صداها و سیگنال‌ها

● بروس وجنی بارهت
مترجم: علی صفادل

در ضبط صدا حداقل دو نوع انرژی نامرئی دخالت دارند که به امواج صوتی و سیگنال‌های الکتریکی موسوم‌اند. برای مثال یک میکروفون صوت را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. درواقع سیگنال الکتریکی، تغییرات ولتاژ الکتریکی است که در اثر تغییرات دامنه صوت ایجاد می‌شود و به نوعی حامل اطلاعات صوتی (موسیقی، کلام) است.

این مقاله برخی ویژگی‌های صوت و سیگنال‌های الکتریکی حاصل از آن را به بررسی می‌نشیند تاااهمیت تنظیم صدا روشن شود و تأثیر آن در ضبط صدای مطلوب مشخص گردد.

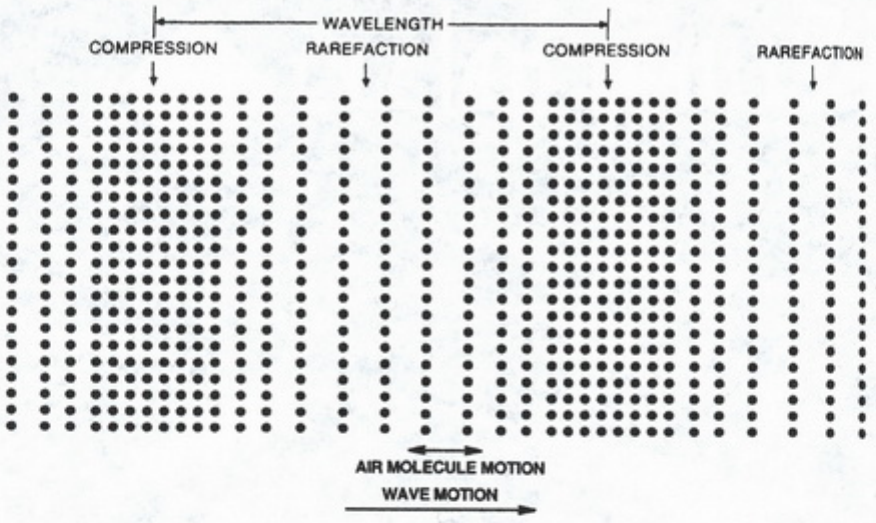
تولید امواج صوتی

اغلب ادوات موسیقی با لرزش خود مولکول‌های هوای پیرامون خود را به ارتعاش در می‌آورند واین ارتعاشات به صورت امواج صوتی در هوا منتشر می‌شوند.

هنگامی که این امواج به گوش برخورد می‌کنند به صورت صدا شنیده می‌شوند. برای بیان چگونگی تولید امواج صوتی مثالی می‌زنیم: فرض کنید دیافراگم یک بلندگو درحال ارتعاش است. هنگام حرکت دیافراگم به‌سمت بیرون، فشار آن بر مولکول‌های هوا باعث فشردگی (Compression) و کم شدن فاصله‌بین آنها می‌شود و هنگام حرکت دیافراگم به‌سمت داخل بلندگو، کشش آن باعث پراکندگی (Rarefaction) و ازدیاد فاصله بین مولکول‌های هوا می‌شود. همان‌طور که شکل (۱) نشان می‌دهد نواحی فشردگی، فشاری بالاتر از فشار اتمسفر و نواحی پراکندگی، فشاری پایین‌تر از فشار اتمسفر دارند.

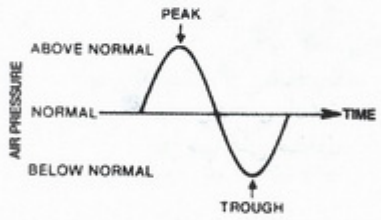
این کشاکش از مولکولی به مولکول دیگر منتقل می‌شود و هر مولکول با جابه‌جایی خود به حرکت‌امواج صوتی کمک می‌کند. امواج صوتی با سرعت ۳۳۰ متر در ثانیه از منبع خود دور می‌شوند. گوش ومیکروفون تغییرات فشار هوا و بالا و پایین رفتن آن را دریافت می‌کنند.

