

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Кафедра «Системы автоматики, автоматизированное управление и
проектирование»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ С.В. Ченцов

«___» _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

27.04.04 – Управление в технических системах

**АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ
ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

Руководитель	_____	___06. 2020 г.	проф., д-р техн. наук Ю.В. Краснобаев
Выпускник	_____	___06. 2020 г.	И.А. Степанчук
Нормоконтролер	_____	___06. 2020 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Автономная система электропитания на основе источника тепловой энергии» содержит 53 страницы текстового документа, 18 иллюстраций, 1 таблицу, 31 формулу, 7 приложений, 10 использованных источников.

ЭЛЕМЕНТ ЗЕЕБЕКА, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ, ОГРАНИЧИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА.

Целью работы данного дипломного проекта является выполнение проектных работ, необходимых для создания автономной системы электропитания. Для решения поставленной цели, были решены ряд задач, а именно:

- 1) Изучены теоретические сведения о принципе работы термоэлектрогенераторов;
- 2) Разработана структурная схема СЭП;
- 3) Проанализирован рынок термоэлектрогенераторов и в соответствии с техническим заданием подобраны нужные генераторы;
- 4) В соответствии с техническим заданием подобраны модели преобразователей-стабилизаторов напряжения, которые выпускаются промышленностью;
- 5) Разработана принципиальная схема подсистемы – «Ограничитель напряжения», которая не выпускается промышленностью, но входит в состав проектируемой СЭП;
- 6) Рассчитаны параметры элементов подсистемы – «Ограничитель напряжения» и разработана имитационную модель этой подсистемы в электронной среде;
- 7) Проведены исследования работоспособности подсистемы – «Ограничитель напряжения»;
- 8) Разработана принципиальная схема СЭП.

Актуальность данной работы состоит в том, что в настоящее время в связи с ростом автоматизации и цифровизации различных производств и объектов инфраструктуры населённых пунктов возникла задача по разработке автономных систем электропитания, которые возможно использовать на удалении от промышленных линий электропередач.

С развитием автоматизации производств, возросло количество маломощных датчиков, которые используются для контроля производственных процессов. К таким датчикам можно отнести датчики давления, освещения, температуры. В электропитании нуждаются системы видеонаблюдения и охраны объектов. В качестве источников энергии для таких приборов может быть использована система электропитания (СЭП), основанная на термоэлектродвигателях (ТЭД). В качестве первичных источников энергии в таких системах электропитания используются источники тепловой энергии.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Описание проектируемой системы	9
1.1 Анализ технического задания.....	9
1.2 Расчёт исходных параметров системы.....	11
1.3 Выбор модели термоэлектрогенератора	13
1.4 Расчёт требуемого количества модулей термоэлектрогенераторов	16
1.5 Построение внешней характеристики генерирующего блока	19
2 Выбор модулей и построение структурной схемы системы электропитания .	22
2.1 Выбор стабилизаторов напряжения системы электропитания.....	22
2.2 Ограничитель напряжения.....	25
2.2.1 Обоснование необходимости наличия ограничителя напряжения	25
2.2.2 Выбор типа ограничителя напряжения	25
2.3 Структурная схема автономной СЭП.....	28
3 Выбор элементов и расчёт схемы ограничителя напряжения	29
3.1 Выбор транзистора.....	29
3.2 Выбор стабилитрона	33
3.2.1 Подбор стабилитрона Настройка ОН	35
4 Моделирование СЭП в электронной среде	37
4.1 Создание модели СЭП и проведение эксперимента	37
4.2 Анализ результатов эксперимента	38
5 Построение принципиальной схемы СЭП.....	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	43
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	44

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	45
ПРИЛОЖЕНИЕ А	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	48
ПРИЛОЖЕНИЕ В	49
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	50
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	53

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в связи с широким внедрением электронной техники в самых различных областях деятельности человека, возрастает потребность в создании системы электропитания (СЭП) для устройств электронной техники на основе автономного источника электроэнергии, т. е. СЭП не получающих электроэнергию от промышленных источников электроэнергии.

Особо остро вопрос обеспечения электроэнергией различных электронных устройств стоит в походных условиях и в условиях научных экспедиций. В таких условиях может оказаться затруднительно найти линии электропитания, а транспортировка с собой громоздких электрогенераторов, работающих на углеводородном топливе может оказаться невозможной в связи с особенностями рельефа, погодными условиями, из-за отсутствия транспорта, либо же в следствии ограниченного бюджета.

Также, вопрос дополнительного энергообеспечения часто появляется на производствах, которые используют устройства, потребляющие небольшую мощность. Несмотря на низкое энергопотребление на крупном производстве может использоваться крупное количество подобных устройств, например, датчики систем контроля и управления, сигнализации об опасности, камеры и передатчики систем видеонаблюдения и т.п.

В таких условиях лучшим решением проблемы отсутствия электроэнергии становится использование альтернативных источников энергии. Однако, использование источников, вырабатывающих энергию с помощью фотоэлектрических преобразователей, не всегда может быть возможно, особенно при плохих погодных условиях, в темное время суток, либо в регионах крайнего севера, где солнечный свет может отсутствовать долгие месяцы.

Именно поэтому в качестве источника энергии можно рассматривать термоэлектрогенераторы, так как они менее требовательны, в отличие от их аналогов, а для их функционирования требуется лишь поддержание разности температур у нагреваемой и охлаждаемой сторон термоэлектрогенератора.

Также, подобные источники энергии могут быть использованы и на промышленных предприятиях. Зачастую, во время протекания производственных процессов, происходит выделение тепловой энергии, которая либо отводится из производственных помещений, либо же просто остается невостребованной и не несет никакой пользы

В связи с вышеизложенным можно считать актуальной задачу по проектированию автономной системы электропитания, которая использует термоэлектрогенераторы, как источники электричества.

Эта задача будет решаться поэтапно, начиная с математических расчётов входных и выходных параметров системы, заканчивая моделированием блоков принципиальной схемы, расчётом и подбором элементной базы системы.

Целью работы разработка системы электропитания на основе источника тепловой энергии

Задачи:

А) Ознакомиться с теоретическими сведениями о принципе работы термоэлектрогенераторов

Б) Разработать структурную схему СЭП

В) Проанализировать рынок термоэлектрогенераторов и в соответствии с техническим заданием подобрать нужные генераторы

Г) В соответствии с техническим заданием подобрать модели преобразователей-стабилизаторов напряжения, которые выпускаются промышленностью

Д) Разработать принципиальную схему подсистемы – «Ограничитель напряжения», которая не выпускается промышленностью, но входит в состав проектируемой СЭП

Е) Рассчитать параметры элементов подсистемы – «Ограничитель напряжения» и разработать имитационную модель этой подсистемы в электронной среде

Ж) Провести исследования работоспособности подсистемы – «Ограничитель напряжения» и, при необходимости, скорректировать параметры элементов подсистемы – «Ограничитель напряжения»

З) Разработать принципиальную схему СЭП

1 Описание проектируемой системы

1.1 Анализ технического задания

Для выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) заданы:

1. Тема: «Автономная система электропитания (СЭП) на основе источника тепловой энергии».
2. Перечень обязательных разделов ВКР:
 - 2.1. Анализ информации по промышленным термогенераторам на основе эффекта Зеебека. Выбор типа возможных промышленных термогенераторов из условия обеспечения требуемой суммарной мощности нагрузки и диапазона рабочих температур. Выбор и обоснование структурной схемы системы электропитания. Выбор преобразователей напряжения для питания выходов №1 и №2 системы электропитания;
 - 2.2. Расчёт максимального и минимального напряжений на выходе теплогенератора. Расчёт коммутатора для подключения преобразователей к выходу теплогенератора;
 - 2.3. Разработка модели коммутатора в электронной среде. Проверка функционирования модели коммутатора. Построение принципиальной схемы СЭП.

Исходные данные по источнику энергии и по параметрам энергии на выходе СЭП:

1. Максимальная температура источника тепла 170 °С
2. Минимальная температура источника тепла 140 °С
3. Максимальная температура окружающего воздуха 20 °С
4. Минимальная температура окружающего воздуха 10 °С
5. Напряжение на выходе 1 – 15,0 (В) +/- 10%
6. Напряжение на выходе 2 – 3.3(В) +/- 10%
7. Мощность, потребляемая по выходу 1 максимальная 4Вт
8. Мощность, потребляемая по выходу 1 минимальная 0Вт

9. Мощность, потребляемая по выходу 2 максимальная 1Вт

10. Мощность, потребляемая по выходу 2 минимальная 0.4Вт

Исходя из проведенного анализа технического задания было выявлено, что проектируемая система будет использоваться для обеспечения непрерывного питания двух потребителей электроэнергии, далее в работе они будут называться нагрузкой.

Поскольку в СЭП предполагается использование термоэлектродвигателей, то для более точного моделирования требуется учесть падение разности температуры между источником тепла и окружающим воздухом на радиаторе охлаждения, применение которого необходимо в следствии обстоятельства, говорящего нам о том, что для поддержания стабильной выработки электроэнергии термоэлектродвигатели должны находиться в среде со стабильной разностью температур.

Из физики нам известно, что для процесса отвода тепла требуется более холодное тело (в данном случае радиатор охлаждения). Процесс теплоотведения начинается в момент установления всех составляющих системы охлаждения на определенной отметке, однако переходные процессы проходящие в момент установления необходимой температуры радиаторы сильно зависят от объема, массы и физических свойств материала охлаждающего устройства и помещения, в котором будет находиться готовый прибор [1].

Также, в техническом задании не было указано, какой именно источник будет использоваться для нагрева ТЭГов, поэтому моделирование переходных процессов представляется крайне сложным, и было принято решение не брать в расчёт время протекания этих процессов, а также принять за падение температуры на радиаторе величину равную 20 градусам Цельсия.

Также, следовало учесть, что при компоновке СЭП необходимо разместить радиоэлементы с холодной стороны ТЭГов. Это связано с тем, что некоторые

радиоэлемента, например, конденсаторы [2], требовательны к температуре окружающей среды.

Размещение радиодеталей с холодной стороны ТЭГов поможет избежать пагубного воздействия температуры и продлить срок наработки на отказ системы.

1.2 Расчёт исходных параметров системы

Приняв во внимание вышеприведенные допущения введем в мо систему параметры максимальной и минимальной разности температур вычислив их по формулам (1.1) и (1.2) определим максимальную и минимальную разности температур:

$$\Delta T_{min} = T_{tmin} - (T_{smax} + Tr) \quad (1.1),$$

$$\Delta T_{min} = T_{tmin} - (T_{smax} + Tr) \quad (1.2)$$

где ΔT_{min} – минимальная разность температур между двумя сторона термоэлектрогенератора,

ΔT_{max} – максимальная разность температур,

T_{tmax} –максимальная температура источника тепла,

T_{tmin} –минимальная температура источника тепла,

T_{smax} –максимальная температура окружающей среды,

T_{smin} –минимальная температура окружающей среды,

Tr –падение разности температуры на радиаторе охлаждения.

Воспользовавшись формулами (1.1) и (1.2), проведем расчёт параметров ГБ.

$$\Delta T_{min} = 140^{\circ}\text{C} - (20 + 20) = 100^{\circ}\text{C} \quad (1.3),$$

$$\Delta T_{max} = 170 - (10 + 20) = 140 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (1.4)$$

Для более точного проектирования требовалось определить максимальную и минимальную мощность, которую будут потреблять модули нагрузки.

