

UDC 621.37

INVESTIGATION OF PASSENGER LIFT FAILURE BY THE OPERATION DATA

N.A. Shpet, O.P. Muravlev

Tomsk Polytechnic University

The article is devoted to investigation of reliability of passenger lifts during operational process and obtaining quantitative failure data required to repair and improve the technical service system. The paper considers lift construction and its main elements. All elements of a passenger lift were ordered with the help of the system analysis, their subordination and relationships were determined; the structural model was built and presented as a tree of goals with hierarchical structure which determines the order of reliability calculation. Using sampling inquiry the interval censored sample considering the availability of failed and working lifts was formed. The authors studied the operational observation materials recorded in control station journals. The obtained statistical information was analyzed and distribution of failures of lift elements was introduced at all levels of the tree of goals.

Key words:

Passenger lift, hoist, asynchronous motor, operating reliability, failure, systems analysis, censored samples.

REFERENCES

1. Volkov D.P. *Lifty (Lifts)*. Moscow, ASV Publ., 1999. 480 p.
2. Peregodov F.I., Tarasenko F.P. *Osnovy sistemnogo analiza (Fundamentals of system analysis)*. Tomsk, NTL Publ., 2001. 396 p.
3. *Lift passazhirskiy (Passenger lift). Rukovodstvo po ekspluatatsii 0601.00.00.000 RE (Operation manual 0601.00.00.000 RE)*. Moscow, Shcherbinskiy liftostroitelnyy zavod, 2010. 176 p.
4. Skripnik V.M., Nazin A.E., Prikhodko Yu.G., Blagoveshchenskiy Yu.N. *Analiz nadezhnosti tekhnicheskikh sistem po tsenzurovannym vyborkam (Analysis of reliability of technical systems censored samples)*. Moscow, Radio i svyaz, 1988. 184 p.

УДК 621.311

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ЗВЕНОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

А.В. Осипов, Ю.А. Шиняков, А.И. Отто, М.М. Черная

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

E-mail: ossan@mail.ru

Рассмотрены способы суммирования энергии солнечной и аккумуляторной батарей с помощью инверторно-трансформаторных преобразователей с промежуточным звеном повышенной частоты, позволяющих согласовывать существенно отличающиеся уровни напряжений источников с нагрузкой. Показано, что структура с суммированием выходных напряжений инверторов в общем контуре позволяет регулировать напряжение солнечной батареи в диапазоне, достаточном для реализации режима максимального отбора мощности. Получены регулировочные характеристики преобразователя при заданной вольт-амперной характеристике солнечной батареи и различных значениях нагрузки. Определены условия наиболее энергетически выгодного распределения мощностей источников, соответствующего минимальной мощности аккумуляторной батареи и максимальной мощности солнечной батареи. Показано, что в таких системах положение рабочей точки вольт-амперной характеристики солнечной батареи зависит от сопротивления нагрузки. Сделаны выводы, обсуждены полученные результаты.

Ключевые слова:

Система электропитания космического аппарата, звено повышенной частоты, солнечная батарея, аккумуляторная батарея, экстремальное регулирование мощности.

Введение

Энергетическая эффективность систем электропитания (СЭП) космических аппаратов (КА) во многом зависит от согласования уровней напряжения нагрузки с напряжениями аккумуляторной (АБ) и солнечной батареи (СБ), имеющей нелинейную вольт-ваттную характеристику (ВВХ) с ярко выраженным максимумом мощности. Применяемые в настоящее время СЭП КА построены на осно-

ве нескольких импульсных преобразователей постоянного напряжения, соединяющих СБ и АБ с нагрузкой по последовательной, параллельной (шунтовой) или последовательно-параллельной схеме, получившей наибольшее распространение [1]. В таких системах применяется экстремальное регулирование мощности (ЭРМ), заключающееся в регулировании напряжения на СБ по условию максимальной снимаемой с нее мощности. При

этом диапазон регулирования напряжения СБ привязан к напряжению нагрузки, поэтому при изменении последнего требуется индивидуальный подбор СБ с напряжением, отвечающим диапазону регулирования преобразователя. Происходящий в настоящее время в СЭП КА переход с выходного напряжения 27 В на напряжение 100 В подтверждает актуальность обозначенной проблемы [2, 3].

Одним из путей решения является применение широкодиапазонных преобразователей постоянного напряжения, способных как уменьшать, так и увеличивать выходное напряжение [4], однако при согласовании многократно отличающихся напряжений это приводит к существенному ухудшению энергетических показателей. Радикальным решением проблемы согласования напряжений первичных источников является введение в преобразователь «электронного» трансформатора на основе звена повышенной частоты [5, 6]. В этом случае уровни напряжения источников произвольно согласовываются коэффициентами трансформации, что позволяет применять первичные источники питания СБ и АБ с любыми напряжениями. При этом важным преимуществом таких инверторно-трансформаторных схем является возможность сравнительно простого суммирования энергии нескольких первичных источников, имеющих разные уровни напряжения.