در شکل (۲) تغییرات فشار صوت در مدت یک سیکل از یک موج صوتی نشان



شکل (۱) یک موج صوتی

داده شده است،نقطه بالایی منحنی نقطه اوج (Peak) و نقطه پایینی نقطه قعر (Trough) نامیده می‌شود. خط افقی میانی منحنی نیز فشار طبیعی اتمسفر را نشان می‌دهد.



شکل (۲) منحنی تغییرات فشار صوت در طول زمان

مشخصات امواج صوتی

شکل (۳) سه موج را نشان می‌دهد. یک نوسان کامل که یک سیکل نامیده می‌شود از فشار طبیعی اتمسفر شروع می‌شود و تا نقطه اوج بالا می‌رود، سپس به نقطه قعر نزول می‌کند و دست آخر به فشارطبیعی برمی‌گردد. مدت زمان انجام یک سیکل را یک پریود می‌نامند.

دامنه

ارتفاع موج دامنه آن نامیده می‌شود. صداهای بلند دامنه‌های زیاد (تغییرات بزرگ در فشار هوا) وصداهای آرام دامنه‌های کوتاه دارند (تغییرات کوچک در فشار هوا).

طول موج

هنگام انتشار یک موج صوتی در هوا، فاصله فیزیکی یک نقطه اوج (حداکثر فشردگی مولکول‌ها باهم) با نقطه اوج بعدی، یک طول موج نامیده می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۱) مشخص است، صداهای بم طول موج بلند (چندین متر) دارند و صداهای زیر از طول موج کوتاه (چند سانتی متر)برخوردارند.

فرکانس

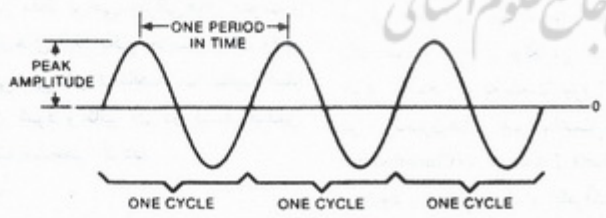
منابع صوتی همچون بلندگوها در یک ثانیه چندین بار مرتعش می‌شوند. تعداد سیکل‌های کامل دریک صدا (تعداد ارتعاشات)فرکانس نامیده می‌شود. بنابراین ارتعاش سریع‌تر دیافراگم یک بلندگو صدایی با فرکانس بالاتر تولید می‌کند. فرکانس با واحد هرتز (HZ) اندازه‌گیری می‌شود که تعدادسیکل‌های ارتعاش در یک ثانیه است. یک هزار هرتز، یک کیلو هرتز (KHZ) نامیده می‌شود.فرکانس‌های بالا صداهای زیر و فرکانس‌های پایین صداهای بم را تولید می‌کنند. با دو برابر شدن فرکانس، صدا یک اکتاو زیرتر می‌شود.

کودکان می‌توانند فرکانس‌های ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلو هرتز را بشنوند و بزرگسالانی که از شنوائی خوبی برخور دارند، حداکثر تا فرکانس ۱۵ کیلو هرتز را می‌شنوند.

هر ساز موسیقی محدوده‌ای از فرکانس‌ها را تولید می‌کند به‌عنوان مثال ساز ویلن از فرکانس ۱۹۶ هرتز تا ۱۵ کیلو هرتز را تولید می‌کند.

فاز و جابه‌جایی فاز

فاز موج عبارت است از موقعیت هر نقطه از موج نسبت به مبدأ و برحسب درجه بیان می‌شود. یک‌سیکل کامل از یک موج به ۳۶۰ درجه تقسیم می‌شود. در مبدأ موج، مقدار فاز صفر درجه و در نقطه‌اوج، مقدار



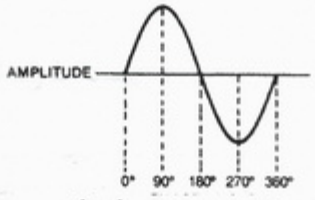
شکل (۳) سه سیکل از یک موج

پرتال جامع علوم انسانی

فاز ۹۰ درجه و در انتهای سیکل مقدار فاز ۳۶۰ درجه است. شکل (۴) زاویه فازهای گوناگون را در یک موج نشان می‌دهد.