Максимальная и минимальная мощность, потребляемая нагрузкой рассчитаны по формулам (1.5) и (1.6):

$$P_{ГБmax} = \frac{P_{1max}}{кпд1} + \frac{P_{2max}}{кпд2} \quad (1.5),$$

$$P_{ГБmin} = \frac{P_{1min}}{кпд1} + \frac{P_{2min}}{кпд2} \quad (1.6)$$

где P_{min} – минимальная мощность, потребляемая нагрузкой,

P_{max} – максимальная мощность, потребляемая нагрузкой,

P_{1max} – максимальная мощность, потребляемая нагрузкой 1,

кпд1 – коэффициент полезного действия повышающего преобразователя напряжения,

кпд 2 – коэффициент полезного действия понижающего преобразователя напряжения, P_{1min} - минимальная мощность, потребляемая нагрузкой 1,

P_{2max} - максимальная мощность, потребляемая нагрузкой 2,

P_{2min} - минимальная мощность, потребляемая нагрузкой 2.

Так как на данном этапе расчетов не был произведен выбор стабилизаторов напряжения, то за их КПД временно было принято значение равное 80%

Подставив данные из технического задания в формулы (1.5) и (1.6) были получены следующие значения:

$$P_{max} = \frac{4}{80} + \frac{1}{80} = 5Вт \quad (1.7),$$

$$P_{min} = \frac{0}{80} + \frac{0.4}{80} = 0.5Wm \quad (1.8)$$

1.3 Выбор модели термоэлектрогенератора

Следующим шагом разработки системы будет являться выбор генерирующих элементов. Современный рынок предлагает обширный выбор электрогенераторов, преобразующий тепловую энергию в электрическую. Однако, среди представленных на рынке генераторов, лишь небольшое количество подходят по своим характеристикам для моделирования представленной системы.

На этапе начала моделирования самым подходящим вариантом казалось использование генераторов типа ТЭГ-5, ТЭГ-7, производимых компанией «ЭМИС». Изображение генератора типа ТЭГ-5 приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Генератор типа ТЭГ-5

Однако, данный генератор работает по несколько иному принципу, нежели генераторы, которые планировалось использовать. Принцип их работы заключается в использовании тепловой энергии сжигаемого топлива, для создания разности температур на сплавах теплоприемник. Для стабилизации напряжения в систему такого генератора уже включены модули стабилизации, которые на своем выходе отдают показатели напряжения около 24В и ток менее 0,25А [3], срок их эксплуатации без замены составных частей составляет около одного года, а их размеры никак не назвать компактными.

Исходя из вышеизложенного принято решения найти более подходящие под требования системы термоэлектрогенераторы.

Была изучена линейка продукции компании «КРИОТЕРМ». В таблице 1 приведены параметры модулей термоэлектрогенераторов, представленных компанией [4].

Таблица 1 – параметры модулей термоэлектрогенераторов компании «КРИОТЕРМ».

Наименование	Геометрические размеры, мм			R, Ом	R (22 °C), Ом	Rt, К/Вт	U, В	I, А	P, Вт	η , %
	A	B	H							
Тхол.спая = 50 °C, Тгор.спая = 150 °C										
ТГМ-127-1,0-0,8	30	30	3,1	2,41	1,18	1,4	1,83	0,76	1,38	2,3
ТГМ-127-1,0-1,3	30	30	3,6	3,92	1,92	2,27	2,18	0,56	1,21	2,7
ТГМ-127-1,0-2,5	30	30	4,3	7,53	3,69	4,36	2,55	0,34	0,86	3,2
ТГМ-127-1,4-1,5	40	40	3,9	2,46	1,21	1,43	2,25	0,91	2,05	2,8
ТГМ-127-1,4-2,5	40	40	4,8	3,84	1,88	2,23	2,5	0,65	1,63	3,2
ТГМ-199-1,4-0,8	40	40	3,2	1,93	0,94	0,45	2,19	1,14	2,49	1,8
ТГМ-199-1,4-1,2	40	40	3,6	2,89	1,42	0,68	2,69	0,93	2,5	2,2
ТГМ-199-1,4-1,5	40	40	3,9	3,85	1,89	0,91	3,03	0,79	2,39	2,4
ТГМ-287-1,0-1,3	40	40	3,6	8,85	3,84	1,00	4,54	0,51	2,33	2,5
ТГМ-287-1,0-1,5	40	40	3,8	10,2	4,72	1,16	4,77	0,47	2,23	2,7
ТГМ-287-1,0-2,5	40	40	4,8	17	7,38	1,93	5,49	0,32	1,77	3,1
Тхол.спая = 100 °C, Тгор.спая = 200 °C										
ТГМ-127-1,0-0,8	30	30	3,1	2,51	1,18	1,36	1,73	0,69	1,19	2
ТГМ-127-1,0-1,3	30	30	3,6	4,07	1,92	2,21	2,07	0,51	1,05	2,4
ТГМ-127-1,0-2,5	30	30	4,3	7,84	3,69	4,26	2,43	0,31	0,75	2,8
ТГМ-127-1,4-1,5	40	40	3,9	2,56	1,21	1,39	2,13	0,83	1,78	2,4
ТГМ-127-1,4-2,5	40	40	4,8	4	1,88	2,17	2,38	0,6	1,42	2,7
ТГМ-199-1,4-0,8	40	40	3,2	2	0,94	0,44	2,07	1,03	2,14	1,5
ТГМ-199-1,4-1,2	40	40	3,6	3,01	1,42	0,67	2,55	0,85	2,16	1,9
ТГМ-199-1,4-1,5	40	40	3,9	4,01	1,89	0,89	2,88	0,72	2,06	2,1
ТГМ-287-1,0-1,3	40	40	3,6	9,21	3,84	0,98	4,3	0,47	2,01	2,2
ТГМ-287-1,0-1,5	40	40	3,8	10,6	4,72	1,13	4,52	0,43	1,93	2,3
ТГМ-287-1,0-2,5	40	40	4,8	17,7	7,38	1,88	5,22	0,29	1,54	2,6
Тхол.спая = 50 °C, Тгор.спая = 300 °C										
ТГМ-31-2,8-3,5 НТ(300)	40	40	6,5	0,3	0,15	0,26	1,15	3,80	4,37	5,3

Анализ данных из таблицы, представленной в таблице 1, позволяет сделать вывод, что наиболее подходящим по своим параметрам, будет являться модуль с наименованием ТГМ-287-1,0-2,5, внешний вид которого показан на рисунке 2. Выбор этого модуля обусловлен тем, что среди прочих он обладает один из лучших показателей КПД, а генерируемая им мощность является наивысшей, среди элементов со схожим, либо же превосходящим КПД.

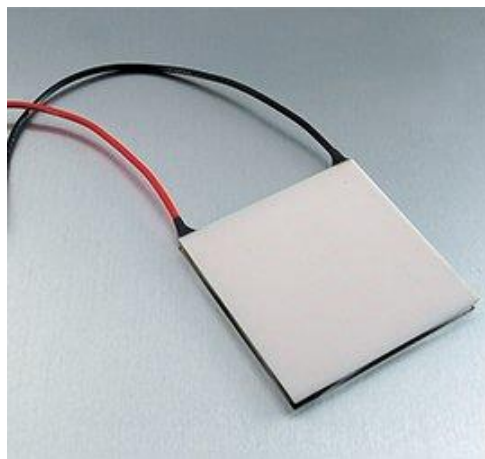


Рисунок 2– Модуль ТГМ-287-1,0-2,5

1.4 Расчёт требуемого количества модулей термоэлектрогенераторов

Изучив техническое задание по формулам (1.3) и (1.4) рассчитана максимальную и минимальную разность температур в системе. Рассмотрев случай, когда разность температур будет близка к максимальной, мы сможем рассчитать количество модулей электропитания, необходимых для функционирования системы.

Модуль ТГМ-287-1,0-2,5, согласно таблице 1, имеет параметры:

- напряжение холостого хода модуля $U_{xx.m}=5.49$ В;
- ток короткого замыкания модуля $I_{кз.m}=0.32$ А;
- мощность модуля максимальная $P_m= 1.7$ Вт.

Однако эти значения справедливы только при разности температур равной 100 градусам Цельсия. Поэтому потребовалось рассчитать параметры термоэлектрогенератора при разностях температур, полученных в (1.3) и (1.4).

Из литературы [4] стало известно, что мощностная характеристика ТЭГов при изменении разности температур изменяется практически линейно. Поэтому для упрощения расчётов было принято решения сделать допущение и считать изменение мощности ТЭГов строго линейным.

Приняв во внимание линейное изменение мощности ТЭГов, были произведены расчёты параметров ТЭГов при рассчитанных в (1.3) и (1.4). разностях температур.

$$U_{xxm140} = U_{xx.m} * 1.4 = 5.49 * 1.4 = 7.68B \quad (1.9),$$

$$I_{кз.m140} = I_{кз.m} * 1.4 = 0.32 * 1.4 = 0.448A \quad (1.10)$$

где $U_{ххm140}$ – напряжение холостого хода ТЭГа при разности температур 140 градусов Цельсия,

$U_{хх.м}$ – напряжение холостого хода ТЭГа,

$I_{кз.м140}$ – ток холостого хода ТЭГа при разности температур 140 градусов Цельсия,

$I_{кз.м}$ - ток холостого хода ТЭГа.

Так же, для учета отклонения мощностной характеристики от линейного изменения, был увеличен параметр максимальной мощности, рассчитанный в (1.8) потребляемой нагрузкой на 20 % [9].

$$P_{max120} = P_{ГБmax} * 1.2 = 6BT, \quad (1.11)$$

где P_{max120} - максимальная мощность, потребляемая нагрузкой увеличенная на 20%,

$P_{ГБmax}$ - то же, что и в формуле (1.7).

Для того, чтобы избежать повышение внутреннего сопротивления ГБ, потребовалось соединить параллельно N звеньев, состоящих из последовательно соединенных N ТЭГов.

Изначально лучшим решением казалось использование цепи из четырёх модулей ТЭГов, соединенных последовательно, однако, проведя анализ внешней характеристики одного модуля, изображённой на рисунке 4, сделан вывод о том, что тока, генерируемого одной цепочкой будет недостаточно, а также, что при таком соединении ТЭГов вырастет внутреннее сопротивление ГБ.

Приняв во внимание значение мощности, потребляемой нагрузкой, было рассчитано количество ТЭГов, которое потребуется для обеспечения генерации требуемой мощности.

Таким образом, ГБ стал представлять из себя 4 звена ТЭГов, соединенных последовательно, каждое из которых состоит из 4 модулей ТГМ-287-1,0-2,5, соединенных последовательно. На рисунке 3 изображена структурная схема ГБ.

