

## GROUP DELAY 101

If you lookup group delay on Wikipedia, you'll find the following definition:

*"Group delay is the time delay of the amplitude envelopes of the various sinusoidal components of a signal through a device under test (DUT)."*

Если вы посмотрите групповую задержку в Википедии, вы найдете следующее определение:

*«Групповая задержка — это временная задержка огибающих амплитуд различных синусоидальных составляющих сигнала, проходящего через тестируемое устройство (DUT)».*

Where various can be thought of as assorted or mixed.

The first time I read that, my initial thought was: "Come again?". I mean seriously, what does that even mean?

During the past three years, this long-dreaded article has been slowly taking shape in my mind. Finally, I have found the courage to write it because frankly, I don't know if I even understand it myself. So here goes nothing.

Before we jump in at the deep end, let's start with phase delay first.

Где разное можно рассматривать как разное или смешанное.

Когда я впервые это прочитал, моей первой мыслью было: «Приходи еще?». Серьезно, что это вообще значит?

В течение последних трех лет эта давно пугающая статья медленно обретала форму в моем сознании. Наконец, я нашел в себе смелость написать ее, потому что, честно говоря, я даже не знаю, понимаю ли я ее сам. Так что здесь ничего нет. Прежде чем мы прыгнем в самую глубину, давайте сначала начнем с задержки фазы.

*"Phase delay is the time delay of the phase experienced by the individual sinusoidal components."*

To calculate phase delay in milliseconds use the following equation.

«Фазовая задержка — это временная задержка фазы, испытываемая отдельными синусоидальными компонентами».

Чтобы рассчитать фазовую задержку в миллисекундах, используйте следующее уравнение.

$$\tau_{\phi} = - \left( \frac{\phi}{360} \times \frac{1000}{f} \right) \quad (1)$$

Where  $\phi$  is phase in degrees and  $f$  is frequency in hertz.

Notice the minus sign. I chose to ignore the minus sign for the better part of my career only to find out, the hard way, that it's there for a reason.

Где  $\phi$  — фаза в градусах, а  $f$  — частота в Герцах.

Обратите внимание на знак минус. Я решил игнорировать знак минус на протяжении большей части своей карьеры, но на собственном горьком опыте обнаружил, что он существует не просто так.

**"Whether you owe me money or I owe you money,  
the difference is only a minus sign."**

«Независимо от того, должен ли ты мне денег или я должен тебе денег, разница составляет лишь знак минус».

Walter Lewin

If we apply equation 1 to the phase response shown in figure 1, a typical response you would expect to see for a conventional 2-way loudspeaker, we obtain the green trace shown in the bottom chart of figure 1.

For this equation to work, it's mandatory to count phase, while being mindful of wraparounds, from low to high frequencies, or DC to daylight. Furthermore, as we're about to discover, do not automatically assume that 0° at 0 Hz implies no delay!

Если мы применим уравнение 1 к фазовой характеристике, показанной на рисунке 1, типичной характеристике, которую вы ожидаете увидеть от обычного 2-полосного громкоговорителя, мы получим зеленую кривую, показанную на нижней диаграмме рисунка 1.

Чтобы это уравнение работало, необходимо обязательно считать фазу, помня о перетекании от низких частот к высоким или от постоянного тока к дневному свету. Более того, как мы вскоре обнаружим, не следует автоматически предполагать, что 0° при 0 Гц не означает отсутствия задержки!

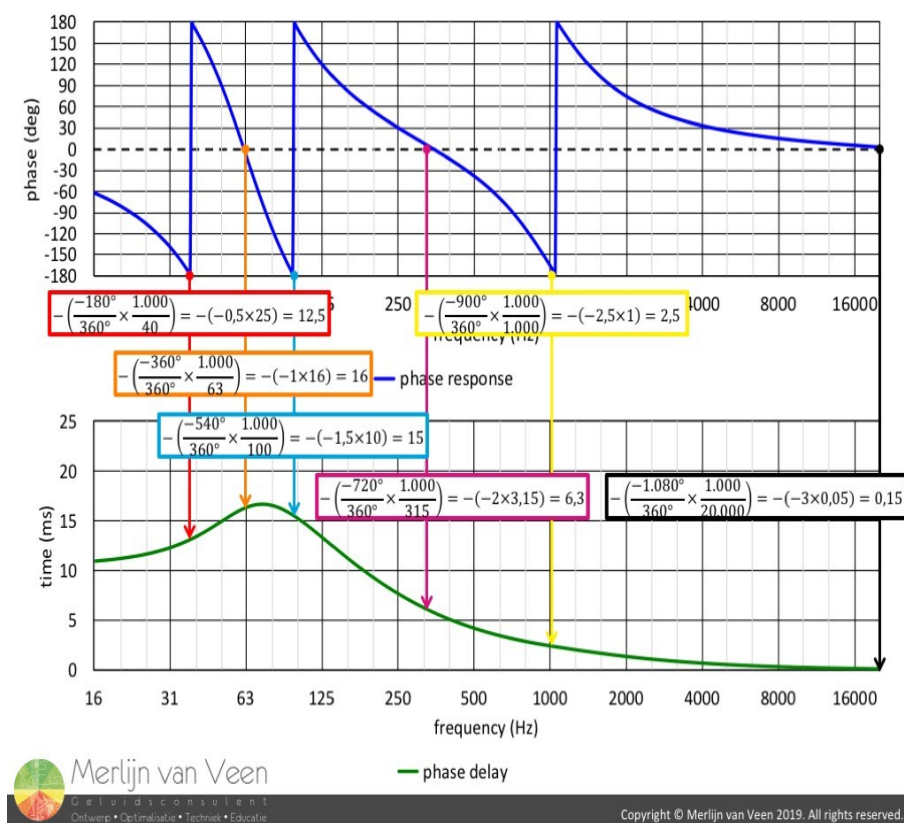


figure 1

### Undefined and indeterminate

To calculate phase angle from time delay in milliseconds use equation two.

Неопределенный и сомнительный

Чтобы вычислить фазовый угол по временной задержке в миллисекундах, используйте уравнение два.

$$\phi = -\left(\frac{t}{T} \times 360\right) = -\left(\frac{t}{\left[\frac{1000}{f}\right]} \times 360\right) = -\left(t \times \frac{f}{1000} \times 360\right) \quad (2)$$

Where  $\phi$  is phase angle in degrees,  $t$  is time delay in milliseconds,  
 $T$  is frequency time period in milliseconds, and  $f$  is frequency in hertz where  $f \neq 0$ .