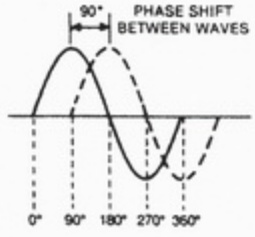
اگر در محیطی دو موج یکسان وجود داشته باشند، اما یکی از آنها نسبت به دیگری تأخیر داشته‌باشد می گوییم بین این دو موج جابه‌جایی فاز وجود دارد. تأخیر بیشتر سبب جابه‌جایی بیشتر فازمی‌شود. مقدار جابه‌جایی فاز با درجه اندازه‌گیری می‌شود. در شکل (۵) دو موج با ۹۰ درجه (یک چهارم سیکل کامل) جابه‌جایی فاز نشان داده شده‌اند.

هنگامی که مقدار جابه‌جایی فاز بین دو موج یکسان، ۱۸۰ درجه باشد، نقاط اوج یکی از آن دو موج‌بر نقاط قعر دیگری منطبق می‌شود و اگر این دو موج با هم ترکیب شوند، یکدیگر را حذف می‌کنند. این پدیده به حذف فاز یا (Phase Cancellation)* موسوم است.



شکل (۴) زاویه فازهای گوناگون در یک موج

فرض کنید سیگنالی با محدوده‌ای گسترده از فرکانس‌ها مانند صدای آواز وجود داشته باشد. اگر به‌این سیگنال تأخیر داده شود و نتیجه با سیگنال اولیه ترکیب شود، برخی فرکانس‌ها دارای ۱۸۰ درجه جابه‌جایی فاز می‌شوند و یکدیگر را حذف می‌کنند و صدایی میان تهی و فیلتر شده شنیده خواهد شد. چگونگی این اتفاق با یک مثال روشن می‌شود. فرض کنید برای ضبط صدای خواننده‌ای که گیتار هم می‌نوازد، میکروفونی را در نزدیک دهان خواننده و میکروفون دیگری را در نزدیکی گیتار قرار داده‌اید، به‌طوری که هر دو میکروفون صدای خواننده را دریافت می‌کنند. میکروفون خواننده در نزدیکی دهان وی قرار دارد و شما صدای وی را بدون تأخیر می‌شنوید. هنگامی که



شکل (۵) دو موج با ۹۰ درجه جابه‌جایی فاز

سیگنال‌های خروجی میکروفون‌ها را با هم ترکیب کنید احتمالاً با کاهش کیفیت صدا مواجه می‌شوید که علت آن همان وقوع پدیده حذف‌فاز است. پدیده حذف فاز در هنگام ضبط یک نمایش بر روی صحنه نیز ممکن است اتفاق بیفتد. فرض کنید برای ضبط یک صحنه نمایش از میکروفونی با پایه کوتاه بر روی کف صحنه استفاده کرده‌اید. در این حالت میکروفون، صدای مستقیم هنرپیشه‌ها را دریافت می‌کند، اما صدای هنرپیشه‌ها به کف صحنه نیز برخورد کرده و پس از مدت زمان بسیار کوتاهی به میکروفون می‌رسد که طبعاً نسبت به صدای مستقیم تأخیر دارد. در این فرایند صدای مستقیم و صدای مؤخر به‌صورت ترکیب شده به میکروفون می‌رسند وسبب حذف فاز می‌شوند. در نتیجه باز هم با صدایی فیلتر شده مواجه می‌شوید که کیفیت آن با حرکت هنرپیشه‌ها بر روی صحنه تغییر می‌کند.

