

С 344.1К

П-775

25/11

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2707



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

В.И. Приходько, В.Г. Тишин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ДВУХ ТИПОВ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ
СПЕКТРОМЕТРОВ

1966

P-2707

Уд 89/1, 29.

В.И. Приходько, В.Г. Тишин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ДВУХ ТИПОВ СИСТЕМ СТАБИЛИЗАЦИИ
СПЕКТРОМЕТРОВ



1. Введение

Основная трудность при проведении точных измерений амплитудных спектров (особенно при измерениях с полупроводниковыми детекторами) связана с тем, что "нуль" (порог) и коэффициент усиления спектрометра недостаточно стабильны. Эти нестабильности складываются из нескольких компонент, присущих отдельным частям спектрометра: усилителям, аналого-цифровому преобразователю, пороговому устройству и т.д.

Для устранения этих недостатков разными авторами предложен ряд систем стабилизации, в которых порог и коэффициент усиления спектрометра автоматически подстраиваются по специальным реперным импульсам.

В этих системах используется отрицательная обратная связь для компенсации изменений стабилизируемых параметров, при этом преобразованный сигнал ошибки вырабатывает пропорциональное смещение известных линий в спектре (естественных или искусственных) на их правильные позиции.

По способу выделения сигнала ошибки все известные в настоящее время системы стабилизации можно разделить на два класса:

- 1) системы, в которых сигналом ошибки является накапливаемая в интеграторе разность скоростей счета в "окнах" на левом и правом склонах реперного пика ^{/1-4/};
- 2) системы, в которых в качестве сигнала ошибки используется разность кодов регистрируемого реперного импульса и кода, соответствующего полной емкости сервосчетчика (интегратором в этом случае является сам сервосчетчик) ^{/5-7/}.

Эти системы отличаются не только по принципу действия, но и по основным параметрам, характеризующим эффективность системы стабилизации. К этим параметрам относятся: скорость отработки мгновенных изменений порога или коэффициента усиления; уширение пиков в спектре из-за шумового размытия реперной линии; сдвиги пиков при линейно-меняющихся дрейфах; диапазон перекрытия возможных дрейфов в системе и т.д. В данной работе предпринята попытка с учетом результатов, полученных в ^{/1,8/}, теоретически оценить основные параметры систем стабилизации и экспериментально проверить результаты расчета для двух вариантов систем, разработанных авторами.

1. Описание блок-схемы.

Для γ -спектрометра, предложенного в работе ^{/1/}, в качестве репера используют γ -лучи от стороннего источника, который испускает частицы двух энергий в сопровождении β -излучения. Импульс β -излучения открывает ворота совпадения, позволяя работать цепи стабилизации, если γ -импульс удовлетворяет определенному амплитудному критерию (попадает в цифровые "окна") и предотвращает регистрацию эталонных импульсов в памяти.

Разность скоростей счета в цифровых "окнах" преобразуется интенсивметром в аналоговое напряжение, корректирующее порог или усиление системы.

Данная система может быть несколько упрощена, если в качестве репера использовать электрические импульсы от стабильного генератора. В этом случае в "логике" амплитудного анализатора одновременно с эталонными импульсами подается управляющий импульс, включающий систему стабилизации^{х)}. При этом отпадает необходимость в цифровых "окнах", так как выделение импульсов, принадлежащих левому или правому склонам пика, осуществляется одним из триггеров адресного счетчика. Реперный пик с помощью ручной регулировки устанавливается на границе между двумя выбранными каналами (например, 511 и 512, 1023 и 1024 и т.д.).

Блок-схема, приведенная на рис. 1, поясняет работу системы стабилизации в таком режиме. В этой схеме функции цифровых "окон" выполняют два вентиля (V_2 и V_3), управляемые от одного из триггеров адресного счетчика (разряды 2^7 или 2^8 , в зависимости от желаемого диапазона перекрытия возможных дрейфов в системе). Выходные импульсы с вентилях подаются на два входа разностного интенсивметра, который может быть выполнен по одной из схем, предложенных в работах ^{/1,2,3/}.

Корректирующее напряжение (ΔU), пропорциональное разности скоростей счета в двух половинах реперного пика, управляет током разряда запоминающей емкости в аналого-цифровом преобразователе (стабилизации усиления) или меняет порог на входе преобразователя (стабилизации порога).

Ниже рассматривается влияние некоторых параметров системы стабилизации на основные характеристики спектрометра.

^{х)} Следует заметить, что возможность выделения эталонных импульсов качественно отличается данную систему и систему /1/ от устройств, предложенных в работах ^{/2,3,4/}. Действительно, в системах стабилизации первого типа эталонный пик должен быть хорошо разрешен, так как если в непосредственной близости от него будет находиться еще один пик, то при сдвигах "нуля" и коэффициента усиления этот пик может попасть в одно из "окон", и система будет подстраивать стабилизируемые параметры по новому эталону, а это неизбежно приведет к существенным искажениям спектра.

