

## Силовая электроника

УДК 621.314

### Системы электропитания для энергоемких технологий

**В.В.Мартынов**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **Ю.В. Руденко**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **Т.В. Руденко**<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Институт электродинамики Национальной Академии Наук Украины,

пр. Победы 56, г. Киев, 03057, Украина.

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

ул. Политехническая, 16, корпус 12, г. Киев, 03056, Украина.

В работе рассмотрены особенности построения систем электропитания мощного электротехнологического оборудования. Предложены две структуры систем электропитания. Первая структура - на основе многофазного инвертора. Такая система питания обеспечивает стабилизацию выходного напряжения с помощью широтно-импульсной модуляции, обеспечивает пониженный уровень пульсаций выходного напряжения. Вторая структура – на основе многосекционного источника с параллельным по выходу объединением секций. В ней функции стабилизации и регулирования выходного напряжения выполняют выходные секции источника, подключаемые в контур нагрузки в соответствии с заданным алгоритмом.

Основное преимущество таких источников состоит в том, что преобразуемая ими энергия распределяется равномерно между каналами преобразования источника. Это дает возможность обеспечить высокие уровни преобразуемой энергии при использовании узлов с относительно малым уровнем мощности. Библ. 2, рис. 3.

**Ключевые слова:** высокочастотные системы питания, электронно-лучевое, ионно-плазменное технологическое оборудование.

#### Введение

Полупроводниковые преобразователи с высокой частотой импульсной модуляции находят широкое применение в силовой электронике и системах электропитания. Это связано с такими преимуществами этих устройств, как повышенная частота преобразования параметров электроэнергии, высокое быстродействие, малые габариты. Тем не менее, в то время как устройства с мощностью 10-20 кВт освоены промышленностью, создание преобразователей с мощностью выше 100 кВт является трудной задачей. Особенно это относится к преобразовате-

лям для питания энергоемких современных технологий. Широкое использование современных электротехнологий требует использования специализированных источников питания. К таким технологиям относятся электронно-лучевые, ионно-плазменные, электродуговые и другие виды технологий. Наряду с обычными требованиями по регулированию и стабилизации выходного напряжения и тока, специализированные источники питания имеют специфические требования, которые отображают свойства электротехнологий. Для одних видов технологий – это обеспечение работоспособности оборудования при дугообразовании в технологической нагрузке. Для других видов – обеспечение стабильности горения дуги, улучшение динамических характеристик процесса. Необходимым условием создания эффективных систем питания для современных электротехнологий является совершенствование принципов построения мощных полупроводниковых преобразователей. Это включает в себя использование новых структур преобразователей, создание эффективных систем управления с использованием микропроцессорных средств.

#### Структуры мощных систем электропитания

В [1,2] приведены основные результаты исследований и разработок систем электропитания для различного применения. Среди них – системы электропитания для электронно-лучевых пушек с холодным катодом, источники смещения и источники для генераторов плазмы для rvd-технологии мощностью до 20 кВт. Однако, в связи с все более широким освоением в промышленности энергоемкого электротехнологического оборудования появляется необходимость создания мощных систем электропитания. В данной работе предлагается концепция построения систем электропитания мощностью свыше 100 кВт на основе многомодульных структур.

Функциональные схемы предлагаемых многомодульных источников питания показаны на (рис.1,2). Основное преимущество таких источников состоит в том, что преобразуемая ими энергия распределяется равномерно между каналами преобразования источника. Это дает возможность обеспечить высокие уровни преобразуемой энергии при использовании узлов с относительно малым уровнем мощности.

Структура на основе многофазного инвертора (рис. 1.) обеспечивает стабилизацию выходного напряжения с помощью широтно-импульсной модуляции, обеспечивает пониженный уровень пульсаций выходного напряжения. Чем больше число фаз инвертора, тем меньше уровень пульсаций выходного напряжения.

Структура секционированного источника питания показана на рис.2. В нем функции стабилизации и регулирования выходного напряжения выполняют токоограничивающие секции. Источник может работать как в частично неуправляемом режиме, так и в полностью управляемом режиме. В первом варианте токоограничивающие секции постоянно открыты и закрываются в моменты дугообразования в нагрузке. В таком случае поддерживается стабильность выходного напряжения с точностью, равной напряжению на одной секции. Во втором варианте секции могут быть полностью автономными и обеспечивать заданный уровень стабилизации выходного напряжения.

