

О возможности уменьшения погрешности измерений спектрометров с пропорциональными газовыми детекторами при RC-CR формировании выходных сигналов

При анализе элементного состава исследуемого вещества задача заключается в определении истинной интенсивности линий излучения. Погрешность определения интенсивности вызвана просчетами спектрометра. Уменьшение погрешности может быть достигнуто как учетом (коррекцией) просчетов, так и их уменьшением. В настоящей статье предложен способ уменьшения погрешности измерений путем уменьшения просчетов при допустимом ухудшении энергетического разрешения спектрометра. Приводится алгоритм автоматической установки длительности выходных сигналов спектрометрического усилителя и ширины окна дифференциального дискриминатора для амплитудного анализа.

Ключевые слова:

излучение, спектрометрический усилитель, пропорциональный газовый детектор, сбор заряда, энергетическое разрешение, просчеты, погрешность измерений, наложения сигналов.

А.И.Сергеев

(Уральский Федеральный Университет,
г. Екатеринбург)

Погрешность определения интенсивности линий излучения вызвана просчетами спектрометра. В спектрометрах высокого разрешения просчеты возникают в результате режекции (отбраковки) наложенных сигналов. Уменьшение погрешности в определении истинной интенсивности линий излучения в этом случае традиционно производится путем учета (коррекции) просчетов. Сравнительный анализ корректоров просчетов для спектрометров высокого разрешения с полупроводниковыми детекторами (ППД) приведен в работе [1].

Пропорциональные газовые детекторы (ПрГД) имеют значительно худшее энергетическое разрешение, чем ППД, и ухудшение разрешения, вызванное наложениями сигналов спектрометров с ПрГД значительно менее критично, чем с ППД. Поэтому нет острой необходимости в режекции наложенных сигналов, а уменьшение погрешности измерений может быть достигнуто путем уменьшения просчетов при худшем энергетическом разрешении.

Величина просчетов зависит от количества наложенных выходных сигналов в единицу времени и от правильной установки ширины окна дифференциального дискриминатора для амплитудного анализа.

Количество наложений растет при увеличении как загрузки, так и длительности выходных сигналов усилителя. Если базовая линия стабильна, наложения приводят к расширению основного пика амплитудного распределения со стороны больших энергий. При наложениях сигналов образуются пики кратных наложений. Между основным пиком и пиком двукратных (в основном) наложений образуется так называемая “полка”. Указанные искажения амплитудного распределения выходных сигналов усилителя приводят к просчетам спектрометра.

Для любого энергетического разрешения ширина окна дифференциального дискриминатора при совмещении его центра с максимумом амплитудного распределения выходных сигналов должна соответствовать границам основного (исследуемого) пика. Уменьшение ширины окна ведет к увеличению просчетов, а при значительном увеличении его за границы исследуемого пика окно может частично перекрыть расположенный рядом с ним пик.

Ухудшение энергетического разрешения спектрометра, вносимое усилителем-формирователем, при симметричном пике амплитудного распределения выходных сигналов влияет, скорее, не на величину просчетов, но на дополнительную погрешность измерений, которая может быть вызвана частичным перекрытием пиков амплитудного распределения выходных сигналов усилителя.

Разрешение спектрометра зависит как от детектора (ПрГД), так и от усилителя. Разрешение детектора определяется только физикой и режимом его работы и не зависит, в частности, от интенсивности его засветки в широких пределах. Физические процессы в детекторе не изменяются. Ухудшение разрешения, вносимое усилителем при высоких нагрузках, вызвано, в основном, ограничением сбора заряда импульсов тока детектора, что является вынужденной мерой для уменьшения длительности выходных сигналов усилителя.

Существуют разные способы формирования выходных сигналов усилителей. Наиболее простым, дешевым и распространенным до настоящего времени является последовательное пассивное RC -интегрирование и CR -дифференцирование с равными постоянными времени ($T_{дифф.} = T_{инт.}$) сигналов блока детектирования (БД) [2-5].