2. Реакция системы на скачки усиления

Поведение системы стабилизации при мгновенном изменении усиления (скачке усиления) описывается дифференциальным уравнением^{/1/}:

$$\frac{dx}{dt} + \frac{x}{r} = -\frac{\delta x}{r}, \quad (1)$$

где x - величина коррекции, выраженная в единицах каналов; δx - ошибка усиления (в каналах), равная сдвигу эталонного пика при отключенной системе стабилизации; r - постоянная времени, характеризующая скорость установления единицы коррекции.

Решение этого уравнения имеет вид:

$$x = -\delta x(1 - e^{-t/r}) \quad (2)$$

и определяет зависимость величины коррекции усиления от времени при введении достаточно малых скачков усиления.

Величина ошибки усиления, равная $\epsilon = N - N_0 = \delta x + x$, где N_0 - номер канала, в котором регистрируется эталонный пик в отсутствие дрейфа, N - изменяющийся номер канала, зависит от времени следующим образом:

$$\epsilon = \delta x \cdot e^{-t/r} \quad (3)$$

Значение r для описываемой системы определяется (в соответствии с^{/1/}) при следующих допущениях:

1) разностный интенсивметр имеет идеальный интегратор (для системы в^{/1/} это означает, что постоянная времени разряда интегрирующей емкости много больше r);

2) скачки усиления много меньше ширины пика на полувысоте ($\bar{\Delta}$), в противном случае (как будет показано ниже) r будет зависеть от величины скачка.

В этом случае имеем (из^{/1/})

$$\frac{1}{r} = a_0 \cdot b \cdot \bar{k}, \quad (4)$$

где a_0 - интегральный счет в цифровых "окнах", в нашем случае это интегральный счет во всем пике, т.е. частота регистрации эталонных импульсов; b - количество (или доля) каналов, на которое изменяется усиление при регистрации в интенсивметре одного импульса; \bar{k} - разность площадей левого и правого цифровых "окон" при сдвиге пика на один канал и суммарной площади "окон" равной единице (в нашем случае за единицу принимается общая площадь реперного пика).

Из выражения (4) видно, что быстрдействие системы стабилизации при обработке скачков усиления прямо пропорционально величинам a_0 , b и \bar{k} .

Оценим величину \bar{k} , предполагая, что форма реперного пика, определяемая, в основном, шумами предусилителя, описывается кривой Гаусса

$$\phi(\bar{y}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \cdot \exp \left[-\frac{(\bar{y} - \bar{y}_0)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (5)$$

где \bar{y}_0 - абсцисса середины пика; σ - среднеквадратичное отклонение (отметим, что ширина пика на полувысоте равна $\Delta = 2,36\sigma$).

Разность площадей "окон" определяется из таблиц функции ошибок нормального закона распределения:

$$\Phi(y) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^y \exp(-t^2) dt. \quad (6)$$

Переход от y к x осуществляется изменением масштаба оси абсцисс по формуле

$$y = \frac{2,36 x}{\sqrt{2} \Delta} = 1,67 \frac{x}{\Delta}.$$

Численное значение \bar{k} зависит от ширины выбираемых "окон", их положения на склонах реперного пика, а также от величины сдвига пика. При больших сдвигах ($\Delta y > \sigma$) значение \bar{k} изменяется от \bar{k}_{\max} до $\bar{k} = 0$, а при малых значениях Δy ($\Delta y < \sigma$) \bar{k} можно считать постоянным и равным

$$\bar{k} = k \frac{y}{x},$$

где

$$k = \frac{\Delta \Phi}{\Delta y};$$

$\Delta \Phi$ - разность площадей "окон" при сдвиге пика на Δy .

В таблице 1 даются значения $\Delta \Phi$ для $\Delta y = 0,1$ при различной ширине "окон" ($y_2 - y_1$), а также значения k (за единицу принимается вся площадь реперного пика).

Численное значение k , данное в таблице, приведено к единице масштаба по y . Из таблицы видно, что максимальное значение k , равное 1,12, получается при максимальной ширине "окна".

Т а б л и ц а I

Границы "окон" (y_1 и y_2)	Ширина "окна" ($y_1 - y_2$)	$\Delta\Phi$	k
I,15 + I,25	0,1	0,006	0,06
I,1 + I,3	0,2	0,012	0,12
I,0 + I,4	0,4	0,025	0,25
0,9 + I,5	0,6	0,038	0,38
0,7 + I,7	I,0	0,062	0,62
0,2 + 2,2	2,0	0,108	I,08
0 + ∞	∞	0,112	I,12

Следовательно, с точки зрения получения максимально возможной величины \bar{k} , система стабилизации, в которой в качестве "окон" используются полные половины реперного пика, является наиболее подходящей.

