

СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ УСТАНОВКИ «УРАГАН-2М»

В.Н. Лященко¹, Ф.И. Ожерельев¹, С.Н. Рева², Д.А. Циблиев³

¹Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт» НАНУ
61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1, Украина

²Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина
61077, г. Харьков, пл. Свободы, 4, Украина

³ООО Радионуклиды и электронные системы г. Харьков
Поступила в редакцию 9 ноября 2009 г.

Рассматривается система синхронизации работы технологических систем, диагностического оборудования и измерительной аппаратуры при проведении физических экспериментов в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза (УТС) на крупной исследовательской установке «Ураган-2М» (Институт физики плазмы ННЦ ХФТИ г. Харьков). Система собрана на основе модулей в стандарте КАМАК. В ее состав входит контроллер крейта СС02, модуль запуска МС01 и шесть модулей программируемых таймеров MD01. Система синхронизации подключена к персональному компьютеру с помощью гальванически развязанного канала последовательной связи, работающего на скорости передачи информации 10 Мбод. Адаптер последовательной связи с контроллером устанавливается в компьютере на шину PCI и обеспечивает управление крейтом, который может быть удален от компьютера на расстояние до 300 метров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: плазма, торсатрон, компьютер, синхронизация, КАМАК, программное обеспечение

SYNCHRONIZATION SYSTEM FOR EXPERIMENTS RESEARCH INSTALLATION "URAGAN-2M"

V.N.Lyashchenko¹, F.I. Ozherel'ev¹, S.N. Reva², D.A. Tsibliev³

¹National Science Center "Kharkov Institute of Physics and Technology" NASU
1, Academicheskaya St, Kharkov, Ukraine, 61108

²V.N.Karazin Kharkov National University Svoboda sq., 4 Kharkov, Ukraine, 61077
³LTD R&EC

A system of synchronizing the operation of technology systems, diagnostic equipment and instrumentation for carrying out physical experiments in plasma physics and controlled thermonuclear fusion (CTF) on a major research facility "Uragan-2M" (Institute of Plasma Physics, NSC KIPT, Kharkov) are considered. The system is assembled on the basis of modules in the CAMAC standard. It comprises a CC02 controller crate, MC01 launcher and six modules MD01 of programmable timers. Synchronization System is connected to a personal computer using a galvanically isolated serial communication channel operating at data rates 10 Mbaud. Adapter for serial communication with the controller is installed in the computer on the bus PCI and manages crate, which can be removed from the computer to a distance of 300 meters.

KEY WORDS: plasma, torsatron, computer, synchronizing, CAMAC, software

СИСТЕМА СИНХРОНІЗАЦІЇ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ДЛЯ ДОСЛІДНОЇ УСТАНОВКИ «УРАГАН-2М»

В.М. Лященко¹, Ф.І. Ожерел'єв¹, С.М. Рева², Д.А. Циблієв³

¹Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАНУ
61108, м. Харків, вул. Академічна, 1, Україна

²Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна
61077, м. Харків, пл. Свободи, 4, Україна

³ТОВ Радионукліди і електронні системи м. Харків

Розглядається система синхронізації роботи технологічних систем, діагностичного обладнання та вимірювальних приладів під час проведення фізичних експериментів в галузі фізики плазми та керованого термоядерного синтезу (КТС) на великій дослідній установці «Ураган-2М» (Інститут фізики плазми ННЦ ХФТИ м. Харків). Система зібрана на основі модулів в стандарті КАМАК. До її складу входить контролер крейта СС02, модуль запуску МС01 та шість модулів програмованих таймерів MD01. Система синхронізації підключена до персонального комп'ютера за допомогою гальванічного розв'язаного каналу послідовного зв'язку, що працює на швидкості передачі інформації 10 Мбод. Адаптер послідовного зв'язку з контролером встановлюється в комп'ютері на шину PCI та забезпечує управління крейтом, який може бути вилученим від комп'ютера на відстань 300 метрів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: плазма, торсатрон, комп'ютер, синхронізація, КАМАК, програмове забезпечення

Исследования удержания и равновесия плазмы, а также изучение физических явлений и процессов, происходящих в высокотемпературной плазме, позволит получить информацию, необходимую для решения задач, стоящих на пути к управляемому термоядерному синтезу и обеспечению человечества неиссякаемым источником энергии.

