

Высокочастотная система ускорителя электронов для радиационного томографа

В.И.Каминский, В.Я.Маклашевский, Ю.М.Путкин, В.В.Яненко

Московский государственный инженерно-физический институт, Россия

Промышленные томографические комплексы являются мощным современным инструментом неразрушающего контроля различных изделий, имеющих сложную внутреннюю структуру, обладающих средними и большими габаритами и массой. Комплекс, предназначенный для исследования металлических крупногабаритных объектов с размерами от единиц до десятков сантиметров, должен базироваться на источнике ионизирующего излучения с большой интенсивностью [1]. Разработка такого источника осуществляется в МИФИ. Сравнительный анализ различных типов источников показывает, что предпочтение следует отдать линейному ускорителю электронов на энергию 1-2 МэВ и током пучка 400-600 мА, обеспечивающему интенсивность тормозного излучения до 100 р/мин в метре от выходного окна.

Ускоряющая система источника может работать в режиме бегущей либо стоячей волны. В первом случае ускоряющая структура представляет собой круглый диафрагмированный волновод (КДВ), во втором обычно применяется бипериодическая ускоряющая структура (БУС) [2]. При относительно небольшой энергии пучка (1-2 МэВ) бипериодическая структура обладает рядом преимуществ. К ним следует отнести более высокое шунтовое сопротивление, чем у КДВ, обеспечивающее меньший размер секции и возможность получения высокого к.п.д. Другим достоинством БУС является возможность обеспечения фокусировки пучка ускоряющим полем на краях трубок дрейфа. Эти преимущества явились основанием для выбора БУС в качестве ускоряющей системы радиационного томографа.

Питание ускорителя наиболее целесообразно осуществлять от магнетрона. Применение этого типа генератора имеет ряд достоинств: высокий к.п.д. лампы, относительно невысокое питающее напряжение, обеспечивающее компактность вспомогательного оборудования. Специфической особенностью магнетрона как автогенератора является существенная зависимость его мощности и частоты от сопротивления нагрузки. Бипериодическая структура, являясь высокочастотным резонатором, имеет входное сопротивление, существенно зависящее от частоты. Для обеспечения устойчивого возбуждения магнетрона на рабочей частоте структуры разработаны и применяются различные схемы развязки автогенератора и резонансной нагрузки [3]. Из них следует выделить системы питания на основе ферритовых и мостовых развязок. Применение моста обеспечивает отсутствие потерь в развязывающем устройстве [4]. Однако, в этой схеме ускоряющая система должна состоять из двух идентичных по своим характеристикам секций. Это требование налагает дополнительные условия на характеристики БУС и несколько усложняет ее настройку.

Проведенный сопоставительный анализ различных возможных вариантов высокочастотной системы ускорителя электронов на энергию около 1,5 МэВ позволил сделать выбор в пользу ВЧ-системы на основе бипериодической структуры с питанием от серийного магнетрона МИ-202. Такой выбор, в частности, должен обеспечить максимальное использование серийно выпускаемого оборудования, надежность и ремонтпригодность комплекса.

Расчет динамики пучка в ускоряющей структуре осуществлялся с учетом продольного и поперечного движения частиц. Целью расчета являлось определение

геометрии ускоряющих зазоров, обеспечивающих группировку, ускорение и фокусировку пучка. Энергия инжекции выбрана 40 кэВ для обеспечения возможности питания источника электронов от модулятора магнетрона. Группирователь является первой ячейкой структуры с ускоряющим зазором 4 мм и амплитудой электрического поля 40 кВ/см. В последующих ячейках происходит ускорение захваченных частиц до конечной энергии. Амплитуды ускоряющего поля в зазорах составляет 190 кВ/см. Такие поля обеспечиваются при мощности на входе системы 1,2 МВт.

