

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ НА ЭКРАНЕ ИНДИКАТОРА С ЯРКОСТНОЙ ОТМЕТКОЙ

Г. С. ЗУБАРЕВ

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Введение

Одной из основных проблем радиолокации является проблема повышения помехоустойчивости радиолокационной станции, т. е. ее способности противостоять мешающему действию различного рода помех.

Помехоустойчивость определяет надежность информации отраженного сигнала и дальность действия радиолокационной станции при заданных уровне помех и мощности передатчика. При постоянной мощности передатчика помехоустойчивость зависит в основном от ряда параметров приемно-индикаторного тракта и применяемого вида индикации.

Для оценки влияния параметров того или иного тракта станции на ее помехоустойчивость, а также сравнения различных видов индикации необходимо знать статистические закономерности изменения яркости на экране индикатора.

Ниже приводится определение законов распределения яркости вдоль линии развертки электронно-лучевой трубки с модуляцией луча по яркости и их основных параметров. Рассмотрение ведется для случая „гладких“ помех. Учитывается влияние ограничения напряжения и режима работы электронно-лучевой трубки.

Общие замечания о законах распределения яркости

Характеристику свечения экрана при подаче напряжения с выхода усилительного тракта на управляющую сетку электронно-лучевой трубки можно характеризовать функцией

$$B = \varphi(U_y),$$

где B — яркость свечения экрана в произвольной точке на линии развертки;

U_y — напряжение, приложенное к управляющей сетке трубки.

При отсутствии сигнала напряжение на выходе усилительного тракта представляет напряжение помех, амплитуда и фаза которых

носят случайный характер. Флюктуации напряжения, подводимого к электронно-лучевой трубке, вызывают флюктуации яркости вдоль линии развертки.

Для отыскания закона распределения яркости необходимо знать закон распределения подводимого напряжения и функцию φ . Последняя обычно в области малых амплитуд подводимого напряжения является нелинейной функцией и определяется типом и режимом работы электронно-лучевой трубки.

При дифференциальном законе распределения подводимого напряжения $p_u(U_y)$ и заданной функции φ дифференциальный закон распределения яркости определится как

$$p_B(B) = p_u[\psi(B)] \psi'(B), \quad (1)$$

где $\psi(B)$ — функция обратная $\varphi(U_y)$, а $\psi'(B)$ — ее производная.

При малых амплитудах подводимого напряжения характеристику трубки можно аппроксимировать параболой n -й степени, т. е.

$$\begin{cases} B = \alpha \cdot U_y^n & \text{при } U_y > 0 \\ B = 0 & \text{при } U_y \leq 0, \end{cases}$$

где α — коэффициент, зависящий от типа и режима работы электронно-лучевой трубки.

Функция обратная $\varphi(U_y)$ будет равна

$$\psi(B) = \sqrt[n]{\frac{B}{\alpha}}, \text{ откуда}$$

$$\psi'(B) = \frac{1}{n} \cdot \sqrt[n]{\frac{1}{\alpha}} \cdot \frac{1}{\sqrt[n]{B^{n-1}}}.$$

Следовательно, на основании (1)

$$p_B(B) = \frac{1}{n} \cdot \sqrt[n]{\frac{1}{\alpha}} \cdot \frac{1}{\sqrt[n]{B^{n-1}}} \cdot p_u\left(\sqrt[n]{\frac{B}{\alpha}}\right) \text{ или переходя к } U_y$$

$$p_B(B) = \frac{1}{n \cdot \alpha \cdot U_y^{n-1}} \cdot p_u(U_y). \quad (2)$$

При больших амплитудах подводимого напряжения характеристика трубки может быть аппроксимирована прямой линией.

Для случая линейной аппроксимации характеристики трубки

$$\begin{cases} B = \alpha U_y & \text{при } U_y > 0 \\ B = 0 & \text{при } U_y \leq 0 \end{cases}$$

(здесь α — крутизна прямолинейного участка характеристики трубки) дифференциальный закон распределения яркости, согласно (1), будет

$$p_B(B) = \frac{1}{\alpha} p_u\left(\frac{B}{\alpha}\right) = \frac{1}{\alpha} p_u(U_y). \quad (3)$$

Выражение (3) получается из (2) при $n = 1$. (см. также [2]).

