

ИМПУЛЬСНЫЕ СЕТЕВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ПОНИЖАЮЩЕ-ПОВЫШАЮЩИЕ ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Э.Н. Гречко, докт. техн. наук,

Зеленогурский университет, Институт информатики и электроники,
Польша

Описаны построение и принцип действия, а также проведен сравнительный анализ функциональных возможностей преобразователей AC/DC типа buck – boost и Чука с синусоидальным входным током и коэффициентом мощности, равным единице. Библ. 4, рис. 5.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, преобразователь, транзистор, дроссель, конденсатор.

Проблеме построения преобразователей с улучшенной электромагнитной совместимостью (с синусоидальным входным током и коэффициентом мощности, равным единице, посвящен ряд работ [3, 4]. Однако в них рассматриваются сетевые преобразователи AC/DC, имеющие возможность только повышать выходное напряжение (англ.: boost converter). Улучшение энергетических показателей в таких устройствах достигается путем включения между диодным мостом выпрямителя и выходным сглаживающим конденсатором дополнительного широтно-импульсного преобразователя (англ.: преобразователя DC/DC), который выполняет функции корректора коэффициента мощности.

В то же время целесообразно расширить функциональные возможности сетевых преобразователей AC/DC возможностями понижающе-повышающих выходное напряжение (англ.: buck – boost converter), которые могли бы формировать выходное постоянное напряжение как меньшее, так и большее амплитуды напряжения питающей сети, сохраняя при этом функции корректора коэффициента мощности [3, 4] на входе устройства в сторону единицы.

В работе [1] рассмотрена возможность расширения функциональных возможностей рассматриваемого типа преобразователей AC/DC путем введения в их состав блока DC/DC, понижающе-повышающего выходное напряжение. В этой же работе принято сокращенное название данного преобразователя AC/DC как bb (buck – boost). Подобными свойствами обладает также преобразователь AC/DC [2] согласно топологии Чука (по имени автора, предложившего преобразователь DC/DC типа Чука).

Целью настоящей работы является описание построения, принципа действия и сравнительного анализа функциональных возможностей преобразователей AC/DC типа bb и Чука с синусоидальным входным током и коэффициентом мощности, равным единице.

Импульсный сетевой преобразователь AC/DC типа bb. Силовая схема преобразователя представлена на рис. 1 а. Непосредственно в состав преобразователя между диодным мостом выпрямителя, клеммы 1-1', и выходным сглаживающим конденсатором и нагруз-

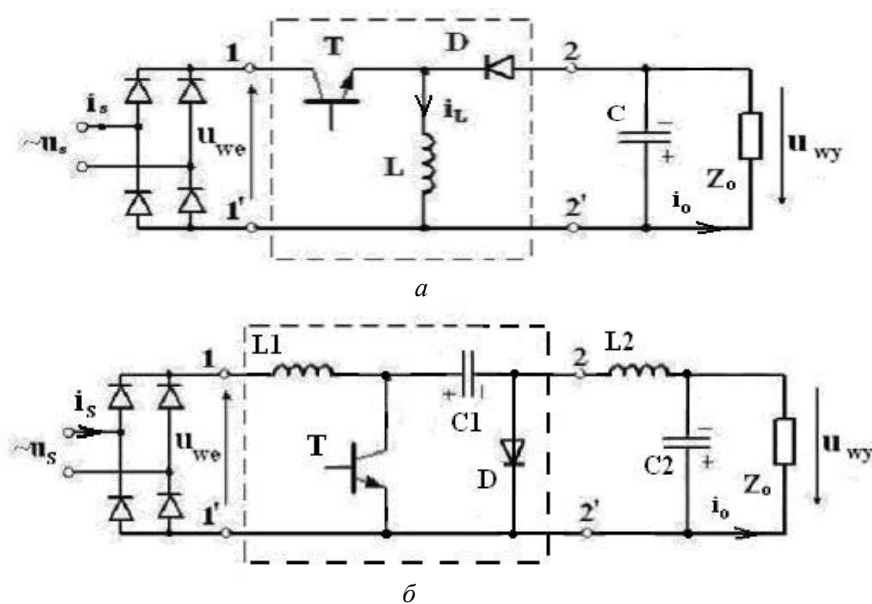


Рис. 1

кой, зажимы 2-2', включен преобразователь DC/DC, который представлен в виде блока, обозначенного пунктирной линией.