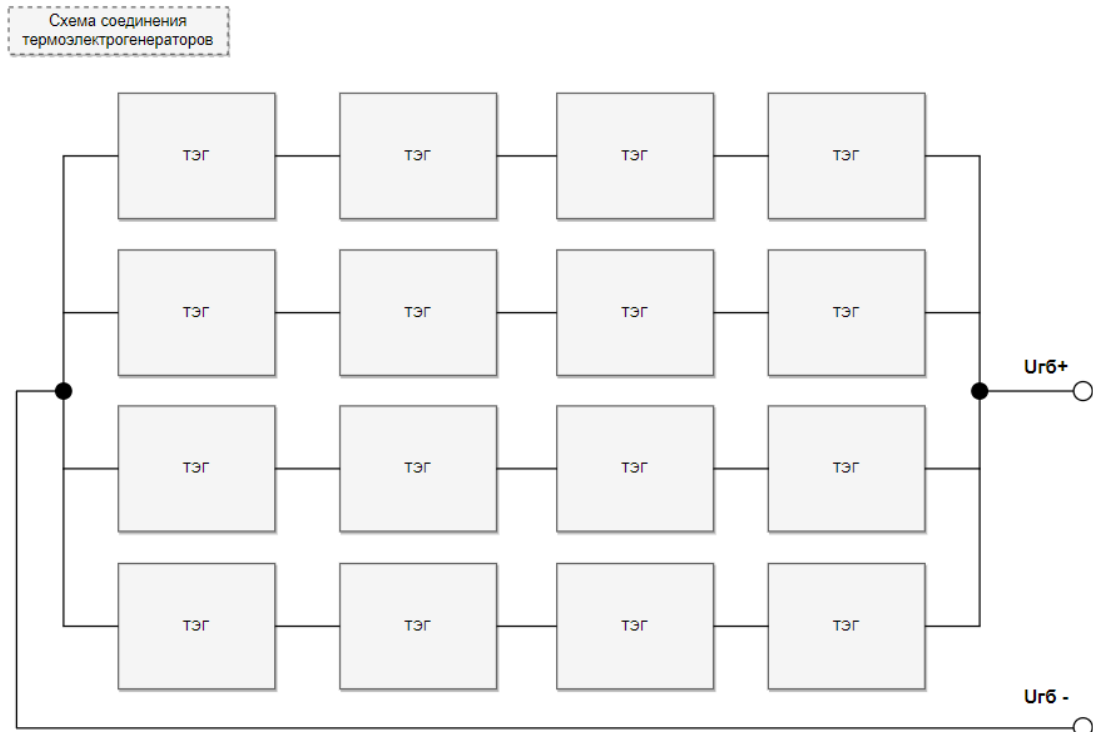


Рисунок 3– Схема соединения модулей ТЭГов в ГБ

Для такой схемы соединения по формулам (1.12) - (1.15) было рассчитаны максимальное и минимальное напряжение и ток, на выходе ГБ в двух случаях значения разности температур:

$$U_{max140} = U_{xxm140} * 4 = 30.7B, \quad (1.12),$$

$$U_{max100} = U_{xxm} * 4 = 22B, \quad (1.13),$$

$$I_{max140} = I_{кзм140} * 4 = 1.79A, \quad (1.14),$$

$$I_{max100} = I_{кзм} * 4 = 1.28A, \quad (1.15)$$

где U_{xxm140} – то же, что и в формуле (1.10),

$I_{\max 140}$ – то же, что и в формуле (1.11),

$I_{\text{кзт}}$ – то же, что и в формуле (1.11),

$U_{\text{ххт}}$ – то же, что и в формуле (1.11),

$U_{\max 140}$ – максимальное напряжение ГБ при разности температур в 140 градусов Цельсия,

$U_{\max 100}$ – максимальное напряжение ГБ при разности температур в 100 градусов Цельсия,

$I_{\max 140}$ - максимальный ток ГБ при разности температур в 140 градусов Цельсия,

$I_{\max 100}$ - максимальный ток ГБ при разности температур в 100 градусов Цельсия,

1.5 Построение внешней характеристики генерирующего блока

Так как моделируемая система будет работать в разных температурных режимах, потребовалось произвести анализ мощностной характеристики системы.

Для создания мощностной характеристики было рассмотрено два температурных режима, соответствующих минимальной и максимальной разности температур, которые были рассчитаны при анализе технического задания в формулах (1.3) и (1.4).

На рисунке 4 представлена мощностная характеристика системы при разности температур в 140 градусов. Данные, используемые при построении графика представлены в приложении А

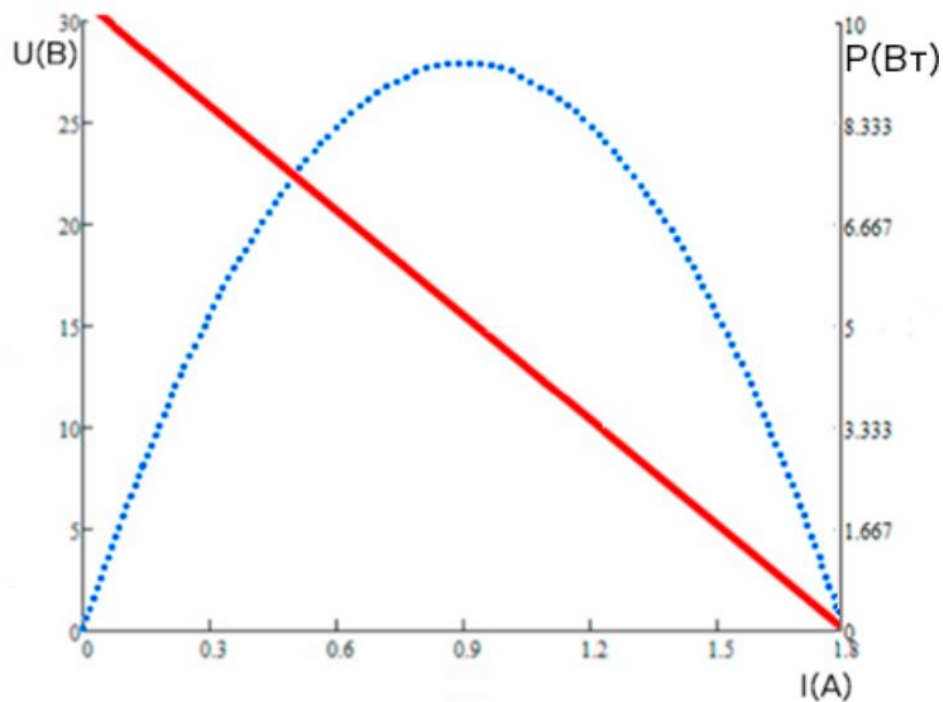


Рисунок 4– График внешней характеристики системы при разности температур 140 градусов Цельсия

Из анализа графика, представленного на рисунке 4 был сделан вывод, что при разности температур 140 градусов Цельсия ГБ способен генерировать мощность на уровне Вт. Это соответствует представленным требованиям к системе.

На рисунке 5 представлена мощностная характеристика системы при разности температур в 100 градусов. Данные, используемые при построении графика представлены в приложении Б

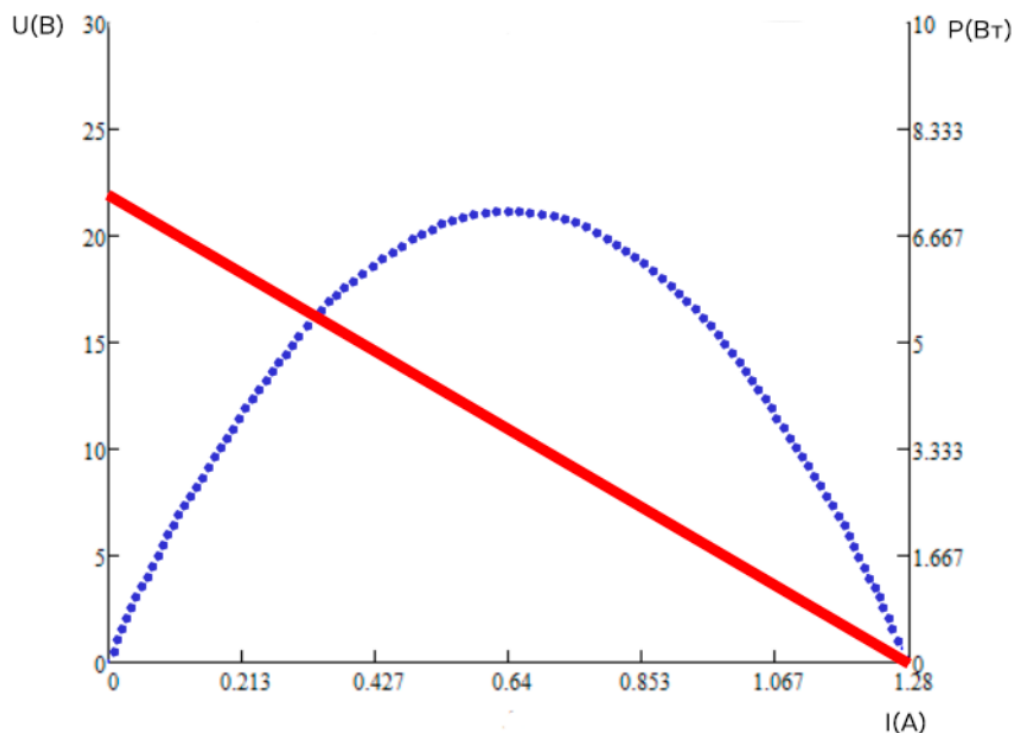


Рисунок 5 - График внешней характеристики системы при разности температур 100 градусов Цельсия

Из анализа графика, представленного на рисунке 4 был сделан вывод, что при разности температур 100 градусов Цельсия ГБ способен генерировать мощность на уровне 7Вт. Это соответствует представленным требованиям к системе.

После анализа графиков внешней характеристики ГБ был сделан вывод, говорящий о том, что даже при условиях минимальной разности температур ГБ будет генерировать достаточное количество энергии.

2 Выбор модулей и построение структурной схемы системы электропитания

2.1 Выбор стабилизаторов напряжения системы электропитания

Проводя анализ графика на представленного на рисунке 4 было сделано следующее заключение. При максимальной разности температур на выходе ГБ напряжение может превышать 15 В. В такой ситуации СЭП не будет соответствовать требованию технического задания, а именно, максимальному напряжению на входах нагрузки.

Также даже при напряжении на выходе ГБ ниже 15В все еще существует вероятность того, что напряжение окажется слишком велико для нагрузки 2.

Таким образом появилась необходимость в обеспечении стабильного напряжения на выходах СЭП.

Наиболее эффективно задача обеспечения стабильного напряжения на выходах 1 и 2 решается за счёт применения в СЭП серийно выпускаемых промышленностью стабилизирующих преобразователей напряжения. Проведя анализ предложений по серийно выпускаемым стабилизирующим преобразователям напряжения, принято решение выбрать преобразователи напряжения в модульном исполнении. Выбраны стабилизирующие преобразователи напряжения –модули марки AM1G-1203SZ и марки AM1DS-1515S-NZ. Модуль марки AM1G-1203SZ понижает входное напряжение до стабильных 3.3 В +/- 0.2В. Он изображен на рисунке 6. Модуль марки AM1DS-1515S-NZ имеет выходное напряжение в 15 В +/- 0.6В. Он изображен на рисунке 7.



Рисунок 6 – Модуль AM1G-1203SZ



Рисунок 7 – Модуль AM1DS-1515S-NZ

Однако, так как в преобразователи напряжения в моделируемой схеме неидеальны, для более точного расчёта потребляемой мощности следует учесть КПД преобразователей.

В приложениях В и Г приведены технические характеристики данных модулей. Исходя из анализа технических характеристик преобразователей, для AM1G-1203SZ было задано значение КПД 80%, а для AM1DS-1515S-NZ значение КПД 73%

Проанализировав нововведённые параметры системы, был сделан вывод о том, что значения КПД элементов не близки к 100 процентам, поэтому падением напряжения на их входе не удастся пренебречь. Исходя из этого проведены расчёты потребляемой мощности, учитывая при этом КПД преобразователей напряжения.

Были заново проведены расчёты максимальной и минимальной мощности, потребляемой нагрузкой (2.1) и (2.2):

$$P_{ГБmax} = \frac{P_{1max}}{кпд1} + \frac{P_{2max}}{кпд2} \quad (2.1),$$

$$P_{ГБmin} = \frac{P_{1min}}{кпд1} + \frac{P_{2min}}{кпд2} \quad (2.2)$$

где $P_{ГБmax}$ - максимальная мощность, потребляемая нагрузкой,

$P_{ГБmin}$ - минимальная мощность, потребляемая нагрузкой,

P_{1max} – максимальная мощность потребляемая первым модулем нагрузки,

P_{2max} – максимальная мощность потребляемая вторым модулем нагрузки,

P_{1min} – минимальная мощность потребляемая первым модулем нагрузки,

P_{2min} – минимальная мощность потребляемая вторым модулем нагрузки,

кпд1 – КПД повышающего стабилизатора напряжения,

кпд2 – КПД понижающего стабилизатора напряжения.