Величина \bar{k} может быть выражена в единицах $\bar{\Delta}$:

$$k = \frac{1,87}{\bar{\Delta}} .$$

При этом выражение (4) преобразуется к виду:

$$\frac{1}{r} = \frac{1,87 n_0 b}{\bar{\Delta}} . \quad (7)$$

Приведенные выше соотношения справедливы для малых скачков усиления ($\delta x \ll \bar{\Delta}$). Для больших δx величина $\Delta\Phi/\Delta y$ уменьшается (r соответственно увеличивается) и при $\delta x > \bar{\Delta}$ система стабилизации обрабатывает скачки с постоянной скоростью

$$\frac{dx}{dt} = n_0 \cdot b ,$$

а ошибка усиления в этом случае равна

$$\epsilon(t) = \delta x - n_0 \cdot b \cdot t \quad (8)$$

до тех пор, пока текущее значение $\epsilon(t)$ станет меньше $\bar{\Delta}$. Дальнейшая обработка дрейфа происходит в соответствии с уравнением (3), где r изменяется от бесконечно большой величины до минимальной (4).

3. Влияние параметров системы стабилизации на ширину пика

Величина ошибки ϵ и связанные с ней номера каналов пика N флуктуируют в некоторых пределах вследствие статистического характера распределения интенсивности эталонных импульсов в двух половинах реперного пика. Эти флуктуации суммируются в квадрате с нормальной шириной пика.

Общее стандартное отклонение, характеризующее форму пика, равно

$$\sigma_{\text{общ.}} = \sqrt{\sigma_{\epsilon}^2 + \sigma_{\text{б.ст.}}^2} \quad (8)$$

где $\sigma_{\text{б.ст.}}$ характеризует форму пика в отсутствие стабилизации, а σ_{ϵ} - стандартное отклонение величины ϵ .

Для описанной выше системы стабилизации величина σ_{ϵ} , полученная в работе /1/, может быть представлена в виде:

$$\sigma_{\epsilon}^2 = \frac{1}{2\nu_0 r} \left(\frac{1}{k}\right)^2 = 0,27b \cdot \bar{\Delta} \text{ б.ст.}$$

Подставляя это выражение в (8), получим относительное уширение пика, вносимое системой стабилизации

$$\frac{\sigma_{\text{общ.}}}{\sigma_{\text{б.ст.}}} = \frac{\bar{\Delta}_{\text{общ.}}}{\bar{\Delta}_{\text{б.ст.}}} = \sqrt{1 + \frac{1,5b}{\bar{\Delta}}} \quad (10)$$

Экспериментальная проверка этой формулы была выполнена с помощью амплитудного анализатора на 4096 каналов /7/. Ширина пика на полувысоте определялась по формуле, полученной из (8):

$$\Delta = 0,94 \frac{\Phi}{A}$$

где Φ - полная площадь пика; A - высота пика (рис. 2а).

В таблице II приведены расчетные и экспериментальные данные, характеризующие уширение пика для различных значений b .

Т а б л и ц а II

b (кан./цикл)	$\bar{\Delta}_{\text{общ.}}$ (кан.) эксперим.	$\bar{\Delta}_{\text{общ.}} / \bar{\Delta}_{\text{б.ст.}}$ эксперим.	$\bar{\Delta}_{\text{общ.}} / \bar{\Delta}_{\text{б.ст.}}$ расчета.
0	7,0	1,00	1,00
0,10	7,0(5)	1,01	1,01
0,16	7,1	1,02	1,02
0,30	7,2	1,03	1,03(5)
0,55	7,3	1,05	1,06
0,72	7,5	1,07	1,07(5)

4. Поведение системы стабилизации при линейных дрейфах

Если дрейф в тракте усиления изменяется по линейному закону

$$\delta x = at ,$$

где a — скорость изменения усиления (в единицах каналов за секунду); t — время, то величина ошибки ϵ равна

$$\epsilon = at + x .$$

Подставляя это выражение в (1), получим:

$$\frac{d\epsilon}{dt} + \frac{\epsilon}{r} = a ,$$

отсюда

$$\epsilon = ar(1 - e^{-t/r}) . \quad (11)$$

В установившемся режиме ($t \gg r$) $\epsilon = ar$. Величина a может быть выражена в долях величины b и приведена к одному циклу работы системы стабилизации (\bar{a})

$$\bar{a} = \xi \cdot b \cdot n_0 \quad \text{или} \quad a = \xi \cdot b ,$$

где ξ — относительная скорость дрейфа.

