

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жук В. И. О некоторых методах накопления и внешней сортировки спектрометрических данных на малой ЭВМ с магнитными дисками // *Автометрия*.— 1975.— № 6.
2. Белов А. В., Еремеев В. Н., Жук В. И. и др. Комплекс программ многомерной регистрации спектров на малой ЭВМ с магнитными дисками // *Автометрия*.— 1976.— № 1.
3. Milner W. T., Biggerstaff J. A., Hensley D. C., Sayer R. O. Data acquisition and analysis system for the holifield heavy ion research facility // *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*— 1979.— V. NS-26, N 4.— P. 4399.
4. Perry D. G. QAL — A language for nuclear physics data acquisition // *Ibid.*— P. 4508.
5. Holzweig L. G., Poore R. V. Event analysis language "EVAL" for TUNL VAX-11/780 // *IEEE Trans. on Nucl. Sci.*— 1981.— V. NS-28, N 5.— P. 3815.
6. Жук В. И. Методы идентификации событий для систем автоматического формирования программ многомерной регистрации ядерно-физических спектров.— М., 1983.— (Препринт/АН СССР, ИАЭ; № 3789/16).
7. Ершов А. П., Лянунов А. А. О формализации понятия программы // *Кибернетика*.— 1967.— № 5.
8. Жук В. И. Табличные методы идентификации событий по арифметическим критериям.— М., 1983.— (Препринт/АН СССР, ИАЭ; № 3788/16).
9. Жук В. И. Метод синтеза схем программ для одного подкласса задач выбора решений.— М., 1981.— (Препринт/АН СССР, ИАЭ; № 3398/16).

*Поступила в редакцию 2 февраля 1987 г.*

УДК 539.1.075

**Е. Н. ВЛАДИМИРОВ, В. В. ЕЛИСЕЕВА, Г. В. ИЛЬИНСКИЙ,  
О. Л. КУЗНЕЦОВ**  
(Ленинград)

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ КАНАЛ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ АМПЛИТУДЫ В СТАНДАРТЕ КАМАК**

Совершенствование методик рентгеноспектрального анализа существенно повышает требования к точности и достоверности информации, получаемой на выходе спектрометрических каналов регистрации. Задача создания стабильной аппаратуры в большой мере осложняется нестабильностью параметров наиболее распространенных детекторов излучения, особенно сцинтилляционных и пропорциональных, источников питания и коэффициента передачи усилительно-преобразовательной части канала.

Эффективным средством повышения достоверности регистрируемой информации служит стабилизация спектрометрического канала с применением цифровых схем дифференциального типа [1, 2], использующих в качестве реперного сигнала само регистрируемое излучение.

Этот принцип построения применен в спектрометрическом канале (см. функциональную схему на рис. 1), предназначенном для автоматизированных спектрометров.

Стабилизация канала базируется на выделении разности плотностей двух потоков импульсов, амплитуды которых лежат в окнах, расположенных симметрично относительно центра амплитудного распределения регистрируемых сигналов. При фиксированном положении окон эта разность непосредственно связана с коэффициентом передачи канала.

Сигнал от детектора излучения поступает на вход (см. рис. 1) регулируемого усилителя (РУ), представленного в [3]. Исходный коэффициент усиления задается с магистрали крейта в зависимости от энергии регистрируемого излучения и записывается в регистр коэффициента усиления (РК), входы которого соединены со входами управляемого аттенюатора РУ. Активный восстановитель базовой линии (ВБЛ), принцип действия которого описан в [4], включен между выходом РУ и входами трех дифференциальных амплитудных дискриминаторов (ДАД). Значе-

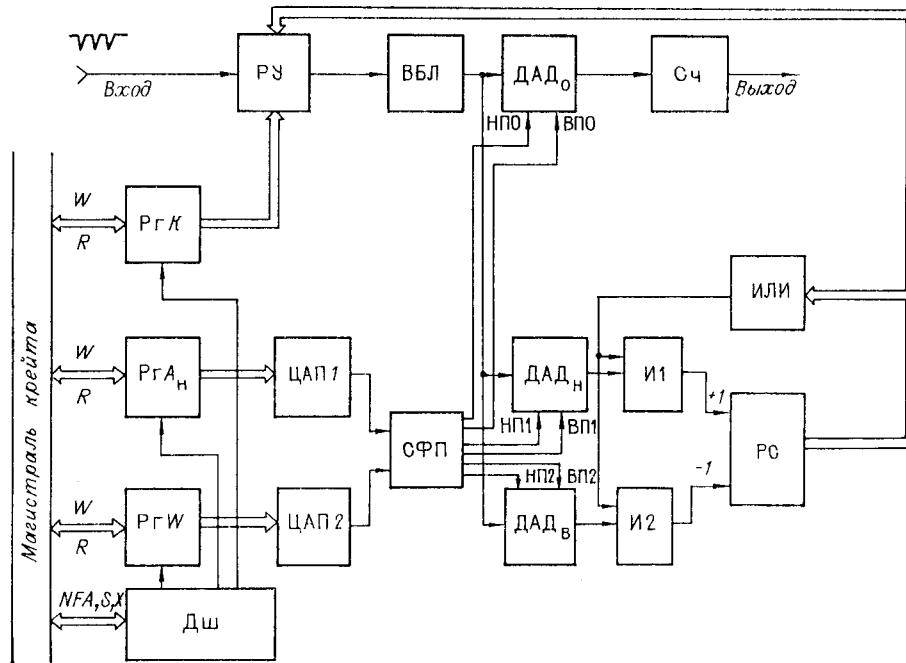


Рис. 1. Функциональная схема спектрометрического канала:

РУ — регулируемый усилитель; ВБЛ — восстановитель базовой линии; ДАД<sub>0</sub>, ДАД<sub>н</sub>, ДАД<sub>в</sub> — дискриминаторы рабочего, нижнего и верхнего окон; РгК, РгА<sub>н</sub>, РгW — регистры коэффициента усиления, нижнего порога и окна; СФП — схема формирования порогов; РС — реверсивный счетчик; Сч — счетчик импульсов рабочего канала; НП, ВП — напряжения нижнего и верхнего порогов

ния нижнего порога  $A_n$  и окна  $W$  дискриминатора рабочего канала ДАД<sub>0</sub> вводятся с магистрали соответственно в регистры нижнего порога (РгА<sub>н</sub>) и окна (РгW). Напряжения, вырабатываемые цифроаналоговыми преобразователями (ЦАП1 и 2 на основе содержимого регистров РгА<sub>н</sub> и РгW), подаются на схему формирования порогов (СФП), где на их основе вырабатываются значения порогов дискриминаторов нижнего и верхнего окон: ДАД<sub>н</sub> и ДАД<sub>в</sub>. Импульсы с выходов ДАД<sub>н</sub> и ДАД<sub>в</sub> поступают соответственно на входы сложения и вычитания реверсивного счетчика (РС), который определяет разность плотностей потоков в окнах и выполняет роль цифрового интегратора, задающего коэффициент усиления РУ и через его посредство положение пика относительно окон ДАД. Две логические схемы И, включенные между выходами дополнительных ДАД и РС вместе с подключенными к разрядным выходам РС многоходовыми схемами И и ИЛИ, ограничивают счет в РС, препятствуя выходу пика из рабочего диапазона.

Стабилизированный канал регистрации управляется от магистрали следующими командами:

- $NF(16)A(1)$  — запись коэффициента усиления в РгК;
- $NF(16)A(2)$  — запись нижнего порога в РгА<sub>н</sub>;
- $NF(16)A(3)$  — запись окна в РгW;
- $NF(0)A(1)$  — чтение коэффициента усиления;
- $NF(0)A(2)$  — чтение нижнего порога;
- $NF(0)A(3)$  — чтение окна;
- CS — подготовка к работе.

Сигнал X вырабатывается и используется стандартно.

Поведение системы описывается простой марковской цепью с матрицей переходов

$$\pi = \|p_{ij}\|, \quad (1)$$

где  $p_{ij}$  — вероятности переходов из состояния с номером  $i$  в состояние с

номером  $j$ , каждое из которых соответствует определенному значению числа в РС.

В случае нормального распределения входного сигнала со средней амплитудой  $A_{cp}$  и среднеквадратичным отклонением  $\sigma$

$$p_{i, i+1} = 0,5 - \Phi [2iz_0/F(1 + iz_0)];$$

$$p_{i, i-1} = 0,5 + \Phi [2iz_0/F(1 + iz_0)],$$
(2)

где  $\Phi(a)$  — функция Лапласа;  $F = 2,36\sigma/A_{cp}$  — амплитудное разрешение входного сигнала;  $z_0$  — относительное изменение усиления при изменении состояния РС на единицу.

Ввиду эргодичности процесса регистрации для рассматриваемой марковской цепи матрица-строка финальных вероятностей  $X(x_1 \dots x_M)$  может быть вычислена [5] по формуле

$$X^T \pi = X^T,$$
(3)

где индекс  $T$  означает транспонирование, а значения матрицы  $\pi$  определены из (1).

Матричное уравнение (3), эквивалентное системе из  $M$  линейных алгебраических уравнений, было решено на ЭВМ для различного числа состояний  $M$  реверсивного счетчика РС. Выбор  $M$  непосредственно связан с точностью стабилизации. Если принять, что полной емкости РС соответствует на шкале амплитуд диапазон  $\pm FA_{cp}$ , емкость счетчика определяется следующим выражением:

$$M \approx 1,7F/z_0.$$
(4)

Дискретность изменения усиления  $z_0$  должна быть выбрана, исходя из допустимого значения погрешности регистрации, как это было сделано в [6]. Так, для обеспечения стабилизации канала с погрешностью регистрации не более 0,5% необходимо добиваться  $z_0 < 0,7\%$ , откуда  $M \geq 150$  при  $F = 0,3 - 0,6$ , что типично для рентгеновских спектрометров.

