

УДК 621.3

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
НАПРЯЖЕНИЯ С ЧЕРОДОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ****Мубитанг Альфонс,**
магистрант,**Устинья Кирилловна Юшкевич,**
магистрант,
e-mail: uyk567@gmail.com**Куковинец Олег Васильевич,**
ст. преподаватель,**Аббасов Эльшан Магеррами оглы,**
канд. техн. наук,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
РФ, г. Москва**Аннотация**

Проведен анализ повышающего преобразователя напряжения традиционной топологии и проведен анализ его недостатка при работе на большие токи. Разработана схема для решения проблемы повышающего преобразователя напряжения традиционной топологии. На основе данной схемы проведены: расчеты необходимых параметров, математическое моделирование работы данной схемы в среде MatLab Simulink, анализ работы схемы.

Ключевые слова: повышающий преобразователь, электромобиль, напряжения, ток, индуктивность, силовые транзисторы, математическое моделирование.

**MODELLING OF A VOLTAGE STEP-UP CONVERTER WITH ELECTRIC
TRANSPORT APPLICATION****Mubitang Alphonse,**
Master's student,**Ustinia K. Yushkevich,**
Master's student,
e-mail: uyk567@gmail.com

Oleg V. Kukovinets,

senior lecturer,

Abbasov Elshan Magerram oglu,

Ph.D. Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI), Russian Federation,
Moscow

ABSTRACT

Analysis of step-up voltage converter of traditional topology and its disadvantage in high current operation has been carried out. The scheme for solving the problem of step-up voltage converter of traditional topology was developed. On the basis of the given scheme the calculations of necessary parameters, mathematical modelling of given scheme work in the environment MatLab Simulink, the analysis of scheme work were conducted.

Keywords: step-up converter, boost converter, electric vehicle, voltage, current, inductance, power transistors, mathematical modelling.

Введение

Повышающие преобразователи напряжения используются во многих сферах, однако наибольшее распространение получили в сферах электрического и гибридного транспортов. Применение данных устройств позволяет увеличивать напряжение, вследствие этого появляется возможность использования меньшего числа аккумуляторов на транспортном средстве, что является положительным преимуществом. Недостатком считаются потери энергии при преобразовании напряжения.

В данной статье будет проведен анализ повышающего преобразователя напряжения традиционной конструкции, вследствие чего будут рассмотрены: преимущества и недостатки. На основе этих данных будет предложено решение для устранения недостатков.

1. Анализ повышающего преобразователя напряжения ППН традиционной топологии

Повышающие преобразователи получили наибольшее свое распространения в системах с батарейным питанием (гибридные электромобили (HEV) и системы освещения), где аккумуляторы соединяются последовательно, чтобы получить более высокое напряжение. Повышающие преобразователи дают возможность получения большего напряжения с уменьшением количества аккумуляторных ячеек, позволят улучшить удельные показатели и эффективность работы устройства. На рисунке 1 показана схема повышающего преобразователя традиционной топологии – это простейшая топология. Принцип работы остальных топологий разработан на работе данной схемы [1].

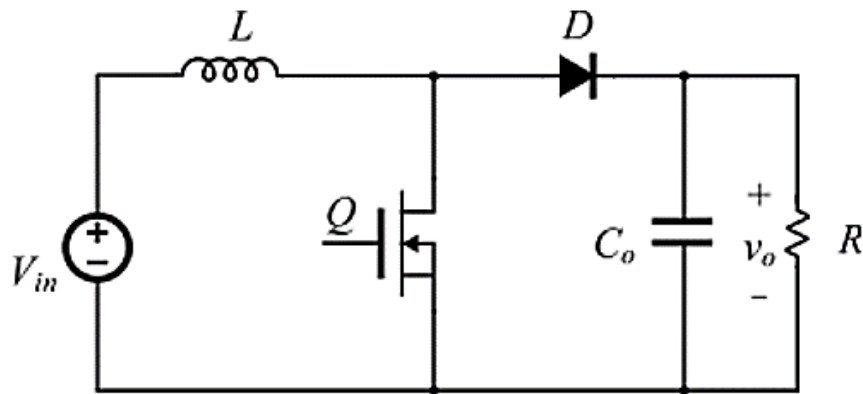


Рисунок 1. Повышающий преобразователь традиционной топологии

Схема состоит из входного источника питания V_{in} , накапливающей индуктивности L , силового ключа Q , диода D , сглаживающего конденсатора C_0 и нагрузки R .

