

Воздействие сигнала и шума на амплитудный детектор

1. Статистические характеристики шума на выходе линейного амплитудного детектора

Линейный амплитудный детектор (АД) имеет линейную детекторную характеристику, оставаясь при этом нелинейным устройством относительно мгновенных значений напряжения. Напряжение на выходе безынерционного линейного АД прямо пропорционально огибающей входного колебания $U(t)$:

$$U_d(t) = K_d U(t), \quad (1)$$

где K_d – коэффициент передачи детектора. Поэтому для определения статистических характеристик шумового напряжения на выходе такого АД нужно знать статистические характеристики огибающей смеси сигнала и квазигармонического шума на его входе, т.е. на выходе блока высокой частоты (БВЧ) радиоприёмника.

Рассмотрим сначала **статистические характеристики огибающей шума**. Квазигармоническое шумовое колебание, имеющее огибающую $U(t)$ и фазу $\varphi(t)$, можно представить в виде алгебраической суммы двух квадратурных составляющих [1]:

$$\begin{aligned} u(t) &= U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi(t)) = U(t) \cos \varphi(t) \cdot \cos \omega_0 t - U(t) \sin \varphi(t) \cdot \sin \omega_0 t = \\ &= U^c(t) \cdot \cos \omega_0 t - U^s(t) \cdot \sin \omega_0 t, \end{aligned} \quad (2)$$

где $U^c(t) = U(t) \cos \varphi(t)$ – косинусная (синфазная) низкочастотная составляющая;

$U^s(t) = U(t) \sin \varphi(t)$ – синусная (квадратурная) низкочастотная составляющая;

ω_0 – центральная частота спектра шума.

Низкочастотные косинусная и синусная составляющие квазигармонического колебания представляют собой медленно изменяющиеся по сравнению с $u(t)$ случайные процессы. Шум радиоприёмника $u(t)$ имеет нормальное распределение вероятностей с плотностью

$$w(u) = \frac{1}{U_{\text{ш}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2U_{\text{ш}}^2}}, \quad (3)$$

где $U_{\text{ш}}$ – эффективное напряжение шума. В этом случае $U^c(t)$ и $U^s(t)$ являются нормальными случайными процессами с нулевым средним значением и одинаковой дисперсией, равной дисперсии квазигармонического шума $U_{\text{ш}}^2$. В совпадающие моменты времени синусная и косинусная низкочастотные составляющие взаимно-некоррелированы.

Автокорреляционную функцию (АКФ) квазигармонического колебания можно представить в виде

$$K(\tau) = U_{\text{ш}}^2 \psi(\tau) \cos \omega_0 \tau, \quad (4)$$

где $\psi(\tau)$ – огибающая нормированной АКФ.

Огибающая квазигармонического колебания выражается через синусную и косинусную составляющие как

$$U(t) = \sqrt{(U^c(t))^2 + (U^s(t))^2}. \quad (5)$$

Она имеет плотность вероятности распределения Релея [1]:

$$w(U) = \frac{U}{U_{\text{ш}}^2} e^{-\frac{U^2}{2U_{\text{ш}}^2}}, \quad U \geq 0. \quad (6)$$

Максимум плотности вероятности достигается при $U = U_{\text{ш}}$, следовательно наиболее вероятное значение огибающей равно $U_{\text{ш}}$.

Основные статистические характеристики огибающей выражаются через эффективное напряжение квазигармонического шума $U_{\text{ш}}$ следующим образом [1]:

- среднее значение (постоянная составляющая) огибающей

$$\bar{U} = \int_0^{\infty} U w(U) dU = \sqrt{\frac{\pi}{2}} U_{\text{ш}} \approx 1,25 U_{\text{ш}}, \quad (7)$$

(отсюда, в частности, следует, что $\bar{U} > U_{\text{ш}}$ и что поэтому среднее значение огибающей больше наиболее вероятного);

