

**МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИВНЫХ  
ПРИЗНАКОВ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ**

Как было показано [1], для идентификации импульсных сигналов малой длительности по спектральным признакам целесообразно применять дисперсионный метод формирования мгновенных спектров  $S(\omega)$ . При этом отклик  $G(t)$  дисперсионной линии задержки (ДЛЗ) при условии  $T_c \ll \Delta T$  ( $T_c$  – длительность радиоимпульса,  $\Delta T$  – перепад задержек ДЛЗ) представляет с достаточной степенью точности огибающую  $S(\omega)$ , представленную с помощью ряда Котельникова:

$$G(t) = \sum_n \bar{S}(\omega_n) 2\Delta f_1 \sin c \frac{\Delta\omega_1}{2} t_1 \cos \omega_n t_1. \quad (1)$$

Соотношение (1) получено при условии дискретно-ступенчатой аппроксимации основных параметров ДЛЗ: огибающей АЧХ  $K(\omega)$  и зависимости  $\tau(\omega)$ :

$$K(\omega) = \sum \exp(-j\omega\tau_n) \operatorname{rect} \frac{\omega - (n-i)\Delta\omega_1}{\Delta\omega_1}, \quad (2)$$

$$\tau_n = \tau_0 \pm \frac{\Delta T}{\Delta\omega} (n-1)\Delta\omega_1.$$

Такое упрощение справедливо с учетом реальных структур встречно-штыревого преобразователя ДЛЗ. Из соотношений (1) и (2) следует, что длительность  $G(t)$  равна  $\Delta T = N\Delta\tau$  и  $N = \sqrt{\Delta T \cdot \Delta\omega}$ . Таким образом, полоса пропускания  $\Delta\omega$  и период задержек ДЛЗ определяют число отсчетов ряда (1) и, фактически, погрешность формирования  $S(\omega)$

По огибающей  $G(t) = S(t)$  можно определить информативные признаки для идентификации входных радиоимпульсов.

Известно [1], что в качестве таковых можно использовать:

частоты максимумов спектра  $f_m$ ;

ширину спектра на различных относительных уровнях  $\Delta f_n$ , где  $n$  - уровень отсчета (0,7; 0,5);

коэффициент прямоугольности  $a_a$  огибающей спектра  $a_{fNM} = \frac{\Delta f_N}{\Delta f_M}$ , где  $N, M$  - уровни отсчета в пределах  $N \in (0,5..0,8)$ ,  $M \in (0,001..0,1)$ .

Эти признаки можно представить как множества:  $x_{1m} \in (f_m)$ ;  $x_{2m} \in (\Delta f_n)$ ;  $x_{3m} \in (a_{fNM})$ .

Таким образом общее количество признаков может быть достаточно большим, так как

$x_{1m} \in (x_1; x_2 \dots x_l)$ , где  $l$  - количество максимумов спектра;

$x_{2m} \in (x_1; x_2 \dots x_j)$ , где  $j$  - количество уровней отсчета ширины спектра;

$x_{3m} \in (x_1; x_2 \dots x_i)$ , где  $i$  - количество уровней, по которым вычисляется коэффициент прямоугольности  $a_{fNM}$ .

