ورود امواج الکترومغناطیسی و الکترونیک در نقشه‌برداری

دکتر حسن شمسی
(مقاله اول)

در جریان جنگ جهانی دوم از **رادار**[1] برای آشکارسازی اشیاء یا هدفها و تعیین فاصله[2] و جهت (یا آزیموت) آنها استفاده شد.

رادار وظیفه خود را با فرستادن امواج خیلی‌خیلی کوتاه (بنام مایکروویو) به‌طرف یک هدف دور و برگشت دوبارهٔ آنها از هدف به فرستنده، انجام می‌دهد. زمان کامل رفت و برگشت این امواج که روی اندیکاتور نشان داده می‌شود فاصلهٔ بین فرستنده و هدف را تعیین می‌کند.

بعد از جنگ جهانی دوم بخصوص در چند دههٔ اخیر طراحان و سازندگان دستگاهها و ادوات نقشه‌برداری و ژئودزی از قبیل کمپانی‌های **ویلد، کرن، زایس، آگا، سوکیشا**، و **K.I.ا مریکایی**، متوجه استفاده و کاربرد امواج الکترومغناطیسی در نقشه‌برداری و ژئودزی شدند و بعد به ساختن فاصله‌یابهای الکترونیکی والکترو اپتیکی و تلوروسترها پرداختند. نگارنده در نظر دارد سلسله مقالاتی در این موارد برای اطلاع خوانندگان محترم بنگارد. در نخستین مقاله به معرفی امواج الکترومغناطیسی و رادیویی می‌پردازد.

1) Radar : Radio Detection and Renging آشکارسازی رادیویی و تعیین فاصله)

2) Range

● موج چیست؟

ساده‌ترین شکل یک موج را در نگارهٔ (۱) می‌بینیم. در این نگاره منحنی نمایش تغییرات یک ولتاژ الکتریکی به‌صورت یک موج سینوسی بر حسب زمان نشان داده شده است که معادلهٔ ریاضی آن چنین میباشد.

$$v = Vm \sin \omega t \qquad (۱)$$

v نشانهٔ مقدار آنی موج است که لحظه به لحظه تغییر می کند

V m نشانهٔ مقدار ماکزیمم موج یا **دامنهٔ** آن است

ωt را **فاز** موج می‌گویند

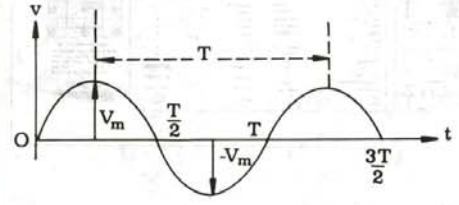
ω را **سرعت‌فاز** یا فرکانس زاویه‌ای موج می‌نامند.

T زمان یکبار تغییرات موج (مثلا از یک ماکزیمم تا ماکزیمم بعدی) می‌باشد و آنرا **پریود** موج می‌گویند.

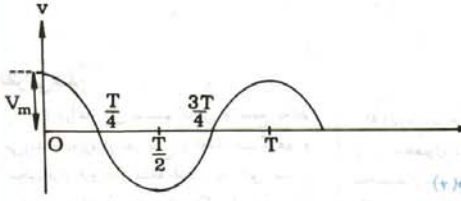
در نگارهٔ (۱) صفر موج از مبداء o عبور می کند و بنابراین معادلهٔ موج به‌صورت سینوسی نوشته می‌شود (معادلهٔ ۱) ولی اگر ماکزیمم موج در مبداء o باشد موج به‌صورت کسینوسی نوشته می‌شود. (نگارهٔ ۲)

$$v = Vm \cos \omega t \qquad (۲)$$

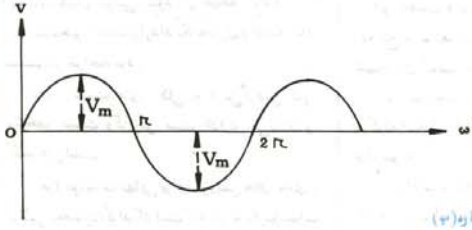
ممکن است به‌جای مقادیر زمان t مستقیماً مقدار ωt را بر حسب رادیان روی محور افقی برد (نگارهٔ ۳). در این صورت چون فاصله $\pi 2$ رادیان در زمان T طی می‌شود



نگاره (۱)



نگاره (۲)



نگاره (۳)

پس سرعت یا فرکانس زاویه‌ای ω چنین است: $\omega = \frac{2\pi}{T}$ و $T = \frac{2\pi}{\omega}$

تعداد پریودهای T، یا تعداد سیکلهای موج، در هر ثانیه را **فرکانس** موج می‌گویند و آنرا با f نشان می‌دهند. (۳) $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ و $\omega = 2\pi f$