Схема работает в следующем образом: когда силовой ключ Q закрыт, накапливается энергия в индуктивности L (путь тока: $+ V_{in} \rightarrow L \rightarrow Q \rightarrow - V_{in}$). За это время ток индуктивности возрастает на величину

$$\Delta I_L = \frac{V_{in}}{L} \tau_1, \quad (1)$$

в это время нагрузка R , отключена диодом D , получает энергию только от сглаживающего конденсатора C_0 (ссылка на временные диаграммы на рисунке 2).

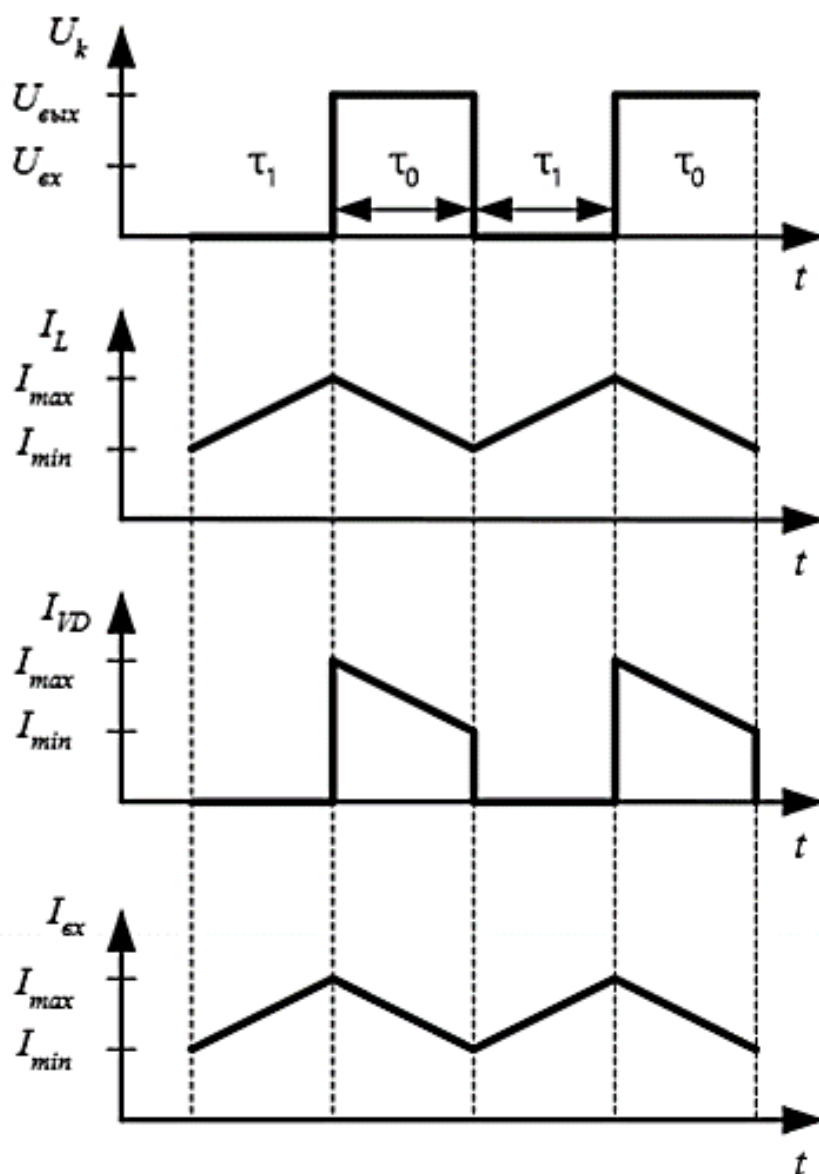


Рисунок 2. Временные диаграммы работы повышающего преобразователя [4]

В момент открытия силового ключа, накопленная энергия в индуктивности вместе с входной энергией обеспечат питание нагрузки (путь тока: + $V_{in} \rightarrow L \rightarrow D \rightarrow C0$ и $R \rightarrow - V_{in}$). При этом напряжение на индуктивности меняет полярность, а линейно изменяющийся в нём ток за это время уменьшается на величину

$$\Delta I_L = \frac{V_0 - V_{in}}{L} \tau_0, \quad (2)$$

и напряжение на нагрузке равно:

$$V_0 = \frac{V_{in}}{1-D}, \quad (3)$$

где $D = \frac{\tau_1}{\tau_0 + \tau_1}$ (4) - коэффициент заполнения силового ключа,

τ_0, τ_1 - времени открытого и закрытого состояния силового ключа.

Преимущество такой схемы заключается в том, что она: простая, дешевле своих аналогов и работает в широком диапазоне напряжения. Однако при работе с большим током, силовые ключи подвергаются большой нагрузке (рис. 3).

