵^\circ = \frac{۳۶^\circ}{۶} \times ۲۵$)

خواهد بود. این تغییر در زمان $۰/۰۰۰۳۱$ ثانیه به $۰/۰۴۶$ درجه ($۰/۰۴۶ = ۰/۰۰۰۳۱ \times ۱۵^\circ$) خواهد

رسید که با توجه به ناچیز بودن این 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

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

۲- رادار (RADAR) اولین حرف چه کلماتی است و به چه منظوری به کار می‌رود؟

۳- دو پارامتر اصلی هدف که به وسیله رادار تعیین می‌شوند کدام‌اند؟

۴- اساس کار رادار را بیان کنید.

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

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

۷- اگر زمان تکرار پالس یک رادار ۵° میکروثانیه باشد، مقدار PRF آن را محاسبه کنید.

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

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

۱۰- 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؟

عوامل مؤثر در عملکرد رادار

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

- ۱- عوامل مؤثر در عملکرد رادار را نام ببرد.
- ۲- عوامل مؤثر در تعیین حداکثر بُرد رادار را تشریح کند.
- ۳- عوامل مؤثر در تعیین حداقل بُرد رادار را تشریح کند.
- ۴- تفکیک در فاصله را با استفاده از دستگاه رادار نشان دهد.
- ۵- تفکیک در سمت را با استفاده از دستگاه رادار نشان دهد.
- ۶- معادله رادار را بنویسد و توضیح دهد.
- ۷- مفهوم قدرت رادار را توضیح دهد.

۱-۲- 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 هر یک به گونه‌ای خاص بر روی نحوه کار و عملکرد رادار تأثیر می‌گذارند. عمده‌ترین این عوامل عبارتند از:

- ۱- شرایط جوّی؛
 - ۲- ارتفاع هدف نسبت به ارتفاع آنتن؛
 - ۳- مشخصه‌های هدف.
- ۱-۱-۲- شرایط جوّی - امواج آبهای اطراف کشتی که در مسیر 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 اکوهای 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 دره‌های طوفانی میزان پژواک دریا بر روی صفحه رادار زیاد بوده تا فواصل بیشتری توسعه می‌یابد و این امر، تشخیص هدفهایی را که پژواک آنها در محدوده این پژواکهای دریا قرار گرفته باشند بسیار دشوار می‌کند. در شرایط جوئی نامساعد، پدیده 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 منعکس کننده عمل نمی‌کند. گاه شرایط جوئی 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 درجه حرارت و رطوبت لایه تروپوسفر^۱ (Troposphere) باعث کاهش ضریب دی‌الکتریک آن با افزایش ارتفاع می‌شود؛ از این رو تشعشعات راداری همواره به سمت پایین انکسار^۲ (Refraction) پیدا کرده در نتیجه افق دید رادار به گونه‌ای می‌شود که گویی شعاع کره زمین $\frac{4}{3}$ 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 در نتیجه 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 وسیله رادار کشف می‌شود، ممکن است تحت شرایط خاص جوئی 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 به دنبال خواهد داشت و برعکس وقتی انحنای پرتوها به سمت بالا باشد، نتیجه آن کاهش شدید برد خواهد بود.

در محدوده 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

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

۲- 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:

- ۱- جذب مستقیم انرژی به وسیله گازهای موجود در اتمسفر؛
- ۲- 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.

۲-۱-۲- ارتفاع هدف نسبت به ارتفاع آنتن — 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:

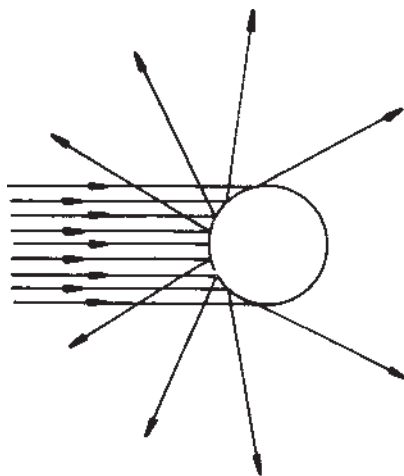
$$R_{\max} = \sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}$$

در آن R_{\max} حداکثر برد بر حسب مایل، h_1 ارتفاع آنتن رادار بر حسب فوت و h_2 ارتفاع یا بلندی هدف نسبت به سطح آب بر حسب فوت است.

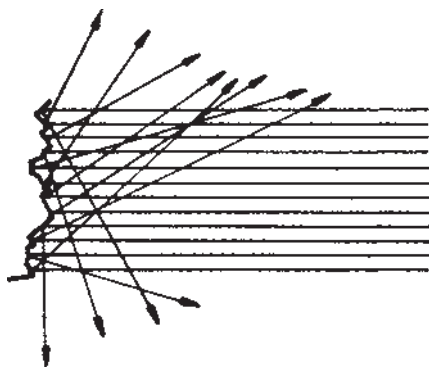
۳-۱-۲- مشخصه‌های هدف — نوع جنس تشکیل دهنده هدف، شکل و اندازه آن از مشخصه‌هایی است که هر یک به گونه‌ای بر عملکرد رادار تأثیر می‌گذارد. اشعه‌های نور که با یک جسم برخورد می‌کنند، یا منعکس می‌شوند یا جذب می‌شوند و یا مانند شیشه شعاعهای نور را از خود عبور می‌دهند. همین شرایط در مورد امواج رادار نیز حکمفرما است و همواره جذب بخشی از امواج راداری به وسیله 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 تشکیل دهنده 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 بر نحوه کار رادار تأثیر می‌گذارد. پرتوهای رادار پس از برخورد با هدف 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 نحوه کار رادار تأثیر مثبت خواهد داشت. در مواردی که سطح منعکس کننده 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 صفحه نشان دهنده رادار ظاهر خواهد شد. در شکل (۱-۲) نحوه انعکاس از یک گوی که در تمام جهات بازتاب می شوند، نشان داده شده است. همچنین در شکل (۲-۲) نیز نحوه انعکاس از یک سطح ناهموار نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- انعکاس در تمام جهات

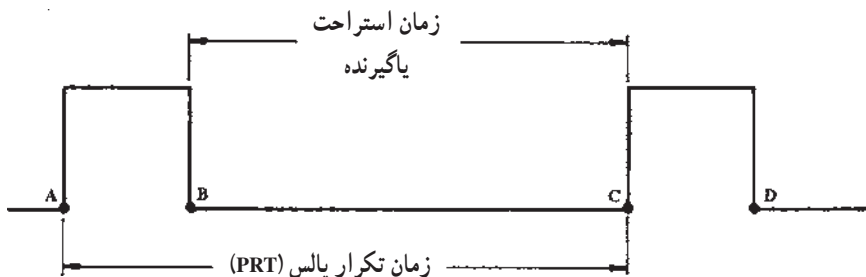


شکل ۲-۲- انعکاس از سطح ناهموار

علاوه بر نوع جنس و شکل جسم که بر بازتاب امواج راداری اثر می‌گذارد، 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 اندازه جسم در مورد هدفهای راداری واژه‌ای به کار گرفته می‌شود که نشانگر اندازه هدف است. این واژه «سطح مقطع راداری» است (Radar Cross Section)^۱ 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 در نظر 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 اندازه 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 به دست 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.

۲-۲- 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 (۲-۳)



شکل ۲-۳- پالس رادار

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

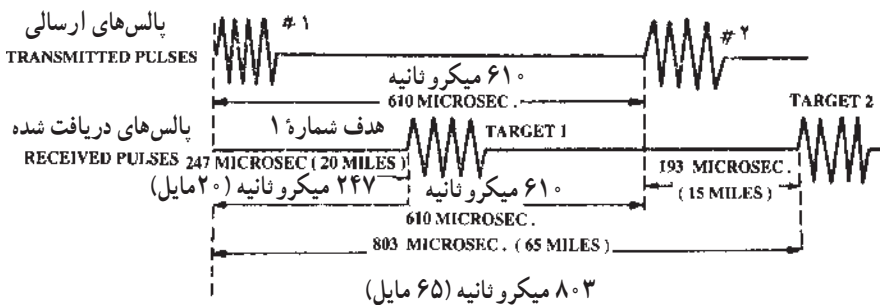
یک پالس رادار نشان داده شده است. همان طور که قبلاً شرح داده شد، در فاصله A تا B پالس ارسال می شود و در فاصله B تا C که تحت عنوان زمان استراحت یا زمان گیرنده نامیده می شود، گیرنده رادار آمادگی دریافت بازتابهای پالس ارسال شده را دارد؛ بنابراین طولانی ترین فاصله ای که رادار می تواند ببیند، از نظر زمانی به وسیله مقدار PRT مشخص می شود.

درحالتی که PRT رادار خیلی کم باشد (PRF زیاد)، مشاهده می شود 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 اندازه گیری فاصله می شود، زیرا رادار بازتاب را مربوط به پالس دوم در نظر گرفته (چون بازتاب در زمان گیرنده بعد از پالس بعدی وارد گیرنده خواهد شد) فاصله ای کوتاهتر از مقدار واقعی را نشان می دهد؛ بنابراین حداکثر فاصله ای که رادار قادر است برد هدف را به طور واقعی نشان دهد، فاصله ای است که بازتاب هدف قبل از شروع پالس بعدی (نقطه C در شکل ۳-۲) به گیرنده رسیده باشد. این فاصله را تحت عنوان «حداکثر فاصله واضح» می نامند و مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید.

$$\text{حداکثر فاصله واضح} = \frac{\text{PRT}}{12/35}$$

در این رابطه فاصله برحسب مایل دریایی و PRT برحسب میکروثانیه 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 می شود.

برای درک بهتر مطلب به شکل (۴-۲) توجه کنید. در این شکل یک پالس راداری با RRT برابر ۶۱ میکروثانیه نشان داده شده است. این مقدار PRT مشخص می کند که حداکثر فاصله واضح این رادار حدود ۵ مایل است. فرض کنید این پالس در مسیر انتشار خود به دو هدف برخورد کند که

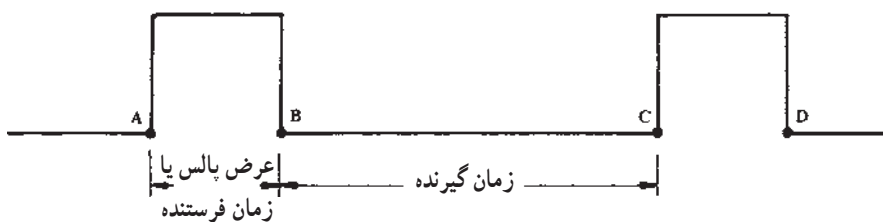


شکل ۴-۲- حداکثر فاصله واضح

هدف اول در فاصله ۲۰ مایلی و هدف دوم در فاصله ۶۵ مایلی قرار گرفته باشند. بازتاب مربوط به هدف اول، ۲۴۷ میکروثانیه و بازتاب مربوط به هدف دوم ۸۰۳ میکروثانیه پس از ارسال و انتشار پالس اول به گیرنده خواهند رسید. همان طوری که در شکل (۴-۲) نیز مشاهده می‌شود، بازتاب هدف اول به طور صحیح و در موقعیت 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 در اثر برخورد پالس دوم با هدفی که در فاصله نزدیک قرار گرفته باشد در نظر 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 هر قدر PRT بیشتر باشد، حداکثر برد رادار بیشتر خواهد شد.

۳-۲- 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 ۵-۲ نشان داده شده است، کوتاهترین



شکل ۵-۲- حداقل فاصله رادار

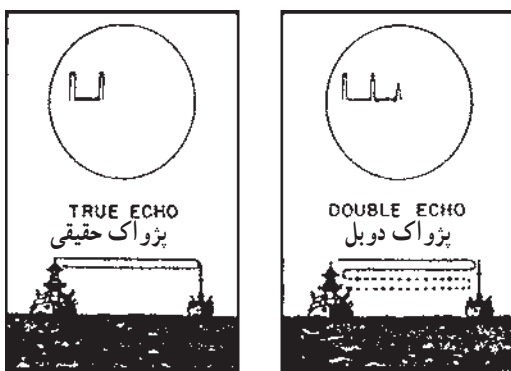
فاصله‌ای که بازتاب یک هدف می‌تواند وارد گیرنده شده بر روی صفحه نشان دهنده رادار ظاهر شود، فاصله‌ای است که بازتاب آن در نقطه B، یعنی بلافاصله در شروع به کار گیرنده وارد آنتن رادار شود. با توجه به این که زمان رفت و برگشت پالس باید برابر با زمان عرض پالس (PW) باشد؛ بنابراین حداقل فاصله از رابطه زیر به دست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

$$\text{حداقل فاصله رادار} = 164 \times PW$$

در این رابطه فاصله برحسب 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 میکروثانیه خواهد بود و رابطه فوق با یک تناسب ساده حاصل خواهد شد.

در راستای توضیح بیشتر درباره حداقل فاصله یا برد رادار، چنانچه کل زمان ارسال پالس (عرض پالس) برابر با ۲ میکروثانیه باشد، هیچ پالسی در این محدوده زمانی ۲ میکروثانیه دریافت نخواهد شد. به عبارت دیگر، هیچ بازتابی از هدفهای نزدیکتر از ۳۲۸ یارد ($328 = 164 \times 2$) 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.

۱-۲-۳- بازتاب دوبل - 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 نحوه 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 اکوی 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 در شکل (۶-۲) نشان داده شده است. البته لازم به ذکر است



شکل ۶-۲- بازتاب فانویه

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 اکوی حقیقی نیز بر روی صفحه نشان دهنده رادار ظاهر خواهد شد. همان طور که مشاهده می شود، شکل (۶-۲) این حالت را نشان می دهد.

۴-۲- مفهوم تفکیک در فاصله

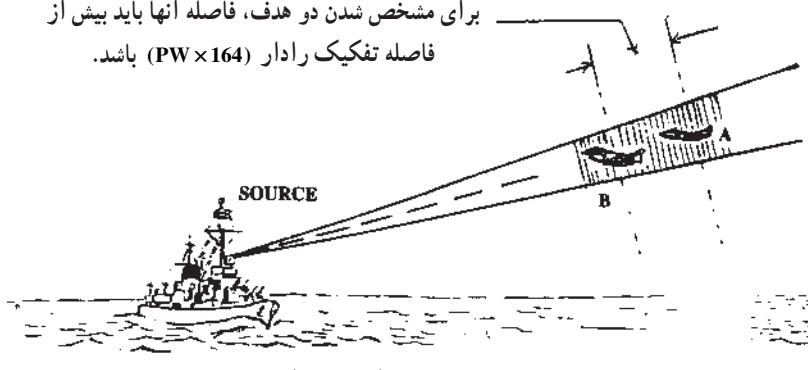
تفکیک در فاصله عبارت است از توانایی یک رادار در تشخیص و تفکیک دو هدف که دارای سمت یکسان نسبت به کشتی خودی بوده، اما فاصله آنها متفاوت باشد. در عمل وقتی دو هدف در یک سمت بوده و فاصله میان آنها کم باشد، از نظر رادار به صورت یک هدف بر روی صفحه نشان دهنده رادار ظاهر خواهند شد. حداقل فاصله ای که بین این دو هدف باید باشد تا آنها به صورت دو هدف جداگانه به تصویر درآیند، حد تفکیک فاصله نامیده می شود.

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

$$\text{حد تفکیک فاصله} = 164 \times PW$$

مفهوم تفکیک در فاصله و یا به عبارت دیگر دقت در فاصله در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. برای مثال، چنانچه راداری را با عرض پالس ۱ میکروثانیه در نظر بگیریم، با استفاده از رابطه مربوطه، میزان حد تفکیک فاصله برابر با ۱۶۴ یارد است؛ یعنی اگر دو هدف با فاصله ای 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 نشان دهنده داشته باشند باید حداقل ۱۶۴ یارد از یکدیگر فاصله داشته باشند، در غیر

برای مشخص شدن دو هدف، فاصله آنها باید بیش از فاصله تفکیک رادار ($PW \times 164$) باشد.



شکل ۷-۲- حد تفکیک در فاصله

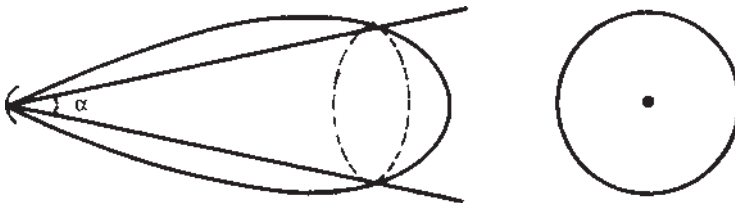
این صورت تنها یک اکو ظاهر خواهد شد.

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 لبه جلویی پالس بر روی هدف دورتر قرار گرفته هدف نزدیکتر نیز در داخل پالس ارسالی بوده و یا حداکثر لبه عقبی پالس بر روی آن قرار می‌گیرد؛ در نتیجه یک بازتاب ایجاد خواهد شد، مگر آن‌که وقتی لبه جلویی پالس بر روی هدف دورتر قرار گرفت لبه عقبی پالس از روی هدف نزدیکتر گذشته باشد که در این صورت دو اکوی مجزا تشکیل خواهد شد.

۲-۵- مفهوم تفکیک در سمت

تفکیک در سمت عبارت است از توانایی یک رادار در تشخیص و تفکیک 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 معینی باشد.

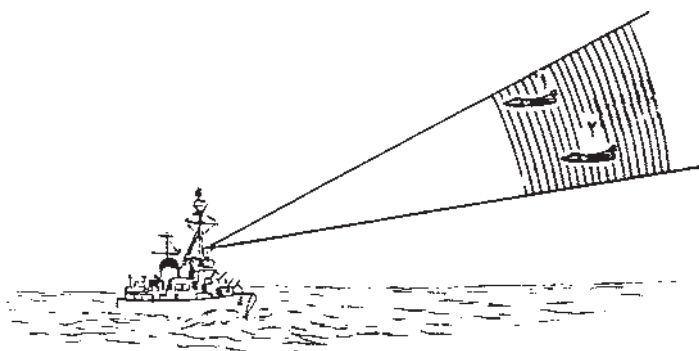
امواج راداری وقتی از آنتن انتشار می‌یابند به صورت یک خط راست نیستند، بلکه لبه جلویی موج به صورت یک سطح کروی شکل بوده که در طول مسیر انتشار هر چه فاصله زیادتر باشد قطر پرتو رادار بیشتر می‌شود. برای اندازه‌گیری قطر پرتو که به عنوان یک مشخصه پرتو رادار مطرح است، از مفهوم عرض پرتو (Beam Width) که یک معیار زاویه‌ای است، استفاده می‌شود. در شکل (۲-۸) تصویری از یک پرتو رادار و همچنین مفهوم عرض پرتو نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲-۸) ملاحظه می‌شود که هر قدر عرض پرتو کمتر باشد، پرتو باریکتر بوده در مسیر انتشار فضای کمتری را تحت پوشش قرار می‌دهد. زاویه . را عرض پرتو می‌نامند و معمولاً میزان آن را با درجه بیان می‌کنند.



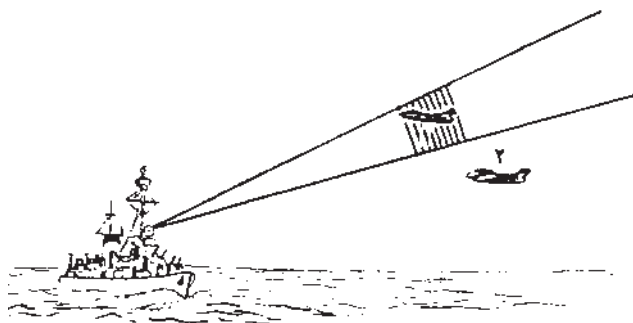
شکل ۲-۸- تصویری از یک پرتو موج، مفهوم عرض پرتو و سطح مقطع لبه جلویی پرتو

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 می کنند، مگر آن که پرتو رادار به اندازه ای باریک باشد که هر دو هدف همزمان در داخل پرتو قرار نگیرد که در این 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 می یابد، تفکیک هدفها در سمت در فواصل دورتر بسیار دشوارتر خواهد بود. در شکل (۹-۲) دو هدف مشاهده می شود که هر دو در پرتو رادار قرار گرفته قابل تفکیک نیستند، اما برعکس در شکل (۱۰-۲) که عرض پرتو باریکتر است؛ در هر لحظه تنها یکی از هدفها در داخل پرتو و در معرض پالس قرار می گیرد و در نتیجه از یکدیگر قابل تفکیک بوده، به صورت دو اکوی مجزا و مستقل خواهد شد.



شکل ۹-۲- دو هدف غیر قابل تفکیک در سمت



شکل ۱۰-۲- دو هدف قابل تفکیک در سمت

پس به طور کلی دقت در سمت یا حد تفکیک در سمت به وسیله عرض پرتو مشخص می شود. 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 می شوند.

۶-۲- معادله رادار

یک سیستم رادار باید سیگنالهای ضعیفی را که از هدفهای دور دست منعکس می‌شوند، کشف و دریافت کند. معادله رادار به لحاظ این که 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 در مورد 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:

$$R_{\max} = \frac{P \cdot A^2 \cdot S}{4 \cdot P_{\min}} \cdot \frac{1}{4}$$

در رابطه ذکر شده برای معادله رادار:

$$R_{\max} = \text{برد حداکثر رادار}$$

$$P = \text{قدرت (توان) ارسالی}$$

$$A = \text{سطح دریافتی آنتن گیرنده}$$

$$S = \text{سطح مقطع راداری هدف}$$

$$. = \text{طول موج}$$

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

نتایج بسیار جالب و مهمی را با بررسی دقیق معادله رادار می‌توان به دست آورد. اولین 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. در نتیجه روشن است که چنین افزایش توانی در هر سیستم 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 مؤثر خواهند بود اثرات منفی خواهد داشت.

۱- 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 در عمل 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 در نتیجه هرگونه تغییر در ابعاد آنتن، عرض پرتو را نیز تغییر خواهد داد و این در بعضی موارد در عملکرد مطلوب رادار محدودیت ایجاد می‌کند.

به طور کلی معادله رادار نحوه ارتباط عوامل مختلف را که در عملکرد رادار مؤثرند، بیان می‌کند. از این معادله می‌توان در طراحی سیستمهای راداری متناسب با نوع کاربرد و خصوصیات 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 10^{-13} وات، سطح دریافتی آنتن رادار برابر ۵ متر مربع و سطح مقطع راداری هدف برابر با ۲ متر مربع باشد.

$$R_{\max} = \frac{P \cdot A^2 \cdot S}{4 \cdot P_{\min}} \cdot \frac{1}{4}$$

$$R_{\max} = \frac{500 \times 10^3 \times 5^2 \times 20 \cdot \frac{1}{4}}{4 \times (0/03)^2 \times 10^{-13}} = \left(\frac{25}{36} \times 10^{24} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 6/86 \times 10^5 \text{ متر}$$

$$= 686 \text{ کیلومتر (مایل دریایی } 370 \text{)}$$

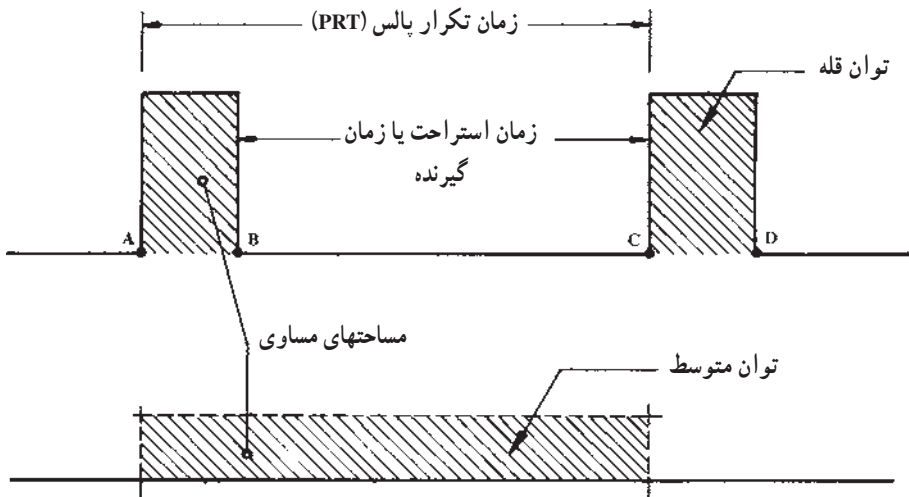
۷-۲- قدرت رادار

در یک سیستم رادار، فرستنده امواج الکترومغناطیسی را با انرژی زیاد به صورت پالسهای 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 دور دست 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 آن را 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 درمی آید، توان متوسط فرستنده (AVERAGE POWER) در مقایسه با توان قله (PEAK POWER) در طول زمان تکرار پالس (PRT) بسیار کم خواهد بود.

در شکل (۱۱-۲) 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 قله یا به عبارتی، قدرت پیک است. در بقیه زمان یعنی از نقطه B تا C که گیرنده شروع به کار می کند تا بازتابهای پالسهای ارسالی را دریافت کند، مقدار توان صفر است. از آنجا که اندازه گیری میزان توان قله عملی نیست، معمولاً توان متوسط فرستنده اندازه گیری شده بر مبنای روابطی که میان توان قله و توان متوسط وجود دارد، میزان توان قله فرستنده مشخص می شود.

همان طور که در شکل (۱۱-۲) 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 (۱۱-۲) به وسیله سطوح هاشور زده نشان



شکل ۱۱-۲- توان قله (Peak power) و توان متوسط

داده شده است. رابطه میان توان متوسط که در طول یک سیکل کامل (زمان تکرار پالس - PRT) مصرف می شود و توان قله که در طول زمان عرض پالس تولید می شود، به شرح فرمول زیر است:

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

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

۱-۷-۲- سیکل کار رادار (DUTY CYCLE) — سیکل کار رادار (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 رابطه زیر نوشت:

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

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

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

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

$$PW = 2 \text{ میکرو ثانیه} \quad PRF = 5000 \text{ هرتز}$$

$$PRT = \frac{1}{PRF} = \frac{1}{5000} = 200 \text{ میکرو ثانیه}$$

$$\text{سیکل کار} = \frac{PW}{PRT} = \frac{2}{200} = 0.01$$

همان طور که در مثال ۱ مشاهده شد، چون بین PRT و PRF یک رابطه عکس ($PRT = \frac{1}{PRF}$)

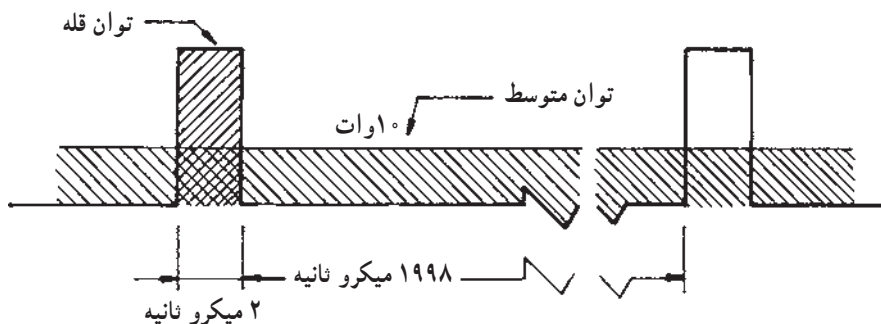
وجود دارد، می‌توان فرمول مربوط به سیکل کار رادار را به صورت زیر نیز نوشت:

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

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

$$PRT = PW + RT = 2 + 1998 = 2000 \text{ میکروثانیه}$$

$$\text{سیکل کار} = \frac{PW}{PRT} = \frac{2}{2000} = 0.001$$



شکل ۱۲-۲

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

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

کیلووات ۱۰ = توان قله

پرسش

- ۱- عوامل مؤثر در عملکرد رادار را نام ببرید؟
- ۲- پژواک دریا (SEA CLUTTER) را شرح داده اثرات آن را در عملکرد رادار بیان کنید.
- ۳- اتمسفر چه اثراتی بر روی امواج راداری دارد؟
- ۴- سطح مقطع راداری هدف را تعریف کنید.
- ۵- حداکثر فاصله واضح رادار به چه عاملی بستگی دارد؟
- ۶- اگر بخواهیم در یک سیستم رادار هدفهای تا ۶۵ مایلی را کشف کنیم، میزان PRT حداقل چه باید باشد؟
- ۷- اگر عرض پالس ۲ میکروثانیه باشد، حداقل فاصله رادار چه قدر است؟
- ۸- مفهوم تفکیک در سمت را تشریح کنید.
- ۹- سیکل کار رادار را تعریف کرده روابط مربوط را بنویسید.
- ۱۰- اگر فرکانس تکرار پالس ۲۰۰۰ هرتز و سیکل کار رادار ۰/۰۰۲ باشد، عرض پالس چه قدر است؟

کاربردهای رادار

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

۱- انواع مختلف سیستمهای رادار را نام ببرد و تشریح کند.

۲- کاربردهای مختلف سیستم رادار را بیان کند.

مطالعه آزاد

۱-۳- 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 هر چند مختصر به این سیستمها بشود. به طور کلی انواع مختلف سیستمهای رادار به شرح موارد زیر هستند:

۱- سیستم رادار پالسی؛

۲- سیستم رادار داپلری موج پیوسته

؛ (CONTINUOUS - WAVE DOPPLER RADAR)

۳- سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس

؛ (FREQUENCY - MODULATED C.W. RADAR)

۴- سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون پالسی

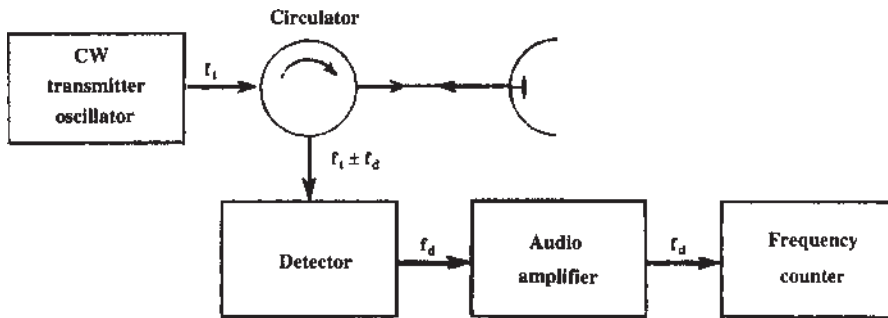
؛ (PULSE - MODULATED C.W. RADAR)

۵- سیستم رادارهای آرایه فازی

.(PHASED ARRAY RADAR SYSTEM)

۱-۱-۳- سیستم رادار پالسی- همان طور که قبلاً ذکر شده است، رادارهای پالسی مبادرت به ارسال پالسی از امواج الکترومغناطیسی می کنند که این امواج از طریق آنتن در فضا منتشر و در مسیر انتشار خود، پس از برخورد با هرگونه مانعی یا هدفی منعکس می شوند و بازتاب آن به وسیله گیرنده دریافت و بر روی صفحه نشان دهنده رادار ایجاد اکو می کند. 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 می کنیم که رادارهای پالسی بیشترین کاربرد را در روی شناورها چه نظامی و چه غیر نظامی دارند و خود به چند دسته تقسیم بندی می شوند. رادارهای ناوبری، جستجوگر و رادارهای ردگیری از جمله این دسته بندیها هستند؛ ضمن این که رادارهای بیکن (RADAR BEACON) نیز از نوع رادارهای پالسی به شمار می روند.

