فصل ۳

مدولاسیون موج پیوسته (آنالوگ) و انواع آنها

هدف کلی

شناخت مفاهیم مدولاسیون و علل استفادهٔ آن در فرستنده‌های رادیویی

کل زمان اختصاص داده شده به فصل: ۹ ساعت آموزشی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که: **زمان پیشنهادی**

۱ــ سیگنال صوتی را شرح دهد..... ۱۰′

۲ــ نحوهٔ انتشار صوت را در هوا توضیح دهد ..... ۱۰′

۳ــ سرعت صوت را توضیح دهد ..... ۵′

۴ــ دلایل استفاده از تقویت کننده را برای انتقال صوت به فواصل دور تشریح کند..... ۱۰′

۵ــ دلایل استفاده نکردن از آمپلی‌فایر و بلندگو را برای انتقال صوت به فواصل خیلی دور (بین دو شهر) شرح دهد. ..... ۱۰′

۶ ــ دلایل استفاده نکردن از روش انتشار صوت به صورت امواج الکترومغناطیس از آنتن را، تشریح کند ..... ۱۵′

۷ــ دلایل استفاده از مدولاسیون را شرح دهد ..... ۲۰′

۸ــ مشخصات سیگنال پیام و سیگنال حامل یا کاریر را با ذکر فرمول آن تشریح کند ..... ۲۰′

۹ــ نحوهٔ انجام عمل مدولاسیون را به‌طور عمومی و کلی تشریح کند ۱۰′

۱۰ــ مدولاسیون را تعریف کند..... ۱۰′

۱۱ــ مدولاسیون AM، FM و PM را تعریف کند و شکل موج آنها را ترسیم کند..... ۴۰′

۱۲ــ معادلهٔ موج AM را بنویسد و مشخصات آن را تشریح کند ... ۲۰′

۱۳ــ شاخص مدولاسیون را در حالات مختلف محاسبه و نتایج آن را بررسی کند..... ۲۰′

۱۴ــ سیگنال‌های با مدولاسیون کمتر از صددرصد، صددرصد و بیشتر از صددرصد را با یکدیگر مقایسه کند..... ۲۰′

۱۵ــ روش محاسبهٔ درصد مدولاسیون را شرح دهد..... ۱۵′

۱۶ــ طیف فرکانسی سیگنال AM را با سیگنال ساده مقایسه کند.... ۱۰′

۱۷ــ طیف فرکانسی AM را در حوزهٔ فرکانس ترسیم کند..... ۱۰′

۱۸ــ طیف فرکانسی سیگنال AM را با استفاده از سیگنال مربعی و سیگنال صوتی شرح دهد..... ۱۵′

۱۹ــ فرکانس‌های کناری بالا و پایین را شرح دهد..... ۱۵′

۲۰ــ انواع روش‌های ارسال در مدولاسیون AM (VSB–ISB–SSB–DSB) را شرح دهد ..... ۱۵′

۲۱ــ توان در سیگنال AM را شرح دهد..... ۱۰′

۲۲ــ توان در سیگنال AM را در انواع روش‌های ارسال مقایسه کند.. ۱۰′

۲۳ــ پهنای باند سیگنال AM را شرح دهد و انواع آن را محاسبه کند.. ۱۵′

۲۴ــ باند کناری بالا و پایین را توضیح دهد..... ۱۰′

۲۵ــ محدودهٔ فرکانس رادیویی AM تجاری را توضیح دهد..... ۱۰′

۲۶ــ باند محافظ guard band را شرح دهد ..... ۱۰′

۲۷ــ تعداد ایستگاه‌های رادیویی را، که در یک باند فرکانسی AM تجاری جای می‌گیرد، بدون باند محافظ و با باند محافظ محاسبه کند. .... ۱۵′

۲۸ــ از نرم‌افزارها و فیلم‌های مرتبط برای درک بهتر مفاهیم استفاده کند.

۲۹ــ در فرایند اجرای آموزش متناسب با شرایط و محتوا، به آزمون‌های تکوینی، تشخیصی و پایانی پاسخ دهد ..... ۲۵′

۳۰ــ هدف‌های رفتاری در حیطهٔ عاطفی که در فصل اول آمده است را در این فصل نیز رعایت کند.....

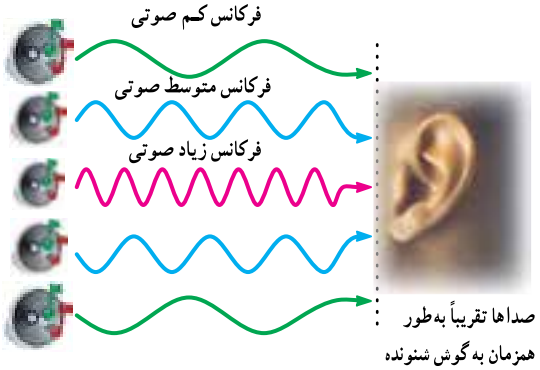
پیشگفتار

همان‌طورکه در فصل اول تشریح شد، برای انتشار صوت به فواصل دور نیاز به شرایط و امکانات ویژه‌ای است. در این فصل به بررسی ماهیت صوت و نحوهٔ انتقال آن به فواصل دور می‌پردازیم. سیگنال حامل، انواع مدولاسیون‌ها،ضریب مدولاسیون، علل استفاده از مدولاسیون، طیف فرکانسی سیگنال AM و پهنای باند سیگنال AM از جمله مباحثی است که مورد بررسی اجمالی قرار خواهند گرفت.

۱ـ۳ـ سیگنال صوتی و نحوهٔ انتقال آن

یکی از مهم‌ترین موج‌هایی که ما در زندگی روزمره با آن سروکار داریم امواج صوتی است. از طریق این موج‌ها با هم گفت‌وگو می‌کنیم، یا با به صدا درآوردن بوق اتومبیل، به عابری که از خیابان عبور می‌کند، هشدار می‌دهیم.

امواج صوتی در محدودهٔ فرکانسی ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز قرار دارند. شکل ۱ـ۳ امواج صوتی با فرکانس‌های کم و متوسط و زیاد را نشان می‌دهد که گوش قادر به شنیدن این امواج است.

