

## **СИСТЕМА ПИТАНИЯ ФОКУСИРУЮЩИХ СОЛЕНОИДОВ КЛИСТРОНОВ E37340 TOSHIBA УСКОРИТЕЛЯ ЛУЭ-200 УСТАНОВКИ ИРЕН**

*А. С. Каюков, А. В. Калмыков, В. Ф. Минашкин<sup>1</sup>, А. П. Сумбаев*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Целью данной работы является разработка и создание системы питания фокусирующих соленоидов клистронов E37340 Toshiba, которые приходят на замену клистроном TH2129 Thomson, E3730 Toshiba и должны обеспечить необходимые параметры ускорителя ЛУЭ-200. В статье приводятся состав аппаратуры, структурные схемы системы питания в целом и вновь разрабатываемых блоков, описывается программный интерфейс оператора.

The aim of this work is to develop and create a power supply system for the focusing solenoids of the E37340 Toshiba klystrons, which replace the TH2129 Thomson, E3730 Toshiba klystrons and provide the necessary parameters of the LUE-200 accelerator. The article shows the composition of the equipment, the structural diagrams of the power system in general and the newly developed units, describes the operator's software interface.

PACS: 29.20.-c; 07.50.-e

### **ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с планами развития установки ИРЕН [1, 2] в 2019 г. на ускорителе ЛУЭ-200 проводится работа по замене клистронов TH2129 Thomson и E3730 Toshiba на клистроны E37340 Toshiba, которые обеспечат необходимые параметры ускорителя. В состав клистронов E37340 Toshiba входят высоковольтный блок импульсного трансформатора (БИТ) и 6 фокусирующих соленоидов. Для питания фокусирующих соленоидов и обмотки размагничивания высоковольтного импульсного трансформатора используются источники питания (ИП) типа НУ3040 (НУ3050) [3] с диапазоном выходных напряжений 0–50 В и токов 0–50 А, общее количество ИП — 14 (для двух ускорительных секций). Следует отметить, что ИП данного типа управляются и контролируются только «вручную» с передней панели блока. При этом блокировка работы данных ИП возможна только отключением питающего напряжения сети (~ 220 В). Общая мощность потребления ИП для одного клистронов не превышает 10 кВт. Разрабатываемая система питания фокусирующих соленоидов и обмотки размагничивания БИТ клистронов ЛУЭ-200 будет состоять из двух стоек с источниками питания и одной стойки контроля параметров этих ИП. Каждая стойка с ИП должна содержать блок управления, с помощью которого производится подключение ИП к сети (~ 220 В), с элементами защиты от перегрузок и индикацией. Кроме того, в блоке

---

<sup>1</sup>E-mail: minashkin\_vladimir@mail.ru

управления стойкой с ИП имеются входы для внешней блокировки типа «сухой контакт» от датчиков протока охлаждающей воды и температуры обмоток соленоида с соответствующей индикацией. Стойки с источниками питания располагаются в зале ускорителя и подвергаются как радиационным нагрузкам, так и импульсным помехам от работы модуляторов ускорительных секций. Стойка контроля находится в пультовой ИРЕН. Для повышения надежности системы контроля параметров ИП в ней реализованы как контроль в «ручном» режиме с использованием серийно выпускаемых блоков АМТД-2-R ( $I_n$ ) и VLMD-1-2-R ( $V_n$ ) [4], так и автоматический контроль. В системе автоматического контроля производится непрерывный контроль выходных параметров источников питания ( $V_n$  и  $I_n$ ), и при выходе их за установленные пределы подается сигнал о «неготовности» данного канала к работе и, соответственно, запрещается работа определенных систем (например, запрещается запуск модуляторов ВЧ-системы и т. д.). Осуществляется это с помощью специально разработанного контроллера ИП. Для повышения точности измерения и надежности системы контроля работа контроллера ИП синхронизирована с частотой работы ускорителя. Конструкция контроллера выполнена в корпусе на DIN-рейке. Каждому ИП соответствует свой контроллер, что значительно снижает время реакции системы на выход параметров из диапазона и повышает надежность работы систем контроля. Время реакции системы контроля на выход параметров ИП за пределы рабочего диапазона не более 5 мс (определяется максимальной частотой работы ускорителя 150 Гц). В течение этого времени контроллер ИП должен сделать измерение, сравнить результат измерения с «уставкой» и принять решение.