حال به نگارهٔ (٤) توجه کنید. موج از مبداء O زمان عبور نمیکند. معادلهٔ منحنی موج در این نگاره چنین است

(٤) $v = Vm \sin(\omega t + \theta)$

یا

(٥) $v = Vm \cos(\omega t + \varphi)$

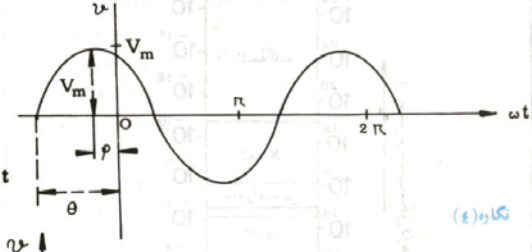
در نوشتن معادلهٔ یک موج (بصورت ولتاژ v یا جریان i) میتوان شکل سینوسی یا شکل کسینوسی آنرا انتخاب کرد. در این معادله v (یا i) و t متغیر میباشند. هر دو شکل را معمولا با موج سینوسی نام می‌برند.

در نگارهٔ (۱) نقطهٔ O مبداء زمان است و موج در این نقطه صفر میباشد یعنی فاز اولیه ندارد.

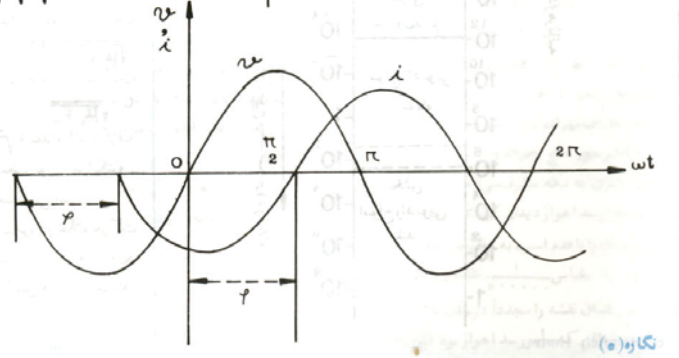
در نگارهٔ (٤) و معادله سینوسی (٤) زاویه θ نشانهٔ فاز اولیه موج سینوسی است و آن از یک نقطهٔ صفر با شیب مثبت تا نقطهٔ $t = 0$ اندازه گرفته میشود. علامت φ در معادلهٔ کسینوسی (٥) نشانهٔ فاز اولیه موج است و آن از یک مقدار ماکزیمم مثبت تا نقطهٔ O ـ t اندازه گرفته می‌شود.

● اختلاف فاز بین دو موج

در نگارهٔ (٥) دو موج سینوسی v و i نمایش داده شده‌اند. این دو موج با اندازهٔ زاویه φ رادیان اختلاف فاز دارند. گوئیم موج i با اندازهٔ φ از موج v عقب است، یعنی، موج i با اندازهٔ زاویه φ دیرتر از موج v از صفر عبور میکند. همینطور ماکزیمم i با اندازهٔ φ دیرتر از ماکزیمم v رخ می‌دهد.



نگاره (٤)



نگاره (٥)

● موج‌های سینوسی با فرکانس رادیویی

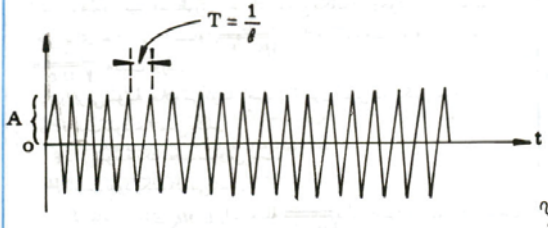
یک ولتاژ (یا جریان) سینوسی با فرکانس زیاد نظیر نگارهٔ (٦) را که فرکانس آنها از سه کیلوهرتز تا سیصد هزار مگاهرتس باشد، ولتاژها (یا جریانها) ی **با فرکانس رادیویی** می‌گویند. فرکانسهای رادیویی را به‌طور مختصر با علامت اِف[4] نشان می‌دهند T نمایش زمان یکبار تغییرات موج ولتاژ (یا جریان) رادیویی است (از یک ماکزیمم تا ماکزیمم بعدی) و آنرا **پریود** موج می‌گویند (نگارهٔ ٦). تعداد پریودهای T، یا تعداد سیکلها در هر ثانیه را فرکانس موج ولتاژ (یا جریان) می‌گویند و آن را با علامت f نشان می‌دهند. $f = \frac{1}{T}$ $T = \frac{1}{f}$

هر وقت یک جریان if از یک سیم عبور کند، در ناحیهٔ[4] اطراف آن سیم یک میدان الکترومغناطیسی متغیر به‌وجود می‌آید که به‌صورت امواجی موسوم به **امواج رادیویی** در فضا انتشار می‌یابد. این امواج بخش وسیعی است از طیف **امواج الکترومغناطیسی** که در زیر به تعریف آن خواهیم پرداخت.