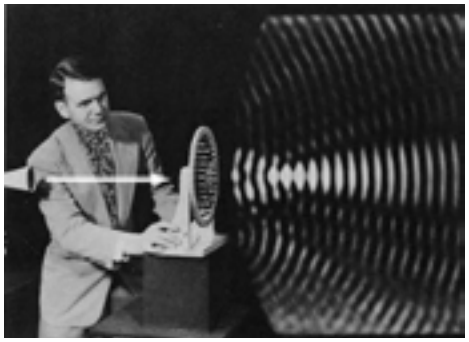


شکل ۱ـ۳ـ امواج صوتی با فرکانس‌های مختلف

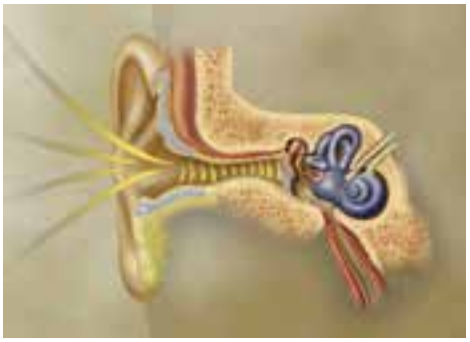
برای انتشار امواج صوتی نیاز به محیطی مادّی مانند هوا داریم. در واقع امواج صوتی ارتعاشات مکانیکی‌اند. این ارتعاشات از طریق ارتعاش ملکول‌های هوا از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل می‌شوند.

نوسان‌های ملکول‌های هوا از طریق حفرهٔ گوش به پردهٔ گوش برخورد می‌کند و صدا شنیده می‌شود. هر قدر شدت صوت بیشتر باشد ارتعاشات قوی‌تر و صدا بلندتر است.

شکل ۲ـ۳ نحوهٔ انتشار صوت را در هوا و شکل ۳ـ۳ نحوهٔ پخش امواج صوتی و برخورد ملکول‌های هوا را به پردهٔ گوش نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ۳ـ نحوهٔ انتشار صوت در هوا



شکل ۳ـ۳ـ نحوهٔ برخورد ملکول‌های هوا به پردهٔ گوش انسان

نکتهٔ مهم

توجه داشته باشید که فشردگی ملکول‌های هوا یا باز شدن آنها از یکدیگر سبب انتقال ارتعاشات صوتی به گوش و شنیدن صدا می‌شود. لذا تعیین جهت مثبت یا منفی (نیم سیکل مثبت یا منفی مثلاً یک موج سینوسی) برای فشردگی و باز شدگی فرضی بوده و اثری روی میزان شنوایی ندارد. یعنی بازشدگی یا فشردگی حاصل از یک سیگنال سینوسی یک کیلو هرتزی اثر مشابهی روی گوش انسان می‌گذارد.

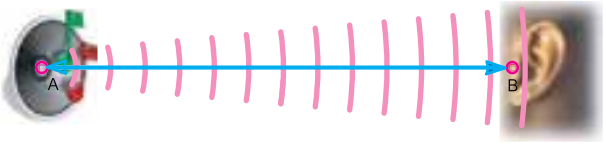
۲ـ۳ـ سرعت صوت

سرعت انتشار امواج در یک محیط به ویژگی‌های محیط انتشار موج بستگی دارد. سرعت صوت نیز به ویژگی‌های فیزیکی محیطی که صوت در آن منتشر می‌شود وابسته است. صوت علاوه بر گازها در مایعات و جامدات نیز منتشر می‌شود. سرعت صوت درهوا در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد ۳۴۳ متر بر ثانیه و در هوای صفر درجه سانتی‌گراد ۳۳۱ متر بر ثانیه است. سرعت صوت در آب با دمای ۲۵ درجه سانتی گراد ۱۴۹۸ متر برثانیه و در آهن ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر بر ثانیه است. در جدول ۱ــ۳ سرعت صوت در هوا و سایر اجسام را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱ــ۳ــ سرعت صوت در اجسام مختلف

واحد	سرعت صوت	محیط انتشار صوت
m/sec	۳۳۱	هوای صفر درجه سانتی‌گراد
m/sec	۳۴۳	هوا در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد
m/sec	۱۴۹۸	آب در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد
m/sec	۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰	آهن

اگر سرعت حرکت صوت در هوا را حدود ۳۴۰ متر بر ثانیه در نظر بگیریم، چنان‌چه صوتی در نقطهٔ A تولید شود، پس از یک ثانیه در فاصلهٔ ۳۴۰ متری شنیده می‌شود. در شکل ۴ــ۳ نحوهٔ انتشار صوت در هوا نشان داده شده است.



شکل ۴ــ۳ــ نحوهٔ انتشار صوت در هوا

انتشار صوت در هوا را می‌توان به انتشار امواج در آب تشبیه کرد.

شکل ۵ ــ۳ انتشار امواج را در آب نشان می‌دهد.

طول موج برای امواج صوتی از رابطهٔ $\lambda = \frac{V}{F}$ به‌دست می‌آید. در این رابطه V سرعت سیر صوت است که در هوا حدود ۳۴۰ متر در ثانیه درنظر گرفته می‌شود. F فرکانس صوت برحسب هرتز است.

شکل ۵ــ۳ــ انتشار امواج در آب

مثال ۱ـ۳

برای کمترین و بیشترین فرکانس صوتی (AF) طول موج را محاسبه کنید.

