

Симпозиум по наносекундной радиоэлектронике в ядерной физике

В июне 1967 г. в Дубне проходил симпозиум по наносекундной радиоэлектронике в ядерной физике, организованный Объединенным институтом ядерных исследований. В его работе приняли участие более 150 специалистов стран — участниц ОИЯИ. Было заслушано 63 доклада, охватывающих различные разделы наносекундной электроники, используемой в ядерной физике и измерительной технике.

Наряду с рассмотрением схем, применяемых в физических экспериментах, обсуждались вопросы разработки измерительных устройств и детекторов частиц, что способствовало взаимному пониманию требований экспериментаторов и разработчиков, предъявляемых к серийным приборам. Обсуждению большинства тем предшествовали обзорные доклады.

В. Мейлинг (ГДР) изложил способы временной привязки электрического импульса, поступающего на схему временного отбора, к событию, регистрируемому быстрым сцинтилляционным счетчиком. Как следует из экспериментальных и теоретических работ, наиболее точной оказывается привязка переднего фронта импульса формирователя к начальной части импульса с ФЭУ, составляющей 1—10% его амплитуды. Однако при большом динамическом диапазоне амплитуд импульсов ФЭУ такие формирователи дают худшее временное разрешение, чем формирователи с пересечением нуля, что обусловлено трансформацией амплитудного разброса импульсов во временной.

И. Калиш (ПНР) рассказал о новом методе, позволяющем определять разрешающее время, джиттер и эффективность двойной схемы совпадений на основе только одной экспериментальной кривой задержанных совпадений.

Доклад Ю. В. Введенского и А. М. Сизьмина (СССР) посвящен широкополосному коррелометру наносекундного диапазона, который предназначен для измерения авто- и взаимокорреляционных функций слабых сигналов с полосой частот 10—1000 Мгц. Авторы привели примеры использования коррелометра для исследования параметров ФЭУ и определения временных характеристик однокаскадного усилителя на туннельном диоде.

Корреляционные методы исследования сигналов, известные из техники связи, не требуют знания фазы сигнала, которое необходимо при обычных наблюдениях с помощью осциллографов, и могут оказаться чрезвычайно полезными при работе с быстрыми устройствами ядерной электроники.

В настоящее время в ядерной физике наилучшее временное разрешение получают обычно при использовании время-амплитудных конвертеров. Этой теме была посвящена серия докладов (В. Г. Лапшин и др.,

А. С. Шюша и др., В. А. Данилов и др., СССР; Д. Зеллигер, ГДР).

Методы компенсации амплитудной зависимости в преобразователях время — амплитуда были рассмотрены М. Н. Дражевым и С. С. Паржицким (ОИЯИ). При проведении некоторых экспериментов возникает потребность в конвертерах, перекрывающих широкий диапазон временных интервалов от десятков микросекунд до наносекунды. О таком конвертере рассказали Ю. Г. Будяшов и В. Г. Зинов (ОИЯИ). При использовании временных спектрометров, особенно в случае длительных измерений, весьма важной является проблема стабилизации показаний. О системе стабилизации с использованием реперных сигналов от световых источников доложили В. Г. Лапшин и др. (ОИЯИ).

А. А. Курашов (СССР) сделал обзорный доклад о развитии нониусного импульсного метода измерения интервалов времени.

В сообщении И. М. Кочконогова (СССР) приведены результаты изучения возможностей использования кварцевого резонатора для получения высоких точностей измерения временных интервалов с помощью нониусного и фазового методов. Использование ударно возбуждаемого кварцевого резонатора значительно повышает точность указанных методов.

А. П. Граевский и др. (СССР) доложили об устройстве, состоящем из время-амплитудного конвертера, схемы пропускания и формирователей. Диапазон системы 20—200 нсек, разрешающее время 220 псек, дифференциальная нелинейность $\pm 2\%$.

При рассмотрении электронных схем для физических экспериментов характерным было представление их в виде связанных и согласованных систем модулей, выполненных полностью на полупроводниковых элементах, к ним относятся модули, разработанные в Институте физики высоких энергий (ИФВЭ, Серпухов), ОИЯИ, Физико-техническом институте (ФТИ, Гатчина) и МИФИ. В докладе Ю. Б. Бушнина, А. Ф. Дунайцева и В. А. Сенько (СССР) изложены результаты разработки схемы совпадений, формирователя, размножителя и других блочных модулей, выполненной в ИФВЭ. Доклад Ю. К. Акимова и др. (ОИЯИ) был посвящен системе модулей, содержащей схемы совпадений, дискриминаторы, смесители, размножители, линейные ворота и пересчетные схемы. Разработанные в МИФИ схема пропускания, усилители, дискриминатор рассматривались в докладе М. Н. Царегородцева. В. Г. Вовченко и В. М. Железняков (ФТИ, Гатчина) рассказали о своих модулях — формирователе, усилителе-разветвителе, усилителе и схеме совпадений. Из рассмотренных докладов видно, что разрабатываемые системы модулей имеют

разрешающее время порядка нескольких наносекунд и частоту импульсных загрузок, приближающуюся к 100 Мгц.

