

93-410



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P10-93-410

С.В.Швидкий, Н.Гольник*, М.Зельчинский*

ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
РЕГИСТРАЦИИ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР
ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ИЗМЕНЕНИИ
НАПРЯЖЕНИЯ

*Институт атомной энергии, Свек, Польша

1993

1. Главная область применения

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) являются основными характеристиками практически всех нелинейных двухполюсников. Описываемое программно-аппаратное обеспечение может быть использовано для многих типов двухполюсников.¹ Однако его разработка была направлена на создание наиболее благоприятных условий регистрации ВАХ двухполюсников более узкого класса, а именно рекомбинационных камер, то есть тканееквивалентных ионизационных камер, работающих при достаточно высоких давлениях в режиме неполного насыщения [1,2,3].

Отличительными особенностями рекомбинационных камер по сравнению с другими нелинейными двухполюсниками с точки зрения определения ВАХ являются:

- относительно высокое напряжение,
- необходимость использования как положительного, так и отрицательного напряжения в широком диапазоне, от десятых долей вольта до нескольких киловольт,
- необходимость установки рекомбинационной камеры в полях проникающего ионизирующего излучения. В ряде случаев это ведет к необходимости использования длинных кабелей, емкость которых может искажать динамически регистрируемые ВАХ,
- очень малые значения измеряемых токов, часто не превышающие долей пикоампера,
- относительно высокое (по сравнению с типичными ионизационными камерами и другими двухполюсниками) значение междуэлектродной емкости, нередко достигающее нескольких сотен пикофарад, что приводит к возникновению паразитных токов при изменении междуэлектродного напряжения,
- необходимость мониторинга, то есть одновременного измерения уровня радиации с помощью другого, сопряженного

¹ Работа частично финансирована Польским комитетом научных исследований, грант № KBN 4 S404 010 05

детектора, если возможны изменения этого уровня в процессе определения ВАХ,

• чрезвычайно высокие требования к воспроизводимости ВАХ.

Эффективность собирания ионов в рекомбинационной камере зависит от напряжения, прикладываемого между электродами камеры, и от локальной концентрации ионов в треках частиц, ионизирующих газ. Достаточно точное определение ВАХ рекомбинационной камеры, помещенной в поле исследуемого излучения, открывает новые возможности микродозиметрического анализа, передачи энергии излучения и, в частности, получения распределения дозы по ЛПЭ [3] (линейной передаче энергии). Один из возможных способов воспроизведения распределения дозы по ЛПЭ сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма первого рода:

$$I(U) = \int_1^{\infty} f(\nu, U) d_{(\nu)} d_{\nu}$$
 относительно функции распределения заряда $d_{(\nu)}$ по числу образованных ν пар ионов. Значение интеграла определяется экспериментальным путем измерения тока $I(U)$, а подынтегральное выражение есть функция отклика детектора или эффективность собирания ионов, то есть измерение спектра ЛПЭ заключается в точном определении вольт-амперной характеристики рекомбинационной камеры, помещенной в поле излучения.

2. Технические решения регистрации ВАХ при дискретном изменении напряжения

Наиболее простым и часто применяемым способом определения ВАХ является прямой отсчет тока камеры (помещенной в поле ионизирующего излучения) после подачи на электроды камеры очередного значения напряжения, изменяемого вручную. Обычно непосредственно перед изменением напряжения электрометр, с помощью которого измеряется ток, протекающий через камеру, предохраняется от перегрузок, например, путем закорачивания и последующего приведения в рабочее состояние через некоторый промежуток времени (рис.1).