برای کمترین فرکانس صوتی

$$\lambda_1 = \frac{V}{F_1} = \frac{۳۴۰ m/sec}{۲۰ HZ} = ۱۷m$$

برای بیشترین فرکانس صوتی

$$\lambda_2 = \frac{V}{F_2} = \frac{۳۴۰ m/sec}{۲۰/۰۰۰ Hz} = ۱۷mm$$

۳ـ۳ـ انتقال صوت به فواصل دور توسط سیم یا کابل

فیزیولوژی حنجرهٔ انسان به گونه‌ای است که نمی‌تواند دامنه حاصل از تارهای صوتی را از حد معیّنی افزایش دهد. این محدودیت باعث می‌شود که برای انتقال صوت به فواصل دور (حدوداً تا ۵۰۰ متری) از دستگاه‌های تقویت‌کننده (آمپلی فایر) استفاده کنند. برای انتقال صوت از دستگاه آمپلی فایر به بلندگو به خط انتقال نیاز داریم. خط انتقالی که برای این منظور به کار می‌رود سیم یا کابل است (شکل ۶ــ۳). استفاده از سیم یا کابل برای انتقال صوت به فواصل دور موجب افت ولتاژ و توان در مسیر می‌شود. از طرف دیگر به دلایل متعدد کاربرد این سیستم مقرون به صرفه نیست و در پاره‌ای از موارد ناممکن است. بدین ترتیب، در صورتی که پیام موردنظر یک سیگنال صوتی باشد نمی‌توان آن را به فواصل خیلی دور (بین دو شهر) منتقل کرد زیرا :

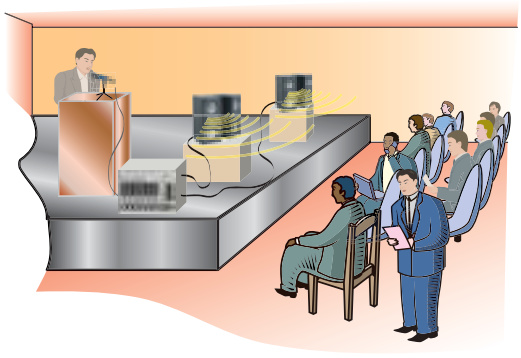
الف ــ تلفات توان و افت ولتاژ زیاد می‌شود.

ب ــ به سبب طولانی بودن کابل، سیستم آسیب‌پذیرتر می‌شود.

ج ــ هزینهٔ نصب و راه‌اندازی، تعمیرات و نگهداری آن زیاد است.

د ــ چون پیام پس از انتقال به وسیلهٔ بلندگو پخش می‌شود برای همه قابل استفاده است و نمی‌تواند محرمانه باشد.

در ضمن اگر صوت به صورت مستقیم در فضا پخش شود موجب آزار مردم می‌شود و آلودگی صوتی را به‌وجود می‌آورد.



شکل ۶ــ۳ــ انتشار صوت از طریق دستگاه تقویت‌کننده، کابل و بلندگو برای فواصل دور

۴ـ۳ـ الگوی پرسش

تشریحی :

۱ــ در صورتی که فرکانس صوت برابر با ۶ کیلوهرتز باشد طول موج آن را حساب کنید.

۲ــ امواج صوتی به چه صورت به گوش انسان می‌رسد؟ شرح دهید.

۳ــ چه عاملی سبب می‌شود صدا را بلندتر بشنویم؟

۴ ــ سرعت صوت تقریباً چه قدر است؟

۵ــ به چه دلیل برای انتقال صوت به فواصل دور باید از آمپلی فایر استفاده کرد؟

۶ ــ چند مثال برای محاسبهٔ طول موج صداهایی با فرکانس مختلف طراحی و آن را حل کنید.

۷ــ چرا نمی‌توان برای انتقال صوت به فواصل خیلی دور (بین دو شهر) از آمپلی فایر و بلندگو استفاده کرد؟ شرح دهید.

صحیح یا غلط

۸ــ صوت برای انتشار به محیط مادی نیاز دارد.

صحیح ☐ غلط ☐

چهار گزینه‌ای

۹ ــ طول موج صوت با سرعت ۳۴۰ m/sec و فرکانس ۸/۵KHZ چند سانتی‌متر است؟

۱) ۴ ۲) ۴۰

۳) ۰/۴ ۴) ۰/۰۰۴

۵ ـ۳ـ انتقال سیگنال صوتی به فواصل دور توسط امواج الکترومغناطیسی

به نظر می‌رسد که ساده‌ترین روش برای انتقال سیگنال‌های صوتی به فواصل دور تبدیل آن به امواج الکترومغناطیس و انتشار آن از طریق آنتن باشد.

در صورتی که بتوانیم امواج صوتی را مانند شکل ۷ــ۳ به امواج الکترومغناطیسی تبدیل کنیم و آن را در فضا انتشار دهیم، به دلایل زیر امکان انتقال صوت به مسافت‌های دور به صورت امواج الکترومغناطیسی امکان‌پذیر نیست.

شکل ۷ــ۳ــ تبدیل امواج صوتی به امواج الکترومغناطیسی

خوب گوش دادن یک هنر است، سعی کنید خوب گوش دهید تا مطالب درسی را به آسانی یاد بگیرید.

الف ــ فرکانس امواج صوتی کم و طول موج آنها بسیار زیاد است، بنابراین پس از تبدیل این امواج به امواج الکترومغناطیسی، انتشار آنها از آنتن بسیار سخت و تقریباً غیرممکن است. مثال ۲ــ۳ بیان‌گر این مسئله است.

ب ــ درصورتی که انتشار امواج صوتی از آنتن ممکن باشد، برای انتشار نیاز به آنتن بسیار بلند است.

در مثال ۲ــ۳ طول آنتن $\frac{\lambda}{۴}$ برای امواج صوتی الکترومغناطیسی در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز محاسبه شده است.

مثال ۲ـ۳

در صورتی که بخواهیم سیگنال صوتی با فرکانس ۲۰ کیلوهرتز را با استفاده از آنتن $\frac{\lambda}{۴}$ منتشر کنیم، طول آنتن چه قدر می‌شود؟

پاسخ:

امواج الکترومغناطیسی که از آنتن $\frac{\lambda}{۴}$ پخش می‌شوند دارای سرعت سیری حدوداً برابر با سرعت نورند. بنابراین از رابطهٔ $\lambda = \frac{C}{F}$ استفاده می‌کنیم.

