

ТРЕХЭТАПНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ПОНИЖАЮЩЕ-ПОВЫШАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЧЕТЫРЬМЯ УПРАВЛЯЕМЫМИ КЛЮЧАМИ

Кадацкий Анатолий Федорович,

доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой автоматизации, робототехники и электропитания
Государственный университет интеллектуальных технологий и связи, Одесса,
Украина

Русу Александр Петрович

кандидат технических наук,
ст. преп. кафедры автоматизации, робототехники и электропитания
Государственный университет интеллектуальных технологий и связи, Одесса,
Украина

Понижающе-повышающие преобразователи (Рис. 1) используются в случаях, когда нужно сформировать выходное напряжение как больше, так и меньше входного. Типовыми приложениями этой схемы могут быть устройства с питанием от фотоэлементов, светодиодные светильники и многие другие. Ключевыми преимуществами данной схемы являются простота, гибкость и высокая удельная мощность. Однако, несмотря на кажущуюся простоту, некоторые особенности работы данной схемы недостаточно изучены, что сдерживает ее использование на практике. В докладе кратко рассмотрен один из специфических режимов работы этой схемы, состоящий из трех этапов преобразования. Расширенный анализ этого вопроса приведен в работе [1].

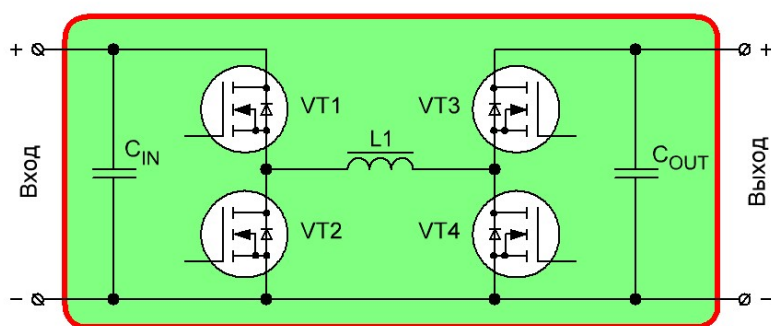


Рисунок 1. Понижающе-повышающий преобразователь с четырьмя управляемыми ключами на основе MOSFET

Для удобства понимания отойдем от конкретной элементной базы и заменим реальные силовые транзисторы $VT_1 - VT_4$ их идеализированными аналогами – управляемыми ключами $S_1 - S_4$, с нулевым сопротивлением в замкнутом состоянии, бесконечно большим сопротивлением в разомкнутом состоянии и нулевым временем переключения.

В квазиустановившемся режиме каждый цикл преобразования длительностью T_{CYCLE} состоит из трех этапов, продолжительностью, соответственно, T_{STAGE1} , T_{STAGE2} и T_{STAGE3} (Рис. 2). На первом этапе дроссель $L1$ с помощью ключей $S1$ и $S4$ подключается к входному конденсатору C_{IN} , при этом его магнитный поток увеличивается на некоторую величину $\Delta\Phi_{L1}$, и в его магнитном поле накапливается некоторое количество энергии. На третьем интервале дроссель с помощью ключей $S2$ и $S4$ подключается к выходному конденсатору C_{OUT} , и весь остаток накопленной энергии передается в этот конденсатор (и нагрузки). При работе в режиме передачи энергии магнитный поток на этом интервале $\Delta\Phi_{L3}$ обычно всегда уменьшается (по абсолютному значению).

