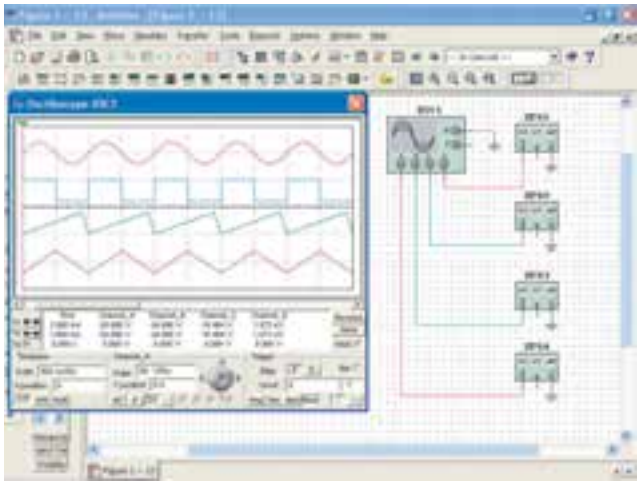
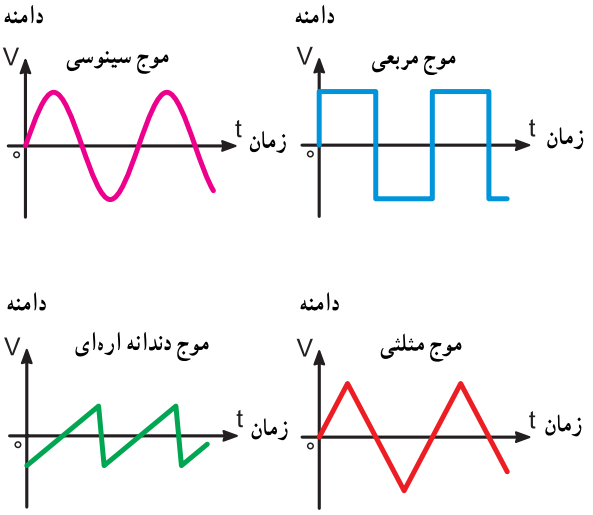




ب) مشاهدهٔ شکل موج‌ها با استفاده از نرم‌افزار

الف) ترسیمی

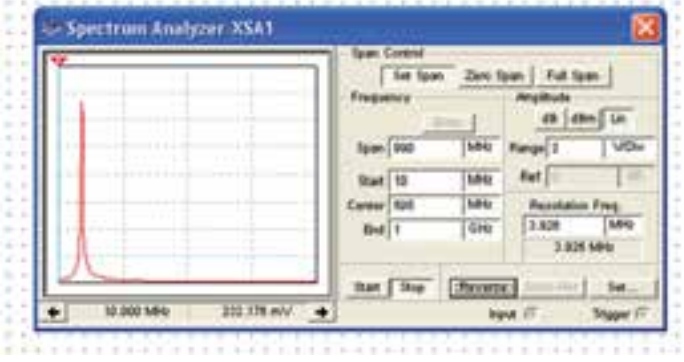
شکل ۱۲ــ۱ــ نمایش امواج متناوب در حوزهٔ زمان

در این قسمت توصیه می‌شود شکل موج‌ها به صورت نرم‌افزاری (با استفاده از نرم‌افزار multisim یا سایر نرم‌افزارها) توسط معلم روی صفحهٔ اسیلوسکوپ نشان داده شود و از هنرجویان خواسته شود این شکل موج‌ها را به صورت نرم‌افزاری خارج از محیط هنرستان تمرین کنند. نحوهٔ استفاده از نرم‌افزار در جلد اول و دوم آزمایشگاه مجازی آمده است.

۵ـ۱ـ دستگاه طیف‌نما (Spectrum Analizer)

دستگاه طیف‌نما وسیله‌ای است که توسط آن می‌توان طیف فرکانسی یا مجموعه‌ای از فرکانس‌ها را مشاهده و اندازه‌گیری کرد.

در شکل ۱۳ــ۱ــ الف، تصویر ظاهری و در شکل ۱۳ــ۱ــ ب، تصویر نرم‌افزاری یک دستگاه طیف‌نما را ملاحظه می‌کنید.

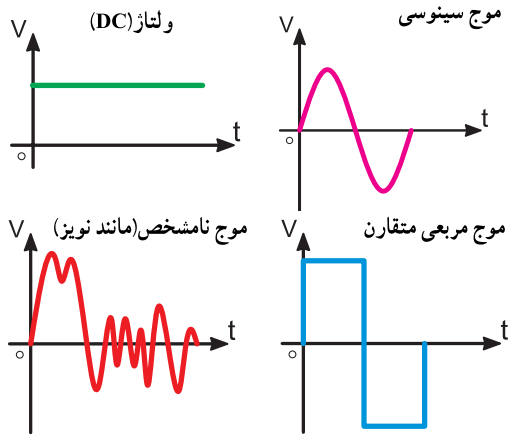


ب) تصویر یک دستگاه طیف‌نما در نرم‌افزار مولتی‌سیم

الف) تصویر یک دستگاه طیف‌نمای واقعی

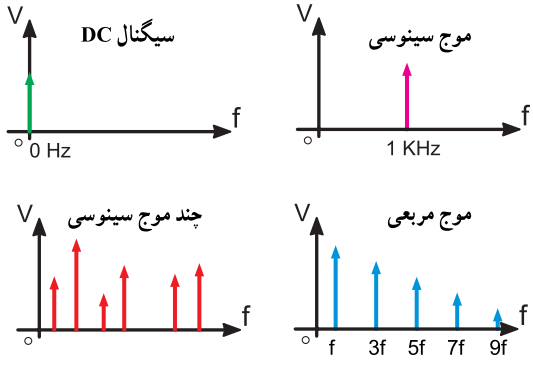
شکل۱۳ــ۱ــ تصویر واقعی و نرم‌افزاری دستگاه طیف‌نما

