

УДК 629.7.064.56(03)

А.В. Змиевская, С.В. Губин

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОДУЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Проведено экспериментальное исследование возможностей модуля термостабилизации, который входит в состав информационно-измерительного комплекса для измерения характеристик фотопреобразователей в широком диапазоне температур. Проведены измерения на различных режимах работы модуля. Определена скорость изменения температуры, зависимость температуры от тока в цепи, а также установлено влияние энергии излучения импульсной лампы на температуру.

Ключевые слова: фотопреобразователь, вольт-амперная характеристика, тепловая характеристика, термостабилизация, модуль Пельтье, температура.

Постановка задачи

Известно, что вольт-амперная характеристика (ВАХ) фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) меняется при изменении рабочей температуры, которая может варьироваться от минус 40°C до +55...65°C при работе в различных климатических зонах. При этом производители ФЭП зачастую предоставляют данные только для нормальной рабочей температуры (плюс 20 °C) без учета особенностей эксплуатации [1].

С целью повысить точность определения ВАХ ФЭП возникает необходимость исследовать характер изменения параметров ФЭП в полном диапазоне рабочих температур, в котором изменение характеристик имеет нелинейный характер [2].

Для подтверждения заданных в паспорте параметров ФЭП и определения параметров в реальном рабочем диапазоне температур был предложен метод термостабилизации, основанный на термоэлектрическом преобразовании энергии [3]. Для экспериментального подтверждения предложенного метода был разработан исполнительный термостабилизирующий блок, основным элементом которого является модуль Пельтье. Применимость метода была проведена благодаря моделированию процесса стабилизации температуры.

Задачей следующего этапа является разработка информационно-измерительного комплекса, который позволит определять световые электроэнергетические параметры фотопреобразователей в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации.

Анализ последних исследований и публикаций

Исследования, посвященные изучению влияния температуры на различные параметры ФЭП, активно проводятся как отечественными, так и зарубежными учеными. Предложены различные методики, а также оборудование, которое позволяет определять параметры ФЭП при различных температурах, о чем изложено в публикациях [4, 5, 6, 7].

Большое внимание уделяется ухудшению эффективности ФЭП и падению его выходной мощности при увеличении температуры свыше 25°C. В некоторых работах рассматривается температурный диапазон свыше 0°C. Однако, отмечено выше, при охлаждении ФЭП ниже 0°C характеристики изменяются нелинейно. При этом в открытом доступе отсутствует информация об исследованиях в области изучения влияния отрицательных температур на характеристики ФЭП, что делает работу актуальной в применении к фотопреобразователям как космического, так и наземного назначения, эксплуатационная температура которых, как отмечено выше, может достигать минус 40°C.

Изложение основного материала

Структура информационно-измерительный комплекса (рис.1), который позволит определять параметры ФЭП в необходимых условиях, должна включать:

- Модуль измерения ВАХ, который состоит из платы управления нагрузкой ФЭП, платы нагрузки ФЭП, источника питания нагрузки.

- Термостабилизирующий модуль (ТЭМ), на который при проведении измерений будет помещаться исследуемый ФЭП. В состав термостабилизатора входят: модуль Пельтье, система отвода тепла, блок переключения полярности ТЭМ, источник питания ТЭМ, источник питания вентилятора охлаждения.

- Систему измерений, которая состоит из: датчиков температуры и освещенности ФЭП, термопар для контроля температуры на горячем и холодном спаях ТЭМ, цифровых измерительных приборов, подключенных к ПЭВМ.

- Импульсный осветитель для снятия световых характеристик ФЭП.

- Систему электронного управления, которая включает в себя пульт дистанционного управления для контроля подсистемами, управление нагрузкой ФЭП, плату коммутации, которая осуществляет стыковку контроллера ПЭВМ и пульта управления с подсистемами установки, микроконтроллер, обеспечивающий автоматизированный контроль системой под управлением ПЭВМ.

