

близок к составу рабочих проб. ОГ с содержанием гадолиния 1 г/дм^3 и урана 80 г/дм^3 готовят следующим способом: навеску закиси-окиси урана (U_3O_8) массой $9,4339 \text{ г}$, прокаленного до постоянной массы при температуре $850\text{--}9000^\circ\text{C}$, растворяли в 40 см^3 соляной кислоты и 10 см^3 азотной кислоты и упаривали на плитке до влажных солей, добавляли 10 см^3 раствора гадолиния с содержанием 10 г/дм^3 . Раствор переводили в мерную колбу вместимостью 100 см^3 и доводили объем до метки водой. Остальные ОГ готовили аналогичным образом, изменяя содержание в них гадолиния и урана.

По измеренным энергетическим спектрам от ОГ методом множественной регрессии находили уравнение связи площади аналитического пика определяемого элемента и его концентрации в пробе. Все процедуры обработки спектров, градуировки спектрометра по концентрациям и последующего автоматического расчета содержания определяемых элементов входят в состав программного обеспечения спектрометра. Полученные метрологические характеристики определения гадолиния на спектрометре СРВ-1В представлены в табл. 5.

Таблица 5

Элемент	Диапазон определяемых содержаний, г/дм^3	Неискл. сист. погрешность, Θ , отн. ед.	Показатель сходимости $\sigma_{\text{сх}}(\delta)$, отн. ед.	Суммарная погрешность δ , $n=2$, отн. ед.
Гадолиний	– 0,01 – 0,1	0,045 0,027	0,19	0,27 0,27

Таким образом, результаты данной работы убедительно показывают, что применение рентгено-флуоресцентного спектрометра с энергетической дисперсией СРВ-1В позволяет решать сложные аналитические задачи контроля технологических процессов при переработке новых видов сырья или получения новых типов продуктов.

Литература

1. Сертификат о государственной метрологической аттестации № 05/025-238 от 21.07.2000 г.
2. Веригин А.А., Петров В.А., Маджара Е.О., Змеев А.С. Спектрометры СРВ-1 как экспресс-анализаторы в технологическом процессе переработки руд на обогатительных фабриках Республики Казахстан: Материалы республиканской научно-практической конференции (29-31 марта 2000 г.) ВКТУ «Интеграция науки, образования и производства в современных условиях». – Усть-Каменогорск, 2000. С 81-84.

УДК 621.384.6

СИЛЬНОТОЧНЫЙ МИКРОСЕКУНДНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ ОМЕГА-350

И.В. Шаманин, Б.Е. Кадлубович, А.А. Колбаенков

Томский политехнический университет

В технологических процессах все большее значение имеют разнообразные ускорители заряженных частиц. При этом наиболее существенны ускорители электронов. Широкое применение ускорителей электронов в различных технологических процессах выводит на первое место их дешевизну, простоту обслуживания, надежность и долговечность.

Исторически наибольшую актуальность имели исследования по генерации импульсных потоков заряженных частиц (ИПЗЧ) с предельно возможными параметрами

ми. Для этого энергия, запасенная в импульсном генераторе, преобразовывалась в энергию пучка через различные промежуточные накопители (формирующие линии). Это позволяло значительно сократить время подвода энергии к вакуумному диоду и существенно повысить мощность генерируемых пучков при длительности импульса порядка наносекунд.

Однако в большинстве случаев практического применения ИПЗЧ требуются значительно меньшие мощности воздействия. В прикладных целях наибольшее значения имеют:

- возможность многократного режима работы;
- стабильные параметры пучков и высокий коэффициент полезного действия при преобразовании энергии первичного накопителя в энергозапас пучка.

При этом формирующие линии сильно усложняют конструкцию ускорителя и приводят к уменьшению КПД генерации.

Отказ от формирующих линий приводит к существенному увеличению длительности пучка до величин, определяемых электрофизическими характеристиками генератора и вакуумного диода (порядка микросекунд), а также к нестабильности процесса генерации электронного пучка и, следовательно, его пространственно-временных характеристик.

