

Блок генерации рентгеновского излучения с переменной амплитудой напряжения и рабочей частотой переменного сигнала до 100 Гц

И. М. Баранов¹, К. К. Гук, Е. Д. Холопова², Е. В. Сергеева

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹ibaranov86@gmail.com, ²edholopova@etu.ru

Аннотация. Описаны характеристики узлов блока питания рентгеновской трубки, обеспечивающих работу источника излучения в режиме непрерывного перестраивания по напряжению (с изменяемой амплитудой рабочего напряжения в 2–4 раза с частотой более 30 Гц). Использование данного источника позволит реализовать двухэнергетичную схему съемки в режиме реального времени по принципу «один источник – один приемник», что даст возможность повысить технические, эксплуатационные и экономические характеристики систем рентгеновской дефектоскопии, работающих в режиме реального времени.

Ключевые слова: рентгенография; рентгеновский снимок; двухэнергетичная съемка; регистрация в режиме реального времени

I. ВВЕДЕНИЕ

Как было показано в [1], в настоящее время одним из наиболее перспективных способов повышения информативности теневых рентгеновских изображений являются различные варианты реализации метода двухэнергетичной съемки. Реализуемые в настоящее время методы, позволяют повысить информативность съемки, но обладают определенными недостатками: использование многослойного детектора зачастую неоправданно по экономическим соображениям, а способ с двумя источниками чаще всего приводит к снижению резкости получаемых снимков из-за недостаточно точного совмещения изображений [2].

Использование источника, позволяющего с частотой в несколько десятков герц изменять свое рабочее напряжение, может позволить реализацию методов двухэнергетичной съемки (со всеми ее преимуществами в виде получения контрастных изображений различных по плотности участков объекта) в режиме реального времени, то есть существенно повысить технические и эксплуатационные характеристики систем рентгеновской дефектоскопии, работающих в режиме реального времени.

II. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Кафедра электронных приборов и устройств СПбГЭТУ имеет большой опыт в разработке и внедрении в практику медицинской и промышленной дефектоскопии различных образцов источников рентгеновского излучения на рентгеновских трубках производства АО «Светлана-Рентген». Диапазоны напряжений, обеспечиваемых источниками – до 180 кВ, токов – до 10 мА в зависимости от модификации, многие

источники предназначены для работы с микрофокусными рентгеновскими трубками [3], то есть дополнительно обеспечивают работу систем сеточного управления и различных видов фокусировки пучка.

В связи с вышеизложенным, специалистами СПбГЭТУ «ЛЭТИ», совместно с ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед», проводится разработка рентгеновского аппарата РАП-200, отличающегося от предыдущих приборов подобного класса не только повышенным напряжением, но и возможностью работы в режиме генерации напряжения, изменяющегося по амплитуде в несколько раз с частотой в десятки герц.

В аппарате РАП-200 (внешний вид на рис. 1 без защитного кожуха и масляной заливки) используется трубка 0,2БПМ64-200 (производство «Светлана-Рентген») с электростатической фокусировкой пучка электронов.

Для получения ускоряющего напряжения применена двухполярная схема с общим высоковольтным трансформатором, положительным и отрицательным множителем напряжения. Умножители напряжения рассчитывались на выходное напряжение до 110 кВ (суммарно 220 кВ) при токах до 1 мА.

