

В. А. ПИСЬМЕНЕЦКИЙ, канд. техн. наук, П. М. ПОДПРУЖНИКОВ
**ВРЕМЕННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ УСТРОЙСТВАМИ
 С ДИСПЕРСИЕЙ**

В технике связи, радиолокации и других областях радиоэлектроники находят широкое применение дисперсионные линии задержки (ДЛЗ), позволяющие существенно улучшить параметры различных радиоэлектронных систем, создать устройства, выполняющие функциональные преобразования, например, изменение временного масштаба исследуемых процессов [1].

Рассмотрим основные соотношения для масштабных преобразователей на устройствах с дисперсией. Для изменения временного масштаба исходный сигнал необходимо представить дискретными отсчетами и пропустить через устройство с переменным запаздыванием [2]. Пусть исходный сигнал представлен N -дискретными отсчетами длительностью τ_1 на отрезке T_c . Интервал между отсчетами T_b определяется в соответствии с теоремой Котельникова. Тогда

$$\sum_{n=1}^N f(nT_b) \operatorname{rect} \frac{t - nT_b}{\tau_1} = f(t), \quad (1)$$

где

$$\operatorname{rect} x = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 1; \\ 0, & x < 0; x \geq 1. \end{cases}$$

Пропустим этот сигнал через устройство с запаздыванием $\tau(t) = \tau_0 - \alpha t$, где α — некоторая постоянная. Выходной сигнал найдем по формуле

$$\begin{aligned} f[t - \tau(t)] &= \sum_{n=1}^N f(nT_b) \operatorname{rect} \frac{t - \tau_b + \alpha nT_b - nT_b}{\tau_1} = \\ &= \sum_{n=1}^N f(nT_b) \operatorname{rect} \frac{t - \tau_0 - (1 - \alpha) nT_b}{\tau_1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Из соотношения (2) видно, что интервалы между отсчетами изменились. Соответственно изменился и временной масштаб.

Предположим, что имеется устройство, обеспечивающее запаздывание $\tau(x)$ в некоторой области x , причем

$$\tau(x) = \begin{cases} \tau_0 - \beta x; \\ \tau_0 + \beta x, \end{cases} \quad (3)$$

где τ_0 — среднее значение задержки; β — постоянный параметр. Параметры β , τ выбираются так, что огибающая выборок не искажается после прохождения через систему с запаздыванием $\tau(x)$.

Обозначим

$$\text{rect} \frac{t - nT_b}{\tau_1} = \varphi \left(\frac{t - nT_b}{\tau_1} \right).$$

Тогда

$$f(t) = \sum_{n=1}^N f(nT_b) \varphi \left(\frac{t - nT_b}{\tau_1} \right).$$

Введем переменную x в функцию $f(t)$, например, с помощью угловой модуляции

$$f(t, x) = \sum_{n=1}^N f(nT_b, x) \varphi \left(\frac{t - nT_b}{\tau_1} \right).$$

Но переменная x изменяется во времени, т. е. $x = f(t)$, или $x(nT_b)$. В этом случае

$$f(t, x) = \sum_{n=1}^N f[nT_b, x(nT_b)] \varphi \left(\frac{t - nT_b}{\tau_1} \right).$$

Согласно (3) отсчеты с различными значениями параметра x приобретают различное запаздывание

$$\tau[x(nT_b)] = \begin{cases} \tau_0 - \beta x(nT_b); \\ \tau_0 + \beta x(nT_b). \end{cases}$$

Рассмотрим случай линейной зависимости $x(nT_b) = \xi nT_b$. При этом

$$\tau[x(nT_b)] = \begin{cases} \tau_0 - \beta \xi nT_b; \\ \tau_0 + \beta \xi nT_b \end{cases}$$

и соответственно

$$f(t, x, \tau) = \begin{cases} \sum_{n=1}^N f[nT_b, x(nT_b)] \varphi \frac{(t - \tau_0 + \beta \xi nT_b - nT_b)}{\tau_1}; \\ \sum_{n=1}^N f[nT_b, x(nT_b)] \varphi \left(\frac{t - \tau_0 - \beta \xi nT_b - nT_b}{\tau_1} \right). \end{cases}$$

Отсюда

$$f\{t, x, \tau\} = \begin{cases} \sum_{n=1}^N f[nT_b, x(nT_b)] \varphi \left[\frac{t - \tau_0 - (1 - \beta\xi)nT_b}{\tau_1} \right]; \\ \sum_{n=1}^N f[nT_b, x(nT_b)] \varphi \left[\frac{t - \tau_0 - (1 + \beta\xi)nT_b}{\tau_1} \right]. \end{cases} \quad (4)$$

Из соотношения (4) следует, что в зависимости от параметров β , ξ можно получить различные значения временного масштаба. Один из возможных способов перехода в область — Фурье-преобразование $g(x) = F\{f(x, t)\}$. Для его осуществления можно использовать замедляющие системы с дисперсией скорости распространения сигнала — дисперсионные линии задержки.