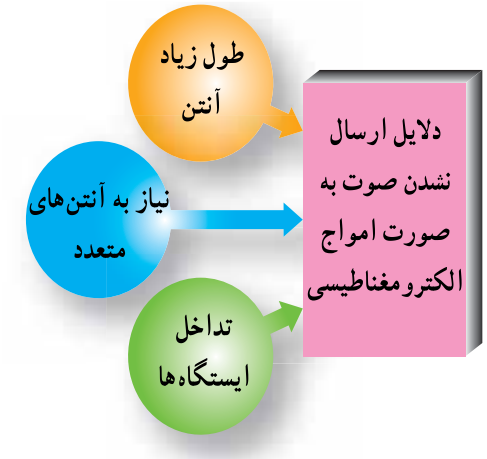
$$\text{طول موج} = \lambda = \frac{C}{F} = \frac{۳۰۰۰۰۰\text{km/s}}{۲۰۰۰۰\text{Hz}} = ۱۵\text{km} = ۱۵۰۰۰\text{m}$$

$$\text{طول آنتن} = La = \frac{\lambda}{۴} = \frac{۱۵۰۰۰}{۴} = ۳۷۵۰ \text{ متر}$$

مهار کردن و نگهداری آنتنی به بلندی ۳۷۵۰ متر تقریباً ناممکن است.

ج ــ با فرض این‌که بتوان آنتن بلند را مورد استفاده قرار داد، به دلیل این که صوت، ترکیبی از فرکانس‌های مختلف است، نیاز به آنتن‌های متعدد با طول‌های متفاوت دارد. مثلاً برای فرکانس ۲۰ کیلوهرتز نیاز به آنتنی به طول ۳۷۵۰ متر و برای فرکانس ۲۰ هرتز نیاز به آنتنی به بلندی ۳۷۵۰ کیلومتر است.

د ــ در صورتی که نیاز به آنتن‌های متعدد را نیز بپذیریم، در هر منطقه بیش از یک ایستگاه رادیویی نمی‌توانیم داشته باشیم. چرا که به دلیل مشابهت طیف فرکانسی صوت انسان‌ها با یکدیگر، تداخل به وجود می‌آید و صداها با هم مخلوط می‌شود. در شکل ۸ــ۳ موارد بالا به طور خلاصه و با تصویر نشان داده شده است.



شکل ۸ــ۳ــ موانع مربوط به انتشار صوت به وسیلهٔ امواج الکترومغناطیسی

پس با توجه به موارد بالا نتیجه می‌گیریم که هرگز نمی‌توان سیگنال صوتی را به‌طور مستقیم در فضا انتشار داد. پس چه باید کرد؟ چگونه اوّلین پیام انسانی را که صداست به فواصل دور منتقل کنیم؟

آیا هرگز فکر کرده‌اید که اگر انسان بخواهد فاصله بین تهران تا مشهد را پیاده طی کند چه مدت طول می‌کشد؟ با یک محاسبهٔ ساده اگر سرعت راه رفتن را ۵ کیلومتر در ساعت و فاصله تهران تا مشهد را ۹۶۰ کیلومتر در نظر بگیریم زمان موردنیاز برابر است با :

$$\text{زمان مسافرت با پای پیاده} = \frac{\text{فاصله}}{\text{سرعت}}$$

$$= \frac{۹۶۰\text{Km}}{۵\text{Km/H}} = ۱۹۲ \text{ ساعت} = \text{شبانه روز } ۸$$

حال اگر این فاصله را با اتومبیل طی کنیم و سرعت متوسط اتومبیل ۶۰ کیلومتر در ساعت باشد زمان موردنیاز برابر خواهد شد با :

$$\text{زمان مسافرت با اتومبیل} = \frac{\text{فاصله}}{\text{سرعت}} = \frac{۹۶۰\text{Km}}{۶۰\text{Km/H}} = ۱۶ \text{ ساعت}$$

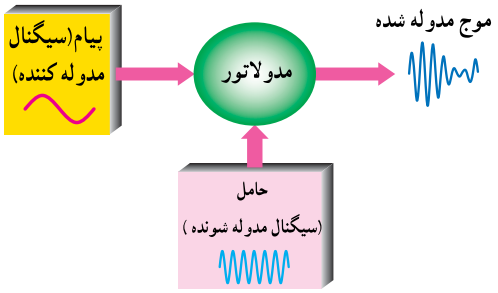
در صورتی که فاصلهٔ مزبور را با هواپیمایی طی کنیم که سرعت آن ۶۰۰ کیلومتر در ساعت باشد، در حدود ۱/۵ ساعت طول می‌کشد تا به مقصد برسیم. مشاهده می‌شود که سرعت وسیلهٔ نقلیّه زمان جابه‌جایی را کم می‌کند. بنابراین، انتخاب وسیلهٔ نقلیّه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

اگر وسیلهٔ نقلیه را امواج الکترومغناطیسی در نظر بگیریم، با

توجه به این که سرعت امواج الکترومغناطیسی حدوداً برابر با سرعت نور است، زمان طی شده توسط این امواج به فاصلهٔ دور مثلاً ۹۶۰ کیلومتر، بسیار کوتاه خواهد شد.

$$\text{زمان طی شده توسط امواج الکترومغناطیسی} = \frac{\text{فاصله}}{\text{سرعت}} = \frac{۹۶۰\text{km}}{۳۰۰۰۰۰\text{km/sec}} = ۳۲۰۰\mu\text{s}$$

پس اگر سیگنال صوتی را روی سیگنال دیگری که به‌عنوان وسیلهٔ نقلیه استفاده می‌شود سوار کنیم و به‌صورت امواج الکترومغناطیسی در فضا پخش کنیم اشکالات مربوط به ارسال مستقیم برطرف می‌شود. به این عمل در اصطلاح عمومی مدولاسیون (Modulation) می‌گویند. سیگنال پیام را سیگنال مدوله کننده (Modulating signal) می‌گویند. سیگنالی که پیام روی آن سوار می‌شود سیگنال حامل، (کاریر carrier) یا سیگنال مدوله شونده (Modulation signal) نام دارد. به مدار یا دستگاهی که این عمل را انجام می‌دهد، مدولاتور (Modulator) می‌گویند. شکل ۹ـ۳ نحوهٔ انجام مدولاسیون را به‌صورت بلوکی نشان می‌دهد.



