

В.Ф. Гурко, В.Н. Ещенко, А.Н. Квашнин, А.Д. Хильченко

Институт ядерной физики СО РАН

Аннотация

В.Ф. Гурко, В.Н. Ещенко, А.Н. Квашнин, А.Д. Хильченко

В работе описана система управления и контроля литиевым контуром и источником питания линзы. Система построена на основе программируемых локальных контроллеров (PLC). Каждый из контроллеров ответствен за решение определенной задачи. Управление системой осуществляется с помощью индустриального компьютера MIC-2000. Все PLC связаны друг с другом и с управляющим компьютером с помощью локального коммуникационного контроллера LCC и последовательных линий связи, работающих на основе стандарта RS232. Для связи PLC и LCC используются линии связи на основе витых пар с оптронной гальванической развязкой, а для сопряжения LCC с MIC-2000 – оптоволоконные линии.

**Система управления и контроля
комплекса «Жидкая литиевая линза»**

THE CONTROL SYSTEM FOR THE LIQUID LITHIUM LENS

The lithium contour control system design (as the lens power supply control system also) bases on the programmable local controllers (PLC). Each of them is responsible only for one of the tasks. All PLCs are connected with the main computer MIC-2000 by means of the local communication controller LCC and serial transmission lines based on RS232 specification. For communication of PLC and LCC the twisted transmission lines with optoisolation is used. To mate LCC with the interface module of the main computer - the fiber-optic line is used.

ИЯФ 2002-56

Новосибирск
2002

Введение

Система управления комплекса «Жидкая литейная линза» состоит из двух слабо связанных подсистем: управление системой питания линзы и управление литейным контуром. Подсистема управления литейным контуром разрешает работу источника питания линзы только в случае полной готовности линзы (литий полностью расплавлен и установлено необходимое давление в контуре).

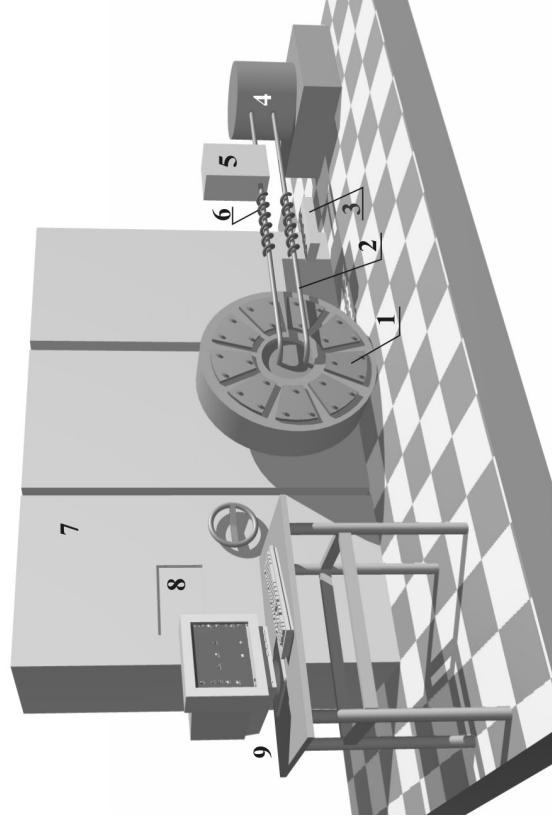


Рис. 1. Комплекс «Жидкая литейная линза»

На рис.1 показана схема комплекса. В его состав входят:

- импульсный трансформатор (1), в центр которого вставлена сама линза;
- литиевый контур (2);
- корзина системы управления литейным контуром (3);
- электромагнитный насос (4);
- система поддержания давления в контуре (5);
- система нагрева литиевого контура (6), в которую входят нагреватели и датчики температур;

- высоковольтный импульсный источник питания (7) в состав которого входят зарядное устройство, основанное на тиристорном инверторе, накопительная конденсаторная батарея и высоковольтный ключ, коммутирующий батарею на нагрузку;
- корзина системы управления источником (8);
- компьютер, управляющий всем комплексом (9).

Цилиндрическая линза (рис.1) представляет собой тонкостенный ($\Delta=1$ мм) титановый цилиндр диаметром 2 см, заполненный жидким литием, по которому пропускается импульс тока длительностью 300 мс с амплитудой до 1 МА. Чтобы избежать обжата литиевого стержня импульсным магнитным полем и отрыва его от титановой оболочки в системе должно поддерживаться статическое давление 300-500 атм. Частота следования импульсов 1-3 Гц. Выделяемая в литии мощность 20-40 кВт отводится из линзы путем прокачки жидкого лития по замкнутому контуру, включающему в себя насос и теплообменник. Температура жидкого лития в системе не должна превышать 250°C.

Линза запитывается мегаамперными импульсами тока через согласующий трансформатор тороидальной конструкции с коэффициентом трансформации 8. В первичную цепь трансформатора через систему тиристорных вентилей разряжается конденсаторная батарея емкостью 2.4 мФ, заряжаемая до напряжения 6 кВ специальным зарядным устройством мощностью 100 кВт.

Управление и контроль системой питания литейной линзы

На рис.2 изображена упрощенная схема управления системой питания линзы.