- средний квадрат (полная мощность на единичном сопротивлении) огибающей

$$\overline{U^2} = \int_0^{\infty} U^2 w(U) dU = 2U_{\text{ш}}^2; \quad (8)$$

- дисперсия (мощность переменной составляющей на единичном сопротивлении) огибающей:

$$\sigma_U^2 = \overline{U^2} - (\bar{U})^2 = 2U_{\text{ш}}^2 - \frac{\pi}{2} U_{\text{ш}}^2 = \frac{4-\pi}{2} U_{\text{ш}}^2 \approx 0,43 U_{\text{ш}}^2; \quad (9)$$

- среднеквадратичное отклонение (эффектное напряжение переменной составляющей) огибающей:

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{4-\pi}{2}} U_{\text{ш}} \approx 0,66 U_{\text{ш}}. \quad (10)$$

Автокорреляционная функция огибающей квазигармонического колебания определяется как

$$K_U(\tau) = \overline{[U(t) - \overline{U(t)}][U(t + \tau) - \overline{U(t + \tau)}]}. \quad (11)$$

(Здесь черта сверху означает операцию статистического усреднения). Нормированная АКФ огибающей $\rho_U(\tau) = K_U(\tau)/\sigma_U^2$ выражается через огибающую нормированной АКФ квазигармонического шума $\psi(\tau)$ в виде ряда по чётным степеням [1]:

$$\begin{aligned} \rho_U(\tau) &= \frac{\pi}{4 - \pi} \left[\left(\frac{1}{2} \right)^2 \psi^2(\tau) + \left(\frac{1}{2 \cdot 4} \right)^2 \psi^4(\tau) + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4 \cdot 6} \right)^2 \psi^6(\tau) + \dots \right] \approx \\ &\approx 0,915\psi^2(\tau) + 0,057\psi^4(\tau) + 0,014\psi^6(\tau) + \dots \end{aligned} \quad (12)$$

Для практических расчетов в этом ряде оставляют только 1-й член, коэффициент которого округляют до 1, и с погрешностью около 10% принимают, что

$$\rho_U(\tau) \approx \psi^2(\tau). \quad (13)$$

Теперь рассмотрим основные **статистические характеристики огибающей суммы немодулированного гармонического сигнала и узкополосного (квазигармонического) шума**. Соотношение интенсивностей сигнала и шума на выходе БВЧ будем характеризовать параметром, равным отношению амплитуды сигнала к эффективному напряжению шума:

$$a = \frac{U_c}{U_{\text{ш}}}. \quad (14)$$

Если частота сигнала совпадает с центральной частотой спектра шума ω_0 , т.е. $u_c(t) = U_c \cos \omega_0 t$, то сумма сигнала и шума равна

$$u_c(t) + u_{\text{ш}}(t) = U_{c+\text{ш}}^c(t) \cos \omega_0 t - U_{c+\text{ш}}^s(t) \sin \omega_0 t = V(t) \cos[\omega_0 t + \theta(t)], \quad (15)$$

где $U_{c+\text{ш}}^c(t) = U_{\text{ш}}^c(t) + U_c$ и $U_{c+\text{ш}}^s(t) = U_{\text{ш}}^s(t)$ – соответственно косинусная и синусная низкочастотные составляющие суммы сигнала и шума; $V(t)$ и $\theta(t)$ – огибающая и фаза суммы сигнала и шума.

Комплексную огибающую суммы сигнала и шума можно представить с помощью векторной диаграммы, изображённой на рис. 1. На этой диаграмме огибающая суммы сигнала и шума равна длине суммарного вектора $\dot{U}_{c+\text{ш}}(t)$:

$$V(t) = |\dot{U}_{c+\text{ш}}(t)|.$$

Плотность вероятности огибающей суммы сигнала и шума описывается законом Райса [1]

$$w(V) = \frac{V}{U_{\text{ш}}^2} I_0 \left(\frac{V U_c}{U_{\text{ш}}^2} \right) e^{-\frac{V^2 + U_c^2}{2U_{\text{ш}}^2}}, \quad V \geq 0, \quad (16)$$