● اشاره به تعریف امواج الکترومغناطیسی

الف) در فیزیک خوانده‌اید که در اطراف یک بار الکتریکی میدانی الکتریکی وجود دارد که خطوط نیروی آن به‌طور شعاعی از بار به خارج توسعه دارند. اگر این بار الکتریکی به‌حرکت درآید، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی هم تولید می‌شود که خطوط نیروی آن به‌صورت دایره‌هایی متحدالمرکز با مسیر حرکت بار (یا جریان الکتریکی) خواهند بود. پس، **یک میدان الکتریکی متغیر می‌تواند تولید یک میدان مغناطیسی کند.**

وقتی یک بار الکتریکی با حرکت نوسانی ساده و با فرکانس زیاد (بالاتر از ۱۰ کیلوهرتس) به‌حرکت درآید در اطراف آن یک میدان الکترومغناطیسی (یعنی هم الکتریکی و هم مغناطیسی) متغیر به‌وجود می‌آید که به‌صورت یک رشته امواج به‌نام **امواج الکترومغناطیسی** در فضا حرکت می‌کند. امواج الکترو-



نگاره (٦)

4) Radio frequency

مغناطیسی در خلاء با سرعت نور (یعنی c) انتشار می‌یابند.

یک مدار الکتریکی که جریان در آن با فرکانس زیاد رفت و آمد کند مناسبترین روش برای حرکت بارهای الکتریکی با فرکانس زیاد است. مثلا وقتی یک خازن بارشده در یک مارپیچ (یا سلف) تخلیه شود، جریان تخلیه یک جریان متناوب سینوسی با فرکانس زیاد می‌باشد.

ب) همچنین در فیزیک خوانده‌اید که تولید امواج الکترومغناطیسی بستگی به این حقیقت دارد که اولا یک میدان مغناطیسی متغیر تولید یک میدان الکتریکی متغیر می‌کند، و ثانیاً، یک میدان الکتریکی متغیر تولید یک میدان مغناطیسی متغیر می‌کند. حتی در صورت نبودن یک سیم، **یک میدان مغناطیسی متغیر می‌تواند تولید یک میدان الکتریکی متغیر کند.**

پس به‌طور کلی، هر مدار که در آن یک جریان متناوب با فرکانس زیاد وجود داشته باشد یک منبع امواج الکترومغناطیسی است. چنین مداری را یک مدار نوسان کننده می‌گویند و آن طریقهٔ مناسبی برای حرکت نوسانی بارهاست.

یک بازوی نور، یک رشته امواج الکترومغناطیسی است که فرکانس آنها خیلی زیادتر از امواج الکترومغناطیسی ناشی از یک مدار نوسان کننده می‌باشد ولی جنس هر دو یکسان است.

سرعت c، فرکانس f، و طول موج λ امواج الکترومغناطیسی در خلاء به‌توسط معادلهٔ زیر به هم مربوطاند: $c = f\lambda$

پ) پیشگویی نظری و جدی راجع به وجود امواج الکترومغناطیسی نخست به‌توسط **ماکسول**[5] در سال ۱۸۶۴ انجام گرفت. ماکسوئل تمام قوانین معلوم الکترومغناطیس را در چند معادلهٔ ریاضی، معروف به **معادلات ماکسوئل**، خلاصه کرده بود و از ترکیب آنها معادلات دیفرانسیل حرکت موجی را بدست آورده بود. امواجی که بر طبق این معادلات حرکت می‌کنند به امواج الکترومغناطیسی معروف‌اند. ماکسوئل سرعت انتشار این امواج را برحسب مشخصات محیط انتشار دهنده، عیناً همانطوری که برای امواج مکانیکی وجود دارد، حساب کرد یعنی برای خلاء آن را مساوی $\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ و برای یک محیط مفروض آنرا مساوی $\frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}}$ به‌دست آورد.

ε_0 را **پرمی‌تیویتهٔ** خلاء می‌گویند (ضریب فرمول کولن در الکتریسیته).

μ_0 قابلیت نفوذ خلاء می‌باشد.

ε پرمی‌تیویتهٔ یک محیط مفروض است.

μ قابلیت نفوذ یک ماده می‌باشد.

