

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ АЧХ ВИДЕОТРАКТОВ В СИСТЕМАХ ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Аннотация: Внедрение систем цифрового телевидения определяет необходимость совершенствования используемых методов измерений сквозных частотных характеристик и соответствующего оборудования, ранее ориентированных на аналоговое телевидение. В докладе анализируется метод измерения АЧХ телевизионного тракта, основанный на принципе формирования измерительных пачек. Существенное внимание уделено анализу искажений формы испытательных сигналов. Показаны преимущества локализации спектра испытательных импульсов.

Известно, что использование линейно-частотно-модулированного (ЛЧМ) сигнала для измерения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) функциональных элементов систем цифрового телевидения (ЦТВ) связано с определенными трудностями. В то же время, принцип, используемый в измерителях на основе ЛЧМ-сигнала является достаточно удобным и относится к одному из альтернативных методов измерения АЧХ телевизионного сигнала (ТВС). Достоинством анализа спектра на основе ЛЧМ-сигнала является достаточно большая скорость анализа. Перспективным с точки зрения увеличения точности анализа и сохранения его скорости является метод измерения АЧХ по сериям точек.

На наблюдаемую характеристику накладывают узкие вертикальные отметки частоты, которые появляются на экране в результате детектирования биений между частотно модулированным (ЧМ) напряжением и напряжением гармоник калибровочного генератора, стабилизированного кварцем. Однако плавное изменение частоты может иметь некоторые отрицательные последствия. Вследствие этого фирмой Wavetek Wandel Golterman (WWG) был заработан универсальный анализатор для систем кабельного телевидения в котором, частота ЛЧМ-импульса изменяется дискретно [1]. То есть фактически формируются измерительные пачки, следующие с небольшим интервалом. В этом случае, измерительный сигнал (ИС) представляет собой последовательность измерительных пачек (ИП), где частота изменяется дискретно, через интервал, зависящий от полосы исследуемых частот и общего времени измерений. Метод измерения АЧХ видеоканала, использованный в кабельном анализаторе WWG, является, в некоторой степени, гибридным решением между использованием ЛЧМ-сигнала и контролем АЧХ по сериям точек. На Рис. 1, приведена укрупненная схема измерительной последовательности. Структура сигнала аналогична сигналу с цифровой частотной модуляцией. Поскольку структура ИС для оценки АЧХ

видеоканала (Рис. 1) идентична структуре измерительного сигнала для оценки АЧХ видеотракта, можно сделать вывод: фактически в данном случае можно классифицировать метод измерения фирмы WWG как метод измерения по сериям точек. Формируются узкие пачки синусоидальных сигналов, которые впоследствии выделяются на приемной стороне, и строится АЧХ аналогично методу, описанному выше.