## 1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ

Система питания фокусирующих соленоидов клистронов E37340 Toshiba ускорителя ЛУЭ-200 установки ИРЕН (рис. 1) создается поэтапно. Конструктивно система состоит из двух стоек ИП и стойки контроля параметров ИП ( $V_n$  и  $I_n$ ). На первом этапе создаются стойка с ИП, которая находится в зале ускорителя, и стойка контроля, которая располагается в пультовой ИРЕН. На данном этапе создания системы контроль выходных параметров ИП осуществляется в «ручном» режиме. Для этого к каждому ИП подключается специально созданный блок «Адаптер». В этом блоке находятся токовый шунт (60 мВ/50 А), элементы защиты и клеммы для подключения нагрузки и измерительной системы. С помощью кабеля сигналы о выходных напряжениях и токах ИП поступают на коммутатор и измерители напряжения (VLMD-1-2-R) и тока (АМТД-2-R). Конструктивно измерительная система условно разделена на две части (по числу ускорительных секций для удобства эксплуатации и ремонта). Модули выполнены в конструктивном исполнении на DIN-рейке.

## 2. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ИП

На втором этапе создается измерительная система автоматического контроля (рис. 2) параметров ИП, и при выходе их за установленные пределы подается сигнал о «неготовности» ИП к работе и, соответственно, запрещается работа определенных

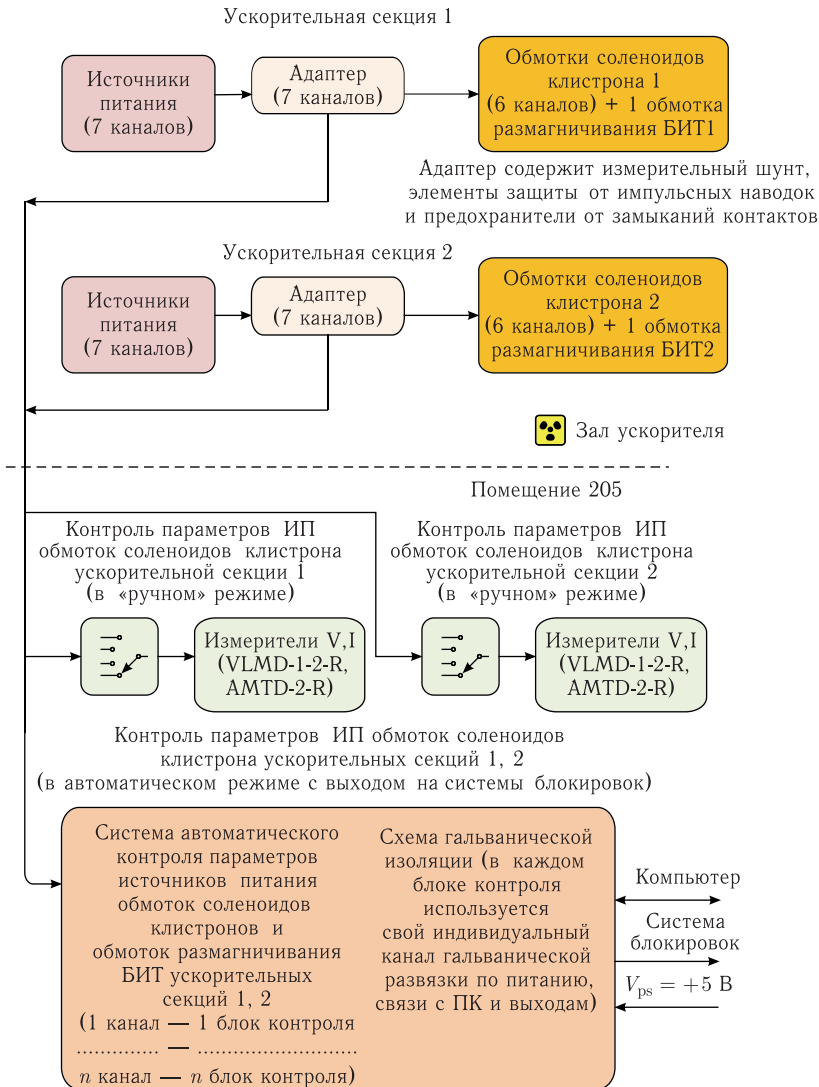


Рис. 1. Структурная схема системы питания фокусирующих соленоидов клистронов E37340 Toshiba ускорителя ЛУЭ-200 установки ИРЕН

