

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

## ТРАНЗИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ С УМЕНЬШЕННЫМ ВЛИЯНИЕМ НА ПИТАЮЩУЮ СЕТЬ

### TRANSISTOR VOLTAGE CONVERTER WITH REDUCED EFFECT ON THE SUPPLY MAINS

*Рассматривается транзисторный преобразователь напряжения. Обсуждаются преимущества использования на входе инвертора z-фильтра по сравнению с классическим LC-фильтром. Приведены осциллограммы токов и напряжений, полученные имитационным моделированием режимов работы преобразователя в Simulink Matlab.*

*A transistor voltage converter is considered. The advantages of using a z-filter at the input of the inverter over the classic LC filter are discussed. Oscillograms of currents and voltages obtained by imitating the operating modes of the converter in Simulink Matlab are presented.*

*Ключевые слова: транзисторный преобразователь напряжения; z-фильтр; LC-фильтр; имитационное моделирование в Simulink.*

*Keywords: transistor voltage converter; z-filter; LC-filter; simulation modeling in Simulink.*

В системе распределенного электропитания основной преобразователь преобразует напряжение сети до уровня напряжения на промежуточной шине. В каждом функциональном узле имеется один или несколько DC/DC преобразователей, подключенных к промежуточной шине и обеспечивающих напряжения и токи, необходимые для каждой нагрузки.

Выходной трансформатор основного преобразователя и транзисторы должны быть рассчитаны на минимальное напряжение питающей сети, что увеличивает массу и габариты преобразователя. При провале напряжения сети из-за влияния параллельно включенных потребителей необходимо предпринять меры по обеспечению надежности работы, например, подключением резервного электропитания, вольтдобавочных устройств или в самом источнике следует предусмотреть возможность повышения входного напряжения.

Обеспечение стабилизации напряжения питания может быть реализовано инвертором с измененной структурой звена постоянного тока (рис. 1) [1–3]. При номинальном или повышенном значении входного напряжения инвертор управляется по традиционному методу широтно-импульсного (ШИМ) или фазоимпульсного (ФИМ) управления. При провале входного напряжения или уменьшении его ниже значения, допускаемого ГОСТом, все транзисторы инвертора включаются на заданном интервале времени, что равносильно

короткому замыканию (шунтированию) источника питания. В дросселях  $z$ -фильтра запасается энергия, которая затем передается в инвертор, повышая его входное напряжение.

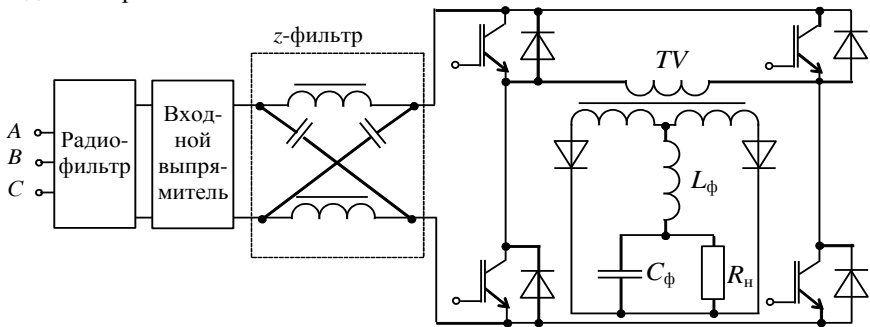


Рис. 1. Источник питания с  $z$ -фильтром

Процессы в преобразователях с  $z$ -фильтром исследованы, например, в [1–4]. Основной акцент в подобных работах делается на расчете параметров  $z$ -фильтра и изучении режимов работы преобразователя, а влиянию источника на питающую сеть уделяется меньшее внимание. В данной публикации продолжено исследование влияния  $z$ -фильтра на сеть, начатое в [5]. Для напряжения сети 380 В и входного напряжения инвертора 510 В на основе рекомендаций [2] были определены параметры  $z$ -фильтра  $L = 760$  мкГн,  $C = 15$  мкФ и выполнено имитационное моделирование работы мостового инвертора с питанием от трехфазной сети в Simulink Matlab [6]. Для сравнения степени влияния  $z$ -инвертора на питающую его сеть выполнено моделирование преобразователя с  $LC$ -фильтром, параметры которого аналогичны параметрам  $z$ -фильтра.

Временные диаграммы тока, потребляемого от сети в установившемся режиме работы источника, для двух видов фильтров представлены на рис. 2.

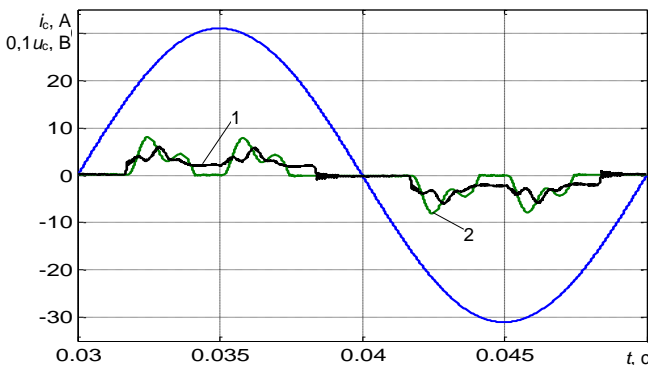


Рис. 2. Временные диаграммы тока и напряжения сети в установившемся режиме работы источника: 1 – с  $z$ -фильтром; 2 – с классическим  $LC$ -фильтром

