УДК 621.396

Ю. М. ВЕШКУРЦЕВ
Ю. О. НЕМКИН

Омский государственный
технический университет

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРГУМЕНТА ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ПРИ АППАРАТУРНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕЕ ЗНАЧЕНИЙ

Проведен анализ воздействия внешних и внутренних помех типа флуктуационного шума на аргумент характеристической функции при аппаратурном определении ее значений. Полученные результаты приведены в аналитическом и количественном представлении.

Описание анализатора характеристической функции (х.ф.) имеется в литературе [1]. В работах [2, 3] изучены погрешности установления аргумента х.ф. без учета влияния помех. Данная статья посвящена анализу помехоустойчивости блока задания вещественного параметра х.ф., математическая модель которой представлена известным [4] выражением

$$\Theta_1(V_m) = m_1\left\{\exp\left(jV_m u(t)\right)\right\}, \qquad (1)$$

где V_m – вещественный параметр или аргумент х.ф.; $u(t)$ – исследуемый сигнал.

В анализаторе х.ф. параметр V_m задают с помощью специальных узлов схемы. Например, предложенный ранее блок задания вещественного параметра х.ф. (рис. 1a) содержит генератор пилообразного напряжения (ГПН) и генератор, управляемый напряжением (ГУН). Принцип его работы описан в литературе [2] и включает процедуры формирования пилообразного импульса (рис. 1c) и импульса с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ-импульс, рис. 1d). На рис. 1 приняты следующие обозначения: E_0 – опорное напряжение, $U_{ГПН}$ – напряжение на выходе ГПН, $t_и$ – длительность ЛЧМ-импульса, F – девиация частоты ЛЧМ-импульса.

Анализ помехоустойчивости блока задания аргумента х.ф. выполнен при следующих ограничениях: характеристики рис. 1c, d линейные; помехи представ-ляют собой независимые флуктуационные шумы $n_1(t), n_2(t), n_3(t)$.

Известно [2], что значение аргумента х.ф. связано с параметрами ЛЧМ-импульса зависимостью

$$V_m = \frac{F}{\tau_н f_c^2}, \qquad (2)$$

где f_c – частота исследуемого сигнала с любой математической моделью, в частности $u(t) = U_0\cos(2\pi f_c + \varphi)$. Этим сигналом модулируется по амплитуде ЛЧМ-импульс.

Пусть характеристики рис. 1c, d описываются формулами

$$U_{ГПН} = \frac{kE_0}{\tau_и}t, \quad \omega_{ГУН} = \omega_0 + KU_{ГПН}, \qquad (3)$$

где $U_{ГПН}$ – напряжение на выходе ГПН, k – коэффициент преобразования ГПН, $\omega_{ГУН}$ – частота колебания на выходе ГУН, ω_0 – начальная частота колебания

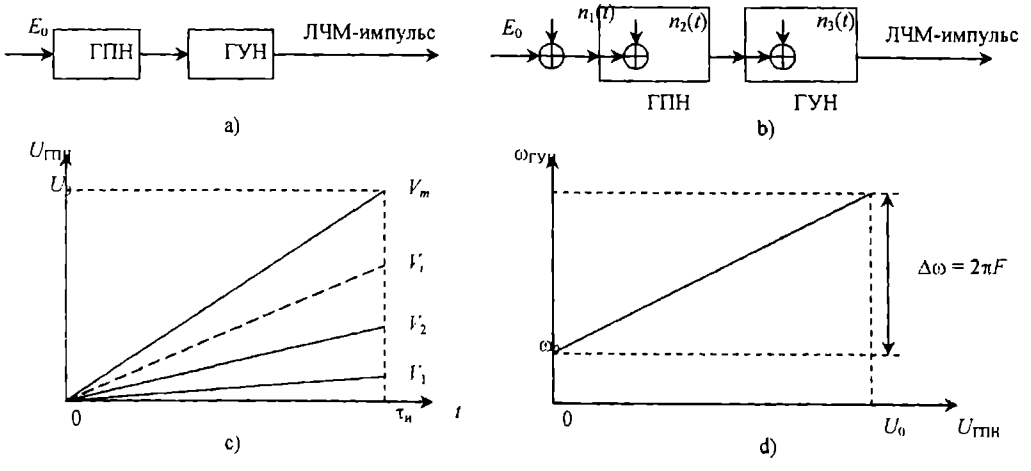


Рис. 1. Блок задания параметра характеристической функции:
a) структурная схема; b) модель возникновения помех; c) характеристика ГПН; d) характеристика ГУН.