Если в выражение для ϵ подставить значения a и r , то после преобразований получим

$$\epsilon = 0,54 \cdot \xi \cdot \bar{\Delta} .$$

Это выражение справедливо для небольших значений ϵ и ξ ($\epsilon \ll \bar{\Delta}$), так как с увеличением ϵ увеличивается r и пропорциональность между ϵ и ξ нарушается.

Равновесие в системе при наличии линейного дрейфа наступит тогда, когда разность интенсивностей в двух половинах реперного пика при его сдвиге на ϵ каналов компенсирует дрейф, т.е. $\Delta\Phi = \xi$.

Зная ξ , и, следовательно $\Delta\Phi$, величину ϵ можно определять из формулы:

$$\epsilon = 0,6 \cdot \bar{\Delta} \cdot y ,$$

где значение y для соответствующего $\Delta\Phi$ находится из таблиц функции ошибок $\Phi(\beta)$. По известной величине ϵ (для некоторого ξ) можно определить значение r , которое характеризует переходный процесс в системе при введении линейного дрейфа с заданной скоростью a :

$$r = \frac{\epsilon}{a} = 0,6 \frac{\bar{\Delta} \cdot y}{b \cdot n_0 \cdot \Delta\Phi} . \quad (12)$$

В таблице III приведены численные значения величин $\Delta\Phi/y$, r и ϵ для различных ξ ($\epsilon_{\text{экс.}}$ показано на рис. 3а, б).

Т а б л и ц а III

y	$\xi = \Delta\Phi$	$\Delta\Phi/y$	r (в единицах $\frac{\Delta}{b \cdot z_0}$)	$\epsilon = \xi r$ (в единицах $\bar{\Delta}$)	ϵ (в канал.) для $\bar{\Delta} = 7,2$ кан. расч. эксперим.	
0,10	0,112	1,12	0,54	0,06	-	-
0,23	0,25	1,08	0,56	0,14	1,0	1,0
0,50	0,52	1,04	0,58	0,30	-	-
0,60	0,60	1,00	0,60	0,36	2,6	2,6
0,85	0,76	0,92	0,67	0,50	3,6	3,7
1,0	0,84	0,84	0,71	0,60	-	-
1,5	0,97	0,65	0,92	0,90	-	-
2,0	0,99	0,50	1,20	1,20	-	-
3,0	1	0,33	1,80	1,80	-	-

Зависимость r и ϵ от ξ , а также качественная картина переходного процесса, построенная в соответствии с выражением (11), показаны на рис. 4 (а) и (б).

Наклон кривых $\epsilon(t)$ в нулевой точке постоянен и равен скорости дрейфа. С ростом ξ увеличивается ϵ и r , при $\xi \geq 1$ система стабилизации не успевает компенсировать изменения усиления, и ошибка ϵ повторяет дрейф ($\epsilon = at$).

III. Система стабилизации второго типа

В ряде работ^{/5-7/} приводится описание систем стабилизации, использующих в качестве сигнала ошибки разность между идеальным и текущим значениями кодов эталонных импульсов. Блок-схема анализатора вместе с системой стабилизации такого типа приведена на рис. 5^{/7/}. Рассмотрим процесс стабилизации усиления в данной системе.

Эталонные импульсы от стабильного генератора поступают на вход предусилителя вместе с детекторными импульсами, измеряются аналого-цифровым преобразователем и регистрируются в адресном счетчике (предварительно в счетчик из регистра стабилизации усиления заносится код ошибки, накопленной в течение предшествующих циклов измерения).

Из адресного счетчика новые коды переносятся обратно в регистр и далее

преобразуются цифро-аналоговыми преобразователями в напряжение, корректирующее усиление.

Аналогично действует система стабилизации порога

Так же, как и для системы стабилизации первого типа, ниже рассматриваются: реакция системы на скачки усиления; влияние ее параметров на уширение пиков в спектре; сдвиги пиков при линейных дрейфах усиления.

1. Поведение системы стабилизации при скачках усиления.

В данном случае реакция системы при воздействии на входе скачка усиления δx описывается следующей рекуррентной формулой:

$$x(n) = x(n-1) + [\delta x - x(n-1)] \cdot b, \quad (13)$$

где $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ - соответствует моментам прихода эталонных импульсов, т.е.

$t = nT$; T - период эталонных импульсов.

Эта формула достаточно точно аппроксимируется выражением (2), в котором величина r постоянна и равна

$$r = \frac{T}{b} = \frac{1}{n_0 b}$$

Время отработки скачков усиления в данной системе меньше, чем в первой и не зависит от ширины эталонного пика.