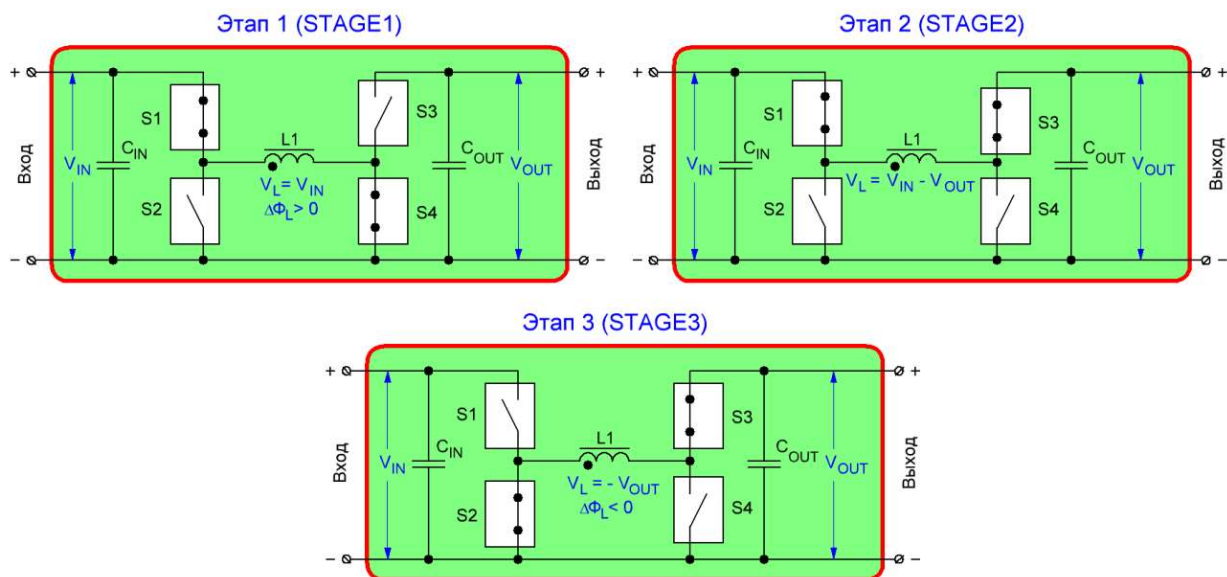


Рисунок 2. Состояние силовых ключей на трех этапах преобразования

Самые интересные процессы происходят на втором – промежуточном – этапе, когда дроссель с помощью ключей $S1$ и $S3$ подключается одновременно и к входному, и к выходному конденсаторам. В этом случае характер изменения магнитного потока в дросселе будет зависеть от соотношения входного V_{IN} и выходного V_{OUT} напряжений.

Если входное напряжение больше выходного ($V_{IN} > V_{OUT}$), то магнитный поток продолжит увеличиваться, добавляя энергию в магнитное поле (Рис. 3). Если входное напряжение меньше выходного ($V_{IN} < V_{OUT}$), то магнитный поток начнет уменьшаться и дроссель начнет отдавать накопленную энергию в выходные цепи. А если входное и выходное напряжения равны ($V_{IN} = V_{OUT}$), то количество энергии в дросселе не изменится.

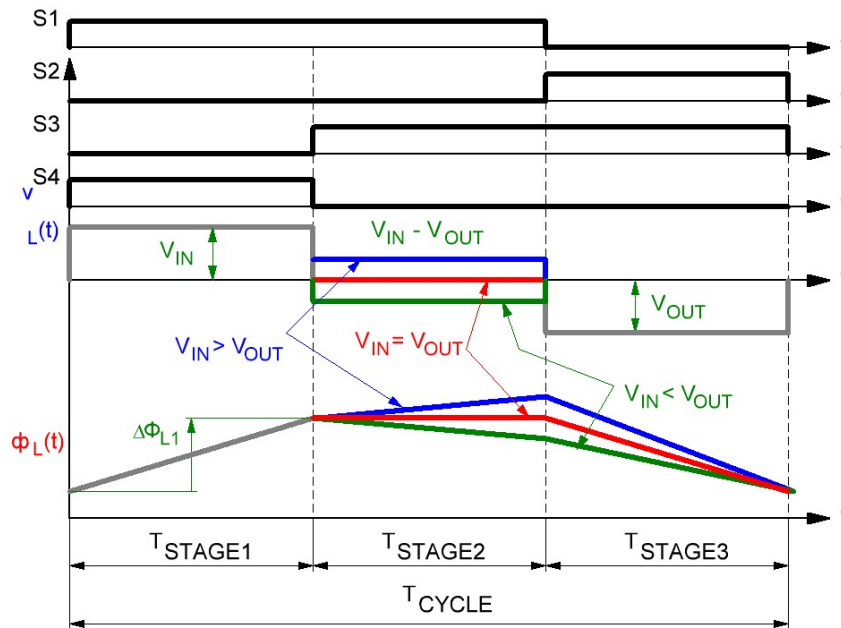


Рисунок 3. Электрические процессы при трехэтапном преобразовании

Изменение магнитного потока Φ в силовом дросселе $L1$ на каждом этапе преобразования определяется законом Фарадея:

$$\Delta\Phi_{Li} = \frac{V_{Li}}{N_{Li}} T_{STAGEi}; \quad (1)$$

где V_{Li} – напряжение, приложенное к обмотке дросселя $L1$ с числом витков N_{Li} ; T_{STAGEi} – длительность этапа преобразования; i – номер этапа преобразования.

Формула (1) получена из условия, что напряжение V_{Li} на протяжении времени T_{STAGEi} является постоянным. В действительности, на протяжении этого интервала оно меняется практически всегда, однако при анализе электрических процессов в импульсных преобразователях электрической энергии этим изменением обычно пренебрегают.

В квазиустановившемся режиме электрические, магнитные и энергетические процессы в каждом цикле преобразования можно считать одинаковыми. Это значит, что общее изменение магнитного потока в течение каждого цикла преобразования должно быть равно нулю:

$$\sum_{i=1}^{N_{STAGE}} \Delta\Phi_{Li} = 0; \quad (2)$$

где $N_{STAGE} = 3$ – общее количество этапов преобразования.

Распишем формулу (2) с учетом (1), подставляя вместо V_{Li} входное V_{IN} и выходное V_{OUT} напряжения преобразователя (Рис. 2):