

# НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНОГО ШУМА

А. С. Плютин

Институт электронной техники связи Будапештского Технического Университета

Поступило 8. мая 1981 г.

Представлено: д-р Ш. Чибби

1. В каналах связи, помимо флуктуационных помех, хорошо аппроксимируемых гауссовским распределением, часто встречаются аддитивные помехи другого характера, называемые импульсными шумами (ИШ).

Анализу влияния аддитивных помех на передачу дискретных сообщений посвящен ряд работ. В частности [1, 2].

Импульсными помехами называют такие аддитивные помехи, которые отличны от нуля лишь в отдельных интервалах времени. В таких процессах случайными могут быть параметры импульсов в группе и их форма, количество импульсов в каждой группе, а также количество групп.

Источники ИШ весьма многообразны. К ним относятся: атмосферные разряды, промышленные установки, в частности, система зажигания в двигателях внутреннего сгорания, медицинские и бытовые электроприборы, коммутирующие телефонные устройства и т. д.

ИШ представляют собой второй по удельному весу фактор после мгновенного прерывания, в канале (большое затухание сигнала в канале), влияющий на появление ошибок при передаче дискретной информации и существенно снижающий эффективную скорость передачи в случае использования аппаратуры с решающей обратной связью.

ИШ — одна из основных причин возникновения ошибок при передаче данных (ПД) по высокочастотным каналам связи.

Поэтому изучению влияния ИШ на передаваемую информацию в настоящее время уделяется большое внимание, влиянию ИШ на передаваемую информацию посвящен ряд работ, в частности [3, 4, 5, 6].

Однако до сих пор нет общего мнения авторов на математическое описание ИШ.

В статье сделана попытка дать общее математическое описание модели, которое достаточно точно отражает ИШ.

Кроме того в данной работе рассматриваются некоторые числовые характеристики ИШ, даются определения вероятностных характеристик и числа пересечений фиксированного уровня ИШ, на заданном отрезке

времени, а также приведены экспериментальные данные исследования ИШ.

1.1. ИШ можно моделировать исходя из его наблюдений и при некоторых допущениях, которые позволяют подойти к формулированию понятия импульсный шум (рис. 1.1).

1. Так как нас интересуют лишь события, которые с ощутимой вероятностью вызывают ошибки, то ограничимся рассмотрением шумов, амплитуда которых превышает некоторое пороговое значение  $S$ .

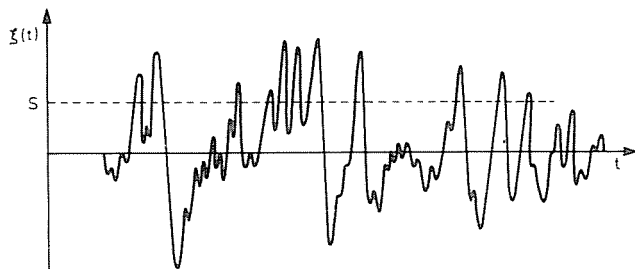


Рис. 1.1

2. Поскольку основным местом возникновения шума в телефонном канале является линейный и групповой тракты, то не будем учитывать редкие помехи, попадающие на выход телефонного канала, минуя его фильтровое оборудование, т. е. тот шум длительность которого короче времени переходных процессов в канале. Это ограничение позволяет рассчитывать ИШ как реакцию частотно-ограниченной системы на короткий импульс дельта-функцию, что существенно упрощает преобразование II.

С учетом сделанных ограничений сформулируем понятие «импульсный шум» следующим образом.

ИШ будем называть реакцию канала на кратковременное мешающее воздействие  $\left(\Delta t \ll \frac{1}{\Delta F}\right)$  в канале, амплитудное значение которой на выходе канала соизмеримо или больше возможной амплитуды сигнала ( $\xi \geq U_c$ ), а интервалы следования значительно превышают длительность переходного процесса в канале  $\left(\tau \gg \frac{1}{\Delta F}\right)$  (см. рис. 1.2). В формулах:

$\Delta t$  — длительность мешающего воздействия в линейном тракте;

$\Delta F$  — полоса эффективно передаваемых частот в канале;

$\tau$  — расстояние между смежными импульсными шумами;

$U_c, \xi$  — амплитудные значения сигнала и шума соответственно.

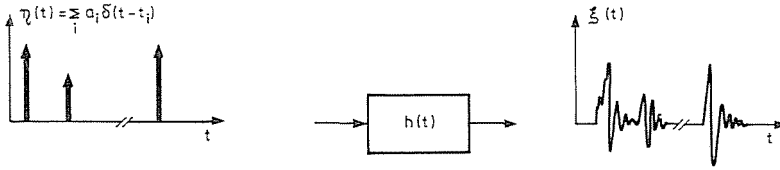


Рис. 1.2

Достоинством описанного метода моделирования ИШ является его естественная наглядность и простота статистического исследования. Именно поэтому, такая модель является наиболее распространенной моделью, описывающей ИШ.