Она состоит из:

- контроллера инвертора – КИ;
- устройства блокировок и сигнализации – УБС;
- аналоговых входных формирователей – АВФ;
- драйверов, обеспечивающих согласование управляющей электроники с силовыми приборами и устройствами;
- источника питания – ИП.

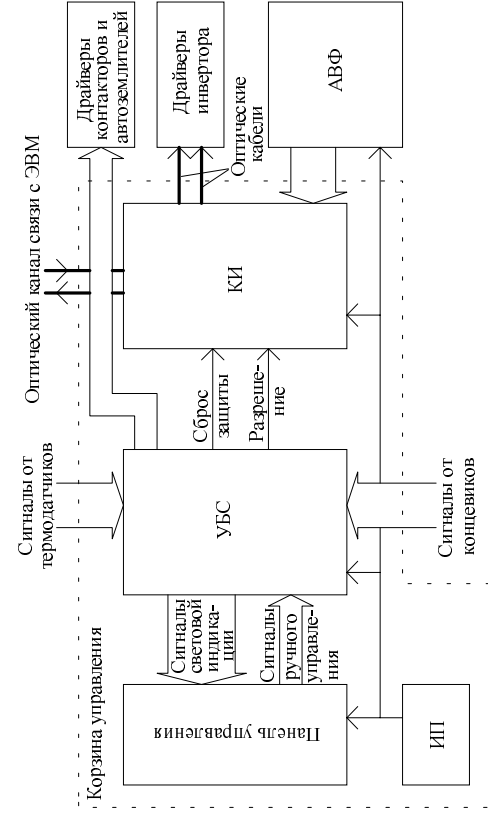


Рис. 2. Упрощенная схема управления системой питания линзы

Для питания литиевой линзы используется мощный высоковольтный импульсный источник, который размещен в электротехническом шкафу производства фирмы SHROFF и управляется оператором через компьютер. Для функционирования этого источника требуется контроль следующих сигналов:

- 12 логических сигналов (двери, вода, воздух, фазы А, В, С силового питания, 3 напряжения внутреннего источника питания, автоземлители, РМБ, сильноточные контакторы);
- 6 термодатчиков;
- 2 кнопки (ON и OFF) управления подачей силового питания в шкаф;
- 3 напряжения и 1 токовый сигнал в цепях импульсного источника.

Управление источником сводится к следующему:

- подём/опускание автоземлителей;
- подача силового питания в шкаф;
- управление тиристорными ключами инвертора источника;
- управление системой электронной защиты инвертора источника;
- связь с управляющим компьютером;
- контроль и обеспечение безопасных режимов работы источника;
- индикация режимов работы.

Контроллер инвертора

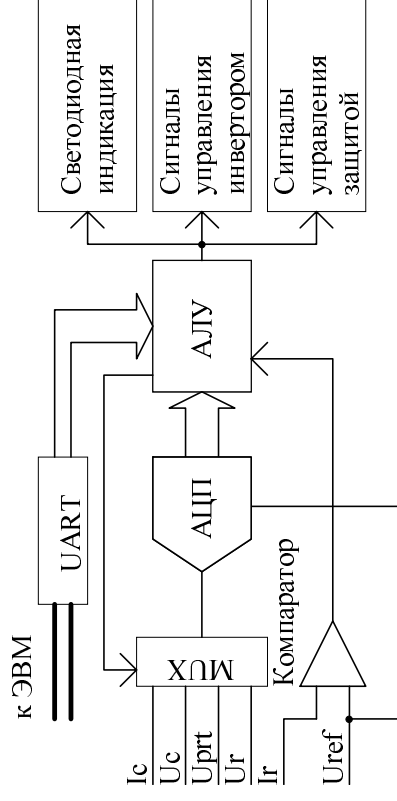


Рис. 3. Схема контроллера инвертора

Схема КИ показана на рис.3. Контроллер имеет 8 аналоговых входов, подключенных к АЦП, 2 дискретных входа (Enable и Reset Protection), 2 выхода на волоконную оптику и 5 электрических выходных дискретных каналов. Один из аналоговых входов подключен к АЦП ещё и к аналоговому компаратору и используется для контроля мгновенного значения тока выпрямителя (Ir), четыре канала АЦП измеряют напряжения в контрольных точках системы питания, три оставшиеся канала не используются. Оптические выходы используются для управления ключами инвертора и электронной защиты, а электрические выходы управляют светодиодами индикации на панели управления. Кроме того, КИ имеет двунаправленный интерфейс для связи через волоконную оптику с управляющим компьютером. Контроллер выполняет две функции – формирование управляющих сигналов и обеспечение контроля рабочего режима инвертора.

Мощность передаваемая инвертором в нагрузку обратно пропорциональна периоду управляющих импульсов, которые формируются внутренним 16-ти разрядным таймером микроконтроллера AT90S8535. Применение такого таймера позволяет изменять период работы инвертора с шагом 8 мкс и апертурной дрожью не более 125 нс (частота тактового генератора микроконтроллера 8 МГц), что обеспечивает устойчивую работу инвертора в диапазоне требуемых мощностей.

Значение периода инвертора задается из управляющего компьютера. Команды начала и завершения работы зарядного устройства также поступают из управляющего компьютера. КИ выдаст управляющие инвертором импульсы только при наличии сигнала Enable от УБС, иначе команда начала работы будет проигнорирована.