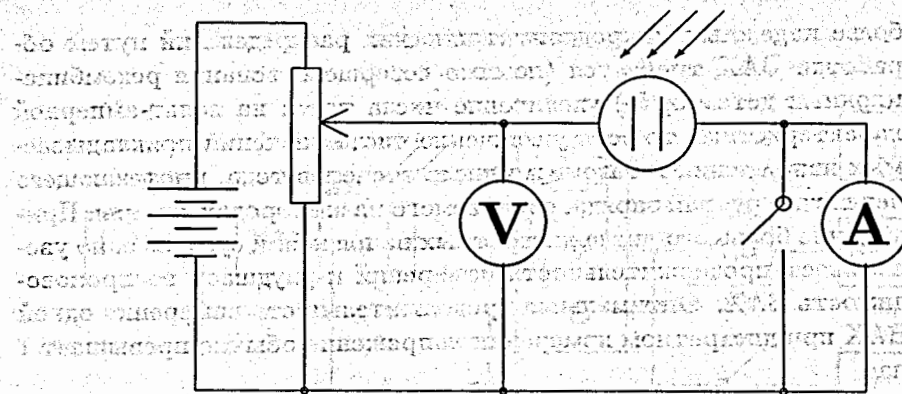


Рис.1: Принципиальная схема неавтоматизированного определения вольт-амперных характеристик ионизационных камер.

Автоматизация регистрации ВАХ позволяет облегчить измерение, сократить время измерения, а также значительно улучшить воспроизводимость. Схемы автоматической регистрации ВАХ рекомбинационных камер стали применяться еще на стадии разработки рекомбинационных методов в начале шестидесятых годов. Регистрация тока осуществлялась на графическом самописце. Период переключения напряжения и время задержки подключения электрометра регулировались электронной схемой, в первых вариантах с использованием тиратронов [1,4]. Существенным прогрессом было применение цифровых элементов автоматики [5,6] и управляемых источников высокого напряжения.

Компьютерное управление [7] позволило избежать применения делителей и самописцев, а также значительно ускорить и облегчить последующую обработку результатов измерения ВАХ. Однако в области низких напряжений, получаемых от управляемого высоковольтного источника, применение резисторных делителей обеспечивает более высокую точность. Автоматические, в том числе и компьютерные, схемы в настоящее время обеспечивают воспроизводимость ВАХ рекомбинационных камер с точностью до 0.2 %, что уже позволяет получать грубое распределение дозы по ЛПЭ [3,8] и другие существенные параметры [9] частиц, ионизирующих газ в рекомбинационной камере. Для получения более детальных и

более надежных микродозиметрических распределений путем обработки ВАХ требуется (помимо совершенствования рекомбинационных детекторов) увеличение числа точек на вольт-амперной характеристике, то есть увеличение числа значений прикладываемых напряжений и такого же числа отсчетов тока, протекающего через камеру, или заряда, собираемого на электродах камеры. Применение большого числа дискретных напряжений существенно увеличивает продолжительность измерений и ухудшает воспроизводимость ВАХ. Оптимальная продолжительность измерения одной ВАХ при дискретном измерении напряжения обычно превышает 1 час.

Применение непрерывного изменения напряжения (и отсчет тока или заряда) дает возможность существенно уменьшить продолжительность измерений (в проведенных экспериментах измерение одной ВАХ составило 12 минут), а также улучшить детальность ВАХ.

3. Особенности непрерывного изменения напряжения

Современные управляемые источники высокого напряжения могут рассматриваться как операционные усилители и легко позволяют получать напряжения согласно задаваемому управляющему сигналу в течение практически любого интервала времени (от долей секунды до нескольких часов) в диапазоне от долей вольта до 2кВ. Однако каждое изменение напряжения U между электродами ионизационной камеры является причиной возникновения емкостного тока: $I_c = C * \frac{dU}{dt}$, где:

C - межэлектродная емкость камеры,

$\frac{dU}{dt}$ - скорость изменения напряжения.

При быстром изменении напряжения вышеупомянутый паразитный емкостный ток может достигать порядка наноампер, то есть превышать обычно измеряемые токи рекомбинационной камеры, генерируемые ионизирующим излучением, в тысячу раз. С целью уменьшения влияния паразитного емкостного тока применяются схемы компенсации [10], в которых используется другой емкостный ток, обратного знака, обусловленный изменением компенсирующего напряжения, повторяющего форму рабочего напряжения, подаваемого на электроды камеры, но противоположной полярности.