Все сказанное можно математически описать следующим образом [7, 8, 9, 14]

$$\zeta(t) = \sum_i a_i h(t - \tau_i). \quad (1.1)$$

Другой моделью, также довольно распространенной, является модель ИШ представленная формулой (1.2). Здесь под ИШ [10, 15] понимается последовательность импульсов с нормированной огибающей  $U(t)$ , случайными взаимонезависимыми амплитудами  $A_i$ , начальными фазами  $\varphi_i$  и моментами появления  $\tau_i$

$$\zeta(t) = \sum A_i U(t - \tau_i) \cos(\omega t + \varphi_i). \quad (1.2)$$

Случайные амплитуды  $A_i$  характеризуются одномерной плотностью вероятности  $\omega_A(A)$ , а начальные фазы  $\varphi_i$  считаются равномерно распределенными в интервале  $[-\pi, \pi]$ . Моменты появления импульсов представляют собой пуассоновский поток с интенсивностью  $\lambda$ .

Однако эти классические модели ИШ не позволяют проводить анализ тонкой структуры ИШ, так как определяющими при описании ИШ являются не только амплитуда и время возникновения, но и другие параметры, которые данные модели не учитывают. Эти два параметра являются необходимыми при описании ИШ, но не достаточными, чтобы точно описать тонкую структуру модели ИШ. В разделе 2.2 дается модель тонкой структуры ИШ, которая учитывает не только амплитуду и время возникновения, но и интенсивность, длительность, количество и форму импульсов.

Однако перед этим необходимо более подробно остановиться на источниках ИШ, от которых зависят параметры ИШ.

## 2. Об источниках импульсного шума

2.1. Амплитуды ИШ в телефонных каналах достигают значений, которые в несколько раз превышают уровень полезного сигнала. Такие амплитуды с большой вероятностью вызывают ошибки в передаваемой информации. Поэтому борьба с последствиями ИШ должна вестись как в направлении повышения помехоустойчивости, так и в направлении поиска и устранения источников ИШ.

В зависимости от характера возникновения ИШ, источники их можно подразделить на две следующие группы:

### *Внешние и внутренние*

**Внешние:** — Это такие источники от которых возникает ИШ под действием ЭДС самоиндукции, например ИШ возникающий при атмосферных явлениях, при включениях и отключениях двигателя внутреннего сгорания, при включении различных двигателей переменного и постоянного тока к сети.

Когда включается или выключается любой двигатель, происходит резкое изменение тока (увеличение или падение). В любом случае, будет возникать индуктивная ЭДС на всех соседних электрических цепях, проводах и телефонной линии близких к линии питания двигателя разумеется, что чем меньше расстояние между местом установки двигателя и телефонной линией  $L$  (см. рис. 1.1), тем больше будет значения ЭДС самоиндукции и наоборот, также ясно, что изменение расстояния ( $L, l$ ) не будет влиять на форму ИШ, а будет влиять на его амплитудное значение, см. параметр  $I_{n,q,r}$  в формуле 2.1. Характер возникновения ИШ — индуктивный.

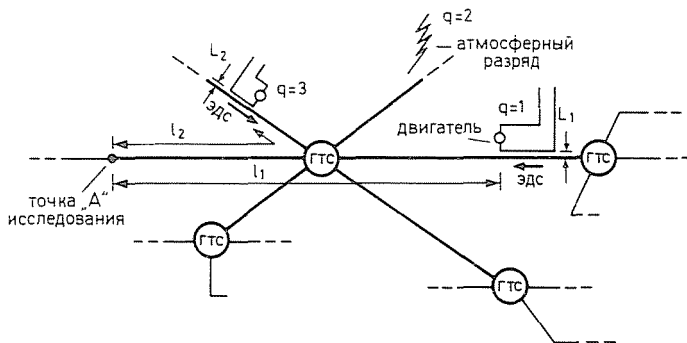


Рис. 2.1. Атмосферный разряд — двигатель — ЭДС — точка «А» исследования

Точно такой же принцип возникновения ИШ в телефонном канале при действии атмосферного разряда.

Однако длительность, интенсивность, количество и форма импульса не являются одинаковыми при этих явлениях, не смотря на то, что оба эти явления являются индуктивными.

Внутренние: это такие источники ИШ, которые вызывают его появление при эксплуатации телефонного канала, во время отказов, при механической разработке коммутационных элементов в схемах и т. д.

Внутренние источники можно подразделить на 2 подгруппы:

- ИШ возникающие при непосредственном участии человека,
- ИШ возникающие без участия человека.

Примерами источников 1-й подгруппы являются: работы при эксплуатации телефонного канала, настройка элементов цепи канала в магистрали, ударные воздействия и т. д.

Ко второй подгруппе относятся источники, вызывающие ИШ при работе аппаратуры без участия человека.