Торсатрон «Ураган-2М» [1,2,3,4] является крупнейшей термоядерной исследовательской установкой в Европе. Эта установка предназначена для изучения способов удержания и нагрева высокотемпературной плазмы и представляет собой замкнутую магнитную ловушку стеллараторного типа. Плазма создается в тороидальной вакуумной камере в сильном магнитном поле сложной конфигурации. Величина магнитного

поля внутри вакуумной камеры может достигать 2,5 Тесла.

Экспериментальная установка «Ураган-2М» включает в себя целый ряд технологических систем и комплексов, обеспечивающих проведение эксперимента. Основными из них являются:

- вакуумная система, представляющая собой тороидальную вакуумную камеру;
- комплекс вакуумной откачки и напуска рабочего газа;
- магнитная система для создания удерживающего плазму магнитного поля и состоящая из обмоток винтового поля, продольного и компенсирующего полей;
- комплекс высокочастотного нагрева плазмы;
- система блокировок и сигнализации;
- энергокорпус для энергообеспечения и питания установки;
- система охлаждения элементов магнитной системы и оборудования установки.

Экспериментальная установка «Ураган-2М» работает в импульсном режиме с регулируемой задержкой между рабочими импульсами от 10 с (в режиме чистки вакуумной камеры) до 5 минут (в рабочем экспериментальном режиме), необходимой для приведения оборудования в исходное состояние и охлаждения элементов магнитной системы.

Для питания магнитной системы торсатрона «Ураган-2М» существует специальный энергокорпус, где с помощью мотор-генераторов ударного типа создаётся мощный импульс тока. Ток в обмотках магнитной системы установки может достигать 50 кА. Длительность фазы нарастания и спада магнитного поля составляет несколько секунд. Квазистационарная часть импульса магнитного поля достигает 4..6 секунд (рис. 1.) Именно на этой стадии импульса проводятся физические эксперименты по удержанию, нагреву и исследованию плазмы.



Рис. 1. Временные характеристики работы диагностирующего и контролирующего оборудования.

T_s – время выхода установки на рабочий режим. Этот параметр устанавливается в диапазоне 1..10 с с шагом 1 мкс для всех каналов одинаковым. T_y – время упреждения. Этот параметр необходим для нескольких каналов, которые должны сработать до или после (в зависимости от знака) основного старта установки. Устанавливается в диапазоне 0..3 с с шагом 1 мкс.. Для всех остальных каналов $T_y=0$. T_z – время задержки синхросигнала. Это основной варьируемый параметр для оператора. Устанавливается в диапазоне 0..999 мс с шагом 1 мкс.

В связи с тем, что генераторы не могут длительное время обеспечить требуемую стабильность магнитного поля, выбирается определённый временной интервал, внутри которого стабильность поля достаточна для проведения эксперимента. В это время происходит включение высокочастотных генераторов нагрева плазмы, а также различной диагностической аппаратуры и оборудования. Требуемая точность включения может достигать единиц микросекунд.

Высокочастотный комплекс торсатрона «Ураган-2М» осуществляет две функции: создание плазмы и нагрев плазмы до высоких температур. Ионизация газа производится с помощью специального антенного устройства мощным высокочастотным импульсом регулируемой длительности при помощи генератора мощностью до 2 МВт, работающего на частотах до 20 МГц. Высокочастотный нагрев плазмы осуществляется от другого генератора с такими же параметрами. Ввод высокочастотной энергии в плазму осуществляется при помощи специального возбуждающего устройства, позволяющего вводить в плазму большие мощности. Питание системы нагрева плазмы осуществляется от мощных конденсаторных батарей.