۱ـ۵ـ۱ـ سیگنال حوزهٔ زمان : امواجی را که تاکنون بررسی کرده‌ایم در حوزهٔ زمان بوده است به عبارت دیگر در حوزه زمان، تغییرات دامنهٔ موج را برحسب زمان نشان می‌دهیم. در حوزهٔ زمان محور افقی برحسب زمان و محور قائم بر حسب دامنه است در شکل ۱۴ــ۱ چند موج را در حوزهٔ زمان نشان داده‌ایم.



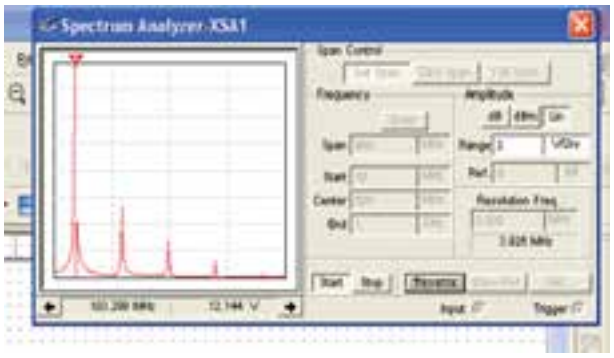
شکل ۱۴ــ۱ــ امواج در حوزهٔ زمان

۲ـ۵ـ۱ـ سیگنال حوزهٔ فرکانس : در صورتی که بخواهیم چند سیگنال سینوسی را روی یک دستگاه محورهای مختصات نشان دهیم، از حوزهٔ فرکانس استفاده می‌کنیم. در حوزهٔ فرکانس محور افقی برحسب فرکانس و محور عمودی برحسب دامنه درجه‌بندی می‌شود. در شکل ۱۵ــ۱ چهار سیگنال متفاوت را در حوزهٔ فرکانس، نشان داده‌ایم. ارتفاع هر خط قائم نشان‌دهندهٔ دامنهٔ سیگنال و تقاطع هر خط قائم با محور افقی، فرکانس آن را نشان می‌دهد. هر خط قائم را یک مؤلفه می‌نامند. مجموعهٔ فرکانس‌های نشان داده شده روی یک محور مختصات را، در حوزهٔ فرکانس، اصطلاحاً طیف فرکانسی می‌گویند.



شکل ۱۵ــ۱ــ حوزهٔ فرکانس

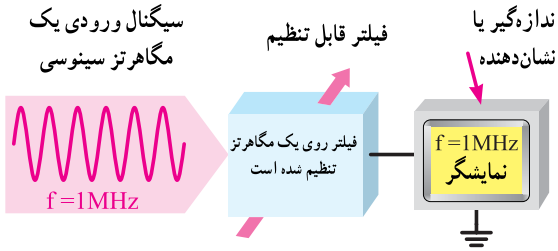
طیف فرکانسی در دستگاه طیف‌نما قابل نمایش است. شکل ۱۶ــ۱ نمایش یک نمونه طیف فرکانسی را در دستگاه طیف‌نمای موجود در نرم‌افزار مولتی‌سیم نشان می‌دهد.



شکل ۱۶ــ۱ــ نمایش طیف فرکانسی در نرم‌افزار مولتی‌سیم

۳ـ۵ـ۱ـ اصول کار طیف‌نما: هر موج غیرسینوسی از تعدادی موج سینوسی تشکیل می‌شود که آنها را هارمونیک (Harmonic) آن موج می‌نامند.

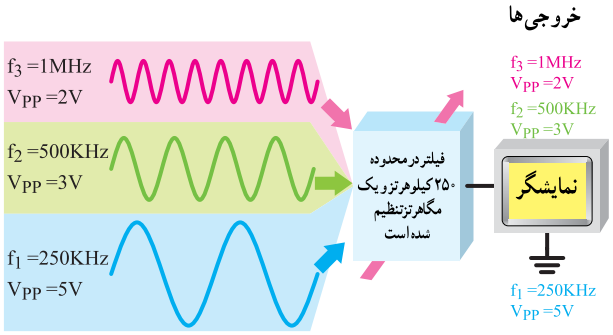
از دستگاه طیف‌نما جهت مشاهدهٔ هارمونیک‌های خروجی فرستنده‌ها و اکوآلایزر های (equalizers) صوت می‌توان استفاده کرد. در شکل ۱۷ــ۱ اصول کار دستگاه طیف‌نما را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۷ــ۱ــ اصول کار دستگاه طیف‌نما

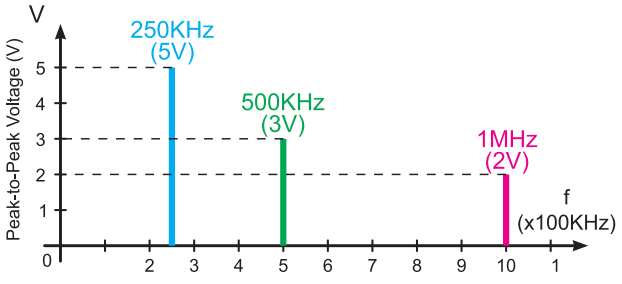
همان‌طور که مشاهده می‌شود در داخل دستگاه طیف‌نما یک فیلتر وجود دارد. فیلتر مداری است که می‌تواند یک یا چند فرکانس را از میان سایر فرکانس‌ها انتخاب کند. دربارهٔ فیلترها بعداً بیشتر بحث خواهیم کرد. در خروجی دستگاه طیف‌نما یک دستگاه اندازه‌گیری (نمایشگر) وجود دارد که کمیت موردنظر را اندازه‌گیری کرده و نشان می‌دهد.

