

МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ РАБОТЫ КВАЗИПИКОВОГО ДЕТЕКТОРА В АНАЛИЗАТОРЕ СПЕКТРА

THE TECHNIQUE FOR SPECTRUM ANALYZER QUASI-PEAK DETECTOR TESTING

Бельчиков С.А. (S. Bel'chikov), к.т.н., ЗАО ПФ «ЭЛВИРА»

В данной статье описана методика проверки квазипикового детектора анализатора спектра. Приведены экспериментальные данные проверки квазипикового детектора СК4-БЕЛАН 32 (зав. №0029), обращено внимание на сложности, которые могут возникнуть в ходе тестирования.

И для кого не секрет, что в последнее время все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с задачами измерения интенсивности радиопомех, создаваемых как разного рода формами жизнедеятельности человека, так и разнообразными природными явлениями. Эта задача имеет как чисто научное значение, так и прикладное, связанное с электромагнитной совместимостью (ЭМС). Радиопомехи, обусловленные жизнедеятельностью человека, обычно называют побочными электромагнитными помехами и наводками (ПЭМИН) или индустриальными. Исследования ПЭМИН можно условно поделить на две большие группы: а) исследование ПЭМИН в целях обнаружения возможных каналов утечки информации и б) проверка электромагнитной совместимости (ЭМС).

Во всем мире существует жесткое регулирование на соответствие требованиям ЭМС. Любая компания, занимающаяся производством электронных приборов, должна гарантировать, что ее продукция соответствует нормативам ЭМС для данной страны. То есть индустриальные радиопомехи, создаваемые этой продукцией, не должны превышать регламентированные уровни и, тем самым, препятствовать работе других электронных устройств. Электронная продукция, не прошедшая испытания на ЭМС, не может быть допущена на рынок. Испытания на ЭМС проводятся специальными органами, аккредитованными на данный вид деятельности. В последнее время повсеместной становится практика, когда сами компании-производители проводят предварительные испытания на соответствие (Precompliance Testing), для того, чтобы быть уверенными в качестве своих изделий перед отправкой их в сертифицирующие организации.

Для тестирования на ЭМС обычно используются измерительные приемники или анализаторы спектра на со-

ответствующий диапазон частот. В связи с тем, что радиопомехи (естественные и искусственные) представляют, в большинстве случаев, сложный случайный процесс со своими вероятностными характеристиками, а измерительные приемники, в самом начале их появления на рынке, не обладали большими вычислительными ресурсами и были чисто аналоговыми, основной характеристикой интенсивности радиопомех является квазипиковое значение напряжения радиопомех.

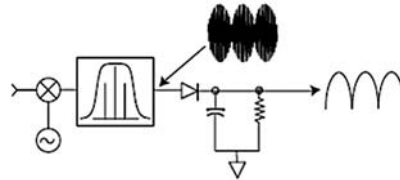


Рис. 1. Пиковый детектор

Квазипиковое значение напряжения в начальный период развития техники измерения радиопомех применялось как оценка помех амплитудно-модулированной радиотелефонии в диапазоне частот до 30 МГц. В основе измерительного приемника (ИП) этого диапазона использовался приемник с полосой ПЧ 9 кГц и вольтметр на выходе его детектора с постоянной времени, имитирующей инерционные свойства человеческого уха (малое время нарастания сигнала и сравнительно большое время спада), который назвали квазипиковым детектором.

В настоящее время параметры квазипикового детектора строго нормируются для двух диапазонов радиочастот: 150 кГц...30 МГц и 30 МГц...1000 МГц. Кроме того, нормируются и полосы тракта ПЧ, в которых измеряются радиопомехи: 200 Гц, 9 кГц, 120 кГц.

В стандарте на приборы для измерения индустриальных радиопомех (ГОСТ 11001-80, ГОСТ Р 51319-99) предусмотрено измерение пикового, квазипикового, среднеквадратического

и среднего значения напряжения радиопомех.

