

УДК 681.5.09

Д.В. Дятлов, А.В. Димаки, А.А. Светлаков

Программный имитатор промышленных электрических помех, воздействующих на датчики измеряемых величин и каналы связи между аппаратными средствами АСУ ТП

Предлагается программный генератор промышленных электрических помех, предназначенный для исследования воздействия промышленных аддитивных электрических шумов на измерительные каналы цифровых автоматизированных систем управления. Описываются алгоритмы моделирования основных составляющих таких помех, рассматриваются примеры шумовых сигналов, которые возможно имитировать с помощью данного генератора.

Ключевые слова: промышленные электрические помехи, импульсные шумы, генератор случайных чисел.

При исследовании алгоритмов контроля достоверности измеренных значений различных величин, характеризующих течение управляемого технологического процесса (ТП) и, в частности, цифровой фильтрации последовательностей данных значений, важно учитывать и те внешние факторы, которые будут влиять на реальную систему, использующую эти алгоритмы. Одним из наиболее значимых таких факторов, особенно в тех случаях, когда речь идет о системах промышленной автоматизации и телемеханизации, является электрический шум. Промышленная среда всегда насыщена различного рода электромагнитными полями, создающими наводки на электрические цепи электронных средств управления, в том числе и на измерительные каналы и каналы передачи данных.

В зависимости от характера воздействия шума на аппаратуру результирующий сигнал $\tilde{x}(t)$ может являться либо суммой полезного $x(t)$ сигнала и помехи $P(t)$, либо их произведением [1] и, соответственно, удовлетворять одному из следующих двух равенств:

$$\tilde{x}(t) = x(t) + P(t); \quad (1)$$

$$\tilde{x}(t) = x(t) \cdot P(t). \quad (2)$$

Здесь t – непрерывное время, а значениями сигналов $\tilde{x}(t)$ и $x(t)$ в момент времени t являются, соответственно, измеренное и истинное, неизвестное нам значение некоторой величины X , характеризующей режим реализации управляемого ТП. В первом случае помеха называется аддитивной, а во втором – мультипликативной. При этом результирующий сигнал $\tilde{x}(t)$ принято называть соответственно аддитивной и мультипликативной смесью полезного, т.е. истинного сигнала $x(t)$ и помехи $P(t)$. Как правило, аддитивные помехи являются следствием влияния электрических наводок на канал передачи информации, а мультипликативные – результатом влияния помех на параметры элементов канала, например на коэффициент усиления усилительного элемента.

Данная статья посвящена описанию «устройства» и программной реализации разработанного нами генератора промышленных помех, предназначенного для исследования алгоритмов контроля достоверности измеренных значений различных величин, используемых в математическом описании технологических процессов и алгоритмах управления данными процессами в рамках АСУ ТП. Описанный в ней алгоритм генерирования промышленных помех предназначен для получения помех первого типа, т.е. аддитивных помех. Однако, как будет видно из последующих рассмотрений, имея подобный алгоритм, можно без каких-либо значительных усилий получить и генератор промышленных помех второго типа, т.е. генератор мультипликативных промышленных помех.

Краткий анализ аддитивных промышленных помех. Как известно [1], аддитивные электрические помехи, воздействующие на аппаратуру, функционирующую в промышленных условиях, можно разделить на следующие три составляющие:

– Помехи с равномерно распределенным по всему диапазону частот спектром, называемые шумами типа «белого шума». Обуславливаются данные шумы флуктуационными процессами в электронных приборах (диодах, транзисторах, усилителях и т.п.), используемых в аппаратной части АСУ ТП.

– Шумы, сосредоточенные на коротких интервалах времени (импульсные шумы, трески). В качестве примеров подобных шумов можно привести помехи, вызываемые грозowymi разрядами, электросваркой, работой мощных электроприводов, контакторов и другими свойственными промышленной среде факторами.

– Шумы с сосредоточенными спектрами, например гармонические. Основной причиной появления шумов данного типа являются наводки от силовых цепей переменного тока и радиопередающей аппаратуры.