Now to begin, DC or zero hertz isn't sinusoidal as in periodic and if you divide by zero bad things happen (so I'm told). The time period of zero hertz is undefined; there's no good definition for it. However, the one-sided limit for a frequency's time period ( $T=1000/f$ ) ( $T=1000/f$ ) in the denominator of equation 2, when frequency approaches DC from the right, explodes to infinity.

Где  $\phi$  — фазовый угол в градусах,  $t$  — временная задержка в миллисекундах,  
 $T$  — период частоты и времени в миллисекундах, а  $f$  — частота в герцах, где  $f \neq 0$ .

Теперь для начала, постоянный ток или ноль герц не синусоидальный, как периодический, и если вы разделите на ноль, произойдут плохие вещи (так мне сказали). Период времени с нулевым герцем не определен; для этого нет хорошего определения. Однако односторонний предел периода времени частоты ( $T=1000/f$ ) ( $T=1000/f$ ) в знаменателе уравнения 2, когда частота приближается к постоянному току справа, стремится к бесконечности.

Therefore, if it takes you forever to finish a single cycle at DC, no amount of time delay will introduce a phase offset other than zero degrees which in the future might lead you to mistake zero degrees offset at DC for no time delay.

Следовательно, если вам понадобится целая вечность, чтобы завершить один цикл на постоянном токе, никакая временная задержка не приведет к смещению фазы, отличному от нуля градусов, что в будущем может привести к тому, что вы ошибочно примете смещение на 0 градусов при постоянном токе за отсутствие задержки по времени.

However, if you plug zero degrees at zero hertz into equation one, you get zero divided by zero, and even worse things will happen. This outcome is known as an indeterminate form which in this case means that the time delay cannot be determined. Any time delay at DC, will always result in a zero degree offset for reasons we discussed in the previous paragraphs.

Однако если вы подставите в первое уравнение ноль градусов при нуле герца, вы получите ноль, разделенный на ноль, и произойдет еще худшее. Этот результат известен как неопределенная форма, что в данном случае означает, что временная задержка не может быть определена. Любая временная задержка на постоянном токе всегда приводит к смещению в ноль градусов по причинам, которые мы обсуждали в предыдущих параграфах.

If you use your loudspeaker management system to introduce 50 ms of delay into a delay loudspeaker feed, you're delaying all frequencies going to that loudspeaker including DC! It's just that zero hertz will always show up as zero degrees on a transfer function analyzer.

Если вы используете свою систему управления громкоговорителем для введения задержки в 50 мс в сигнал громкоговорителя с задержкой, вы задерживаете все частоты, поступающие на этот громкоговоритель, включая постоянный ток! Просто ноль герц всегда будет отображаться на анализаторе передаточной функции как ноль градусов.

For more information about undefined expressions and indeterminate forms, please watch this excellent video by the Kahn Academy which helped me wrap my mind around it! So please allow me to remind you and emphasize once more, for calculating phase delay make sure to count from low to high frequencies starting at 0 Hz! Now comes the caveat.

Для получения дополнительной информации о неопределенных выражениях и неопределенных формах посмотрите это превосходное видео Академии Кана, которое помогло мне осознать это!

Поэтому позвольте мне напомнить вам и еще раз подчеркнуть: для расчета фазовой

задержки обязательно отсчитывайте от низких частот к высоким, начиная с 0 Гц! Теперь следует предостережение.

### The caveat

figure 2A perfect impulse in the frequency domain (figure 2.1), i.e., a single, infinitely narrow spectral line, requires a pure tone (sine wave) of infinite duration (figure 2.2), i.e., from Big Bang till the end of time.

#### **Предостережение**

*рисунок 2. Идеальный импульс в частотной области (рис. 2.1), т. е. одна бесконечно узкая спектральная линия, требует чистого тона (синусоидальной волны) бесконечной длительности (рис. 2.2), т. е. от Большого взрыва до конца времен.*

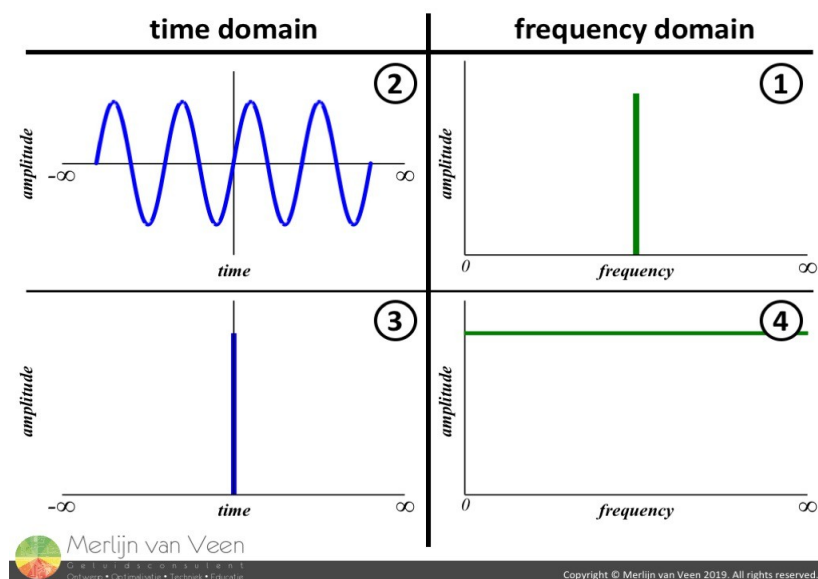


figure 2

Conversely, a perfect impulse in the time domain (figure 2.3), i.e., an instantaneous rise and fall without over- or under-shoot, constitutes a spectrum with unlimited bandwidth (figure 2.4), i.e., from DC to the Planck frequency.

И наоборот, идеальный импульс во временной области (рис. 2.3), т. е. мгновенный подъем и спад без превышения или понижения, представляет собой спектр с неограниченной полосой пропускания (рис. 2.4), т. е. от постоянного тока до планковской частоты.

So what happens if we truncate our infinitely lasting sine wave to something more finite? Common sense suggests that its infinitely narrow spectral line should widen. By the time our sine wave lasts for only one sample, in other words a pulse, its bandwidth is unlimited.

Что же произойдет, если мы урежем нашу бесконечно длившуюся синусоидальную волну до чего-то более конечного? Здравый смысл подсказывает, что его бесконечно узкая спектральная линия должна расширяться. К тому времени, как наша синусоидальная волна длится только один отсчет, другими словами, импульс, ее полоса пропускания становится неограниченной.

Be sure to watch this wonderful video by 3Blue1Brown for a more in-depth explanation.

