

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2834244

### СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДВУНАПРАВЛЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭНЕРГИИ

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Бельский Алексей Анатольевич (RU), Орел Евгений Александрович (RU), Шпенст Вадим Анатольевич (RU)*

Заявка № 2024116643

Приоритет изобретения 18 июня 2024 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 05 февраля 2025 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 18 июня 2044 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G05F 1/46 (2024.08); H02J 3/00 (2024.08); H02M 3/158 (2024.08)

(21)(22) Заявка: 2024116643, 18.06.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.06.2024Дата регистрации:  
05.02.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.06.2024

(45) Опубликовано: 05.02.2025 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

190106, Санкт-Петербург, 21 линия, В.О., 2,  
ФГБОУ ВО "СПбГУ им.Екатерины II,  
Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Бельский Алексей Анатольевич (RU),  
Орел Евгений Александрович (RU),  
Шпенст Вадим Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет императрицы Екатерины II"  
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2476978 C2, 27.02.2013. RU  
2576664 C1, 10.03.2016. SU 758373 A1, 23.08.1980.  
US 2003/0043597 A1, 06.03.2003.

## (54) СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ДВУНАПРАВЛЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭНЕРГИИ

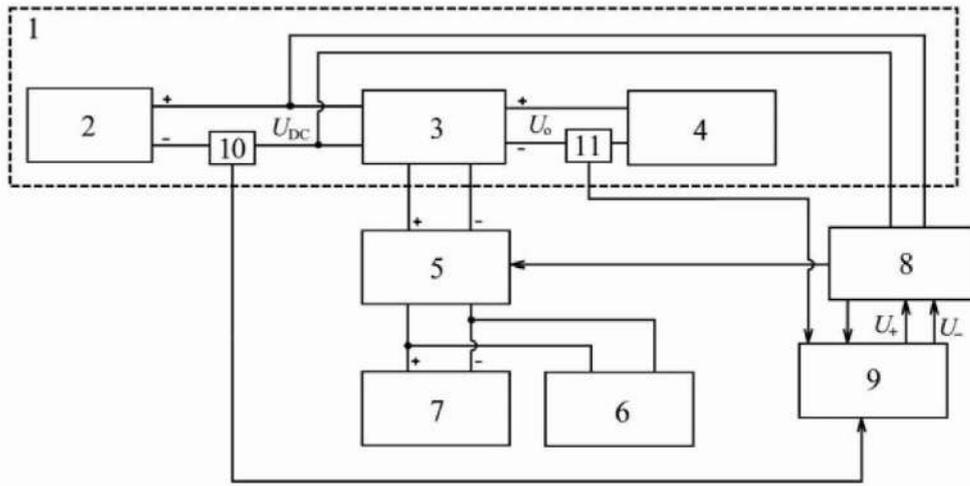
(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники, в частности к способам управления энергопреобразующей аппаратурой в составе автономных электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии. Техническим результатом является снижение электрических потерь проводимости. Он достигается тем, что предложен способ управления двунаправленной передачей энергии между первой схемой и второй схемой, причем первая схема содержит источник питания, включающий этап передачи электрической

энергии из первой схемы во вторую схему в первом режиме работы в соответствии с наличием неиспользуемой энергии в первой схеме, и этап передачи электрической энергии из второй схемы в первую схему во втором режиме работы в соответствии с отсутствием энергии в первой схеме, причем двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный повышает напряжение энергопередачи  $U_{DC}$  в точке соединения двух схем и ведет передачу на оптимальном с точки зрения потерь уровне. 3 ил., 9 табл.

RU 2 834 244 C1

RU 2 834 244 C1



Фиг. 1

RU 2834244 C1

RU 2834244 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G05F 1/46 (2024.08); H02J 3/00 (2024.08); H02M 3/158 (2024.08)*

(21)(22) Application: **2024116643, 18.06.2024**

(24) Effective date for property rights:  
**18.06.2024**

Registration date:  
**05.02.2025**

Priority:

(22) Date of filing: **18.06.2024**

(45) Date of publication: **05.02.2025** Bull. № 4

Mail address:

**190106, Sankt-Peterburg, 21 liniya, V.O., 2, FGBOU  
VO "SPbGU im.Ekateriny II, Patentno-  
litsenzyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Belskii Aleksei Anatolevich (RU),  
Orel Evgenii Aleksandrovich (RU),  
Shpenst Vadim Anatolevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi  
universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)**

(54) **METHOD OF CONTROLLING BIDIRECTIONAL ENERGY TRANSFER**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to the field of electrical engineering, in particular to methods of controlling energy-converting equipment as part of autonomous electrotechnical complexes with renewable energy sources. Proposed method of controlling bidirectional energy transfer between a first circuit and a second circuit, wherein the first circuit comprises a power supply comprising a step of transmitting electrical energy from the first circuit to the second circuit in a first mode of operation in accordance with

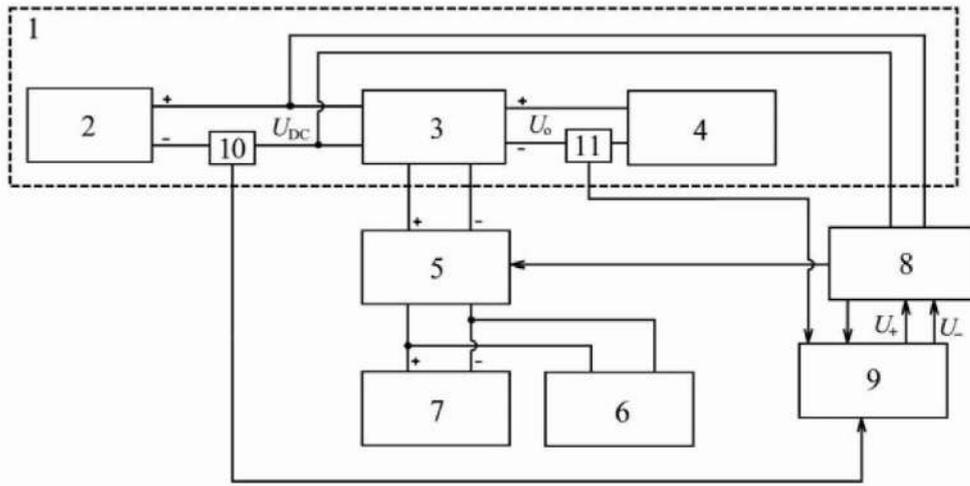
the presence of unused energy in the first circuit, and a step of transmitting electrical energy from the second circuit to the first circuit in a second operating mode in accordance with the absence of energy in the first circuit, wherein the bidirectional DC-to-DC converter increases the power transmission voltage  $U_{DC}$  at the connection point of the two circuits and conducts transmission at an optimum level in terms of losses.

EFFECT: reduction of electrical conductivity losses.

1 cl, 3 dwg, 9 tbl

**RU 2 834 244 C1**

**RU 2 834 244 C1**



Фиг. 1

RU 2834244 C1

RU 2834244 C1

Изобретение относится к области электротехники, в частности к способам управления энергопреобразующей аппаратурой в составе электротехнических комплексов с возобновляемыми источниками энергии. Данное изобретение может быть использовано для повышения эффективности передачи энергии в процессе заряда и разряда

5 аккумулятора.

Известен способ заряда аккумуляторной батареи от солнечной панели (Монк С. Электроника. Сборник рецептов: решения на базе Arduino и RaspberryPi.: Пер. с англ. – СПб.: ООО «Диалектика», 2019, с. 154), заключающийся в том, что аккумулятор

10 подключают к солнечной панели через разделительный диод и токоограничивающий резистор.

Недостатком способа являются высокие тепловые потери мощности на резисторе, а также неконтрольность тока заряда аккумулятора.

Известен способ заряда аккумуляторной батареи от солнечной панели (патент CN 101989748 А, опубл 23.03.2011), при котором параметры электроэнергии от солнечной

15 панели стабилизируют при помощи линейного транзисторного регулятора.

Недостатком способа является низкий КПД линейного регулятора при высокоинтенсивном свете, поскольку при повышении тока заряда выше номинала все излишки мощности рассеиваются на регуляторе в виде тепла, не поступая в аккумулятор. В результате данная часть вырабатываемой панелью мощности безвозвратно теряется.