В докладах по формирователям импульсов от ФЭУ рассматривались схемы с компенсацией временного разброса авторегулировкой порога срабатывания формирователя (Е. А. Мелешко, СССР) и с компенсацией джиттера порогового элемента при помощи диода с накоплением заряда (В. Г. Лашин и др., ОИЯИ, СССР). Д-р Г. Кёперник (ГДР) рассказал о дискриминаторе на туннельном диоде, управляемом схемой совпадений, И. Д. Ванков (НРБ) — о дискриминаторе на туннельном диоде с высокой стабильностью порога ($\sim 0,1\%$). В докладе Ю. К. Акимова и др. описан дифференциальный дискриминатор на туннельном диоде, выполненный на основе одного интегрального дискриминатора, схемы совпадений и линии задержки. Е. А. Мелешко и В. Н. Селиванов (СССР) сообщили об удлинителе для подачи наносекундных импульсов на амплитудный дискриминатор. Обзор пересчетных устройств на частоты ~ 100 Мгц сделал Д. Благо (ЧССР). Он анализировал мостовую схему триггера и различные способы получения декадных пересчетных схем. В докладе И. Ф. Колпакова (СССР) и И. Тёрека (ВНР) была представлена двоичная пересчетная схема на туннельных диодах ГИ305А со стабильным заданием рабочей точки на частоту 100 Мгц. Простая декада на туннельных диодах ЗИ301Г была рассмотрена в докладе В. Г. Вовченко и В. М. Железнова (СССР).

Обсуждение темы «Методы генерации импульсов и генераторы» началось обзором В. М. Лачинова (ОИЯИ) по современным методам генерирования и формирования импульсов наносекундной и субнаносекундной длительностей. Широкое использование полупроводниковых импульсных источников света для настройки и контроля схем требует создания многоканальных генераторов импульсов, имеющих амплитуду ~ 100 в и длительность несколько наносекунд; генераторы должны работать на низкоомную нагрузку. В докладе Е. А. Васильева и др. (СССР) говорилось о схеме пятидесятиканального генератора на управляемом разряднике, шестиканального — на неуправляемом разряднике и пятиканального — на лампе со вторичной эмиссией. Н. К. Вишневский и др. (ОИЯИ) доложили о двадцатиканальном генераторе, выполненном на $p-n-p-n$ -диоде и формирующей нелинейной передающей линии с полупроводниковыми диодами.

Трехканальный генератор серий импульсов с частотой 50 Мгц для проверки схем наносекундного диапазона, выполненный на туннельном диоде с формирующей линией, был рассмотрен Е. А. Васильевым и др. (СССР).

Доклад Г. Ф. Юханова (СССР) «Расчет параметров кольцевых схем на транзисторах» был посвящен генератору наносекундных импульсов с задержанной обратной связью на транзисторах.

Ю. А. Рябинин (СССР) рассказал о серийной измерительной аппаратуре наносекундного диапазона длительностей: о скоростных осциллографах, генераторах наносекундных импульсов, измерителях временных интервалов и импульсных вольтметрах.

В сообщении Э. В. Бигелиса и др. (СССР) рассматривался новый скоростной осциллограф на высокочувствительной трубке бегущей волны, имеющий чувствительность 10 в/см и полосу частот 1 Гц и выше. В приборе использована система жесткой фокусировки электронного луча и увеличен угол его отклонения.

Ряд докладов был посвящен анализу работы стробоскопических осциллографов. А. И. Найденов (СССР) изложил способы сжатия спектра периодических сигналов наносекундной длительности с сохранением их формы. Использование корректирующих фильтров в низкочастотной части стробоскопических преобразователей спектра было обосновано М. И. Ефимчиком (СССР). Е. К. М. Янкунас и Д. Ю. Эйдукас (СССР) рассказали о способах повышения помехоустойчивости стробоскопических преобразователей спектра и проанализировали работу стробоскопических измерителей субнаносекундного диапазона.

