

ТЕХНОЛОГИЯ ЦИФРОВОГО ЛЮМИНОФОРА УЛУЧШАЕТ ОБНАРУЖЕНИЕ И АНАЛИЗ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ

DIGITAL PHOSPHOR TECHNOLOGY BOOSTS RF SIGNAL DISCOVERY AND ANALYSIS

Джонатан Мис (Jonathan Mees), Tektronix, Inc.

ВВЕДЕНИЕ

Радиочастотный (РЧ) спектр стал еще более хаотичным, чем ранее, с большим количеством каналов и все более сложными сигналами, переполняющими ограниченный спектр частот. По мере использования в новых системах беспроводной передачи данных и распространения цифровых РЧ систем инженерам становятся необходимыми более совершенные приборы для выявления и интерпретации сложного поведения и взаимодействия высокочастотных (ВЧ) сигналов.

К счастью, технология «цифрового люминофора» (Digital Phosphor), традиционно используемая в современных осциллографах, теперь применяется и в РЧ области и внедрена в новейшие анализаторы спектра реального времени (Real-Time Spectrum Analyzers — RTSA). Эта технология впервые позволяет пользователям видеть «живые» ВЧ сигналы и обеспечивает самое глубокое понимание поведения этих сигналов. Фактически в настоящее время только дисплеи на основе технологии «цифрового люминофора» с видеоизображением, формируемым в реальном времени, могут отображать такие сигналы и детали, которые обычно полностью упускают обычные анализаторы спектра и векторные анализаторы сигналов (VSA), что позволяет значительно ускорить обнаружение и диагностику проблем, связанных с меняющимися во времени ВЧ сигналами.

Термин «цифровой люминофор» (Digital Phosphor) появился по аналогии с люминофорным покрытием внутренней поверхности электронно-лучевых трубок (ЭЛТ), которые используются в качестве экранов в телевизорах, компьютерных мониторах и измерительном оборудовании прежнего поколения. При облучении электронным потоком люминофор флуоресцирует, высвечивая след движущегося пучка электронов. В последние годы устройства с растровой разверткой, такие как жидкокристаллические дисплеи (ЖКД), заменили ЭЛТ во многих приложениях, благодаря своим более широким возможностям. Однако ЭЛТ с люминофором имеют ряд особенностей, которые до сих пор полезны для современных контрольно-измерительных применений.

Одним из главных преимуществ

ЭЛТ является послесвечение. Люминофор продолжает светиться даже после прохождения электронного пучка. Как правило, флуоресценция угасает достаточно быстро, но даже малая степень послесвечения позволяет человеческому глазу фиксировать события, которые иначе нельзя было бы успеть увидеть.

Во-вторых, векторные ЭЛТ на основе люминофора обеспечивают пропорциональность яркости свечения экрана. Чем медленнее электронный пучок проходит через данную точку на люминесцентном экране, тем ярче будет светиться эта точка. Яркость пятна также больше, если пучок чаще бомбардирует это пятно. Пользователи интуитивно

ЭЛТ) и цифровым сигнальным трактом. Технология «цифрового люминофора» была разработана таким образом, чтобы в цифровых осциллографах и новых анализаторах спектра реального времени RTSA можно было использовать все преимущества аналоговых векторных ЭЛТ и даже превзойти их. Расширение возможностей приборов за счет цифровых технологий, таких как градация яркости, выбираемые цветовые схемы и статистические следы, обеспечивает получение большего количества информации за меньшее время.

КАК РАБОТАЕТ ТЕХНОЛОГИЯ «ЦИФРОВОГО ЛЮМИНОФОРА»

Технология «цифрового люминофора» позволяет сжать 1465 измерений спектра за одно обновление экрана, которое происходит каждые 33 миллисекунды. Однако это лишь очень упрощенное описание роли, которую «цифровой люминофор» играет в лучших анализаторах RTSA. Каждую секунду прибор осуществляет 48 828 выборок данных и преобразует их в спектры. Такая высокая частота преобразования гарантирует обнаружение самых редких событий, но ЖКД не в состоянии обеспечить отображение спектров с такой скоростью, тем более, что и человеческий глаз не успеет их воспринять. Поэтому входные спектры на полной скорости записываются в битовую матрицу базы данных, а затем передаются на экран с нормальной частотой просмотра 30 Гц.

