

## Источник питания нагревателя катода электрореактивного двигателя

Маниковский Иван Сергеевич, аспирант  
Томский политехнический университет (г. Томск)

В настоящее время все больше космических аппаратов оснащаются стационарными плазменными двигателями. Эта разновидность электроракетного двигателя потребляет значительно меньше химического горючего, поскольку обеспечивается энергией от аккумуляторов, радиоизотопных генераторов и солнечных батарей. Основное достоинство плазменного двигателя – долговременное функционирование при относительно небольшом расходе рабочего тела. Так как расширяется круг задач, в которых возможно эффективное применение СПД, то для реализации новых возможностей необходимо дальнейшее совершенствование конструкции двигателя, в том числе и улучшение массогабаритных характеристик, в первую очередь с целью повышения удельного тяги и ресурса двигателя. Это обуславливает актуальность создания двигательной установки с повышенной удельной мощностью.

В данный момент электропитание нагревательного элемента (катода) осуществляется постоянным током из-за простоты его измерения и стабилизации. Так как требуется гальванически развязанное питание, то на выходе трансформатора устанавливается мощный низковольтный выпрямитель, который значительно увеличивает потери. Кроме того, низкое быстродействие диодов вызывает увеличение уровня помех трансформатора. Если же использовать переменный стабилизированный ток, то это позволит улучшить массогабаритные и энергетические показатели системы преобразования и управления, а также снизить уровень помех.

Для получения переменного тока из постоянного необходимо исключить выпрямляющий элемент, однако возникнет проблема измерения действующего

значения тока, из-за изменения его скважности и гармонического спектра, вызывающего изменение формы в зависимости от сопротивления нагрузки, напряжения питания.

Целью данной работы является решение задачи создания модели стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя с повышенными удельной мощностью и энергетическими показателями.

Это ставит перед нами задачи по моделированию и исследованию работы данной модели.

Для решения поставленной проблемы необходимо использовать мостовой инвертор с фазоимпульсным управлением и подключенным к его выходу L- фильтром. Использование мостового инвертора с фазоимпульсным управлением позволит снизить динамические потери в схеме (трансформатор замыкается на два горизонтальных ключа, вследствие чего, напряжение на первичной обмотке становится близким к нулю), позволит исключить размагничивающие катушки трансформатора, а также уменьшить коэффициент высших гармоник. Выходной L- фильтр позволит уменьшить изменение гармонического спектра, вызванное коммутацией силовых транзисторов инвертора.

### Модель стабилизатора тока нагревателя катода плазменного двигателя.

Для исследования электрических процессов, протекающих в схеме формирователя переменного тока нагревателя катода, разработана модель в среде OrCad 16.6. (рис.1). Она включает в себя входной источник питания V1 напряжением 80-120 В с внутренним сопротивлением R1, мостовой инвертор с фазоимпульсным методом управления (M5-M8), трансформатор (K1,L3,L4), выходной фильтр L5 и нагрузку R5.

