

Решения уравнения (12) представлены кривыми 1 и 2 на графике рис. 6. Анализ показывает, что динамический диапазон, т. е. интервал вдоль оси η между кривыми 1 и 2, уменьшается с ростом давления. При этом теми схода давления всегда ограничен, а теми нарастания давления может не иметь ограничения, если $P < 4,605P_*$. Для увеличения динамического диапазона следует стремиться к увеличению параметров P_* и η_0 . Для этого рекомендуется в соответствии с выражениями (5) и (13) длину l , диаметр r_0 канала оптической кюветы и относительный размер зрачка фотодетектора \bar{R} выбирать по возможности меньшими и увеличивать температуру T_0 стенки кюветы.

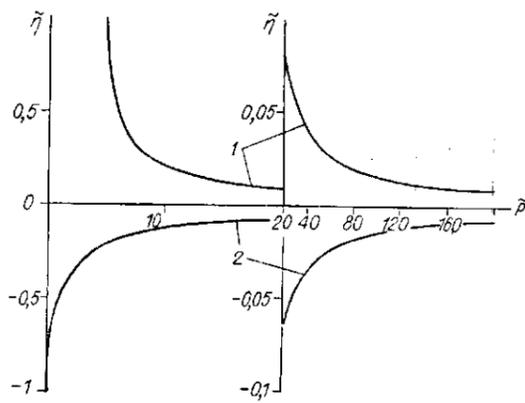


Рис. 6

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Achtermann J.-H., Rügner H. Ein neues Gerat zur kontinuierlichen Druckmessung. Das Druckmeßinterferometer // Technisches Messen.— 1982.— 49, N 3.
2. Кулеш В. П. Анализ возможностей лазерной интерферометрии для измерения давления газа // Автометрия.— 1987.— № 4.
3. Рейф Ф. Статистическая физика. Берклиевский курс физики.— М.: Наука, 1977.— Т. 5.

Поступило в редакцию 14 апреля 1988 г.

УДК 621.8.087: 621.386.1

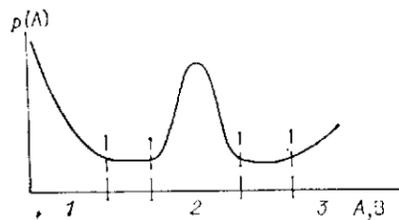
Е. И. ВЛАДИМИРОВ, Т. Н. ЛАВРЕНЮК
(Ленинград)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АМПЛИТУДНОГО ДИСКРИМИНАТОРА ИМПУЛЬСОВ

Амплитудный дискриминатор импульсов (АД)— один из основных блоков измерительного канала рентгеновских и радиоизотопных аналитических приборов. Основное назначение АД — повысить соотношение сигнал/фон в измерительном канале.

Эффект использования АД поясняется следующим образом. Как известно [1], выходной сигнал первичного преобразователя — детектора излучения, действующий на входе АД, представляет собой поток электрических импульсов, амплитуды которых имеют случайное распределение (см. рисунок). Этот сигнал является композицией аналитического — с нормальным распределением по амплитудам $\varphi_0(A)$, равномерно распределенного фона (фона рассеянного излучения) $\varphi_1(A)$, низкоуровневых шумов с распределением $\varphi_2(A)$ и высокоуровневого фона (например, космического происхождения) $\varphi_3(A)$. АД выполняет роль амплитудного фильтра, селективирующего импульсы в области амплитуд, соответствующей аналитическому сигналу.

© 1990 Владимир Е. И., Лавренюк Т. Н.



Распределение импульсов на входе АД по амплитудам:
1 — область низкоуровневых шумов; 2 — область аналитического сигнала; 3 — область высокоуровневого фона

Номинальная статическая функция преобразования АД записывается в виде

$$L = \begin{cases} 1, & A \in [A_n, A_n + W]; \\ 0, & A \notin [A_n, A_n + W], \end{cases} \quad (1)$$

где A — амплитуда импульсов сигнала; A_n — нижний уровень амплитудной селекции; W — диапазон селекции; применительно к АД A_n и W называются нижним порогом и окном дискриминатора.