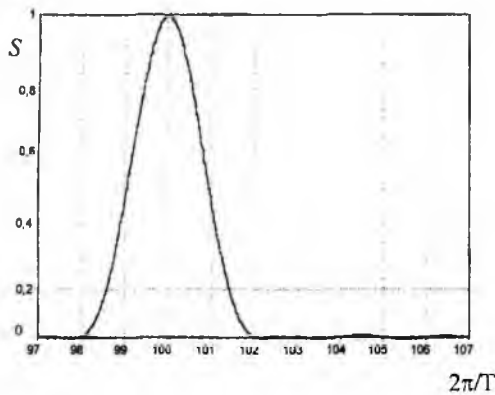


Рис. 1а

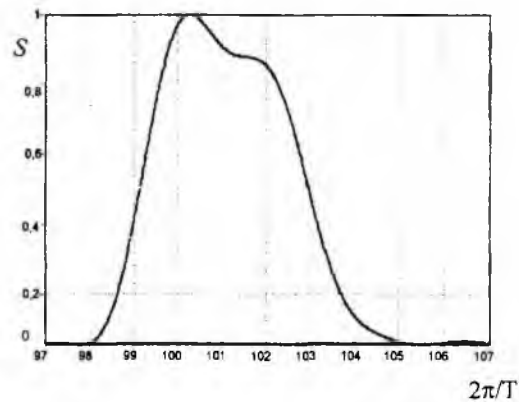


Рис. 1б

Вычисление конкретных значений информативных признаков по огибающей  $S(\omega)$  начинается с выяснения вида сигнала (вид сигнала с полным перекрытием помехой приведен на рис. 1а, а с частичным перекрытием – на рис. 1б). Это программно реализуется как количество максимумов в объеме массивов данных. На основе их количества активизируется программа расчета параметров того или иного сигналов. Расчет положения центральной частоты сводится к отысканию порядкового номера максимального значения в массиве данных (схема алгоритма определения центральной частоты приведена на рис.2). Далее идет расчет уровней сигналов по значениям  $0.7 U_{\max}$  и  $0.1 U_{\max}$ , и аналогичным образом отыскиваются их порядковые номера. Для сигнала на рис.1а уровни отыскиваются на двух скатах спектральной характеристики, и полоса будет равна разности между этими выборками. Для сигнала на рис.1б такой прием не применим, поэтому отыскиваются уровни на одном скате, рассчитывается полоса до положения центральной частоты и это значение умножается на 2 (рис. 3). Определение коэффициента прямоугольности производится вычислением отношения выборок на уровнях  $0.7 U_{\max}$  и  $0.1 U_{\max}$ .

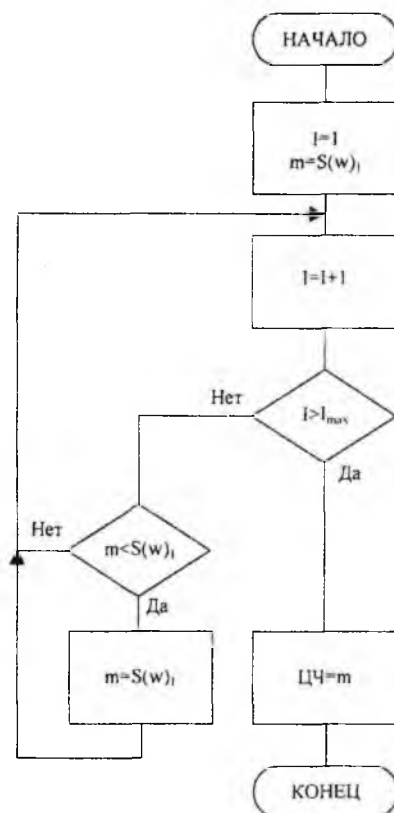


Рис. 2

Для реализации описанной процедуры вычисления информативных признаков необходимо с помощью АЦП преобразовать огибающую  $S(\omega)$  в дискретные отсчеты с последующим квантованием по амплитуде с шагом  $\Delta$ . Поскольку предполагается использовать 8-разрядный микроконтроллер, АЦП должен иметь соответствующее количество разрядов. С другой стороны необходимо обеспечить допустимое отношение сигнал/шум (ОСШ), дисперсию шумов квантования  $\sigma_{ш}$  и перепад  $D$  амплитуд выборок. Если  $ОСШ=10$ ,

$$\sigma_{ш} = \frac{q}{2\sqrt{3}},$$

где  $q$  – величина кванта.

При  $D=20$  минимальная разрядность  $V_{\min}$  АЦП составит  $V_{\min} \geq 5$ . Исходя из этих расчетов, можно сделать вывод о том, что 8-разрядного АЦП будет вполне достаточно для преобразования временных выборок импульсных радиосигналов без потерь. Для большей точно-

сти вычислений необходимо брать большее количество выборок. Графики зависимостей необходимой разрядности  $B$  от диапазона амплитуд  $D$  для разного отношения сигнал/шум приведены на рис. 4.