Главным промежуточным элементом, осуществляющим накопление и передачу энергии от выпрямителя в нагрузку, является дроссель L . В интервале времени включенного состояния транзистора T дроссель L подключен непосредственно к выходным зажимам выпрямителя. С учетом высокой добротности этой цепи ток дросселя i_L будет нарастать линейно во времени, увеличивая запасенную энергию дросселя L . В течение этого же времени диод D будет заблокирован, что препятствует разряду конденсатора C на цепь с дросселем. Ток в цепи нагрузки Z_0 поддерживается за счет накопленной энергии конденсатора в предыдущем цикле.

После выключения транзистора диод D будет поляризован в положительном направлении, а затем накопленная энергия из дросселя будет поступать в нагрузку и накопительный конденсатор C . Таким образом, циклически дроссель преобразователя берет энергию от источника питания и передает её в нагрузку.

Схема импульсного сетевого преобразователя AC/DC согласно топологии Чука показана на рис. 1 б. Между выходными зажимами 1-1' диодного моста выпрямителя и входными зажимами 2-2' выходного Γ -образного сглаживающего фильтра $L2C2$ включен преобразователь DC/DC типа Чука, обозначенный пунктирной линией. Выходное напряжение u_{wy} преобразователя Чука имеет противоположную полярность напряжения по сравнению с выходным напряжением выпрямителя, а средняя величина этого напряжения может быть как меньшей, так и большей амплитуды напряжения питающей сети U_{sm} .

Основным элементом, осуществляющим накопление и передачу энергии от выпрямителя к нагрузке, является конденсатор $C1$. Кроме конденсатора в состав преобразователя DC/DC входят дроссель $L1$, который служит для ограничения тока через силовой транзистор T , и диод D .

В интервале включенного состояния транзистора T дроссель $L1$ подключен непосредственно к выходным зажимам выпрямителя. С учетом высокой добротности этой цепи ток дросселя i_L будет нарастать линейно во времени, увеличивая запасенную энергию дросселя $L1$. Одновременно конденсатор $C1$ разряжается через включенный транзистор на нагрузку током i_{C1} . При этом ток i_{C1} будет равным величине тока дросселя i_{L2} и току нагрузки. В течение этого интервала времени диод D будет заблокирован и тем самым будет препятствовать разряду конденсатора $C2$ на дроссель $L2$. Ток в цепи нагрузки Z_0 поддерживается за счет накопленной энергии конденсатором $C1$ в предыдущем цикле.

После выключения транзистора диод D будет поляризован в направлении проводимости. Через него поплывёт одна составляющая тока i_{L1} , вызванная накопленной энергией в дросселе $L1$, а также вторая составляющая тока i_{L2} , вызванная накопленной энергией в дросселе $L2$ в предыдущем интервале времени. В это время накопленная энергия в дросселе $L1$ в предыдущем интервале времени (при включенном транзисторе T) будет передаваться конденсатору $C1$.

Из изложенного следует, что конденсатор $C1$ на первом интервале времени разряжается через включенный транзистор на нагрузку током i_{C1} , а на втором интервале времени заряжается от накопленной энергии в дросселе $L1$ током i_{L1} через находящийся в проводящем состоянии диод D . Таким образом, в качестве накопительного элемента в преобразователе Чука, осуществляющего обмен энергией между входными и выходными цепями, выступает конденсатор $C1$.

Компьютерные модели рассматриваемых преобразователей. В виртуальном пространстве Simuling программы Matlab построена модель преобразователя AC/DC типа bb, представленная на рис. 2. В работе [2] построена подобная модель преобразователя AC/DC типа Чука при том же напряжении питания 50 Гц, AC 310 В и RL -нагрузке 200 Ом, 1 мГн.

