

Тклик на прямоугольные импульсы и интерпретация форм меандра

Март 22nd, 2014
РАЗНОЕ
перевод innerfidelity

Читая о прямоугольных волнах или, проще говоря, меандрах, в основном о них упоминается как о бесконечном множестве нечётных гармоник, обладающих определённой амплитудой и разностью фаз. Конечно, это верно, но в реальных условиях и в случаях для тестирования наушников это не лучший способ описания данного явления. Но для начала объяснения этого будет достаточно.

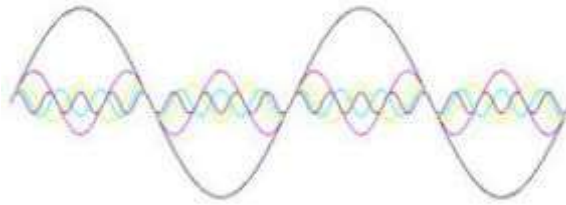
Взгляд на меандры как на волны, состоящие из повторяющихся нечётных гармоник

Чтобы показать вам как меандры строятся из основного тона и его нечётной гармоники, я сделал таблицу в Excel (вы можете скачать её [здесь](#)). Используя математические формулы, я создал колонки. Они содержали данные, представляющие соответствующие синусоиды необходимые для формирования меандра. В используемых формулах также были некоторые переменные, которыми я мог контролировать относительную амплитуду и фазу нечетных гармоник.

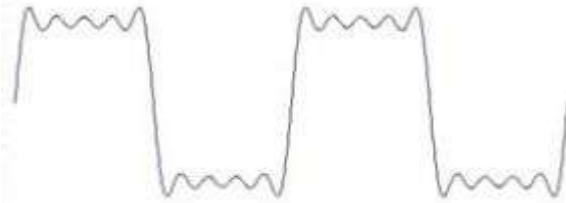
Верхний график слева показывает основной тон и первые четыре нечетные гармоники. Следующий график показывает результат добавления амплитуды сигналов в каждый момент времени. Вы можете видеть, что в результате синусоида начинает выглядеть как прямоугольная волна. Третий график показывает результат суммирования первых 11 гармоник, тем самым построение меандра проходит более подробно и совершенно. Чем больше нечётных гармоник используется, тем ближе форма меандра к идеальной. В системах с ограниченным частотным диапазоном, как, например ЦАПы с лимитом в 22 кГц для воспроизведения CD-дисков, доступно

ограниченное число нечётных гармоник, и меандр будет выглядеть примерно так же, как на третьем графике. Существуют две вещи, которые могут исказить форму меандра: фаза и относительная погрешность амплитуд между основным тоном и его гармониками. На четвёртом графике фаза нечётных гармоник сдвигается тем больше, чем больше становится частота. В аудио-оборудовании все частоты распространяются с небольшой задержкой, но высокие частоты «движутся» в цепи немного быстрее низких частот. Для описания этого явления используется термин «групповая задержка». Групповая задержка создаёт фазовую погрешность между нечётными гармониками прямоугольной волны. В левой части четвёртого графика я ввёл фазовую ошибку — разность между фазой передаваемого сигнала и теоретическим значением фазы, — таким образом, вы можете видеть, как немного меняется форма меандра и появляется всплеск на переднем

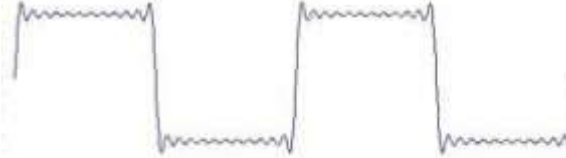
Amplitude and phase relationship between the fundamental and the first four harmonics of a square wave.



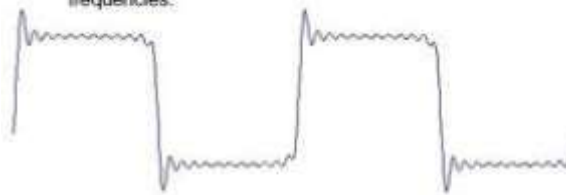
Square wave that results from the summation of the sine waves above.



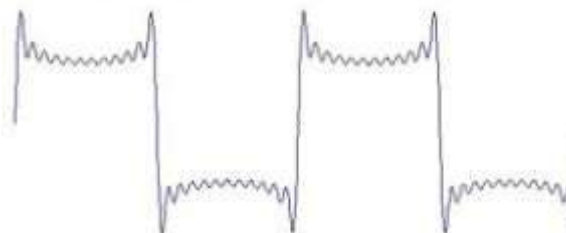
Square wave built from the fundamental and the next eleven odd harmonics.



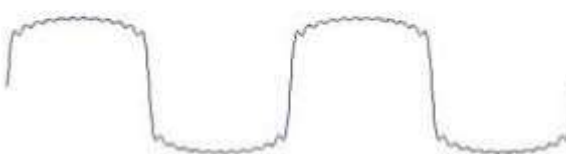
Square wave with improper phase relationship, high frequencies advanced in phase relative to low frequencies.