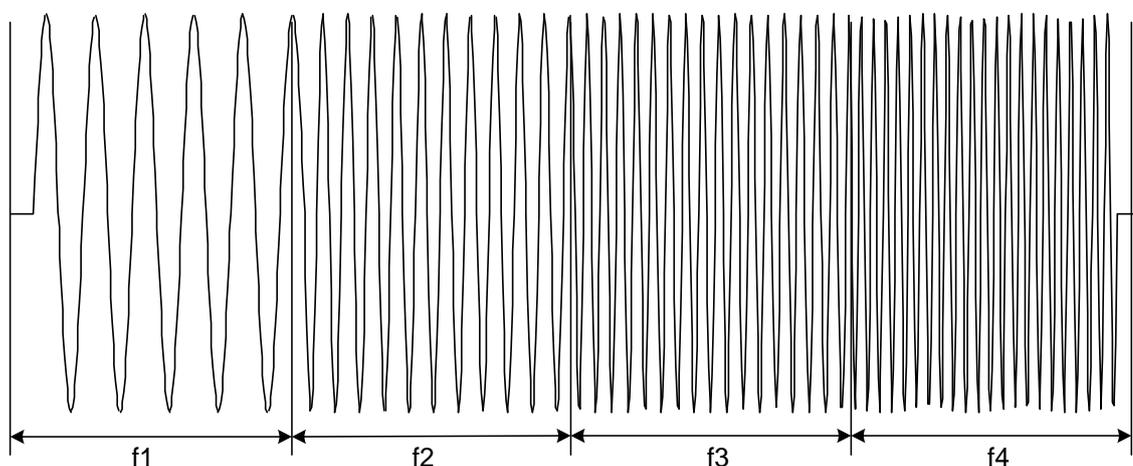


Рис. 1. Укрупненная схема измерительной последовательности

Помимо интегральных искажений, характерных для анализатора, построенного на базе генератора качающейся частоты (ГКЧ), данному методу характерны специфические искажения, которые связаны с учетом тонкой специфики спектра ИП. Проанализируем эти искажения. Как видно из Рис. 1 испытательный сигнал можно представить в виде совокупности прямоугольных радиоимпульсов. Без учета искажений от переходных процессов будем считать, что измерение аналогично измерению по сериям точек. А в этом случае, можно предположить, что обработка радиоимпульсов осуществляется последовательно. Частота заполнения каждого радиоимпульса соответствует измеряемой в данный момент частоте. При этом каждый подобный измерительный радиоимпульс будет обладать определенным спектром. При измерении АЧХ элементов аппаратуры формирования цифрового телевизионного сигнала (ЦТВС), имеющих значительную полосу пропускания спектр ИП проходит без искажений. Однако при измерении АЧХ элементов устройств формирования ЦТВС, имеющих достаточно ограниченную полосу пропускания, например при измерении АЧХ узлов трансмодулятора, который используется в системах кабельного телевидения или при анализе аппаратуры систем типа MMDS (Multipoint Multichannel Distribution System), могут возникнуть специфические искажения, связанные с ограниченностью полосы пропускания.

Спектр модулированного цифрового сигнала, определяется функцией спектральной плотности мощности равномерной в пределах полосы частот видеоканала. Ширина

видеоканала может составлять 8 МГц, в случае передачи ЦТВС по кабельной распределительной сети, и порядка 25, 36 МГц, в случае передачи по спутниковой линии с фазовой модуляцией QPSK (Quantitude Phase Shift Keying). Вместе с тем, в настоящее время развиваются системы передачи типа MMDS, MVDS (Multipoint Video Distribution Systems) и LMDS (Local Miltipoint Distribution System), которые занимают частотный диапазон выше 1 ГГц. Эти устройства имеют в своем составе блоки канального преобразования, где происходит обработка ТВС в полосе частот видеоканала. Например, в кабельном телевидении используются трансмодуляторы QPSK – QAM (Quadrature Amplitude Modulation), реализующие преобразование ЦТВС, из поступающего по спутниковой линии связи, в цифровой телевизионный сигнал, передаваемый по кабельной распределительной сети (КРС). При настройке аппаратуры необходима высокая точность определения АЧХ, особенно, это касается спада АЧХ, на границе полосы пропускания, функциональных узлов аппаратуры. Здесь возникают искажения ИС вследствие ограничения спектра непосредственно полосой пропускания испытываемой аппаратуры.

Рассмотрим случаи возникновения искажений. Допустим элемент оборудования системы цифрового телевидения имеет собственную АЧХ, показанную на Рис. 2. При этом, необходимо провести измерения на частоте, близкой к границе полосы пропускания. Поскольку в целях сокращения времени измерения измерительная пачка должно обладать небольшой длительностью, то ее спектр будет занимать определенный участок частотного диапазона (Рис. 2).

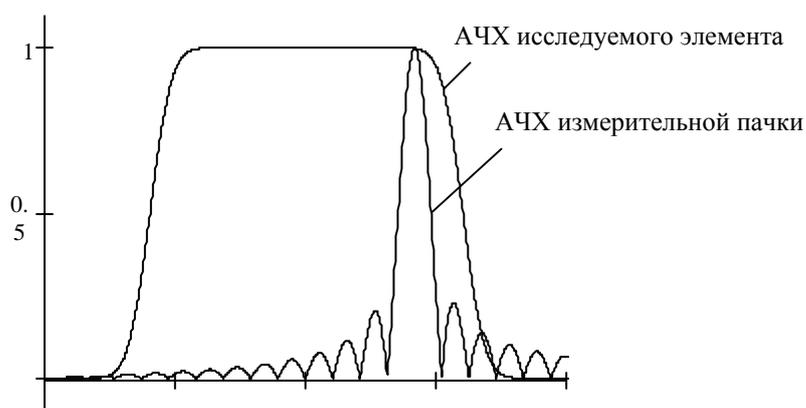


Рис. 2. АЧХ исследуемого элемента и измерительной пачки.

