

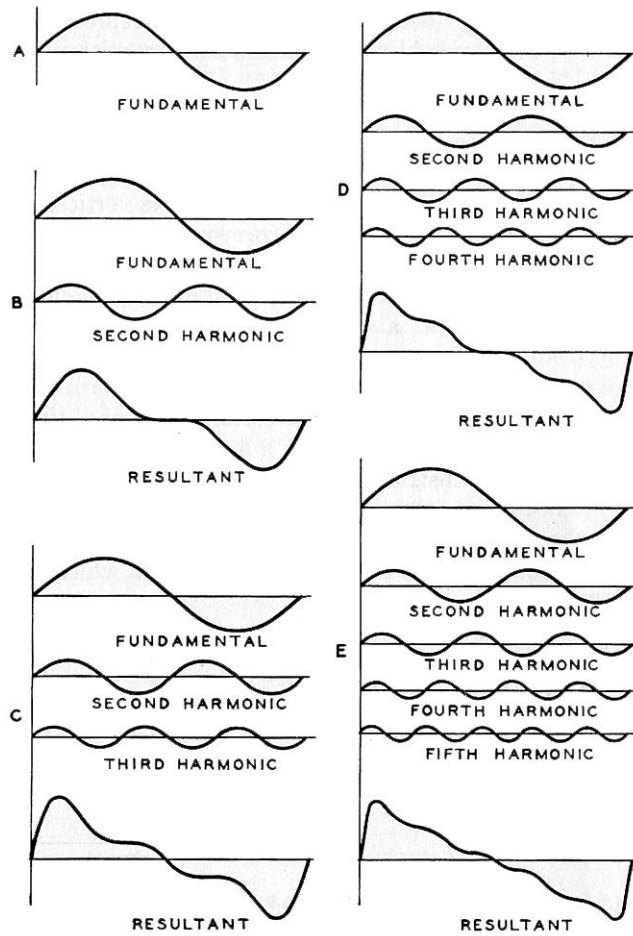
## طیف اکوستیکی (Acoustic Spectrum)

تالیف و ترجمه: فرزاد میلانی

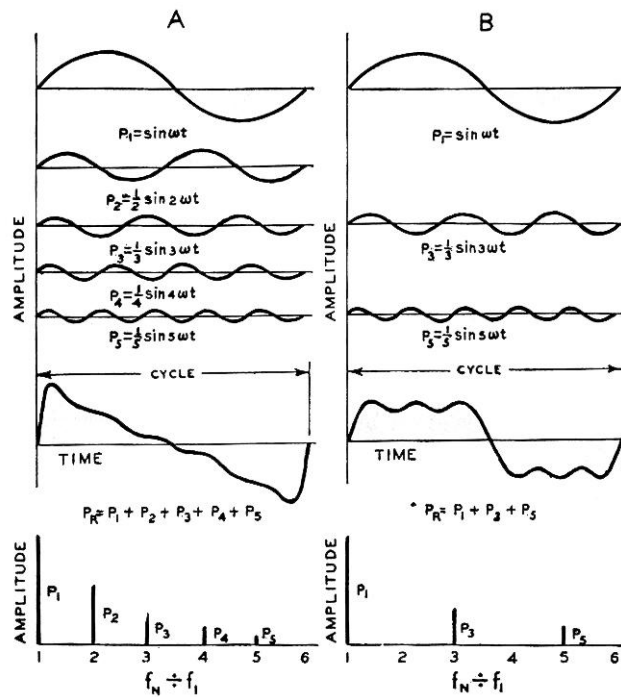
حتما تابحال واژه‌ای به نام **رنگ** یا **طنین** صدا را شنیده‌اید. در واقع دو صدای متفاوت دارای دو رنگ متفاوت هستند. مثلا صدای دو ساز پیانو و ویلن را وقتی که هر دو، نت  $La(440Hz)$  را می‌نوازند، با یکدیگر مقایسه کنید. مشاهده می‌کنید درحالی‌که هر دو این سازها، نتی مشترک را می‌نوازند ولی صدای متفاوتی دارند. (توجه داشته باشید که فرکانس اصلی که از صدای این دو ساز دریافت می‌شود، مقدار مشترک  $440Hz$  می‌باشد) لذا باید موشکافانه‌تر به فرکانسهای تولید شده از ساز (وقتی نت مشخصی را می‌نوازند) نگاه کرد.