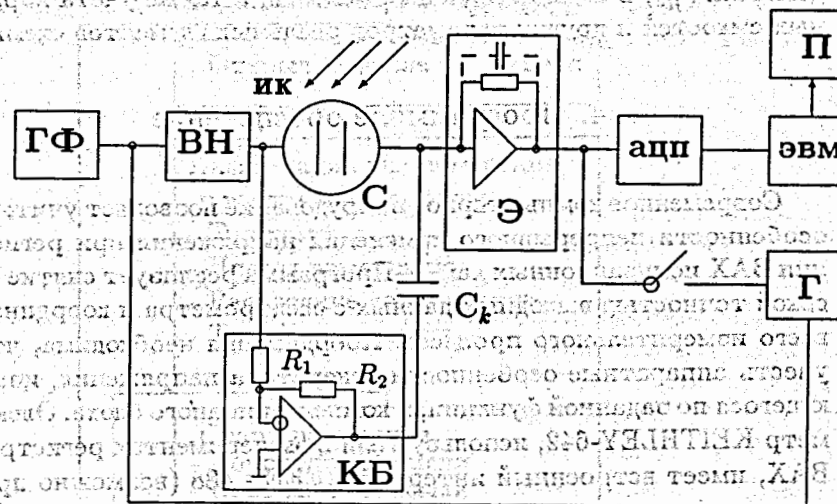


Рис.2. Структурная схема регистрации ВАХ при непрерывном изменении напряжения:

- ГФ - генератор напряжения, изменяющегося по заданной функции,
- ВН - управляемый источник высокого напряжения,
- ИК - ионизационная камера,
- Э - электрометр,
- ацп - аналого-цифровой преобразователь или другой интерфейс, например GPIB (IEEE - 488),
- КБ - компенсационный блок,
- C_k - компенсирующая емкость,
- ЭВМ - персональный компьютер,
- Г - графический регистратор (самописец),
- П - печатающее устройство.

Структурная схема регистрации ВАХ с использованием компенсации паразитного емкостного тока показана на рис.2.

Компенсация имеет место, если $R_1 C = R_2 C_k$. По такой схеме без особых ухищрений удается уменьшить, то есть скомпенсиро-

вать, паразитный емкостный ток ионизационной камеры приближенно в десять тысяч раз. Более глубокая компенсация требует учета температурных коэффициентов емкости камеры, элементов делителя ($\frac{R_1}{R_2}$) и компенсирующей емкости, а также учета паразитных емкостей и других параметров реальных элементов схемы.

4. Программное обеспечение

Современное компьютерное оборудование позволяет учитывать особенности непрерывного изменения напряжения при регистрации ВАХ ионизационных камер. Программа реализует снятие с высокой точностью выходных данных с электрометра и координацию всего измерительного процесса. Координация необходима, чтобы учесть аппаратные особенности генератора напряжения, изменяющегося по заданной функции, и компенсационного блока. Электрометр KEITHLEY-642, используемый в экспериментах регистрации ВАХ, имеет встроенный интерфейс IEEE-488 (возможно применение любого другого электрометра через плату АЦП или соответствующий интерфейс, совместимый с компьютером).

Программа реализована в среде TURBO PASCAL. Программное обеспечение представляет собой законченный модуль, имеющий несколько опций, позволяющих оператору настраивать среду, записывать входные и выходные данные с электрометра, графически интерпретировать измерения и строить вольт-амперную характеристику.

На рис.3 показана логическая структура программы регистрации вольт-амперных характеристик ионизационных камер при непрерывном изменении напряжения.