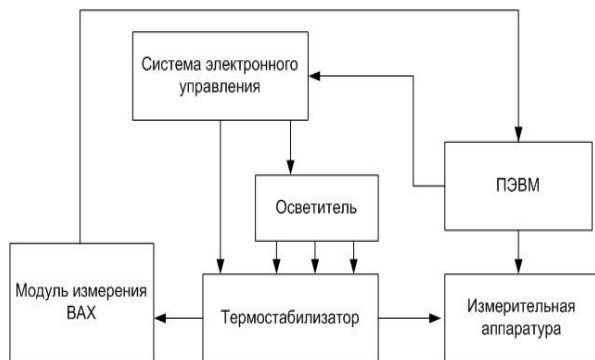


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительного комплекса для исследования ФЭП

Задачей эксперимента на начальном этапе является снятие тарировочных характеристик комплекса для термостабилизации ФЭП. На этом этапе суть эксперимента заключается в подтверждении применимости разработанного комплекса для поставленной задачи. Для этого необходимо определить возможности комплекса, т.е. действительный диапазон температур, который может обеспечить разработанная конструкция. Следует определить скорость изменения температуры, ее зависимость от тока в цепи, а также установить, как влияет энергия излучения импульсной лампы на температуру ФЭП.

Так как разрабатываемый комплекс предназначен для измерения характеристик ФЭП в условиях изменяющейся температуры в диапазоне от минус 80°C до плюс 65°C , необходимо обеспечить изменение направления тока через ТЭМ. Также нужно точно контролировать температуру на горячем и холодном спаях модуля.

Экспериментальные измерения проводились на разработанном стенде, который обеспечивает требуемую точность и быстроту измерений. Нормальные условия проведения эксперимента:

- температура окружающей среды $+20 \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность воздуха 35...40 %;

Схема экспериментального стенда представлена на рис. 2. Исследуемый ФЭП помещался на термостабилизатор ТС. Работа термостабилизатора обеспечивалась внешним стабилизированным источником постоянного тока ТЕС-15 (50 В, 30 А). Для измерения тока и напряжения на Модуле Пельтье использовали 2 цифровых мультиметра PICOTEST M3500A с базовой 24-часовой погрешностью 0,0015% по напряжению постоянного тока в диапазоне 10 кОм. Показания прибора фиксировали с помощью специального ПО, подключение к ПК осуществляется через USB-порт.

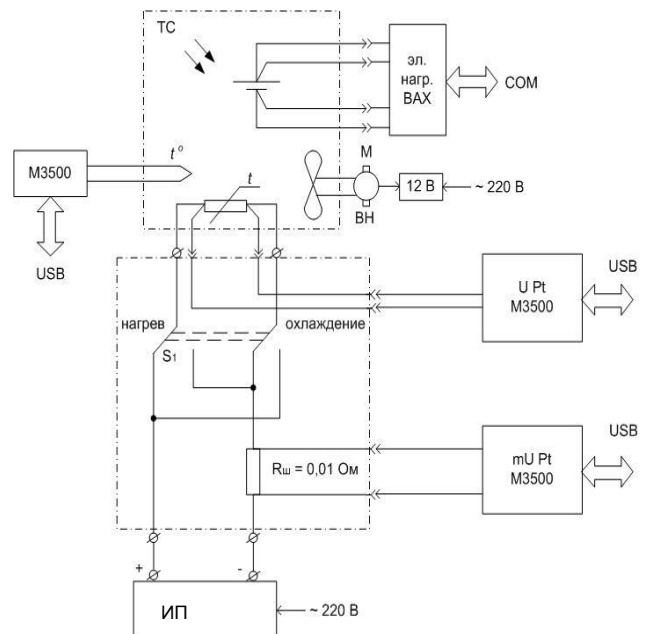


Рис. 2. Схема экспериментального стенда: ТС – термостабилизатор; М3500 – универсальный цифровой мультиметр; S_1 – переключатель; $R_{ш}$ – шунт измерительный; ИП – источник питания

Измерения тока осуществлялись через измерительный шунт $R_{ш}$ ($I = 30\text{ А}$; $U = 75\text{ В}$), который преобразовывает ток в напряжение. Изменение полярности прямого и обратного включения (смена режима охлаждения на режим нагрева) производилось ключом S_1 .

