

О причине феномена «теплого» лампового звука.

Это не просто любопытное явление, это явление скорее вызывающее, в хорошем смысле этого слова. Пытливый ум, а то и просто любознательность, вряд ли могут пройти мимо этого явления равнодушно. Ведь мы привыкли что все наши знания о материальном мире непременно должны быть подкреплены количественным опытом, то бишь показания приборов являются самым весомым научным аргументом естественных наук. Но так называемый феномен теплого лампового звука в данном случае разрывает этот привычный шаблон. Судите сами. Современные транзисторные усилители звука имеют коэффициент нелинейных искажений (КНИ) реально в пределах $0,1 \dots 0,01\%$, встречаются маркетинговые уловки аж до $0,001\%$, но это оставим на совести производителей. Возьмем «худший» показатель КНИ транзисторного аудио – $0,1\%$, и сравним его с лучшим КНИ лампового аудио – 1% . Это показания измерительной аппаратуры. Возникает естественный вопрос: какая аппаратура, согласно показаниям приборов, звучит лучше, ну конечно транзисторная, какие могут быть в этом сомнения. Как бы не так. Несмотря на то что КНИ лампового аудио как правило в десятки раз больше чем у транзисторного профессиональные музыканты и любители аудио-записей предпочитают звук ламповых усилителей! Отметим что рядовой слушатель разницы не замечает. Разницу слышат тренированный слух профессионалов – музыкантов, композиторов, и просто людей с хорошим слухом. А это уже парадокс. Объективно-приборно лучше должны звучать именно транзисторные усилители, но хороший и тренированный слух отдает предпочтение более приборно-грязному звучанию лампового аудио. В чем причина!?

Наиболее признанное объяснение этого феномена принадлежит итальянскому акустику Чиверсу. Уже в самом начале появления, 70-е прошлого века, феномена «теплого» лампового звука стала известна разница в спектральном составе КНИ транзисторных и ламповых усилителей. Разница заключается в следующем. В искажениях транзисторных усилителей преобладают как правило нечетные гармоники – $3, 5, 7 \dots$ и т.д., в ламповых искажениях есть все гармоники, как четные так и нечетные, но существенно то что их спад имеет экспоненциальный вид (рис.1), на что и обратил внимание Чиверс. Его дальнейшие исследования установили что и человеческое ухо, внимание, само генерирует искажения такого вида, отсюда следует вывод что ухо воспринимает ламповые искажения как естественные! Выглядит весьма убедительно, но научный принцип требует ответа на следующий вопрос. А почему ухо генерирует искажения именно такого спектра?

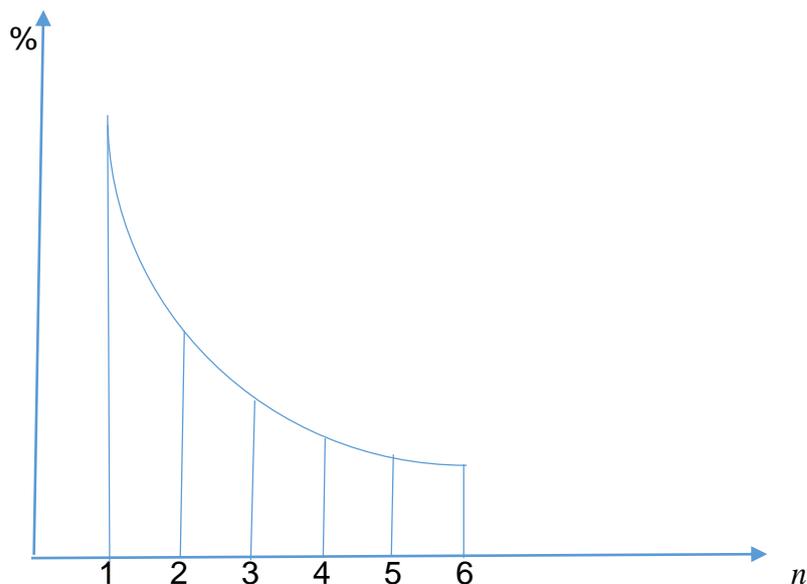


Рис.1

Существует и масса иных объяснений феномена лампового звука, от извращенности слуха его почитателей, до отсутствия у них одного вообще. Мы не будем разбирать их все по порядку. Мы вообще не будем разбирать особенности слуха. Разберемся сперва что же есть естественный, природный звук.