В современных радиоизмерительных приборах обычно реализуются следующие виды детекторов напряжения:

- детектор пикового (максимального, минимального) значения напряжения; этот тип детектора есть во всех анализаторах спектра в базовой комплектации;
- детектор среднеквадратического значения напряжения; обычно есть в базовой комплектации анализатора спектра;
- детектор среднего значения напряжения; обычно есть в базовой комплектации анализатора спектра;
- детектор квазипикового значения напряжения (в импортных анализаторах спектра обычно реализован опционально).

Ниже рассмотрим основные отличия детекторов пиковых, квазипиковых и средних значений.

ПИКОВЫЙ ДЕТЕКТОР

Начальные измерения ЭМС проводят с использованием пикового детектора. Этот режим гораздо быстрее режимов детектора среднего или квазипикового значения. Пиковое значение напряжения сигнала всегда равно или больше квазипикового и среднего значений. Поэтому при тестировании на ЭМС сначала запускают развертку с пиковым детектором, и если нет помех, превышающих допусковые границы, то изделие сразу признается годным.

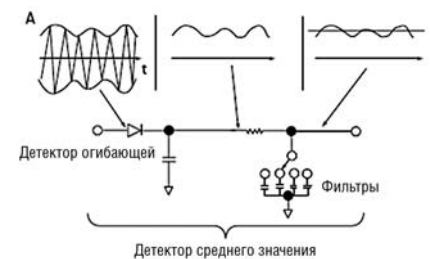


Рис. 2. Детектор средних значений

Пиковый детектор, или детектор огибающей, обычно реализован на последней ПЧ анализатора спектра. Пиковый детектор имеет такую постоянную времени, что напряжение на выходе детектора постоянно отслеживает пиковое значение сигнала ПЧ. Другими словами, пиковый детектор реагирует не на фактическое значение

сигнала, а на любые, самые быстрые, изменения в его огибающей.

ДЕТЕКТОР СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ

Данный вид детектора обычно используется для тестирования проводимых помех и для тестирования излучаемых помех на частотах выше 1 ГГц. Во многом детектор средних значений похож на пиковый. Детектор средних значений также отслеживает огибающую сигнала ПЧ. Отличие заключается в том, что детектор пиковых значений работает в более широкой полосе, чем полоса разрешения ПЧ анализатора спектра, а детектор средних значений пропускает сигнал через фильтр с полосой гораздо уже фильтра ПЧ анализатора. Высокочастотные составляющие сигнала, в том числе, шум, при использовании детектора средних значений отфильтровываются.

КВАЗИПИКОВЫЙ ДЕТЕКТОР

Большинство измерений при тестировании излучаемых и проводимых помех проводятся при помощи квазипикового детектора. Особенность квазипикового детектора заключается в том, что он взвешивает видео- и радиопульсы в зависимости от частоты их

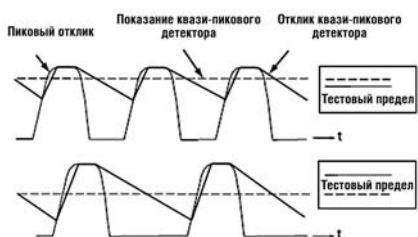


Рис. 3. Принцип работы квазипикового детектора

повторения, что является способом оценки степени сосредоточенности помех. У квазипикового детектора время заряда гораздо меньше, чем время разряда. По мере возрастания частоты повторения импульсных помех квазипиковому детектору не хватает времени для полного разряда, и в результате напряжение на его выходе начинает возрастать. Для непрерывного сигнала показания пикового и квазипикового детектора совпадают. Квазипиковый детектор реагирует линейным образом на сигналы разной амплитуды. Высокоамплитудные сигналы с низкой частотой повторения могут породить такое же напряжение на выходе квазипикового детектора, что и сигналы малой амплитуды с высокой частотой повторения.

Для проведения корректных измерений ЭМС на территории РФ необходимо, чтобы режим квазипикового детектора анализатора спектра соответствовал требованиям соответствующего ГОСТ. Измерения ЭМС регламентируются ГОСТ Р 51319-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Приборы для измерения промышленных радиопомех. Технические требо-

вания и методы испытаний». Проверку правильности работы квазипикового детектора в ГОСТ можно разделить на две части: а) проверку амплитудных соотношений для видео- и радиопульсов с различной частотой повторения и б) проверку импульсной характеристики квазипикового детектора.



Рис. 4. Частота следования радиоимпульсов

Опишем проверку правильности работы квазипикового детектора в анализаторе спектра СК4-БЕЛАН 32. Для проверки амплитудных соотношений в полосе частот 30 МГц...1000 МГц в режиме квазипикового детектора должна использоваться полоса пропускания 120 кГц. На вход анализатора спектра подается сигнал, модулированный импульсами длительностью 0,5 мкс...0,7 мкс, с рекомендованной частотой повторения 250 кГц...400 кГц. Частота повторения радиоимпульсов устанавливается с точностью 1%. Анализатор спектра настраивается на гармонику вблизи несущей и производится измерение амплитуды сигнала U_1 . Затем частота повторений снижается до 100 Гц и производится измерение амплитуды сигнала U_2 . По формуле определяется соотношение отсчетов N :

$$N = 10^{(U_1 - U_2)/20} \quad (1)$$

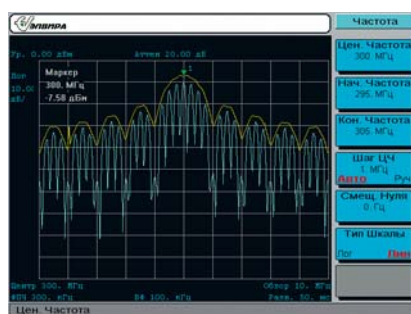


Рис. 5. Радиоимпульс 300 МГц с частотой повторения 250 кГц и длительностью 1 мкс на экране СК4-БЕЛАН 32

Затем по формуле рассчитывается измеренное значение амплитудного соотношения:

$$A_{изм} = \frac{F}{N \cdot \sqrt{2}} \quad (2)$$

Амплитудное соотношение сверяют с номинальным значением A_H , взятым из таблицы ГОСТ и производят вычисление погрешности по формуле:

$$\delta = 20 \cdot \lg(A_H - A_{изм}) \quad (3)$$

Согласно описанной методике на вход анализатора спектра был подан радиоимпульс на частоте 300 МГц с частотой повторения 250 кГц и длительностью 1 мкс. Длительность 0,5...0,7 мкс не удалось воспроизвести из-за ограниченной импульсной модуляции ВЧ генератора. Временные параметры данного сигнала показаны на осциллограмме, снятой при помощи осциллографа Agilent 54845A.

То, как выглядит данный сигнал в частотной области, показано на рис. 5 — спектрограмме полученной при помощи анализатора спектра СК4-БЕЛАН 32. Для сравнения мы подали тот же сигнал на анализатор спектра высшего класса точности Agilent E4440A. Полученная спектрограмма приведена на рис. 6. Легко заметить, что оба анализатора спектра коррелируют друг с другом в своих показаниях. Амплитуда

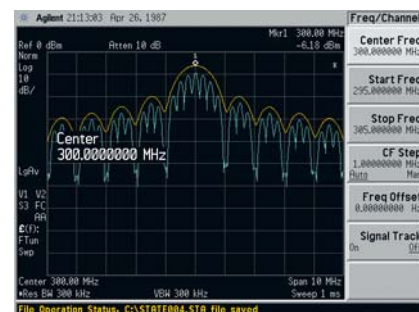


Рис. 6. Радиоимпульс 300 МГц с частотой повторения 250 кГц и длительностью 1 мкс на экране Agilent E4440A

сигнала по маркеру точнее отображается на приборе E4440A, который по погрешности измерения уровня приближается к ваттметру. На экранах обоих анализаторов спектра приведено по 2 графика: первый график (желтого цвета) снят при фильтре ПЧ 1 МГц в режиме накопления максимальных значений. При помощи этого графика легко определить первый ноль спектра $\sin x/x$, он приходится на отстройку 1 МГц от центра. Несложно вычислить, что длительность радиоимпульса составляет $T = 1/F$ или 1 мкс. На втором графике (голубого цвета), полученном при фильтре ПЧ 300 кГц, видно заполнение спектра $\sin x/x$. При помощи этого графика можно косвенно рассчитать частоту повторения радиоимпульсов $f = 1/T$: в одну клетку шириной 1 МГц попадает 5 лепестков импульсно-модулированного сигнала, следовательно, частота следования импульсов составляет 250 кГц.

Продолжение следует

In this article the technique for spectrum analyzer quasi-peak detector testing is described. Experimental data of spectrum analyzer SK4-Belan 32 quasi-peak detector testing are given. Difficulties that could appear during testing are noticed.

МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ РАБОТЫ КВАЗИПИКОВОГО ДЕТЕКТОРА В АНАЛИЗАТОРЕ СПЕКТРА

THE TECHNIQUE FOR SPECTRUM ANALYZER QUASI-PEAK DETECTOR TESTING

Бельчиков С.А. (S. Bel'chikov), к.т.н., ЗАО ПФ «ЭЛВИРА»

(Окончание, начало см. № 5-2006)

Затем была произведена настройка на один из лепестков сигнала вблизи несущей и включена нулевая полоса обзора. После этого был задействован режим квазипикового детектора с полосой пропускания 120 кГц. По маркеру было зафиксировано значение $-11,33$ дБм (рис. 7). Это значение, как и положено, меньше значения пикового детектора. При уменьшении частоты повторения импульсов до 100 Гц было получено значение уровня в

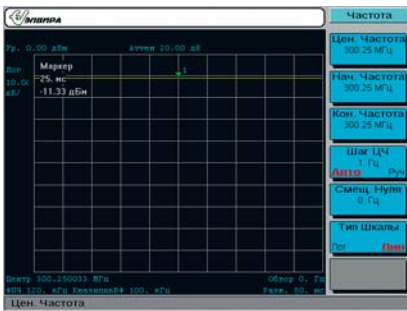


Рис. 7. Отклик квазипикового детектора на радиоимпульс 300 МГц с частотой повторения 250 кГц и длительностью 1 мкс

$-27,97$ дБм (рис. 8). По формуле (1) было найдено соотношение отсчетов $N = 10^{-(11,33 + 27,97)/20} = 6,792$. Далее по формуле (2) было вычислено амплитудное соотношение $A_{изм} = 250 \cdot 10^3 / 1,41 \cdot 6,792 = 26104$. Номинальное значение ампли-

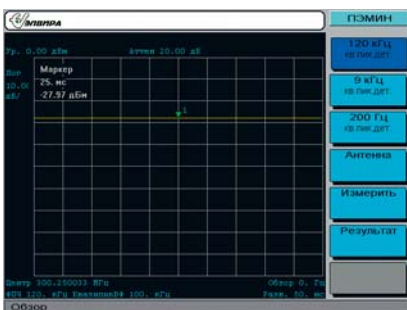


Рис. 8. Отклик квазипикового детектора на радиоимпульс 300 МГц с частотой повторения 100 Гц и длительностью 1 мкс

тудного соотношения для таблицы ГОСТ составляет 22700. Погрешность квазипикового детектора рассчитывается по формуле (3) $\delta = 20 \cdot \lg(26104/22700) = 1,21$. Допускаемая погрешность по ГОСТ составляет $\pm 1,5$ дБ.

Импульсная характеристика квазипикового детектора с полосой пропускания 120 кГц проверяется экспериментально следующим образом. На вход анализатора спектра подается радиоимпульс на заданной частоте (в нашем случае — 300 МГц), а частота повторе-

роен на гармонику в районе 5 МГц, и в режиме квазипикового детектора с полосой пропускания 9 кГц было зафиксировано значение $-46,61$ дБм (рис. 9). При снижении частоты повторения до 100 Гц было зафиксировано значение в $-66,10$ дБм (рис. 10).

Частота повторения импульсов F, Гц	Значение амплитуды, дБ	
	ГОСТ	СК4-БЕЛАН 32
1000	$+8,0 \pm 1,0$	$+7,62$
100	0	0
20	$-9,0 \pm 1,0$	$-9,89$

ния варьируется: 1000 Гц, 100 Гц, 20 Гц, 10 Гц, 5 Гц, 2 Гц, 1 Гц, 0,3 Гц. Затем за опорное принимается значение амплитуды для частоты повторения 100 Гц, а для всех остальных частот повторения разница в амплитуде сличается с таблицей номинальных значений ГОСТ. Из-за ограничений импульсной модуляции ВЧ генератора данная процедура на СК4-БЕЛАН 32 была выполнена для частот повторения 1 кГц, 100 Гц и 20 Гц. Были зафиксированы следующие результаты: $-27,93$ дБм для частоты повторений 100 Гц, $-20,31$ дБм для частоты 1 кГц и $-37,82$ дБм для частоты 20 Гц. В таблице 1 приведено сравнение экспериментальных данных с номинальными значениями таблицы ГОСТ.

Квазипиковый детектор с полосой пропускания 9 кГц, который используется при измерении ИРП на частотах 150 кГц...30 МГц, проверяется следующим образом. На вход анализатора спектра подается импульсное напряжение от импульсного генератора с частотой повторения 20 кГц...100 кГц и длительностью импульса 10...20 нс. Производится настройка на гармонику импульсного сигнала и в режиме квазипикового детектора фиксируется U_1 . Затем частота повторения снижается до 100 Гц и фиксируется U_2 . По формулам (1) и (2) находится экспериментальное амплитудное соотношение, которое сравнивается с номинальным из таблицы ГОСТ. Погрешность рассчитывается по формуле (3). В соответствии с этой методикой на вход анализатора спектра СК4-БЕЛАН 32 был подан импульсный сигнал с амплитудой 1,3 В длительностью 15 нс и частотой повторения 50 кГц. Анализатор спектра был наст-

Соотношение отсчетов N по формуле (1) равно: $N = 10^{-(46,61 + 66,10)/20} = 9,441$.

$A_{изм}$ по формуле (2) равно: $A_{изм} = 50 \cdot 10^3 / 9,441 \cdot 1,41 = 3757$

Номинальное амплитудное соотношение A_n в таблице ГОСТ составляет 3160. Допускаемая погрешность $\pm 1,5$ дБ. Проверяем погрешность по формуле (3): $\delta = 20 \cdot \lg(3757/3160) = 1,5$.

Импульсная характеристика квазипикового детектора с полосой пропускания 9 кГц проверяется экспериментально следующим образом. На вход анализатора спектра подается видеоимпульс с теми же параметрами, что использовались для проверки амплитудного соотношения (в нашем случае

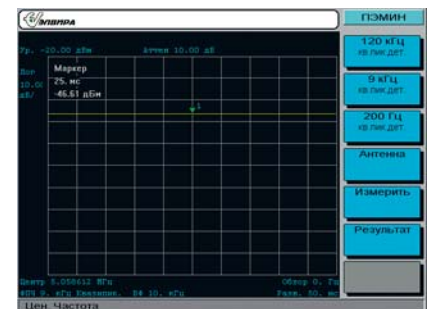


Рис. 9. Отклик квазипикового детектора 9 кГц на видеоимпульс с частотой повторения 50 кГц и длительностью 15 нс

это длительность 15 нс, частота повторения 100 Гц), затем частота повторения варьируется: 1000 Гц, 100 Гц, 20 Гц, 10 Гц, 2 Гц, 1 Гц, 0,3 Гц. Затем за опорное принимается значение амплитуды для частоты повторения 100 Гц, а для всех остальных частот повторения разница в амплитуде сличается с таблицей номинальных значений ГОСТ.

Данная процедура на СК4-БЕЛАН 32 была выполнена для частот повторения 1 кГц, 100 Гц и 20 Гц. Входное напряжение пришлось снизить до 930 мВ. Это было вызвано тем, что для уверенного детектирования уровня напряжения на малых частотах повторения (20 Гц) необходимо было опускать значение опорного уровня, что при большом уровне напряжения (1,3 В) на входе вызывало перегрузку. Были зафиксированы следующие результаты: -69,86 дБм для частоты повторений 100 Гц, -65,14 дБм для частоты 1 кГц и

грамма, приведенная на рис. 11. На ней видно, что значение амплитуды составляет -53,08 дБм. При снижении частоты повторения до 25 Гц уровень упал до -72,08 дБм (рис. 12). Коэффициент отсчетов $N = 10^{(-53,08 + 72,08)/20} = 8,913$. $A_{изм} = 1000/8,913 \cdot 1,41 = 79,57$. По таблице ГОСТ $A_n = 74$. Из формулы (3) находим: $\delta = 20 \cdot \lg(79,57/74) = 0,63$. Допускаемая погрешность составляет $\pm 1,5$ дБ.

Наконец, импульсную характеристику квазипикового детектора с полосой пропускания 200 Гц проверяют путем чередования частот повторения

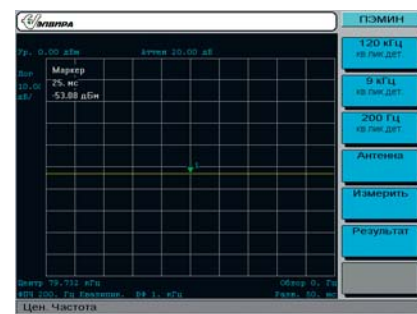


Рис. 11. Отклик квазипикового детектора 200 Гц на видеоимпульс с частотой повторения 1 кГц и длительностью 850 нс

ло его входные каскады. Корректное значение напряжения придется подбирать экспериментально, что сопряжено с дополнительными усилиями оператора. В качестве компромиссного варианта можно рассматривать опцию 001 для СК4-БЕЛАН 32 (преселектор с предварительным усилителем), которая повышает чувствительность стандартного прибора на 10-12 дБ.

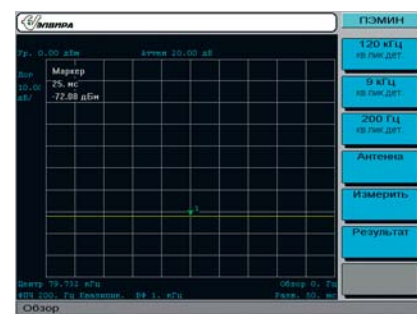


Рис. 12. Отклик квазипикового детектора 200 Гц на видеоимпульс с частотой повторения 25 Гц и длительностью 850 нс

В ходе тестирования использовалось следующее измерительное оборудование: анализатор спектра СК4-БЕЛАН 32 (зав. №0029), СВЧ генератор со встроенной импульсной модуляцией Agilent 83620A, импульсный генератор Hewlett Packard 8116A, анализатор спектра Agilent E4440A и осциллограф Agilent 54845A.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 51319-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Приборы для измерения промышленных радиопомех. Технические требования и методы испытаний». Госстандарт России. Москва.
- Application Note 1302. Making Radiated and Conducted Compliance Measurements with EMI Receivers. Agilent Technologies, www.agilent.com.

In this article the technique for spectrum analyzer quasi-peak detector testing is described. Experimental data of spectrum analyzer СК4-Belan 32 quasi-peak detector testing are given. Difficulties that could appear during testing are noticed.

Таблица 2

Частота повторения импульсов F, Гц	Значение амплитуды, дБ	
	ГОСТ	СК4-БЕЛАН 32
1000	+4,5 ±1,0	+4,72
100	0	0
20	-6,5 ±1,0	-6,29

-76,15 дБм для частоты 20 Гц. В таблице 2 приведено сравнение экспериментальных данных с номинальными значениями таблицы ГОСТ.

Последним в СК4-БЕЛАН 32 проверялся квазипиковый детектор с полосой пропускания 200 Гц, который следует применять для измерений ЭМС на частотах 9 кГц...150 кГц. По методике ГОСТ для проверки амплитудного соотношения в этом режиме на вход анализатора спектра рекомендуется подавать видеоимпульсы дли-

100 Гц, 60 Гц, 25 Гц, 10 Гц, 5 Гц, 2 Гц, 1 Гц, 0,3 Гц. За опорное значение принимается амплитуда, зафиксированная при частоте повторения 25 Гц. На СК4-БЕЛАН 32 нами были проверены частоты повторения 100 Гц, 60 Гц, 25 Гц. При частоте 100 Гц было зафиксировано значение -68,80 дБм, при частоте 60 Гц -69,77 дБм, при частоте 25 Гц -72,12 дБм. В таблице 3 приведено сравнение экспериментальных данных с номинальными значениями таблицы ГОСТ.

Таблица 3

Частота повторения импульсов F, Гц	Значение амплитуды, дБ	
	ГОСТ	СК4-БЕЛАН 32
100	+4,0 ±1,0	+3,32
60	+3,0 ±1,0	+2,35
25	0	0

тельностью 0,5 мкс...1 мкс с частотой повторения 1 кГц и регистрировать значение напряжения U_1 . Затем частоту повторения нужно снизить до 25 Гц и зафиксировать значение напряжения U_2 . После этого выполнить вычисления по формулам (1), (2) и (3), описанные выше. В нашем конкретном случае мы подавали на вход анализатора спектра импульсы длительностью 850 нс амплитудой 500 мВ. При частоте повторения 1 кГц была снята спектро-

Из описанных экспериментов видно, что СК4-БЕЛАН 32 (зав. №0029) удовлетворяет требованиям ГОСТ в части соблюдения правильных амплитудных соотношений для квазипикового детектора с полосами пропускания 120 кГц, 9 кГц, 200 Гц. Что касается соответствия импульсной характеристики квазипикового детектора СК4-БЕЛАН 32 требованиям ГОСТ, то она может быть признана удовлетворительной для частот повторения видео- и радиоимпульсов до 20 Гц. На более низких частотах повторения проверка не была осуществлена из-за ограничений используемых импульсных и СВЧ генераторов. Можно сделать предположение, что при более низких частотах повторения импульсов для обеспечения правильных измерений с квазипиковым детектором потребуется более высокая чувствительность, следовательно, нужно будет выключать встроенный аттенюатор СК4-БЕЛАН 32 и снижать значение опорного уровня. Однако в этом случае придется следить, чтобы напряжение на входе прибора не перегружа-

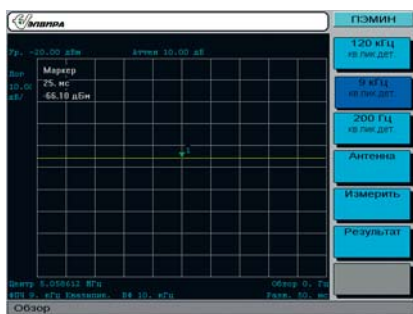


Рис. 10. Отклик квазипикового детектора 9 кГц на видеоимпульс с частотой повторения 100 Гц и длительностью 15 нс