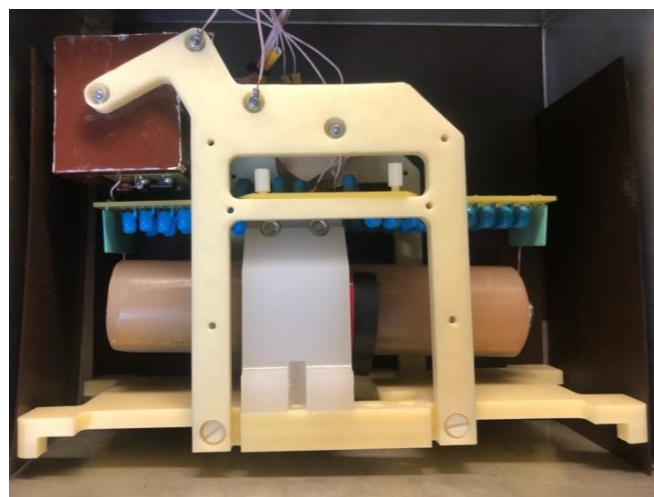


Рис. 1. Внешний вид источника питания РАП-200 с имитатором нагрузки

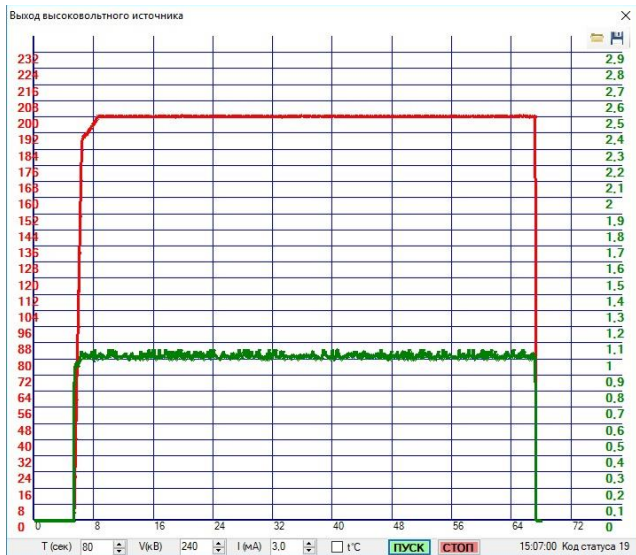


Рис. 2. Зависимость напряжения на нагрузке при долговременных испытаниях

Расчёты показали, что для достижения таких значений выходных напряжений на 10ти каскадах умножения, необходимо входное напряжения порядка 7 кВ. Рабочая частота умножителя напряжения – 45 кГц. Количество каскадов было обусловлено геометрическими размерами конечного устройства (заданными параметрами аппаратуры, в которой планируется эксплуатация источника).

Для обеспечения стабильности и надежности работы при расчетных значениях в 350 пФ использовались конденсаторы номиналом 680 пФ. Высоковольтный трансформатор был выполнен по схеме с одной первичной обмоткой и двумя вторичными обмотками (для каждого умножителя). Питание цепи первичной обмотки – 300 В, расчетное значение витков в первичной обмотке – 78, во вторичной обмотке 1700 + 1700. Вторичная обмотка реализована на многосекционном каркасе, что минимизирует возможность межвиткового пробоя. Форма и материал сердечника выбраны с учетом диэлектрических требований высоковольтного трансформатора.

Для возможности электростатической фокусировки и для регулировки тока трубки был использован так называемый сеточный канал управления, то есть помимо накального трансформатора был спроектирован сеточный трансформатор. Конструкция и параметры трансформаторов использовались аналогичные аппаратам РАП-120 производства ЗАО «ЭЛТЕХ-Мед», что существенно снизило стоимость и срок разработки.

Тестирование собранного источника питания проводилось на нагрузке со схожими габаритными и электрическими свойствами (расчётное сопротивление нагрузки 200 МОм). Измерение выходных напряжений умножителей производилось высоковольтным щупом с максимальной величиной измеряемого напряжения до 50 кВ, измерение значений выходных напряжений выше этого значения производилось по сигналам обратной связи. Тестовые включения показали отсутствие электрических пробоев и стабильную работу всей схемы в целом.

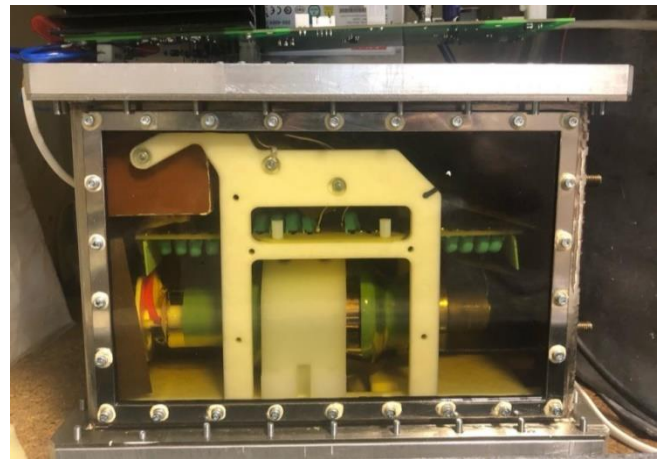


Рис. 3. Внешний вид источника питания РАП-200 с трубкой в масляном баке в ходе испытаний

После испытаний на нагрузке была смонтирована рентгеновская трубка и были произведены замеры выходных параметров уже непосредственно на рентгеновской трубке. Для бесконтактного контроля напряжения и определения радиационного выхода источника излучения использовался дозиметр Piranha R/F.

Измерения показали сходимость в значениях на нагрузке со значениями на рентгеновской трубке, что можно считать хорошим результатом.

