

УДК 681.2

**КОНТРОЛЛЕР ЭНЕРГИИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ОПТИМИЗИРУЮЩИЙ**

Харитонов Пётр Тихонович, кандидат технических наук, приглашенный профессор КазНТУ им. К.И. Сатпаева, вице-президент Международного консорциума энергосберегающих и ноосферных технологий (НИИКЭНТ)

Чеботарь Антон Евгеньевич, инженер-конструктор, Международный консорциум энергосберегающих и ноосферных технологий (НИИКЭНТ)

Гусманова Мира Саменовна, преподаватель, Научно-образовательный комплекс КазИИТУ (НОК КазИИТУ)

**Аннотация**

*Контроллер солнечных батарей оптимизирующий (далее КС-01 или контроллер) предназначен для оптимального отбора энергии от солнечных батарей, заряда аккумуляторных батарей, контроля процесса заряда и разряда аккумуляторной батареи, управления нагрузкой и защиты от аномальных ситуаций. В статье представлены его параметры, аппаратно-программная реализация, преимущества и ограничения КС-01. Рассмотрены функции и границы контролируемых параметров применительно к использованию в качестве источника 4х последовательно включенных фотомодулей FSM 320М.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** контроллер солнечных батарей, режимы работы, аппаратная часть, программная реализация, КПД, аккумуляторная батарея, преобразователь понижающий, защита от перегрузок, визуализация режимов.

**OPTIMIZING CONTROLLER OF ENERGY FOR SOLAR BATTERIES**

Kharitonov Pyotr Tikhonovich, Candidate of Engineering, visiting professor at KazNTU n.a. K.I. Satpayev, vice president of the International Consortium of energy-saving and noosphere technologies

Chebotar Anton Evgenievich, design engineer, International Consortium of energy-saving and noosphere technologies

Gusmanova Mira Samenovna, lecturer at Scientific and Educational Complex KazIITU

**Abstract**

*The optimizing controller of solar batteries (further in the text KS-01 or the controller) is intended for optimum selection of energy from solar batteries, a charge of batteries, control of process of a charge and the category of the battery, management of loading and protection against abnormal situations. Its parameters, hardware program realization, advantages and restrictions of KS-01 are presented in the article. Functions and borders of controlled parameters in relation to use as a source of 4 consistently switched on FSM 320M photomodels are considered.*

**KEYWORDS:** controller of solar batteries, operating modes, hardware, program realization, efficiency, battery, converter lowering protection against overloads, visualization of the modes.

**Введение**

Широкое применение солнечных батарей – фотомодулей – ставит в число актуальных задачу обеспечения их высокой энергоэффективности. Важно обеспечить максимальное практическое использование электрической энергии, конвертируемой фотомодулями. Для бесперебойного электрического питания потребителей неизбежен вариант накопления генерируемой фотомодулями энергии в электрических аккумуляторах. Серийно выпускаемые современные фотомодули Solar Modul FSM 320М обеспечивают выходную

мощность до 320W при токе нагрузки до 8,5A. Экспериментальная панель и 4x фотомодулей этого типа, например, способна обеспечить за световой день на выходе до 10 киловатт-часов электрической энергии. Для обеспечения максимального КПД преобразования ненормированных параметров этой энергии от панели из 4x модулей FSM 320M в нормированную — номинальное постоянное напряжение 25.4 V при токе потребления до 160A — авторами предложены конструкция и структура контроллера КС-01.

Конструктивно контроллер собран на двух платах. Распределение схемы по платам производилось в соответствии с правилами разнесения силовой и логической части устройства. Совокупность функций реализована и распределена на аппаратную и программную часть КС-01.