حقیقت این است که در کنار فرکانس اصلی (که فرکانس غالب می‌باشد و گویای نت نواخته شده است) فرکانسهای دیگری نیز با دامنه‌های کمتر شنیده می‌شوند. به این فرکانسهای فرعی، **هارمونیک** اطلاق می‌شود. به هریک از این هارمونیکها یک عدد نسبت داده می‌شود. (مثلا گفته می‌شود هارمونیک اول، دوم، سوم و ...) برای هر فرکانس صوتی اصلی (Fundamental) که از ساز (یا هر منبع صوتی دیگر) ساطع می‌شود، هریک از این هارمونیکها با مقداری مشخص، حضور دارند و نحوه حضور این هارمونیکهاست که رنگ صدا را مشخص می‌کند.

برای درک بهتر این موضوع، نگاهی به شکل ۱ بیندازید. در این شکل، نحوه ترکیب فرکانس اصلی (Fundamental) را با هارمونیکهای مربوطه مشاهده می‌کنید. در قسمت A تنها موج سینوسی اصلی را می‌بینید. در قسمت B این موج با هارمونیک دوم خود ترکیب (جمع) شده است. (هارمونیک دومه همان اکتاو نت می‌باشد) همینطور در قسمت C هارمونیک سوم نیز به این مجموعه اضافه شده است و همچنین در قسمتهای D و E حضور هارمونیکهای چهارم و پنجم و نحوه ترکیب آنها و موجهای حاصل را مشاهده می‌کنید. موجهای حاصل با واژه "Resultant" مشخص شده‌اند. مشاهده می‌کنید که هرچه تعداد هارمونیکهای ترکیبی بیشتر شود، موج حاصل شکل پیچیده‌تری به خود می‌گیرد اما همچنان پربودیک است.

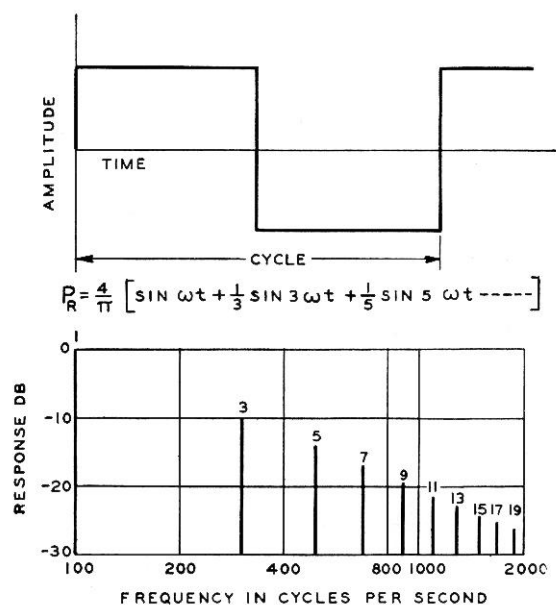


اما برای تشکیل یک موج پیچیده، الزاما وجود تمامی هارمونیکها اجباری نیست. یعنی برخی هارمونیکهای ترکیبی می‌توانند دامنه صفر داشته باشند (وجود نداشته باشند). در شکل ۲ دو موج **Resultant** مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در قسمت **A** تمامی هارمونیکهای اول، دوم، سوم، چهارم و پنجم حضور دارند. (سه‌م هریک از آنها را می‌توانید از ضریب جملات سینوسی مربوطه تشخیص دهید) ولی در قسمت **B** تنها حضور هارمونیکهای فرد (اول، سوم و پنجم) را شاهد هستیم. مشاهده می‌شود که شکل موج حاصل در هر دو حالت پریودیک است. حضور هارمونیکها، بصورت جمع جملاتی با حرف **P** و اندیس مربوط به هارمونیک نشان داده شده و  $P_R$  حاصل جمع آنهاست.




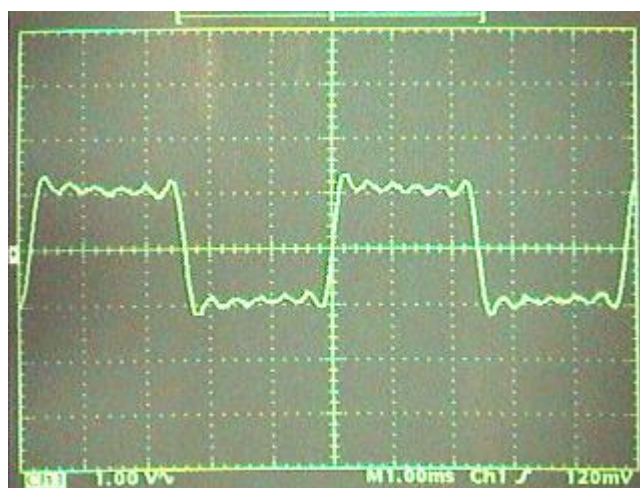
توجه داشته باشید که در نمودارهای مورد بحث، مولفه افقی زمان است و ما تابحال شکل موج را با نمودار زمانی، مورد بررسی قرار داده‌ایم. اما چیزی که احتیاج داریم، نمودار میله‌ای "دامنه-فرکانس" می‌باشد. در این نمودار، محور افقی فرکانس است و طول هریک از میله‌ها، دامنه فرکانس مربوطه را نشان می‌دهد. این نمودار را برای موجهای ترکیبی مورد بحث، می‌توانید در پائین شکل ۲ بیابید. به این نمودار (یا چیزی شبیه این) طیف اکوستیکی گفته می‌شود. مشابه این طیف در علوم دیگر (نظیر اپتیک نوری و الکترونی و ...) نیز وجود دارد. در واقع، طیف فرکانسی، نشان دهنده سهم هریک از فرکانسها در تشکیل یک موج پیچیده می‌باشد. (این سهم‌بندی فرکانسی با گرفتن بسط فوریه از موج پیچیده، امکانپذیر است)

