

УДК 621.391

В. А. ПИСЬМЕНЕЦКИЙ, канд. техн. наук, *О. В. ЯШКОВ*

**ИЗМЕРЕНИЕ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ АНАЛИЗАТОРОМ
СПЕКТРА ОДНОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ**

Одновременный спектральный анализ обеспечивает получение информации о модуле спектральной плотности. Последняя не имеет однозначного соответствия исходному сигналу, что существенно затрудняет идентификацию исследуемых процессов. Поэтому, кроме огибающей спектральной плотности, целесообразно знать характер изменения мгновенной частоты.

Рассмотрим решение этой задачи с помощью анализатора спектра (АС) одновременного типа. Пусть на его вход поступает импульсный сигнал

$$F(t) = \begin{cases} U \cos [\omega_0 t + \omega(t)], & 0 < t < \tau; \\ 0, & t > \tau. \end{cases}$$

Здесь $\omega(t) = 2\pi f(t)$, $f(t) \in \Phi_0$, где Φ_0 — полоса рабочих частот.

В полосе рабочих частот Φ_0 размещается N фильтров с шагом Δf и полосой пропускания Δf_0 :

$$\Delta f = \Phi_0 / (N - 1); \quad \Delta f_0 = a \Delta f,$$

где a — некоторая константа.

Изменение $f(t)$ по линейному закону адекватно воздействию на каждый фильтр сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ-сигнал). Результаты воздействия достаточно полно исследованы в ряде работ применительно к различным типам резонаторов [1—4]. Введем параметр [4]

$$\mu = 4\gamma / (\Delta f_0^2),$$

связывающий скорость изменения частоты γ с полосой пропускания фильтра Δf_0 , и обобщенную расстройку

$$x = \frac{2(\omega - \omega_0)}{4f_0}.$$

Здесь ω_0 — резонансная частота фильтра.

С помощью динамического коэффициента передачи

$$K = \int_0^{\tau} g(\tau) e^{-\gamma \tau} d\tau$$

вычислим смещение максимума отклика s_0 , расширение полосы пропускания $s_2 - s_1$ и изменение значения максимума C_0 для трех типов фильтров.

Зависимость смещения максимума ДЧХ (s_0) (сплошная линия) и амплитуды ДЧХ (C) от параметра μ для одиночного резонатора 1, многокаскадного фильтра 2, полосового фильтра 3 показана на рис. 1. Анализ результатов вычислений показывает, что минимальное расширение полосы пропускания и смещение максимума отклика имеет место для фильтра, состоящего из n последовательно соединенных резонаторов (табл. 1).

Таблица 1

Тип фильтра	Частотная характеристика K
Одиночный резонатор Фабри-Перо Фильтр из n последовательно соединенных резонаторов Полосовой фильтр на ПАВ	$R = (1 + jx)^{-1}$ $K = e^{-1/2\gamma \ln^2 e^{-\gamma} \sqrt{n \ln 2x}}$ $K = (1 - x^2 + j\sqrt{2}x)^{-1}$

Зависимость расширения полосы (s_1-s_2) (сплошная линия) и среднего смещения максимума $(s_2-s_1)/2$ (пунктирная линия) от параметра μ для одиночного резонатора 1, многокаскадного фильтра 2, полосового фильтра 3 представлена на рис. 2. Из графиков следует, что для оценки максимальной скорости из-

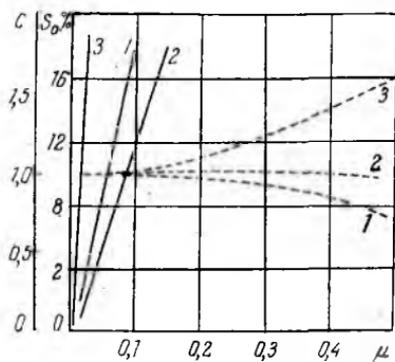


Рис. 1

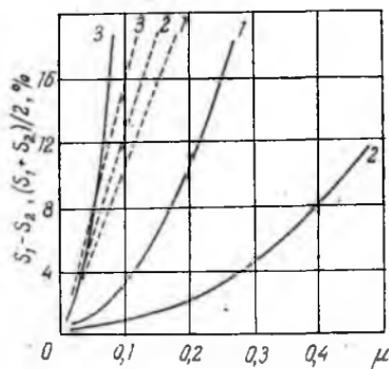


Рис. 2

менения частоты следует задаться допустимым смещением максимума отклика и расширением полосы пропускания применительно к выбранному типу фильтра.

