

Об измерении отношения сигнал/шум в кабельных сетях (по материалам Hewlett Packard)

Что такое динамический диапазон

Применительно к измерению, отношение C/N — это измеренная в дБ разница между пиковым уровнем несущей и усредненным уровнем шума. Измерительный прибор не в состоянии точно измерить отношение C/N , превышающее его собственный динамический диапазон.

Проиллюстрируем действие этого ограничения с помощью графиков. По оси абсцисс откладывается пиковый уровень полезного сигнала, а по оси ординат — отношение C/N . Вначале представим себе идеальный спектроанализатор, не имеющий собственных шумов, и посмотрим, как в этом случае будет выглядеть измерение C/N . Предположим, что уровень несущей составляет 0 дБмВ (60 дБмкВ). Так как сам анализатор шума не прибавляет, то мы будем измерять только белый шум, величина которого вычисляется как:

kTB (то есть $k \cdot T \cdot B$), где:

k — постоянная Больцмана;

T — температура в Кельвинах;

B — полоса, в которой измеряется шум.

Пусть полоса измерения составляет 4 МГц, а температура — $+23^\circ \text{C}$.

В этом случае kTB составит около -59 дБмВ.

А C/N вычисляется как : $0 \text{ дБмВ} - (-59 \text{ дБмВ}) = 59 \text{ дБ}$.

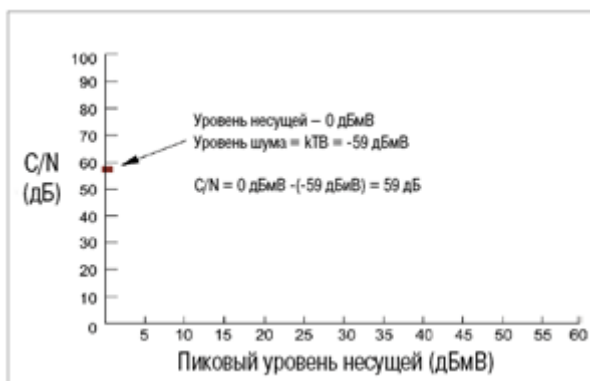


Рис. 1.

Если мы увеличим пиковый уровень несущей до +5 дБмВ, а шум останется на прежнем уровне, то отношение C/N увеличится до 64 дБ.

На рис. 2 показана кривая зависимости C/N от уровня несущей для данного идеального случая.

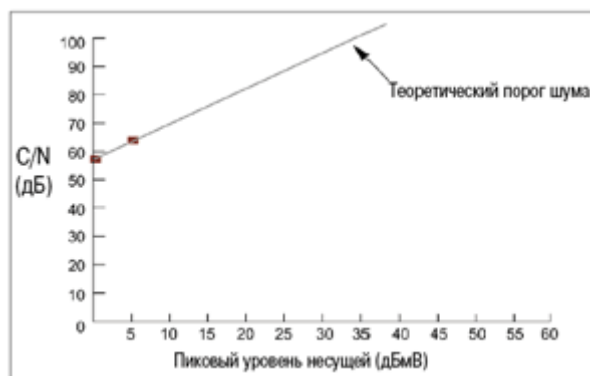


Рис. 2.

Эта линия соответствует теоретическому порогу шума системы, а величина C/N в каждой точке — теоретическому максимуму, который может быть измерен идеальным (без собственного шума) прибором.

К сожалению, реальные спектроанализаторы непременно добавляют свой собственный шум. Количественно он характеризуется коэффициентом шума:

$$K_{ш} = 10 \log\left(\frac{[S_i/N_i]}{[S_o/N_o]}\right) \text{ (дБ)},$$

где :

S_i — уровень сигнала (Вт) на входе;

N_i — уровень шума (Вт) на входе;

S_o — уровень сигнала (Вт) на выходе;

N_o — уровень шума (Вт) на выходе.

Предположим, что $K_{ш}$ анализатора составляет 27 дБ (типичное значение). Это означает, что анализатор добавляет к исходному уровню шума сигнала еще 27 дБ.

То есть шум системы составит:

$$KTV + K_{ш} \text{ анализатора} = -59 \text{ дБмВ} + 27 \text{ дБ} = -32 \text{ дБмВ}.$$

При уровне полезного сигнала 0 дБ различное анализатором отношение C/N максимально составит 0 дБмВ - (-32 дБмВ) = 32 дБ. На рис. 3 добавлен график C/N для реального анализатора, рассчитанный с учетом того, что анализатор не может измерить шум, уровень которого ниже уровня его собственного шума. Динамический диапазон реального анализатора по сравнению с идеальным снизился на величину $K_{ш}$ (27 дБ).