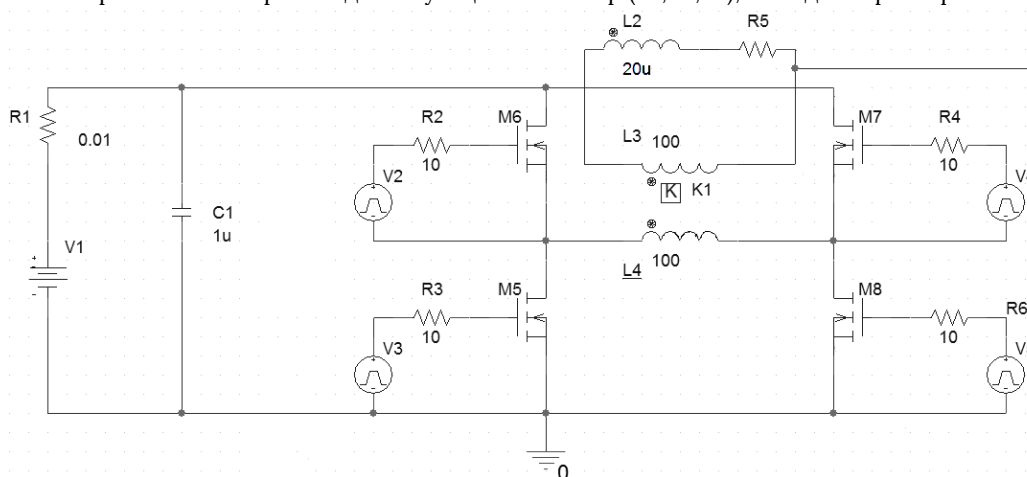


Рис.1. Модель стабилизатора тока нагревателя катода

Симуляция в OrCad проводилась при двух крайних значениях сопротивления нагрузки и напряжения источника питания: V1=80 В, R5=1 Ом и V1=120 В, R5=0.3 Ом (рис.2),(рис.3). Получение действующего

значения тока на нагрузке  $I(R5) = 12А$  обеспечивалось посредством изменения фазы включения силовых ключей M5-M8.

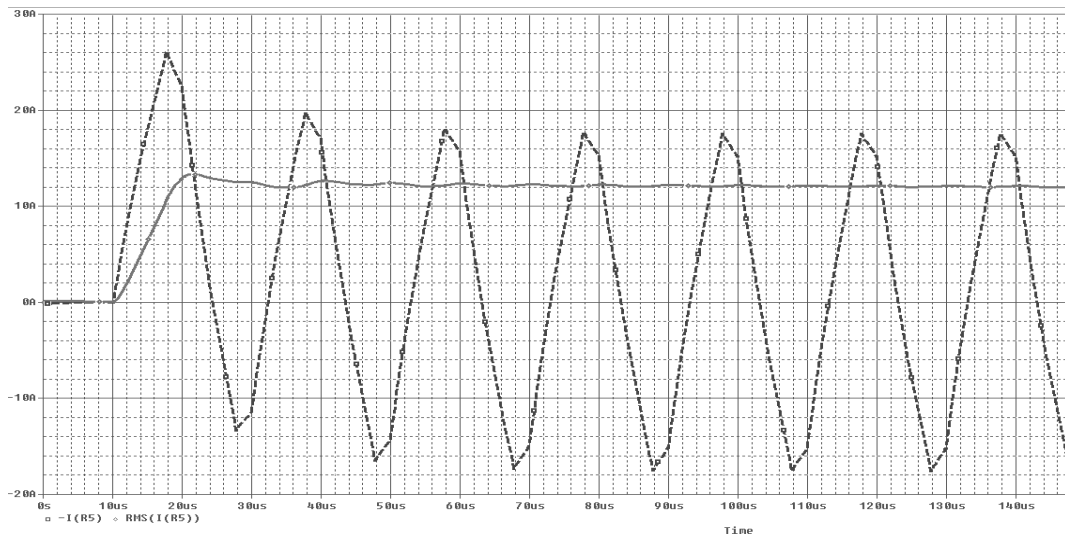


Рис.2. Сила тока (пунктирная линия) и действующее значение тока (сплошная линия) на нагрузке R5 при  $V_1=80$  В и  $R_5=1$  Ом с ФИМ регулированием.