Полнота сбора заряда импульса тока детектора определяется интервалом времени его интегрирования до достижения максимума выходного сигнала. Чем он больше, разумеется, в пределах длительности сигнала блока детектирования, тем меньше ухудшается энергетическое разрешение. И, наоборот, чем меньше, тем хуже разрешение. Важной причиной ухудшения разрешения (при ограничении сбора заряда тока детектора) являются флуктуации длительности фронтов нарастания выходных сигналов блока детектирования. Это особенно характерно для ПрГД большого объема, где фронты нарастания сигналов могут отличаться по длительности в полтора–два раза.

Логично считать временем формирования сигнала время от его начала до достижения максимума, что зависит от постоянной времени интегрирования RC -цепи. Остальная часть сигнала – спад – не только не информативна, но и вредна с точки зрения увеличения вероятности наложения сигналов. CR -дифференцирование частично укорачивает спад и, соответственно, длительность выходного сигнала. С увеличением длительности формирования выходных сигналов увеличивается количество просчетов. И, наоборот, чрезмерное уменьшение времени формирования и, следовательно, ухудшение разрешения из-за ограничения сбора заряда тока

детектора может привести к перекрытию соседних пиков амплитудного распределения выходных сигналов. При этом погрешность измерений может быть непредсказуемой. Необходимо также отметить, что при уменьшении времени формирования растет вклад шумов электроники в ухудшение энергетического разрешения. Таким образом, при решении задачи уменьшения погрешности измерений необходимо искать компромисс между уменьшением просчетов и ухудшением энергетического разрешения.

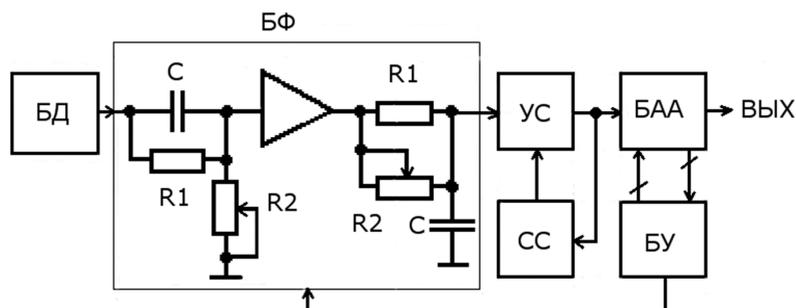


Рис.1. Упрощенная функциональная схема спектрометра.

Функциональная схема

На рис.1 показана функциональная схема устройства, поясняющая предлагаемый алгоритм для уменьшения просчетов. Устройство содержит блок детектирования (БД), блок RC - CR -формирования (БФ), усилитель с регулируемым коэффициентом усиления (УС), систему стабилизации (СС), блок амплитудного анализа (БАА), блок управления (БУ).

В БФ дифференцирование производится цепью компенсации полюса нулем. Выходные сигналы такой цепи, в отличие от простой CR -дифференцирующей цепи, не имеют выбросов противоположной полярности, которые увеличивают длительность выходных сигналов и являются причиной расширения пика амплитудного распределения со стороны более низких энергий. Постоянные времени дифференцирования и интегрирования $T_{дифф.} = T_{инт.} = (R1 \parallel R2) \cdot C$ регулируются синхронным изменением величины сопротивлений $R2$ обеих цепей. В качестве регулируемых сопротивлений могут быть использованы идентичные полевые транзисторы. При изменении напряжения на затворе транзистора изменяется сопротивление канала сток–исток.

Регулировка коэффициента усиления УС производится блоком СС, обеспечивая тем самым стабилизацию коэффициента преобразования спектрометра при изменении постоянной времени формирования сигнала, режима работы детектора и влиянии других дестабилизирующих факторов. Указанная регулировка может производиться как в аналоговом, так и цифровом вариантах.

Алгоритм работы

Допустим, что фоном, пиком двойных наложений, а также полкой между основным пиком и пиком двойных наложения, по причине их малости, можно пренебречь, а базовая линия стабилизирована. Амплитудное распределение выходных сигналов при таких допущениях показано на рис.2.

Выходные сигналы УС поступают на вход БАА (рис.1). БАА имеет в своем составе шесть дифференциальных дискриминаторов (ДД) с частичными окнами **ab**, **bc**, **cd**, **de**, **eg**, **gh**, расположенными симметрично относительно максимума амплитудного распределения. Указанные частичные окна в совокупности образуют полное окно дискриминатора. Соответствующие им выходы БАА подключены к БУ (рис.1). Площади **s1** и **s2** пропорциональны скоростям счета в окнах **ab** и **bc**, аналогично и площади **s3–s6** в окнах **cd**, **de**, **eg** и **gh**, поэтому в известном смысле (в данном случае) термины “площади” и “скорости счета” могут считаться синонимами.