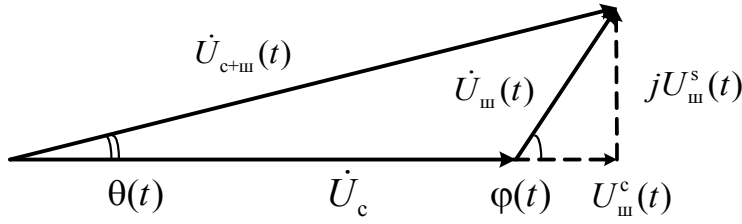


Рис. 1. Векторная диаграмма комплексной огибающей суммы сигнала и шума

очень большом значении отношения сигнал-шум распределение Райса переходит в уже известные распределения вероятностей:

- при $a \rightarrow 0$ $w(V) \rightarrow \frac{V}{U_{ш}^2} e^{-\frac{V^2}{2U_{ш}^2}}$ – распределение Релея с параметром $U_{ш}$;
- при $a \rightarrow \infty$ $w(V) \rightarrow \frac{1}{U_{ш} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V-U_c)^2}{2U_{ш}^2}}$ – нормальное распределение с математическим ожиданием U_c и дисперсией $U_{ш}^2$.

Графики плотности вероятности распределения Райса при $U_{ш} = 1$ для различных значений U_c приведены на рис. 2.

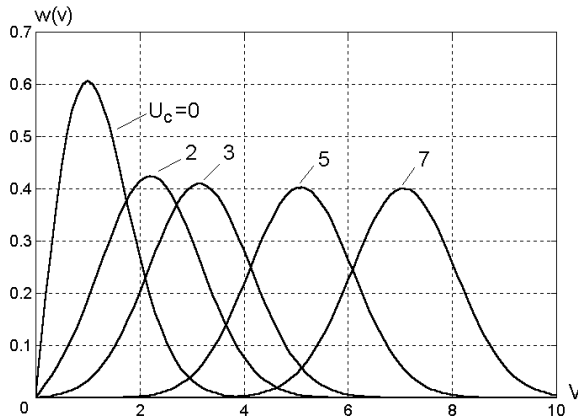


Рис. 2. Плотность вероятности распределения Райса при $U_{ш} = 1$

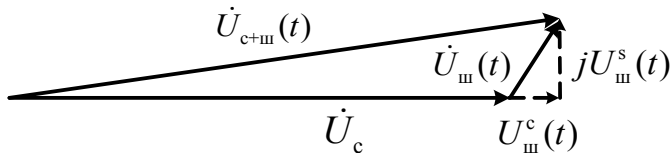


Рис. 3. Векторная диаграмма комплексной огибающей суммы сигнала и шума при $a \gg 1$

дисперсией $U_{ш}^2$.

Основные статистические характеристики огибающей суммы сигнала и шума определяются следующими соотношениями.

где $I_0(\cdot)$ – модифицированная функция Бесселя 0-го порядка. Вид распределения Райса зависит от величины отношения сигнал-шум $a = \frac{U_c}{U_{ш}}$. В двух предельных

случаях – при очень малом и

очень большом значении отношения сигнал-шум распределение Райса переходит

С помощью векторной диаграммы переход распределения Райса в нормальное распределение при большом отношении сигнал-шум качественно можно объяснить следующим образом. При $U_c \gg U_{ш}$ (см. рис. 3) синусовая составляющая шума практически не влияет на длину суммарного вектора $\dot{U}_{с+ш}(t)$, т.е. на огибающую суммы сигнала и шума, и поэтому $V(t) = |\dot{U}_{с+ш}(t)| \approx U_c + U_{ш}^c(t)$. А поскольку косинусовая составляющая шума $U_{ш}^c(t)$ имеет нормальное распределение вероятностей с нулевым средним значением и дисперсией $U_{ш}^2$, то огибающая V при $a \gg 1$ имеет также нормальное распределение со средним значением U_c и

- Среднее значение (постоянная составляющая) огибающей суммы сигнала и шума в общем случае равно

$$\bar{V} = \int_0^{\infty} V w_{\text{Райса}}(V) dV = U_{\text{ш}} M(a), \quad (17)$$

где

$$M(a) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} e^{-\frac{a^2}{4}} \left[\left(1 + \frac{a^2}{2} \right) I_0\left(\frac{a^2}{4}\right) + \frac{a^2}{2} I_1\left(\frac{a^2}{4}\right) \right], \quad (18)$$

$I_0(\cdot), I_1(\cdot)$ – модифицированная функция Бесселя 0-го и 1-го порядка соответственно. Для удобства определения \bar{V} используется график функции $M(a)$, изображённый на рис. 4. Пунктирной линией показана асимптота кривой. При $a \gg 1$ (практически при $a > 3$) $M(a) \approx a = \frac{U_c}{U_{\text{ш}}}$. Следовательно, в этом случае $\bar{V} \approx U_c$.