Не менее известно и то, что в реальных АСУ ТП на полезный сигнал $x(t)$ могут воздействовать все три перечисленных выше типа шумов и, таким образом, результирующий сигнал $\tilde{x}(t)$ во всех подобных случаях оказывается аддитивной смесью, описываемой равенством (1), в котором помеха $P(t)$ удовлетворяет соотношению вида

$$P(t) = n(t) + g(t) + s(t), \quad (3)$$

где $n(t)$ – флуктуационный шум; $g(t)$ – импульсный шум; $s(t)$ – шум с ограниченным в достаточно узких пределах спектральным составом, границы которого нам известны.

Всюду далее будем считать время t дискретным и при этом предполагать, что шаг его дискретизации, т.е. расстояние между его соседними моментами, равно одному и тому же достаточно малому числу $\Delta t > 0$. Необходимость и целесообразность перехода к использованию дискретного времени обусловлены тем фактом, что исследованию подлежат цифровые системы управления, и если в качестве шага времени Δt выбрать значение, меньшее периода квантования аналого-цифрового преобразователя системы управления, то воздействие на такую систему помех, получаемых с помощью дискретного генератора, будет аналогичным воздействию помех, имеющих непрерывную природу. Вместо условных обозначений $n(t)$, $g(t)$ и $s(t)$ будем использовать более простые обозначения n_t , g_t и s_t , полагая при этом, что имеют место равенства

$$\text{а) } n_t = n(t); \quad \text{б) } g_t = g(t) \quad \text{и} \quad \text{в) } s_t = s(t), \quad (4)$$

а вместо равенств (1), (2) рассматривать соответственно равенства вида

$$\tilde{x}_t = x_t + P_t; \quad (5)$$

$$P_t = n_t + g_t + s_t, \quad (6)$$

в которых время t принимает целочисленные значения: $t = 0, 1, 2, \dots$

Укрупненное описание алгоритма генерирования промышленных помех. Рассмотрим алгоритмическую реализацию каждой из описанных в предыдущем разделе составляющих промышленных помех.

Генератор значений n_t . Флуктуационный («белый») шум в цифровой системе можно рассматривать как последовательность случайных чисел (его значений n_t) с нормальным (или каким-либо иным, например, равномерным, треугольным и др.) законом распределения, удовлетворяющих следующему соотношению:

$$n_t \sim N(m, \sigma^2).$$

Данное соотношение означает, что последовательность чисел n_t подчиняется нормальному закону распределения с математическим ожиданием и дисперсией, равными m и σ^2 соответственно.

Ядром данного генератора является алгоритм, позволяющий получать случайные числа r – значения случайной величины R , равномерно распределенной в интервале $I_r = [0, 1]$.

Как известно из теории вероятностей [3], плотность $f(r)$ и функция $F(r)$ распределения вероятностей данной величины определяются следующими равенствами:

$$\text{а) } f(r) = 1 \quad \text{и} \quad \text{б) } F(r) = \int_0^r f(r) dr = r, \quad (7)$$

заданными на интервале I_r . Ее математическое ожидание (среднее значение) m_r и дисперсия σ_r^2 вычисляются в соответствии с равенствами

$$\text{а) } m_r = \int_0^1 r \cdot f(r) dr = \frac{1}{2} \quad \text{и} \quad \text{б) } \sigma_r^2 = \int_0^1 (r - m_r)^2 f(r) dr = \frac{1}{12}. \quad (8)$$

Нетрудно убедиться в том, что, имея подобный алгоритм, можно генерировать значения x случайной величины X , равномерно распределенной в интервале $I_{ab} = [a, b]$, где a и b – некоторые вещественные числа такие, что $a < b$. Для получения значений x необходимо и достаточно воспользоваться линейным преобразованием вида

$$x = a + (b - a)r. \quad (9)$$

Данное преобразование является взаимно однозначным преобразованием, ставящим в соответствие каждому фиксированному (заданному) значению $r_0 \in I_r$ единственное значение $x_0 \in I_{ab}$. Обратным к нему преобразованием является линейное преобразование, определяемое равенством вида

$$r = (x - a)/(b - a). \quad (10)$$

Плотность $f(x)$ и функция распределения вероятностей случайной величины X определяются равенствами

$$\text{а) } f(x) = \frac{1}{b - a} \quad \text{и} \quad \text{б) } F(x) = (x - a)/(b - a), \quad (11)$$

