

ОЦЕНКА ПЕРЕМЕЖАЮЩИХСЯ ОТКАЗОВ ПОРОГОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СХЕМАХ ШАХТНОЙ АВТОМАТИКИ

Е. Я. Иванченко, А. М. Кащич

Харьков

Большинство датчиков систем шахтной автоматики представляют собой устройства, состоящие из чувствительного органа и усилителя низкой частоты с пороговым элементом на выходе. Пороговые элементы широко применяются также в системах шахтной телемеханики.

В связи с тем, что в ряде случаев не применяются меры по устранению случайных воздействий в виде помех или колебаний напряжения питания, последние могут вызвать перемежающиеся отказы пороговых элементов, т. е. временное несрабатывание или же ложное срабатывание.

Так, на пороговые элементы устройств автоматики, как правило, совместно с сигналом поступает шум, вызывающий ложные срабатывания последних при выбросах за их порог срабатывания. При этом безынерционные пороговые устройства ложно срабатывают при любом выбросе шума, а инерционные — только при выбросах шума, длительность которых больше инерционности устройства δ . При выбросах напряжения питания за нижнюю допустимую границу в пороговых устройствах могут иметь место перемеживающиеся отказы в виде временного несрабатывания.

В этой связи при оценке надежности устройств шахтной автоматики с пороговыми элементами необходимо учитывать возможность появления в них перемеживающихся отказов, порой не менее опасных, чем окончательные. Трудность обнаружения делает их особенно опасными в системах телеуправления. Для количественного учета этих отказов необходимо знать зависимость вероятности перемеживающихся отказов от статистических характеристик случайного воздействия.

Наиболее часто встречающимися случайными процессами, воздействующими на элементы автоматики, являются различные линейные преобразования стационарного нормального случайного процесса.

Пусть на вход порогового элемента после усилителя поступает шум, представляющий нормальный стационарный процесс (рис. 1). В том случае, когда порог срабатывания элемента достаточно высок в сравнении с уровнем шума, т. е. для устройств, представляющих практический интерес, вероятность выброса можно считать достаточно малой, а поток выбросов — потоком Пуассона. При этом вероятность отсутствия ложных срабатываний порогового устройства за время t определяется по формуле

$$P(t) = e^{-Nt}, \quad (1)$$

где N — среднее число выбросов случайного процесса в единицу времени.

Для стационарного случайного процесса, имеющего нулевое среднее значение и нормированную функцию корреляции $R(\tau)$, среднее число выбросов в единицу времени равно

$$N = \frac{\sqrt{-R_0''}}{2\pi} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{C}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где C — порог срабатывания порогового устройства;
 σ^2 — дисперсия случайного процесса,

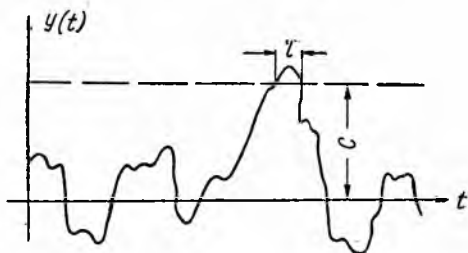


Рис. 1. Реализация нормального стационарного процесса.

$$R_0'' = \left. \frac{d^2 R(\tau)}{d\tau^2} \right|_{\tau=0}.$$

Корреляционная функция случайного процесса связана с его спектральной плотностью, т. е. определяет его частотные свойства.

Иногда спектральная плотность шума определяется частотной характеристикой усилителя. Для этого случая с целью удобства практического использования в табл. 1 приведены формулы для

определения среднего числа выбросов в единицу времени для некоторых типовых спектральных плотностей (частотных характеристик). Среднее число выбросов в единицу времени

$$N = f_s \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{C}{\sigma} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

В тех случаях, когда спектральная плотность шума не определяется частотной характеристикой усилителя, следует определять корреляционную функцию и дисперсию шума и пользоваться для определения N формулой (2). Последние могут быть определены также путем обработки одной или нескольких реализаций шума на вычислительной машине.

Для удобства полученную в графическом виде корреляционную функцию обычно аппроксимируют какой-либо аналитической функцией. При выборе такой функции следует помнить, что (2), (3) справедливы для дифференцируемых случайных процессов. Одно из условий дифференцируемости случайного процесса заключается в существовании второй производной от корреляционной функции. В данном случае необходимо аппроксимировать корреляционную функцию такой функцией $R(\tau)$, чтобы

$$0 < -R_0'' < +\infty.$$

Спектральная плотность $S(f)$	Графическое изображение $S(f)$	f_s
$S(f) \begin{cases} S_0 & 0 \leq f \leq \Delta f \\ 0 & f < 0 > \Delta f \end{cases}$		$f_s = \frac{\Delta f}{\sqrt{3}}$
$S(f) \begin{cases} S_0 & f - f_0 \leq \frac{\Delta f}{2} \\ 0 & f - f_0 > \frac{\Delta f}{2} \end{cases}$		$f_s = \sqrt{f_0^2 + \frac{\Delta f^2}{12}}$
Спектральная плотность в виде кривой одиночного колебательного контура		$f_s = \sqrt{f_0^2 + \left(\frac{\Delta f}{2} \right)^2}$

В табл. 2 представлены некоторые виды таких корреляционных функций и их вторые производные.