فیلتر دستگاه طیف‌نما را می‌توان طوری تنظیم کرد که چند سیگنال سینوسی خالص را از یکدیگر جدا کند و به‌صورت مؤلفه‌هایی از فرکانس، روی صفحه نمایش دهد. مثلاً اگر هارمونیک‌های مربوط به یک موج غیرسینوسی شامل هارمونیک اصلی ۲۵۰KHz و دو هارمونیک دیگر طبق شکل ۱۸ــ۱ به ورودی دستگاه متصل شود، در صورتی که فیلترهای دستگاه طیف‌نما، بین (۲۵۰ کیلوهرتز) و ۱ مگاهرتز تنظیم شده باشد، دستگاه هرسه کمیّت را، طبق شکل ۱۹ــ۱، روی صفحه نشان می‌دهد.



شکل ۱۸ــ۱ــ نمایش سه موج سینوسی روی دستگاه طیف‌نما

برای نمایش سیگنال‌های خروجی شکل ۱۸ــ۱ روی یک دستگاه محورهای مختصات، لازم است آنها را در حوزهٔ فرکانس نمایش دهیم. در دستگاه طیف‌نما، این عمل به‌طور اتوماتیک توسط مدارهای الکترونیکی انجام می‌شود. خواندن مقادیر، از روی دستگاه طیف‌نما، مشابهت زیادی با خواندن مقادیر فرکانس و ولتاژ از روی صفحهٔ اسیلوسکوپ دارد. دستگاه طیف‌نما، مقادیر ولتاژ و فرکانس را در حوزهٔ فرکانس نشان می‌دهد.



شکل ۱۹ــ۱ــ نمایش چند موج سینوسی روی دستگاه طیف‌نما

در صورتی که سیگنال‌های ورودی باهم اختلاف فاز داشته باشند، دستگاه طیف‌نما فقط یک مؤلفه را نشان می‌دهد و زاویه فاز به‌نحوی روی آن یا در محلی دیگر روی صفحهٔ نمایش مشخص می‌شود.

مبنای سنجش اختلاف فاز در دفترچهٔ راهنمای استفاده از دستگاه بیان می‌شود.

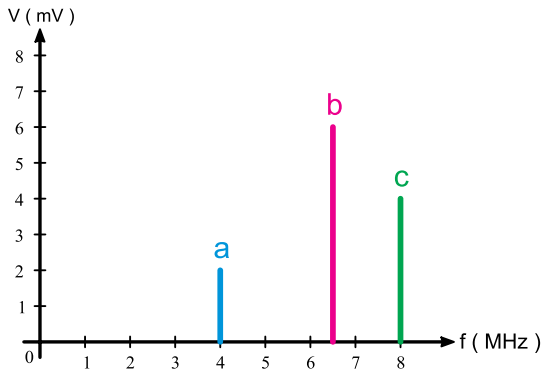
مثال ۱ـ۱

یک دستگاه طیف‌نما اطلاعات در شکل ۲۰ــ۱ را به ما می‌دهد، تعیین کنید :

الف) تعداد سیگنال‌های سینوسی و مقادیر فرکانس.

ب) کدام سیگنال سینوسی دارای بیشترین دامنه است؟

پ) کدام سیگنال سینوسی دارای کمترین دامنه است؟



شکل ۲۰ــ۱ــ طیف موج

پاسخ

الف) سیگنال سینوسی با فرکانس‌های ۴ مگاهرتز، ۶/۵ مگاهرتز و ۸ مگاهرتز.

ب) موج سینوسی ۶/۵ مگاهرتز دامنه‌ای برابر با ۶ میلی‌ولت دارد که بیشترین دامنه است.

پ) موج سینوسی ۴ مگاهرتزی دارای دامنه‌ای برابر با دو میلی ولت است که کمترین دامنه است.

۶ـ۱ـ الگوی پرسش

کامل‌کردنی

۱ــ در حوزهٔ زمان محور افقی برحسب ..... و محور عمودی برحسب ..... است.

چهارگزینه‌ای

۲ــ کدام گزینه در مورد حوزهٔ فرکانس صحیح است؟

۱) محور افقی برحسب زمان ـ محور عمودی برحسب ولتاژ

۲) محور افقی برحسب ولتاژ ـ محور عمودی برحسب فرکانس

۳) محور افقی و عمودی برحسب فرکانس

۴) محور افقی برحسب فرکانس ـ محور عمودی برحسب ولتاژ

تشریحی

۳ــ کاربرد دستگاه طیف‌نما را شرح دهید.

۴ــ اصول کار دستگاه طیف‌نما را با رسم شکل به اختصار بنویسید.

