**Включение питания**

Исходное состояние:

Блок НО/НЗ обесточен. Напряжение на суперконденсаторах – любое. Напряжение в звене ПТ – любое.

**Алгоритм включения:**

Напряжение на входных колодках блока НО/НЗ нарастает одновременно с нарастанием напряжения на шине ПТ в ЭРА-10.

В блоке НО/НЗ стартует источник питания, рассчитанный на запуск от -60С. Он формирует 2 канала напряжения: +15В\_COLD и +5B\_COLD.

+5В\_COLD поступает на модуль МПР, там стоят емкости и диод. Получается напряжение 4,7В. От этого напряжения запитан отдельный датчик температуры - термостат MAX6503, который выдает сигнал (0) о состоянии температуры внутри блока ниже -35С. Если температура ниже, то остальная часть блока НО/НЗ не запитывается, включается ключ нагревателя (на МЗК, сигнал NAGREV\_ON) и происходит нагрев блока.

Когда температура станет выше -35В, сигнал с MAX6503 меняет свой уровень на 1. При этом выключается нагреватель. На МЗК происходит подача питания +15В\_COLD на источник питания , который формирует напряжения 45В для BMS модулей. Напряжение +5B\_COLD через ключ подключается к цепям +5В и +5ВА. Старт программы.

Все выходы управления должны быть установлены в неактивное состояние.

Тесты AT45DB081 (память хранения событий, аварий, резервная), MR25H256 (память хранения настроек и калибровок).

Пауза 30 секунд для того, чтобы зарядное реле в ЭРА-10 успело включиться.

Подключить конденсаторы звена ПТ к инвертору напряжения и датчику напряжения. Сигнал ON\_DC\_INV\_ST.

На входе ADC123\_IN10 мониторим напряжение. Измерения начинать не ранее чем через 10мс после подачи сигнала ON\_DC\_INV\_ST.

ON\_DC\_ST переводим в 0. При этом включаются два реле. Ждем 10 мс чтобы замкнулись контакты. Одно подключает плюс шины, второе минус. Начинается заряд. Контролируем напряжение на шине и когда dU/dt станет меньше 2В/с, включаем реле шунтирования плавного заряда (ON\_RELE\_CHARGE\_ST). Через минимум 10 мс, для проверки того, что зарядное реле в ЭРА-10 включено, подключаем в тестовом режиме нагреватель (NAGREV\_ST, 100 мс), напряжение на ADC123\_IN10 при этом не должно меняться, более чем на 3В. Если оно меняется, то значит в ЭРА-10, шина подключена через зарядный резистор и включение инвертора для заряда суперконденсаторов должно быть запрещено.

*Возможный отказ: при включении ниже -40С нагреватель стартует сразу как только появляется напряжение на шине. В это время в ЭРА-10 еще может идти заряд и нагреватель блока НО/НЗ нагрузит зарядный резистор ЭРА-10. Возможен перегрев. Надо аппаратно ввести задержку на включение источника и минимальный старт сделать от нормального, номинального напряжения.*

Если тест пройден успешно, то включение ключей в стойках инвертора напряжения разрешено.

**Работа системы BMS.**

Все суперконенсаторы соединены последовательно и разделены на 11 блоков по 12 ячеек (конденсаторов) в каждой.

Основные функции системы:

Микросхема LTC6803I представляет собой АЦП, расширитель выходов, имеет встроенный датчик температуры. Она является пассивным прибором и все действия производятся только по команде контроллера. Поэтому, нужно обеспечить ее циклический опрос и управление с ее помощью ключами балансировки.