заданными на интервале I_{ab} , а ее среднее значение m_x и дисперсия σ_x^2 вычисляется согласно равенствам

$$\text{а) } m_x = \frac{1}{2}(a + b) \quad \text{и} \quad \text{б) } \sigma_x^2 = \frac{(b - a)^2}{12}. \quad (12)$$

В частности, если в (9) – (12) положить $a = -\Delta$, а $b = \Delta$, где Δ – некоторое ограниченное положительное число, то значения x случайной величины X будут определяться равенством

$$x = -\Delta + 2\Delta \cdot r. \quad (13)$$

Как видно из данного равенства, при $r = 0$ и $r = 1$ величина X принимает соответственно значения $x = -\Delta$ и $x = \Delta$, а при любом другом $r \in I_r$ ее значение x , соответствующее данному значению r , удовлетворяет строгим неравенствам $-\Delta < x < \Delta$. Отсюда и из равенств (7) вытекает, что величина X является равномерно распределенной случайной величиной, а ее плотность распределения $f(x)$ и функция $F(x)$ распределения вероятностей определяются следующими простыми равенствами:

$$\text{а) } f(x) = 1/2\Delta \quad \text{и} \quad \text{б) } F(x) = \frac{(x + \Delta)}{2\Delta}, \quad (14)$$

заданными на интервале $I_\Delta = [-\Delta, \Delta]$. Математическое ожидание m_x и дисперсия σ_x^2 данной величины вычисляются согласно равенствам вида

$$\text{а) } m_x = 0 \quad \text{и} \quad \text{б) } \sigma_x^2 = \frac{\Delta^2}{3}. \quad (15)$$

Таким образом, приведенные выше результаты позволяют вполне обоснованно заключить, что, имея вычислительный алгоритм, генерирующий равномерно распределенные в интервале I_r случайные числа r_t и реализующую его компьютерную программу, можно генерировать значения x_t случайной величины X , равномерно распределенные в любом ограниченном интервале I_{ab} , в том числе и в интервале I_Δ . Для получения данных чисел необходимо и достаточно:

- 1) Задать значения границ a и b в (9) или Δ в (13).
- 2) Обратиться к программе, реализующей алгоритм генерирования случайных чисел r_t , равномерно распределенных в интервале I_r .
- 3) Преобразовать полученное на выходе программы число r_t в значение x_t случайной величины X согласно равенству (9) или (13).
- 4) Вычислить необходимое нам значение $n_t = x_t$. Вполне очевидно, что, выполняя данную последовательность операций при каждом значении $t = 0, 1, 2, \dots$, мы будем иметь последовательность случайных чисел n_0, n_1, n_2, \dots , равномерно распределенных в интервале I_{ab} или I_Δ , средние значения m_t и дисперсии σ_t^2 которых определяются равенствами (12) или (15) соответственно.

Покажем теперь, что, имея алгоритм, позволяющий генерировать значения r_t случайной величины R , равномерно распределенной в интервале I_r , можно предложить достаточно универсальный

вычислительный алгоритм, позволяющий генерировать значения, если не всех, то очень многих случайных величин, наиболее часто встречающихся в различных практических приложениях и имеющих самые разнообразные функции распределения.

Для получения такого алгоритма необходимо и достаточно воспользоваться давно и широко известным в теории вероятностей и математической статистике методом генерирования значений непрерывных случайных величин, основанным на использовании обратных функций [2, 3]. Сущность данного метода достаточно проста и заключается в следующем.

Пусть X – некоторая непрерывная случайная величина, значения x которой принадлежат интервалу $I_{ab} = [a, b]$, где a и b – вещественные числа, такие, что $a < b$, а $f(x)$ и $F(x)$ – соответственно плотность и функция распределения вероятностей величины X . В соответствии с определениями функций $f(x)$ и $F(x)$, принятыми в теории вероятностей и математической статистике, имеем следующие два равенства:

$$\text{а) } F(x) = P\{X \leq x\} \quad \text{и} \quad \text{б) } F(x) = \int_a^x f(\tau) d\tau, \quad (16)$$

где $P\{X \leq x\}$ – вероятность события, состоящего в том, что значение случайной величины X не превосходит значение x , а τ – переменная интегрирования, т.е. вспомогательная переменная, принимающая значения из интервала $I_x = [a, x] \subset I_{ab}$.

