

А-729

ПТЭ, 1970 №5, с. 46-50 29/IV-70

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 4979



В.А. Антюхов, Б.Ю. Семенов

ИНСПЕКТОР НАЛОЖЕНИЙ ИМПУЛЬСОВ
ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО АМПЛИТУДНОГО
СПЕКТРОМЕТРА С РС -ФИЛЬТРАМИ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

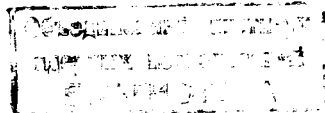
1970

P13 - 4979

В.А. Антюхов, Б.Ю. Семенов

ИНСПЕКТОР НАЛОЖЕНИЙ ИМПУЛЬСОВ
ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО АМПЛИТУДНОГО
СПЕКТРОМЕТРА С RC -ФИЛЬТРАМИ

Направлено в ПТЭ



8289/2 чф.

Антюхов В.А., Семенов Б.Ю.

P13-4979

Инспектор наложений импульсов для прецизионного амплитудного спектрометра с RC-фильтрами

Описано устройство для генерации сигнала, блокирующего запуск амплитудного анализатора при появлении наложенных событий (инспектор наложений на спад). Рассмотрены требования к его характеристикам, приведены функциональная и принципиальная схемы, обсуждаются результаты экспериментов.

Логарифмическая зависимость длительности импульса блокировки от амплитуды входного сигнала, отсутствие собственного мертвого времени, большой динамический диапазон по входным сигналам (вплоть до 1000), сохранение работоспособности при больших входных нагрузках - все это обусловило высокую эффективность применения описываемого инспектора в прецизионном спектрометрическом тракте с формированием сигналов на RC-фильтрах.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна, 1970**

Antyukhov V.A., Semenov B.Yu.

P13-4979

Pulse Pile-Up for a Precision Amplitude Spectrometer with RC-Filters

A device for generating a signal blocking the triggering of the amplitude analyser in the case of pile-up events (the pile-up inspector) is described. The requirements to its characteristics are considered, the functional and principal circuits are given, the results of experiments are discussed.

The logarithmic dependence of the blocking pulse duration upon the input signal amplitude, the absence of the self-dead time, a wide dynamic range of input signals (up to 1000), the conservation of the performance characteristics at high counting rates provided a high efficiency of applying the abovesaid inspector in the precision spectrometer channel when pulses are shaped with RC-filters.

**Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1970**

В в е д е н и е

Повышение требований к точности измерения амплитудных спектров, также как и необходимость ее сохранения при увеличении входных загрузок спектрометра, заставляют уделять серьезное внимание проблемам борьбы с погрешностью из-за наложений, возникающей в результате измерений сумм импульсов вместо требуемого измерения одиночных сигналов. При высоких требованиях к точности с погрешностью из-за наложений приходится считаться даже в случае умеренных загрузок, при увеличении же загрузок эта погрешность может стать основной. С погрешностью из-за наложений борются, в первую очередь, уменьшением длительности измеряемого сигнала путем применения соответствующих фильтров и элементов связи между усилителем и аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Однако из-за необходимости сохранения высокого отношения сигнал-шум в системе указанный путь имеет предел применимости. Дальнейшее снижение этой погрешности может быть осуществлено путем использования устройств, опознающих и отбрасывающих наложенные события (инспекторов наложений).

За последние годы инспекторы наложений получили большое распространение. Разработано много приборов, различающихся типом наложений, которые они опознают и отбрасывают, способами опознавания наложений, схемными решениями, характеристиками /1-13/. Однако ни один из этих приборов не удовлетворяет полностью тем требованиям, которые должны предъявляться к инспекторам наложений для систем с формированием сигналов на RC -фильтрах, особенно для систем прецизионного характера.

Требования к инспектору наложений

Прежде чем приступить к формулированию требований к инспектору наложений для системы с RC -фильтрами, уточним некоторые определения.