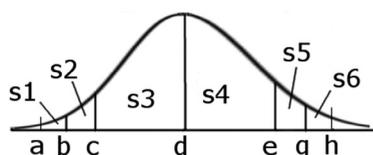


Рис.2. Амплитудное распределение выходных сигналов УС. Окна БАА.

Рассмотрим левую часть пика амплитудного распределения относительно его максимума (рис.2). При условии, что она описывается нормальным законом, суммарная площадь в окнах **ab**, **bc** и **cd** (для суммарной их ширины, равной 3σ) равна 99,72% от общей площади левой части пика. Выбираем следующие пропорции для ширины частичных окон: **ab = bc**, **cd = 3ab**. В этом случае при суммарной ширине окон **ab**, **bc** и **cd**, равной 3σ , находим, что площади для $1,8\sigma$, $2,4\sigma$ и $3,0\sigma$ будут составлять доли, равные 0,9282, 0,9836 и 0,9974, соответственно, от полной площади левой части пика. При этом получаем соотношения площадей **s2:s1 = 4,01** и **s3:s2 = 16,76**. Расчет произведен согласно данных [6]. Именно такие (или близкие к ним) соотношения между указанными площадями, либо, другими словами, между скоростями счета в соответствующих частичных окнах нужно обеспечить при установке ширины окон ДД.

Примерно такие же соотношения будут выполняться и для правой половины пика амплитудного распределения при условии его минимальной ассиметрии.

Относительно выбранной величины σ и границ пика можно сделать следующие замечания. В большинстве источников информации (интернет) нет прямых указаний на точные границы пика амплитудного распределения при работе с ПрГД, поэтому за ориентир может быть принят ГОСТ 29115-91 для спектрометров с ППД, где границы пика определяются на уровне 0,1 его высоты. При условии, что кривая амплитудного распределения выходных сигналов описывается нормальным законом, таким границам пика соответствует полное окно дифференциального дискриминатора шириной, примерно равной $2,8\sigma + 2,8\sigma$, т. е. очень близко к выбранному выше (в качестве примера) значению. Реальная ширина окна для спектрометров с ПрГД (в отличие от ППД) может быть и меньше, и определяется допустимой величиной просчетов.

При определении интенсивности интересующей линии излучения логично исходно установить относительно узкие окна БАА, как, например, показано на рис.3 (или еще уже). Предполагается, что энергетическое разрешение используемого детектора известно.

Процесс установки длительности выходных сигналов УС и ширины полного окна дискриминатора для амплитудного анализа поясняется рис. 3 – 9. Произвольно выбранное (в качестве примера) амплитудное распределение выходных сигналов показано на рис.3.

Как видно из рис.3, исходно количество частичных и полных наложений сигналов относительно велико, основной пик узкий и из-за частичных наложений резко несимметричен, пик двойных наложений относительно высокий. Это характерно для достаточно высокой загрузки при относительно большой длительности выходных сигналов УС.

Информация о скоростях счета в окнах поступает в БУ. При анализе этой информации БУ вырабатывает управляющие сигналы для изменения постоянной времени $RC-CR$ формирования в блоке УС, а также ширины окон ДД.

Суммарная площадь **s1+s2+s3** (рис.3) отличается от суммарной площади **s4+s5+s6** незначительно, что в первом приближении не существенно. Важнее другое: соотношение **s3:s2** значительно

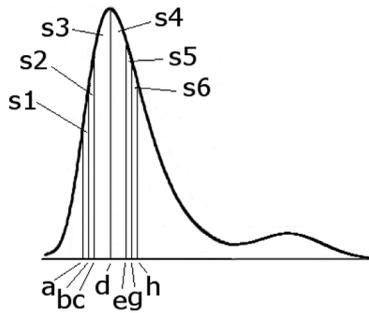


Рис.3. Исходное амплитудное распределение.