Созданию инверторно-трансформаторных преобразователей энергии солнечных батарей посвящены работы [2, 3], не позволяющие произвести всесторонний анализ возможных вариантов реализации с позиций энергетической эффективности и дать четкие практические рекомендации. Настоящая работа посвящена исследованию характеристик и режимов работы инверторно-трансформаторных преобразователей при суммировании энергии источников с различающимися параметрами и выходными характеристиками.

1. Топологии инверторно-трансформаторных схем суммирования энергии первичных источников

Основной задачей, которую необходимо решить при создании СЭП КА со звеном повышенной частоты является суммирование энергий СБ и АБ. При этом по типу суммирования выходных параметров практически все инверторно-трансформаторные преобразователи можно отнести к одной из двух основных групп: преобразователи с суммированием токов в общем узле (рис. 1, а) и преобразователи с суммированием напряжений в общем контуре (рис. 1, б).

Принцип суммирования токов реализуется схемой (рис. 1, а), имеющей параллельное включение вторичных обмоток трансформаторов и позволяющей суммировать выходные токи первичных источников. Исходя из топологии схемы, первичные источники целесообразно преобразовывать в источники тока и, соответственно, применять инверторы тока, имеющие ключи с односторонней проводимостью и двусторонней блокировкой, при

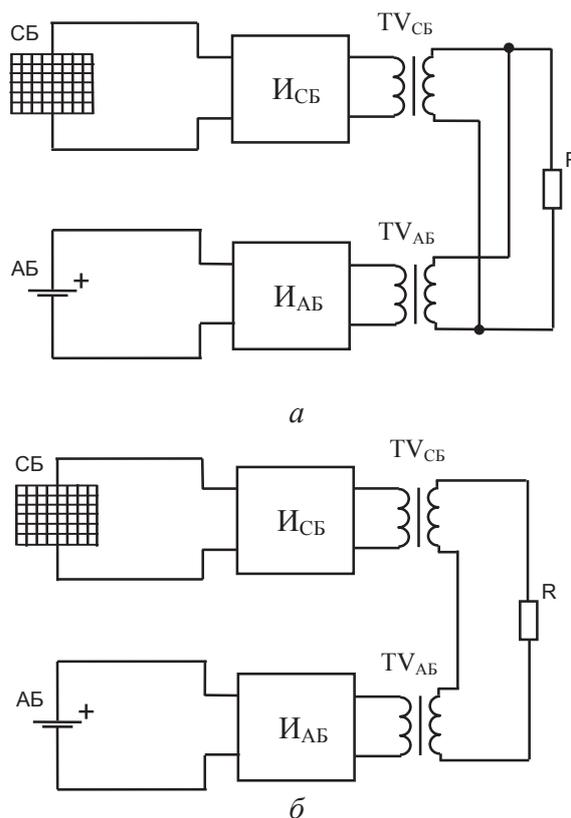


Рис. 1. Инверторно-трансформаторные преобразователи, суммирующие энергию первичных источников

этом режим выхода тока инвертора из узла суммирования реализуется исключением обмотки трансформатора из узла суммирования. Ввиду сложности и громоздкости преобразования источника напряжения в источник тока, и учитывая гибкость вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечной батареи, предлагаются варианты реализации этой схемы на инверторах напряжения на одном многообмоточном трансформаторе [3], такая схема позволяет стабилизировать напряжение на нагрузке, однако имеет узкий диапазон регулирования напряжения СБ из-за ее параллельного включения с АБ через трансформатор, что не позволяет реализовать ЭРМ. При применении преобразователей (рис. 1, б) этой проблемы не существует из-за последовательного включения источников через трансформатор, при этом суммируемыми параметрами выступают напряжения. Значение выходного напряжения преобразователя определяется суммой выходных напряжений инверторов, регулируемых фазовым способом, путем сдвига управляющих импульсов транзисторов, образующих стойки инверторов, на определенный угол [7]. При угле регулирования равном 180° выходное напряжение инвертора полностью исключается из контура суммирования и первичная обмотка соответствующего согласующего трансформатора закорачивается транзисторами инвертора. Именно применение топологии суммирования напряжений представляется авторам наиболее эффективным для реализа-

ции СЭП КА, так как позволяет регулировать напряжение СБ и реализовать экстремальное регулирование ее мощности.

2. Анализ характеристик инверторно-трансформаторного преобразователя с суммированием напряжений СБ и АБ

При питании потребителей постоянным напряжением, что требуется для СЭП КА, на выход включается выпрямитель и структура (рис. 1, б) принимает вид (рис. 2).