В состав силовой цепи преобразователя входят: источник питания 50 Гц, AC 310 В; однофазный выпрямительный диодный мост ($D1...D4$); дроссель $L=5$ мГн и его сопротивление $R=0,001$ Ом; транзистор IGBT и диод D ; сглаживающий конденсатор $C=300$ мФ; RL -

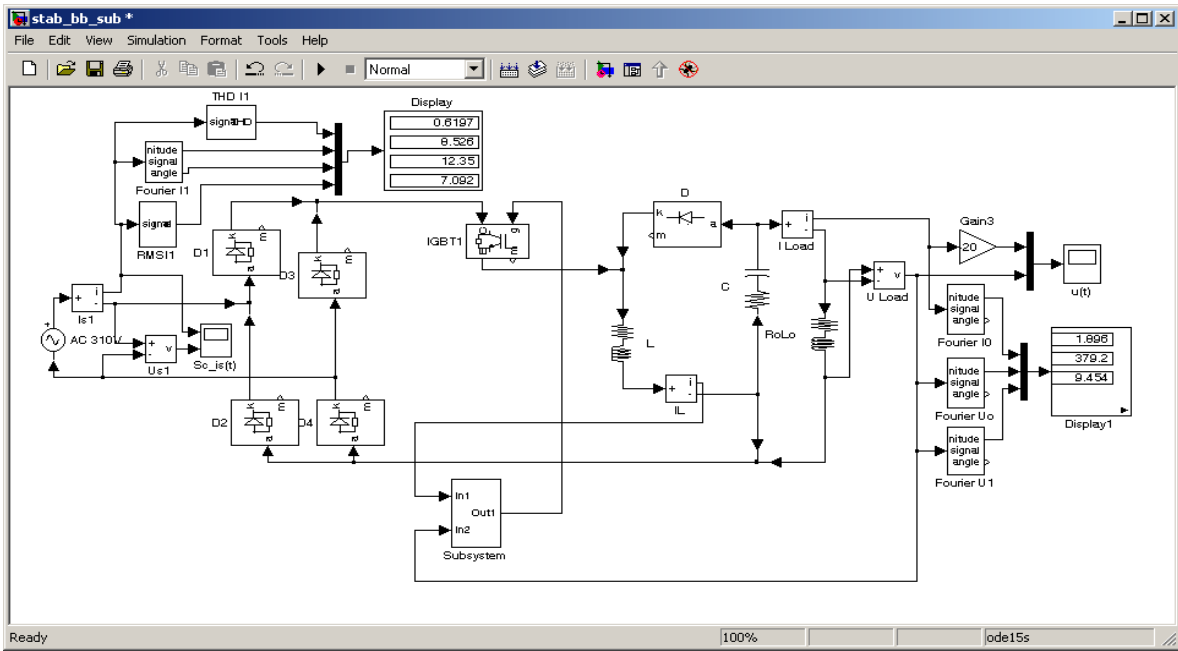


Рис. 2

нагрузка 200 Ом, 0,1 мГн; датчик измерения тока I_L дросселя L , сигнал которого подается на вход In1 устройства управления Subsystem преобразователем; датчик измерения U_{Load} напряжения на RL -нагрузке, сигнал которого поступает на второй вход In2 устройства управления преобразователем.

Устройство управления представлено в виде отдельного блока Subsystem. Его модель показана на рис. 3. В состав устройства управления входят следующие элементы:

- блок Sine Wave – генератор синусоидального сигнала (синхронизированный с сетевым напряжением питания) и блок Abs формирования модуля синусоидального сигнала в виде выпрямленных полувольт;
- два входных зажима In1 и In2, на которые соответственно поступают сигнал датчика тока дросселя L и сигнал обратной связи по выходному напряжению;
- блок суммирования Sum1 сигналов блока Constant задания ($U_{zad} = 5$ В) величины выходного напряжения преобразователя и датчика Gain1 выходного напряжения (с коэффициентом передачи $k_G = 5:300 = 0,0166$). Выходной сигнал блока Sum1 через регулятор PI и блок Saturation поступает на второй вход блока умножения Product, на первый вход которого поступает сигнал блока Abs формирования модуля синусоидального сигнала;
- блок суммирования Sum сигнала задания с блока Product и сигнала датчика измерения тока I_L дросселя с зажима In1;