۵ــ نمودارهای روی دستگاه طیف‌نما، چه پارامترهایی را نشان می‌دهد؟

۶ــ ترسیم امواج در حوزهٔ فرکانس را با رسم شکل توضیح دهید.

۷ــ طیف فرکانسی را با توجه به حوزهٔ فرکانس تعریف کنید.

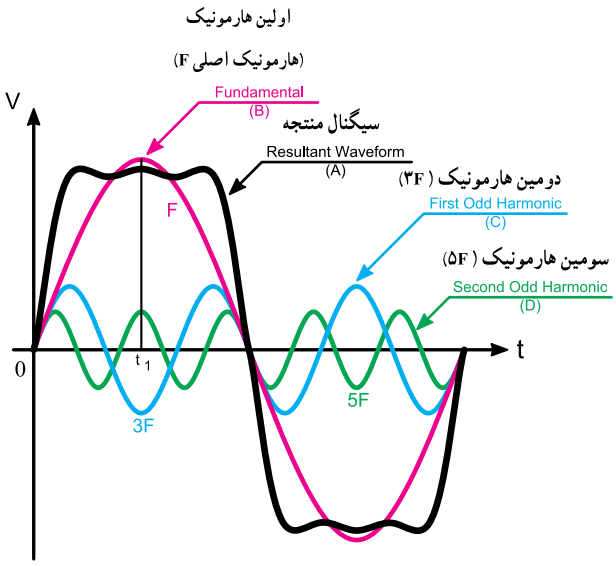
۷ـ۱ـ نمایش موج مربعی روی دستگاه طیف‌نما

در صورتی که یک موج مربعی با فرکانس یک مگاهرتز به ورودی دستگاه تزریق کنیم، تعدادی مؤلفه سیگنال سینوسی، روی صفحهٔ دستگاه ظاهر می‌شود. فرکانس این امواج، به ترتیب برابر F_A، $3F_A$ ، $5F_A$ و $7F_A$ خواهد شد. به عبارت دیگر اگر F_A برابر با ۱MHz باشد، هارمونیک‌ها به ترتیب برابر با ۱ مگاهرتز، ۳ مگاهرتز، ۵ مگاهرتز، ۷مگاهرتز و ... است. این فرکانس‌ها مضرب فردی از فرکانس اصلی‌اند. مضرب‌های فرد و زوج از فرکانس اصلی را در اصطلاح هارمونیک (Harmonic) می‌نامند. چون در موج مربعی هارمونیک‌ها مضرب‌های فردی از فرکانس اصلی هستند آنها را «هارمونیک فرد» می‌گویند. هر موج مربعی خالص، از بی‌نهایت هارمونیک فرد تشکیل شده است. از جمع لحظه‌ای دامنه‌های هارمونیک‌ها، سیگنال اصلی به‌دست می‌آید. در شکل ۱۹ــ۱ موج مربعی با سه هارمونیک آن نشان داده شده است. در لحظهٔ t_1 دامنهٔ سیگنال A از جمع لحظه‌ای دامنهٔ سیگنال‌های B و C و D به دست آمده است.

$$\text{دامنه } A_{(t_1)} = B_{(t_1)} + C_{(t_1)} + D_{(t_1)}$$

چون دامنهٔ C منفی است، لذا در رابطهٔ بالا مقدار C را منفی درنظر می‌گیریم.

همان‌طورکه مشاهده می‌شود به علت کافی نبودن تعداد هارمونیک‌ها، موج مربعی به دست آمده دارای اعوجاج است. اثبات شده است که دامنهٔ هارمونیک‌ها با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد.[۱]



شکل ۲۱ــ۱ــ موج مربعی و هارمونیک‌های فرد آن

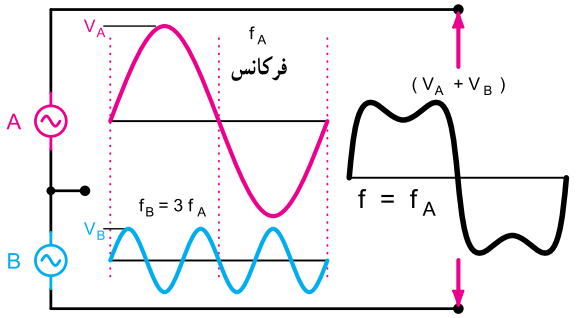
نکتهٔ مهم

در این قسمت توصیه می‌شود هنرآموز محترم این درس با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف، مفهوم هارمونیک را بدون وارد شدن به مبحث تئوری به هنرجویان آموزش دهد و آنان را به استفاده از نرم افزارهای مرتبط تشویق نماید. در شکل ۲۲ــ۱ یک نمونه کاربرد نرم‌افزار مولتی‌سیم، مرتبط با این موضوع، آمده است.

۱ــ این مطلب از طریق بسط فوریه در مقاطع تحصیلی بالاتر تدریس می‌شود.

با توجه به توضیحات یاد شده، درمی‌یابیم که هر موج غیرسینوسی از ترکیب تعدادی موج سینوسی به‌وجود می‌آید. این امواج، توسط دستگاه طیف‌نما، از یکدیگر قابل تفکیک است. هرقدر شمارهٔ هارمونیک افزایش می‌یابد، مقدار دامنه آن کم می‌شود.