Система блокировок и сигнализации предназначена для оперативного информирования обслуживающего персонала о состоянии систем установки и блокирования их работы в аварийных ситуациях, например, при недостаточном вакууме в камере, при отсутствии удерживающего магнитного поля или наличии других нештатных ситуаций.

Кроме обеспечивающих эксперимент систем, в состав установки входит целый ряд диагностического оборудования, приборов и аппаратуры для изучения физических процессов и явлений, происходящих в плазме.

На торсатроне «Ураган-2М» широко используются методы магнитной, оптической, микроволновой, корпускулярной и других видов диагностики. Магнитная диагностика предназначена для регистрации магнитного поля плазменных токов с целью определения основных параметров плазмы.

Корпускулярная диагностика регистрирует поток нейтральных атомов из плазмы и служит для

определения температуры ионов. С помощью оптической диагностики изучается свечение плазмы в видимом и ультрафиолетовом диапазоне. Благодаря этому определяется поведение рабочего газа и примесей, поступающих со стенки вакуумной камеры. Микроволновая диагностика бывает активной и пассивной. Пассивная микроволновая диагностика служит для регистрации микроволнового излучения плазмы, что позволяет судить о многих процессах, происходящих в плазме. В частности, она несёт информацию о температуре электронов в плазме. Активная микроволновая диагностика изучает изменения, происходящие с электромагнитным излучением, прошедшим через плазму. Все вышеперечисленные методы диагностики являются бесконтактными. Однако, широко применяются в плазменных исследованиях и контактные методы, реализуемые с помощью подвижных зондов, но они используются для плазмы низкой плотности и температуры.

Оборудование экспериментальной установки требует чёткой синхронизации всех процессов, и целью данной работы являлась разработка аппаратно-программного комплекса, предназначенного для синхронизации работы технологических систем, диагностического оборудования и измерительной аппаратуры при проведении физических экспериментов в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза на исследовательской установке «Ураган-2М».

ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ

Система синхронизации IEC-SS50 построена на основе аппаратного интерфейса КАМАК. Ее внешний вид показан на рис. 2. В состав системы входят:

- контроллер крейта CC02 [5];
- модуль запуска MC01;
- многоканальные модули таймеров MD01.

Модуль MC01 предназначен для логической обработки сигналов запуска и блокировок, а также генерации сигнала управления таймерами системы синхронизации, который выведен на резервную линию магистрали крейта P1 (или P2). Модуль запуска MC01 содержит два программируемых таймера и схему запуска системы синхронизации. Модуль позволяет выполнять пуск системы от внешнего сигнала, с помощью кнопки, расположенной на модуле, или по команде, поступившей с компьютера, при условии отсутствия каких-либо аппаратных или программных блокировок. Один из таймеров модуля (канал А) разрешает работу остальных таймеров системы синхронизации и обеспечивает их одновременный запуск, а второй (канал 0) — может использоваться для формирования сигнала управления, задержанного относительно момента запуска на время до 100 секунд. Оба таймера позволяют программировать временные задержки с точностью до 1 мкс.



Рис. 2. Крейт интерфейса КАМАК с модулями системы синхронизации

генератором и составляет 40 МГц. Для хранения данных о количестве выполненных экспериментов используется оперативная память таймера реального времени M48T35 STMicroelectronics. Благодаря наличию встроенного в микросхему гальванического источника питания значение счетчика сохраняется и после выключения основного питания модуля.