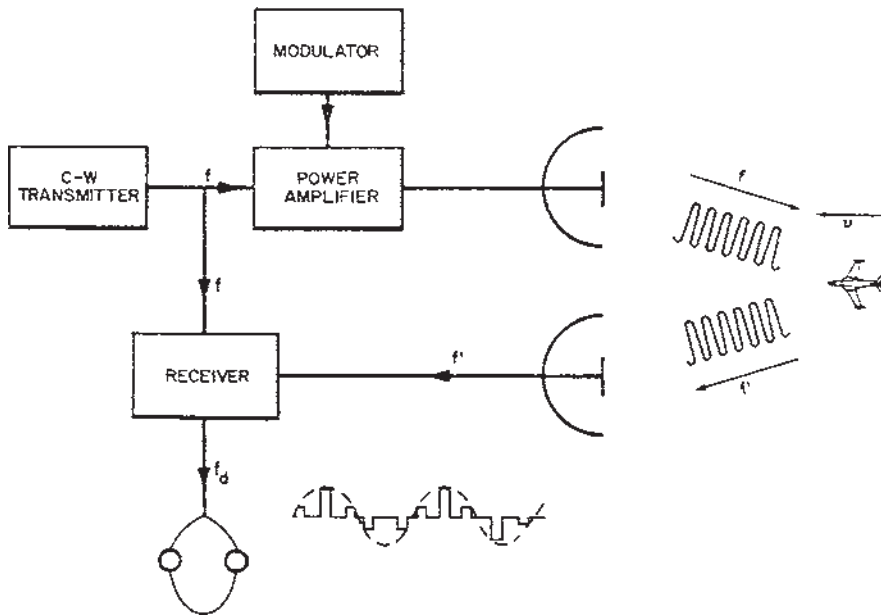
۲-۱-۳- سیستم رادار داپلری موج پیوسته (CONTINUOUS WAVE-DOPPLER RADAR) - یک رادار داپلر ساده مانند آنچه در شکل (۱-۳) نشان داده شده است، به جای ارسال پالس، امواج سینوسی پیوسته (CONTINUOUS - WAVE) را از طریق آنتن به خارج می فرستد. در این سیستم راداری از اثر داپلر (DOPPLER EFFECT) برای آشکارسازی تعیین و تغییر فرکانسی که به وسیله یک هدف متحرک در برخورد با این امواج ایجاد می شود، استفاده شده و از آن سرعت نسبی هدف مشخص می شود.



شکل ۱-۳- 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، در صورتی 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 (۱-۳) 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. در شکل (۲-۳) تصویری از یک سیستم رادار داپلری که در آن از دو آنتن مجزا استفاده شده است، نشان داده می‌شود.



شکل ۲-۳- 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 و ثابت 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) در هر لحظه دریافت شده است؛ و به همین جهت نخواهد توانست زمان رفت و برگشت سیکل بخصوص دریافت شده را تعیین کند و در نتیجه 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 در رادارهای پلیس است.

۳-۱-۳- سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس - 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 مهم و اصلی رادار C.W. با مدولاسیون فرکانس (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 در مورد 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.

ارتفاع یاب کاربرد اصلی رادار موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس (FMCW)^۱ 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 دربر خواهد داشت که در نتیجه برای استفاده در هواپیما که محدودیت وزن همواره مطرح است، مناسب خواهد بود.

۴-۱-۳- سیستم رادار موج پیوسته با مدولاسیون پالسی — 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 (MOVING TARGET INDICATOR) MTI است. با توجه به این که نحوه کار مشابه رادارهای FMCW است، در این مورد به همین شرح مختصر بسنده می‌کنیم.

۵-۱-۳- سیستم رادارهای آرایه فازی — 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 پرتو موج می‌چرخد. در این سیستم آنتن، آرایه‌ای شامل تعداد زیادی آنتن تکی است که با اعمال تغییر فازهای مختلف به تغذیه کنه‌های آنتنهای تکی و تغییر الکترونیکی تغییر دهنده‌های فاز، پرتو به چرخش درخواهد آمد. به طور کلی یک آرایه آنتن عبارت است از سیستم تشعشعی که شامل چندین

۱- FMCW مخفف FREQUENCY MODULATED CONTINUOUS WAVE است.

تشعشع کننده یا عنصر تکی است. اینها آنقدر نزدیک یکدیگر قرار گرفته اند که هر یک در میدان القایی بقیه واقع می شوند؛ بنابراین، این عناصر بر روی هم اثر گذاشته یک پرتو کلی را ایجاد می کنند که به صورت جمع برداری تک تک پرتوها حاصل می شوند. جمع یا حذف پرتوها در جهت بخصوصی نه تنها به سبب مشخصه های هر عنصر، بلکه به وسیله فواصل میان آنها بر حسب طول موج و اختلاف فاز میان نقاط مختلف تغذیه حاصل خواهد شد؛ از این رو با انتخاب مناسبی می توان حذف یا جمع پرتو تشعشعی را در جهات مورد نظر به دست آورد. همچنین ممکن است که آرایه ای را برای به دست آوردن پرتو تشعشعی تمام جهتی در صفحه افقی طرح کرد (مانند آرایه های چهار بازویی که برای فرستنده تلویزیونی استفاده می شود).

۶-۱-۳- مقایسه رادارهای پالسی و رادارهای موج پیوسته یا CW-

تا این جا روشن است که رادارهای پالسی با اندازه گیری زمان رفت و برگشت یک پالس به هدف، فاصله آن را اندازه گیری می کنند. در رادارهای موج پیوسته (C.W.) از آنجا که پالسی وجود ندارد تا به وسیله آن بتوان زمان را اندازه گرفت، توانایی اندازه گیری فاصله وجود ندارد. روشهای مختلفی وجود دارد که بتوان با اعمال آنها با سیستم رادارهای موج پیوسته نیز فاصله را اندازه گیری 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 می توانند فاصله هدف را اندازه گیری و تعیین کنند، اما قادر نیستند اکوی بازتاب شده از هدفهای ثابت و ساکن را فیلتر کنند.

یکی از عواملی که در حداکثر برد رادار در هر سیستمی مطرح و مؤثر است میزان توانی است که فرستنده باید ارسال کند. رادارهای پالسی این مقدار توان را باید در یک زمان کوتاه ارسال کنند، در صورتی که در رادارهای CW همین مقدار توان در طول کل زمان یک سیکل ارسال می شود 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؛ در صورتی 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 مزایای این نوع سیستم راداری است و آن را مناسب استفاده در وسایل پروازی می‌کند.

۲-۳- کاربردهای مختلف سیستم رادار

رادار به عنوان وسیله‌ای برای کشف هدف بیش از ۶۰ سال است که پدید آمده است. هر چند که تکنولوژی ساخت آن نسبت به آنچه که در دهه 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 این که 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، نحوه 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 هر یک 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:

۱- رادارهای ناوبری (NAVIGATION RADARS)؛

۲- رادارهای مراقبت (SURVEIL LANCE RADARS)؛

۳- رادارهای جستجوگر (SEARCH RADARS)؛

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

۵- رادارهای ساحلی (BASED COASTAL SURVEILLANCE RADARS)؛

(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:

۱- رادار سرعت‌سنج برای کنترل عبور و مرور ماشین در اتوبانها و شاهراههای عظیم و چند

باندی؛

۲- سیستم رادار هواشناسی برای تعیین وضعیت جوئی؛

۳- سیستم رادار به منظور راهنمایی و عبور و مرور هوایی و کشتیهای تجارتي؛

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

۱-۲-۳- رادارهای ناوبری (NAVIGATION RADARS) - 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 (۳-۳) 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 در صورت لزوم و بنا بر مورد، اطلاعاتی را به این سیستم ارائه دهند.



شکل ۳-۳- تصویری از یک رادار ناوبری

۲-۲-۳- رادارهای جستجوگر (SEARCH RADARS) - 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 می‌رود. رادارهای

جستجوگر بر روی انواع شناورها برای دفاع سطحی، هوایی و همچنین ناوبری مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده به منظوره‌های 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 به دست 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 (۳-۴) آنتن یک نوع رادار جستجوگر و ناوبری سطحی نشان داده شده است.



شکل ۳-۴- یک نوع رادار جستجوگر و ناوبری سطحی

در شکل (۳-۵) تصویری از یک نوع رادار جستجوگر و ردیاب هوایی که به صورت یک



شکل ۳-۵- یک نوع رادار جستجوگر و ردیاب هوایی

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

۳-۲-۳ رادارهای مراقبت (SURVEILLANCE RADARS) — همان طوری

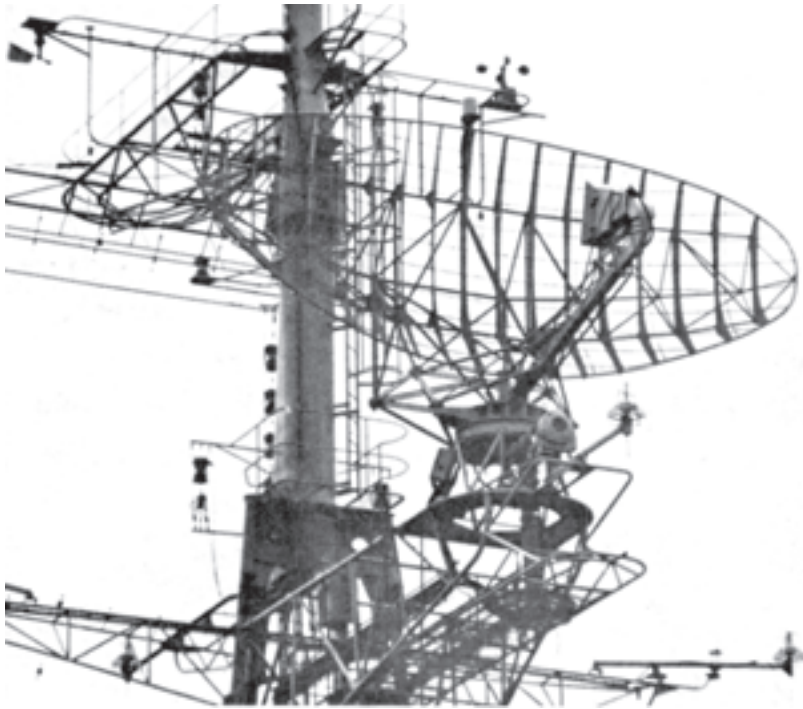
که از نام این نوع رادارها مشخص است، رادارهای مراقبت برای کشف و شناسایی هواپیماها یا موشکهای پرتاب شده دشمن در فواصل بسیار دور به کار می‌رود. رادارهای مراقبت از مهمترین و ضروری‌ترین سیستمهای یک نیروی دریایی به شمار می‌آید. یک نمونه تاریخی که نتیجه عدم عملکرد صحیح این نوع رادار را نشان می‌دهد، در طول جنگ فالكلند^۱ 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 در شکلهای (۳-۶ و ۳-۷) نشان داده شده است.

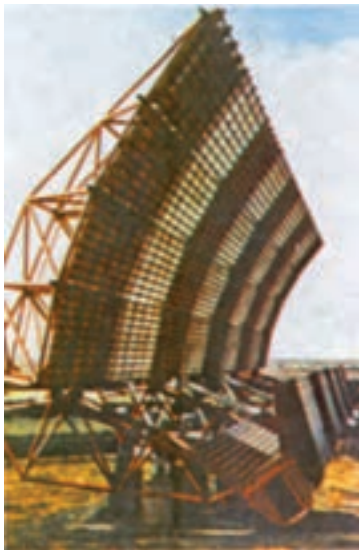


شکل ۳-۶- یک نوع رادار مراقبت سطحی و هوایی

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



شکل ۷-۳- یک نوع رادار مراقبت هوایی برد زیاد



از جمله این نوع رادارها می توان 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 می گویند. در شکل (۸-۳) نمایی از آنتن یک رادار کنترل ترافیک هوایی نشان داده شده است. همچنین در شکل (۹-۳) نمایی از نشان دهنده های رادارهای مراقبت پرواز در برج کنترل ترافیک فرودگاه نشان داده شده است. بر روی این نشان دهنده ها، هر هواپیما با یک علامت + به همراه شماره شناسایی، ارتفاع و مقصد آن نشان داده می شود.

شکل ۸-۳- نمایی از آنتن یک رادار کنترل ترافیک هوایی



شکل ۹-۳- 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 و غیره هشدار می‌دهد. رادارهای آواکس^۱ از این نمونه است که بر روی هواپیما نصب می‌شود و از آن به عنوان یک سیستم کنترل و هشداردهنده هوایی استفاده می‌شود.

۴-۲-۳ رادارهای ردگیری یا کنترل آتش - کاربرد این نوع رادارها همان طور که از نام آنها مشخص است، ردیابی یا به کارگیری 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 به طور دائم آن را ردگیری می‌کند. در موارد استفاده از رادارهای ردگیری در سیستمهای کنترل آتش، هنگامی که رادار بر روی هدف قفل شده است (یعنی پرتو موج رادار تنها در جهت هدف بوده به طور دائم آن را دنبال می‌کند) اطلاعات به دست آمده از هدف را به طور 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 منهدم می‌شود. تصویر یک نوع رادار کنترل آتش دریایی در شکل (۱۰-۳) نشان داده شده است.

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



شکل ۱۰-۳- 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 باتوانهای زیاد، گیرنده‌هایی با حساسیت بسیار زیاد و آنتنهایی عظیم و قابل چرخش مورد نیاز است. برای مثال، آنتن بشقابی مستقر در کالیفرنیا 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.

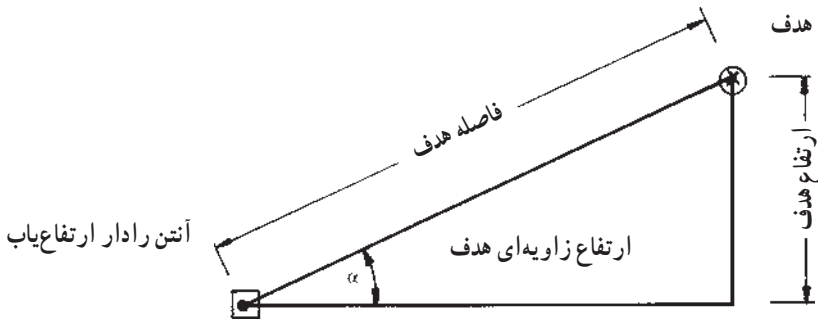
۵-۲-۳- رادارهای ارتفاع‌یاب - از کاربردهای دیگر رادار، محاسبه ارتفاع هواپیماها است که تحت عنوان رادارهای ارتفاع‌یاب نامیده می‌شوند. در شکل (۱۱-۳) تصویری از آنتن یک



شکل ۱۱-۳- یک نوع رادار ارتفاع‌یاب

رادار ارتفاع یاب نشان داده شده است. این نوع رادار، ارتفاع هواپیما را با استفاده از روابط مثلثاتی محاسبه می کند. آنتن در یک سطح عمود شروع به حرکت در جهت بالا و پایین می کند (VERTICAL SCAN)؛ در حالی که همزمان امواج راداری را همانند سایر رادارها از طریق آنتن منتشر می کند. با استفاده از ارتفاع زاویه ای آنتن که همان ارتفاع زاویه ای هدف کشف شده نیز است و همچنین فاصله هدف که به وسیله رادار تعیین شده است، ارتفاع هدف محاسبه می شود. در شکل (۱۲-۳) نحوه محاسبه ارتفاع هدف هنگامی که هدف به وسیله رادار کشف و مشخص شد، نشان داده شده است. فاصله هدف به وسیله رادار تعیین می شود و ارتفاع زاویه ای نیز همان زاویه ای است که آنتن رادار هنگام کشف هدف داشته است. با استفاده از روابط مثلثاتی به شرح زیر، ارتفاع هدف محاسبه می شود:

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



شکل ۱۲-۳- 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:

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

۶-۲-۳- رادارهای بیکن (BEACON RADARS) — یک سیستم رادار بیکن^۲ مجموعه کوچکی است شامل یک گیرنده، یک فرستنده و یک آنتن که بیشتر اوقات تمام جهتی است.

۱- چرخش آنتن را SCAN یا مرور می نامند. در مرور عمودی یا VERTICAL SCAN، آنتن فضا را در یک سطح عمودی تحت پوشش خود قرار می دهد.
 ۲- 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 دیگری آن را مورد سؤال قرار دهد، بیکن به وسیله ارسال پالسهای با کد بخصوصی به آن جواب خواهد داد. پالسهای بیکن ممکن است دارای همان فرکانس رادار سؤال کننده باشد که در این صورت آنها به وسیله ایستگاه اصلی همراه با برگشتیهای پالس ارسالی دریافت می شوند. چنانچه پالسهای بیکن دارای فرکانس مخصوص خود باشد، در این 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 نمی فرستد، بلکه تنها وقتی مورد سؤال قرار می گیرد. و سؤال نیز به طور صحیح و با کد مشخص باشد، پاسخ خواهد داد. در این سیستم رادار سؤال کننده را INTERROGATOR و رادار پاسخ دهنده را که بر روی بیکن نصب است، TRANSPONDER می گویند.

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 می گیرد، با ارسال یک پالس پاسخ می دهد و سپس این پالس بر روی صفحه نشان دهنده رادار ایستگاه سؤال کننده ظاهر شده و هویت هدف آشکار می شود. این سیستمی است که در مراقبت پرواز فرودگاه به کار می رود. کاربرد نظامی این سیستم تحت عنوان سیستم تشخیص دوست یا دشمن، معروف به (IDENTIFICATION FRIEND OR FOR IFF) است که برای شناسایی هدفها به عنوان دوست یا دشمن به کار گرفته می شود.

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

یکی از مزایای بیکنهای راداری که باعث شده این سیستم کاربردهای وسیعی داشته باشد این است که وجود یک بیکن راداری در یک هدف، فاصله ای را که هدف می تواند ردگیری شود به شدت افزایش می دهد. چنین ردگیری فعالی بُرد خیلی زیادتری نسبت به سیستم ردگیری غیرفعال خواهد داشت. و این ویژگی به خاطر این است که توان فرستاده شده به وسیله بیکن راداری خیلی بیشتر از میزان توانی است که این هدف بدون وجود بیکن به طرف ایستگاه ارسال کننده پالسها منعکس می سازد و به لحاظ همین مزیت است که بیکنهای راداری کاربردی وسیع در ردگیری اجرام آسمانی دارد.

پرسش

- ۱- کاربرد رادارهای جستجوگر را نام ببرید.
- ۲- کاربردهای رادارهای ردگیری را به طور مختصر بیان کنید.
- ۳- اگر فاصله یک هدف هوایی ۱۲ مایل بوده ارتفاع زاویه‌ای آن نیز حدود 30° درجه باشد، ارتفاع این هواپیما را حساب کنید.
- ۴- کاربردهای یک بیکن راداری را بیان و مزیت این نوع سیستم راداری را تشریح کنید.

اجزای سیستم رادار

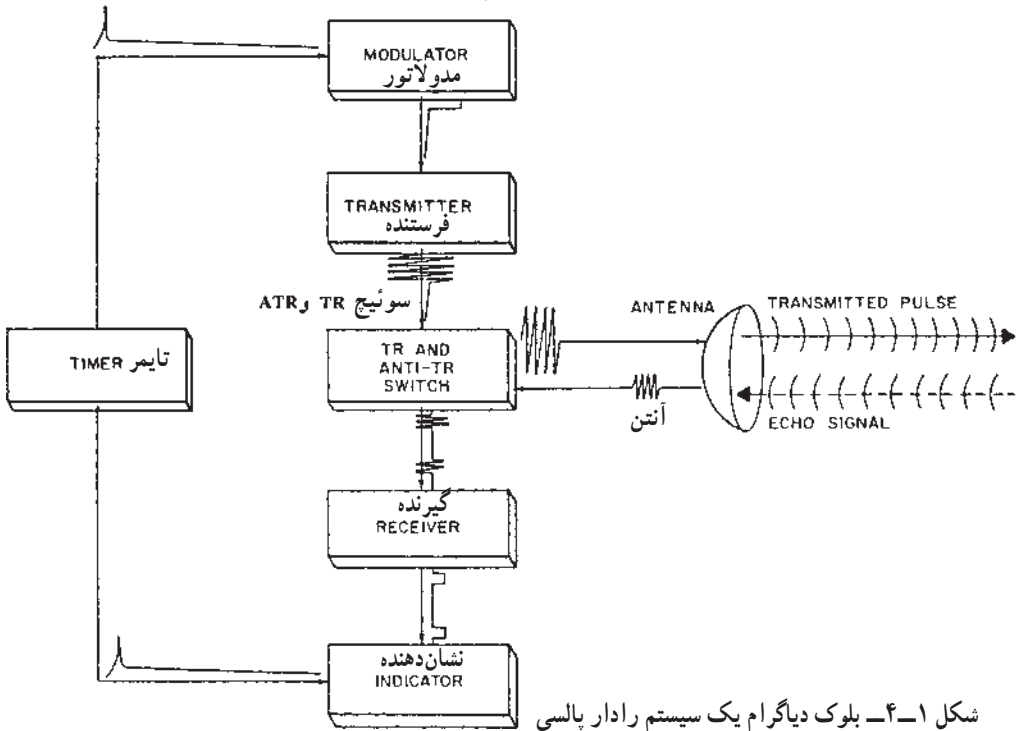
هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود در پایان این فصل:

- ۱- بلوک دیاگرام یک سیستم رادار را ترسیم کرده، قسمت‌های مختلف آن را نام ببرد.
- ۲- کار فرستنده رادار را تشریح کند.
- ۳- کار گیرنده رادار را تشریح کند.
- ۴- کار آنتن رادار را تشریح کند.
- ۵- کار نشان‌دهنده رادار را تشریح کند.
- ۶- به طور عملی از سیستم رادار استفاده کند.

۱-۴- بلوک دیاگرام سیستم رادار

سیستم‌های مختلف راداری اگرچه در جزئیات به لحاظ خصوصیات هر یک، تفاوت‌های زیادی با هم دارند، اما مشخصات اساسی تمام سیستم‌های پالسی مشابه هستند. بلوک دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱-۴ مربوط به یک سیستم رادار پالسی بوده، شامل اجزای اصلی تشکیل‌دهنده یک سیستم رادار پالسی است. به طور کلی می‌توان گفت که یک سیستم رادار پالسی، همان‌گونه که در شکل ۱-۴ نیز مشخص است، از هفت قسمت مختلف تشکیل شده است که عبارتند از:

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



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

فرستنده، پالسهای پر قدرتی تولید می‌کند که حاوی انرژی امواج راداری است و این امواج به گونه‌ای در سیستم هدایت می‌شوند که از طریق آنتن در فضا منتشر شوند.

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

مجموعه سیستم آنتن ضمن این که اطلاعات سمت هدف را مشخص می‌کند، به طور کلی دو منظور اساسی دارد که عبارتند از:

۱- انتشار انرژی امواج راداری که از خروجی فرستنده به آنتن تغذیه می‌شود. این انتشار یک جهتی بوده که با چرخش آنتن در نهایت در کلیه جهات منتشر خواهد شد.

۲- کشف و دریافت انرژی بازتابی از هدف و هدایت آن به سمت گیرنده رادار. اکثر سیستمهای رادار پالسی برای ارسال و دریافت پالس از یک آنتن استفاده می‌کنند.

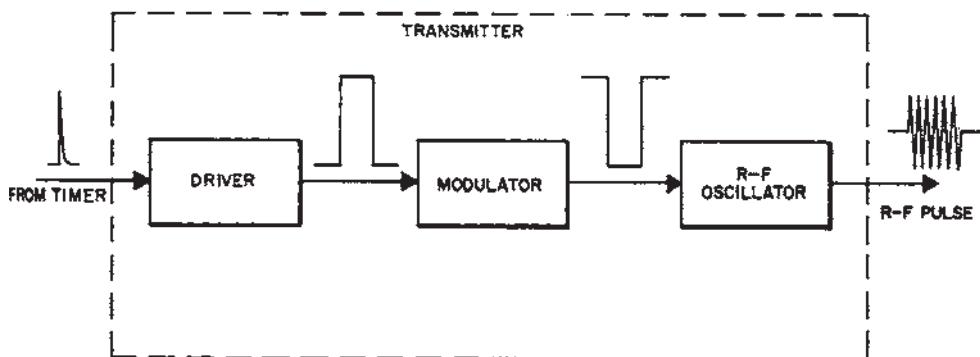
سوئیچهای TR و anti - TR (ATR) این امکان را به وجود می‌آورند که برای ارسال و دریافت پالس از یک آنتن مشترک استفاده کرد. این دستگاه که به طور عموم تحت عنوان سوئیچ TR (TRANSMIT - RECEIVE) نامیده می‌شود، همان دوپلکسور است و در عمل وقتی فرستنده کار می‌کند، گیرنده را از آنتن قطع کرده، آن را در مقابل انرژی بسیار زیاد امواج فرستنده محافظت می‌کند و برعکس در زمانی که گیرنده فعال 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 بر مبنای سیگنال هماهنگ کننده زمانی از تایمر، نمای تصویری از اطلاعات رادار را به وجود آورده به نمایش می‌گذارد.

۴-۲- فرستنده رادار (RADAR TRANSMITTER)

همان طوری 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 Frequency Oscillator) استفاده می‌کند که تحت عنوان 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 بیشتر باشد، طول موج امواج منتشر شده کوتاهتر خواهد بود.

در شکل (۴-۲) 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 ۴-۲- بلوک دیاگرام یک فرستنده رادار

۱- مدولاتور (MODULATOR) ؛

۲- مگنترون (MAGNETRON) ؛

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

۱-۲-۴- مدولاتور (MODULATOR) - از مدولاتور در یک فرستنده برای تولید

ولتاژ پالسی شکل قوی که مورد نیاز دستگاه مگنترون است، استفاده می‌شود. به مدولاتور در یک فرستنده رادار، مدار 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 از طریق مدارهای شکل دهنده 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.

۲-۲-۴- مگنترون (MAGNETRON) - فرستنده یک نوسان‌ساز امواج راداری است

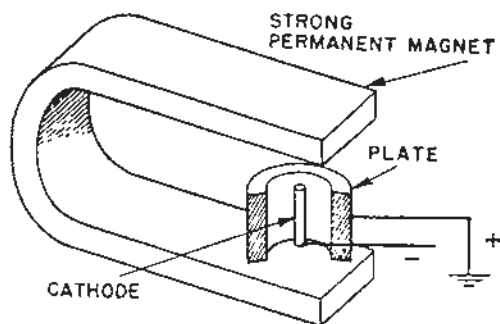
که به وسیله مدولاتور روشن و خاموش (قطع و وصل) می‌شود. نوسان‌ساز به کار گرفته شده در رادار به لحاظ این که امواجی با فرکانس بسیار زیاد و پر قدرت تولید می‌کند، با سایر نوسان‌سازهای مورد استفاده در سیستم‌های مخابراتی و غیره تفاوت دارد. علت استفاده از فرکانس بالا در رادار، امکان تولید امواجی با طول موج پایین است تا در نتیجه از آنتنهای اندازه کوچک بتوان استفاده کرد.

نوسان‌ساز مورد استفاده در فرستنده رادار تحت عنوان مگنترون نامیده می‌شود. در شکل (۳-۴) نمایی از یک مگنترون (نوع حفره‌ای) نشان داده شده است.

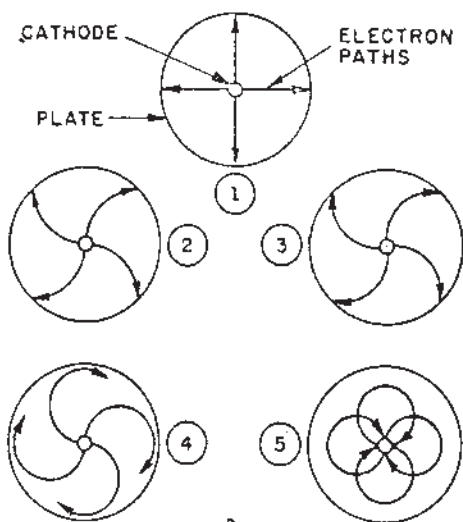


شکل ۳-۴- نمایی از یک مگنترون نوع حفره‌ای

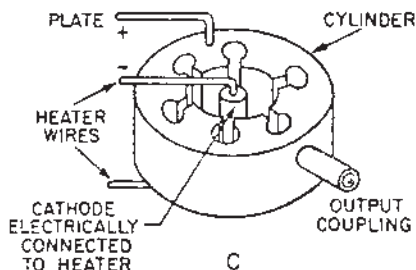
مگنترون یک دیود است که آند آن به زمین وصل شده است و کاتد آن نیز در طول مدتی که مگنترون نوسان می‌کند، به یک پتانسیل منفی بسیار زیاد وصل می‌شود (پتانسیل حاصل از مدولاتور). این دیود در یک میدان مغناطیسی قوی که به وسیله یک آهنربای دائم ایجاد شده است، قرار می‌گیرد. برای آشنایی مقدماتی با نحوه کار مگنترون به تصاویر شکل (۴-۴) دقت شود.



A
MAGNETRON



B
ELECTRON PATHS



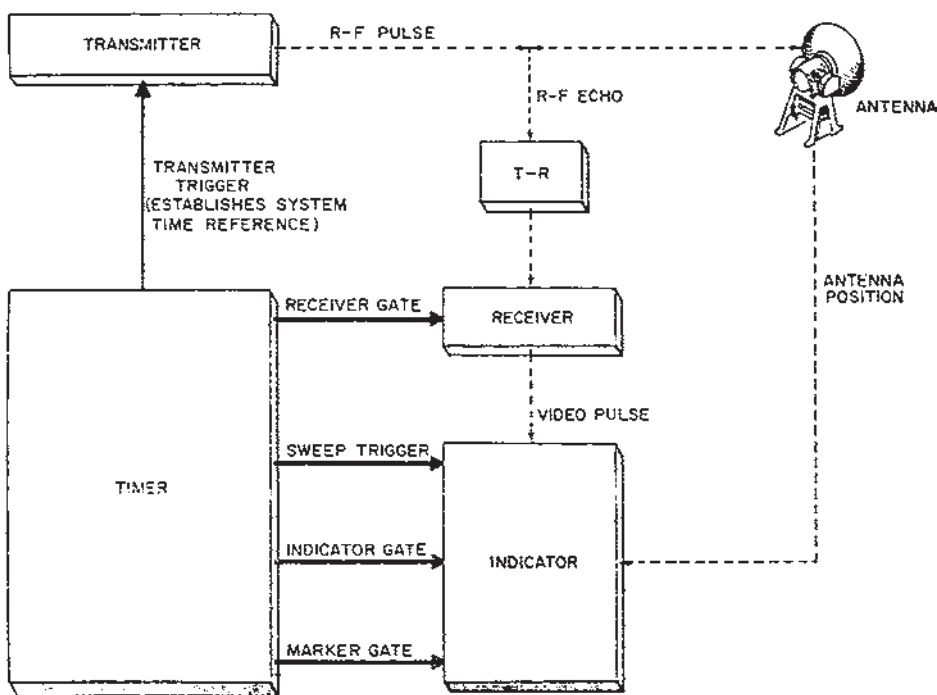
C
شکل ۴-۴- نحوه کار یک مگنترون ساده

وقتی یک پالس منفی به کاتد وصل شده و میدانی وجود نداشته باشد، الکترونها در یک خط مستقیم از کاتد به سمت آند حرکت خواهد کرد. این عمل در تصویر شماره ۱ شکل (۴-۴) 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 می شود تا در نهایت به حالتی درمی آید که الکترونها یک مسیر چرخشی را به دور خود طی کرده، دیگر به آند نمی رسد و از این رو هیچ جریانی نیز در آند جاری نمی شود. این مراحل در تصاویر شماره ۲ الی ۵ شکل (۴-۴) نشان داده شده است.