When you apply an amplitude envelope to a sine wave, modulating it's amplitude while truncating it in the process, you get what is known as a tone-burst, wavelet or gated sine wave (figure 3).

The latter being a tried-and-tested technique to beef up the sound of a kick drum (<https://www.soundonsound.com/techniques/get-your-kicks>).

*Обязательно посмотрите это замечательное видео от 3Blue1Brown для более подробного объяснения.*

*Когда вы применяете огибающую амплитуды к синусоидальной волне, модулируя ее амплитуду и одновременно усекая ее в процессе, вы получаете так называемый тональный пакет, вейвлет или стробированную синусоидальную волну (рис. 3).*

*Последнее представляет собой проверенный метод усиления звука бас-барабана (<https://www.soundonsound.com/techniques/get-your-kicks>).*

### Tone-Burst (aka Wavelet or Gated Sine Wave)

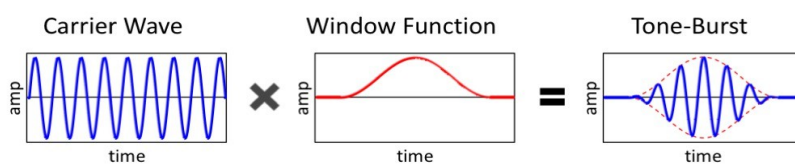


figure 3

"Why?" you might ask. Because a sine wave with an amplitude envelope applied to it, stops being a pure tone and becomes a group of frequencies which is where the group in group delay comes into play. From here on, I will refer to that sine wave as carrier wave.

"Почему?" вы можете спросить. Потому что синусоидальная волна с примененной к ней огибающей амплитуды перестает быть чистым тоном и становится группой частот, и именно здесь в игру вступает группа в групповой задержке. С этого момента я буду называть эту синусоидальную волну несущей.

Figure 4 shows several amplitude-modulated carrier waves. In all instances, the carrier wave's frequency (1 kHz) is identical. The gate's attack, hold and release time together determine the amplitude envelope shape and duration.

На рисунке 4 показаны несколько несущих волн с амплитудной модуляцией. Во всех случаях частота несущей волны (1 кГц) одинакова. Время атаки, удержания и отпуска гейта вместе определяют форму и продолжительность огибающей амплитуды.

In this instance, a window function (Hann) was used to achieve the amplitude-modulating effect instead of an actual gate.

*В этом случае для достижения эффекта амплитудной модуляции вместо реального вентиля использовалась оконная функция (Ханна).*

## Tone-Burst: duration vs peak width

(1 kHz carrier wave | 32K FFT - no smoothing)

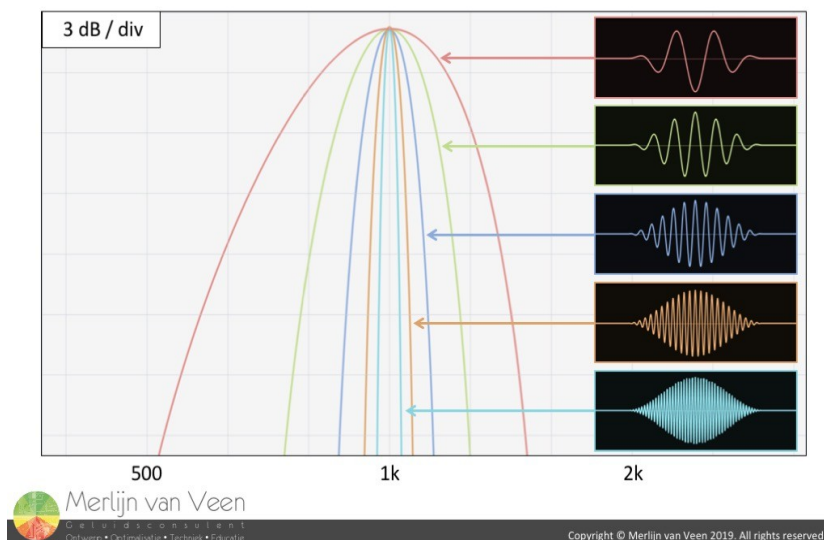


figure 4 (Tone-Burst: длительность и ширина пика, несущая 1 кГц (32 БПФ – без сглаживания))

Notice that the width of the spectral peak which is no longer a pure tone but a now a group of frequencies, is inversely proportional to the duration of the tone bursts. Short bursts result in broad frequency groups whereas long bursts result in narrow frequency groups. Ultimately, an infinitely long burst (carrier wave without envelope - figure 2.2) would produce an infinitely thin spectral line (figure 2.1).

Обратите внимание, что ширина спектрального пика, который больше не является чистым тоном, а представляет собой группу частот, обратно пропорциональна продолжительности тональных всплесков. Короткие всплески приводят к широким группам частот, тогда как длинные всплески приводят к узким группам частот. В конечном счете, бесконечно длинный всплеск (несущая волна без огибающей – рисунок 2.2) создаст бесконечно тонкую спектральную линию (рисунок 2.1).

Please watch the video below to hear this in action (use headphones or full range loudspeakers - audio right channel only).

The Hann tone-burst or Hann-burst (Don Keele) shown in figure 3 has a bandwidth of one-third octave between the -3 dB (half power) points (figure 5).

Пожалуйста, посмотрите видео ниже, чтобы услышать это в действии (используйте наушники или полнодиапазонные громкоговорители — только правый канал звука).

Тональный пакет Ханна или пакет Ханна (Дон Кил), показанный на рисунке 3, имеет полосу пропускания в одну треть октавы между точками -3 дБ (половинная мощность) (рисунок 5).

There's a tone burst for each third-octave frequency which you can download [here](#). It's a reasonably dynamic (test) signal where one burst has a crest factor of 7,3 dB.

These bursts are also used for measuring distortion in subwoofers according to the [ANSI/CEA-2010 standard](#).