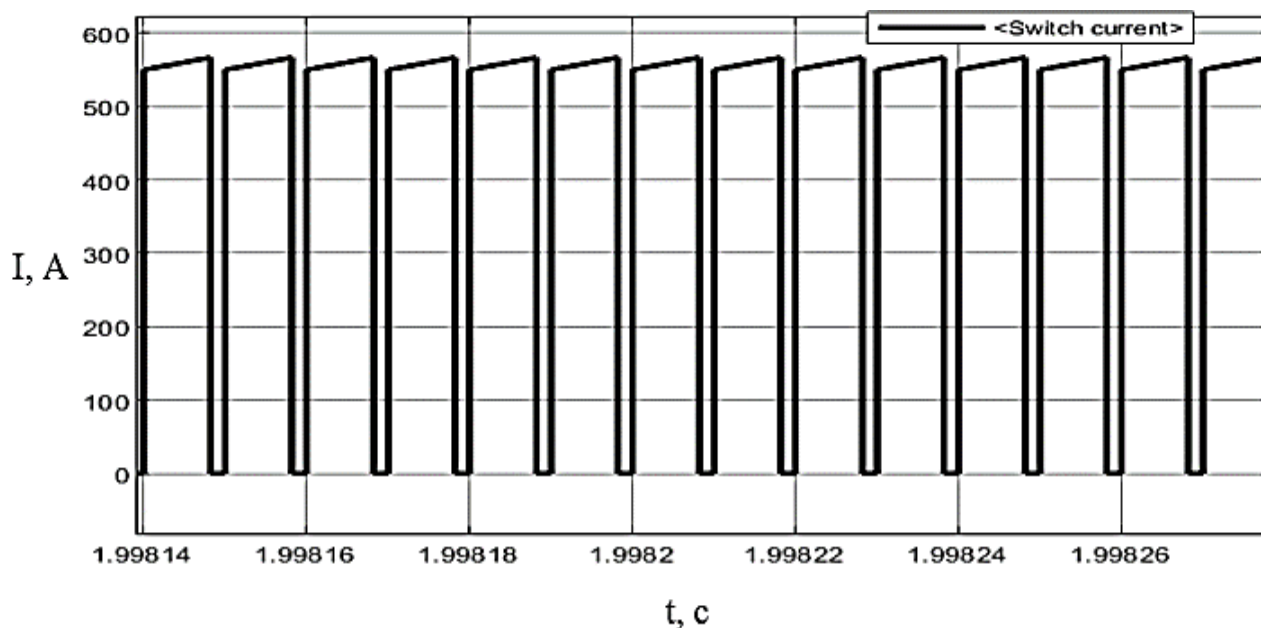


Рисунок 3. Ток переключения силового ключа

В этой статье рассматривается один из возможных способов решения данной проблемы.

2. Повышающий преобразователь напряжения с чередованием фаз (многофазные повышающие преобразователи)

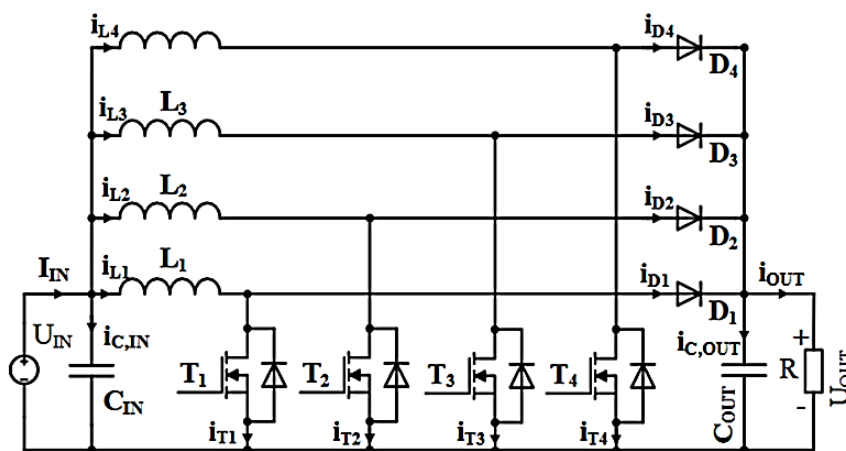


Рисунок 4. Повышающий преобразователь с чередованием фаз (4-х фазных)

На рисунке 4 представлена схема повышающий преобразователь с чередованием фаз, такая топология позволяет увеличить мощность преобразователя без использования силового трансформатора. Схема состоит из 4 накопительных индуктивностей, 4 диодов, 4 силовых ключей, входного источника энергии, выходного конденсатора и нагрузки. Принцип работы такого преобразователя похож на принцип работы повышающего преобразователя традиционной топологии. Преимущество такого преобразователя заключается в том, что входной ток источника делится на m (количество фаз) при этом уменьшая нагрузку в m раз на силовые транзисторы [3].