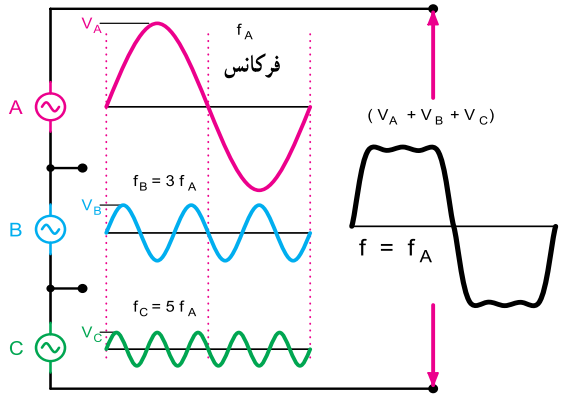
در شکل ۲۲ــ۱ ترکیبی از موج سینوسی، هارمونیک اول و هارمونیک سوم نشان داده شده است.



شکل ۲۲ــ۱ــ هارمونیک اول و سوم و مجموع آنها

در شکل ۲۳ــ۱ ترکیبی از هارمونیک اول، سوم و پنجم را مشاهده می‌کنید که به شکل موج مربعی نزدیک‌تر است.

هر قدر تعداد هارمونیک‌ها بیشتر شوند به موج مربعی اصلی نزدیک‌تر خواهیم شد.



شکل ۲۳ــ۱ــ هارمونیک اول، سوم و پنجم و مجموع آنها

۸ـ۱ـ الگوی پرسش

تشریحی

۱ــ هارمونیک را تعریف کنید.

۲ــ موج مربعی متقارن دارای چه هارمونیک‌هایی است؟

صحیح یا غلط

۳ــ یک موج مربعی متقارن از بی‌نهایت هارمونیک فرد و زوج تشکیل شده است. صحیح ☐ غلط ☐

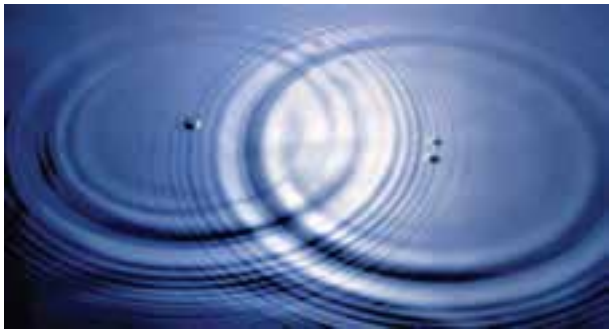
ترکیب هارمونیک‌ها و به دست آوردن موج مربعی با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم امکان‌پذیر است؛ در صورت تمایل می‌توانید آن را تجربه کنید. توجه داشته باشید که دامنهٔ هارمونیک‌ها نسبت معینی با دامنهٔ موج اصلی دارد.

تمرین برای هنرجویان علاقه‌مند

با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم، طیف فرکانسی انواع دیگر شکل موج‌ها مانند مثلثی، دندانه اره‌ای، مربعی نامتقارن و ... را به‌دست آورید.

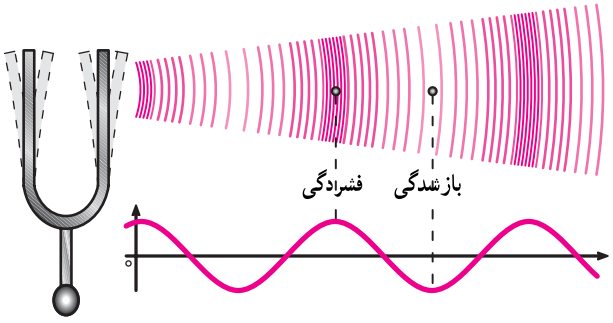
۹ـ۱ـ طیف فرکانسی صوت

۱ـ۹ـ۱ـ موج: همهٔ ما موج را می‌شناسیم. اگر سنگی را در آب حوض بیندازیم، دایره‌هایی در سطح آب پیدا می‌شود که لحظه به لحظه بزرگ‌تر می‌شود. در این‌جا موجی داریم که در سطح آب منتشر می‌شود. این موج در حقیقت اختلالی است که در سطح آب ایجاد کرده‌ایم. هرگونه اختلالی که در یک محیط منتشر می‌شود موج نام دارد. امواج می‌توانند انرژی را از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل کنند (شکل ۲۴ــ۱).