При $a = 3$ относительная погрешность этого приближённого равенства составляет около 10%. Среднее значение напряжения на выходе АД равно $\bar{U}_d = K_d \bar{V} = K_d U_{\text{ш}} M(a)$.

- Среднеквадратичное отклонение огибающей суммы сигнала и шума равно

$$\sigma_V = \sqrt{\int_0^{\infty} (V - \bar{V})^2 w_{\text{Райса}}(V) dV} = U_{\text{ш}} N(a), \quad (19)$$

где

$$N(a) = \sqrt{2 + a^2 - M^2(a)}. \quad (20)$$

График функции $N(a)$ приведён на рис. 5. При $a \gg 1$ (практически при $a \geq 5$) $N(a) \approx 1$ и, следовательно, $\sigma_V \approx U_{\text{ш}}$. Эффективное напряжение шума на выходе АД равно $\sigma_{U_d} = K_d \sigma_V = K_d U_{\text{ш}} N(a)$.

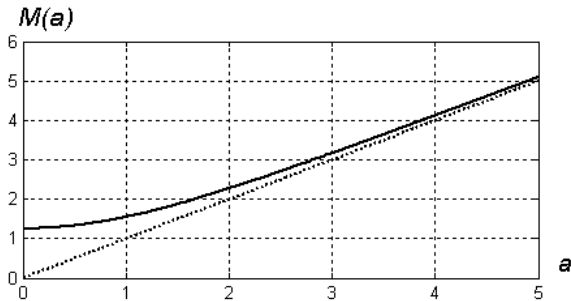


Рис. 4. График функции $M(a)$

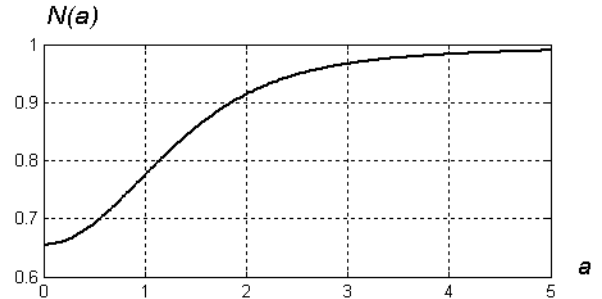


Рис. 5. График функции $N(a)$

- Автокорреляционная функция огибающей приблизительно равна [2, с. 407, формула (11.52)]

$$K_V(\tau) \approx \frac{4-\pi}{2} U_{\text{ш}}^2 \left[b_1(a) \cdot \psi(\tau) + b_2(a) \cdot \psi^2(\tau) \right], \quad (21)$$

где

$$b_1(a) = \left\{ a e^{-\frac{a^2}{4}} \left[I_0\left(\frac{a^2}{4}\right) + I_1\left(\frac{a^2}{4}\right) \right] \right\}^2, \quad (22)$$

$$b_2(a) = \left[e^{-\frac{a^2}{4}} I_0\left(\frac{a^2}{4}\right) \right]^2 + \left[e^{-\frac{a^2}{4}} I_1\left(\frac{a^2}{4}\right) \right]^2. \quad (23)$$

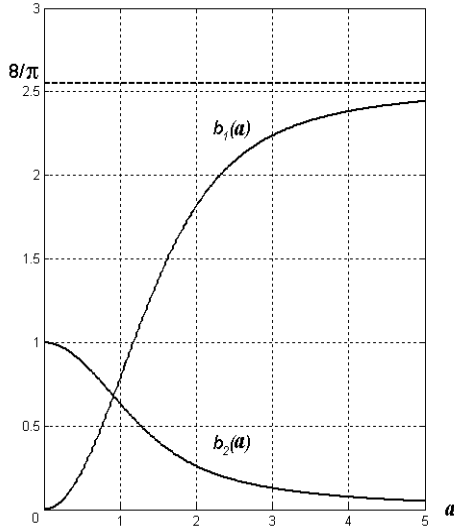


Рис. 6. Графики функций $b_1(a)$ и $b_2(a)$

Графики зависимости коэффициентов $b_1(a)$ и $b_2(a)$ от параметра a изображены на рис. 6.