3. Пример расчет

Ниже в таблице 1 представлены исходные данные для расчета параметров элементов повышающих преобразователей.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Входное напряжение V_{in} , В	15 В
Выходное напряжение V_o , В	60 В
Выходное ток I_o , А	100
Частота переключения f , кГц	100
η - коэффициент полезного действия	90 %
Мощность P , кВт	6

Коэффициент заполнения [2]

$$D = 1 - \frac{V_{in} \cdot \eta}{V_o} = 1 - \frac{15 \cdot 0.9}{60} = \mathbf{0,82} \quad (2.1)$$

Входной ток [2]

$$I_{in} = \frac{V_o \cdot I_o}{V_{in} \cdot \eta} = \frac{60 \cdot 100}{15 \cdot 0.9} = \mathbf{44,44} \text{ А} \quad (2.2)$$

Определение значения индуктивности [2]

$$L = L_1 = L_{11} = L_{12} = L_{12} \frac{V_{in} \cdot D}{\Delta I_L \cdot f} = \frac{15 \cdot 0.82}{20 \cdot 100 \cdot 10^3} = 5.63 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} = \mathbf{5.63} \text{ мкГн} \quad (2.3)$$

Так как значение индуктора нам неизвестно, то и пульсацию вычислить по формуле не получится. Нужно задаваться значением 20 - 40% от значения тока [2]:

$$\Delta I_L = 20\% \cdot I_o = 20\% \cdot 100 = \mathbf{20} \text{ А}. \quad (2.4)$$

Определение значения выходного конденсатора [2]

Для вычисления емкости необходимо учитывать, что частота пульсаций выходного напряжения ΔV_o .

$$C = \frac{I_o \cdot D}{\Delta V_o \cdot f} = \frac{100 \cdot 0.82}{0.5 \cdot 100 \cdot 10^3} = 1.64 \cdot 10^{-3} \text{ Ф} = \mathbf{5.63} \text{ мФ} \quad (2.5)$$

Пиковый ток переключения [2]

Под пиковый ток необходимо рассчитать силовые ключи и диоды.

$$I_{sw} = \frac{\Delta I_L}{2} + \frac{1}{4} I_{in} = \frac{20}{2} + \frac{100}{4(1-0.82)} = \mathbf{148.89} \text{ А} \quad (2.6)$$

Таблица 2

Результаты расчетов

Параметр	Результат
I_{in} , А	444.44
D	0.82
ΔV_o , В	0.5
L, мкФ	5.36
C, мФ	1.64
I_o , А	100
ΔI_L , А	20

I_{sw}, A	148.89
-------------	--------

4. Моделирование повышающего преобразователя с чередованием фаз

На рисунке 5 представлена математическая модель 4-х фазного повышающего преобразователя, созданная в условиях математической лаборатории Matlab Simulink. [5]

