

К.В. Быков, Н.М. Лазарева, В.М. Яров
(г. Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА»,
Чувашский государственный университет)

ТРЕХУРОВНЕВЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ С ПИТАНИЕМ ОТ ТРЕХФАЗНОЙ СЕТИ

THREE-LEVEL TRANSISTOR CONVERTER
POWERED BY A THREE-PHASE NETWORK

Рассматривается трехуровневый транзисторный преобразователь с питанием от трехфазного неуправляемого выпрямителя. Обсуждаются схемы повышающего звена на входе инвертора. Приведены результаты расчета и последующего поверочного моделирования в Simulink Matlab одно- и двухтактного повышающих конверторов. Показано преимущество двухтактного конвертора с удвоением напряжения.

A three-level transistor converter powered by a three-phase uncontrolled rectifier is considered. Step-up circuits at the inverter input are discussed. The results of the calculation and subsequent verification modeling in Simulink Matlab of one- and two-stroke step-up converters are presented. The advantage of a push-pull converter with voltage doubling is shown.

Ключевые слова: трехуровневый транзисторный преобразователь; повышающее звено; квази-z-фильтр; повышающий одноктактный конвертор; двухтактный конвертор с удвоением напряжения; поверочное имитационное моделирование в Simulink.

Keywords: three-level transistor converter; raising link; quasi-z-filter; step-up single-cycle converter; push-pull converter with voltage doubling; verification simulation in Simulink

При питании от трехфазной сети 380 В необходимо применять в инверторе транзисторы с допустимым напряжением $U_{кз}$ не менее 1200 В, а так как с повышением допустимого напряжения увеличивается падение напряжения на силовых ключах и ухудшаются их динамические характеристики, то частотный диапазон работы преобразователя ограничивается. Решить эту проблему можно применением трехуровневых инверторов [1–3], в которых ток протекает через два последовательно включенных транзистора, что позволяет использовать транзисторы на 600 В, не снижая КПД источника питания.

Напряжение питающей сети может изменяться в пределах, превышающих значения, нормируемые ГОСТом. Если возложить решение задачи стабилизации напряжения на инвертор, то его силовой трансформатор необходимо будет рассчитывать на максимальное входное напряжение, а транзисторы выбирать по току, исходя из минимального значения входного

напряжения инвертора. В связи с этим более рационально стабилизировать входное напряжение инвертора, обеспечивая при необходимости возможность его повышения. Повысить и стабилизировать напряжение на входе инвертора можно, применив повышающий преобразователь (рис. 1).

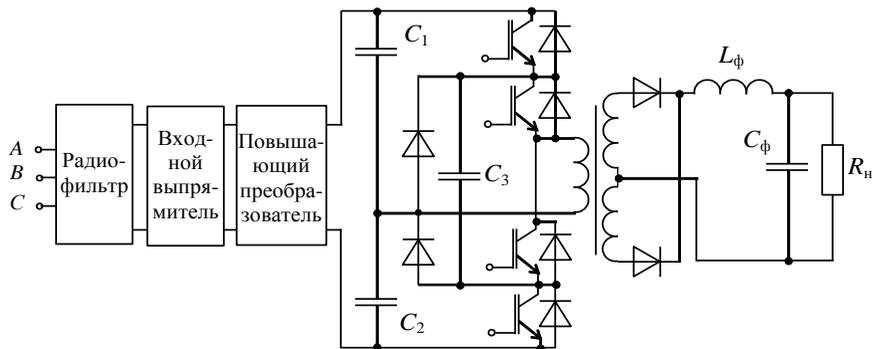


Рис. 1. Преобразователь напряжения с трехуровневым инвертором

В качестве повышающего звена классический z-фильтр нельзя использовать совместно с трехуровневым инвертором, так как на входе последнего установлен емкостной делитель. В [4] для повышения напряжения солнечной батареи применены два квази-z-фильтра (рис. 2, а), но при питании от трехфазного выпрямителя это приводит к большому разбалу напряжений на конденсаторах C_1 и C_2 . По этой причине рациональнее использовать повышающие одно- или двухтактный конверторы (рис. 2, б-в).