Известен способ питания нагрузки от солнечной батареи (патент РФ 2279705, опубл. 10.07.2006), заключающийся в том, что для заряда аккумуляторной батареи от солнечной

20 панели используют импульсный преобразователь повышающего типа с обратной связью по напряжению, благодаря чему в условиях нестабильной генерации от возобновляемого источника аккумулятор получает стабилизированное напряжение

25 питания с малыми тепловыми потерями. Недостатком способа является низкий коэффициент использования установленной мощности солнечной панели, поскольку импульсный преобразователь напряжения, подключенный к панели, отбирает от нее ровно столько мощности, сколько нужно для задачи стабилизации напряжения батареи. Таким образом, рабочая точка солнечной

30 панели в общем случае не соответствует максимуму генерации. Известен способ заряда аккумуляторной батареи от возобновляемого источника (патент US 8072187 В2, опубл. 06.12.2011), согласно которому для питания аккумуляторной батареи и подключенной параллельно с ней нагрузки от солнечной

35 панели используют импульсный преобразователь напряжения, работающий в режиме отбора максимальной мощности и задающий рабочую точку солнечной панели на максимуме генерации, при этом количество генерируемой мощности непрерывно сравнивается с пороговым уровнем, равным предельной мощности, которую могут безопасно потребить аккумуляторная батарея и нагрузка, и если панель начинает генерировать больше, то производится ограничение мощности генерации.

40 Недостатком способа является зависимость качества питания нагрузки от характеристик аккумуляторной батареи, поскольку батарея и нагрузка подключены параллельно, в результате чего в зависимости от степени износа батареи и уровня ее заряда напряжение на нагрузке сильно варьируется, из-за чего возникают проблемы со стабильностью работы нагрузки.

45 Известен двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный для управления накопителем энергии при отводе энергии (патент РФ № 2476978, опубл. 27.02.2013), принятый за прототип, согласно которому первичный источник энергии питает нагрузку, но к шине питания между источником и нагрузкой отдельно подключен

двунаправленный преобразователь постоянного напряжения, на противоположном конце которого подключена аккумуляторная батарея, причем сам преобразователь работает в двух режимах: отбора излишка сгенерированной источником энергии на заряд аккумуляторной батареи, либо компенсации нехватки энергии путем разряда аккумуляторной батареи, при этом оценка уровня энергии производится измерением напряжения на нагрузке, в результате чего двунаправленный преобразователь переходит в режим заряда аккумуляторной батареи, когда напряжение на нагрузке превышает определенный верхний порог, и, наоборот, черпает энергию из аккумулятора, когда напряжение на нагрузке становится меньше заданного нижнего порога.

Недостатком способа являются высокие потери мощности при передаче электроэнергии от первичного источника до аккумулятора и нагрузки, вызванные низким уровнем используемого для передачи напряжения. Поскольку передаваемая мощность равна произведению силы тока на напряжение, то при низком уровне напряжения требуется передавать больший ток, что приводит к росту электрических потерь проводимости.

Техническим результатом является снижение электрических потерь проводимости.

Технический результат достигается тем, что двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный повышает напряжение энергопередачи  $U_{DC}$  в точке соединения двух схем и ведет передачу на оптимальном с точки зрения потерь уровне, при этом пороговые уровни напряжения энергопередачи  $U_+$  и  $U_-$  задает вычислитель оптимального уровня напряжения, на вход которого поступают данные от выходов блока измерения напряжения источника питания, датчика тока источника питания и датчика тока нагрузки, после этого аналитически высчитывает уровень потерь мощности в первой и второй схемах при разных  $U_+$  и  $U_-$  и находит самое энергоэффективное значение, затем вычислитель оптимального уровня напряжения передает найденные значения на вход блока измерения напряжения источника питания, который задает режим работы двунаправленного преобразователя постоянного тока в постоянный при этом уровень напряжения  $U_{DC}$  остается в коридоре допустимых значений от нижнего уровня  $U_-$  до верхнего  $U_+$ .

в коридоре допустимых значений от нижнего уровня  $U_-$  до верхнего  $U_+$ .