Распределение вектора финальных вероятностей для  $M = 256$  приведено на рис. 2 (кривая 1). Это распределение оказалось сильно центрированным вокруг среднего положения: вероятность состояний канала, соответствующая наличию в РС чисел в диапазоне 104—150, на несколько порядков выше вероятности всех остальных состояний (при неизменном коэффициенте усиления). На рисунке (кривая 2) представлена зависимость погрешности регистрации от изменения коэффициента усиления при разомкнутой петле стабилизации. Источником сигнала служили изотоп  $^{59}\text{Fe}$  и детектор типа БДП-2. Усиление изменялось с магистрали крейта в диапазоне  $\pm 5\%$  от исходного значения с шагом  $z_0 = 0,4\%$ . За-

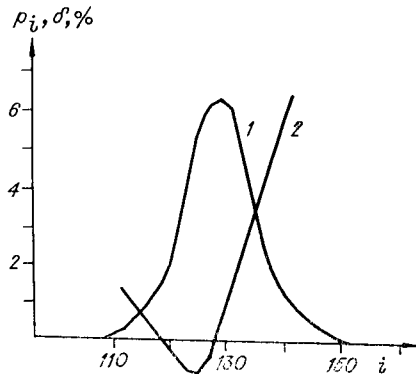


Рис. 2. Распределение финальных вероятностей (кривая 1) и погрешность регистрации (2) при разомкнутой петле обратной связи в функции состояния РС

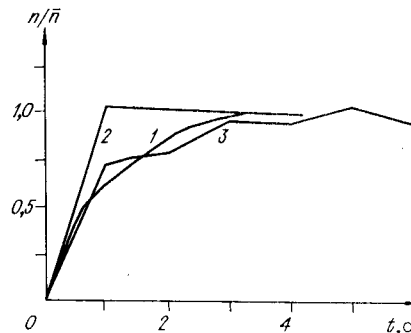


Рис. 3. Переходная характеристика канала: расчетная (кривая 1), экспериментальные — при интенсивности сигналов  $10^4 \text{ c}^{-1}$  (2) и  $300 \text{ c}^{-1}$  (3)

висимость близка к параболе и симметрична относительно исходного значения. Асимметрия связана с тем, что при изменении усиления меняется не только средняя амплитуда спектра, но и абсолютное значение среднеквадратичного отклонения.

Динамические характеристики системы стабилизации оценивались по времени первого достижения равновесного состояния после расстройки в граничное состояние. Это время в виде числа шагов  $i$  может быть вычислено решением матричных уравнений

$$M = (I - Z + EZ_{dg}) G_{dg}, \quad (5)$$

где  $Z = (I - \pi + G)^{-1}$ ;  $I$  — единичная матрица;  $G$  — матрица, каждая строка которой равна  $X^T \cdot E$  — матрица, в которой все элементы равны 1. Таким образом: фиксировалась средняя частота сигнала в канале, затем вводилась расстройка и средняя частота фиксировалась многократно циклически с периодом 1 с. Исследования проводились при средних частотах сигнала  $10^4$  и  $300 \text{ с}^{-1}$ . Соответствующие экспериментальные данные (кривые 2 и 3) представлены на рис. 3. Их вид позволяет заключить, что даже в худшем из рассматриваемых случаев уже через 3 с после расстройки значение средней частоты возвращается к исходному значению, т. е. время выхода системы в равновесное состояние не превышает 0,5 % при средней частоте сигнала  $10^4 \text{ с}^{-1}$  и времени экспозиции 100 с.

Таким образом, исследования показали высокую эффективность использования стабилизированного канала регистрации как средства борьбы с аппаратурной погрешностью, вызванной дрейфом детектора и нестабильностью его источника питания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимчик М. К., Чернявский А. С., Шункевич С. С. Стабилизация многоканальных систем регистрации // ПТЭ.— 1966.— № 6.
2. Ильинский Г. В., Ланцов В. В., Владимиров Е. Н. и др. Унифицированный усиительно-преобразовательный канал // Аппаратура и методы рентгеновского анализа.— Л.: Машиностроение, 1982.— Вып. 28.
3. Елисеева В. В., Ильинский Г. В., Кузнецов О. Л., Денисюк П. В. Импульсный усилитель с цифровым управлением коэффициентом усиления // ПТЭ.— 1986.— № 2.
4. Денисюк П. В., Елисеева В. В., Ильинский Г. В., Кузнецов О. Л. Фиксатор уровня // ПТЭ.— 1984.— № 6.
5. Казаков В. А. Введение в теорию марковских процессов.— М.: Сов. радио, 1973.
6. Верман Б. С., Владимиров Е. Н., Прянишников В. А. Анализ статических погрешностей устройств обработки входных сигналов спектрометров // Изв. вузов. Приборостроение.— 1984.— № 11.

*Поступила в редакцию 14 апреля 1987 г.*