Влияние отсечки и ограничения напряжения на законы распределения яркости

Выражения (1), (2), (3) будут справедливы, если все напряжение, подводимое к электронно-лучевой трубке, влияет на изменение яркости, т. е. не имеется его ограничения и отсечки.

Отсечка и ограничение подводимого напряжения приводят к изменению закона распределения яркости.

Так, для $U = U_y$, при

$$U_{отс} < U < U_{огр}$$

(где $U_{отс}$ и $U_{огр}$ — уровни отсечки и ограничения подводимого напряжения)

$$\text{и } \begin{cases} B = \varphi(U_y) & \text{при } U_{отс} < U < U_{огр} \\ B = 0 & \text{при } U \leq U_{отс}, \\ B = \varphi(U_{огр}) & \text{при } U \geq U_{огр}, \end{cases}$$

будем иметь

$$p_B(B) = p_{ou}(U_y) \cdot \psi'[\varphi(U_y)] = \xi \cdot p_u(U) \psi'[\varphi(U)],$$

где, в свою очередь, $p_{ou}(U_y)$ — модифицированный, а $p_u(U)$ — начальный дифференциальный законы распределения подводимого напряжения.

Множитель ξ характеризует увеличение плотности вероятностей амплитуд напряжения U (рис. 1), ограниченного пределами возможных его значений от $U_{отс}$ до $U_{огр}$ так, что

$$p_u(U) = 0 \text{ при } U < U_{отс} \text{ и } U > U_{огр},$$

$$\text{а } \xi \cdot \int_{U_{отс}}^{U_{огр}} p_u(U) \cdot dU = 1.$$

Из последнего выражения

$$\xi = \frac{1}{\int_{U_{отс}}^{U_{огр}} p_u(U) \cdot dU}.$$

Окончательно дифференциальный закон распределения яркости при наличии отсечки и ограничения будет:

$$p_B(B) = \frac{1}{\int_{U_{отс}}^{U_{огр}} p_u(U) \cdot dU} \cdot p_u(U) \cdot \psi'[\varphi(U)]. \quad (4)$$

1. Об общности анализа при наличии видеофильтра

В случае наличия видеофильтра нахождение законов распределения яркости затрудняется вследствие математической сложности установления влияния видеофильтра на закон распределения напряжения, подводимого к нему с выхода детектора.

При полосе пропускания видеофильтра

$$\Delta F_{н.ч.} \geq \Delta F_{в.ч.}$$

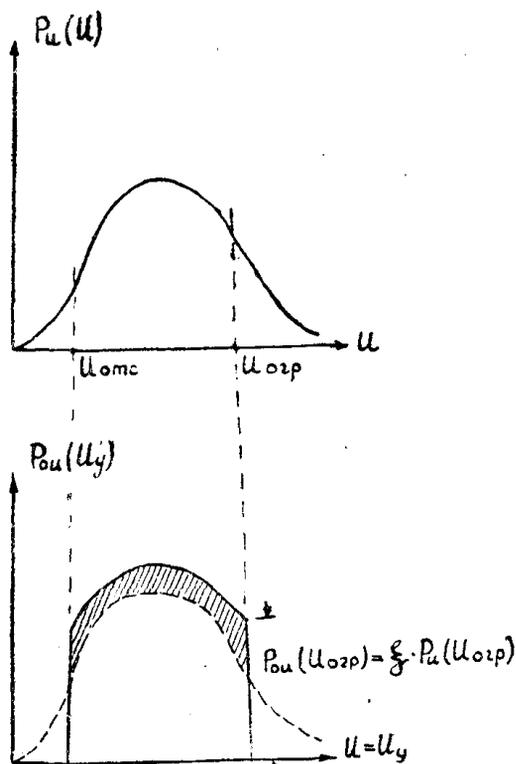


Рис. 1. Влияние отсечки и ограничения на закон распределения напряжения

составляющие напряжения с выхода детектора без искажений пройдут на выход видеофильтра. Дальнейшее расширение полосы видеофильтра не окажет влияния на наблюдаемость слабого сигнала.