Способ поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 – структурная схема системы;

фиг. 2 – математическая модель проверки способа;

фиг. 3 – осциллограммы напряжения промежуточной шины постоянного тока и суммарного уровня потерь в системе, где:

1 – первая схема;

2 – источник питания;

3 – понижающий преобразователь постоянного тока;

4 – нагрузка;

5 – двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный;

6 – вторая схема;

7 – устройство для аккумуляции энергии;

8 – блок измерения напряжения источника питания;

9 – вычислитель оптимального уровня напряжения;

10 – датчик тока источника питания;

11 – датчик тока нагрузки.

Способ осуществляется следующим образом. В первой схеме 1 (фиг. 1) источник

питания 2 генерирует мощность  $P_{in}$ . Переданную мощность потребляет понижающий преобразователь постоянного тока 3, питаая нагрузку 4 электрической мощностью  $P_{DC\_out}$  со стабилизированным напряжением  $U_0$ . Оставшуюся разницу мощностей  $P_{DC\_in}$  и  $P_{DC\_out}$  компенсирует двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный 5. Компенсация производится последовательно два этапа. На этапе передачи электрической энергии из первой схемы 1 во вторую схему 6 в первом режиме работы двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный 5 передает неиспользуемую энергию в первой схеме 1 в устройство для аккумулирования энергии 7, откуда затем она переходит во вторую схему 6. На этапе передачи электрической энергии из второй схемы 6 в первую схему 1 во втором режиме работы при отсутствии энергии в первой схеме 1, энергия из второй схемы 6 перетекает в устройство для аккумулирования энергии 7, откуда двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный 5 передает энергию в первую схему.

Момент переключения между первым и вторым режимом определяет блок измерения напряжения источника питания 8, который измеряет уровень его напряжения  $U_{DC}$  и отслеживает, чтобы он оставался в коридоре допустимых значений от нижнего уровня  $U_-$  до верхнего  $U_+$ .

От выхода блока измерения напряжения источника питания 8, данные передаются на вход вычислителя оптимального уровня напряжения 9, который задает пороговые уровни  $U_+$  и  $U_-$ .

Пороговые уровни  $U_+$  и  $U_-$  задает вычислитель оптимального уровня напряжения 9, который получает на вход данные от выходов блока измерения напряжения источника питания 8, датчика тока источника питания 10, датчика тока нагрузки 11, и аналитически высчитывает уровень потерь мощности в первой схеме 1 и второй схеме 6 при разных  $U_+$  и  $U_-$  и находит самое энергоэффективное значение. Затем вычислитель оптимального уровня напряжения 9 передает найденные значения на вход блока измерения напряжения источника питания 8. Блок измерения напряжения источника питания 8 задает режим работы двунаправленного преобразователя постоянного тока в постоянный 5 так, чтобы уровень напряжения  $U_{DC}$  оставался в коридоре допустимых значений от нижнего уровня  $U_-$  до верхнего  $U_+$ .

Снижаются суммарные электрические потери проводимости при передаче энергии между первой схемой, содержащей источник питания, и второй схемой за счет того, что двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный 5 искусственно повышает напряжение энергопередачи  $U_{DC}$  в точке соединения этих схем и ведет передачу на этом оптимальном с точки зрения потерь уровне, в отличие прототипа.

Способ поясняется следующими примерами. Проведен расчет пороговых уровней напряжения шины постоянного тока  $U_+$  и  $U_-$  для системы, представленной на фиг. 1.

Параметры системы представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры системы питания

Исходные данные для расчета			
Выходной ток источника питания первой схемы	$I_{DC} =$	1,25	А
Номинальное выходное напряжение источника питания первой схемы	$U_{DC\_ном} =$	48	В
Допустимый диапазон значений напряжения источника питания первой схемы	$U_{DC} =$	48...100	В
Напряжение питания нагрузки	$U_0 =$	12	В

	Мощность нагрузки	$P_O =$	18	Вт
	Верхний пороговый уровень для перехода двунаправленного преобразователя постоянного тока в постоянный в режим заряда	$U_+ =$	$U_{DC} + 5\%$	В
	Нижний пороговый уровень для перехода двунаправленного преобразователя постоянного тока в постоянный в режим разряда	$U_- =$	$U_{DC} - 5\%$	В
5	Номинальное напряжение устройства для аккумулирования энергии и второй схемы	$U_{АКБ} =$	24	В

Параметры преобразователей напряжения в составе системы питания приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры преобразователей напряжения