Подставив в формулы (2.1) и (2.2) выбранные значения КПД, были рассчитаны значения мощности.

$$P_{ГБmax} = \frac{4}{0.8} + \frac{1}{0.73} = 5.36 \text{Ватт}, \quad (2.3),$$

$$P_{ГБmin} = \frac{0}{0.8} + \frac{0.4}{0.73} = 0.54 \text{Ватт} \quad (2.4)$$

2.2 Ограничитель напряжения

2.2.1 Обоснование необходимости наличия ограничителя напряжения

Для стабильной работы моделируемой системы требуется избежать ситуации, когда мощность на выходе генератора превышает максимально допустимую потребляемую мощность. Проводя анализ графика, представленного на рисунке 6, было сделано заключение, что мощность генератора превышает 5 Ватт в случае, когда напряжение на выходе генератора превышает показатель в 16 Вольт.

Так же был взят в расчёт тот факт, что оба преобразователя напряжения, включенные в схему, имеют ограничение на показатель входного напряжения, а именно 16.5 Вольт для AM1DS-1515S-NZ и 18 Вольт для AM1G-1203SZ. В связи с этим необходимо использовать в схеме моделируемой системы ограничитель напряжения, разработка которого будет произведена дальше по ходу выполнения ВКР.

Исходя из проведенных расчётов появляется необходимость во включении в СЭП, ограничивающее напряжение на входе в стабилизаторы.

В тех случаях, когда необходимо ограничить диапазон изменения какого-либо сигнала, используются устройства, называемые ограничителями. В подобных цепях находят широкое применение диоды различных видов (импульсные, универсальные, стабилитроны, ограничители и др.) [5]. Для решения этой задачи было рассмотрено два варианта исполнения ОН, а именно последовательный ОН и шунтирующий ОН.

2.2.2 Выбор типа ограничителя напряжения

Последовательный ограничитель напряжения содержит в себе более дешевую элементную базу, но так как его подключение происходит последовательно, как изображено на рисунке 8 то на его полупроводниковых элементах происходит постоянное падение напряжения, даже в том случае, когда напряжение не превышает максимальных параметров.

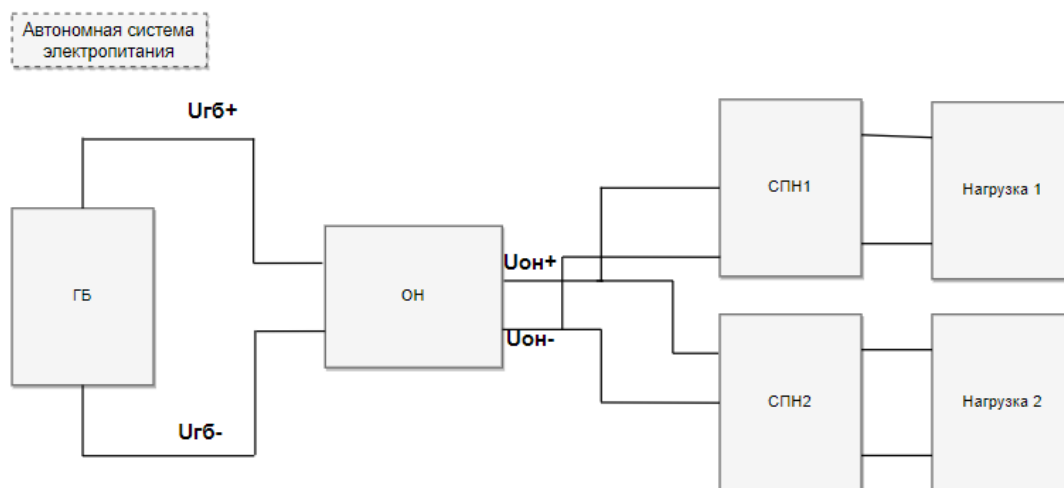


Рисунок 8 – Схема подключения последовательного ограничителя напряжения

В большинстве случаев падение напряжения на полупроводниковых элементах находится в диапазоне от 0.5 до 1 Вольта [6], в том случае, когда проектируемая СЭП будет работать в условиях максимальной разности температур, такое падение напряжения является приемлемым.

Однако, рассматривая случай работы системы при минимальной разности температур, изображенный на рисунке 5, мощность ГБ минимальна. Это говорит о том, что при падении напряжения в цепи до 1 вольта, потери мощности в системе будут около 5%.

Это создало потребность рассмотреть более экономичные варианты ограничителей напряжения.

Ограничитель напряжения шунтирующего типа подключается в СЭП параллельно, как показано на рисунке 9. Данный способ подключения ОН позволяет избежать потерь напряжения в случаях, когда мощность ГБ минимальна.

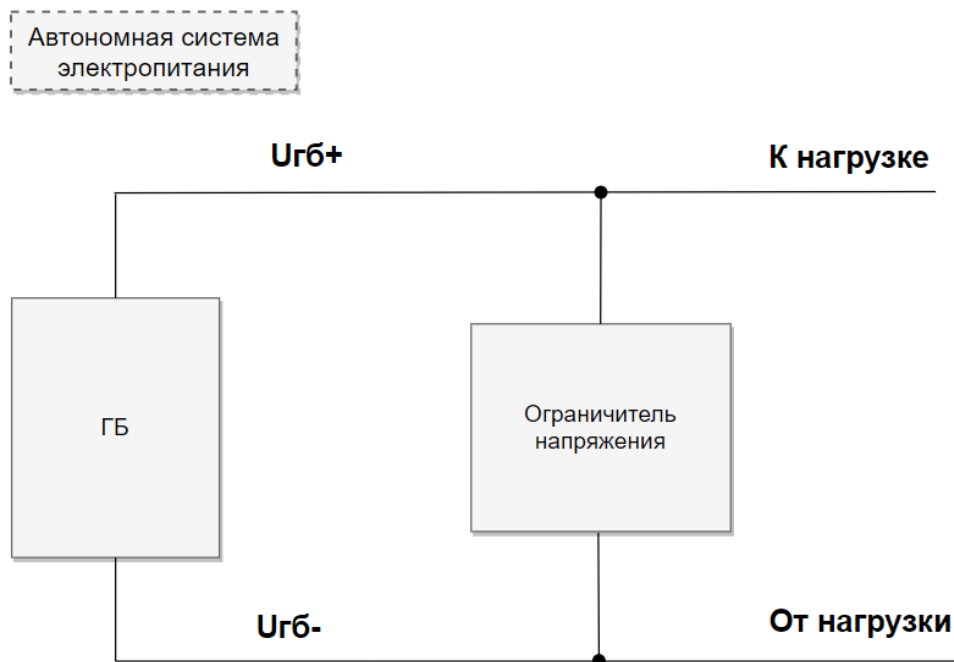


Рисунок 9 – Схема подключения ограничителя напряжения шунтирующего типа

Для того, чтобы избежать потери напряжения была разработана схема ОН шунтирующего типа, состоящая из стабилитрона, транзистора и резисторов, приведенная на рисунке 10.

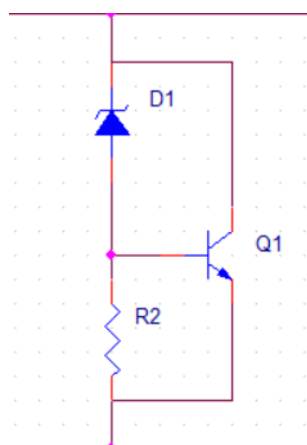


Рисунок 10 – Схема ограничителя напряжения шунтирующего типа

2.3 Структурная схема автономной СЭП

Пользуясь расчётами, приведенными выше, была создана структурная схема СЭП. Схема автономной СЭП приведена на рисунке 11. В её состав входят:

- ГБ – термоэлектрический генератор, предназначенный для генерирования электроэнергии;
- ОН – ограничитель напряжения, предназначенный для исключения превышения напряжения на входах преобразователей напряжения;
- СПН1 – стабилизирующий преобразователь напряжения обеспечивающий стабильное напряжение на входе в модуль нагрузки 1.
- СПН2 – стабилизирующий преобразователь напряжения обеспечивающий стабильное напряжение на входе в модуль нагрузки 2.
- Нагрузка 1 – модуль, потребляющий энергию
- Нагрузка 2 – модуль, потребляющий энергию

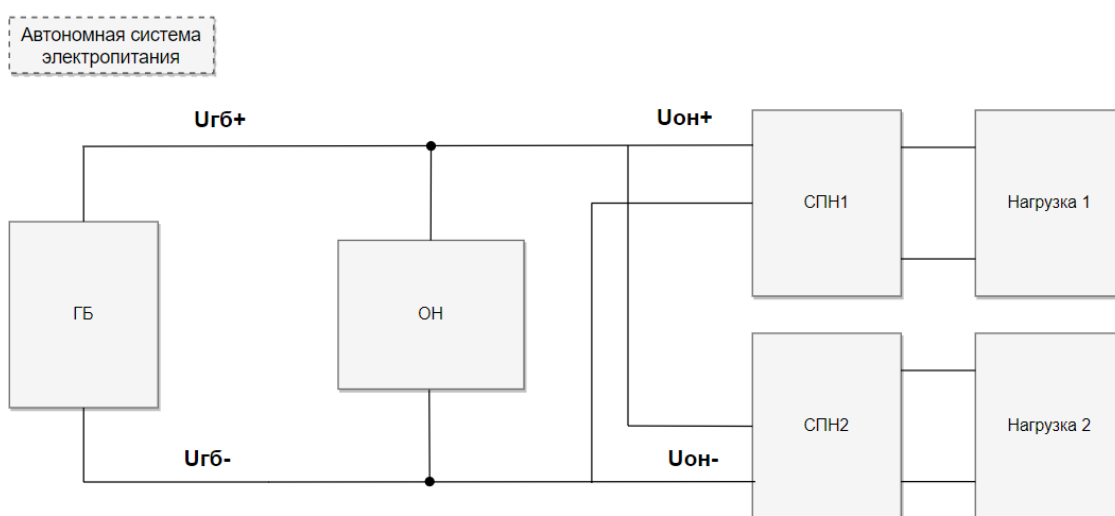


Рисунок 11 – Структурная схема СЭП

3 Выбор элементов и расчёт схемы ограничителя напряжения

3.1 Выбор транзистора

Был проведён расчёт величин напряжений и токов в схеме ОН, приведённой на рисунке 11, и по полученным значениям напряжений и токов выберем параметры элементов схемы.

Максимальное напряжение на участке коллектор-эмиттер определим по выражению из литературы [6]:

$$U_{кэ \max} \geq \frac{E_{\max}}{k_{итн}} \quad (3.1)$$

где $U_{кэ \max}$ – максимальное напряжения на участке коллектор-эмиттер,

E_{\max} – максимальная ЭДС генератора напряжения,

$k_{итн}$ – коэффициент использования транзистора по напряжению.

Из графика, изображенного на рисунке 4 было выбрано значение тока холостого хода и получено значение $E_{\max} = 22\text{В}$. Из таблицы 4 источника [7] выберем значение $k_{итн} = 0.7$.

Подставив выбранные значения в формулу (3.1) был рассчитан ток транзистора на участке коллектор-эмиттер (3.2):

$$U_{кэ \max} \geq \frac{22}{0.7} = 44.2 \text{ В} \quad (3.2)$$

Следует учесть тот факт, что напряжения на входе повышающего импульсного СН, должно быть меньше, чем на его выходе. принято решение ограничить входное напряжение ИСН AM1DS-1515S-NZ до 14 В.

Также следует учесть падение напряжения на транзисторе в том случае, когда напряжение на выходе генератора превышает 14 Вольт.