Для безопасной работы импульсного источника и предотвращения возникновения внешних ситуаций в управляющей системе предусмотрен контроль следующих параметров:

Напряжение сетевого выпрямителя U_r . Задаются минимальное $U_{r,min}$ и максимальное $U_{r,max}$ значения напряжения выпрямителя так, чтобы в этом интервале была возможность прецизионной стабилизации напряжения накопителя и не возникло опасности выхода из строя элементов зарядного устройства из-за перенапряжения. При выходе значения U_r за допустимые пределы инвертор останавливается. При возвращении U_r в интервал допустимых значений микроконтроллер снимает блокировку и работа системы возобновляется подачей команды "Start" с консоли оператора.

Ток сетевого выпрямителя I_r . Задается максимальное значение тока выпрямителя $I_{r,max}$. Превышение этого значения означает одновременное отпирание ключей обоих плеч инвертора, что является аварийной ситуацией. При выходе I_r за пределы максимального значения инвертор принудительно останавливается электронной системой защиты. Возобновление работы становится возможным только после прихода сигнала Reset Protection, инициируемого оператором.

Напряжение на емкости в системе электронной защиты инвертора U_{prt} . Система электронной защиты сработает надежно только в том случае, если емкость C_{prt} заряжена до необходимого напряжения $U_{prt,min}$. Поэтому работа инвертора должна быть заблокирована пока напряжение $U_{prt} < U_{prt,min}$.

Напряжение на накопительной емкости U_c . Напряжение на накопительной емкости не должно превышать максимального рабочего для данной емкости напряжения $U_{c,max}$, иначе может произойти пробой изоляции с последующим выбросом запасенной энергии (взрыв). Для предотвращения этого система аппаратных защит блокирует работу инвертора в случае, если $U_c > U_{c,max}$.

Ток заряда накопительной емкости I_c . Если I_c превышает значение $I_{c,max}$, заданное оператором, инвертор останавливается. При возврате этого тока в допустимые пределы инвертор возобновляет работу.

Сигналы U_r , U_{prt} , U_c и I_c измеряются встроенным в микроконтроллер 10-разрядным АЦП, подвергается цифровой фильтрации и передаются управляющему компьютеру для отображения на консоли оператора. Установки рабочих диапазонов приходят из управляющего компьютера. Время реакции КИ на аварийную ситуацию по этим сигналам не превышает 300 мкс. Ток выпрямителя I_r сравнивается компаратором микроконтроллера с заданным максимальным значением.

При сбое в работе силовой электроники микроконтроллер выдает сигнал запуска системы электронной защиты. Время реакции на сигнал сбоя не более 100 мкс. За такое время ни при каких условиях токи в цепях инвертора не превысят допустимые, и это является гарантией безопасной работы зарядного устройства.

Кроме вышеперечисленного, зарядное устройство может быть заблокировано сигналом от УБС. Любое срабатывание системы защит инициируется на локальной панели управления световым сигналом.

Устройство блокировок и сигнализации

Схема УБС (рис.4) создана на ПЛИМ MAX7064 и микроконтроллере AT90S4433. Она имеет входной регистр с гальванической развязкой, который может контролировать состояния до 18 дискретных сигналов, 11 каналов УР и 6 входных каналов АЦП. Входные каналы АЦП используются для измерения сигналов с термодатчиков, входной регистр контролирует состояния концевиков и кнопок управления, 6 выходных каналов УР используются для индикации температур светодиодов на панели управления, 3 канала УР управляют драйверами автоземлителей и силовых контакторов, а оставшиеся 2 канала используются для обмена с КИ (посылая ей Reset и Enable). Кроме того, в УБС предусмотрен дополнительный аналоговый вход, предназначенный непосредственно с аналоговым компаратором, предназначенный для контроля за каким-либо быстро меняющимся сигналом I_g .

Контроль эксплуатационных условий зарядного устройства и генератора для литиевой линзы производится по следующим параметрам:

Давление воды в системе водяного охлаждения (двоичный сигнал "Water"). При отсутствии давления работа системы запрещается.

Давление воздуха в системе воздушного охлаждения (двоичный сигнал "Air"). При отсутствии подачи воздуха работа системы запрещается.

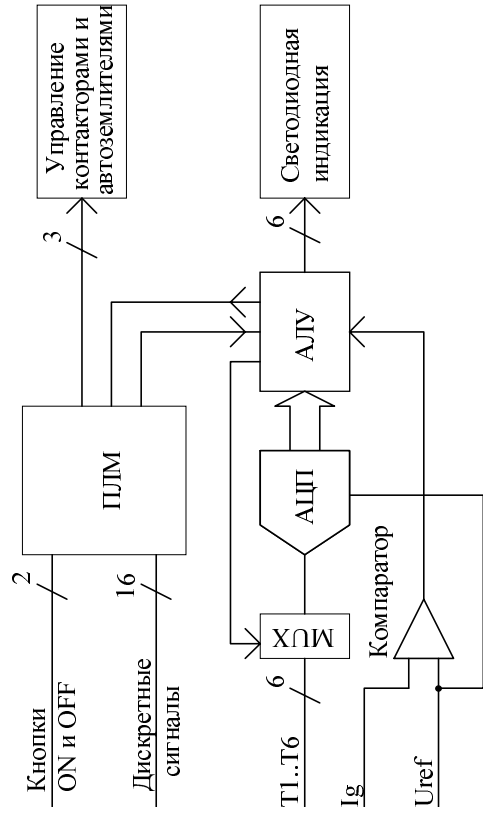


Рис 4. Блок-схема УБС

Контроль температур рабочих элементов зарядного устройства (шесть аналоговых сигнала “Т1” ... “Т6”). При перегреве элементов работа системы запрещается.