Поэтому при

$$\Delta F_{н.ч.} \geq \Delta F_{в.ч.}$$

практически можно считать, что закон распределения напряжения на выходе видеофильтра будет таким же, как и на выходе детектора.

Более того, наивысшие частоты спектра напряжения с выхода детектора образуют так называемую „тонкую“ структуру импульсов, характерную малыми значениями амплитуд. Наблюдаемость же сигнала определяется в основном максимальными выбросами напряжения в силу физиологических особенностей глаза наблюдателя.

Поэтому с точки зрения наблюдаемости сигнала сделанные допущения об идентичности законов распределения напряжения на выходе детектора и видеофильтра можно перенести и на случай

$$\Delta F_{н.ч.} < \Delta F_{в.ч.}$$

(где $\Delta F_{в.ч.} = \frac{a}{\tau}$ — оптимальная полоса пропускания до детектора;

τ — длительность импульса;

a — постоянная, зависящая от формы огибающей высокочастотного импульса и резонансной кривой), полагают, что видеофильтр в первом приближении не изменяет закона распределения напряжения и наблюдаемости сигнала

Действительно, наивысшая частота спектра на выходе детектора равна разности между крайними боковыми частотами в пределах полосы пропускания до детектора, т. е. равна этой полосе. Следовательно, при наличии линейного видеофильтра со сравнительно равномерной амплитудно-частотной характеристикой в пределах полосы пропускания, равной полосе пропускания до детектора, все

Законы

распределения яркости и их основные параметры на экране индикатора с яркостной отметкой

№ п/п.	Характеристика приемника	Дифференциальные законы распределения яркости		Основные параметры законов распределения яркости				Постоянный множитель А
		наличие сигнала	отсутствие сигнала	при наличии сигнала и шума		при наличии только шума		
				среднее значение $\frac{B_{c+ш}}{A}$	среднее кв. значение $\frac{D(B_{c+ш})}{A}$	среднее значение $\frac{B_{ш}}{A}$	среднее кв. значение $\frac{D(B_{ш})}{A}$	
1	Недетектированный выход ¹⁾	$\frac{2}{A\sqrt{2\pi^3}} \int_0^{\pi} e^{-\frac{(x-a \cos \theta)^2}{2}} \cdot d\theta$	$\frac{2}{A\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$	$\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \left(1 + \frac{a^2}{4}\right)$	$0,603 \sqrt{1 + \frac{a^2}{2}}$	$\sqrt{\frac{2}{\pi}}$	0,603	$\alpha D(U_{ш})$
		$x = \frac{u}{D(U_{ш})}$						
2	Линейное детектирование	$\frac{x}{A} \cdot e^{-\frac{x^2+a^2}{2}} \cdot J_0(ax)$	$\frac{1}{A} \cdot x \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}$	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \left(1 + \frac{a^2}{4}\right)$	$0,66 \sqrt{1 + \frac{a^2}{2}}$	$\sqrt{\frac{\pi}{2}}$	0,66	$\alpha \cdot K \cdot D(U_{ш})$
		$x = \frac{U_{н.ч}}{K_{\partial} \cdot D(U_{ш})}$						
3	Квадратичное детектирование	$\frac{1}{2A} \cdot e^{-\frac{x+a^2}{2}} \cdot J_0(a\sqrt{x})$	$\frac{1}{2A} \cdot e^{-\frac{x}{2}}$	$2 \left(1 + \frac{a^2}{2}\right)$	$2 \sqrt{1+a^2}$	2	2	$\alpha \cdot \eta D^2(U_{ш}) \cdot K_{н.ч}$
		$x = \frac{U_{н.ч}}{\eta \cdot D^2(U_{ш})};$	$\eta = \frac{1}{4} \frac{S'}{S} \frac{1}{1 + \frac{1}{S \cdot R_n}}$					
4	Детектирование n-го порядка	$\frac{1}{A \cdot n} \cdot x^{\frac{2-n}{n}} \cdot e^{-\frac{x^n+a^2}{2}} \cdot J_0(a\sqrt[n]{x})$	$\frac{1}{An} \cdot x^{\frac{2-n}{n}} \cdot e^{-\frac{x^n}{2}}$	$\left(\frac{n}{2}\right)! \cdot 2^{\frac{n}{2}} \left(1 + \frac{n}{4} a^2\right)$	$2^{\frac{n}{2}} \sqrt{\left(1 + \frac{n}{2} a^2\right)}$ $\sqrt{\left[n! - \left(\frac{n}{2}\right)!\right]}$	$\left(\frac{n}{2}\right)! \cdot 2^{\frac{n}{2}}$	$2^{\frac{n}{2}} \sqrt{n! \cdot \left(\frac{n}{2}\right)!^2}$	$\alpha K_{н.ч} \epsilon D^n(U_{ш})$
		$x = \frac{U_{н.ч}}{\epsilon D^n(U_{ш})};$	$\epsilon = \beta R_n \frac{C_n}{2^n}$					