Так как плотность $f(x)$ по определению является неотрицательной функцией, и соответственно удовлетворяет неравенству $f(x) \geq 0$ при любом $x \in I_{ab}$, то функция распределения $F(x)$ является непрерывной и монотонно возрастающей, и причем такой, что значения $F(a)$ и $F(b)$ удовлетворяют следующим равенствам:

$$\text{а) } F(a) = 0 \quad \text{и} \quad \text{б) } F(b) = 1. \quad (17)$$

Как вытекает из определения функции $F(x)$ и её монотонности, любому заданному значению $x = x_0 \in I_{ab}$ она ставит в соответствие единственное значение $F_0 = F(x_0) = P\{X \leq x_0\} \in I_p = [0, 1]$, и, таким образом, ее использование позволяет решать так называемую прямую задачу, т.е. вычислять значение $F_0(x)$ функции $F(x)$ по заданному значению x_0 случайной величины X . Из определения функции $F(x)$ и равенства (16) вытекает, что значение F_0 определяется равенством

$$F_0 = \int_a^{x_0} f(\tau) d\tau, \quad (18)$$

а его вычисление, соответственно, сводится к численному интегрированию плотности $f(x)$ по интервалу $I_{x_0} = [a, x_0]$.

Не меньшие возможности доставляет использование функции $F(x)$ и при решении так называемой обратной задачи, т.е. при вычислении значения x_1 случайной величины X , соответствующего заданному значению $F_1 = F(x_1) = P\{X \leq x_1\} \in I_p = [0, 1]$. Как видно из (16б), при любом заданном значении $F_1 \in I_p$ данное равенство оказывается уравнением относительно соответствующего ему значения x_1 . Непосредственным вычислением нетрудно убедиться в том, что данное уравнение имеет следующие пять характерных особенностей, весьма существенных с точки зрения вычисления его решения:

1) Оно оказывается линейным тогда и только тогда, когда X является равномерно распределенной случайной величиной, т.е. в единственном случае, когда ее плотность $f(x)$ удовлетворяет равенству вида

$$f(x) = \frac{1}{b-a}. \quad (19)$$

Его решение x_1 в этом случае определяется следующим простым равенством:

$$x_1 = a + (b-a)F_1 \quad (20)$$

и, таким образом, при любом заданном значении $F_1 \in I_p$ может быть вычислено аналитически.

2) Во всех случаях, когда X оказывается такой, что ее плотность $f(x)$ удовлетворяет равенству вида

$$f(x) = c_0 + c_1x + cx^2 + \dots + c_nx^n, \quad (21)$$

т.е. является алгебраическим полиномом n -го порядка, где n – некоторое ограниченное натуральное число, а $c_i, i = \overline{0, n}$ – его коэффициенты – некоторые заданные вещественные числа, оно является алгебраическим уравнением $(n+1)$ -го порядка, имеющим вид

$$\frac{c_n}{(n+1)}(x_1 - a)^{n+1} + \frac{c_{(n-1)}}{n}(x_1 - a)^n + \dots + c_0(x_1 - a) - F_1 = 0. \quad (22)$$

Для вычисления его решения x_1 можно воспользоваться любым из многих известных в алгебре вычислительных методов, предназначенных для решения алгебраических уравнений ограниченного порядка n .

3) Во всех других случаях, когда плотность $f(x)$ случайной величины X оказывается некоторой трансцендентной функцией, например гауссоидой, экспонентой, косинусоидой и т.п., данное уравнение является соответственно нелинейным трансцендентным уравнением, решение которого аналитически в принципе невозможно, и, таким образом, для вычисления его решения x_1 необходимо использовать тот или иной численный итерационный метод решения нелинейных скалярных уравнений. Как известно из вычислительной математики и численных методов решения нелинейных скалярных уравнений [4], в настоящее время существует достаточно обширное множество методов подобного назначения, использование каждого из которых позволяет решить данное уравнение.