Наложение - случай суммирования двух или более импульсов, при котором погрешность от измерения сумм (вместо требуемого измерения одиночного сигнала) будет превышать по абсолютному значению максимально допустимую погрешность (Δ).

Длительность импульса ($t_{и}$) - интервал времени, при котором удовлетворяются соотношения $|V(t)_{t=t_{и}}| = \Delta$ и $|V(t)_{t>t_{и}}| < \Delta$ ($V(t)$ - временная функция сигнала).

Длительность спада импульса (t_c) - интервал времени, равный $t_c = t_{и} - t_{ф}$, где $t_{ф}$ - длительность фронта импульса.

В системе с RC -формированием сигнала основная доля из общего числа наложений принадлежит наложениями на спад (ибо $t_c = (8+20) t_{ф}$), поэтому с ними, в первую очередь, и следует вести борьбу.

Задача инспектора наложений на спад состоит в том, чтобы не допускать на анализ сигналы с погрешностью из-за наложений большей, чем Δ , и, наоборот, не отклонять от анализа сигналы с величиной

этой погрешности меньшей Δ . С учетом данного выше определения длительности импульса задачу инспектора можно сформулировать и иначе. А именно, считать ее состоящей в том, чтобы обеспечивать блокировку спектрометра после прихода импульса на некоторое время, называемое временем защиты ($t_з$), которое должно всегда быть равным длительности пришедшего импульса

$$t_з = t_и \quad (1)$$

Неудовлетворение равенства (1) будет приводить либо к увеличению погрешности из-за наложений, если $t_з < t_и$, либо к неоправданному снижению интенсивности регистрации, если $t_з > t_и$. Если длительность сигнала зависит от его амплитуды, то выражение (1) следует записать в виде:

$$t_з(V_0) = t_и(V_0) \quad (2)$$

и потребовать его удовлетворения при любой амплитуде входного сигнала в пределах динамического диапазона инспектора.

Для большинства систем с RC-фильтрами $t_и(V_0)$ хорошо аппроксимируется логарифмической зависимостью (прямой линией в координатах $t_и, \lg V_0$). На рис. 1 изображены подобные аппроксимации в условиях, оговоренных в подписи к рисунку. Прямая "1" хорошо аппроксимирует истинную зависимость вплоть до динамического диапазона амплитуд входных сигналов, равного 1000 ($(V_0)_{min} = 10$ мВ). (Истинные значения $t_и(V_0)$, обозначенные значком "0", мало отклоняются от аппроксимирующей прямой). Однако это не выполняется для зависимостей 2,3 и 4. Например, прямая "4" хорошо аппроксимирует истинную зависимость лишь до диапазона несколько большего, чем 100. Поэтому в диапазоне входных сигналов, большем 100, целесообразно для