اگر مقادیر عددی μ_0 و ε_0 را در جملهٔ $\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ قرار دهیم عددی مساوی سرعت نور در خلاء به‌دست می‌آید، یعنی $\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{sec}$

پس هرگاه سرعت نور در خلاء را که از راه تجربه اندازه‌گرفته شده است به C نشان بدهیم رابطهٔ مهم زیر برقرار خواهد بود: $C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$

از این توافق نزدیک که بین مقدار عددی $\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ و مقدار اندازه‌گرفته شدهٔ سرعت C نور وجود دارد می‌توان استنباط کرد که طبیعت نور باید الکترومغناطیسی باشد، یا بعبارت دیگر، نور یک پدیدهٔ الکترومغناطیسی است.

بدین ترتیب، وجود امواج الکترومغناطیسی که با سرعت نور در خلاء حرکت می‌کند یک نتیجهٔ منطقی و قریب‌الذهن از معادلات ماکسوئل است و از روی معادلات ماکسوئل بود که رابطهٔ نزدیک بین الکترومغناطیس و نور کشف شد.

5) Maxwell

● امواج رادیویی

در سال ۱۸۸۷ **هانریش هرتس**[6] نخستین کسی بود که در آزمایشگاه امواج رادیویی با فرکانس زیاد را به کمک مدارهای نوسان کننده تولید کرد. این امواج از نوع همان امواج الکترومغناطیسی است و هرتس با این تجربه صحت پیشگویی‌های ماکسوئل را تأیید کرد. تجارب هرتس نشان داد که امواج حاصله از ریشهٔ الکترومغناطیسی است و تمام خواص مهم امواج نور از قبیل تداخل، دیفراکسیون، و غیره را دارا می‌باشد.

● طیف امواج الکترومغناطیسی

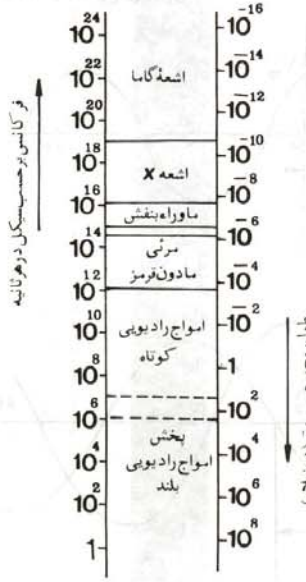
در موقعی که تجارب هرتس برای تأیید صحت تئوری الکترومغناطیسی ماکسوئل انجام می‌گرفت، فقط دو نوع از امواج الکترومغناطیسی شناخته شده بود: یکی **نور مرئی** و دیگر **امواج رادیویی**. حالا کاملا معلوم شده است که ردیفهای امواج الکترومغناطیسی عبارتند از:

امواج رادیویی اشعه مادون قرمز نور مرئی نور ماوراء بنفش اشعهٔ ایکس اشعهٔ گاما اشعهٔ کیهانی

و فرکانس ردیفهای آن مرتب افزایش پیدا می‌کند. در نگارهٔ (۷) یک طیف کامل از امواج الکترومغناطیسی نشان داده شده است. ناحیه‌ها (یا ردیفها)ی مختلف این طیف برحسب فرکانس و طول موج مشخص شده‌اند. هر ناحیه دارای یک ردیف فرکانس است. مرزهای این ناحیه‌ها مشخص نیستند بلکه تدریجی رویهم‌رفته قرار می‌گیرند.

ناحیه‌ای که دارای پست‌ترین فرکانس (یا طویل‌ترین طول موج) می‌باشد،

نگاره (۷)



6) Heinrich Hertz

ناحیهٔ امواج رادیویی است (طول موج آن از ۳۰۰ متر تا ۱ میلیمتر، و فرکانس آن از ۳۰ کیلوهرتس تا ۳۰۰ مگاهرتس). این امواج به‌توسط مدارهای الکتریکی نوسان کننده به‌وجود می‌آیند.

اشعهٔ مادون قرمز (یا امواج حرارتی) به‌توسط اجسام داغ شده، و یا بتوسط ارتعاشات مولکولی مایعات و گازها تولید می‌شود.

نورمرئی از آرایش مجدد الکترونهای مدارهای بیرونی تراتمها بوجود می‌آید. نورمربی در ناحیهٔ باریکی از فرکانسها که برای چشم انسان حساس می‌باشدقرار دارد.

نوراوراءبنفش نیز مثل نورمرئی به‌وجود می‌آید.

اشعهٔ ایکس، به‌توسط آرایش مجدد الکترونهای داخلی ترین مداراتمها تولید می‌شود.

اشعهٔ گاما، که منبداء آن درهستهٔ اتمی است.