Естественный, природный звук есть звук затухающий. Мы не будем останавливаться на научном доказательстве этого факта, его можно найти в любом учебнике физики, из практики же сей факт вообще самоочевидный. В простейшем случае звук это гармоническое колебание упругой среды – воздуха. В более сложном случае звук это набор простых гармонических колебаний – гармоник, на которые природный звук можно разложить например резонатором Гельмгольца. Поэтому достаточно рассмотреть только одно гармоническое колебание –гармонику, и ее особенности можно интерполировать на все сложное звуковое колебание в целом. Формула затухающего гармонического колебания, в нашем случае единственной звуковой гармоники, имеет вид,

$$x = Ae^{-\lambda t} \cos(\omega t) ; (1)$$

здесь, A –амплитуда колебаний, ω - частота колебаний, t - время, λ -коэффициент затухания. График затухания такого звука изображен на рис.2

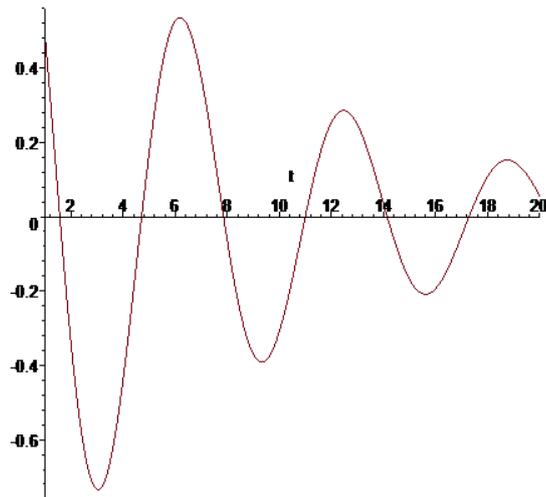


Рис.2

Факт в общем то не выходящий за рамки знаний физики средней школы. Однако это уже не чисто гармонический звук. Гармонический звук во времени не затухает, а в природе затухает даже изначально гармонический звук. Простейшее природное звуковое колебание на рис.2 является уже гармонически сложным, то есть самый простейший звук уже есть набор гармоник, а сам природный звук есть уже искажение гармонического звука. Но заметьте, при измерении КНИ аудиоусилителей пользуются именно гармоническим электрическим сигналом в 1 КГц, так как сами усилители электрические. То есть при измерении КНИ измеряют искажения не природных колебаний, а идеализированных – гармонических !? Но это полбеды. Самое главное то что мы выяснили что затухающий звук это набор гармоник. Остается выяснить их спектр и амплитуды.

Для этого разложим простейшее затухающее колебание в ряд Фурье. Вообще сделать это непросто. Так как теоретически затухание сигнала можно сделать бесконечным то нужно будет интегрировать по бесконечному времени, что физически бессмысленно, ведь никто не станет слушать один звук бесконечно. Однако из этого следует что спектр природного колебания есть спектр из бесконечного числа гармоник, ведь интеграл у нас несобственный и ряд Фурье непрерывен !? Поэтому ограничимся простейшим случаем, и допустим что сигнал затухает за время порядка двух его периодов, то есть ищем «несобственные» интегралы на отрезке $-\pi \dots \pi$

$$f_{\cos} = \int_{-\pi}^{\pi} A e^{-\lambda t} \cos(\omega t) * \cos(\omega t) dt ; (2)$$

$$f_{cos} = \frac{-7.304026910 (2874.456088 \sin(3.141592654 w) w^3 + 87.44560876 \cos(3.141592654 w) w^2 - 2845.711527 \sin(3.141592654 w) w + 88.32006485 \cos(3.141592654 w))}{(10000. w^4 - 19800. w^2 + 10201.)}$$

$$f_{sin} = \int_{-\pi}^{\pi} A e^{-\lambda t} \cos(\omega t) * \sin(\omega t) dt ; (3)$$

$$f_{sin} = \frac{7.304026910 (-874.4560876 \cos(3.141592654 w) w^3 + 287.4456088 \sin(3.141592654 w) w^2 + 865.7115267 \cos(3.141592654 w) w + 290.3200648 \sin(3.141592654 w))}{(10000. w^4 - 19800. w^2 + 10201.)}$$

Сложное колебание есть сумма разложения его в ряд Фурье по синусам и косинусам. Строим график суммы его гармоник по синусам и косинусам, то есть суммы (2),(3), помня что спектр гармоник такого сигнала непрерывен.