При измерении АЧХ на частотах, близких к границе полосы пропускания, спектр испытательной пачки будет ограничен собственно АЧХ исследуемого элемента. Как видно из Рис.2, искажения, вызванные ограниченностью реальной полосы пропускания исследуемого элемента можно свести к минимуму. Для этого необходимо лишь увеличивать длительность ИП, но это приведет к общему увеличению времени анализа.

Оценим искажения, возникающие при передаче измерительных пачек в зависимости от исследуемой частоты. Как видно из Рис.2, чем ближе исследуемая частота к граничной частоте полосы пропускания, тем сильнее сказывается эффект ограничения спектра ИС. Для удобства проведем расчет искажений радиоимпульса при различной степени ограничения спектра ИП. Измерительные пачки, используемые при оценке сквозной АЧХ, имеют прямоугольную огибающую. Как известно из теории радиотехнических цепей и сигналов, спектр радиоимпульса эквивалентен спектру прямоугольного импульса, смещенного по оси частот на величину ω_0 , эквивалентную измеряемой частоте [3]. Спектр, соответствующий прямоугольной огибающей, определяется следующей функцией:

$$S(\omega) = A\tau \frac{\sin\left(\frac{\omega\tau}{2}\right)}{\frac{\omega\tau}{2}} \quad (1)$$

При ограничении спектра граничной частотой полосы пропускания функционального элемента системы ЦТВ, радиоимпульс подвергается искажениям. Действие ограничения аналогично ограничению спектра функции ИП с помощью фильтра низких частот (ФНЧ), с определенной частотой среза. Для наглядной оценки искажений измерительной пачки построим искаженный импульс при условии, что ограничение наступает на частотах, где спектральная функция измерительной пачки обращается в нуль. Эти частоты будут кратны частоте ω_1 , которая определяется как $\omega_1 = \frac{2\pi}{\tau_{II}}$, где τ_{II} – длительность измерительной пачки.

Предположим, что ограничение наступает на частоте $\omega_1 = \omega_0 + 3\frac{2\pi}{\tau_{II}}$. Для этого случая ограничение спектра показано на Рис. 3 (а), а сигнал ИП показан на Рис. 3 (б). Как видно, увеличивается длительность синусоидальной пачки и неравномерность плоской части становится значительной. Аналогичные искажения измерительной пачки для случаев, когда ограничение происходит на частотах $\omega_1 = \omega_0 + 2\frac{2\pi}{\tau_{II}}$ и $\omega_1 = \omega_0 + 1\frac{2\pi}{\tau_{II}}$, показаны на Рис. 4 (а), Рис. 4 (б) и Рис. 5 (а), Рис. 5 (б) соответственно.

Подобные искажения могут вызвать ошибки в работе пикового детектора, поскольку при ограничении спектра измерительной пачки значением порядка $\omega\tau = 2..3$ огибающая синусоидальной пачки имеет заметные выбросы, вследствие чего пиковое значение увеличивается. При значениях $\omega\tau < 1$ амплитуда пачки становится меньше действительной величины. Специфические искажения формы синусоидальных пачек приводит к снижению точности измерений.

Измерительные пакеты подвергаются искажениям, которые выражаются в увеличении длительности пакета. В случае, когда используется ЛЧМ-сигнал, имеют место перекрестные искажения, возникающие между импульсами соседних частот.

Таким образом, можно сделать вывод, что основными факторами, влияющими на точность измерения АЧХ по сериям точек являются, ограничение спектра и перекрестные искажения между ИП связанные с конечной длительностью переходных процессов между пакетами. Для решения проблемы увеличения точности измерений необходимо минимизировать вышеуказанные искажения.