ГУН, K – коэффициент преобразования ГУН. Тогда выражение (2) преобразуется к виду

$$V_m = \frac{kKE_0}{2\pi\tau_н f_c^2}. \quad (4)$$

С учетом помех, модель возникновения которых представлена на рис. 1b, получим

$$V_m = \frac{K\left\{k\left[E_0 + n_1(t) + n_2(t)\right] + n_3(t)\right\}}{2\pi\tau_н f_c^2}. \quad (5)$$

Из сравнения выражений (4, 5) видно, что при наличии помех типа флуктуационного шума аргумент х.ф. становится случайной величиной с нормальным законом распределения, количественные параметры которого зависят от вероятностных характеристик шума и характеристик блока задания аргумента х.ф. Следовательно, наиболее вероятное значение аргумента х.ф. будет представлять математическое ожидание статистического закона распределения. В нашем случае оно равно (4). Дисперсия случайной величины составит

$$M_2\{V_m\} = \left(\frac{K}{2\pi\tau_н f_c^2}\right)^2 \left[k^2\sigma_1^2 + k^2\sigma_2^2 + \sigma_3^2\right], \quad (6)$$

где σ_1^2, σ_2^2, σ_3^2 - мощность шума $n_1(t)$, $n_2(t)$, $n_3(t)$ соответственно. Таким образом, воздействие помех на блок рис. 1а приводит к возникновению отклонений аргумента х.ф. от своего наиболее вероятного значения (4). И как результат этого, появляется погрешность.

Представим относительную погрешность задания аргумента х.ф. в виде

$$\delta_V = \frac{\sqrt{M_2\{V_m\}}}{m_1\{V_m\}}, \quad (7)$$

где $m_1\{V_m\}$ - математическое ожидание аргумента х.ф. Можно получить выражение, описывающее зависимость относительной погрешности задания аргумента х.ф. от отношения сигнал/шум

$$\delta_V = \sqrt{\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} + \frac{1}{k^2\mu_3}}, \quad (8)$$

где $\mu_i = E_0^2/\sigma_i^2$ - отношение сигнал/шум. Для помех $n_1(t)$, $n_2(t)$ и $n_3(t)$ имеем $i=1$, $i=2$, $i=3$ соответственно. Вид зависимости относительной погрешности задания аргумента х.ф. от μ_i при воздействии трех помех с нормальным распределением представлен на рис. 2, где значение $k = 1$.

Выражения (4), (6) и (8) описывают числовые характеристики закона распределения и относительную погрешность установления аргумента х.ф. при воздействии трех помех. Если одна из помех отсутствует, то выражения (6) и (8) упрощаются. Для примера рассмотрим воздействие помех $n_1(t)$ и $n_2(t)$. Выражения (6) и (8) преобразуются к виду

$$M_2\{V_m\} = \left(\frac{kK}{2\pi\tau_н f_c^2}\right)^2 \left[\sigma_1^2 + \sigma_2^2\right], \quad (9)$$

$$\delta_V = \sqrt{\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}}. \quad (10)$$

Примеры зависимости относительной погрешности задания аргумента х.ф. при воздействии помех $n_1(t)$ и $n_2(t)$ на рис. 2 представлены графиками, для которых $\mu_3 = \infty$.

Если присутствует только помеха $n_1(t)$, то получим

$$M_2\{V_m\} = \left(\frac{kK\sigma_1}{2\pi\tau_н f_c^2}\right)^2, \quad (11)$$

$$\delta_V = \frac{1}{\sqrt{\mu_1}}. \quad (12)$$

Пример зависимости относительной погрешности задания аргумента х.ф. от отношения сигнал/шум при воздействии только помехи $n_1(t)$ на рис. 2 представлен графиком со значением $\mu_2 = \mu_3 = \infty$.

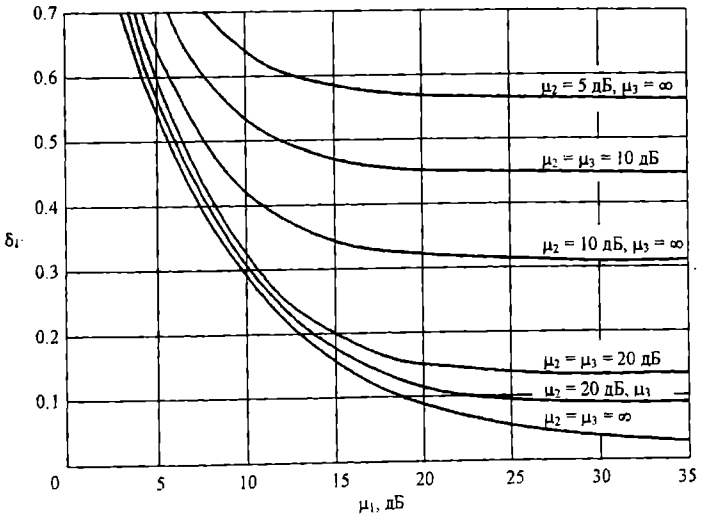


Рис. 2. Зависимость погрешности от отношения сигнал/шум.