Например, давление, которое существует между двумя контактами реле, не является постоянной величиной, отсюда следует, что изменятся сопротивление и протекающий ток в телефонной цепи  $i = 48 / (R_k + R_{ц})$ , где  $R_k$  — сопротивление контакта (var),  $R_{ц}$  — сопротивление цепи (const). Изменение давления контактов является случайной величиной и возникающий ИШ не зависит от человека.

Все выше сказанное для этих источников ИШ подтверждается в работе [11], где приведены два графика (см. рис. 2.2) функций распределения мгновенных значений ИШ, полученных в канале системы К-24 длиной 2000 км в дневные<sup>1</sup> и ночные<sup>2</sup> часы.

Как видно, вероятность появления помех с амплитудами более 800 мВ в дневные часы, примерно в 30 раз больше чем в ночные.

Из этого следует, что измерения и исследования импульсных помех необходимо проводить преимущественно в дневное время.

На рис. 2.2 приведены графики функции распределения мгновенных значений в одном из каналов за период около 100 ч, когда были запрещены все работы, не связанные непосредственно с восстановлением действия связей I, и для сравнения график в этом же канале, полученный в период без запрета работ на магистрали II.

Разумеется, что разница между кривыми I и II говорит о мере увеличения количества ИШ при настройке, ремонте, столкновениях и т. д. в телефонном канале (т. е. учитывает ИШ, возникающий при непосредственном участии человека). Можно рассматривать кривую I как ИШ, возникающий из источников первой группы и тех источников второй подгруппы, которые происходят без участия человека.

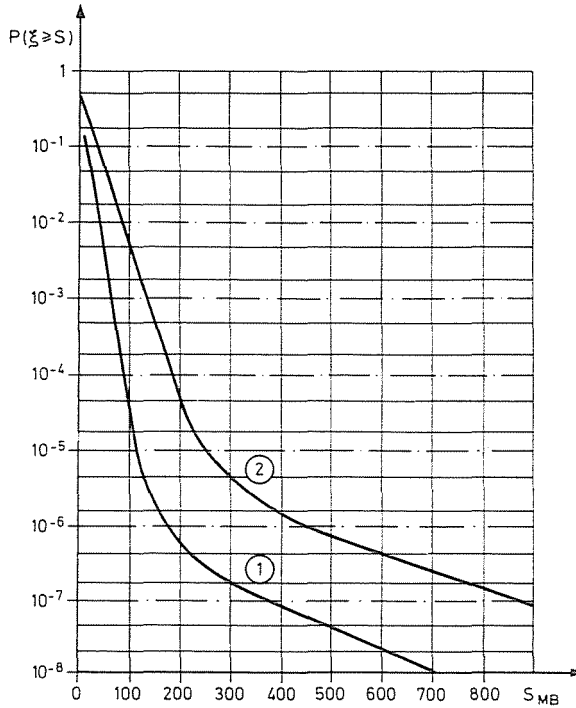


Рис. 2.2

Существуют конечно же другие источники ИШ, но из рассмотрения этих можно сделать выводы о том, что форма, интенсивность, длительность, количество импульсов зависят от источника ИШ, кроме того интенсивность импульса обратно пропорциональна расстоянию от источника  $L$  или  $l$  (см. рис. 2.1).

Исходя из этого можно сказать еще, что классическое выражение ИШ формулами (1.1) и (1.2) не дает полного представления о тонкой структуре модели ИШ, и в дальнейшем дана модель тонкой структуры ИШ, учитывающая достаточные и необходимые параметры ИШ.

## 2.2. О тонкой структуре модели ИШ

Как было сказано, источники импульсного шума весьма многообразны, в зависимости от различных источников полученные импульсы будут иметь форму и интенсивность, соответствующую данному источнику.

Отсюда следует, что в общем случае можно считать случайными все параметры импульсов в группе, число импульсов в группе, а также число

групп в данной реализации. Общее выражение для ИШ, представляющего собой случайную последовательность, будет иметь вид:

$$\xi(t) = \sum_{n=\infty}^{\infty} \sum_{q=1}^{\Theta_q} \sum_{r=1}^{\gamma_q} I_{n,q,r} G_{n,q,r}(t-t_{n,q,r}), \quad (2.1)$$

где  $G_{n,q,r}(t)$  — случайная функция, описывающая  $r$ -й импульс  $q$ -источника в  $n$ -й группе.

$t_{n,q,r}$  — случайная величина, характеризующая временное положение  $r$ -го импульса  $q$ -источника в  $n$ -группе.

$\gamma_q, \Theta_q$  — случайные величины количества импульсов в группе и числа источников соответственно.

$I_{n,q,r}$  — весовой коэффициент  $r$ -импульса  $q$ -источника в  $n$ -группе.

Объясним физический смысл  $G_{n,q,r}(t)$  и  $I_{n,q,r}$ .

$G_{n,q,r}$  — случайная функция, учитывающая форму импульса, соответствующую определенному типу источника ИШ.