При воздействии ЛЧМ-сигнала с допустимым значением γ на систему параллельных фильтров результирующий отклик после амплитудного детектирования будет представлять последовательность видеоимпульсов с огибающими АЧХ резонаторов. Для устранения перекрытия скатов АЧХ целесообразно ввести формирователь импульсов, срабатывающий по достижению видеоимпульсами определенного значения. Период их следования определяется значением параметра γ . При постоянной амплитуде входного сигнала без учета указанных погрешностей результирующий отклик описывается равенством

$$G = \sum_n g(t - t_n), \quad (1)$$

где

$$g(t) = \sigma\left(t - \frac{\Delta f_1}{2\gamma}\right) - \sigma\left(t + \frac{\Delta f_1}{2\gamma}\right);$$

Δf_1 — ширина полосы пропускания фильтра на уровне, соответствующем срабатыванию импульсного устройства;

$$t_n = (n - 1) \frac{\Delta f}{\gamma} + t_0.$$

Для получения информации о законе изменения частоты целесообразно ввести амплитудное взвешивание на выходе формиро-

вателя импульсов. Тогда отклик n -го фильтра приобретает амплитудное значение, пропорциональное n/N и

$$G'(t) = \sum \frac{n}{N} g(t - t_n). \quad (2)$$

Определим крутизну огибающей $G(t)$

$$S = \frac{\Delta g(t)}{\Delta t}. \quad (3)$$

Здесь $\Delta g(t)$ — приращение амплитуды последующего импульса относительно предыдущего; Δt — интервал между соседними импульсами.

С учетом (1) получим

$$S = \frac{g(t) \cdot \gamma}{N \Delta f}. \quad (4)$$

Из (1) следует, что огибающая результирующего импульсного отклика содержит информацию о параметре γ .

При изменении $f(t)$ по нелинейному закону для упрощения задачи и без потери общности предположим, что в пределах интервала Δf , $\gamma = \text{const}$. В этом случае

$$\Delta t_n = \frac{\Delta f}{\gamma_n} = \text{var} \quad (5)$$

и соответственно

$$S_n = \frac{g(t) \gamma_n}{N \Delta f}. \quad (6)$$

Определим требования к параметрам АС одновременного типа для реализации режимов спектрального анализа и слежения за мгновенной частотой заполнения.

Для измерения мгновенной частоты в полосе Φ_0 необходимо время наблюдения

$$T_a \geq \Phi_0 / \gamma_{\text{доп}} \quad (7)$$

и полоса пропускания фильтров

$$\Delta f_0 = \Phi_0 / (N - 1) a. \quad (8)$$

При этом необходимое время анализа составит

$$T'_a \approx 1 / \Delta f_0 = 1 / (a \Delta f) \quad (9)$$

Найдем отношение

$$T_a / T'_a = \Phi_0 a \Delta f / \gamma_{\text{доп}} = (N - 1) a \Delta f \Delta t, \quad (10)$$

Обозначим $\Delta f \Delta t = M$. Тогда $T_a / T'_a = a M (N - 1)$ (11)

С учетом полученных соотношений рассмотрим возможности АС одновременного действия, содержащего 25 фильтров

трех типов, расстановка по оси частот которых соответствует значению параметра $a=1,5$, а полоса пропускания равна 10 и 500 кГц. Результаты вычислений минимального времени существования сигнала T_a и максимально возможного диапазона изменения его частоты Φ_0 представлены в виде табл. 2.

Таблица 2

Резонатор	μ	Полоса Δf_0 (Φ_0), кГц			
		10 (360)		500 (18 000)	
		γ , $\frac{\text{кГц}}{\text{мс}}$	T_a , мс	γ , $\frac{\text{кГц}}{\text{мс}}$	T_a , мс
Одиночный контур	0,075	1,875	192	4700	3,84
n последовательно соединенных резонаторов	0,065	1,625	221	4060	4,43
Полосовой фильтр	0,05	1,25	288	3130	5,76

Расчеты выполнены для максимально допустимого смещения максимумов. Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что для измерения мгновенной частоты узкополосных сигналов целесообразно их предварительное масштабное преобразование.

Список литературы: 1. Харкевич А. А. Спектры и анализ. М., 1962. 236 с. 2. Кац А. К. Вынужденные колебания при прохождении через резонанс// Инж. сб. ин-та механики АН СССР. Сер. 3. 1947. № 2. С. 100—125. 3. Турбович И. Т. О погрешностях измерения частотных характеристик методом частотной модуляции//Радиотехника. 1954, № 2. С. 31—35. 4. Турбович И. Т. Динамические частотные характеристики избирательных систем// Радиотехника. 1957. № 11. С. 39—49.

Поступила в редколлегию 12.07.85.