Битовую матрицу базы данных можно представить в виде частой сетки, которая получается при разделении графика спектра на строки, представляющие значения амплитуды сигнала, и столбцы, соответствующие точкам на оси частот. Значение в каждой ячейке этой матрицы равно количеству событий попадания соответствующей величины спектра входного сигнала в данную ячейку. Отслеживая эти значения, технология «цифрового люминофора» реализует принцип пропорциональности и позволяет визуально отличать редкие переходные процессы от обычных сигналов и фонового шума.

На рис. 1 представлен упрощенный вид битовой матрицы базы данных, а также реальный дисплей «цифрового люминофора». На матрице слева пока-

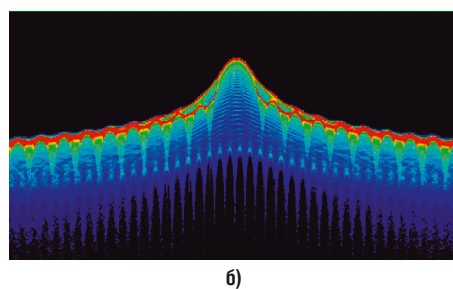
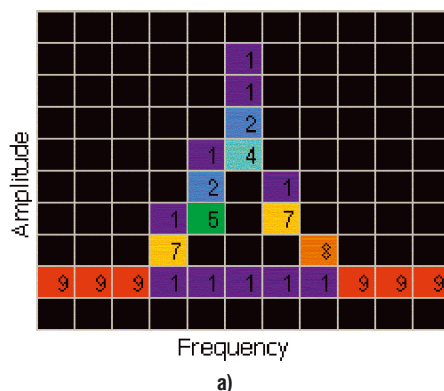


Рис. 1. Битовая матрица с цветовым кодированием (а) и реальный дисплей «цифрового люминофора» (б)

знают, как интерпретировать эту информацию по оси Z: яркая часть следа указывает на частое событие или медленное перемещение пучка, а тусклый след получается в результате нечастых событий или быстро перемещающихся пучков.

Послесвечение и пропорциональность не были присущи изначально приборам с ЖКД (и даже с растровой

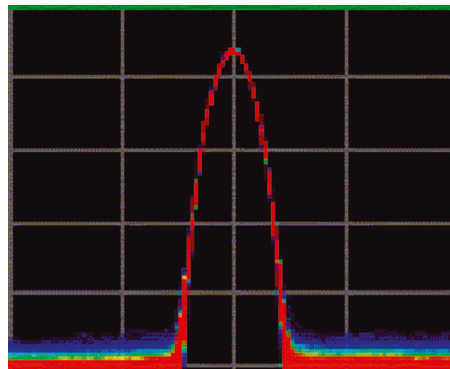
заны значения количества событий после выполнения девяти спектральных преобразований. Пустые ячейки содержат значение нуль, означая, что в них еще не попали точки из спектра. Один из девяти поступивших спектров был рассчитан в то время, когда сигнал отсутствовал, что можно увидеть в строке значений «1» на уровне собственных шумов.

После преобразования этих значений в цветовую шкалу матрица представляет собой трехмерное отображение спектра сигнала. В приведенном примере более теплые цвета (красный, оранжевый, желтый) указывают на более частое попадание значений в данную ячейку. Пользователь анализатора RTSA может определить и другие схемы градации по яркости. Отображение этих цветных ячеек, по одной ячейке на каждый экранный пиксель, позволяет сформировать дисплей с «цифровым люминофором». Реальная битовая матрица базы данных лучших анализаторов RTSA с технологией «цифрового люминофора» содержит 501 столбец и 201 строку для сбора данных и формирования изображения спектра сигнала.

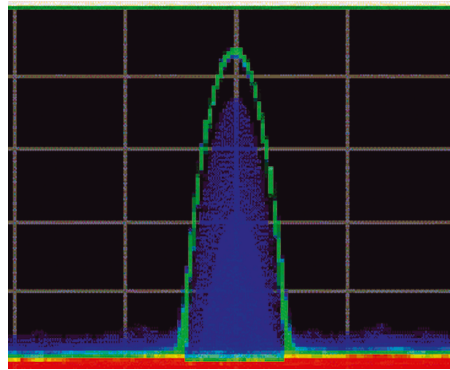
Как уже указывалось ранее, ежедневно в базу данных поступает 48 828 спектров. В конце каждого кадра, содержащего более 1400 входных спектров, (т. е. примерно 30 раз в секунду) данные из битовой матрицы пересылаются для дополнительной обработки перед отображением на дисплее. После этого данные из нового кадра начинают заполнять ячейки битовой матрицы.