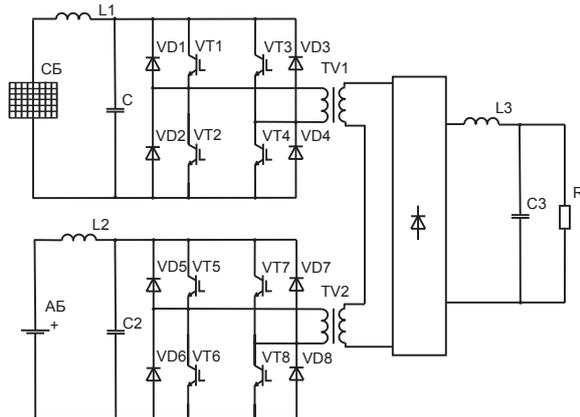


Рис. 2. СЭП на основе инверторно-трансформаторных преобразователей с суммированием напряжений в общем контуре

Выходные параметры преобразователя с суммированием напряжений связаны с входными параметрами источников выражениями

$$I_H = K_{тр_СБ} \frac{I_{СБ}}{\gamma_{СБ}} = K_{тр_АБ} \frac{I_{АБ}}{\gamma_{АБ}},$$

$$U_H = U_{СБ} \frac{\gamma_{СБ}}{K_{тр_СБ}} + U_{АБ} \frac{\gamma_{АБ}}{K_{тр_АБ}}, \quad (1)$$

где I_H, U_H – ток и напряжение нагрузки, $I_{СБ}, U_{СБ}, I_{АБ}, U_{АБ}$ – токи и напряжения источников.

Исходя из выражений (1) питание нагрузки заданным напряжением в преобразователе, построенном по этой структуре, может быть реализовано при различных соотношениях мощностей, потребляемых от первичных источников СБ и АБ. Так, при фазовом сдвиге управляющих импульсов инвертора $I_{СБ}$ на угол $\alpha_{СБ} \approx \pi$ длительность импульсов его выходного напряжения $\gamma_{СБ} \rightarrow 0$, поэтому нагрузку полностью питает АБ, напряжение инвертора СБ исключено из контура суммирования, поэтому $U_{СБ} \rightarrow U_{XX}$. По мере увеличения длительности импульсов напряжения $\gamma_{СБ}$ инвертор $I_{СБ}$ начинает генерировать напряжение в контур суммирования, что компенсируется уменьшением напряжения генерируемого инвертором $I_{АБ}$ путем уменьшения $\gamma_{СБ}$, баланс мощности смещается в сторону потребления энергии от СБ. Напряжение на СБ уменьшается, но не достигает точки с максимальной мощностью $U_{XX} > U_{СБ} > U_{опт}$, т. е. СБ по-прежнему недоиспользуется. Максимальное использование

СБ достигается при некотором значении $\gamma_{СБ, опт}$, при котором напряжение на СБ уменьшается до $U_{опт}$, в результате чего СБ передает в нагрузку максимальное значение мощности, что приводит к максимальному уменьшению мощности, потребляемой от АБ, и, соответственно, к максимальному уменьшению $\gamma_{АБ}$. Такой режим энергетически наиболее эффективен. Поэтому в представленной структуре предполагается следующий режим работы. Инвертор $I_{СБ}$ регулирует напряжение на СБ и соответственно положение рабочей точки ее ВАХ таким образом, чтобы получить максимальную мощность, т. е. работает в режиме экстремального регулирования мощности СБ по алгоритму, аналогичному [8], а инвертор $I_{АБ}$ осуществляет стабилизацию напряжения на нагрузке, обеспечивая необходимую «вольтодобавку» к напряжению, генерируемому инвертором $I_{СБ}$.

Коэффициенты трансформации в такой структуре можно рассчитать исходя из того, что каждый из первичных источников должен питать нагрузку автономно

$$K_{тр_СБ} = \frac{U_{СБ}}{U_H},$$

$$K_{тр_АБ} = \frac{U_{АБ}}{U_H}. \quad (2)$$

Для определения регулировочных характеристик схемы суммирования напряжений необходима математическая модель СБ, приемлемую точность обеспечивает следующее выражение, описывающее ВАХ СБ [9]

$$I_{СБ} = I_{КЗ} \left(1 - \left(1 - \frac{I_{опт}}{I_{КЗ}} \right) \frac{U_{XX} - U_{СБ}}{U_{XX} - U_{опт}} \right), \quad (3)$$

на основе которого для солнечной панели КСМ-160 с параметрами $U_{XX} = 52,46$ В, $I_{КЗ} = 4,78$ А, $U_{опт} = 43,1$ В, $I_{опт} = 4,3$ А при -30 °С получены ВАХ и ВВХ, представленные на рис. 3.