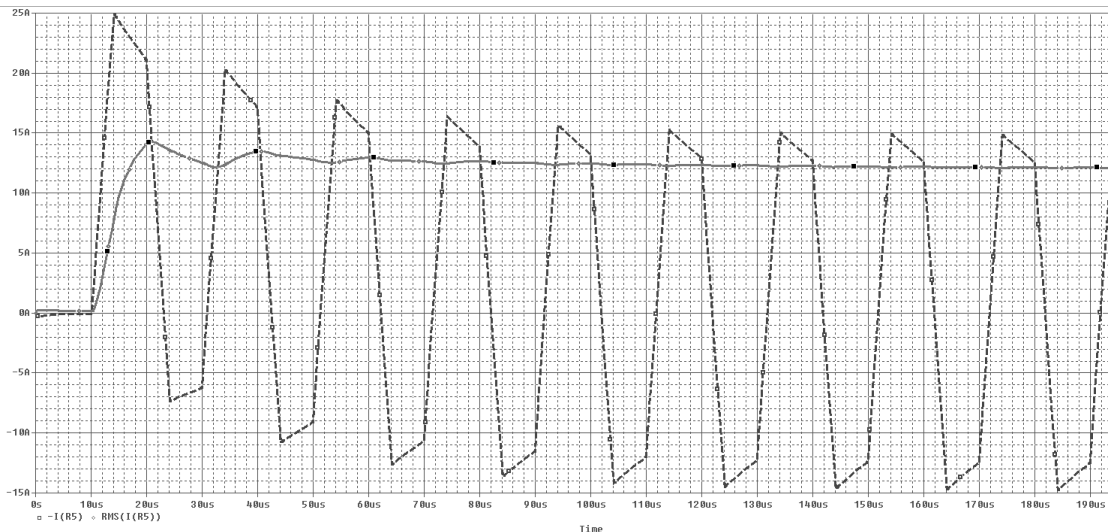


Рис.3. Сила тока  $I(R_5)$  и действующее значение тока  $RMS(I(R_5))$  на нагрузке R5 при  $V_1=120$  В и  $R_5=0.3$  Ом с ФИМ регулированием

На (рис.4) и (рис.5) представлены гармонические спектры силы тока на нагрузке  $R_5=1$  Ом,  $R_5=0.3$  Ом и напряжении источника питания 80В и 120В соответственно. Как видно на рис.4 амплитуда третьей гармоники составляет 1,7А, а пятая гармоника равна 0,5А.

При напряжении источника питания  $V_1=120$ В и нагрузке  $R_5=0.3$  Ом, амплитуда третьей гармоники составляет 2,2А, пятая гармоника равна 0,5А.

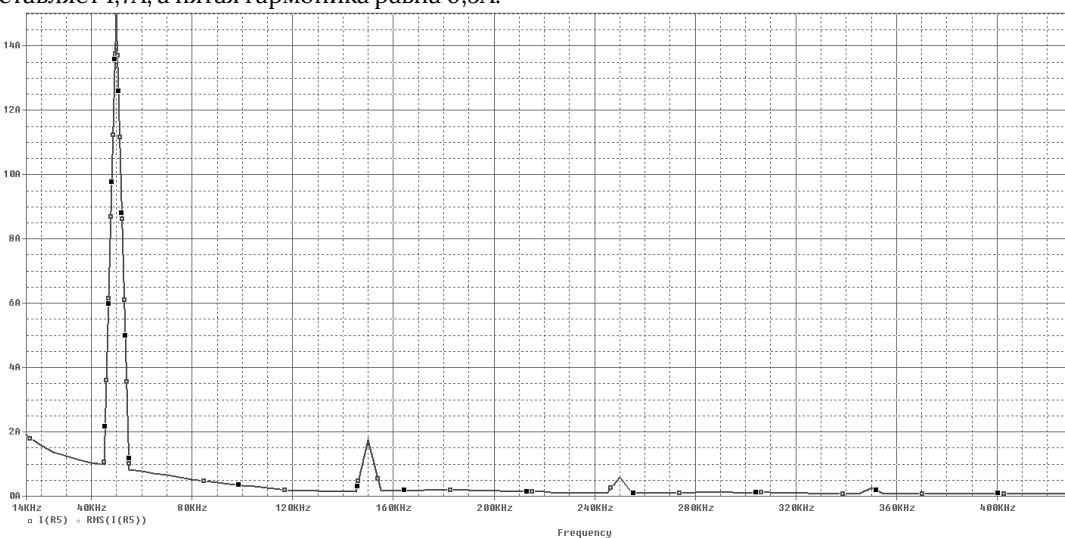


Рис.4. Гармонический спектр силы тока на нагрузке R5 при  $V_1=80$  В и  $R_5=1$  Ом с ФИМ регулированием