همان طوری که در تصویر C از شکل (۴-۴) مشاهده می شود، آند در یک مگنترون به صورت یک استوانه مسی بوده که سطح داخلی آن دارای حفره هایی منتهی به یک شیار است که به عنوان مدارهای رزونانس تنظیم شده عمل می کنند. حرکت دایره ای الکترونها از مقابل این حفره ها باعث می شود که یک جریان القایی در دیواره حفره ها ایجاد شود. انرژی تولید شده به وسیله مگنترون در حقیقت از میدانی که به وسیله این جریانهای القایی ایجاد می شود، به دست می آید. فرکانس موج به دست آمده بستگی به اندازه استوانه، شدت میدان مغناطیسی و اختلاف ولتاژ بین آند و کاتد دارد، این انرژی تولید شده در داخل مگنترون به وسیله یک پروب (PROBE) به خارج منتقل می شود و از طریق آنتن در فضا انتشار می یابد.

۳-۲-۴- تایمر (TIMER) - تایمر سیستم رادار، در حقیقت هماهنگ کننده زمانی کار قسمت های مختلف یک سیستم رادار است. با توجه به این که اساس اندازه گیری فاصله بر مبنای اندازه گیری زمان رفت و برگشت یک پالس به هدف است، عملکرد تایمر اهمیت خاص پیدا می کند. تایمر ضمن این که نقش اساسی در مشخص کردن میزان فرکانس تکرار پالس (PRF) دارد، مطمئن می شود که مدولاتور و نشان دهنده رادار با یک رابطه زمانی مشخص نسبت به یکدیگر عمل می کنند و نقطه شروع کار آنها را درست در لحظه ای که فرستنده پالس حاوی انرژی امواج راداری را تولید می کند؛ با ارسال پالسهایی که تریگر (TRIGGER) نامیده می شود آغاز می کند. بلوک دیاگرام یک سیستم رادار که در آن عملکرد تایمر به طور کلی مشخص شده است، در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.

همان طوری که در شکل (۴-۵) مشاهده می شود، تایمر یک تریگر به فرستنده می دهد که شروع به ارسال امواج کند. با یک تأخیر زمانی (کمی بیش از عرض پالس یا زمان فرستندگی) با ارسال تریگر دیگری گیرنده را فعال کرده، در لحظه ارسال پالس نیز تریگری به نشان دهنده رادار می فرستد تا ضمن این که شروع به اندازه گیری زمان رفت و برگشت پالس کند، تصویر ویدئویی مناسبی را نیز به طور هماهنگ به نمایش درآورد.

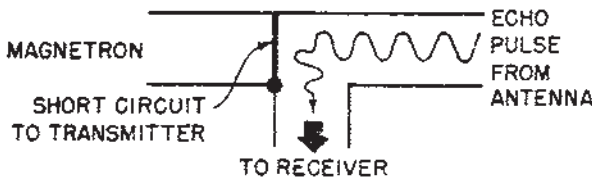
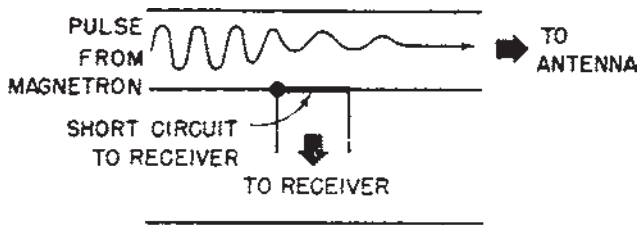


شکل ۴-۵ عملکرد تایمر در سیستم رادار

به طور خلاصه در تایمر زمانهای مورد لزوم در سیستم رادار ساخته می شود؛ بدین ترتیب که تریگرهایی که فرکانس آنها برابر PRF رادار است تولید شده در زمان مناسب به مدولاتور، نشان دهنده و گیرنده فرستاده می شود.

۴-۲-۴ سوئیچهای TR و ATR - در سیستم رادار وقتی از یک آنتن برای فرستنده و گیرنده استفاده می شود، به نحوی باید از ورود انرژی بسیار قوی فرستنده در زمان ارسال پالس به داخل 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 می کند؛ درحالی که سوئیچ (ANTI TRANSMIT - RECEIVE) (ATR) در مسیر فرستنده قرار گرفته جلوی فرستنده را مسدود می کند و سبب می شود گیرنده به آنتن وصل شود. سوئیچهای TR و ATR و نحوه عملکرد آنها به صورت تصویری در شکل (۴-۶) نشان داده شده است.



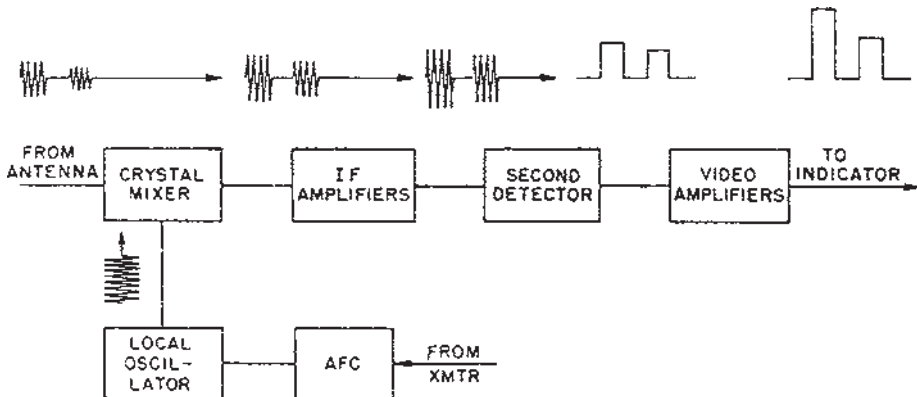
شکل ۴-۶- عملکرد سوئیچهای TR و ATR

مجموعه سوئیچهای TR و ATR از جمله سوئیچهای الکترونیکی بوده که تحت عنوان دوپلکسور (DUPLXER) نیز نامیده می شوند.

۴-۳- گیرنده رادار (RADAR RECEIVER)

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

بلوک دیاگرام یک گیرنده رادار در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. سیگنالهای دریافتی به وسیله آنتن وارد یک مخلوط کننده شده در آن جا با سیگنال تولید شده به وسیله یک نوسان ساز محلی (LOCAL OSCILLATOR) مخلوط و تبدیل به سیگنالی می شود که دارای فرکانس ثابت و



شکل ۴-۷- بلوک دیاگرام یک گیرنده رادار

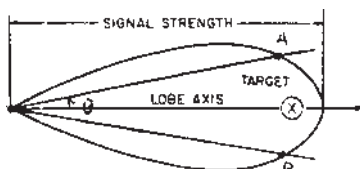
مشخصی به مراتب کمتر از فرکانس اولیه است. سیگنال ایجاد شده در تقویت کننده میانی (IF AMPLIFIER) تقویت می شود و سپس تحت آشکارسازی قرار می گیرد تا پالسهای مربوط به بازتاب اکو از هدف مشخص شده پس از تقویت جهت ایجاد تصویر ویدئویی به نشان دهنده رادار وارد شود. معمولاً فرکانس نوسان ساز محلی به گونه ای است که سیگنال خروجی از مخلوط کننده دارای فرکانس متوسط ۳۰-۶۰ مگاهرتز خواهد بود.

از نظر فیزیکی معمولاً فرستنده و گیرنده رادار در یک مجموعه دستگاهی قرار گرفته که تحت عنوان TRANSCEIVER نامیده می شود.

۴-۴- آنتن رادار (RADAR ANTENNA)

آنتنها به دو دسته عمومی تقسیم بندی می شوند: آنتنهای جهت دار یا جهتی (DIRECTIONAL ANTENNA) و آنتنهای تمام جهتی (OMNI). آنتنهای تمام جهتی انرژی یا امواج راداری را در کلیه جهات منتشر می کنند. کاربرد این نوع آنتنها به طور عمده در وسایل ارتباطی و جهت یابها است و بندرت در سیستمهای راداری مدرن مورد استفاده قرار می گیرند.

آنتنهای جهت دار امواج راداری را در جهت خاصی انتشار می دهند. شکل (۴-۸) فرم تشعشی یک آنتن جهت دار را نشان می دهد. ماکزیم شدت تشعشع در مرکز پرتو یا لوب (LOBE) قرار دارد و به عبارت دیگر هر چه از محور مرکزی پرتو به طرفین برویم از شدت تشعشع کاسته خواهد شد. در نقاط A و B توان انتشار نصف توان ماکزیم است؛ از این رو این نقاط را نقاط نیم توان (HALF POWER POINTS) گفته زاویه را عرض (یا پهنای) پرتو می نامند. معمولاً پهنای پرتو رادارها بین یک تا دو درجه و گاهی نیز تا چند درجه است.



شکل ۴-۸ فرم تشعشی یک آنتن جهت دار

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

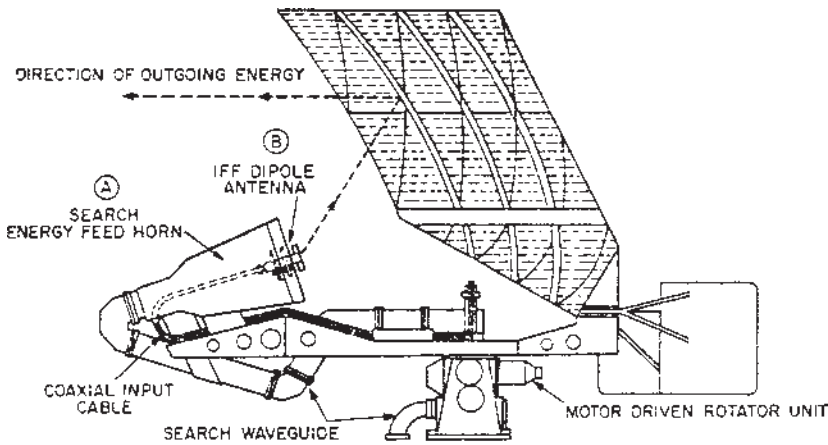
۱-۴-۴- ساختمان و اجزای سیستم آنتن - آنتنها از چند قسمت اصلی به شرح زیر

تشکیل می‌شوند :

- ۱- عنصر تشعشع کننده ؛
- ۲- منعکس کننده ؛
- ۳- سیستم چرخاننده آنتن ؛
- ۴- سیستم سینکروسمت ؛
- ۵- کنتاکت مخصوص نشان‌دهنده سمت سینه کشتی (یا خط سینه کشتی) -

(HEADING MARKER).

در شکل (۹-۴) تصویری از یک آنتن نشان داده شده است که در آن عنصر تشعشع کننده (FEED HORN)، منعکس کننده (REFLECTOR) و سیستم چرخاننده آنتن (ROTATOR UNIT) (MOTOR DRIVEN) مشاهده می‌شوند.



شکل ۹-۴- تصویری از یک آنتن رادار

عنصر تشعشع کننده - 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 مورد نظر و به صورت منسجم ارسال می‌دارد. سیستم چرخاننده آنتن که به طور 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 به طور ۳۶۰ درجه است و از این رو پوشش کامل از نظر سمت خواهد داشت.

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

بر روی صفحه نشان دهنده رادار معمولاً باید سمت سینه کشتی 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، در نتیجه یک خط مشخص و روشنی بر روی صفحه نشان دهنده و در جهتی که همان سمت، راه کشتی است (و سینه کشتی در آن جهت است) نمایان شود.

به سیستم آنتن رادار SCANNER UNIT نیز می‌گویند. در شکل‌های (۴-۱۰، ۴-۱۱ و ۴-۱۲) تصاویری از آنتنهای رادارهای ناوبری نشان داده شده است.

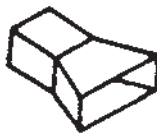


شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱- تصاویری از آنتن رادارهای ناوبری



شکل ۱۲-۴- تصویر از آنتن رادار ناوبری

تشفیع کننده - عنصر تشفیع کننده 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 می شود، نمی توان همانند سیستم آنتن دستگا‌های 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 به کار می روند. چند نمونه از رادیاتورهای بوقی در شکل (۱۳-۴) نشان داده شده است. دهانه رادیاتورها به دو منظور گسترش می یابند. کنترل زاویه پرتو



RECTANGULAR
چهارگوش



PYRAMIDAL
هرمی

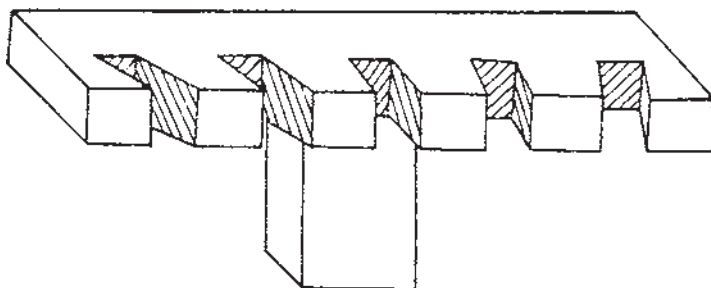


CONICAL
مخروطی

شکل ۱۳-۴- رادیاتورهای بوقی

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

نوع دیگر منتشرکننده امواج در فضا ویوگاید شیاردار است. در این روش یک ویوگاید به طور افقی به انتهای ویوگاید اصلی که از فرستنده وارد آنتن می‌شود، وصل شده در قسمت جلویی این ویوگاید چند شیارد ایجاد می‌شود تا امواج بتوانند از این شیارها خارج شده در فضا منتشر شوند. این نوع تشعشع کننده در آنتن رادارهای ناوبری کاربرد زیاد دارد. تصویری از یک ویوگاید شیاردار در شکل (۱۴-۴) نشان داده شده است.

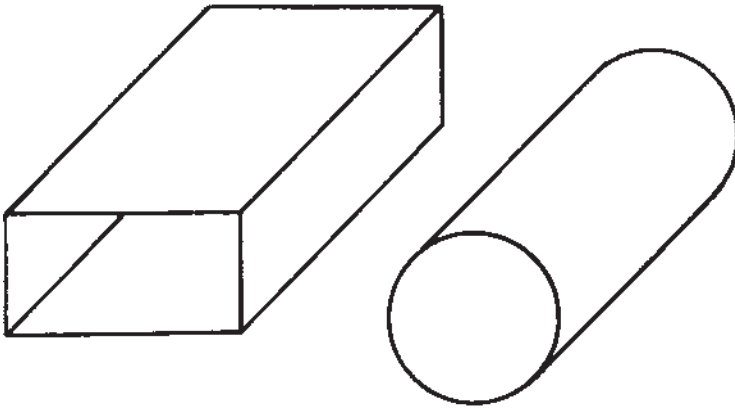


شکل ۱۴-۴- تصویری از یک ویوگاید شیاردار

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

۲-۴-۴- ویوگاید (Wave Guide) - 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، در سیستمهای راداری برای انتقال امواج راداری موجود در باند مایکروویو و به لحاظ قدرتهای بالا، لازم است از نوعی خط انتقال استفاده شود که قادر به تحمل قدرتهای بسیار زیاد با کمترین تلفات باشد.

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 و برتری دارند و این امر کاربرد موج‌برها را در سیستمهای راداری افزایش می‌دهد. در شکل (۱۵-۴) تصویری از موج‌برهای با سطح مقطع مستطیلی و دایره‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱۵-۴- موج‌برهای بامقطع دایره‌ای و مستطیلی

۵-۴- نشان‌دهنده رادار (RADAR DISPLAY)

نشان‌دهنده رادار دستگاهی است که بازتاب دریافت شده از هدف و سایر موانع را به صورت نقاطی روشن روی صفحه‌ی یک لامپ اشعه‌ کاتودیک یا CRT (CATHODE RAY TUBE) نشان می‌دهد. نمایی از یک صفحه‌ی نشان‌دهنده رادار در شکل (۱۶-۴) نشان داده شده است.



شکل ۱۶-۴- تصویری از یک نشان‌دهنده رادار

۱-۵-۴- روشهای نشان دهنده - خروجی یک گیرنده رادار را می توان به چند طریق

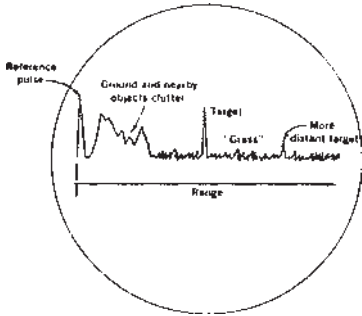
نشان داد که سه روش زیر متداولترین آنها است :

۱- مدولاسیون انحراف در یک صفحه لامپ اشعه کاتدی به صورت اسکوپ A ؛

۲- مدولاسیون شدت یک لامپ اشعه کاتدی به صورت نشان دهنده موقعیت نقشه (PPI) ؛

۳- تغذیه مستقیم به کامپیوتر برای نشان دادن سایر

اطلاعات اضافی مانند ارتفاع و سرعت با انجام محاسبات لازم.



اسکوپ A (ASCOPE) - چنان که در شکل

(۱۷-۴) مشاهده می شود، عملکرد این نوع نشان دهنده شبیه به کار یک اسیلوسکوپ معمولی است.

شکل ۱۷-۴- نشان دهنده اسکوپ A

با اعمال یک شکل موج جارو مانند یک جریان دنداناره ای به صفحات انحراف افقی

CRT اشعه الکترونی به آهستگی از چپ به راست حرکت می کند و سپس به نقطه شروع برمی گردد.

زمان برگشت بسیار سریع و با حذف اشعه همراه است ؛ از این رو حرکت برگشت اشعه مشاهده

نمی شود. در غیاب سیگنال دریافتی در اثر بازتابهای هدف یا هر مانعی دیگر، نشان دهنده همانند یک

اسیلوسکوپ، یک خط افقی را نشان می دهد. 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 (۱۷-۴) موج دنداناره ای اعمال شده به صفحات انحراف افقی با پالسهای ارسالی به وسیله

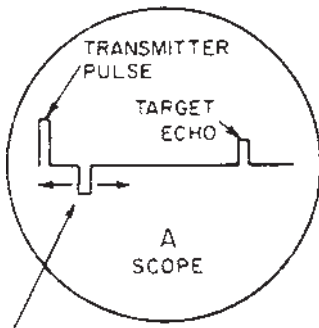
فرستنده، همزمان (سینکرون) بوده عرض صفحه CRT متناظر

با زمان بین پالسهای همجوار است ؛ در نتیجه فاصله انحرافات

در اشعه افقی از نقطه شروع اشعه در سمت چپ، متناسب با

فاصله هدف خواهد بود. این موضوع در شکل (۱۸-۴)

به روشنی به تصویر درآمده است.



اولین تک پالس در سمت چپ صفحه مربوط به پالس

ارسالی به وسیله فرستنده است که در اثر تریگر ارسالی از

طریق مدولاتور ایجاد می شود. پالس بعدی که کمی ضعیفتر

شکل ۱۸-۴- نشان دهنده اسکوپ A

و به صورت عمودی به طرف بالا ظاهر می شود، مربوط به اکوی یک هدف است. فاصله این پالس از تک پالس موجود که به عنوان مبنا به شمار می رود، در حقیقت فاصله هدف خواهد بود. پالس منفی نشان داده شده در شکل (۱۸-۴) مربوط به فاصله سنج است. با حرکت دادن این پالس به وسیله دستگیره‌ای که به همین منظور وجود خواهد داشت، می توان این پالس را بر روی پالس هدف منتقل کرد و به این ترتیب فاصله هدف را بر روی یک نشانگر خواند.

نشان دهنده موقعیت نقشه — در این نوع نشان دهنده، نقشه کاملی از منطقه موجود در اطراف کشتی خودی تا فاصله‌ای که برابر مشخصات رادار مورد استفاده باشد، نشان داده می شود. به همین سبب به این نوع نشان دهنده PLAN POSITION INDICATOR یا PPI می گویند.

اکوی تولید شده به وسیله هرمانعی (از جمله هدف)، به وسیله گیرنده تبدیل به پالس الکتریکی می شود. این پالس در لامپ تصویر CRT به شرحی که در ذیل بیان خواهد شد، قابل رؤیت می شود. آنتن از طریق رابط الکتریکی به سیم پیچهایی که در گلوگاه لامپ تصویر (CRT) قرار دارند، متصل است و چرخش این سیم پیچها با گردش آنتن کاملاً همزمان است. سیم پیچهای منحرف کننده همانند یک لامپ اسپیلوسکوپ به وسیله جریان دندانه اره‌ای تغذیه می شوند. هر سیکل جریان دندانه اره‌ای به طور دقیق در لحظه ارسال پالس به وسیله فرستنده شروع می شود. در این وضعیت پرتو الکترونی نه تنها از مرکز صفحه به طرف لبه صفحه تصویر حرکت می کند، بلکه به طور دایم حرکت دورانی حول لامپ خواهد داشت. درخشندگی در هر نقطه صفحه، نشان دهنده وجود یک مانع در مسیرانتشار پالس فرستنده است که منجر به ایجاد بازتاب شده و این بازتاب پس از دریافت به وسیله گیرنده و تبدیل به پالس الکتریکی، در لامپ تصویر وارد شده، نقاط نورانی را بر روی صفحه بوجود می آورند. اکوی هدفها که به وسیله نقاط نورانی نشان داده می شوند، به گونه‌ای تصویر می شوند که موقعیت نقاط متناظر با موقعیت فیزیکی هدف از نظر سمت و فاصله آن برابر با فاصله شعاعی از مرکز تا نقطه نورانی مورد نظر است.

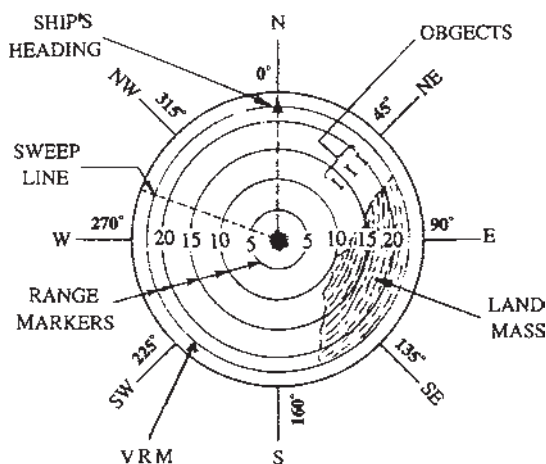
قسمت درونی صفحه تصویر با ماده‌ای (فسفر) پوشیده شده است که خاصیت پس تابشی دارد. چنانچه از این خاصیت استفاده نمی شد، هر اکو پس از ظاهر شدن بر روی صفحه تصویر به سرعت محو و از بین می رفت و دوباره پس از یک گردش دیگر آنتن بر روی صفحه ظاهر می شد. خاصیت پس تابشی صفحه تصویر باید به اندازه‌ای باشد که حداقل پس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

آشکارسازی اتوماتیک هدف — در این روش خروجی گیرنده‌های رادار به کامپیوتر و سیستمهای پروسه کردن و تجزیه و تحلیل اطلاعات داده شده تا اطلاعات مربوط به هدف را در

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

۲-۵-۴- اکوی امواج دریا (SEA ECHO) - امواج آبهای اطراف کشتی نیز اکوهای
بر روی صفحه رادار تولید می‌کنند که به طور 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 صفحه رادار ندارند و به صورت نقاط یا لکه‌های کوچکی در تمام سطح صفحه رادار به طور موقتی نمودار می‌شوند. اکوی امواج نزدیک به کشتی به طور طبیعی قویتر از اکوهای امواج دور دست 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 صفحه رادار را اشباع می‌کنند؛ به همین جهت در این شرایط تشخیص اکوها امکانپذیر نخواهد بود.

۳-۵-۴- دواير فاصله (RANGE RINGS) - بر روی صفحه نشان‌دهنده PPI دایره‌های
متحدالمرکزی به فواصل یکسان در اثر شعاع روبش ایجاد می‌شود. به این دایره‌ها، دواير فاصله می‌گویند. هر دایره نشانگر فاصله معینی بر روی صفحه رادار است. در شکل (۱۹-۴) نمایی از یک صفحه رادار نوع PPI به همراه خط سینه کشتی (SHIPS HEADING MARKER)، دواير فاصله (RANGE RINGS) و دایره متغیر تعیین فاصله (VARIABLE RANGE MARKER) نشان داده شده است. در این شکل فاصله هر دایره ۵ مایل وماکزیم فاصله‌ای که این صفحه به نمایش درمی‌آورد، ۲۵ مایل است.



شکل ۱۹-۴- تصویر صفحه نشان‌دهنده PPI

۴-۵-۴- دایره متغیر تعیین فاصله (VARIABLE RANGE MARKER) — این

دایره همانند دواير فاصله بر روی صفحه PPI تشکیل می‌شود؛ با این تفاوت که موقعیت ثابت نبوده به وسیله یک دستگیره قابل کنترل است. از این 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 در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است.

۴-۵-۵- کلیدهای کنترلی صفحه نشان‌دهنده — صفحه نشان‌دهنده رادار یا کنسول

رادار تعدادی کلید کنترلی دارد که با به کارگیری آنها می‌توان از مجموعه سیستم رادار و خود کنسول بهره‌برداری کرد. این کلیدها در انواع کنسولها ممکن است متفاوت باشند، اما تعدادی از این کلیدها که بر روی صفحه کلیه کنسولهای رادار وجود دارند، به شرح زیر هستند:

۱- کلید اصلی روشن و خاموش کردن سیستم رادار

۲- سوئیچ تنظیم کننده FOCUS

۳- سوئیچ تنظیم کننده BRILLIANCE

۴- سوئیچ تنظیم کننده RECEIVER GAIN

۵- سوئیچ تنظیم کننده VIDEO GAIN

۶- سوئیچ SEA ECHO SUPPRESSION (یا ANTI SEA / CLUTTER)

۷- سوئیچ ANTI - CLUTTER RAIN / SNOW

۸- سوئیچ انتخاب عرض پالس (پهنای پالس)

۹- سوئیچ انتخاب فاصله (RANGE SWITCH)

۱۰- سوئیچ مربوط به دواير تعیین فاصله (RANGE RINGS)

۱۱- سوئیچ مربوط به دایره متغیر تعیین فاصله (VARIABLE RANGE MARKER)

۱۲- سوئیچ مربوط به خط سینه‌کشتی (HEADING MARKER)

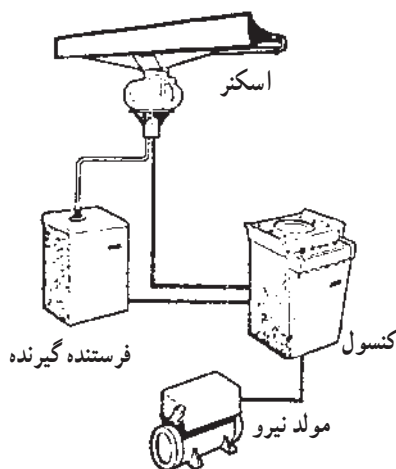
۱۳- سوئیچ مربوط به شدت نور (DIMMER)

۱۴- صفحه نشانگر سمت (CURSOR)

۴-۶- 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 (۲۰-۴) قرار گرفته است. موتور ژنراتور و رگولاتور ولتاژ مربوطه برای تأمین برق مورد نیاز سیستم رادار است. فرستنده و گیرنده (TRANSCIEVER) به صورت یک یونیت شامل مدولاتور، مگنترون و قسمتی از گیرنده است. در برخی از انواع رادار فرستنده و بخشی از گیرنده در سیستم آنتن قرار دارد و سایر قسمتهای دیگر گیرنده نیز در داخل کنسول رادار نصب می‌شود. قسمت کنسول رادار که شامل لامپ تصویر و کلیدهای کنترلی است، معمولاً در اتاق سکان، پل فرماندهی یا هر مکان مناسب دیگری که استفاده کننده اشراف کاملی بر سطح دریای جلوی کشتی داشته باشد (در خصوص رادارهای ناوبری)، نصب می‌شود.



شکل ۲۰-۴- تصویری از یک سیستم رادار

۱-۶-۴- کاربرد کلیدهای کنترلی - 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 از یک کنسول رادار که کلیدهای کنترلی آن در دو طرف صفحه نشان دهنده رادار تعبیه شده‌اند، در شکل (۲۱-۴) نشان داده شده است.

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

- ۱- حالت خاموش (OFF) ؛
- ۲- حالت آماده بهره برداری (STAND - BY) ؛
- ۳- حالت روشن (ON) .

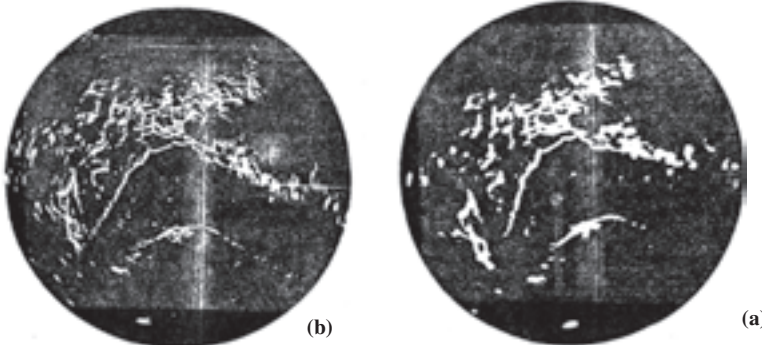


شکل ۲۱-۴- تصویری از یک کنسول رادار نوع ایستاده

در وضعیت *STAND - BY*، دستگاه به حالت آماده بوده اما هیچ گونه انتشار موج صورت نمی‌گیرد.

سوئیچ تنظیم *FOCUS* - با این سوئیچ می‌توان تمرکز کانونی الکترونها را تنظیم کرد تا تصویر حاصل بر روی صفحه PPI از وضوح خوبی برخوردار باشد. عملکرد این سوئیچ در شکل ۲۲-۴ نشان داده شده است.

