

УДК 621.396.62: 621.397.62

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ БАЗОВОГО ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В.А. ИЛЬИНКОВ, А.А. СИЛИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 21 января 2005*

Предлагается математическая модель базового приемного устройства, учитывающая влияние инженерных параметров качества функциональных звеньев на отношение сигнал–шум.

*Ключевые слова:* приемник, оптимизация чувствительность, моделирование.

Системы связи, вещания и измерений, использующие различные виды амплитудной модуляции (АМ), занимают важное место в семействе информационных систем. Несмотря на существенные качественные и количественные различия, они имеют общую основу (базу) в построении приемных устройств (ПУ), которую назовем базовым ПУ.

Базовое ПУ содержит полосовой фильтр (ПФ) 1, усилитель 2 радио- либо промежуточной частоты, амплитудный (синхронный) детектор 3, фильтр нижних частот (ФНЧ) 4 и усилитель 5 частот модуляции (рис. 1).

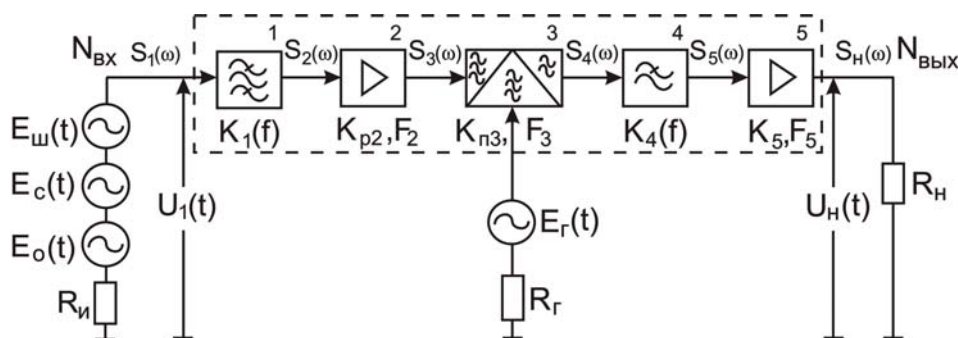


Рис. 1. Функциональная схема базового ПУ

Рассматриваемое устройство повторяет построение ПУ систем проводного вещания [1] и передачи телевизионных (ТВ) сигналов по коаксиальному кабелю [2], соответствует трактам промежуточной и низкой частот радиовещательного [3] и промежуточной частот изображения ТВ [4] приемников, является составной частью ПУ систем связи с частотным разделением каналов [5] и систем измерения двухсигнальным методом [6]. В зависимости от вида АМ в качестве фильтра 1 применяют обычный ПФ с (а) симметричной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) и (а) симметричным положением центральной частоты относительно несущей принимаемого сигнала (рис. 2,а) либо ПФ с нижним (верхним) кососимметричным склоном Найквиста (рис. 2,б,в) [1–6].

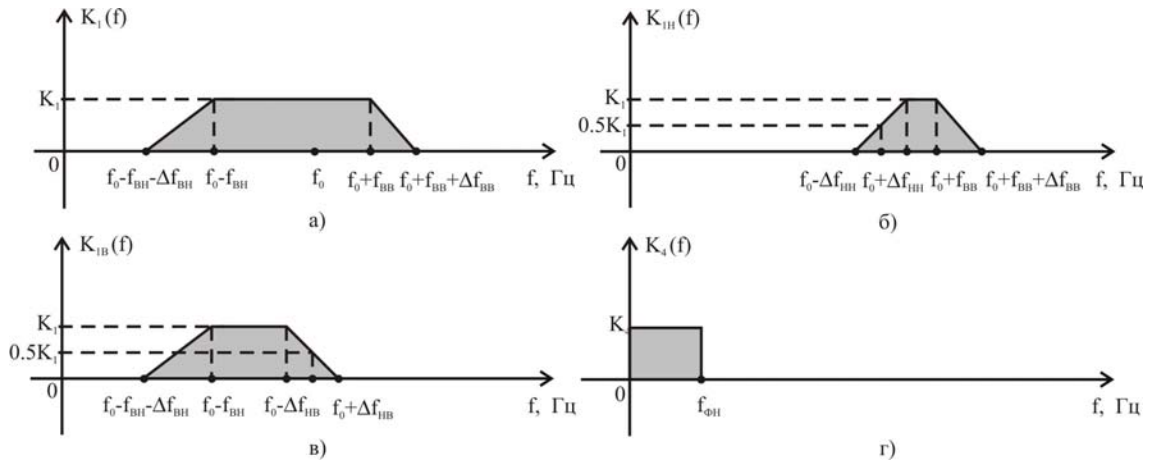


Рис. 2. Возможный вид АЧХ ПФ и ФНЧ

Необходимым этапом проектирования рассматриваемых ПУ, выполняемым при функциональном моделировании, является их параметрическая оптимизация: установление требований к инженерным параметрам качества функциональных звеньев (уровень входного сигнала, ширина полосы пропускания и (или) ширина склонов ПФ, коэффициенты усиления (преобразования) и коэффициенты шума усилителей и детектора, ширина полосы пропускания ФНЧ), которые обеспечивают требуемое значение и допустимые изменения важнейшего выходного параметра ПУ — отношения сигнал–шум (ОСШ).