Для реализации эффекта послесвечения в технологии «цифрового люминофора» обеспечивается сохранение уже существующих данных в ячейках битовой матрицы и добавление к ним данных о вновь поступающих спектрах. При этом в начале каждого нового кадра не производится очистка (обнуление) битовой матрицы. Функция сохранения всех значений битовой матрицы по всем кадрам получила название бесконечного послесвечения (Infinite Persistence). Если на следующий кадр переносится только часть данных из предыдущего кадра, то это называется переменное или регулируемое послесвечение (Variable Persistence). Установка величины переносимой части данных позволяет изменять продолжительность периода времени, в течение которого сигнал угасает на дисплее прибора.

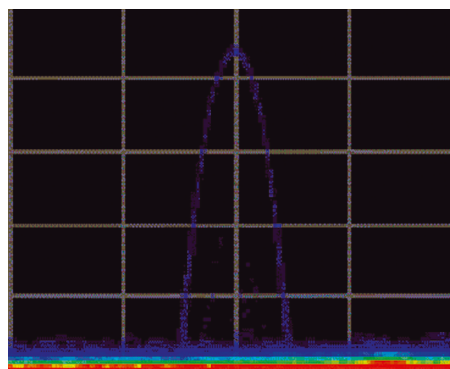
Представим сигнал, который высветился на экране только один раз в течение работы функции «цифрового люминофора». Далее предположим, что он присутствует во всех 1465 обновлениях спектра в кадре, а коэффициент переменного послесвечения (Variable Persistence Factor) вызывает 25-процентное затухание после каждого кадра. Ячейки матрицы, в которые



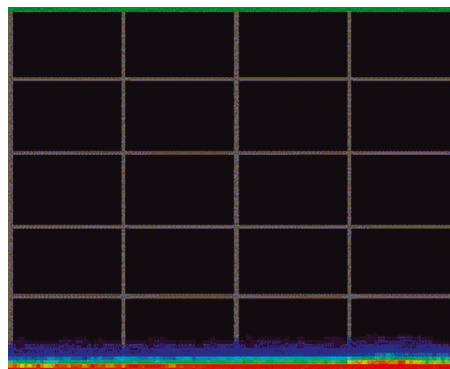
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Сигнал несущей, захваченный с помощью технологии «цифрового люминофора» с постепенным угасанием

попадет сигнал, изначально будут иметь значение равное 1465 и будут отображаться с полной яркостью. При запуске следующего кадра значение количества событий становится равным 1099 (напомним, что мы рассматриваем редкий сигнал, который попал

только в один кадр). В следующем кадре эта величина станет равной 824, и в дальнейшем она будет уменьшаться, приближаясь к нулю. На экране анализатора RTSA пользователь сначала увидит яркий след с пиком на частоте сигнала (рис. 2а). Часть осциллограммы, соответствующая пику сигнала, со временем будет угасать. В это же время увеличивается яркость пикселей на уровне базового шума ниже затухающего сигнала (рис. 2б, в). В итоге на дисплее остается только сигнал базового шума (рис. 2г).

Возможности послесвечения в анализаторах RTSA с технологией «цифрового люминофора» являются исключительно ценными для диагностики неисправностей, обеспечивая все преимущества функции «MaxHold» («Фиксация максимального значения») и даже больше. Для обнаружения нестационарных сигналов, а также редких случайных смещений частоты или амплитуды, пользователь может включить функцию бесконечного послесвечения (Infinite Persistence) и оставить работать анализатор RTSA в непрерывном режиме. Через какое-то время он сможет увидеть не только наибольший и наименьший уровень для каждого значения частоты, но и любые точки между ними. После того, как будет выявлено наличие нестационарного поведения сигнала или наличие посторонних сигналов, пользователь сможет подробно описать проблему с использованием функции переменного послесвечения (Variable Persistence).