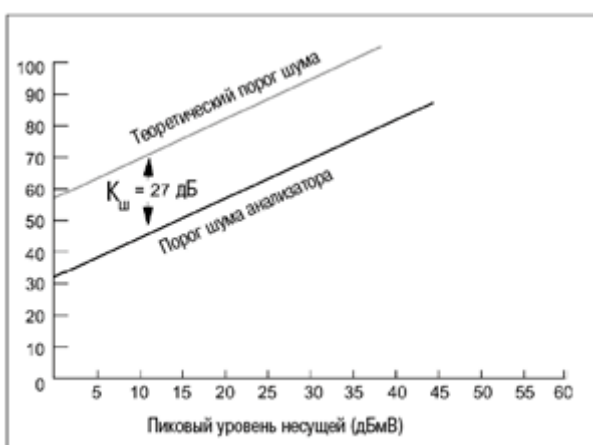


Рис. 3.

Когда измеряемый системный шум приближается по уровню к шуму анализатора, точность измерения стремительно падает. При близком значении этих двух величин анализатор не способен корректно выделить системный шум на фоне собственного. Для обеспечения высокой точности измерения эти два уровня шума должны различаться, по крайней мере, на 10 дБ. Таким образом (рис.4), диапазон корректных измерений C/N меньше порогового еще на 10 дБ.

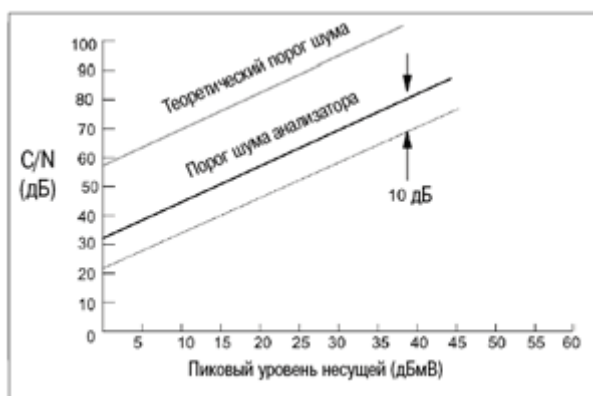


Рис. 4.

Некоторые модели анализаторов Hewlett Packard позволяют измерять системный шум на уровнях, близких к собственному шуму анализатора, или даже несколько более низкий. Это достигается коррекцией результата за счет вычитания из него собственного шума анализатора. Но когда системный шум оказывается равным шуму

анализатора, точность такого опосредованного измерения все равно падает. Полученные графики следует дополнить еще одной важной линией, отражающей максимально допустимый уровень входного сигнала. Это уровень сигнала на входе анализатора (с нулевой аттенуацией), при котором его приемник начинает перегружаться, создавая интермодуляционные искажения. Предположим, что этот уровень для анализатора составляет +38 дБмВ¹ (98 дБмВ). При превышении этого уровня анализатор вносит значительные интермодуляционные искажения, повышая шумовой порог и искажая результаты измерения C/N.

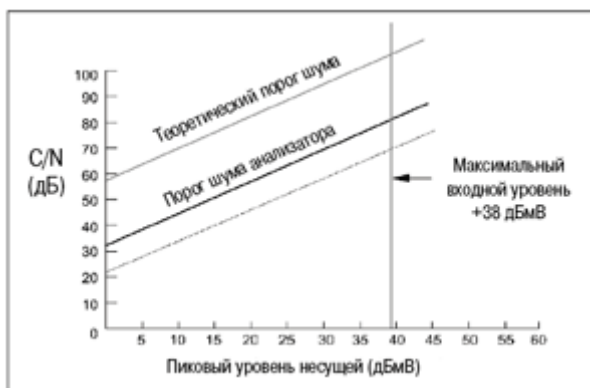


Рис. 5.

Из графика следует, что максимальный уровень C/N, который может быть измерен анализатором, составляет 61 дБ; упомянутая выше методика коррекции позволяет повысить этот уровень до 71 дБ. Этого было бы вполне достаточно, если бы не требовалось измерять C/N и при сильно более низких уровнях, нежели 38 дБмВ. Если бы нам удалось сдвинуть шумовой порог анализатора, то есть подвинуть линию порога вверх, то это позволило бы измерять более высокие значения C/N при меньших уровнях несущей.

Простейший способ снизить шумовой порог анализатора — подключить на его входе малошумящий усилитель.