Известны математические модели и методы расчета ПУ. Одни из них построены на сложном, не используемом в инженерной практике описании свойств функциональных звеньев (дифференциально-тейлоровскими разложениями) [7, 8], другие — пренебрегают собственными шумами усилителей и смесителей (детекторов) [9–11], третьи — не учитывают вида АМ принимаемого сигнала и вида АЧХ ПФ [12].

Цель настоящей работы — построение математической модели базового ПУ, учитывающей влияние инженерных параметров качества функциональных звеньев на ОСШ.

В качестве моделей входных сигнала и шума принимаем эргодические случайные процессы

$$E_c(t) = mU_0(\cos((\omega_0 + \omega_c)t + \varphi_0 + \varphi_c) + \cos((\omega_0 - \omega_c)t + \varphi_0 - \varphi_c)),$$

$$E_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad S_\sigma(\omega) = \begin{cases} 4S_\sigma, & \omega_0 - \Delta\omega_i \leq |\omega| \leq \omega_0 + \Delta\omega_a \\ 0, & |\omega| < \omega_0 - \Delta\omega_i, |\omega| > \omega_0 + \Delta\omega_a, \end{cases} \quad (1)$$

где  $(U_0, \omega_0, \omega_c, m) = \text{Const}$ ;  $S_\sigma(\omega)$  — двусторонняя спектральная плотность мощности генератора  $E_\sigma(t)$ ;  $f_0 - \Delta f_i$  ( $f_0 + \Delta f_a$ ) — нижняя (верхняя) граничные частоты спектра сигнала, в общем случае не совпадающие с полосой пропускания ПФ;  $\omega = 2\pi f$ . Для удобства сигнал задан генераторами  $E_c(t)$  и  $E_0(t)$  (см. рис. 1) Он соответствует АМ колебанию с несущей  $f_0$  и боковыми  $f_0 \pm f_c$  ( $m$  — коэффициент, характеризующий глубину АМ). Начальные фазы  $\varphi_0$  и  $\varphi_c$  равномерно распределены на  $[0, 2\pi]$ .

Для упрощения математической модели принимаем кусочно-линейную аппроксимацию АЧХ обычного ПФ, ПФ с нижним (верхним) склоном Найквиста и П-образную аппроксимацию АЧХ ФНЧ (см. рис. 2, а–г соответственно). При этом АЧХ ПФ с верхним склоном Найквиста имеет вид

$$K_{1\dot{a}}(\omega) = \begin{cases} (\omega - \omega_0 + \omega_{\dot{a}i} + \Delta\omega_{\dot{a}i})K_1/\Delta\omega_{\dot{a}i}, & [\omega_0 - \omega_{\dot{a}i} - \Delta\omega_{\dot{a}i}, \omega_0 - \omega_{\dot{a}i}] \\ (-\omega + \omega_0 + \Delta\omega_{\dot{a}i})K_1/(2\Delta\omega_{\dot{a}i}), & [\omega_0 - \Delta\omega_{\dot{a}i}, \omega_0 + \Delta\omega_{\dot{a}i}] \\ (-\omega - \omega_0 + \omega_{\dot{a}i} + \Delta\omega_{\dot{a}i})K_1/\Delta\omega_{\dot{a}i}, & [-\omega_0 + \omega_{\dot{a}i}, -\omega_0 + \omega_{\dot{a}i} + \Delta\omega_{\dot{a}i}] \\ (\omega + \omega_0 + \Delta\omega_{\dot{a}i})K_1/(2\Delta\omega_{\dot{a}i}), & [-\omega_0 - \Delta\omega_{\dot{a}i}, -\omega_0 + \Delta\omega_{\dot{a}i}] \\ K_1, & (-\omega_0 + \Delta\omega_{\dot{a}i}, -\omega_0 + \omega_{\dot{a}i}), (\omega_0 - \omega_{\dot{a}i}, \omega_0 - \Delta\omega_{\dot{a}i}), \\ 0, & |\omega| < \omega_0 - \omega_{\dot{a}i} - \Delta\omega_{\dot{a}i}, |\omega| > \omega_0 + \Delta\omega_{\dot{a}i}. \end{cases} \quad (2)$$

Свойства усилителей 2, 5 описываем соответственно коэффициентами шума  $F_2$ ,  $F_5$  и усиления по мощности  $K_{\delta 2}$ ,  $K_{\delta 5}$ , детектор 3 — коэффициентами шума  $F_3$  и преобразования  $K_{i3}$ .

Вначале построим математическую модель ПУ для случая АЧХ (2) ПФ, затем обобщим полученные результаты.

В режиме согласования с источником на входе ПУ присутствует суммарное напряжение (см. рис. 1)  $U_1(t) = U_{10}(t) + U_{1c}(t) + U_{1\theta}(t) = 0,5(E_0(t) + E_c(t) + E_\theta(t))$ . Его составляющие, проходя через ПФ, преобразуются в напряжение  $U_{20}(t)$ ,  $U_{2c}(t)$  и  $U_{2\theta}(t)$ .