Идентификация проводится на основе критерия Байеса. Стратегию, основанную на этом правиле, называют байесовской стратегией, а минимальный средний риск - байесовским риском.

При этом условная вероятность принадлежности объекта классу  $\Omega_1$  для признака  $x_n$ , где  $n$  - номер признака равна [2]:

$$P(\Omega_1 / x_n^0) = P(\Omega_1) f_1(x_n^0) / f(x_n^0),$$

а условная вероятность принадлежности объекта классу  $\Omega_2$  :

$$P(\Omega_2 / x_n^0) = P(\Omega_2) f_2(x_n^0) / f(x_n^0),$$

где  $f(x_n^0) = P(\Omega_1) f_1(x_n^0) + P(\Omega_2) f_2(x_n^0)$  - совместная плотность распределения вероятностей значений признака  $x_n$  по классам,

$P(\Omega_1 / x_n^0)$  и  $P(\Omega_2 / x_n^0)$  - апостериорные вероятности принадлежности распознаваемого объекта классам  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  соответственно.

Условные риски по признаку  $x_n$ , связанные с решениями  $\omega \in \Omega_1$  и  $\omega \in \Omega_2$ , равны

$R(\Omega_1 / x_n^0) = c_2 P(\Omega_2 / x_n^0)$ ,  $R(\Omega_2 / x_n^0) = c_1 P(\Omega_1 / x_n^0)$ . Решение о принадлежности  $\omega \in \Omega_1$  принимается при условии минимального среднего риска, когда  $R(\Omega_1 / x_n^0) / R(\Omega_2 / x_n^0) < 1$ .

С учетом изложенной методики определения информативных параметров и распознавания вида радиосигнала был разработан микропроцессорный модуль, структурная схема которого приведена на рис. 5. В качестве усилителя возможно использование специализированной микросхемы 848УР1, у которой для данного диапазона частот коэффициент усиления  $K_u=20$ . Такое усиление достаточно для преобразования аналогового сигнала в цифровую

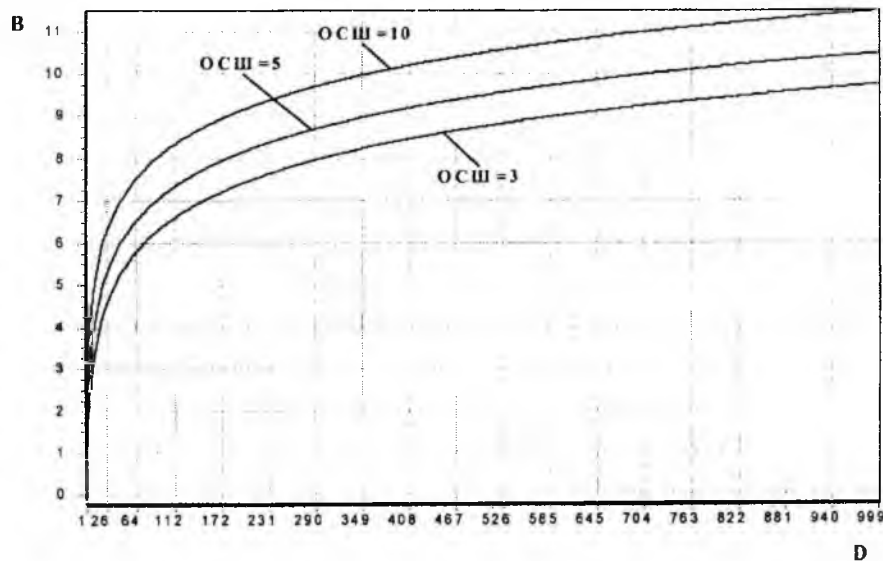


Рис. 4

форму с помощью микросхемы АЦП. АЦП построен таким образом, что он обеспечивает основные условия сопряжения с МП, а именно: длина цифрового слова (число разрядов) соответствует длине слова базовых типов отечественных БИС МП; управление его работой осуществляется непосредственно сигналами от МП с минимальными аппаратными и программными затратами; временные характеристики АЦП хорошо согласованы с временными характеристиками большинства типов БИС МП; цифровые выходы преобразователя допускают прямое подключение ко входным портам и шине данных МП.