شکل ۹ـ۳ـ بلوک دیاگرام نحوهٔ انجام مدولاسیون

۶ـ۳ـ الگوی پرسش

تشریحی :

۱ـ چرا امواج صوتی را مستقیماً نمی‌توان به امواج الکترومغناطیسی تبدیل کرد؟

۲ـ در صورتی که انتشار امواج صوتی از آنتن به صورت مستقیم میسر باشد، به چه دلیل نیاز به آنتن‌های متعدد داریم؟

محاسباتی :

۳ـ اگر صوت به صورت امواج الکترومغناطیس در فضا انتشار یابد مسافت ۶۰۰km را در چه مدتی طی می‌کند؟

۴ـ در صورتی که فرکانس تُن صوتی برابر با ۳ کیلوهرتز باشد طول آنتن $\frac{\lambda}{۴}$ برای انتشار آن چه‌قدر است؟

کامل کردنی :

۵ ـ سرعت امواج الکترومغناطیس حدود..... متر بر ..... است.

۶ ـ سیگنال مدوله کننده سیگنال ..... و سیگنال مدوله‌شونده سیگنال ..... است.

چهارگزینه‌ای

۷ـ صوت با سرعت ۳۴۰m/sec مسافت ۱۳۶۰ متر را در چند ثانیه طی می‌کند؟

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

مخترعین

لی‌دوفارست Lee De Farest در سال ۱۸۷۳ در آمریکا به دنیا آمد، او در طول زندگی خود که ۸۷ سال طول کشید، بیش از ۳۰۰ مورد اختراع داشته که یکی از آنها لامپ تریود خلأ است. همچنین او مخترع اولین گیرنده رادیویی است. این دانشمند در سال ۱۹۶۱ چشم از جهان فرو بست.

لی‌دوفارست

برای کسب اطلاعات بیشتر به سایت دانشمندان مراجعه کنید.

یک نمونه گیرنده

نمونه‌ای از گیرنده‌های اولیهٔ رادیویی

دو نمونه گیرنده رادیویی ساخته شده توسط دوفارست

۳ـ۷ـ مزایای استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل

در قسمت‌های قبل گفتیم که به دلایل متعدد امکان انتشار سیگنال صوتی به طور مستقیم از آنتن وجود ندارد. حال می‌خواهیم ببینیم آیا استفاده از سیگنال RF مشکلات را حل می‌کند؟

الف ــ اشاره شد که به علت کم بودن فرکانس امواج صوتی نیاز به آنتن‌های طویل است؛ در صورتی که به دلیل بالا بودن فرکانس‌های RF طول آنتن کم می‌شود.

مثال ۳ـ۳

در صورتی که فرکانس حامل برابر با ۱۰۰ مگاهرتز باشد، طول آنتن $\frac{\lambda}{۴}$ را به‌دست آورید.

پاسخ

$$\lambda = \frac{C}{F} = \frac{۳۰۰۰۰۰۰\times ۱۰^{۳}\, m/s}{۱۰۰\times ۱۰^{۶}\, HZ} = ۳ \quad \text{متر}$$

$$La = \frac{\lambda}{۴} = \frac{۳}{۴} = ۰/۷۵m = ۷۵ \quad \text{سانتی‌متر}$$

مثال ۳ـ۳ را با مثال ۲ـ۳ مقایسه کنید. در مثال ۲ـ۳ برای انتشار مستقیم سیگنال صوتی نیاز به آنتنی به طول ۳۷۵۰ متر است؛ در صورتی که با استفاده از سیگنال RF به‌عنوان حامل، طول آنتن به ۷۵ سانتی‌متر کاهش یافته است.

ب ــ احتیاج داشتن به آنتن‌های متعدد نیز یکی از مشکلات انتشار مستقیم سیگنال صوتی بود، که درصورت استفاده از سیگنال RF این مسئله نیز برطرف می‌شود، با توجه به این که پیام سوار سیگنال RF می‌شود و سیگنال RF به عنوان وسیلهٔ نقلیه عمل می‌کند و به صورت امواج الکترومغناطیس ارسال می‌شود. در این حالت طول آنتن کاهش می‌یابد، زیرا طول آنتن دقیقاً با طول موج سیگنال RF مرتبط است.

ج ــ تداخل ایستگاه‌های رادیویی مشکل دیگری بود که در انتشار سیگنال صوتی به صورت مستقیم به‌وجود می‌آمد. انتخاب سیگنال‌های حامل متفاوت در محدودهٔ RF مشکل تداخل را نیز از بین می‌برد، زیرا به علت زیاد بودن فرکانس RF می‌توان توسط فیلترهای مناسب فرکانس‌ها را از یکدیگر تفکیک کرد. در جدول ۲ــ۳ مزایای استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل، در مقایسه با انتشار مستقیم پیام آمده است.

جدول ۲ــ۳ــ مزایای استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل

انتشار مستقیم	انتشار با استفاده از سیگنال RF
۱ــ به سبب کم بودن فرکانس سیگنال صوتی نیاز به آنتن طویل است	۱ــ به سبب زیاد بودن فرکانس، طول آنتن به‌شدت کاهش می‌یابد
۲ــ به علت تعدد فرکانس‌های صوتی و وسیع بودن محدوده فرکانسی صوتی به آنتن‌های متعدد نیاز است	۲ــ استفاده از سیگنال RF به عنوان عامل اصلی انتشار، وابستگی طول آنتن به فرکانس‌های صوتی را از بین می‌برد
۳ــ به سبب مشابه بودن باند فرکانس صوتی نمی‌توان بیش از یک ایستگاه رادیویی در منطقه داشت	۳ــ با استفاده از سیگنال‌های حامل متفاوت می‌توان چندین ایستگاه رادیویی را در یک منطقه دایر کرد

خلاقیت
بسازید و جایزه بگیرید

با استفاده از دورریزها و وسایل معمولی موجود در خانه، دستگاهی بسازید که بدون استفاده از الکتریسیته و مشابه تلفن صدا را به فاصله ۱۰ تا ۲۰ متری انتقال دهد.

۳ـ۸ـ الگوی پرسش

صحیح یا غلط

۱ــ استفاده از سیگنال RF به عنوان حامل سبب کاهش طول آنتن و افزایش ایستگاه رادیویی در منطقه می‌شود.

صحیح ☐ غلط ☐

تشریحی

۲ــ مزایای استفاده از سیگنال RF را به عنوان حامل بیان کنید.