Коэффициент гармоник  $THD$  для варианта с  $z$ -фильтром без режима короткого замыкания 47,2 %, а при использовании  $LC$ -фильтра – 91,19 %. Изменение тока, потребляемого из сети, при включении преобразователя с различными видами фильтров показано на рис. 3. Для  $z$ -инвертора в переходном режиме бросок сетевого тока достигает 18,85 А, в то время как для инвертора с  $LC$ -фильтром максимальное значение тока сети более 31 А. Для получения коэффициента гармоник, соизмеримого с таковым при использовании  $z$ -фильтра, параметры  $LC$ -фильтра необходимо увеличить до значений  $L = 9000$  мкГн,  $C = 300$  мкФ. При этом  $THD = 52,9$  %, а бросок сетевого тока при включении преобразователя превышает 92 А.

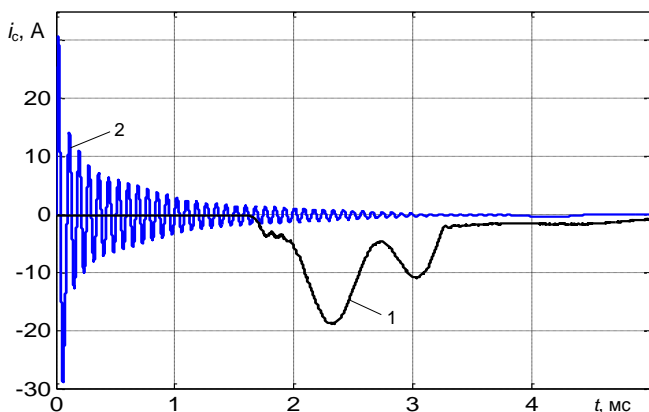


Рис. 3. Временные диаграммы тока сети при пуске преобразователя:  
1 – с  $z$ -фильтром; 2 – с классическим  $LC$ -фильтром

В преобразователе с  $z$ -фильтром при снижении напряжения сети до 300 В и переходе  $z$ -фильтра на режим короткого замыкания напряжение на входе инвертора увеличилось до требуемого значения, а коэффициент гармоник  $THD$  снизился и стал равным 33,7 %. Подобная компенсация провала напряжения сети невозможна при использовании классического  $LC$ -фильтра.

При включении источника питания наблюдаются не только броски сетевого тока, но и броски напряжения на входе инвертора, которые могут вывести из строя транзисторы инвертора. На рис. 4 приведены временные диаграммы изменения напряжения на входе инвертора при пуске источника, из которых видно, что амплитуда напряжения при включении инвертора с классическим  $LC$ -фильтром на много больше, чем в случае  $z$ -фильтра как без использования режима короткого замыкания, так и с ним. Как следствие при установке в преобразователь  $LC$ -фильтра обязательно выполняют предварительный заряд конденсатора фильтра.

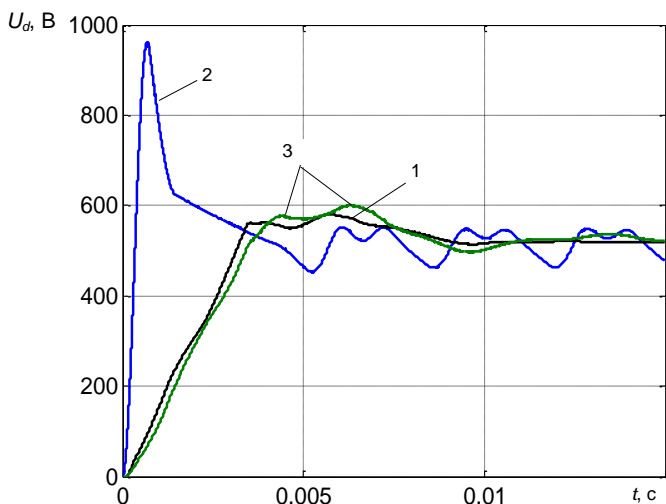


Рис. 4. Переходные процессы напряжения на входе инвертора:  
 1 – с z-фильтром; 2 – с классическим LC-фильтром;  
 3 – с z-фильтром в режиме короткого замыкания

Сравнение результатов исследований показывает достоинство z-фильтра по сравнению с классическим LC-фильтром.

#### Список литературы

1. Fang Zheng Peng, Senior Member. Z-Source Inverter. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 39, № 2. 2003.
2. Husev Oleksandr. Three-Level Neutral-Point Clamped Quasi-Z-Source Inverter as a New Solution for Renewable Energy Application / O. Husev, D. Vinnikov, C. Roncero-Clemente and all.
3. Zakis Janis. Design Guidelines of New Step-up DC/DC Converter for Fuel Cell Powered Distributed Generation Systems / Zakis Janis, Dmitri Vinnikov, Indrek Roasto, Ryszard Strzelecki // 8<sup>th</sup> International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering», Pärnu, Estonia, January 11-16, 2010.
4. Быков, К.В. Преобразователь постоянного напряжения в переменное с z-фильтром на входе / К.В. Быков, Н.М. Лазарева, А.В. Лях, В.М. Яров // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы 13-й Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары, изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – С. 161–164.
5. Быков, К.В. Источник питания с входным z-фильтром / К.В. Быков, Н.М. Лазарева, Д.Г. Малышев, Ю.В. Павлов, В.М. Яров // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы 11-й Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары, изд-во Чуваш. ун-та, 2018. – С. 380–383.
6. 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.