

СЛЮСАР В. И.

## ОЦЕНКА ФОРМЫ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Предложена методика оценки формы коротких импульсов большой мощности при узкополосном тракте измерения.

Традиционно измерение формы импульсного сигнала цифровым способом осуществляется с точностью до периода дискретизации аналого-цифрового преобразователя (АЦП) при условии, что в пределах длительности оцениваемого импульса формируется достаточно представительное множество цифровых отсчетов. Такой подход не позволяет оценить форму огибающей коротких сигналов, особенно, если их протяженность во времени составляет менее двух периодов дискретизации. Анализ быстродействия доступных на мировом рынке и вновь разрабатываемых АЦП, изложенный в [1], свидетельствует о том, что в ближайшей перспективе применение традиционных методов оценки формы огибающей импульса будет по-прежнему сталкиваться с существенными ограничениями на длительность анализируемого сигнала. Целью статьи является решение этой проблемы применительно к видеосигналам большой мощности.

В традиционных процедурах измерения залогом успешного решения задачи оценивания является расширение полосы пропускания анализаторов по мере укорочения длительности сигнала. Вопреки столь привычному приему, воспользуемся для измерения, напротив, узкополосным аналоговым трактом обработки с заведомо известной импульсной характеристикой, по выходу которого произведем доступное по быстродействию аналого-цифровое преобразование. Требование большой мощности по отношению к анализируемым импульсам обусловлено стремлением получить протяженный по времени отклик узкополосного тракта с достаточной для решения измерительных задач энергетикой.

В дальнейшем воспользуемся аппроксимацией анализируемого импульсного сигнала суперпозицией прямоугольных дельта-импульсов, следующих со сколь угодно малым интервалом, выбираемым, исходя из требуемой точности оценивания формы огибающей. В отличие от [2], указанные дельта-импульсы располагаются дискретно во времени, что позволяет записать результирующий отклик узкополосного тракта на их совокупность не в виде интеграла [2], а через суммы:

$$U_s = \sum_{m=1}^M a_m \cdot g(md + sT), \quad (1)$$

где  $g(md + sT)$  — дискретная импульсная характеристика узкополосного тракта, полагаемая известной с точностью до интервала  $d$  между дельта-импульсами, аппроксимирующими анализируемый сигнал (полагается регулярным),  $a_m$  — амплитуда  $m$ -го дельта-импульса,  $M$  — число дельта-импульсов в пределах длительности сигнала,  $s$  — порядковый номер отсчета АЦП, полученного по выходу узкополосного тракта,  $T = kd$  — период дискретизации АЦП, превышающий в  $k$  раз интервал следования дельта-импульсов  $d$ .

Следует отметить, что существенное уменьшение величины шага аппроксимации  $d$  ограничено прежде всего отношением сигнал/шум и законом изменения импульсной характеристики.

Итак, рассмотрим выборку из  $s$  отсчетов напряжений (1), смещение первого из которых относительно начала результирующего импульсного отклика узкополосного тракта обозначим переменной  $z$ . Совокупность указанных напряжений в пренебрежении шумами позволяет сформировать систему из  $S$  уравнений вида

$$U_s = \sum_{m=1}^M a_m \cdot g(z + md + sT), \quad (2)$$

неизвестными в которой являются величины  $z$  и  $a_m$ , причем оценка значений  $a_m$  эквивалентна восстановлению формы огибающей входного импульса.

Для снижения количества неизвестных целесообразно в (2) перейти к нормированным амплитудам, например, вида  $\beta_m = a_m / a_1$ , где  $a_1$  — амплитуда первого из дельта-воздействий,  $m = 1, \dots, M$ . Такой шаг вполне оправдан и с точки зрения последующего использования результатов оценки формы сигнала в процедурах измерения времени задержки типа [3—5], оперирующих дискретной функцией огибающей. Очевидно, что при этом нормированная амплитуда первого дельта-импульса  $\beta_1 = 1$ .

Таким образом, в пренебрежении шумами, для  $M$ -компонентной аппроксимации анализируемого сигнала требуется определить  $M$  неизвестных, а именно  $M - 1$  значение отнормированных амплитуд  $\beta_m$  второго и последующих дельта-сигналов, а также, попутно, смещение  $z$ .

Сформировав выборку из  $s \geq M$  отсчетов АЦП, далее остается решить систему уравнений (2) относительно указанных неизвестных величин  $\beta_m$  ( $M \geq m \geq 2$ ) и  $z$ . Для этого можно воспользоваться как детерминистскими, так и статистическими методами, например, методом наименьших квадратов (МНК), по аналогии с подходом, рассмотренным в [5].

При больших выборках отсчетов АЦП, задача прецизионной оценки формы сигнала становится достаточно сложной, однако ее решение упрощается отсутствием необходимости выполнения вычислений в реальном масштабе времени.