Рассматривались вопросы передачи наносекундных импульсов. В сообщении И. П. Ковалева (СССР) говорилось об искажениях субнаносекундных импульсов, обусловленных наличием изгибов и сосредоточенных емкостей в линиях передачи. С. В. Медведь и Ю. Н. Симонов (ОИЯИ, СССР) представили графические результаты расчетов искажений импульсов при прохождении различных длин в некоторых типах кабелей. Г. К. Матусевичус и Е. К. М. Янкунас рассмотрели возможности измерения неоднородностей и длин кабелей импульсным и стробоскопическим методами.

Ю. А. Чуринов (СССР) сообщил об искажениях формы импульсов вследствие несогласования и неоднородностей в линиях связи быстродействующих электронных схем.

Сообщение К. Э. Эрглиса (СССР) содержало рекомендации по выбору рационального монтажа наносекундных схем. Из рассмотренных докладов видна явная тенденция к использованию импульсов субнаносекундного диапазона. Новый подход в этом направлении был дан Г. В. Глебовичем (СССР) в докладе «Криогенные импульсные устройства субнаносекундного диапазона». Так, охлаждением до температуры жидкого азота можно заметно увеличить рабочий диапазон частот передающего кабеля. Охлаждение до температуры жидкого гелия дает новые возможности, обусловленные явлением сверхпроводимости. При этой температуре ввиду малых потерь в диэлектрике и сверхпроводимости проводников линии задержки имеют полосу частот до 10—20 Гц. Переключающие схемы на распределенных криотронах и криотронах и на криосарах, в которых используется лавинный пробой, в сочетании со сверхпроводящими линиями позволяют выполнить основные логические и усилительные схемы с быстродействием ~ 1 Гц.

В докладе Д. А. Кабанова (СССР) была показана возможность выполнения сверхширокополосных усилителей бегущей волны на туннельных диодах и разработаны методы их расчета.

Сложность анализа дифференциальных уравнений, описывающих поведение схем с туннельными диодами, большое число параметров приводит к необходимости поиска обобщенных параметров, упрощающих математический анализ уравнений. Как показано Ф. П. Галецким (СССР), обобщенные параметры позволяют на упрощенных медленных моделях использовать аппарат теории подобия для эффективного моделирования поведения сложных быстродействующих схем с туннельными диодами.

В теме «Использование импульсных свойств диодов» следует особо отметить обзор Ю. Р. Носова (СССР) «Быстродействующие полупроводниковые диоды для наносекундной импульсной техники». В докладе приведены параметры, определяющие быстродействие диодов, рассмотрены возможности повышения быстродействия при использовании различных типов технологий производства диодов, изготовлении диффузионных меза-

диодов, планарных диффузионных и эпитланарных, диодов на основе контактов металл — полупроводник и т. д. Диод с тонкой базой и неинжектирующим омическим контактом, представляющий собой устройство с резким восстановлением обратного сопротивления, был описан в докладе Л. А. Курановой и Ю. Р. Носова. Следует заметить, что эффект резкого восстановления обратного сопротивления в настоящее время широко используется для генерации импульсов субнаносекундного диапазона с временами нарастания 0,2—0,3 *нсек* и амплитудами ~ 10—30 *в*. Анализ схем такого типа и сами схемы, выполненные на диодах Д311, Д312, 1А401, 1А402, рассматривались Д. Ю. Эйдукасом.

Доклад Ю. С. Акимова и др. был посвящен анализу быстродействия планарной диодной матрицы наносекундного диапазона на кремнии *p*-типа.

В нескольких докладах были описаны наносекундные устройства, используемые с искровыми камерами (А. Т. Матюшин и др., Н. Н. Нургожин, М. А. Ташимов и др., ОИЯИ, СССР).

На симпозиуме проводились семинары и дискуссии по вопросам временного разрешения систем со счетчиками ядерных частиц и возможностям широкополосного коррелометра наносекундного диапазона, а также по стандартизации наносекундной аппаратуры, на которых были выработаны рекомендации.

Симпозиум способствовал широкому обмену мнением, установлению полезных личных контактов между учеными. Труды симпозиума будут опубликованы издательским отделом ОИЯИ в 1967 г.

Ю. К. АКИМОВ, И. Ф. КОЛПАКОВ

Симпозиум по удалению радиоактивных отходов в землю

С 29 мая по 2 июня 1967 г. МАГАТЭ и Евратом провели в Вене симпозиум по удалению радиоактивных отходов в землю. В его работе приняли участие более 120 специалистов из 24 стран. Было заслушано и обсуждено 43 доклада, из которых семь представлено советскими учеными.