Спектральная плотность мощности (энергетический спектр) огибающей смеси сигнала и шума определяется по АКФ на основе теоремы Винера-Хинчина как преобразование Фурье [1]:

$$G_{V_M}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} K_V(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau. \quad (24)$$

Здесь $G_{V_M}(\omega)$ – «математический» энергетический спектр, определённый как для положительных, так и для отрицательных частот. С используемым нами односторонним «физическим» спектром $G_V(f)$, определённым

только для положительных частот, он связан соотношениями

$$G_V(f) = 2G_{V_M}(2\pi f), \quad G_{V_M}(\omega) = \frac{1}{2} G_V\left(\frac{\omega}{2\pi}\right). \quad (25)$$

В соответствии с выражением для АКФ огибающей энергетический спектр приближённо равен сумме двух составляющих, уровень которых зависит от отношения сигнал/шум:

$$G_V(F) \approx G_{V_1}(F) + G_{V_2}(F). \quad (26)$$

Первая составляющая определяется выражением

$$G_{V_1}(F) = b_1(a) \frac{4-\pi}{2} \cdot 4 \int_0^{\infty} U_{\text{ш}}^2 \psi(\tau) \cos(2\pi F\tau) d\tau = b_1(a) \frac{4-\pi}{2} G_{U_{\text{ш}}^c}(F), \quad (27)$$

где $G_{U_{\text{ш}}^c}(F)$ – энергетический спектр косинусной низкочастотной составляющей шума. Эта составляющая имеет вид энергетического спектра шума, сдвинутого на нулевую частоту. Вторая составляющая определяется выражением

$$G_{V_2}(F) = b_2(a) \frac{4-\pi}{2} \cdot 4 \int_0^{\infty} U_{\text{ш}}^2 \psi^2(\tau) \cos(2\pi F \tau) d\tau. \quad (28)$$

Можно показать, что поскольку под знаком интеграла здесь стоит квадрат функции $\psi(\tau)$, то эта составляющая имеет вид результата свёртки энергетического спектра шума, сдвинутого на нулевую частоту, с ним же самим.

Наиболее простой вид имеют выражения для составляющих энергетического спектра огибающей в случае БВЧ с прямоугольной АЧХ:

$$G_{V_1}(F) = (4-\pi)b_1(a)K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \text{ при } F \in [0, \Pi_{\text{ш}}/2], \quad (29)$$

$$G_{V_2}(F) = (4-\pi)b_2(a)K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \frac{\Pi_{\text{ш}} - F}{\Pi_{\text{ш}}} \text{ при } F \in [0, \Pi_{\text{ш}}]. \quad (30)$$

Здесь $\Pi_{\text{ш}}$ – шумовая полоса пропускания БВЧ; $K_{0.\text{БВЧ}}$ – коэффициент усиления БВЧ; G_0 – спектральная плотность белого шума на входе БВЧ. Первая составляющая имеет форму прямоугольника с основанием $\Pi_{\text{ш}}/2$, вторая составляющая – форму треугольника с основанием $\Pi_{\text{ш}}$ (рис. 7). Энергетический спектр случайной составляющей напряжения на выходе АД равен

$$G_{U_d}(F) = K_d^2 G_V(F). \quad (31)$$

В отсутствие сигнала энергетический спектр шума на выходе АД равен

$$G_{U_d}(F) \approx (4-\pi)K_d^2 K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \frac{\Pi_{\text{ш}} - F}{\Pi_{\text{ш}}} \text{ при } F \in [0, \Pi_{\text{ш}}]. \quad (32)$$

Графики рассчитанного по этой формуле и полученного на модели энергетического спектра шума на выходе АД при $K_d = 1$ изображены на рис. 8. Видно, что из-за приближённого характера формулы она не учитывает высокочастотные составляющие шума за пределами частоты, равной $\Pi_{\text{ш}}$. При практических расчётах этими составляющими обычно пренебрегают и считают, что спектр шума на выходе АД имеет треугольную форму.