فرکانس‌های هارمونیک

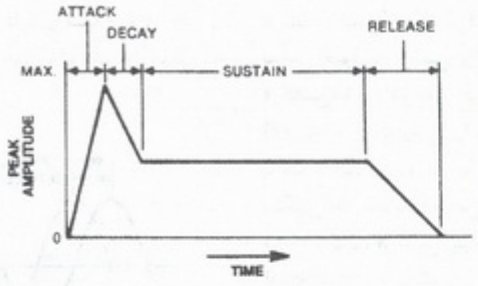
موج نشان داده شده در شکل (۲) سینوسی است که صدایی خالص و با یک فرکانس است ومی‌تواند به وسیله یک نوسان‌ساز صوتی تک فرکانس تولید شود. اما اغلب صداهای موسیقی دارای‌شکل موجی مرکب با بیش از یک فرکانس‌اند. و اصولاً تمامی اصوات، ترکیبی از امواج سینوسی با فرکانس‌ها و دامنه‌های گوناگون‌اند. شکل (۶) سه موج سینوسی را نشان می‌دهد که با هم ترکیب شده‌اندو یک موج مرکب را تشکیل داده‌اند. به کمترین فرکانس در یک موج مرکب، فرکانس بنیادی یا Frequency Fundamental *را* می‌گویند که زیروبمی یا «نـواک» صـدا را مـشـخـص مـی‌کـنـد. فرکانس‌های بالاتر درموج مرکب را Overtone می‌نامند. اگر فرکانس‌های Overtone ضرایبی صحیح از فرکانس بنیادی باشند به آنها فرکانس‌های هارمونیک می‌گویند. برای مثال اگر فرکانس بنیادی ۲۰۰ هرتز باشد، هارمونیک دوم۴۰۰ هرتز و هارمونیک سوم۶۰۰ هرتز خواهد بود.

هارمونیک‌ها و دامنه‌های آنها به کیفیت تنالیته یک صدا و تشخیص صداها از یکدیگر (مانندترومپت، آواز، پیانو، ارگ و...) کمک می‌کند.

پوش سیگنال (Envelope)

مشخصه دیگری که سبب شناسایی یک صوت می‌شود «پوش» آن است. هنگامی که نتی نواخته‌می‌شود، برای همیشه نواختن آن ادامه نمی‌یابد. بلکه حجم صدای آن نت ابتدا افزایش یافته و پس ا ز زمان کوتاهی کاهش می‌یابد تا جایی که سکوت حکم فرما می‌شود. این افزایش و کاهش حجم صدای‌یک نت موسیقی «پوش» آن نت نامیده می‌شود. با اتصال قله‌های متوالی موج حاصل از یک نت، پوش آن حاصل می‌شود، هر ساز موسیقی، پوش متفاوتی از بقیه سازها دارد. اغلب پوش‌ها چهار بخش دارندکه عبارتند از: فراز(Attack)، افت (Decay)، ایستا (Sustain) و فرود (Release).(شکل ۷)

به هنگام «فراز» حجم صدای یک نت از سکوت به حداکثر مقدار خود می‌رسد و



شکل (۷) چهار بخش پوش یک نت

سپس به سطح متوسطی افت می کند که این مرحله را بخش «افت» می گویند و سطح متوسط را بخش «ایستا» می نامند.در طی مرحله «فرود» حجم صدای نت از سطح «ایستا» به صفر رسیده و سکوت ایجاد می شود.

اصوات کوبه‌ای مانند صدای انواع طبل ها آنقدر کوتاه‌مدت‌اند که تنها بخش های «فراز» و «فرود»سریع را دارند. صداهای دیگر مانند صدای ارگ و ویلن بلندمدت ترند و فراز آهسته‌تر و ایستایی طولانی‌تری دارند. اصوات حاصل از زخمه زدن بر گیتار و برخورد سنج ها به هم، دارای زمان فراز کوتاه وفرود طولانی است. اگر پس از نواختن یک نت گیتار بلافاصله دست خود را روی سیم‌های گیتار قراردهید می توانید زمان فرود را کوتاه کنید. همچنین برای خفه‌کردن صدای یک طبل (کاهش زمان فرود)می‌توان پوششی نمدی را به دور سرچوب ضربه زننده به صفحه طبل قرار داد.