Состояние дверей (двоичный сигнал “Doors”). Двери шкафа зарядного устройства блокируются механически при помощи РМБ. Работа системы запрещается если хотя бы одна дверь не закрыта.

Наличие фаз А, В и С трёхфазного силового питания.

Наличие внутренних напряжений питания управляющей корзины и напряжения питания драйверов инвертора.

Состояние РМБ. РМБ имеет два концевики: полностью открыто (двоичный сигнал “РМБ open”) и полностью закрыто (двоичный сигнал “РМБ closed”). В полностью открытом состоянии включается световая индикация, разрешающая работу персонала с высоковольтными элементами системы, автоземлители заблокированы в опущенном состоянии, контакторы заблокированы в разомкнутом состоянии, двери шкафа механически разблокированы. В полностью закрытом состоянии механически блокируются двери шкафа и поднимаются автоземлители. На плату КИ подаётся сигнал сброса блокировок длительностью 1 с, после чего разрешается подача 3-фазной сети в шкаф. Диаграмма включения УБС приведена на рис. 5.

Состояние автоземлителей (двоичный сигнал “AG”). Автоземлители блокируют накопительную емкость через балластное сопротивление на «землю». Подъем автоземлителей происходит сразу после запаривания РМБ подачей напряжения на обмотку электромагнита автоземлителей. Подъем автоземлителей возможен только при замкнутом состоянии всех концевиков и отсутствии блокировок по температурам.

Состояние контакторов (двоичный сигнал “Power”). Контактторы осуществляют подачу напряжения ~380В на сетевой выпрямитель. Их включение возможно не раньше чем через 1 с после поднятия автоземлителей. До этого оно аппаратно запрещено и инициируется при нажатии оператором кнопки ON на панели управления. Для предотвращения заряда фильтрующего конденсатора до удвоенного сетевого напряжения в момент включения контакторов предусмотрено двухступенчатое включение сетевого напряжения: вначале включается слаботочный контактор, который через балластные сопротивления заряжает фильтрующую емкость до сетевого напряжения; через 4 сек после этого включаются силовоточные механические контакторы. После успешного срабатывания контакторов УБС подает сигнал разрешения работы для КИ. Временные диаграммы включения контакторов приведены на рис. 5.

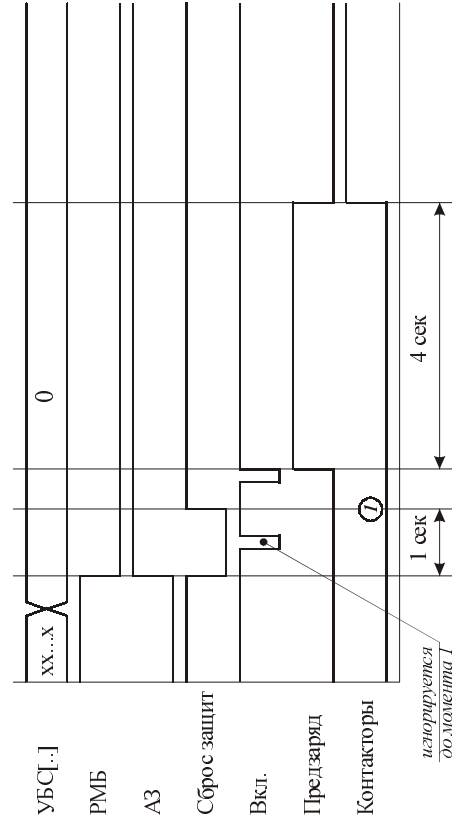


Рис 5. Диаграмма включения УБС

Управление электромагнитными контакторами и автоземлителей происходит через твердотельные реле. Это позволяет обеспечить высокую надежность и помехозащищенность УБС.

Литиевый контур

Схема построения литиевого контура показана на рис. 1. На схеме выделены датчики и исполнительные устройства системы контроля и управления. В их число входят:

- 12 датчиков температуры (термопары),
- датчик статического давления лития,
- датчик потока лития (расходомер),
- датчик тока электромагнитного насоса,
- 6 электрических нагревателей,
- узел поддержания статического давления лития с электромеханическим приводом,
- электромагнитный насос.

Сценарий работы схемы управления и контроля литиевого контура имеет два этапа – подготовительный и рабочий.

Задача подготовительного этапа – привести контур в рабочее состояние, для чего необходимо:

- прогреть все его элементы до температуры, превышающей температуру плавления лития,
- установить начальное статическое давление в контуре на уровне 50 атм,
- с помощью электромагнитного насоса обеспечить циркуляцию потока лития,
- после выравнивания температуры всех элементов перейти в режим ее стабилизации и довести статическое давление лития до уровня порядка 300 атм.