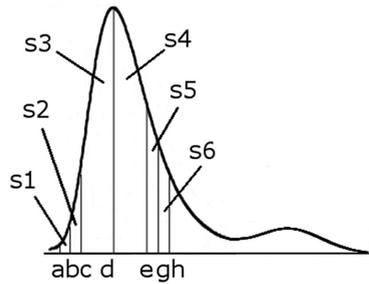


Рис.4. Суммарная площадь $s4+s5+s6$ больше суммарной площади $s1+s2+s3$.

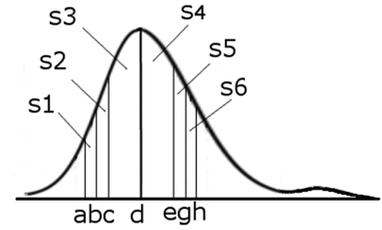


Рис.5. Соотношение $s3:s2$ значительно меньше заданного (16,76).

меньше заданного (16,76). Поэтому по сигналу БУ увеличивается окно **cd**. Окна **ab = bc** также пропорционально увеличиваются. Это же произойдет с окнами **de = cd** и **eg = gh = ab = bc**, как показано на рис.4.

Соотношение площадей $s3:s2$ близко к заданному (16,76), но суммарная площадь $s4+s5+s6$ больше суммарной площади $s1+s2+s3$. По сигналам БУ уменьшается величина постоянной времени $RC-CR$ формирования в блоке УС. Длительность сигналов, а также количество наложенных сигналов и несимметрия пика уменьшается (рис.5).

Энергетическое разрешение ухудшилось. Суммарная площадь $s1+s2+s3$ (рис.4) отличается от суммарной площади $s4+s5+s6$ незначительно, но соотношение $s3:s2$ значительно меньше заданного (16,76). По сигналам БУ увеличивается окно **s3**. Синхронно изменяются и остальные окна (рис.6).

Соотношение $s3:s2$ близко к заданному (16,76), но суммарная площадь $s4+s5+s6$ больше суммарной площади $s1+s2+s3$. Вновь изменяется (уменьшается) величина постоянной времени $RC-CR$ формирования в блоке УС. Ухудшается энергетическое разрешение, но при этом уменьшается количество наложенных сигналов, пик становится почти симметричным (рис.7).

Суммарная площадь $s1+s2+s3$ отличается от суммарной площади $s4+s5+s6$ незначительно, но соотношение $s3:s2$ меньше заданного (16,76). Вновь увеличивается окно **s3**. Синхронно изменяются и остальные окна (рис.8).

Теперь выполняются заданные соотношения: $s2:s1 = 4,01$, а $s3:s2 = 16,76$. Речь, разумеется, не идет о точном их выполнении. Пик почти симметричен.

Таким образом, оба пика (основной и двойных наложений) (рис.3) интегрированы в один общий пик суммарной интенсивности (рис.8).

Из сравнения площадей левой и правой частей пика сложно сделать вывод о точной величине просчетов при различном энергетическом разрешении. Поэтому возникает естественный вопрос – до каких пор выравнивать площади, жертвуя энергетическим разрешением?

Возможен следующий вариант. Ухудшение энергетического разрешения из-за укорочения сигналов неизбежно приводит к перекрытию расположенных рядом пиков амплитудного распределения, и важно не допустить этого. Исходно, как видно из динамики подстройки порогов и окон, площади **s2** и **s1** отличаются незначительно. По мере расширения частичных окон

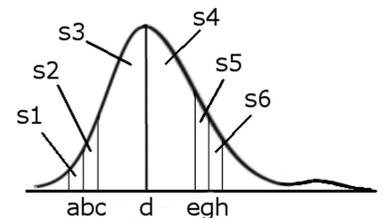


Рис.6. Суммарная площадь $s4+s5+s6$ больше суммарной площади $s1+s2+s3$.

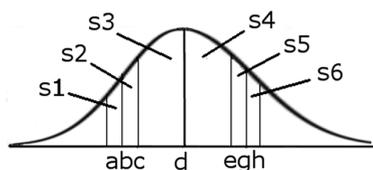


Рис.7. Соотношение $s3:s2$ меньше заданного (16,76).