Технические характеристики контроллера:

- входное напряжение (допустимое): 0 – 200В;
- входное напряжение (рабочее): 30 – 190В;
- выходное напряжение (ограничение): 20 – 30В;
- выходной ток (ограничение в АКБ): 1 – 30А;
- режимы заряда аккумуляторов (буфер, цикл, десульфатация);
- режимы ограничения мощности (MPPT, по U, по I);
- защита от: КЗ солнечной батареи, КЗ в нагрузке, перегрузки, перезаряда и переразряда АКБ, мигание подсветки при ошибках памяти;
- отображение и расчет параметров: выходного и входного напряжения, тока заряда и тока разряда, входной и выходной мощности, имеющейся в АКБ энергии.

### **Описание аппаратной части**

Аппаратная часть состоит из следующих узлов:

- Силовой понижающий преобразователь
- Узел управления нагрузкой
- Узел измерения напряжений и токов
- Источники опорного напряжения
- Источник опорного вычитания
- Узел источников питания
- Блок управления и индикации

### **Силовой понижающий преобразователь**

Понижающий преобразователь собран по типовой схеме однотактного понижающего преобразователя, известного в англоязычной литературе как STEPDOWN (BUCK) CONVERTER [1-2] с использованием индуктивно-емкостного накопителя электрической энергии. Входное напряжение подается с панели фотомодулей на батарею конденсаторов емкостью 800 мкФ на максимальное рабочее напряжение 220 В, выходное снимается через и ключевые полевые транзисторы и индуктивность на батарею конденсаторов емкостью 4700 мкФ х35 В. Управлять работой ключевых транзисторов приходится относительно плавающей точки, для чего применен развязывающий драйвер (DC – DC преобразователь). Управление осуществляется при помощи ШИМ от центрального микропроцессора с частотой 62,5 кГц и разрядностью 8 бит. Ограничений по управлению нет, т.е. при минимальной длительности преобразователь выключен, при максимальной – солнечная батарея подключена напрямую к АКБ.

Упрощенная схема классического понижающего DC/DC-преобразователя состоит из нескольких основных элементов (рисунок 1): силового транзистора VT1, схемы управления (СУ), фильтра (Lф-Сф), обратного диода VD1.

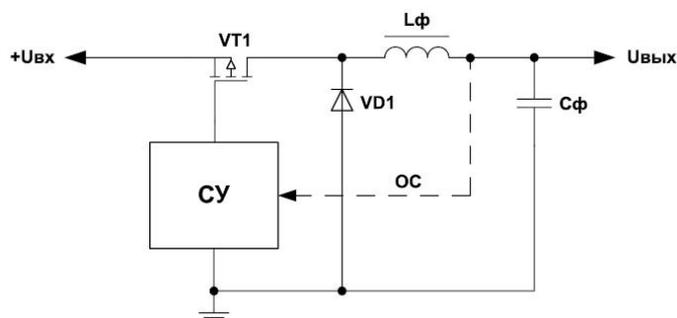


Рис. 1. Упрощенная схема понижающего преобразователя

В отличие от схемы линейного регулятора транзистор VT1 работает в ключевом режиме. Цикл работы схемы состоит из двух фаз: фазы накачки и фазы разряда (рисунок 2).