В рабочем режиме, соответствующем заданному значению импульсного тока источника питания линзы с частотой повторения импульсов 0.5–1 Гц, тепловыделение в линзе превышает уровень, необходимый для поддержания температуры лития во всем контуре на заданном уровне (200–220°C). Избыточная энергия отводится в контур охлаждения через теплообменник.

Описанный выше сценарий работы литиевого контура обеспечивается с помощью программируемых локальных контроллеров. В

состав системы входят контроллеры двух типов: PLC – для стабилизации температурного режима и статического давления литиевого контура и PLC-S – для управления электромагнитным насосом.

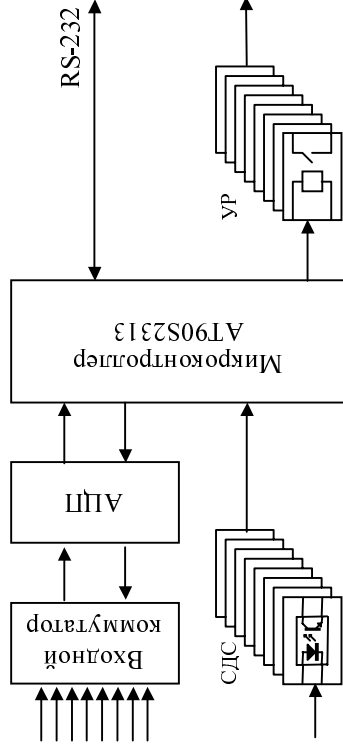


Рис. 6. Структурная схема PLC

Структурная схема PLC показана на рис. 6. В его состав входят:

- 18-ти разрядный интегрирующий АЦП MAX132 фирмы Maxim с 8-ми канальным коммутатором входным коммутатором, работающий в режиме циклического опроса текущих значения входных сигналов;
- 8-ми канальный управляющий регистр (УР), построенный на основе твердотельных реле с оптронной гальванической развязкой HSSR8060, используемый для управления исполнительными устройствами в режиме “включить/выключить”;
- гальванически изолированный 8-ми канальный сборщик двоичных состояний (СДС), используемый для контроля текущего состояния цепей защиты;
- микроконтроллер AT90S2313 фирмы Atmel, управляющий работой всех узлов PLC по заданному алгоритму, в соответствии с командной линией связи RS-232.

С помощью двух модулей PLC обеспечивается стабилизация температуры. Статическое давление поддерживается третьим PLC.

На рис. 7 приведена структурная схема PLC-S, предназначенного для управления фазоимпульсным регулятором источника питания электромагнитного насоса. PLC-S построен на базе микроконтроллера AT90S8535 фирмы Atmel. Этот микроконтроллер имеет в своем состав

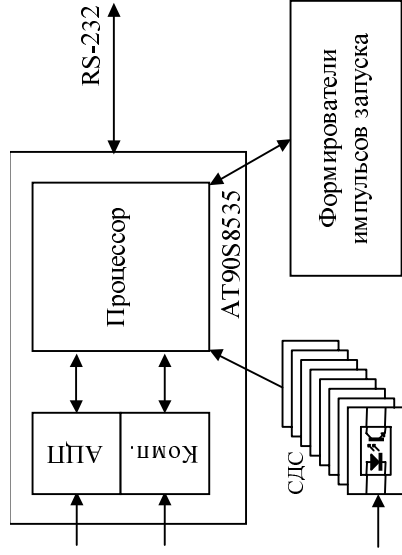


Рис. 7. Структурная схема PLC-S

ве 8-ми канальный 10-ти разрядный АЦП, с помощью которого производится измерение тока электромагнитного насоса, и аналоговый компаратор, используемый для привязки сигналов управления к фазе А питающей сети. Сигналы управления для тиристоров поступают на плату формирователей, построенных на основе полевых транзисторов IRFR7309. Формирователи обеспечивают амплитуду импульсов запуска до 1 А, а также гальваническую развязку силовых цепей от схемы управления. Контроль за наличием всех трех фаз питающей сети и воды в контуре охлаждения тиристоров источника питания электромагнитного насоса производится с помощью гальванически изолированного 8-ми канального СДС.

Для управления литейным контуром используется индустриальный компьютер MIC-2000 фирмы Advantech. Подключение всех PLC к управляющему компьютеру производится через связанной коммуникационный контроллер (LCC), построенный на основе микроконтроллеров AT90S8515 и AT90S2313. Его структурная схема приведена на рис. 8.

LCC циклически опрашивает все PLC системы и по запросу компьютера отправляет ему таблицу с текущими значениями точек контроля и сигналов управления. При поступлении от компьютера команды на изменение параметров рабочего режима, LCC передает информацию в PLC. Обмен данными между LCC и управляющим компьютером осуществляется при помощи последовательной оптоволоконной линии связи.

