

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



10457

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

13 - 10457

С.Г.Басиладзе

О СИСТЕМЕ ПАРАМЕТРОВ
МОДУЛЬНЫХ СХЕМ СОВПАДЕНИЙ

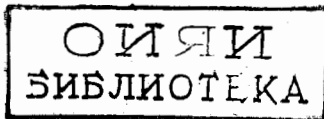
1977

13 - 10457

С.Г.Басиладзе

О СИСТЕМЕ ПАРАМЕТРОВ
МОДУЛЬНЫХ СХЕМ СОВПАДЕНИЙ

Направлено в ПТЭ



Басиладзе С.Г.

13 - 10457

О системе параметров модульных схем совпадений

Рассмотрены основные отличия модульной схемы совпадений от устройства совпадений, включающего формирователи входных импульсов. Даются обоснования и приведен перечень собственных параметров модульных формирователей и схем совпадений. Предложена эквивалентная схема модульного блока совпадений, работающего по методу перекрытия.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1977

© 1977 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

В последние годы в связи с осязательным прогрессом в быстродействии дискретных транзисторов /в 10 раз за 10 лет/, появлением быстрых транзисторов обоих типов проводимости и, наконец, быстрых интегральных схем с эмиттерной связью, вышло большое количество публикаций, посвященных разработкам схем совпадений /1/. Благодаря доступности и удешевлению быстрых транзисторов и вследствие стремления получить наилучшие характеристики, модульный принцип подхода к схемам ядерной электроники привел в свое время к усложнению и выделению формирователей импульсов из состава устройств совпадений в отдельные блоки. Начиная с этого момента, схемы совпадений, работающие теперь со стандартными логическими сигналами, потеряли непосредственную связь с детекторами излучений. Роль их сейчас сводится к осуществлению логической операции "И" по входам.

Именно начиная с этого момента, данные о параметрах в публикациях по схемам совпадений страдают неполнотой, а отсутствие единой системы понятий приводит к весьма противоречивым высказываниям. Например, авторы ^{/2/}, ссылаясь на данные работы ^{/3/*}, утверждают, что логические элементы серии 137 /ЭСЛ/ непригодны для построения элементов отбора наносекундных схем совпадений, обосновывая этим введение туннельного диода в качестве дискриминатора. В то же время авторы работы ^{/4/} утверждают, что ими создана на этих элементах схема совпадений с разрешающим временем 50 нс. Ясно, что 100-кратная разница в ве-

* В ^{/3/} приведены кривые задержанных совпадений, снятые от α -источника. Разрешающее время $6 \div 8$ нс обусловлено сравнительно большим "гулянием" входных формирователей и высоким порогом регистрации.

личине разрешающего времени схем совпадений, построенных на одних и тех же элементах, не объясняется искусством разработчиков, тем более, что интегральные схемы представляют им сравнительно мало "степеней свободы" для проектирования. Подобное различие оценок является результатом отсутствия единой системы понятий о параметрах модульных схем совпадений.

Несмотря на то, что схема совпадений - первый электронный прибор, созданный для нужд ядерной физики еще в 1929 г. /5,6/, имеются некоторые элементы противоречивости в отношении их характеристик. Известно, что основной параметр устройства совпадений - разрешающее время τ - определяется как ширина кривой задержанных совпадений /КЗС/ на уровне 0,5 от величины средней эффективности (ϵ):

$$\tau = \frac{1}{\epsilon_{\text{макс}}} \int_{-\infty}^{\infty} \epsilon(t_3) dt_3, \quad /1/$$

а измеряется* как ширина КЗС на уровне $0,5\epsilon_{\text{макс}}$, даже тогда, когда кривая задержанных совпадений имеет сильно вытянутые "хвосты". Однако эти несоответствия не означают, что применительно к схемам совпадений невозможно выработать систему критериев для практической оценки их характеристик.

Подобный и довольно четкий набор характеристик устройств совпадений как приборов, работающих непосредственно с детекторами ядерных излучений, выработан давно и хорошо известен.

Основные параметры устройства совпадений

1. Разрешающее время - τ .
2. Порог/чувствительность/ - $U_{\text{п}}$.
3. Рабочий диапазон сигналов - $(U_{\text{вх}})_{\text{макс}}$.
4. Коэффициент отбора - ρ .
5. Эффективность - ϵ .
6. Мертвое время - $t_{\text{м}}$.

* В силу неудобств численного интегрирования.

Практические публикации по схемам совпадений содержали, как правило, еще два параметра:

7. Плато по напряжению питания детектора.
8. Плато по уровню дискриминации элемента отбора совпадений.