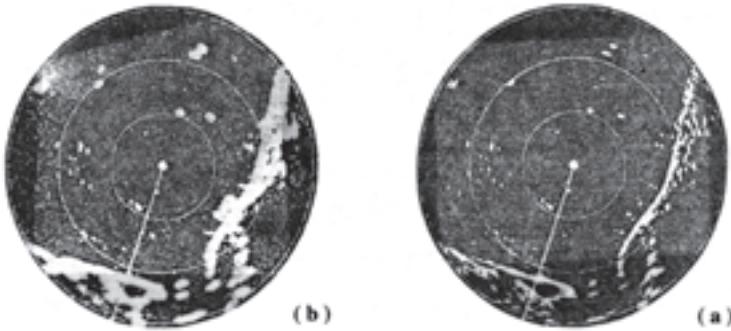
سوئیچ تنظیم *BRILLIANCE* - درخشندگی صفحه تصویر را می‌توان به وسیله این سوئیچ تنظیم کرد و به حد مطلوب رسانید. شفافیت تمام صفحه تصویر و همچنین دایره‌های ثابت و متغیر فاصله، بستگی به نحوه تنظیم این سوئیچ دارد. شفافیت مطلوب زمانی حاصل می‌شود که خط روبش



شکل ۲۲-۴- تصویر (a) صفحه نشان دهنده قبل از تنظیم *FOCUS*، تصویر (b) پس از تنظیم *FOCUS*

در مرحله نزدیک به محو شدن قرار گیرد.

سوئیچ تنظیم RECEIVER GAIN — با این سوئیچ می توان میزان تقویت کنندگی گیرنده رادار را به نحوی تنظیم کرد که تصویر مطلوبی را داشته باشیم. در سیستم رادار سیگنالهای مزاحم یا پارازیت به صورت نقاط تصویری و با شفافیت غیر همگون، در تمام صفحه تصویر پراکنده می شوند که در اصطلاح به این وضعیت GRASS می گویند. اگر میزان تقویت درگیرنده زیاد باشد، اکوهای GRASS روشنتر می شود، تا حدی که گاه تشخیص اکوهای واقعی بر روی صفحه رادار غیر ممکن می شود. این سوئیچ باید به گونه ای تنظیم شود که اکوهای GRASS ضعیف بوده، مزاحمتی برای کاربر رادار ایجاد نکند. عملکرد این سوئیچ در شکل (۲۳-۴) نشان داده شده است. در تصویر (a) میزان تقویت مناسب است، اما در تصویر (b) تقویت بیش از حد است.



شکل ۲۳-۴ — عملکرد سوئیچ RECEIVER GAIN

سوئیچ انتخاب عرض پالس (PULSE - WIDTH SELECTOR) — با این کلید می توان عرض پالس مورد نظر را انتخاب کرد. معمولاً دو وضعیت برای این کلید وجود دارد که عبارتند از:

۱- LONG PULSE

۲- SHORT PULSE

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

صفحه نشانگر سمت (CURSOR) — سمت اکوهای موجود بر روی صفحه رادار به وسیله

چرخش صفحه 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 صفحه نشانگر به‌طور دقیق بر روی اکوی مورد نظر که تعیین سمت آن مدنظر است، قرار گیرد. در این وضعیت سمت هدف از روی درجه بندی دور صفحه خوانده می‌شود.

۲-۶-۴- نحوه روشن کردن رادار- روش روشن کردن و تنظیم هرنوع خاصی از رادارها در کتابچه‌ای که همراه خود دستگاه ارائه می‌شود، نگارش شده است که ضرورت دارد قبل از بهره برداری از سیستم رادار مورد مطالعه قرار گیرد. موارد مهمی که باید در هنگام روشن کردن سیستم رادار رعایت کرد، به شرح زیر هستند:

۱- حصول اطمینان از این که آنتن می‌تواند آزادانه چرخش کند و مانعی بر سر راه آن وجود ندارد.

۲- مطمئن شوید که کلیدهای کنترلی مربوط به محو اکوی امواج، شفافیت و تقویت گیرنده در وضعیت حداقل قرار گرفته باشد.

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

۳-۶-۴- ایمنی- سلولهای زنده بدن قادر به جذب یک حد مجاز از امواج رادیویی هستند. این عمل باعث افزایش درجه حرارت بدن می‌شود و البته ممکن است اثرات نامطلوب نیز به همراه داشته باشد. تشعشع امواج الکترومغناطیسی در محدوده باند فرکانسی رادار به وسیله آنتنها، هر چند که قادر به کشتن افراد نیست، اما ایجاد جراحات و سوانح قابل تصور است. شدت سیگنالهای راداری که به ایجاد اثرات سوء منجر شود، بالا است؛ از این رو تنها رادارهای بسیار پر قدرت، نظیر رادارهایی که برای کشف موشکهای قاره‌پیما در بردهای زیاد به کار می‌رود، می‌توانند خطرناک باشند، البته آن هم در فاصله‌های نزدیک به رادار.

رادارهایی که برای موارد عادی به کار گرفته می‌شوند به‌طور عمده بی‌خطر هستند، مگر این که سلولهای زنده بدن به‌طور مستقیم در معرض انتشار امواج راداری ساطع شده از آنتن و در فاصله چند فوتی از آن قرار گرفته باشند.

ولتاژهای RF ممکن است در اشیاء فلزی زمین نشده، نظیر مهارهای سیمی یا نردبانها، جریانهای القایی به وجود 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 و نردبانها باید دارای اتصال به زمین باشند. در هنگام کار در ارتفاع حتماً از

کمر بند ایمنی استفاده کرده از قرار دادن مواد قابل اشتعال در نزدیکی و در مسیر انتشار امواج RF خودداری شود.

چشمان انسان نسبت به حرارت ایجاد شده در اثر جذب بیش از حد امواج رادیویی حساس است؛ از این رو هیچ گاه نباید به طور مستقیم 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 آنها ایستاد.

آنها و خطوط انتقال به طور عموم دارای یک محدوده خطر انرژی RF هستند که به وسیله خطوط قرمز مشخص شده است و در موقع انتشار نباید در داخل این محدوده‌ها ایستاد.

پرسش

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

بخش دوم

جایرو، عمقیاب و
جهتیاب رادیویی

مقدمه

این بخش از کتاب شامل دستگاههای جairo، عمق یاب و جهت یاب رادیویی است و به لحاظ این که تمام این سیستمها، دریانوردان را در هنر هدایت بی خطر کشتیها یاری می کنند، به عنوان دستگاههای کمک ناوبری مطرح هستند.

در این بخش سعی شده است که اصول کار این دستگاهها و نحوه به کارگیری هریک از آنها به طور ساده تشریح شود. اهمیت و نفوذ روزافزون سیستمهای مدرن کمک ناوبری در طول دهه 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 ارتقاء دانش هنرجویان گرایش الکترونیک و مخابرات دریایی مفید واقع شود.

جایرو

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

- ۱- اصول کار جایروسکوپ را با استفاده از دستگاه نشان دهد.
- ۲- خواص جایروسکوپی را بیان کند.
- ۳- اثر چرخش زمین را بر جایرو تشریح کند.
- ۴- چرخش ظاهری جایروسکوپ را شرح دهد.
- ۵- چگونگی تبدیل جایروسکوپ به جایرو را تشریح کند.
- ۶- نحوه متعادل کردن جایرو را توضیح دهد.
- ۷- قسمت‌های مختلف المان حساس را تشخیص دهد.
- ۸- کار نگاه‌دارنده المان حساس را تشریح کند.
- ۹- در مورد سیستم کنترل جایرو توضیح دهد.
- ۱۰- عملکرد جایرو را نشان دهد.

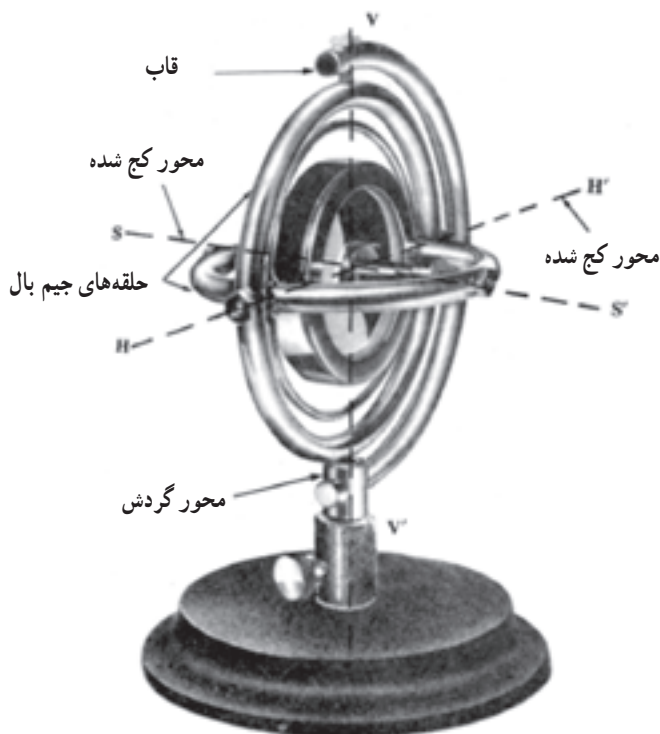
۱-۵- اصول کار جایروسکوپ

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 (Foucault) ساخته شد. او کسی بود که حالت گردش کره زمین را به نمایش درآورد. جایرو ساخته شده به وسیله وی فاقد موتور راه‌انداز و چرخ دنده حرکت بود. در طول این قرن به مرور زمان کم‌کم جایرو به عنوان یک وسیله علمی باقی ماند.

پس از یک رکود دراز مدت، در چندین دهه 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 به عنوان سیستم تعادل کننده موشکها به طور گسترده‌ای به کار 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 به اصطلاحات موجود در این رشته از فیزیک آشنا بود. در این بخش اصول مربوط تشریح می‌شود. جایروسکوپ آزاد چرخ سنگین یا روتوری مُعلق است که محور آن می‌تواند در هر جهتی 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 ۱-۵).



شکل ۱-۵- جایروسکوپ

روتور جایروسکوپ دارای سه درجه آزادی است :

الف. آزادی چرخش ؛

ب. آزادی گردش ؛

پ. آزادی انحرافی.

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

۲-۵- خواص جایروسکوپی

یک فرفره در حال چرخش می ایستد و تعادلش را حفظ می کند ؛ همچنین یک تایلر در حال حرکت می تواند روی زمین بچرخد، بدون آن که تعادلش را از دست بدهد. این گونه پدیده ها مربوط به خواص اجسام در حال چرخش بوده و به عنوان اثرات جایروسکوپی شناخته شده است. حال وقتی روتور جایروسکوپ شکل (۱-۵) به سرعت می چرخد، جایروسکوپ چرخان دارای دو خاصیت است که در موقع سکون از آنها برخوردار نیست. این دو خاصیت که امکان استفاده از جایروسکوپ را به عنوان قطب نما ی جاپرو فراهم می سازد، عبارتند از :

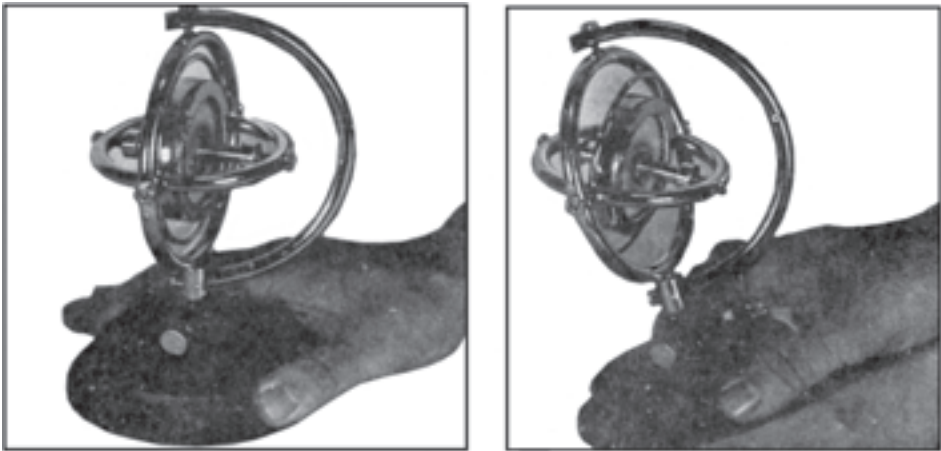
۱- پایداری تعادل (Rigidity) ؛

۲- تغییر جهت محوری (PRECESSION).

۱-۲-۵- پایداری تعادل (Rigidity) — هرگاه روتور یک جایروسکوپ را همراه با محور آن که در یک جهت ثابت شده است، بچرخانیم (شکل ۲-۵) روتور بدون توجه به وضع قرار گرفتن قاب جایروسکوپ با محور خود در همان جهت تعیین شده به چرخش خود ادامه خواهد داد (شکل ۲-۵). در صورتی که بلبرینگها بدون اصطکاک باشد و روتور بچرخد، هرگونه چرخش قاب نگاه دارنده تأثیری در تعادل روتور نسبت به فضا نخواهد داشت.

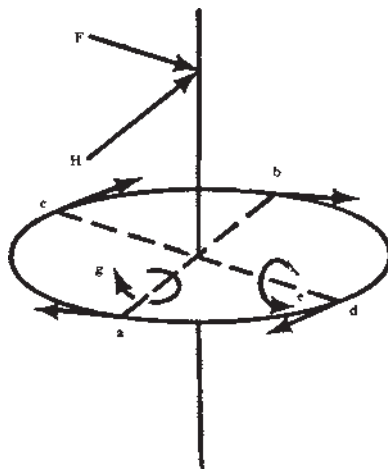
این خاصیت جایروسکوپ را پایداری تعادل می نامند. این خاصیت را می توان به کمک قانون نیوتن که مربوط به حرکت است، توجیه کرد.

(قانون نیوتن: هر جسم در حال حرکت با یک سرعت ثابت در یک خط مستقیم به حرکت خود ادامه می دهد، مگر این که تحت تأثیر یک نیروی خارجی قرار گیرد.)



شکل ۲-۵- پایداری و تعادل صفحه جایروسکوپ چرخان

هر نقطه از یک چرخ گردان در یک مسیر مدور می چرخد. 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 به صورت مدور درمی آورد. ذراتی از روتور را در نقاط a ، b ، c و d در نظر بگیرید (شکل ۳-۵). نیروی لحظه‌ای F که به محورا اعمال شده سعی دارد جهت مسیر را در نقاط c و d تغییر دهد؛ یعنی نقطه c تمایل حرکت به طرف بالا و نقطه d میل حرکت به طرف پایین خواهند داشت. به علت وجود انرژی جنبشی خیلی زیاد این نقاط در مقابل هرگونه تغییر مسیر یا تغییر جهت مقاومت می کنند که این امر به دلیل پایداری صفحه است. انرژی و مومنتم (momentum) روتور سعی می کنند که صفحه روتور و یکسوئی محور را در فضا ثابت نگاه دارند.



شکل ۳-۵- روتور چرخان با یک محور عمودی

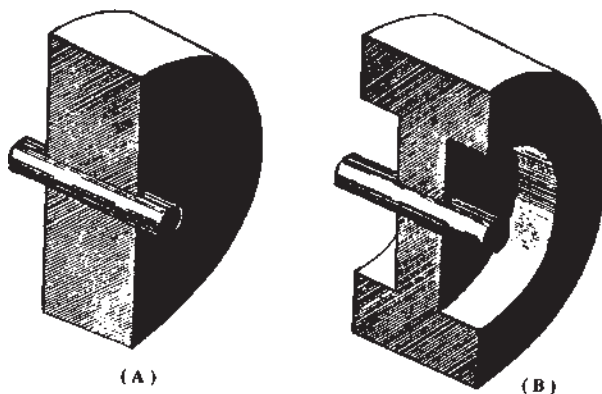
پایداری یک جایروسکوپ را می‌توان با استفاده از عوامل زیر بیشتر کرد :

۱- سنگینتر کردن روتور ؛

۲- سریعتر چرخاندن روتور ؛

۳- تمرکز کردن وزن روتور نزدیک به محیط آن.

اگر دو روتور با سطح مقطع‌هایی نظیر شکل (۵-۴) وجود داشته باشد که هم وزن بوده و با سرعت مساوی بچرخند، روتور شکل (۵-۴-B) پایدارتر از روتور شکل (۵-۴-A) خواهد بود. علت این امر تمرکز وزن روتور در نزدیک محیط آن است.



شکل ۵-۴

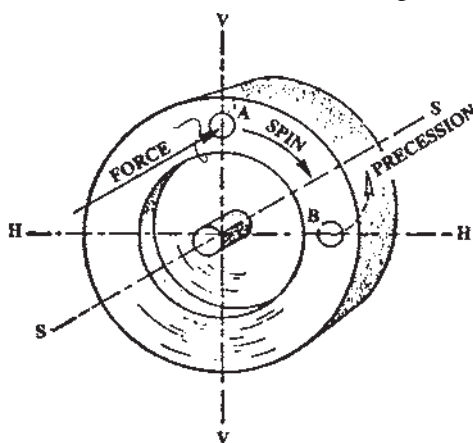
۲-۲-۵- تغییر جهت محوری (PRECESSION) - به علت اینرسی جایروسکوپی، مشخص

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 (۵-۳) اثری چرخشی ایجاد کرده که جایروسکوپ را حول محور ab کج می‌کند. اگر روتور در حال چرخش نباشد، محور آن تحت تأثیر 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، در نتیجه 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 محوری که 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 محوری که نیروی گشتاوری به آن اعمال شده، زاویه 90° درجه بسازد. برای تعیین سمت تغییر جهت محوری در شکل (۵-۵) نشان داده شده است.



شکل ۵-۵

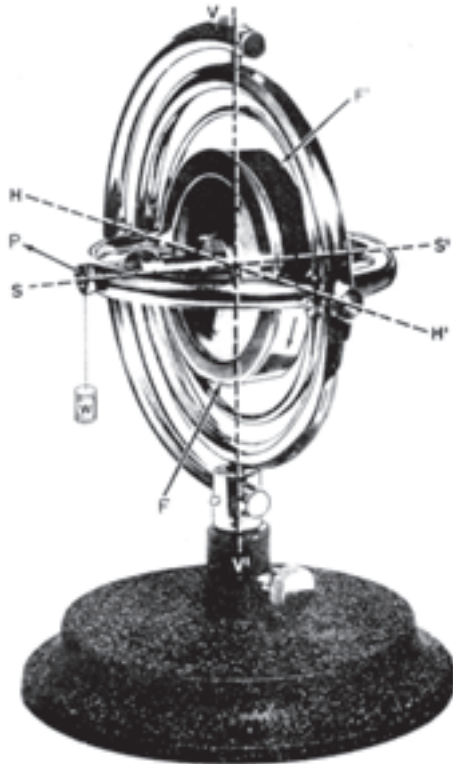
نیروی وارد شده به نقطه A در بالای چرخ را در نظر بگیرید. این نقطه در جهت نیروی اعمال شده حرکت نمی‌کند، بلکه نقطه‌ای که در موقعیت 90° درجه‌ای جهت حرکت قرار گرفته در جهت نیروی وارده حرکت خواهد کرد. بدین طریق سمت تغییر جهت محوری تعیین می‌شود. تا زمانی که نیروی اعمال شده وجود داشته باشد، تغییر جهت محوری وجود خواهد داشت. اگر صفحه‌ای که نیرو از طریق آن اعمال می‌شود بدون تغییر باقی بماند، جایروسکوپ آنقدر تغییر جهت می‌دهد تا صفحه روتور با صفحه نیرو یکی شود. در این وضعیت نیرو در حول محور چرخان بوده و هیچ‌گونه تغییر جهتی به وجود 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 در شکل (۵-۶) نشان داده شده است. در آن نیروی تغییر دهنده صفحه چرخش به وسیله 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 تغییر جهت محوری جایروسکوپ، وزنه نیز با آن به حرکت درمی‌آید؛ بنابراین نیروهای F و F به طور مداوم در زاویه قائمه به صفحه چرخش عمل کرده، تغییر جهت محوری بی‌انتهای ادامه خواهد داشت.



شکل ۶-۵- 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 هر حال 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.

وقتی که 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

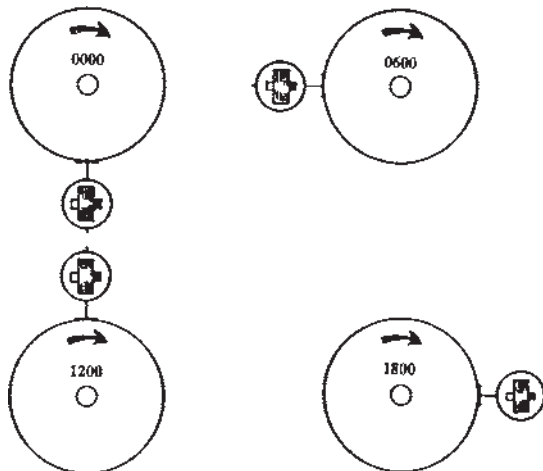
جایروسکوپ ایجاد می‌کند. برای یک نیروی معین هرچه فاصله آن تا محور چرخش بیشتر باشد، گشتاور آن بیشتر خواهد بود. اگر نیروی محور چرخان اثر کند گشتاور صفر خواهد بود.

$$(F \times 0 = 0)$$

هر نیرویی که از طریق مرکز ثقل جایروسکوپ به آن وارد می‌شود، زاویه صفحه 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. بدین ترتیب جایروسکوپ چرخان را می‌توان به وسیله قاب نگاه‌دارنده آن آزادانه در فضا حرکت داد، بدون آن که صفحه 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.

۳-۵- اثر گردش زمین بر جایروسکوپ

همان‌طور که قبلاً شرح داده شد، یک جایروسکوپ با چرخش آزاد می‌تواند بدون آن که زاویه صفحه چرخش خود را تغییر دهد، در هر جهتی حرکت کند. اگر این جایروسکوپ را در خط استوا روی سطح زمین قرار دهیم، به طوری 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 ۷-۵).

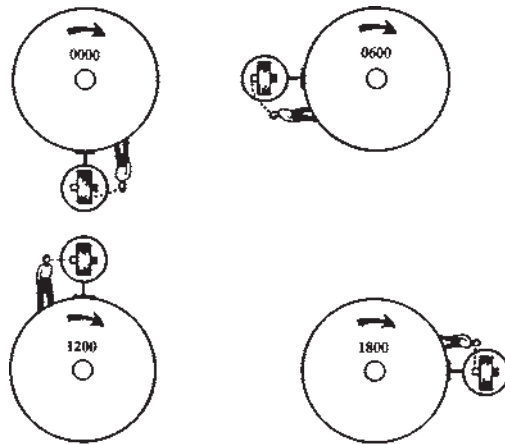


شکل ۷-۵

با گردش زمین پایداری صفحه باعث ثابت ماندن چرخ در فضا شده و همواره در همان صفحه باقی خواهد ماند. همان گونه که در شکل (۷-۵) نشان داده شده است، فرض کنید که جایروسکوپ در ساعت 0000 به کار انداخته شده و شروع به چرخش کرده است، در حالی که محور آن در جهت شرقی - غربی و به موازات سطح زمین است. در ساعت 0600 یعنی شش ساعت بعد زمین 9° درجه چرخیده و محور جایروسکوپ به موازات حالت اول قرار می گیرد. در ساعت 12° زمین به اندازه 18° درجه چرخیده است، در حالی که وضعیت جایروسکوپ تغییر نکرده است.

در ساعت 18° زمین 27° درجه چرخیده، اما کماکان وضعیت جایروسکوپ به همان حالت باقی مانده است. در نهایت در ساعت 0000 زمین 36° 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 به نظر می رسد که چرخ جایروسکوپ حول محور افقی خود دوران می کند. شکل (۸-۵) چگونگی وضع جایروسکوپ را برای ناظری که در سطح زمین و در کنار جایروسکوپ است، نشان می دهد.



شکل ۸-۵

فرض کنید که جایروسکوپ در ساعت 0000 شروع به چرخش کند، در حالی 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 12° محور جایروسکوپ دوباره به وضع افقی برگشته، اما از دید ناظر محور روتور 18° درجه چرخیده است. در ساعت 18° محور دوباره عمود بر سطح زمین بوده و به بالا نشانه می رود. در ساعت 0000، زمین 36° درجه چرخیده محور جایروسکوپ به وضع اولیه خود برمی گردد.

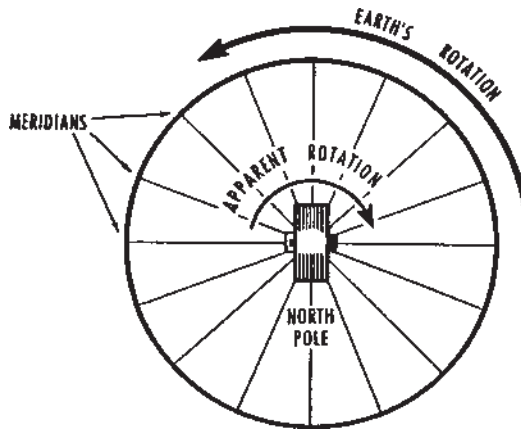
۴-۵- چرخش ظاهری جایروسکوپ

چرخش جایروسکوپ را از دید ناظری که در سطح زمین ایستاده است، چرخش ظاهری می‌گویند. چرخش ظاهری در نتیجه پایداری صفحه که سعی می‌کند صفحه چرخ جایروسکوپ را به موازات وضعیت اولیه آن در فضا نگاه دارد، به وجود می‌آید.

از این گردش ظاهری با انحراف محور افقی جایروسکوپ به عنوان اثر سرعت افقی زمین تلقی می‌شود (HORIZONTAL EARTH RATE EFFECT). مقدار این اثر با کسینوس عرض جغرافیایی تغییر می‌کند. مقدار آن در استوا ماکزیمم و در دو قطب می‌نیم است. $TILT = \cos LAT$. (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 استقرار داده شود (شکل ۹-۵)، 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 ۹-۵- گردش ظاهری جایروسکوپ در قطب شمال

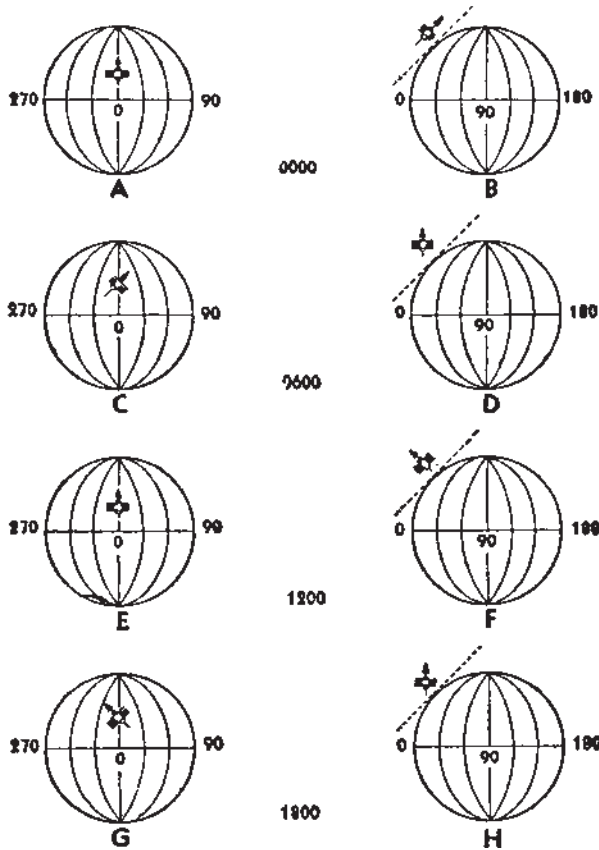
زمین در زیر آن می‌چرخد. این چرخش ظاهری حول محور عمودی به عنوان اثر سرعت عمودی زمین تلقی شده (Vertical earth Rate effect) و با سینوس عرض جغرافیایی تغییر می‌کند. مقدار آن در دو قطب ماکزیمم و در استوا می‌نیم است.

$$DRIFT = \sin LaT.$$

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 (۱۰-۵) 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 ۱۰-۵- گردش ظاهری جایروسکوپ در طول جغرافیایی ۴۵ شمالی

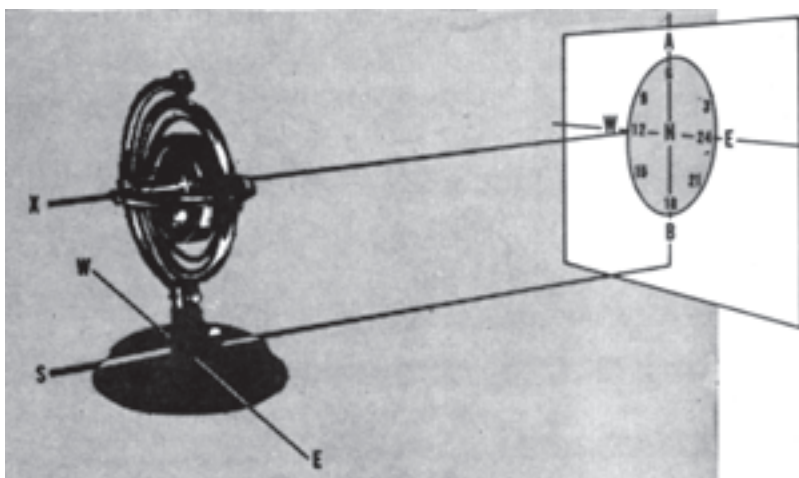
با چرخش زمین، موقعیتهای جایروسکوپ در ساعتهای ۰۶۰۰ و ۱۲۰۰ و ۱۸۰۰ چرخش ظاهری را حول محورهای افقی و عمودی نشان می دهند. هر دو شکل مربوط به یک جایروسکوپ است، منتهی از زوایای مختلف بررسی شده اند تا حرکت را در حول هر دو محور نشان دهند. در هر دو حالت، ناظر در بالای سطح زمین بوده اما با زمین می چرخد. هر دو شکل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

قسمتهای A و B شکل (۵-۱۰) 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 0° (شکل‌های C و D) بستگی به گردش زمین دارد و محور جایروسکوپ از مسیر خود نسبت به نصف النهار خارج شده در 45° درجه شرقی نصف النهار قرار می‌گیرد. (محور به ظاهر به اندازه 45° درجه از حالت افقی انحراف پیدا کرده است) در ساعت 12° (قسمتهای E و F) محور جایروسکوپ دوباره به نصف النهار برمی‌گردد، اما در این حالت محور به اندازه 90° درجه از سطح افقی انحراف می‌یابد. در ساعت 18° (قسمتهای G و H) محور در 45° درجه غرب نصف النهار قرار گرفته و انحراف به 45° درجه تقلیل یافته است.

بعد از ۲۴ ساعت که مطابق با وضعیت ساعت 0000 روز بعد است، محور دوباره روی نصف النهار قرار گرفته و در وضعیت افقی خواهد بود. عمل تمام جایروسکوپ‌های آزاد در هر طول جغرافیایی بین صفر تا 90° 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 ۵-۱۱).