С учетом свойств процесса  $U_{10}(t)$  определим его корреляционную функцию  $K_{10}(\tau)$ , затем спектральную плотность  $S_{10}(\omega)$  мощности. Зная последнюю и АЧХ ПФ, найдем спектральную плотность  $S_{20}(\omega)$  процесса  $U_{20}(t)$ . Аналогично поступим при нахождении спектральной плотности  $S_{2c}(\omega)$  процесса  $U_{2c}(t)$ . Выполнив необходимые преобразования [13], получим спектральную плотность  $S_2(\omega)$  процесса  $U_2(t)$  (см. рис. 3,а):

$$S_2(\omega) = S_{20}(\omega) + S_{2c}(\omega) + S_{2\theta}(\omega) = \pi K_{1\dot{a}}^2(\omega_0)U_0^2(\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0))/8 + \\ + \pi m^2 K_{1\dot{a}}^2(\omega_0 + \omega_c)U_0^2(\delta(\omega - (\omega_0 + \omega_c)) + \delta(\omega + (\omega_0 + \omega_c)))/8 + \\ + \pi m^2 K_{1\dot{a}}^2(\omega_0 - \omega_c)U_0^2(\delta(\omega - (\omega_0 - \omega_c)) + \delta(\omega + (\omega_0 - \omega_c)))/8 + S_\theta K_{1\dot{a}}^2(\omega). \quad (3)$$

В процессе  $U_3(t)$  (на входе детектора) составляющие  $U_{30}(t)$ ,  $U_{3c}(t)$  и  $U_{3\theta 1}(t)$  соответствуют напряжениям  $U_{20}(t)$ ,  $U_{2c}(t)$  и  $U_{2\theta}(t)$ , напряжение  $U_{3\theta 2}(t)$  — собственные шумы усилителя 2. Для их нахождения отметим следующее.

В современных ПУ [4] в качестве амплитудного в основном используют синхронный детектор, выполняемый по балансной схеме. Он работает как перемножитель входного и опорного сигналов. Полоса пропускания ФНЧ 4 ограничена значением  $f_{\delta i}$  (см. рис. 2,з). Поэтому собственный шум учитываем в диапазоне  $f_0 \pm f_{\delta i}$ . Тогда мощность эквивалентного генератора на входе усилителя 2 составляет  $P_{2\theta y} = 2kT_0 f_{\delta i}$ , где  $k$  — постоянная Больцмана,  $T_0$  — температура по Кельвину. Она же на выходе будет равна  $P_{3\theta 2} = 2(F_2 - 1)K_{\delta 2}kT_0 f_{\delta i}$  [3]. Дополнительно полагая спектральную плотность  $S_{3\theta 2}(\omega)$  равномерной, находим

$$S_{3\theta 2}(\omega) = \begin{cases} (F_2 - 1)K_{\delta 2}kT_0 R_{3\dot{a}\delta} / 2, & \omega_0 - \omega_{\delta i} \leq \omega \leq \omega_0 + \omega_{\delta i} \\ 0, & |\omega| < \omega_0 - \omega_{\delta i}, |\omega| > \omega_0 + \omega_{\delta i}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $R_{3\dot{a}\delta}$  — входное сопротивление детектора 3 по сигнальному входу.