اشعهٔ کیهانی، اشعه یا رادیاسیونی است فوق‌العاده نفوذ کننده که از ماوراءجو زمین سرچشمه می‌گیرد و درحین عبوراز هوا با یک مادهٔ دیگر تولید حوادث یونیزه کننده‌می کند. اشعهٔ کیهانی اولیه بطورعمده از پروتون‌ها تشکیل یافته و تمام آنها به توسط جو (یا آتمسفر) زمین جذب می‌گردند، ولی اشعهٔ کیهانی ثانویه که از انواع ذرات جزئی با انرژی پست‌تر از ذرات اشعهٔ اولیه تشکیل یافته است به‌سطح زمین می‌رسند.

● پخش امواج رادیویی

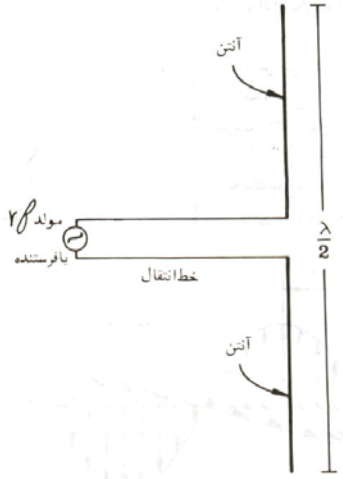
جریانهای rf که موجد امواج رادیویی هستند درفرستنده که معمولا مولد این فرکانسها می‌باشد به وجود می‌آیند. این جریانها به **توسط دوخط‌انتقال** یا **فیدر** به وسط یک آنتن که نمونهٔ آن درنگارهٔ (۸) دیده‌می‌شود وصل میگردد.

نگارهٔ(۸)

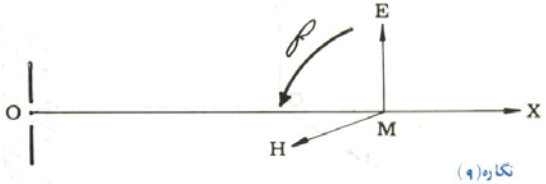
دراین نگاره حالت نظری یک آنتن دوقطبی (یادی‌پل) مشاهده می‌شود. این آنتن بصورت دوسیم هادی است که در یک مکان مرتفع قرارمی‌گیرد و مولد فرکانس‌های رادیویی همانطور که گفته شد به مرکز این آنتن وصل می‌شود. در اطراف آنتن دی‌پل میدان الکترومغناطیسی متغیر تشکیل می‌گردد که به صورت امواج رادیویی درفضا پخش می‌شود. امواج دراطراف آنتن به صورت دودسته خطوط **نیروی** عمود برهم ظاهر می‌شوند.

درفاصلهٔ به قدر کافی دورازمرکز O آنتن، موج رادیویی در هر نقطه به‌صورت دو بردار عمود برهم می‌باشد که یکی شدت میدان الکتریکی $\vec{E}$ ودیگری شدت میدان مغناطیسی $\vec{H}$ میباشد (نگارهٔ ۹). بعبارت دیگر، میدان الکتریکی $\vec{E}$ همیشه برمیدان مغناطیسی $\vec{H}$ عمود است و هر دوبردار میدان به نوبهٔ خود برجهت انتشار ox نیز عمود می‌باشند و بطورسینوسی تغییرمی کنند.

موج بطور خطی **پولاریزه** است، یعنی، میدان الکتریکی در هرنقطه در فضادر



نگاره(۸)



نگاره(۹)

طول یک خط مستقیم ثابت نوسان می کند و این جهت را جهت پولاریزاسیون موج می گویند.

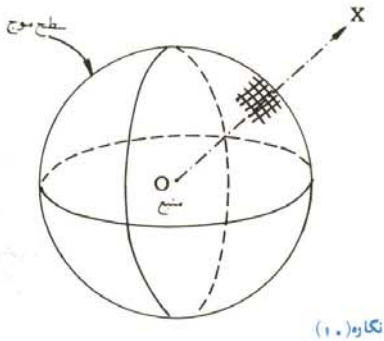
یک سطح موج سطحی است که در تمام نقاط آن بردارهای $\vec{E}$ (یا $\vec{H}$) دارای یک فاز باشند. هرخط مثل ox واقع در جهت انتشار موج و عمود بر سطوح موج را یک شعاع می گویند (نگارهٔ ۱۰).

آنتن فرستنده که بصورت یک دوقطبی (دی پُل) عمل می کند، امواج رادیویی را بطور شعاعی در تمام جهات در فضا پخش می کند. مولفه های $\vec{E}$ و $\vec{H}$ موج در هر نقطه که دارای فاز زمانی یکسان باشند روی یک سطح موج کروی قرار دارند (نگارهٔ ۱۰). مرکز این کره منبع صدور موج (یعنی مرکز دی پُل) می باشد. هرچه موج دورتر می رود سطح های موج گسترده تر می شوند.