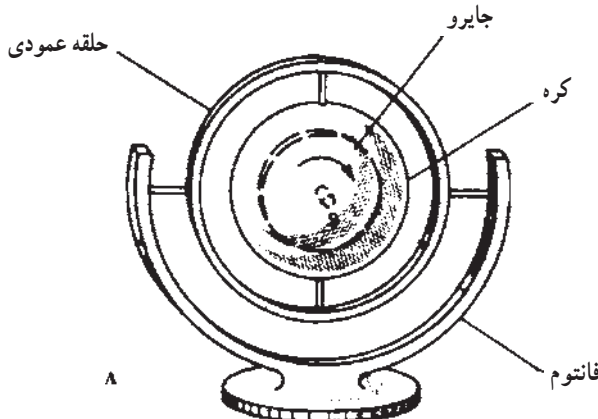
شکل ۵-۱۱- مسیر محور چرخان یک جایروسکوپ آزاد

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 به صورت یک دستگاه شمال‌یاب درآید.

۵-۵- تبدیل جایروسکوپ به جایرو

قبل از این که یک جایروسکوپ ساده را بتوان به صورت یک قطب‌نما درآورد، باید در اجزای متشکله جایروسکوپ تغییراتی جزئی به وجود آورد.

همان‌طوری که از شکل (A-۱۲-۵) پیداست، روتور یا چرخ در داخل یک محفظه یا کره قرار گرفته که این کره به نوبه 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-۱۲-۵- جایروسکوپ ساده

با صرف نظر 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 به وسیله 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 قطب‌نمای جایرو باید به گونه‌ای آن را تکامل بخشید که

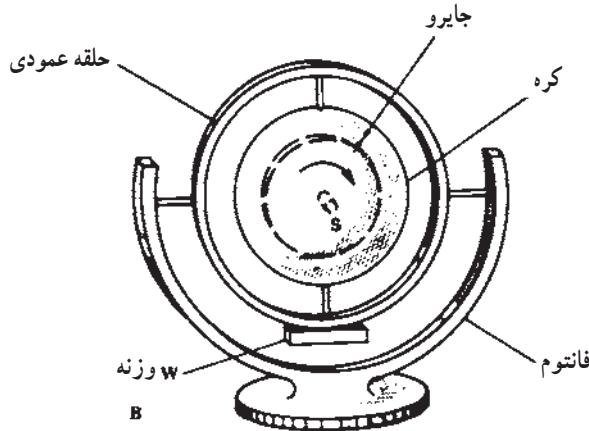
بتواند:

۱- محورش را روی صفحه نصف‌النهار تنظیم کند.

۲- محورش را تقریباً افقی تنظیم کند.

۳- محورش را در حالت افقی در صفحه نصف النهار 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-۱۲-۵).



شکل B-۱۲-۵- جایروسکوپ اصلاح شده

هنگامی که جایرو در خط استوا واقع است، محور آن افقی بوده در امتداد شرقی - 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 (۵-۱۳) جایرو و حلقه عمودی به طور عمودی قرار گرفته، هیچ نیروی گشتاوری در اثر وزنه W وارد نمی‌شود.

همان طوری که زمین گردش می‌کند، نقطه B (شکل ۵-۱۳) نیروی اینرسی و تغییر جهت محوری جایروسکوپ عمل کرده، محور و حلقه عمودی تمایل پیدا می‌کنند که به صورت 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.

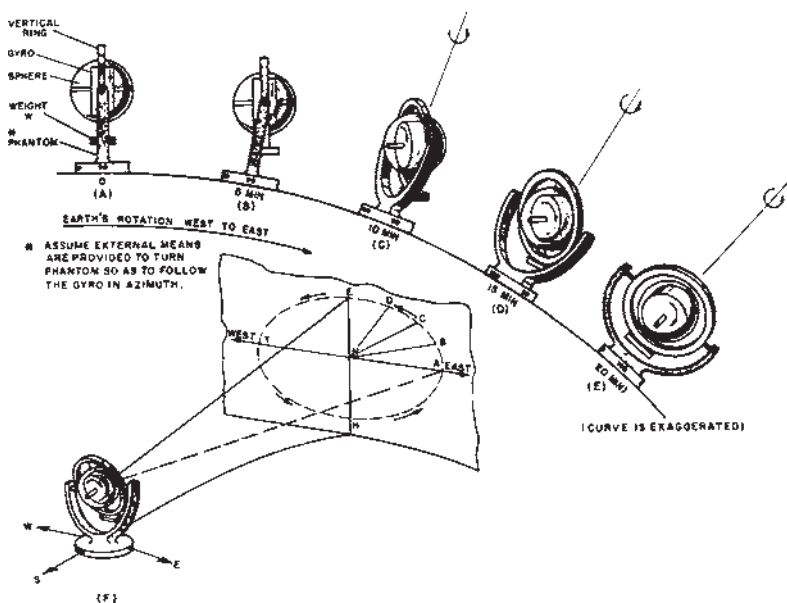
نیروی گشتاوری که در اثر نیروی جاذبه وزنه در اطراف محور افقی جایرو وارد می‌شود، تغییر جهت محوری جایرو را در جهتی که در قسمت C (شکل ۵-۱۳) نشان داده شده، باعث می‌شود. جایرو در این حالت از وضعیت شرقی - غربی خود خارج می‌شود. وقتی انتهای جایرو که قبلاً به سمت مشرق بوده (از این به بعد انتهای شمالی خوانده می‌شود)، 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

به دور محور عمودی خود گردش می کند. در حالت E (شکل ۱۳-۵) محور جایرو با حداکثر انحراف، ماکزیمم تغییر جهت محوری و حداکثر نیروی گشتاوری که در اثر نیروی جاذبه بر وزنه به وجود می آید، در روی نصف النهار قرار می گیرد.

اثر وزنه پاندولی سبب می شود که جایرو هنگام عبور از روی نصف النهار تغییر جهت دهد. موقعی که انتهای شمالی محور جایرو از روی نصف النهار عبور می کند، انحراف آن در اثر گردش زمین کاهش می یابد. در اثر کاهش مقدار انحراف، سرعت تغییر جهت محوری نیز تا زمانی که محور جایرو در حالت افقی قرار گیرد کم می شود. در این حالت انحراف در جهت مغرب متوقف می شود و وزنه ای که به پایین آویزان است هیچ گونه نیروی گشتاوری حول محور افقی تولید نمی کند. در این نقطه انحراف غربی محور از نصف النهار درست به اندازه انحراف شرقی آن از نصف النهار است. ادامه گردش زمین باعث پایین رفتن انتهای شمالی محور می شود، در حالی که وزنه در انتهای دیگر محور افقی در جهت مخالف بالا می رود.

اثر این تغییر جهت محوری در جهت مخالف بوده، محور جایرو را هنگام عبور از روی نصف النهار به وضعیت اولیه خود برمی گرداند. در این نقطه سیکل دوباره تکرار می شود، مگر این که عاملی نوسان را متوقف سازد. در شکل F (۱۳-۵) نوسان انتهای محور جایرو روی یک صفحه عمودی تصویر شده است.



شکل ۱۳-۵- اثر وزنه و گردش روی جایروسکوپ

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

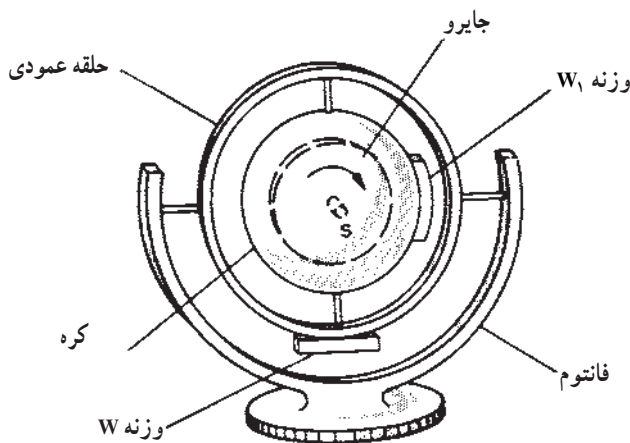
چنانچه وزنه سنگینتر شود، تغییر جهت محوری سریعتر عمل کرده، در نتیجه شکل بیضی مسطح خواهد شد. اگر وزن وزنه کاهش یابد، سرعت تغییر جهت محوری کندتر شده و شکل بیضی به دایره نزدیکتر می‌شود.

زمان یک نوسان کامل بر حسب 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

۶-۵- 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 در شکل (۵-۱۴) نشان داده شده، اضافه کنیم.



شکل ۵-۱۴- جایروسکوپ با وزنه‌هایی روی کره و حلقه عمودی

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

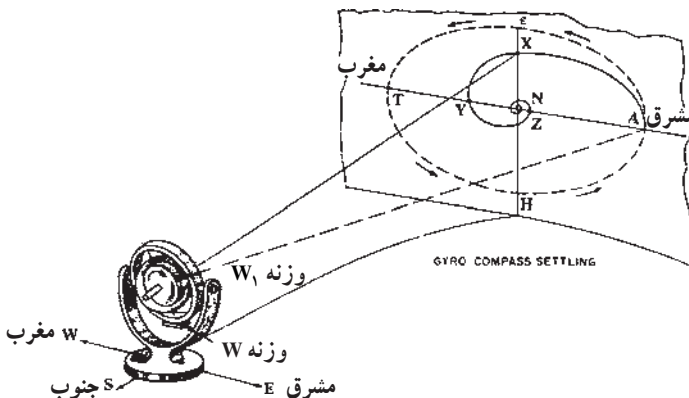
نیروی جاذبه روی وزنه W_1 که آن را به طرف پایین می‌کشد، یک نیروی گشتاوری حول محور عمودی وارد کرده و باعث می‌شود که محور چرخش به عقب تغییر جهت محوری داده و به حالت افقی نزدیک شود.

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

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

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

همان گونه که تشریح شد، نوسانات متوالی از نظر اندازه بتدریج کوچک شده مسیر آنها طبق شکل (۱۵-۵) از حالت بیضی خارج شده و به شکل مارپیچ درآمده است. با



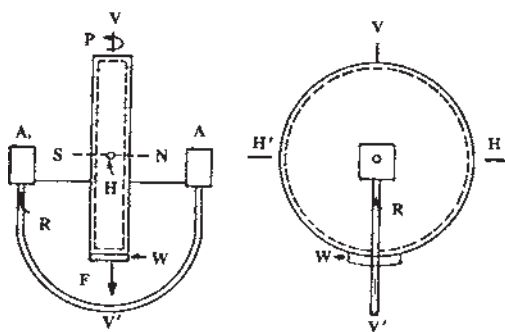
شکل ۱۵-۵- اثر هر دو وزنه روی جایروسکوپ

در نظر گرفتن عمل وزنه‌ها تنها حالت سکونی که برای جایرو امکانپذیر است، زمانی خواهد بود که محور جایرو افقی بوده و روی نصف النهار قرار داشته باشد. این جایروسکوپ آزاد اکنون به یک قطب نمای جایرو تبدیل شده است که می‌تواند روی نصف النهار 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. قطب نمای جایروی ابتدایی برای استفاده در استوا بر روی یک سکوی ثابت طرح‌ریزی شده است. امروز قطب نمای 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. درباره دو روش جاری متداول در این جا بحث خواهد شد.

۱-۶-۵- روش پاندولی - 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 (۱۶-۵) استفاده شده است.



S, N - محور چرخان

V, V' - محور عمودی

H, H' - محور افقی

A, A - مخزنهای روغن متصل شده

R - محدود کننده جریان روغن

W - مشخصه وزنه یا پاندول

F - نیروی جاذبه

شکل ۱۶-۵- طرز عمل میرایی قطب نمای پاندولی

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

به خاطر 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 جاپروسکوپ بالا رود، وزنه پاندولی نیرویی را به طرف پایین به محور بالایی یا شمالی وارد می‌سازد؛ در همین موقع روغن:

۱- از مخزن شمالی به مخزن جنوبی جاری می‌شود.

۲- 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 به وسیله 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 این رو مدت کمی پس از معکوس شدن انحراف، وزن روغن مخزن جنوبی به نیروی اعمال شده به وسیله وزنه بر روی محور بالایی جنوبی افزوده می‌شود.

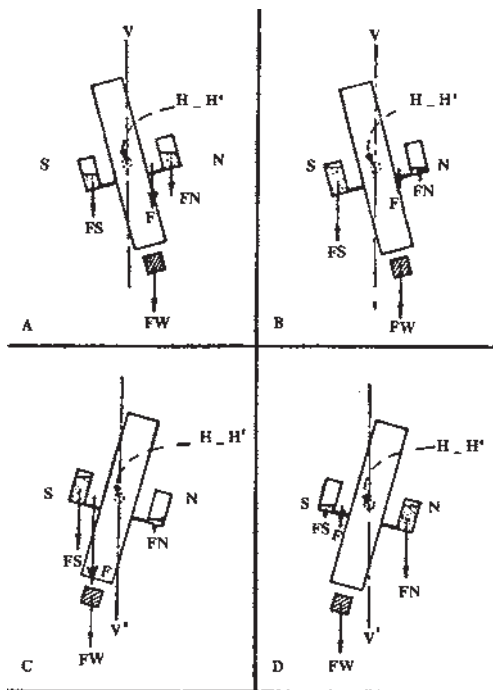
در شکل A (۵-۱۷) محور با انتهای شمالی خود به سمت بالا انحراف پیدا کرده زمان کافی برای عبور مقدار زیادی از روغن به مخزن جنوبی وجود نداشته است.

در شکل B (۵-۱۷) 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 (۵-۱۷) 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 (۵-۱۷) محور جنوبی برای مدتی به طرف بالا کج شده و روغن در مخزن شمالی جمع شده است؛ به طوری 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
 FN نیرو به وسیله روغن مخزن شمالی اعمال شده
 F نیروی نتیجه

شکل ۱۷-۵ عمل مخزنهای میرا کننده

اگر قطب‌نمایی را که به اندازه 3° درجه در شرق نصف النهار منحرف شده و تراز است، در نظر بگیریم (شکل ۱۸-۵) 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 به مخزن جنوبی، به خاطر باریک بودن لوله اتصال به آهستگی انجام گرفته است و در شروع اثر چندانی نخواهد داشت.

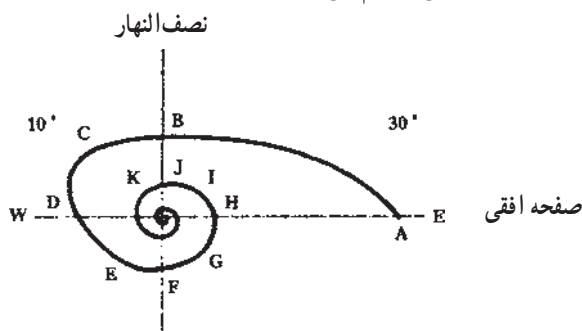
به مرور زمان روغنی که در مخزن جنوبی جمع می‌شود یک نیروی گشتاوری حول محور افقی تولید می‌کند که با نیروی گشتاوری تولید شده به وسیله وزنه پاندولی مخالفت کرده در نتیجه نیروی گشتاوری حاصل، از نیروی گشتاوری که به وسیله وزنه

پاندولی تولید می‌شود کمتر خواهد بود.

سرعت تغییر جهت محوری به خاطر کم بودن نیروی گشتاوری که باعث تغییر جهت محوری می‌شود، کم خواهد بود. محور شمالی قطب‌نما تا زمانی که در مشرق نصف‌النهار باشند به صعود ادامه می‌دهد؛ به طوری 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 ۱۸-۵).

در هر حال 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 به دست 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 ۱۸-۵ نقطه C)؛ بنابراین تغییر جهت محوری به طرف 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 در نتیجه نیروی گشتاوری حاصل از وزنه پاندولی را کم می‌کند.



شکل ۱۸-۵ 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 (۱۸-۵) 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 به سمت شرق ادامه داشته محور شمالی در اثر گردش زمین به پایین آمدن ادامه دهد؛ در نتیجه 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 به دست آید که در آن جا مقدار روغن در هر دو مخزن مساوی باشد (نقطه E شکل ۱۸-۵). 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 زمانی که محور شمالی در غرب نصف النهار باشد، به پایین آوردن خود ادامه داده در نتیجه نیروی گشتاوری کافی برای رسیدن به نصف النهار تولید می‌کند (نقطه F شکل ۱۸-۵).

در این موقع حداکثر انحراف و حداکثر تغییر جهت محوری به وجود خواهد آمد که در نتیجه محور مزبور نمی‌تواند روی نصف النهار باقی بماند. محور شمالی قطب‌نما اکنون در شرق نصف النهار 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 وسیله 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 ۱۸-۵)، 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 به طرف 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 ۱۸-۵). 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 زمانی که محور شمالی در شرق نصف‌النهار قرار دارد به عمل بالا رفتن ادامه می‌دهد.

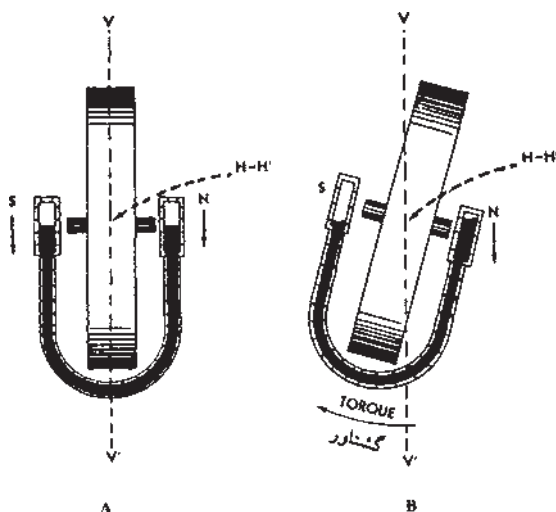
وقتی محور شمالی به نصف‌النهار رسید، دارای حداکثر انحراف و بنابراین حداکثر تغییر جهت محوری بوده، در نتیجه نمی‌تواند در نصف‌النهار باقی بماند (نقطه J شکل ۱۸-۵). این عمل تا حدود $21/5$ نوسان ادامه می‌یابد و سپس قطب‌نما متوقف شده روی نصف‌النهار قرار می‌گیرد.

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

۲-۶-۵- روش غیر پاندولی - 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 به وسیله یک لوله به یکدیگر وصل شده‌اند؛ به طوری که جیوه می‌تواند آزادانه از یک مخزن به مخزن دیگر جریان پیدا کند (شکل A ۱۹-۵).

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

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



شکل ۱۹-۵- عمل متعادل‌کننده یک بالستیک جیوه‌ای

بنابراین در حول محورها هیچ‌گونه نیروی گشتاوری ایجاد نخواهد شد. هنگامی که محور منحرف می‌شود، حتی به مقدار خیلی کم شکل (B ۱۹-۵) 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 به علت 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 به وجود می‌آید.

این نیروی گشتاوری که به ظاهر میل به انحراف بیشتری دارد، به جای 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 به سمت 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.

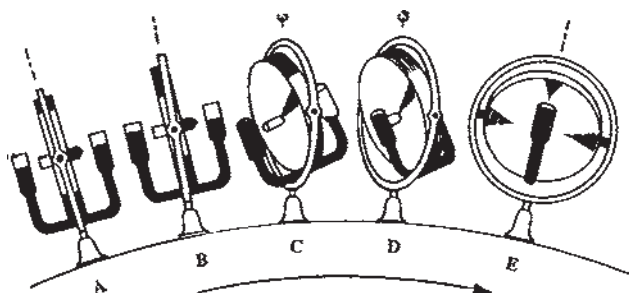
محور شمالی اگر پایین باشد، باعث می‌شود که بالستیک جیوه‌ای یک نیروی گشتاوری در حول محور افقی تولید کرده، یک تغییر جهت محوری در جهت حرکت عقربه ساعت یا در جهت مشرق به وجود بیاید.

اگر این جایروسکوپ همراه با بالستیک جیوه‌ای خود روی خط استوا طوری قرار گیرد که محور آن به طرف مشرق نصف‌النهار و چرخش روتور آن در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت باشد (شکل A - ۲-۵)، انتهای شمالی محور به علت 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 - ۲-۵)، 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 به طرف 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 - ۲-۵).

این انحراف تا زمانی که محور جایروسکوپ روی نصف‌النهار قرار دارد، به سمت بالا ادامه خواهد داشت (شکل E - ۲-۵) 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 این که محور جایروسکوپ، نصف‌النهار را قطع کرد، به سمت پایین کج می‌شود و در نتیجه جیوه از مخزن جنوبی به مخزن شمالی جریان می‌یابد. این انتقال



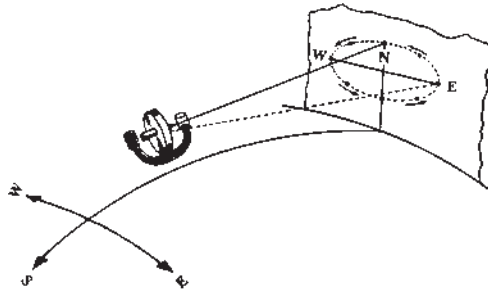
شکل ۲-۵- چرخش زمین از غرب به شرق

جیوه بتدریج نیروی گشتاوری را در حول 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 نصف النهار نشان رفته، جیوه به مقدار مساوی در دو مخزن تقسیم می‌شود؛ در نتیجه 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 به طرف پایین کج شده جیوه به داخل مخزن شمالی جریان می‌یابد که یک نیروی گشتاوری به انتهای شمالی محور چرخان وارد می‌سازد؛ از این رو جهت گردش محور معکوس شده در جهت شرق قرار می‌گیرد. کج شدن محور چرخان به طرف پایین ادامه داشته مقدار نیروی گشتاوری و سرعت تغییر جهت محوری افزایش می‌یابد.

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

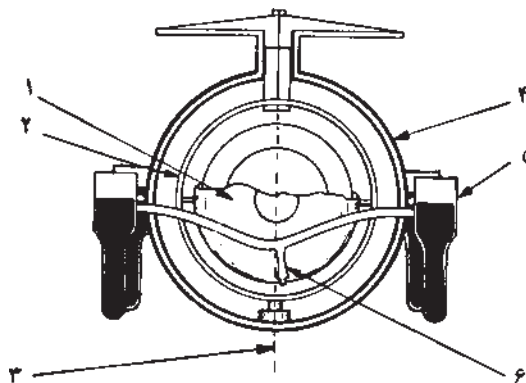
وقتی محور جایروسکوپ افقی می‌شود، محور به سمت نقطه شروع حرکت اولی خود برمی‌گردد. شکل (۲۱-۵) نشان می‌دهد که مسیر طی شده به وسیله محور شمالی جایروسکوپ شکل بیضی دارد و تا زمانی که روتور جایروسکوپ به چرخش خود ادامه دهد، جایروسکوپ به نوسان خود ادامه می‌دهد.



شکل ۲۱-۵- زمان تناوب قطب نمای میرا نشده در استوا

در این قطب نمای غیر پاندولی که از بالستیک جیوه ای استفاده می شود، میرا شدن نوسانات با به کاربردن قسمتی از نیروی گشتاوری ایجاد شده به وسیله عمل نیروی جاذبه مؤثر بر بالستیک جیوه ای صورت می گیرد که در این صورت مقداری از انحراف که به وسیله گردش زمین به محور روتور داده شده از بین می رود.

همان طور که قبلاً در مبحث بالستیکهای جیوه ای شرح داده شد، مخزنها به طور مستقیم به دو انتهای محور روتور روی یاتاقانها نصب شده اند. در قطب نمای واقعی که مورد استفاده قرار می گیرد، 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 می کند (شکل ۲۲-۵). محفظه روتور مانند حلقه داخلی جایروسکوپ بوده، یاتاقانی را که محور بر روی آن می چرخد، نگاه می دارد.



- | | |
|---------------|----------------------|
| ۱- قفسه روتور | ۴- قسمت فانتوم |
| ۲- حلقه عمودی | ۵- بالستیک جیوه ای |
| ۳- خط مرکز | ۶- بازوی اتصال خارجی |

شکل ۲۲-۵- اجزای قطب نمای غیر پاندولی

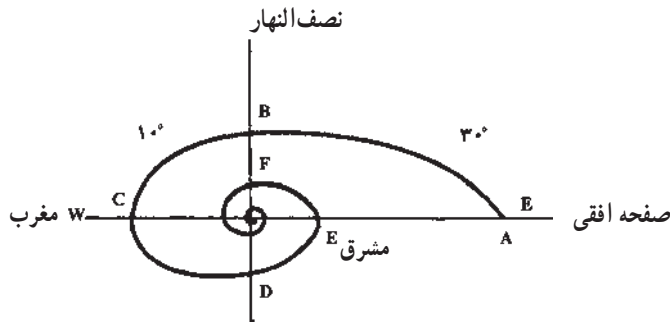
اگر نقطه اتصال بین بالستیک جیوه‌ای و محفظه روتور در یک خط با محور عمودی باشد، تنها نیروی گشتاوری که به وسیله بالستیک جیوه‌ای وارد می‌شود، به دور محور افقی اثر گذاشته تغییر جهت محوری حاصل تنها در حول محور عمودی انجام می‌گیرد. در این صورت قطب‌نما تنها در اطراف نصف‌النهار نوسان خواهد کرد.

در هر حال، اگر نقطه اتصال بین مخازن بالستیک و محفظه روتور به اندازه کسری از اینچ به طرف شرق محور عمودی قرار داده شود (شکل ۲۲-۵)، نیروی ایجاد شده به وسیله 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 محور افقی خیلی آهسته‌تر از تغییر جهت محوری در حول محور عمودی صورت می‌گیرد، زیرا نقطه اتصال به فاصله خیلی کمی از محور عمودی تغییر محل داده شده است.

وقتی که قطب‌نما در 30° درجه شرقی نصف‌النهار تراز شود (نقطه A شکل ۲۳-۵)، 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 به طرف 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 به طرف نصف‌النهار می‌شود. در هر حال، قطب‌نما نمی‌تواند روی نصف‌النهار باقی بماند (نقطه B شکل ۲۳-۵). 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 ۲۳-۵).



شکل ۲۳-۵- مسیری که به وسیله محور شمالی یک قطب‌نمای غیر پاندولی میرا شده دنبال می‌شود.

هنگامی که محور تراز شد، تغییر جهت محوری به علت عدم اعمال نیروی گشتاوری به وسیله بالستیک جیوه‌ای متوقف می‌شود.

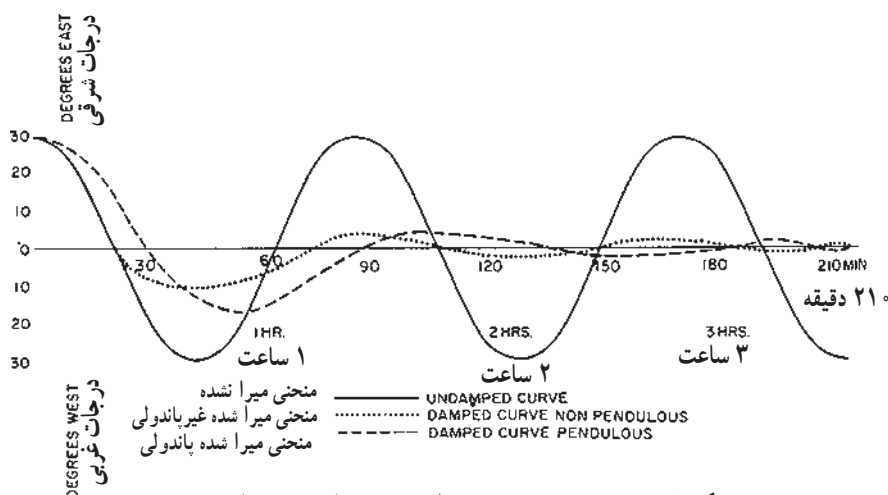
اگر نیروهای گشتاوری لازم و کافی اعمال شده باشند، قطب‌نما تنها به اندازه 10° درجه از غرب نصف النهار دور شده، نوسان به اندازه 66° درصد کاهش می‌یابد.

مادامی که 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 در حول 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 جاپرو به طرف نصف النهار می‌شود (نقطه D شکل ۲۳-۵) و جاپرو نمی‌تواند روی نصف النهار باقی بماند، زیرا در این زمان دارای حداکثر انحراف و در نتیجه دارای حداکثر سرعت تغییر جهت محوری بوده و باعث می‌شود که جاپرو با تغییر جهت محوری از نصف النهار بگذرد. اکنون که محور شمالی دوباره در شرق نصف النهار 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 ۲۳-۵). در این لحظه قطب‌نما

تقریباً به اندازه $\frac{1}{3}$ درجه شرقی از نصف النهار دور می‌شود. این عمل میرایی تقریباً به اندازه $\frac{1}{3}$ نوسان ادامه دارد؛ سپس قطب نما روی نصف النهار قرار می‌گیرد.

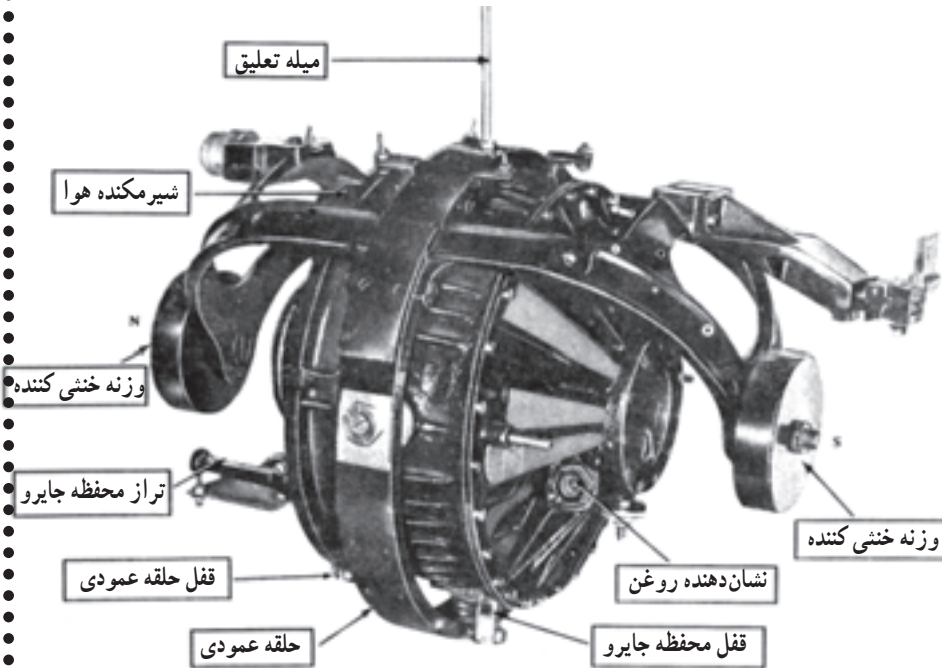
برای مقایسه، منحنیهای نوسان یک قطب نما ی میرا نشده (Undamping) و منحنیهای نوسان یک قطب نما ی غیر پاندولی و پاندولی میرا شده در شکل (۵-۲۴) نشان داده شده اند. زمان تناوب نوسانات میرا شده برای هر دو قطب نما تا حدی بیشتر از زمان تناوب نوسانات میرا نشده بوده و همچنین زمان تناوب میرا شده قطب نما ی پاندولی از قطب نما ی غیر پاندولی بیشتر است.