Операция регистрации аналитического сигнала на выходе АД эквивалентна интегрированию входного амплитудного распределения $p(A)$ в пределах $A_n, A_n + W$:

$$N^* = N_0 \int_{A_n}^{A_n+W} p(A) dA = \frac{aN_0}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{A_n}^{A_n+W} \exp\left[-\frac{(A-A_{cp})^2}{2\sigma^2}\right] dA, \quad (2)$$

где N_0 — общее число импульсов на входе АД; $a < 1$ — коэффициент пропорциональности, определяемый долей импульсов аналитического сигнала в общем числе входных импульсов; A_{cp} — математическое ожидание (средняя амплитуда) аналитического сигнала; σ^2 — его дисперсия; обе величины A_{cp} и σ^2 определяются энергией регистрируемого излучения.

Погрешность результата измерения, как это следует из (2), существенным образом зависит от точности и воспроизводимости установки пределов диапазона селекции (A_n и W), которые определяются метрологическими характеристиками АД. Связь между метрологическими характеристиками измерительного канала и погрешностью результата измерения установлена в [2], откуда можно сделать вывод о том, что для достижения удовлетворительных значений погрешности результата 0,1—1% необходимо обеспечить воспроизводимость нижнего порога и окна дискриминатора на уровне 0,3—2%.

Проверка столь высоких метрологических характеристик при серийном выпуске АД достаточно трудоемка. С целью повышения производительности испытаний разработана следующая методика автоматического контроля метрологических характеристик АД.

Описание методики. Если подать на вход АД сигнал в виде потока импульсов с частотой следования f и равномерным амплитудным распределением, плотность вероятности которого

$$p(A) = \begin{cases} \frac{1}{A_{max}}, & A \in [0, A_{max}]; \\ 0, & A \notin [0, A_{max}], \end{cases} \quad (3)$$

а выход АД соединить со входом таймируемого счетчика, то за произвольное время T_0 при нижнем пороге A_n^* и значении окна $W > A_{max}$ согласно (2) будет зарегистрировано число импульсов

$$N_n = N_0 \left(1 - \frac{A_n^*}{A_{max}}\right), \quad (4)$$

где $N_0 = fT_0$, откуда для контролируемого параметра A_n^* получим

выражение

$$A_n^* = \left(1 - \frac{N_n}{N_0}\right) A_{\max}. \quad (5)$$

Для определения значения окна W^* счет импульсов осуществляется за время T_0 при $0 < A_n < (A_n + W) < A_{\max}$. Согласно (2) для этого случая имеем

$$N_w = N_0(W^*/A_{\max}). \quad (6)$$

Преобразуя (6), для контролируемого параметра W^* получим

$$W^* = N_w A_{\max}/N_0. \quad (7)$$

Таким образом, операции контроля параметров реализуются путем простого счета импульсов и простых вычислений и легко поддаются автоматизации.

Проанализируем полученные выражения (5), (7) для величин A_n^* и W^* , для чего найдем их математические ожидания и дисперсии. Линеаризуем выражение (5)

$$A_n^* = (1 - \xi_1) \xi_2 + \sum_{i=1}^2 \frac{\partial A_n^*}{\partial x_i} \Big|_{\substack{x_1=\xi_1 \\ x_2=\xi_2}} (x_i - \xi_i), \quad (8)$$

где $x_1 = N_n/N_0$, $x_2 = A_{\max}$; $\xi_1 = M[x_1]$, $\xi_2 = M[x_2]$. Тогда математическое ожидание $M[A_n^*]$ и дисперсия $D(A_n^*)$ оценки A_n^* равны соответственно

$$\begin{aligned} M[A_n^*] &= (1 - \xi_1) \xi_2; \\ D[A_n^*] &= \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\partial A_n^*}{\partial x_i} \Big|_{x_i=\xi_i} \right)^2 D[x_i]. \end{aligned} \quad (9)$$

Очевидно, $x_1 = N_n/N_0$ — относительная частота события, состоящего в том, что амплитуда импульса находится в диапазоне $[A_n, A_{\max}]$. Относительная частота есть несмещенная состоятельная оценка для соответствующей вероятности. Тогда

$$\begin{aligned} \xi_1 &= M[x_1] = p \{A \in [A_n, A_{\max}]\} = p; \\ D[x_1] &= p(1-p)/N_0. \end{aligned} \quad (10)$$