Температура измерялась двумя термопарами, одна из которых помещена в специально просверленный в медной пластине канал, для измерения температуры холодного спая, а вторая расположена между модулем и радиатором для измерения температуры на горячем спая ТЭМ.

В ходе эксперимента определялись тарифовочные характеристики модуля термостабилизации для измерения характеристик ФЭП. На ТЭМ подавался ток от 1А до 7А с шагом 1А для режима охлаждения, от 1А до 3А с шагом 0,5А для режима нагрева.

Измерялись следующие параметры: температура холодных спаев ТЭМ, температура горячих спаев ТЭМ, напряжение на ТЭМ. Показания снимались с интервалом 0,5 с, с момента времени $t_{\text{нач}} = 0$ и до выхода на стабильный режим по температуре. Для каждого значения тока измерение проводилось при $T_{\text{нач}} = 20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. После проведения измерений для конкретного значения тока питание ТЭМ отключалось, и измерение для следующего значения тока начиналось после того, как температура на обоих спаях модуля уравнивается и будет равна $T_{\text{нач}}$. В табл. 1 представлены параметры ТЭМ в ходе эксперимента.

Таблица 1. Изменение напряжения на ТЭМ в зависимости от тока

Охлаждение		Нагрев	
Ток, А	Напряжение на ТЭМ, В	Ток, А	Напряжение на ТЭМ, В
1	1,87	1	2,14
2	3,62	1,5	3,44
3	5,29	2	4,84
4	6,94	2,5	6,47
5	8,53	3	8,16
6	10,51	-	-
7	12,59	-	-

По полученным значениям температуры были построены тарифовочные характеристики модуля термостабилизации, представлены на рис. 4 и 5.

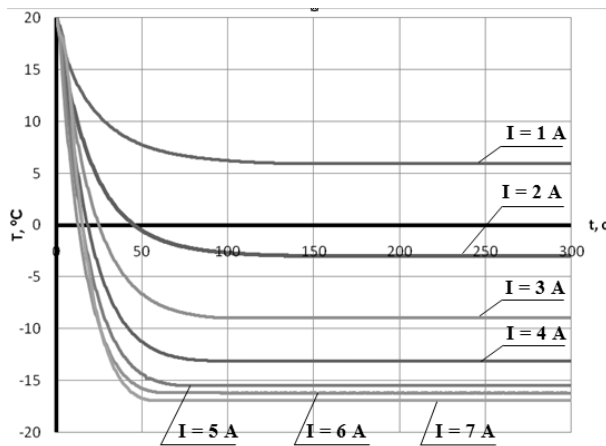


Рис. 4. Тарифовочные характеристики работы модуля термостабилизации в режиме охлаждения

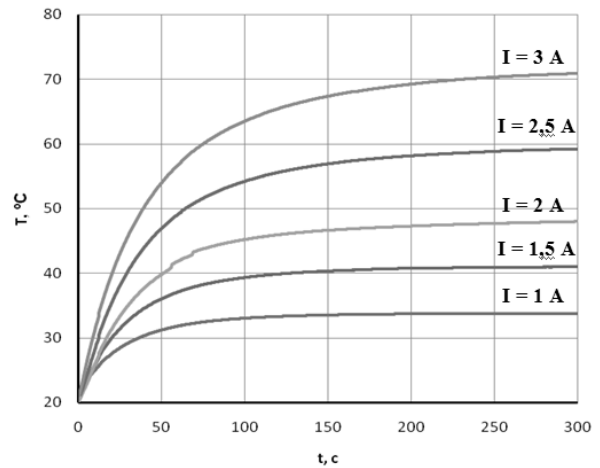


Рис. 5. Тарифовочные характеристики работы модуля термостабилизации в режиме нагрева

Для определения влияния энергии излучения импульсной лампы на температуру ФЭП использовали фотоосветительную импульсную лампу ИФК-120. Характеристики лампы представлены в табл. 2 [8]. Измерения проводились для $I_{\text{ТЭМ}} = 6$ А для режима охлаждения и для $I_{\text{ТЭМ}} = 2,5$ А для режима нагрева. После выхода на стабильный режим по температуре, охлаждаемый объем освещался 10 вспышками продолжительностью 1 с интервалом 10 с. Результаты этого эксперимента представлены на рис. 7 (точками обозначено время вспышек).