Для определения вероятности устойчивой работы инерционного порогового устройства по (1) необходимо знать среднюю частоту выбросов, длительность которых больше σ . Согласно (3), средняя частота импульсов, усеченных на δ , определяется формулой

$$N(\delta) = N \int_{\delta}^{\infty} d(\tau) d\tau, \quad (4)$$

где $d(\tau)$ — плотность вероятности длительности выброса.

Как показано в [2], в большинстве случаев $d(\tau)$ подчиняется закону Релея

$$d(\tau) = -\frac{1}{4} \left(\frac{C}{\sigma} \right)^2 R_0^* \tau \exp \left[\frac{1}{8} \left(\frac{C}{\sigma} \right)^2 R_0^* \tau^2 \right]. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4) и произведя интегрирование, получим

$$N(\delta) = Nk(\delta); \quad (6)$$

$$k(\delta) = e^{-\frac{3^2 R_0^* \left(\frac{C}{\sigma} \right)^2}{8}} = e^{-\frac{\pi^2 f_s^2 \left(\frac{C}{\sigma} \right)^2}{2}}. \quad (7)$$

Здесь $k(\delta)$ — коэффициент, зависящий от инерционности порогового устройства и характера шума.

Перемежающиеся отказы некоторых пороговых устройств происходят в моменты совпадений нескольких событий. Так, ложное срабатывание схемы, состоящей из двух датчиков с безинерционными пороговыми элементами на выходе, работающих на схему совпадения (рис. 2), будет иметь место только в том случае, если одновременно ложно срабатывают оба датчика.

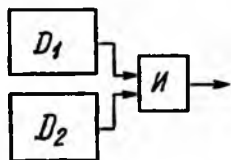


Рис. 2. Схема резервированного датчика.

Несрабатывание триггера со счетным входом бывает при импульсе на входе и выбросе напряжения питания за нижнюю допустимую границу. Вероятность устойчивой работы в этих случаях определяется частотой следования импульсов потока совпадений по (1).

Средняя частота совпадений двух импульсов из трех импульсных потоков при одинаковой средней частоте и длительности импульсов в потоках и при условии $\delta = 0$ определяется по формуле (3)

$$N_{2,3} = 3N^2\tau(2 - N\tau). \quad (8)$$

Средняя частота импульсов потока совпадений для двух импульсных потоков при $\delta = 0$

$$N_{22} = N_1 N_2 (\bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2), \quad (9)$$

где $N_1 \bar{\tau}_1$; $N_2 \bar{\tau}_2$ — средняя частота и длительность импульсов первого и второго потока соответственно.

При $N_1 = N_2 = N$; $\bar{\tau}_1 = \bar{\tau}_2 = \bar{\tau}$;

$$N_{22} = 2N^2 \bar{\tau}. \quad (10)$$

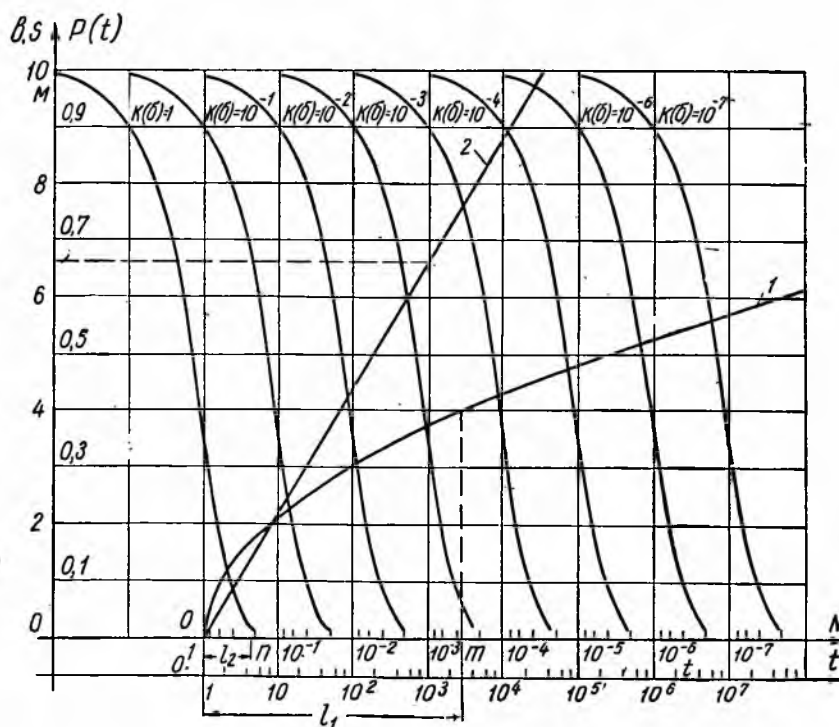


Рис. 3. Номограмма для определения вероятности устойчивости работ пороговых устройств.