В соответствии с (3)

$$p = (1/A_{\max})(A_{\max} - A_n), \quad (11)$$

$x_2 = A_{\max} - 0$ — размах выборки. Для равномерного распределения генеральной совокупности в интервале $[0, A_{\max}]$ имеем [3]

$$\begin{aligned} M[x_2] &= A_{\max} \frac{N_0 - 1}{N_0 + 1}; \\ D[x_2] &= A_{\max}^2 \frac{2(N_0 - 1)}{(N_0 + 1)^2 (N_0 + 2)}. \end{aligned} \quad (12)$$

Подставляя (11) и (12) в (9), после преобразований имеем

$$M[A_n^*] = A_n \frac{N_0 - 1}{N_0 + 1}; \quad (13)$$

$$D[A_n^*] = (A_{\max} - A_n) A_n \left(\frac{N_0 - 1}{N_0 + 1} \right)^2 \frac{1}{N_0} + A_n^2 \frac{2(N_0 - 1)}{(N_0 + 1)^2 (N_0 + 2)}.$$

Из (13) видно, что оценка A_n^* смещенная; для получения несмещенной оценки введем оценку

$$A_n^{**} = \left(1 - \frac{N_n}{N_0}\right) \frac{N_0 + 1}{N_0 - 1} A_{\max}, \quad (14)$$

которая имеет соответственно следующие математическое ожидание и дисперсию:

$$M[A_n^{**}] = A_n; \quad (15)$$

$$D[A_n^{**}] = (A_{\max} - A_n) A_n \frac{1}{N_0} + A_n^2 \frac{2}{(N_0 - 1)(N_0 + 2)} = \frac{\text{const}}{N_0} + O\left(\frac{1}{N_0^2}\right).$$

Оценка A_n^{**} — несмещенная состоятельная оценка A_n . Состоятельность следует из того, что $D[A_n^{**}] \rightarrow 0$ при $N_0 \rightarrow \infty$.

Аналогично можно получить

$$M[W^*] = W \frac{N_0 - 1}{N_0 + 1}; \quad (16)$$

$$D[W^*] = W(A_{\max} - W) \frac{1}{N_0} \left(\frac{N_0 - 1}{N_0 + 1}\right)^2 + W^2 \frac{2(N_0 - 1)}{(N_0 + 1)^2(N_0 + 2)}.$$

Оценка W^* также смещенная. Введем оценку

$$W^{**} = \frac{N_0 N_0 + 1}{N_0 N_0 - 1} A_{\max}. \quad (17)$$

Ее математическое ожидание и дисперсия равны соответственно

$$M[W^{**}] = W;$$

$$D[W^{**}] = W(A_{\max} - W) \frac{1}{N_0} + W^2 \frac{2}{(N_0 - 1)(N_0 + 2)} = \frac{\text{const}}{N_0} + O\left(\frac{1}{N_0^2}\right). \quad (18)$$

Из (18) видно, что оценка W^{**} является несмещенной состоятельной оценкой W .

Таким образом, получены несмещенные состоятельные оценки для определения метрологических характеристик амплитудного дискриминатора по результатам его работы на случайной выборке объемом N_0 импульсов, равномерно распределенных по амплитуде.

Реализация метода. Описанный метод реализован с помощью генераторов БГА-93, БГА-94 [4, 5]. Линейно изменяющееся напряжение с выхода генератора БГА-93 подается в качестве опорного напряжения на вход генератора БГА-94. С выхода БГА-94 на вход дискриминатора поступают импульсы с амплитудами, распределенными равномерно в диапазоне $[0, A_{\max}]$. С выхода дискриминатора импульсы передаются на вход счетчика импульсов со встроенным таймером.