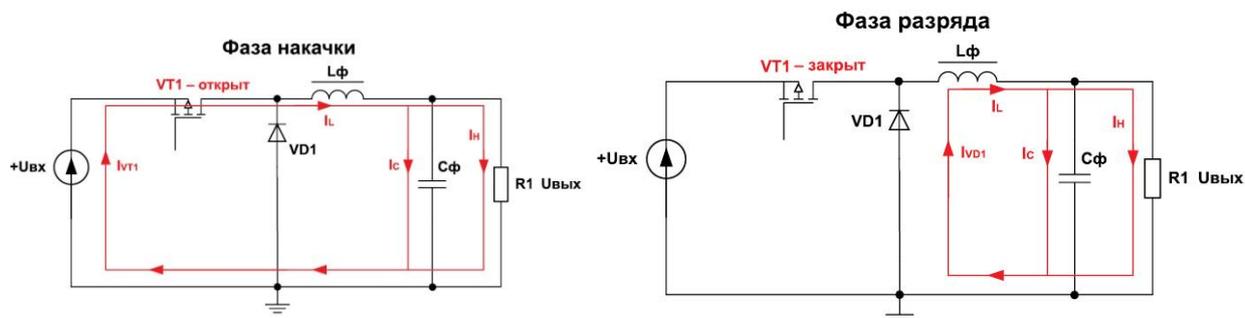


Рис. 2. Фазы работы понижающего преобразователя КС-01

В фазе накачки транзистор VT1 открыт и через него протекает ток. Происходит запасание энергии в катушке Lф и конденсаторе Сф. В фазе разряда транзистор закрыт, ток через него не протекает. Катушка Lф выступает в качестве источника тока. VD1 – диод, который необходим для протекания обратного тока. В обеих фазах к нагрузке прикладывается напряжение, равное напряжению на конденсаторе Сф.

Приведенная схема обеспечивает регулирование выходных параметров (напряжения) при изменении длительности импульса:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \times (t_i/T)$$

Если величина индуктивности мала, ток разряда через индуктивность успевает достичь нуля. Такой режим называют режимом прерывистых токов. Он характеризуется увеличением пульсаций тока и напряжения на конденсаторе, что приводит к ухудшению качества выходного напряжения и росту шумов схемы. По этой причине режим прерывистых токов используется редко.

Существует разновидность схемы преобразователя, в которой «неэффективный» диод VD1 заменен на транзистор. Этот транзистор открывается в противофазе с основным транзистором VT1. Такой преобразователь называется синхронным и имеет большой КПД.

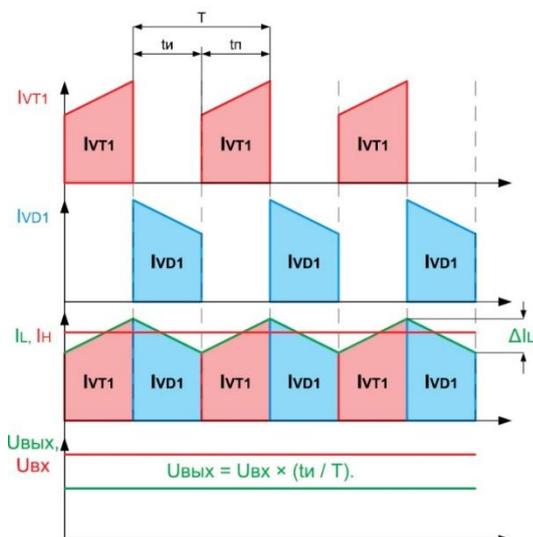


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений и токов понижающего преобразователя

На рисунке 3 представлены временные диаграммы напряжений и токов понижающего преобразователя в режиме неразрывных токов, из диаграмм видно, что за период ток подмагничивания индуктивности не становится равным нулю, этот ток и становится выходным током преобразователя, в то время как средний входной ток может быть значительно ниже. Фактически заряд индуктивности за короткие промежутки времени осуществляется от входных конденсаторов большой емкости, ток от которых может быть

несоизмеримо выше питающего тока преобразователя. Все остальное время питающий ток заряжает эти конденсаторы. Таким образом становится возможным при входной мощности, например 500Вт в виде 160В и 3,1 А без применения трансформатора заряжать АКБ напряжением 28,8В и током в 15,6 А (при КПД 90%).

**Узел управления нагрузкой**- по команде процессора он подключает/отключает нагрузку к АКБ.

**Узел измерения токов и напряжений**- производит измерение напряжения солнечных и аккумуляторных батарей. Токи солнечных и аккумуляторных батарей измеряются при помощи двух датчиков, работающих на эффекте Холла.

**Источники опорного напряжения**- формируют опорное напряжение АЦП, с которым сравниваются все результаты измерений.

**Узел источников питания**-формирует необходимые напряжения питания в нужных точках схемы. В ждущем режиме потребление схемы КС-01 определяется потреблением по данным цепям.