Square wave with improper amplitude relationship, high frequencies having too much amplitude.



Square wave with improper amplitude relationship, lower frequencies having too much amplitude.



краю графика.

Ошибки в амплитудах нечётных гармоник могут возникать в случае, если амплитудно-частотная характеристика аудио-устройства не равномерная. В левой части предпоследнего графика, я симулировал ошибку в диапазоне частот (меньше баса и больше высоких частот), на последнем же графике я изобразил противоположную ситуацию.

Для некоторых случаев такое описание прямоугольных волн можно применять, но это приводит к некоторым допущениям о синусоидах как о непрерывно повторяющихся волнах, что приводит к заблуждению с точки зрения тестирования наушников. К примеру, на третьем графике внизу видны маленькие импульсы, возникающие до модуляций – так называемые затухающие низкочастотные помехи, их так же называют звоном. Как может аналоговая система «знать», что сигнал скоро изменится и возникнет этот звон? Ответ прост: никак. Это одна из причин, по которой графики прямоугольных волн лучше рассматривать как серию импульсов.

Переходная функция и прямоугольный импульс

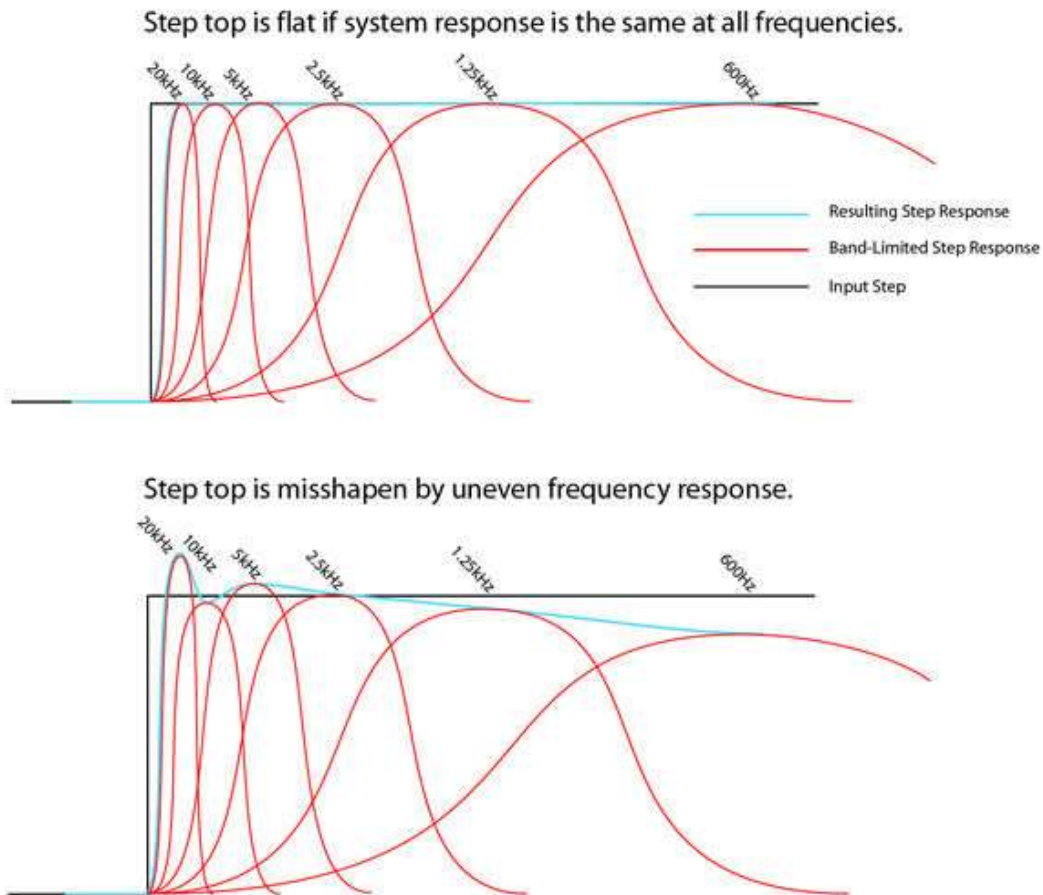
Переходная функция, или другими словами, отклик на входной сигнал, указывает, как устройство реагирует на мгновенные кратковременные изменения напряжения, например, с 0 до 1 Вольта.

Измерения переходной функции широко используется в аудио-электронике и электронике в частности для обозначения различных временных характеристик как, например, времени нарастания импульса, отрицательный импульс, время установления выходного сигнала (или напряжения) и возникновение низкочастотных помех. Но переходная функция так же содержит информацию о фазовой и частотной характеристике. Для примера, это она из характеристик, которую измеряли для выяснения фазовой когерентности динамиков в многополосных акустических системах.