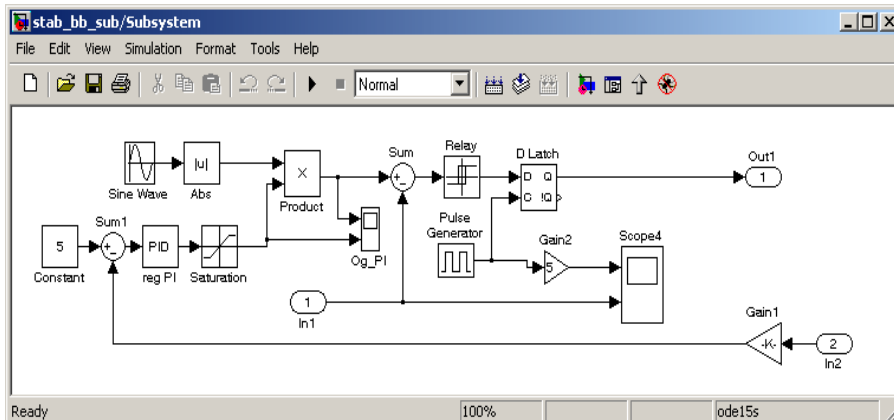


Рис. 3

- компаратор Relay, формирующий последовательность импульсов управления силовым транзистором, которые поступают на выходной зажим Out1 через D-триггер;
- генератор Pulse Generator, сигнал которого поступает на синхронизирующий вход D-триггера, и два осциллографа для на-

блюдения сигналов системы управления.

Генерируемые генератором Pulse Ge-nerator импульсы являются несущей частотой модуляции преобразователя (амплитуда импульсов – 1 В; период несущей частоты модуляции, $T_i = 1e-4s$ ($f_{imp}=10$ кГц); коэффициент глубины модуляции $\gamma = 0,5$) Принимаемая для преобразователя частота модуляции f_{imp} зависит от динамических свойств полупроводниковых ключей (например, транзисторы IGBT допускают частоту переключений до 20 кГц, транзисторы MOSFET – до 500 кГц). При этом следует заметить, что величина несущей частоты модуляции f_{imp} определяет скорость регулирования выходных параметров преобразователя AC/DC, а также габариты реактивных элементов.

Принцип работы обоих преобразователей AC/DC основан на управляемом обмене электрической энергией между реактивными элементами на двух временных интервалах соответственно включенного и выключенного состояния силового транзистора с двумя обратными связями по входному току устройства и по выходному напряжению. Отсюда следует возможность применения подобного устройства управления (УУ) как для преобразователя типа buck – boost , так и преобразователя с топологией Чука.

Анализ результатов моделирования. По результатам моделирования получены кривые выходных напряжения и тока в цепи нагрузки при пуске преобразователя (рис. 4), которые являются подобными как для AC/DC типа bb, так и Чука.

Выпрямленное выходное напряжение u_{wy} нарастает без перенапряжений, и время его установившегося значения наступает по истечении шести периодов. Выходное напряжение преобразователя как типа bb, так и с топологией Чука имеет противоположную полярность напряжения по сравнению с выходным напряжением выпрямителя, а средняя величина этого напряжения может быть как меньшей, так и большей амплитуды напряжения питающей сети.

Кривые напряжений $u_s(t)$ и токов $i_s(t)$ на входных зажимах устройства изображены на рис. 5. Они являются подобными как для AC/DC типа bb, так и Чука, а именно синусоидальными и синфазными. Это позволяет сделать вывод, что данное устройство имеет коэффициент мощности на входе, близкий единице.

Следует отметить, что фактически ток дросселя $L1$ повторяет по форме кривую сигнала задания. Причем ток дросселя колеблется возле заданного тока в зоне определяемой величиной гистерезиса d_h компаратора Relay и он тем более приближается к заданному току, чем меньше величина зоны гистерезиса. Однако одновременно с уменьшением величины зоны гистерезиса d_h возрастает несущая частота переключений транзистора Т и величина потерь переключений выделяемых на силовых ключах.