$I_{n,q,r}$  — весовой коэффициент, учитывающий мгновенные значения амплитуды импульса, расстояние источника ИШ от магистрали (или канала)  $L$  (см. рис. 1) и степень подавления амплитуды ИШ в зависимости от расстояния между точкой наблюдения и точкой возникновения ИШ,  $l$  (см. рис. 2.1). Пусть  $L_1 = L_2$  но  $l_1 \neq l_2$ , тогда ИШ наблюдаемый в точке «А» имеет одинаковую форму, но разные амплитуды, очевидно,

$$\begin{aligned} G_{n,1,q} = G_{n,2,q} & \quad \text{но т. к.} \\ l_1 > l_2 & \quad \text{то} \\ G_{n,1,q}(t)I_{n,1,q} < G_{n,2,q}(t)I_{n,2,q}. \end{aligned}$$

### 3. Общие определения ИШ

На рис. 3.1 приведена  $k$ -ая реализация импульсного шума длительности  $T$ .

Все физические реальные случайные процессы представляют собой непрерывные функции времени. Такая функция на конечном интервале  $T$  имеет конечное число максимумов и минимумов с различными значениями, причем момент времени, в котором реализация имеет ее максимальное амплитудное значение, принято обозначать  $t_m$ .

Реализация  $\xi^k(t)$  несколько раз пересекает некоторый фиксированный уровень  $S$  снизу-вверх (с положительной производной). Событие, состоящее в том, что случайный процесс  $\xi^k(t)$  пересекает уровень снизу-

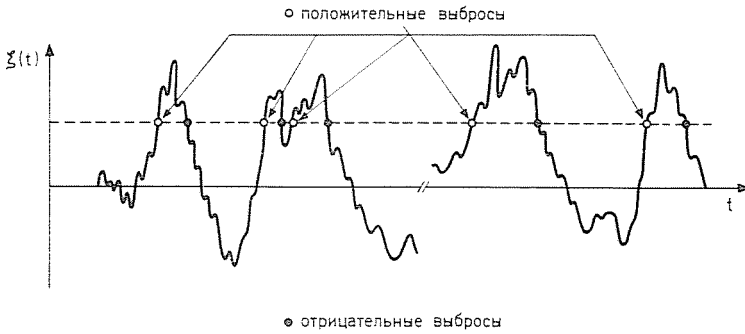


Рис. 3.1. Положительные выбросы — отрицательные выбросы

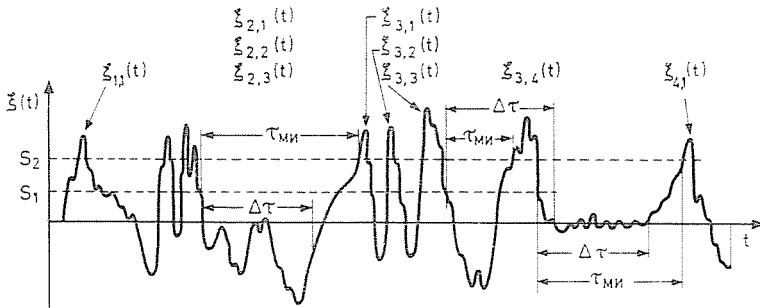


Рис. 3.2

вверх, принято называть **ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ВЫБРОСОМ**. Если уровень  $S$  пересекается сверху-вниз, то говорят об **ОТРИЦАТЕЛЬНОМ ВЫБРОСЕ**.

Пусть при интервале исследования  $(t, t+T)$  одна реализация импульсного шума  $\zeta^k(t)$  имеет  $n$ -групп импульсов, в каждой из которых количество импульсов  $r$ , амплитуды, длительности и момент возникновения являются случайными величинами (рис. 3.2).

Здесь следует ввести определение об уровне анализа.  $S$  — это есть уровень, при помощи которого можно определить длительность выбросов и длительность между выбросами (рис. 3.3-а).

Под длительностью выброса понимаем отрезок времени, в течение которого реализация импульсного шума превосходит фиксированный уровень анализа  $S$ , в дальнейшем будем обозначать  $\tau^*$ .

Промежуток времени между двумя соседними выбросами принято называть длительностью между выбросами  $\tau$ .



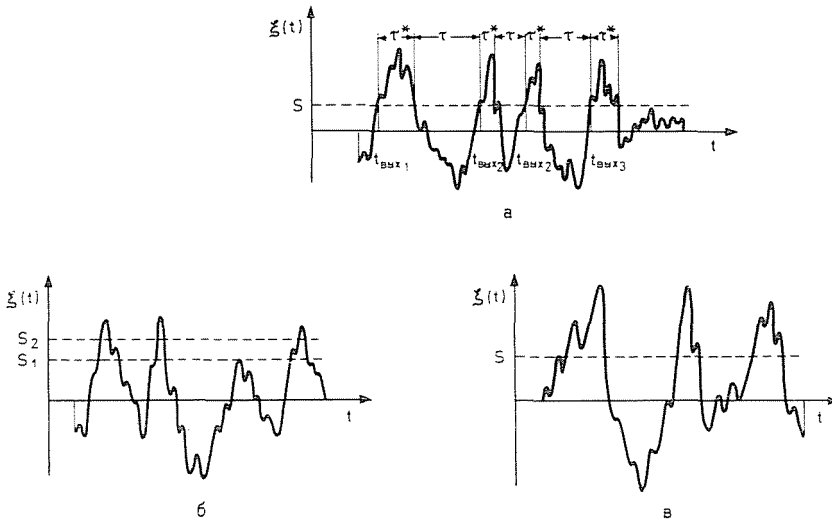


Рис. 3.3. Пересечение уровня по определению Фенника — Пересечение уровня по рекомендации МККТТ