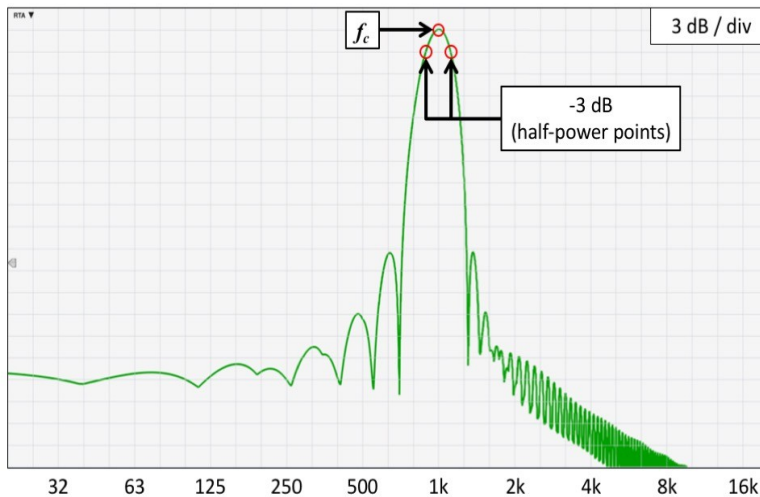
*Для каждой третьей октавной частоты имеется тональный импульс, который вы можете скачать здесь. Это достаточно динамичный (тестовый) сигнал, пик-фактор одного пакета которого составляет 7,3 дБ.*

*Эти импульсы также используются для измерения искажений в сабвуферах в соответствии со стандартом [ANSI/CEA-2010 standard](#).*



## Spectrum Hann-Burst (1 kHz)

(32K FFT - no smoothing)



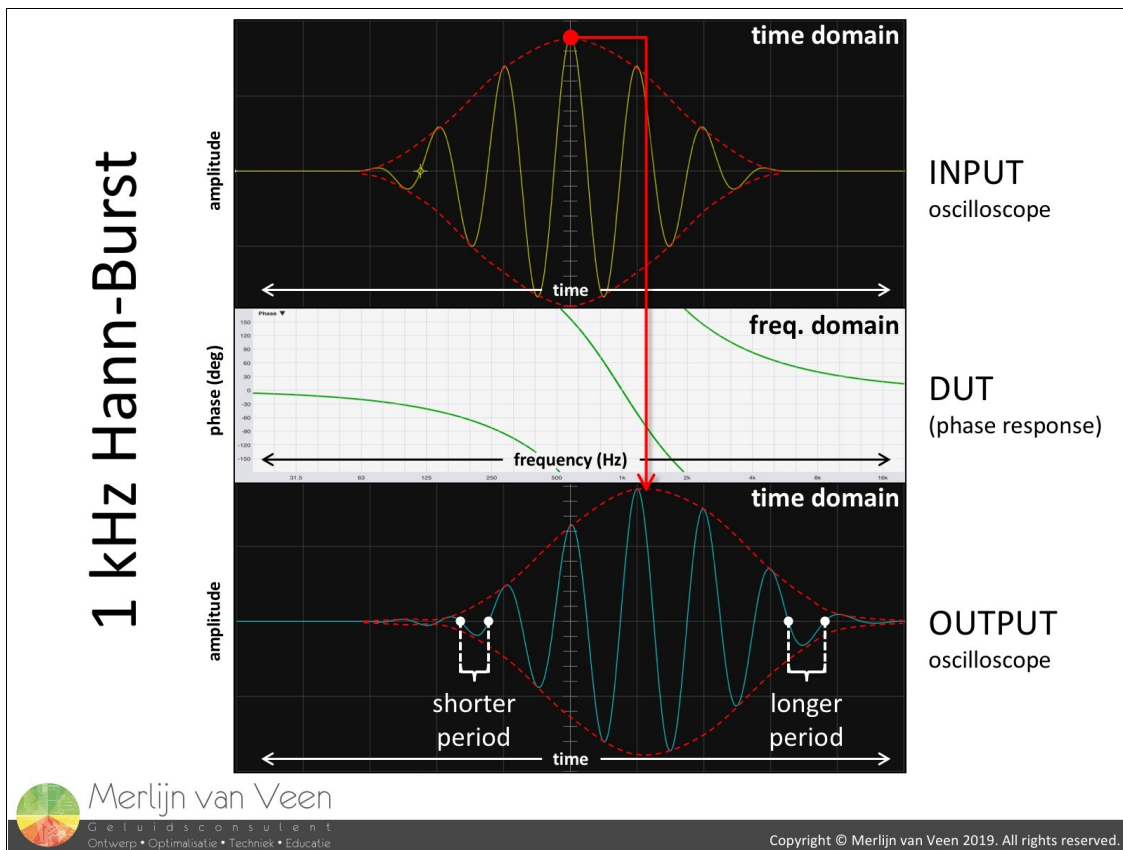
Merlijn van Veen  
Geluidscounselant  
Ontwerp • Optimalisatie • Techniek • Educatie

Copyright © Merlijn van Veen 2019. All rights reserved.

figure 5

## Delay of the amplitude envelope

Задержка огибающей амплитуды



Merlijn van Veen  
Geluidscounselant  
Ontwerp • Optimalisatie • Techniek • Educatie

Copyright © Merlijn van Veen 2019. All rights reserved.

figure 6

Now that we have an actual group of frequencies, represented by an amplitude-modulated carrier wave, we can use an oscilloscope to observe the delay of the amplitude envelope's crest or crescendo by a DUT that introduces a gratuitous amount of phase shift

Теперь, когда у нас есть реальная группа частот, представленная амплитудно-модулированной несущей волной, мы можем использовать осциллограф для наблюдения за

*задержкой пика или крещендо огибающей амплитуды тестируемым устройством, которое вносит необоснованный сдвиг фазы.*

Figure 6 shows a group of frequencies, centered at 1 kHz, being transferred through a DUT that exhibits  $-360^\circ$  of phase shift (relative to  $0^\circ$  at 0 Hz) at 1 kHz.

Notice the stretching of the imaginary amplitude envelope. Its crest shifting to the right (indicated by the red arrow). The amplitude envelope's crescendo for the one-third-octave-wide group of frequencies has been time delayed.

The group of frequencies is decomposed and its component frequencies' phases have been delayed (phase delay).

*На рисунке 6 показана группа частот с центром в 1 кГц, передаваемая через ИУ, которое имеет фазовый сдвиг  $-360^\circ$  (относительно  $0^\circ$  при 0 Гц) при 1 кГц.*

*Обратите внимание на растяжение огибающей воображаемой амплитуды. Его гребень смещается вправо (показано красной стрелкой). Крещендо огибающей амплитуды для группы частот шириной в одну треть октавы было задержано по времени.*

*Группа частот разлагается, и фазы ее составляющих частот задерживаются (фазовая задержка).*

For negative phase slopes (middle plot in figure 6) whose slope is not constant (on a linear scale) over frequency, the component frequencies' phase delay is not identical (dispersion), making higher frequencies (shorter period) "group-leaders" and lower frequencies (longer period) "group-trailers". Contrary to the original input signal, whose carrier wave's time period remained constant, the output signal's carrier wave has become somewhat of a swept sine wave whose time period changes over time.