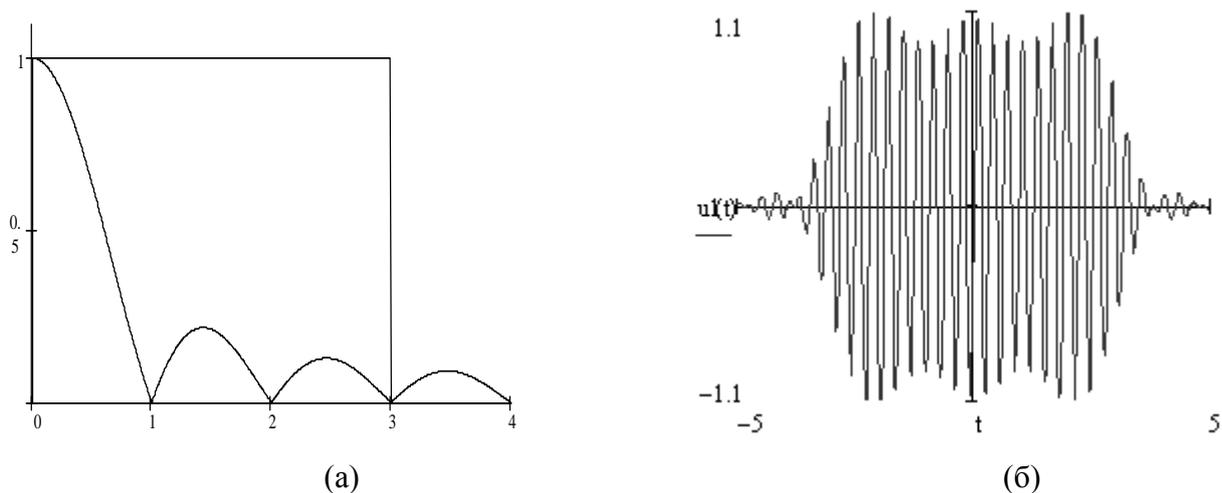


Рис. 3. Спектр (а) и сигнал измерительной пачки (б), при ограничении на частоте

$$\omega_1 = \omega_0 + 3 \frac{2\pi}{\tau_{II}}$$

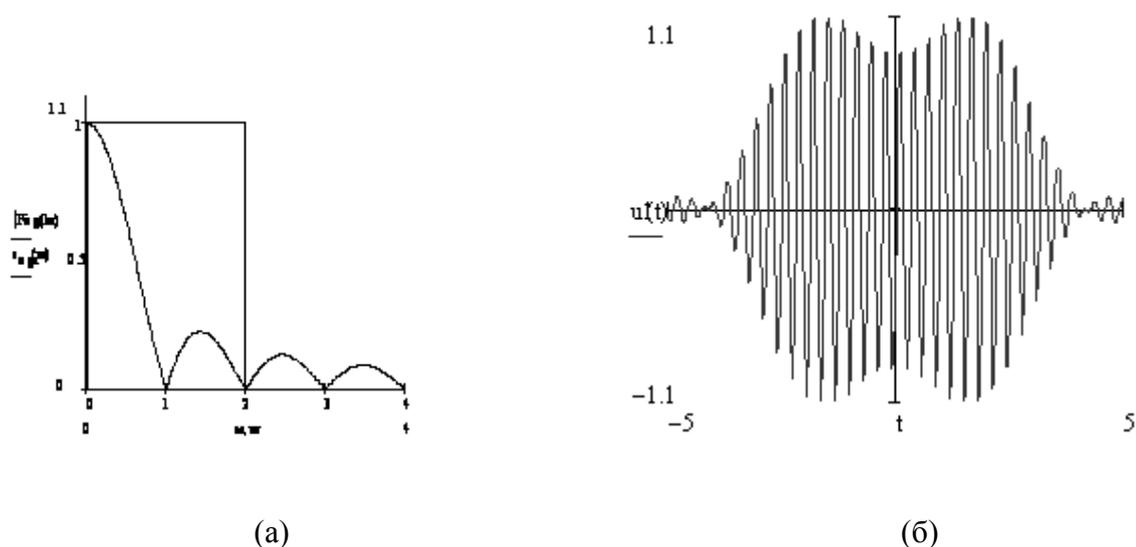


Рис. 4. Спектр (а) и сигнал измерительной пачки (б), при ограничении на частоте

$$\omega_1 = \omega_0 + 2 \frac{2\pi}{\tau_c}$$

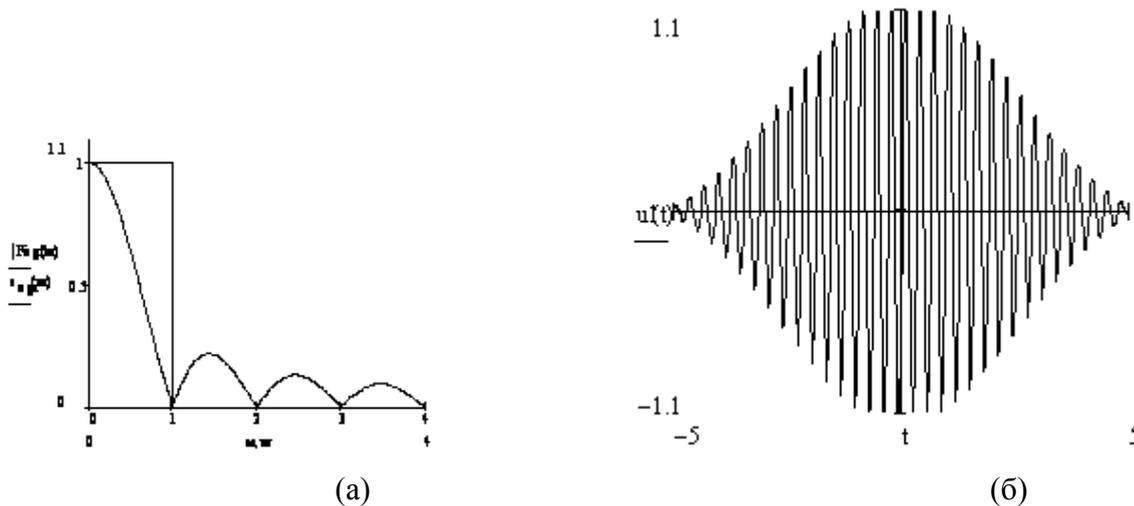


Рис. 5. Спектр (а) и сигнал измерительной пачки (б), при ограничении на частоте

$$\omega_1 = \omega_0 + 1 \frac{2\pi}{\tau_{II}}$$

Устранить искажения, связанные с перекрестными искажениями измерительных пачек можно отдельной обработкой последних, а также с помощью получения более компактного спектра, обладающего малоинтенсивными боковыми лепестками и высокой частотой колебательного процесса в спектре, что в конечном итоге снизит перекрестные искажения. Для минимизации искажений, связанных с ограничением протяженности спектра ИС полосой пропускания исследуемого функционального элемента, опять таки, необходимо получение испытательного сигнала с, как можно более, компактным спектром. Таким образом, фактически главной причиной снижения точности измерений и возникновения погрешности, является неограниченность спектра испытательного сигнала. Следовательно, в качестве меры точности измерений можно косвенно считать меру искажений спектра измерительной пачки. Аналитически достаточно сложно привести математический аппарат влияния искажений спектра на точность измерений, поэтому при оценке повышения точности испытательного сигнала будем ориентироваться на степень искажений спектра испытательного сигнала. Чем меньше будут искажения спектра, тем выше будет точность измерений предлагаемым методом.