شکل ۵-۲۴- منحنیهای نوسان قطب نما ی میرا شده و میرا نشده
مقداری که هر نوسان متوالی از نصف النهار می‌گذرد به وسیله دستگاه میرا کننده کاهش می‌یابد؛ البته مقدار این کاهش در کلیه نوسانات یکسان نیست.
در قطب نما ی پاندولی کاهش مقدار نوسان اول از نوسانات بعدی کمتر است.
در قطب نما ی 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 70° درصد در قطب نماهای پاندولی و غیر پاندولی است.

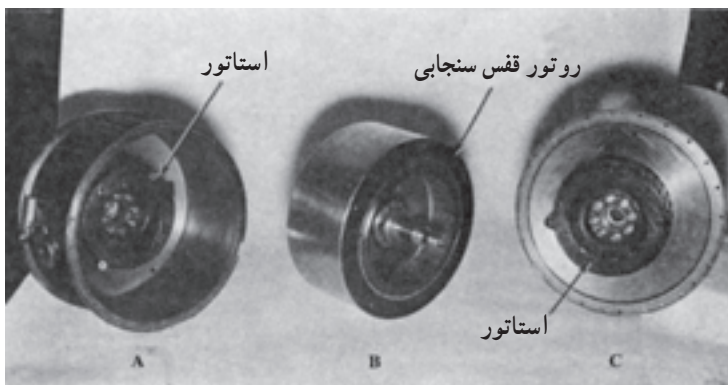
۷-۵- قسمتهای مختلف المان حسّاس جیرو (Sensitive element)
قسمت حساس جیرو که در شکل (۵-۲۵) نشان داده شده است، همان سیستم

شمال یاب قطب نما است. این قسمت شامل دستگاه جایرو، حلقه عمودی، وزنه های خنثی کننده، شاخص دنباله رو و قسمت مُعلق است. اجزای قطب نما ی جایرو اسپری مارک ۱۱ مدل ۶ به عنوان نمونه تشریح می شود.



شکل ۲۵-۵- اجزای قسمت حساس قطب نما ی اسپری مارک ۱۱ مدل ۶

۱-۷-۵- موتور جایرو - این دستگاه یک نیروی جهت دار برای قسمت حساس فراهم می سازد که باعث شمال یابی قطب نما می شود. این دستگاه شامل موتور و محافظه است (شکل ۲۶-۵).



شکل ۲۶-۵- A و C استاتور موتور جایرو B روتور موتور جایرو

دور موتور جایرو خیلی زیاد است (در حدود ۱۱۰۰۰ دور در دقیقه). محفظه موتور شکل C و A (۲۶-۵) دارای یک سیم پیچ 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 می کند تا اصطکاک حاصل از مقاومت هوا را کم کند.

۲-۷-۵- حلقه عمودی - حلقه عمودی (شکل ۲۵-۵) 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 نگاه دارنده فوقانی و تحتانی از حرکات عرضی حلقه عمودی در داخل حلقه فانتوم جلوگیری می کند. جدار خارجی یاتاقان بالایی به وسیله حلقه فانتوم نگاه داشته می شود 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 هنگامی که قطب نما کار نمی کند. 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 در نظر گرفته شده است.

۳-۷-۵- وزنه های خنثی کننده - وزنه های خنثی کننده (شکل ۲۵-۵) به وسیله دو قاب که به حلقه عمودی متصل است، نگهداری می شوند. این قابها در پشت دو انتهای محور روتور قرار گرفته اند. عمل این وزنه ها برای متعادل کردن وزن جایرو در اطراف محور عمودی است. آرمیچر انتقال دهنده سیگنال یا ترانسفورمر دنباله رو به یک بازو متصل است که به طور افقی از قسمت بالایی قاب وزنه خنثی کننده جنوبی بیرون آمده است.

۴-۷-۵- شاخص دنباله رو (فالو آپ) - شاخص دنباله رو وضعیت حلقه فانتوم را نسبت به الیمان حساس نشان می دهد. این شاخص از یک صفحه مدرج و یک عقربه تشکیل شده است. صفحه برحسب درجه مدرج شده و مرکز آن با حرف «O» نشان داده شده است تا در صورت وجود انحراف بین فانتوم و الیمان حساس مشخص شود.

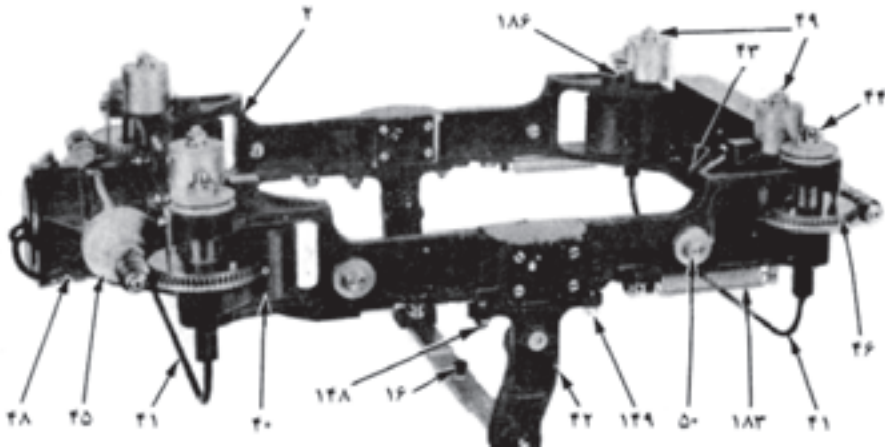
۵-۷-۵- سیمهای تعلیق الیمان حساس (رابط نگاه دارنده) - سیمهای تعلیق (شکل ۲۵-۵) تمام الیمان حساس را از قسمت فانتوم آویزان نگاه می دارند. این

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

بالستیک جیوه‌ای — بالستیک جیوه‌ای (متعادل کننده جیوه‌ای) از قسمتهایی تشکیل یافته که نیروی کنترل کننده جاذبه را به دستگاه جاپرو اعمال کرده و باعث می‌شوند که جاپرو 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 در حول محور مشرق - مغرب قسمت حساس کج شود.

قاب مزبور در هر یک از چهار گوشه خود یک مخزن جیوه دارد. مخزنهای شمالی و جنوبی در کناره شرقی قطب‌نما به وسیله یک لوله «U» شکل و مخزنهای شمالی و جنوبی در کناره غربی نیز به همین ترتیب به یکدیگر ارتباط یافته‌اند. نیروی کنترل کننده جاذبه بالستیک جیوه‌ای از طریق بست قابل تنظیم یاتاقان که روی بازوی اتصال بالستیک سوار است، به انتهای محفظه جاپرو اعمال می‌شود (شکل ۲۷-۵). 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 جاپرو در یک خط قرار گیرد، حرکت آن ادامه خواهد داشت.

علاوه بر این، هر مخزن جیوه از پایه نگاه دارنده خود طوری منحرف می‌شود که بتواند به دور شاخه خود در قوسی برابر 11° درجه بچرخد تا بازوی اهرم هریک از مخزنها را تکان دهد. به این ترتیب زمان تناوب یک نوسان میراکننده قطب‌نمای جاپرو در تمام طولهای جغرافیایی به وسیله میزان کردن مخازن جیوه ثابت نگاه داشته می‌شود. این تنظیم کردن را تنظیم طول جغرافیایی بالستیک می‌نامند.



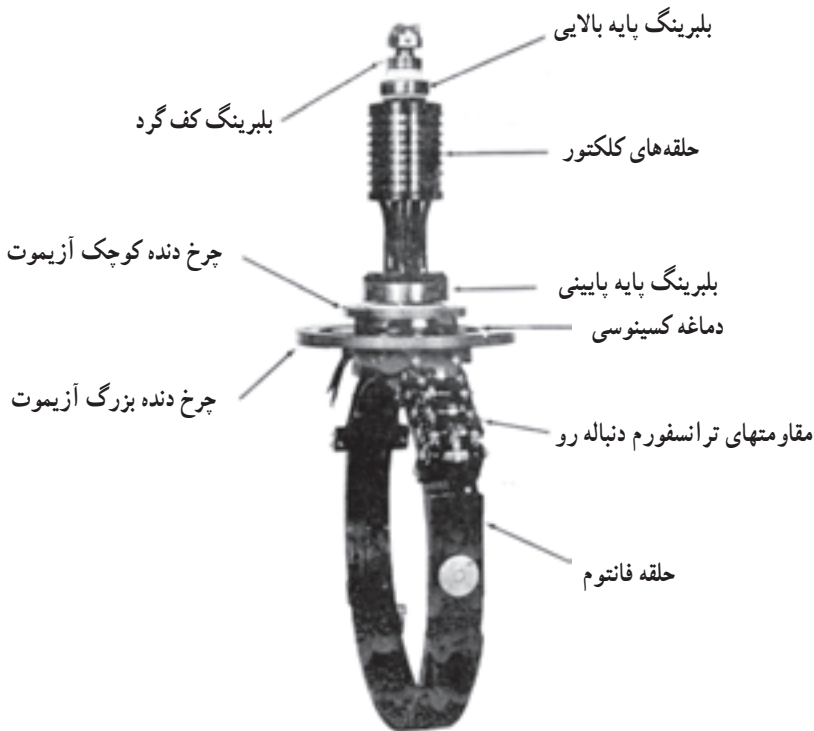
- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| ۴۶ صفحه مدرج طول جغرافیایی | ۲ قاب بالستیک جیوه‌ای |
| ۴۸ مغناطیس حذف کننده میرایی | ۱۶ بست اتصال |
| ۴۹ وزنه‌های بالانس کننده غیر پاندولی | ۴۰ مخازن جیوه |
| ۵۰ وزنه‌های بالانس کننده افقی | ۴۱ لوله جیوه |
| ۱۴۸ پیچ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

شکل ۲۷-۵- بالستیک جیوه‌ای

۸-۵- قسمت فانتوم (نگاه دارنده ایمان حساس)

فانتوم (شکل ۲۸-۵) 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. قسمت 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 به‌وسیله عمل سیستم تعقیب کننده دنبال می‌کند).

یک یاتاقان کف گرد روی بدنه در مرکز دستگاه اسپایدر مطابق شکل (۲۸-۵) قرار گرفته است و وزن قسمتهای فانتوم و حساس را تحمل می‌کند. یاتاقانهای بالایی



شکل ۲۸-۵ - قسمت فانتوم اسپری مارک ۱۱

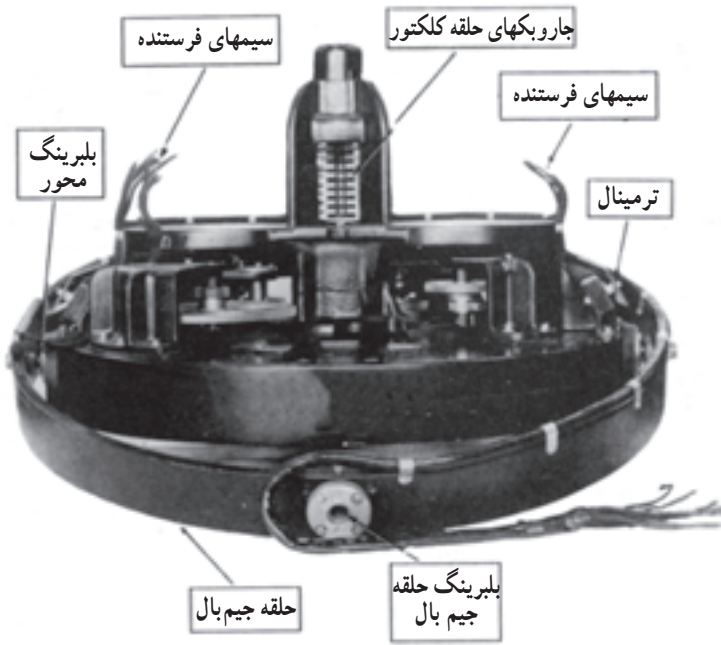
و پایینی بدنه، آن را با محور عمودی اسپایدر در یک خط نگاه می‌دارند، اما قسمت فانتوم را آزاد می‌گذارند تا در حول محور عمودی خود بچرخد.

حلقه فانتوم همچنین یاتاقانهایی را که حامل بالستیک جیوه‌ای هستند، نگاه می‌دارد. محور این یاتاقانها با محور یاتاقانهای افقی دستگاه جابرو 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 - اسپایدر (شکل ۲۹-۵) یک میز دایره‌ای از جنس آلیاژ آلومینیوم است که تمام قسمت داخلی یا متحرک قطب‌نما را به وسیله دستگاهی که روی آن یاتاقانهای کف‌گرد قرار دارند؛ نگاه می‌دارد.

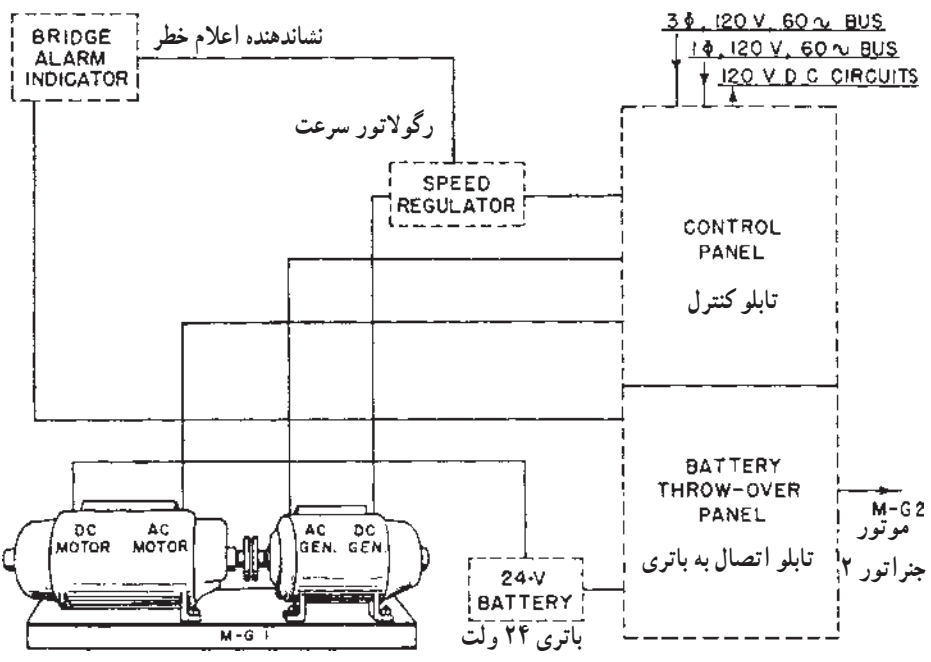
۵-۹ - سیستم کنترل جابرو

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



شکل ۲۹-۵- اسپایدر جایروی اسپری مارک ۱۱

کنترل بر روی پانل کنترل نصب شده‌اند. شکل (۳۰-۵) قسمت‌های مختلف یک سیستم کنترل جایرو را نشان داده است.



شکل ۳۰-۵- سیستم کنترل و اعلام خطر

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

۱-۹-۵- موتور جنراتور - برای هر دستگاه جاپرو، یک کنورتور مجزا در نظر 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.

۲-۹-۵- سیستم تغذیه از باتری - هر دستگاه موتور جنراتور به‌صورت یک واحد کامل درآمده و روی یک صفحه 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.

۳-۹-۵- تنظیم‌کننده سرعت (تابلو کنترل) - 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 جاپرو دارای مقداری ثابت است.

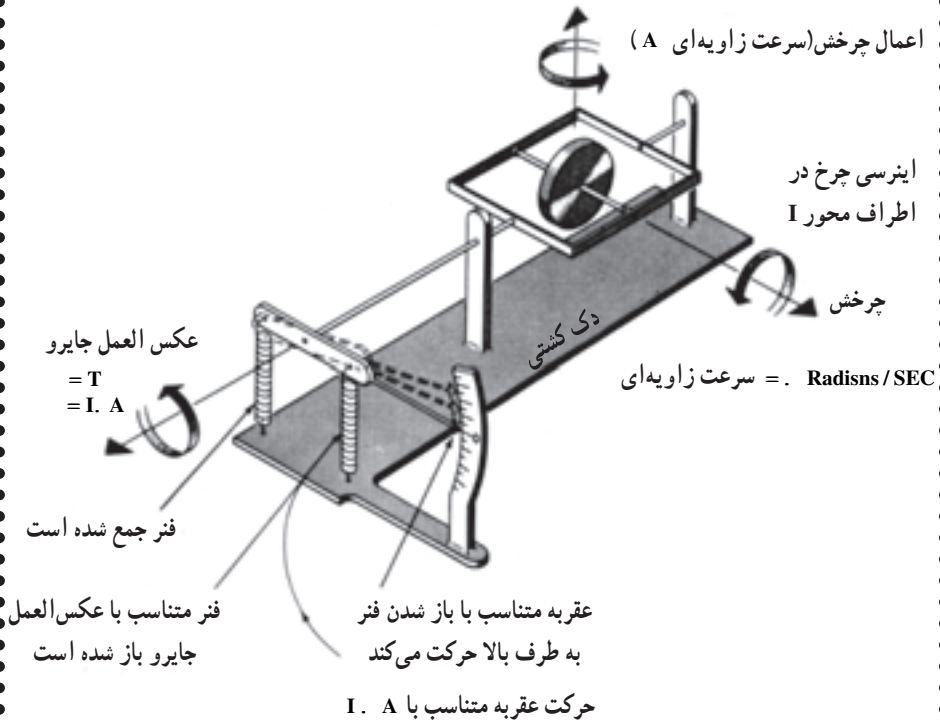
۱۰-۵- موارد استفاده جاپرو

جاپروها به دو صورت کلی استفاده می‌شوند: نوع اول جاپروهایی که از طریق یکی از محورها مهار شده‌اند (Constrained Gyro) و دیگری جاپرویی که از سه درجه آزادی برخوردار است (FREE GYRO).

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

نوع اول - تغییر جهت محوری به جاپرو اعمال و عکس‌العمل جاپرو اندازه‌گیری می‌شود. این اصول کار یک مشتق‌گیر که شتاب را محاسبه می‌کند می‌باشد (Rate Gyro) در اشکال (۳۱-۵ و ۳۲-۵) نمونه‌هایی از مشتق‌گیرها برای اندازه‌گیری شتاب چرخش

کشتی و اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای خط دید (Line of Sight) تشریح می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۵-۳۱) 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.

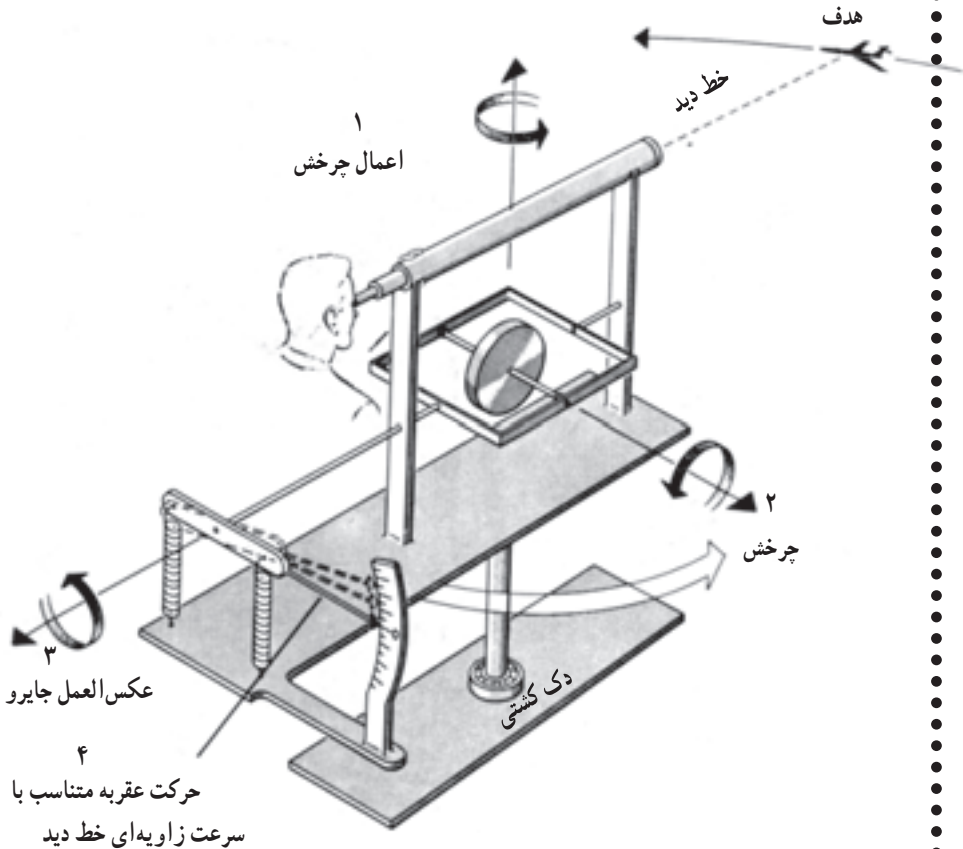


شکل ۵-۳۱

در شکل (۵-۳۲) 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 - 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

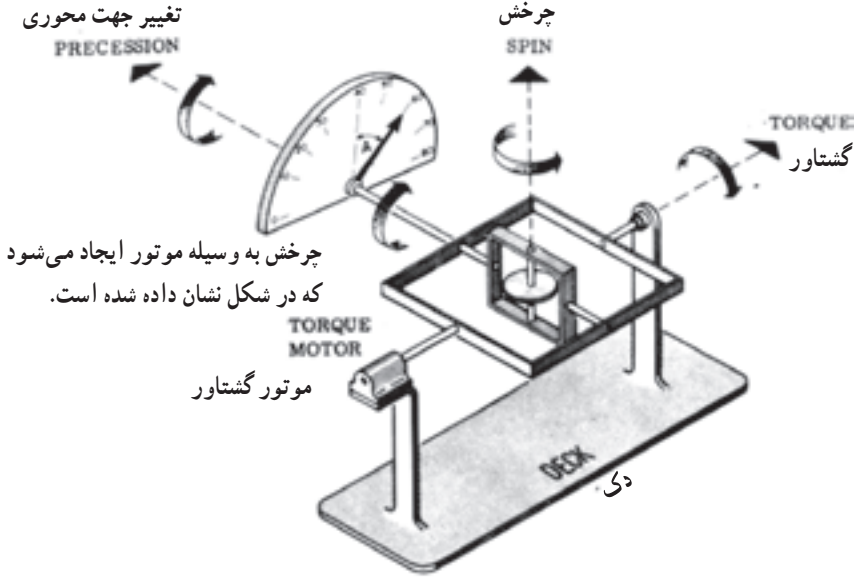
می‌کند. در جابروی نوع اخیر یعنی انتگرال گیرها می‌توان با مشاهده تغییر زاویه محوری، انتگرال گشتاور را برحسب زمان محاسبه کرد.



شکل ۳۲-۵

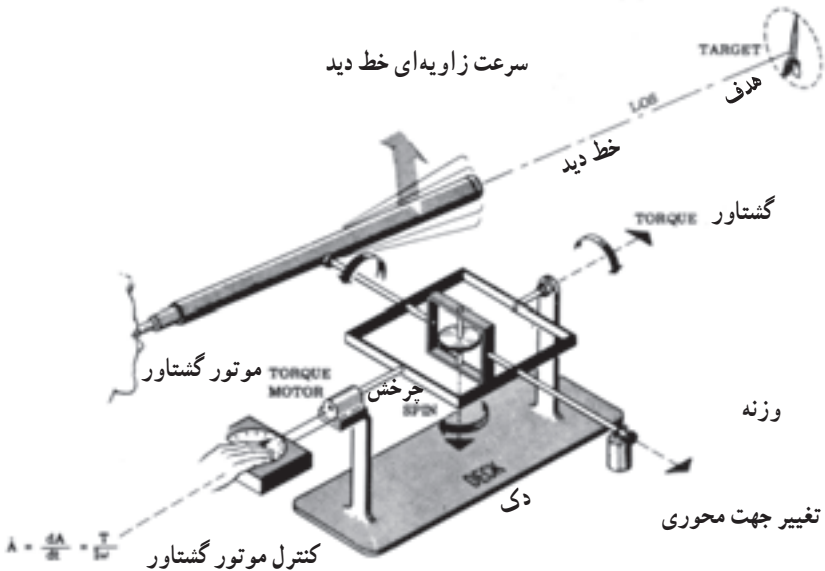
در یک انتگرال گیر می‌توان با مشاهده زاویه تغییر جهت محوری، انتگرال گشتاور را نسبت به زمان محاسبه کرد یا این که نیروی گشتاوری را به گونه‌ای تنظیم کرد که جابروی خط دید (Line of Sight) را دنبال کند.

انتگرال گیر مستقیم - گشتاوری متناسب با مقدار مورد لزوم به جابروی اعمال و موجب تغییر جهت محوری می‌شود. با توجه به این که شتاب تغییر جهت محوری متناسب با گشتاور است، زاویه تغییر جهت محوری با انتگرال گشتاور نسبت به زمان متناسب است (شکل ۳۳-۵).



شکل ۳۳- ۵

جایروی انتگرال گیر می تواند سرعت زاویه را همچنین از راه غیرمستقیم اندازه گیری کند. فرض کنید می خواهیم سرعت زاویه ای خط دید (L.O.S) را که بر روی هدفی متحرک حرکت می کند، اندازه گیری کنیم. در شکل (۵-۳۴) یک تلسکوپ به جایرو متصل است و جایرو به گونه ای تنظیم شده است که حرکت تلسکوپ حاصل از تغییر جهت محوری و خط دید (L.O.S) هر دو یک مسیر را طی می کنند.



شکل ۳۴- ۵

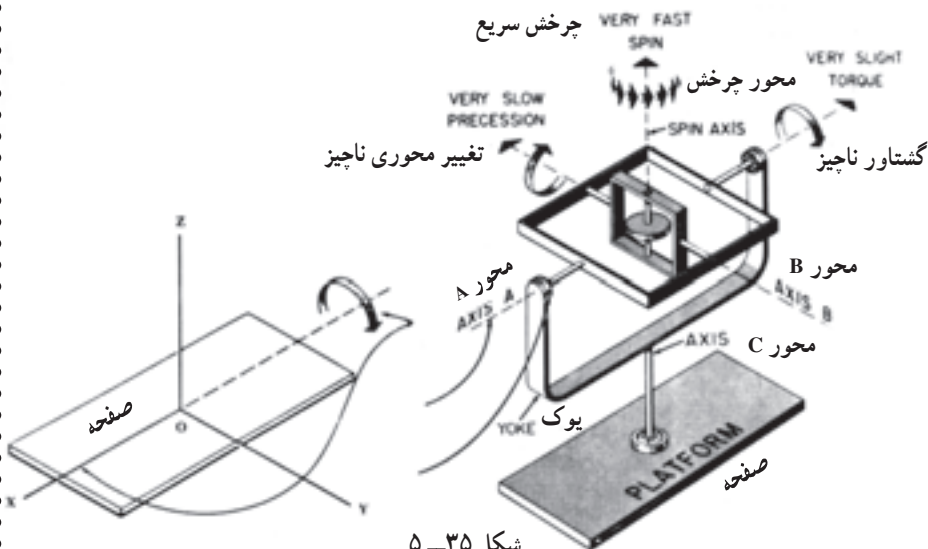
گشتاوری به جابرو اعمال می‌شود و آنقدر تغییر می‌کند تا این که هدف به‌طور دقیق بر روی محور تلسکوپ تنظیم شود.

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) — 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 خصوصیات از جایرو که به‌عنوان یک مرجع با جهت ثابت عمل می‌کند خواهیم داشت.

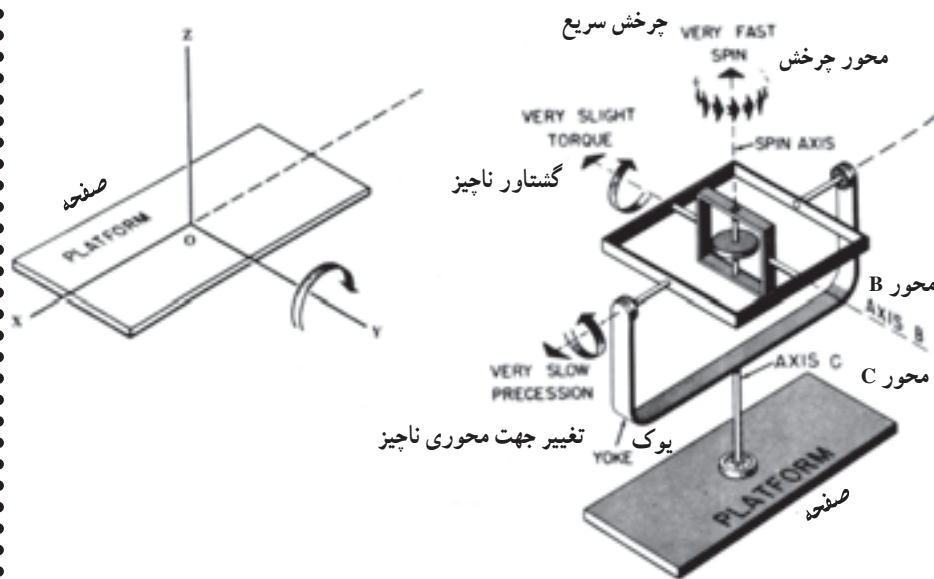
فرض کنید یک جایروی سنگین و بزرگ در حال چرخش که آزادی حرکت در سه محور دارد، بر روی صفحه‌ای (Plat form) که قادر است در حول هر یک از سه محور Ox و Oy و Oz حرکت کند، نصب شده است.

اگر صفحه حول محور Ox بچرخد، گشتاور ناچیزی که در اثر اصطکاک بلبرینگها به وجود می‌آید به محور A وارد می‌شود و حاصل آن یک تغییر جهت محوری آرام به اطراف محور B است (شکل ۳۵-۵).



شکل ۳۵-۵

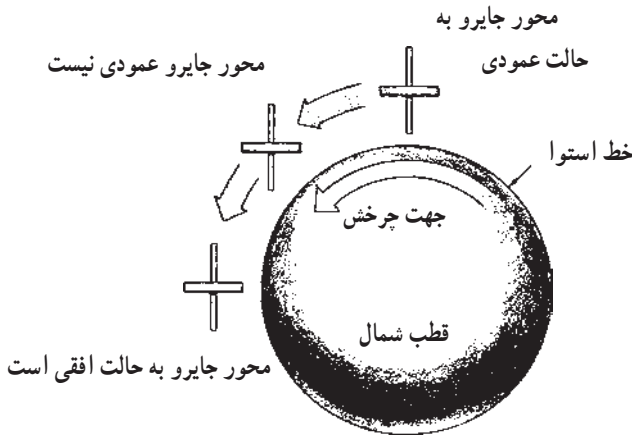
بنابراین وقتی که صفحه حول محور Ox می چرخد، محور B در وضعیت افقی و محور چرخش جابرو به حالت عمودی باقی می ماند.
 حال اگر صفحه به دور محور Oy به جای محور Ox بچرخد، یک گشتاور ناچیز که از اصطکاک بین محور B و بلبرینگهای آن حاصل می شود و یک تغییر جهت محوری ناچیز حول محور A، موجب می شود که محور X همراه با صفحه (Plat form) منحرف شود؛ اما محور B هیچ گونه چرخش در فضا نداشته بنابراین محور چرخش به صورت عمودی ثابت می ماند.