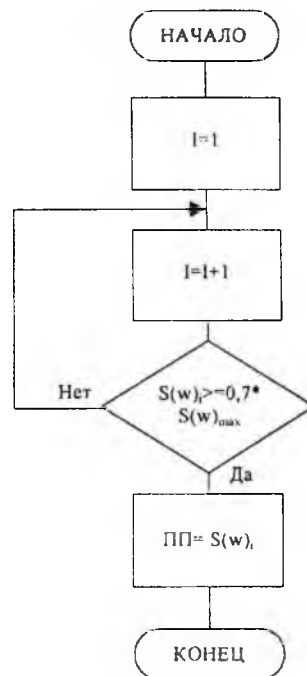


Рис. 3

Внутреннее ОЗУ контроллера составляет 128 байт, поэтому существует ограничение по количеству выборок. В качестве АЦП используется микросхема К572ПВЗ.

Сигнал с выхода АЦП поступает на соответствующий порт контроллера. Здесь необходимо уделить внимание согласованию частоты взятия выборок  $f_d$  и тактовой частоты  $f_t$ . Тактовая частота микропроцессорной системы определяется частотой кварцевого генератора. Для контроллера ATMEL C2051 максимальная частота кварцевого генератора составляет 24 МГц, а для КР580ВЕ51 12 МГц, следовательно, порты при максимальной частоте кварцевого генератора могут работать на частотах до 12 МГц для ATMEL C2051 и 1 МГц для КР580ВЕ51. Если  $f_d > f_t$ , то необходимо будет сконструировать соответствующий интерфейс для согласования.

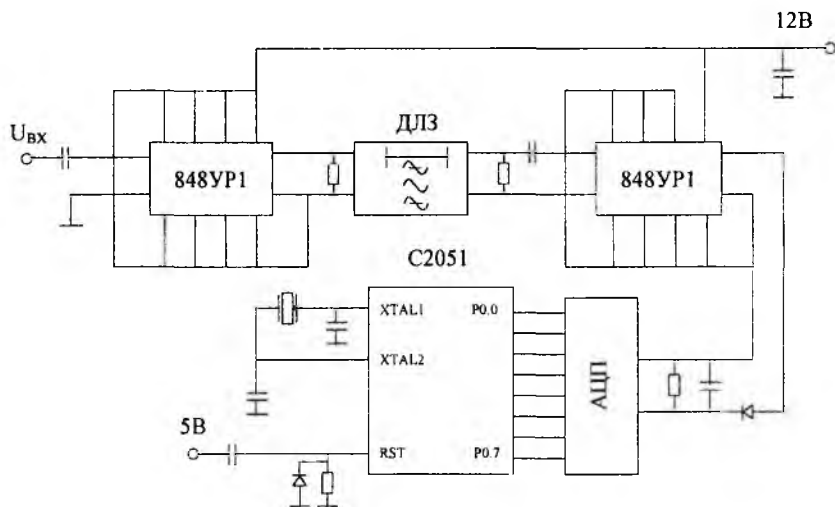


Рис. 5

После определения численных значений всех информативных признаков запускается программа статистической обработки данных. Изначально известно априорное распределение для этих параметров [1,2], которое хранится в ПЗУ микропроцессора. По вычисленным признакам с использованием критерия Байеса принимается решение о принадлежности сигнала к тому или иному классу распознаваемых сигналов, о чем будет выдана информация оператору через определенный порт контроллера.

**Список литературы:** 1. Письменецкий В.А., Бородин А.В., Платонов П.И. Анализ информативных признаков для идентификации импульсных радиосигналов по спектральным параметрам // Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 114. С.159-162. 2. Письменецкий В.А., Слипенченко Н.И., Платонов П.И. Исследование дисперсионно-спектрального способа идентификации импульсных радиосигналов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2001. Вып. 118. С.37-41. 3. Измерение несущей частоты наносекундных импульсов спектральным методом / В.А.Письменецкий, А.В. Бородин, П.И. Платонов. 1996. 10 с. Деп. в ГНТБ Украины.

Харьковский национальный университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 02.11.2001