Скорости отработки скачков усиления в этих двух системах определяются следующими выражениями:

1) система первого типа

$$\left. \frac{d\epsilon}{dt} \right|_{t=0} = -n_0 b \quad \text{для больших скачков}$$

$$\delta x > \bar{\Delta}$$

$$\left. \frac{d\epsilon}{dt} \right|_{t=0} = -\frac{\delta x}{r} = -\frac{1,87 \cdot \delta x \cdot n_0 \cdot b}{\bar{\Delta}} \quad \text{для малых скачков}$$

$$(\delta x \ll \bar{\Delta});$$

2) система второго типа

$$\left. \frac{d\epsilon}{dt} \right|_{t=0} = -\frac{\delta x}{r} = -\delta x \cdot n_0 \cdot b \quad \text{для любых значений } \delta x.$$

Сравнение этих выражений показывает, что при одинаковых параметрах обеих систем, т.е. одинаковых n_0 и b , величина $\left. \frac{d\epsilon}{dt} \right|_{t=0}$ для системы стабилизации второго типа всегда больше, чем для первой системы, так как величина $\frac{1,87}{\bar{\Delta}}$

практически < 1 , а для больших скачков относительное быстродействие второй системы растет пропорционально δx .

2. Влияние параметров системы стабилизации на ширину пика

Статистическое распределение амплитуд эталонных импульсов приводит к флуктуациям усиления в системе, обусловленным действием системы стабилизации. Влияние этих флуктуаций проявляется в уширении пиков, которое для данной системы может быть рассчитано по формуле ^{/Б/}:

$$\frac{\bar{\Delta}_{\text{общ}}}{\bar{\Delta}_{\text{б.ст}}} = \sqrt{1 + b^2}.$$

Точность этой формулы иллюстрируется данными, приведенными в таблице IV.

Т а б л и ц а IV

b	$\bar{\Delta}$ (кан.) экспер.	$\bar{\Delta}_{\text{общ}}$	$\bar{\Delta}_{\text{общ}}$
		$\bar{\Delta}_{\text{б.ст. экспер.}}$	$\bar{\Delta}_{\text{б.ст. расчет.}}$
0	6,45	1,00	1,00
0,15	6,52	1,01	1,01
0,28	6,72	1,04	1,04
0,46	7,08	1,10	1,10

На рис. 2 (б) показана гистограмма пика для $b=0$ и $b=0,45$.

3. Поведение системы стабилизации при линейных дрейфах

Зависимость величины ошибки усиления от времени при введении в систему линейного дрейфа описывается уравнением (11), где $r = \frac{1}{n_0 b}$. В установившемся режиме ($t \gg r$) эта зависимость может быть упрощена и после подстановки a и r имеет вид:

$$\epsilon = \frac{\xi \cdot n_0 \cdot b}{n_0 \cdot b} = \xi.$$

На рис. 3 (в) приведены гистограммы пиков, снятые для двух значений скорости дрейфа: $\xi = 1$ и $\xi = 2$, сдвиг пиков при этом составляет ≈ 1 канал и $\approx 2,1$ канала соответственно.

Таким образом, система стабилизации второго типа оказывается более устойчивой к линейным дрейфам.

IV. 3 а к л ю ч е н и е

Сравнительный анализ двух основных типов используемых в настоящее время систем стабилизации позволяет сделать следующие выводы:

1. Обработка скачков усиления в системе стабилизации второго типа производится значительно быстрее, чем в системе первого типа.

2. Влияние собственных флуктуаций обеих систем стабилизации на ширину пиков в спектре примерно одинаково для реальных значений $\bar{\Delta}$, получаемых при амплитудном анализе с полупроводниковыми детекторами ($\bar{\Delta} \approx 5-10$ каналов).

3. Система стабилизации второго типа более устойчива к линейно-меняющимся дрейфам.

4. В случае прерывания эксперимента по каким-либо причинам в системе первого типа накопленная коррекция исчезает. Этот недостаток может быть устранен, если вместо итенсиметра использовать реверсивный счетчик и цифро-аналоговый преобразователь^{/4/}, но при этом значительно возрастает количество необходимого оборудования.

5. В системе стабилизации второго типа диапазон перекрытия возможных дрейфов усиления равен:

$$d = \frac{N \cdot b}{N_{\text{эт}}} \cdot 100\% , \quad (14)$$

где N - емкость регистра усиления; $N_{\text{эт}}$ - номер канала, в котором регистрируется эталонный пик в отсутствие дрейфа.

Выражение (14) справедливо и для системы с реверсивным счетчиком. Для расширения диапазона в этих системах необходимо увеличивать емкость регистра (реверсивного счетчика).

В системе с разностным итенсиметром диапазон перекрытия дрейфов определяется областью линейности работы итенсиметра и практически не ограничен.