Данная система параметров отражала имевшийся уровень схемотехники. Укажем, например, что параметры 4/, 7/, 8/ не являются принципиально необходимыми, публикация их отражала меру преодоления разработчиком тех трудностей, с которыми чаще всего тогда приходилось сталкиваться при проектировании. Второе, чем обращает на себя внимание данная система параметров, состоит в ее явно "физической природе". Эта система отражает характеристики, полученные экспериментатором в процессе методических исследований на пучке частиц /за исключением, может быть, п.2/. Такой набор параметров, "обращенный лицом" к экспериментатору, частично, видимо, объясняется тем, что в то время практически не существовало разделения на физиков-экспериментаторов и инженеров-электронщиков, а также тем, что в силу несовершенства тогдашних схем совпадений /нестабильной работы/ имелось определенное и оправданное недоверие к набору характеристик, снятому "от генератора".

Данная система, конечно, не утратила смысла и до сих пор, но в силу своего физического происхождения требует указания конкретных условий проведения измерений. Так, в случае работы со сцинтилляционным детектором необходимо указывать тип ФЭУ, геометрию и размеры сцинтиллятора, сорт и энергию частиц, распределение напряжений на диодах и т.п. Неудобство ее использования состоит в том, что эти условия не могут быть стандартизованы, что лишает возможности точных сравнительных оценок различных разработок.

Устройство совпадений - далеко не единственный прибор, осуществляющий съем и дискредитацию аналоговой информации. Опыт стандартизации систем критериев в других областях измерительной техники подсказывает, что и в устройствах совпадений возможно введение набора собственных параметров, позволяющих

иметь адекватное и полное представление о работе устройства в реальных условиях. В электронной технике давно установился и вид этого стандартного испытательного сигнала - *прямоугольный импульс напряжения /тока/*. Система собственных параметров должна отражать имеющийся уровень схемотехники и содержать только те параметры, реальные изменения которых влияют на получение физических характеристик. Применительно к устройствам совпадений должно быть учтено теперешнее разбиение на формирователи и схемы совпадений /см. рисунок/.

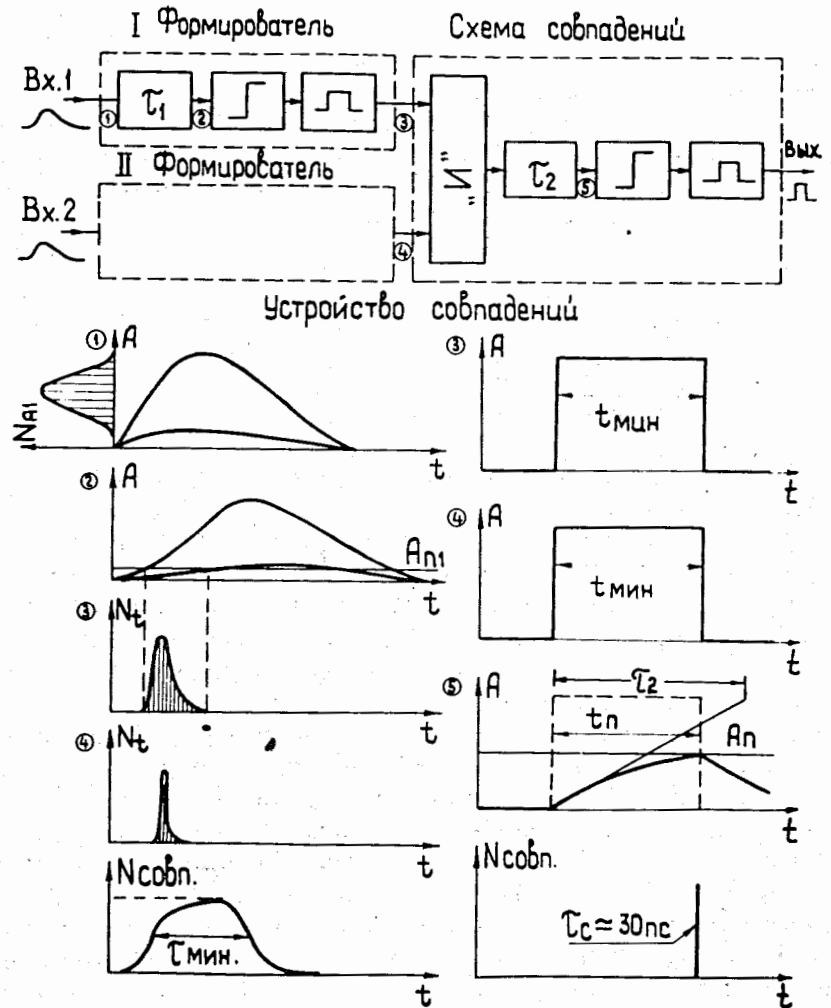
*Собственные параметры формирователей:**