Неравномерность распределения вызвана дифференциальными нелинейностями генераторов и погрешностью установки A_{\max} . В [4, 5] указаны максимально допустимые относительные погрешности. Дифференциальная нелинейность БГА-93 0,1%, дифференциальная нелинейность БГА-94 0,3%, погрешность установки максимального напряжения 0,5%. Тогда максимальное отклонение N_n/N_0 от среднего значения $\Delta_1 = \pm(0,001 + 0,003)\xi_1$. Максимальное отклонение A_{\max} от среднего значения $\Delta_2 = \pm 0,005\xi_2$.

Предположим, что эти погрешности равновероятны в диапазоне $[-\Delta_1, \Delta_1]$ и $[-\Delta_2, \Delta_2]$ соответственно со средними ξ_1, ξ_2 и дисперсиями: $\sigma_1^2 = \Delta_1^2/3, \sigma_2^2 = \Delta_2^2/3$. Тогда

$$D[A_n^{**}] = (A_{\max} - A_n)^2 5,3 \cdot 10^{-6} + A_n^2 8,3 \cdot 10^{-6}. \quad (19)$$

Аналогично

$$D[W^{**}] = W^2 13,6 \cdot 10^{-6}. \quad (20)$$

При достаточно большом объеме выборки распределение оценок (14), (17) аппроксимируется нормальным законом с помощью известных теорем [3]. Тогда с вероятностью 0,95 можно считать, что погрешности метода $\Delta^{\text{мет}} A_n$ и $\Delta^{\text{мет}} W$, вызванные погрешностями генераторов БГА-93,

БГА-94, не будут превышать $1,96\sigma$, т. е.

$$\begin{aligned}\Delta^{\text{мет}} A_n &\leq 1,96 \sqrt{D[A_n^{**}]}; \\ \Delta^{\text{мет}} W &\leq 1,96 \sqrt{D[W^{**}]}. \end{aligned} \quad (21)$$

Отсюда, подставляя (19), (20), после преобразований получим

$$\begin{aligned}\Delta^{\text{мет}} A_n &\leq 1,96 \cdot 10^{-3} \sqrt{(A_{\text{max}} - A_n)^2 5,3 + A_n^2 8,3}; \\ \Delta^{\text{мет}} W &\leq 7,2 \cdot 10^{-3} W. \end{aligned} \quad (22)$$

Указанные погрешности более чем в 5 раз меньше оцениваемых метрологических характеристик.

Таким образом, предложенный метод достаточным образом метрологически обоснован. Он хорошо поддается автоматизации и существенно повышает производительность поверки и метрологической аттестации амплитудных дискриминаторов импульсов в условиях серийного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев В. В., Хазанов Б. И. Приборы для измерения ионизирующих излучений. Основы теории и проектирования. — М.: Атомиздат, 1972.
2. Верман Б. С., Владимиров Е. Н., Прянишников В. А. Анализ статических погрешностей устройств обработки входных сигналов спектрометров // Изв. вузов. Приборостроение. — 1984. — № 11.
3. Крамер Г. Математические методы статистики. — М.: Изд-во иностр. лит., 1975.
4. Паспорт. Генератор линейно изменяющегося напряжения БГА-93.3.268.011. — М.: Всесоюз. объединение «Изотоп», 1983.
5. Паспорт. Генератор двойных импульсов БГА-94.3.263.010. — Там же.

Поступило в редакцию 15 февраля 1988 г.

УДК 681.325

С. В. ДОЦЕНКО, В. Ю. КАРЛУСОВ
(Севастополь)

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ С УЧЕТОМ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО ПРОЦЕССА

В практике обработки измерительной информации широко применяется линейная фильтрация, которая состоит в преобразовании исходного процесса $x(t)$ в выходной процесс $y(t)$ с помощью некоторой заданной весовой функции $h(\tau)$:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t - \tau) d\tau. \quad (1)$$

Устройство, осуществляющее операцию (1), в дальнейшем будем называть фильтром-прототипом. Его частотная характеристика определяется выражением

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \exp\{-j\omega\tau\} d\tau. \quad (2)$$

В силу специфики цифровых устройств непосредственное преобразование (1) не используется на практике. Поэтому разработан ряд методов, по-

© 1990 Доценко С. В., Карлусов В. Ю.

6 Автометрия № 2, 1990 г.