Обозначим через Δx полосу частот и через ΔT — перепад задержки ДЛЗ. Тогда $C = \Delta T \Delta x$. (5) При этом ширина спектра выборки определяется как $\Delta x_1 = \frac{a}{\tau_1}$, (6) где a — коэффициент формы выборки.

В пределах полосы Δx изменение задержки составит

$$\Delta \tau_1 = \frac{\Delta x_1}{\gamma}, \quad \text{где } \gamma = \frac{\Delta x}{\Delta T}. \quad (7)$$

Считаем, что дисперсия спектральных составляющих выборки не деформирует ее огибающую при условии $\Delta x_1 \Delta \tau_1 < 1$, или $(\Delta x_1)^2 < < \gamma$ (8).

Рассмотрим изменение периода следования выборок конечного сигнала после прохождения через ДЛЗ при условии $x \tau(x) = \tau_0 - \beta x$; $x(t) = x_0 + \xi t$. Здесь параметр следует выбирать так, чтобы частота выборок $x(nT)$ изменялась в пределах рабочей полосы Δx ДЛЗ. Тогда перепад задержек при переходе от выборки к выборке $\Delta T_b = \frac{\Delta T}{N-1}$, а относительное изменение периода T_b составит $\frac{\Delta T_b}{T_b} = \frac{\Delta T}{(N-1)T_b}$, что обеспечит коэффициент масштабирования

$$M = \frac{T_b}{T_b - \Delta T_b} = \frac{T_b}{T_b - \Delta T / (N-1)}.$$

Обозначим

$$\frac{T_b}{\tau_1} = Q \quad \text{или} \quad T_b = Q\tau_1.$$

Тогда

$$M = \frac{Q\tau_1}{Q\tau_1 - \frac{\Delta T}{N-1}}.$$

С учетом соотношений (5), (6)

$$M = \frac{Q\tau_1}{Q\tau_1 - \sqrt{\frac{C}{\gamma} \frac{1}{N-1}}}.$$

Преобразуем это соотношение с учетом равенств (6), (8)

$$M = \frac{Q \frac{a}{\sqrt{\gamma}}}{Q \frac{a}{\sqrt{\gamma}} - \sqrt{\frac{c}{\gamma}} \frac{1}{N-1}} = \frac{Qa}{Qa - \frac{\sqrt{c}}{N-1}}. \quad (9)$$

Из равенства (9) следует, что при постоянных параметрах устройств с дисперсией скорости распространения при увеличении числа отсчетов N или параметра Q максимальное значение коэффициента масштабирования уменьшается. При фиксированных параметрах входного сигнала с ростом параметра C оно увеличивается.

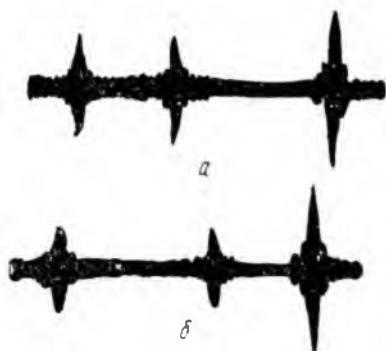


Рис. 1

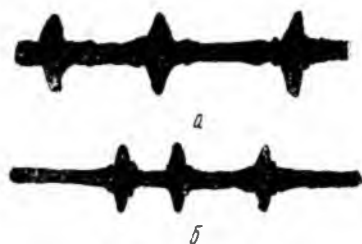


Рис. 2

Экспериментально исследована возможность построения временных масштабных преобразователей на устройствах с дисперсией. В качестве последнего использована дисперсионная линия задержки на поверхностных акустических волнах ($f_0 \approx 30$ МГц, $c = 200$). Дискретные отсчеты в виде радиоимпульсов с частотой заполнения, соответствующей полосе пропускания ДЛЗ, подавались на вход линии с периодом следования T_b . На рис. 1, *a* представлен отклик ДЛЗ на три радиоимпульса с одинаковой частотой заполнения и временными интервалами между ними. При изменении частоты заполнения одного из импульсов интервалы между откликами изменялись (рис. 1, *б*). При изменении частоты заполнения по линейному закону пропорционально менялся и интервал между откликами (рис. 2, *a, б*), т. е. происходило временное масштабное преобразование сигнала. В эксперименте коэффициент масштабного преобразования мог изменяться в два раза без потери информации, что ниже теоретически полученных значений и объясняется нелинейностью амплитудно-частотной характеристики ДЛЗ и устройств формирования частотно-модулированных импульсов.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность построения преобразователей временного масштаба с управляемым коэффициентом масштабирования на устройствах с дисперсией, когда сигнал представлен рядом дискретных отсчетов.

Список литературы: 1. Messer H., Bar-Ness Y., Gilboa H. New S. a. w. timeinversion system. // El. Lett.— 1979.—15, N 7.— P. 214—215. 2. Никифоров Н. Т., Бубенчиков Б. И. Преобразование сигналов в управляемом преобразователе временного масштаба // Методы и аппаратура спектр. и корреляц. анализа слож. сигналов.— 1974.— С. 36—44.

Поступила в редколлегию 16.10.86