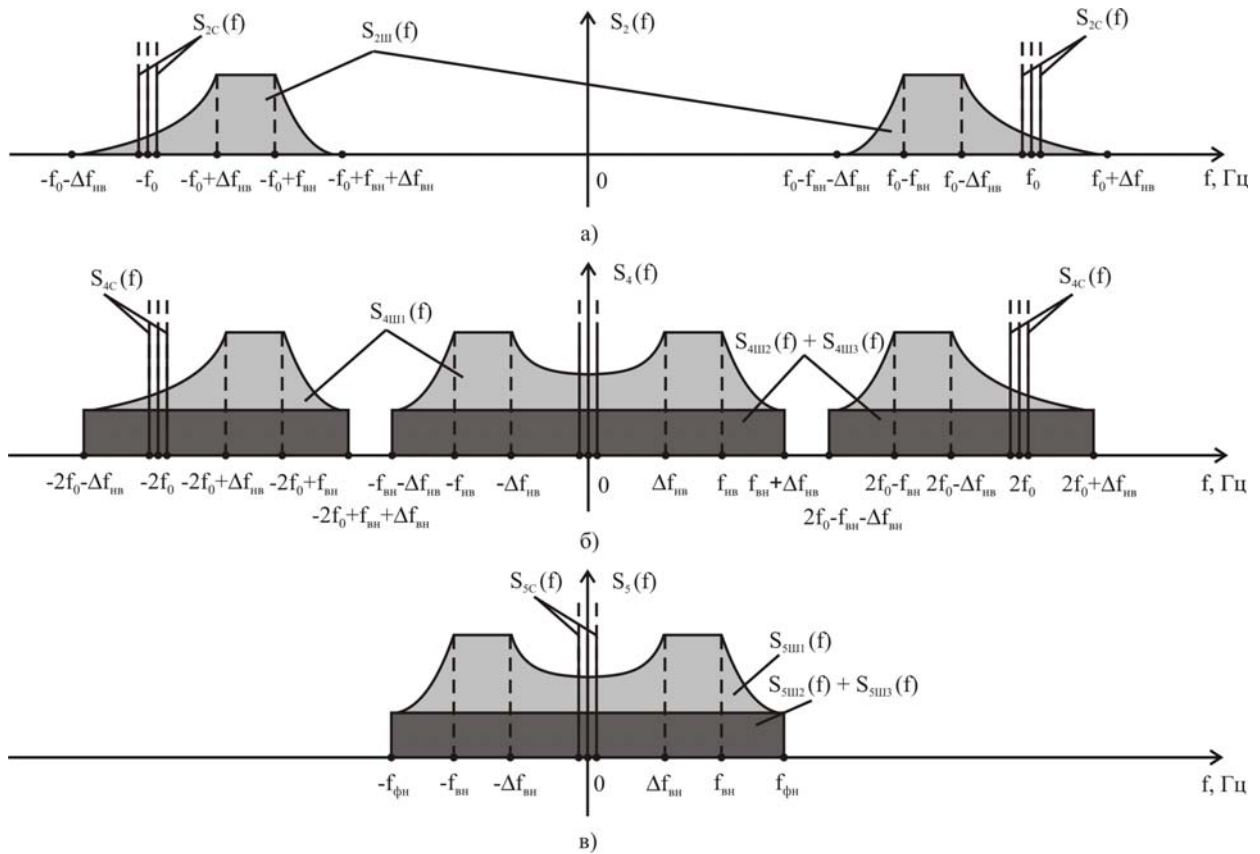


Рис. 3. Спектральные характеристики сигнала и шума

С учетом реальных свойств усилителя 2 его коэффициент  $K_{\epsilon 2}(\omega)$  усиления по напряжению (АЧХ) в диапазоне частот  $f_0 \pm f_{\text{oi}}$  допустимо принять равномерным. Заметим также, что  $K_{\epsilon 2}^2 = K_{\delta 2} R_{3\hat{a}\hat{\delta}} / R_{\epsilon}$ . Тогда, имея в виду соотношения (3) и (4), приходим к спектральной плотности  $S_3(\omega)$  процесса  $U_3(t)$ :

$$\begin{aligned}
 S_3(\omega) &= S_{30}(\omega) + S_{3c}(\omega) + S_{3\theta 1}(\omega) + S_{3\theta 2}(\omega) = \\
 &= (S_{20}(\omega) + S_{2c}(\omega) + S_{2\theta}(\omega)) K_{\delta 2} R_{3\hat{a}\hat{\delta}} / R_{\epsilon} + S_{3\theta 2}(\omega).
 \end{aligned} \tag{5}$$

На опорном входе детектора присутствует синфазное с напряжением  $U_{30}(t)$  колебание  $U_3'(t)$ , которое при единичной (нормированной) амплитуде имеет спектральную плотность  $S_3'(\omega) = \pi(\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0))/2$ . Процесс  $U_4(t)$  на выходе детектора содержит продукты  $U_{40}(t)$  и  $U_{4c}(t)$  преобразования входного АМ сигнала ( $U_{4c}(t)$  — полезная составляющая на частоте  $f_c$ ), продукты  $U_{4\theta 1}(t)$  и  $U_{4\theta 2}(t)$  преобразования процессов  $U_{3\theta 1}(t)$  и  $U_{3\theta 2}(t)$ , а также собственные шумы  $U_{4\theta 3}(t)$ .

Рассматривая далее процесс  $U_4'(t) = K_{r3} U_3(t) U_3'(t)$ , вычисляя его корреляционную функцию, учитывая (5) и [13, 14]

$$\int_{-\infty}^{\infty} K_M(\tau) K_N(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_M(\omega - \omega') S_N(\omega') d\omega', \quad \int_{-\infty}^{\infty} \delta(a - x) \delta(x - b) dx = \delta(a - b),$$

находим спектральную плотность  $S_4'(\omega)$  (рис. 3,б, случай  $f_{\text{oi}} + \Delta f_{\text{oi}} = f_{\text{oi}}$ ):

$$\begin{aligned}
S'_4(\omega) = & \pi K_{\delta 2} K_{i 3}^2 U_0^2 R_{3 \hat{a} \hat{o}} (K_{1 \hat{a}}^2(\omega_0) (\delta(\omega - 2\omega_0) + \delta(\omega + 2\omega_0)) + m^2 K_{1 \hat{a}}^2(\omega_0 + \omega_c) (\delta(\omega - (2\omega_0 + \omega_c)) + \\
& + \delta(\omega + (2\omega_0 + \omega_c))) + m^2 K_{1 \hat{a}}^2(\omega_0 - \omega_c) (\delta(\omega - (2\omega_0 - \omega_c)) + \delta(\omega + (2\omega_0 - \omega_c)))) / (32R_u) + \\
& + \pi m^2 (K_{1 \hat{a}}(\omega_0 + \omega_c) + K_{1 \hat{a}}(\omega_0 - \omega_c))^2 K_{\delta 2} K_{i 3}^2 U_0^2 R_{3 \hat{a} \hat{o}} (\delta(\omega - \omega_n) + \delta(\omega + \omega_n)) / (32R_u) + \\
& + K_{\delta 2} K_{i 3}^2 R_{3 \hat{a} \hat{o}} S_{\theta} (K_{1 \hat{a}}^2(\omega - \omega_0) + K_{1 \hat{a}}^2(\omega + \omega_0)) / (4R_u) + K_{i 3}^2 (S_{3 \theta 2}(\omega - \omega_0) + S_{3 \theta 2}(\omega + \omega_0)) / 4.
\end{aligned} \tag{7}$$

Очевидно, что в процессе  $U_3(t)$  полезной является составляющая с плотностью  $S_{3c}(\omega)$ , в процессе  $U_4(t)$  — с плотностью  $S_{4c}(\omega)$ . Вычисляя их мощности, находим коэффициент  $K_{\delta 3}$  усиления по мощности детектора:

$$K_{\delta 3} = \frac{(K_{1 \hat{a}}(\omega_0 + \omega_c) + K_{1 \hat{a}}(\omega_0 - \omega_c))^2 K_{i 3}^2 R_{3 \hat{a} \hat{o}}}{4(K_{1 \hat{a}}^2(\omega_0 + \omega_c) + K_{1 \hat{a}}^2(\omega_0 - \omega_c)) R_{5 \hat{a} \hat{o}}}, \tag{7}$$

где  $R_{5 \hat{a} \hat{o}}$  — входное сопротивление усилителя 5.