10	Показатели	Двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный	Понижающий преобразователь питания нагрузки
	режим работы	заряд/разряд аккумулятора	стабилизация напряжения нагрузки
	схема	повышающе-понижающая	понижающая
Транзисторы			
	тип	полевые	полевые
15	рабочая частота ШИМ, $f_s$	100 кГц	100 кГц
	сопротивление в состоянии проводимости, $r_{DS}$	0,002 Ом	0,002 Ом
	среднее время переключения, $T_f$	30 нс	30 нс
	емкость сток-исток, $C_{DS}$	100 пФ	100 пФ
20	напряжение открытия на затворе, $U_g$	12 В	12 В
	заряд на затворе для открытия, $Q_g$	800 пФ	1200 пФ
Диоды			
	противо-ЭДС, $U_f$	0,4 В	0,3 В
	динамическое сопротивление, $R_d$	0,9 Ом	0,9 Ом
25	среднее время переключения, $T_f$	45 нс	45 нс
Дроссель			
	индуктивность, $L$	50 мкГн	50 мкГн
Конденсаторы			
	емкость, мкФ	1100	1200

30 В памяти вычислителя оптимального уровня напряжения 9 хранятся модели потерь мощности всех преобразователей напряжения системы, каждая из которых представляет собой некоторую алгебраическую функцию от переменных, приведенных в табл. 1 и 2. Модели приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Модели потерь мощности преобразователей

35	Преобразователь	Модель потерь мощности
	Понижающий преобразователь постоянного тока 3	$P_{\text{loss\_load}} = r_{DS} D \left( \frac{P_o}{U_o} \right)^2 + Q_g U_g f_s + \frac{1}{2} C_f U_o^2 f_s +$ $+ R (1-D) \left( \frac{P_o}{U_o} \right)^2 + U_f \left( \frac{P_o}{U_o} \right) (1-D) + \frac{1}{6} (T_f P_o f_s),$ <p style="text-align: center;">(1) где <math>D = \frac{U_o}{U_{DC}}</math> (2)</p>
40		
45		

Двухнаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный 5

$$P_{\text{loss\_bat}} = r_{DS} D \left( \frac{\Delta P}{U_{\text{BAT}}} \right)^2 + Q_g U_g f_s + \frac{1}{2} C_f U_{\text{BAT}}^2 f_s +$$

$$+ R(1-D) \left( \frac{\Delta P}{U_{\text{BAT}}} \right)^2 + U_f \left( \frac{\Delta P}{U_{\text{BAT}}} \right) (1-D) + \frac{1}{6} (T_r \Delta P f_s),$$

где

$$\Delta P = P_{\text{DC\_in}} - P_{\text{DC\_out}} \quad (3)$$

$$D = \frac{U_{\text{BAT}}}{U_{\text{DC}}} \quad (4)$$

(5)

Алгоритм работы вычислителя оптимального уровня напряжения промежуточной шины 9 состоит из следующих шагов.

Шаг 1: Вычисление мощности  $P_{\text{DC\_in}}$ , генерируемой источником питания при разных уровнях напряжения  $U_{\text{DC}}$ . Выражение для расчета имеет вид

$$P_{\text{DC\_in}} = U_{\text{DC}} I_{\text{DC}} \quad (6)$$

Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Мощность, приходящая от источника питания

$U_{\text{DC}}$ , В	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
$P_{\text{DC\_in}}$ , Вт	65,0	65,3	65,5	65,8	66,0	66,2	66,3	66,5	66,6	66,7	66,8	66,9	67,0	67,1

Шаг 2: Вычисление функции потерь мощности  $P_{\text{loss\_load}}$  понижающего преобразователя постоянного тока, питающего нагрузку, относительно напряжения  $U_{\text{DC}}$ . Подставив численные значения переменных из табл. 1 и 2 в формулу (1), получим выражение

$$P_{\text{loss\_pv}} = \frac{190 + 9,1 U_{\text{DC}}}{U_{\text{DC}}} \quad (7)$$

Шаг 3: Расчет потерь  $P_{\text{loss\_load}}$  на основании выражения (7) при разных уровнях напряжения  $U_{\text{DC}} = [48 \dots 100 \text{ В}]$ . Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 5 – Потери  $P_{\text{loss\_load}}$  при разных уровнях напряжения  $U_{\text{DC}}$

