

Новые схемы термостойких, высоконадежных сетевых электронных балластов

и регулируемых вторичных источников тока для газоразрядных и зарядно-накопительных устройств

Предложены две новые схемы термостойких, высоконадежных сетевых электронных балластов (СЭБ) и вторичных источников тока (ВИТ) для питания широкого класса газоразрядных, зарядно-накопительных, нагревательных и других устройств.

Схемы также пригодны для использования в качестве однофазных и трехфазных выпрямительных устройств с промежуточным трансформаторным звеном высокой частоты и могут входить в состав обратимых трансформаторных импульсных конвертеров с широким диапазоном регулирования выходного напряжения.

**Станислав Резников,
д. т. н.**

**Владимир Бочаров,
к. т. н.**

**Александр Корнилов,
к. т. н.**

Андрей Лавринович

Для питания от однофазной сети переменного тока относительно мощных (более 100 Вт) газоразрядных устройств (светильников наружного применения с лампами высокого давления, сварочных аппаратов, плазмотронов ионно-плазменных двигателей и систем зажигания, полупроводниковых светодиодных и лазерных устройств), а также для зарядно-накопительных устройств (аккумуляторных батарей и генераторов импульсных токов с емкостным накопителем для точно-импульсной сварки, импульсных лазеров, антиобледенительных вибраторов и др.) вместо ранее применяемых нерегулируемых реакторных или трансреакторных ограничителей тока (электромагнитных балластов) все большее применение находят так называемые сетевые электронные балласты, относящиеся к более широкому классу регулируемых вторичных источников тока. Как правило, СЭБ или ВИТ представляют собой однонаправленный (необратимый) двухкаскадный выпрямительно-инверторный преобразователь (ВИП) с входным импульсным корректором коэффициента мощности (ККМ) для обеспечения ЭМС, сохранения качества электроэнергии и снижения тепловых потерь в питающей сети, с промежуточным емкостным или индуктивно-емкостным накопителем для сглаживания низкочастотных пульсаций выпрямленного напряжения и выходным инвертором прямоугольного напряжения или тока высокой частоты (более 15–20 кГц), исключающим акустические воздействия и позволяющим снизить массу и габариты трансформаторов и дросселей.

Напряжения перезажигания газоразрядных промежутков существенно изменяются в процессе работы устройств в зависимости от давления, температуры и физико-химического состава газа, что часто приводит к прекращению перезажигания (например, погасанию старых газоразрядных ламп высокого давления при их разогреве на время их остывания, неустойчивости сварочной дуги, погасанию плазмотронов и т. п.). Существенно этому способствуют низкочастотные пульсации выпрямленного сетевого напряжения, способные также приводить к миганиям (мерцаниям) светодиодных и люминесцентных светильников, сложности стабилизации предзарядного напряжения емкостного накопителя в генераторах импульсных токов (ГИТ) и другим нежелательным явлениям. Указанные обстоятельства вынуждают устанавливать в известных схемах СЭБ и ВИТ в качестве промежуточных накопителей энергоемкие электролитические конденсаторы с низкими показателями надежности по термостойкости, безотказности, сроку службы и практической неработоспособности при низких температурах окружающей среды.

В [1–3] авторами предложены и исследованы схемотехнические решения, обеспечивающие термостойкость и ЭМС СЭБ и ВИТ. Эти решения основаны на применении индуктивных (реакторных и трансреакторных) накопителей и сглаживающих фильтров (демодуляторов), позволяющих исключить энергоемкие емкостные накопители и фильтры с электролитическими конденсаторами. Однако в указанных работах недостаточно освещены некоторые проблемы, существенно затрудняющие реали-

зацию термостойких электронных балластов, в частности следующие:

- обеспечение высокочастотно-трансформаторной гальванической развязки и согласования напряжений входных и выходных цепей (с учетом защиты от насыщения трансформатора и от коммутационных перенапряжений на транзисторных ключах);
- обеспечение статической устойчивости замкнутой системы регулирования выходных параметров устройства и потягосцепления его индуктивного накопителя (реактора или трансреактора);
- обеспечение обратимости (двунаправленности) потока мгновенной электромагнитной мощности выходной цепи с учетом смешанного активно-реактивного характера нагрузки и наличия корректора потребляемой из сети мощности.