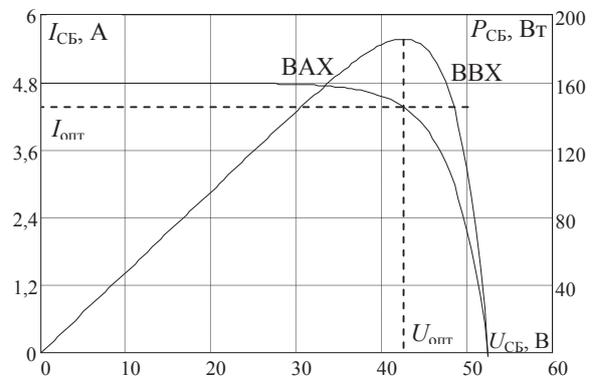


Рис. 3. Характеристики фотоэлектрических панелей КСМ-160 при -30 °С

Путем решения в MathCad уравнений (1)–(3) для солнечной панели КСМ-160 с ВАХ (рис. 3) по-

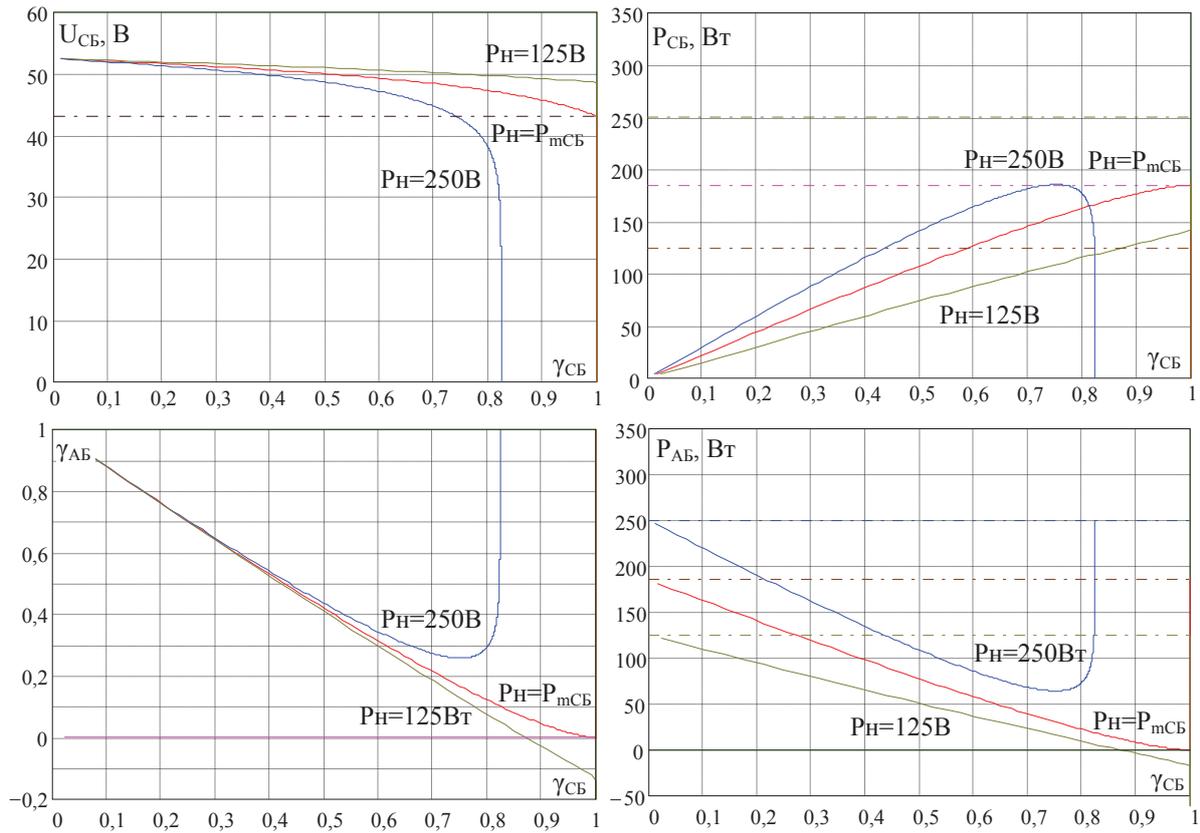


Рис. 4. Характеристики инверторно-трансформаторного преобразователя с суммированием напряжений при $U_H=100В$, $U_{AB}=24В$, на панели КСМ-160 при $-30\text{ }^{\circ}С$ с коэффициентами трансформации, обеспечивающими питание нагрузки заданным напряжением $K_{тр,СБ}=0,431$, $K_{тр,АБ}=0,24$

лучены регулировочные характеристики при стабилизации напряжения $U_H=100В$, напряжении АБ $U_{AB}=24В$, коэффициенты трансформации выбраны по условию (2), т. е. $K_{тр,СБ}=0,431$, $K_{тр,АБ}=0,24$. Характеристики представлены на рис. 4 при различных мощностях нагрузки и показывают, что при рабочих точках ВАХ СБ, близких к оптимальным, наблюдается максимальное потребление энергии от СБ и минимальное от АБ.