На передней панели модуля установлены разъемы, предназначенные для подключения сигналов блокировок, входного синхроимпульса системы, а также вывода задержанного синхроимпульса. Возле каждого входного разъема установлены светодиоды для визуальной индикации состояния входных сигналов блока. О наличии блокировки свидетельствует красное свечение светодиодов, о наличии входного синхроимпульса — зеленое. Все внешние сигналы, которые выведены на разъемы передней панели модуля MC01, гальванически развязаны относительно корпуса с помощью оптронов. Питание оптронов осуществляется содержащимися в модуле изолированными друг от друга источниками напряжения.

Основой принципиальной схемы модуля MC01 является программируемая логическая матрица (ПЛИМ) фирмы ALTERA EP1K50QC208 [6], на внутренних элементах которой выполнены все регистры, счетчики и управляющие схемы каналов задержки, мультиплексоры шин данных, а также системный дешифратор интерфейса КАМАК. Для согласования матрицы с магистралью крейта в модуле используются магистральные усилители а также инверторы от Texas Instruments. При включении напряжения питания происходит конфигурация матрицы с помощью микросхемы загрузчика AT17LV010A. Тактовая частота ПЛИМ формируется внешним кварцевым

Для питания усилителя-формирователя выходного сигнала дополнительного канала также имеется собственный источник питания напряжением 50 В. Выходной синхросигнал проходит через оптрон и поступает в затвор полевого транзистора, на котором собран усилительный каскад по схеме с общим истоком. Для защиты транзистора по току (например, в случае короткого замыкания) в усилителе содержится схема защиты, которая блокирует управляющее напряжение в случае, если ток выходного каскада превышает 1,2 А. Каскад формирует импульсный сигнал амплитудой 50 В и длительностью 10 мкс, который поступает на выходной разъем. Для индикации текущего состояния канала возле разъема установлен двухцветный светодиод. Если канал не запрограммирован — светодиод не светится. О готовности канала к работе свидетельствует зеленое свечение. Во время отработки запрограммированной задержки светодиод светится оранжевым цветом, а после ее окончания — красным. Схема обеспечивает гальваническую развязку внешних сигналов не менее 500 В.

Модуль MD01 предназначен для генерации задержанных сигналов управления приборами и экспериментальным оборудованием. Функционально модуль представляет собой восемь программируемых таймеров с синхронным запуском и гальванически развязанными формирователями выходных сигналов, аналогичных дополнительному каналу модуля MC01. Запуск всех таймеров модуля MD01 может выполняться одним из двух магистральных сигналов — P1 или P2. Выбор пускового сигнала осуществляется с помощью переключателя. Кроме того возможен запуск таймеров от внешнего сигнала низкого логического уровня, который может быть подан на разъем, расположенный на задней стенке модуля. Гальваническая развязка этого сигнала обеспечивается оптроном. Выбор источника пускового сигнала (с магистрали крейта или внешнего) осуществляется с помощью переключателя внутри модуля.

Технические характеристики модулей приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Технические характеристики модуля MC01

№	Наименование параметра	Значение
1	Количество программируемых каналов задержки	2
2	Время задержки общего канала запуска «А», с	$10^{-6} \dots 10^2$
3	Дискретность установки времени задержки канала «А», с	10^{-6}
4	Время задержки канала «0», с	$10^{-6} \dots 10^2$
5	Дискретность установки времени задержки канала «0», с	10^{-6}
6	Погрешность выполнения запрограммированной задержки, с	10^{-7}
7	Длительность выходного импульса канала «0», с	$10 \cdot 10^{-6} \pm 1\%$
8	Амплитуда выходного сигнала канала «0», В	$+50 \pm 5\%$
9	Номинальное сопротивление нагрузки канала «0», Ом	50
10	Прочность гальванической развязки выхода канала «0», не менее, В	500
11	Электрическая прочность канала внешнего запуска, не менее, В	500
12	Количество входов аппаратной блокировки	3
13	Логический уровень разрешения сигналов блокировок	логич. 0
14	Логический уровень внешнего сигнала запуска	логич. 0
15	Ток, потребляемый от источника питания +6 В, не более, А	0,135
16	Ток, потребляемый от источника питания +24 В, не более, А	0,085
17	Габаритные размеры модуля, не более, мм	325×222×34
18	Масса, не более, кг	0,76

Все модули системы устанавливаются в стандартный крейт КАМАК, взаимодействуют между собой посредством команд управления, передаваемых по магистрали, и обеспечиваются питанием от встроенных источников крейта.