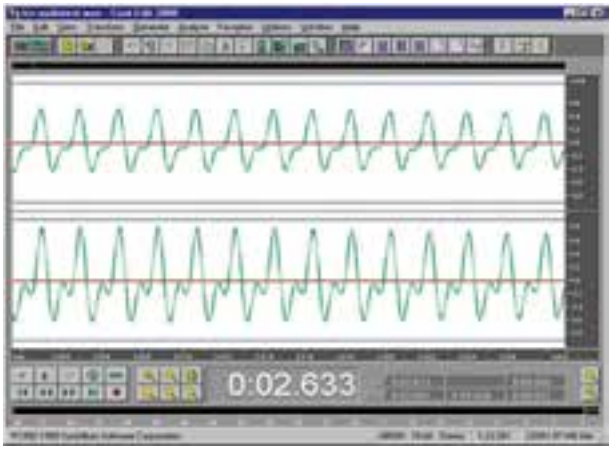
شکل ۲۴ــ۱ــ موج آب

۲ـ۹ـ۱ـ صوت چیست ؟ صوت مجموعه‌ای از ارتعاشات مکانیکی است. وقتی به یک صفحهٔ فلزی ضربه می‌زنیم مرتعش می‌شود. این ضربه لایه‌های هوا (مولکول‌های هوا) را به ارتعاش درمی‌آورد. ارتعاشات هوا به صورت موج منتشر می‌شود و به گوش ما می‌رسد. پردهٔ گوش ما ارتعاش پیدا می‌کند و مجموعهٔ دستگاه شنوایی ما از آن متأثر می‌شود و احساس شنیدن به ما دست می‌دهد. شکل ۲۵ــ۱ نحوهٔ انتشار صوت منتشر شده از یک دیاپازون[1] را در هوا نشان می‌دهد. ارتعاشات تولید شده توسط دیاپازون را که یک سیگنال سینوسی خالص است تُن[2] صوتی می‌نامند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هنگامی که دامنهٔ صوت بیشترین مقدار مثبت را دارد فرض می‌کنیم در مولکول‌های هوا بیشترین فشردگی (تراکم) و هنگامی که دامنهٔ صوت در قلهٔ منفی قرار دارد در مولکول‌های هوا کمترین فشردگی (انبساط) ایجاد شود (شکل ۲۵ــ۱).



شکل ۲۵ــ۱ــ ارتعاش تُن صوتی توسط دیاپازون

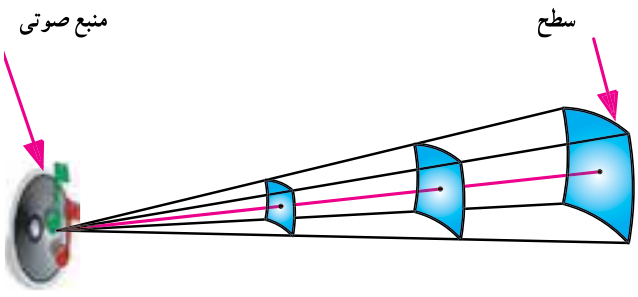
۳ـ۹ـ۱ ـ بلندی صوت : اگر به یک ظرف فلزی یا یک تار ضربه‌ای وارد کنیم و آن را به ارتعاش درآوریم، پس از مدتی احساس می‌کنیم که صوت ضعیف می‌شود. شدت و ضعف دامنهٔ صوت را که توسط حس شنوایی تشخیص داده می‌شود، بلندی صوت می‌نامند. در صورتی که صوت یک تُن سینوسی ساده باشد، دامنهٔ سیگنال صوتی را بلندی صوت می‌نامند. هر قدر مقدار این دامنه بیشتر باشد، صدا بلندتر است (شکل ۲۶ــ۱).



شکل ۲۶ــ۱ــ بلندی صوت

۴ـ۹ـ ۱ ـ انرژی صوت: همهٔ امواج از جمله امواج صوتی انرژی را از یک نقطه به نقطهٔ دیگر منتقل می‌کنند. اگر فرکانس و دامنهٔ موج صوتی دارای مقدار معینی باشد، انرژی آن نیز، مقدار مشخصی خواهد بود. مقدار انرژی به فرکانس منبع و ویژگی‌های محیطی که صوت در آن منتشر می‌شود بستگی دارد. در صورتی که افت انرژی در محیط صفر باشد، اندازهٔ انرژی موج، با مقدار کاری که منبع انجام داده، برابر است. مقدار انرژی صوتی در واحد زمان را توان صوتی می‌نامند. مقدار انرژی صوتی و توان صوتی با انرژی و توان مکانیکی قابل مقایسه است.

۵ـ۹ـ۱ ـ شدت صوت: مقدار توان صوتی در واحد سطح را شدت صوت می‌گویند. شدت صوت برحسب میکروواوات بر متر مربع یا وات بر سانتی‌متر مربع سنجیده می‌شود. شکل ۲۷ــ۱ و جدول ۴ــ۱ شدت صوت‌های مختلف را بیان می‌کند.



شکل ۲۷ــ۱ــ شدت صوت

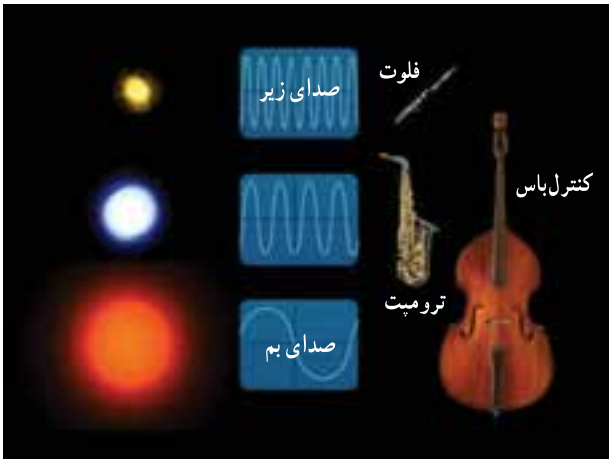
۱ــ دیاپازون یک وسیله U شکل است که با ضربه زدن به آن فرکانس‌های مختلف تولید می‌شود.

۲ــ Audio Tone یک موج سینوسی خالص است که آن را تُن صوتی می‌نامند.