### Пересечение уровня

Определяется как событие, получаемое тогда, когда случайный процесс  $\xi(t)$  с положительной производной пересекает уровень анализа  $S$  (рис. 3.3 а-в).

Нужно отметить, что Фенник предлагает [12] следующее,

$$S_1 = P_{\eta(t)} + 10 \quad [\text{дБ}]$$

$$S_2 = P_{\eta(t)} + (13-16) \quad [\text{дБ}]$$

где  $P_{\eta(t)}$  — долговременная мощность флуктуационного шума. Также МККТТ V—55 рекомендует.

$$S_1 = S_2 = S$$

$S = -18$  [дБ] (коммутируемый телефонный канал).

$S = -21$  [дБ] (арендованный канал).

При анализе уровня величина уровня  $S$  выбирается равной эффективному значению такого синусоидального напряжения сигнала, пиковая амплитуда которого совпадает с заданным уровнем. Например, пусть уровень  $= 1.1$  [в] это соответствует синусоидальному напряжению имеющему эффективное значение равное  $0.112$  [в]  $= 1$  [мватт]  $= 0$  [дБм]. Отсюда следует, что величина  $S$  имеет либо размерность [вольт], либо [ватт].

## Выходы

Определяются, как момент времени, в котором случайный процесс  $\xi(t)$  снизу-вверх пересекает уровень  $S$ , обозначается  $t_{\text{вых}} = t_{n,r}$ .

### Длительность выброса

Это интервал времени от интервала  $(t_0, t_0 + \Delta t)$ , когда случайный процесс с положительной производной пересекает уровень  $S_2$ , до интервала  $(t_i, t_i + \Delta t)$ , где случайный процесс с отрицательной производной пересекает снова уровень  $S_1$  и в ближайшем промежутке времени (меньше  $\Delta \tau$ ) не происходит пересечения уровня  $S_2$  с положительной производной. Что представляет собой интервал  $\Delta \tau P - \Delta \tau$ , интервал времени служит для разделения соседних групп импульсов. На рис. 3.2 импульс  $\xi_{1,1}$  представляет собой отдельную группу, состоящую из одного импульса, и не принадлежащий к группе 3 ( $\xi_{9,5}$ ), потому что промежуток времени  $\tau_{\text{ин}}$ , представляющий собой длительность по времени между двумя импульсами,  $> \Delta \tau$ , и следующий импульс  $\xi_{1,1}$  начинается не на интервале времени  $\tau_{\text{ин}} < \Delta \tau$ , а на интервале времени  $\Delta \tau + t$ .

Статистический анализ групп значений  $\Delta \tau$ , полученных при многократных измерениях, показал, что  $0.3 < \Delta \tau < 0.8$  (мсек), и оптимальное принятое значение  $\Delta \tau = 0.6$  (мсек), см [12, 13]. Длительность выброса зависит от  $S_1$  и  $S_2$  и является случайной величиной.

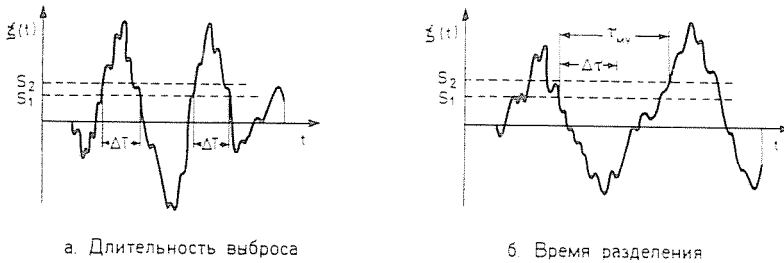


Рис. 3.4а — Длительность выброса. б — Время разделения

### Длительность интервала

Определяется, как отрезок времени, в течение которого случайный процесс  $\xi(t)$  не превышает уровень  $S_2$ , т. е. длительность между пересечением с отрицательной производной уровня  $S_1$ , и началом следующего выброса,  $\tau$  зависит от  $S_2$  и  $S_1$ , и является случайной величиной (см. рис. 3.5).

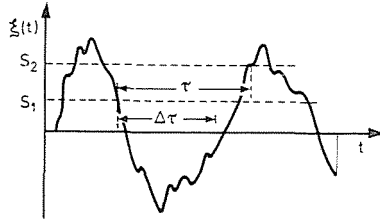


Рис. 3.5. Длительность интервала

#### 4. Вероятностные характеристики импульсного шума

Переходим к определению параметров вероятностных характеристик ИШ.

