

Новый DC/DC-преобразователь с нулевыми пульсациями

и интегрированными магнитопроводами

Идея интеграции магнитных компонентов в силовой части конвертора открывает перед импульсными устройствами новые перспективы. Для питания основной массы радиоэлектронной аппаратуры требуется в какой-либо форме энергия постоянного тока разных уровней напряжения и мощности. Физически невозможно реализовать управляемый трансформатор постоянного напряжения, но именно он был бы идеальным конечным результатом при проектировании преобразователей.

Слободан Кук
Калифорнийский
технологический институт

Авторизованный перевод —
Сергей Ненахов

info@apelsinn.ru

Нетрудно заметить, что ни одна из классических схем конверторов (рис.1) не обладает главной отличительной чертой идеального трансформатора постоянного напряжения, то есть — не обеспечивает непрерывности (постоянства) потребления энергии и передачи ее в нагрузку. Разрывность токов (входного, выходного или обоих одновременно) вызывает электромагнитные помехи и ухудшает качество электроэнергии, в результате чего существенно ограничивает область применения импульсных источников питания.

Отказ от традиционных методов проектирования конверторов [1] означает поиск новых импульсных схем с непрерывным характером потребления и пе-

редачи энергии. Причем сразу ясно, что стремление сохранить высокий КПД неизбежно ведет к насыщению силовой части конвертора реактивными элементами. Но именно это обстоятельство способствовало появлению революционной идеи интеграции магнитных компонентов, открывающей перед импульсными устройствами новые перспективы.

Рассмотрим схему конвертора [2], в котором осуществляется непрерывная передача энергии от первичного источника в нагрузку (рис.2).

На интервале времени t_{on} , когда транзистор T_1 заперт, конденсатор C_1 заряжается входным током i_1 дросселя L_1 через диод D_1 , а ток дросселя L_2 замыкается через тот же диод и нагрузку.