На физико-техническом факультете Томского политехнического университета для широкого ряда научных исследований, а также для изучения возможности применения подобных ускорителей в различных технологических целях создан сильно-точный микросекундный ускоритель электронов ОМЕГА-350.

Ускоритель представляет собой вакуумный диод, питаемый генератором импульсного напряжения (ГИН). ГИН представляет собой семикаскадный генератор, собранный по схеме Аркадьева–Маркса (рис. 1). С помощью ГИНа возможно осуществлять питание вакуумного диода или другого физического оборудования импульсным напряжением с максимальным амплитудным значением 350 кВ отрицательной или положительной полярности, в ручном (однократном) или автоматическом (многократном) режимах.

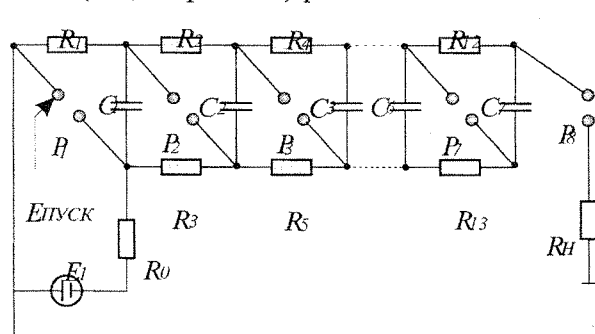


Рис. 1. Схема генератора импульсного на-

Семь ступеней C_1-C_7 содержат по одному конденсатору типа ИК-100-0.4-УХЛ, закрепленных на горизонтальной диэлектрической раме, установленной на четырех высоковольтных изоляторах. Параллельный заряд батарей осуществляется высоковольтным источником постоянного тока E_1 типа УРС-50ИМ через малоиндукционные токоограничивающие резисторы P_1-P_{13} типа ТВО-60 по

47 кОм каждый. Для ограничения тока в момент коммутации установлен высоковольтный резистор P_0 номиналом 6 МОм.

Последовательный разряд ГИНа осуществляется через систему открытых воздушных разрядников, изготовленных в виде медных никелированных пустотелых шаров диаметром 80 мм, закрепленных на металлических держателях с микрометрической резьбой для точной индивидуальной настройки разрядных промежутков. Грубая настройка осуществляется поворотом одной из двух винипластовых штанг, на которых и расположены разрядники. Такая конструкция позволяет достаточно легко изменить разрядное напряжение ГИНа от 100 до 350 кВ и обеспечить доста-

точную точность и надежность срабатывания. К недостаткам данной схемы следует отнести высокий уровень электромагнитных помех, генерируемых газоразрядной плазмой открытых воздушных разрядников при срабатывании ГИНа.

Пуск ГИНа осуществляется путем подачи высоковольтного поджигающего импульса на первый разрядный промежуток тригatronного типа с подавлением дребезга контактов управляющей схемы и защитой от внешних электромагнитных полей, что позволяет использовать ее в автоматическом режиме работы.

Контрольные испытания ГИНа, с целью определения его основных характеристик, проводились в режимах холостого хода и короткого замыкания.

Основные характеристики ГИНа

Полная емкость	0.057 мкФ	
Выходное напряжение	100–350 кВ	(может быть увеличено при смене источника питания)
Полный энергозапас	до 3500 Дж	
Ударная емкость	0.044 мкФ (при разряде на нагрузку 52 кОм)	
Паразитная индуктивность	6.7 мкГн	
Частота свободных колебаний	1.4 МГц	
Нестабильность выходного напряжения	1% (в автоматическом режиме запуска)	
Длительность переднего фронта импульса выходного напряжения	50 нс (в режиме холостого хода)	
	2.0 мкс (в режиме короткого замыкания)	

Вакуумный диод сильноточного микросекундного ускорителя электронов ОМЕГА-350 монтируется в тонкостенном цилиндре из нержавеющей стали диаметром 540 и длиной 720 мм (рис. 2). Кроме фланцев, обеспечивающих подсоединение вакуумной арматуры, предусмотрено два диаметрально расположенных окна с внутренним диаметром 150 мм для проведения различных оптических экспериментов и торцевой составной фланец для крепления различных мишенных узлов и диагностического оборудования.