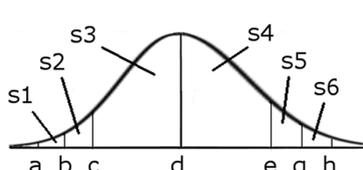


Рис.8. Выполняются заданные соотношения.

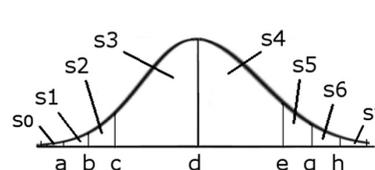


Рис.9. Дополнительные окна $s0$ и $s7$.

соотношение $s2:s1$, а также $s5:s6$ увеличивается и стремится к заданной величине (4,01). Но при частичном перекрытии соседних пиков, слева или справа, соотношение $s2:s1$ или $s5:s6$ начнет уменьшаться. Это и может являться достаточным условием для запрета на дальнейшее укорочение выходных сигналов УС. В случае, если в амплитудном распределении только один пик, следует ограничить пороги срабатывания ДД исходя из динамического диапазона УС.

Возможен и другой вариант. БАА дополняется еще двумя ДД так, что образуются еще два дополнительных частичных окна такой же ширины, что и окна $ab = gh$. Первое дополнительное окно слева от окна ab имеет площадь $s0$, а второе справа от gh имеет площадь $s7$ (рис.9). При этом укорочение длительности выходных сигналов (исходя из выбранных выше соотношений между площадями и данных [6,7]) запрещается при условии увеличения отношения $(s1+s2+s3):s0$ и $(s3+s4+s5):s7$ до необходимой величины, определяемой, как и ширина окна ДД, допустимой величиной просчетов. В случае, когда после увеличения указанных соотношений, они вновь начинают уменьшаться, дальнейшее укорочение длительности выходных сигналов также запрещается.

Оба предложенных варианта (второй в меньшей степени) имеют общий, но легко устранимый недостаток. Для уменьшения просчетов, согласно алгоритму, сознательно ухудшается энергетическое разрешение. Пик амплитудного распределения расширяется, и необходимые величины порогов срабатывания могут выйти за пределы динамического диапазона УС, а сам УС будет перегружаться до насыщения сигналами этого пика. В этом случае следует синхронно в кратное, например, число раз изменить коэффициент усиления УС и величины порогов срабатывания компараторов. Такой (достаточно очевидный) способ изменения энергетической шкалы описан в работе [8].

Необходимо отметить, что описанные подстройки окон ДД, с одной стороны, и постоянной времени формирования, с другой стороны, происходят не пошагово, как описано выше, но плавно и независимо друг от друга. Для уменьшения рысканий системы и обеспечения ее устойчивости скорость изменения окон ДД должна быть больше скорости изменения постоянной времени формирования выходных сигналов.

Алгоритм автоматической установки предполагает, что в процессе подстройки длительности сигналов и ширины окон не происходит резких изменений загрузки.

Несколько слов относительно максимальной скорости счета в исследуемом пике, при которой применим алгоритм. Помимо энергетического разрешения детектора и его ухудшения спектрометрическим усилителем, максимальная скорость счета ограничена допустимой загрузкой детектора. Во многом это определяется физическими причинами формирования токовых сигналов ПрГД. Часто верхняя граница загрузки ПрГД ограничивается предприятием-изготовителем детектора по результатам его тестирования конкретным изотопом. Это, например, может

быть изотоп Fe-55 для ПрГД СИ11Р, либо аналогичные ему. Для СИ11Р при этом указана максимальная загрузка 200000 1/с, хотя энергетическое разрешение детектора незначительно ухудшается при повышении загрузки примерно до 500000 1/с. Дальнейшее увеличение загрузки сопровождается заметным уменьшением коэффициента газового усиления и ухудшением энергетического разрешения. Это физически обусловлено сильным влиянием пространственных зарядов у анода и в объеме детектора. И хотя экспериментально установлено, что максимальная скорость счета этого детектора при тестировании изотопом Fe-55 может быть увеличена до 1000000 1/с, такие высокие загрузки не могут быть рекомендованы. Разумно использовать максимальные загрузки, не превышающие более чем в два – два с половиной раза те, которые рекомендованы (традиционно с явным запасом) изготовителем. Если в спектре излучения две и более различимые детектором линии, в общем случае сложно спрогнозировать максимально допустимую скорость счета в исследуемом пике. Логично в этих случаях ориентироваться на энергетическое разрешение, как предложено выше.

