

УДК 624.397.62

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ШУМА УСТРОЙСТВ, СОДЕРЖАЩИХ НЕЛИНЕЙНЫЕ КАСКАДЫ

К. т. н. Б. С. Троицкий

Одесский национальный политехнический университет
Украина, г. Одесса

Рассмотрены методы измерения коэффициента шума $K_{ш}$ многокаскадных усилителей, радиоприемников, радиосистем, содержащих каскады, работающие в нелинейном режиме. Получены соотношения, позволяющие повысить точность измерения $K_{ш}$ таких устройств.

Ключевые слова: коэффициент шума, приемно-усилительные устройства.

Современные системы передачи информации различного назначения работают с сигналами, уровень которых изменяется в широких пределах. Для приема слабых сигналов приходится применять усилительные устройства с малым уровнем собственных шумов [1]. Для количественной оценки уменьшения отношения сигнал / шум на выходе устройства по сравнению с аналогичным отношением на входе применяют коэффициент шума $K_{ш}$, который чаще всего [1, 2] измеряют посредством увеличения сигнала на входе устройства до значения, при котором выходная мощность вдвое превысит мощность собственных шумов.

Однако применяемые методы измерения $K_{ш}$ предполагают, что приемно-усилительные устройства являются линейными, в то время как в их состав входят каскады, содержащие нелинейные элементы (двухтактные усилители режимов АВ-В, преобразователи частоты, детекторы). За счет наличия нелинейных каскадов снижается точность измерения $K_{ш}$, что недопустимо при разработке высокочувствительных устройств.

В работе рассматриваются вопросы увеличения точности измерения коэффициента шума устройства, содержащего нелинейные каскады, за счет дополнительных измерений коэффициентов передачи мощности всех каскадов.

Сущность способа измерения коэффициента шума заключается в следующем: к входу устройства подключают генератор шума на вакуумном диоде с регулируемым выходом и внутренним сопротивлением R_r , равным сопротивлению эквивалента антенны, затем при выключенном генераторе измеряют мощность собственных шумов на выходе, после чего измеряют коэффициент передачи мощности K_{p1} и при включенном генераторе изменяют его выходной сигнал до тех пор, пока мощность сигнала на выходе не окажется равной удвоенной мощности его собственных шумов. В этот момент измеряют анодный ток насыщения вакуумного диода, после чего измеряют коэффициент передачи мощности K_{p2} и определяют коэффициент шума устройства по формуле

$$K_{ш} = \frac{(K_{p2} / K_{p1})(0,5e \cdot I_{анас} R_r / kT)}{2 - (K_{p2} / K_{p1})}, \quad (1)$$

где e – заряд электрона;

k – постоянная Больцмана;

T – температура входной цепи;

$I_{анас}$ – анодный ток насыщения вакуумного диода.

В случае отсутствия генератора шума на вакуумном диоде применяют [1, 2] генератор гармонических сигналов с регулируемой эдс:

$$K_{ш} = \frac{(K_{p2} / K_{p1})E_c^2 / (4R_r \cdot kT\Delta f)}{2 - (K_{p2} / K_{p1})}, \quad (2)$$

где K_{p1} , K_{p2} — коэффициент усиления по мощности устройства при отсутствии и наличии сигнала на входе, соответственно; E_c — эдс сигнала; R_r — внутреннее сопротивление источника сигнала; T — температура элементов первого каскада и генератора; Δf — полоса пропускания устройства.

При возможности измерения коэффициента передачи мощности отдельных каскадов при выключенном генераторе изменяют мощность собственных шумов, после чего измеряют коэффициенты передачи мощности каскадов, работающих в нелинейном режиме $K_{p1}^1, K_{p1}^2, K_{p1}^3, \dots, K_{p1}^n$, затем при включенном генераторе изменяют его выходной сигнал до тех пор, пока мощность сигнала на выходе не окажется равной удвоенной мощности его собственных шумов. В этот момент измеряют анодный ток насыщения вакуумного диода, после чего измеряют коэффициенты передачи мощности указанных каскадов $K_{p2}^1, K_{p2}^2, K_{p2}^3, \dots, K_{p2}^n$, затем определяют коэффициент шума.

Анализ физических процессов прохождения тепловых шумов через нелинейные каскады и экспериментальные исследования показали, что увеличение коэффициента шума каскадов, работающих в нелинейном режиме по сравнению с линейным режимом можно объяснить возрастанием суммарной мощности шумов за счет членов высших порядков в соотношении, представляющем амплитудную характеристику каскада:

$$U_{\text{вых}} = a_0 U_{\text{вх}}^0 + a_2 U_{\text{вх}}^2 + a_3 U_{\text{вх}}^3 + \dots + a_n U_{\text{вх}}^n. \quad (3)$$

В результате анализа получено соотношение, позволяющее учесть влияние шумов на $K_{\text{ш}}$ приемно-усилительных устройств [3]:

$$K_{\text{ш}} = \frac{(\prod_{e=1}^n K_{p2e} / \prod_{e=1}^n K_{p1e}) 0,5e \cdot I_{\text{нас}R_r} / kT_{\text{вх}}}{2 - (\prod_{e=1}^n K_{p2e} / \prod_{e=1}^n K_{p1e})}, \quad (4)$$

где $T_{\text{вх}}$ — температура входной цепи устройства; $I_{\text{нас}}$ — ток насыщения шумового диода; R_r — внутреннее сопротивление генератора шума; K_{p1e} — коэффициент передачи мощности шумов l -го каскада при отсутствии сигнала на его входе; K_{p2e} — та же величина, определяемая при значении сигнала на выходе устройства $U_{\text{вых}2}$, в 2 раза превышающем сигнал $U_{\text{вых}1}$, измеренный при отсутствии сигнала на входе.

Экспериментальная проверка предложенного метода измерения, проведенная на большой партии радиоприемников, показала, что погрешность измерения $K_{\text{ш}}$ уменьшается на 30—40%.

Предложенный способ измерения коэффициента шума может применяться для измерения $K_{\text{ш}}$ радиосистем различного назначения и конструктивного исполнения.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Теория электрической связи. Под ред. Д. Д. Кловского—Москва: Радио и связь, 1999 – 432с.
2. Волощук Ю. І. Сигнали та процеси у радіотехніці. Підручник для студентів ВНЗ.— Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2005.— Т. 2, 3.
3. А.с. 1285405 СССР. Способ определения коэффициента шума / Троицкий Б. С.— 1986.— Бюл. № 35.

B. S. Troitsky

Noise coefficients measurement for devices with nonlinear cascades.

The paper describes methods for noise coefficients measurement for nonlinear amplifiers, receivers and radio systems, containing nonlinear cascades. The formulas, making it possible to increase measurement accuracy, are obtained.

Keywords: *noise coefficient, receivers.*