

## **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации Апасова Владимира Ивановича  
«Разработка и исследование комбинированного понижающе-повышающего преобразователя для системы электроснабжения автоматического космического аппарата», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05-09-12 – «Силовая электроника»

### **Актуальность для науки и практики**

Функциональные возможности и технические характеристики космических аппаратов (КА) напрямую связаны с параметрами и особенностями их систем электроснабжения (СЭС), питаемых от солнечных панелей и построенных, как правило, на полупроводниковых dc-dc преобразователях. В этой связи данная диссертация «Разработка и исследование комбинированного понижающе-повышающего преобразователя для системы электроснабжения автоматического космического аппарата», направленная на совершенствование как параметров СЭС, так и процесса ее разработки, безусловно, является актуальной.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Приведенные в диссертации положения и выводы получены автором с применением методов, соответствующих задачам исследования. Они согласуются с положениями общей теории электротехники, теории нелинейных электрических цепей. Результаты численно-аналитического, имитационного моделирования подтверждаются физическим экспериментом.

### **Научная новизна полученных результатов**

К основным научным результатам можно отнести следующее:

1. Предложенную структурную схему построения СЭС КА с унифицированным силовым модулем на основе комбинированного преобразователя постоянного напряжения (ППН), позволяющую обеспечить динамическое резервирование в СЭС космического аппарата, снизить номенклатуру силовых модулей и уменьшить массу резервных силовых модулей более чем в два раза.

2. Разработанные численно-аналитическую математическую и имитационную модели комбинированного полупроводникового преобразователя напряжения (ППН), позволяющие анализировать статические и динамические характеристики преобразователя.

3. Разработанный алгоритм нахождения скважности коммутационных компонентов комбинированного ППН, позволяет определить с высокой точностью моменты коммутации ключевых компонентов, обеспечивающих одноцикловый режим работы устройства.

5. Полученную эмпирически зависимость граничного коэффициента усиления сигнала ошибки от входного напряжения, тока нагрузки и емкости выходного фильтра, позволяющую определить границы областей оптимальной работы комбинированного ППН.

Результаты теоретического исследования подтверждены имитационным моделированием в программной среде MATLAB Simulink, LT Spice 4 и физическим экспериментом.

Результаты диссертационной работы были опубликованы автором в 20 печатных работах, включая шесть в изданиях, включенных в перечень ВАК, одну статью, индексируемую в Scopus, один патент РФ на полезную модель, а также тезисы докладов на целом ряде международных научно-технических конференциях. Также результаты диссертационной работы были использованы в ОКР на предприятии АО «НПЦ «Полюс» (г. Томск), а также внедрены в учебный процесс на факультете электронной техники ТУСУР (г. Томск).

### **Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

Определенный теоретический интерес представляет использование автором теории бифуркаций, а также алгоритмы, с помощью которых можно получить: мгновенные значения токов и напряжений на элементах схемы, оценку статических и динамических характеристик, а также построить бифуркационные диаграммы в зависимости от изменения параметров системы управления и компонентов силовой части комбинированного понижающе-повышающего ППН.

Также представляет практический и теоретический интерес полученная эмпирически зависимость граничного коэффициента усиления сигнала ошибки от входного напряжения, тока нагрузки и емкости выходного фильтра, которая позволяет определить границы областей оптимальной работы комбинированного преобразователя.

### **Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования**

Диссертация хорошо структурирована. Исчерпывающе показан вывод проводимых автором соотношений. Иллюстрации, графики и временные диаграммы достаточно информативны.

Однако в диссертации имеются неточности, среди которых следует упомянуть следующие:

1) На странице 8 автореферата (второй абзац сверху) выражение «с точностью не менее 4,5%», очевидно, следует понимать как «с погрешностью не более 4,5%».

2) На странице 16 график на рис. 3 а) обозначен как «регулирующая характеристика», что не соответствует содержанию графика.

3) На страницах 6-7 представлен раздел «Практическая значимость». В подпункте 1 говорится о показателях разработанного унифицированного силового модуля на основе комбинированного ППН, среди которых динамические показатели выражаются единицами или долями процента, а статические, например, КПД, на уровне 94, 95 %. В то же время в подпункте 2 этого же раздела говорится о разработанной математической численно-аналитической модели комбинированного ППН, которая может быть использована для **оценки его статических и**

**динамических характеристик** с погрешностью не более 5%. Данная величина погрешности перекрывает значимый диапазон указанных выше динамических и статических характеристик. Таким образом, или в данном подпункте заложен другой смысл или данную модель следует применять только для **сравнительного анализа** различных схем, алгоритмов управления и т.д. ППН, когда погрешность влияет одинаково, а не для оценки его предполагаемых характеристик.

В то же время высказанные замечания не подвергают сомнению достоверность и актуальность полученных результатов, а также общее положительное впечатление о работе.

### **Заключение**

В целом, несмотря на сделанные замечания, считаем, что работа выполнена профессионально, на высоком научном уровне с применением адекватных методов исследования. Думается, что результаты работы найдут свое место в теории и практике разработки СЭС для КА.

Диссертация в целом удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертационным работам, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы», а ее автор Апасов Владимир Иванович заслуживает присуждение этой степени.

Профессор кафедры Электроники и электротехники НГТУ, д.т.н.

/Зиновьев Г. С./

Доцент кафедры Электроники и электротехники НГТУ, д.т.н.

/Баховцев И. А./

Подписи Зиновьева Г.С. и Баховцева И.А.

удостоверяю,

Ученый секретарь НГТУ,  
д.т.н., профессор



Г.М. Шуменин