6. Система стабилизации второго типа имеет зону нечувствительности, равную одному каналу. Однако влияние этой зоны на дополнительное уширение пиков в спектре будет сказываться лишь при очень узких эталонных пиках. Для реальных пиков это уширение уменьшается пропорционально $\bar{\Delta}$ и может не учитываться.

7. Проведенный в данной работе анализ двух типов систем стабилизации позволяет, исходя из реальных условий работы этих систем в физическом эксперименте, выбрать как тип системы стабилизации, так и ее основные параметры.

Л и т е р а т у р а

1. R. Dudley, R. Scarpatetti. Nucl. Instr. Meth. v. 25 (1964), N=2, p. 297.
2. H. de Waard. Nucleonics, July, 1955, p. 36.
3. D. Wilkinson. J. Sci. Instr. v. 27, 36 (1950).
4. J. Ladd, J. Kennedy. CREL--1063 (1961).
5. R. Chase. IRE Trans. on Nucl. Sci. NS-9, 1, (1962) p.4.
6. А.Н. Утюжников. Диссертация, Дубна 1965 г.
7. В.И. Приходько, В.Г. Тишин. Преприят ОИЯИ 2492, Дубна 1965 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 апреля 1968 г.

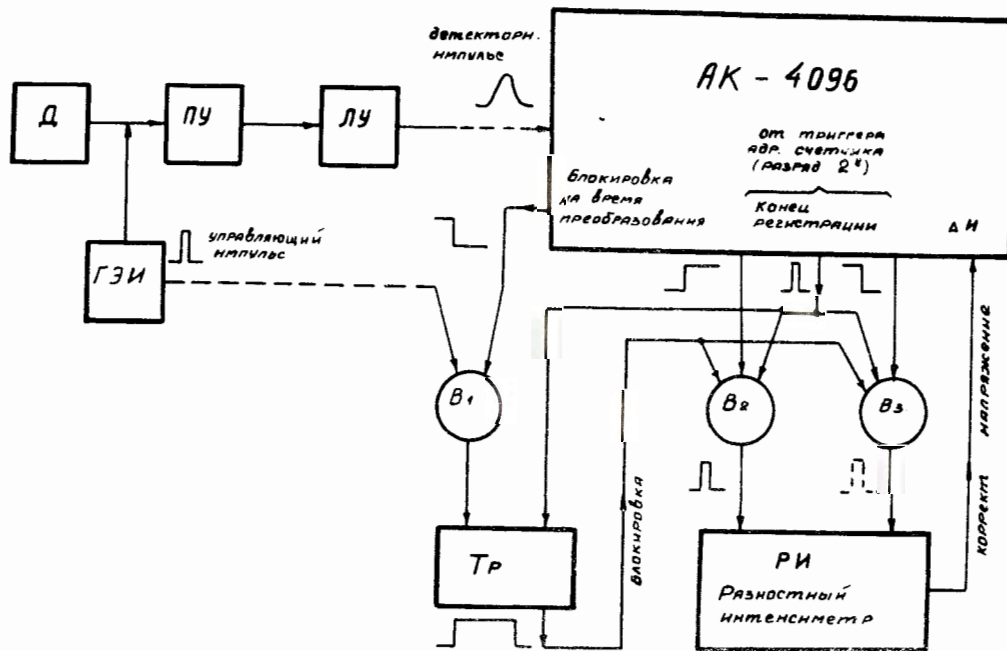


Рис. 1. Блок-схема спектрометра с системой стабилизации, использующей разностный интенсивметр. Д - полупроводниковый детектор; ПУ - предусилитель; ЛУ - линейный усилитель; ГЭИ - генератор эталонных импульсов; В - вентили; Тр - триггер блокировки; РИ - разностный интенсивметр; АК - 4096 - амплитудный анализатор на 4096 каналов.