Таблица 2. Характеристики лампы ИФК-120

Характеристика	Значение
Рабочее напряжение, В	300
Энергия вспышки, Дж	120
Длительность вспышки, с	1
Интервал между вспышками, с	10
Средняя мощность, Вт	12
Тип	U-образная

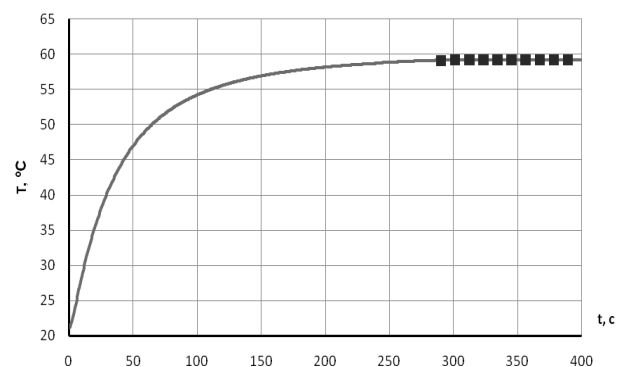


Рис. 7. Оценка влияния вспышки на температуру в нагреве при $I_{\text{ТЭМ}} = 2,5$ А

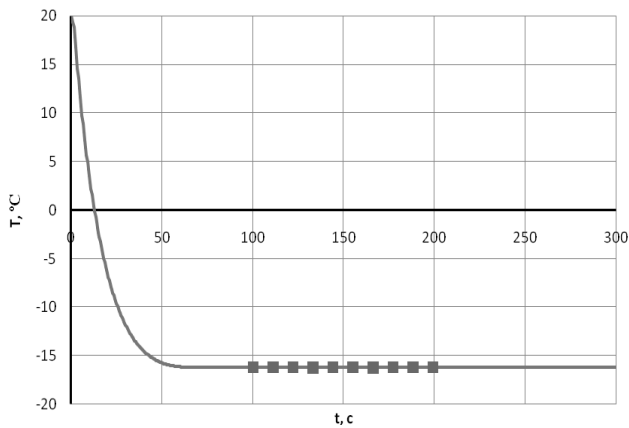


Рис. 7. Оценка влияния вспышки на температуру в режиме охлаждения при $I_{ТЭМ} = 6$ А

Выводы

После анализа полученных данных были определены максимальные (для работы в режиме нагрева) и минимальные (для работы в режиме охлаждения) значения температур для определенных значений токов питания ТЭМ. Эти значения соответствуют стабильным режимам, так как после выхода на стабильный режим температура больше не понижалась и не повышалась. Время выхода на стабильный режим зависит от значения тока. По результатам эксперимента среднее время, за которое стабилизируется температура, равняется 120 секунд. Минимальная температура в системе в режиме охлаждения равняется минус 16,91°C, максимальная в режиме нагрева плюс 70,87°C.

Отсюда следует вывод, что разработанный модуль не позволяет достичь необходимой отрицательной температуры, что связано с эффективностью как самого ТЭМ, так и эффективностью применяемого теплоотвода. Для получения указанного диапазона температур необходимо использовать многокаскадный ТЭМ, эффективность которого в несколько раз превышает эффективность однокаскадного, в комплексе с системой водяного охлаждения горячего спае.

При проведении эксперимента было замечено, что после проведения нескольких измерений на холодном спае модуля конденсировалась влага, что негативно сказывалось на процессе охлаждения и снижало эффективность модуля. Для устранения этой проблемы необходимо проводить измерения в условиях вакуума.