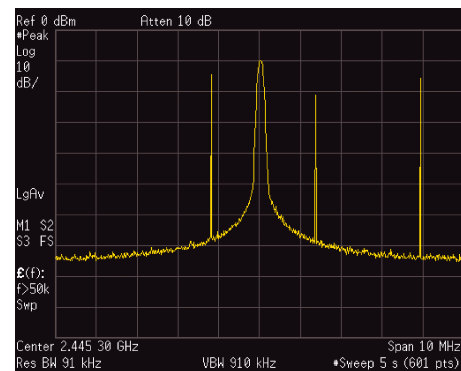


Рис. 3. Дисплей анализатора спектра с перестройкой по частоте в включенной функции «MaxHold» через 5 с

Цветная битовая матрица спектра является характерной особенностью технологии «цифрового люминофора», но с помощью этой технологии можно также создавать статистические кривые. Из базы данных запрашивается информация о наибольших, наименьших и средних значениях амплитуды, которые записаны в каждом столбце частот. В результате на дисплей выводятся три кривых: «+Peak» («Максимальное значение»), «-Peak» («Минимальное значение») и «Average» («Среднее значение»). Кривые «+Peak» и «-Peak» мгновенно и четко отображают макси-

мумы и минимумы сигнала. Кривая «Average» позволяет выявить средний уровень сигнала для каждой точки частоты. Все эти кривые можно сохранить и затем считать для использования в качестве опорных.

Так же, как и обычные линии спектра, спектральные кривые, полученные с помощью технологии «цифрового люминофора», можно накапливать среди текущих выборов для реализации функций «MaxHold», «MinHold» и «Average». Использование функции «Hold» («Удержание») применительно к кривой «+Peak» почти соответствует кривой «MaxHold» на типичном анализаторе спектра. Существенное различие состоит в том, что частота обновления кривых на дисплее с «цифровым люминофором» составляет 48 тыс. раз в секунду, то есть на три порядка превышает частоту обновления в обычных спектроанализаторах.

ГАРАНТИРОВАННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ РЕДКИХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ

На следующем примере описывается процедура обнаружения и анализа кратковременных случайных аномалий ВЧ сигнала с использованием традиционного анализатора спектра и современного анализатора RTSA на основе технологии «цифрового люминофора».

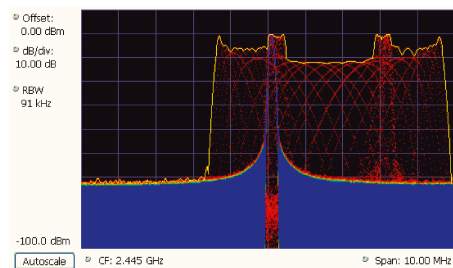


Рис. 4. Дисплей RTSA с технологией «цифрового люминофора» спектра через 5 с. Кривая «MaxHold» показана желтым цветом

Рассматриваемый сигнал представляет собой незатухающую синусоиду с частотой 2,4453 ГГц. Каждые 1,28 с примерно на 100 мкс ее частота изменяется, а затем возвращается к нормальному значению. Коэффициент цикла этого переходного процесса не превышает 0,01 процента.

Традиционный анализатор спектра с перестройкой по частоте настроен на 5-секундное сканирование при включенной функции «MaxHold». На дисплее прибора видно, что вокруг основной частоты сигнала что-то происходит (рис. 3). Скорость сканирования была эмпирически определена в качестве оптимальной частоты для надежного захвата данного сигнала за наиболее короткое время. Повышение скорости сканирования может уменьшить вероятность перехвата, что приведет к уменьшению числа пересечений сканирования с переходным процессом сигнала.

Однако при использовании современного анализатора RTSA на основе

технологии «цифрового люминофора» с цветной битовой матрицей спектра и включенной функцией «+PeakHold» дисплей прибора отображает гораздо больший объем информации о переходном процессе за тот же пятисекундный период (рис. 4).