1) При наличии подрезки отрицательных полупериодов напряжения.

Это подтверждается исследованиями, проведенными А. П. Белоусовым [1] и целым рядом имеющихся экспериментальных работ, согласно которым наблюдаемость не ухудшается при

$$\Delta F_{н.ч.} \geq (0,4 \div 0,5) \Delta F_{в.ч.}$$

Итак, при отыскании законов распределения яркости в случае наличия видеофильтра можно полагать

$$p_u(U_\phi) \approx p_u(U_{дет}),$$

где $U_{дет}$ и U_ϕ — соответственно напряжения на выходе детектора и видеофильтра.

Дифференциальный закон распределения напряжения на выходе детектора определяется режимом его работы и видом детекторной характеристики.

Следовательно, дифференциальный закон распределения яркости будет зависеть от порядка нелинейности характеристик детектора и электронно-лучевой трубки.

Однако при сделанных выше допущениях, при наличии видеофильтра нет необходимости отдельно рассматривать влияние нелинейности детектора и характеристики трубки на закон распределения яркости.

Можно показать, что система приемо-индикаторного тракта, имеющая детектор n -го порядка и линейный усилитель низкой частоты и характеристику электронно-лучевой трубки, эквивалентна системе, имеющей линейный детектор и того же порядка нелинейности усилитель низкой частоты или характеристику электронно-лучевой трубки.

То есть характер выходного напряжения не изменится от перестановки нелинейного элемента среди линейных звеньев, пропускающих спектр усиливаемых частот.

Поэтому влияние нелинейности электронно-лучевой трубки можно рассматривать на примере детектора n -го порядка с последующим линейным трактом.

Законы распределения яркости

Используя известные выражения законов распределения напряжения на выходе усилительного тракта [2, 3 и др.] и уравнения (2), (3), можно получить дифференциальные законы распределения яркости для случаев наличия сигнала совместно с шумом и только шума, а также основные параметры этих законов.

Результаты вычислений приведены в таблице 1, где применены следующие обозначения:

$U = U_c + U_w$ — суммарное напряжение гармонического сигнала и шума;

$U_c = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$ — напряжение сигнала на выходе линейной системы;

$a = \frac{U_0}{D(U_w)}$ — амплитуда сигнала, отнесенная к $D(U_w)$ на

выходе линейной системы (или на входе детектора), а $D(U_w)$ — среднеквадратичное значение флуктуаций на входе детектора;

K_0 — коэффициент передачи напряжения детектора;

$$K = K_0 \cdot K_{н.ч.};$$

$K_{н.ч.}$ — коэффициент передачи напряжения усилителя низкой частоты
 α — крутизна характеристики электронно-лучевой трубки;
 S — статическая крутизна вольтамперной характеристики диода в рабочей точке;
 R — сопротивление нагрузки детектора;
 β — крутизна статической характеристики детектора;
 $J_0(x)$ — модифицированная функция Бесселя первого рода, нулевого порядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов А. П. О наивысшей реальной чувствительности приемника, Радиотехника № 5, 1946.
 2. Ф и а л к о Е. И. К вопросу о реальной чувствительности приемного устройства. Известия ТПИ, том 73, 1952.
 3. Р а й с С. О. Теория флюктуационных шумов. Теория передачи электрических сигналов при наличии помех (сборник статей), ИЛ, 1953.
-