شکل ۳۶-۵

در نتیجه با چرخش جابرو حول محورهای x و y وضعیت جابرو در فضا ثابت می ماند، اما با چرخش حول محور Oz جیم بال داخلی ثابت نمی ماند. دلیل این امر به خاطر موازی بودن محور گشتاور ایجاد شده (در بلبرینگهای محور C) با محور چرخش است؛ بنابراین تغییر جهت محوری در جابرو حاصل نمی شود و در نتیجه حتی گشتاور کوچکی نیز موجب چرخش جیم بال ها و جابرو همراه با پایه خواهد شد. برای این که پایداری سیستم حول OC میسر شود باید دومین جابرو به گونه ای نصب شود که محور چرخش آن افقی باشد؛ بدین منظور می تواند به جیم بال 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 ۳۷-۵).



شکل ۳۷-۵

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

- ۱- جایروسکوپ چیست؟
- ۲- خواص جایروسکوپی را نام ببرید و هر یک را تعریف کنید.
- ۳- پایداری یک جایرو را چگونه می‌توان افزایش داد؟
- ۴- گشتاور را تعریف کنید.
- ۵- چگونگی وضع جایروسکوپ را از دید ناظری که در سطح زمین و در کنار جایروسکوپ است تشریح کنید. (جایروسکوپ روی خط استوا قرار دارد).
- ۶- سه شرط لازم برای تبدیل جایروسکوپ به قطب‌نمای جایرو را به‌طور مختصر شرح دهید.

عمق یاب

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

- ۱- مبانی و قوانین امواج صوتی در آب را شرح دهد.
- ۲- نحوه کار عمقیاب را روی دستگاه نشان دهد.
- ۳- قسمتهای تشکیل دهنده عمقیاب را روی دستگاه عملاً نشان دهد.
- ۴- کار ثبت کننده را توضیح دهد.
- ۵- کار فرستنده را توضیح دهد.
- ۶- کار گیرنده را توضیح دهد.
- ۷- کار نشاندهنده چراغی را شرح دهد.
- ۸- کار ترانسدیوسر را بیان کند.
- ۹- نحوه استفاده و نحوه کنترل عمق یاب را روی دستگاه نشان دهد.
- ۱۰- طرز کار ماهی یاب را توضیح دهد.

۱-۶- مبانی و قوانین امواج صوتی در آب

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

تعریف پژواک — 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،

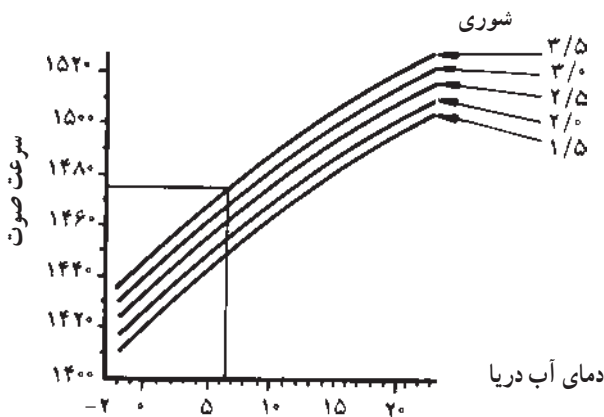
لازم است که صوت ۲ برابر فاصله بین منبع و مانع را طی کرده باشد. این واقعیت و همچنین سرعت ثابت صوت در آب، به عنوان اصول کار عمق‌یاب مدّ نظر قرار می‌گیرد.

حرکت صدا در آب — 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) در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین طراحی کلیه اجزای دستگاه و محاسبات بر همین اصل استوار است. چنانچه عمق‌یاب به طور دقیق برای آب شور تنظیم شده باشد، عمق واقعی در آب شیرین در حدود ۳ درصد کمتر از عمق خوانده شده است.

در این گونه موارد در صورت لزوم می‌توان تصحیحات لازم را به مورد اجرا گذاشت. شکل (۶-۱) 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.

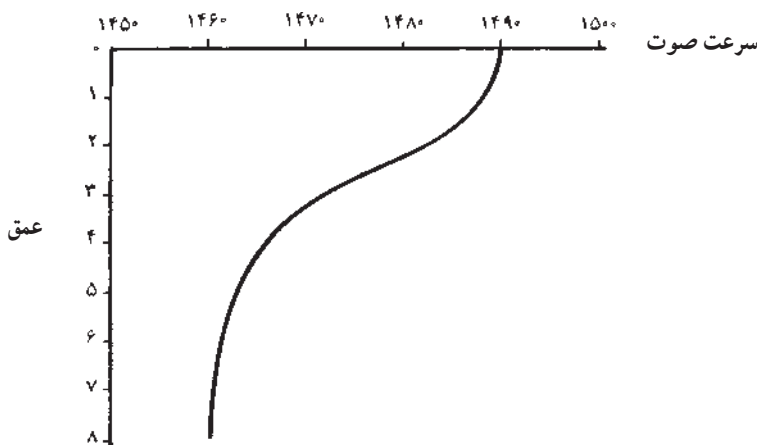


شکل ۶-۱ — نسبت بین دمای آب و سرعت صوت در آب دریا برای درجات شوری مختلف

به عنوان نتیجه گیری از وضعیت فشار در اعماق مختلف (جدا از اثر دما و شوری آب) می توان این اصل را در نظر گرفت که به ازای هر 100 متر از دیاد عمق، $1/8$ متر در ثانیه سرعت صوت افزایش پیدا می کند.

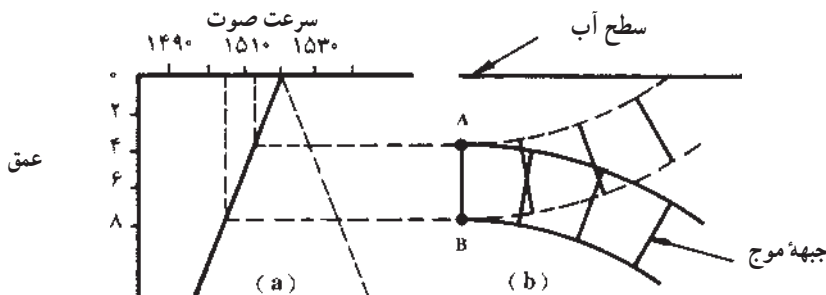
اختلافات مربوط به دما و درجه شوری آب در اعماق بیشتر تأثیر بیشتری بر روی سرعت امواج صوتی می گذارند؛ بنابراین، سرعت صوت همزمان با زیاد شدن عمق می تواند افزایش یا کاهش پیدا کند. بعضی مواقع سرعت صوت در لایه های بالایی آب کاهش پیدا می کند و دوباره در لایه های پایین تر افزایش پیدا می کند.

شکل (۲-۶) مثالی از سرعت در مقابل افزایش عمق را نشان می دهد.



شکل ۲-۶- سرعت صوت ممکن است با تغییر عمق افزایش یا کاهش یابد.

جبهه موج (Wave front) یک پرتو، به صورت 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 به صورت سطح عمودی ظاهر می شود (شکل ۳-۶).



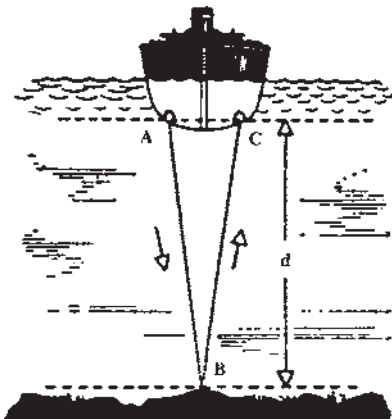
شکل ۳-۶- چنانچه سرعت صوت در نقطه A بیش از نقطه B باشد، پرتو به طرف پایین خم خواهد شد و اگر کمتر از نقطه B باشد، به طرف بالا انحنای پیدا خواهد کرد.

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 به طرف بالا انحناء پیدا می‌کند. هنگامی که پرتو به سطح آب رسید، معمولاً به طرف پایین منعکس خواهد شد. در عمق‌یابها چون به صورت عمودی و رو به پایین انتشار می‌یابد، انکساری (انحناء پرتو) رخ نخواهد داد. تعداد پالسهایی که در هر دقیقه به وسیله 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 به شنیدن 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، قابل قبول 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.

۲-۶- اصول 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 به طور متناوب (حدود ۱۰۰ بار در دقیقه) در آب زیر



شکل ۴-۶- اصول کار عمق‌یاب

کشتی تولید و به صورت عمودی به طرف کف دریا ارسال می‌شوند. بستر دریا این پالسها را منعکس کرده پس از مدت زمانی که متناسب با عمق دریا است، اکوی مربوط به این پالسها به وسیله کشتی دریافت می‌شوند. در این زمان پالسها دو برابر مسافت بین زیر کشتی و بستر دریا را طی کرده‌اند (شکل ۴-۶). چنانچه دریا زیاد کم عمق نباشد می‌توان خطای فیثاغورث (PYTHA - GORAS ERROR) را با توجه به این که d کمتر از AB است، نادیده فرض کرد (شکل ۴-۶).

سرعت انتشار صوت در آب دریا ثابت و برابر با 1500 متر در ثانیه است؛ بنابراین فاصله d را

می توان از فرمول $2d = Vt$ یا $d = \frac{Vt}{2}$ محاسبه کرد. در این فرمول V سرعت صوت در آب و t زمان

طی شده از لحظه ارسال صوت تا دریافت اکو است. به عنوان مثال، چنانچه زمان بین ارسال پالس و دریافت اکو 1 ثانیه باشد، معلوم می شود که پالسها مسافتی برابر با 1500 متر را طی کرده اند؛ از

این رو عمق آب برابر با 750 متر یا $\frac{1500}{2} = 750$ متر خواهد شد.

به جای نشان دادن زمان بر روی نشانگر، می توان عمق مربوط را برحسب متر، فادوم

(FATHOM) و یا فوت نشان داد.

در آبهای کم عمق و زمانی که فاصله بین C و A خیلی زیاد باشد، عمق نشان داده شده به وسیله

دستگاه بیشتر از مقدار حقیقی خواهد بود؛ بنابراین در چنین وضعیتهایی اعتماد به عمق خوانده شده از طریق عمق یاب خطرناک است.

عمق اندازه گیری شده به صورت اتوماتیک ثبت می شود و ضمن این که مقدار عمق در هر لحظه

قابل دسترسی است، اعماق مربوط به سفر طی شده به وسیله یک کشتی نیز قابل ثبت است.

برای مثال، چنانچه 100 عمق یابی در هر دقیقه انجام شود و سرعت کشتی 10 گره دریایی

باشد، فاصله بین دو عمق یابی متوالی برابر 3 متر یعنی $\frac{10 \times 1852}{60 \times 100}$ می شود. رقم به دست آمده نشان

می دهد که ناوبر می تواند در جریان تغییرات ناگهانی عمق که ناشی از وجود تپه ها یا دره های زیر آبی است، قرار بگیرد. در عمل نشان دادن کلیه تغییرات بر روی نقشه ها امکان پذیر نیست.

انعکاس، انکسار و جذب ارتعاشات صوتی در آب

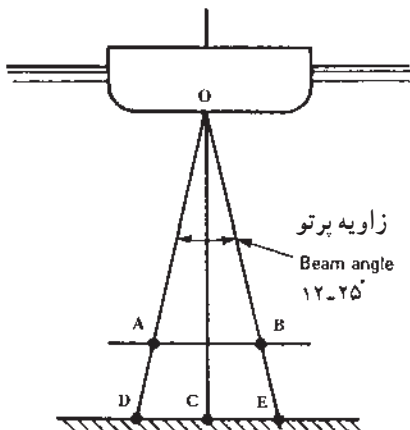
در شکل (۴-۶) مسیر امواج صوتی به طرف

بستر دریا به صورت یک خط نشان داده شده است. در

حقیقت ارسال این امواج در قالب پرتویی از امواج

شکل (۵-۶) با سطح مقطع دایره ای یا بیضی شکل

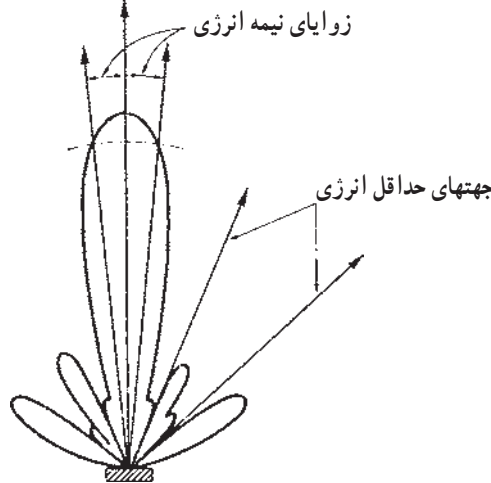
صورت می گیرد.



شکل ۵-۶- حداکثر انرژی در مسیر OC و OE و OD از حداکثر قدرت در مسیرهای OE و OD واقع می شود.

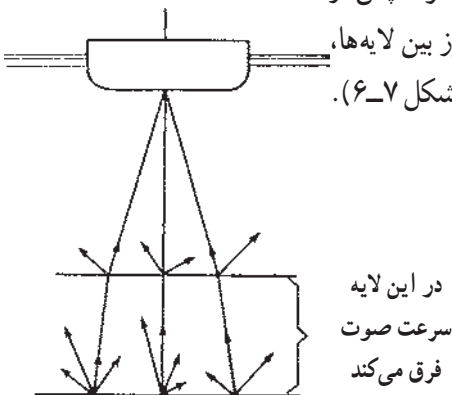
پرتو مدور دارای یک زاویه پرتو (زاویه OA و OB در شکل ۶-۵) است که مقدار آن بین ۱۲ تا ۲۵ درجه است. شدت نوسانات بین A و B ثابت نیست و این شدت در مسیر OC بیشترین مقدار خود را دارا است و با دور شدن از این مسیر، شدت آن بتدریج کاهش پیدا می‌کند. در محدوده زاویه پرتو، انرژی انتشار امواج برابر با نصف همین انرژی در مسیر OC است. همانند پرتو امواج رادیویی، پرتو امواج صوتی نیز در آب دارای لوبهای جانبی (side lobes) هستند (شکل ۶-۶). این گونه لوبها اثری در تعیین عمق آب ندارند.

زمانی که امواج لایه‌های مختلف آب را که دارای مشخصات متفاوت (اختلاف در دما، درجه جهت پرتو اصلی



شکل ۶-۶- 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 به وجود می‌آید (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷- 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 به جای انکسار یا شکست ناگهانی امواج، انحنای تدریجی در سمت انتشار امواج به وجود 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، در حقیقت ترکیبی از انعکاسهای هم جهت و مختلف‌الجهت در برخورد امواج با بستر دریا به وجود می‌آید و انعکاس در کلیه جهات است که موجب دریافت اکو در گیرنده عمقیاب می‌شود. چنانچه انعکاسهای یک بستر شیب‌دار کاملاً هم جهت باشد، اکویی در کشتی قابل دریافت نخواهد بود.

هرچه طول موج با توجه به میانگین ابعاد بی‌قاعدگیهای بستر دریا کوتاهتر باشد، انعکاسهای هم جهت نیز کمتر خواهد بود؛ بنابراین طول موج کوتاهتر یا به عبارت دیگر فرکانس بالاتر، انعکاسهای مطلوبی در جهات مختلف دریی 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 به وسیله کشتی خللی ایجاد نمی‌کند.

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

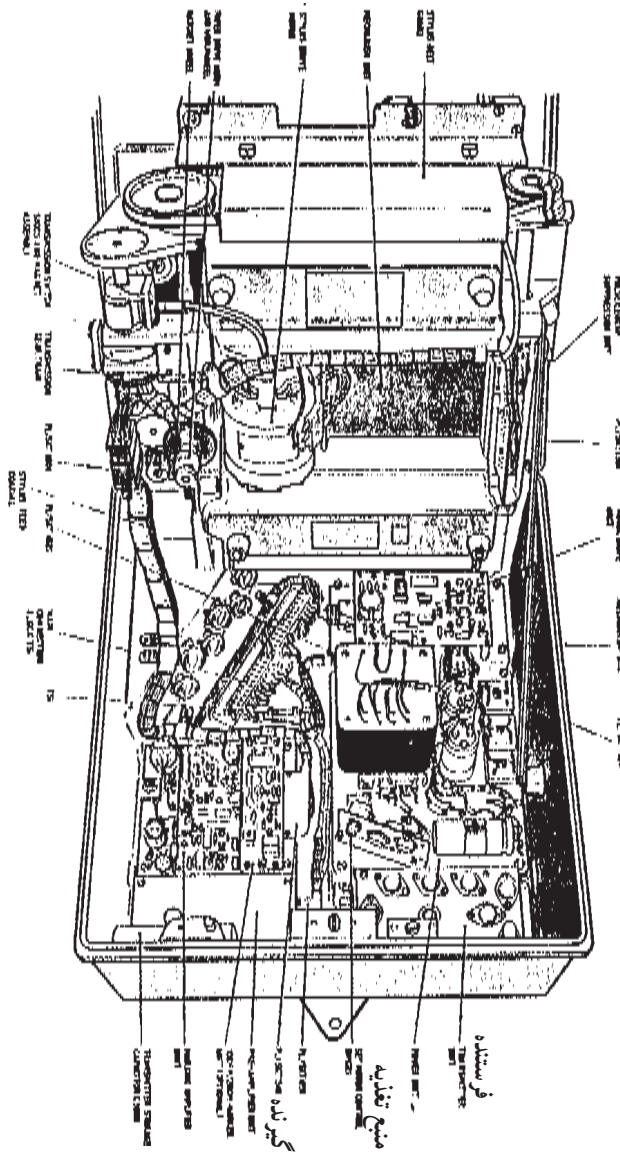
برای مثال، دو برابر شدن عمق، باعث چهار برابر شدن سطح تحت پوشش پرتو می‌شود و در نتیجه انرژی مربوط به هر واحد سطح چهار بار کوچکتر می‌شود؛ به همین علت، انرژی اکوی دریافت شده در واحد سطح نوسان‌ساز گیرنده نیز چهار بار تقلیل می‌یابد. از این موضوع نتیجه‌گیری می‌کنیم که شدت اکو با توجه به اعماق مختلف، دارای کمیت‌های مختلف خواهد بود. برای پرهیز از دریافت چنین اکوهایی با شدتهای متفاوت، در سیستم‌های عمقیاب تقویت امواج به صورت 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 ۵/ تا ۱ متر است.

۳-۶- قسمتهای تشکیل دهنده عمقیاب

قسمتهای تشکیل دهنده عمقیاب همان گونه که در شکل (۸-۶) نشان داده شده است، از ثبت کننده، ترانسیدوسر و منبع تغذیه تشکیل شده است.

۱-۳-۶- ثبت کننده - ثبت کننده خود شامل منبع تغذیه، فرستنده، گیرنده و سیستم گرداننده

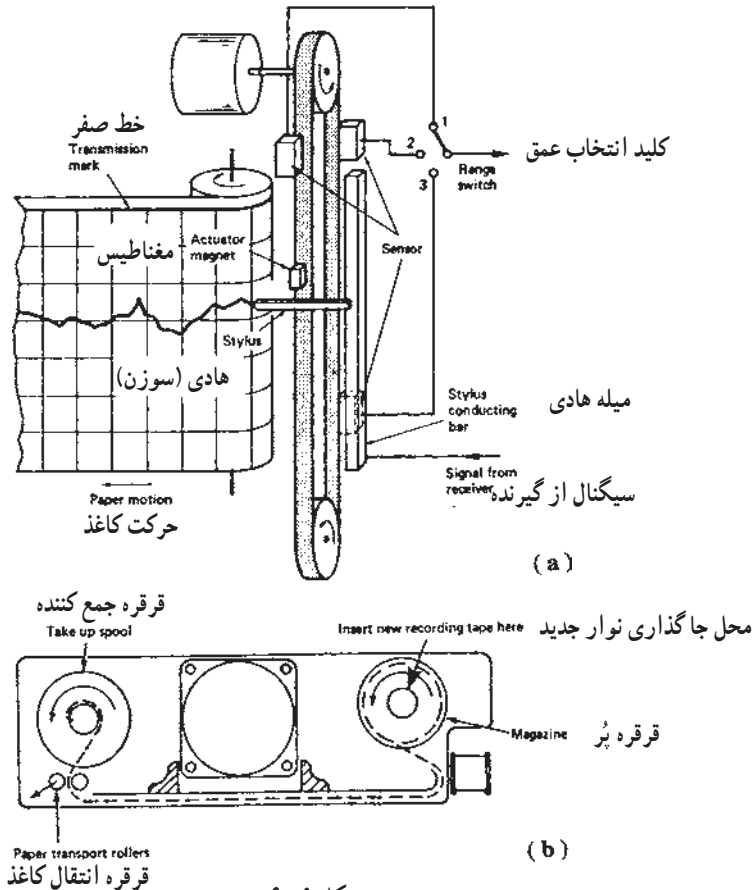


شکل ۸-۶

موتور است.

ثبت کننده از نوارهای کاغذی عریض که حرکت آرامی بر روی یک سطح فلزی دارند؛ استفاده می کند. حرکت این نوار کاغذی از یک قرقره به قرقره دیگر صورت می گیرد. هر قرقره پُر می تواند ۳۰ الی ۱۰۰ ساعت نیاز عمق یابی را برطرف کند. انتهای هر رول کاغذ به وسیله یک خط عریض رنگی علامتگذاری شده است.

همان گونه که در شکل (۹-۶) نشان داده شده است، حرکت این نوار کاغذی از سمت راست به چپ صورت می گیرد. یک تسمه که بر روی آن سوزن ثبت کننده نصب شده، به وسیله یک موتور الکتریکی در روی دو پولی با سرعت ثابتی می گردد. سوزن ثبت کننده بر روی صفحه حرکت می کند. نوار کاغذی با لایه فلزی بسیار نازک نظیر آلومینیوم پوشیده شده و این لایه خود به وسیله لایه دیگری از غیر هادیها روکش شده است. زمانی که به وسیله گیرنده یک ولتاژ الکتریکی به سوزن ثبت کننده فرستاده می شود، لایه بالایی آلومینیوم می سوزد و سطح فلزی لایه به صورت لکه قهوه ای رنگ نمودار



شکل ۹-۶

می‌شود. پودر حاصل از این عمل را باید هر چند مدت یکبار از داخل عمق یاب جمع‌آوری کرد.

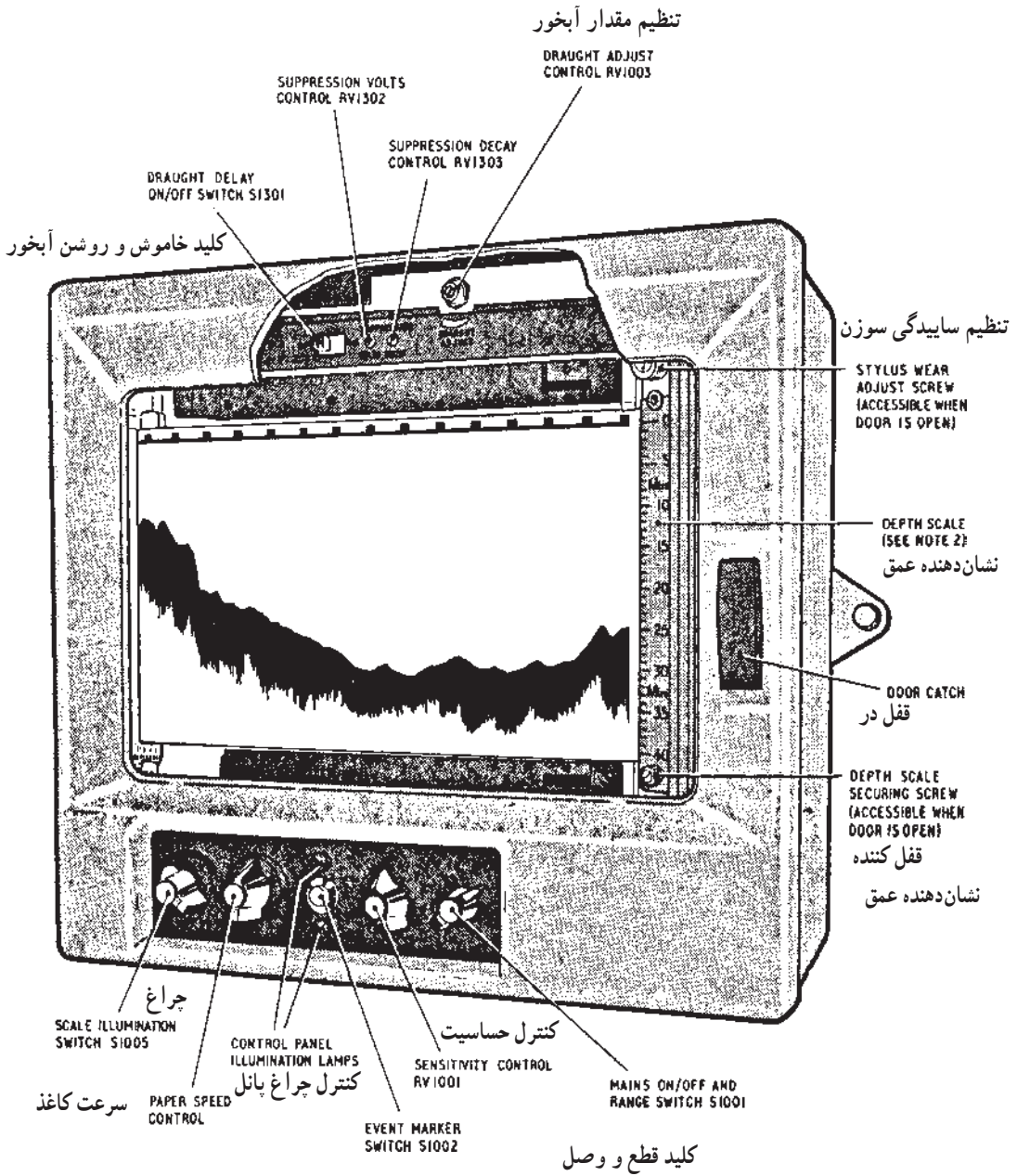
۲-۳-۶- فرستنده — زمانی که قطعه مغناطیس نصب شده بر روی تسمه از سنسور در ارتباط با وضعیت شماره ۱ کلید انتخاب عبور می‌کند، مدار بسته می‌شود. با بسته شدن مدار، مولد تولید یک پالس می‌کند و فرستنده این پالس را ارسال می‌کند. در این وضعیت، سوزن ثبت‌کننده بر روی خط صفر نوار کاغذی قرار خواهد داشت.

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 به وسیله این لکه‌ها، شروع ارسال پالس در آب دریا را نشان می‌دهند. به این خط، خط صفر (ZERO LINE) می‌گویند.

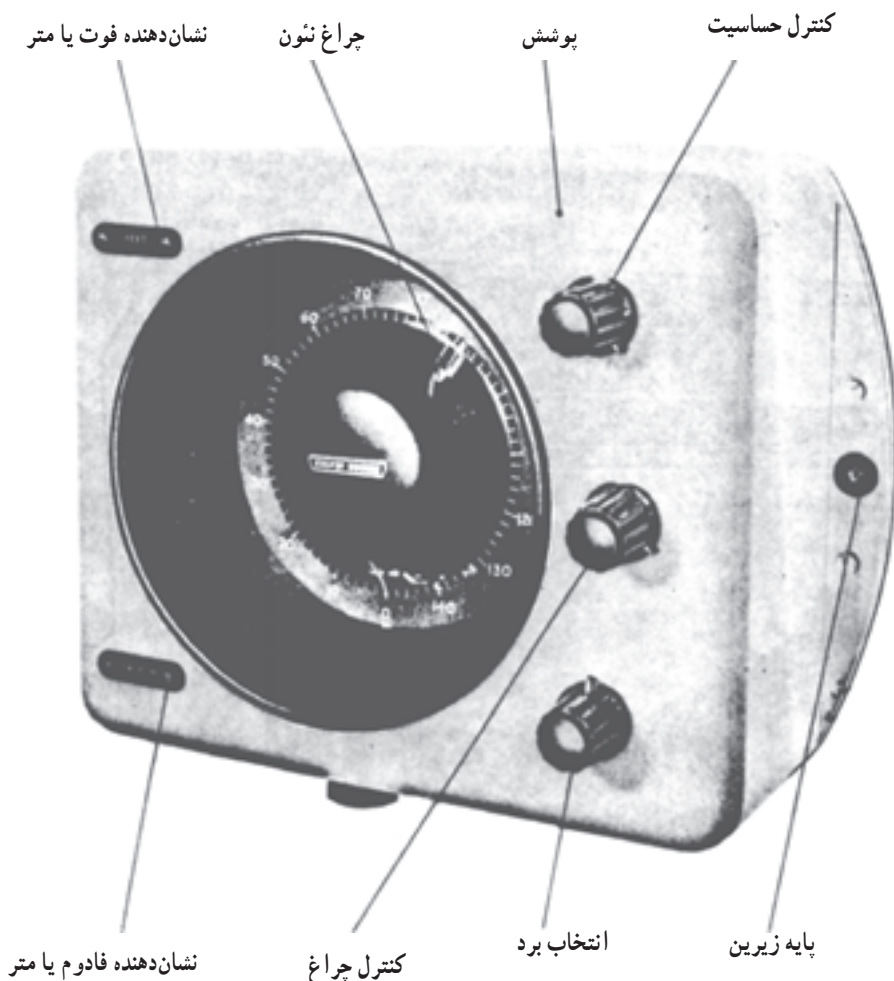
۳-۳-۶- گیرنده — اکوی برگشتی به ترانسدیوسر گیرنده (چنانچه دو ترانسدیوسر جداگانه باشد) تبدیل به پالس الکتریکی شده پس از تقویت به سوزن ثبات که حالا مقداری از خط صفر فاصله گرفته، وارد می‌شود. هرچه عمق بیشتر باشد، فاصله بین لکه جدید و خط صفر بیشتر خواهد شد، لکه جدید عمق را نشان می‌دهد و مقدار آن را می‌توان از درجه بندی نوشته شده بر روی نشانگر پلاستیکی یا درجه بندی چاپ شده بر روی خود نوار کاغذی خواند. همزمان با حرکت آهسته نوار کاغذی به طرف 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 ۱-۶).

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 ثبت‌کننده‌ای که درجه بندی آن برحسب فادوم است، باید ۶ برابر شود. مقدار عمق را می‌توان از همان درجه بندی برحسب فوت به دست آورد، زیرا هر فادوم برابر با شش فوت است.