Управление системой производится от персонального компьютера со специальным программным обеспечением.

Принцип действия системы заключается в том, что при поступлении внешнего пускового сигнала, нажатии кнопки «Пуск» или по соответствующей команде, поступившей от компьютера, производится запуск общего таймера управления (канал задержки А в модуле MC01), выходным сигналом которого одновременно включаются все программируемые таймеры системы синхронизации. По истечению заранее установленного времени каждый из таймеров вырабатывает импульсный сигнал управления, который используется для запуска или включения той или иной функциональной системы в составе экспериментальной установки.

Запуск системы синхронизации возможен только в том случае, если сняты все аппаратные блокировки и запуск разрешен на программном уровне, то есть, снята программная блокировка. Выходной сигнал общего таймера управления поступает на вход таймера нулевого канала модуля MC01 и на резервную линию P1 или P2 магистрали крейта, а с нее — на соответствующие входы запуска всех модулей MD01. Во время пуска системы

сигнал P1 (P2) переходит в низкий логический уровень, разрешая работу остальных таймеров, а их синхронный запуск происходит по спаду (переднему фронту) этого же сигнала. Длительностью сигнала P1 (P2) ограничено общее время работы системы синхронизации. По его завершению работа всех таймеров будет остановлена. Если в течение времени существования этого сигнала какой-либо таймер выполняет отсчет запрограммированного времени, то по факту его окончания в соответствующем канале вырабатывается выходной импульс, а отработанное таймером время записывается в специальный регистр и может быть считано предусмотренной для этого командой.

Таблица 2. Технические характеристики модуля MD01

№	Наименование параметра	Значение
1	Количество программируемых каналов задержки	8
2	Время задержки каналов, с	$10^{-6}..10^2$
3	Дискретность установки времени задержки каналов, с	10^{-6}
4	Погрешность выполнения запрограммированной задержки, с	10^{-7}
5	Амплитуда выходного сигнала каналов, В	$+50 \pm 5\%$
6	Длительность выходного импульса каналов, с	$10 \cdot 10^{-6} \pm 1\%$
7	Номинальное сопротивление нагрузки каналов, Ом	50
8	Прочность гальванической развязки выхода каналов, не менее, В	500
9	Прочность гальванической развязки входа запуска, не менее, В	500
10	Логический уровень сигнала запуска по внешнему входу	к.з. (0 В)
11	Логический уровень сигнала запуска по входу P1	1 (0 В)
12	Ток, потребляемый от источника питания +6 В, не более, А	0,2
13	Ток, потребляемый от источника питания +24 В, не более, А	0,26
14	Габаритные размеры, не более, мм	325×222×34
15	Масса, не более, кг	0,88

Программирование, запуск системы и контроль ее состояния осуществляется с помощью стандартных команд интерфейса КАМАК, которые вырабатываются на магистрали крейта контроллером СС02, обеспечивающим связь системы с персональным компьютером. Контроллер подключается к компьютеру с помощью гальванически развязанной линии последовательной связи через адаптер шины PCI и может быть удален от компьютера на расстояние до 300 м.

После выполнения запуска системы синхронизации под управлением программы производится считывание состояния всех контрольных регистров модулей, входящих в состав системы, и на экране монитора формируется таблица, содержащая отчет о прошедшем запуске. Программа также обеспечивает периодический опрос состояния модулей с заданным интервалом времени и обновляет на экране вид органов индикации, например, текущее состояние сигналов блокировок.