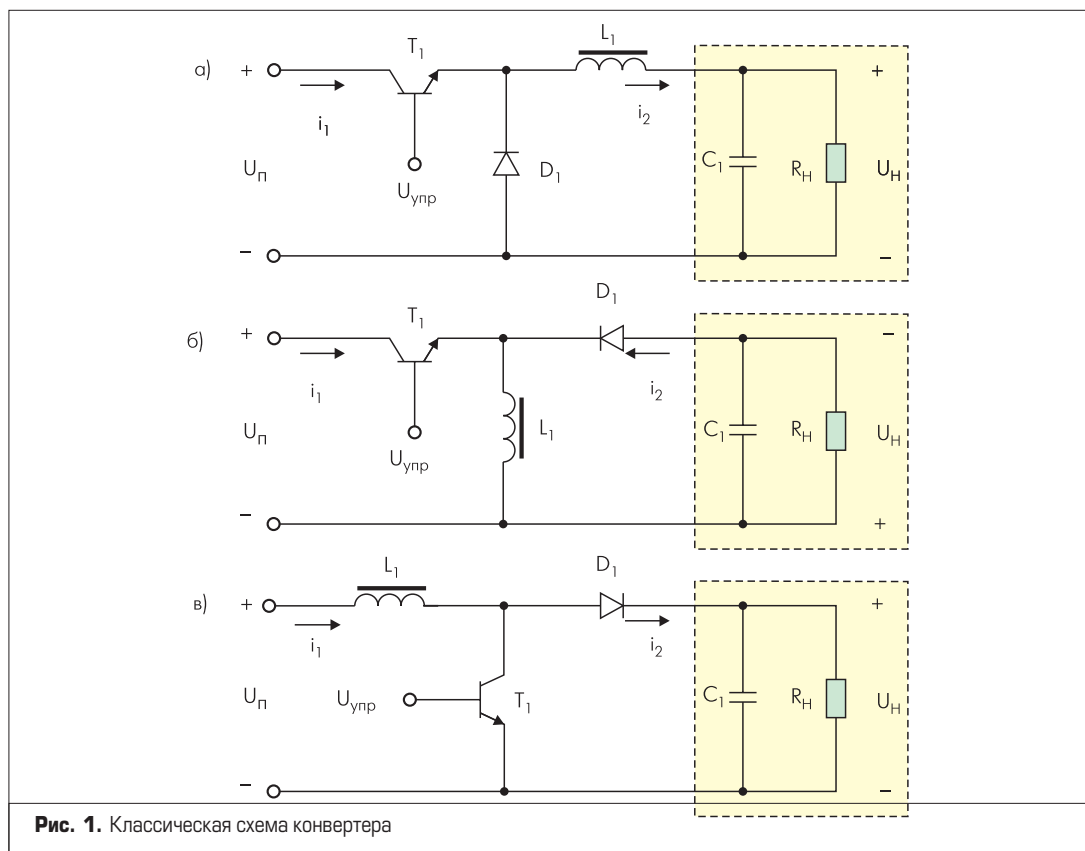


Рис. 1. Классическая схема конвертера

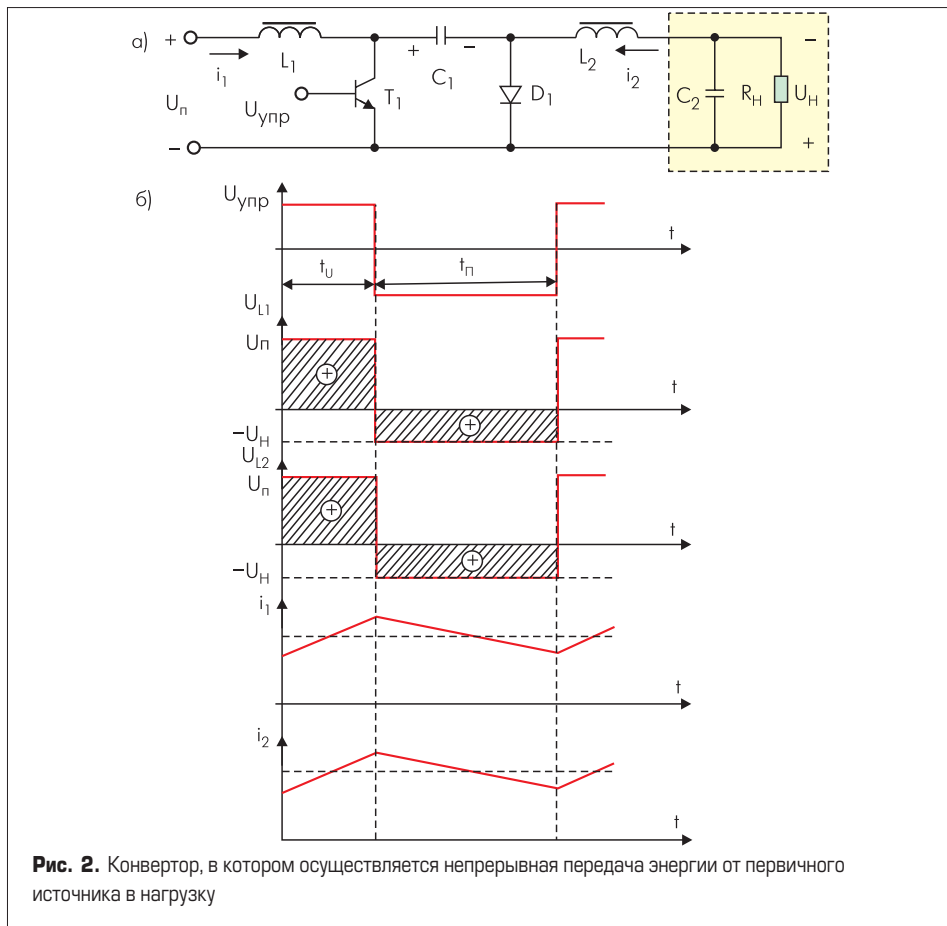


Рис. 2. Конвертор, в котором осуществляется непрерывная передача энергии от первичного источника в нагрузку

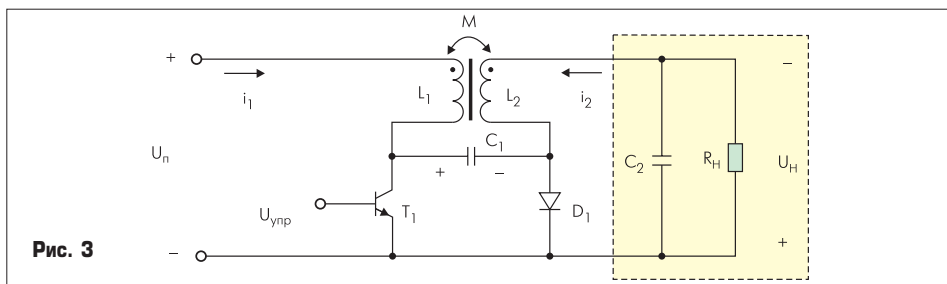


Рис. 3

На интервале t_u , когда транзистор T_1 открыт, конденсатор C_1 разряжается на нагрузку током i_2 , а ток i_1 дросселя L_1 замыкается через транзистор и источник питания.