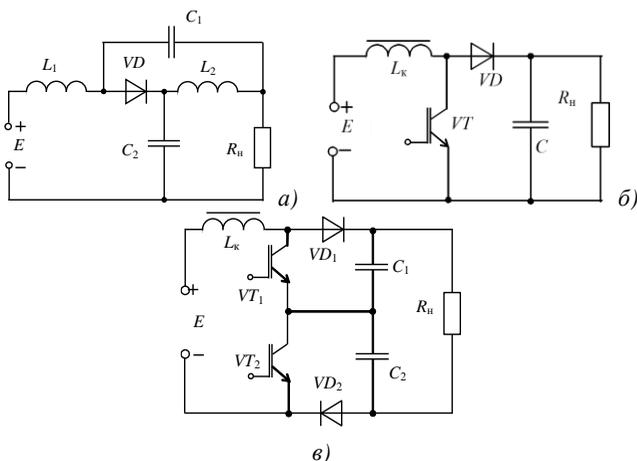


Рис. 2. Повышающие звенья на входе инвертора:
а – квази-z-фильтр; б – одноктактный повышающий конвертор;
в – двухтактный повышающий конвертор

Расчет параметров однотактного повышающего конвертора (рис. 2, б) выполнен в соответствии с [6] для следующих исходных данных: $E_{\text{ном}} = 510 \text{ В}$, $U_{\text{н}} = 700 \text{ В}$, $I_{\text{н ном}} = 14 \text{ А}$, частота переключения транзистора 40 кГц. Для подтверждения достоверности расчетов выполнено поверочное моделирование в Simulink Matlab [8]. Результаты предварительного расчета и имитационного моделирования приведены в таблице 1. Временная диаграмма тока, потребляемого от сети показана на рис. 3, коэффициент гармоник $THD = 33,36 \%$.

Таблица 1. Результаты расчета и имитационного моделирования

Параметры		I_d , А	$I_{\text{к. max}}$, А	$I_{\text{к}}$, А	I_c , А	$U_{\text{н}}$, В	$I_{\text{н}}$, А	γ	$\Delta U_{\text{н}}$, В	$\Delta I_{\text{Лк}}$, В	η , %
Одно- такт- ный	Расчет	21,8	19,95	5,97	15,8	700	14,3	0,274	1	0,5	90
	Модели- рование	20,02	21,5	5,87	14,53	694,1	14,17	0,274	0,297	0,56	96,33
Двух- такт- ный	Расчет	21,8	22,3	2,95	11,6	700	14,3	0,271	1	0,5	90
	Модели- рование	19,91	20,07	5,63	9,12	700	14,29	0,276	0,2	0,5	98,51

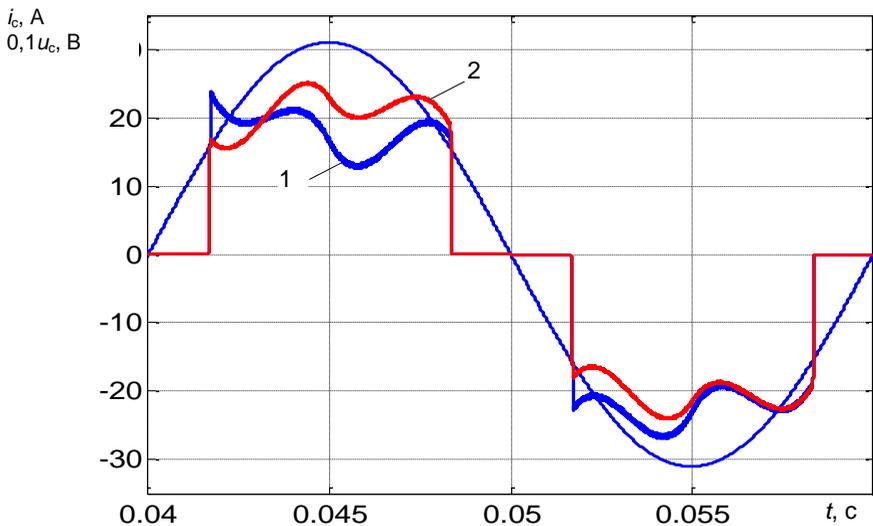


Рис. 3. Временные диаграммы тока, потребляемого от сети:
1 – однотактный конвертор; 2 – двухтактный

При выключении транзистора возникают перенапряжения, для снижения которых необходима установка демпфирующих цепей. Процесс пуска конвертора имеет колебательный характер с большим выбросом напряжения нагрузки в начальной части (рис. 4), следовательно, необходим предварительный заряд выходного конденсатора.

В двухтактном конверторе (рис. 2, в) энергия накапливается в одном из дросселей и поочередно при отпирании соответствующих транзисторов передается в конденсаторы [7]. В зависимости от длительности включенного состояния транзисторов возможны два режима работы конвертора. В первом длительности включенного состояния транзисторов не перекрываются, а во втором происходит перекрытие токов транзисторов. На рис. 3 показана временная диаграмма тока, потребляемого двухтактным конвертором от сети в режиме без перекрытия токов транзисторов, коэффициент гармоник $THD = 30,31\%$, что соответствует европейскому стандарту.

