

Окончание. Начало в № 2'2004

Новый DC/DC-преобразователь с нулевыми пульсациями

и интегрированными магнитопроводами

Связанный дроссель — мощное средство микроминиатюризации конверторов. Как показано автором ранее, применение связанного дросселя вместо двух отдельных позволяет при тех же пульсациях и потерях в меди почти вдвое сократить объем магнитного материала, а при тех же затратах магнитного материала — примерно вдвое уменьшить потери в меди и более рационально использовать конструктивный объем [7]. Возможность же получения нулевых пульсаций тока при конечных размерах реактивных элементов является совершенно уникальной.

Слободан Кук,
Калифорнийский
технологический институт

Авторизованный перевод —
Сергей Ненахов

info@apelsinn.ru

Последовательное соединение двух конверторов со связанными дросселями (рис. 6) позволяет устранить пульсации входного и выходного токов одновременно.

Но это далеко не лучшее решение, поскольку не только вводится двойное преобразование энергии, но и усложняется схема управления.

На рис. 7 представлена схема с последовательным соединением двух связанных дросселей.

Кажется, что выбором

$$n_1 = \frac{1}{k_1} \text{ и } n_2 = k_2$$

можно устранить пульсации как входного, так и выходного токов. Однако напряжение между точками А и В зависит от тех же n_1 и n_2 , поэтому два связанных дросселя работают как один, а нулевые пульса-

ции можно получить либо на входе устройства, либо на выходе. Для того чтобы эта схема работала должным образом, между точками А и В требуется включить независимый источник импульсного напряжения, пропорционального напряжениям на первичной обмотке первого, связанного, дросселя и вторичной обмотке второго.

Поставленным условиям удовлетворяет напряжение на дополнительном дросселе L (рис. 8) [4].

Действительно, записав баланс вольт-секундных интегралов для дросселей, получим:

$$U_n t_u = (U_{C1} + U_{C2} - U_n) t_n$$

$$U_{C1} t_u = U_{C2} t_n$$

$$(U_{C1} + U_{C2} - U_n) t_u = U_n t_n$$

Отсюда после несложных преобразований:

$$U_{C1} = U_n$$

$$U_{C2} = U_n$$

$$U_n = U_n \frac{t_u}{t_n}$$

Следовательно, напряжения на всех трех дросселях идентичны. Дополнительный дроссель L может быть связан с дросселем L1 для получения нулевой пульсации входного тока или с дросселем L2