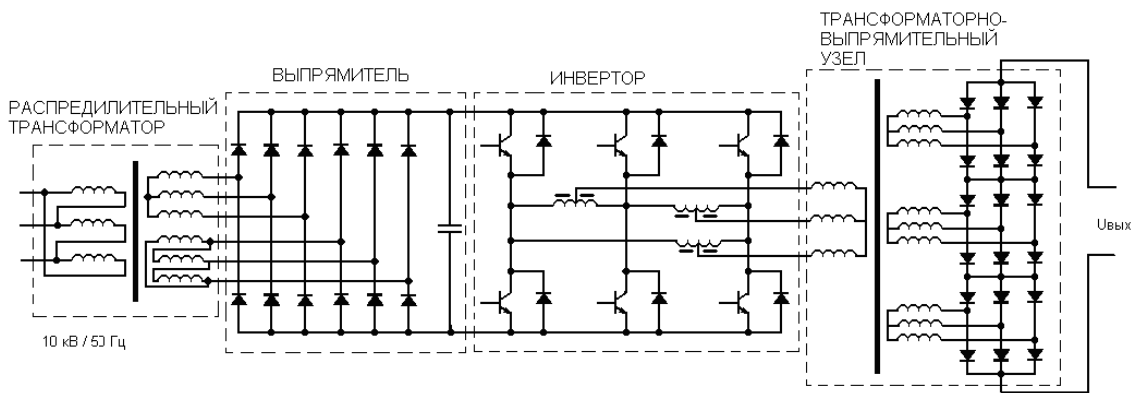


Рис. 1. Функциональная схема многофазного инвертора

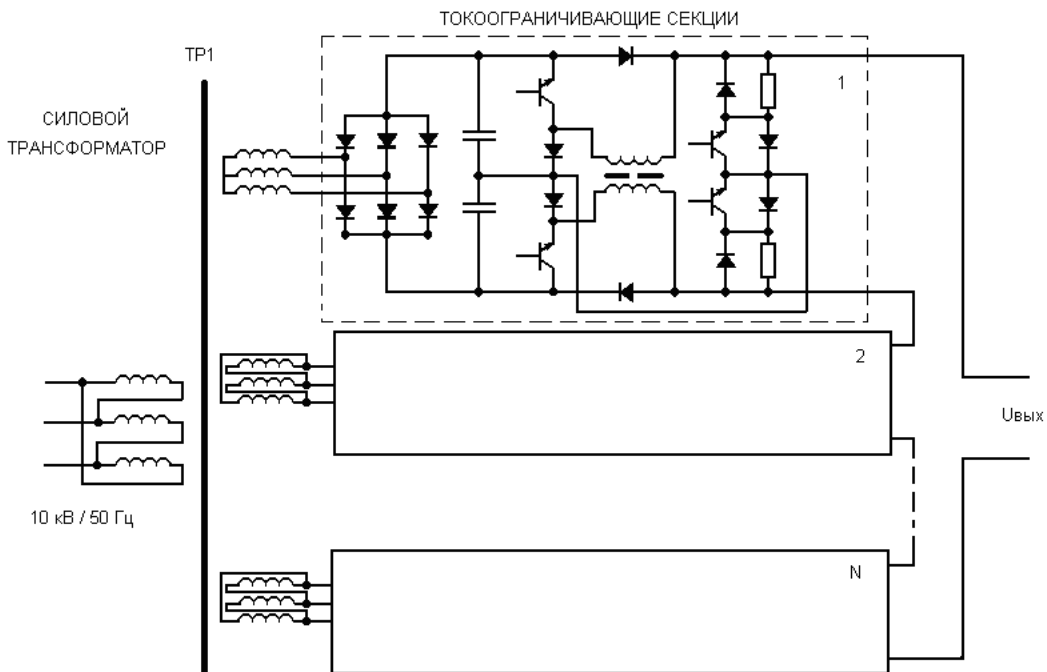


Рис. 2. Функциональная схема секционированного источника питания

Одним из критериев, по которому можно судить об эффективности мощных систем электропитания и, в частности, предложенных структур, является фактор влияния на питающую сеть. Для уменьшения искажений питающей сети часто используют специализированные устройства коррекции мощности. Также известным способом уменьшения искажений питающей сети является использование 12-пульсного способа выпрямления питающего напряжения. Данный способ выпрямления питающего напряжения использован и в предложенных структурах источников питания. В связи с этим интерес представляет сравнение гармонического состава входного тока при равенстве выходной мощности в данных схемах источников. В предложенной схеме многофазного источника (рис. 1.) входной выпрямитель представляет собой параллельное соединение ячеек выпрямителя, подключенных к обмоткам, соединенным в звезду и треугольник. В секционированном источнике (рис. 2.) эквивалентная схема выпрямителя входного тока представляет собой последовательное соединение выпрямительных ячеек, в которой половина ячеек подключена к обмоткам трансформатора, соединенным в звезду, а вторая половина – к обмоткам, соединенным в треугольник. Таким образом, задача состоит в том, чтобы сравнить гармонический состав потребляемого тока при последовательном и параллельном включении выпрямительных ячеек. Для этой цели были проведены расчеты электромагнитных процессов с помощью пакета моделирования OrCad на примере двух последовательно и параллельно включенных выпрямительных ячеек с учетом продольных паразитных параметров силового трансформатора: индуктивностей рассеяния и активных потерь обмоток. Расчеты проведены для значения напряжения короткого замыкания трансформатора  $U_{кз} = 2\%$ , действующего значения входного фазного напряжения 1250 В.

На рис. 3 приведены зависимости изменения коэффициента гармоник потребляемого тока от величины тока нагрузки для соответствующих схем без учета выходного конденсатора: при параллельном соединении ячеек – кривая 1, при последовательном соединении – кривая 2. Результат анализа показывает, что отличие коэффициента гармоник потребляемого тока в данных схемах невелико, например, при токе нагрузки 9А отличие составляет величину порядка 20%.