۳ــ شکل موج سیگنال پیام سینوسی و حامل را ترسیم و با هم مقایسه کنید.

۴ــ به چه دلیل باید فرکانس حامل را زیاد انتخاب کرد؟

محاسباتی :

۵ــ در صورتی که فرکانس حامل برابر با ۱۲۰۰ کیلوهرتز باشد، طول آنتن $\frac{\lambda}{۴}$ را به‌دست آورید.

۶ ــ چند مثال دیگر برای محاسبه طول آنتن درمحدودهٔ باند فرکانس FM طراحی و حل کنید.

۹ـ۳ـ چگونگی عمل مدولاسیون (modulation)

مثالی را در مورد مسافرت انسان با استفاده از روش‌های مختلف بیان کردیم. این مثال فقط جهت درک بهتر مطلب عنوان شده بود. عمل مدولاسیون در مقایسه با مسافرت انسان عملی کاملاً متفاوت است. هنگامی که انسان در مبدأ سوار هواپیما می‌شود، در زمان سوار شدن هیچ تغییری در ماهیت او پدید نمی‌آید. در مقصد نیز بدون تغییر در ذات و ماهیت از هواپیما پیاده می‌شود. در صورتی که در مدولاسیون، همواره شکل سیگنال ارسالی با سیگنال حامل و پیام کاملاً متفاوت است؛ به عبارت دیگر، در هنگام انجام مدولاسیون یکی از مشخصه‌های سیگنال حامل متناسب با پیام تغییر می‌کند.

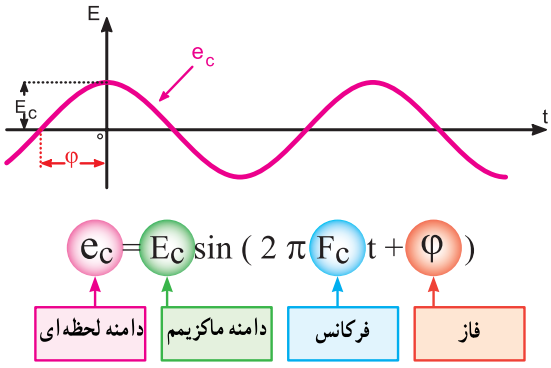
۱ـ۹ـ۳ـ مشخصه‌های سیگنال حامل : سیگنال حامل معمولاً به دو صورت مربعی یا سینوسی تولید می‌شود. در فرستنده‌های محلی معمولاً از سیگنال سینوسی به عنوان حامل استفاده می‌کنند. بنابراین بحث ما بیشتر دربارهٔ حامل سینوسی خواهد بود. می‌دانیم که هر سیگنال سینوسی دارای سه مشخصه اصلی به شرح زیر است :

۱ــ دامنه Amplitude

۲ــ فرکانس Frequency

۳ــ فاز Phase

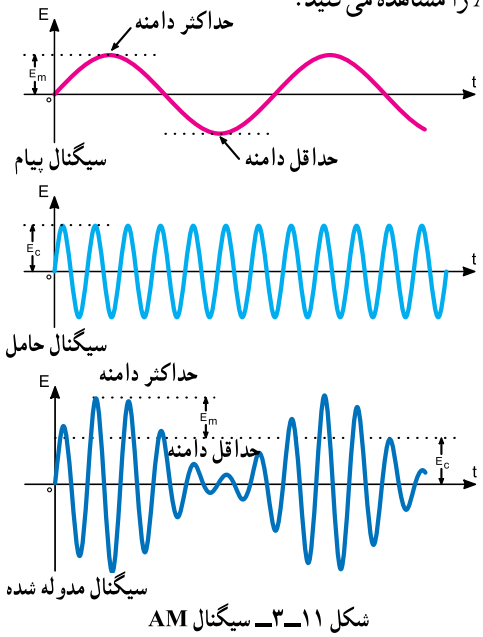
در شکل ۱۰ــ۳ سیگنال حامل را با ذکر معادله موج و مشخصه‌های اصلی آن مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۰ــ۳ــ مشخصه‌های اصلی سیگنال حامل و معادلهٔ موج

۲ـ ۹ـ۳ـ تعریف مدولاسیون: مدولاسیون عبارت است از کنترل یکی از مشخصه‌های اصلی حامل توسط پیام، به‌طوری که گیرنده بتواند اطلاعات ارسال شده، از قبیل صوت، موسیقی و... را مجدداً بازسازی کند. چون سیگنال حامل یک سیگنال سینوسی با فرکانس بالا است، بنابراین می‌توان سه مشخصهٔ دامنه، فاز و فرکانس را با سیگنال پیام، تحت کنترل درآورد و در صورت نیاز آن را بازسازی کرد. بنابراین سه نوع مدولاسیون دامنه، فاز و فرکانس شکل می‌گیرد.

۳ـ ۹ـ۳ـ مدولاسیون دامنه: در مدولاسیون دامنه (Amplitude Modulation)، فرکانس موج حامل (کاریر) ثابت است و دامنهٔ حامل متناسب با دامنه پیام (موج مدوله کننده) تغییر می‌کند. سرعت تکرار تغییرات دامنه حامل متناسب با فرکانس پیام خواهد بود. مدولاسیون دامنه را به اختصار به صورت AM می‌نویسند. در شکل ۱۱ــ۳ سیگنال پیام سینوسی، سیگنال حامل سینوسی و سیگنال مدوله شده AM را مشاهده می‌کنید.