Для этого используем классическую теорию случайных процессов [1], по которой случайный процесс можно описать.

Если известна связь между вероятностными значениями случайной функции при двух и более моментах времени (или  $n$ -мерная функция распределения случайного процесса и его производной в совпадающий момент времени  $t$ )

$$W_n(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, t_1, t_2, \dots, t_n),$$

то вероятностные свойства случайного процесса (случайной функции) можно охарактеризовать с помощью  $n$ -мерной функции распределения и тем точнее, чем больше  $n$ . Для определения параметров вероятностных характеристик по классической теории воспользуемся работой Б. Р. Левина «Теоретические основы статистической радиотехники».

##### 4.1. Вероятность пересечения уровня

Вероятность пересечения уровня  $S=x$  снизу-вверх в достаточно малом интервале времени  $\Delta t$  совпадает с вероятностью неравенств

$$x_0 - \Delta x < \xi(t) < x_0, \quad \frac{d\xi(t)}{dt} > 0;$$

тогда

$$\mathbb{P}\left\{x_0 - \Delta x < \xi(t) < x_0; \frac{d\xi(t)}{dt} > 0\right\} = \int_0^x \int_{x_0 - \Delta x}^{x_0} W_2(x, y, t) dx dy, \quad (4.1)$$

где  $W_2(x, y, t)$  — двумерная функция распределения  $\xi(t)$  и  $\frac{d\xi(t)}{dt}$  в совпадающий момент времени.

При достаточно малом  $\Delta t$  внутренний интеграл можно заменить выражением

$$W_2(x_0, y, t)\Delta x = W_2(x_0, y, t)y\Delta t, \quad (4.2)$$

тогда .

$$\mathbb{P}\left\{x_0 - \Delta x < \zeta(t) < x_0; \frac{d\zeta(t)}{dt} > 0\right\} = \Delta t \int_0^x y W_2(x_0, y, t) dy = \vartheta_1(x_0, t)\Delta t,$$

где

$$\vartheta_1(x_0, t) = \int_0^x y W_2(x_0, y, t) dy. \quad (4.3)$$

Рассмотрим теперь интервал времени конечной длины  $T$  и разобьем на  $N$  одинаковых и неперекрывающихся между собой малых интервалов, так что  $T = \sum_{i=1}^{N-T} \Delta t_i = N\Delta t$ .

Для каждого из указанных интервалов определим случайную величину  $v_i$ , где

- $$v_i = \begin{cases} 1. & \text{— Если на интервале } \Delta t_i \text{ пересекает уровень } x \text{ с} \\ & \text{положительной производной.} \\ 0. & \text{— Если не происходит такого пересечения.} \end{cases}$$

Предполагается, что  $\Delta t$  столь мало, что вероятностью более чем одного пересечения можно пренебречь. Т. к. вероятность того, что  $v_i = 1$ , определяется по формуле (4.2), то среднее значение  $M_1(x_0, t, T)$  числа пересечений с положительной производной уровня  $x = x_0$  на указанном интервале равно,

$$\begin{aligned} M_1(x_0, t, T) &= m_1\{v\} = m_1\{v_i\} = \\ &= \sum \mathbb{P}\left\{x_0 - \Delta x_i < \zeta(t) < x_0, \left(\frac{d\zeta(t)}{dt}\right)_{t=t_i} > 0\right\} = \\ &= \sum_{i=1}^N \vartheta_1(x_0, t_i)\Delta t_i, \end{aligned} \quad (4.4)$$

переходя к пределу при  $N \rightarrow \infty$

$$M_1(x_0, t, T) = \int_t^{t+T} \vartheta_1(x_0, t) dt. \quad (4.5)$$

Находим формулу для среднего числа пересечений уровня  $x = x_0$  с положительной производной в интервале  $(t, t + T)$  на единицу времени, т. е.

$$\lambda_1(x_0, t, T) = \frac{M_1(x_0, t, T)}{T} = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_0^x y W_2(x_0, y, t) dy dt. \quad (4.5')$$

Совершенно аналогично получается формула для среднего значения числа пересечений уровня  $x = x_0$  сверху-вниз (т. е. с отрицательной производной) в интервале  $(t, t + T)$

$$M_1^*(x_0, t, T) = \int_t^{t+T} \vartheta_1^*(x_0, t) dt, \quad (4.6)$$

где

$$\vartheta_1^*(x, t) = - \int_{-x}^0 y W_2(x, y, t) dy = \int_{-x}^0 |y| W_2(x, y, t) dy.$$

Однако, в силу четности по переменной  $y$ , совместного распределения процесса и его производной, в совпадающие моменты времени будет

$$\vartheta_1^*(x, t) = \int_0^x y W_2(x, y, t) dy = \vartheta_1(x, t).$$

Следовательно,

$$M_1^*(x_0, t, T) = M_1(x_0, t, T). \quad (4.7)$$

Заметим, что среднее число пересечений с заданным знаком производной (положительным или отрицательным) совпадает со средним числом выбросов случайного процесса.