1. Порог срабатывания /отпускания/ - U_{II} ;
2. Рабочий диапазон амплитуд - $(U_{ВХ})_{макс}$;
3. Собственное "гуляние" /7/ - t_c ;
4. Время восстановления ** - $t_B = f(U_{ВХ})$;
5. Тип логики работы /вид мертвого времени/ /8,9/;
6. Диапазон длительностей выходных импульсов - $(t_{ВЫХ})_{мин} \div (t_{ВЫХ})_{макс}$;
7. Дрейф длительности выходного сигнала - $\Delta t_{ВЫХ} = f(E_{ПИТ}, T^{\circ})$;
8. Дрейф задержки срабатывания - $\Delta t_3 = f(E_{ПИТ}, T^{\circ})$.

Вклад формирователя в разрешающее время устройства совпадений однозначно определяется видом амплитудного распределения входных сигналов заданной формы над порогом, собственным "гулянием" формирователя и дрейфом его задержки и длительности выходного сигнала. Эффективность регистрации и мертвое время однозначно зависят от порога, времени восстановления и типа логики работы формирователя, этими же параметрами определяется плато счетной характеристики по напряжению питания детектора. Высокий уровень характеристик современных формирователей нашел свое

* От ступенчатого сигнала большой длительности.

** Возможно использование параметра "мертвое время" - t_M , при указании длительности входных сигналов.



Структурная схема устройства совпадений, работающего по методу перекрытия. Изображены эквивалентные схемы формирователя и модульного блока совпадений, ниже приведены временные диаграммы и распределения сигналов в их узловых точках.

отражение в том, что в системе параметров отсутствуют зависимости $\Delta U_{\Pi} = f(E_{\text{пит}}, T^{\circ})$ и $\Delta t_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$, существовавшие в ранних схемах. Параметры 6/,8/ практически необходимы для формирователей точной временной привязки, с помощью которых можно получить разрешающее время устройств совпадений на уровне сотен пикосекунд. Дрейф задержки практически важен также в формирователях по переднему фронту, имеющих встроенную электронную схему задержки.

Собственные параметры модульных схем совпадений

1. Собственное разрешающее время - $t_{\text{с}}$.
2. Требуемое время перекрытия входных сигналов - t_{Π} .
3. Дрейф - $\Delta t_{\Pi} = f(E_{\text{пит}}, T^{\circ})$.

Собственное разрешающее время модульной схемы совпадений есть ширина "минимальной" кривой задержанных совпадений на уровне 0,5 /для схем, работающих по методу перекрытия - при минимально возможных по длительности входных сигналах/. Численно $t_{\text{с}}$ равно интервалу задержек импульсов между каналами, в пределах которого схема совпадений переходит от 0% к 100% срабатываний*. Качественно величина $t_{\text{с}}$ всех современных схем совпадений лежит в диапазоне десятков пикосекунд. Эта величина примерно одинакова как для схем совпадений, работающих по методу перекрытия, для дифференциальных схем совпадений, так и для схем совпадений на основе конвертора время-амплитуда^{/10/}. Она определяется/см. временную диаграмму в точке 5 на рисунке/ кратковременными нестабильностями величин логических уровней и порогов интегральных схем /пульсации питания, шумы и пр./, а также скоростью нарастания напряжения на входе дискриминатора отбора совпадений.

Требуемая величина перекрытия входных сигналов есть время /диаграмма на рисунке в точке 5/, за которое напряжение на входе дискриминатора отбора сов-

* Напомним еще раз, что входные сигналы прямоугольные.

падений достигает величины его порога. Численно оно равно половине разности между суммарной длительностью выходных сигналов формирователей и получаемым разрешающим временем устройства совпадений. Оно близко также к минимальной длительности входного сигнала*, от которого срабатывает схема совпадений. Этот параметр в наибольшей степени отражает инерционность схем совпадений и лежит в пределах $2 \div 6$ нс для существующих схем. Данный параметр в явном виде отсутствует в дифференциальных схемах совпадений, в них он выражается как минимальная длительность входных сигналов, от которых срабатывает схема. С точки зрения разрешающего времени устройства совпадений важна не столько абсолютная величина t_{Π} , сколько его стабильность.

Дрейф требуемой величины перекрытия входных сигналов при изменении напряжения питания и температуры, или обратный ему по знаку и равный по абсолютной величине дрейф $t_{\text{с}}$ определяет реальное разрешающее время, которое можно получить с помощью схемы совпадений в рабочих условиях от идеальных /не дающих временного разброса/ формирователей. Этот параметр одинаково важен как для схем совпадений, работающих по методу перекрытия, так и для дифференциальных схем.

В практических устройствах совпадений этот дрейф пренебрежимо мал по сравнению с вкладом формирователя за счет "гуляния". Он может стать ограничивающим фактором при использовании формирователей точной временной привязки. Величина дрейфа пропорциональна инерционности логических элементов.

К числу дополнительных параметров схем совпадений можно отнести:

4. Время восстановления - $t_{\text{в}}$.
5. Задержку - $t_{\text{з}}$ /является дополнительным параметром и в формирователях/.
6. Диапазон длительностей выходных сигналов - $(t_{\text{вых}})_{\text{мин}} \div (t_{\text{вых}})_{\text{макс}}$.

Высокий уровень характеристик современных схем совпадений нашел свое отражение в отсутствии необ-

* На втором входе - постоянный потенциал.

ходимости указывать коэффициент отбора и плато по уровню дискриминации.

Высокие дискриминационные характеристики объясняются тем, что после дискриминатора отбора совпадений последовательно включено несколько нелинейных логических элементов /цепь "дифференцирования", одновибратор, формирователь выходных уровней, часто одновибратор задержки/, обостряющих динамическую переключательную характеристику практически до уровня ступенчатой /см. Приложение/. Это и дает основания представить эквивалентную схему модульной схемы совпадений в виде, показанном на рисунке. Все входящие в нее элементы идеальны, инерционность реальных схем элемента отбора совпадений и дискриминатора отражаются интегрирующим звеном с постоянной времени τ_2 . Величину τ_2 можно оценить, например, по измерению t_{II} /см. рисунок, точка 5/:

$$\tau_2 = 1,4 t_{II} \quad /2/$$

если считать, что порог срабатывания дискриминатора находится на полувысоте сигнала с элемента "И". Скорость нарастания сигнала на входе дискриминатора в момент его срабатывания равна $\sim (3t_{II})^{-1}$, откуда легко рассчитать нестабильность собственного разрешающего времени.

В заключение хотелось бы еще раз подчеркнуть, что применительно к модульным схемам совпадений практически потеряло смысл не только понятие эффективности, но и разрешающего времени. Оба эти параметра правомерны лишь для устройств совпадений и допускают сравнение при указании конкретных условий их измерения.

Основные понятия предлагаемой системы широко используются в мировой практике^{/9,11/}.

Приложение

Как известно, одиночный логический элемент или даже триггер Шмитта не имеют ступенчатой переключ-

ательной характеристики при коротких входных импульсах, наклон переключательной характеристики уменьшается при укорочении импульсов. Однако бесконечно длинная цепочка последовательно включенных логических элементов имеет ступенчатую характеристику. В ней возможны только два вида реакции на входной импульс. Если он имеет достаточную амплитуду, то возбуждение поддерживается цепочкой, если его амплитуда меньше критической, происходит постепенное затухание сигнала от элемента к элементу. Длина участка стандартизации сигнала /либо затухания/ в реальных цепочках не очень велика. Практическим приближением к бесконечной является цепочка из 5 ÷ 6 логических элементов. Образно говоря, повышение разрешения /улучшение дискриминационных характеристик/ "покупается" за счет задержки.

Эквивалентом бесконечной цепочки является любое количество замкнутых на себя логических элементов, в частности, триггер, отвечающий на сигнал возбуждения только двузначно - сохранением состояния или переключением. Этим и объясняется высокое временное разрешение, получаемое при использовании триггера в качестве элемента отбора совпадений^{/4,12,13/}.

Литература

1. Басиладзе С.Г. ПТЭ, 1976, №6, 7.
2. Борейко В.Ф., Гребенюк В.М., Зинов В.Г. ПТЭ, 1976, №1, 84.
3. Арефьев В.А., Басиладзе С.Г. ОИЯИ, 13-6594, Дубна, 1972.
4. Деменков В.Г., Нестеренко В.С. ПТЭ, 1976, №2, 70.
5. Bothe W. Zs. of Phys., 1929, 59, 1.
6. Руденко А.А. ИЯИ АН СССР, П-0023, Москва, 1976.
7. Басиладзе С.Г. ОИЯИ, 13-9942, Дубна, 1976.
8. Басиладзе С.Г., Тлачала В. ПТЭ, 1975, №4, 96.
9. Le Croy Catalogue Fast-Pulse Instrumentation for Particle Physics, Spring 1975, 12.
10. Габриэль Ф., Шуравин В.Н., Андерт К. ОИЯИ, P13-8915, Дубна, 1975.

11. *Kirsten F.A. IEEE Trans., 1973, NS-20, No. 5, 22.*
12. *Barton R., King M.E. Nucl.Instr. and Meth., 1971, 97, 359.*
13. *Басиладзе С.Г., Тлачала В. ПТЭ, 1974, №6, 86.*

*Рукопись поступила в издательский отдел
23 февраля 1977 года.*