*Для отрицательных наклонов фазы (средний график на рисунке 6), наклон которых не является постоянным (в линейном масштабе) по частоте, фазовая задержка составляющих частот не одинакова (дисперсия), что делает более высокие частоты (более короткий период) «лидерами группы». и более низкие частоты (более длительный период) «группы-трейлеры». В отличие от исходного входного сигнала, период несущей волны которого оставался постоянным, несущая волны выходного сигнала стала чем-то вроде качающейся синусоидальной волны, период времени которой меняется со временем.*

The DUT's continuously changing phase shift, throughout the group's one-third-octave-wide frequency span, has rearranged its constituent sinusoidal components in a way which postpones the group's crescendo and delays the amplitude envelope.

*Постоянно меняющийся фазовый сдвиг DUT во всем диапазоне частот группы шириной в одну треть октавы перестроил составляющие ее синусоидальные компоненты таким образом, что отложил крещендо группы и задержал огибающую амплитуды.*

To repeat the process for the entire audible range, you can resort to a wavelet transform which shows you only the amplitude envelopes without the carrier waves "underneath" on a spectrograph.

*Чтобы повторить процесс для всего слышимого диапазона, вы можете прибегнуть к вейвлет-преобразованию, которое показывает на спектрографе только огибающие амплитуды без несущих волн «под ним».*



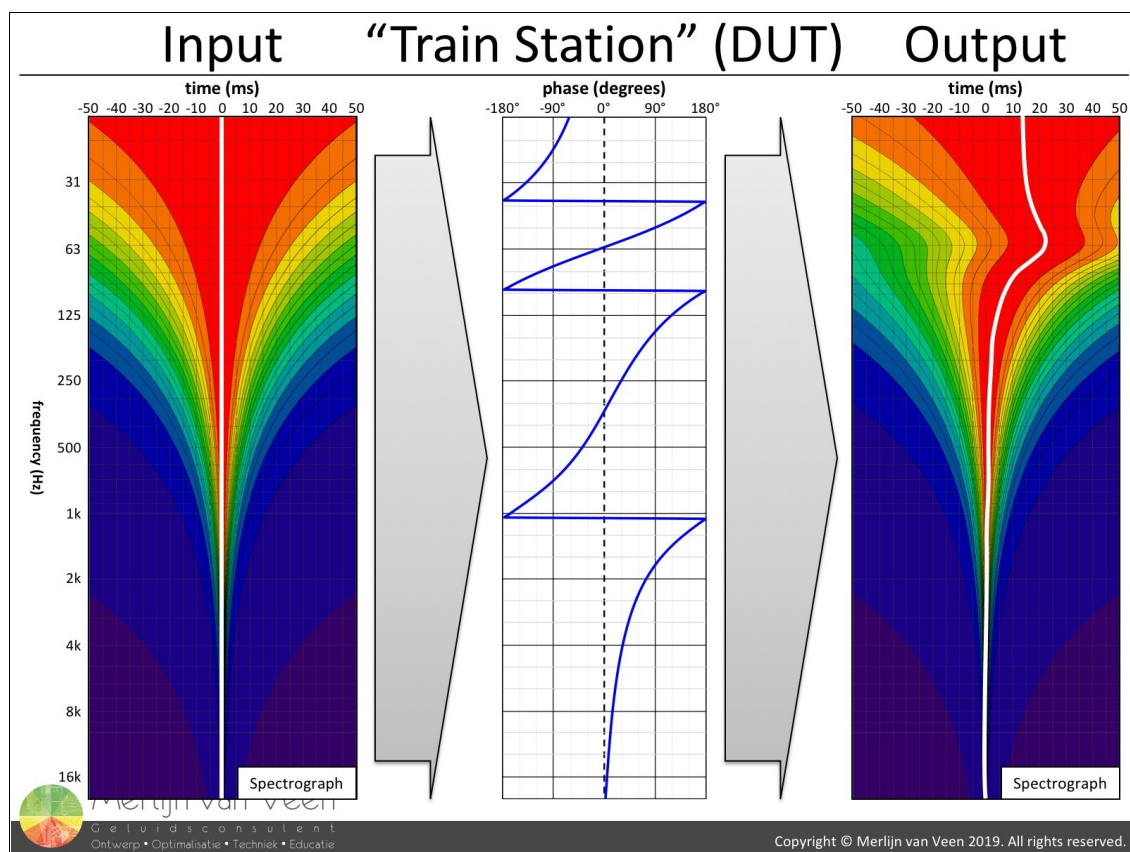


Figure 7

If you put twenty thousand (the entire audible band) of those amplitude envelopes into a DUT at once, and observe the outcome on a spectrogram, it's apparent that the DUT delays the amplitude envelopes' crests (figure 7).

*Если вы одновременно поместите двадцать тысяч (вся слышимая полоса) этих огибающих амплитуды в ИУ и посмотрите результат на спектрограмме, станет очевидно, что ИУ задерживает пики огибающих амплитуды (рисунок 7).*

The continuous white line, that connects the adjacent amplitude envelopes' crests, represents the group delay and is a function of frequency. Modern analyzers will display group delay without having to resort to wavelet transforms, and the resulting time-over-frequency plot will be identical to the continuous white line shown in the output spectrograph of figure 7.

Сплошная белая линия, соединяющая гребни соседних амплитудных огибающих, представляет групповую задержку и является функцией частоты. Современные анализаторы отображают групповую задержку без необходимости прибегать к вейвлет-преобразованиям, а результирующий график зависимости времени от частоты будет идентичен сплошной белой линии, показанной на выходном спектрографе на рисунке 7.

I call it the train-station-effect where you have cars, containing groups of frequencies, going into the station all at once which come out of the other end of the station in a different order. Some cars have fallen behind, they linger and are sustained.

Я называю это эффектом вокзала, когда на станцию одновременно заезжают вагоны, содержащие группы частот, а с другого конца станции выезжают в другом порядке. Некоторые машины отстали, они задерживаются и выдерживаются.

In the video below (use headphones or full range loudspeakers), I send a red pulse (pulse with a red spectrum [-3 dB/oct]) through a DUT which exhibits a lot of phase shift at 100 Hz.

В видео ниже (используйте наушники или полндиапазонные громкоговорители) я посылаю красный импульс (импульс с красным спектром [-3 дБ/окт]) через проверяемое

устройство, которое демонстрирует сильный фазовый сдвиг на частоте 100 Гц.

I start with a null-test which is suited for exposing the residual difference between a processed and unprocessed version of the same signal.