1. Измерение напряжения на каждой ячейке.
   1. Измерение 2 раза в секунду.
2. Включение балансировочного ключа при условии
   1. Дельта напряжений между контролируемыми ячейками в пределах одного блока более заданной (дельта = 0,1В. Дельта должна задаваться в параметре с шагом 0,01В. Диапазон от 0,01 до 1В). Включаются ключи во всех ячейках, напряжение которых больше минимального в блоке на дельту. По умолчанию 0.1В.
   2. Напряжение на ячейке достигло максимального (2,6В. Должно задаваться в параметре с шагом 0,01В. От 2 до 3 В.)
3. Измерение температуры блока. На макете фактически измерение температуры печатной платы. Можно дополнить и установить датчик на ячейку.
   1. Если измеренное значение температуры превысит порог (задавать в параметре, с шагом 1 гр С, диапазон от 0 до 130С), то отключать заряд конденсаторов. По умолчанию 100С.
4. Включение полного шунтирования ячейки
   1. Конденсатор вышел из строя на обрыв, напряжение на нем растет и не может быть подавлено током балансировки.
   2. При заряде, напряжение на конденсаторе сильно больше, чем на других ячейках. Произошел отказ на «разрыв». Если не помогает балансировка.
5. Диагностика состояния ячеек
   1. Необходимо сформировать массив данных по каждой ячейке с привязкой к номеру блока. Например 5 блок 7 ячейка.
   2. Для каждой ячейки необходимо хранить «технологический» регистр: норма, в режиме балансировки, шунтирована.
   3. Для блока надо хранить: норма, часть шунтировано, перегрев.
   4. По ячейке и по блоку надо отображать на индикаторе и в регистрах 485.
   5. По измеренному значению напряжения со всего массива ячеек (ADC123\_IN11), надо вычислять запасенную энергию: CU2/2. С брать const. Значение энергии в Джоулях отображать в параметре меню.

Значение емкости вносить в параметр. От 0,1 до 20 Ф. Шаг 0,1. По умолчанию 2.7Ф.

1. Защитная система
   1. Для каждого блока предусмотрена защита от выхода ячеек из строя. На плате BMS установлен микроконтроллер PIC, который работает в режиме расширителя выходов. Выходы (PB13, PB14, PB15) – интерфейс обмена с PIC. Для разрешения установки выходов PIC в активное состояние необходимо выдать разрешение - OUT\_EN1\_ST.
   2. В случае, когда подключение стандартных выравнивающих резисторов (33Ом) не исправляют ситуацию с перекосом напряжения в блоке, должны быть подключены доп резисторы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Порт | Цепь | Назначение | Акт. уровень |
| RA0 | CAP\_SHUNT1\_2\_F | Полное замыкание плюса первой ячейки и минуса второго. Шунтирование двух ячеек. | 0 |
| RA1 | CAP\_SHUNT3\_4\_F |  | 0 |
| RA2 | CAP\_SHUNT5\_6\_F |  | 0 |
| RA3 | CAP\_SHUNT7\_8\_F |  | 0 |
| RA4 | CAP\_SHUNT9\_10\_F |  | 0 |
| RA6 | CAP\_SHUNT11\_12\_F |  | 0 |
|  |  |  |  |
| RB0 | CAP\_SHUNT1\_2 | Подключение резистора 2,35 Ом между плюсом 1-ой ячейки и минусом 2-ой. | 0 |
| RB1 | CAP\_SHUNT3\_4 |  | 0 |
| RB2 | CAP\_SHUNT5\_6 |  | 0 |
| RB3 | CAP\_SHUNT7\_8 |  | 0 |
| RB4 | CAP\_SHUNT9\_10 |  | 0 |
| RB5 | CAP\_SHUNT11\_12 |  | 0 |

* 1. Для повышения отказоустойчивости системы введена возможность шунтирования вышедших из строя ячеек. Если ячейка стала иметь меньшее сопротивление и при заряде на ней измеряется меньшее напряжение, то шунтирование не требуется. Если же ячейка повышает свое внутреннее сопротивление, на ней вырастает напряжение выше максимального и она мешает протеканию тока заряда, то ячейка должна быть выключена из работы путем шунтирования.
  2. Для исключения броска тока при замыкании заряженной ячейки сначала включается ключ, подключающий разрядный резистор. Затем через время выдержки (задается в параметре. Диапазон 1-100 сек. Шаг 1 сек. По умолчанию 20 сек) включается ключ шунтирования. На время разряда заряд емкостей должен быть прекращен.