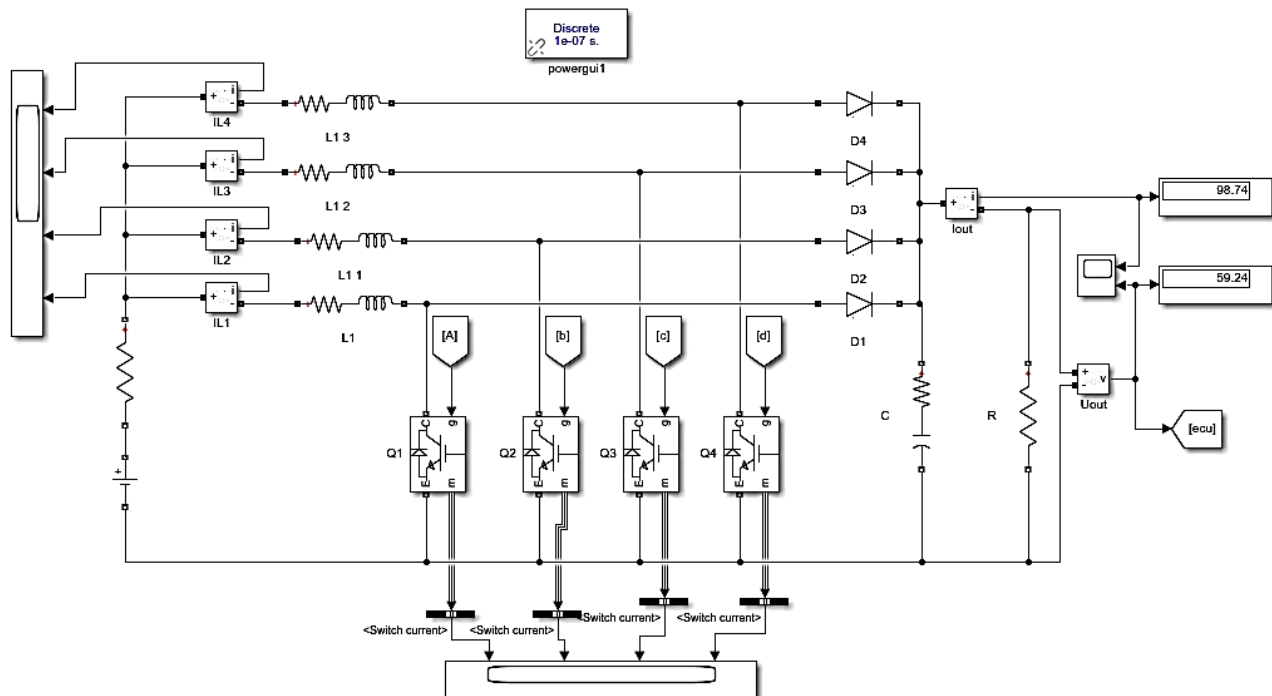


Рисунок 5 – Математическая модель повышающий преобразователь напряжения с чередованием

Чтобы система работала с высокой производительностью и эффективностью был разработан ПИД-регулятор (рис. 6), и его уравнение показано ниже:

$$U = k_p + k_i \int_0^t e(t)dt + k_d \frac{de}{dt} \quad (2.7)$$

где k_i - интегральный коэффициент, k_d – дифференциальный коэффициент, а k_p – пропорциональный коэффициент. Метод проб и ошибок используется для настройки параметров ПИД регулятора.

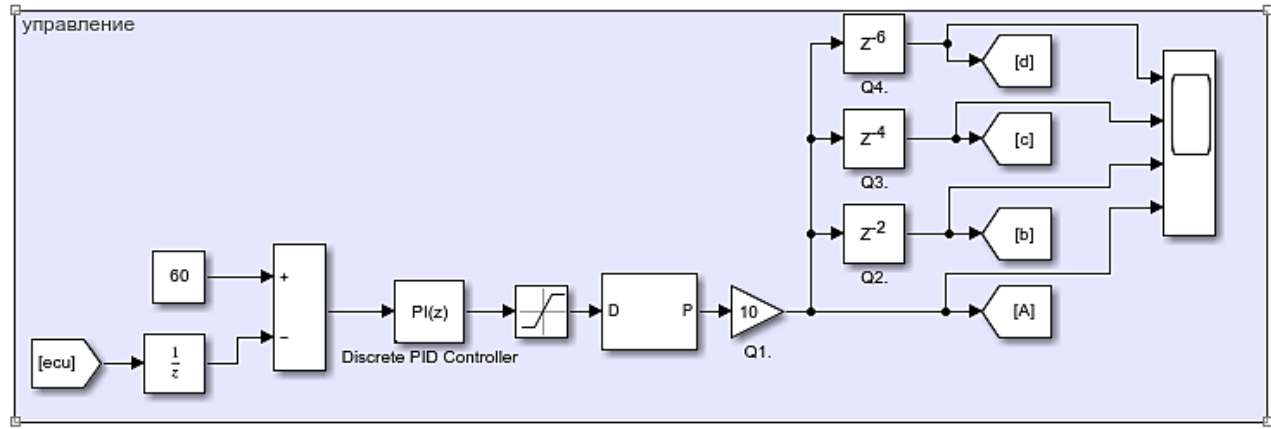


Рисунок 6 – Система управления с ПИД регулятором

Использование системы управления с ПИД регулятором позволяет уменьшить число ошибок при работе преобразователя и обеспечить стабильность выходного напряжения.