Первая проблема возникает из-за неустрашимых индуктивностей рассеяния трансформатора, требующих установки снабберных конденсаторов для поглощения их энергии при размыкании тока и части энергии реактора при его подключении к первичной (через коммутатор) или вторичной (через выпрямитель) обмоткам трансформатора, а также в силу необходимости специального симметрирования разнополярных вольт-секундных параметров (интегралов) подводимого к трансформатору напряжения во избежание его насыщения и появления импульсных сверхтоков.

Вторая проблема общеизвестна и характерна для любых простейших (одноключевых) широко-импульсных модуляторов с непрерывным потягосцеплением реактора: понижающего, повышающего (бустерного) и полярно-инвертирующего (обратноходового). Она также связана с необходимостью симметрирования разнополярных вольт-секундных параметров (интегралов) питания реактора, которое достигается введением резистивного компенсатора, а чаще — динамическим регулированием с отрицательной обратной связью путем сравнения выходного параметра с эталонным. Можно попутно заметить, что при частотно-импульсном регулировании (с постоянной порцией энергии индуктивного дозатора) обеспечивается статическая устойчивость при всех допустимых уровнях среднециклических мощностей. Но при этом потягосцепление реактора (трансреактора) является прерывистым, что снижает КПД и не позволяет использовать его в качестве накопителя (демодулятора).

Третья проблема вызвана сложностью организации цепи для протекания реактивных токов нагрузки через питающую сеть, минуя накопительный реактор и входной ККМ. Обратного выпрямительного моста, обычно применяемого в инверторах напряжения, для этого оказывается недостаточно.

Для решения вышеуказанных проблем авторами предлагаются две новые взаимальтернативные схемы термостойких и высоконадежных СЭБ (ВИТ), представленные на рис. 1 и 2. Обе схемы содержат в своем составе: промежуточные выводы 1–2 постоянного напряжения, зашунтированные фильтровым конденсатором 3 (плечным