$U_{\text{DC}}$ , В	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
$P_{\text{loss\_load}}$ , Вт	12,9	12,7	12,5	12,3	12,2	12,0	11,9	11,8	11,7	11,7	11,6	11,5	11,4	11,3

Шаг 4. Расчет мощности  $P_{\text{DC\_out}}$ , потребляемой понижающим преобразователем постоянного тока, питающим нагрузку, с учетом внутренних потерь. Выражение для расчета потерь имеет вид

$$P_{\text{DC\_out}} = P_{\text{loss\_load}} + P_o \quad (8)$$

Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 6 – Мощность, потребляемая с шины постоянного тока

$U_{\text{DC}}$ , В	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
$P_{\text{DC\_out}}$ , Вт	30,9	30,7	30,5	31,1	30,3	30,0	29,9	29,8	29,7	29,7	29,6	29,5	29,4	29,3

Шаг 5. Расчет разницы приходящей и уходящей мощностей в системе  $\Delta P = (P_{\text{DC\_in}} -$

$P_{DC\_out}$ ). Данная разница будет направлена на заряд устройства для аккумуляции энергии 7. Результаты расчета приведены в табл. 6.

Таблица 7 – Мощность, направляемая на заряд аккумуляторной батареи

5	$U_{DC}, В$	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	$\Delta P, Вт$	34,1	34,6	35,0	35,7	35,7	36,2	36,4	36,7	36,9	37,0	37,2	37,4	37,6	37,8

Шаг 6. Вычисление функции потерь мощности  $P_{loss\_bat}$  двунаправленного преобразователя напряжения 5 относительно напряжения  $U_{DC}$ . Подставив численные значения переменных из табл. 1 и 2 в формулу (3), получаем выражение

$$P_{loss\_bat} = \frac{28,8 + 0,00044\Delta P^2 + 0,048\Delta P}{U_{DC}} \quad (9)$$

Шаг 8. Расчет потерь  $P_{loss\_bat}$  на основании выражения (9) при разных уровнях напряжения  $U_{DC} = [48...100 В]$ . Результаты приведены в табл. 7.

Таблица 8 – Потери  $P_{loss\_bat}$  при разных уровнях напряжения  $U_{DC}$

	$U_{DC}, В$	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	$P_{loss\_bat}, Вт$	2,38	2,49	2,57	2,63	2,69	2,74	2,78	2,82	2,98	3,15	3,29	3,41	3,51	3,59

Шаг 8. Расчет суммарных потерь мощности всей системы  $\Sigma P$ . Расчет осуществляется по формуле

$$\Sigma P = P_{loss\_bat} + P_{loss\_load} \quad (10)$$

Результаты расчета приведены в табл. 8.

Таблица 9 – Суммарные потери мощности в системе

	$U_{DC}, В$	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	$\Sigma P, Вт$	15,3	15,2	15,1	14,9	14,9	14,8	14,8	14,7	14,8	14,8	14,9	14,9	15,0	15,1

Шаг 9. Определение минимума потерь мощности  $\Sigma P$ . Сравнивая результаты из табл. 8 друг с другом, находим, что минимум потерь  $\Sigma P$  характерен для оптимального уровня  $U_{DC\_opt} = 76 В$ .

Шаг 10. Выставление пороговых уровней  $U_+$  и  $U_-$  в окрестностях найденного оптимального уровня:

$$U_- = U_{DC\_opt} - 5\% = 76 - 0,05 \cdot 76 = 72,2 В$$

$$U_+ = U_{DC\_opt} + 5\% = 76 + 0,05 \cdot 76 = 79,8 В$$

Коэффициент  $K$  отношения суммарных потерь мощности при номинальном уровне  $U_{DC\_ном}$  к суммарным потерям при найденном оптимальном уровне  $U_{DC\_opt}$  составляет

$$K = \frac{\Sigma P(U_{DC\_ном})}{\Sigma P(U_{DC\_opt})} = \frac{15,3}{14,7} = 1,04$$

Таким образом, разработанный способ управления двунаправленной передачей энергии между схемой с возобновляемым источником энергии и схемой с аккумулятором позволяет повысить энергоэффективность процессов заряда и разряда аккумуляторной батареи.