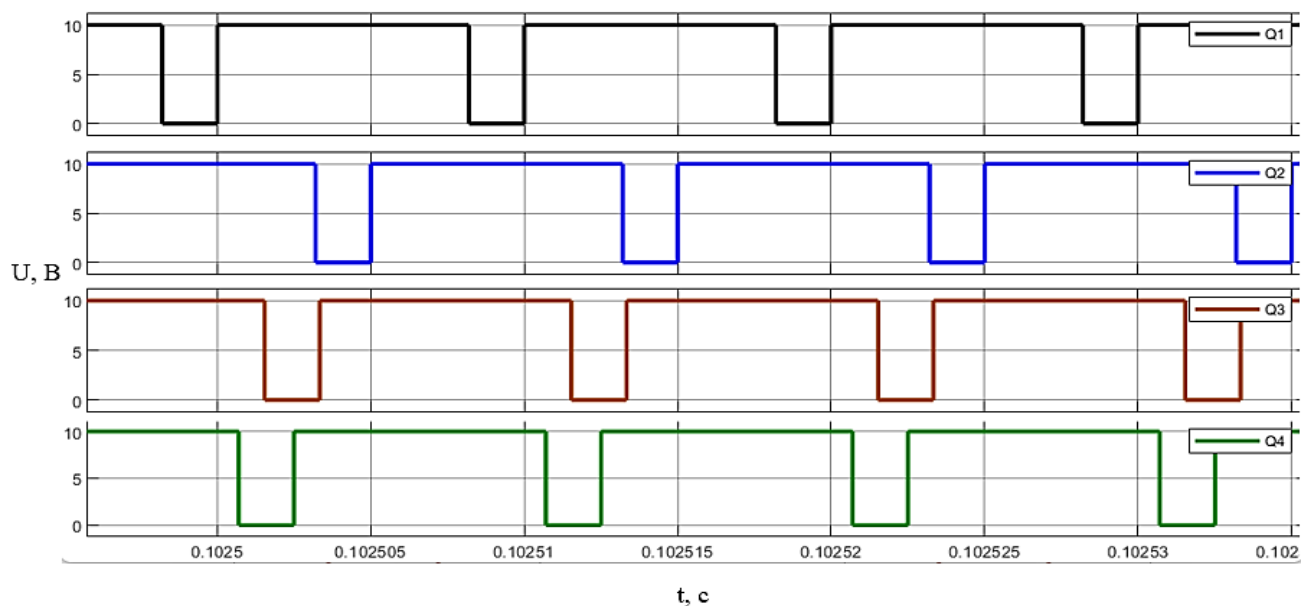


Рисунок 7 – Сигнал управления силовых ключей

5. Результаты моделирования

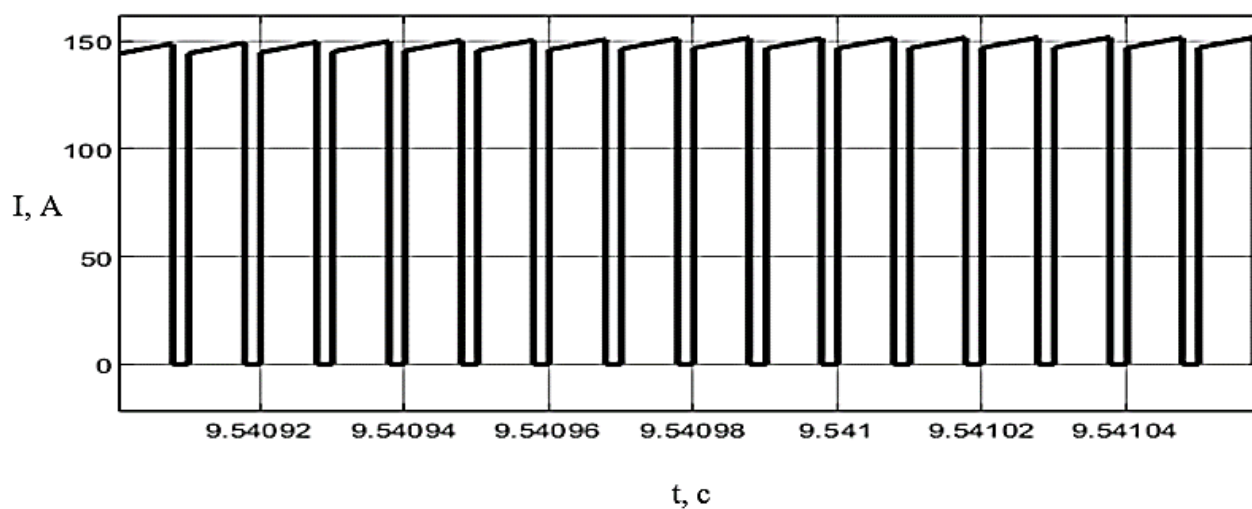


Рисунок 8 – Ток переключения силовых ключей

Видно на рисунке 7 что в результате исследования ток переключения уменьшился примерно в 4 раза. (на рисунках 9 и 10 представлены временные зависимости напряжения и тока, полученные в результате математического моделирования)