Notice that the processed version, with the phase shift, sounds sustained. There's audible pitch which decays over time like a damped resonance or ringing. The 100 Hz car and its passengers (sinusoidal components) are late to the party. The remaining cars came out of the train station simultaneously.

Я начинаю с нулевого теста, который подходит для выявления остаточной разницы между обработанной и необработанной версией одного и того же сигнала.

Обратите внимание, что обработанная версия со сдвигом фазы звучит устойчиво. Слышен тон, который со временем затухает, как затухающий резонанс или звон. Автомобиль с частотой 100 Гц и его пассажиры (синусоидальные составляющие) опаздывают на вечеринку. Остальные машины выехали с вокзала одновременно.

Which brings us to my favorite definition of group delay:

Это подводит нас к моему любимому определению групповой задержки:

**"The subjective effect of excessive group delay is a "loosening" of the bass or a "less dry" bass quality."**

**«Субъективным эффектом чрезмерной групповой задержки является «ослабление» баса или «менее твердое» качество баса».**

Neumann

If you ever have the opportunity to listen to the Meyer Sound Bluehorn System where virtually all phase shift, and inherently group delay, has been removed, you'll understand why this quote resonates with me.

Если у вас когда-нибудь будет возможность послушать систему *Meyer Sound Bluehorn*, в которой практически весь фазовый сдвиг и групповая задержка удалены, вы поймете, почему эта цитата нашла отклик у меня.

### The distinction

Различие

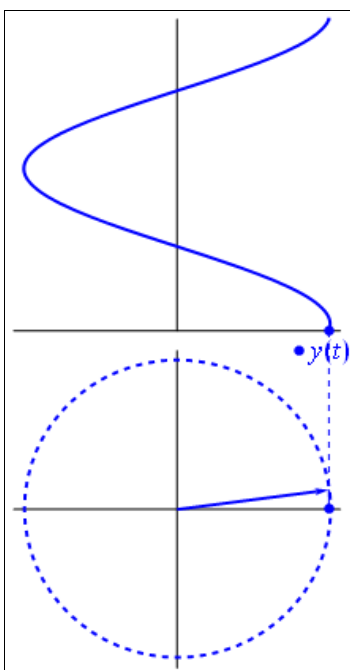


figure 8

Phase delay, discussed at the beginning of this article, represents the time delay of the carrier waves' phase.

The carrier waves can be represented by phasors (a portmanteau of phase vector) where amplitude and phase are easy to distinguish from each other (figure 8).

The phase portion solely determines the initial condition, like the hand of a clock, when you hit "play".

Фазовая задержка, обсуждавшаяся в начале этой статьи, представляет собой временную задержку фазы несущей волны.

Несущие волны можно представить в виде векторов (состав фазового вектора), где амплитуду и фазу легко отличить друг от друга (рис. 8).

Фазовая часть определяет исключительно начальное состояние, как стрелка часов, когда вы нажимаете «играть».

A sine wave with ninety degrees offset, starts off as a cosine wave when you hit "play". Regardless, with or without phase offset, in either case, when you press "play", there will be sound.

Can you hear the difference between a sine wave generator and a cosine wave generator?

Синусоидальная волна со смещением в девяносто градусов начинается как косинусоидальная волна, когда вы нажимаете «воспроизведение». Независимо от того, со смещением фазы или без него, в любом случае, когда вы нажимаете «воспроизведение», будет звук.

Вы слышите разницу между генератором синусоидальной волны и генератором косинусоидальной волны?

Contrary, for finite carrier waves which translate into groups of frequencies, group delay indicates the arrival time of the bulk (center of mass or crescendo) of energy over frequency which shouldn't be mistaken for signal arrival time.

Напротив, для конечных несущих волн, которые преобразуются в группы частот, групповая задержка указывает время прихода основной массы (центра массы или крещендо) энергии по частоте, которую не следует путать со временем прихода сигнала.

In case of beefing up the kick drum, the oscillator is running for the duration of the entire show, but there's only audible sound when the kick drum microphone triggers the gate inserted into the oscillator's channel.

Does that mean that the oscillator's sine wave signal has arrived now that we can finally hear it? That is was "in transit" all the time while the gate was closed?

В случае усиления бас-барабана генератор работает на протяжении всего выступления, но слышен звук только тогда, когда микрофон бас-барабана запускает гейт, вставленный в канал генератора.

Означает ли это, что синусоидальный сигнал генератора прибыл теперь, когда мы наконец можем его услышать? То есть находился "в пути" все время, пока ворота были закрыты?

### **Phase formula**

You can calculate and approximate group delay in milliseconds by applying the phase formula.

## Фазовая формула

Вы можете рассчитать и приблизительно оценить групповую задержку в миллисекундах, применив фазовую формулу.

$$\tau_g = - \left( \frac{\frac{[\phi_{hi} - \phi_{lo}]}{360}}{[f_{hi} - f_{lo}]} \times 1000 \right) \quad (3)$$

Equation 3 calculates the slope of a secant line connecting two points on a phase trace (figure 9).

Уравнение 3 вычисляет наклон секущей линии, соединяющей две точки на фазовой трассе (рисунок 9).