جدول ۴ــ۱ــ شدت صوت‌های مختلف

وضعیت	شدت ($\mu w/m^2$)
آستانهٔ شنوایی (مبنای سنجش صوت)	10^{-6}
صدای نفس کشیدن	10^{-5}
آستانهٔ دردناکی شنوایی (موجب آزار گوش است)	10^{+6}
موتور جت (در لحظه بلند شدن هواپیما)	10^{+8}

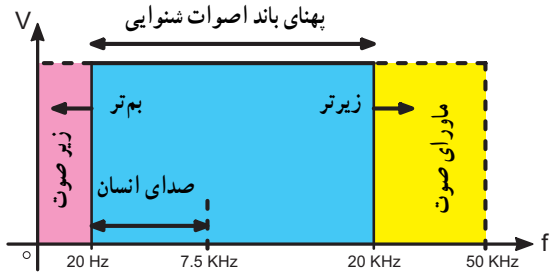
۶ـ۹ـ۱ـ ارتفاع یا آهنگ صوت: گوش انسان می‌تواند صداهای ساده‌ای را که با یک شدت احساس می‌شوند، از یکدیگر تمیز دهد. تفکیک صداها با استفاده از اصطلاحات زیر و بم صورت می‌گیرد. عاملی که زیر و بم صوت را تعیین می‌کند، ارتفاع صوت نامیده می‌شود. ارتفاع صوت بستگی به فرکانس صوت دارد. هر قدر فرکانس صوت بیشتر باشد صدا زیرتر و هر قدر فرکانس صوت کمتر باشد صدا بم‌تر است. مثلاً صدای طبل «بم» و صدای سنج «زیر» است (شکل ۲۸ــ۱).



شکل ۲۸ــ۱ــ صداهای زیر و بم و مقایسهٔ آن با نور

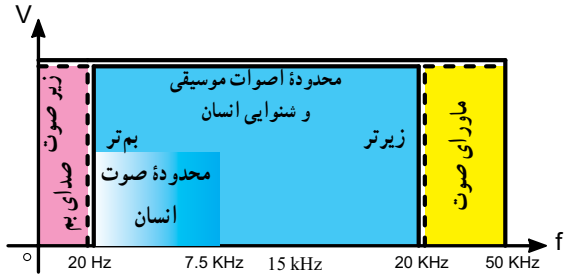
۷ـ۹ـ ۱ ـ طنین صوت: هرگاه دو تار مرتعش A و B را که طول یکسانی دارند با یک شدت به ارتعاش درآوریم، تُن صوتی یکسانی را تولید می‌کنند. در صورتی که این تارهای صوتی هر کدام به طور جداگانه روی یک ابزار موسیقی، مثلاً ویلن و تار نصب شود به طوری که شرایط هر دو از نظر کشش و طول یکسان باشد، با ارتعاش هر یک از تارها صدای متفاوتی تولید می‌شود. این تفاوت مربوط به عاملی به نام طنین صوت است. صوت حاصل از یک تار صوتی یا یک دیاپازون دارای ویژگی طنین نیستند. طنین صوت زمانی به وجود می‌آید که فرکانس اصلی با هارمونیک‌های آن ترکیب شود. اصوات انسان‌ها دارای طنین‌های متفاوت‌اند، چرا که از ترکیب یک فرکانس اصلی و تعدادی هارمونیک به وجود می‌آید. محدودهٔ فرکانس‌های قابل تولید توسط حنجرهٔ انسان در فاصله ۲۰ هرتز تا حداکثر ۷/۵ کیلوهرتز است. ابزار موسیقی می‌توانند فرکانس‌هایی در محدودهٔ ۳۰ هرتز تا ۱۵ کیلوهرتز تولید کنند. محدودهٔ فرکانس‌های شنوایی انسان در فاصلهٔ ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز قرار دارد. محدودهٔ فرکانس‌های صوتی تولیدی و شنوایی در حیوان‌های مختلف فرق می‌کند؛ مثلاً دلفین می‌تواند فرکانس ۱۵۰ هرتز تا ۱۵۰ کیلوهرتز را بشنود و فرکانس ۷ کیلوهرتز تا ۱۲۰ کیلوهرتز را تولید کند. به همین دلیل حیوانات می‌توانند ارتعاشات قبل از وقوع زلزله را احساس و اعلام خطر کنند.

۸ ـ۹ـ۱ـ محدودهٔ فرکانس صوتی و طیف آن: در صورتی که صدای انسان را، پس از تبدیل کردن به انرژی الکتریکی، به ورودی دستگاه طیف‌نما وصل کنیم طیف فرکانسی صوت روی صفحه ظاهر می‌شود و متناسب با ترکیب صوت، فرکانس‌های متفاوتی مشاهده می‌شود. به عنوان مثال چون صدای کودک، صدای فلوت و صدای ویلن زیر است از این‌رو در طیف فرکانسی آن، تعداد مؤلفه‌های فرکانس بالا، بیشتر است. در صورتی که در صداهای بم مانند صدای مردان، صدای طبل کنترباس تعداد مؤلفه‌های فرکانس بالا کمتر است. در شکل ۲۹ــ۱ محدودهٔ طیف فرکانسی صوتی، ماورای صوت و زیر صوت ترسیم شده است. فرکانس‌های بالاتر از محدودهٔ فرکانسی صوتی را فرکانس ماورای صوت و فرکانس‌های کمتر را فرکانس‌های مادون صوت یا زیر صوت می‌نامند.