Отметим, что предлагаемый алгоритм автоматической установки применим и в случае использования сцинтилляционных детекторов.

Основное внимание в данной статье уделено описанному выше алгоритму, поэтому схемотехника БУ не рассматривается. По той же причине подробно не рассматривается блок СС, а на схеме рис.1 не показан стабилизатор базовой линии спектрометра, который может быть подключен последовательно с блоком УС перед блоками БАА и СС.

Реализация БУ может быть в аналоговом, цифро-аналоговом вариантах, в том числе и с применением микропроцессоров. Сравнение скоростей счета, по мнению автора, наиболее просто производить в аналоговом виде. Для этого последовательности логических импульсов (одинаковой длительности и амплитуды) с выходов частичных окон преобразуются в сигналы напряжения с помощью *RC*-интегрирующих цепей и в нужном соотношении сравниваются при помощи компараторов с малым гистерезисом.

Система стабилизации энергетической шкалы спектрометра является, как правило, необходимым элементом и наиболее часто производится по искусственному реперному пику. При данном способе происходит стабилизация всего тракта формирования выходных сигналов вне зависимости от нестабильностей отдельных его блоков. При использовании ПрГД логично установить реперный пик, по возможности в начале энергетической шкалы, чтобы исключить его перекрытие сигналами исследуемого ИИ. В случае использования сцинтилляционных детекторов, из-за влияния фона, вызванного комптоновским эффектом, приоритетной может быть установка репера в конце шкалы.

Практические варианты (способов и устройств) стабилизации энергетической шкалы с использованием реперного пика от эталонного источника ИИ приведены, в частности, в работах [8-19]. В работе [11] описано устройство для стабилизации энергетической шкалы спектрометра, в котором обеспечивается автоматический поиск реперного пика от источника ИИ. В работе [13] приведена система стабилизации с компенсацией фона под реперным пиком. В работе [18] описан сцинтилляционный детектор со встроенным реперным источником. Принципиальных отличий в способах и устройствах стабилизации энергетической шкалы спектрометров со сцинтилляционными и газовыми детекторами с использованием эталонного источника ИИ нет. Сравнительный подробный обзор указанных решений выходит за рамки статьи.

Обзор стабилизаторов базовой линии приведен, в частности, в работах [20,21].

Литература.