При условии (5) средняя длительность выброса нормального стационарного шума определяется формулой

$$\bar{\tau} \approx \frac{5}{\frac{C}{\sigma} \sqrt{-R_0}}. \quad (11)$$

На рис. 3 представлена номограмма определения вероятности устойчивой работы пороговых устройств и определения величины инерционности, необходимой для достижения заданной вероятности устойчивой работы. С этой целью на оси ординат (левая шкала) откладываем $b = \frac{C}{\sigma}$ и по кривой 1 на оси абсцисс определяем отрезок l_1 (1), в логарифмическом масштабе представляющий величину $\exp \left[-\frac{b^2}{2} \right]$.

Затем на оси абсцисс откладываем отрезок $l_2 = \lg f_s = \lg \frac{\sqrt{-R_0}}{2\pi}$ и алгебраически суммируем с l_1 . Отрезок $l = l_1 + l_2$ представляет в логарифмическом масштабе среднюю частоту выброса в единицу времени N .

После этого, предварительно вычислив величину $S = \frac{\delta b \sqrt{-R_0}}{2} = \pi \delta b f_s$ и отложив ее на оси ординат (левая шкала), по кривой 1 на оси абсцисс находим отрезок l_3 , представляющий в логарифмическом масштабе $\kappa(\delta)$. Для определения вероятности устойчивой работы порогового устройства за время t на оси абсцисс (нижняя шкала) откладываем отрезок $l_0 = \lg t$; с конца этого отрезка в обратном направлении наносим отрезок l ; при абсциссе $l_0 - l$ по кривой с соответствующим значением $\kappa(\delta)$ определяем вероятность устойчивой работы устройства $P(t)$.

При определении инерционности, необходимой для обеспечения требуемой вероятности устойчивой работы, при абсциссе $l_0 - l$ узнаем зависимость $P(t) = f(N, t)$, соответствующую такому значению $\kappa(\delta)$ при котором обеспечивается требуемая вероятность безотказной работы; $\kappa(\delta)$ откладываем на оси абсцисс, а по прямой 2 определяем величину M . Требуемое значение инерционности узнаем по формуле

$$\delta \geq \frac{\sqrt{2M}}{\pi b f_s} = \frac{2}{b} \sqrt{\frac{2M}{-R_0}}.$$

В качестве примера оценим вероятность устойчивой работы датчика с безынерционным пороговым элементом на выходе при условии, что на этот элемент воздействует стационарный нормальный шум с нормированной корреляционной функцией

$$R(\tau) = e^{-\tau}$$

при отношении $b = \frac{e}{\sigma} = 4$.

По номограмме находим $l_1(om)$, $l_2(on)$ и $l = l_1 + l_2 = \lg N$, $N \cong \cong 8 \cdot 10^{-5}$. Одному месяцу работы соответствует отрезок $l_0(of)$. Время следует выражать в секундах.

При абсциссе $l_0 - l$ по кривой $\kappa(\delta) = 1$ находим $P(t) < 0,01$. Надежность $P(t) = 0,8$ будет обеспечена в том случае, если $\kappa(\delta) = 10^{-3}$. Отложив $\kappa(\delta) = 10^{-3}$ на оси абсцисс по прямой 2, находим $M = 6,7$. Требуемое значение инерционности.

$$\delta \geq 1,3 \text{ сек.}$$

Если увеличение инерционности пороговых элементов недопустимо, повысить устойчивость работы датчика можно путем резервирования его (рис. 2).

Для этой схемы средняя частота одновременных ложных срабатываний равна

$$N_{22} = 2(8 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 0,885 = 1,1 \cdot 10^{-8},$$

$$\tau = 0,885.$$

При абсциссе $l_0 - \lg N_{22}$ по кривой $\kappa(\delta) = 1$ находим $P(t) = 0,94$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Дружинин. Надежность устройств автоматики. Гостехиздат, 1964.
2. В. И. Тихонов. Характеристики выбросов случайных процессов. «Радиотехника и электроника», 1964, № 3.
3. Н. М. Седякин. Элементы теории случайных импульсных потоков. Гостехиздат, 1955.