#### 4.2. Дисперсия числа пересечений

Воспользуемся снова функцией числа пересечений и рассмотрим второй момент суммы

$$v = \sum_{i=1}^N v_i, \quad (4.8)$$

т. е.

$$m_2\{v\} = m_1\left\{\left(\sum_{i=1}^N v_i\right)^2\right\} = \sum_{i=1}^N m_1\{v_i^2\} + \sum_{i=1}^N \sum_{i=1}^N m_1\{v_i v_j\}. \quad (4.9)$$

$$i \neq j$$

Так как  $v_i$  принимает только два значения: единицу с вероятностью  $v_1(x_0, t_i)\Delta t_i$  и нуль с вероятностью  $1 - \vartheta_1(x_0, t_i)\Delta t_i$ , то

$$m_1\{v_i^2\} = \vartheta_1(x_0, t_i)\Delta t_i \quad (4.10)$$

и при  $i \neq j$

$$\begin{aligned} m_1\{v_i, v_j\} &= \mathbb{P}\{v_i = 1, v_j = 1\} = \\ &= \mathbb{P}\left\{x_0 - \Delta x_i < \zeta(t_i) < x_0, \left(\frac{d\zeta(t)}{dt}\right)_{t=t_i} > 0; \right. \\ &\quad \left. x_0 - \Delta x_j < \zeta(t) < x_0, \left(\frac{d\zeta(t)}{dt}\right)_{t=t_j} > 0\right\}. \end{aligned}$$

Отсюда получаем

$$\begin{aligned} m_1\{v_i, v_j\} &= \Delta t_i \Delta t_j \int_0^x \int_0^x y_1 y_2 W_4(x_0, y_1, x_0, y_2, t_i, t_j) dy_1 dy_2 = \\ &= \vartheta_2(x_0, x_0, t_i, t_j) \Delta t_i \Delta t_j, \end{aligned} \quad (4.10')$$

где

$$\vartheta_2(x_1, x_2, t_1, t_2) = \int_0^x \int_0^x y_1 y_2 W_4(x_1, y_1, x_2, y_2, t_1, t_2) dy_1 dy_2.$$

$W_4(x_1, y_1, x_2, y_2, t_1, t_2)$  — совместное распределение процесса и его производной в два момента времени.

Подставляя (4.10) и (4.10') в (4.9) и переходя к пределу при  $N \rightarrow \infty$  находим

$$m_2\{v\} = \int_t^{t+T} \vartheta_1(x_0, t) dt + \int_t^{t+T} \int_t^{t+T} \vartheta_2(x_0, x_0, t_1, t_2) dt_1 dt_2. \quad (4.11)$$

Дисперсия числа пересечений (с положительной производной) в интервале  $(t, t+T)$  равна

$$\mathbb{D}_1(x_0, t, T) = m_2\{v\} - m_1^2\{v\} \quad (4.12)$$

или

$$\mathbb{D}_1(x_0, t, T) = M_1(x_0, t, T) - M_1^2(x_0, t, T) + \int_t^{t+T} \int_t^{t+T} \vartheta_2(x_0, x_0, t_1, t_2) dt_1 dt_2.$$

Расчетные формулы параметров вероятностных характеристик, рассмотренные выше, позволяют при помощи классической теории

случайных процессов рассчитать некоторые вероятностные характеристики случайного процесса, однако этот расчет является очень сложным. Поэтому обычно параметры вероятностных характеристик определяются экспериментальным путем.

## 5. Экспериментальная система для исследования ИШ и некоторые предварительные результаты

5.1. Для анализа влияния ИШ на городском телефонном центре (ГТЦ) была использована экспериментальная установка, показанная на рис. 5.1.

Установка состоит из телефонного канала, микро ЭВМ, магнитофона, телевизора (TV — используется в качестве дисплея). В случае, когда в телефонном канале сигнал превышает фиксированный уровень (например — 10 дБ), микро ЭВМ включает магнитофон и производится запись на магнитную ленту ИШ, а также промежуток времени между окончанием предыдущей группы ИШ и началом следующей группы.

Затем эта запись ИШ подается на экран телевизора для исследования его структуры. Исследовались реализации ИШ, длительность которых была  $\leq 20,4$  мсек.

Наблюдения, проводимые на экране, показали, что, например, из 100 реализаций ИШ наиболее часто встречающиеся формы ИШ изображены на рис. 5.2.

Примерный график зависимости количества групп от числа импульсов представлен на рис. 5.3.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

Появление групп импульсов с количеством  $> 10 \div 15$  маловероятно ( $\approx 0,02\%$  см. рис. 9).