۴-۳-۶- نشان‌دهنده چراغی — در بعضی از عمق‌یاب‌ها از نشاندهنده‌های چراغی به‌عنوان یک تکرارکننده اضافی که امکان رؤیت عمق را برای اپراتور مهیا می‌سازد، استفاده می‌کنند (شکل ۱-۶).



شکل ۱۰-۶- ثبت کننده عمق یاب



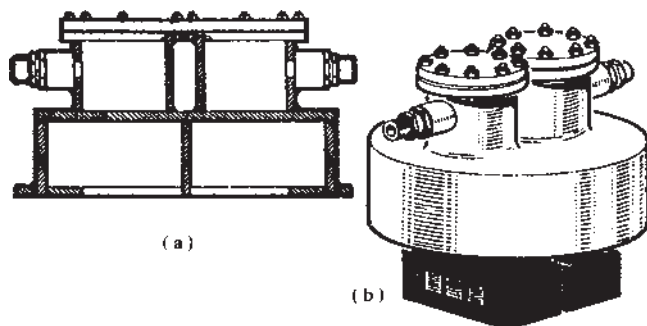
شکل ۱۱-۶- نشان دهنده چراغی

در این نشان دهنده‌ها، مقدار عمق به وسیله یک چراغ نئون که در یک صفحه مدور درجه بندی شده می‌چرخد، نشان داده می‌شود.

با مقایسه لامپهای معمولی، لامپ نئون در هنگام قطع و وصل شدن کلید خاموش و روشن می‌شود. هنگامی که لامپ مزبور از وضعیت صفر درجه بندی مدور 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.

۵-۳-۶- ترانسدیوسر (TRANSDUCER) — ترانسدیوسر فرستنده پس از دریافت نوسان

الکتریکی شروع به ارتعاش کرده امواج صوتی را ارسال می کند. نوسان ساز گیرنده که پس از دریافت اکو شروع به ارتعاش می کند، آنها را به نوسان الکتریکی تبدیل می کند و به گیرنده می فرستد. سطح ارتعاش شونده ترانسدیوسر، در تماس با آب است و ابعاد آن در حدود 20×10 سانتیمتر است (شکل ۱۲-۶).



a — مقطع عمودی

b — نمای خارجی همراه با دو ترانسدیوسر در قسمت تحتانی

شکل ۱۲-۶ — محفظه ترانسدیوسرهای فرستنده و گیرنده

ترانسدیوسرهای استفاده شده در عمق یابها 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 می شوند که از این خاصیت (تغییرپذیری الکتریکی) می توان در ترانسدیوسرها برای ایجاد ارتعاشات لازم استفاده کرد. همین خصوصیت در یک میله فلزی زمانی که وارد میدان مغناطیسی می شود، به وقوع خواهد پیوست از این خاصیت (تغییرپذیری مغناطیسی) نیز می توان برای ایجاد ارتعاشات لازم در ترانسدیوسرها استفاده کرد.

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

۴-۶ — نحوه کنترل کارکرد و نحوه استفاده از عمق یاب

عمق واقعی برابر مجموع عمق نشان داده شده به وسیله عمق یاب 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 عمق‌یابی دستی مورد کنترل قرار گیرد. عمق‌یاب دستی از قطعه‌ای سرب که به انتهای یک طناب مدرج 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 عمق‌یاب 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 از تنظیم سرعت موتور، بهتر است چند بار دیگر از نظر اطمینان با عمق‌یاب دستی مقدار عمق حقیقی آب به دست آید.

در اکثر عمق‌یابها تعداد گردش محور ثبات در هر دقیقه به وسیله 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.

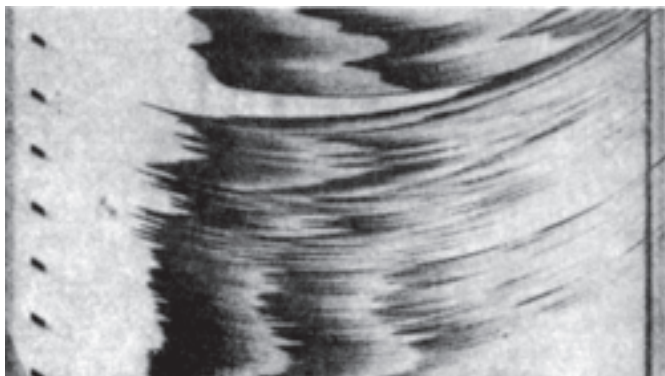
روش دیگری که برای کنترل دستگاه عمق‌یاب به کار می‌رود، استفاده از یک میله توخالی است. برای این منظور یک میله توخالی با مقطع چهار ضلعی را که درون آن از هوا پر شده باشد، در حالت افقی به وسیله مقداری طناب تا عمق معینی در زیر کشتی به آب می‌دهند. هوای درون میله موجب انعکاس پالسهای عمق‌یاب شده باعث می‌شود که 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 عمق‌یاب — اگر پالس درست در لحظه‌ای که محور ثبات از خط صفر می‌گذرد ارسال می‌شود، فاصله بین ترانسدیوسر تا بستر دریا را می‌توان به طور 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 به دست آمده از دستگاه اضافه کرد. در کشتیهای مخصوص حمل بار، این فاصله قابل تغییر خواهد بود.

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

- به صورت دائم یا لحظه به لحظه و کلید کنترل مقدار روشنایی صفحه ثبت کننده هستند.
- هرچه دستگاه پیشرفته تر 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:
- ۱- کلید انتخاب برد؛
 - ۲- چنانچه درجه بندی متریک وجود نداشته باشد، کلیدی برای تغییر از فوت به فادوم و به عکس؛
 - ۳- تکمه 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.
 - ۴- کلید کنترل برای تغییر سرعت انتقال کاغذ؛
 - ۵- کلید کنترل برای تنظیم خط صفر یا تأثیر دادن مقدار آب‌خور؛
 - ۶- کلید کنترل برای کشیدن کاغذ؛ بدون تماس کامل بین کاغذ و صفحه فلزی زیرین، جریان الکتریسیته برقرار نخواهد شد.
 - ۷- کلید برای تغییر از ترانسدیوسر سینه به پاشنه یا راست به چپ؛
 - ۸- کلید کنترل برای تنظیم عمق حداقل بر روی دستگاه (در این عمق هشدارهای لازم به وسیله دستگاه داده خواهد شد)؛
 - ۹- کلید برای تغییر طول پالس و تعداد پالسها در هر دقیقه؛
 - ۱۰- کلید تغییر وضعیت منحنی عمق از نرمال به واضحتر؛
 - ۱۱- کلید کنترل برای تغییر سرعت موتور الکتریکی.
- دومین و سومین اکو— 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 ۱۳-۶).



شکل ۱۳-۶- 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 عمق یاب بر روی برد صفحه تا 30° متر تنظیم شده باشد، یک اکو ممکن است در عمق ۱۸ متری ثبت شود. در همین شرایط، چنانچه در ابتدا عمق یاب بر روی برد دوم (۲۵ تا ۵۵ متر) تنظیم شده باشد، این خطر وجود دارد که اکوی بعدی در ۳۶ متری ($36 = 18 \times 2$) و به طریقی مشابه امکان داشت در برد سوم (50° تا 80° متر) سومین اکو، در عمق ۵۴ متر ($54 = 18 \times 3$) ثبت شود.

برای جلوگیری از ثبت این گونه عمقهای کاذب و خطرناک، لازم است همیشه عمق خوانی را از کوچکترین برد شروع کرده و در صورت عدم دریافت اکو، به ترتیب کلید مربوط را به بردهای بزرگتر بگردانیم.

۵-۶- ماهی یاب

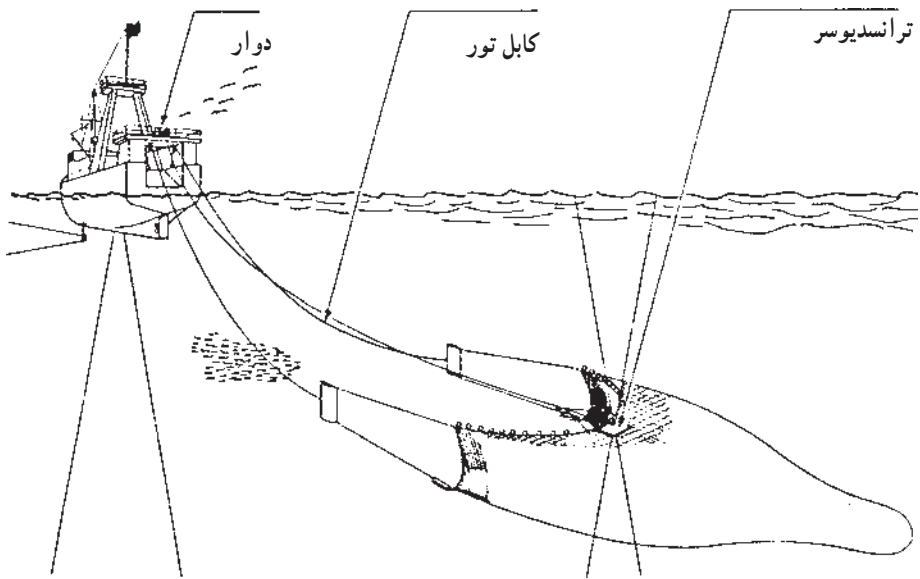
ماهی یاب دستگاهی است که برای تعیین محل اجتماع ماهیها استفاده می‌شود. اصول کار ماهی یاب شبیه عمق یاب است و تنها تفاوت میان آنها در محل نصب ترانسدیوسرها و همچنین زاویه تابش امواج صوتی است.

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

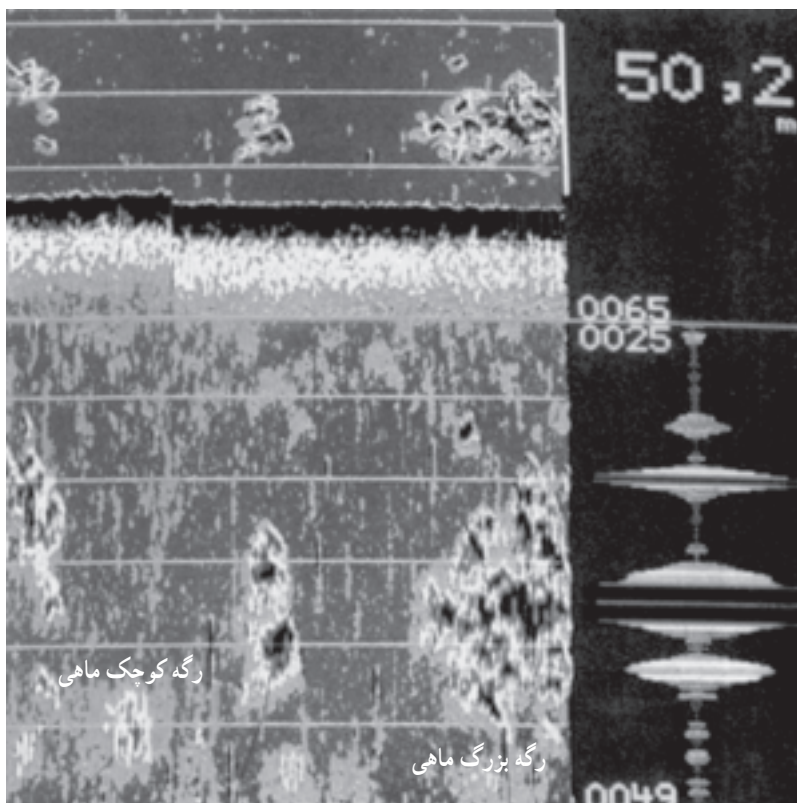
در ماهی یاب، ترانسدیوسر نصب شده در زیر کشتی به گونه‌ای است که قادر است اجتماع ماهیها را در زیر و در زوایای اطراف کشتی نشان دهد. لازم به ذکر است که نوعی ماهی یاب وجود دارد که ترانسدیوسرهای آن بر روی دهنه تور که به داخل آب فرستاده می‌شود، نصب شده است.

این ترانسدیوسرها قادر هستند هم اجتماع ماهیها را در زیر و داخل دهنه 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 ماهی یاب مجهز به سوئیچی است که می‌توان ترانسدیوسر زیری یا بالایی را انتخاب کرد (شکل ۱۴-۶).

شکل رنگی (۱۵-۶) که به وسیله دستگاه ماهی یاب اطلس تهیه شده است، امکان شناسایی نوع ماهی را با توجه به اکوهای دریافتی در اختیار اپراتور می‌گذارد.



شکل ۱۴-۶



شکل ۱۵-۶

- ۱- پژواک را تعریف کنید.
- ۲- سرعت صوت در آب به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۳- افزایش عمق آب چه اثری بر سرعت صوت در آب دارد؟
- ۴- اصول کار عمق‌یاب را توضیح دهید.
- ۵- انکسار را تعریف کنید.
- ۶- اجزای یک ثبت‌کننده عمق را نام ببرید.
- ۷- عمل ترانسدیوسر را شرح دهید.
- ۸- انواع ترانسدیوسرها را نام ببرید.
- ۹- علت ایجاد چندین اکو بر روی ثبات را شرح دهید.
- ۱۰- تفاوت میان ماهی‌یاب و عمق‌یاب را تشریح کنید.

جهت یاب رادیویی

هدفهای رفتاری: از فراگیر انتظار می رود در پایان این فصل:

- ۱- انواع جهت یاب رادیویی را نام ببرد.
- ۲- اساس کار جهت یاب رادیویی را توضیح دهد.
- ۳- کاربرد جهت یاب رادیویی را تشریح کند.
- ۴- قسمت‌های مختلف جهت یاب را روی دستگاه نشان دهد.

جهت یاب رادیویی MF - DF

قبل از اختراع وسایل رادیویی، کشتیها از موقعیت تخمینی آینده که با توجه به آخرین موقعیت معلوم کشتی محاسبه می شود، به دریانوردی می پرداختند. 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 می توانستند آنها را در ناوبری یاری کنند.

وقتی که وضعیت دید با شکل گیری بیشتر مه کاهش پیدا می کرد، 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 می شد امکانپذیر نبود، کشتیها مجبور به توقف و انداختن لنگر می شدند و تنها نشانه از حضور کشتی دیگر در مه، علائم صوتی آن کشتی بود که از دور به گوش می رسید. 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.

۷-۱- انواع جهت‌یاب رادیویی

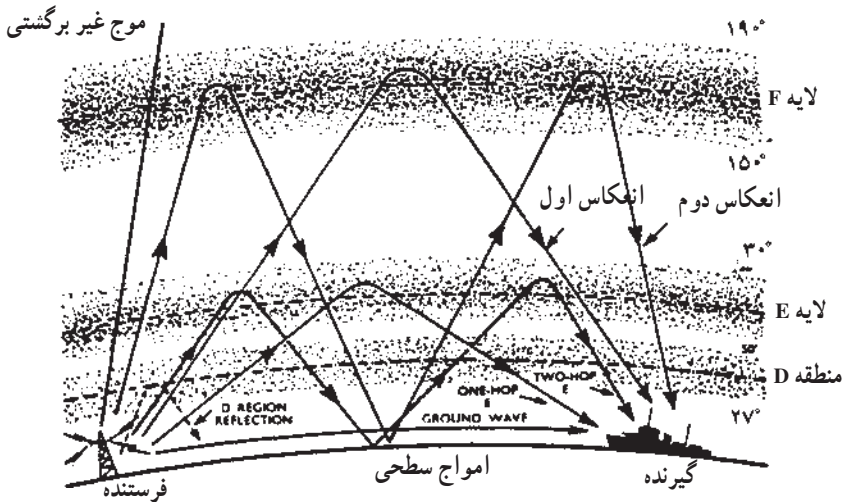
وسایل رادیویی را می‌توان با توجه به نوع به‌کارگیری، نظیر استفاده در دریانوردیهای اقیانوسی، ساحلی یا ناویری در کانال، به‌گونه‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد.

درجه دقت هر یک از وسایل، با توجه به نحوه به‌کارگیری آنها متفاوت است. در جدول ۷-۱ انواع سیستمهایی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند، درج شده است.

جدول ۷-۱

سیستمهای موجود	زمان اضطرار	دقت مورد نیاز	فاصله از نزدیکترین محل خطر (میل دریایی)	نحوه به‌کارگیری
۱- MF - DF ساحلی ۲- لورن ۳- کنسول ۴- دکا	۱۵ دقیقه	۱. درصد فاصله از نزدیکترین محل خطر	بیش از ۵۰	دریانوردی اقیانوسی
۱- MF - DF ۲- لورن ۳- کنسول ۴- دکا ۵- رادار	۵ تا $\frac{1}{3}$ دقیقه	$\frac{1}{3}$. میل تا ۲۰۰ یارد	بین ۲۰ تا ۵۰	دریانوردی ساحلی
۱- دکا ۲- رادار	بفوریت	۵۰ . یارد		دریانوردی در کانال

تحقیقات انجام شده نشانگر آن است که کمربندی از گازه‌های 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 ۷-۱) و بین هر یک از نواحی لایه‌ای از بیشترین غلظت یونیزاسیون وجود دارد.



شکل ۷-۱- امواج سطحی

نواحی و لایه‌هایی از یونسفر که بیشترین تأثیر را بر برد امواج رادیویی می‌گذارند، به ترتیب 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 به قدری 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 F داشته باشد که در آن صورت به آنها موج دو برگشتی، سه برگشتی 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 وسیله یک گیرنده رادیویی تجربه می‌شود، متفاوت خواهد بود.

در طول روز امواج هوایی ضعیف می‌شوند و ضمن انعکاس به وسیله ناحیه D یونسفر، در مراجعت به زمین در برد امواج سطحی قابل دریافت هستند. این ضعیف شدن امواج به قدری 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 ۲-۷ نتیجه دریافت این گونه امواج از نظر میزان دقت و گستره انتشار خلاصه شده است.

همان گونه که در جدول ۲-۷ 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.

۲-۷- اساس کار جهت‌یاب رادیویی

اصول کار جهت‌یاب رادیویی، بر اساس خصوصیات جهت‌سنجی یک آنتن عمودی حلقه‌ای ساده پایه‌ریزی شده است. شدت سیگنال القا شده در یک چنین حلقه‌ای که به وسیله ورود جریان امواج الکترومغناطیسی ارسالی از یک فرستنده به وجود 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 ۲-۷

ملاحظات	برد در روی دریا (میل دریایی)		فرکانس (کیلو سیکل)	روش	سیستم
	شب	روز			
	۲۵	۳۰۰	۲۵۰-۶۰۰	نوع حلقه‌ای DF	MF-DF در کشتی
در شب بین فواصل ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی تا ۴ درجه خطا مشاهده شده است.	۵۰۰ و به بالا	۵۰۰	۳۰۰-۶۰۰	نوع میله‌ای DF ADCOCK	MF-DF ساحلی
	۲۵	۲۰۰	۲۵۰-۶۰۰	نوع حلقه‌ای DF	MF-DF ساحلی
از این سیستم نمی‌توان در حد فواصل ۲۵ میلی ایستگاه استفاده کرد.	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰-۵۰۰	با مقایسه دامنه موج ممتد تعدیل شده	کنسول
	۱۲۰۰	۶۰۰	۱۷۵۰-۱۹۵۰	با مقایسه اختلاف زمان پالس	لورن
	۰-۷۵	۳۰۰ ۱۰۰-۳۰۰ (دقت پایینتر)	۸۰-۱۵۰	با مقایسه فاز موج ممتد	دکا

نشانگر یا لامپ کاتدی به دست آورد. به جای چرخاندن آنتن می‌توان از سیستمی استفاده کرد که در آن به جای یک آنتن حلقه‌ای از دو آنتن حلقه‌ای عمود بر هم ثابت استفاده شده باشد. در این سیستم جهت امواج ورودی به وسیله 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 به وسیله بدنه و بیکربندی فوق عرشه کشتی قرار گیرد. مسیر امواج رادیویی معمولاً در راستای دواير 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. خط‌های بزرگتر موقعی 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 به وسیله گیرنده کشتیها گذر مستمری بر روی دریا خواهند داشت.

۳-۷- کاربرد جهت‌یاب رادیویی

کشتی از ایستگاه ساحلی تقاضای سمت می‌کند و به دنبال 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 - 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 به صورت 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 به وسیله 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 دریایی از یک فرستنده نشانگر سمت فرستنده یا سمت قرینه آن است. به منظور رفع این ابهام، معمولاً در 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 به دست 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. مخایره این رادیو بیکن‌ها که در فواصل از پیش تعیین شده در هوای مساعد و بیشتر در هوای مه‌آلود انجام می‌شود، به‌صورت ترکیبی از حروف شناسایی است. رادیو بیکن‌ها 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 مصرف کنندگان 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.

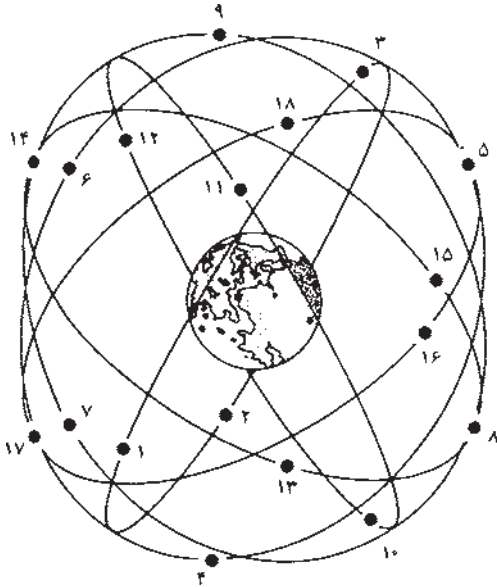
ماهواره‌های مزبور با سرعت $3/9$ کیلومتر در ثانیه و در ارتفاع 20200 کیلومتری زمین در مدار خود حرکت خواهند کرد. ارتفاع ماهواره‌های سیستم موجود فعلی که ترازیت نام دارد، 1100 کیلومتر است.

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 به‌وسیله 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 $1/8$ 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.

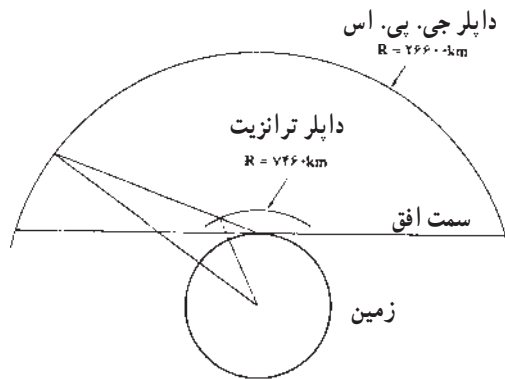
شکل ۲-۷ هر مدار را که دربرگیرنده سه ماهواره است نشان می‌دهد. ماهواره‌ها در هر مدار با زاویه 120° درجه ($360^\circ / 3$) نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند. زاویه بین هر یک از شش صفحه مداری که با صفحه استوا (زاویه میل INCLINATION) 55° درجه و زاویه بین هر یک از دو صفحه مداری متوالی 6° درجه ($360^\circ / 6$) است.



شکل ۲-۷

در وضعیت نشان داده شده در شکل (۲-۷) کره زمین در هر روز بخوبی یک دور کامل حول محور شمال-جنوب 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 90° درجه گردش می‌کند.

در شکل (۳-۷) شعاع سیستم GPS و سیستم ترازیت با منظور کردن شعاع کره زمین نشان داده شده است.



شکل ۳-۷

وضعیت قرار گرفتن ماهواره‌های GPS استفاده‌کنندگان 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

مطالعه آزاد

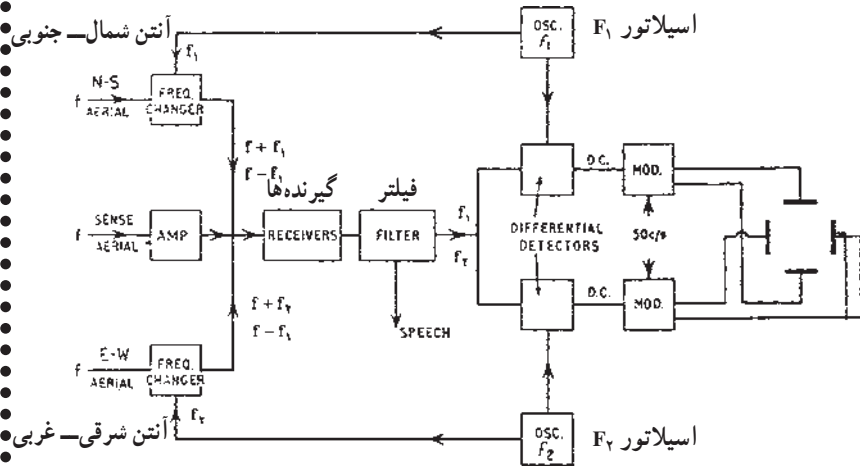
۴-۷- قسمت‌های مختلف جهت‌یاب

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. به طور غیر قابل پیش‌بینی تحت تأثیر لایه یونسفر قرار می‌گیرند.

آنتن چرخان گائیو (شامل ۲ حلقه مشابه عمود بر هم است که به منظور جهت‌یابی اتوماتیک باند H.F. استفاده شده است)، هنگامی می‌تواند این عمل را کاملاً به صورت 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 به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند، مورد مطالعه قرار گیرند. به منظور آشنایی کلی با نحوه کار سیستم DF دیاگرام بلوکی یک سیستم و کارکرد آن به طور اختصار تشریح می‌شود.

در سیستمهای پیشرفته ابتدایی که از C.R.T. (Cathode Ray Tube) به عنوان نشان‌دهنده سمت استفاده می‌شد، سیگنالهای دریافتی به وسیله آنتن از دو آمپلی فایر که یکی برای شمال- جنوب و دیگری جهت مشرق- مغرب در نظر گرفته شده عبور می‌کند. لازمه نمایش صحیح سمت این خواهد بود که بهره (Gain) هر دو آمپلی فایر برابر باشد و به همین 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 آنها مطرح خواهد شد. این سیگنالها از یک آمپلی فایر 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 (۴-۷) یک دیاگرام سیستم جهت‌یاب نشان داده شده است.

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



شکل ۴-۷- دیاگرام بلوکی یک جهت یاب VHF

(Gain) ثابت و تغییرات فازی در محدوده 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 به اسیلاتورهای محلی آشکار خواهد شد، به گونه‌ای 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 صفحه 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.

- ۱- انواع جهت یاب رادیویی را نام برده، موارد استفاده هر یک را توضیح دهید.
- ۲- لایه های یونسفر را نام برده، فواصل هر یک را از کره زمین بیان کنید.
- ۳- اثرات لایه های یونسفر را بر روی امواج رادیویی توضیح دهید.
- ۴- اساس کار جهت یاب رادیویی را تشریح کنید.
- ۵- نحوه به کارگیری جهت یاب رادیویی را توضیح دهید.
- ۶- مزایای سیستم G.P.S را توضیح دهید.

واژه‌نامه انگلیسی

A

- 1 - ACRONYM اولین حروف کلمات – 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 صفحه‌نشانگر سمت

- 32 - Free Gyro جاپرووی آزاد
- 33 - Frequency - Modulated CW Radar رادارهای موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس (FMCW)

G

- 34 - Gain بهره
- 35 - Grass چمن - بازتابهای ناخواسته بر روی 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 نوسان ساز 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 میل
- 44 - Indicator نشان دهنده
- 45 - Interrogator سؤال کننده
- 46 - Ionosphere لایه یونسفر

L

- 47 - Line of Sight خط دید
- 48 - Lobe لوب - گلبرگ
- 49 - Local Oscillator نوسان ساز محلی

50 - Long Pulse (عرض) پالس بلند

M

51 - Magneto strictive تغییر پذیری مغناطیسی

52 - Magnetron مگنترون-نوسان ساز فرکانس زیاد

53 - Microwave امواج فرکانس زیاد

54 - Mixer مخلوط کننده

55 - Modulator مدولاتور

56 - Momentum اینرسی حرکتی

57 - Motor - Driven Rotation Unit سیستم چرخاننده الکتریکی آنتن

58 - Moving Target Indicator (MTI) نشان دهنده 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-توان قلّه

65 - Phased Array Radar System سیستم راداری آرایه فازی

66 - Plan Position Indicator (PPI) نشان دهنده موقعیت نقشه‌ای

67 - Platform سکو

68 - Pmin توان حداقل-توان می نیمم

69 - Power Switch سوئیچ برق

70 - Precession	تغییر جهت محوری
71 - Probe	پروب-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-کنسول رادار
84 - Radar Dome	محفظه گنبدی شکل رادار
85 - Radar Receiver (RX)	گیرنده رادار
86 - Radar Transmitter (TX)	فرستنده رادار
87 - Radiator	تشنع‌کننده
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	منعکس‌کننده

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-آنتن رادار
104 - Sensitive Element	المان حساس
105 - Side Lobe	لوبهای جانبی-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-زمان سنج رادار
114 - Transceiver	فرستنده/گیرنده
115 - Transducer	ترانسدیوسر
116 - Transmit	فرستادن-ارسال کردن
117 - Transmitter	فرستنده
118 - T - R Switch	سوئیچ الکترونیکی فرستنده/گیرنده

- 119 - Transponder پاسخ دهنده
120 - Trigger تریگر- تحریک کننده- 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- حرکت عمودی
آنتن- جستجوی عمودی
127 - Video Gain تقویت تصویری

W

- 128 - Wave Front جبهه موج
129 - Waveguide ویوگاید- موج بر

Z

- 130 - Zero Line خط صفر

فهرست منابع و مآخذ

- ۱- اصول تئوری راديو، رادار و آنتن؛ نشریه آموزشی شماره ۱-۳-۱۵۷۵؛ فرماندهی آموزشهای هوایی نیروی هوایی ارتش جمهوری اسلامی ایران؛ تهران؛ ۱۳۶۵.
- ۲- تکنیسین رادار و جنگهای الکترونیکی؛ نشریه آموزشی؛ فرماندهی آموزش تخصصهای دریایی نیروی دریایی ارتش جمهوری اسلامی ایران؛ انزلی؛ ۱۳۶۳.
- ۳- سلطانی، جواد؛ ناوبری الکترونیک و رادار؛ ژ.جی، سونن برگ؛ مؤسسه آموزشی علوم و فنون دریایی و صیادی کیش؛ تهران؛ بهار ۱۳۷۰.
- ۴- دکتر حجت کاشانی، فرخ، دکتر صفی‌الدین صفوی نائینی؛ سیستمهای مخابرات الکترونیکی؛ (جلد دوم)، جرج کندی؛ انتشارات فنی حسینان؛ تهران؛ چاپ دوم ۱۳۶۹.
- ۵- Encyclopedia Britannica (Vol.18), William Benton Publisher, U.S.A. 1973.
- ۶- The New Illustrated Science and Invention Encyclopedia (Vol.16), H.S. Stuttman Inc. Publishers, Westport, Connecticut 06889.
- ۷- IC Electrician 3 & 2, Published by Naval Education And Training Support Command, U.S.A. / 1973.
- ۸- G.J. Sonnenberg, Radar And Electronic Navigation, Sixth Edition, Butterworths, 1988.