При этом точка $\gamma_{СБ, опт}$ может быть достигнута только при $P_H > P_{мСБ}$ и существенно зависит от мощности нагрузки, что объясняется прямой связью между током СБ и током нагрузки $\gamma_{СБ, опт} = K_{тр,СБ} \cdot I_{СБ, опт} / I_H$. Показано, что при мощностях нагрузки менее максимальной мощности СБ, т. е. при $P_H < P_{мСБ}$, в системе наблюдается избыток мощности и она не может работать в точке ВАХ СБ с максимальной мощностью. При этом на характеристиках присутствует участок с отрицательным значением мощности АБ, соответствующий отрицательным значениям $\gamma_{АБ}$, что говорит о заряде АБ избыточной мощностью через обратные диоды инвертора $I_{АБ}$. Следует заметить, что реализовать режим рекуперации энергии, т. е. заряд АБ приведенным током нагрузки можно только при условии $U_{СБ} / K_{тр,СБ} > U_{АБ} / K_{тр,АБ}$. При (2) это условие будет выполняться, так как в этом режиме всегда $U_{СБ} > U_{онт}$. Характеристики показывают, что заряд АБ в этом случае осуществля-

ется не максимальной мощностью СБ. Для обеспечения максимальной мощностью заряда, т. е. обеспечения работы СБ в точке ВАХ с максимальной мощностью необходимо уменьшение коэффициента трансформации $K_{тр,СБ}$ пропорционально уменьшению сопротивления нагрузки. Так, согласно (1) работа в точке с максимальной мощностью СБ возможна только при условии

$$I_H > K_{тр,СБ} I_{онт} \quad (4)$$

Поэтому для иллюстрации режима заряда АБ максимальной мощностью коэффициент трансформации инвертора $I_{СБ}$ уменьшен до значения $K_{тр,СБ}=0,29$, обеспечивающего этот режим при заданной минимальной нагрузке $R_H=80\text{ Ом}$. Соответствующие характеристики приведены на рис. 5. На характеристиках показано, что максимальное значение мощности СБ получено при параметрах $\gamma_{СБ}=1$, $\gamma_{АБ}=-0,47$, при этом максимальная мощность СБ, равная 184 Вт, распределится следующим образом $P_H=125\text{ Вт}$, $P_{АБ}=-59\text{ Вт}$.

Однако следует заметить, что уменьшение коэффициента трансформации $I_{СБ}$ инвертора привело к сокращению интервала потребления энергии от СБ и, как следствие, превышению установленной мощности транзисторов $I_{СБ}$ инвертора. В предельном случае на холостом ходу заряд АБ в схеме (рис. 2) будет практически невозможен. Поэтому