مثال دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد، موج مربعی می‌باشد. در شکل ۳ مشاهده می‌شود که با تجزیه این موج و یافتن مولفه‌های فرکانسی آن، نمودار دامنه-فرکانس مربوطه رسم شده است.



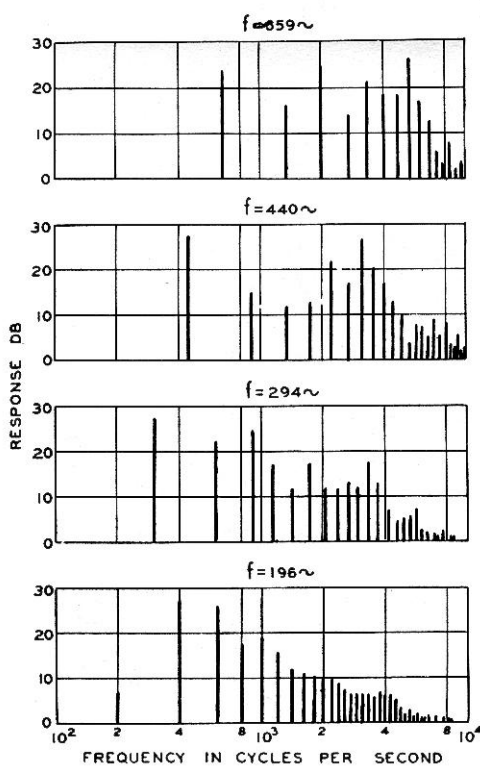
البته شکل واقعی این موج ترکیبی (با توجه به جمع جملات سری هارمونیک اشاره شده در شکل ۳) در شکل ۴ نمایش داده شده است. این شکل توسط یک اسیلوسکوپ نگاشته شده است. در سایت [www.IranAcoustic.com](http://www.IranAcoustic.com) (قسمت مقاله‌ها) می‌توانید نمونه‌های صوتی و ویدئویی مربوطه را

نیز مشاهده کنید. 

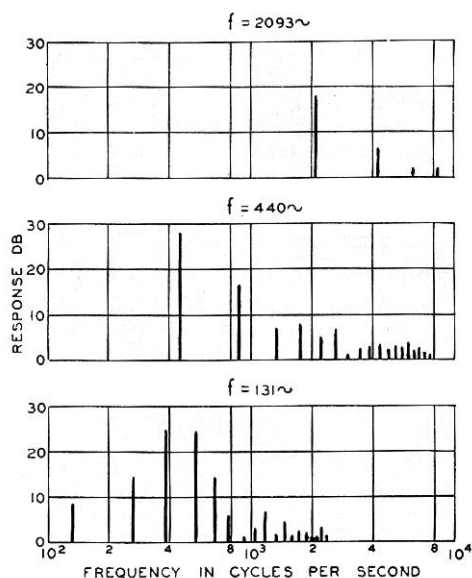


دقت کنید که طیف صوتی یک موج، در هر زمان شکل خاصی دارد. مثلاً نباید انتظار داشت که نت  $La(440Hz)$  نواخته شده توسط پیانو، در لحظه اول نواخته شدن و یک ثانیه بعد، شکل طیف مشترکی داشته باشد. فلذا باید بررسی طیف صوتی را فقط برای لحظه‌ای معین انجام داد. البته می‌توان با دستگاه‌های حاضر، نحوه تغییرات طیف اکوستیکی یک موج صوتی را با زمان نیز مشاهده کرد.