Высоковольтный ввод ускорителя изготовлен в виде полого конуса из оргстекла, через который проходит потенциальный электрод. Вакуумное уплотнение достигается сферическими шайбами, которые одновременно служат для выравнивания потенциалов на границе металл–диэлектрик.

Значительный объем вакуумного пространства дает возможность использовать катоды большого поперечного сечения, размещать необходимое количество измерительных датчиков и вспомогательное оборудование, а в случае необходимости разместить формирующую линию, что позволит генерировать сильноточные электронные пучки наносекундной длительности.

Ускоритель снабжен набором сменных анодно-катодных узлов различного материального состава и геометрии. В набор катодов входят: традиционные острийные катоды; широкие катоды с несколькими вариантами эмиттирующей поверхности;

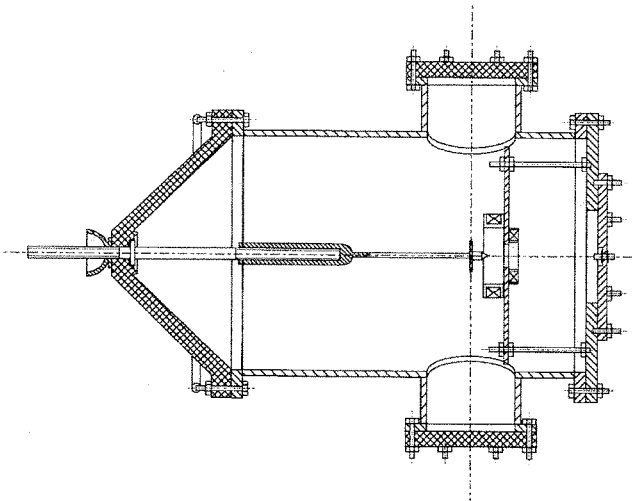


Рис. 2. Сильноточный электронный ОМЕГА-350

многосекционный катод со сменными металлическими и СВС-керамическими вставками.

Вакуумный диод ускорителя работает при давлении $\sim 10^{-5}$ Торр с откачкой диффузионным вакуумным агрегатом ВА-05-4ПР.

В качестве вспомогательного оборудования разработана система ведущего магнитного поля, генерирующая импульс продольного магнитного поля напряженностью до $3 \cdot 10^6$ А/м при длительности импульса более 200 мкс. Система синхронизации позволяет запустить ускоритель в момент времени, когда поле катушки имеет максимальное значение напряженности.

Конструкция потенциального электрода позволяет производить облучение образцов, как в вакуумном пространстве ускорителя так и вне вакуумного объема. Для вывода пучка из вакуумного объема к корпусу ускорительной камеры присоединяется фланец, имеющий окно диаметром 50 мм. Окно закрывается тефлоновой пленкой. Для создания перед выпускным окном ускоряющего нулевого потенциала и для предотвращения влияния взрывоэмиссионной плазмы в момент короткого замыкания на материал окна, с целью увеличения ресурса его работы, на расстоянии 10 мм перед окном со стороны вакуумного объема размещается латунная сетка прозрачностью 40÷80 %.

В режиме генератора тормозного излучения для конверсии электронов в тормозное излучение используется танталовая фольга толщиной 50 мкм, которая устанавливается вместо тефлоновой пленки.

Напряжение на вакуумном диоде измеряется оригинальным омическим делителем с последующей регистрацией на цифровом запоминающем осциллографе С9-27. Из осциллографа зарегистрированный сигнал передается в компьютер, где производится его дальнейшая обработка. Обработка сигнала заключается в восстановлении его истинной формы, которую он имел бы, если бы амплитудно-частотная характеристика делителя напряжения была строго линейна во всем диапазоне частот, а коэффициент передачи равен единице. Для этого рассчитывается частотный спектр измеренного сигнала путем разложения его в ряд Фурье с дальнейшей коррекцией амплитуды гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой делителя напряжения, определенной или измеренной предварительно. Искомый сигнал получается при обратном преобразовании Фурье. Таким образом, определение параметров пучка производится для сигналов с исключенными частотными искажениями, вносимыми делителем напряжения (рис. 3).