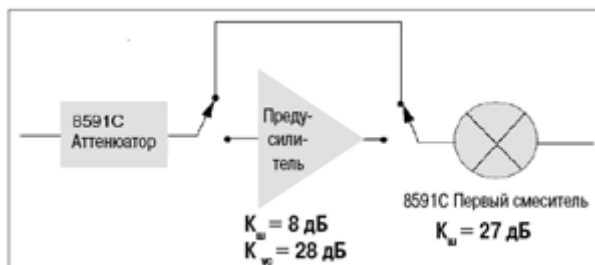


Рис. 6.

Рассмотрим случай применения встроенного малошумящего усилителя с $K_{ш}=8$ дБ и $K_{ус}$ 28 дБ. Так как коэффициент шума предусилителя (8 дБ) намного меньше, чем у самого анализатора (27 дБ), и усиление достаточно высокое (28 дБ), то суммарный $K_{ш}$ связки усилитель/анализатор значительно меньше, чем $K_{ш}$ анализатора, и лишь немного превышает $K_{ш}$ усилителя.

Вычисляется он следующим образом:

$$K_{ш \text{ системы}} = K_{ш \text{ пред.}} + (K_{ш \text{ анализатора}} - 1)/K_{ус}$$

$$K_{ш \text{ системы}} = 8 + (27-1)/28 = 8.93 \text{ дБ}$$

Для последующих примеров примем совокупный $K_{ш}$ системы, равным 8 дБ.

Таким образом, шумовой порог связки предусилитель/анализатор всего лишь на 8 дБ выше, чем КТВ. График, отражающий шумовой порог, поднялся вверх на 19 дБ, что позволяет измерять более высокие значения C/N при умеренных уровнях входного сигнала.

Но снижая совокупный $K_{ш}$, предусилитель одновременно увеличивает уровень сигнала, поступающий в приемный тракт анализатора. Это означает, что уровень несущей, поступающей из распределительной сети, по достижении определенной величины

должен быть снижен во избежание перегрузки анализатора. Нарисуем на графике вертикальную линию, отражающую максимальный уровень сигнала, допустимый на входе анализатора. Он составляет +38 дБмВ. Предусилитель поднимает уровень каждого входного сигнала на 28 дБ. Это означает, что анализатор начинает перегружаться, когда уровень на входе предусилителя составляет всего 10 дБмВ. На рис. 7 по оси абсцисс уже отложены две шкалы. Нижняя отражает уровни на входе предусилителя, а верхняя — уровни на входе анализатора.

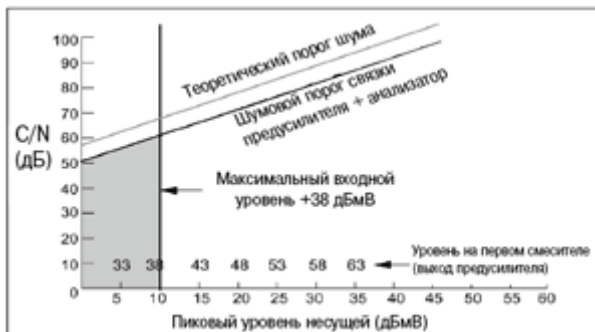


Рис. 7.

Для измерения уровней, превышающих 10 дБмВ, в тракт следует добавить аттенюатор, снижающий сигнал на входе анализатора до уровня +38 дБмВ. Допустим, мы понизили сигнал на 10 дБ, используя для этой цели аттенюатор, встроенный в анализатор. Это приведет к уменьшению совокупного усиления на 10 дБ и к такому же уменьшению уровня на входе анализатора. На рис. 8 отражено соответствующее изменение динамического диапазона.

Введение аттенюации приводит к повышению шумового порога системы предусилитель/аттенюатор/анализатор, в результате чего максимальный уровень C/N, подлежащий измерению, падает. Аттенюация снижает уровень несущей на входе анализатора, не уменьшая уровня шума, а, напротив, несколько его увеличивая. Если аттенюатор установлен перед предусилителем, последний усиливает еще и шум, вносимый аттенюатором. Если же используется внешний предусилитель, то шумовой вклад аттенюатора (КТВ) не усиливается и будет значительно меньше.

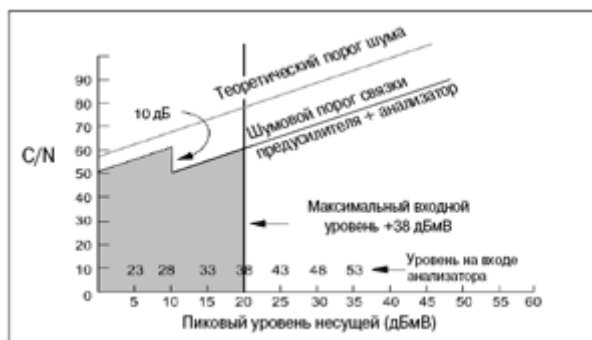


Рис. 8.