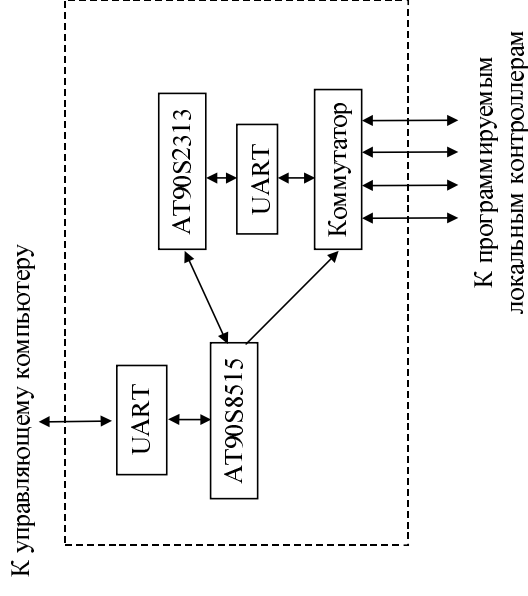


Рис. 8. Структурная схема LCC

Система прогрева и стабилизации температуры литейного контура

В качестве источников прогрева лития на начальном этапе работы системы используются нагреватели из нержавеющей стали с изолирующей оболочкой, намотанные на элементы литиевого тракта. С помощью тиристорных ключей, работающих под контролем управляющего регистра, нагреватели запитываются через понижающие трансформаторы от сети переменного тока с напряжением 220В. Электрическая мощность каждого из указанных нагревателей лежит в диапазоне от 0.3 до 1 кВт. Защита схемы питания нагревателей по току осуществляется с помощью токового реле сегевого автомата.

Контроль распределения температуры лития в контуре производится с помощью термодатчиков интегрированными АЦП, входящими в состав PLC.

Система прогрева и стабилизации содержит шесть активных и шесть пассивных каналов. Активные каналы представляют собой нагреватель и связанную с ним термопару. Пассивные каналы не имеют

- нагревателей и используются только для контроля температуры в заданных точках. Работа системы выглядит следующим образом:
- из управляющего компьютера в микроконтроллер PLC загружаются опорные значения температур, до которых необходимо разогреть соответствующий участок литиевого тракта;
 - по команде оператора при помощи УР и тиристоров включаются нагреватели активных каналов;
 - с помощью термопар и АЦП контролируется температура лития в заданных точках тракта;
 - при достижении предельного значения температуры в какой-либо локальной точке литиевого тракта микроконтроллер выключает связанный с этой точкой нагреватель;
 - процесс дискретного управления включением/выключением нагревателей продолжается до выравнивания температур во всех контролируемых точках на заданном уровне;
 - подавление помех производится с помощью цифрового фильтра, встроенного в алгоритм работы микроконтроллера.
- В рабочем режиме основными тепловыделяющими элементами литиевого контура становятся сама линза и электромагнитный насос. Тепловые потери в этих элементах превосходят уровень, необходимый для поддержания лития в жидком состоянии. Поэтому, при переходе системы в рабочий режим нагреватели выключаются, а стабилизация температуры лития на заданном уровне производится за счет управления потоком воздуха в теплообменнике.

Узел поддержания статического давления лития

Поддержание статического давления в литиевом контуре производится с помощью датчика давления и исполнительного устройства, состоящего из реверсивного двигателя постоянного тока, редуктора с большим коэффициентом замедления и гидроцилиндра.

Работа системы управления статическим давлением лития начинается после прогрева литиевого контура перед включением электромагнитного насоса. В связи с тем, что литий имеет большой коэффициент объемного расширения, при нагреве и переходе через точку плавления локальные давления в различных участках контура будут меняться. Для того чтобы не создавать дополнительных нагрузок на элементы литиевого контура, исходное давление в нем необходимо понизить до

уровня порядка 50 атм и поддерживать это значение до получения циркулирующего потока лития в системе.

При переходе к штатному режиму работы давление в системе увеличивается вплоть до величины порядка 300 атм для того, чтобы исключить возможность отрыва лития от стенок линзы магнитным полем тока линзы.

Работа контура регулирования статического давления лития достаточно проста. Текущее давление в контуре преобразуется датчиком давления в электрический сигнал, значение которого измеряется аналого-цифровым преобразователем. Изменение же давления производится двигателем исполнительного устройства. Направление вращения двигателя прямо связано с направлением изменения давления в системе, а величина этого изменения зависит от перемещения гидроцилиндра и, следовательно, от длительности интервала включения двигателя.

Основываясь на текущем значении статического давления в системе и его требуемом значении, микроконтроллер с помощью УР выбирает направление вращения двигателя исполнительного устройства и длительность интервала его включения. Результирующее давление в системе контролируется АЦП. При необходимости осуществляют изменения давления в системе, процесс его перестройки осуществляется несколькими последовательными итерациями.

В исполнительном устройстве системы стабилизации давления применен двигатель постоянного тока с рабочим напряжением 27В. Для его питания используется понижающий трансформатор с выпрямителем во вторичной обмотке. Напряжение питания требуемой полярности на двигатель подается через тиристорные ключи.

С верхней и нижней крайними точками положения гидроцилиндра связаны два конечных переключателя, ограничивающих диапазон его перемещения. Наряду с конечными переключателями в исполнительном устройстве имеется и контактный датчик среднего положения гидроцилиндра. Состояние всех указанных переключателей и датчика среднего положения через СДС проверяется микроконтроллером при выполнении всех операций, связанных с изменением статического давления лития в системе.