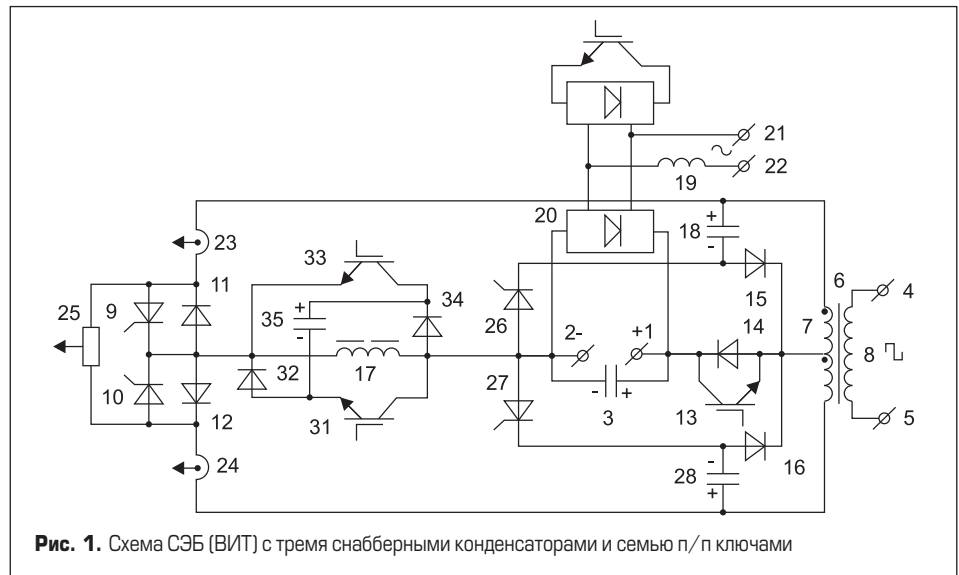


Рис. 1. Схема СЭБ (ВИТ) с тремя снабберными конденсаторами и семью п/п ключами

или керамическим); выходные выводы 4–5 для питания нагрузки высокочастотным прямоугольным переменным током (типа «меандр»); выходной трансформатор 6 с первичной обмоткой 7, имеющей средний вывод, и вторичной обмоткой 8; двухключевую модуляторную стойку 9–10 с обратными диодами (11, 12 на рис. 1 и встроенными на рис. 2), управляющую двухвентильную стойку (26–27 на рис. 1 и 13–14 на рис. 2); модуляторный ключ (13 на рис. 1 и 17 на рис. 2), реактор (17 на рис. 1 и 22 на рис. 2) с шунтирующими ключами (параллельная пара ключей 31–33 «косого» моста на рис. 1 и ключ 23 на рис. 2); снабберные конденсаторы (18, 28 и 35 на рис. 1 и 12 на рис. 2); выводы сетевого питания (21, 22 на рис. 1 и 25, 26 на рис. 2); входной выпрямитель 20 с предвключенным балластным дросселем 19; вспомогательные диоды (15, 16, 32, 34 на рис. 1 и 16, 24 на рис. 2) и датчики выходных токов и напряжений (23, 24, 25

на рис. 1). Помимо перечисленных элементов, вторая схема имеет модуляторный дроссель 18 в составе импульсного регулятора 15.

Первая схема (рис. 1) содержит три отдельных снабберных конденсатора 18, 28 и 35 и семь полупроводниковых ключей, а вторая (рис. 2) — один общий снабберный конденсатор 12 и шесть полупроводниковых ключей. Работа схем описана в приложении к статье на сайте: http://power-e.ru/files/pe_6_13_appendix_ballasts.rar.

В той и другой схеме трансформатор 6 получает питание от инвертора тока через реактор и поэтому не требует специальных антинасыщающих симметрирующих устройств.

В обеих схемах используется так называемое «дуальное» управление по двум параметрам регулирования: $\gamma_{и}$ и $\gamma_{п}$ (относительным длительностям положительного импульса и нулевой паузы знакопеременного прямоугольно-импульсного напряжения, подводимого к выводам реактора

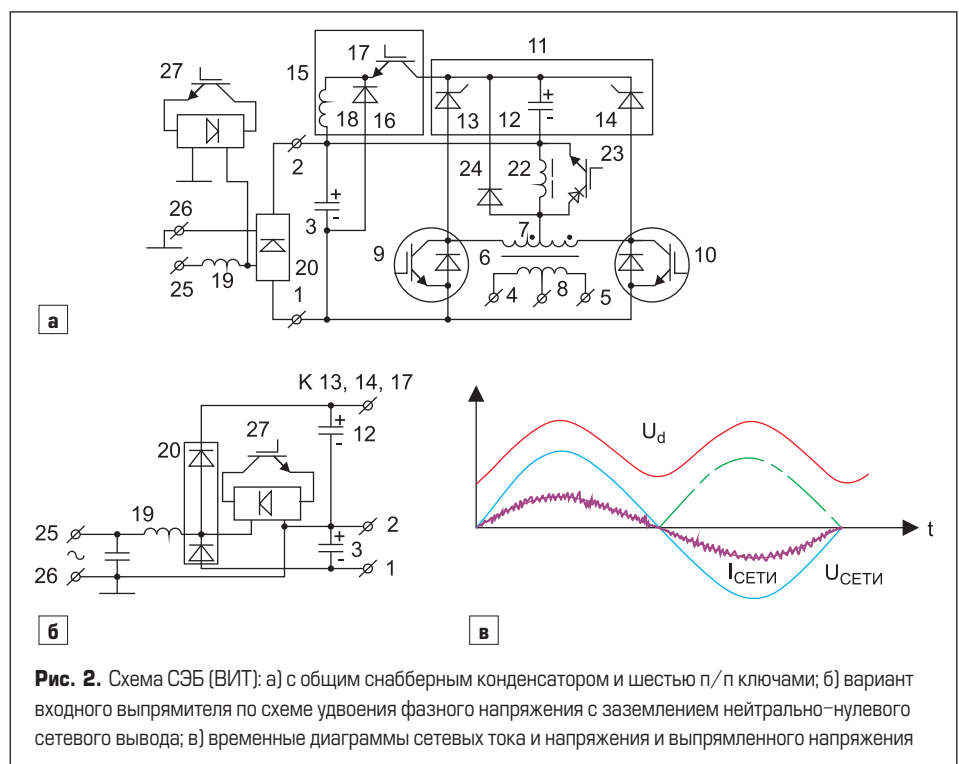


Рис. 2. Схема СЭБ (ВИТ): а) с общим снабберным конденсатором и шестью п/п ключами; б) вариант входного выпрямителя по схеме удвоения фазного напряжения с заземлением нейтрально-нулевого сетевого вывода; в) временные диаграммы сетевого тока и напряжения и выпрямленного напряжения

