

## ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ СЖАТИЯ СИГНАЛОВ

*В. А. Омельченко, В. А. Хорунжий, В. А. Письменецкий,  
А. И. Игравков*

Харьков

К анализаторам спектра в ряде случаев наряду с требованием увеличения быстродействия предъявляется требование сохранения или даже повышения их разрешающей способности. В анализаторах со сжатием сигнала во времени эти требования приводят к увеличению длительности запоминаемых отрезков сигнала и при выполнении операции сжатия рециркулятором требуют соответственно увеличения коэффициента сжатия, а это, как известно, влечет за собой увеличение числа циркуляций сигнала в рециркуляторе [1, 2]. Последнее обстоятельство значительно усложняет техническую реализацию метода.

В настоящей работе рассматривается способ сжатия сигналов с использованием двух последовательно соединенных рециркуляторов, позволяющий увеличить коэффициент сжатия без существенного увеличения числа циркуляций.

### 1. СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЗАПОМИНАЕМЫХ ОТРЕЗКОВ СИГНАЛА

В анализаторе со сжатием сигнала во времени периодически повторяется процесс запоминания и сжатия отрезков сигнала конечной длительности [2].

Каждый сжатый в  $N$  раз отрезок сигнала  $f_k(tN)$  получают выделением из сигнала  $f(t)$  весовой функцией

$$\varphi_k(t) = \begin{cases} \varphi(t), & kT_s \leq t < (k+1)T_s \\ 0, & t \notin [kT_s, (k+1)T_s] \end{cases} \quad (1)$$

взвешенного отрезка

$$f(t)\varphi_k(t)$$

с последующим изменением масштаба времени в  $N$  раз.

Здесь  $T_s$  — длительность запоминаемых отрезков сигнала до сжатия

$$K = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$$

Спектр  $S_k(\omega)$  выделенного отрезка сигнала после сжатия имеет вид

$$S_k(\omega) = \left[ S\left(\frac{\omega}{N}\right) F\left(\frac{\omega}{N}\right) e^{-j\omega T_s k} \right] \times e^{-j\frac{\omega}{N}(N-1)T_s k}, \quad (2)$$

где

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt,$$
$$F(\omega) = \int_0^{T_s} \varphi(t) e^{-j\omega t} dt.$$

С учетом выражения (2) спектр  $S_{\text{вых}}(\omega)$  сигнала после процесса сжатия, равный сумме спектров его сжатых отрезков, представим рядом

$$S_{\text{вых}}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[ S\left(\frac{\omega}{N}\right) F\left(\frac{\omega}{N}\right) e^{-j\omega T_s k} \right] \times e^{-j\frac{\omega}{N}(N-1)kT_s}. \quad (3)$$

Введение в ряде (3) новых обозначений при суммировании по правилу

$$k = \rho M + i_\rho,$$

где  $\rho = 0; \pm 1; \pm 2; \dots;$   
 $i_\rho = 0, 1; \dots M-1$  при каждом  $\rho;$   
 $M$  — целое число,  
 позволяет привести его к виду

$$S_{\text{вых}}(\omega) = \sum_{\rho=-\infty}^{\infty} \sum_{i_\rho=0}^{M-1} \left[ S\left(\frac{\omega}{N}\right) F\left(\frac{\omega}{N}\right) \times e^{-j\omega T_s (i_\rho + \rho M)} \right] e^{-j\omega (N-1) \frac{T_s}{N} (i_\rho + \rho M)} \quad (4)$$

Умножая каждый член ряда (4) на величину

$$e^{j\omega \frac{N-1}{N} T_s i_\rho}$$

получаем ряд

$$S_{\text{вых}}(\omega) = \sum_{\rho=-\infty}^{\infty} \sum_{i_\rho=0}^{M-1} \left[ S\left(\frac{\omega}{N}\right) F\left(\frac{\omega}{N}\right) \times e^{-j\omega T_s (i_\rho + \rho M)} \right] e^{-j\omega (N-1) \frac{T_s}{N} \rho M}. \quad (5)$$

Такое преобразование соответствует введению задержки  $T$ , величина которой

$$T = \frac{N-1}{N} i_\rho T_s$$

всякий раз соответствует  $i_\rho$  сжатой копии запоминаемого отрезка сигнала.  
 Выражение

$$S_\rho(\omega) = \sum_{i_\rho=0}^{M-1} S\left(\frac{\omega}{N}\right) F\left(\frac{\omega}{N}\right) \times e^{-j\omega T_s (i_\rho + \rho M)} \quad (6)$$

представляет собой спектр отрезка входного сигнала длительности  $MT_s$  для весовой функции

$$g_\rho(t) = \begin{cases} \varphi_\kappa(t), & kT_s \leq t < (k+1)T_s \\ & Mp + i_\rho \leq k < M(\rho+1) + i_\rho \\ & t \in [kT_s, (k+1)T_s], \\ 0, & Mp + i_\rho \leq k < M(\rho+1) + i_\rho. \end{cases} \quad (7)$$

Выражение для спектра (6) с учетом равенств (7) можно представить в виде

$$S_\rho(\omega) = F\left(\frac{\omega}{N}\right) G\left(\frac{\omega}{N}\right) e^{-j\omega T_s \rho M}, \quad (8)$$