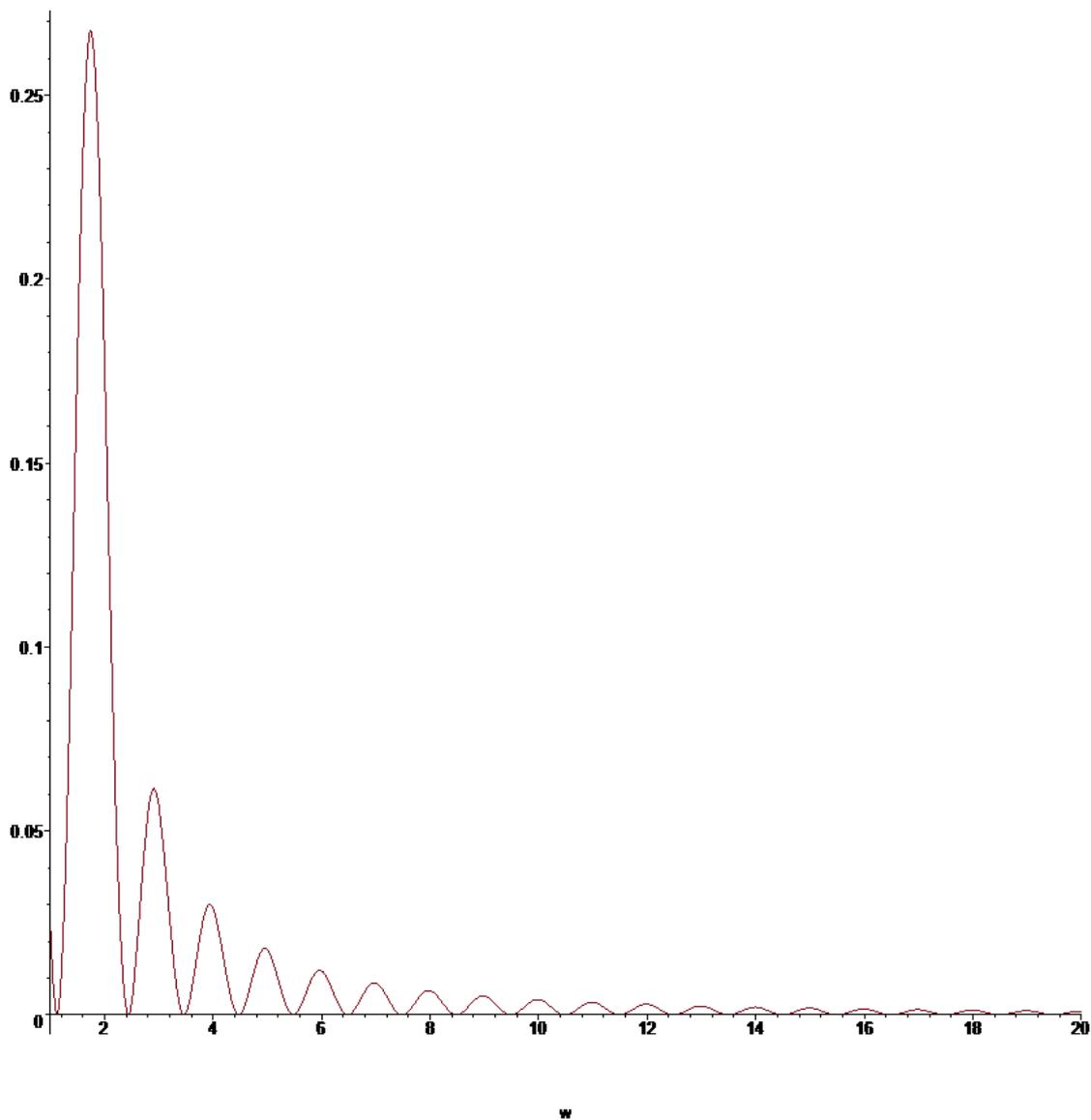


Рис.3

Сравнивая графики 1 и 3 видим что спектр искажений лампового усилителя удивительным образом совпадает со спектром «искажений» природного затухающего звука. Это и есть причина феномена «теплого» лампового звука. Искажения лампового усилителя мозгом слушателя интерпретируются просто как ... изменение времени затухания звука, но изменение времени затухания звука еще нигде и никогда не определялись как его искажение. Один и тот же инструмент, например скрипка Страдивари, имеет разное время затухания звука для открытого поля и концертного зала, но от этого он не становится хуже. Человеческий слух и мозг считают естественными «искажения» вида рис.3., ибо в природе они всегда слышат только затухающий звук, и поэтому искажения лампового усилителя воспринимается как естественное, человеческое ухо их просто не замечает. Феномен «теплого» лампового звука это своеобразная акустическая иллюзия, когда искажения звука воспринимаются как его естественное затухание. Эта иллюзия чем то близка к зрительной иллюзии стереопары, когда глаза вместе видят стереопару они воспринимают ее как искажение изображения, но когда каждый глаз видит только предназначенное ему изображение из стереопары то она удивительным образом сливается в объемное изображение. Нечто подобное происходит и при прослушивании аудиозаписей через ламповый аудиотракт.

Сметанников А.И.

6/XII/2019 г