**Работа инвертора напряжения**

1. Начало заряда
   1. Начало заряда возможно только после прохождения тестирования напряжения шины при включении нагревателя. Надо убедиться, что напряжение на шине ПТ не будет проседать при включении нагревателя, что говорит о том, что в ЭРА-10 шина подключена к сети напрямую, без зарядного резистора.
   2. Заряд начинается при достижении напряжения на шине уставки. Задается в параметре. Диапазон от 0 до 400В. Шаг 1В. По умолчанию 264В (-15% от сети). Прекращается при снижении напряжения сети до значения (Uмассива ячеек измеренное + 10В (задается в параметре. С шагом 0,1В. ))
2. Ограничение зарядного тока суперконденсаторов
   1. Уставка зарядного тока должна быть в параметре. Диапазон от 0,1 до 10А. Шаг 0,1А. По умолчанию 5А.
   2. При старте инвертора ток плавно нарастает от 0 до уставки. Время нарастания задается в параметре. Диапазон от 1 до 100 сек. Шаг 1сек. По умолчанию 10 сек.
3. Задание напряжения заряда
   1. в параметре должна задаваться уставка по напряжению, до которого будет заряжаться весь массив ячеек. Диапазон от 1 до 360В. Шаг 1В. По умолчанию 310.
   2. После достижения уставки по напряжению заряд ячеек прекращается и ключи в стойках размыкаются.
   3. Заряд также прекращается при достижении напряжения на ячейках (Uмассива ячеек измеренное + 10В). Надо оставить какой-то один порог. Отладим на макете.

**Работа в режиме отдачи энергии**

1. При снижении напряжения на шине ПТ (ADC123\_IN10) ниже уставки (задается в параметре. Диапазон от 0 до 360В. Шаг 1 В. По умолчанию 260В) и условии, что напряжение на массиве ячеек больше этой уставки, включаем ключ ON\_VT\_UPS\_ST.
2. Ключ должен открываться в режиме ШИМирования для поддержания заданного тока разряда. ШИМ нужен также для ситуации когда напряжение на массиве больше, чем в звене ПТ ЭРА-10 и чтобы не произошел бросок тока.
3. Ток разряда задается в параметре (диапазон от 0 до 10А, шаг 0,1А, по умолчанию 5А). Должен быть реализован ограничитель тока, если ток меньше ограничения, то плавно приоткрываем ШИМ до полного раскрытия с контролем ограничения. Датчик измерения тот же, который использовался для контроля тока заряда, но ток изменит знак.
4. Открытие ШИМа ключа должно производиться плавно. Время задается в параметре. От 0 до 100 мс. Шаг минимальный. По умолчанию 20 мс.
5. Ключ должен быть отключен при наступлении события превышения тока в канале. Вход FAULT\_VT\_UPS\_ST.
6. Перед включением ключа должен быть отключен нагреватель. Пауза после отключения 100 мкс.
7. Перед включением ключа должен быть отключен заряд конденсаторов, т.е. отключены ключи инвертора.
8. Должно быть отключено реле шунтирующее плавный заряд звена ПТ блока НО/НЗ. Выход (ON\_RELE\_CHARGE\_ST). Необходимость отладим на макете.
9. Должна быть запись события в память хранения событий. Пишем накопленную энергию на момент включения, напряжение на массиве, ток разряда средний, максимальный.
10. Условие для отключения ключа – достижение минимального напряжения на массиве ячеек. Задается в параметре. Диапазон от 0 до 360В. Шаг 1В. По умолчанию 130В.
11. После этого переход на старт программы.
12. Если в режиме отдачи энергии, питание ЭРА-10 будет восстановлено, напряжение на датчике напряжения шины ПТ (ADC123\_IN10) станет больше напряжения с датчика на массиве ячеек (ADC123\_IN11). После превышения дельты (задается в параметре. Диапазон от 0 до 300В, шаг 1В, по умолчанию 5В), ключ ON\_VT\_UPS\_ST должен быть разомкнут. Реле плавного заряда замкнуто по условиям старта. Начата работа инвертора напряжения по восстановлению заряда массива ячеек.
13. После снижения напряжения ниже порога должен быть обеспечен полный разряд массива ячеек для обеспечения требований взрывозащиты при открытии крышки бокса подключения. На макете не реализовано.