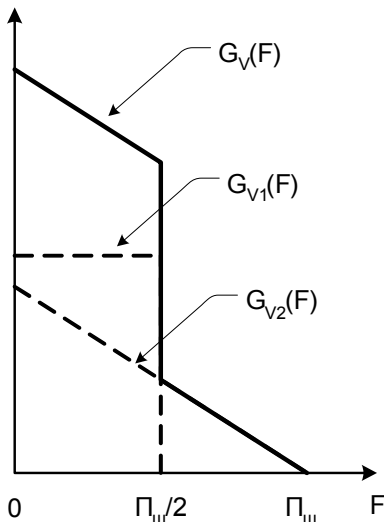


Рис. 7. Составляющие энергетического спектра шума на выходе АД

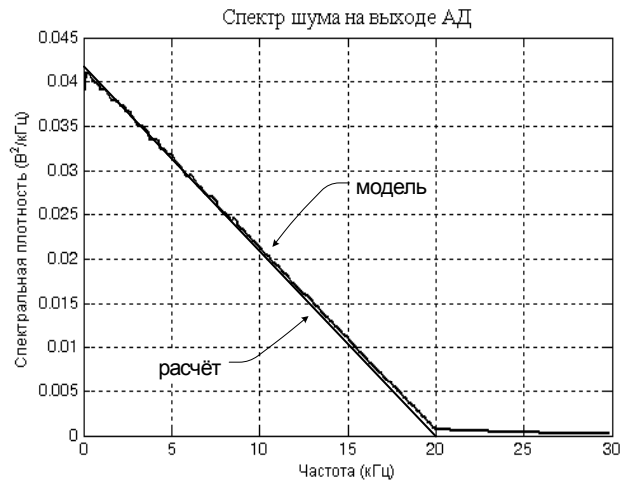


Рис. 8. Энергетический спектр шума на выходе АД при отсутствии сигнала

При большом отношении сигнал-шум ($a \gg 1$) форма энергетического спектра шума на выходе АД близка к прямоугольной. Меньшая ширина спектра шума на выходе АД в этом случае по сравнению со случаем воздействия чистого шума объясняется тем, что огибающая шума при провалах до нуля имеет изломы, тогда как у огибающей смеси сигнала и шума их практически нет.

2. Статистические характеристики шума на выходе квадратичного АД

Напряжение на выходе безынерционного квадратичного АД прямо пропорционально квадрату огибающей входного колебания $U(t)$:

$$U_d(t) = bU^2(t). \quad (33)$$

При действии на входе АД узкополосного шума с нормальным распределением вероятностей шум на выходе имеет экспоненциальное распределение с плотностью

$$w(U_d) = \frac{1}{2bU_{ш}^2} e^{-\frac{U_d}{2bU_{ш}^2}}, \quad U_d \geq 0. \quad (34)$$

Среднее значение напряжения на выходе квадратичного АД равно $\bar{U}_d = 2bU_{ш}^2$, эффективное напряжение шума равно $\sigma_{U_d} = 2bU_{ш}^2$. (Обратите внимание, что для квадратичного АД $\bar{U}_d = \sigma_{U_d}$). Энергетический спектр шума на выходе АД имеет вид треугольника с основанием $\Pi_{ш}$:

$$G_{U_d}(F) = G_{U_d}(0) \frac{\Pi_{ш} - F}{\Pi_{ш}} \text{ при } F \in [0, \Pi_{ш}], \quad (35)$$

где $G_{U_d}(0) = 8b^2 K_{0.БВЧ}^4 G_0^2 \Pi_{ш}$. В отличие от линейного АД, это не приближённое, а точное описание формы спектра.

3. Статистические характеристики шума на выходе БНЧ

Энергетический спектр шума на выходе блока низких частот (БНЧ) радиоприёмника определяется выражением

$$G_{U_{БНЧ}}(F) = G_{U_d}(F) K_{БНЧ}^2(F), \quad (36)$$

где $K_{БНЧ}(F)$ – амплитудно-частотная характеристика БНЧ.