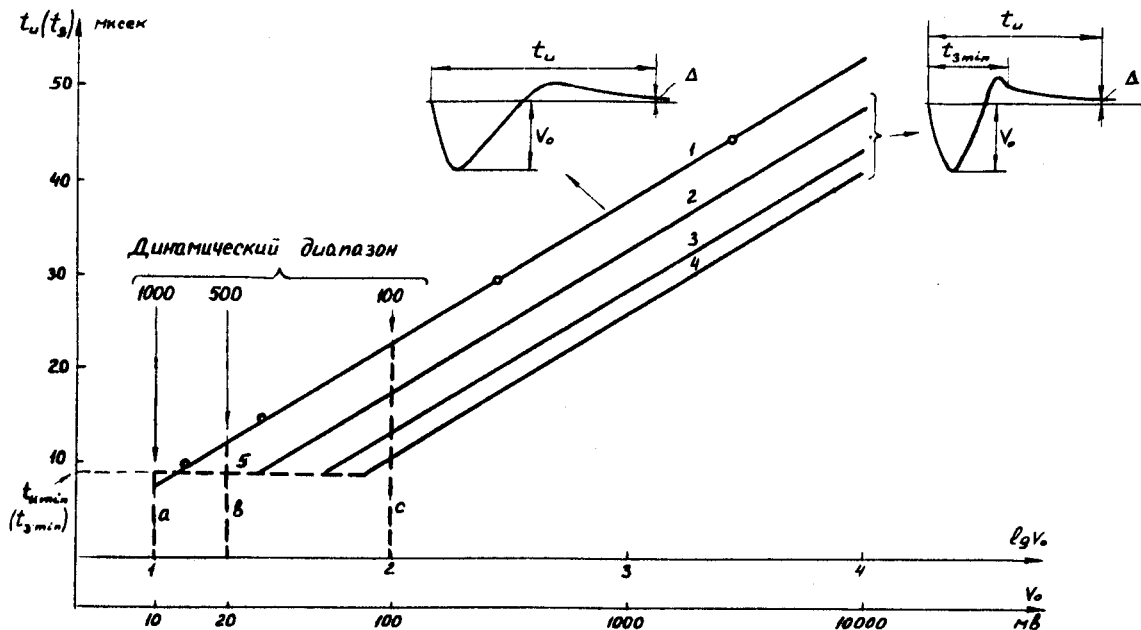


Рис.1. Графики, аппроксимирующие зависимость длительности импульса от амплитуды при связи усилителя и АЦП через RC -цепочку с постоянной времени (T_{CB}), равной 6,5 мксек; 1 - при формировании сигнала на простых RC -фильтрах ($CR=RC= T = 1$ мксек) и $\Delta = 2$ мв (\circ - истинные значения $t_u(V_0)$), рассчитанные по временной функции сигнала

$$V(t) = -0,7 V_0 \left[\left(1 + 5,5 \frac{t}{T}\right) \exp\left(-\frac{t}{T}\right) - \exp\left(-\frac{t}{T_{CB}}\right) \right],$$

2,3 и 4 - при формировании сигнала на активных RC -фильтрах и при Δ , соответственно, равных 2,4 и 6 мв.

этого случая длительность импульса считать постоянной ($t_{и} = (t_{и})_{min}$) (пунктирная прямая "5" на рис. 1).

С учетом (2) все сказанное о $t_{и}(V_0)$ можно полностью отнести к $t_{з}(V_0)$. Таким образом, для рассмотренных условий формирования импульсов требуемая зависимость времени защиты инспектора от амплитуды анализируемого сигнала представляется на плоскости $t_{з}, \lg V_0$ в общем случае тремя отрезками прямых, например, а, б и 4. В большей своей части $t_{з}(V_0)$ должна иметь логарифмический характер, в то время как в известных авторам по публикациям приборах /1-13/ время защиты либо постоянно, либо линейно зависит от амплитуды входного сигнала.

Описываемый в настоящей работе инспектор обеспечивает с хорошим приближением выполнение равенства (2), имеет возможность работы в большом диапазоне амплитуд входных сигналов (вплоть до 1000), что особенно важно при применении его в прецизионных системах. Прибор практически не имеет собственного мертвого времени.

Функциональная схема инспектора

Функциональная схема инспектора изображена на рис. 2. Прибор содержит: блок дискриминации и логарифмирования ДЛУ, который обеспечивает дискриминацию по нижнему уровню и логарифмическое преобразование входного сигнала, формирователь Ф, стандартизирующий импульс с ДЛУ по амплитуде и длительности, линейные ворота ЛВ, в которых импульс стробируется (с помощью импульса управления, поступающего от формирователя Ф) и суммируется с пьедесталом, схемы преобразования амплитуда-время АТ1 и АТ2, формирующих выходной сигнал с длительностью, пропорциональной амплитуде входного, схему суммирования ИЛИ, осуществляющую логическое суммирование сигналов с АТ1