**Блок управления и индикации** выполнен на микропроцессоре, тактируемом от кварцевого резонатора, который используется также в качестве расширителя портов. Визуализация режимов работы КС-01 обеспечена на 8 светодиодах и в встроенном микродисплее.

Блок управления и индикации сочетает в себе 3 регулятора, реализующих управление инвертора в различных режимах: ограничение напряжения, ограничение тока и режим МРРТ. Светодиоды отображают напряжение АКБ. На микродисплее отображается настроенная информация, режимы работы или режимы настраиваемых параметров.

### **Описание программной части**

Программно в структуре КС-01 реализованы следующие функции:

1. Функция отправки байта в программный SPI.
2. Функция отправки в дисплей команды.
3. Функция отправки данных в дисплей.
4. Функция отправки координат в дисплей.
5. Функция инициализации дисплея.
6. Функция отправки символа в дисплей.
7. Функция отправки числа в дисплей.
8. Функция преобразования переменных.
9. Функция формирования читаемых строк.

10. Функция очистки строк.
11. Функция главного меню.
12. Функция отсчета временных интервалов.
13. Функция планового обновления переменных АЦП.
14. Функция калибровки датчиков тока.
15. Функция расчета величин (статистической энергии АКБ в ватт-секундах и ватт-часах, при заряде учитываются КПД АКБ, мощности АКБ и токи АКБ, а также входной и выходной мощности, степень заряда АКБ - величины, замещающей статистическую энергию АКБ по напряжению при включении контроллера, ограничение сверху статистической энергии – 105% и ограничение снизу, режимы работы (заряд/разряд/поддержание)).
16. Функция зарядного устройства (настраивает режим работы инвертора таким образом, чтобы входной ток АКБ, являющийся разностью выходного тока и входного, не превышал установку, которая задается в трехрежимном зарядном устройстве, осуществляющем поддержание, цикл или десульфатацию АКБ).
17. Функция принятия решений (функция отключает нагрузку в случае разряда АКБ, перегрузки и КЗ, также определяет режим день/ночь, соответственно блокирует преобразователь в режиме ночь).
18. Функция обработчика 3 кнопочной клавиатуры, осуществляющая фильтрацию помех, формирующая 2 типа нажатий «однократный» и «быстрый счет».
19. Функция интегрального регулятора напряжения и тока, самоблокирующаяся при активности МРРТ.
20. Функция оптимизации МРРТ (функция сравнивает 2 значения мощности текущее и прошлое, на основе этого выбирает направление счета оптимизации)
21. Функция сохранения всех настроенных параметров.
22. Функция вывода данных в канал SPI (тут же вычисляется значение «светодиодного» напряжения).
23. Функция стандартного обработчика клавиатурных нажатий
24. Функция настройки (каждой строки, паспортной емкости АКБ, КПД АКБ, напряжения АКБ минимального, поддержки и максимального, тока заряда АКБ и ограничения выходного тока, режима заряда и разрешения счета реальной емкости)
25. Функция управления подсветкой дисплея.
26. Функция инициализации устройства (осуществляет проверку энергонезависимой памяти, проверку правильности параметров (в случае ошибок мигает

подсветкой и перезаписывает параметры по умолчанию) осуществляет калибровку датчиков тока).

27. Функция «точка» входа (инициализация периферии процессора), формирование основного цикла программы.

Программа работает, используя совокупность вышеприведенных функций, запуская и останавливая их в определенное время. Одни функции строятся на основе других. Помимо вышеприведенных функций, в программе используется 2 прерывания для формирования требуемых функциям интервалов времени.