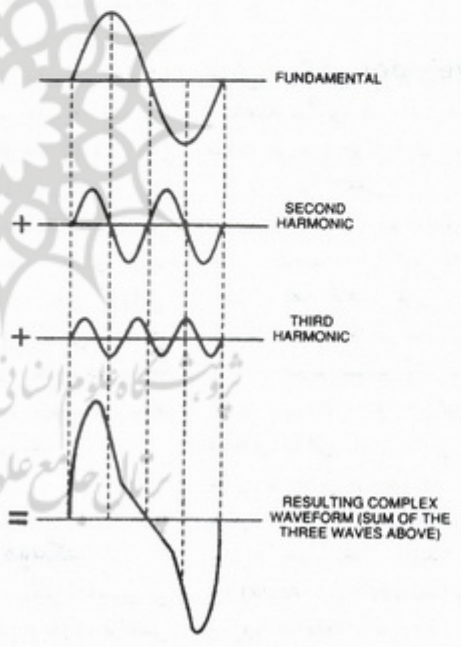
مشخصه‌های سیگنال در تجهیزات صوتی

هنگامی‌که میکروفونی صوت را به الکتریسیته تبدیل می کند، به آن الکتریسیته «سیگنال» گفته‌می‌شود این سیگنال همان فرکانس و دامنه صوت اولیه را دارد و با تغییر فرکانس و دامنه صوت اولیه،فرکانس و دامنه آن نیز تغییر می کند. پس از عبور این سیگنال از یک دستگاه صوتی ممکن است تغییراتی در آن رخ دهد، برای مثال ممکن است دامنه برخی از فرکانس ها تغییر کند و یا صداها و فرکانس های ناخواسته‌ای که در صدای اولیه نبوده به آن افزوده شود. بهتر است در اینجا برخی از این پدیده‌ها را بررسی کنیم.

پاسخ فرکانسی

فرض کنید وسیله‌ای صوتی مانند یک میکروفون، میزصدا، دستگاه مولد جلوه‌های ویژه صوتی دستگاه ضبط صدا و یا یک بلندگو دارید و می خواهید سیگنال حاصل از یک ساز موسیقی را به آن واردکنید. معمولاً موسیقی در بردارنده فرکانس های بالا و پایین است و وسیله صوتی شما ممکن است عکس‌العمل های متفاوتی در برابر فرکانس‌های مختلف موسیقی از خود نشان دهد. برای مثال شاید نت‌های پایین را تقویت کند و نت‌های بالا را تضعیف نماید. اگر سطح سیگنال خروجی وسیله مذکور رانسبت به فرکانس ترسیم کنید می‌توانید به چگونگی عکس‌العمل آن در برابر فرکانس‌های مختلف پی‌ببرید. این منحنی به منحنی «پاسخ فرکانسی» موسوم است.

در منحنی فوق سطح سیگنال برحسب دسی بل (Decibel) و فرکانس برحسب

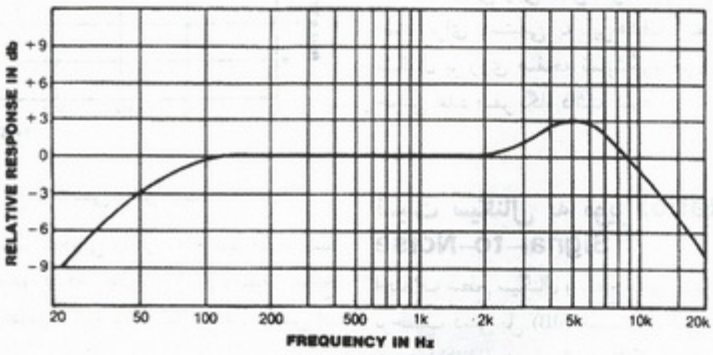


شکل (۶) موج بنیادی و هارمونیک‌هایش یک موج مرکب را تشکیل می‌دهند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

هرتز اندازه‌گیری می‌شود. به طورکلی یک دسی‌بل کوچک‌ترین تغییر قابل تشخیص در بلندی صداست.