Из представленных на экранах блоков Display1 и Display (рис. 2) данных измерений можно определить все действующие и средние значения токов и напряжений на входных и выходных зажимах преобразователей. На их основании не составляет трудностей рассчитать основные параметры обеих рассмотренных преобразователей AC/DC, а именно: активную мощность источника питания; активную мощность, выделяемую в нагрузку; коэффициент искажений входного тока $\gamma_I = I_{sI}/I_s$; коэффициент мощности на входе преобразователя $\lambda_p = \gamma_I \cos \varphi_{m1}$; коэффициент пульсации выходного напряжения $K_p = U_{m1}/U_{wy0} \cdot 100$ %.

На основании результатов моделирования и приведенных временных диаграмм можно сделать выводы, что входной ток преобразователя находится в фазе с напряжением питания. В этом случае преобразователь при работе на RL -нагрузку не генерирует реактивную мощность в сеть. Входной ток выпрямителя AC/DC с блоком Чука является практически синусоидальным, однако в случае AC/DC с блоком buck – boost кривая входного тока только модулирована по синусоидальному закону, и импульсный

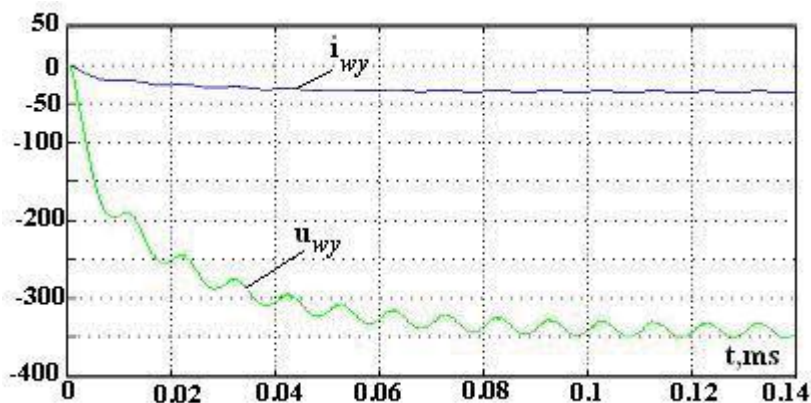


Рис. 4

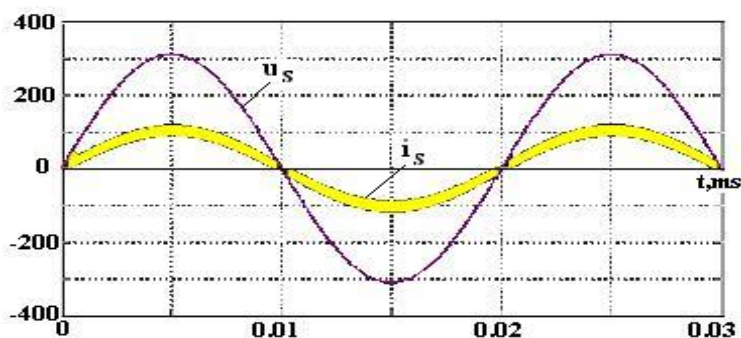


Рис. 5

характер данного тока является причиной появления в кривой входного тока более значительных высокочастотных гармонических составляющих.

К примеру, коэффициент искажений входного тока преобразователя АС/DC с блоком Чука не является достаточно низким ($\text{THD} (I_1) = 29,7 \%$). Однако, принимая во внимание высокую несущую частоту модуляции, фильтрация высших гармонических не составит трудностей.

Из представленных на рис. 4 кривых выходного выпрямленного напряжения и тока видно, что установившийся режим работы устройства наступает по истечении шести периодов напряжения питания. Переменная составляющая в выходном выпрямленном напряжении, которая определяется параметрами сглаживающего фильтра и значением несущей частоты модуляции, является небольшой и составляет менее 3,0 %.

Принимая во внимание более высокую синусоидальность входного тока в преобразователе АС/DC с блоком Чука и высокий коэффициент мощности на входе устройства, близкий единице $\lambda_p = 0,947$, можно утверждать, что рассматриваемый преобразователь АС/DC с блоком Чука лучше выполняет функции корректора коэффициента мощности сети, чем преобразователь АС/DC с блоком buck – boost.