Пренебрегая пульсациями напряжений на конденсаторах, запишем баланс вольт-секундных интегралов для каждого дросселя:

$$\begin{aligned} U_n t_n &= (U_{C1} - U_n) t_u \\ (U_{C1} - U_n) t_u &= U_n t_n \end{aligned}$$

Отсюда

$$U_{C1} = U_n \left(1 + \frac{t_u}{t_n} \right) = U_n \left(1 + \frac{t_n}{t_u} \right).$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} U_n &= U_n \frac{t_u}{t_n}, \\ U_{C1} &= U_n + U_n \end{aligned}$$

а эпюры напряжений на дросселях (рис. 2б) полностью совпадают.

Последнее обстоятельство является предпосылкой для выполнения обоих дросселей на едином магнитопроводе (рис. 3).

Для каждой обмотки связанного дросселя:

$$U_s = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}, \quad (1)$$

$$U_s = L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}, \quad (2)$$

где U_s — напряжение на обмотках:

$U_s = U_n$ на интервале t_u ,

$U_s = U_n$ на интервале t_n ;

$L = \mu \frac{w^2 S}{l}$ — индуктивность обмотки;

μ — магнитная проницаемость материала магнитопровода;

w — число витков обмотки;

S и l — соответственно площадь сечения и длина средней линии сердечника;

$M = \frac{k}{n} L_1 = kn L_2$ — взаимная индуктивность обмоток;

k — коэффициент магнитной связи обмоток;

$n = \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$ — отношение чисел витков обмоток.

Представляет интерес рассмотрение трех частных случаев.

1. Получение одинаковых пульсаций входного и выходного токов, то есть

$\frac{di_1}{dt} = \frac{di_2}{dt}$. Разделив (1) на (2), получим:

$$\frac{L_1 + M}{L_2 + M} = 1 \text{ или } n^2 \frac{1 + \frac{k}{n}}{1 + kn} = 1.$$

Отсюда $n = 1$. Таким образом, при $L_1 = L_2$ ($w_1 = w_2$) пульсации входного и выходного токов одинаковы:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{di_2}{dt} = \frac{U_s}{(1+k)L_2}.$$

Анализ этого выражения показывает, что по сравнению с исходной схемой пульсации токов уменьшены в $(1+k)$ раз, а в предельном случае ($k=1$) в два раза при прочих равных условиях.

2. Получение нулевых пульсаций входного тока, то есть

$\frac{di_1}{dt} = 0$. Разделив (1) на (2), получим:

$$\frac{M}{L_2} = 1 \text{ или } kn = 1.$$

Отсюда $n = \frac{1}{k}$.

Пульсации выходного тока при этом остаются на прежнем уровне:

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{U_s}{L_2}.$$

3. Получение нулевых пульсаций выходного тока, то есть

$\frac{di_2}{dt} = 0$. Разделив (1) на (2), получим:

$$\frac{L_1}{M} = 1 \text{ или } \frac{n}{k} = 1.$$

Отсюда $n = k$.

Пульсации выходного тока при этом остаются на прежнем уровне:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{U_s}{L_1}.$$

Таким образом, относительным изменением n и k можно регулировать пульсации токов i_1 и i_2 вплоть до полного устранения их по входу или выходу. Причем условие получения нулевой пульсации не зависит от режима работы конвертора, то есть скважности, частоты переключений, напряжения питания и тока нагрузки.

Объединение дросселей возможно и в других импульсных структурах при условии, что напряжения на объединяемых дросселях пропорциональны друг другу [3]. Форма напряжений несущественна. Например, если коэффициент трансформации введенного в конвертор развязывающего трансформатора [4] (рис. 4а) равен n_{mp} , то напряжение на дросселе L_2 отличается от напряжения на дросселе L_1 в n_{mp} раз. Во столько же раз должны отличаться числа витков связанного дросселя (рис. 4б) для получения одинаковых пульсаций входного и выходного токов.