Собственные шумы детектора с учетом свойств ФНЧ 4 рассматриваем в диапазоне частот  $0 \dots f_{\hat{o}i}$ . По аналогии с усилителем 2 их мощность равна  $P_{4\theta 3} = 2(F_3 - 1)K_{\delta 3} kT_0 f_{\hat{o}i}$ . Тогда спектральная плотность

$$S_{4\theta 3}(\omega) = \begin{cases} (F_3 - 1)K_{\delta 3} kT_0 R_{5 \hat{a} \hat{o}}, & |\omega| \leq \omega_{\hat{o}i}, \\ 0, & |\omega| > \omega_{\hat{o}i}. \end{cases} \tag{8}$$

Процесс  $U_i(t)$  на выходе ПУ содержит полезную составляющую  $U_{i\hat{n}}(t)$  на частоте  $f_c$ , шумовые составляющие  $U_{i\theta 1}(t) - U_{i\theta 3}(t)$ , соответствующие процессам  $U_{4\theta 1}(t) - U_{4\theta 3}(t)$ , и собственные шумы  $U_{i\theta 4}(t)$ .

Зная спектральную плотность  $S_4(\omega)$ , АЧХ ФНЧ, принимая коэффициент  $K_{\delta 5}(\omega)$  усиления по напряжению (АЧХ) усилителя 5 в полосе  $0 \dots f_{\hat{o}i}$  равномерным, вычисляем с учетом  $K_{\delta 5}^2 = K_{\delta 5} R_i / R_{5 \hat{a} \hat{o}}$  и (6)–(8) спектральную плотность  $S'_i(\omega) = S_{ic}(\omega) + S_{i\theta 1}(\omega) + S_{i\theta 2}(\omega) + S_{i\theta 3}(\omega)$  процесса  $U_n(t)$ . Рассматривая собственные шумы усилителя 5 в полосе  $0 \dots f_{\hat{o}i}$ , находим их мощность  $P_{i\theta 4} = (F_5 - 1)K_{\delta 5} kT_0 f_{\hat{o}i}$ . Основываясь на (1), устанавливаем, что ОСШ по мощности на входе ПУ составляет  $N_{\hat{a}\hat{o}} = U_0^2 / (16S_{\theta}(\Delta f_{\hat{a}} + \Delta f_i))$ . Откуда спектральная плотность  $S_{\theta} = U_0^2 / (16N_{\hat{a}\hat{o}}(\Delta f_{\hat{a}} + \Delta f_i))$ . Далее, принимая в последнем  $\Delta f_i = f_{\hat{a}i} + \Delta f_{\hat{a}i}$  и  $\Delta f_{\hat{a}} = \Delta f_{i\hat{a}}$ , определяем вначале мощности  $P_{i\hat{n}}$  и  $P_{i\theta 1} - P_{i\theta 3}$ , а затем искомое ОСШ на выходе ПУ:

$$\begin{aligned}
N_{\hat{a}\hat{o}} = & \frac{P_{i\hat{n}}}{\sum_{i=1}^4 P_{i\theta i}} = \left[ \frac{3f_{\hat{a}i} + \Delta f_{\hat{a}i} - \Delta f_{i\hat{a}}}{3N_{\hat{a}\hat{o}}(f_{\hat{a}i} + \Delta f_{\hat{a}i} + \Delta f_{i\hat{a}})} + \frac{2^4 kT_0 f_{\hat{o}i} R_{\hat{e}}}{U_0^2} ((F_2 - 1) + \frac{(F_3 - 1)}{K_{p2}}) \times \right. \\
& \left. \times \left[ \frac{K_{1 \hat{a}}(\omega_0 + \omega_c) + K_{1 \hat{a}}(\omega_0 - \omega_c)}{K_{1 \hat{a}}^2(\omega_0 + \omega_c) + K_{1 \hat{a}}^2(\omega_0 - \omega_c)} \right]^2 + \frac{2(F_5 - 1)R_{5 \hat{a} \hat{o}}}{K_{p2} K_{i 3}^2 K_4^2 R_{3 \hat{a} \hat{o}}} \right]^{-1} m^2 [K_{1 \hat{a}}(\omega_0 + \omega_c) + K_{1 \hat{a}}(\omega_0 - \omega_c)]^2.
\end{aligned} \tag{9}$$

Модель (9) справедлива для ПФ с верхним склоном Найквиста. Аналогично можно показать, что ОСШ при нижнем склоне Найквиста описывается выражением (9) при замене в нем  $K_{1 \hat{a}}(\omega), \Delta f_{i\hat{a}}, f_{\hat{a}i}, \Delta f_{\hat{a}i}$  соответственно на  $K_{1i}(\omega), \Delta f_{ii}, f_{\hat{a}\hat{a}}, \Delta f_{\hat{a}\hat{a}}$ . Обычный ПФ с (а)симметричной АЧХ можно представить с помощью двух параллельно включенных ПФ с АЧХ  $K_{1 \hat{a}}(\omega)$  и  $K_{1i}(\omega)$