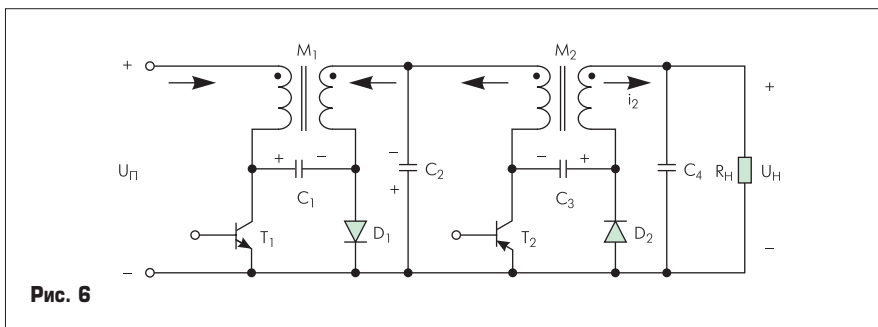


Рис. 6

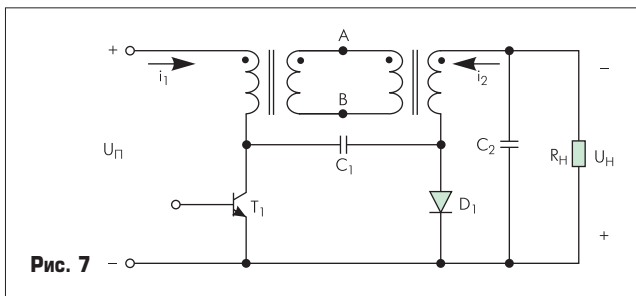


Рис. 7

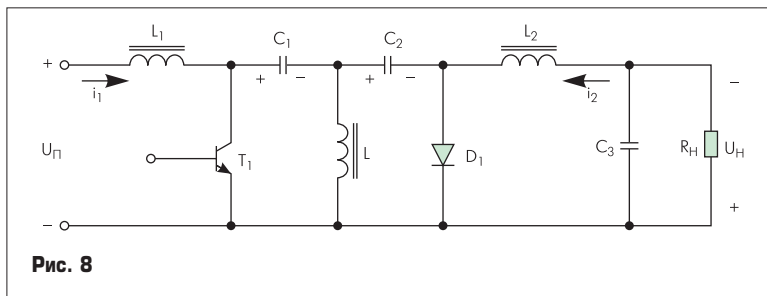


Рис. 8

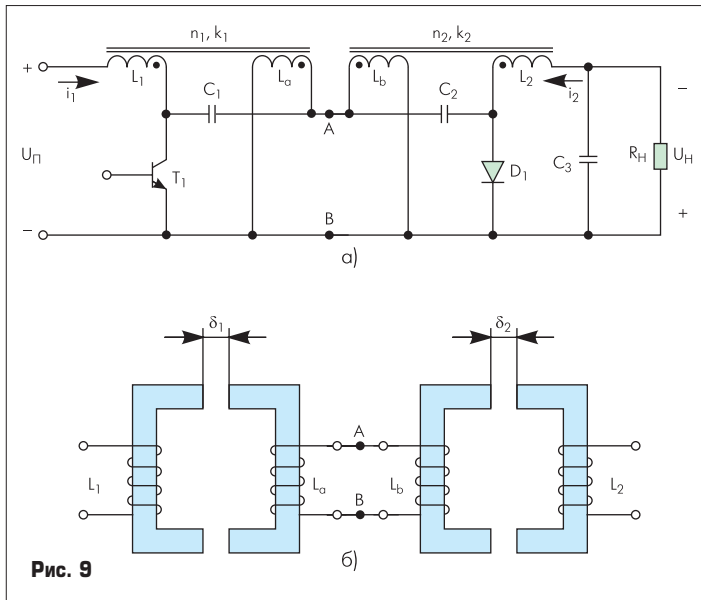


Рис. 9

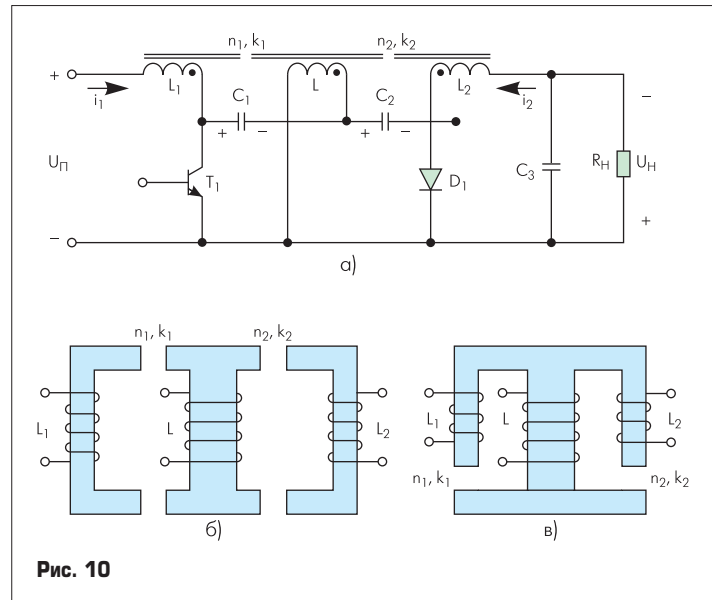


Рис. 10

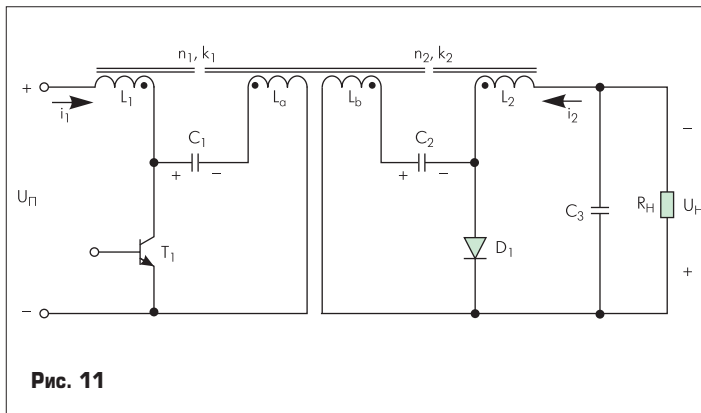


Рис. 11

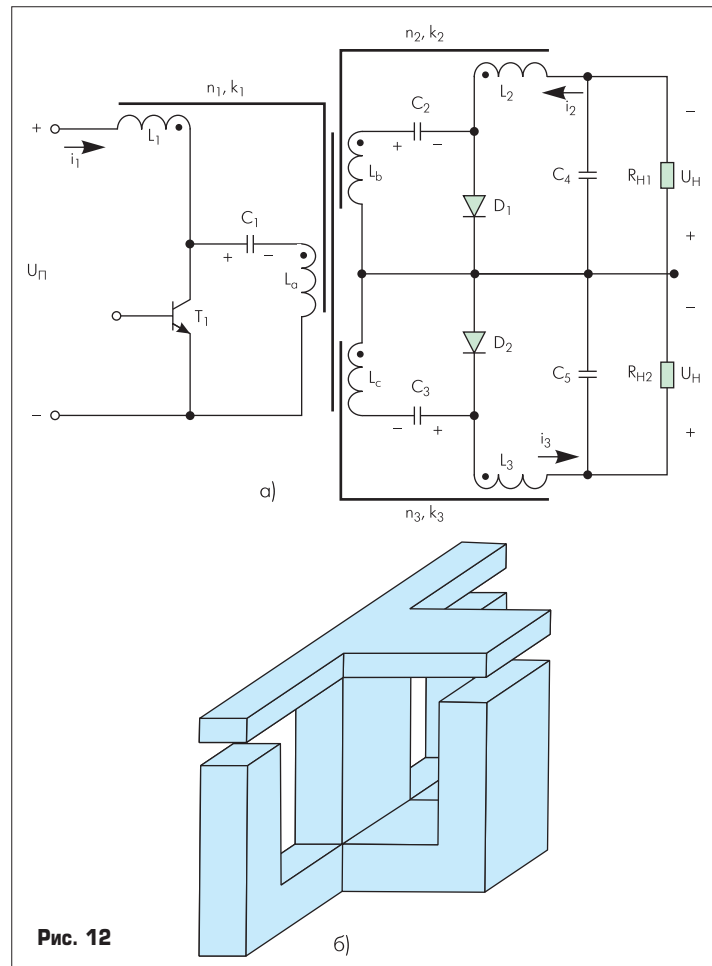


Рис. 12

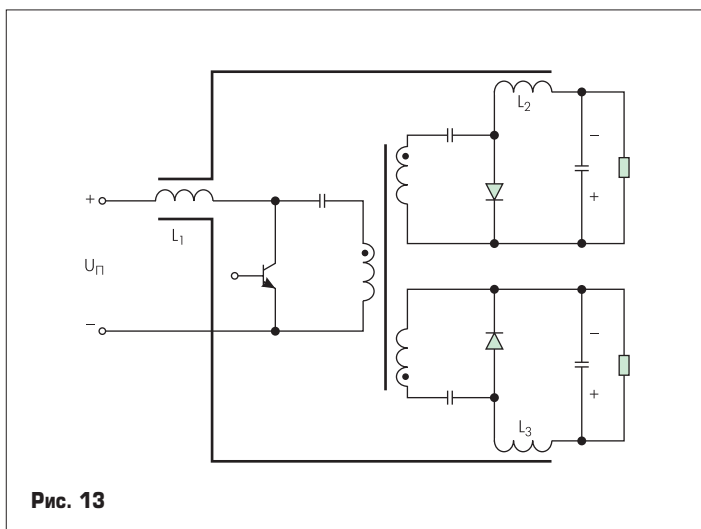


Рис. 13

для получения нулевой пульсации выходного тока.

Ничего не изменится при замене дополнительного дросселя L двумя дросселями L_a и L_b , включенными параллельно. Но если дроссель L_a связать с L_1 , а дроссель L_b — с L_2 , то можно получить нулевые пульсации как входного, так и выходного токов одновременно (рис. 9а) [8].

Изменяя коэффициент связи k_1 в первом связанном дросселе путем регулирования воздушного зазора δ_1 (рис. 9б), можно добиться $n_1 = \frac{1}{k_1}$ и, следовательно, нулевых пульсаций на входе. Изменяя коэффициент связи k_2 во втором связанном дросселе путем ре-

гулирования воздушного зазора δ_2 , можно добиться $n_2 = k_2$ и нулевых пульсаций на выходе. Обе регулировки независимы друг от друга.

Пропорциональность напряжений на обмотках связанных дросселей является предпосылкой для объединения их магнитопроводов (рис. 10а) [8]. Конструкция интегрального магнитопровода (рис. 10б) должна обеспечивать отсутствие магнитной связи между обмотками L_1 и L_2 .