Наряду с дельта-импульсной аппроксимацией в принципе можно было бы рассмотреть и другие варианты аналитической трактовки закона изменения формы огибающей короткого импульса. Например, как известно, для повышения точности систем автоматического управления применяется метод синтеза, основанный на кусочно-линейной аппроксимации входного воздействия на основе линейных функций вида [6]  $U(t) = U + \sigma \cdot t$ .

Аналогичный подход может быть применен и в рассматриваемом случае. Однако при этом следует принять во внимание, что вместо неизвестной амплитуды парциальных импульсных воздействий появляется еще одна переменная, подлежащая оцениванию, а именно — крутизна наклона линейной функции  $m$ -го фрагмента входного импульса  $\sigma_m$ . Поэтому для формирования нормальной системы уравнений при оценке формы ультракороткого видеосигнала понадобится, по крайней мере, двухканальный измеритель, а сама процедура оценивания станет более громоздкой. Кстати, следует учесть, что использование кусочно-линейного представления, как и в случае оценивания формы огибающей коротких импульсов на основе дельта-импульсной аппроксимации, позволяет перейти с помощью  $z$ -преобразования к операторному описанию отклика эталонной системы на неизвестное входное воздействие [6]. При этом соответствующая система уравнений для оценки закона изменения огибающей может решаться в операторном виде, что, предположительно, может оказаться сравнительно проще. К тому же, не исключено, что аппарат кусочно-линейных функций в ряде случаев позволит оперировать более удобными в аналитическом смысле откликами узкополосного эталонного тракта, по сравнению с импульсными характеристиками, соответствующими прямоугольным дельта-импульсным воздействиям.

Для минимизации вычислительных затрат поиск приемлемых по виду результирующего отклика аппроксимаций входного воздействия можно, аналогично [6], расширить на классы кусочно-квадратичных, кусочно-тригонометрических либо иных кусочно-нелинейных приближений. Соответствующие подходы нуждаются в детальной теоретической проработке, равно как и далеко не новая проблема синтеза эталонных узкополосных измерителей по заданному виду их импульсной характеристики. При этом основной упор должен делаться на использование таких аналитических представлений импульсных характеристик, которые бы позволяли предельно упростить задачу оценивания параметров парциальных импульсов, аппроксимирующих анализируемый сигнал.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Слюсар В. И. Быстродействующие АЦП: достижения и перспективы // Радиоэлектроника. — 2000. — № 3. — С. 42—46. (Изв. вузов).

2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Сов. радио. — 1977. — С. 216—217.

3. Слюсар В. И. Синтез алгоритмов измерения дальности  $M$  источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // Радиоэлектроника. — 1996. — № 5. — С. 55—62. (Изв. вузов).

4. Слюсар В. И. Дискретная гильбертовская фильтрация импульсных сигналов // Радиоэлектроника. — 1997. — № 10. — С. 70—72. (Изв. вузов).

5. Слюсар В. И. Измерение периода повторения перекрывающихся во времени импульсов // Радиоэлектроника. — 2000. — № 5. — С. 27—33. (Изв. вузов).

6. Гостев В. И., Стеклов В. К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами: Справочник. — Киев: Радиоаматор, 1998. — 704 с.

г. Киев.

Поступила в редакцию 20.03.01.

УДК 621.391.272

ГАСАНОВ А. Р.

### АКУСТООПТИЧЕСКИЙ ПРИЕМНИК ПАНОРАМНОГО ОБЗОРА

Исследована возможность улучшения панорамного приемника, синтезированного на основе особенностей фотоупругого эффекта, в котором многоканальность и формирование гетеродинных полей обеспечивается одной дифракционной решеткой.

При подключении электрического сигнала к выводам прикрепленного к одному торцу фотоупругой среды (ФУС) электроакустического преобразования (ЭАП), в ФУС возбуждается упругая волна (УВ), которая подобна бегущей дифракционной решетке с шагом, равным длине УВ. Если направить на эту бегущую дифракционную решетку оптическую волну, то она дифрагирует [1]. Это явление называют фотоупругим эффектом акустооптического взаимодействия, при котором интенсивность, направление распространения и частота продифрагировавшей оптической волны определяются параметрами входного электрического сигнала. При этом реакция фотоприемника (ФП), установленного на пути продифрагировавшего света, отстает от воздействия на электрическом входе на время  $\tau = x / \vartheta$ , где  $x$  — расстояние от ЭАП до точки пересечения оптической и упругой волны;  $\vartheta$  — скорость распространения УВ в ФУС. Устройство, реализующее описанный процесс, в литературе получило название акустооптического модулятора (АОМ).

В зависимости от геометрии и характера акустооптического взаимодействия, различают дифракции Рамана—Ната и Брегга. Основное внешнее отличие дифракции Брегга от дифракции Рамана—Ната состоит в несимметричном появлении дифракционных порядков при изменении угла падения  $\theta_0$  светового потока на поверхность ФСУ. При этом, максимум интенсивности света