При уровне несущей в 20 дБмВ на входе анализатора опять присутствует +38 дБмВ и, чтобы избежать перегрузки, следует добавить еще 10 дБ аттенюации. Как можно видеть на рис. 9, совместное использование предусилителя и аттенюатора в данном случае дает результат хуже, чем если бы не использовалось ни того, ни другого. То есть эта связка эффективна для входных сигналов определенного уровня.

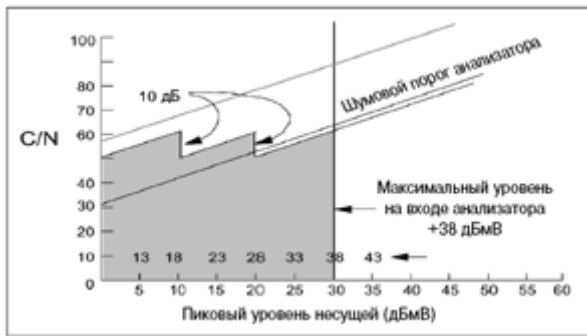


Рис. 9.

До сих пор наши рассуждения касались передачи одной несущей. В реальных СКТВ их может передаваться 50 и более. Добавление несущих увеличивает суммарную мощность сигнала на входе анализатора. Чтобы избежать его перегрузки, следует либо исключить часть несущих (например, с помощью полосовых фильтров), либо ограничить мощность каждой несущей. Совокупная мощность многоканального сигнала, присутствующего в СКТВ, определяется как:

Уровень несущей + $10 \log$ (общее число несущих).

Пример:

Уровень несущей = +24 дБмВ.

Число несущих = 50.

Суммарная мощность = $24 + 10 \log (50) = 24 + 17 = 41$ дБмВ.

Если несущие модулированы, то суммарная мощность будет меньше на 3 дБ, то есть составит 38 дБмВ. Эта величина на 14 дБ выше мощности одной несущей и соответствует максимальному входному уровню анализатора. То есть если в сети передается по 50 несущих с уровнями, превышающими 24 дБмВ, то C/N можно измерять, используя только полосовые фильтры или аттенюатор, ограничивающий их мощность на входе спектроанализатора. На рис. 10 показано, как область доступных измерений будет выглядеть для 50 несущих.

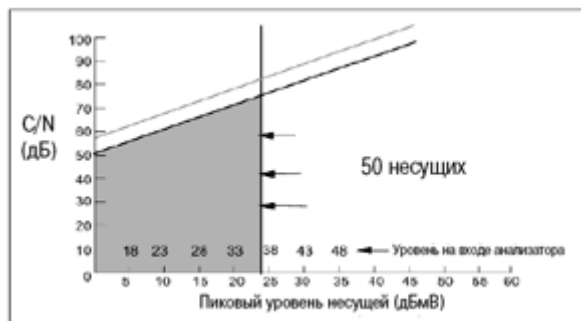


Рис. 10.

Если для расширения динамического диапазона использовать предусилитель и аттенюатор, то для 50 несущих с уровнем 24 дБмВ мы получим результат, изображенный на рис. 11. Максимальный пиковый уровень составляет теперь +24 дБмВ, и в результате весь график сдвинулся влево. Заштрихованная область оказалась по другую сторону оси ординат.

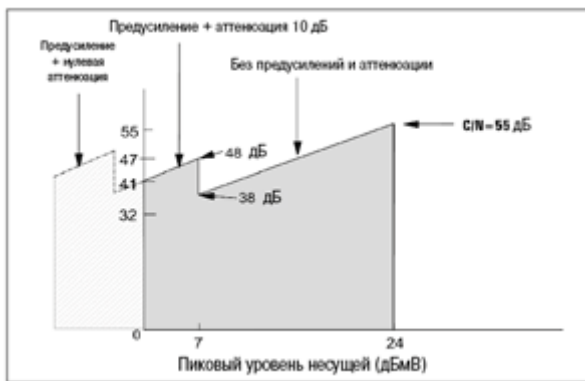


Рис. 11.

Это пример того, как меняется динамический диапазон, когда на вход анализатора подаются все несущие. Следует определить суммарную мощность подаваемого сигнала, а затем усилить его предусилителем или, наоборот, ослабить аттенуатором, так, чтобы суммарная мощность обеспечивала максимальный динамический диапазон S/N , доступный для данного уровня, то есть уровень перед соответствующей ступенькой графика.

В заключение отметим, что ограниченность динамического диапазона прибора в такой же мере мешает измерению интермодуляционных искажений.

¹ Этот и последующие численные параметры, используемые в примерах, взяты из спецификации анализатора HP 8591 C.