Проверка предлагаемого способа управления двунаправленной передачей энергии между схемой с возобновляемым источником энергии и схемой с аккумулятором проведена посредством имитационного компьютерного моделирования в среде MATLAB/Simulink. Разработанная математическая модель (фиг.2) составлена для

условий: выходное напряжение источника питания  $U_{DC} = 24$  В, температура солнечной панели  $T = 25^\circ\text{C}$ , интенсивность падающего солнечного света колеблется в районе  $J = 600 \dots 800$  Вт/м<sup>2</sup>, номинальная мощность солнечной панели  $P_{PV} = 75$  Вт, номинальное напряжение устройства для аккумулирования энергии  $U_{АКБ} = 24$  В, напряжение питания нагрузки  $U_O = 12$  В мощность нагрузки  $P_O = 25$  Вт, допустимый диапазон возможных значений напряжения промежуточной шины постоянного тока  $U_{DC} = 48 \dots 100$  В. Источник питания выведен на режим генерации максимальной мощности при помощи блока управления «SolarPanelMaximumPowerPointTracker». Управление двунаправленным преобразователем постоянного тока в постоянный производится в блоке «ControlofenergystoragebidirectionalBuck-Boostconverter». Управление понижающим преобразователем постоянного тока осуществляется в блоке «ControlofLoadBuckConverter». Расчет оптимального уровня напряжения источника питания производится в блоке «OptimalU\_DCVoltageCalculator». Визуализация токов, напряжений и мощностей производится в блоке «measure».

На фиг. 3 показан результат имитационного моделирования. Приведены графики напряжения промежуточной шины постоянного тока  $U_{DC}$  и графики суммарных потерь системы  $\sum P$ . В интервале времени  $t = 4 \dots 8$  мин производится переключение уровня напряжения источника питания с номинального значения  $U_{DC} = 48$  В на математически высчитанный оптимальный уровень. Вследствие этого суммарные потери мощности системы оказываются ниже по сравнению с потерями на номинальном уровне.

В результате реализация предлагаемого способа позволила сократить суммарные электрические потери проводимости при передаче энергии между первой схемой с возобновляемым источником энергии и второй схемой за счет того, что двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный искусственно повышает напряжение энергопередачи  $U_{DC}$  и ведет передачу на этом оптимальном с точки зрения потерь уровне.

### 30 (57) Формула изобретения

Способ управления двунаправленной передачей энергии между первой схемой и второй схемой, причем первая схема содержит источник питания, включающий этап передачи электрической энергии из первой схемы во вторую схему в первом режиме работы в соответствии с наличием неиспользуемой энергии в первой схеме, на котором осуществляют аккумулирование энергии из первой схемы в аккумулирующем элементе и передают энергию из аккумулирующего элемента во вторую схему, и этап передачи электрической энергии из второй схемы в первую схему во втором режиме работы в соответствии с отсутствием энергии в первой схеме, на котором осуществляют аккумулирование энергии из второй схемы в аккумулирующем элементе и передают энергию из аккумулирующего элемента в первую схему, отличающийся тем, что двунаправленный преобразователь постоянного тока в постоянный повышает напряжение энергопередачи  $U_{DC}$  в точке соединения двух схем и ведет передачу на оптимальном с точки зрения потерь уровне, при этом пороговые уровни напряжения энергопередачи  $U_+$  и  $U_-$  задает вычислитель оптимального уровня напряжения, на вход которого поступают данные от выходов блока измерения напряжения источника питания, датчика тока источника питания и датчика тока нагрузки, после этого аналитически высчитывает уровень потерь мощности в первой и второй схемах при разных  $U_+$  и  $U_-$  и находит самое энергоэффективное значение, затем вычислитель

оптимального уровня напряжения передает найденные значения на вход блока измерения напряжения источника питания, который задает режим работы двунаправленного преобразователя постоянного тока в постоянный, при этом уровень напряжения  $U_{DC}$  остается в коридоре допустимых значений от нижнего уровня  $U_-$  до верхнего  $U_+$ .