Воспользовавшись информацией, приведенной ранее, говорящей нам о том, что падение напряжения на полупроводниках составляет около 0.7 Вольт, было введен параметр максимального напряжения на выходе электрогенератора U_{tegmax} (3.3):

$$U_{tegmax} \leq 14.7 \text{ В} \quad (3.3)$$

По рисунку 4 определим максимальный ток коллектора транзистора при случае минимальной нагрузки и при ограничении напряжения на уровне не более чем 14.7 Вольт (3.3).

Используя график внешней характеристики источника энергии определен ток источника энергии I_{teg147} при напряжении 14.7 Вольт, посредством выполнения трассировки графика в среде Mathcad. Проведя вышеописанные манипуляций, было получено значение тока в 0.25А, график представлен на рисунке 12.

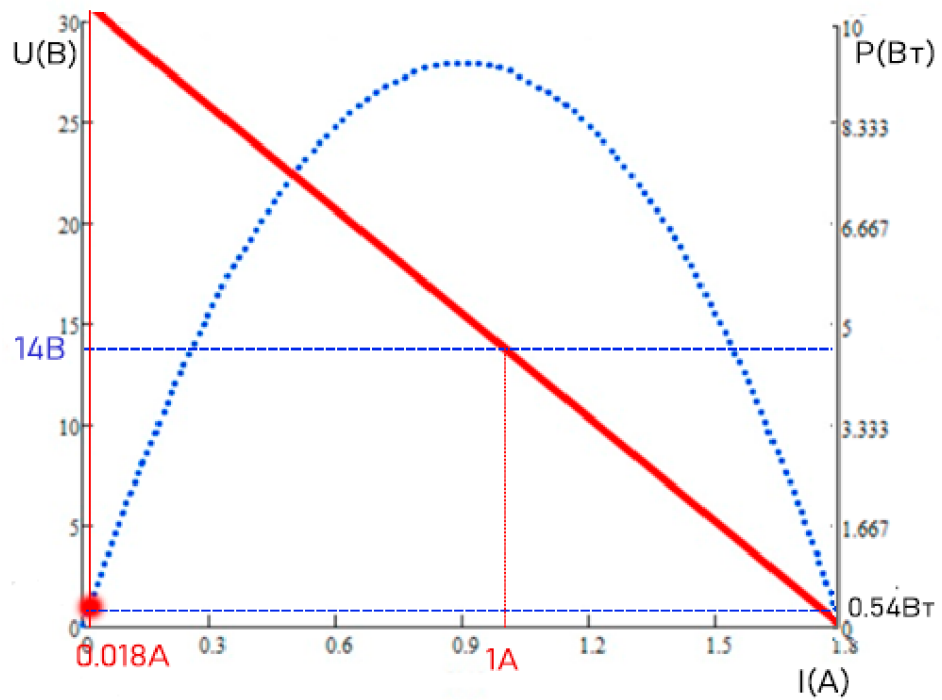


Рисунок 12 – График внешней характеристики с точкой пересечения на 14.7В и 0.25А

Для расчёта параметров транзистора требовалось провести расчёт тока, потребляемого нагрузкой. Этот параметр был рассчитан по формуле (3.4):

$$I_{\text{сум. вх СПН}} = P_{\text{мин. сум. вх СПН}} / U_{\text{огр}} \quad (3.4)$$

где $P_{\text{мин. сум. вх СПН}}$ – минимальная суммарная мощность, потребляемая СПН, а $U_{\text{огр}}$ – напряжение ограничения, задаваемое ОН.

Подставив рассчитанные ранее параметры в (3.4), был рассчитан ток, потребляемый нагрузкой (3.5):

$$I_{\text{сум. вх СПН}} = 0.54 / 30 = 0.018 \text{ A} \quad (3.5)$$

Ток через ограничитель напряжения будет равен разности тока генератора напряжения и тока, потребляемого нагрузкой (3.6):

$$I_{\text{он}} = I_{\text{тег147}} - I_{\text{н}} = 1 - 0.018 = 0.982 \text{ A} \quad (3.6)$$

Ток через стабилитрон примерно равен току базы транзистора. При выборе транзистора с коэффициентом передачи тока больше или равном 100, ток базы транзистора, а соответственно и ток через стабилитрон ограничителя напряжения не превысит 1% от тока через коллектор транзистора. Поэтому током через стабилитрон можно пренебречь. Следовательно, максимальный рабочий ток транзистора будет равен максимальному току ограничитель напряжения:

$$I_{\text{к. max. p}} = I_{\text{он}} \quad (3.7)$$

С учетом $k_{\text{итн}}$ равного 0.7 [7] проведя расчёт по формуле (3.8) было получено значение максимального тока через коллектор транзистора:

$$I_{\text{к. max}} \geq \frac{I_{\text{к. max. p}}}{k_{\text{итн}}} = \frac{0.982 \text{ A}}{0.8} = 1.22 \text{ A} \quad (3.8)$$

С учетом рассчитанных характеристик был выбран транзистор марки КТ 660 А, изображенный на рисунке 13. Лист данных на данных транзистор представлен в приложении Д.



Рисунок 13 – Транзистор КТ 660 А

3.2 Выбор стабилитрона

Согласно расчётам, проведенным в формуле (3.8) максимальный рабочий ток транзистора будет равен 0.214А. Был рассчитан ток базы транзистора по формуле (3.9)

$$I_b = \frac{I_{k.max.p}}{\beta} = \frac{1.22}{120} = 0.01 \text{ А} \quad (3.9)$$

Для определения тока через стабилитрон VD были выполнены расчёты по формуле (3.7).

$$I_{vd} = I_b + I_r \quad (3.10)$$

где I_r – ток через резистор,

I_{vd} –ток через стабилитрон,

I_b – ток базы транзистора, рассчитанный по формуле (3.9).

Резистор r – выполняет роль пассивного запирающего транзистора. В маломощных схемах рекомендуется выбирать резисторы с сопротивлением 1-2 Ком [7].

Поэтому был выбран резистор с мощностью 2кОм, поэтому, ток через резистор был рассчитан по формуле (3.8).

$$I_r = \frac{U_{бэ}}{R} = \frac{0.7}{2000} = 0.00035\text{A} = 0.35\text{mA} \quad (3.8)$$

Где $U_{бэ} = 0.7\text{В}$, так как в технических характеристиках транзистора в приложении Д, не указан ток на участке база-эмиттер, а в справочной литературе данный параметр принимается за 0.7А.

Подставив рассчитанные параметры в формулу (3.7) был рассчитан ток через стабилитрон VD (3.9).

$$I_{vd} = 0.35 \text{ mA} + 10 \text{ mA} = 10.35 \text{ mA} \quad (3.9)$$

Воспользовавшись расчётом, проведенным в (3.9) был сделан вывод, что требуется выбрать стабилитрон, с максимальным током больше 1.6мА.

Было определено напряжение U_{cm} стабилизации стабилитрона VD. В режиме ограничения напряжения ОН на уровне 14.7 Вольт, ток через ОН протекает через стабилитрон и участок база-эмиттер транзистора, следовательно, напряжение стабилизации было определено по формуле (3.10):

$$U_{cm} = U_{он} - U_{бэ} = 14 - 0,7 = 13,3 \text{ В}. \quad (3.10)$$

Используя рассчитанные параметры и подобран стабилизатор марки BZX55C14, с напряжением стабилизации $15\text{В} + 5\%$. На рисунке 16 представлен корпус стабилизатора BZX55C14. Лист с техническими характеристиками обоих стабилизаторов приведен в приложении Е.



Рисунок 14 – корпус стабилизатора BZX55C14

3.2.1 Выбор стабилитора. Настройка ОН

Так как в технических характеристиках диода указано, что напряжения стабилизации может отклониться на 5% в положительную сторону, то в моделируемом ОН требовалось использовать стабилитор. При увеличении температуры и постоянном токе напряжение на стабилиторах уменьшается.

Этот эффект позволяет использовать стабилиторы для температурной компенсации стабилизаторов с положительным коэффициентом напряжения стабилизации.

Исходя из напряжения стабилизации стабилизатора $U_{ст} = 13,3\text{ В}$, выбран стабилизатор марки BZX111111, с напряжением стабилизации $13\text{В} \pm 5\%$.

С учётом допуска в 5% максимальное напряжение на стабилизаторе составит:

$$U_{ст. max} = U_{ст} + 0,05 U_{ст} = 13,3 + 0,05 * 13,3 В = 13,97 В. \quad (3.11)$$

Напряжение стабилизации стабистора было рассчитано по формуле (3.12):

$$U_{стб} = U_{ст} - U_{ст. max} = 0,7В \quad (3.12)$$

где $U_{стб}$ – напряжение стабилизации стабистора,

$U_{ст}$ – напряжение стабилизации стабилитрона, полученное в расчёте (3.10).

Исходя из рассчитанного напряжения стабилизации был выбран стабистор марки 2С107А, изображённый на рисунке 15. Лист с техническими данными данного стабистора приведен в приложении Ж



Рисунок 15 – Стабистор 2С107А

4 Моделирование СЭП в электронной среде

4.1 Создание модели СЭП и проведение эксперимента

Для подтверждения работоспособности схемы было принято решение провести эксперимент в электронной среде моделирования, в ходе которого будет смоделирована работа СЭП с ограничителем напряжения.

Пользуясь средствами системы Multisim была собрана экспериментальная схема СЭП, которая изображена на рисунке 18

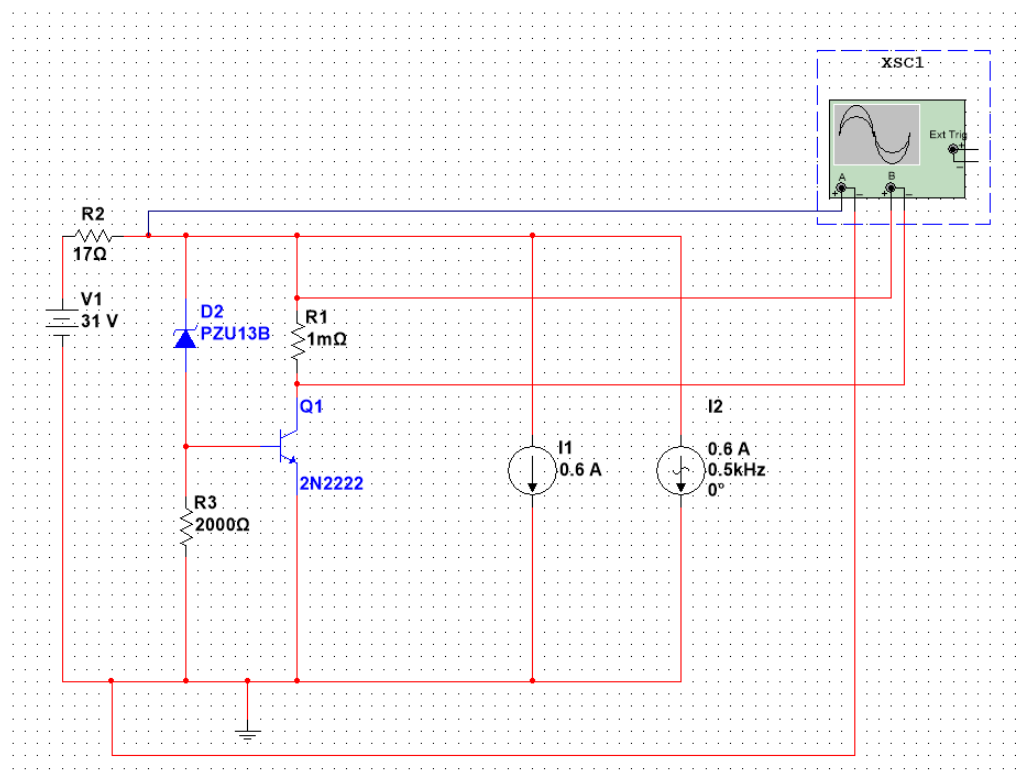


Рисунок 16 - экспериментальная схема СЭП собранная в среде Multisim

В данной модели были применена схема замещения ГБ применительно к V1 и R2, причём ЭДС источника выбрана равной $U_{хх}$, а резистор выбран равным $R_{вн}$ ГБ.