با اینکه سطح های موج در واقع سطح های کروی هستند می توان یک بخش کوچک از آنها را همانطور که در نگارهٔ (۱۰) نشان داده ایم کاملا مستوی پنداشت. این بخش کوچک را بطور مجزا در امتداد شعاع ox در نگارهٔ (۱۱) نشان داده ایم. اینجا دیگر موج کاملا مسطح در نظر گرفته می شود و دسته خطوط نیروی الکتریکی و مغناطیسی آن به صورت خطوط مستقیم بر یکدیگر عمود می باشند.

طرز انتشار میدانهای الکتریکی و مغناطیسی یک موج مسطح روی امتداد ox به صورت نگارهٔ (۱۲) است. دوبردار $\vec{E}$ و $\vec{H}$ به طور هم فاز در حین حرکت، تغییرات سینوسی می کنند و همیشه بر جهت انتشار عمود می باشند. λ طول موج است.

جهت حرکت موج رادیویی مانند جهت پیشرفت یک پیچ راستگرد می باشد وقتی که بردار $\vec{E}$ با اندازهٔ ۹۰ درجه در جهت سهم f بچرخد (به نگارهٔ ۸ توجه کنید). درواقع نگارهٔ (۱۲) طرز توزیع شدتهای میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی را برحسب فاصله در جهت انتشار موج نشان می دهد که درحقیقت نمایش انتشار یک موج رادیویی مسطح درطول ox است.



نگاره(۱۰)

مشخصه های موج رادیوئی

مشخصه های مهم یک موج رادیویی عبارت اند از: سرعت حرکت موج، دامنهٔ شدت میدان، فرکانس آن، f و طول موج λ.

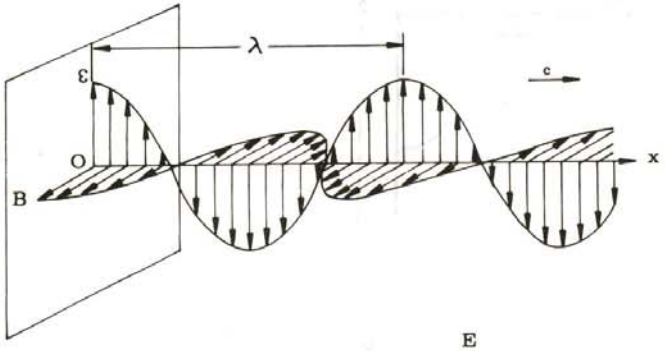
سرعت انتشار برای تمام امواج رادیویی یکسان است، یعنی ۱۸۶۰۰۰ مایل در هر ثانیه یا ۳۰۰۰۰۰۰۰۰ متر در هرثانیه (که همان سرعت سیر نور در خلاء است).

دامنهٔ شدت میدان بستگی دارد به دامنهٔ جریان rf درآنتن فرستنده و منبع صدور. فرکانس f موج عبارت است از تعداد سیکلهای کامل تغییرات شدت میدان در یک نقطهٔ مفروض در هرثانیه و بستگی دارد به میزان تغییرات جریان rf درآنتن فرستنده.

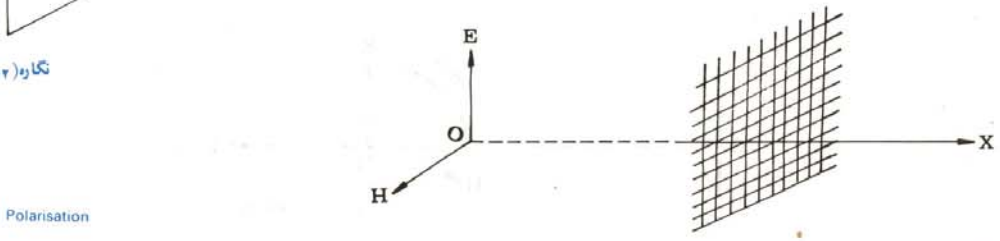
طول موج λ عبارت است از طول فاصله ای که یک سیکل کامل تغییرات شدت میدان الکتریکی E یا میدان مغناطیسی H، در هرلحظه، در فضا اشغال می کند (نگارهٔ ۱۳).

فرض می کنیم f هرتس (یا f سیکل در هرثانیه) فرکانس جریان rf در منبع صدور موج رادیویی باشد. بدین ترتیب در هرثانیه f موج صادر می شود که سرعت انتشار آنها ۳۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰ متر در هرثانیه است. یعنی یک فاصلهٔ ۳۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰ متری به توسط f موج اشغال می شود. بنابراین، فاصله یا طولی که یک موج در فضا اشغال میکند ۳۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰ متر تقسیم بر f خواهد بود.