(см. рис. 2, а-в). При дополнительном условии  $\Delta f_{ii} = \Delta f_{ia} = 0$  шумы на их входах некоррелированы, что позволяет обобщить модель (9) на все виды АЧХ ПФ:

$$N_{\dot{a}\dot{i}\dot{o}} = \left[ \frac{A_a(3f_{\dot{a}i} + \Delta f_{\dot{a}i} - A_{ia}\Delta f_{ia}) + A_i(3f_{\dot{a}a} + \Delta f_{\dot{a}a} - A_{ii}\Delta f_{ii})}{3N_{\dot{a}\dot{o}}(A_a(f_{\dot{a}i} + \Delta f_{\dot{a}i} + A_{ia}\Delta f_{ia}) + A_i(f_{\dot{a}a} + \Delta f_{\dot{a}a} + A_{ii}\Delta f_{ii}))} + \frac{2^4 k T_0 f_{\dot{o}i} R_e}{U_0^2} ((F_2 - 1) + \right. \\ \left. + \frac{(F_3 - 1)[K_1(\omega_0 + \omega_c) + K_1(\omega_0 - \omega_c)]^2}{K_{p2}[K_1^2(\omega_0 + \omega_c) + K_1^2(\omega_0 - \omega_c)]} + \frac{2(F_5 - 1)R_{s\dot{a}\dot{o}}}{K_{p2}K_{i3}^2 K_4^2 R_{3\dot{a}\dot{o}}}) \right]^{-1} m^2 [K_1(\omega_0 + \omega_{\bar{n}}) + K_1(\omega_0 - \omega_{\bar{n}})]^2, \quad (10)$$

где  $K_1(\omega_0 \pm \omega_c)$  — значения АЧХ ПФ на частотах  $\omega_0 \pm \omega_c$ ;  $A_i, A_a, A_{ia}, A_{ii}$  — обобщающие параметры:  $A_a = 0, A_i = A_{ii} = 1$  при нижнем и  $A_i = 0, A_a = A_{ia} = 1$  при верхнем склонах Найквиста,  $A_{ii} = A_{ia} = 0, A_a = A_i = 1$  при обычном ПФ с (а)симметричной АЧХ.

Построенная математическая модель справедлива для ПУ сигналов с двухполосной АМ, АМ с частично подавленной боковой полосой и однополосной АМ. Причем при однополосной АМ  $K_1(\omega_0 + \omega_c)$  либо  $K_1(\omega_0 - \omega_c)$  принимается равной нулю, при двухполосной —  $m = m_{\dot{a}i} / 2$ , где  $m_{\dot{a}i}$  — коэффициент глубины АМ. Варьируя значениями параметров  $\Delta f_{\dot{a}i}, \Delta f_{\dot{a}a}, \Delta f_{\dot{ii}}$  и  $\Delta f_{\dot{ia}}$ , возможно оценить влияние ширины склонов АЧХ ПФ 1 на ОСШ, выбрать их необходимые значения с учетом практической реализации фильтра, что особенно важно при работе в высокочастотных диапазонах.

Полагая в выражении (10)  $F_2 = F_3 = F_5 = 1$ , приходим к максимальному ОСШ  $N_{\dot{a}\dot{i}\dot{o}.m}$ , обеспечиваемому при идеальной реализации усилителей и детектора. Тогда, задаваясь допустимым ухудшением  $\Delta N = N_{\dot{a}\dot{i}\dot{o}.m} / N_{\dot{a}\dot{i}\dot{o}}$  и решая с учетом (10) последнее уравнение относительно  $U_{\dot{a}\dot{o}}$  ( $U_{\dot{a}\dot{o}} = U_0 / 2\sqrt{2}$ ), имеем

$$U_{\dot{a}\dot{o}} = \left( N_{\dot{a}\dot{o}} 2^4 k T_0 f_{\dot{o}i} R_e ((F_2 - 1) + \frac{(F_3 - 1)[K_1(\omega_0 + \omega_{\bar{n}}) + K_1(\omega_0 - \omega_{\bar{n}})]^2}{K_{\dot{o}2}[K_1^2(\omega_0 + \omega_{\bar{n}}) + K_1^2(\omega_0 - \omega_{\bar{n}})]} + \frac{2(F_5 - 1)R_{s\dot{a}\dot{o}}}{K_{\dot{o}2}K_{i3}^2 K_4^2 R_{3\dot{a}\dot{o}}}) \right)^{1/2} \times \\ \times \left[ (\Delta N - 1) \left( \frac{A_a(3f_{\dot{a}i} + \Delta f_{\dot{a}i} - A_{ia}\Delta f_{ia}) + A_i(3f_{\dot{a}a} + \Delta f_{\dot{a}a} - A_{ii}\Delta f_{ii})}{3N_{\dot{a}\dot{o}}(A_a(f_{\dot{a}i} + \Delta f_{\dot{a}i} + A_{ia}\Delta f_{ia}) + A_i(f_{\dot{a}a} + \Delta f_{\dot{a}a} + A_{ii}\Delta f_{ii}))} \right) \right]^{-1/2}. \quad (11)$$

На базе выражений (2), (10) и (11) (в среде Delphi 7.0) разработана программа математического моделирования базового ПУ (рис. 4). Она позволяют выполнить параметрическую оптимизацию ПУ: выработать обоснованные допуски на инженерные параметры качества, при которых обеспечивается максимальное ОСШ.

Выполнено моделирование трактов промежуточной и низкой частот радиовещательного приемника, имеющего симметричную АЧХ ПФ [3, 4]. По моделям (10) и (11) при значениях  $N_{\dot{a}\dot{o}}$  34, 38, 42, 46 и 50 дБ ( $\Delta N = 0,5$  дБ),  $m = m_{\dot{a}i} / 2 = 0,375$ ,  $\Delta f_{\dot{a}i} = \Delta f_{\dot{a}a} = 0$ ,  $f_{\dot{a}i} = f_{\dot{a}a} = f_a = f_{\dot{o}i} = 4,5$  кГц;  $K_{\dot{o}2}$  10, 30 и 100,  $K_{p3} = 5$ ,  $K_{\dot{o}5} = 100$ ,  $F_2$  ( $F_3$ ) 1 (4), 4 (7), 7 (10), 10 (13) дБ и  $F_5 = 7$  дБ рассчитаны зависимости  $N_{\dot{a}\dot{i}\dot{o}} = f_1(U_{\dot{a}\dot{o}})$  и  $U_{\dot{a}\dot{o}} = f_2(N_{\dot{a}\dot{o}})$ . Результаты расчетов приведены в табл. 1.

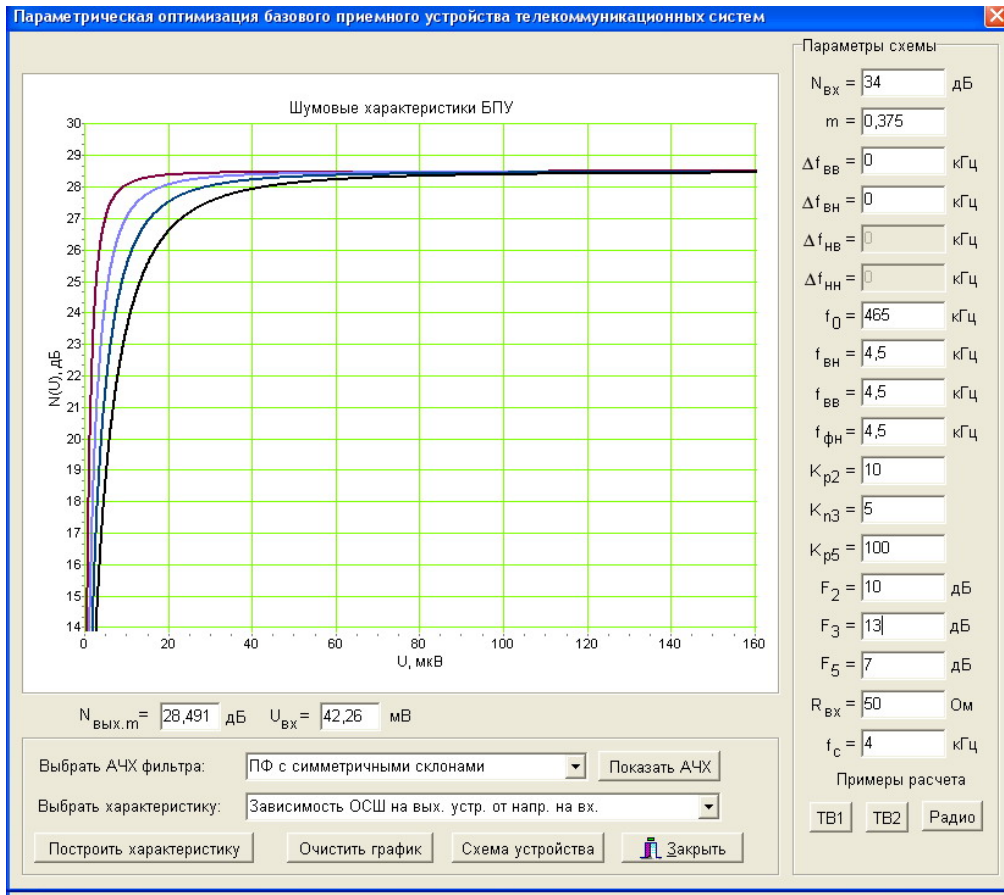


Рис. 4. Интерфейс программы

Таблица 1

$N_{вх}$ дБ	$K_{p2}$		10	30	100
	$F_2$ , дБ	$F_3$ , дБ	$U_{вх}$ , мкВ	$U_{вх}$ , мкВ	$U_{вх}$ , мкВ
34	1	4	9,06	7,16	6,36
	4	7	18,06	15,76	17,91
	7	10	28,56	25,36	24,16
	10	13	42,26	37,86	36,16
38	1	4	14,41	11,36	10,01
	4	7	28,66	25,01	23,61
	7	10	45,26	40,26	38,31
	10	13	67,01	60,01	57,31
42	1	4	22,86	18,06	16,01
	4	7	45,46	39,66	37,46
	7	10	71,71	63,76	60,76
	10	13	106,26	95,11	90,86
46	1	4	36,21	28,61	25,41
	4	7	72,01	62,91	59,41
	7	10	113,66	101,11	96,31
	10	13	168,41	150,76	144,06
50	1	4	57,41	45,36	40,26
	4	7	114,16	99,71	94,16
	7	10	180,21	160,26	152,66
	10	13	266,91	238,91	228,31

Таблица 2

$K_{p2}$			10	30	100
$N_{вх}$ , дБ	$F_2$ , дБ	$F_3$ , дБ	$U_{вх}$ , мВ	$U_{вх}$ , мВ	$U_{вх}$ , мВ
34	1	4	0,56	0,47	0,44
	4	7	1,17	1,08	1,05
	7	10	1,87	1,75	1,7
	10	13	2,78	2,61	2,55
38	1	4	0,88	0,75	0,7
	4	7	1,86	1,71	1,66
	7	10	2,96	2,77	2,7
	10	13	4,41	4,14	4,04
42	1	4	1,41	1,19	1,11
	4	7	2,95	2,72	2,64
	7	10	4,71	4,4	4,28
	10	13	6,99	6,57	6,41
46	1	4	2,23	1,89	1,76
	4	7	4,67	4,31	4,18
	7	10	7,45	6,97	6,79
	10	13	11,09	10,41	10,17
50	1	4	3,53	3,01	2,8
	4	7	7,41	6,84	6,62
	7	10	11,82	11,05	10,77
	10	13	17,57	16,51	16,12

Анализ полученных результатов показывает, что при реальных значениях  $N_{\dot{a}\dot{o}}(F_2)$  и  $K_{\delta 2}$ , соответственно не превышающих 50 (7) дБ и не меньших 10, уровень входного (с выхода смесителя) сигнала должен быть не меньше 180 мкВ. В этом случае собственные шумы усилителя 2 радиочастоты и детектора 3 практически не влияют на ОСШ  $N_{\dot{a}\dot{o}\dot{o}}$ .

Выполнено моделирование тракта промежуточной частоты изображения ТВ приемника, имеющего АЧХ ПФ с верхним склоном Найквиста [4]. По моделям (10), (11) при значениях  $N_{\dot{a}\dot{o}}$  34, 38, 42, 46 и 50 дБ ( $\Delta N = 0,5$  дБ),  $m = 0,375$ ,  $\Delta f_{\dot{a}\dot{i}} = 0$ ,  $\Delta f_{\dot{i}\dot{a}}$  0, 0,25; 0,5; и 0,75 МГц,  $f_{\dot{a}\dot{i}} = f_{\dot{o}\dot{i}} = 6$  МГц;  $K_{\delta 2}$  10, 30 и 100,  $K_{\delta 3} = 5$ ,  $K_{\delta 5} = 100$ ,  $F_2$  ( $F_3$ ) = 1 (4), 4 (7), 7 (10), 10 (13) дБ и  $F_5 = 7$  дБ рассчитаны зависимости  $N_{\dot{a}\dot{o}\dot{o}} = f_1(U_{\dot{a}\dot{o}})$  и  $U_{\dot{a}\dot{o}} = f_2(N_{\dot{a}\dot{o}})$ . Результаты расчетов (для ширины склона  $\Delta f_{\dot{i}\dot{a}} = 0,75$  МГц) приведены в табл. 2. Анализ полученных результатов показывает, что при реальных значениях  $N_{\dot{a}\dot{o}}(F_2)$  и  $K_{\delta 2}$ , соответственно не превышающих 50 (7) дБ и не меньших 10, необходимый уровень входного сигнала составляет примерно 12 мВ. Его уменьшение до 3 мВ, что иногда наблюдается на практике, сопровождается снижением ОСШ примерно на 4 дБ. Уменьшение ширины склона ПФ от 1,5 до 0,5 при прочих равных условиях уменьшает  $N_{\dot{a}\dot{o}\dot{o}}$  примерно на 0,5 дБ.



# BASIC RECEIVER OF INFORMATION SYSTEMS WITH AMPLITUDE MODULATION PARAMETRIC OPTIMIZATION

V.A. ILYINKOV, A.A. SILIN

## Abstract

Propose simulator of basic receiver is considered effect of engineering quality parameters of functional units on SNR.

## Литература

1. *Филатов Б.Н., Шершакова А.В.* Автоматизированные станции проводного вещания ТУПВ. М., 1986.
2. *Кириллов В.И.* Высокоэффективные системы информационного обмена для пространственно разнесенных телевизионных комплексов. Мн., 1989.
3. *Богданович Б.М., Окулич Н.И.* Радиоприемные устройства: Учеб. пособие. Мн., 1990.
4. Бытовая радиоэлектронная техника: Энцикл. справ. / Под ред. А.П. Ткаченко. Мн., 1995.
5. Многоканальные системы передачи: Учеб. для вузов / Н.Н. Баева, Н.В. Гордиенко, С.А. Курицын и др.; Под ред. Н.Н. Баевой и Н.В. Гордиенко. М., 1996.
6. *Кривошеев М.И.* Основы телевизионных измерений. М., 1989.
7. *Волков Е.А., Пирогова Н.Д.* // Радиотехника. 1992. № 3. С. 17–21.
8. *Волков Е.А., Нечес И.О., Пирогова Н.Д.* // Радиотехника. 1993. № 8–9. С. 25–28.
9. *Позняк С.С.* // Радиотехника. 1989. № 3. С. 42–44.
10. *Ли За Сон* // Радиотехника. 1989. № 7. С. 37–41.
11. *Ли За Сон* // Радиотехника. 1991. № 1. С. 16–20.
12. *Паликов В.В.* // Радиоэлектроника. Изв. вузов СССР. 1981. № 7. С. 14–21.
13. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. М., 1982.
14. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров / Под ред. И.Р. Армановича. М., 1977.