Возможность для объединения дросселей имеется и в многоканальном конверторе (рис. 5). Причем дроссели можно объединять группами, например, входной и один из вы-

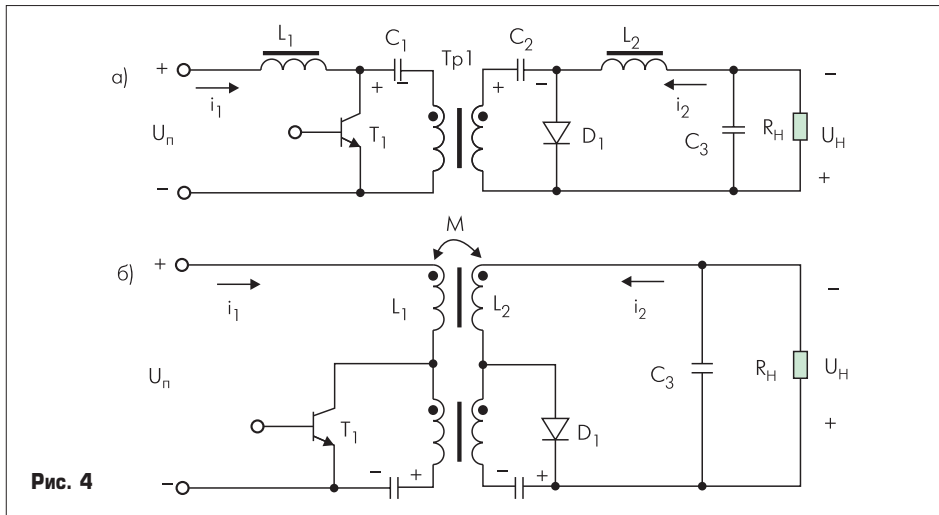


Рис. 4

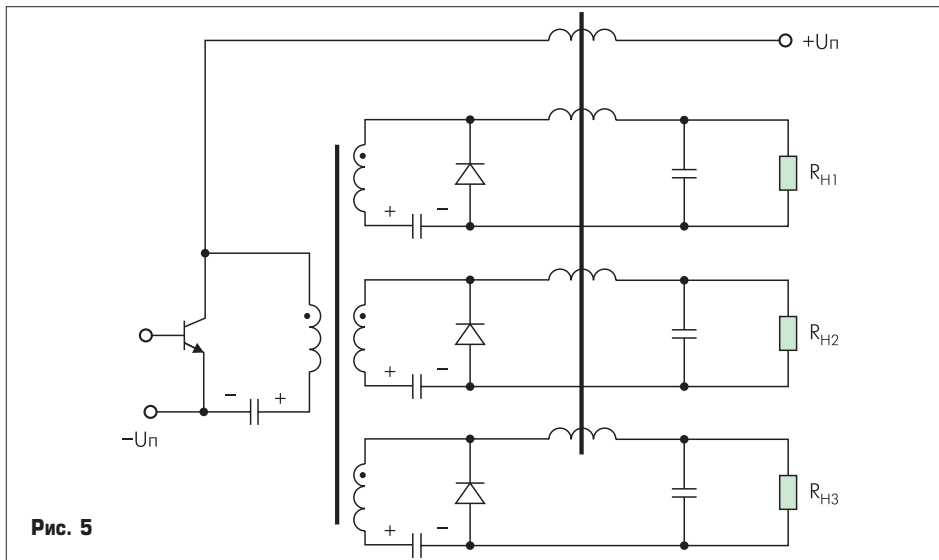


Рис. 5

ходных дросселей объединены с целью получения нулевой пульсации входного тока, тогда как другой связанный дроссель обеспечивает нулевую пульсацию на одном из выходов [5, 6].

Продолжение следует

Литература

1. P. Wood. General Theory of Switching Power Converters. — IEEE Power Electronics Specialists Conference. — 1979. (IEEE Publication 79CH1461-3AES).
2. S. Cuk and R.D. Middlebrook. A New Optimum Topology Switching DC-to-DC Converter. — IEEE Power Electronics Specialists Conference. — 1977. (IEEE Publication 77CH1213-8AES).
3. S. Cuk. Switching DC-to-DC Converter with Zero Input or Output Current Ripple. — IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. — 1978. (IEEE 78CH1346-61A).
4. R. D. Middlebrook, S. Cuk. Isolation and Multiple Output Extensions of a New Optimum Topology Switching DC-to-DC Converter. — IEEE Power Electronics Specialists Conference. — 1978. (IEEE Publication 78CH1337-5AES).
5. G. E. Bloom, A. Eris. Practical Design Considerations of Multi-Output Cuk Converter. — IEEE Power Electronics Specialists Conference. — 1979. (IEEE Publication 79CH1461-3AES).
6. G.E. Bloom, A. Eris and R. Ruble. Modelling, Analysis and Design of a Multi-Output Cuk Converter. — Proc. Seventh National Solid-State Power Conversion Conference, March 1980.