یعنی متر $\lambda = \frac{۳۰۰٬۰۰۰٬۰۰۰}{f}$



نگاره(۱۱)



نگاره(۱۲)

7) Polarisation

مثلا موجی که به توسط یک جریان ۱ به فرکانس ۱۰۰،۰۰۰ هرتس تولید می‌شود دارای یک طول موج متر ۳۰۰ $\lambda = \frac{۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰}{۱۰۰,۰۰۰}$ است.

طول موج λ مساوی است با فاصلهٔ بین دو ماکزیمم متوالی شدت میدان در فضا (نگاره ۱۳). طول موجهای تمام امواج رادیویی که بزرگترین بخش از طیف امواج الکترو مغناطیسی است از ۳۰،۰۰۰ متر تا یک میلیمتر می‌باشد و طبقه‌بندی آنها در جدول زیر دیده می‌شود.

نامهای طبقات و حسب طول موجها	حدبالای فرکانسها	حدپائین فرکانسها	
امواج خیلی بلند	متر(۱۰۰۰۰ — ۳۰۰۰۰) ۳۰KH	۳ KHZ	امواج با فرکانس خیلی پست(VLF)
امواج بلند	متر(۱۰۰۰ — ۱۰۰۰۰) ۳۰۰KH	۳۰ KHZ	امواج با فرکانس پست(LF)
امواج متوسط	متر(۱۰۰ — ۱۰۰۰) ۳۰۰KH	۳۰۰ KHZ	امواج با فرکانس متوسط(MF)
امواج کوتاه	متر(۱۰ — ۱۰۰) ۳۰۰۰KH	۳۰۰۰ KHZ	امواج با فرکانس بالا(HF)
خیلی کوتاه	(متر۱ — ۱۰) ۳۰MH	۳۰MHZ	امواج با فرکانس خیلی بالا(VHF)
خیلی خیلی کوتاه	سانتیمتر(۱۰ — ۱۰۰) ۳۰۰MH	۳۰۰MHZ	امواج با فرکانس ماوراء بالا(UHF)
فوق‌العاده کوتاه	سانتیمتر(۱ — ۱۰) ۳۰۰۰MH	۳،۰۰۰MHZ	امواج با فرکانس فوق‌العاده بالا(SHF)
بی‌اندازه کوتاه	میلیمتر(۱ — ۱۰) ۳۰،۰۰۰MH	۳۰،۰۰۰MHZ	امواج با فرکانس بی‌اندازه بالا(EHF)

توضیح: K علامت کیلو و M علامت مگا (یا میلیون) می‌باشد.

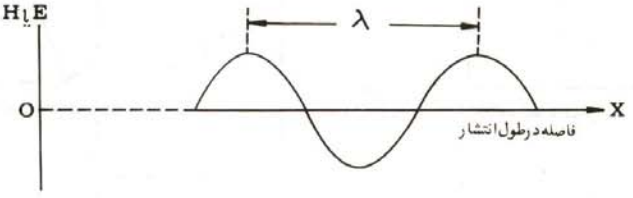
درحقیقت، مشخصه‌های متمایز یک موج رادیویی عبارت‌اند از **طول موج**، **شدت موج** (یعنی شدت میدان‌های E و H آن)، و **صفحهٔ پولاریزاسیون** آن که در زیر تعریف می‌شود:

صفحهٔ پولاریزاسیون یک موج به توسط جهت میدان الکتریکی آن نسبت به سطح زمین تعیین می‌شود. اگر بردار میدان الکتریکی موج قائم باشد گوییم موج بطور قائم پولاریزه است. اگر بردار میدان الکتریکی موج افقی باشد موج بطور افقی پولاریزه می‌باشد.

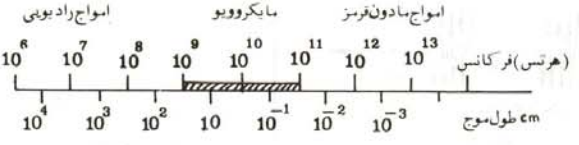
تعریف مایکروویو[8]

مایکروویو بخشی است از طیف امواج الکترومغناطیسی که طول موج آنها عملا در ردیف **۳۰ سانتیمتر تا یک سانتیمتر می‌باشد**. بعضی اوقات مایکروویو را باعنوان امواج دسیمتری، سانتیمتری توصیف می‌کنند. به عبارت دقیقتر، مایکروویود طیف امواج الکترومغناطیسی ناحیه‌ای را اشغال می‌کند که بین امواج رادیویی به طول موجهای بالاتر و امواج مادون قرمز به طول موجهای کوتاهتر قرار دارد (نگاره ۱۴).