Система управления и контроля работы электромагнитного насоса

Циркуляция лития в линзе и литиевом контуре обеспечивается с помощью электромагнитного насоса, производительность которого зависит от величины тока источника питания. Ток источника, построенного по классической схеме с понижающим трехфазным трансформатором и фазоимпульсной тиристорной схемой во вторичной цепи трансформатора, определяется временем задержки импульсов запуска тиристоров относительно точки перехода напряжения соответствующей фазы через нуль.

Принцип работы схемы управления потоком лития в линзе достаточно очевиден. После привязки к фазе питающей сети, микроконтроллер измеряет при помощи встроенного АЦП текущее значение тока и затем формирует серию импульсов запуска тиристоров с необходимой для обеспечения заданного тока задержкой.

Схема управления током электромагнитного насоса имеет встроенные средства аварийной защиты. При отсутствии воды в контуре охлаждения тиристоров или пропадании любой из трех фаз микроконтроллер блокирует выдачу импульсов запуска тиристорам.

Конструктивное исполнение элементов системы контроля и управления литиевым контуром

Система управления и контроля литиевым контуром содержит три основных конструктивных элемента: - управляющий индустриальный компьютер МІС-2000 фирмы Advantech, стойку элементов управления и контроля контуров стабилизации температуры и давления, а также стойку источника питания электромагнитного насоса.

МІС-2000, помимо штатного периферийного оборудования (монитора, клавиатуры, диска и т.д.), оснащен платой, обеспечивающей согласование сигналов последовательных портов СОМ1 и СОМ2 компьютера с оптоволоконными линиями связи систем управления и контроля литиевого контура и источника питания линзы

Использование в системе управления последовательных оптоволоконных линий связи позволяет исключить гальваническую связь управляющего компьютера с силовым оборудованием, что, несомненно, повышает надежность работы всей системы в целом.

Обе стойки выполнены в конструктиве «ВИШНЯ». Они содержат все основные силовые элементы (источники питания электромагнитного насоса, электромагнитного регулятора контура охлаждения, двигателя системы стабилизации давления лития, понижающие трансформаторы и тиристорные ключи системы прогрева литиевого контура, сетевые автоматы и реле блокировок), а также модули РСІС и РСІС-S с собственным источником питания.

Программное обеспечение системы управления и контроля комплекса «Литиевая линза»

Программное обеспечение комплекса можно разбить на две группы:

- программное обеспечение микроконтроллеров, обеспечивающее автономное управление отдельными подсистемами комплекса в режиме реального времени;
- программа «панель оператора», с помощью которой задаются режимы работы комплекса и которая отображает на мониторе управляющего компьютера текущее состояние в контрольных точках системы.

Для управления системой используется индустриальный компьютер МІС-2000, к которому подключено все измерительное и управляющее оборудование. Компьютер работает под управлением ОС Windows 95. Применение указанной операционной системы позволяет с помощью одного компьютера управлять двумя слабосвязанными, с точки зрения задач управления, объектами – импульсным источником питания линзы и литиевым контуром. Каждым из объектов управляет отдельный процесс (задача), а синхронизация этих процессов осуществляется с помощью стандартных средств Windows 95.

Программное обеспечение импульсного источника питания линзы

Система управления источника питания линзы, как было сказано выше, состоит из двух частей – УБС и КИ. Каждая из них управляется собственным микроконтроллером. Рабочие параметры источника питания задаются с помощью «панели оператора».

Программа микроконтроллера УБС фактически следит только за температурами контролируемых точек и при выходе их за допустимые пределы, заданные пользователем, запрещает работу источника.

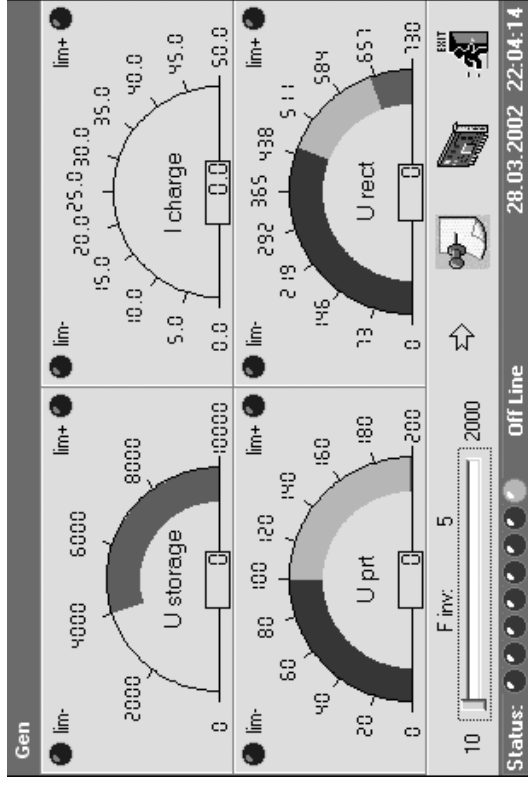


Рис. 9 "Панель оператора" импульсного источника питания линзы

Программа микроконтроллера КИ управляет формированием импульсов запуска для инвертора и системы электронной защиты, следит за контролируемыми напряжениями и токами. Кроме того, она осуществляет обмен данными с консолью оператора.

Программа «панель оператора» предоставляет пользователю интуитивный интерфейс управления и контроля источником. Интуитивный интерфейс (рис. 9) делает её легко осваиваемой и простой в использовании.