شکل ۲۹ــ۱ــ محدودهٔ طیف فرکانسی صوت، زیر صوت و ماورای صوت

در شکل ۳۰ــ۱ محدودهٔ فرکانسی یا باند فرکانسی صوت انسان که در فاصلهٔ ۲۰ هرتز تا ۷/۵ کیلوهرتز قرار دارد و محدودهٔ فرکانسی اصوات شنوایی که در فاصلهٔ ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز قرار دارد ترسیم شده است. این محدودهٔ فرکانسی را پهنای باند نیز می‌گویند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، هر قدر فرکانس افزایش یابد صدا زیرتر و هر قدر فرکانس کاهش یابد صدا بم‌تر می‌شود. محدودهٔ فرکانس‌های شنوایی انسان برای افراد مختلف متفاوت است.

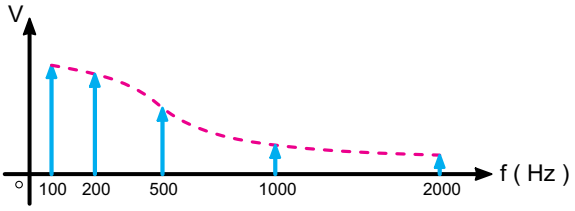


شکل ۳۰ــ۱ــ محدودهٔ فرکانسی صوت انسان

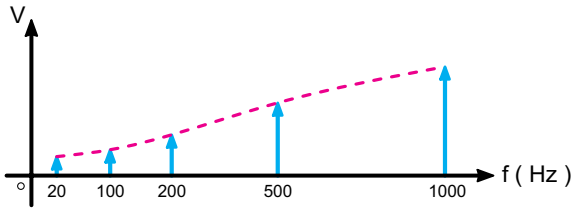
همان‌طور که قبلاً متذکر شدیم، با اضافه شدن هارمونیک‌ها به فرکانس اصلی، طنین صوت تغییر می‌کند.

تفکیک صدای افراد از طریق طنین آن امکان‌پذیر است. در شکل ۳۱ــ۱ــ الف، طیف فرکانسی صدای یک مرد (صدای بم)، در شکل ۳۱ــ۱ــ ب، طیف فرکانسی صدای یک زن یا یک کودک (صدای زیر) را، که توسط طیف‌نما نشان داده شده است، به عنوان یک نمونه ملاحظه می‌کنید.

با بررسی شکل ۳۱ــ۱ در می‌یابیم که در طیف فرکانسی صدای مرد، فرکانس‌های بالا وجود ندارد، یا اگر وجود داشته باشد دامنهٔ آن بسیار کم است. در صورتی که در طیف فرکانسی صدای کودک فرکانس‌های پایین وجود ندارد، یا در صورت موجود بودن، دامنهٔ آن بسیار پایین است. بنابراین هر قدر مقدار فرکانس افزایش یابد صدا زیرتر می‌شود.



الف ــ صدای مرد (بم)



ب ــ صدای زن یا کودک (زیر)

شکل ۳۱ــ۱ــ طیف فرکانسی صدای انسان

۱۰ـ۱ـ الگوی پرسش

۱ــ ماهیت صوت را شرح دهید.

۲ــ نحوهٔ انتشار صوت چگونه است؟

۳ــ تُن صوتی را شرح دهید.

۴ــ بلندی صوت، شدت صوت، ارتفاع صوت و طنین صوت را تعریف کنید.

۵ــ شدت صوت را با چه واحدی اندازه می‌گیرند؟

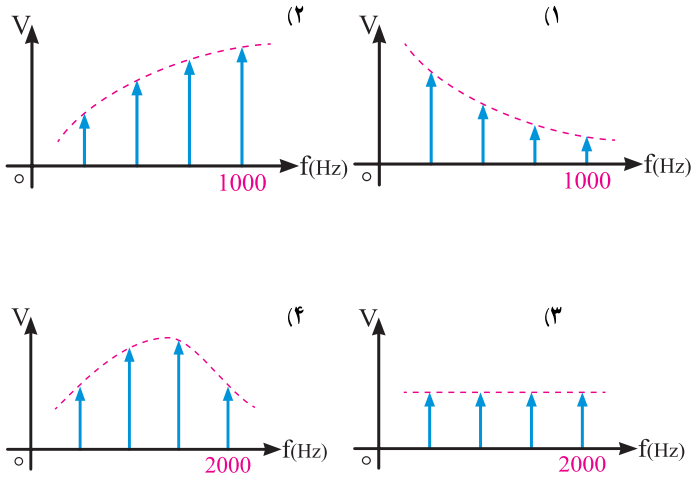
۶ــ صدای نفس کشیدن دارای شدتی برابر با چند میکروووات بر متر مربع است؟

۷ــ محدودهٔ فرکانسی گویش و شنوایی انسان چه‌قدر است؟

۸ــ انرژی و توان صوت را تعریف کنید.

۹ــ در مورد صوت موارد مرتبط با هم را از ستون الف به ستون ب با خطوط رنگی ارتباط دهید.

الف	ب
بلندی	توان
انرژی	فرکانس
آهنگ	هارمونیک
طنین	دامنه



شکل ۳۲ــ۱

چهارگزینه‌ای

۱۰ــ طیف فرکانسی صدای تولیدشده توسط کودک کدام است؟

در این قسمت با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط یا تجهیزات آزمایشگاهی امواج خروجی گیرندهٔ رادیو روی اسیلوسکوپ نمایش داده شود.

از «شرح حال دانشمندان» و مطالب مربوط به «دانش‌آموزان علاقه‌مند» آزمون به‌عمل نمی‌آید.