Для имитации нагрузки в схему было введено 2 источника тока. Один источник потребляет 1А постоянного тока. Второй источник тока потребляет

ток равный 1А с частотой 500Гц. Источник I1 потребляет ток постоянно, а источник I2 осуществляет переменное потребление тока.

Имитация нагрузки двумя источниками тока позволяет обеспечить процесс перемещения рабочей точки по графику внешней мощностной характеристики. Таким образом получилось смоделировать изменяемое по величине ненулевое потребления тока нагрузкой.

На рисунке 17 представлены осциллограммы напряжения на выходе ГБ и тока потребляемого нагрузкой, полученные в среде Multisim.

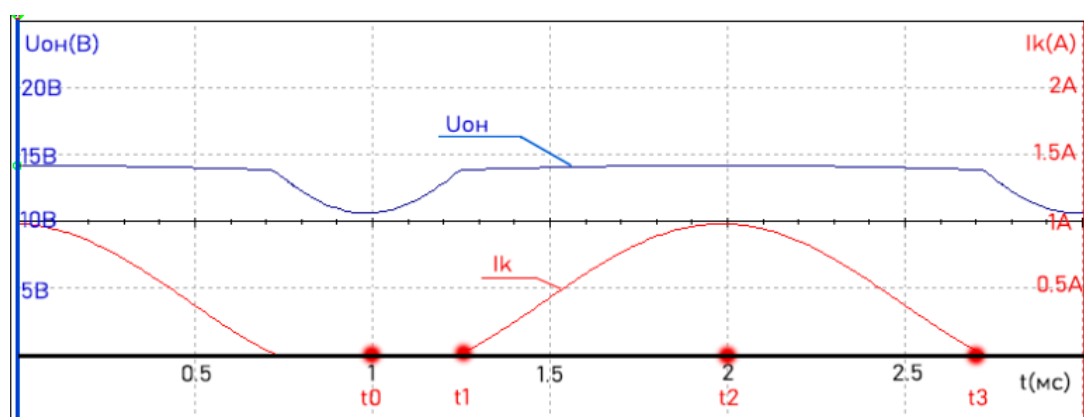


Рисунок 17 – Графики, напряжения на выходе ГБ и тока потребляемого нагрузкой полученные в ходе моделирования в среде Multisim

4.2 Анализ результатов эксперимента

После проведения эксперимента, для того, чтобы убедиться в правильности моделируемой СЭП, был проведен анализ графика, представленного на рисунке 17.

Осциллограмма красного цвета соответствует току коллектора транзистора ОН. Цена деления – 0.5А/дел. (дел. соответствует клетке).

Осциллограмма синего цвета соответствует напряжению на выходе ГБ. Цена деления – 5Вдел. (дел. соответствует клетке).

Ось абсцисс на графике смещена на две клетки вниз

Процесс работы ОН был рассмотрен и описан на примере 4х моментов времени.

В момент времени t_0 напряжение на ГБ меньше 14В, а нагрузка потребляет большой ток. Поэтому в ОН не происходит пробоя стабилитрона D2, и, следовательно, ток базы и коллектора транзистора Q1 отсутствуют. На осциллограмме красного цвета видно, что потребления тока ОН отсутствует.

После момента времени t_0 ток, потребляемый нагрузкой, снижается. В следствии этого начинает возрастать напряжение на выходе ГБ и приближаться к отметке в 14 В. В момент времени t_1 напряжение на выходе ГБ достигает 14 В. Происходит пробой стабилитрона и через ОН начинает протекать ток. На осциллограмме красного цвета видно, что ток коллектора транзистора Q1 растет.

В момент времени t_2 ток нагрузки перестает уменьшаться, и, следовательно, ток коллектора транзистора Q1 ОН перестает расти. После момента времени t_2 ток нагрузки начинает возрастать, а ток коллектора транзистора Q1 ОН начинает уменьшаться. В следствии этого рабочая точка на линии внешней характеристики сдвигается по направлению вниз.

В момент времени t_3 ток коллектора снижается до нуля, так как нагрузка начала потреблять большой ток. Все вышеописанные процессы начинают повторяться.

На протяжении отрезка времени t_0 - t_3 осциллограмма синего цвета показывает, что напряжение ГБ не превышало 14В.

Проведя анализ графика, представленного на рисунке 17, было сделано заключение, о том, что когда напряжение превышает предельную величину в 14 В, то происходит пробой стабилитрона в ОН. При этом на базу транзистора Q1 подается ток, появляется ток коллектора транзистора Q1. Таким образом ОН обеспечивает поддержание тока ГБ на уровне, при котором за счёт падения

напряжения на внутреннем сопротивлении ГБ напряжение на выходе ГБ не превышает 14 В.

Следовательно, был сделан вывод, что схема ОН, выполняет свою функцию и ограничивает напряжение на выходе ГБ на уровне не выше 14 Вольт, что является допустимым для нормальной работы стабилизирующих преобразователей напряжения, выбранных в разделе 2.1.

5 Построение принципиальной схемы СЭП.

Для построения принципиальной схемы СЭП была использована электронная среда OrCAD, а именно модуль Capture CIS. На рисунке 20 изображена принципиальная схема СЭП.

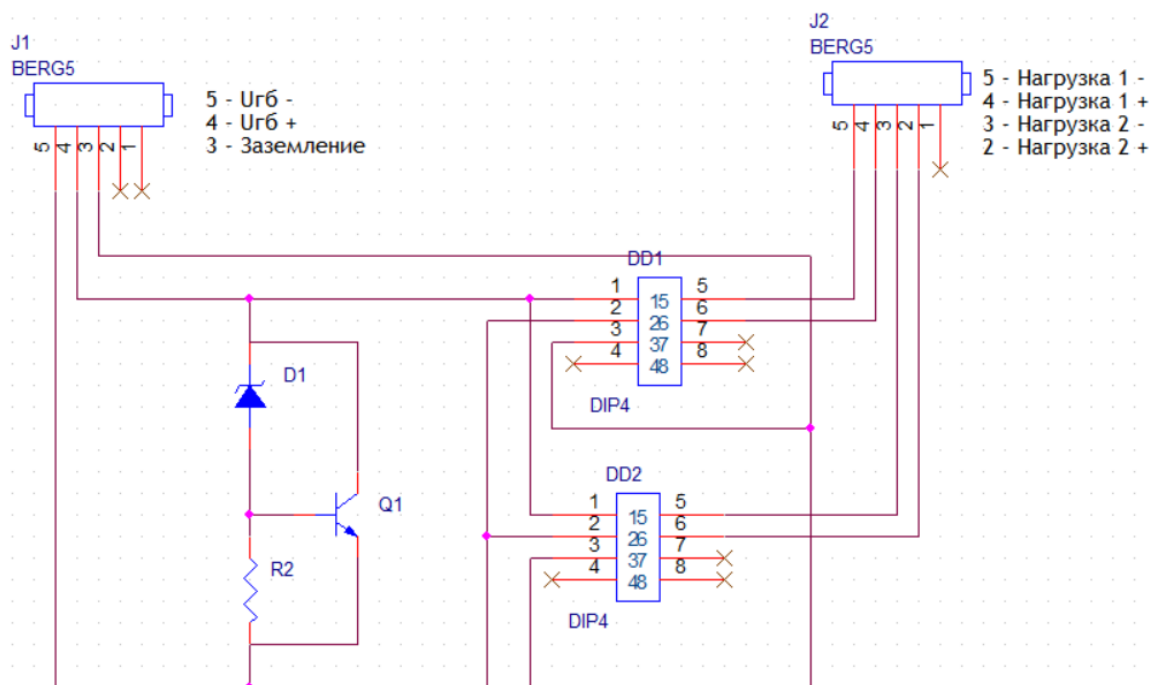


Рисунок 18 – Принципиальная схема СЭП

В её состав входят:

- J1 – Коннектор, на 5 и 4 входы которого подается напряжение с ГБ. На третий порт коннектора приходит заземление;
- D1 – Стабилитрон VZX55C14;
- R2– резистор, участвующий в работе ОН;
- Q1 – транзистор КТ660А;
- DD1–Повышающий стабилизатор напряжения AM1DS-1515S-NZ;
- DD2 – Понижающий стабилизатор напряжения AM1G-1203SZ;

- J2 – Коннектор, на 1 и 2 входы которого поступает напряжение от повышающего ИСН, на 3 и 4 входы поступает напряжение от понижающего ИСН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении настоящей ВКР была разработана автономная система электропитания на основе источника тепловой энергии. Исходя из анализа проведенных работ, можно сделать вывод, что цель ВКР достигнута, а поставленные задачи выполнены.

В ходе работы был проведён анализ рынка термоэлектрогенераторов и выбраны термоэлектрогенераторы, соответствующие требованиям технического задания. Было рассчитано количество термоэлектрогенераторов и способ соединения термоэлектрогенераторов в генерирующий блок, который позволяет обеспечить выполнение требований ТЗ по уровню генерируемой мощности с учётом КПД стабилизирующих преобразователей напряжения.

В соответствии с техническим заданием выбраны модели стабилизирующих преобразователей напряжения, которые выпускаются промышленностью. При анализе характеристик стабилизирующих преобразователей напряжения выявлена необходимость введения в состав автономной системы электропитания (СЭП) устройства ограничения напряжения (ОН) на выходе генерирующего блока.

Выбран тип ОН, который позволит избежать потерь мощности в СЭП и разработана структурная схема СЭП, включающая в себя генерирующий блок, ограничитель напряжения и стабилизирующие преобразователи напряжения.

Разработана принципиальная схема и рассчитаны параметры элементов подсистемы – «Ограничитель напряжения». Исходя из этих параметров был проведен выбор элементной базы, входящей в состав ОН.

Разработана имитационная модель СЭП, с использованием которой проведен эксперимент, демонстрирующий работоспособность разработанного ОН. В ходе эксперимента было сделано заключение о том, что ОН выполняет свою функцию и напряжение на выходе СЭП не превышает заданного в ТЗ.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СЭП – система электропитания

ТЭГ – термоэлектрогенератор

ОН – ограничитель напряжения

ПН – преобразователь напряжения

ЭДС - Электродвижущая сила

ВКР – Выпускная квалификационная работа

ГБ – Генерирующий блок

ТЗ – Техническое задание

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Пухкал, В.А. Исследование инерционности отопительных приборов / В.А. Пухкал // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.
- 2 Алюминиевые конденсаторы [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.compel.ru/FL6rG5/VMs-M3-Mq-M9-M2-Mn-vZ-v7>.
- 3 Термоэлектрические генераторы ТЭГ-5, ТЭГ-7 [Электронный ресурс]. 2020 – Режим доступа: https://emis-kip.ru/ru/prod/generatory_teg/.
- 4 Шестаковский, П.А. термоэлектрические источники альтернативного электропитания / П.А. Шестаковский // Компоненты и технологии. – 2010. – № 12. – 7 с.
- 5 Ровдо, А.А. Полупроводниковые диоды и схемы с диодами: научное издание / А.А. Ровдо. - Москва : Лайт Лтд, 2000. - 288 с.
- 6 Расчёт транзисторного каскада с общим эмиттером (ОЭ)[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meanders.ru/tranzistors.shtml>.
- 7 Краснобаев, Ю. В. Проектирование систем электропитания: учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов электротехн. спец. / Ю. В. Краснобаев, Е. Е. Носкова ; Краснояр. гос. техн. ун-т. – 2000 – 100 с.
- 8 СТО 4.2 07 2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2 07 2012 ; дата введ. 09.01.2014. – Красноярск, 2014. – 60с.
- 9 Соустин, Б.П. Системы электропитания космических аппаратов [Текст] / Б. П. Соустин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Краснояр. науч. центр. - Новосибирск : Наука, 1994. - 318 с.
- 10 Стабилизаторы напряжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hamlab.net/begun/stab.html> .