В результате проведения эксперимента по освещению термостабилизатора можно оценить воздействие теплового потока, который передается от лампы, на температуру в охлаждаемой объеме. Исходя из полученных данных, можно сказать, что за время импульса значения температуры не изменяются, откуда следует, что разработанная система применима для исследования характеристик ФЭП в условиях изменяющейся температуры.

Литература

1. Гудкова А.В. Термостабилизация фотоэлектрических преобразователей для измерения ВАХ с импульсным источником света [Текст] / А.В. Гудкова, С.В. Губин, В.И. Белоконов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2013. – № 57. – С. 162–170.
2. Solar Cell Operation. Effect of Temperature [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/effect-of-temperature>
3. Губин С.В. Моделирование процесса стабилизации температуры для измерения тепловых характеристик фотопреобразователей [Текст] / С.В. Губин, А.В. Гудкова, М.Н. Наказненко // Авиационно-космическая техника и технология – 2014. – № 57. – С. 162–170.
4. Слипченко Н.И. Устройство контроля температурных характеристик солнечного элемента [Текст] / Н.И. Слипченко В.А. Письменецкий, Н.В. Герасименко, А.Д. Шереметьев // Журнал нано- та електронної фізики – 2013 – Том 5 № 3, 03058(5с).
5. V.Jafari Fesharaki. The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency [Текст] / V.Jafari Fesharaki, Majid Dehghani, J. Jafari Fesharaki. // Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation ETEC 20-21 November 2011 – Tehran, Iran, 2011.
6. King, D.L. Temperature coefficients for PV modules and arrays: measurement methods, difficulties, and results [Текст] / King, D.L., Kratochvil, J.A., Boyson, W.E. // Proceedings of 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference September 29-October 3, 1997 – Anaheim, CA, 1997.
7. David Meneses-Rodriguez. Photovoltaic solar cells performance at elevated temperatures [Текст] / David Meneses-Rodriguez, Paul P. Horley, Jesus Gonzalez-Hernandez, Yuri V. Vorobiev, Peter N. Gorley. // Solar Energy – 2005 – №78 – С.243-250.
8. Гурлеев, Д.С. Справочник по ионным приборам [Текст] / Д.С. Гурлеев. – К.: Техніка, 1970. – 180 с.

Рецензент: ГОВОРОВ Филипп Парамонович
Харьковский национальный университет городского
хозяйства им. А.Н. Бекетова
доктор технических наук, профессор

Автор: ЗМИЕВСКАЯ Анна Витальевна
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», кафедра космической
техники и нетрадиционных источников энергии,
Харьков, аспирант.
E-mail – a.zmievskaya@gmail.com

Автор: ГУБИН Сергей Викторович
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», заведующий кафедрой
космической техники и нетрадиционных
источников энергии, к. т. н., доцент,
E-mail – gubinsv@d4.khai.edu

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОДУЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

А.В. Змиевская, С.В. Губин

Проведено експериментальне дослідження можливостей модуля термостабілізації, який входить до складу інформаційно-вимірального комплексу для вимірювання характеристик фотоперетворювачів в широкому діапазоні температур. Проведені вимірювання на різних режимах роботи модуля. Визначено швидкість зміни температури, залежність температури від струму в ланцюзі, а також встановлено вплив енергії випромінювання імпульсної лампи на температуру.

Ключові слова: фотоперетворювач, вольт-амперна характеристика, теплова характеристика, термостабілізація, модуль Пельтьє, температура

EXPERIMENTAL VALIDATION OF THERMAL STABILIZATION MODULE AS A PART OF SOLAR CELL CHARACTERISTIC MEASUREMENT SYSTEM

A.V. Zmievskaya, S.V. Gubin

Experimental validation has been performed to access capabilities of the thermal stabilization module which is the part of the information and measurement system for solar cell characteristic measurement in wide temperature range. Measurements for different module operation modes have been carried out. Temperature variation rate, temperature dependence on circuit current have been determined, influence of flash lamp radiation energy on temperature has been accessed.

Keywords: solar cell, I-V curve, thermal characteristics, thermal stabilization, Peltier module, temperature.