Информация на дисплее в различных режимах из модели PROTEUS представлена на рисунке 4:

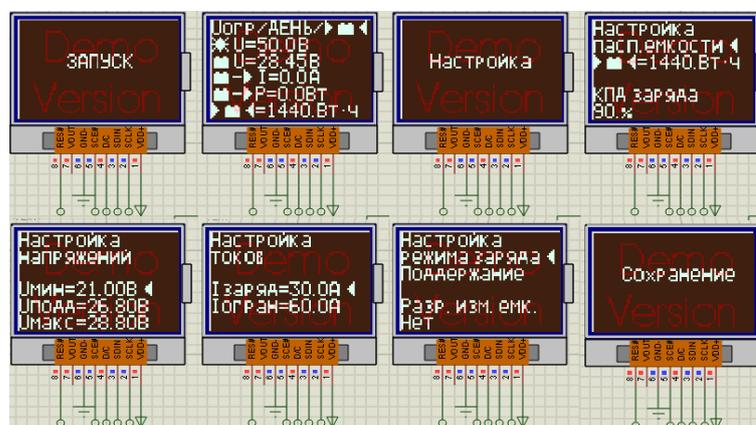


Рис. 4. Структура меню КС-01

## Выводы

### *Преимущества реализованной схемы и структуры КС-01*

1. Высокий КПД схем преобразования.

Применение импульсного понижающего преобразователя оставляет КПД схемы на высоком уровне (в различных режимах работы от 85% до 95%), что в любом случае дает существенный выигрыш использования предложенной МРРТ схемы по сравнению с серийными аналогами.

2. МРРТ оптимизация дает до 40% прироста энергии от тех же солнечных батарей за счет реализации «экстремального регулятора мощности» [3].

3. Относительная простота составляющих конструкции дает неприхотливость конструкции и высокую ремонтпригодность. Так же реальным остается изменение почти любых параметров схемы в нужную сторону (входного и выходного напряжения, тока, емкости электрического аккумулятора и т.д.)

### *Ограничения реализованной схемы КС-01 и пути их минимизации*

1. Главным недостатком конструкции является относительная сложность общей схемы, следствием которой является ее аномально высокое энергопотребление. В режиме «ДЕНЬ» схема может потреблять до 150 мА, а в режиме «НОЧЬ» до 120 мА. При использовании АКБ сравнительно небольшой емкости, данный ток способен в ночное время заметно «подсадить» и так разряженную батарею. Данный недостаток является ликвидируемым и при сравнительно небольших модификациях принципиальной схемы. Есть возможность снизить потребляемый ток более чем в 10 раз в дневное время и более чем в 100 раз в ночное.

2. Вторым по важности ограничением является отсутствие аппаратной защиты от короткого замыкания выхода. Если ток короткого замыкания будет ограничен хотя бы на уровне 200А (вышедший из строя инвертор 220В) программная защита от короткого замыкания гарантировано отключит выход. Однако, если короткого замыкания возникнет непосредственно около MPPT контроллера, за время срабатывания (64 мс максимум) программной защиты, ток ограничен не будет и не исключен выход из строя мощных выходных транзисторов защиты от перегрузок.

Разработка КС-01 выполнена в рамках работ [4] по обеспечению бесперебойного электрического питания экспериментального образца обратимой ГТЭС от панели из 4х фотомодулей FSM 320М.

### Литература

1. <http://www.solarhome.ru/ru/control/mppt> [Электронный ресурс].
2. <http://www.compel.ru/lib/ne/2014/6/7-do-61-v-na-vhode-novyie-dc-dc-preobrazovateli-ot-stmicroelectronics/> [Электронный ресурс].
3. Харитонов П.Т., Ахметов Б.С., Балгабаева Л.Ш., Киселева О.В. Экстремальный регулятор отбираемой мощности от электрического генератора мобильных микро ГЭС с информационными системами // Сборник «Фундаментальные и прикладные науки сегодня». — USA, North Charleston, 22-23 мая 2014, том 1. С. 131-133.
4. НИР МОН РК по проекту №757.ПЦФ.АЭ.14.1 «Разработка энергоэффективных технологий на основе альтернативных источников энергии на 2014-2016 годы».