систем (например, запрещается запуск модуляторов ВЧ-системы и т. д.). Измерительная система строится по следующему принципу. Каждому каналу ИП соответствует свой блок контроля, который имеет два измерительных канала (по напряжению и току). Сигналы о напряжении и токе с каждого ИП поступают через адаптер из зала ускорителя на систему «ручного» контроля (конкретно на коммутатор) и параллельно эти же сигналы поступают на соответствующий блок автоматического контроля — контроллер. Контроллер осуществляет измерение напряжений и токов, сравнение результатов измерения с «уставками», индикацию при выходе из диапазонов (мигающий

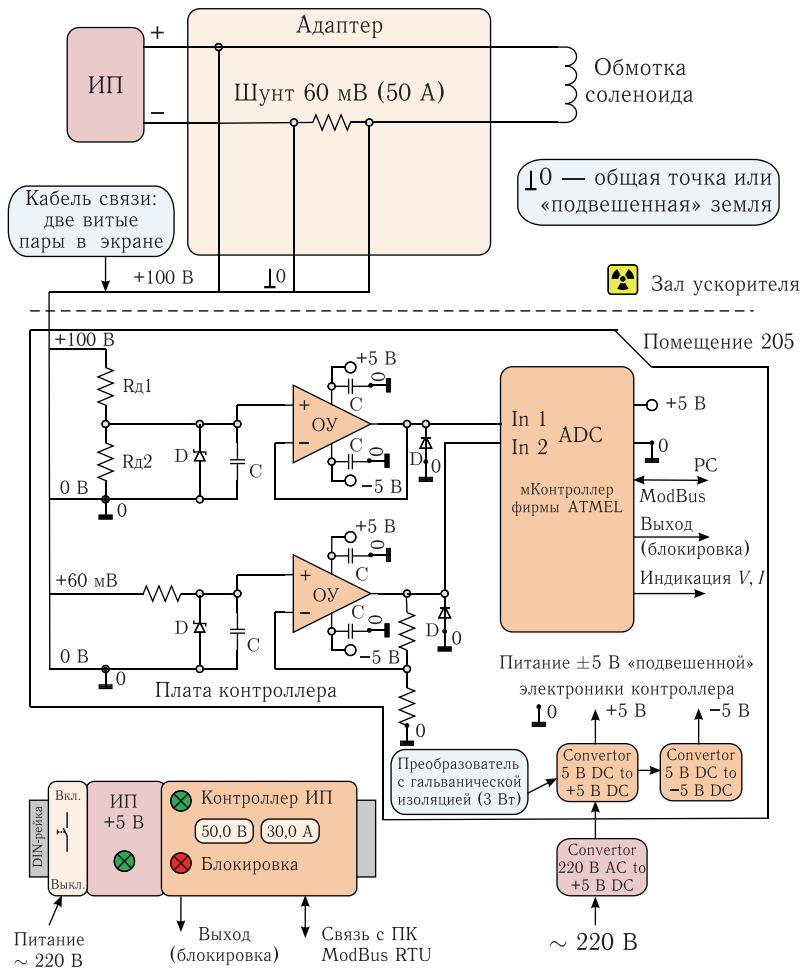


Рис. 2. Функциональная схема контроля ИП фокусирующих соленоидов клистронов E37340 Toshiba — один канал

светодиод), выход для передачи сигнала в систему блокировок (два типа выхода — релейный и «быстрый» для блокировки синхронизатора). Также результаты измерения (напряжения и тока) выводятся на переднюю панель блока. Так как сигналы с ИП «плавающие», то измерительная часть контроллера (операционные усилители и микроконтроллер) имеет гальваническую развязку по питанию и по цепям связи с компьютером и с системой блокировок. С компьютера считываются значения последних измерений параметров ИП, действующей «уставки» и проводится при необходимости измерение «установок». В качестве протокола обмена используется ModBus RTU (широко распространенный протокол промышленных сетей).