Напряжение на транзисторах равно половине напряжения нагрузки, в то время как в однотактном конверторе оно равно напряжению на нагрузке. Перенапряжения на транзисторах при переключении отсутствуют.

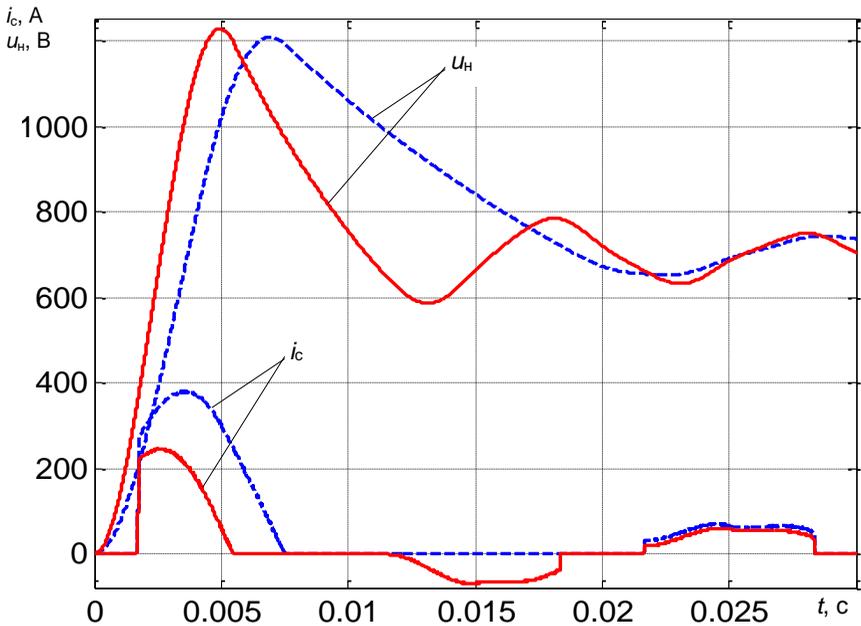


Рис. 4. Временные диаграммы пуска конверторов:
пунктир – однотактный конвертор; сплошные линии – двухтактный

Включение преобразователя также происходит с выбросом тока, потребляемого от сети, и напряжения нагрузки (см рис. 4), поэтому и в этой схеме необходимо предварительно зарядить конденсаторы C_1 и C_2 , но до напряжения $E/2$.

Заключение

Показаны преимущества двухтактного конвертора в качестве повышающего звена на входе трехуровневого инвертора: меньшее напряжение и отсутствие перенапряжений на транзисторах, большой КПД.

Список литературы

1. *Исаков, М.С.* Трехуровневый преобразователь, работающий с переключением при нуле напряжения / М.С. Исаков // Практическая силовая электроника, 2007. – № 26. – С. 15–20.
2. *Soelho K.D., Barbi I.* A three level double ended forward converter. IEEE Power Electronics Specialists Conference. Vol. 3, 2003.
3. *J. Renes Pinheiro and Ivo Barbi.* The Three-Level ZVS PWM Converter-a New Concept in High-Voltage DC-to-DC Conversion. IEEE IECON Record 1992, pp. 173–178.
4. *Husev O., Vinnikov D., Roncero-Clemente C., Romero-Cadaval E., Stepenko S.* Three-Level Neutral-Point-Clamped Quasi-Z-Source Inverter as a New Solution for Renewable Energy Application. International Colloquium Proceeding – IPCDC 2013. SOVEL, 19–23.
5. *Roncero-Clemente C., Stepenko S., Husev O., Miñambres-Marcos V., Romero-Cadaval E., Vinnikov D.* Three-Level Neutral-Point-Clamped Quasi-Z-Source Inverter with Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems. DoCEIS 2013: Technological Innovation for the Internet of Things, pp 334–342.
6. *Китаев, В.Е.* Расчет источников электропитания устройств связи / В.Е. Китаев, А.А. Бокуняев, М.Ф. Колканов. – М.: Радио и связь, 1993. – 232 с.
7. *Мелешин, В.И.* Трехуровневый повышающий преобразователь напряжения / В.И. Мелешин, Д.В. Жикленков, А.А. Ганьшин // Силовая электроника. – 2015. – № 2. – С. 59–66.
8. *Лазарева, Н.М.* Компьютерное моделирование резонансных инверторов / Н.М. Лазарева, В.М. Яров. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. – 498 с.

Материал поступил в редколлегию 14.10.20.