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Данные для построения графика внешней характеристики ГБ при разности температур 140 градусов Цельсия в среде Mathcad

U140 - Матрица показаний напряжения	I140 - матрица показателей тока	P140 - матрица показателей мощности
(31)	(0)	(0)
30	0.058	0.058-30
29	0.116	0.116-29
28	0.174	0.174-28
27	0.232	0.232-27
26	0.29	0.29-26
25	0.348	0.348-25
24	0.406	0.406-24
23	0.465	0.465-23
22	0.523	0.523-22
21	0.581	0.581-21
20	0.639	0.639-20
19	0.697	0.697-19
18	0.755	0.755-18
17	0.813	0.813-17
16	0.871	0.871-16
15	0.929	0.929-15
14	0.987	0.987-14
13	1.045	1.045-13
12	1.103	1.103-12
11	1.161	1.161-11
10	1.219	1.219-10
9	1.277	1.277-9
8	1.335	1.335-8
7	1.394	1.394-7
6	1.452	1.452-6
5	1.51	1.51-5
4	1.568	1.568-4
3	1.626	1.626-3
2	1.684	1.684-2
1	1.742	1.742-1
(0)	(1.8)	(1.8-0)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Данные для построения графика внешней характеристики ГБ при разности температур 100 градусов Цельсия в среде Mathcad

U - Матрица показаний напряжения

A - матрица показателей тока

P - матрица показателей мощности

U :-	(22)	A :-	(0)	P :-	(0)
	21		0.058		0.058-21
	20		0.116		0.116-20
	19		0.175		0.175-19
	18		0.233		0.233-18
	17		0.291		0.291-17
	16		0.349		0.349-16
	15		0.407		0.407-15
	14		0.465		0.465-14
	13		0.524		0.524-13
	12		0.582		0.582-12
	11		0.64		0.64-11
	10		0.698		0.698-10
	9		0.756		0.756-9
	8		0.815		0.815-8
	7		0.873		0.873-7
	6		0.931		0.931-6
	5		0.989		0.989-5
	4		1.047		1.047-4
	3		1.105		1.105-3
	2		1.164		1.164-2
	1		1.222		1.222-1
	0		1.28		0

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Технические характеристики преобразователя напряжения AM1DS-1515S-NZ

Click on Series name for product info on aimtec.com



Series AM1DS-NZ 1 Watt | DC-DC Converter



FEATURES:

- RoHS compliant
- High efficiency up to 82%
- Low profile plastic package
- 7 pin SIP package
- Operating temperature -40°C to + 105°C
- Continuous short circuit protection ‡
- Pin compatible with multiple manufacturers
- Up to 3000VDC Isolation

Models Single output



Model	Input Voltage (V)	Output Voltage (V)	Output Current max (mA)	Isolation (VDC)	Input Current Full Load No Load (mA)	Max. Capacitive Load (µF)	Efficiency (%)
AM1DS-0303S-NZ*	3.0-3.6	3.3	303	1500	415 25	220	78
AM1DS-0305S-NZ*	3.0-3.6	5	200	1500	388 25	220	79
AM1DS-0505S-NZ	4.5-5.5	5	200	1500	250 20	220	80
AM1DS-0505S-JZ	4.5-5.5	5	200	1500	250 10	2400	82
AM1DS-0509S-NZ	4.5-5.5	9	112	1500	250 20	220	80
AM1DS-0512S-NZ	4.5-5.5	12	83	1500	248 20	220	81
AM1DS-0515S-NZ	4.5-5.5	15	67	1500	248 20	220	81
AM1DS-0524S-NZ ‡	4.5-5.5	24	42	1500	248 20	220	81
AM1DS-1205S-NZ	10.8-13.2	5	200	1500	111 15	220	80
AM1DS-1209S-NZ	10.8-13.2	9	112	1500	92 15	220	80
AM1DS-1212S-NZ	10.8-13.2	12	83	1500	92 15	220	81
AM1DS-1215S-NZ	10.8-13.2	15	67	1500	90 15	220	81
AM1DS-1515S-NZ*	13.5-16.5	15	67	1500	84 10	220	80
AM1DS-2403S-NZ*	21.6-26.4	3.3	303	1500	56 7	220	79
AM1DS-2405S-NZ	21.6-26.4	5	200	1500	51 7	220	79
AM1DS-2412S-NZ	21.6-26.4	12	83	1500	52 7	220	81
AM1DS-2415S-NZ	21.6-26.4	15	67	1500	52 7	220	81
AM1DS-2424S-NZ ‡	21.6-26.4	24	42	1500	52 7	220	82
AM1DS-0305SH30-NZ*	3.0-3.6	5	200	3000	388 25	220	79
AM1DS-0505SH30-NZ	4.5-5.5	5	200	3000	250 20	220	80
AM1DS-0509SH30-NZ	4.5-5.5	9	112	3000	250 20	220	80
AM1DS-0512SH30-NZ	4.5-5.5	12	83	3000	248 20	220	80
AM1DS-0515SH30-NZ	4.5-5.5	15	67	3000	248 20	220	81
AM1DS-0524SH30-NZ ‡	4.5-5.5	24	42	3000	248 20	220	81
AM1DS-1205SH30-NZ	10.8-13.2	5	200	3000	111 15	220	80
AM1DS-1209SH30-NZ	10.8-13.2	9	112	3000	111 15	220	80
AM1DS-1212SH30-NZ	10.8-13.2	12	83	3000	92 15	220	81
AM1DS-1215SH30-NZ	10.8-13.2	15	67	3000	92 15	220	81
AM1DS-1224SH30-NZ ‡	10.8-13.2	24	42	3000	92 15	220	80
AM1DS-2405SH30-NZ	21.6-26.4	5	200	3000	51 7	220	79
AM1DS-2409SH30-NZ	21.6-26.4	9	112	3000	51 7	200	80
AM1DS-2412SH30-NZ	21.6-26.4	12	83	3000	52 7	220	81
AM1DS-2415SH30-NZ	21.6-26.4	15	67	3000	52 7	220	81
AM1DS-2424SH30-NZ ‡	21.6-26.4	24	42	3000	52 7	220	82

Models Dual output

Model	Input Voltage (V)	Output Voltage (V)	Output Current max (Ma)	Isolation (VDC)	Input Current Full Load No Load (mA)	Max. Capacitive Load (µF)	Efficiency (%)
AM1DS-0305D-NZ*	2.97-3.63	±5	±100	1500	274 20	100	78
AM1DS-0312D-NZ*	2.97-3.63	±12	±42	1500	248 20	100	78
AM1DS-0505D-NZ	4.5-5.5	±5	±100	1500	274 20	100	80
AM1DS-0509D-NZ	4.5-5.5	±9	±56	1500	250 20	100	80
AM1DS-0512D-NZ	4.5-5.5	±12	±42	1500	248 20	100	80
AM1DS-0515D-NZ	4.5-5.5	±15	±34	1500	248 20	100	81

www.aimtec.com
F 051e R12.J

Tel: +1 514 620 2722
1 of 7

Toll free: + 1 888 9 AIMTEC (924 6832)
North America only

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Технические характеристики преобразователя напряжения AM1G-1203SZ



Click on Series name for product info on aimtec.com

Series AM1G-Z 1 Watt | DC-DC Converter



FEATURES:

- RoHS compliant
- High efficiency up to 77%
- Remote On/Off Control
- 8 pin SIP package
- Operating temperature -40°C to + 85°C
- Continuous Short Circuit Protection
- Wide 2:1 input range
- Input / Output Isolation 1000 & 3000VDC

Models Single output



Model	Input Voltage (V)	Output Voltage (V)	Output Current Max (mA)	Isolation (VDC)	Capacitor Load (µF)	Input Current Full Load No Load (mA)	Efficiency (%)
AM1G-0503SZ	4.5-9	3.3	303	1000	3300	298 15	67
AM1G-0505SZ	4.5-9	5	200	1000	3300	298 15	67
AM1G-0507SZ	4.5-9	7.2	139	1000	470	295 43	68
AM1G-0509SZ	4.5-9	9	111	1000	470	285 40	70
AM1G-0512SZ	4.5-9	12	83	1000	470	285 55	70
AM1G-0515SZ	4.5-9	15	67	1000	470	285 55	70
AM1G-0518SZ	4.5-9	18	56	1000	220	285 55	67
AM1G-0524SZ	4.5-9	24	42	1000	220	294 70	68
AM1G-1203SZ	9-18	3.3	303	1000	3300	119 15	70
AM1G-1205SZ	9-18	5	200	1000	3300	115 15	72
AM1G-1207SZ	9-18	7.2	139	1000	470	110 15	73
AM1G-1209SZ	9-18	9	111	1000	470	108 15	77
AM1G-1212SZ	9-18	12	83	1000	470	108 15	77
AM1G-1215SZ	9-18	15	67	1000	470	108 15	77
AM1G-1218SZ	9-18	18	56	1000	220	109 15	71
AM1G-1224SZ	9-18	24	42	1000	220	114 15	73
AM1G-2403SZ	18-36	3.3	303	1000	3300	59 8	70
AM1G-2405SZ	18-36	5	200	1000	3300	57 8	72
AM1G-2407SZ	18-36	7.2	139	1000	470	56 8	72
AM1G-2409SZ	18-36	9	111	1000	470	55 8	75
AM1G-2412SZ	18-36	12	83	1000	470	55 8	75
AM1G-2415SZ	18-36	15	67	1000	470	55 8	75
AM1G-2418SZ	18-36	18	56	1000	220	55 8	73
AM1G-2424SZ	18-36	24	42	1000	220	55 8	75
AM1G-4803SZ	36-72	3.3	303	1000	3300	31 6	66
AM1G-4805SZ	36-72	5	200	1000	3300	30 6	68
AM1G-4807SZ	36-72	7.2	139	1000	470	30 6	69
AM1G-4809SZ	36-72	9	111	1000	470	29 6	70
AM1G-4812SZ	36-72	12	83	1000	470	29 6	70
AM1G-4815SZ	36-72	15	67	1000	470	29 6	70
AM1G-4818SZ	36-72	18	56	1000	220	29 6	69
AM1G-4824SZ	36-72	24	42	1000	220	30 6	68

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Технические характеристики биполярного транзистора КТ660А