10

15

20

25

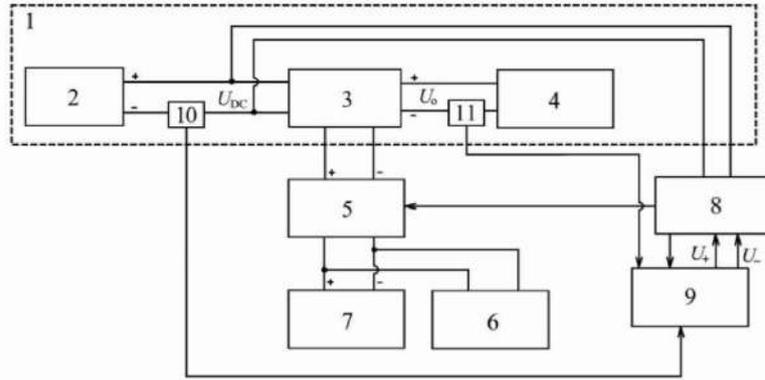
30

35

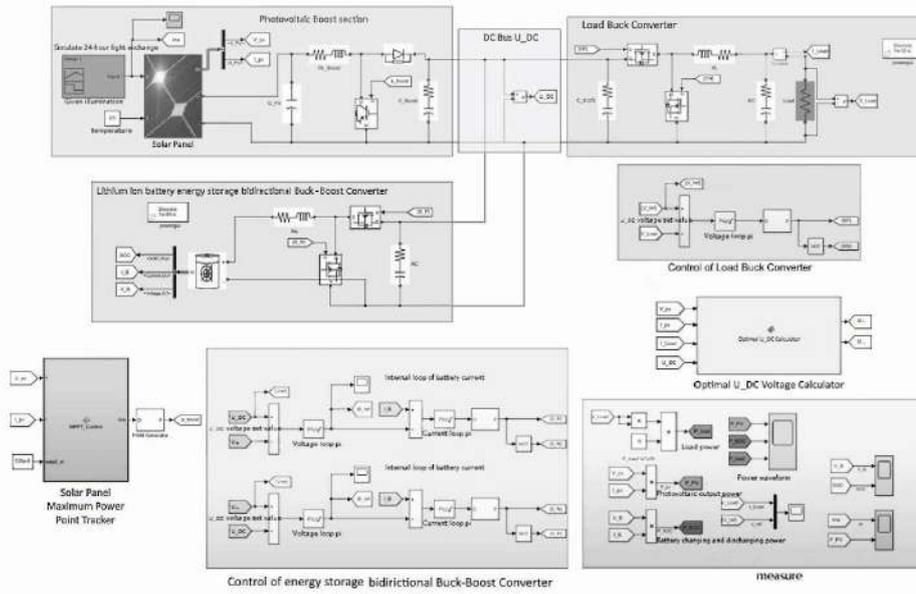
40

45

1

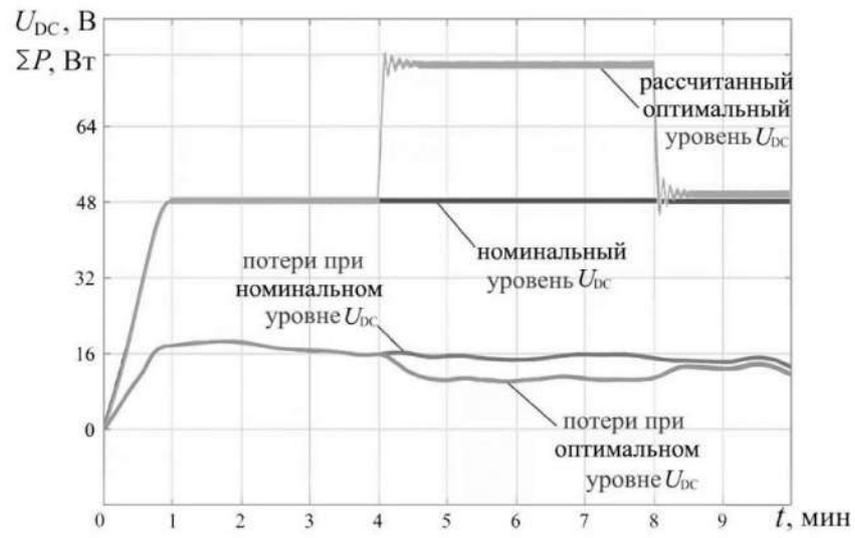


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3