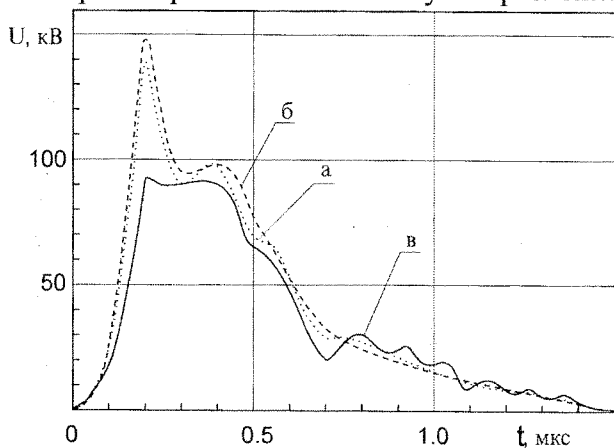


Рис. 3. Импульсы ускоряющего напряжения
а — реальный импульс ускоряющего напряжения, регистрируемый осциллографом;
б — импульс ускоряющего напряжения, скорректированный по экспериментально измеренной амплитудно-частотной характеристике;
в — импульс ускоряющего напряжения, скорректированный по расчетной амплитудно-частотной характеристике

рекция амплитуды гармоник в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой делителя напряжения, определенной или измеренной предварительно. Искомый сигнал получается при обратном преобразовании Фурье. Таким образом, определение параметров пучка производится для сигналов с исключенными частотными искажениями, вносимыми делителем напряжения (рис. 3).

Для регистрации тока электронного пучка был спроектирован и изготовлен оригинальный токовый шунт (рис. 4), конструкция которого позволяет изменять расстояние между анодом и катодом вакуумного диода от 5 до 40 мм без нарушения герметичности ускорительной камеры. Это дает возможность с минимальными

временными затратами исследовать влияние анодно-катодного зазора на амплитудно-временные параметры генерируемых электронных пучков и проводить точную настройку оптимального режима работы вакуумного диода.

На рис. 5 представлена зависимость КПД генерации электронного пучка от расстояния между анодом и катодом вакуумного диода, полученная с помощью описанного выше токового шунта.

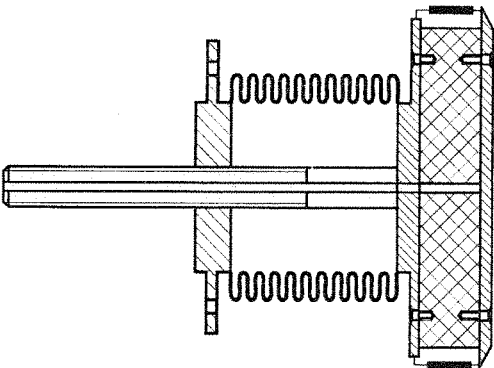


Рис. 4. Токовый шунт

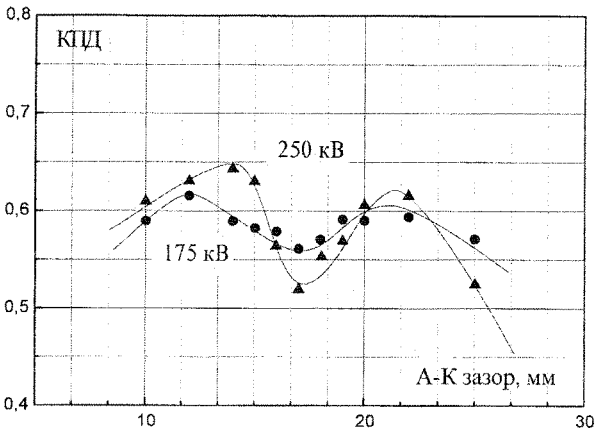


Рис. 5. Зависимость КПД генерации электронного пучка от величины анодно-катодного зазора

Распределение поглощенной дозы вдоль оси симметрии ускорительно-конвертирующей системы определялось по показаниям термолюминесцентных дозиметров установленных на оси симметрии конвертирующей системы. Результаты измерений по кривой термического высвечивания приведены в таблице.

