

Система питания для малодозной рентгеновской установки

Е.А. Бабичев, И.А. Гусев, А.Г. Ли, А.В. Маглели, Е.М. Мандрик, А.С. Медведко,
В.А. Неустроев, А.Ю. Протопопов, В.В. Ращенко, Ш.Р. Сингатулин,
Д.Н. Скоробогатов, Ю.Ф. Токарев

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

В Институте ядерной физики СО РАН разработаны и в течение нескольких лет производятся малодозные цифровые рентгеновские установки (МЦРУ), предназначенные для диагностики в медицине [1, 2, 3]. В отличие от обычных рентгеновских аппаратов такие установки позволяют существенно снизить дозу облучения пациентов, кроме этого, хранение и обработка снимков в таких установках осуществляется в ЭВМ, что позволяет в отдельных случаях улучшить качество диагностики.

Таблица 1. Основные характеристики рентгеновского питающего устройства (РПУ).

| № п/п | Название параметра | Обозначение | Един. измер. | Значение параметра |
|-------|---|---------------|--------------|--|
| 1 | Общее напряжение анод-катод | U_{CA} | кВ | $0 \leq U_{CA} \leq 125$ (+62.5кВ – 62.5кВ) |
| 2 | Ток катода | I | мА | 0...132 |
| 3 | Максимальная мощность при длительности экспозиции до 10 сек | Pmax | кВт | 16.5 |
| 4 | Нестабильность выходного напряжения внутри рабочего импульса не более | ΔU | % | ± 1 |
| 5 | Средняя мощность на рентгеновской трубке | P | Вт | до 350 |
| 6 | Время экспозиции | T | сек. | до 10 |
| 7 | Длительность фронта нарастания импульса высокого напряжения | τ_{ϕ} | мс | ~10 |

Установки работают в сканирующем режиме, время сканирования изображения может достигать 10 секунд. Поэтому предъявляются жесткие требования к качеству питания элементов рентгеновского излучателя: здесь необходимо обеспечить быструю установку и удержание в заданных пределах в течение всего времени экспозиции анодного напряжения на рентгеновской трубке, необходимо обеспечить управление двигателем раскрутки и вращения анода, а также необходимо обеспечить питание накала трубки. Эти задачи решает рентгеновское питающее устройство (РПУ), разработанное в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера и представленное в данной работе. В табл. 1. приведены основные характеристики устройства.

Устройство обеспечивает питание любой из двух цепей накала катодов трубки, находящихся под напряжением до –62.5 кВ. Обеспечивается также питание трехфазным напряжением двигателя вращения анода трубки. Полученное время раскрутки двигателя 3 сек.

Управление питающим устройством, контроль за состоянием его элементов, а также контроль за процессами в устройстве осуществляются с помощью встроенного микроконтроллера, который связан с персональной ЭВМ через последовательный интерфейс.

Блок-схема РПУ представлена на рис. 1. РПУ включает в себя следующие компоненты: блок управления РПУ, источник питания накалов, источник внутреннего питания, инвертор, блок раскрутки анода лампы и высоковольтный выпрямитель. На рисунке дополнительно представлен рентгеновский излучатель, включающий рентгеновскую трубку и сопутствующие ей элементы. Рассмотрим назначение отдельных узлов РПУ.

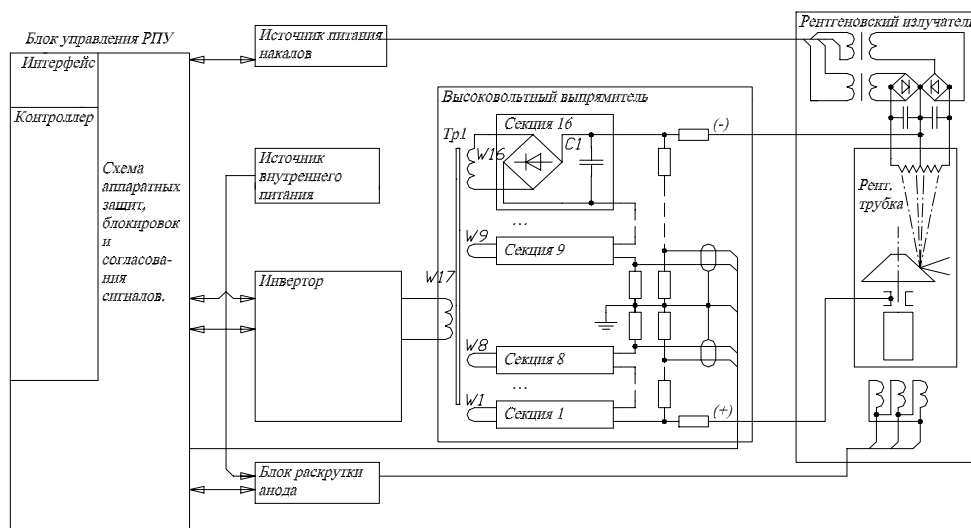


Рис. 1. Блок-схема рентгеновского питающего устройства (РПУ).

Блок управления включает интерфейс, схемы: аппаратных защит, блокировок и схему согласования сигналов. Блок управления служит для управления всеми подсистемами РПУ. Режимы работы подсистем задаются с помощью двоичных сигналов ЦАП (цифроаналоговые преобразователи). Измерения параметров питающего устройства осуществляются с помощью АЦП (аналого-цифровые преобразователи). Состояние РПУ контролируется сбором и обработкой двоичных сигналов, в том числе сигналов блокировок. Схемы ЦАП, АЦП и схемы обработки двоичных сигналов находятся непосредственно в микроконтроллере. Интерфейс обеспечивает связь контроллера с управляющей персональной ЭВМ через последовательный канал связи.