Каждый запуск системы регистрируется под своим индивидуальным номером и хранится в счетчике, расположенном в энергонезависимой памяти модуля МС01. Результаты прохождения всех синхросигналов при выполнении каждого эксперимента могут быть сохранены в виде протокола на жесткий диск компьютера по желанию оператора или автоматически. Программа позволяет изменять настройки таймеров и сохранять их на диск в виде файла настроек с индивидуальным именем, а также обеспечивает минимальные сервисные функции, например, возможность многократного периодического запуска.

ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Настройка, управление и мониторинг работы системы синхронизации с помощью персонального компьютера осуществляется с помощью программы синхронизации. В состав программы входит непосредственно исполняемый файл SyncPost.exe, файл настроек SyncPost.ini, файл конфигурации SyncPost.cfg. Программа взаимодействует с аппаратурой системы синхронизации через драйвер контроллера КАМАК СС02.

При запуске рабочей программы SyncPost.exe открывается рабочее окно, которое отображает текущие настройки, состояние системы синхронизации и результаты последнего эксперимента. Внешний вид окна показан на рис. 3.

В верхней части рабочего окна расположена строка меню. Остальная часть окна условно разделена на две зоны. В верхней зоне расположены элементы индикации и управления модулем МС01, объединенные в пять контейнеров. Контейнеры отличаются друг от друга своей структурой и функциональностью.

Контейнер «Номер эксперимента» включает в себя индикатор, на котором отображается номер последнего рабочего импульса установки. Причём этот номер хранится в энергонезависимой памяти при снятом электропитании системы. Это позволяет вести единую нумерацию экспериментов на установке и использовать

номер для идентификации данных, полученных от разных диагностических систем, при последующей их обработке. Кроме этого в контейнере содержится окно индикации «Время после последнего импульса», в котором отображается время, прошедшее с момента завершения последнего эксперимента. Это окно при периодическом выполнении экспериментов помогает оператору оценить время, оставшееся до начала следующего эксперимента. Третье окно индикации в этом контейнере предназначено для отображения времени выхода на рабочий режим. Программой предусмотрено, что для вывода установки на рабочий режим, при котором будет выполнен следующий эксперимент, может понадобиться достаточно большое время (несколько секунд). Если отсчет времени будет выполняться с момента прихода импульса запуска, то небольшие интервалы времени (миллисекундные или микросекундные), которые разделяют процессы при выполнении эксперимента, будут отображаться в форме не удобной для восприятия. Поэтому задержки во всех остальных каналах отображаются в программе относительно момента выхода установки на рабочий режим, а время выхода на режим задается отдельно в файле конфигурации и отображается в окне.