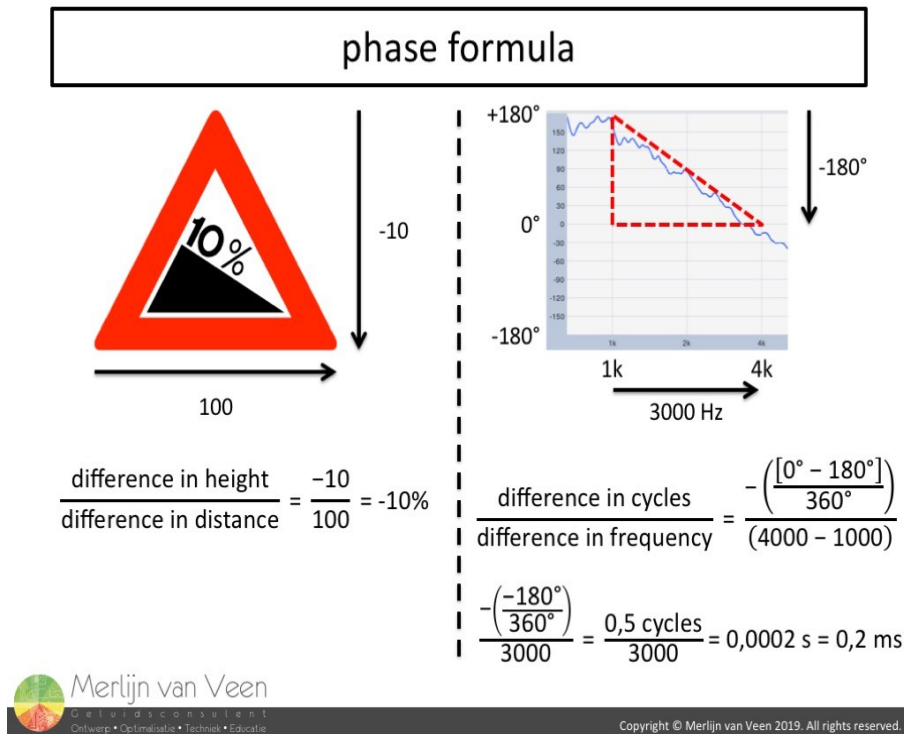


figure 9

Similar to phase delay, the unit is indeed time (figure 10) which shouldn't be mistaken for signal arrival time! Just like baby oil isn't made of babies contrary to olive oil.

Как и в случае с фазовой задержкой, единицей измерения действительно является время (рис. 10), которое не следует путать со временем поступления сигнала! Точно так же, как детское масло не делается из младенцев, в отличие от оливкового масла.

## phase formula

(group delay = 1<sup>st</sup> derivative of phase response)

$$\text{time} = \frac{\text{difference in cycles}}{\text{difference in frequency (hertz)}}$$

$$\text{group delay} = - \frac{\left( \frac{[\phi_{\text{high}} - \phi_{\text{low}}]}{360^\circ} \right)}{(f_{\text{high}} - f_{\text{low}})}$$

$$\frac{\text{cycles}}{\left( \frac{\text{cycles}}{\text{seconds}} \right)} = \frac{\text{cycles}}{1} \times \frac{\text{seconds}}{\text{cycles}} = \text{seconds}$$

figure 10

The phase formula is prone to error because what appear to be straight lines on a logarithmic scale are in actuality curved lines when observed on a linear scale. A phenomenon which I've come to call frequency-scale-warping (figure 11).

Формула фазы подвержена ошибкам, поскольку то, что кажется прямыми линиями в логарифмическом масштабе, на самом деле является изогнутыми линиями, если наблюдать в линейном масштабе. Явление, которое я называю искажением шкалы частоты (рис. 11).

## frequency scale warping

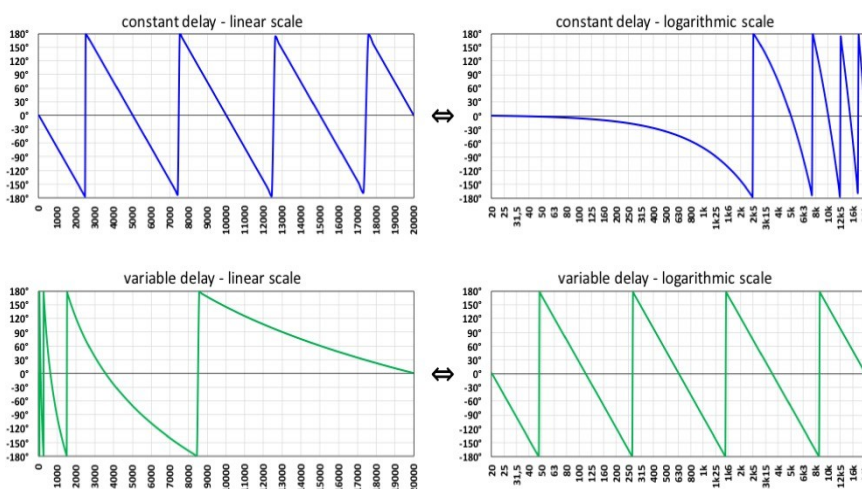


figure 11

So, depending on the interval (frequency span) you choose, your secant line is likely to be a crude approximation. Only when you make your interval infinitely small (limiting case) does the secant line become the tangent line to the phase trace which is ultimately what we're after.

*Таким образом, в зависимости от выбранного вами интервала (диапазона частот) секущая линия, скорее всего, будет грубым приближением. Только когда вы сделаете свой интервал бесконечно малым (предельный случай), секущая линия станет касательной к фазовой трассе, что в конечном итоге и является тем, что нам нужно.*

That's why I'm strongly opposed to using the phase formula for time aligning main speakers to subwoofers which only works if:

- Both loudspeakers are phase compliant (matched phase responses throughout the crossover range)
- You choose the same interval (frequency span) for both phase traces

Вот почему я категорически против использования формулы фазы для временного выравнивания основных динамиков с сабвуферами, которая работает только если:

- Оба динамика соответствуют фазе (согласованные фазовые характеристики во всем диапазоне кроссовера)
- Вы выбираете одинаковый интервал (диапазон частот) для обеих фазовых трасс

What I've been teaching for the past years is, using equation 1 which allows you to convert a phase offset into a time offset, to achieve phase alignment for a single frequency in the crossover range first which always works.

Последние годы я преподавал, используя уравнение 1, которое позволяет преобразовать сдвиг фазы во временной сдвиг, чтобы сначала добиться выравнивания фазы для одной частоты в диапазоне разделения, что всегда работает.

Once you've succeeded at that, you should evaluate your slopes throughout the crossover range and determine if they match. Do they exhibit the same slope, regardless of how the slopes themselves look!

Как только вам это удастся, вам следует оценить наклоны во всем диапазоне кроссовера и определить, совпадают ли они. Имеют ли они одинаковый наклон, независимо от того, как выглядят сами склоны!

If the slopes don't match, it means that you're not in the same cycle (or close to), which can be addressed by adding  $n$  cycles or  $(n+0,5)$  cycles of delay in combination with a polarity reversal (where  $n$  can be zero, i.e., half a cycle) of delay, for that single frequency you previously phase aligned, to the shallowest slope.

Если наклоны не совпадают, это означает, что вы не находитесь в одном и том же цикле (или близком к нему), что можно решить, добавив  $n$  циклов или  $(n+0,5)$  циклов задержки в сочетании с изменением полярности (где  $n$  может быть равно нулю, т.е. половине цикла) задержки для той единственной частоты, которую вы предварительно выравнивали по фазе, до самого пологого наклона.

And last but not least, set your delay finder only once!

A complete and foolproof method for phase aligning mains to subs can be found [here](#).

To understand the importance of matched slopes be sure to watch this video.

И последнее, но не менее важное: настраивайте искатель задержки только один раз!

Полный и надежный метод выравнивания фаз сети и сабвуфера можно найти [здесь](#).