Можно рассматривать измерение переходной функции в качестве меры амплитудно-частотной характеристики, где скорость нарастания фронта

импульса указывает на границу диапазона высоких частот, а отрезок времени, в течение которого сохраняется уровень входного сигнала, показывает границу диапазона низких частот. Другой способ рассмотреть изменения переходной функции схож с суммированием ряда нечётных гармоник, его мы описывали выше. Можно так же рассматривать переходную функцию как отклик на непрерывный ряд узкополосных сигналов с одинаковой амплитудой.

Step Response Top Indicates System Frequency Response

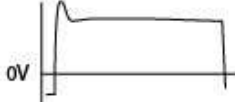
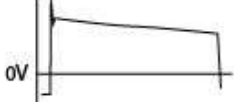
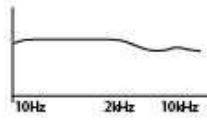


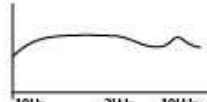
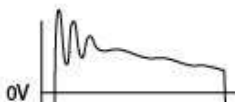

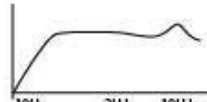

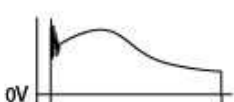
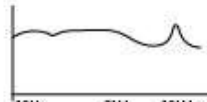
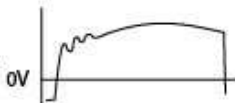

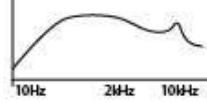

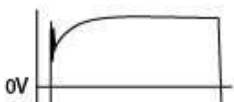
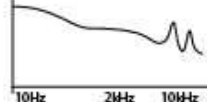


Артефакты, накладывающиеся на частотную составляющую переходной функции, являются временными характеристиками, такими как затухающие помехи и информация о фазе. Проблема в измерениях заключается в том, что если вы проводите тесты в одной области значений, для полного прояснения происходящего, то информация из другой области значений исчезает из поля зрения. Вы не сможете видеть временные характеристики на графике АХЧ, но с другой стороны они доступны для вычисления. Так же вы не сможете увидеть информацию об АЧХ на графике ответного импульса. Самое замечательное в измерениях переходных функций и прямоугольных импульсов в том, что вы получаете хорошую, хоть иногда туманную и

трудную для интерпретаций информации, которая сочетает в себе временные и частотные характеристики. Лично для меня это максимально удобный и полный способ понимания измерений.

Теперь давайте рассмотрим частные случаи для прямоугольных волн частотой 30 Гц и 300 Гц.

Interpretation of Headphone 300Hz and 30Hz Square Wave Response

	300Hz Square Wave	30Hz Square Wave	Frequency Response
Ideal response.	<p>Indicates treble to mid transition, shows ringing and resonances.</p>  <p>Single short, small, overshoot, flat level top, no noise in waveform.</p>	<p>Indicates mid to bass transition, shows bass phase and tightness.</p>  <p>Gentle, straight slope, remains above zero.</p>	 <p>Flat to 2kHz, gentle slope to 5kHz, gentle peak at 10kHz.</p>
Bright but clean response with some bass roll-off. Typical of Senn HD 800, AKG Q701.	 <p>Overshoot slightly large, downward tilt, clean waveform.</p>	 <p>Moderate downward tilt with sagging curve.</p>	 <p>Bass starts gentle roll-off at about 80Hz, moderate peak at 10kHz.</p>
Bright and harsh with poor bass response. Typical of Grado, Audio Technica ATH-WX000.	 <p>Multiple strong overshoots and noisy top implies ringing, strong downward tilt means thin sound.</p>	 <p>Strong tilt means low bass, line going below zero mean out-of-phase, loose sounding bass.</p>	 <p>Steep roll-off in bass, treble elevated to same level as mids, large peak around 10kHz.</p>
Edgy treble with punchy warm sound. Typical of Audio Technica ATH-M50, Shure SRH440.	 <p>Multiple strong overshoot implies ringing, upward tilt means strong mids giving punchy sound.</p>	 <p>Humped shape means strong mids, complex curve indicates bass phase shifting giving slightly loose sound.</p>	 <p>Wiggle at mid-bass indicates pad or main driver resonance, excessive drop to 5kHz, strong peak at 10kHz.</p>
Strongly mid-centric headphone with poor high treble and bass response. Typical of Sony MDR-V600 and Fostex T50RP.	 <p>Slow rise time means poor high treble response, upward or up-bowed top means strong mids.</p>	 <p>Strong downward bow and crossing below zero indicate strongly rolling-off bass.</p>	 <p>Overall strong "n" shaped response, height of peak at 10kHz indicates how "edgy" the headphones sound.</p>
Very bass heavy with piercing spot in highs, very often found with dynamic driver in-ear. Typical of Monster Turbine, and Beats in-ear models.	 <p>Spikes at leading edge typically from excessive ear canal resonances, strong upward tilt indicates punchy sound.</p>	 <p>Strongly rising leading edge after initial spikes indicates very bass heavy headphone.</p>	 <p>Extremely elevated bass response, often two or three strong treble peaks.</p>