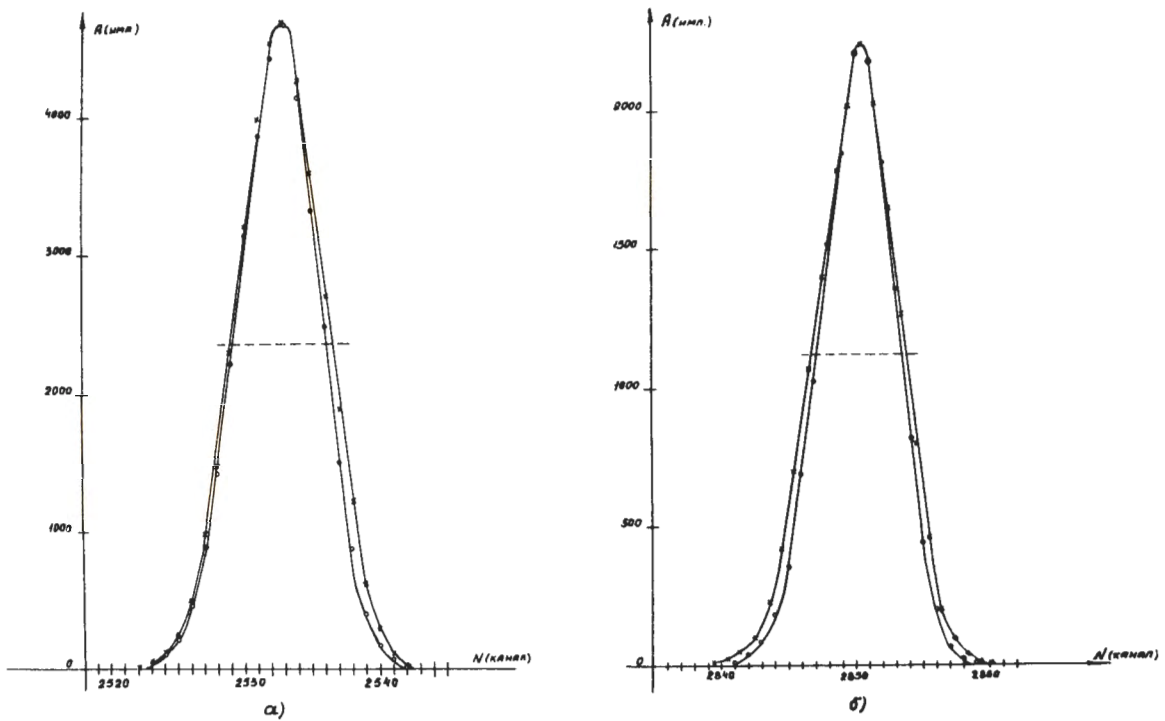


Рис. 2. Гистограммы реперных пиков, характеризующие их уширение: а) для системы стабилизации первого типа, \circ - без стабилизации ($\bar{\Delta} = 7,0$ кан.), \times - со стабилизацией ($b = 0,72$, $\bar{\Delta} = 7,9$ кан.); б) для системы стабилизации второго типа, \circ - без стабилизации ($\bar{\Delta} = 6,45$ кан.), \times - со стабилизацией ($b = 0,46$; $\bar{\Delta} = 7,1$ кан.).

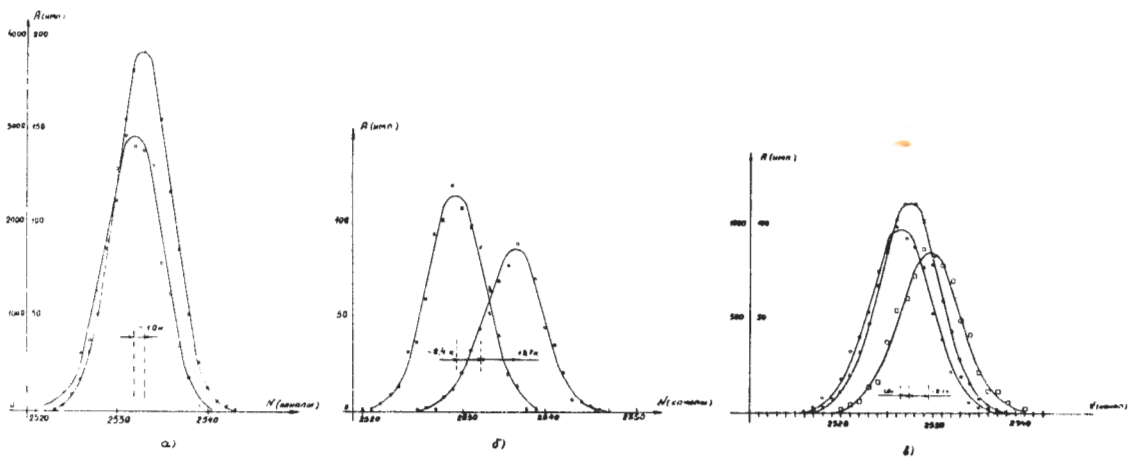


Рис. 3. Гистограммы реперных пиков при линейно меняющихся дрейфах: а, б - для системы стабилизации первого типа, а) \times - без дрейфа ($a = 0$), \circ - дрейф (-), $a_- = 0,25 b$; б) \circ - дрейф (+), $a_+ = 0,76 b$, \times - дрейф (-), $a_- = 0,6 b$; в) для системы стабилизации второго типа, \times - без дрейфа ($a = 0$); \circ - дрейф (-), $a_- = b$; \circ - дрейф (+), $a_+ = 2 b$.