Чтобы понять важность одинаковых уклонов, обязательно посмотрите это видео.

### When is group delay equal to phase delay?

Когда групповая задержка равна фазовой задержке?

Group delay is the first derivative of phase delay, so in order to answer this question you need to solve the differential equation  $\tau_g(f) = \tau_\phi(f)$  which solution is any constant (function).

Групповая задержка — это первая производная фазовой задержки, поэтому, чтобы ответить на этот вопрос, вам необходимо решить дифференциальное уравнение  $\tau_g(f) = \tau_\phi(f)$ , решением которого является любая константа (функция).

$$\tau_g(f) = \tau_\phi(f)$$

Long story short, only when you're dealing with a constant time delay (constant phase slope on a linear scale) for all frequencies (including a microphone cable with no delay) are phase and group delay the same.

Короче говоря, только когда вы имеете дело с постоянной задержкой по времени (постоянный наклон фазы в линейной шкале) для всех частот (включая микрофонный кабель без задержки), фазовая и групповая задержка одинаковы.

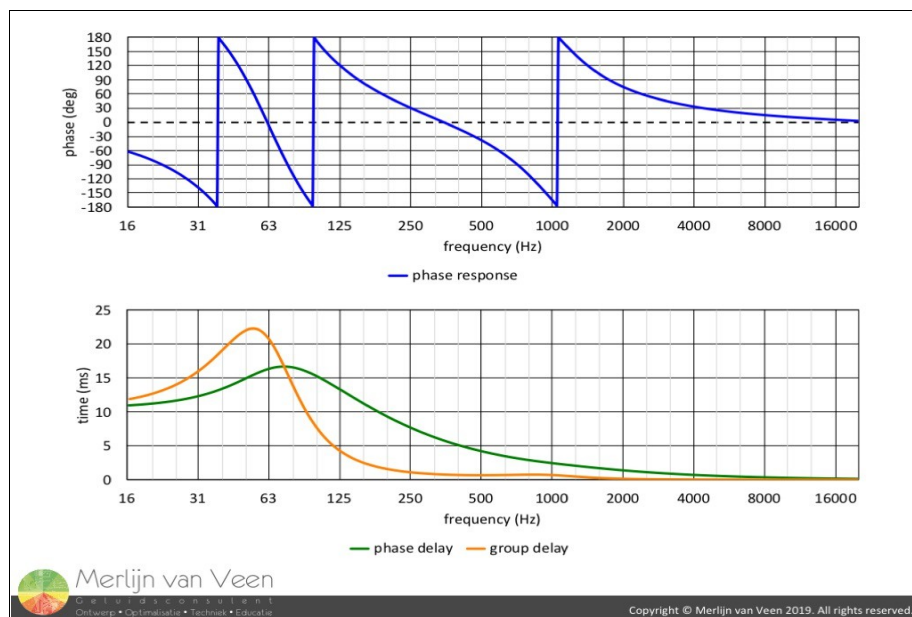


Figure 12

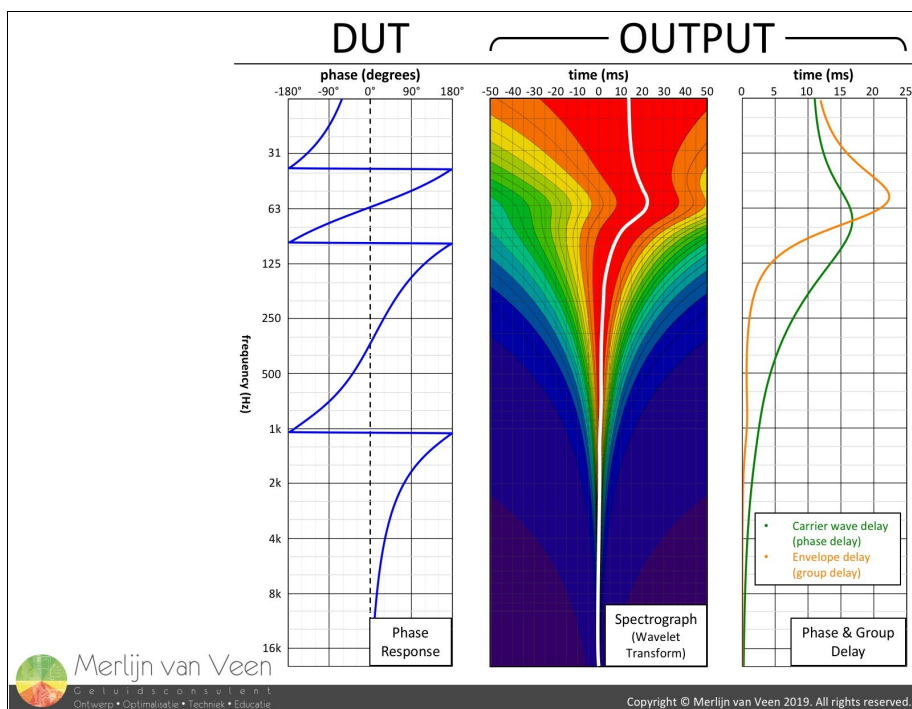


Figure 13

However, when time delay changes with frequency (like real loudspeakers) phase delay and group delay start to diverge (figure 12).

Notice however, that when the rate of change in the phase response is very little, to the point of almost become a constant slope (at very low and high frequencies), phase and group delay converge.

Figure 13 shows all the relevant charts together. Notice that the wavelet transform from figure 7 is in perfect agreement (as promised) with the calculated derivative of the DUT's phase response.

Однако когда время задержки меняется в зависимости от частоты (как в реальных громкоговорителях), фазовая задержка и групповая задержка начинают расходиться (рис. 12).

Однако обратите внимание, что когда скорость изменения фазовой характеристики очень мала, вплоть до почти постоянного наклона (на очень низких и высоких частотах), фазовая и групповая задержка сходятся.

На рис. 13 показаны все соответствующие диаграммы вместе. Обратите внимание, что вейвлет-преобразование на рисунке 7 полностью согласуется (как и было обещано) с вычисленной производной фазовой характеристики ИУ.

### Phase Delay in Action

Please watch the video below to see phase delay in action.

Фазовая задержка в действии

Пожалуйста, посмотрите видео ниже, чтобы увидеть фазовую задержку в действии.

Hannover | Germany | [info@merlijnvanveen.nl](mailto:info@merlijnvanveen.nl)

Copyright © 2024 Merlijn van Veen. All Rights Reserved.

- [Terms of Use \(Dutch\)](#)
- [Privacy & Cookies \(Dutch\)](#)