4) Интервал I_p возможных значений функции $F(x)$ является ограниченным числовым множеством, нижняя $F(a)$ и верхняя $F(b)$ границы которого заданы абсолютно точно и, как уже отмечено выше, равны соответственно 0 и 1, а его длина $|I_p| = 1,0$. Поэтому представляется достаточно оправданным использовать для решения уравнения (18) известный в математическом анализе и вычислительной математике метод дихотомии [4]. Еще ряд соображений и факторов, оправдывающих целесообразность использования метода дихотомии в нашем случае, мы рассмотрим в отдельной работе, посвященной программной и аппаратной реализациям генератора.

5) Если функция $F(x)$ является не только непрерывной, но и дифференцируемой функцией, то, как известно из теории вероятностей и как нетрудно убедиться непосредственными вычислениями, при дифференцировании обеих частей равенства (16) по x ее производная $\frac{dF(x)}{dx}$ определяется равенством

$$\frac{dF(x)}{dx} = f(x). \quad (23)$$

Данная особенность уравнения (16) предопределяет целесообразность применения для его решения методов последовательной линеаризации, основанных на использовании производных нелинейных функций, и, в частности, широко известного метода Ньютона (метода касательных).

Генератор значений g_t . Пример вида графика импульсной помехи приведен на рис. 1. На промежутках времени длительностью θ , отстоящих друг от друга на время τ , на систему воздействует импульсная помеха, состоящая из серии импульсов амплитуды p_t , длительности t_u и промежутком времени между отдельными импульсами серии t_n [5].

Величины p_t , t_u и t_n – случайные, с определенным законом распределения (в нашем случае закон распределения – нормальный, но он может быть любым [2]):

$$\begin{cases} p_t = 0, & \text{если } t \notin \theta; \\ p_t \sim N(m_p, \sigma_p^2), & \text{если } t \in \theta; \end{cases} \quad (24)$$

$$t_n \sim N(m_{t_n}, \sigma_{t_n}^2); \quad (25)$$

$$t_u \sim N(m_{t_u}, \sigma_{t_u}^2), \quad (26)$$

где m_{t_n} – математическое ожидание величины промежутка между импульсами одной серии; σ_{t_n} – дисперсия величины промежутка между импульсами одной серии; m_{t_u} – математическое ожидание ширины импульса; $\sigma_{t_u}^2$ – дисперсия ширины импульса.

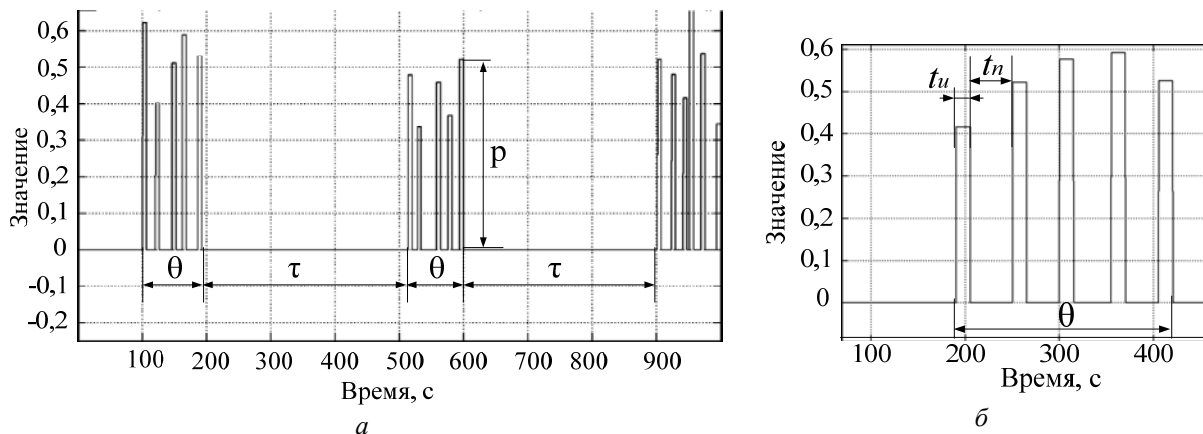


Рис. 1. Импульсная помеха

Величины промежутков времени θ и τ также являются случайными значениями с некоторым законом распределения. Например, если предположить, что величины θ и τ подчиняются нормальному закону распределения, можно записать:

$$\theta \sim N(m_\theta, \sigma_\theta^2), \quad (27)$$

$$\tau \sim N(m_\tau, \sigma_\tau^2), \quad (28)$$

где m_θ – математическое ожидание промежутка времени воздействия импульсной помехи; m_τ – математическое ожидание промежутка времени между импульсными помехами; σ_θ – дисперсия величины промежутка времени воздействия импульсной помехи; σ_τ – дисперсия величины промежутка времени между импульсными помехами.

Таким образом, в зависимости от сочетания значений параметров m_{t_n} , σ_{t_n} , m_{t_u} , σ_{t_u} , m_θ , σ_θ , m_τ и σ_τ возможно моделировать следующие виды импульсной помехи:

– **Одиночный дельта-импульс** (рис. 2). Математическое ожидание m_θ длины промежутка времени θ в данном случае задается равным одному дискретному отсчету, а его дисперсия σ_θ^2 – нулевой ($m_\theta = 1$; $\sigma_\theta^2 = 0$), вследствие чего длительность воздействия импульсной помехи θ становится величиной детерминированной и всегда равной одному дискретному отсчету.

– **Последовательность дельта-импульсов** (рис. 3). В течение промежутков времени воздействия импульсной помехи θ происходит серия резких скачков измеряемой величины, подобных дельта-импульсам. Для получения сигнала такого вида математическое ожидание длительности импульса m_{t_u} задается равным одному дискретному отсчету, дисперсия длительности импульса $\sigma_{t_u}^2$ – нулевой ($m_{t_u} = 1$, $\sigma_{t_u}^2 = 0$), а математические ожидания промежутков времени θ , τ и времени паузы между импульсами t_n выбираются так, чтобы выполнялось условие $m_\tau > m_\theta > (m_{t_n} + 1) > 1$, которое означает, что за время воздействия помехи θ возможно появление по крайней мере двух импульсов единичной длительности.

– **Одиночный прямоугольный импульс**, появляющийся через интервалы времени (рис. 4). Для получения сигнала подобного вида требуются следующие настройки: длительность импульса t_u должна удовлетворять условию $m_{t_u} > 1$, а промежуток времени воздействия импульсной помехи

θ должен быть равен длительности импульса t_u . Для выполнения второго условия при обращении к программе требуется задать время θ заведомо меньшим времени t_u , что обеспечивается значениями параметров $m_\theta=1$ и $\sigma_\theta=0$ (алгоритм автоматически приравнивает время воздействия импульсной помехи θ к длительности импульса t_u , если оказывается, что $t_u < \theta$).

– **Последовательность прямоугольных импульсов** (рис. 5) получается при значениях параметров, удовлетворяющих условиям $m_{t_u} > 1$, $m_\theta > m_{t_u} + m_{t_u}$, обеспечивающим возможность появления более одного прямоугольного импульса за время воздействия импульсной помехи θ .