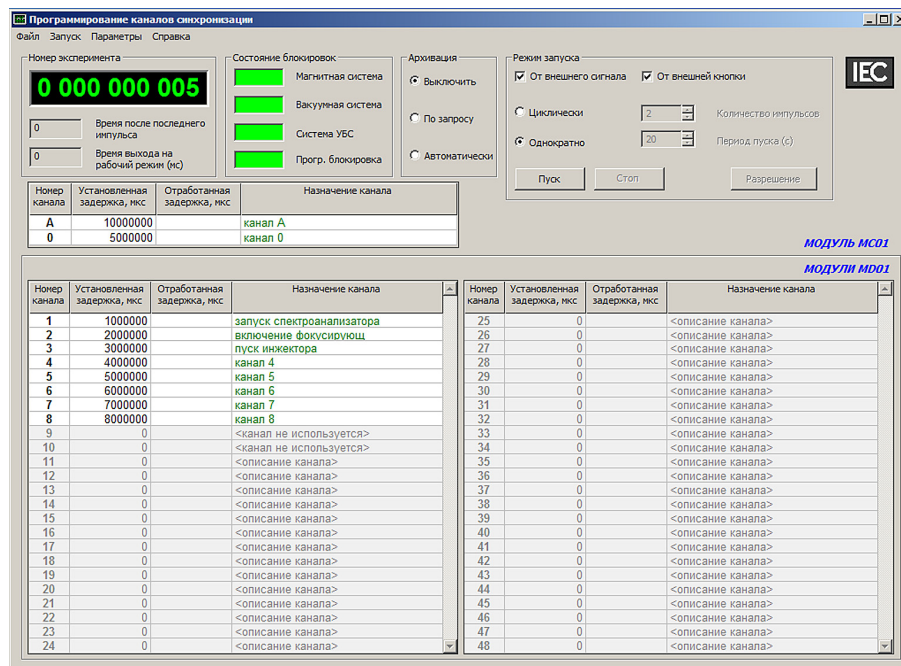


Рис. 3. Вид интерфейсного окна программы.

Контейнер «Состояние блокировок» отображает текущее состояние сигналов блокировок, поступающих на соответствующие входы модуля МС01. Вход «Блокировка 1» предназначен для подключения сигнала запрета/разрешения от системы питания магнитных элементов установки, состояние этого сигнала отображается в окне «Магнитная система». Вход «Блокировка 2» подключен к соответствующим цепям вакуумной системы, а вход «Блокировка 3» отображается на панели программы как «Система УВС». Когда какой-либо сигнал блокировок активен (имеет высокий логический уровень), соответствующий индикатор

отображается красным цветом, а при разрешающем уровне — зеленым. Состояние окон дублирует состояние трех светодиодов, расположенных на модуле МС01. Оператор имеет возможность заблокировать запуск системы синхронизации, установив программную блокировку пуска. Для этого в контейнере «Режимы запуска» имеется кнопка «Разрешение»/«Запрет». Состояние программной блокировки отображается с помощью четвертого индикатора.

В программе заложена возможность сохранения результатов эксперимента в виде текстового протокола. При первом запуске программы автоматически создается директория «Отчеты», в которой и формируются файлы с протоколами работы системы. Результаты работы системы синхронизации при проведении эксперимента добавляются в файл с названием, соответствующим текущей дате. Сохранение результатов может производиться в двух режимах: автоматически или по решению оператора. При установке режима «Автоматически» результаты будут сохраняться программой после каждого проведенного эксперимента. Если же будет установлен режим «По запросу», то после окончания эксперимента программа будет выводить окно с запросом о сохранении результатов, а оператор должен подтвердить или отменить сохранение отчета. При выборе режима «Выключить» сохранение отчетов производиться не будет.

Контейнер «Режим запуска» определяет режимы запуска системы синхронизации. Пуск от внешнего сигнала может быть разрешен или же запрещен с помощью отдельного переключателя, который размещается в верхнем левом углу этого контейнера. Пуск от внешней кнопки, расположенной непосредственно на самом модуле, может быть разрешен или же запрещен программно с помощью переключателя «От внешней кнопки». Кроме того, оператор имеет возможность осуществить пуск системы непосредственно с компьютера. Режим «Однократно» позволяет оператору передавать с компьютера команду запуска системы синхронизации при каждом нажатии кнопки «Пуск», расположенной в этом же контейнере. При активации режима «Циклически» программой будет производиться периодическая генерация команд запуска. Их количество и период генерации можно задать в соответствующих окнах контейнера. Остановить периодическое выполнение можно с помощью кнопки «Стоп». Она становится доступной только в режиме циклического запуска. В этом

режиме также запрещается запуск системы от других источников (внешнего сигнала или кнопки) Блокировать или разрешить работу системы синхронизации позволяет программная блокировка, установка которой осуществляется по нажатию кнопки «Запрет», а снятие — по повторному нажатию этой же кнопки, на которой надпись «Запрет» заменяется надписью «Разрешение».

О пуске системы оператора оповещает звуковой сигнал системного динамика компьютера. Выполнение экспериментов может сопровождаться дополнительной звуковой сигнализацией. Для этого в файле настроек необходимо выбрать файл в формате *.wav, который будет воспроизводиться мультимедийными средствами компьютера и может быть использован для оповещения обслуживающего персонала в экспериментальном зале через громкоговорящую связь установки «Ураган-2М» в течение всего времени проведения эксперимента.

Контейнер в виде таблицы, которая состоит из двух строк и четырех столбцов, предназначен для отображения программной настройки и результатов работы двух таймеров, находящихся в модуле MC01. В первой строке таблицы отображается состояние канала А. Это канал общего разрешения работы всех таймеров, он программируется на максимальное время выполнения эксперимента. Канал 0, состояние которого показано во второй строке таблицы, является одним из 49 рабочих каналов системы, который расположен в модуле MC01. В нижней зоне рабочего окна программы находится таблица состояния таймеров, расположенных в модулях MD01. По структуре она аналогична таблице состояния таймеров модуля MC01. Таблица содержит настройки 48 таймеров, расположенных в шести модулях MD01 по восемь каналов в каждом. Первый столбец таблицы отображает номер канала задержки и является условным номером, для которого в файле конфигурации прописан его системный адрес. Во втором столбце приведено время задержки, на которое запрограммирован таймер данного канала. В следующем столбце при выполнении эксперимента по окончании работы таймера выводится численное значение отработанной задержки в микросекундах. Последний столбец в этой таблице предназначен для того, чтобы оператору можно было вывести информацию о функциональном назначении данного канала — комментарий. Текстовое содержание комментария и значение программного времени таймера также хранятся в файле конфигурации.

Программа снабжена удобным инструментарием для настройки параметров каналов синхронизации и работы с аппаратурой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная выше система синхронизации запущена в эксплуатацию и проходит всесторонние испытания на установке. По сравнению с ранее используемой системой она обладает рядом преимуществ:

- благодаря применению таймеров, работающих с дискретностью 1 мкс от высокостабильного кварцевого генератора, обеспечена высокая точность синхронизации всех технологических процессов на установке;
- стало возможным удаленное управление системой и изменение параметров каждого канала с использованием компьютерной сети;
- предоставлена возможность более гибкой и оперативной настройки параметров системы с использованием заранее подготовленных файлов конфигурации;
- реализована система регистрации экспериментов с использованием индивидуальных номеров и возможностью ведения сквозной нумерации рабочих импульсов при долговременном хранении значений в энергонезависимой памяти;
- обеспечен режим автоматического и ручного создания и сохранения протоколов проведения физических экспериментов;
- предусмотрена возможность оповещения обслуживающего персонала через громкоговорящую связь о начале очередного рабочего импульса установки;
- система построена с применением современной элементной базы и современных технологий проектирования;

Созданная система может использоваться для синхронизации работы оборудования других установок экспериментального или производственного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O.S. Pavlichenko. Stellarators and other Helical Confinement Systems //Proc. of the IAEA Technical Committee Meeting., Garching, Germany 10-14 May 1993 / IAEA. Vienna, p.60-77.
2. M.A. Smirnova, K.N. Stepanov, F.A. Thorjak, V.S. Voitsenja, A.V. Zolotukhin First results from the 'URAGAN-2M' torsatron // Plasma Phys. Control. Fusion. - 1993. - Vol. 35. - B223-B230.
3. Пашнев В.К., Терешин В.И., Волков Е.Д., Швец О.М и др. XXXIV Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 12 – 16 февраля 2007 г.
4. A.A. Beletskii, V.L. Berezhnyj, P.Ya. Burchenko, V.V. Chechkin at. all. First results of the renewed Uragan-2M torsatron. PAST //Series: Plasma Physics. – 2008. - №6. – P.13-15.
5. CC02. Руководство пользователя. - Харьков: ООО «РИЕС», 2004.
6. <http://www.altera.com/literature/ds/acex.pdf>