где

$$G(\omega) = \int_0^{M\rho} G_0(t) e^{-j\omega t} dt;$$

при этом ряд (3) представим следующим образом:

$$S_{\text{вых}}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[ S\left(\frac{\omega}{N}\right) G\left(\frac{\omega}{N}\right) \times e^{-j\omega T_s p M} \right] e^{-j\omega \frac{N-1}{N} p T_s}. \quad (9)$$

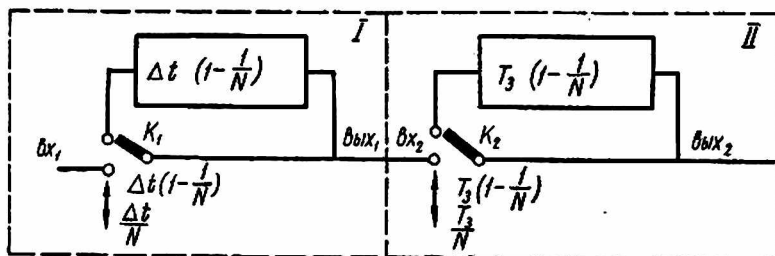
Выражение (9) дает обычную запись сжатого в  $N$  раз сигнала, у которого соответствующему преобразованию подвергаются отрезки длительности  $MT_s$ .

## 2. РЕАЛИЗАЦИЯ СПОСОБА

Из выражений (3—5) непосредственно вытекает функциональная схема устройства, осуществляющего рассматриваемый способ.

Согласно ряду (3), сигнал разбивается во времени на отрезки равной длительности  $T_s$ , которые сжимаются в  $N$  раз. Затем (4) сжатые копии группируются по  $M$  копий в группе и в каждой из них сближаются (5) до получения сжатой в  $N$  раз копии входного сигнала длительности  $MT_s$ .

Способ может быть применен для сжатия как непрерывного сигнала, так и дискретизированного в соответствии с теоремой В. А. Котельникова. На рисунке показана функциональная схема устройства, позволяющего реализовать описанный способ для случая дискретизированного сигнала. Устройство состоит из схемы сжатия отрезков входного сигнала I, схемы сближения их преобразованных копий II.



Упрощенная функциональная схема последовательного соединения рециркуляторов в режиме сжатия.

На вход I ( $vx_1$ ) подается сигнал с конечным спектром. Ключ  $K_1$  подключает  $vx_1$  к рециркулятору в режиме сжатия на время  $\frac{\Delta t}{N}$  с периодом  $\Delta t$ . В результате на выходе I  $вых_1$  образуются сжатые в  $N$  раз копии отрезков сигнала длительности  $T_s = \Delta t N$ , следующие с периодом  $\frac{N-1}{N} T_s$ .

Ключ  $K_2$  подключает  $вых_1$  ко входу II  $vx_2$  рециркулятора, который также работает в режиме сжатия, на время  $\frac{T_s}{N}$  с периодом  $\frac{N-1}{N} T_s$ . На  $вых_2$  образуется сжатая в  $N$  раз копия отрезка входного сигнала длительности  $MT_s$ . Для сохранения информации выбирается  $M \leq N$ .

Таким образом, схема I преобразует непрерывный сигнал в дискретный, а последовательность равноотстоящих выборок — в последовательность равноотстоящих групп выборок. Каждая группа представляет собой сжатый отрезок длительности  $T_s$  дискретизированного сигнала.

Схема II уменьшает временной интервал между группами выборок до интервала между выборками в группе и формирует сжатую копию сигнала длительности  $MT_s$  без потери информации.

Для оценки выигрыша в числе циркуляций сравним устройство рисунка со схемой сжатия на одном рециркуляторе при условии, что сигнал длительности  $MT$ , сжимается в  $N$  раз.

Для рециркулятора в режиме сжатия число запоминаемых выборок сигнала  $R$  совпадает с числом циркуляций  $P$  и коэффициентом сжатия  $N$ :

$$N = P + R. \quad (10)$$

В устройстве рисунка число выборок определяется как произведение числа группы выборок  $M$  на число выборок в группе  $L$ , т. е.

$$R = ML. \quad (11)$$

Число циркуляций в схеме I равно  $L$ , в схеме II —  $M$ , т. е.

$$P = M + L, \quad (12)$$

поэтому минимальное число циркуляций при заданном коэффициенте сжатия  $N$  соответствует  $M = L = \sqrt{N}$  и равно

$$P_{\min} = 2\sqrt{N}. \quad (13)$$

Сравнив формулы (10) и (13), мы видим, что выигрыш  $V$  (в числе циркуляций, который обеспечивает рассматриваемая схема) составляет

$$V = \frac{\sqrt{N}}{2}. \quad (14)$$

## ВЫВОДЫ

1. Последовательное соединение рециркуляторов в режиме сжатия позволяет увеличить коэффициент сжатия без существенного увеличения числа циркуляций сигнала в рециркуляторе.

2. Выигрыш в числе циркуляций при последовательном соединении рециркуляторов в сравнении со схемой сжатия на одном рециркуляторе возрастает с увеличением необходимого коэффициента сжатия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Эрих, Стейнберг. Панорамный анализатор спектра в реальном времени. «Зарубежная радиоэлектроника», 1960, № 1.
2. И. В. Соловьев, С. С. Свириденко. Новые методы спектрального анализа сигналов (обзор). «Зарубежная радиоэлектроника», 1961, № 8.