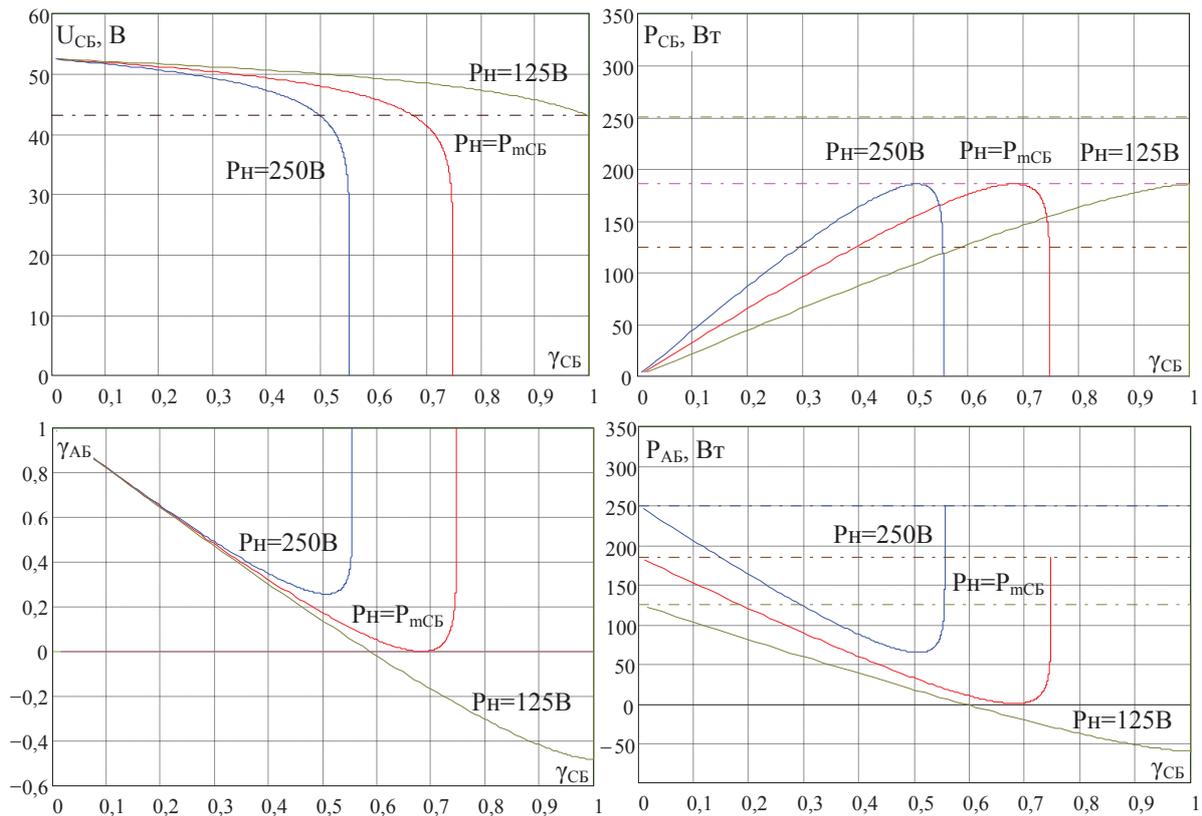


Рис. 5. Характеристики инверторно-трансформаторного преобразователя с суммированием напряжений при $U_H=100$ В, $U_{AB}=24$ В на панели КСМ-160 при -30 °С с коэффициентами трансформации, обеспечивающими заряд АБ при максимальной мощности СБ

для систем, у которых мощность нагрузки может быть многократно меньше мощности СБ, рациональнее использовать инверторно-трансформаторные преобразователи с дополнительным каналом передачи энергии от СБ к АБ через преобразователь постоянного напряжения или звено повышенной частоты. Принципы работы таких преобразователей будут аналогичны описанному, а коэффициенты трансформации при этом могут быть рассчитаны по (2) и смогут обеспечивать приемлемую габаритную мощность транзисторов.

Для верификации аналитически полученных результатов проведено моделирование в среде OrCad9.2 при питании нагрузки через LC фильтр с параметрами $L=500$ мкГн $C=100$ мкФ и напряжениях $U_H=100$ В, $U_{AB}=24$ В, использовалась модель КСМ-160 с ВАХ рис. 3. Рассмотрено два случая $R_H > P_{mCB}$ при $R_H=40$ Ом, $R_H=250$ Вт и $R_H < P_{mCB}$ при $R_H=80$ Ом, $R_H=125$ Вт. На рис. 6, а, б приведены параметры при расчете согласно условию (2) на рис. 6, в, г при $K_{тр.СБ}=0,29$.

Результаты моделирования сведены в таблицу и подтверждают выводы, полученные аналитическим путем, незначительные расхождения значений (таблица) со значениями зависимостей (рис. 4, 5) объясняются потерями мощности элементами, заданными при моделировании, и точностью вычисления ВАХ СБ.

Таблица. Параметры инверторно-трансформаторного преобразователя в точке с максимальной мощностью ВАХ СБ (в числителе – результаты моделирования, в знаменателе – данные аналитического расчета)

$K_{тр.СБ}$	R_H , Вт	$\gamma_{СБ}$	$\gamma_{АБ}$	$P_{СБ}$, Вт	$P_{АБ}$, Вт	$U_{СБ}$, В
0,43	250	0,71/0,75	0,3/0,26	180,5/184	71,6/66	42,7/43,1
	125	1 / 1	-0,12/-0,12	142/141,8	-15/-16,8	48,3/48,6
0,29	250	0,48/0,51	0,3/0,26	179,1/184	72,2/66	43,3/43,1
	125	0,97/1,00	-0,41/-0,47	181,2/184	-49,8/59	43,7/43,1

Заключение

Применение в системах электропитания космических аппаратов инверторно-трансформаторных преобразователей с суммированием напряжений общим контуром позволяет согласовывать многократно отличающиеся уровни напряжений нагрузки и источников и регулировать напряжение СБ от холостого хода до значения, ограниченного током нагрузки. Получены регулировочные характеристики мощностей источников, показывающие возможность реализации ЭРМ СБ.

Структура преобразователя с суммированием напряжений позволяет реализовать заряд АБ путем рекуперации приведенного тока нагрузки через обратные диоды. При этом для обеспечения заряда АБ при максимальной мощности СБ необхо-