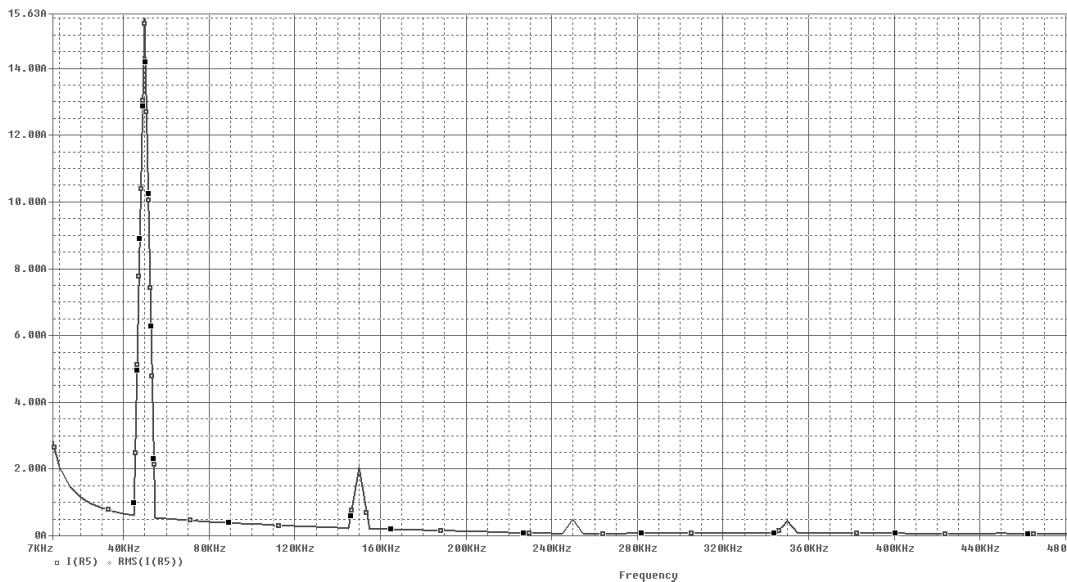


Рис.5. Гармонический спектр силы тока нагревателя катода R5 при  $V_1=120V$  и  $R_5=0.3 \text{ Ом}$  с ФИМ регулированием

На графиках гармонических спектров (рис.4) и (рис.5), видно, что  $\Delta A$  третьей гармоники не превышает 5% относительно действующего значения тока. Следовательно, при фазовом управлении силовых ключей в стабилизаторе тока нагревателя катода можно получить переменный стабилизированный ток, который улучшит массогабаритные и энергетические показатели СТНК, а также снизит уровень помех.

#### Полученные результаты

#### Литература:

1. Иванов-Цыганов А.И. Электропреобразовательные устройства РЭС; Учебник для ВУЗов, 4-е издание, переработанное, и доп. М.: Высшая школа. 1991-272с.
2. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные, стабилитроны, тиристоры: Справочник/А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др. под ред. А.В. Голомедова. – М. : Радио и связь, 1988. – 528 с.: ил.
3. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника; Москва: Техносфера, 2005.-632 с.
4. Импульсные источники питания. Теоретические основы проектирования и руководство по практическому применению/Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Додэка-21», 2008.-272 с.:ил.
5. Система электропитания корректирующей двигательной установки малого космического аппарата М.В. Михайлов ОАО «Научно-производственный центр Полюс» г. Томск, 2010 г.
6. Электропитание нагревательных элементов двигательной установки стабилизированным переменным током А.А Мошняков, М.В. Михайлов, ОАО «Научно-производственный центр Полюс» г. Томск, 2015 г.
7. Михайлов Максим Валентинович. Устройство запуска и электропитания стационарного плазменного двигателя : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.12 Томск, 2006 172 с. РГБ ОД, 61:07-5/39.

Разработана модель источника питания нагревателя катода плазменного двигателя на переменном стабилизированном токе, позволяющая улучшить массогабаритные и энергетические показатели двигательной установки на базе электроракетного плазменного двигателя.

#### Основные направления дальнейшего использования предполагаемых результатов

Применение модели в разработке источника питания нагревателя катода плазменного двигателя.