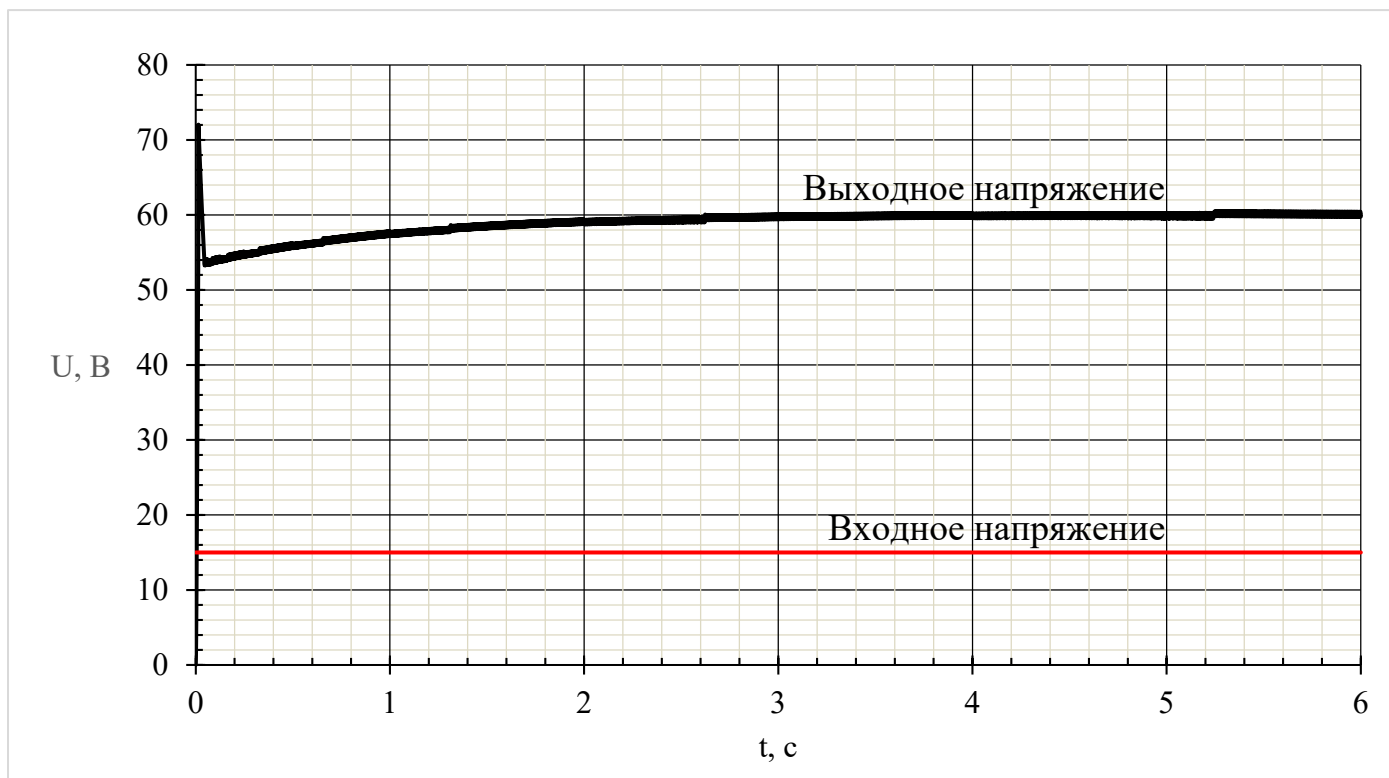


Рисунок 9 – Входное и выходное напряжение

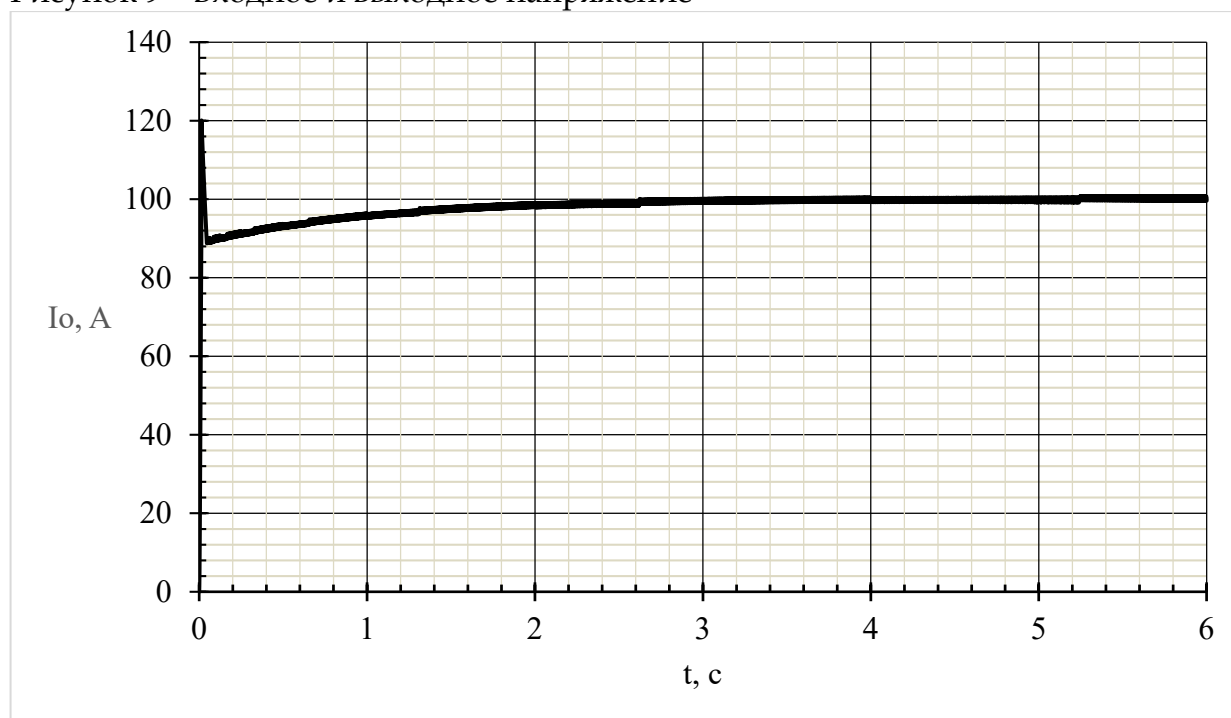


Рисунок 10 – Выходной ток

Выводы

Предлагаемый повышающий преобразователь с ПИД-регулятором обеспечивают лучшую стабилизацию напряжения, снижение нагрузки на силовые ключи и улучшает характеристики преобразователя по сравнению с обычным повышающим преобразователем. Повышающие преобразователи с чередованием фаз становятся все более известными и популярными, так как они могут обеспечить требования по высокой мощности и высокой эффективности. В этой статье представлены математические зависимости, необходимые для определения и выбора элементов схемы повышающего

преобразователя. Для проверки работоспособности и получения выходных характеристик преобразователя представлен пример математической модели. Результат моделирования показал, что ток переключения силовых транзисторов обратно пропорционально количеству фаз преобразователя.

Список литературы:

1. Ahmad, A. Advanced topologies of high-voltage-gain DC-DC boost converters for renewable energy applications: Doctoral Dissertations / A. Ahmad. – MISSOURI.: library of learning resources, 2018. 176 с.
2. Brigitte, H. basic calculation of boost converter's power stage: application report/ H. Brigitte- USA.: TEXAS INSTRUMENTS, 2014. – 9 с.