Программа отображает контролируемые величины «стрелочными индикаторами». Диапазоны допустимых значений, которые задаются пользователем, отображаются на шкалах секторами зеленого цвета. При выходе какой-либо величины за допустимые пределы, соответствующая шкала окрашивается в красный цвет. Ползунковым регулятором «F inv» пользователь задаёт частоту работы инвертора. Состояние регистра статуса КИ отображается в нижней левой части экрана, справа внизу расположены иконки «Пуск/Стоп», «Запись настроек», «Настройка СОМ-порта» и «Выход».

Для установки допустимых диапазонов какой-либо из контролируемых величин необходимо дважды щелкнуть мышью по соответст-

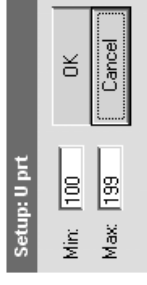


Рис. 10. Настройка псеплельных значений

вующей шкале, а затем в появившемся окне (рис. 10) ввести максимально и минимально допустимые значения. Масштабы шкал изначально задаются из ini-файла, находящегося в той же директории, что и исполняемый файл. При нажатии кнопки «Запись настроек» происходит запись допустимых диапазонов и масштабов шкал в EEPROM микроконтроллера КИ. При дальнейшей работе программа берет настройки именно оттуда, обеспечивая «привязку» к конкретному источнику.

Программное обеспечение литиевого контура

Разогрев литиевого контура и его перевод в рабочий режим осуществляется нагревателями, которыми управляет программа, ответственная за литиевый контур. Эта же программа решает задачи управления потоком лития через линзу с помощью электромагнитного насоса и расходомера, а также стабилизации статического давления лития в системе. В качестве примера на рис. 11 отображена панель оператора в режиме охлаждения литиевого контура. На панели отображаются текущие значения во всех контрольных точках. Кроме того, в графическом окне панели фиксируется характер поведения контролируемых величин в режиме «самописца».

Перед началом работы оператор может задать требуемые значения температуры лития (рис. 12), давления в контуре и потока лития через линзу (рис. 13). Изменение этих параметров допускается только в пределах, определенных разработчиками системы. Предусмотрена возможность восстановления исходных значений этих параметров.

Заключение

Работы по созданию системы управления и контроля комплексом «Жидкая литевая линза» были начаты в 1998 году. К концу 1999 года на прототипе комплекса была запущена в эксплуатацию первая версия подсистемы управления и контроля литиевым контуром. Управление импульсным источником питания линзы производилось в «ручном» режиме. На прототипе отработывалась методика безаварийной работы с жидким литием (разогрев литиевого контура, подъем давления в контуре до 300 атм, стабилизация температуры и давления, охлаждение контура). Кроме того, на прототипе проводились испытания различных вариантов литиевой линзы.

К середине 2002 года создание системы управления и контроля комплекса «Жидкая литевая линза» было завершено. В состав системы вошли подсистемы управления литиевым контуром и импульсным источником питания линзы. Импульсный источник питания был испытан на эквивалент нагрузки. Были проверены все рабочие режимы литиевого контура.

В настоящее время на прототипе продолжают работу по доводке конструкции линзы.

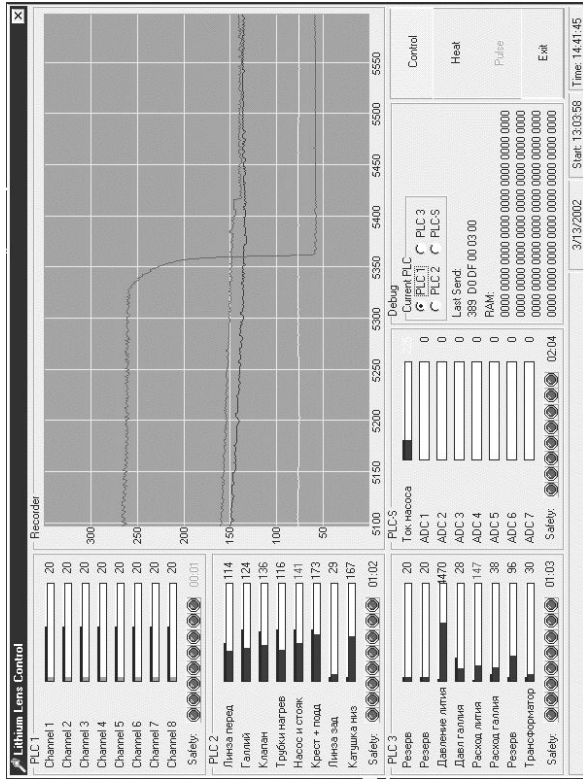


Рис. 11. "Панель оператора" литиевого контура

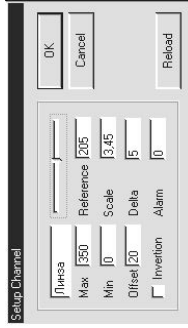


Рис. 13. Задание температуры и давления лития

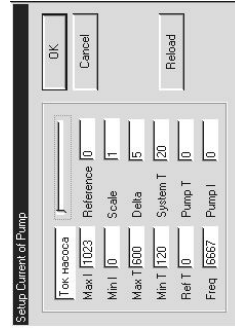


Рис. 12. Задание параметров электромагнитного насоса