1. Белоусов М.П., Игнатьев О.В., Пулин А.Д. Сравнительный анализ корректоров просчетов для прецизионных X-спектрометров с ППД // Аналитика и контроль. 2002. Т 6, N 4. С. 434-440. URL: <http://elar.ufrf.ru/bitstream/10995/57267/1/aik-2002-04-15.pdf> (дата обращения: 9.04.2021).
2. Деменков В.Г., Деменков П.В. Начала электронных методов ядерной физики. СПб.: Издательство Лань, 2016. URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/71708/?demoKey=3f78da55589bf04d93295bd3f3d122eb#3> (дата обращения: 9.04.2021).
3. Цитович А.П. Ядерная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1984, 408 с.
4. Кэбин Э.И. Ядерная электроника для пользователей. Кафедра общей ядерной физики физического факультета МГУ. Сервер " Ядерная физика в Интернете ". URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/electronics/index.html> (дата обращения: 9.04.2021).
5. Басиладзе С.Г. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. М.: Издательство КДУ МГУ им. М.В. Ломоносова, 2016.
6. Таблицы распределений. Стандартное нормальное (Z) распределение. URL: <http://statsoft.ru/home/textbook/modules/sttable.html> (дата обращения: 9.04.2021).
7. Кривая нормального распределения. URL: <http://soc-research.info/quantitative/1.html> (дата обращения: 9.04.2021).
8. Балдин С.А. Патент SU 1 807 438 A1, G01T/40. Способ стабилизации энергетической шкалы спектрометра ионизирующих излучений полевого типа и устройство для его осуществления. Публикация 07.04.1993.
9. Скобло Ю.А., Никитин В.Е., Бутиков И.Ю., Ролдугин В.А. Патент RU 2495456. G01T/40. Способ стабилизации спектрометрического тракта сцинтилляционного блока детектирования гамма-излучения по реперному пику. Дата публикации 10.10.2013.
10. Шабунин Л.И. Гусев В.П. Артемьев В.А. Патент SU 1657013. G01T/40. Дифференциальная система стабилизации коэффициента усиления спектрометрического тракта. Дата публикации 07.10.1996.
11. Быстров С.А. Хохлов Ю.П. Патент SU 1512341. G01T/40. Устройство для стабилизации энергетической шкалы спектрометра. Дата публикации 06.27.1998.
12. Быстропов В.И. Патент SU 1325392. G01T/40. Способ дифференциальной стабилизации спектрометрического тракта по реперному пику. Дата публикации 23.07.87.
13. Брагин А.А., Бухало О.П., Ролик Е.И., Стрешевич А.И., Федоров Р.Ф., Щербинин Н.И. Патент SU 949571. G01T/40. Система стабилизации энергетической шкалы спектрометра. Дата публикации 07.08.1982.
14. Ролдугин В.А., Скобло Ю.А., Бутиков И.Ю. Патент SU 2225017. G01T/40. Способ дифференциальной стабилизации спектрометрического тракта сцинтилляционного блока детектирования гамма-излучения по реперному пику. Дата публикации 27.02.2004.
15. Скобло Ю.А., Никитин В.Е., Бутиков И.Ю., Ролдугин В.А. Патент SU 2364892. G01T/40. Способ стабилизации чувствительности сцинтилляционного блока детектирования гамма-излучения. Дата публикации 08.20.2009.
16. Карякин Ю.Л., Прокудин О.М., Соловьев Ю.Ф., Улитенко К.Я., Демин А.В. Патент SU 2445648. G01T/40. Способ стабилизации и корректировки коэффициента передачи сцинтилляционного детектора и устройство для его осуществления. Дата публикации 20.03.2012.
17. Левитин А.С., Морозов О.С., Никитина А.Ф. Патент SU 795202. G01T/40. Устройство для стабилизации коэффициента преобразования. Дата публикации 15.04.1990.
18. Лебедев И.А., Соборнов О.П., Щеглов О.П. Патент SU 776272 G01T/40. Сцинтилляционный детектор с реперным источником. Дата публикации 23.06.1982.

19. Башкиров Н.И. Патент SU 1605805 G01T/40. Способ автоматической стабилизации коэффициента передачи детектирующего тракта и устройство для его осуществления. Дата публикации 30.11.1992.
20. Игнатъев О.В., Дудин С.В., Пулин А.Д. Патент РФ RU2085967C1, G01T/40. Стабилизатор базовой линии спектрометра. Дата публикации 27.07.1997.
21. Игнатъев О.В. Быстродействующие спектрометры с полупроводниковыми детекторами рентгеновского и гамма-излучения. Диссертация и автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. URL: https://static.freereferats.ru/_avtoreferats/01005085901.pdf. URL: <https://www.dissercat.com/content/bystrodeistvuyushchie-spektrometry-s-poluprovodnikovymi-detektorami-rentgenovskogo-i-gamma-i> (дата обращения: 9.04.2021).

On the Possibility of Reducing the Measurement Error of Spectrometers with Proportional Gas Detectors in the RC-CR Formation of Output Signals

Sergeev Alexander (Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia)

Abstract. When analyzing the elemental composition of the substance under study, the task is to determine the true intensity of the radiation lines. The error in determining the intensity is caused by errors in the spectrometer. Reducing the error can be achieved by taking into account (correcting) the errors, as well as reducing them. In this paper, we propose a method for reducing the measurement error by reducing the miscalculations with an acceptable deterioration in the energy resolution of the spectrometer. An algorithm for automatically setting the duration of the output signals of the spectrometric amplifier and the width of the differential discriminator window for amplitude analysis is presented.

Key words: radiation, spectrometric amplifier, proportional gas detector, charge collection, energy resolution, miscalculations, measurement error, signal overlapping.

А.И.Сергеев (к.т.н., доцент) – Уральский Федеральный Университет, г. Екатеринбург.
Контакты: тел. +7 (912) 283-63-18; e-mail: aiseas@mail.ru.