Тип прибора	Проводимость	Предельные значения параметров при T=25°C			Значения параметров при T=25°C				T _{к.макс.} °C	Корпус
		U _{кэ.мах} (U _{кэ.и.мах.}) В	I _{к.мах.} (I _{к.и.мах.}) А	P _{к.мах.} (P _{к.и.мах.}) Вт	f _{гр.} МГц	h _{21э}	K _ш дБ	I _{к.обр.} (I _{э.обр.}) мкА		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2Т652А	п-р-п	45	1,0 (2,0)	1	200	25...100	-	300 (300)	-60...+125	
2Т652А-2	п-р-п	45	1,0 (2,0)	1	200	25...100	-	300 (300)	-60...+125	
2Т653А	п-р-п	130	1,0 (2,0)	5	50	40...150	-	-	-60...+125	
2Т653Б	п-р-п	130	1,0 (2,0)	5	50	80...250	-	-	-60...+125	
КТ659А	п-р-п	50	1,2	1	300	i 35	-	-	-40...+85	КТ-2-7
КТ660А	п-р-п	45	0,8 (1,0)	0,5 (1,0)	-	110...220	-	1,0 (0,5)	-40...+85	КТ-26
КТ660Б	п-р-п	30	0,8 (1,0)	0,5 (1,0)	-	200...450	-	1,0 (0,5)	-40...+85	КТ-26
КТ661А	р-п-р	60	0,3	0,4	200	100...300	-	-	-40...+85	КТ-1-7
КТ662А	р-п-р	60	0,6	0,4	200	200...500	-	-	-40...+85	КТ-26
КТ668А	р-п-р	45	0,1	0,5	200	75...140	-	-	-60...+125	КТ-26
КТ668Б	р-п-р	45	0,1	0,5	200	125...250	-	-	-60...+125	КТ-26
КТ668В	р-п-р	45	0,1	0,5	200	220...475	-	-	-60...+125	КТ-26
КТ680А	п-р-п	30	0,6	0,35	120	i 85				
КТ681А	р-п-р	25	0,6	0,35	120	85...300	-	-	-40...+85	КТ-26
КТ683А	п-р-п	150	1	8	50	40...120	-	-	-60...+125	КТ-27-2
КТ683Б	п-р-п	100	1	8	50	80...240	-	-	-60...+125	КТ-27-2
КТ683В	п-р-п	100	1	8	50	40...120	-	-	-60...+125	КТ-27-2
КТ683Г	п-р-п	80	1	8	50	40...120	-	-	-60...+125	КТ-27-2
КТ683Д	п-р-п	60	1	8	50	80...240	-	-	-60...+125	КТ-27-2
КТ683Е	п-р-п	40	1	8	50	160...480	-	-	-60...+125	КТ-27-2
КТ684А	п-р-п	45	1	0,8	100	40...250	-	-	-45...+125	КТ-26
КТ684Б	п-р-п	60	1	0,8	100	40...160	-	-	-45...+125	КТ-26
КТ684В	п-р-п	80	1	0,8	100	40...160	-	-	-45...+125	КТ-26
КТ685А	р-п-р	40	0,6	0,6	200	40...120	-	-	-60...+125	КТ-26
КТ685Б	р-п-р	60	0,6	0,6	200	40...120	-	-	-60...+125	КТ-26

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Технические характеристики стабилитрона BZX55C14

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified

Type Number	Zener Voltage $V_Z @ I_{ZT}$				Maximum Zener Impedance			Maximum Reverse Leakage Current, I_R			Temp. coefficient of Zener Voltage TK_{VZ} (% / K)	Admissible Zener Current ⁽²⁾ I_{ZM} (mA)
	Nom ⁽¹⁾ (V)	Min ⁽²⁾ (V)	Max ⁽²⁾ (V)	I_{ZT} (mA)	$Z_{ZT} @ I_{ZT}$ (Ω)	$Z_{Zk} @ I_{Zk}$ (Ω)	I_{Zk} (mA)	$T_a=25^\circ\text{C}$ (μA)	$T_a=150^\circ\text{C}$ (μA)	at V_R (V)		
BZX55C2V0	2.0	1.9	2.1	5.0	85	600	1.0	100	200	1.0	-0.09...-0.06	175
BZX55C2V2	2.2	2.08	2.41	5.0	85	600	1.0	50	100	1.0	-0.09...-0.06	160
BZX55C2V4	2.4	2.28	2.56	5.0	85	600	1.0	50	100	1.0	-0.09...-0.06	145
BZX55C2V7	2.7	2.5	2.9	5.0	85	600	1.0	10	50	1.0	-0.09...-0.06	135
BZX55C3V0	3.0	2.8	3.2	5.0	85	600	1.0	4.0	40	1.0	-0.08...-0.05	125
BZX55C3V3	3.3	3.1	3.5	5.0	85	600	1.0	2.0	40	1.0	-0.08...-0.05	115
BZX55C3V6	3.6	3.4	3.8	5.0	85	600	1.0	2.0	40	1.0	-0.08...-0.05	105
BZX55C3V9	3.9	3.7	4.1	5.0	85	600	1.0	2.0	40	1.0	-0.08...-0.05	95
BZX55C4V3	4.3	4.0	4.6	5.0	75	600	1.0	1.0	20	1.0	-0.06...-0.03	90
BZX55C4V7	4.7	4.4	5.0	5.0	60	600	1.0	0.5	10	1.0	-0.05...+0.02	85
BZX55C5V1	5.1	4.8	5.4	5.0	35	550	1.0	0.1	2.0	1.0	-0.02...+0.02	80
BZX55C5V6	5.6	5.2	6.0	5.0	25	450	1.0	0.1	2.0	1.0	-0.05...+0.05	70
BZX55C6V2	6.2	5.8	6.6	5.0	10	200	1.0	0.1	2.0	2.0	0.03...0.06	64
BZX55C6V8	6.8	6.4	7.2	5.0	8	150	1.0	0.1	2.0	3.0	0.03...0.07	58
BZX55C7V5	7.5	7.0	7.9	5.0	7	50	1.0	0.1	2.0	5.0	0.03...0.07	53
BZX55C8V2	8.2	7.7	8.7	5.0	7	50	1.0	0.1	2.0	6.2	0.03...0.08	47
BZX55C9V1	9.1	8.5	9.6	5.0	10	50	1.0	0.1	2.0	6.8	0.03...0.09	43
BZX55C10	10	9.4	10.6	5.0	15	70	1.0	0.1	2.0	7.5	0.03...0.10	40
BZX55C11	11	10.4	11.6	5.0	20	70	1.0	0.1	2.0	8.2	0.03...0.11	36
BZX55C12	12	11.4	12.7	5.0	20	90	1.0	0.1	2.0	9.1	0.03...0.11	32
BZX55C13	13	12.4	14.1	5.0	26	110	1.0	0.1	2.0	10.0	0.03...0.11	29
BZX55C14	14	13.1	15.0	5.0	28	110	1.0	0.1	2.0	10.5	0.03...0.11	28
BZX55C15	15	13.8	15.6	5.0	30	110	1.0	0.1	2.0	11	0.03...0.11	27
BZX55C16	16	15.3	17.1	5.0	40	170	1.0	0.1	2.0	12	0.03...0.11	24
BZX55C18	18	16.8	19.1	5.0	50	170	1.0	0.1	2.0	13	0.03...0.11	21
BZX55C20	20	18.8	21.2	5.0	55	220	1.0	0.1	2.0	15	0.03...0.11	20
BZX55C22	22	20.8	23.3	5.0	55	220	1.0	0.1	2.0	16	0.04...0.12	18
BZX55C24	24	22.8	25.6	5.0	80	220	1.0	0.1	2.0	18	0.04...0.12	16
BZX55C27	27	25.1	28.9	5.0	80	220	1.0	0.1	2.0	20	0.04...0.12	14
BZX55C30	30	28	32	5.0	80	220	1.0	0.1	2.0	22	0.04...0.12	13
BZX55C33	33	31	35	5.0	80	220	1.0	0.1	2.0	24	0.04...0.12	12
BZX55C36	36	34	38	5.0	80	220	1.0	0.1	2.0	27	0.04...0.12	11
BZX55C39	39	37	41	2.5	90	500	0.5	0.1	5.0	30	0.04...0.12	10
BZX55C43	43	40	46	2.5	90	500	0.5	0.1	5.0	33	0.04...0.12	9.2
BZX55C47	47	44	50	2.5	110	600	0.5	0.1	5.0	36	0.04...0.12	8.5
BZX55C51	51	48	54	2.5	125	700	0.5	0.1	10	39	0.04...0.12	7.8
BZX55C56	56	52	60	2.5	135	700	0.5	0.1	10	43	typ. 0.1 ⁽⁴⁾	7.0
BZX55C62	62	58	66	2.5	150	1000	0.5	0.1	10	47	typ. 0.1 ⁽⁴⁾	6.4
BZX55C68	68	64	72	2.5	200	1000	0.5	0.1	10	51	typ. 0.1 ⁽⁴⁾	5.9
BZX55C75	75	70	79	2.5	250	1000	0.5	0.1	10	56	typ. 0.1 ⁽⁴⁾	5.3
BZX55C82	82	77	87	2.5	300	1500	0.25	0.1	10	62	typ. 0.1 ⁽⁴⁾	4.8
BZX55C91	91	85	96	1.0	450	2000	0.1	0.1	10	68	typ. 0.1 ⁽⁴⁾	4.4
BZX55C100	100	94	106	1.0	450	5000	0.1	0.1	10	75	typ. 0.1 ⁽⁴⁾	4.0

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

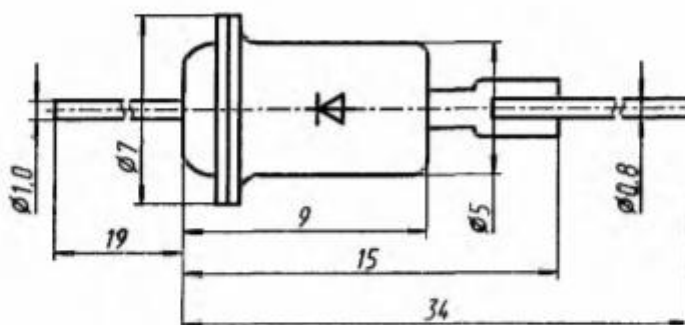
Технические характеристики стабистора 2С107А

2С107А, КС107А

Стабисторы кремниевые, сплавные, малой мощности. Предназначены для применения в стабилизаторах напряжения и в качестве термокомпенсирующих элементов. Выпускаются в металлостеклянном корпусе с гибкими выводами. Тип стабистора приводится на корпусе. Корпус стабистора в рабочем режиме служит отрицательным электродом (катодом).

Масса стабистора не более 1 г.

2С107А, КС107А



Электрические параметры

Напряжение стабилизации:

при $I_{CT} = 1$ мА для 2С107А	0,53...0,73 В
при $I_{CT} = 10$ мА, $T = +25$ °С для 2С107А ...	0,63...0,715*... 0,77 В
при $I_{CT} = 10$ мА, $T = -60$ °С для 2С107А ...	0,63...1,05 В
при $I_{CT} = 10$ мА, $T = +125$ °С для 2С107А .	0,41...0,77 В
при $I_{CT} = 10$ мА, $T = +25$ °С для КС107А...	0,63...0,77 В

Температурный коэффициент напряжения стабилизации:

при $T = +30...+125$ °С:	
2С107А, не менее	-0,34%/°С
КС107А, не менее	-0,30%/°С
при $T = -60...+125$ °С для 2С107А	-0,45... -0,1%/°С

Временная нестабильность напряжения стабилизации 2С107А

-3,2...+0,38*
...+3,2%

Время выхода на режим 2С107А:

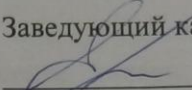
при измерении U_{CT}	5* с
при измерении U_{CT} точно	10* мин
Постоянный обратный ток при $U_{OBR} = 1$ В для 2С107А, не более	1,5* мкА

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
Кафедра «Системы автоматики, автоматизированное управление и
проектирование»

И

УТВЕРЖДАЮ

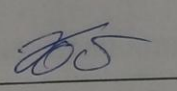
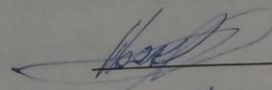
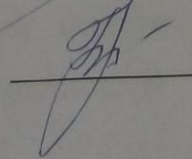
Заведующий кафедрой


С.В. Ченцов
«26» 06 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

27.04.04 – Управление в технических системах

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Руководитель		26.06.2020 г.	проф., д-р техн. наук Ю.В. Краснобаев
Выпускник		26.06.2020 г.	И.А. Степанчук
Нормоконтролер		26.06.2020 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2020