Зависимости рис. 2 можно распространить на случай, когда шум $n_1(t)$ имеет отличный от нормального закон распределения, поскольку при проектировании анализатора оговаривается отношение сигнал/шум без конкретизации закона распределения.

Анализ кривых на рис. 2 позволяет заключить, что аргумент х.ф. в приборах типа анализатор фазы может существенно отличаться от заранее установленного значения вследствие наличия внешних и внутренних помех. Это отличие достаточно велико и составляет 10% при $\mu_1 = 20$ дБ, $\mu_2 = \mu_3 = \infty$, оно возрастает до 14,1% при $\mu_1 = \mu_2 = 20$ дБ, $\mu_3 = \infty$ или до 17,3% при $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 20$ дБ. Следовательно, присутствие помех влияет на отдельные каскады блока рис. 1а и приводит к тому, что аргумент х.ф. перестает быть детерминированной величиной, а становится случайной величиной с вполне определенными вероятностными характеристиками. В описании [4] фундаментального метода х.ф. такая гипотеза не выдвигалась, она возникла в прикладном анализе х.ф. случайных процессов. Согласно этой гипотезе можно ожидать, что значения х.ф. будут отличаться от значений, рассчитанных по математической модели (1) для известного сигнала. Например, для сигнала с нормальным законом распределения с параметрами $m_1 = 0$, $\sigma^2 = 0.5$ при $V_m = 1$ указанное отличие (или смещение) составит 5% при $\mu_1 = 20$ дБ, $\mu_2 = \mu_3 = \infty$ и 7% при $\mu_1 = \mu_2 = 20$ дБ, $\mu_3 = \infty$ или 8,6% при $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 20$ дБ. Выходит, что при проектировании анализаторов х.ф. требования к блокам задания вещественного параметра х.ф. должны быть высокими. Помимо улучшения характеристик аппаратуры, можно, на наш взгляд, использовать прием по созданию коррелированных помех, вытекающий из формул книги [4]. Соответствующим выбором коэффициента корреляции суммарная мощность помех может быть снижена и тем самым ослаблено их влияние на точность задания аргумента х.ф., т.к. повышается отношение сигнал/шум. Этот вывод подтверждает любой график на рис. 2, где показано, что с увеличением отношения сигнал/шум погрешность задания аргумента х.ф. падает.

Библиографический список

1. Вережников В.В. Анализ статистических характеристик флуктуаций фазы с использованием дисперсионно-временных методов обработки сигналов // Техника электрических и магнитных измерений: Межвуз. сб. науч. тр. / Омск: Изд-во ОмПИ, 1989. – С. 12-15.

2. Вешкурцев Ю.М., Немкин Ю.О. Искажение аргумента характеристической функции при формировании ЛЧМ-сигнала // Актуальные проблемы электронного приборостроения: Материалы IV Международной конференции / Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – С. 55-58.

3. Вешкурцев Ю.М., Немкин Ю.О. Влияние скорости изменения частоты ЛЧМ-сигнала на аргумент характеристической функции // Динамика систем, механизмов и машин: Мат. IV Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 60-летию ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002. – Кн. 1. – С. 273-275.

4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.

ВЕШКУРЦЕВ Юрий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехнические устройства и системы диагностики». **НЕМКИН Юрий Олегович,** аспирант той же кафедры.

УДК 621.372.543

А. К. ЕЛЬЦОВ

Омский государственный технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ПОЛОСОВОГО АКТИВНОГО RC-ФИЛЬТРА

В статье приведены формулы для расчета требуемых коэффициентов усиления полосовых звеньев активного RC-фильтра с учетом заданного относительного затухания.

Своеобразие получения расчетной зависимости характеристики затухания от частоты для полосовых активных фильтров состоит в том, что в исходных данных имеется требование к постоянному множителю H_0 (коэффициенту усиления на средней частоте фильтра). Это требование на практике выполняется путем подбора коэффициента усиления отдельных звеньев, что вызывает определенные затруднения в получении заданных параметров по неравномерности частотной характеристики в полосе пропускания и затухания в полосе задерживания [1, 4].

Выражение для передаточной функции полосового звена второго порядка, которое получается при нормировании частотной переменной относительно его средней частоты имеет вид [1, 2]

$$H_П(\Lambda) = H_0 \frac{q\Lambda}{\Lambda^2 + q\Lambda + 1}, \qquad (1)$$

где $\Lambda = i\Omega$, $\Omega = \frac{\omega}{\omega_{ci}}$;

ω_{ci} - средняя частота звена;