Наконец, разделив обмотку L на две, получаем конвертор с развязкой выхода от входа по постоянному току (рис. 11) [7].

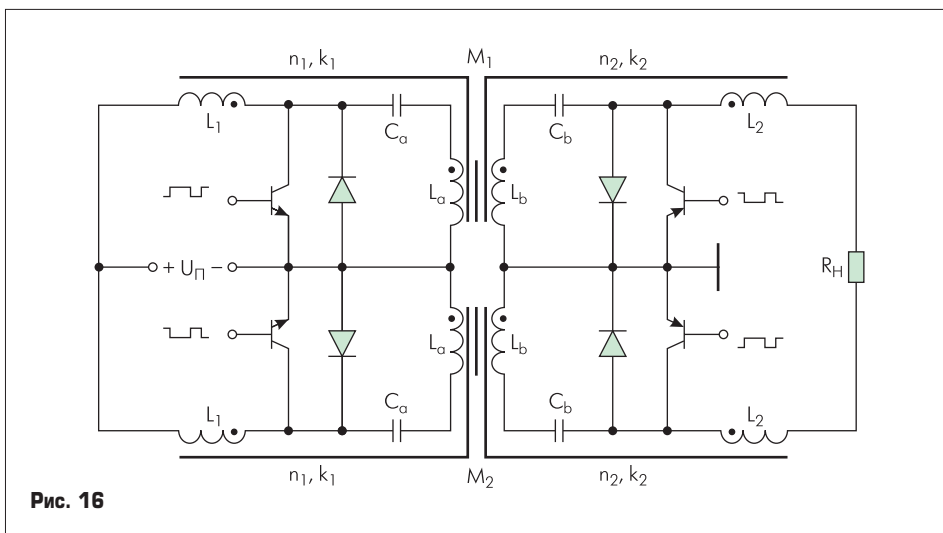
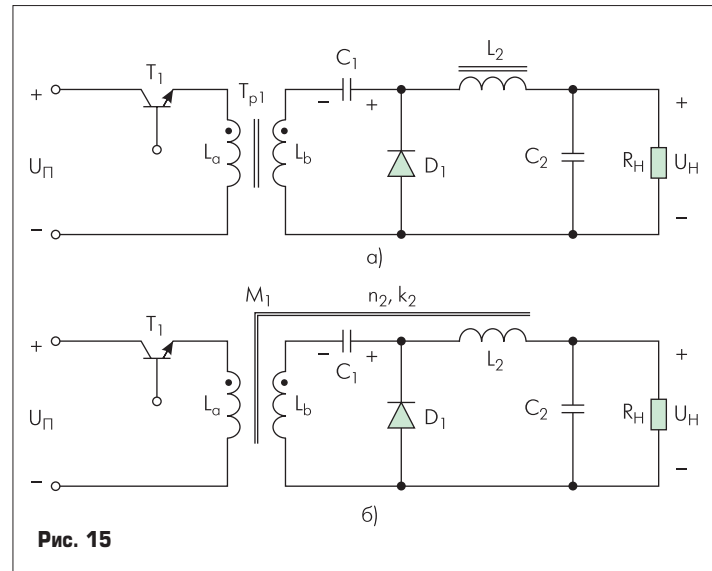
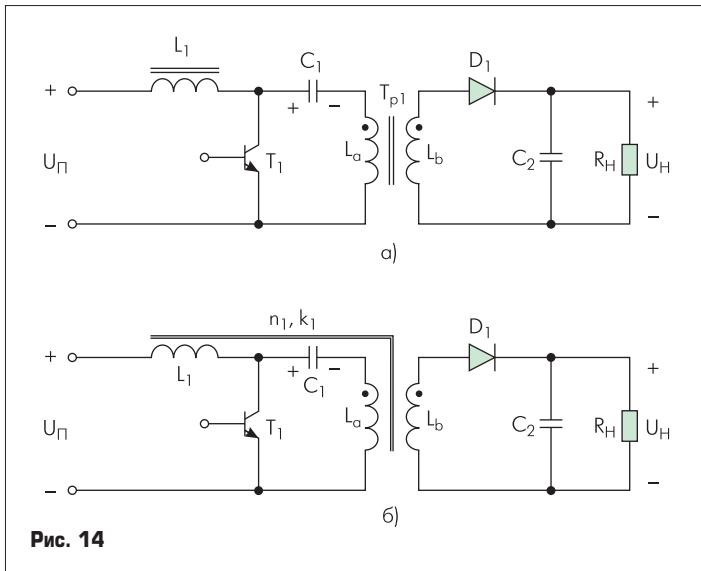
Таким образом, трансформатор теперь не только гальванически развязывает входные

и выходные цепи, но и выполняет функции связанного дросселя, обеспечивая нулевые пульсации входного и выходного токов. Конструкция магнитопровода остается прежней (рис. 10б-в).