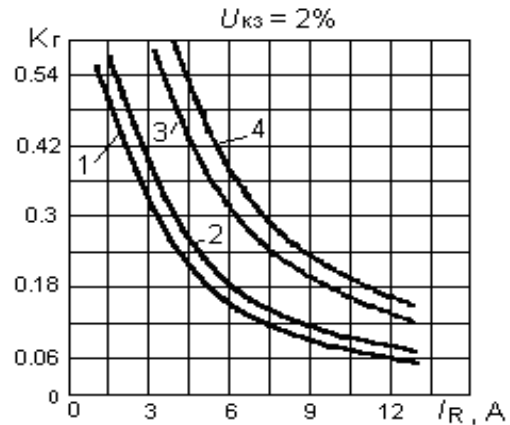


Рис. 3. Зависимости изменения коэффициента гармоник потребляемого тока от величины тока нагрузки

Проанализирован также гармонический состав потребляемого тока силового трансформатора для двух рассматриваемых вариантов соединения выпрямительных ячеек на вторичной стороне в случае использования выходных конденсаторов на выходах выпрямителей. Характерной особенностью процессов в этом случае является равенство интервалов проводимости диодов выпрямителей в двух схемах включения: выпрямительные ячейки работают поочередно, с одинаковой последовательностью и углами отсечки диодов. Это связано с тем, что наличие выходных конденсаторов на выходе выпрямителей при последовательном включении ячеек обеспечивает такие же контуры протекания токов диодов выпрямителей  $I_D$ , что и при параллельном включении ячеек:  $I_D = I_C + I_R$  ( $I_C$  – ток конденсатора,  $I_R$  – ток нагрузки). В результате расчетов при одинаковых пульсациях выходного напряжения  $U_n = 9$  В (величина пульсации задавалась соответствующим значением емкости конденсатора на выходе выпрямителей), одинаковых средних значений суммарных выходных напряжений определено следующее. Коэффициент гармоник входного тока в схеме с параллельными ячейками имеет также меньшие значения, чем при последовательном включении (рис.3, кривые 3,4 соответственно). Например, при токе нагрузки 9А разница значений коэффициентов гармоник составляет 17%. В обоих рассмотренных случаях близкий по абсолютным значениям гармонический состав потребляемого тока в данных схемах

включення зберігається завдяки забезпеченню рівності внутрішніх продольних паразитних параметрів силового трансформатора. Незважаючи на те, що коефіцієнти трансформації в трансформаторі з паралельними ячеекми в два рази більше, ніж в разі послідовних ячеек, сумарна величина внутрішніх паразитних параметрів залишається незмінною, т.к. коефіцієнти трансформації впливають тільки на перерозподіл величин продольних паразитних параметрів між первичною і вторичною стороною трансформатора.

Таким чином, забезпечення однакових зовнішніх параметрів випрямительних ячеек (токи, напруги і їх пульсації) і внутрішніх параметрів силового трансформатора (з вторичними обмотками якого працюють ячейки) дозволяє досягти близьких значень коефіцієнта гармонік входних токів в аналізованих пристроях.