и шунтируемого накоротко в нулевых паузах). Благодаря этому обеспечивается статическая устойчивость следящей системы регулирования в широких пределах возмущающих воздействий и отклонений регулируемых параметров: среднециклических значений выходного тока и потокосцепления реактора, выполняющего функцию сглаживающего накопительного фильтра и позволяющего исключить электролитические конденсаторы с низкими показателями термостойкости и надежности.

Сравнительный анализ предложенных схем показал их приблизительную равнозначность и самостоятельную значимость применительно к конкретным техническим заданиям. Однако во многих случаях предпочтение следует отдать второй схеме в связи со следующими ее относительными достоинствами:

- наличие канала непосредственного регулирования (коррекции или стабилизации) напряжения на общем снабберном конденсаторе, гарантирующее исключение коммутационных перенапряжений на транзисторах;
- простота использования схемы в качестве отдельного фазного модуля при питании от трехфазной сети с общим заземлением нагрузки и нейтрально-нулевого сетевого вывода (рис. 2б).

К общим достоинствам обеих схем СЭБ (ВИТ) относятся:

- наличие трансформаторной гальванической развязки и согласования напряжений питающей сети и нагрузки;
- наличие корректора коэффициента мощности (ККМ);

- исключение электролитических конденсаторов;
- способность регулирования и стабилизации тока нагрузки со стабилизовольтной зоной в вольт-амперной характеристике;
- отсутствие устройств антинасыщающего симметрирования трансформатора;
- использование нерассеивающих ограничительно-демпфирующих цепей со снабберными конденсаторами, повышающих надежность и КПД;
- двунаправленность (обратимость) преобразования электроэнергии инверторного блока, позволяющая: а) подключать нагрузки смешанного активно-реактивного характера; б) добавлять к выходной обмотке трансформатора зеркально-дублирующий инверторный блок для синтеза обратимого трансформаторного импульсного конвертера (ОТИК) (рис. 3);
- способность работать в понижающем и повышающем режиме в широком диапазоне соотношений входного и выходного напряжений;
- статическая устойчивость следящей системы регулирования выходных параметров и потокосцепления (промежуточной энергии) реактора благодаря дуальному управлению (с помощью изменения величин относительных длительностей импульса и паузы γ_n и γ_{n1}). К дополнительным индивидуальным достоинствам второй схемы относятся вышеупомянутые;
- гарантированное исключение коммутационных перенапряжений на транзисторах

благодаря регулированию (стабилизации) напряжения на снабберном конденсаторе (повышенная надежность при минимизации внутренней реактивной мощности, а следовательно, улучшенных массогабаритных и энергетических характеристиках элементов);

- простота реализации трехфазного модульного исполнения, а также масштабируемой (параллельнонаращиваемой) модульной архитектуры.

На рис. 3 продемонстрированы возможности построения (на базе рассмотренных схем) многофункциональных импульсных преобразователей с промежуточным звеном высокой частоты. Такой преобразователь может выполнять функции обратимых выпрямителей, инверторов и конвертеров, а также преобразователей частоты, что придает ему универсальность.

Заключение

Авторами предложены и подробно рассмотрены две новые схемы термостойких, высоконадежных сетевых электронных балластов (СЭБ) и вторичных источников тока (ВИТ) для питания широкого класса газоразрядных, зарядно-накопительных, нагревательных и других устройств. Схемы также пригодны для использования в качестве однофазных и трехфазных выпрямительных устройств с промежуточным трансформаторным звеном высокой частоты и могут входить в состав обратимых трансформаторных импульсных конвертеров с широким диапазоном регулирования выходного напряжения. Схемы защищены приоритетом РФ.

Статья предназначена для широкого круга специалистов в области силовой электроники, а также разработчиков электроэнергетических комплексов и вторичных источников электропитания.