البته مرزهای بین این نواحی مشخص نمی‌باشند و معمولا آنها را به‌طور تقریبی معین می‌کنند، مثلا می‌توان گفت که مایکروویو بخشی است از امواج الکترومغناطیسی که فرکانس آنها از حدود ۱،۰۰۰ مگاهرتس (MHz) تا حدود ۳۰،۰۰۰ مگاهرتس یعنی تقریباً تا مرز ناحیهٔ **مادون قرمز** توسعه دارد و از لحاظ طول موج تقریباً از ۳۰ سانتیمتر تا یک سانتیمتر میباشد.



نگاره (۱۳)



نگاره (۱۴)

8) Microwaves

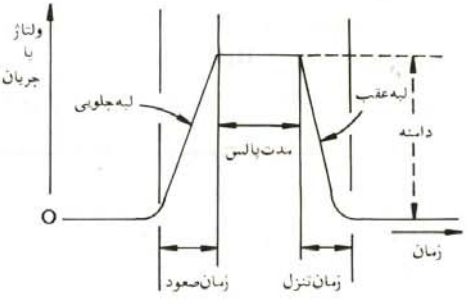
در نگارهٔ (۱۵) یک آنتن مایکروویو نشان‌داده شده است. این آنتن از اجزاء زیر تشکیل یافته است:

- یک **منعکس کنندهٔ سهمی گون**
- یک **فیدر هم‌محور**[10]
- یک **تابش کنندهٔ دوقطبی**[11]

تعریف پالس یا ضربان

به تغییر یک کمیت، مثلاً ولتاژ یا جریان، که تقریباً به طور سریع و در وهله های متوالی به طور یکسان انجام بگیرد **پالس** می گویند. مشخصه های اساسی یک **پالس** در نگارهٔ (۱۶) نشان‌داده شده است. اینها عبارتند از: **لبهٔ جلویی**، **مدت پالس**، **لبهٔ عقبی**، و **دامنهٔ پالس**. مدت پالس فاصلهٔ زمانی بین آخر صعود و اول نزول

نگاره(۱۵)



نگاره(۱۶)

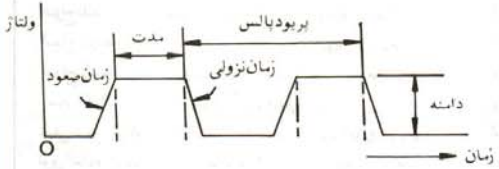
9) Parabolic refelector
10) Coaxial feeder
11) Dipole radiator

پالس می‌باشد. در نگارهٔ (۱۷) دو پالس ذوزنقه‌ای مشاهده می‌شود. فاصلهٔ بین دو پالس متوالی را **پریود پالسها** (درصورتی که تکرارشوند) می گویند.

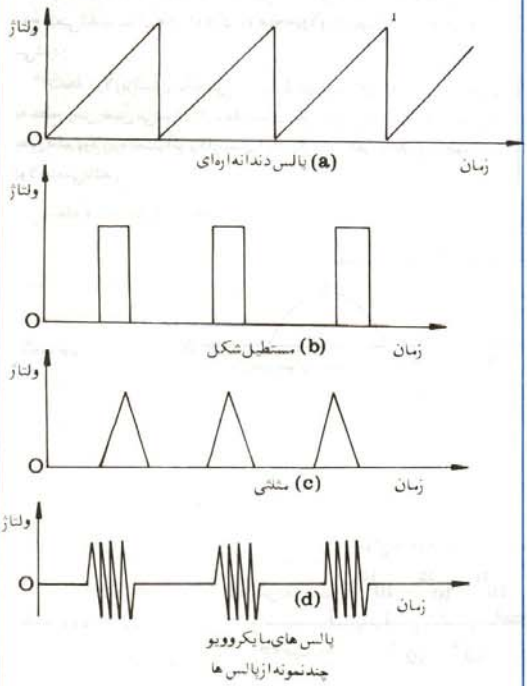
در نگارهٔ(۱۸) چند نمونه از قطار پالسها را مشاهده می کنیم: در نگارهٔ (a) یک سری پالسهای مثلثی دندانه ارهای را نشان داده‌ایم. این پالسها در لوله های کاتودیک و اُسیلوسکوپ‌ها و در تلویزیون به کار برده می‌شوند. آن‌را موج دندانه ارهای هم می گویند.

در نگارهٔ (b) یک نمونه پالسهای مستطیل شکل مشاهده می‌شود.

در نگارهٔ (c) پالسهای مثلثی دیده می‌شود. در نگارهٔ (d) پالسهای مایکروویو که در رادار و تلوزیون مورد استفاده قرار می گیرند مشاهده می‌شود.



نگاره(۱۷)



پالس های مایکروویو
چند نمونه از پالس ها

نگاره(۱۸)