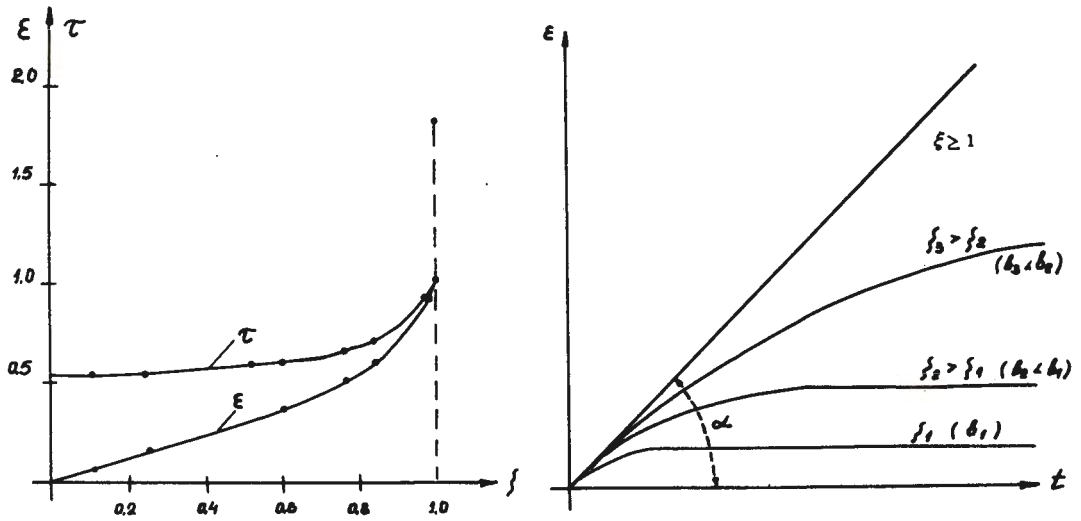


Рис. 4. а) Кривые, характеризующие зависимости величины сдвига пика ϵ и постоянной времени τ от скорости линейного дрейфа ξ ; б) качественная картина переходного процесса установления ϵ при различных значениях скорости дрейфа ξ .

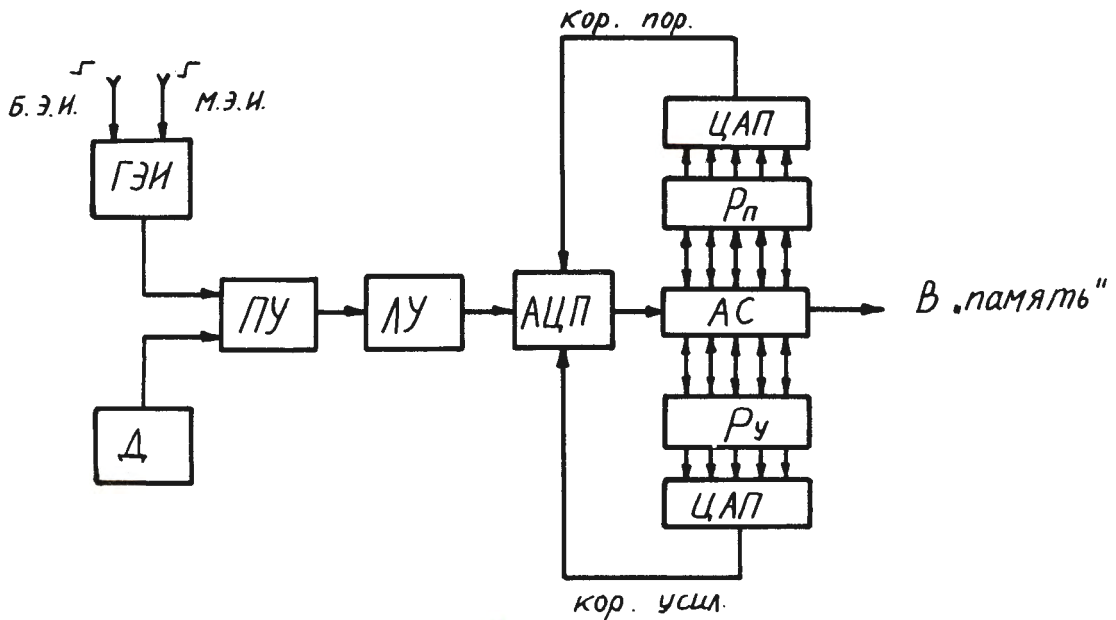


Рис. 5. Блок-схема спектрометра с системой стабилизации второго типа. ГЭИ - генератор эталонных импульсов; Д - полупроводниковый детектор; ПУ - предусилитель; ЛУ - линейный усилитель; АЦП - аналого-цифровой преобразователь; АС - адресный счетчик; Р_п и Р_у - регистры стабилизации порога и усиления; ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь.