

16.3.1964

С 344.3
В-93



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

М. Высочанский, С.В. Мухин, С.В. Рихвицкий, И.Н. Семенюшкин, И. Фолтин

1556

ФЭУ - СХЕМА СОВПАДЕНИЙ
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА
ДТЭ, 1965, № 2, с. 88-91.

Дубна 1964

М. Высочанский, С.В. Мухин, С.В. Ряхвицкий, И.Н. Семенюшкин, И. Фолтин

1556

ФЭУ - СХЕМА СОВПАДЕНИЙ
НАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА

2321/1 48

Направлено в ПТЭ

Дубна 1964

Сравнение параметров современных схем совпадений показывает, что одной из основных причин, ограничивающих их разрешающую способность, является временной и амплитудный разброс импульсов на выходе ФЭУ. Амплитудный разброс может быть уменьшен путем применения различного рода схем формирования импульсов^{/1,2/}. Вместе с тем большинство таких схем имеет собственную амплитудно-временную трансформацию. Обычно методы уменьшения влияния временного разброса связаны с разработкой схем совпадений, работающих от тех участков импульса ФЭУ, которые являются наиболее вероятными носителями временной информации.^{/3,4/}

Представляется интересным попытаться другим путем свести к минимуму влияния временного и амплитудного разброса импульсов ФЭУ на разрешающее время схем совпадений. Это может быть достигнуто, если создать элемент отбора совпадений /ЭОС/ внутри ФЭУ, вблизи фотокатода.

Наиболее просто таким методом осуществлять регистрацию совпадений между световыми и электрическими сигналами, используя для подачи электрического сигнала либо один из имеющихся электродов ФЭУ, либо специальное устройство внутри ФЭУ.

Довольно большая группа физических явлений носит периодический характер, и поэтому в качестве электрического сигнала может быть использовано синусоидальное напряжение.

1. Принцип работы ФЭУ в качестве ЭОС

Как известно, изменением потенциала какого-либо электрода можно запретить ФЭУ. При облучении катода ФЭУ импульсным источником света скорость счета импульсов на выходе ФЭУ зависит от потенциала динода, как показано на рис. 1 /кривая А/.

Отсутствие импульсов на аноде при потенциале $E_{д_2} < E_{з_1}$ обусловлено исчезновением вторичной эмиссии на этом диноде. При $E_{д_2} > E_{з_2}$ импульсы на выходе ФЭУ исчезают ввиду отсутствия вторичной эмиссии у следующего динода. Таким образом, при $E_{з_1} > E_{д_2} > E_{з_2}$ ФЭУ закрыт. В области напряжений $E_{з_1} < E_{д_2} < E_{з_2}$ ФЭУ открыт.

Если выбрать смещение E_c на диноде таким образом, чтобы $E_c < E_{з_1}$, и одновременно подать на него переменное напряжение $e(t)$, то фотоумножитель бу-

дет открываться только в такие промежутки времени, когда

$$e_{д_2} = E_c + e(t) > E_{э_1} . \quad (1)$$

Если подается синусоидальное напряжение u , то ФЭУ будет открываться в течение каждого периода на определенный промежуток времени, который соответствует углу открытия ψ , как показано на рис. 1.

Угол открытия равен

$$\psi = 2 \arccos \frac{E_{э_1} - E_c}{\sqrt{2} u} . \quad (2)$$

Если электронный поток, обусловленный световыми вспышками от импульсного источника света, проходит в области управляющего электрода в момент, когда ФЭУ открыт, то на выходе появится электрический импульс, соответствующий совпадению этих двух сигналов. При отсутствии совпадений на выходе ФЭУ импульсов не будет.

Таким образом, в рассмотренном режиме работы фотоумножитель представляет собой двухканальный ЭОС, регистрирующий совпадение сигналов от световой вспышки с управляющим напряжением в заданном диапазоне фаз.

Если источником света является детектор ядерного излучения, то регистрируются совпадения между моментом пролета исследуемой частицы через детектор и фазой управляемого напряжения.

Рассмотренный выше принцип работы ФЭУ изложен для простоты без учета времени пролета электронов в управляемой области, т.е. имеет место квазистационарный режим.

2. Исследование работы ФЭУ в качестве ЭОС при помощи источника коротких световых импульсов

При выборе типа ФЭУ, а также управляющего электрода необходимо учитывать следующие соображения: а) управляющий электрод должен быть по возможности ближе к катоду и не должен быть электрически связан с другими электродами; б) время пролета электронов в области управления должно быть значительно меньше, чем период управляющего напряжения.

Для проведения исследования ФЭУ в режиме ЭОС нами были использованы стандартные фотоумножители типа ФЭУ-36. В качестве управляющего электрода был выбран 2-ой диод, который по сравнению с другими электродами наиболее полно удовлетворяет приведенным выше требованиям. Схема управляемого участка ФЭУ показана на рис. 2.

ФЭУ исследовался в режиме управления высокочастотным напряжением 70 МГц.

Источником синусоидального напряжения служил генератор $SMLM$, источником коротких световых импульсов - ртутное реле генератора наносекундных импульсов типа ГКИ-4Б. Длительность световой вспышки составляет примерно 1 нсек. Частота повторения импульсов - 190 Гц.

Поскольку источник коротких световых импульсов и генератор синусоидального напряжения не синхронизованы между собой, для определения разрешающего времени ЭОС использовались два фотоумножителя, включенные на совпадения. Блок-схема аппаратуры приведена на рис. 3.

Свет от импульсного источника раздваивался зеркальной призмой (ОР) и попадал в оба фотоумножителя. Управляющее напряжение с частотой 70 МГц поступало через блоки задержки БЗ-1 и БЗ-2 на входы двух узкополосных усилителей высокой частоты (ВЧ) УВЧ-1, УВЧ-2 со стабилизированной амплитудой напряжения. С выходов высокочастотных усилителей сигналы подавались на вторые диоды ФЭУ-1 и ФЭУ-2. Одновременно на эти же самые диоды подавалось постоянное смещение E_e от выпрямителей ИС-1, ИС-2.

Импульсы с выходов ФЭУ поступали на медленную схему совпадений ($\tau = 15$ нсек) и после этого регистрировались пересчетным устройством.

Схема включения управляющего электрода фотоумножителя приведена на рис. 4.

Напряжение на фотоумножитель подавалось с двух независимых источников E'_ϕ и E''_ϕ , схема включения показана на рис. 5.

Для определения границ рабочей области потенциалов второго диода и для выяснения стабильности этих границ была использована блок-схема, изображенная на рис. 3. При этом напряжение ВЧ не подавалось.

На рис. 6 приведены экспериментальные результаты по определению рабочей области одного ФЭУ в зависимости от потенциала второго диода.

Поскольку стабильность поддержания заданного угла открытия при работе с ВЧ зависит от стабильности положения границ рабочей области, были проведены исследования зависимости положения границ $E_{з1}$ и $E_{з2}$ от напряжения E'_ϕ и E''_ϕ . При изменении напряжения одного источника на другое напряжение во время опыта оставалось постоянным.

Как видно из рис. 7, при значительном изменении напряжения E'_ϕ положение границ открытия фотоумножителя практически не изменялось. На этом же рисунке представлена зависимость положения границ открытия фотоумножителя от напряжения E''_ϕ . При уменьшении напряжения E''_ϕ кривая зависимости $N = f(E_{дj})$, приведенная на рис. 6, сужается и сдвигается вправо.

Полученные результаты указывают на необходимость повышенной стабилизации напряжения питания на этом участке фотоумножителя.

Определение разрешающей способности (угла открытия) ЭОС проводилось на двух ФЭУ. Оба фотоумножителя работали в одинаковом режиме, т.е. устанавливались смещения E_c на каждом фотоумножителе так, чтобы разности $E_{з1} - E_c$ были одинаковые и соответственно - равные управляющие ВЧ напряжения.

Поскольку в этом случае углы открытия ФЭУ примерно одинаковы, изменяя фазу ВЧ управляющего напряжения на одном ФЭУ относительно другого, можно было определить их суммарный угол открытия. Угол открытия каждого ФЭУ считался равным половине суммарного угла. Для исследования зависимости суммарного угла открытия от напряжения смещения при фиксированных значениях ВЧ управляющего напряжения снималась зависимость скорости счета совпадений от сдвига фаз ВЧ управляющего напряжения при разных напряжениях смещения (рис. 8). При этом ВЧ напряжение $u = 30$ в, и $E_{з1} - E_c$ равно 30, 25 и 20 в. Угол открытия оказался соответственно равен 80° ($\tau = 1,1$ нсек), 110° ($\tau = 1,3$ нсек) и 160° ($\tau = 3,1$ нсек)

τ - полуширина кривой на полувывсоте.

3. Измерение высокочастотной структуры пучка вторичных частиц ускорителя

Исследуемая схема была применена для измерения ВЧ структуры пучка π^- мезонов с импульсом 5 Гэв/с при работе синхрофазотрона ЛВЭ в режиме кратного ускорения $f = 69$ Мгц.

Блок-схема регистрирующей аппаратуры приведена на рис. 9.

Для регистрации использовались детекторы излучения Вавилова-Черенкова, выполненные из органического стекла.

Принципиально возможно измерить ВЧ структуру пучка, используя один управляемый ФЭУ. Однако, как показали предварительные измерения, фоновые условия в этом случае являются неблагоприятными. Для улучшения фоновых условий были применены два ФЭУ, управляемых ВЧ, включенных на схему совпадений.

Результаты измерений ВЧ структуры пучка приведены на рис. 10 (кривая А). При этом управляющее напряжение на фотоумножитель подавалось с ускоряющего устройства. Для сравнения на рис. 10 приведены результаты измерения ВЧ структуры пучка при помощи быстрой 4-канальной схемы совпадений (кривая Б), разрешающее время τ которой составляло 1,8 нсек. Как видно из рис. 10, схема с управляемыми фотоумножителями имеет разрешающее время не хуже, чем быстрая схема совпадений.

З а к л ю ч е н и е

В работе проверен метод регистрации совпадений на базе фотоумножителя, указывающий на принципиальную возможность уменьшения влияния временного разброса импульсов на выходе ФЭУ на разрешающую способность схемы совпадений. Полученное разрешающее время схемы $\tau = 1$ нсек не хуже разрешающего времени обычных схем совпадений.

Следует отметить относительную простоту регистрирующей аппаратуры. Рассматриваемый метод регистрации совпадений может быть применен и для исследования быстрых периодических процессов.

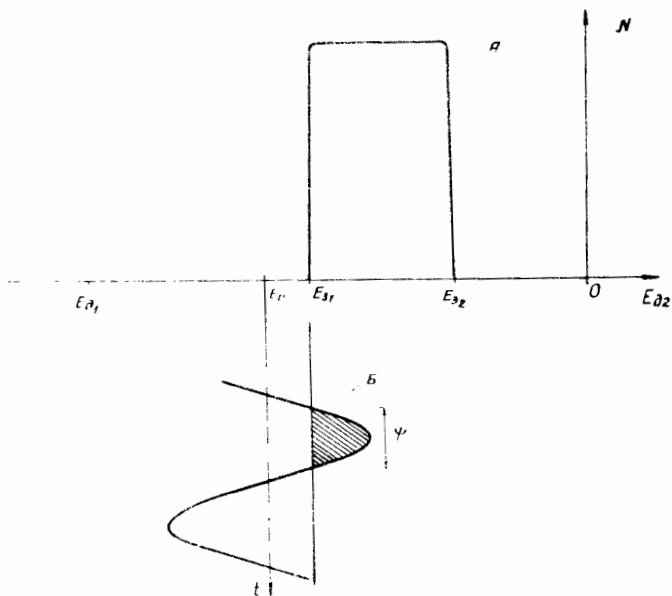
Можно полагать, что при использовании специально приспособленных для этого метода фотоумножителей будут получены лучшие результаты.

Авторы выражают благодарность В.М. Вишняковой, А.П. Хренову, М.Н. Шкобиной, принимавшим участие в измерениях.

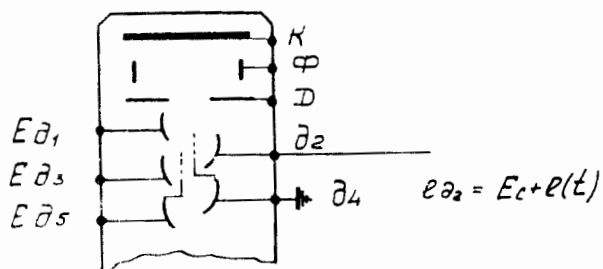
Л и т е р а т у р а

1. М. Высочанский, С.В. Мухин, Пия Цунь-цин, С.В. Рихвицкий, И.Н. Семенюшкин. ПТЭ, 1981, № 5, 336.
2. K. Sharsvag. Nucl. Instr., 3, N 6, 336 (1958).
3. C. Cottini, E. Gatti. Nuovo Cimento., IV, N 6, 1550 (1956).
4. A.E. Hjerke, O.A. Kerns, T.A. Nunamaker. Nucl. Instr. and Methods, 15, N 3, 249 (1962).

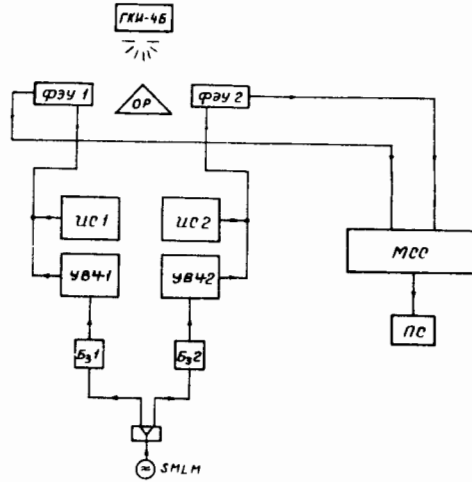
Рукопись поступила в издательский отдел
7 февраля 1984 г.



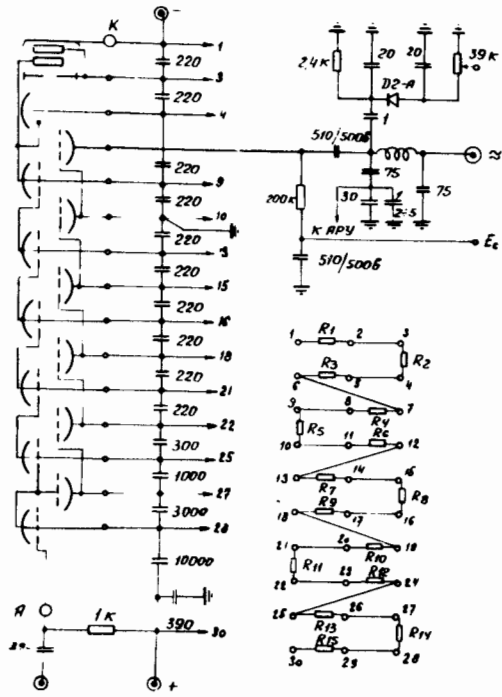
Р и с. 1. Принцип работы управляемого ФЭУ.



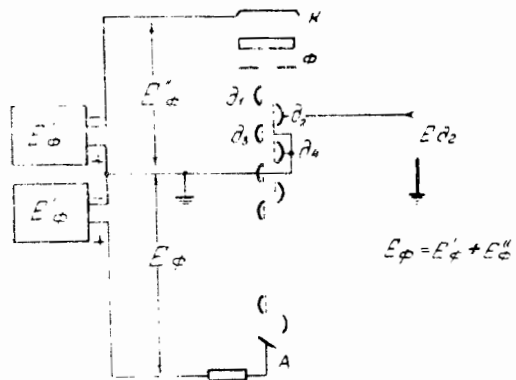
Р и с. 2. Схема катодного участка ФЭУ.



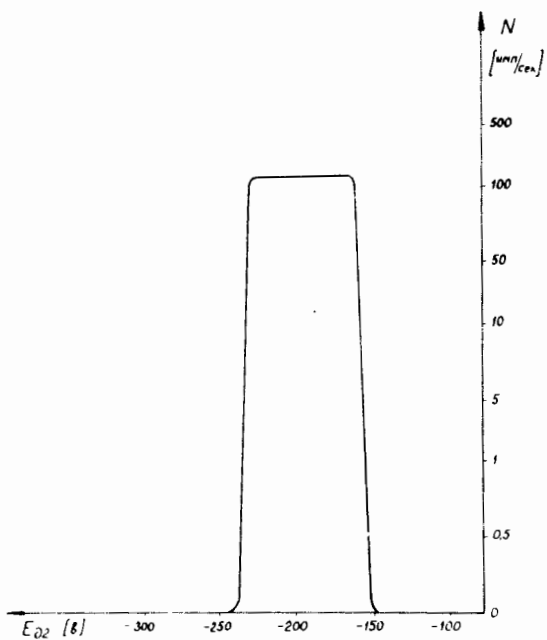
Р и с. 3. Блок-схема аппаратуры для управления фотоумножителями.



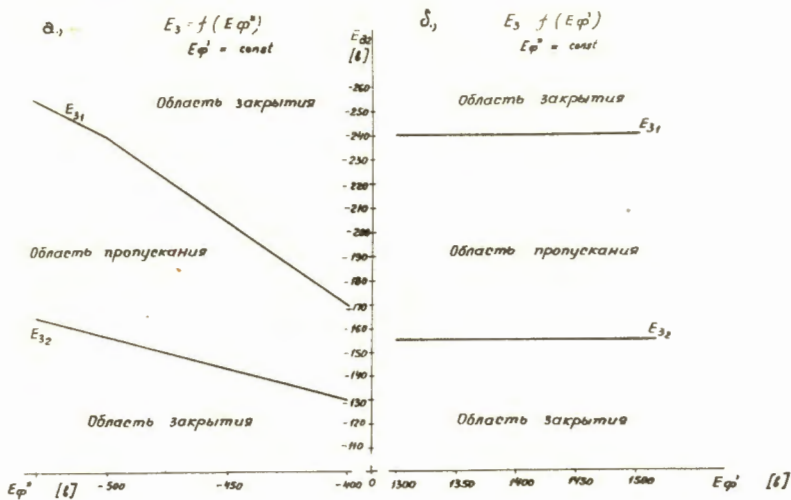
Р и с. 4. Схема включения фотоумножителя.



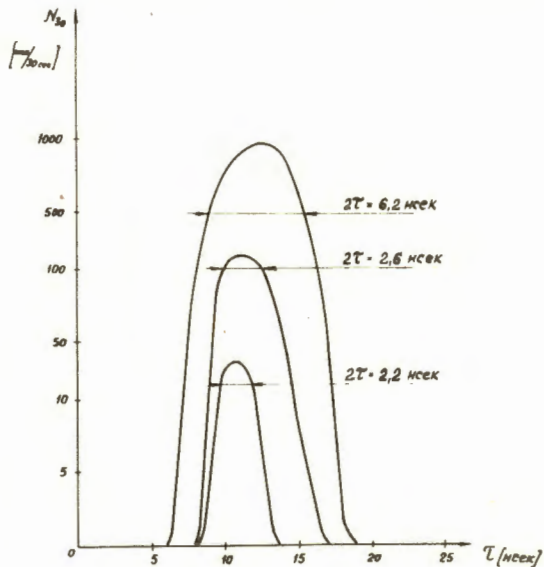
Р и с. 5. Схема питания ФЭУ.



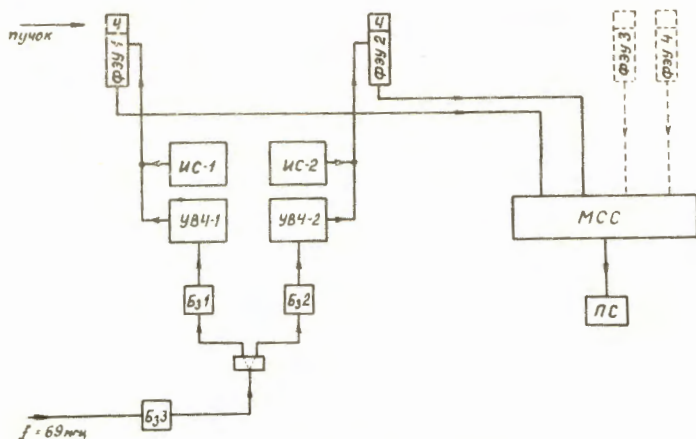
Р и с. 6. Характеристики рабочей области ФЭУ.



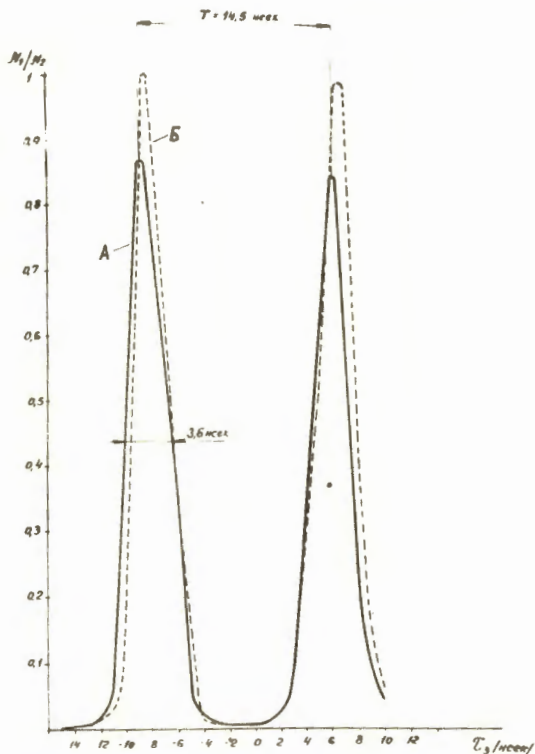
Р и с. 7. Зависимость границ открывания ФЭУ от величины напряжения питающего участка: а) катод - 4-ый диод, б) 4-ый диод-анод.



Р и с. 8. Кривые задержанных совпадений при различном постоянном смещении E_0 на втором диоде.



Р и с. 9. Блок-схема аппаратуры с управляемыми фотоумножителями для регистрации высокочастотной структуры пучка.



Р и с. 10. Высокочастотная структура вторичного пучка частиц из синхрофазотрона при измерениях: а/аппаратурой с управляемыми ФЭУ, б/многоканальной схемой совпадений.