Таблица

Расстояние от конвертора, мм	Поглощенная доза (за 10 импульсов), рад	
	стальной катод	металлокерамический катод
70	0,88	2,57
80	0,76	2,43
90	0,63	2,24

Созданный ускорительный комплекс позволяет генерировать электронные пучки длительностью от 0,5 до 2,5 мкс при плотности тока до 50 кА/см² и энергией электронов до 350 кэВ, обеспечивая полный энергозапас пучка более 1 кДж при КПД генерации около 65 %.

Литература

1. Бостик У., Нарди В., Цукер О. Накопление и коммутация энергии больших плотностей: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. 474 с.
2. Абрамян Е.А., Альтеркоп Б.А., Кулешов Г.Д. Интенсивные электронные пучки. – М.: Энергоатомиздат, 1984. 230 с.
3. Москалев В.А., Сергеев Г.И., Шестаков В.Г. Измерение параметров пучков заряженных частиц. – М.: Атомиздат, 1980. 160 с.
4. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.
5. Алексеева В.Г. Расчет формы сигналов. – Ленинград: Энергия, 1968. 180 с.

HIGH-CURRENT MICROSECONDS ACCELERATOR OF ELECTRONS OMEGA-350

Shamanin I.V., Kadlubovich B.E., Kolbaenkov A.A.

Tomsk Polytechnic University

The paper offers high-current electron accelerator, which was made at Physical Technical Department of the Tomsk Polytechnic University. A great number of science and applied problems can be solved with the help of this device. There are main technical characteristic and parameters of the accelerator (GPV, vacuum chamber) in the paper. Besides, you can find there description of system of gathering and processing the information, which included in the structure of the accelerating complex and helps determine characteristics of the electron beam with high accuracy, results of the experimental investigations about dependence between anode-cathode clearance of the vacuum diode and efficiency of generation of the electron beam.

УДК 621.384.66

КАЛИБРОВКА АКУСТИЧЕСКОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

А.В. Головин, Б.Е. Кадлубович, А.А. Колбаенков

Томский политехнический университет

В работе предложен метод калибровки пьезоакустического датчика. Данное измерительное устройство применяется для исследования электронных пучков. Предлагается тарировать датчик стальным шариком, свободно падающим с определенной высоты на переднюю поверхность мишени и возбуждающим упругую волну. В этом случае можно с достаточной точностью описать происходящие процессы и оценить давление на тыльной поверхности мишени. Полученная теоретическая модель качественно и с достаточной точностью согласуется с экспериментом.

В настоящее время электронные пучки находят все более широкое применение в технике. Однако проблема генерации электронного пучка с теми или иными параметрами для той или иной цели еще далека от своего разрешения, а в исследованиях, с целью получения определенных параметров пучков, необходима соответствующая измерительная аппаратура.

В экспериментах по генерации мощных электронных пучков обычно измеряют среднюю плотность электронного тока за время импульса. Методы с использованием пояса Роговского (ПР.), коллимированного цилиндра Фарадея (КЦФ) в ряде случаев приводят к значительным погрешностям измерения. При плотности электронного тока $>200 \text{ А/см}^2$ взаимодействие пучка с материалом сопровождается испарением материала и плазмообразованием на облучаемой поверхности. Интенсивная эрозия поверхностного слоя мишени приводит к значительному снижению определяемой плотности тока. Интенсивное плазмообразование на поверхности маски КЦФ приводит к экранированию коллимирующих отверстий, значительным потерям электронов пучка в образующемся слое плазмы и соответственно к занижению реальной плотности электронного тока. При использовании ПР для определения плотности тока пучка необходимо измерять сечение пучка и, кроме того, ПР нельзя использовать для локальных измерений плотности электронного тока. К тому же во всех этих методах для определения плотности тока требуется промежуточная обработка экспериментальных данных.