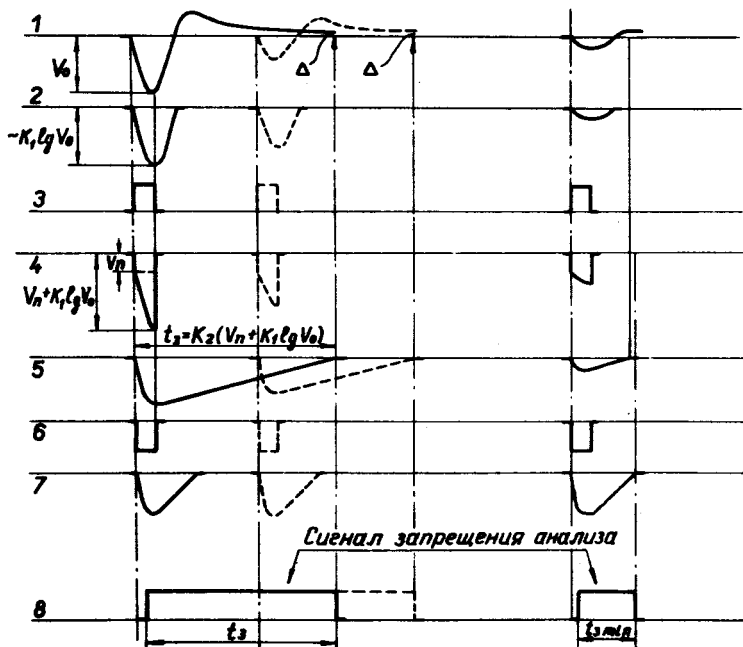
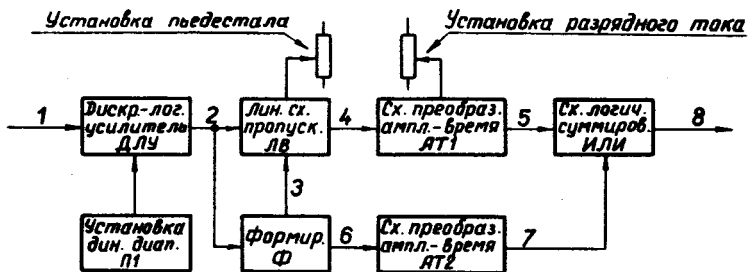


Рис.2. Функциональная схема и временные диаграммы работы инспектора наложений на спад с логарифмической зависимостью времени защиты от амплитуды анализируемого сигнала.

и АТ2 и их стандартизацию по амплитуде. Легко заметить, что данная схема обеспечивает реализацию зависимостей, подобных изображенным на рис. 1. При этом реализация наклонного участка графика обеспечивается цепочкой ДЛУ-ЛВ-АТ1-ИЛИ, а горизонтального - цепочкой ДЛУ-Ф-АТ2-ИЛИ. Регулировкой пьедестала ЛВ и разрядного тока АТ1 достигается совпадение графиков зависимостей $t_{\text{н}}(V_0)$ и $t_{\text{з}}(V_0)$. Выполнение в рассматриваемом устройстве в качестве первой операции дискриминирования обеспечивает нормальное функционирование его в условиях сильного малоамплитудного фона (шума). Операция стробирования (укорочения) импульса с ДЛУ увеличивает скважность сигналов, поступающих на схемы АТ1 и АТ2, повышая, таким образом, их загрузочную способность.

Принципиальная схема инспектора

Принципиальная схема инспектора изображена на рис. 3. Блок дискриминации и логарифмирования (ДЛУ) содержит 11 транзисторов, 4 стабилитрона и 2 диода. С помощью переключателя П1 возможно дискретное изменение уровня дискриминации в пределах от 10 до 100 мв с шагом 10 мв.

В состав линейных ворот (ЛВ) входят транзисторы $T_{12}-T_{14}$. T_{12} и T_{13} выполняют функции эмиттерных повторителей, T_{14} - функции токового ключа, управляющего делителем R_2 , D_9 . Если T_{14} закрыт, то поступающий на вход ЛВ сигнал почти без ослабления передается на выход. Если же T_{14} открыт, то коэффициент передачи сигнала делителем R_2 , D_9 имеет значение, близкое к нулю, ввиду малости динамического сопротивления диода в открытом состоянии. Требуемая величина пьедестала линейных ворот ($V_{\text{п}}$) обеспечивается соответствующим выбором резистора R_1 .