Литература

1. А. Б. Корнилов. Энергосберегающие вторичные источники тока наружного применения. Диссертация к. т. н., 2010 г.
2. С. Б. Резников, А. Б. Корнилов, Н. В. Гуренков, Е. В. Парфенов. Сохранение качества электроэнергии на входе вторичных источников импульсного питания с емкостным накопителем // Технологии ЭМС. 2010. №2 (33).
3. С. Б. Резников, В. В. Бочаров, Б. В. Кабелев, Г. А. Дубенский, А. Б. Корнилов, Е. В. Парфенов. Обеспечение ЭМС импульсного преобразователя переменного тока без промежуточного емкостного фильтра // Технологии ЭМС. 2010. №2 (33).
4. А. Царенко, Д. Серегин. Новые схемы статических преобразователей электрической энергии и их сравнительный анализ // Силовая электроника. 2007. №3.
5. Эраносян С.А. Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение. 1991.

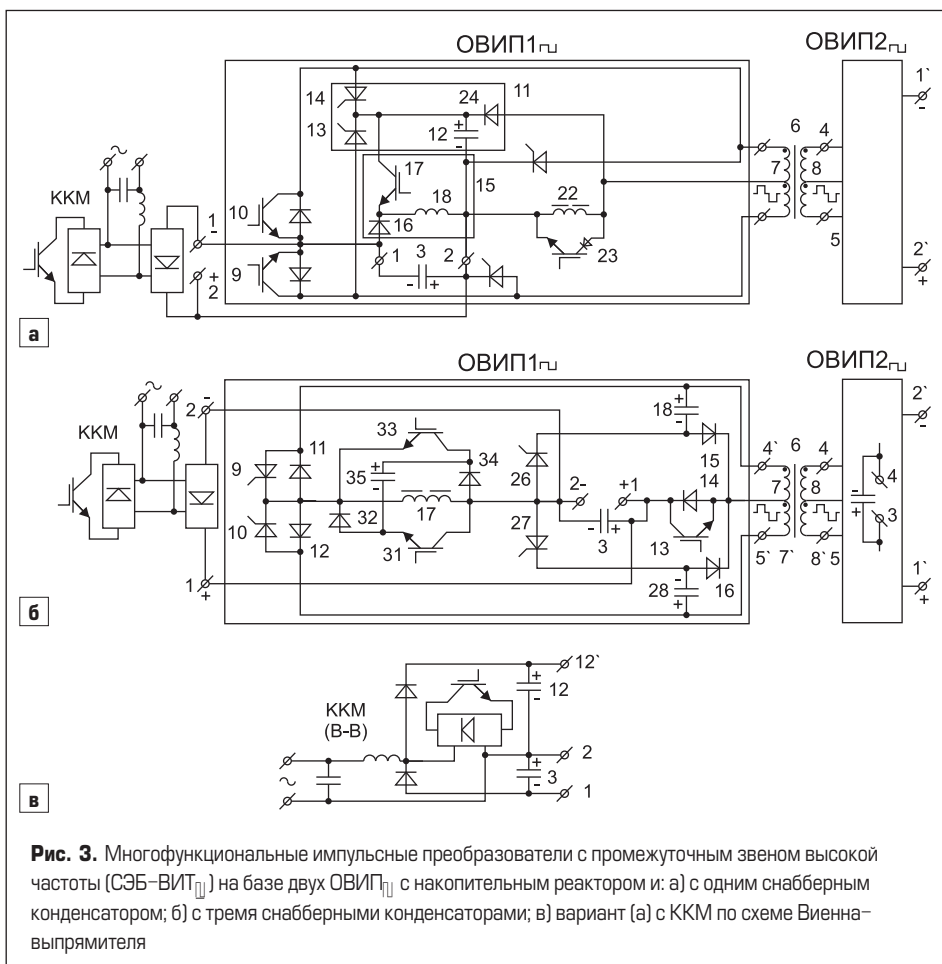


Рис. 3. Многофункциональные импульсные преобразователи с промежуточным звеном высокой частоты (СЭБ-ВИТ_П) на базе двух ОВИП_П с накопительным реактором и: а) с одним снабберным конденсатором; б) с тремя снабберными конденсаторами; в) вариант (а) с ККМ по схеме Виенна-выпрямителя