اگر سطح سیگنال در تمامی فرکانس‌ها



شکل (۸) مثالی از یک منحنی پاسخ فرکانسی

ثابت باشد، آنگاه منحنی پاسخ فرکانسی تبدیل به یک خط راست افقی خواهد شد که به آن منحنی «پاسخ فرکانسی یکنواخت» (Flat Frequency Response) می‌گویند. (شکل۹)

در این صورت تمامی فرکانس‌ها با دامنه‌های یکسان تولید می‌شوند و دستگاه صوتی تمامی فرکانس‌ها را بدون تغییر در نسبت دامنه‌های آنها از خود عبور می‌دهد. یعنی شما مقدار زیر و بمی صدارا در ورودی و خروجی دستگاه به‌طور یکسان خواهید شنید به‌عبارت دیگر دستگاهی با ویژگی پاسخ‌فرکانسی یکنواخت، هیچ تأثیری بر توازن فرکانسی صدای ورودی نخواهد داشت.

بسیاری از دستگاه‌های صوتی در محدوده صوتی ۲۰ هرتز تا ۲۰۰۰۰ هرتز پاسخ فرکانسی یکنواخت ندارند. بلکه پاسخ فرکانسی آنها محدود با تغییرات اندک سطح سیگنال در حد ۳± دسی بل است:

شکل (۸) منحنی پاسخ فرکانسی دستگاهی را نشان می‌دهد که فرکانس آن در حد فاصل ۵۰ هرتز تا۱۲۰۰۰ هرتز قرار دارد و دارای تلرانس ۳ ± دسی بل است. (۵۰-۱۲۰۰۰Hz، ±۳dB) و این بدین معناست که این دستگاه تمامی فرکانس ها را از ۵۰ هرتز تا ۱۲۰۰۰ هرتز در حد نسبتاً مساوی (با تلرانس±۳dB) از خود عبور می‌دهد. برای مثال در ۵۰ هرتز و ۱۲۰۰۰ هرتز دارای سه دسی بل افت و در ۵۰۰۰ هرتز دارای سه دسی بل افزایش است. هر قدر پاسخ فرکانسی پهن‌تر و گسترده‌تر باشد، صدا طبیعی‌تر به‌نظر می‌رسد. پاسخ فرکانسی ۲۰۰ هرتز تا ۸۰۰۰ هرتز با تلرانس۳ ± دسی‌بل (۲۰۰-۸۰۰۰Hz ±۳dB) پاسخی به اصطلاح باریک و با کیفیتی نازل است. اما اگر پاسخ فرکانسی۳dB± ۸۰-۱۲۰۰۰ Hz باشد، پاسخی به اصطلاح پهن‌تر و با کیفیتی بهتر خواهد بود. پهن‌ترین پاسخ فرکانسی که می‌تواند بالاترین کیفیت صوتی را عرضه کند، پاسخ فرکانسی ۳dB± ۲۰-۱۲۰۰۰Hz است.