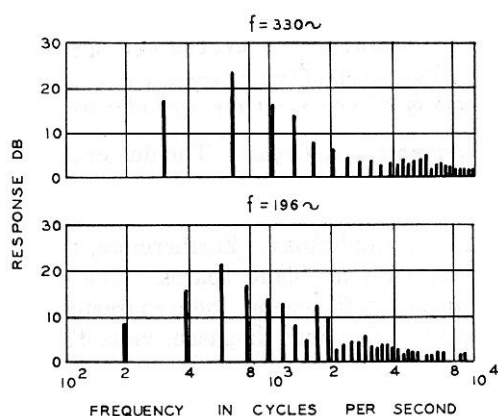
با وجود یک طیف‌نگار صوتی (با محدوده فرکانسی 20Hz-20kHz) می‌توان به بررسی دقیق طیف اکوستیکی سازهای موسیقی پرداخت. این بررسی را برای سازهای زهی (String Instruments) ویلن، پیانو و گیتار انجام می‌دهیم. (این سازها از لحاظ فرآیند تولید صدا، زهی محسوب می‌شوند) در شکل ۵ طیف‌های اکوستیکی حاصل از چهار نت دست‌باز ویلن - Mi(659Hz) ، La(440Hz) ، Re(294Hz) و Sol(196Hz) - را مشاهده می‌کنید. فرکانس‌های پائین‌تر (بم‌تر) دارای هارمونیک‌های بیشتری هستند. همچنین مثل همه سازهای زهی، در ویلن تقریباً تمامی مقادیر سری هارمونیک وجود دارد و این دلیل زیبایی صدای این ساز می‌باشد.



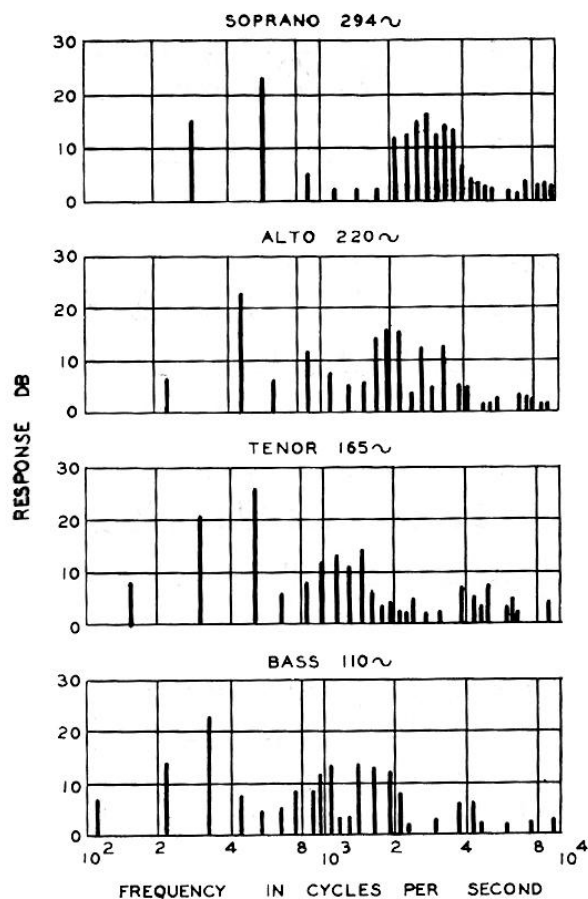
در شکل ۶ به بررسی طیفی سه نت انتخابی از ساز پیانو می‌پردازیم. ساختار طیفی نتها در پیانو، به سرعت برخورد چکش با سیم‌ها و سرعت چکش نیز به سرعت فشرده شدن کلاویه‌ها بستگی دارد. در فرکانس‌های بالاتر دامنه هارمونیکها با تغییر فرکانس، به سرعت تغییر می‌ابد. و فرقه‌های قابل ملاحظه‌ای بین طیف‌های فرکانس‌های بالا و پائین در این ساز وجود دارد.



در گیتار نیز وضعیت مشابهی وجود دارد. در شکل ۷ طیفهای اکوستیکی دو نت دستباز Sol(330Hz) و Mi(196Hz) را برای این ساز مشاهده می کنید. باز هم تمامی مقادیر سری هارمونیک در طیفهای مربوطه وجود دارند و همانند پیانو، پیچیدگی ساختار هارمونیکها در طیف، به سرعت زخمه خوردن سیم مربوط است. این بررسی را می توان برای تمامی سازهای موسیقی و حتی صدای انسان (Vocal) نیز انجام داد.



در شکل ۸ طیفهای اکوستیکی مربوط به چهار صدای سوپرانو، آلتو، تنور و باس (برای چهار نت انتخابی)، هنگامی که حرف "آ(ah)" را می خوانند، مشاهده می کنید.



حال می‌توان طیف‌های اکوستیکی نت‌ی مشترک از دو ساز مختلف (مثلاً طیف‌های نت La(440Hz) برای ویلن و پیانو) را در کنار هم قرارداد و تفاوت‌های ساختار طیفی آنها را مقایسه کرد.

بهار ۱۳۸۶

منابع:

Music, Physics & Engineering by: HARRY F. OLSON  
[www.IranAcoustic.com](http://www.IranAcoustic.com)