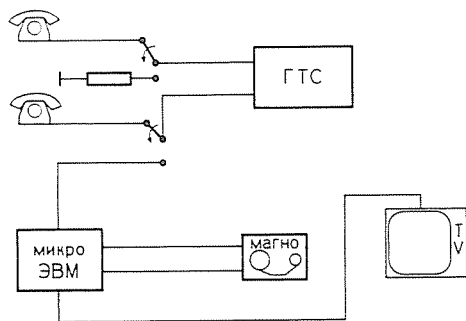


Рис. 5.1

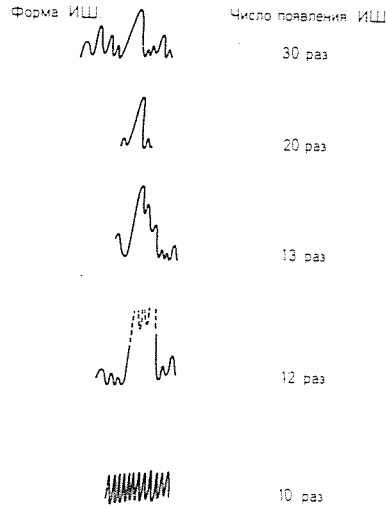


Рис. 5.2

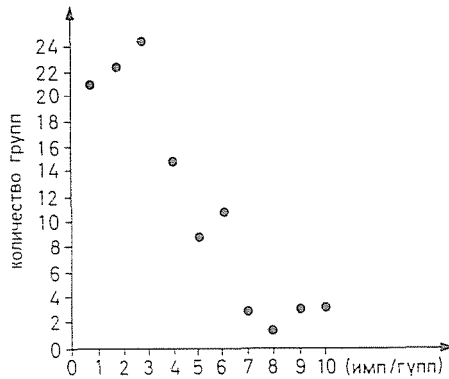


Рис. 5.3

Появление групп импульсов с количеством  $< 4$  примерно составляет 74%.

Наиболее встречающаяся форма импульсов  $\Theta_k$  показана на рис. 8 и количество их  $< 6$ .

Предлагаемая тонкая структура модели ИШ наиболее приемлемая при анализе ИШ городского телефонного центра и в телефонном канале.

Данная установка и программы в микро ЭВМ позволяют определить другие параметры ИШ такие как форма, интенсивность, длительность, количество в группе и число групп.



## Резюме

В данной работе рассматриваются наиболее влияющие на передачу данных источники импульсного шума. Приводится модель тонкой структуры ИШ, которая учитывает такие важные параметры импульсного шума, как количество импульсов в пачке, длительности между ними, число источников и т. д., которые до сих пор в основном не учитывались.

Приведены экспериментальные данные по исследованию импульсного шума в телефонном центре «Кристина».

## Литература

1. Левин, Б. Р.: Теоретические основы статистической радиотехники. Изд. Советское Радио, 1969.
2. Тихонов, В. И.: Статистическая Радиотехника. Изд. Советское Радио, 1966.
3. Гуров, В. С.: Основы передачи данных по проводным каналам связи. Изд. Связь, 1964.
4. Вольфбей, С. П.: Достоверность передачи дискретной информации при воздействии импульсных помех. Изд. Электросвязь, № 2, 1967.
5. WILLIAM, J.: Signal design and error rate of an impulse noise channel. IEEE Trans. Vol. 19, 1971.
6. BENETT, W. R.—DAVEY.: Data transmission. McGraw-Hill 1965.
7. RICHTER, W. J.: Numerical Evaluation of Rice's Integral Representation of the Probability Density Function for Poisson Impulsive Noise. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 56, No. 21974.
8. MILLER, J. H.—THOMAS, J. B.: The Detection of Signals in Impulsive Noise Modelled as a Mixture Process. IEEE Trans-Comm. May, 1976.
9. STUCK, B. W.—KLEINER, B.: A Statistical Analysis of Telephone Noise. BSTJ Sept. 1974.
10. Ершов, Л. А.: Помехоустойчивость когерентных приемников фазовой и частотной телеграфии при воздействии ИШ и белого шума. Том XXII, № 3. Радиоэлектроника, 1979.
11. ШВАРЦМАНА, В. О.: Каналы передачи данных. изд. «Связь» 1970.
12. FENNICK, J. H.: Amplitude distribution of telephone channel and model for impulse noise. BSTJ, december 1969.
13. GORDOS, G.—BARÁNYNÉ SÜLLE G.—PODOLETZ G.: Adatátvitelre használt távbeszélő csatornák zavarai. VME HEI 1976.
14. Корнеев, А. С.: Импульсные помехи в каналах ТЧ ГТС. Электросвязь, № 7, 1974.
15. PHILLIP, A., BELLO: A new Method for Calculating Probabilities of Errors Due to Impulsive Noise. IEEE Trans. Vol. 17, No. 3, June 1969.

Albin Salas PLUTIN

Instituto Superior Politecnico  
«José A. Echeverría»  
Marianao C. de la HABANA  
CUBA