Схемы аппаратных защит, блокировок и согласования сигналов выполнены на общей плате, которая служит промежуточным звеном между контроллером и отдельными узлами РПУ. Источник питания накалов управляется от контроллера и обеспечивает питание одного из двух накалов рентгеновской трубки. Цепи накалов могут находиться под потенциалом катода (до 62.5 кВ).

Источник внутреннего питания служит для питания блоков, входящих в состав РПУ. Источник выдает переменное прямоугольное напряжение 48 В с частотой 50 кГц и с максимальным током в нагрузке до 8 А для питания блока раскрутки анода и схем управления в инверторе. Кроме того, источник выдает необходимые напряжения для питания блока управления.

На рис. 1. показан высоковольтный (ВВ) выпрямитель. Он генерирует два одинаковых по величине напряжения положительной и отрицательной полярности относительно нулевого потенциала для питания анода и катода трубки соответственно. ВВ-выпрямитель включает в себя силовой трансформатор, секционированный выпрямитель, накальные трансформаторы, а также делители и шунты для измерения выходного напряжения и тока. На рис. 1 схематично представлен также рентгеновский излучатель. Все элементы ВВ-выпрямителя помещены в бак, наполненный трансформаторным маслом.

Наличие встроенного микроконтроллера позволяет реализовать любой алгоритм управления и защиты РПУ. В частности, он позволяет по эмпирически снятым и заложенным в него таблицам в зависимости от установленного требуемого напряжения анод-катод устанавливать напряжение или ток накала катода для получения требуемого значения тока трубки.

Стабилизация напряжения на трубке в процессе экспозиции осуществляется с помощью инвертора, работающего на частоте 25 кГц. Схема его представлена на рис. 2. Выходное напряжение инвертора поступает на первичную обмотку силового трансформатора ВВ-выпрямителя. Инвертор состоит из двух функциональных узлов: стабилизатора тока и мостового инвер-

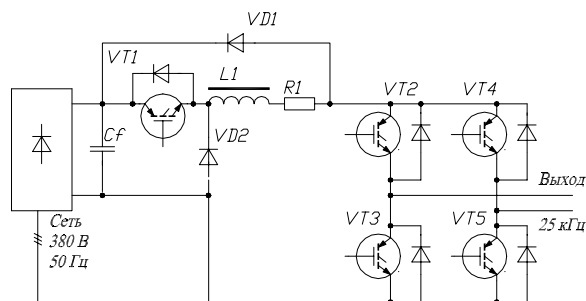


Рис. 2. Упрощенная схема инвертора.

тора. Импульсный стабилизатор тока, построен на транзисторе VT1, дросселе L1 и диоде VD2. Ток, вырабатываемый стабилизатором, с некоторым превышением соответствует току трубки. Стабилизация напряжения на трубке осуществляется следующим способом: в каждом полупериоде частоты работы инвертора при достижении напряжением на трубке требуемого значения все транзисторы моста VT2 – VT5 отпираются до окончания этого полупериода. Таким образом они шунтируют первичную обмотку силового трансформатора и прекращают рост напряжения до начала следующего полупериода.

Инвертор построен на IGBT транзисторах фирмы SIEMENS. При его разработке за основу была взята схема зарядного преобразователя, разработанного в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера и применяющегося для зарядки конденсаторов в импульсных генераторах [4], а также использовалось дальнейшее развитие этой схемы, представленное в [5]. В последнем случае стабилизация выходного напряжения осуществляется так же, как и в предлагаемой работе, – шунтированием.

В настоящее время проводятся испытания питающего устройства совместно с рентгеновской трубкой 15–40ВД46–150. Достигнутые параметры устройства представлены в табл.1.

На рис. 3 показано рентгеновское питающее устройство в процессе наладки: справа показан шкаф РПУ с открытой дверью, по центру шкафа размещается инвертор. Впереди внизу на фото показан вынутый из бака высоковольтный выпрямитель.



Рис. 3. Рентгеновское питающее устройство в процессе наладки.

Список литературы

1. Е.А. Babichev, S.E. Baru, V.V. Gusev et al. Report of the Institute of Nuclear Physics N89-73.
2. S.E. Baru, A.G. Khabakhpashev, L.I. Shekhtman. Nucl. Instr. and Meth. A.283 (1989) 431.
3. Е.А. Babichev, S.E. Baru, V.V. Gusev, A.G. Khabakhpashev et al. Nucl. Instr. and Meth. A.323 (1992) 49.
4. Валыка И.Е., Токарев Ю.Ф. Многоканальный генератор импульсов тока для питания магнитных элементов комплекса ВЭПП-2М. 14-е Совещ. по ускорителям заряженных частиц. - Протвино, 1994. Сб. докладов, 1995, Т4, с.39.
5. Yu.F. Tokarev, A.G. Lee, R.A. Lokhtin, Ye.M. Mandrik, A.S. Medvedko, V.V. Rashenko, E.P. Semenov et al. "137 kW HV-Modulator for Ion Injector," EPAC 2000, Vienna, 2000, "http://accelconf.web.cern/accelconf/e00/".