В заключение следует также отметить, что разница между преобразователями типа bb и Чука заключается еще и в том, что в качестве накопительного элемента, осуществляющего циклический обмен энергией между входными и выходными зажимами преобразователя, в первом случае выступает дроссель, а во втором – конденсатор. Положительным свойством использования конденсатора C_1 является более высокая его добротность по сравнению с дросселем и соответственно меньшие потери энергии. Однако использование конденсатора в преобразователе Чука вызвало необходимость введения дросселей L_1 и L_2 соответственно во входной и выходной цепях преобразователя. Дроссель L_1 введен с целью ограничения токов через конденсатор C_1 при его подключении ко входному источнику напряжения, а дроссель L_2 – при передаче энергии к накопительному конденсатору C_2 . В результате преобразователь АС/DC типа Чука построен с использованием шести силовых элементов (двух полупроводниковых (транзистор Т и диод D) и четырех реактивных элементов), тогда как преобразователь типа bb построен с использованием четырех элементов (двух полупроводниковых и двух реактивных элементов). Таким образом, преобразователь с топологией Чука более сложен при изготовлении и настройке; окончательный выбор преобразователя типа buck – boost либо преобразователя с топологией Чука неоднозначен, так как зависит от многих параметров.

В заключение следует также отметить, что разница между преобразователями типа bb и Чука заключается еще и в том, что в качестве накопительного элемента, осуществляющего циклический обмен энергией между входными и выходными зажимами преобразователя, в первом случае выступает дроссель, а во втором – конденсатор. Положительным свойством использования конденсатора C_1 является более высокая его добротность по сравнению с дросселем и соответственно меньшие потери энергии. Однако использование конденсатора в преобразователе Чука вызвало необходимость введения дросселей L_1 и L_2 соответственно во входной и выходной цепях преобразователя. Дроссель L_1 введен с целью ограничения токов через конденсатор C_1 при его подключении ко входному источнику напряжения, а дроссель L_2 – при передаче энергии к накопительному конденсатору C_2 . В результате преобразователь АС/DC типа Чука построен с использованием шести силовых элементов (двух полупроводниковых (транзистор Т и диод D) и четырех реактивных элементов), тогда как преобразователь типа bb построен с использованием четырех элементов (двух полупроводниковых и двух реактивных элементов). Таким образом, преобразователь с топологией Чука более сложен при изготовлении и настройке; окончательный выбор преобразователя типа buck – boost либо преобразователя с топологией Чука неоднозначен, так как зависит от многих параметров.

1. Гречко Э.Н. Широтно-импульсные преобразователи, понижающе-повышающие выходное напряжение // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2006. – № 4. – С. 112–115.
2. Гречко Э.Н. Трехуровневый ШИП с преобразователем Чука // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2007. – № 18. – С. 112–116.
3. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.
4. Шидловский А.К., Козлов А.В., Комаров Н.С., Москаленко Г.А. Транзисторные преобразователи с улучшенной электромагнитной совместимостью. – К.: Наук. думка, 1993. – 272 с.

УДК 621.314.6

Е.М. Гречко, докт. техн. наук,

Зеленогурський університет, Інститут інформатики та електроніки,
Польща

Імпульсні мережеві перетворювачі, понижуючі-підвищуючі вхідну напругу

Описано будову та принцип роботи, а також проведено порівняльний аналіз функціональних можливостей перетворювачів AC/DC типу buck – boost і Чука з синусоїдальним вхідним струмом та коефіцієнтом потужності, рівним одиниці. Бібл. 4, рис. 5.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, перетворювачі, транзистор, дросель, конденсатор.

E.M. Grechko,

Zelenogurskyi University, Institute of information and electronic, Poland

Pulse networked converters reducing and rising an output voltage

The construction and operating principle are described, the comparative analysis of functional capabilities of converters AC/DC of buck-boost type and Chuk type with sinusoidal input current and unit power factor is carried out. References 4, figures 5.

Key words: computer simulation, converter, transistor, inductance, capacitor.

Надійшла 25.10.2010

Received 25.10.2010