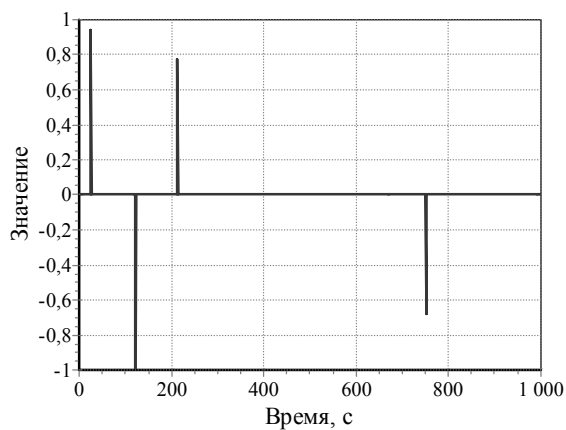


Рис. 2. Одиночные дельта-импульсы

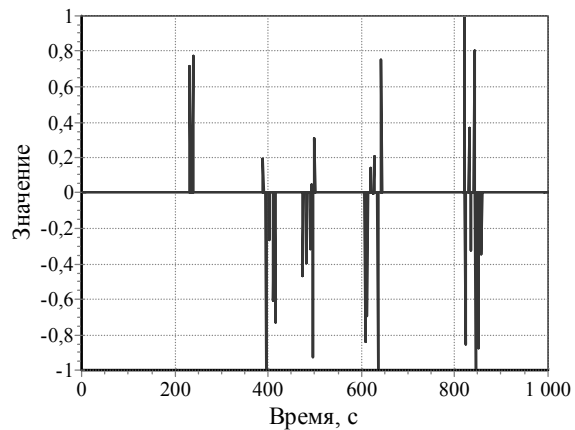


Рис. 3. Последовательность дельта-импульсов

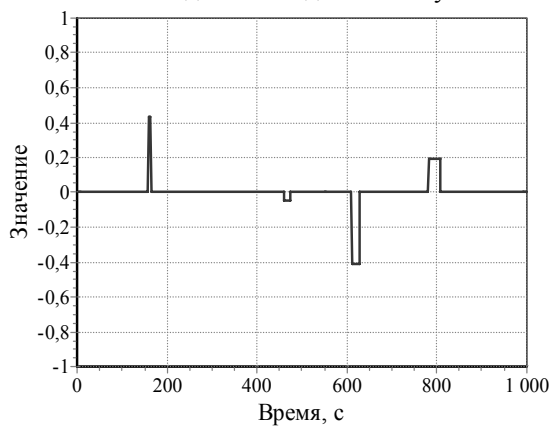


Рис. 4. Одиночные прямоугольные импульсы

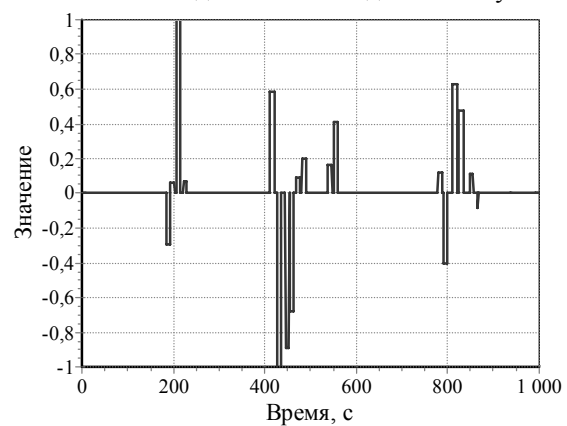


Рис. 5. Серии прямоугольных импульсов

Помехи с ограниченным и точно определенным спектральным составом. Как указано выше, основными источниками помех данного вида являются наводки от силовых цепей и радиопередающей аппаратуры. Описываются такие помехи выражением вида

$$h_t = \sum_{i=1}^m A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (29)$$

где m – количество гармонических составляющих; A_i – амплитуда i -й гармоники; ω_i – частота i -й гармоники; φ_i – начальная фаза i -й гармоники. Их характерными особенностями являются постоянный или слабо изменяющийся спектральный состав и малое значение числа гармоник m .

Программная реализация генератора промышленных электрических помех. Вышеописанный алгоритм реализован программно в двух вариантах:

– **Отдельное приложение.** Представляет собой исполняемый модуль, сохраняющий результат работы в файл данных формата *.mat*, совместимый с пакетом MatLab. Предусмотрено моделирование всех трёх вышеописанных составляющих шума.

– **S-функция Simulink** – библиотека DLL для пакета прикладных программ MatLab. Функция вызывается с параметрами, перечисляемыми в следующем порядке:

1. Математическое ожидание m_θ промежутка времени θ воздействия импульсной помехи.
2. Дисперсия σ_θ^2 промежутка времени θ .
3. Математическое ожидание m_τ промежутка времени τ отсутствия импульсной помехи.
4. Дисперсия σ_τ^2 промежутка времени τ .
5. Математическое ожидание m_{t_u} ширины импульса t_u .
6. Дисперсия $\sigma_{t_u}^2$ ширины импульса t_u .
7. Математическое ожидание m_{t_n} величины паузы между импульсами одной серии t_n .
8. Дисперсия $\sigma_{t_n}^2$ величины паузы между импульсами одной серии t_n .
9. Математическое ожидание m_p амплитуды значения импульса p .
10. Дисперсия значения амплитуды импульса p .