3. Miriam J. The Parametric Simulation of the Interleaved Boost Converter for the Electric Transport Vehicle: application report/ K. Slavomír, J. Miriam .: ScienceDirect, 201. – 8 с.
4. Кондаков, Е.В. импульсные преобразователи и стабилизаторы напряжения: учебно-метод. пособие / Е.В. Кондаков. – Ростов-на-дону.: ЮФУ, 2014. 41 с.
5. Черных И.В. Simulink. Среда создания инженерных приложений/ И.В. Черных. - М.: Диалог-МИФИ, 2004. – 496 с.

References:

1. Ahmad, A. Advanced topologies of high-voltage-gain DC-DC boost converters for renewable energy applications: Doctoral Dissertations / A. Ahmad. – MISSOURI.: library of learning resources, 2018. 176 p.
2. Brigitte, H. basic calculation of boost converter's power stage: application report/ H. Brigitte- USA.: TEXAS INSTRUMENTS, 2014. – 9 p.
3. Miriam J. The Parametric Simulation of the Interleaved Boost Converter for the Electric Transport Vehicle: application report/ K. Slavomír, J. Miriam .: ScienceDirect, 201. – 8 p.
4. Kondakov E.V. Pulse Converters and Voltage Stabilizers: Textbook / E.V. Kondakov. - Rostov-on-Don: SFU, 2014. 41 p.
5. Chernykh I.V. Simulink. Environment for creating engineering applications / I.V. Chernykh. - Moscow: Dialog-MIFI, 2004. - 496 p.