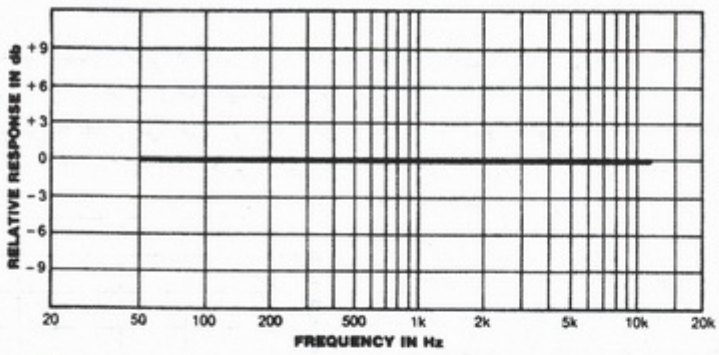
همچنین هرچه پاسخ فرکانسی یکنواخت‌تر باشد، کیفیت و خلوص صدا بهتر است. پاسخ فرکانسی دارای تلرانس ۳± دسی بل پاسخی قابل قبول است، اما اگر تلرانس آن۲± دسی بل باشد کیفیت صدا بهتر خواهد شد و درصورتی که تلرانس آن به ۱± دسی بل و یا پایین‌تر برسد، کیفیت صدا عالی خواهد شد. هنگامی که دگمه‌های «باس» (Bass) یا «تربل» (Treble) را در گیتار برقی، میز صدا و یادستگاه ضبط استریو می‌چرخانید، درواقع پاسخ فرکانسی را تغییر می‌دهید. اگر دگمه باس را بالا ببرید (یا به سمت راست بچرخانید) دامنه فرکانس‌های بالا زیاد می‌شود. این تغییرات در دامنه فرکانس‌های مختلف را گوش به‌صورت کیفیت‌های متفاوت صوتی مانند صدایی «گرم‌تر»، صدایی «شفاف‌تر»، صدایی «لاغر»، صدایی «گرفته» و جز آن احساس می‌کند.

شکل (۸) یک منحنی پاسخ فرکانسی غیریکنواخت را نشان می‌دهد که در سمت راست آن پاسخ فرکانسی‌های بالا به تدریج کاهش یافته است. بدین معنی که هارمونیک‌های بالا ضعیف‌اند و در نتیجه صدایی گرفته و به اصطلاح خفه شنیده خواهد شد. در سمت چپ پاسخ فرکانسی‌های پایین نیز دچارافت شده است. بدین معنی که فرکانس‌های بنیادی یا پایه تضعیف می‌شوند و در نتیجه صدایی لاغر(بدون باس) خواهیم شنید.

پاسخ فرکانسی یک وسیله صوتی ممکن است به منظور خاصی غیریکنواخت شود. برای مثال ممکن است برای کاهش صدای تنفس خواننده در یک میکروفون به وسیله اکولایزر (Equalizer) دامنه فرکانس‌های پایین را به‌شدت کاهش دهیم. همچنین ممکن است میکروفونی با پاسخ فرکانسی غیریکنواخت صدایی بهتر داشته باشد زیرا اگر در سیگنال خروجی میکروفون دامنه فرکانس‌های بالابیش از بقیه فرکانس ها باشد شفافیت Presence صدا بیشتر می‌شود.

نویز

مقدار نویز یکی دیگر از مشخصه‌های سیگنال‌های صوتی است. هر دستگاه صوتی مقدار اندکی نویزتولید می‌کند. در هنگام ضبط صدا و موسیقی نویز نامطلوب است، مگر اینکه بخشی از قطعه موسیقی باشد. شما می‌توانید با بالابردن نسبی سطح سیگنال در یک وسیله صوتی باعث شوید که نویز کمترشنیده شود. اگر سطح سیگنال اصلی پایین باشد. برای اینکه صدا به‌خوبی شنیده شود، بایستی ولوم صدا را بیشتر کنید،



شکل (۹) مثالی از یک منحنی پاسخ فرکانسی یکنواخت

این کار همان‌طور که سطح سیگنال را بالا می‌برد، سطح نویز را هم بالا می‌برد و در نتیجه سیگنال همراه با نویز شنیده خواهد شد. اما اگر سطح سیگنال اصلی (مانند سیگنال ضبط شده‌روی نوار) بالا باشد، مجبور نیستند ولوم صدا را بیش از حد زیاد کنید، بنابراین سطح نویز پایین می‌ماندو به‌صورت خیلی ضعیف شنیده می‌شود.

اعوجاج(Distortion)

اگر سطح سیگنال خیلی بالا باشد آن سیگنال دچار اعوجاج می‌شود و شما صدایی تخریب شده (به‌اصطلاح دیستورت) خواهید شنید. به این نوع اعوجاج گاهی اوقات صدای بریده شده (Clipped) می‌گویند، زیرا قسمت‌های اوج سیگنال بریده می‌شود و به‌صورت صاف شده در می‌آید. برای شنیدن‌اعوجاج کافی است سیگنالی را در سطح بالا ضبط کنید (به‌طوری‌که عقربه نشان‌دهنده سطح ضبط، به‌ناحیه قرمز رنگ برود) و سپس آن را پخش کنید.