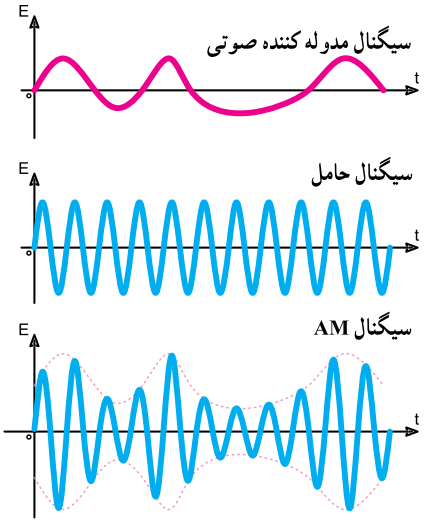
شکل ۱۱ــ۳ــ سیگنال AM

آزمایشگاه مجازی

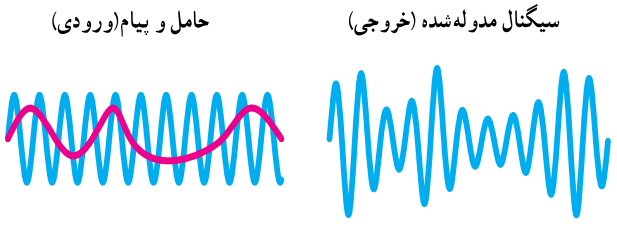
مربی محترم

توصیه می‌شود، به منظور تسهیل در آموزش و سرعت دادن به فرآیند یاددهی و یادگیری، با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نوع نرم‌افزار مشابه دیگر، مدولاسیون AM را شبیه‌سازی کنید و آن را به هنرجویان نشان دهید.

در شکل‌های ۱۲ــ۳ و ۱۳ــ۳ دو نوع پیام غیرسینوسی و حامل سینوسی و موج مدوله شده AM مربوط به آنها را مشاهده می‌کنید.

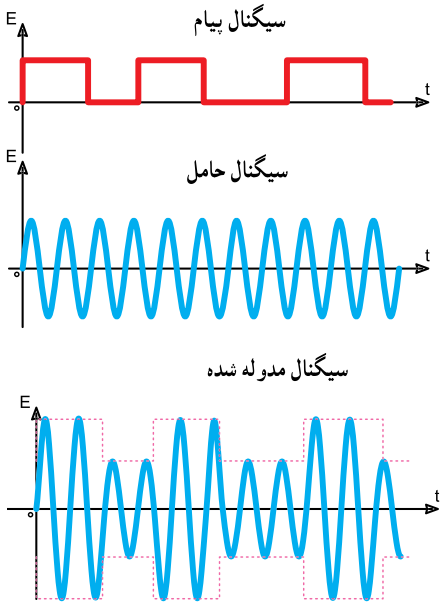


شکل ۱۲ــ۳ــ مدولاسیون AM با سیگنال غیرسینوسی

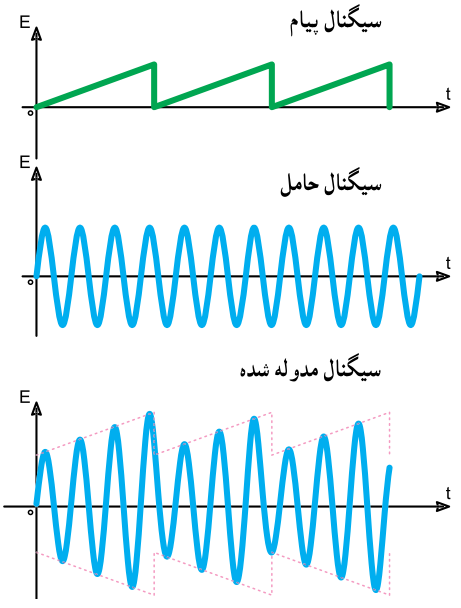


شکل ۱۳ــ۳ــ مقایسهٔ ترکیب پیام و حامل در مدولاسیون AM با سیگنال غیرسینوسی

در شکل‌های ۱۴ــ۳ و ۱۵ــ۳ پیام‌های مربعی و دندانه اره‌ای که به صورت AM روی حامل سینوسی مدوله شده‌اند نشان داده شده است.



شکل ۱۴ــ۳ــ مدولاسیون AM با سیگنال مربعی



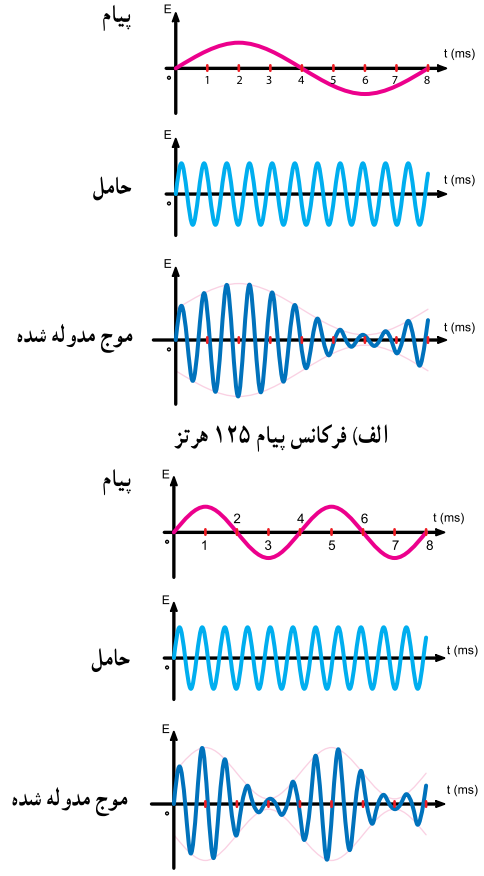
شکل ۱۵ــ۳ــ مدولاسیون AM با سیگنال دندانه ارّه‌ای

شکل‌های ۱۶ــ۳ــ الف و ب، نشان می‌دهد که سرعت تغییرات دامنهٔ حامل به فرکانس پیام بستگی دارد.

شکل (الف) موج پیام را با پریود ۸ میلی ثانیه (فرکانس

۱۲۵ هرتز) نشان می‌دهد که روی حامل سینوسی به صورت AM مدوله شده است.

شکل (ب) پیام را با پریود ۴ میلی‌ثانیه (فرکانس ۲۵۰ هرتز) نشان می‌دهد که روی حامل سینوسی به صورت AM مدوله شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سرعت تغییرات دامنهٔ موج حامل در شکل ۱۶ــ۳ ــ ب، دو برابر سرعت تغییرات دامنهٔ موج حامل در شکل ۱۶ــ۳ ــ الف، است.