Альтернативой методу измерения АЧХ функциональных элементов для систем цифрового телевидения известен метод измерения АЧХ по сериям точек, где отсутствуют перекрестные искажения, возникающие в результате взаимных помех. При этом формируются испытательные сигналы, являющиеся радиоимпульсами определенной формы. В отличие от метода измерения сквозной АЧХ с помощью ЛЧМ-сигнала, в данном случае осуществляется квазистатический режим измерения АЧХ. То есть фактически применяется метод дискретного контроля, время измерений сводится к минимуму и ВТО же время повышается точность измерений.

Литература

1. Ульяновкин С.В., Черноглазов А.В., «Измерительный прибор WWG SDA-4040D для кабельных сетей» //Метрология, 2001, с. 44 – 46.
2. Husak W., et.al. On-channel repeater for digital television implementetion and field testing. – Proceedings 1999 Broadcast Engineering Conference, NAB`99, Las Vegas. 1999. April 17-22.
3. Гоноровский И. С., Демин М.П., Радиотехнические цепи и сигналы, М.:Радио и связь, 1994.
4. Дворкович А.В., Дворкович В.П., Макаров Д.Г., Мохин Г.Н., Соколов А.Ю. Характерные искажения изображений при цифровом кодировании MPEG и тестовые сигналы для оценки качества кодирования //Доклады 1-й Международной конференции «Цифровая обработка и ее применения – DSPA98». – Москва, 1998, III-221.
5. Кривошеев М. И., Основы телевизионных измерений. – М.: Связь, 1979.