В S-функции реализована только импульсная составляющая шума, так как остальные составляющие могут быть смоделированы с помощью стандартных компонентов среды Simulink (рис. 6). Пример осциллограммы приведен на рис. 7.

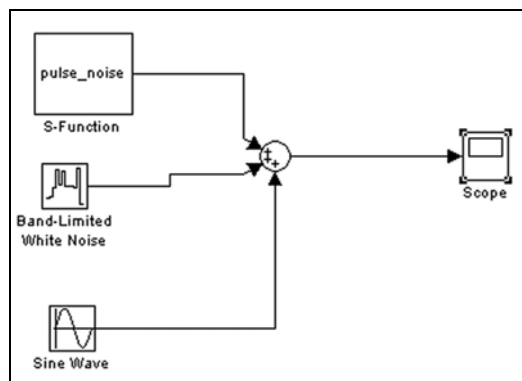


Рис. 6. Модель шума с тремя составляющими

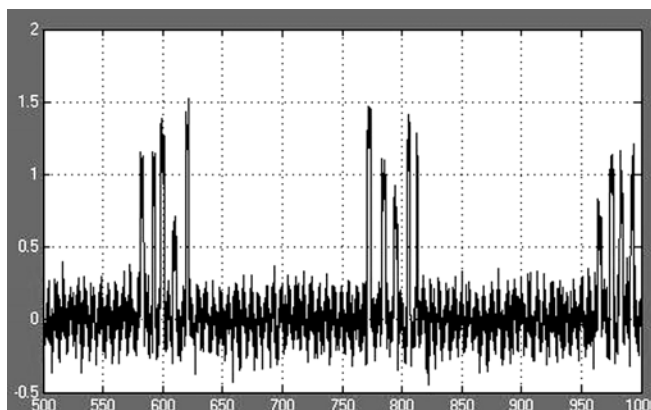


Рис. 7. Осциллограмма шума, состоящего из трех компонент

Заключение. Описанный имитатор промышленных электрических помех представляет собой достаточно гибкий инструмент, позволяющий моделировать различные варианты шумовых сигналов, воздействующих на каналы передачи информации в АСУ ТП в промышленных условиях, и исследовать работоспособность и эффективность алгоритмов обеспечения достоверности данных под влиянием помех.

Литература

1. Пасковатый О.И. Электрические помехи в системах промышленной автоматики. – М.: Энергия, 1973. – 104 с.
2. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. – М.: Советское радио, 1971. – 328 с.
3. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: Наука, 2001. – 295 с.
4. Самарский А.А. Численные методы: учеб. пособие для вузов / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1989. – 432 с.
5. Тихонов В.В. Выбросы траекторий случайных процессов / В.В. Тихонов, В.И. Хищенко. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

Дятлов Дмитрий Вадимович

Аспирант каф. электронных средств автоматизации и управления (ЭСАУ) ТУСУРа

Тел.: 8-913-119-39-01

Эл. почта: dyatlov@ms.tusur.ru

Димаки Андрей Викторович

Канд. техн. наук, доцент каф. ЭСАУ

Тел.: 8-913-848-02-74

Эл. почта: dav18@yandex.ru

Светлаков Анатолий Антонович

Д-р техн. наук, профессор каф. ЭСАУ

Тел.: 382-2-900-173

Эл. почта: iit@fet.tusur.ru

Dyatlov D.V., Dimaki A.V., Svetlakov A.A.

The software simulator of industrial electrical noises affecting sensors and communication lines of process control systems

The software simulator of electrical additive industrial noises is offered. This generator is intended for the research of the influence of additive industrial noises on the measuring channels of the digital control systems. The basic noise components modelling algorithms are described here. Also the examples of the noise signals that can be modelled with this generator are regarded here.

Keywords: industrial electrical noises, pulse noises, random numbers generator.