الف) فرکانس پیام ۱۲۵ هرتز

ب) فرکانس پیام ۲۵۰ هرتز

شکل ۱۶ــ۳ــ تأثیر فرکانس پیام روی موج مدوله شده AM

آزمایشگاه مجازی
مربی محترم

توصیه می‌شود، با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم یا سایر نرم‌افزارهای مرتبط انواع مدولاسیون را با استفاده از شکل موج‌های مختلف شبیه‌سازی کنید و به هنرجویان نشان دهید.

۱۰ــ۳ــ معادله موج AM

اگر پیام و حامل را به صورت موج سینوسی درنظر بگیریم معادلهٔ پیام و حامل به صورت معادلهٔ ۱ــ۳ و ۲ــ۳ است.

$$e_m=E_m \sin\omega_m t \quad (\text{پیام}) \qquad ۳ــ۱$$

$$e_c=E_c \sin\omega_c t \quad (\text{حامل}) \qquad ۳ــ۲$$

توجه داشته باشید که زاویهٔ فاز در هر دو معادله حذف شده است، زیرا مقدار فاز در اثر مدولاسیون دامنه، تغییر نمی‌کند، لذا با حذف آن از پیچیدگی معادله کاسته شده است.

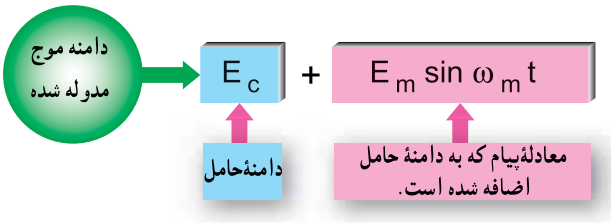
برای به‌دست آوردن معادلهٔ موج مدوله شده AM باید معادلهٔ پیام روی دامنهٔ حامل اثر بگذارد. لذا در معادلهٔ موج حامل که به صورت $e_c=E_c \sin\omega_c t$ است معادلهٔ پیام فقط با E_C جمع می‌شود و دامنهٔ حامل جدیدی را به صورت

$E'_C=E_C+E_m \sin\omega_m t$ ایجاد می‌کند (شکل ۱۷ــ۳).

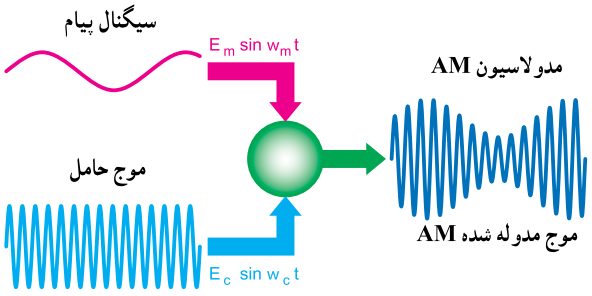
لذا معادله موج مدوله شده به‌صورت معادله ۳ــ۳ درمی‌آید.

$$e_{mod}=(E_c+E_m \sin\omega_m t).\sin\omega_c t \qquad ۳ــ۳$$

در شکل ۱۸ــ۳ سیگنال پیام و سیگنال حامل و موج مدوله شده را مشاهده می‌کنید.



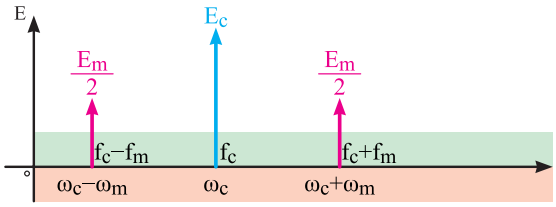
شکل ۱۷ــ۳ــ بلوک دیاگرام حاصل‌جمع دامنهٔ موج حامل با پیام



شکل ۱۸ــ۳ــ سیگنال‌های پیام، حامل و موج مدوله شده

معادله هر یک از سیگنال‌ها در مقابل آنها نوشته شده است.
مشاهده می‌شود دامنهٔ سیگنال حامل دقیقاً با پیام تغییر کرده است :

در صورت حل معادله ۳ــ۳ به این نتیجه می‌رسیم که طیف موج مدوله شده AM با سیگنال سینوسی خالص شامل فرکانس‌های حامل، مجموع فرکانس حامل و پیام و تفاضل آن دو است. لذا طیف فرکانس موج AM با پیام سینوسی خالص به صورت شکل ۱۹ــ۳ خواهد بود. با استفاده از دستگاه طیف‌نما می‌توانید این طیف فرکانسی را مشاهده کنید.



شکل ۱۹ــ۳ــ طیف موج مدوله شده AM

فرکانس مجموع حامل و پیام (فرکانس کناری بالا) $f_c + f_m$

فرکانس تفاضل حامل و پیام (فرکانس کناری پایین) $f_c - f_m$

برای مطالعه

$$e_{mod}=(E_c+E_m \sin\omega_m t).\sin\omega_c t \qquad ۳ــ۴$$

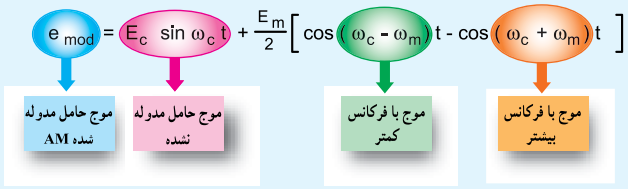
$$e_{mod}=E_c \sin\omega_c t+E_m \sin\omega_m t \sin\omega_c t$$

با توجه به رابطه مثلثاتی

$$\sin x.\sin y=\frac{۱}{۲}[\cos(x-y)-\cos(x+y)]$$

می‌توان معادلهٔ موج مدوله‌شده را به صورت زیر نشان داد :

$$e_{mod}=E_c \sin\omega_c t+\frac{E_m}{۲}[\cos(\omega_c-\omega_m)t-\cos(\omega_c+\omega_m)t] \qquad ۳ــ۵$$



مشاهده می‌شود معادلهٔ موج مدوله‌شده AM شامل سه قسمت است.

الف) موج حامل مدوله‌نشده ب) یک موج با فرکانس کمتر برابر $\omega_C-\omega_m$

ج) یک موج با فرکانس بیشتر برابر $\omega_c+\omega_m$

به این فرکانس‌ها، فرکانس‌های جانبی بالا و پایین گویند.