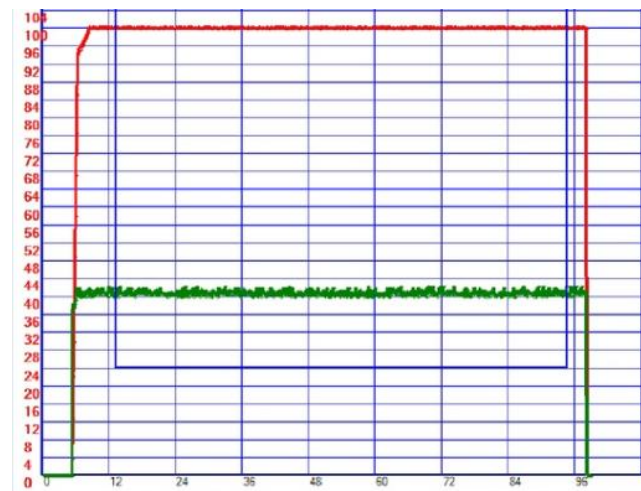
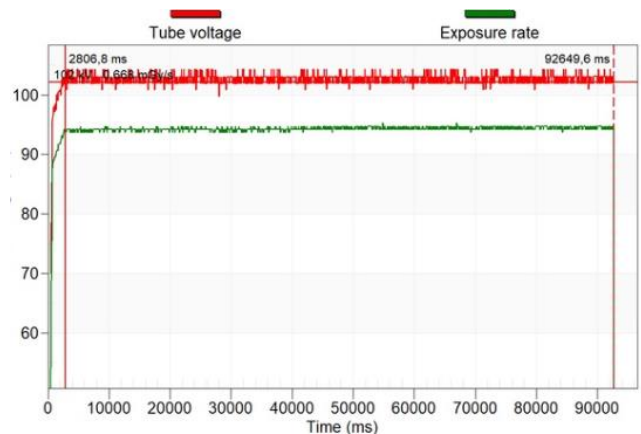


Рис. 4. Сравнение показаний с нагрузкой и трубкой

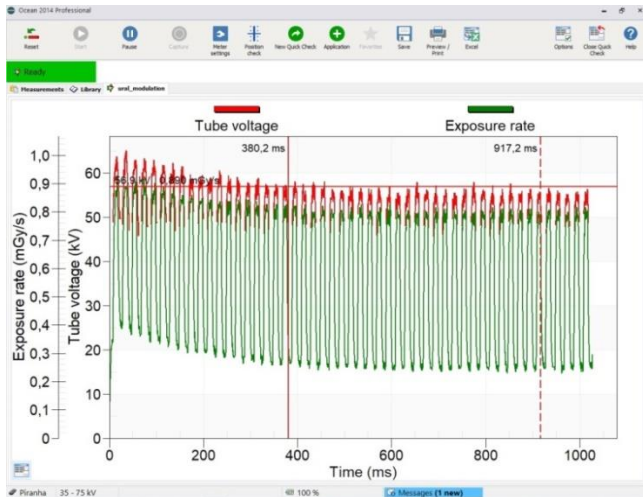


Рис. 5. Радиационный выход и напряжение на трубке, частота – 50 Гц, U_{\min} – 20 кВ, U_{\max} – 50 кВ

Испытания в режиме генерации импульсов излучения с разным рабочим напряжением трубки показали, что на полученной системе управления напряжением вполне возможна модуляция на частотах до 50 Гц в диапазонах от 20 кВ до 180 кВ.

Следующим шагом будут испытания аппарата в различных режимах и реализация на его основе двухэнергетичного метода съемки.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешное внедрение предлагаемого способа позволит значительно расширить возможности рентгенодефектоскопических комплексов в самых разных областях – медицинской и ветеринарной рентгенодиагностике, при контроле в микроэлектронной промышленности, в томосинтезе и в рентгеновской связи [4, 5], и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Метод двухэнергетичной рентгенографии в режиме реального времени с использованием одного источника рентгеновского излучения / Баранов И.М., Александрова А.А., Гук К.К., Холопова Е.Д., Хлебникова Е.А., Грязнов А.Ю. // X Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. Программа и материалы конференции, Санкт-Петербург, 24 нояб. 2023 / Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Санкт-Петербург, 2023. С. 59-61.
- [2] Гаранин А. Критерии выбора установки рентгеновского контроля: необходимо и достаточно // Печатный монтаж. 2012. № 5. С. 170–177.
- [3] Подымский А.А., Потрахов Н.Н. Микрофокусные рентгеновские трубки нового поколения // Контроль. Диагностика. 2017. № 4. С. 4–8.
- [4] Тимофеев Г.А., Потрахов Н.Н., Грязнов А.Ю. Передача информации в рентгеновском диапазоне частот электромагнитного излучения // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2021. Т. 24, № 2. С. 6–17.
- [5] Song Shi-Bin, Xu Lu-Ping, Zhang Hua, Gao Na. X-ray communication based simultaneous communication and ranging // Chin. Phys. B. 2015. Vol. 24, iss. 9 (094215). doi: 10.1088/1674-1056/24/9/094215.