#### Висновки

Використання паралельного або послідовного з'єднання випрямительних ячеек в запропонованих джерелах електроживлення з урахуванням однакових продольних паразитних параметрів трансформаторів не викликає

суттєвого розриву в гармонічному складі споживаного струму, відхилення коефіцієнта гармонік не перевищує 20%. Це свідчить про те, що вплив на вхідну мережу запропонованих джерел однаково і відповідає практично синусоїдальному входному струму як результату дванадцятипульсного випрямлення.

#### Література

1. Липківський К.О., Мартинов В.В., Руденко Ю.В., Халіков В.А., Лебедєв Б.Б., Можаровський А.Г. Дослідження та розробка напівпровідниково-трансформаторних перетворювачів для живлення електротехнологічного обладнання // Праці Інституту електродинаміки НАНУ: зб. наук. праць. – Київ: ІЕД НАНУ, 2009. – Вип. 23. – С.72 – 82.
2. Мартинов В.В., Руденко Ю.В., Монжеран Ю.П. Дослідження взаємодії силових транзисторних перетворювачів з дуговими, плазмовими та променевими технологічними навантаженнями // Праці Інституту електродинаміки НАНУ: зб. наук. праць. – Київ: ІЕД НАНУ, 2010. – Вип.25. – С.- 145 – 159.

УДК 621.314

## Системи електроживлення для енергоємних технологій

**В.В.Мартинов**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **Ю.В. Руденко**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, **Т.В. Руденко**<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Інститут електродинаміки Національної Академії Наук України, пр. Перемоги 56, м. Київ, 03057, Україна.

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м. Київ, 03056, Україна.

В роботі розглянуті особливості побудови систем електроживлення потужного електротехнологічного обладнання. Запропоновано дві структури систем електроживлення. Перша структура - на основі багатозонного інвертора. Така система живлення забезпечує стабілізацію вихідної напруги за допомогою широтно-імпульсної модуляції, забезпечує знизений рівень пульсацій вихідної напруги. Друга структура - на основі багатосекційного джерела з паралельним щодо виходу об'єднанням секцій. У ній функції стабілізації і регулювання вихідної напруги виконують вихідні секції джерела, що підключаються в контур навантаження відповідно до заданого алгоритму.

Основна перевага таких джерел полягає в тому, що енергія, що ними перетворюється, розподіляється рівномірно між каналами перетворення джерела. Це дає можливість забезпечити високі рівні енергії, що перетворюється, при використанні вузлів з відносно малим рівнем потужності. Бібл. 2, рис. 3.

**Ключові слова:** високочастотні системи живлення, електронно-променеве, іонно-плазмові технологічне обладнання.

## Power supply systems for energy technology

V.V. Martynov<sup>1</sup>, Ph. D., Yu.V. Rudenko<sup>1</sup>, Ph. D., T.V Rudenko<sup>2</sup>, Ph. D.

<sup>1</sup>Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Pr. Peremogy 56, Kiev, 03057, Ukraine.

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",  
Str. Polytechnique, 16, a house 12, Kiev, 03056, Ukraine.

The paper considers the design of features of a powerful electro technology power systems equipment. Proposed two structures of power. The first structure based on multi-phase inverter. This power system provides stabilization of the output voltage with pulse width modulation, provides low ripple output voltage. The second structure based on the basis of multiple-source with parallel to exit union of sections. In this structure, functions of stability and control of output voltage perform power supply output sections connected to the load circuit in accordance with a predetermined algorithm.

The main advantage of these sources is that the converted energy is distributed evenly between the channels of power conversion. This makes it possible to achieve high levels of converted energy by using nodes with relatively low power levels. Bibliography 2, Fig. 3.

**Keywords:** *high power systems, electron beam, ion-plasma processing equipment.*

### References

1. *Lypkivskiy, E.A., Martynov, V.V., Rudenko, Yu.V., Khalikov, V.A., Lebedev, B.B., Mozharovsky, A.G.* (2009), "Research and development of semiconductor-transformer converters for power supply electro equipment", Proceedings of the National Academy of Sciences Institute of Electrodynamics, Collection of Scientific Works, Kyiv, IED National Academy of Sciences, Vol. 23, PP.72 - 82.
2. *Martynov, V.V., Rudenko, Yu.V., Monzheran, Yu.P.* (2010), "Investigation of the interaction of the power transistor converters with arc, plasma and radiation technological load", Proceedings of the National Academy of Sciences Institute of Electrodynamics, Collection of Scientific Works, Kyiv, IED National Academy of Sciences, Vol. 25, PP. 145 - 159.