Основой формирователя Φ является одновибратор на туннельном диоде $ТД_1$. Транзистор T_{15} совместно с укорачивающей RC -цепочкой (R_3, C_1) формирует сигнал запуска одновибратора. Дифференциальный усилитель T_{16} и T_{17} обеспечивает последующее усиление сигнала одновибратора. T_{18} выполняет функции эмиттерного повторителя.

Схема АТ2 включает в себя транзистор T_{19} , функционирующий при появлении сигнала в режиме эмиттерного повторителя, зарядную емкость C_2 и разрядное сопротивление R_4 . На выходе схемы устанавливается эмиттерный повторитель на транзисторе T_{20} . Схема АТ1 выполняется аналогично схеме АТ2 и отличается от нее лишь номиналами некоторых элементов.

Операция ИЛИ осуществляется на диодах D_{16} и D_{17} . Вся последующая часть схемы ($T_{23}-T_{26}$) предназначена для формирования сигнала, т.е. для стандартизации его амплитуды, обеспечения необходимого начального уровня, укорочения времени нарастания фронта и спада. В состав инспектора введен также не отраженный на функциональной схеме стрелочный прибор с переключателем П2 и линейный интенсиметр на транзисторах $T_{27}-T_{29}$. В третьем положении переключателя стрелочный прибор показывает процент наложенных событий по отношению к общему числу их, в первом и втором — интенсивность входных сигналов, соответственно, 10^4 и 10^5 соб/сек на шкалу прибора, поступающих со схемы формирователя Φ , т.е. по существу интенсивность сигналов в тракте с амплитудой, превышающей установленный уровень дискриминации.

Характеристика инспектора

Проверка работы инспектора от генератора сдвинутых импульсов, а также в рабочих условиях в составе прецизионного тракта ^{/15/} пока-

зала хорошее совпадение экспериментально снятой зависимости $t_3 (V_0)$ с требуемой расчетной, практическое отсутствие у прибора собственного мертвого времени, высокую точность установки уровня дискриминации и последующее его сохранение при воздействии различных возмущающих факторов, в том числе и при уменьшении скважности входных сигналов, полное сохранение работоспособности инспектора в условиях больших входных нагрузок, вплоть до $7 \cdot 10^4$ имп/сек, высокую эффективность его применения в указанном тракте при интенсивностях входных сигналов до $20 \cdot 10^3 - 30 \cdot 10^3$ имп/сек.

На рис. 4 приведен в качестве примера спектр линии $1,33 \text{ Мэв } {}^{60}\text{Co}$, снятый при нагрузке 10^3 и $20 \cdot 10^3$ имп/сек с инспектором и без него. Рассмотрение рисунка позволяет сделать следующие выводы:

1. В отсутствие инспектора при увеличении интенсивности входных сигналов от 10^3 до $20 \cdot 10^3$ имп/сек (соответственно кривые I и II) в спектре появляются все виды искажений, типичные для искажений, обусловленных измерением наложенных импульсов, а именно, ухудшение разрешения, смещение положения максимума пика спектра $x/$, появление низкоэнергетического "плеча".