Программа имеет шесть опций, выполняющих все функции для проведения цикла измерений. Опции выполняют следующие процедуры:

- опция PARAMETR открывает указанный оператором файл и заносит туда информацию, необходимую для последующей обработки данных, то есть диапазон измерения электрометра, максимальное напряжение, подаваемое на камеру, тип камеры (в измерениях применялись камеры: Т-56, F-16, REM-2), расстояние до источника и ряд других вспомогательных параметров;

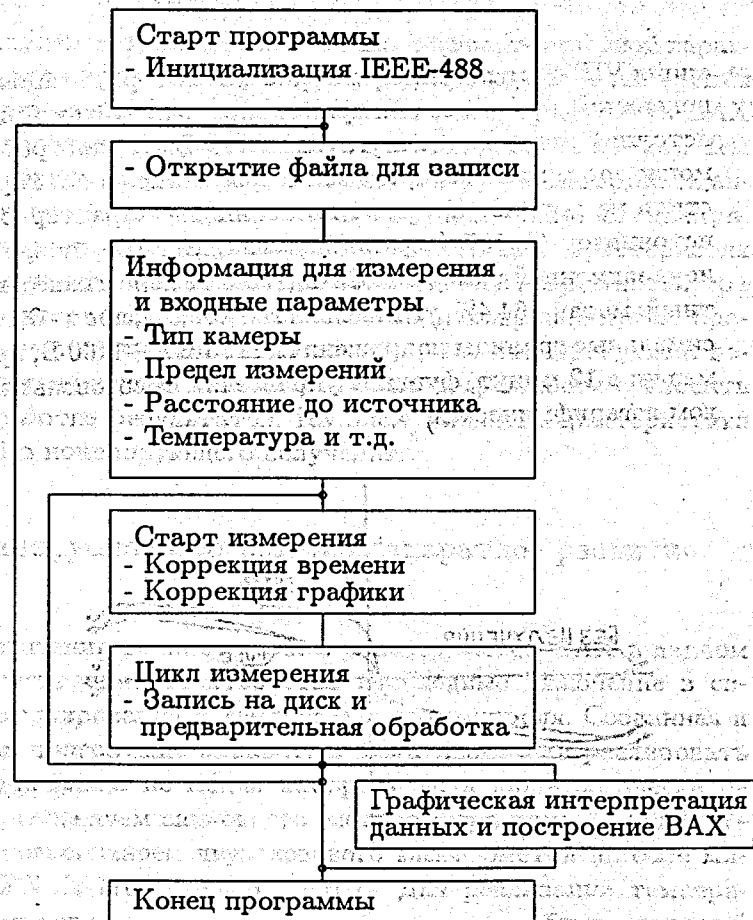


Рис.3. Логическая структура программы измерения ВАХ

- опция START запускает цикл измерения на заданное время, так как время срабатывания генератора напряжения, изменяющегося по заданной функции, строго квантовано и программа должна быть настроена на тот же период. С помощью этой опции до запуска измерений также можно скорректировать интерпретацию данных, указав графическую карту данного компьютера HERCULEC, EGA, VGA, SVGA;
- опция TIME - сервисная информация скорости обмена между электрометром (в данном случае KEITHLEY-642), платой GPIB (стандартный интерфейс IEEE-488) и компьютером;

3. Golnik N., Zielczynski M. Estimation of the restricted LET distribution from saturation curve of recombination chamber. Rad. Prot. Dosim. (in print.)
4. Zarnowiecki K., Zielczynski M. Research on mixed radiation dosimetry: The recombination method of direct RBE-dose measurement and QF-determination. IAEA Research Contracts: TRS N^o 105, IAEA, Vienna, 1970, INR 0-133/XIX/72.
5. Grajda A. Zestaw automatu do zdejmowania charakterystyk komor jonizacyjnych. INR 0-291/XIX/77, Swierk, 1977.
6. Bayer R. Układ automatycznej zmiany napięcia. INR 0-46/XIX/81, Swierk, 1981.
7. Golnik N. Automation of measurements with ionization chambers. IAE 2123/EI, Swierk, 1991.
8. Макаревич М. и др. Сообщение ОИЯИ Р16-81-492, Дубна, 1981.
9. Sullivan A.N. Zielczynski M. Microdosimetry using ionization recombination. Symposium on Microdosimetry. EUR 5452, p1091, 1975.
10. Pliszcynski T. Układ do automatycznej rejestracji charakterystyk komor jonizacyjnych. IEA 0-175/EI/85, Swierk, 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел

12 ноября 1993 года.