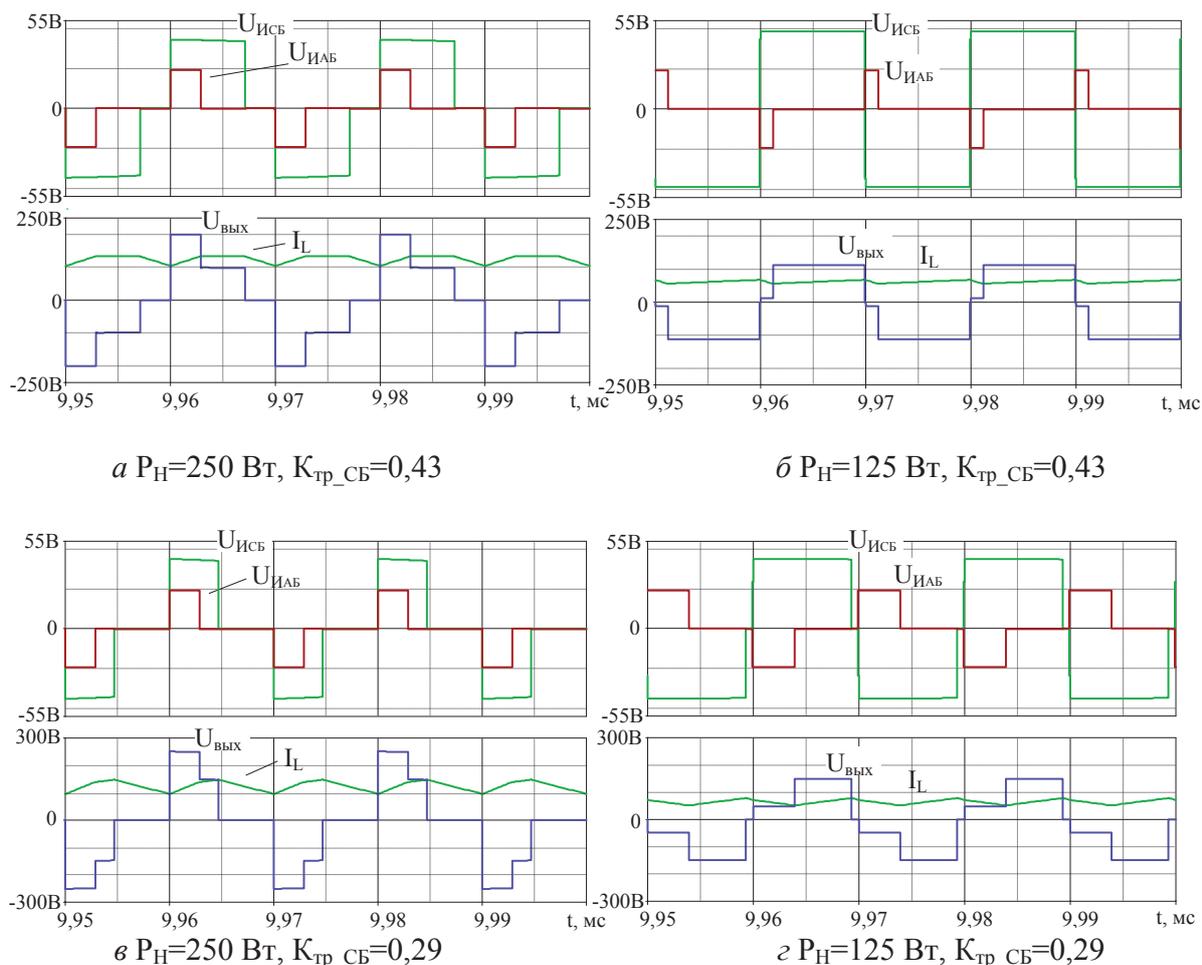


Рис. 6. Результаты моделирования инверторно-трансформаторного преобразователя с суммированием напряжений источников энергии

димо проектировать трансформатор $I_{СБ}$ по условию (4), ограничивающему минимальный ток нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соустин Б.П., Иванчура В.И., Чернышев А.И., Исляев Ш.Н. Системы электропитания космических аппаратов. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1994. – 318 с.
2. Поляков С.А., Чернышев А.И., Эльман В.О., Кудряшов В.С. Структурная схема и схемотехнические решения комплексов автоматики и стабилизации СЭП негерметичного геостационарного КА с гальванической развязкой бортовой аппаратуры от солнечных и аккумуляторных батарей // Электронные и электромеханические системы и устройства: сб. трудов НППЦ «Полус». – Томск, 2001. – С. 42–48.
3. Система электропитания космического аппарата: пат. 2396666 Рос. Федерация № 2009124704/09, заявл. 29.06.2009, опубл. 10.08.10, Бюл. № 22. – 8 с.
4. Осипов А.В., Шурыгин Ю.А., Шиняков Ю.А., Отто А.И., Черная М.М. Сопоставительный анализ энергетической эффективности преобразования энергии солнечной батареи преобразователями постоянного напряжения // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – № 1 (27). – Ч. 1. – С. 14–20.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашения № 14.В37.21.0162, 14.В37.21.0420 и 14.В37.21.1493

5. Кобзев А.В. Многозонная импульсная модуляция. Теория и применение в системах преобразования параметров электрической энергии. – Новосибирск: Наука, 1979. – 304 с.
6. Розанов Ю.К. Полупроводниковые преобразователи со звеном повышенной частоты. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 184 с.
7. Регулятор напряжения с промежуточным высокочастотным преобразованием: пат. 754635 Рос. Федерация № 2480779/24–07; заявл. 26.04.77; опубл. 07.08.80, Бюл. № 29. – 8 с.
8. Шиняков Ю.А., Шурыгин Ю.А., Осипов А.В., Аржанов В.В., Теуцаков О.А. Автономная фотоэлектрическая энергетическая установка // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 4. – С. 133–138.
9. Шиняков Ю.А., Шурыгин Ю.А., Аркатова О.Е. Повышение энергетической эффективности автономных фотоэлектрических энергетических установок // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 2 (22). – Ч. 2. – С. 102–107.