Для повышения точности измерения (с целью уменьшения влияния наводок от работы ускорителя на измеряемые сигналы) предусматривается возможность измерения в интервалы времени, задаваемые синхронизатором ускорителя ПУЭ-200 (рис. 3) в па-

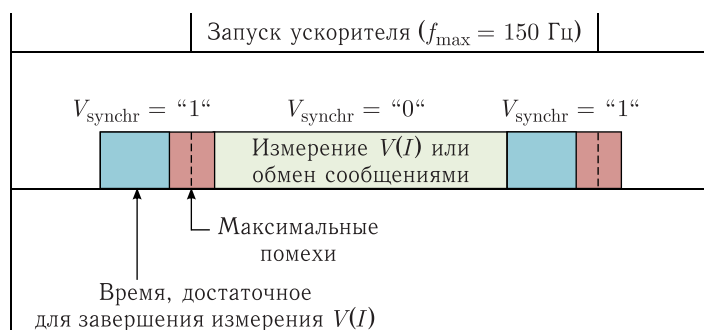


Рис. 3. Временная диаграмма работы контроллера ИП

узлах между запусками ускорителя. Конструкция контроллера выполнена в механике на DIN-рейке.

### 3. ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС ОПЕРАТОРА

Программный интерфейс позволяет оператору получать информацию о состоянии ИП (индикация выхода параметров ИП из рабочего диапазона, значения токов и напряжений выбранного ИП) и проводить изменение «уставок».

На рис. 4 приведен внешний вид данного интерфейса, где используется цветная маркировка каналов ИП: зеленый — параметры ИП в диапазоне (ИП1–ИП4, ИП7 клистрона 1); красный — параметры ИП вышли из диапазона (ИП5 клистрона 1); серый — канал замаскирован (ИП6 клистрона 1). Опрос ИП осуществляется в режиме СТАРТ, ИП3–ИП1, ИП3–ИП2 и т. д. (параметры ИП3 выводятся на панель, следовательно, данный канал имеет высший приоритет при последовательном опросе каналов).

	ВЫХОД	СПРАВКА			СТАРТ	СТОП	
Система контроля ИП фокусирующих соленоидов клистронов У37340 Toshiba							
Клистрон 1 ИП 1–7	ИП1	ИП2	ИП3	ИП4	ИП5	ИП6	ИП7
Клистрон 2 ИП 1–7	ИП1	ИП2	ИП3	ИП4	ИП5	ИП6	ИП7
Клистрон 1 ИП 3	$V = 21,5 \text{ В}$ $I = 11,0 \text{ А}$	$V_H = 21,0 \text{ В}$ $I_H = 10,0 \text{ А}$	$V_B = 22,0 \text{ В}$ $I_B = 12,0 \text{ А}$	Сброс блокировки			

Рис. 4 (цветной в электронной версии). Интерфейс программы системы контроля ИП фокусирующих соленоидов клистронов E37340 Toshiba ускорителя ЛУЭ-200 установки ИРЕН

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье дается информация по вновь разрабатываемой системе питания фокусирующих соленоидов клистрона E37340 Toshiba ускорителя ЛУЭ-200 установки ИРЕН. Приводится состав аппаратуры, структурные схемы и программный интерфейс оператора. Следует отметить, что примененное разбиение создания системы питания на несколько функционально законченных этапов дает следующее преимущество: после первого этапа получена полностью работоспособная система, хотя и с ограниченными возможностями. При таком подходе значительно повышается надежность системы, удобство настройки и эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Belozеров А. В. et al.* Physical Startup of the First Stage of the IREN Facility // Part. Nucl., Lett. 2010. V. 7, No. 7(163). P. 923–932.
2. *Becher Yu. et al.* LUE-200 Accelerator of the IREN: Status and Development // Part. Nucl., Lett. 2014. V. 11, No. 5(169). P. 1029–1039.
3. <https://technica-m.ru/>
4. <https://www.tesli.com/>