Доклады были посвящены захоронению твердых и жидких отходов низкой и средней удельной активности в грунт, захоронению жидких радиоактивных отходов в глубинные формации земли, результатам длительных наблюдений за миграцией радиоактивных веществ при существующей в некоторых странах практике сброса жидких отходов в верхние слои земли, исследованием вымываемости радиоактивных веществ из цемента, битума и стекла, вопросам, связанным с захоронением отходов в соляные копи, а также другим проблемам безопасного удаления отходов.

Значительное место в докладах было уделено захоронению твердых отходов низкой и средней удельной активности (бумага, ткань, загрязненное оборудование, строительные материалы и т. п.). На заводах в Уиндскейле (Англия), Саванна-Ривере (США) и научном центре Лос-Аламосе (США) захоронение указанных отходов производится на специально выделенных площадках в земляные траншеи шириной 8—30 м, глубиной 4—8 м. Длина траншей 150—700 м, объем 40—45 тыс. *м*³. После заполнения могильники засыпаются слоем земли. В Уиндскейле траншеи оборудуются центральной дренажной трубой. Анализы показывают, что в стекающей воде содержание α - и β -излучателей достигает $2,3 \cdot 10^{-10}$ *кюри/л*. На заводе в Саванна-Ривере твердые отходы сортируются и поступают на захоронение в упакованном или прессованном виде (рис. 1). За 1953—1966 гг. было захоронено 1,5 млн. *кюри* продуктов деления и активации и более 9000 *кюри* трансураниевых элементов. В Чок-Ривере (Канада) твердые отходы средней и высокой удельной активности удаляют в траншеи с бетонными стенками. Ширина траншей 4 м, длина отсека 6—8 м, глубина 4—5 м. Отходы поступают в цементных контейнерах и автокраном устанавливаются в могильник. Некоторые виды отходов цементируются на месте хранения в деревянной опалубке и затем засыпаются землей (рис 2). Твердые отходы лабораторий и реакторов атомного центра Евратома в г. Испра (Италия) упаковываются в контейнеры, которые подвергаются захоронению в бетонных колодцах диаметром 1,2 м, глубиной 6—7 м. После заполнения колодца отходами его заливают цементом.

Заслуживает внимания метод хранения высокоактивных отходов, включенных в прокаленную окись алюминия. На заводе в Айдахо (США) с 1964 г. эксплуатируется опытно-промышленная установка кальцинации выдержанных растворов нитрата алюминия с удельной активностью 6 *кюри/л*. Кальцинация проводится в кипящем слое окиси алюминия при температуре 600—700° С. Для хранения прокаленной окиси алюминия используют цилиндрические емкости из нержавеющей стали высотой от 7 до 14 м и диаметром до 3,5 м. Эти емкости устанавливают в бетонные вентилируемые камеры по четыре и семь штук в каждую. Температура в таком хранилище достигает 225° С вместо 400° С по проекту. Длительное хранение твердых кальцинированных отходов считается более безопасным, чем хранение того же количества жидких растворов. К настоящему времени накоплено 210 *м*³ радиоактивной окиси алюминия, полученной от переработки 1900 *м*³ раствора. В ближайшие годы на заводе предполагается создать могильник, в котором температура кальцинированного продукта при его хранении будет достигать 700° С.

На симпозиуме вызвал интерес доклад В. Г. Верскунова и др. (СССР) о возможности использования земляных могильников для проведения высокотемпературного процесса остекловывания отходов, основанного на использовании для их отверждения тепла химических реакций. Осуществление этого процесса позволяет получить большую производительность установки, снимает проблему подбора конструкционного материала печи плавки и обеспечивает надежность захоронения.

Значительное число докладов симпозиума было посвящено захоронению твердых радиоактивных отходов в соляные формации. Особое внимание этому методу захоронения уделяется в ФРГ, что обусловлено малой территорией страны и наличием больших соляных залежей. Для дальнейшего развития этого метода разработан проект создания хранилища путем размывания водой каверны внутри соляного пласта. Однако в этом случае возникает затруднение со сбросом соленых вод, образующихся при размывании соляной каверны. Кроме того, авторы проекта опасаются затопления каверны грунтовыми водами, что, по-видимому, иногда имеет место.

В докладах И. А. Соболева и др., В. В. Куличенко и др. (СССР) и Ж. Родье (Франция) были представлены результаты исследований выщелачивания радиоактивных изотопов из стекла, цемента и битума при их кон-