Поступила 24.09.2013 г.

POWER SUPPLY SYSTEMS OF SPACECRAFTS BASED ON CONTROLLED CONVERTERS WITH INTERMEDIATE HIGH FREQUENCY LINK

A.V. Osipov, Yu.A. Shinyakov, A.I. Otto, M.M. Chernaya

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

The authors have considered the methods of summing the energy of solar cell and rechargeable battery by invert-transformer converters with intermediate high frequency link which allow matching sufficiently different the levels of source voltages with load. It was shown that the structure with addition of inverter output voltages in general loop allows controlling solar cell voltage in the range sufficient to implement the mode of maximum power take-off. The adjustment characteristics of the converter at specified voltage-current relationship of solar cell and different load values were obtained. The authors determined the conditions of the most energetically favorable source power distribution which corresponds to minimum power of rechargeable battery and peak power of solar cell. It was shown that in such systems the position of a set point of solar cell voltage-current relationship depends on load resistance. The authors made the conclusion and discussed the results.

Key words:

Power supply system of a spacecraft, high frequency link, solar cell, rechargeable battery, extreme power control.

REFERENCES

1. Soustin B.P., Ivanchura V.I., Chernyshev A.I., Islyayev Sh.N. *Sistemy elektropitaniya kosmicheskikh apparatov* (Spacecraft power supply system). Novosibirsk, Nauka, 1994. 318 p.
2. Polyakov S.A., Chernyshev A.I., Elman V.O., Kudryashov V.S. *Strukturnaya skhema i skhemotekhnicheskie resheniya kompleksov avtomatiki i stabilizatsii SEP nehermetichnogo geostatsionarnogo KA s galvanicheskoy razvyazkoy bortovoy apparatury ot solnechnykh i akkumulyatornykh batarey* (The block diagram and schematic solution of complex automation and stabilization of the power supply of the leaky geostationary spacecraft with electrically isolated from the on-board equipment and solar batteries). *Elektronnye i elektromekhanicheskie sistemy i ustroystva. Sbornik trudov* (Electron and electromechanical systems and devices). Tomsk, Polyus, 2001. pp. 42–48.
3. Kudryashov V.S., Elman V.O., Nesterishin M.V., Gordeev K.G., Gladushchenko V.N., Khartov V.V., Kochura S.G., Soldatenko V.G., Melnikov N.V., Kozlov R.V. *Sistema elektropitaniya kosmicheskogo apparata* (Electric power supply system of space vehicle). Patent RF, no. 2009124704/09, 2010.
4. Osipov A.V., Shurygin Yu.A., Shinyakov Yu.A., Otto A.I., Chernaya M.M. *Sopostavitelnyy analiz energeticheskoy effektivnosti preobrazovaniya energii solnechnoy batarei preobrazovatelyami postoyannogo napryazheniya* (The comparative analysis of the energy conversion efficiency of solar energy by DC converters). *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* (Reports of Tomsk State University of control systems and radioelectronics), 2013. 1 (27), pp. 14–20.
5. Kobzev A.V. *Mnogozonnaya impulsnaya modulyatsiya. Teoriya i primeneniye v sistemakh preobrazovaniya parametrov elektricheskoy energii* (Theory and application systems convert electric energy parameters). Novosibirsk, Nauka, 1979. 304 p.
6. Rozanov Yu.K. *Poluprovodnikovye preobrazovateli so zvenom povyshennoy chastoty* (Semiconductor converters with link of the increased frequency). Moscow, Energoatomizdat, 1987. 184 p.
7. Zeman S.K., Kobzev A.V., Shak Yu.M. *Regulyator napryazheniya s promezhutochnym vysokochastotnym preobrazovaniem* (The voltage controller with the intermediate high-frequency conversion). Patent RF, no. 754635, 1980.
8. Shinyakov Yu.A., Shurygin Yu.A., Osipov A.V., Arzhanov V.V., Teushchakov O.A. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012. 320, 4, pp. 133–138.
9. Shinyakov Yu.A., Shurygin Yu.A., Arkatova O.E. *Povysheniye energeticheskoy effektivnosti avtonomnykh fotoelektricheskikh energeticheskikh ustanovok* (Increase the energy efficiency of autonomous photovoltaic power systems). *Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki* (Reports of Tomsk State University of control systems and radioelectronics), 2010. 2 (22), pp. 102–107.