Для обеспечения одинаковых входных сопротивлений секций число ячеек в них было сделано разным. Это связано с тем, что группирующая ячейка имеет малое энергопотребление. В первой секции содержатся три ускоряющие ячейки (включая группирующую), во второй --- две. При этом, как показали расчеты, мощность питания секций примерно одинакова и входные коэффициенты связи секций с трактом должны быть близки друг к другу. Для обеспечения критической связи секции с трактом при нагрузке номинальным током пучка (0,4А) коэффициент связи должен быть около 3,5.

Выбор геометрии секции был обусловлен конструктивной простотой изготовления и настройки бипериодической структуры с внутренними ячейками связи (см. рис.1). Обеспечение заданного распределения поля при настройке достигалась с помощью расточки дугообразных отверстий связи между ячейками. После этого осуществлялась расточка входных окон в трансформаторах типа волны секций для достижения расчетного коэффициента связи секций с трактом.

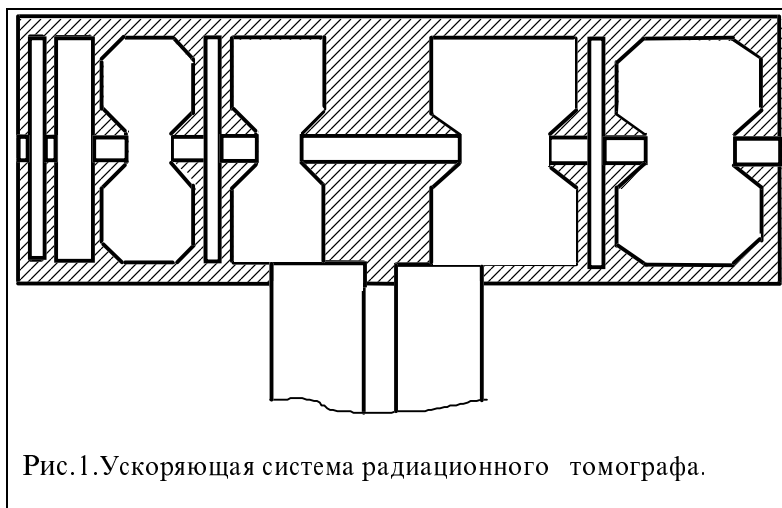


Рис.1. Ускоряющая система радиационного томографа.

Пайка секций, изготовленных в виде единого модуля, выполнялась серебряным припоем в водородной печи. После пайки осуществлялась подстройка ячеек, резонансная частота которых изменилась.

Измерения характеристик секций после пайки дали следующие результаты, эффективное шунтовое сопротивление 60 МОм/м, собственная добротность секций 11600 и 13100 соответственно, коэффициент связи с трактом первой секции 3,6, второй секции 3,7. Разность собственных частот секций составила 0,1 МГц. Более точная настройка частот секций не требуется, так при этом снижается эффект стабилизации частоты генератора за счет затягивания его частоты высокодобротными секциями [4]. Коэффициент стабилизации частоты, рассчитанный в соответствии с методикой изложенной в работе [3], составляет 9, полоса захвата в устойчивый одночастотный режим 4,6 МГц.

Проведенные испытания высокочастотной системы ускорителя на высоком уровне мощности показали ее устойчивую и стабильную работу на рабочей частоте в различных эксплуатационных режимах.

Литература

1. Клюев Е.В. и др. Неразрушающий контроль с источниками высоких энергий. М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Зверев Б.В., Собенин Н.П. Электродинамические характеристики ускоряющих резонаторов. М.: Энергоатомиздат, 1993.
3. Каминский В.И., Милованов О.С. Применение ферритовых развязок в схемах питания ускоряющих секций. Ускорители: Сб. научн. трудов МИФИ. Вып. 19. М.: Атомиздат, 1980, с. 34-39.
4. Малогабаритный линейный ускоритель электронов со стоячей волной и мостовой схемой питания. Авт.: В.Ф.Викулов и др. Там же, с. 5-11.