سطح بهینه سیگنال

شما می‌خواهید سطح سیگنال به اندازه کافی زیاد باشد که نویز را بپوشاند اما به‌قدر کافی نیز کم باشدتا از اعوجاج اجتناب شود. هر دستگاه صوتی بهترین کارکرد خود را درسطح بهینه سیگنال دارد. این سطح معمولاً با عدد «۰» بر روی عقربه‌ها یا چراغ‌هایی که سطح سیگنال را نشان می‌دهند مشخص می‌شود.

در پایین‌ترین قسمت شکل (۱۰) سطح نویز دستگاه نشان داده شده است. این نویز بدون وجودسیگنال صوتی نیز تولید می‌شود. در بالاترین قسمت شکل (۱۰) سطح اعوجاج، که صدا پس از آن دیستورت می‌شود، نشان داده شده است. اگر سطوح سیگنال صدا در محدوده سطح نویز دستگاه تاسطح اعوجاج دستگاه باشد، آن صدا طبیعی و بی‌نقص خواهد بود، بهتر است برای دستیابی به این‌هدف، سطح سیگنال بر روی صفحه نمایشگر، حول و حوش عدد صفر نگاه داشته شود.

نسبت سیگنال به نویز (Signal-to-Noise Ratio)

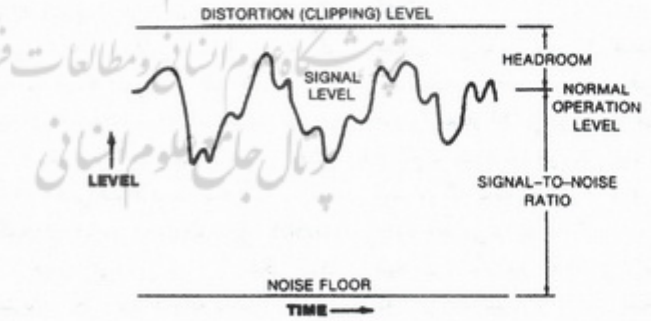
اختلاف سطح سیگنال و سطح نویز دستگاه برحسب دسی بل (dB) «نسبت سیگنال به نویز» یا SIN نامیده می‌شود. (شکل ۱۰)

هر چه این نسبت بیشتر باشد صدا بهتر و خالص‌تر است. نسبت سیگنال به نویز اگر در حد ۵۰ دسی‌بل باشد قابل قبول است، اگر ۶۰ دسی بل باشد خوب است و اگر بیش از ۷۰ دسی بل باشد عالی است. برای اینکه مفهوم نسبت سیگنال به نویز برایتان روشن شود، تصور کنید در یک قطار پر سروصدا شخصی با صدای بلند صحبت می‌کند. صدای وی سیگنال و سروصدای قطار نویز محسوب می‌شود؛هر چه صدای شخص بلندتر و یا صدای قطار کمتر باشد، نسبت سیگنال به نویز بیشتر خواهد بود و درنتیجه صدای شخص واضح‌تر شنیده می‌شود.

هدروم (Head Room)

اختلاف سطح معمولی سیگنال تا سطح اعوجاج «هدروم» نامیده می‌شود. (شکل ۱۰) هر چه‌هدروم بیشتر باشد سیگنال‌هایی با سطح بالاتر می‌توانند از دستگاه صوتی عبور کنند بدون اینکه به‌سطح اعوجاج برسند. اگر دستگاهی دارای هدروم زیاد باشد می‌تواند نقاط اوج بسیار بالایی از سیگنال‌را بدون برش (Clipping) از خود عبور دهد.

❖ ❖ ❖



شکل (۱۰) محدوده سطوح سیگنال را در یک دستگاه صوتی نشان می‌دهد.