Через 120 секунд (четыре сканирования по 30 секунд) на дисплее анализатора с перестройкой по частоте была отображена дополнительная информация (рис. 5). В отличие от этого, изображение на дисплее на основе технологии

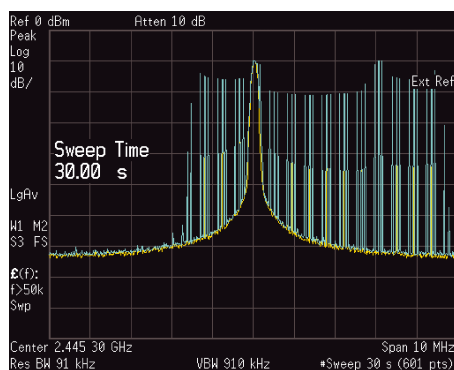


Рис. 5. Дисплей анализатора спектра с перестройкой по частоте через 120 с

«цифрового люминофора» всего через 20 секунд содержит гораздо больше информации (рис. 6). Посмотрев на дисплей с «цифровым люминофором», можно сразу увидеть, что исследуемый сигнал скачкообразно переходит на частоту, примерно на 3 МГц превышающую ее начальное значение. Но при этом он сначала «проскакивает» это значение на 1,5 МГц, затем колеблется вокруг него, постепенно стабилизируясь. Потом сигнал также скачкообразно возвращается к первоначальному значению 2,4453 ГГц, колеблется вокруг него, и снова стабилизируется.

Кроме уровня детализации информации о спектре на дисплее у различных классов анализаторов разной является также вероятность перехвата (Probability of Intercept — POI).

Анализаторы спектра с плавной и ступенчатой перестройкой частоты не могут обеспечить 100-процентную вероятность перехвата для сигнала, который не присутствует постоянно, поскольку при сканировании они затрачивают лишь очень короткий период времени для настройки на каждую узкую часть своего диапазона частот. Если что-то произойдет в любой части диапазона за исключением той, на которую прибор настроен в данный момент времени, то это событие не удастся обнаружить и отобразить. Существует также период времени между развертками, в течение которого анализатор не воспринимает входной сигнал. Векторные анализаторы сигналов и другие анализаторы, основанные на быстром преобразовании Фурье (БПФ), также пропускают сигналы, поступающие в период времени между сборами данных. Обычно вели-

чина вероятности перехвата у этих приборов выше, чем у анализаторов с перестройкой по частоте, хотя и незначительно. Она зависит от комбинации различных факторов, включая диапазон, количество точек БПФ, время сбора данных и скорость сканирования.

Анализаторы RTSA, с другой стороны, обеспечивают захват данных по всем частотам по всей ширине полосы обзора в реальном времени (до 110 МГц для некоторых анализаторов RTSA) при каждом сборе данных. Наличие такой уникальной функции, как режим запуска по частотной маске, увеличивает значение вероятности перехвата этих приборов до 100 процентов, что обеспечивает захват любого спектрального события, удовлетворяющего условию запуска. При работе в свободном режиме, как обычный анализатор спектра, прибор RTSA имеет такую же величину вероятности перехвата, как и у анализаторов с БПФ, при этом так же присутствуют пропуски захвата сигнала между каждым сбором данных. Однако реализация технологии «цифрового люминофора» в анализаторе RTSA позволила довести величину вероятности перехвата до 100 процентов даже в свободном режиме для любого сигнала продолжительностью до 24 мкс, попадающего в пределы полосы обзора реального времени.

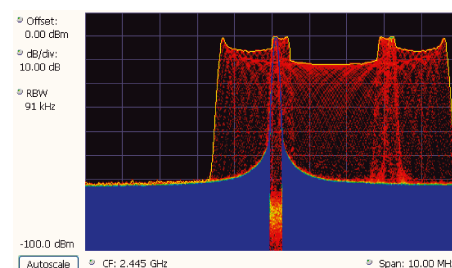


Рис. 6. Дисплей RTSA с технологией «цифрового люминофора» через 20 с

В дополнение к гарантированному обнаружению случайных быстрых сигналов технология «цифрового люминофора» обеспечивает достоверное представление многочисленных ВЧ сигналов, занимающих один и тот же частотный диапазон. Но гораздо важнее любой технической характеристики то, насколько быстро разработчики ВЧ аппаратуры и операторы сетей могут выявлять и решать проблемы с помощью четкого отображения скоротечных сигналов на дисплее с «цифровым люминофором».

The Real-time Spectrum Analyzers (RTSA) help to easily discover design issues that other signal analyzers may miss. The revolutionary Digital Phosphor spectrum display offers an intuitive live color view of signal transients changing over time in the frequency domain. This live display of transients is impossible with other signal analyzers.