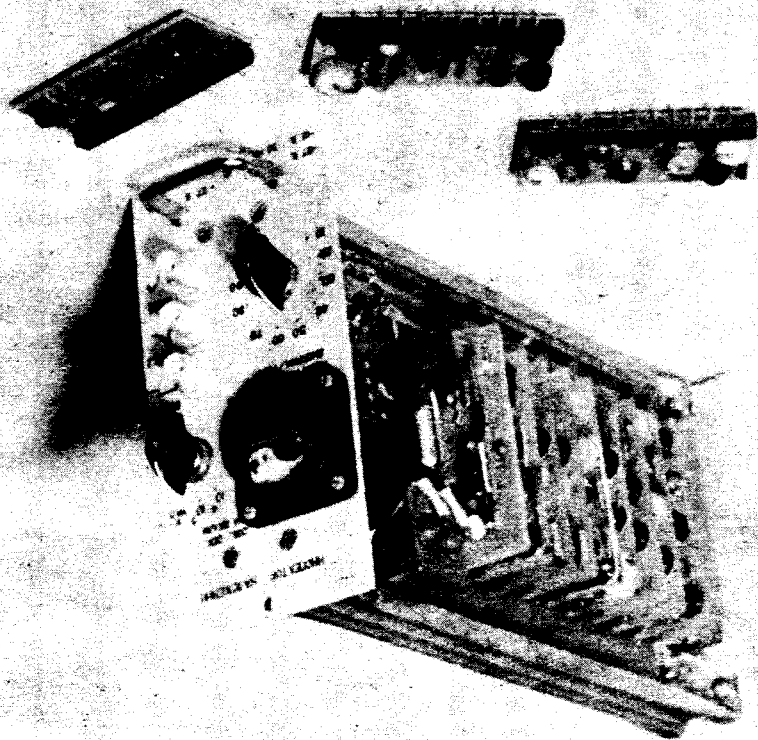
2. Аналогичное увеличение интенсивности в присутствии инспектора не вызывает заметных искажений спектра (кривые I и III).

3. Введение в тракт инспектора при прочих равных условиях приводит к увеличению счета в пике спектра за то же время экспозиции, ибо при этом увеличивается вероятность регистрации неискаженных наложениями событий из-за отклонения наложенных.

Конструктивно прибор выполнен в шасси блока от стойки "Вишня" с размером по передней панели $160 \times 80 \text{ мм}^2$. Функциональные узлы прибора выполнены на отдельных платах размером $72 \times 32 \text{ мм}^2$, размещенных в объеме шасси блока (рис. 5).

$x/$ Смещение положения максимума пика спектра при увеличении нагрузки вправо, а не влево, как, казалось бы, должно произойти, обусловлено наложениями на эталонный импульс системы стабилизации спектрометра.

Рис. 5. Внешний вид инспектора наложения.



Авторы приносят благодарность В.Т.Щевченко, принимавшему участие в изготовлении и наладке прибора, а также А.Н.Синаеву за ряд полезных замечаний.

Л и т е р а т у р а

1. L.F. Monier, G.F. Tripard. Rev.Sci.Instr., 1966, 37, 316.
2. E. Fuschini, C. Maroni and P. Veronesi. Nucl.Instr. and Meth. 41, 153 (1966).
3. J.D. McGervey, V.F. Walters. Nucl.Instr. and Meth., 25, 219(1964).
4. S. Gracovetsky, J.F. Londe. Nucl.Instr. and Meth., 63, 349 (1968).
5. C.W. Williams, H.W. Schmitt, F.J. Walter and J.H. Heiler. Nucl. Instr. and Meth., 29, 205 (1964).
6. Gy Mathe. Nucl. Instr. and Meth., 23, 261 (1963).
7. S. Rozen. Nucl. Instr. and Meth., 11, 316 (1961).
8. J. Grunberg, A. Seidman. Int.Symp. on Nucl. Electr., Versailles, 1, 68 (1968).
9. S.L. Blatt, J. Mahieux, D. Kohler. Nucl. Instr. and Meth., 60, 221 (1968).
10. M. Moszynski, J. Jastrebski and B. Bengston. Nucl. Instr. and Meth., 47, 61 (1967).
11. G. Bertolini, V. Mandl, G. Melandrone. Nucl.Instr. and Meth., 29, 357 (1964).
12. H. Weisberg. Nucl. Instr. and Meth., 32, 138 (1965).
13. M. Bertollacini, S. Cova, E. Gatti. Int.Symp. on Nucl.Electr., 1, 65, Versailles, 1968.

14. Т. Лакоташ. Материалы V Симпозиума по ядерной радиоэлектронике, Алушта, 1968, стр. 127.
15. Р. Арльт и др. Препринт ОИЯИ, Р6-3773, 1968, Дубна.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 марта 1970 года.