Дисперсия (квадрат эффективного напряжения) шума на выходе БНЧ равна

$$\sigma_{U_{БНЧ}}^2 = \int_0^{\infty} G_{U_{БНЧ}}(F) dF. \quad (37)$$

Если АЧХ БНЧ прямоугольна, её верхняя граничная частота равна F_B и коэффициент передачи равен 1, то

$$\sigma_{U_{\text{БНЧ}}}^2 = \int_0^{F_B} G_{U_d}(F) dF. \quad (38)$$

При отсутствии сигнала на входе БВЧ энергетический спектр шума на выходе линейного АД определяется формулой (32) и дисперсия шума на выходе БНЧ равна

$$\begin{aligned} \sigma_{U_{\text{БНЧ}}}^2 &= \begin{cases} (4 - \pi) K_d^2 K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \int_0^{F_B} \frac{\Pi_{\text{ш}} - F}{\Pi_{\text{ш}}} dF & \text{при } F_B \leq \Pi_{\text{ш}} \\ (4 - \pi) K_d^2 K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \int_0^{\Pi_{\text{ш}}} \frac{\Pi_{\text{ш}} - F}{\Pi_{\text{ш}}} dF & \text{при } F_B > \Pi_{\text{ш}} \end{cases} = \\ &= \begin{cases} \frac{4 - \pi}{2} K_d^2 K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \Pi_{\text{ш}} \left(2 - \frac{F_B}{\Pi_{\text{ш}}} \right) \frac{F_B}{\Pi_{\text{ш}}} & \text{при } F_B \leq \Pi_{\text{ш}} \\ \frac{4 - \pi}{2} K_d^2 K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \Pi_{\text{ш}} & \text{при } F_B > \Pi_{\text{ш}} \end{cases}. \end{aligned} \quad (39)$$

В случае квадратичного детектора энергетический спектр шума на выходе АД определяется формулой (35) и дисперсия шума на выходе БНЧ равна

$$\sigma_{U_{\text{БНЧ}}}^2 = \begin{cases} \left(2b K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \Pi_{\text{ш}} \right)^2 \left(2 - \frac{F_B}{\Pi_{\text{ш}}} \right) \frac{F_B}{\Pi_{\text{ш}}} & \text{при } F_B \leq \Pi_{\text{ш}} \\ \left(2b K_{0.\text{БВЧ}}^2 G_0 \Pi_{\text{ш}} \right)^2 & \text{при } F_B > \Pi_{\text{ш}} \end{cases}. \quad (40)$$

4. Отношение сигнал-шум на выходе линейного АД

Поскольку АД с линейной детекторной характеристикой (линейный АД) относительно мгновенных значений напряжения является нелинейным устройством, в котором происходит взаимодействие сигнала с шумом, то при определении отношения сигнал-шум на выходе АД разделить «сигнальную» и «шумовую» составляющие выходного напряжения можно только условно.

Под полезным сигналом на выходе АД понимают приращение постоянной составляющей выходного напряжения $\overline{\Delta U_d}$, обусловленное модуляцией сигнала $U_c(t)$. Остальные составляющие выходного напряжения относят к шуму. Зависимость $\overline{\Delta U_d}(U_c)$ называется детекторной характеристикой при наличии шума. Она определяется выражением

$$\overline{\Delta U_d} = K_d (\bar{V} - \bar{U}) = K_d \left(M(a) U_{\text{ш}} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} U_{\text{ш}} \right) \quad (41)$$

и имеет нелинейный вид. Из-за нелинейности детекторной характеристики слабый по сравнению с шумом сигнал дополнительно ослабляется, т.е. происходит подавление сигнала шумом.

Отношение сигнал-шум на выходе АД $q_{\text{вых}} = (P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вых}}$ определяется при следующих условиях:

1. на входе АД действует смесь сигнала с гармонической амплитудной модуляцией с коэффициентом модуляции m и квазигармонического шума;
2. отношение сигнал-шум на входе АД характеризуется величиной отношения мощности несущей АМ сигнала к мощности шума $q_{\text{вх}} = (P_c/P_{\text{ш}})_{\text{вх}}$;
3. отношение сигнал-шум на выходе АД характеризуется величиной отношения мощности 1-й гармоники демодулированного колебания к мощности шума.

В двух предельных случаях – очень малого и очень большого значений отношения сигнал-шум на входе АД, – выходное отношение сигнал-шум определяется следующими приближёнными выражениями:

$$\blacksquare \text{ при } a \ll 1 \quad q_{\text{вых}} \approx m^2 \frac{\pi}{2 \cdot (4 - \pi)} \cdot q_{\text{вх}}^2 \approx 1,8 m^2 \cdot q_{\text{вх}}^2, \quad (42)$$

$$\blacksquare \text{ при } a \gg 1 \quad q_{\text{вых}} \approx m^2 q_{\text{вх}}, \quad (43)$$

где m – коэффициент амплитудной модуляции сигнала.

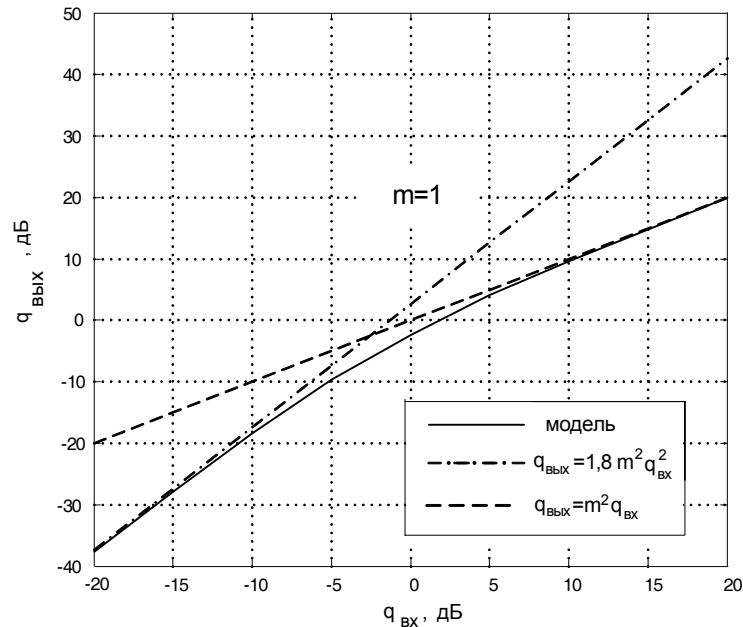


Рис. 9. Зависимость отношения сигнал-шум на выходе линейного АД от отношения сигнал-шум на входе

Контрольные вопросы

1. Каким законом описывается распределение вероятностей напряжения на выходе линейного АД при действии шума?
2. Каким законом описывается распределение вероятностей напряжения на выходе квадратичного АД при действии шума?
3. Как изменяется вид плотности вероятности шума на выходе линейного АД при увеличении отношения сигнал-шум на его входе?
4. Как с помощью векторной диаграммы объяснить «нормализацию» распределения вероятностей огибающей смеси сигнала и шума при увеличении отношения сигнал-шум?
5. Чем различается вид плотности вероятности шума на выходе линейного и квадратичного АД в случае действия на входе квазигармонического шума?
6. Как связано отношение сигнал-шум на выходе линейного АД с отношением сигнал-шум на входе при $a \gg 1$ и $a \ll 1$?
7. Как изменяется форма энергетического спектра шума на выходе линейного АД при увеличении отношения сигнал-шум на входе?
8. Как изменяется вид годографа комплексной огибающей смеси сигнала и шума при увеличении амплитуды сигнала?
9. Как влияет АЧХ БНЧ на вид энергетического спектра шума на выходе приёмника а) при отсутствии сигнала на входе АД; б) при большом отношении сигнал-шум на входе АД?

Литература

1. **Карташёв В.Г., Шалимова Е.В.** Основы теории случайных процессов: учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2005.
2. **Радиоприёмные** устройства / Под ред. В.И.Сифорова. М.: Советское радио, 1974.