В двухканальном конверторе (рис. 12а) [7] одна магнитная цепь с шестью соответствующим образом связанными обмотками позволяет обеспечить нулевые пульсации как на входе устройства, так и на обоих его выходах одновременно.

Возможная конструкция магнитной системы показана на рис. 12б [9].

Если нулевые пульсации не требуются, например, на входе (рис. 13), то может быть ис-



пользована более простая форма сердечника (рис. 10б), причем обмотка входного дросселя должна располагаться на средней части магнитопровода [7].

Еще несколько интересных схем многоканальных конверторов с нулевыми пульсациями на обеих сторонах с детальным анализом и описаниями реальных конструкций можно найти в работах других авторов [5, 6, 10, 11].

Подводя итог вышеизложенному, можно констатировать, что результатом разработки импульсных устройств с непрерывным характером передачи энергии является не только некоторое количество схем, но и новая идея интеграции магнитных систем, которая может быть с успехом применена к разнообразным существующим импульсным структурам (рис. 14, 15, 16) [12–15] и при разработке новых.

Первым шагом на пути интеграции магнитных компонентов следует считать объединение магнитопроводов двух отдельных дросселей конвертора [3], что позволило при том же качестве энергии уменьшить размеры, вес и потери. В результате дальнейшего распространения новой идеи интеграции подверглись такие разные магнитные компоненты, как дроссели и трансформаторы. Получено новое уменьшение размеров, веса и потерь энергии. Наконец, применение новой идеи позволяет свести к нулю пульсации входного и выходных токов и реализовать

почти идеальный преобразователь энергии постоянного тока, что практически невозможно при дискретном исполнении дросселей и трансформаторов.

При желании можно провести интересную аналогию между интеграцией магнитных компонентов и интеграцией полупроводниковых структур. Подобно тому, как в свое время полупроводниковые элементы (диоды, транзисторы) были освобождены от своих собственных корпусов и помещены в один общий, образуя электрическую схему (твердотельную или гибридную), магнитные компоненты (дроссели, трансформаторы) должны быть освобождены от своих собственных сердечников и выполнены на едином (интегральном) магнитопроводе, образуя магнитную схему.

Литература

1. Peter Wood. General Theory of Switching Power Converters. IEEE Power Electronics Specialists Conference. 1979. (IEEE Publication 79CH1461-3AES).
2. Slobodan 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. Slobodan 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 and Slobodan 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 and 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.
7. Slobodan Cuk. A New Zero-Ripple Switching DC-to-DC Converter and Integrated Magnetics. IEEE. 1980. (IEEE Publication 80CH1529-7).
8. Slobodan Cuk. DC-to-DC Converter with Zero Input and Output Current Ripple and Integrated Magnetics Circuits. US Patent Application. March 1979.
9. Hiromitsu Hirayama. Simplifying Switched Mode Converter Design with a New Variable Leakage Transformer Topology. Proc. Seventh National Solid-State Power Conversion Conference (Powercon 7). March 1980.
10. Loman Rensink. Switching Regulator Configurations and Circuit Realisations. PhD thesis, Californis Institute of Technology. December 1979.
11. G. E. Bloom, A. Eris. Modelling and Analysis of a Multi-Output Cuk Converter. IEEE Power Electronics Specialists Conference. Atlanta, Georgia, USA. June 1980.
12. Slobodan Cuk and Robert W. Erickson. A Conceptually New High-Frequency Switched-Mode Amplifier Technique Eliminates Current Ripple. Proc. Fifth National Solid-State Power Conversion Conference (Powercon 5). May 1978.
13. Slobodan Cuk. General Topological Properties of Switching Structures. IEEE Power Electronics Specialists Conference. 1979.
14. Slobodan Cuk. Push-Pull Switching Power Amplifier. US Patent 4.186.437. January 1980.
15. R. P. Massey and E. C. Snyder. High-Voltage Single-Ended DC-DC Converter. IEEE Power Electronics Specialists Conference. 1977.