

**СВЕДЕНИЯ О ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПНИ
ПО СОГЛАШЕНИЮ О ПРЕДОСТАВЛЕНИИ СУБСИДИИ
от «26» сентября 2017 г. № 14.604.21.0178**

г. Москва

«29» декабря 2018 г.

1. В ходе выполнения проекта по Соглашению предоставления субсидии от «26» сентября 2017 г. № 14.604.21.0178 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», на этапе № 2 в период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. выполнялись следующие работы по разработке, изготовлению и испытанию экспериментального образца единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения универсального (гибридного) преобразователя энергии (далее – УПЭ):

1.1. Проведение расчетов электрических режимов работы единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ на разработанных компьютерных моделях.

1.2. Проведение расчетов тепловых режимов работы единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ на разработанных компьютерных моделях.

1.3. Корректировка выбора основных элементов УПЭ по результатам расчетов электрических и тепловых режимов работы единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ на разработанных компьютерных моделях (при необходимости).

1.4. Разработка программной документации на программное обеспечение экспериментального образца единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ.

1.5. Разработка программы и методики исследовательских испытаний экспериментального образца единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ.

1.6. Проведение исследовательских испытаний экспериментального образца единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ, результаты, анализ результатов и выводы.

1.7. Разработка эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ.

1.8. Разработка эскизной конструкторской документации на стенд для проведения исследовательских испытаний единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ.

1.9. Проведение дополнительных патентных исследований по ГОСТ Р 15.011-96.

1.10. Изготовление экспериментального образца единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ.

1.11. Изготовление Стенда для проведения испытаний экспериментального образца единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ.

2. При этом были получены следующие результаты:

2.1. В результате проведенных расчетов электрических режимов работы единичного силового модуля многоуровневого преобразователя УПЭ установлено, что: Для выбранных на стадии эскизного проекта IGBT-модулях Semikron SKM400GB17E4 выявлено, что максимальный ток коллектора транзисторов и обратных диодов IGBT-модулей (A1–A4) не превышает 280 А, соответствующего 70% от номинального тока коллектора (400 А) модуля Semikron SKM400GB17E4, чем обеспечивается рекомендуемый производителем IGBT-модуля запас в 30%.

Максимальное действующее значение тока в шинах ХТ3-ХТ4 составляет 311 А.

Максимальное действующее значение тока в шинах ХТ1-ХТ2 составляет 248 А. На основании данного значения осуществляется выбор габаритов шин при разработке эскизной конструкторской документации на Модуль УПЭ.

– Для выбранных на стадии эскизного проекта конденсаторов ElectronicON E50.S34-205NT0 выявлено:

– Максимальное действующее значение тока в конденсаторах С1–С4 составляет 46 А, что не превышает предельно допустимого тока 120 А.

– Пиковое напряжение на конденсаторах С1–С4 составляет 1291 В, что не превышает номинального напряжения 1300 В выбранных конденсаторов.

– Максимальные пульсации напряжения на конденсаторах С1–С4 составляют 133 В, что не превышает предельно допустимой для выбранных конденсаторов величины 300 В.

2.2. В результате проведенных расчетов тепловых режимов работы единичного силового модуля многоуровневого преобразователя УПЭ установлено, что:

– Потери в каждом из конденсаторов С1–С4 не превышают 2 Вт в режимах работы УПЭ с номинальной мощностью.

– Оптимальными является ШИМ с чередованием типа формирования «нуля» мостом Модуля на каждом периоде промышленной частоты сети.

– Суммарные потери в Модуле четырех IGBT-модулях А1–А4 не превышают 1300 Вт при работе УПЭ с номинальной мощностью.

– Потери проводящего состояния превосходят коммутационные потери для всех приборов Модуля.

2.3. Результаты проведенных расчетов электрических и тепловых режимов работы модуля подтверждают корректность принятых на первом этапе ПНИ технических решений – корректировка спецификации Модуля не требуется.

2.4. При изготовлении экспериментального образца единичного силового модуля многоуровневого преобразователя напряжения УПЭ и Стенда для проведения его испытаний установлено, что:

– Применение более дорогих, но качественных ножевых клемм, подключаемых к IGBT-модулям, позволяет сократить время на изготовление комплекта на модуль с 4 часов до 1,5 часов.

– Целесообразно рассмотреть альтернативный вариант изготовления DC-шин на базе сборки из пакета гибких медных листов поскольку при использовании жесткого листа требуется либо разметка отверстий втулок «по месту», либо высокоточное изготовление сварной рамы модуля, что повышает трудоемкость изготовления Модуля.

– При разработке конструкторской документации на Модуль УПЭ на базе эскизной конструкторской документации целесообразно произвести корректировку спецификации в части:

– ножевых клемм, подключаемых к IGBT-модулям;

– изготовления DC-шин на базе сборки из пакета гибких медных листов.

2.5. Разработанное программное обеспечение Модуля УПЭ обеспечивает прием кодов управления силовыми транзисторами моста и после декодирования формировать команды на включение/отключение четырех силовых транзисторов. Программа выполняется циклически с тактом 20 нс. Для предотвращения некорректной работы Модуля обязательным условием является блокирование данных, полученных с некорректной контрольной суммой бит, поскольку на выбранной скорости передачи данных, некорректные данные детектируются в среднем раз в 3 секунды. Применение функции блокировки единичных пакетов некорректных данных полностью решает указанную проблему.

2.6. В результате испытаний Модуля УПЭ согласно программы и методики испытаний установлено, что испытания в части п. 4.3.1.1 Технического Задания на данные ПНИ считать пройденными успешно, поскольку:

- Ударные коэффициенты для диода IGBT модуля и транзистора IGBT модуля равные 1,4 и 1,13 соответственно не превышают максимально допустимой величины 1,4;
- Тепловые потери в Модуле УПЭ в номинальном режиме работы составляют 1485 Вт, что не превышает максимально допустимой величины 1500 Вт.

2.7. В результате измерения тепловых режимов работы Модуля УПЭ установлено, что при использовании дублированного взаимно резервированного оперативного питания (при необходимости повышения надежности Модуля УПЭ) вероятно потребность повышения эффективности охлаждения плат питания БУМ. В поисках способа решения данной задачи был выполнен анализ специализированной научно-технической литературы. По результатам проведенного анализа было принято решение о целесообразности разработки патентной заявки на регистрацию полезной модели на Транзисторный модуль высоковольтного преобразователя, в которой охлаждение тепловыделяющих элементов с высокой плотностью монтажа осуществляется за счет применения жидкости с температурой кипения, ниже, чем температура поверхности тепловыделяющих элементов.

2.8. Решенные на втором этапе ПНИ задачи позволяют перейти к решению задачи создания системы управления УПЭ, предусмотренной на третьем этапе исследования.

Сведения о проведении исследований (выполнении проекта) представлены по установленной форме в Минобрнауки России.

Исполнитель

зам. руководителя работ по соглашению 14.604.21.0178

научный сотрудник ОИВТ РАН

Протасов Михаил Витальевич

тел. моб.: 8(926) 526-10-29

тел. раб.: 8(495) 485-92-77

E-Mail: protasov_m@mail.ru