

Окончание. Начало в №5`2009

Электроэнергетическая и электромагнитная совместимость

ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ С АВТОНОМНЫМИ СИСТЕМАМИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Часть III. Обзор и анализ схмотехнических средств, выбор перспективных направлений модернизации.

Данная статья продолжает цикл работ, посвященных выбору способов и схмотехнических решений, обеспечивающих сохранение качества электроэнергии питающей сети и допустимого уровня генерируемых электромагнитных помех при работе вторичных источников импульсного питания (ВИИП) с емкостным накопителем в составе автономных систем (АСЭС), в частности транспортных [1–3]. Продолжаются обзор и анализ известных схмотехнических средств, применяемых в ВИИП для сравнения качества питающей электроэнергии АСЭС, а также выбор перспективных направлений модернизации.

Станислав Резников, д. т. н.
Владимир Бочаров, к. т. н.
Евгений Парфенов
Николай Гуренков
Александр Корнилов

Схемы с расщеплением зарядных и коммутируемых цепей с временными сдвигами («многофазные»)

Расщепление зарядных и коммутируемых (модулирующих) цепей с временными сдвигами широко используется в схемах ВИП и ВИИП с целью снижения воздействий на сеть, а также применения относительно маломощных модулей и повышения надежности за счет резервирования. Их иногда называют «многофазными» или «многомодульными» схемами. В случае питания от относительно низковольтной сети (100–400 В) на входе ВИИП используется параллельное расщепление, а на выходе, в зависимости от рабочего напряжения основного накопителя и наличия или отсутствия повышающего трансформатора, — последовательное либо параллельное. При последовательном расщеплении по трансформаторным выходам модулей ВИИП получаем ступенчатую зарядку накопителя [4].

Возможны различные варианты реализации параллельного расщепления зарядных цепей, например описанные в [5, 6].

На рис. 1 приведена схема универсального бестрансформаторного ВИИП с секционированным накопителем, буферно-емкостным удвоителем фазного напряжения и вентильно-емкостной цепью отсечки и рекуперации энергии [7,8]. Отсекаемая

энергия зарядного дросселя L сначала вся накапливается в коммутирующем конденсаторе C_k , а затем рекуперруется либо в буферный конденсатор C_{61} по цепи VS_{02} , либо в основной накопитель C_1-C_n по цепи VS_{02} при следующем зарядном процессе.

В обоих случаях необходимо полное обнуление напряжения на коммутирующем конденсаторе при рекуперации. Поэтому более низковольтный конденсатор C_k лучше разряжать на полностью разряженный основной накопитель. В последнем случае одновременно снижается зарядный ток следующего зарядного процесса, что позволяет увеличить коэффициент усиления в цепи обратной связи при регулировании выходного (предзарядного) напряжения, что, в свою очередь, позволяет уменьшить C_k .

Расщепление коммутируемых цепей с временными сдвигами также разделяется на параллельное и последовательное. Параллельное непосредственное соединение п/п ключей практически не используется, так как требует специальных мер по выравниванию токов. Однако параллельное («многофазное») включение ШИМ-модулей, в каждом из которых содержится транзистор, дроссель и диод, часто используется с общим выходным емкостным фильтром [9, 10].

Последовательное соединение транзисторов при относительно высокой частоте коммутации используется только при наличии либо уравнивающих

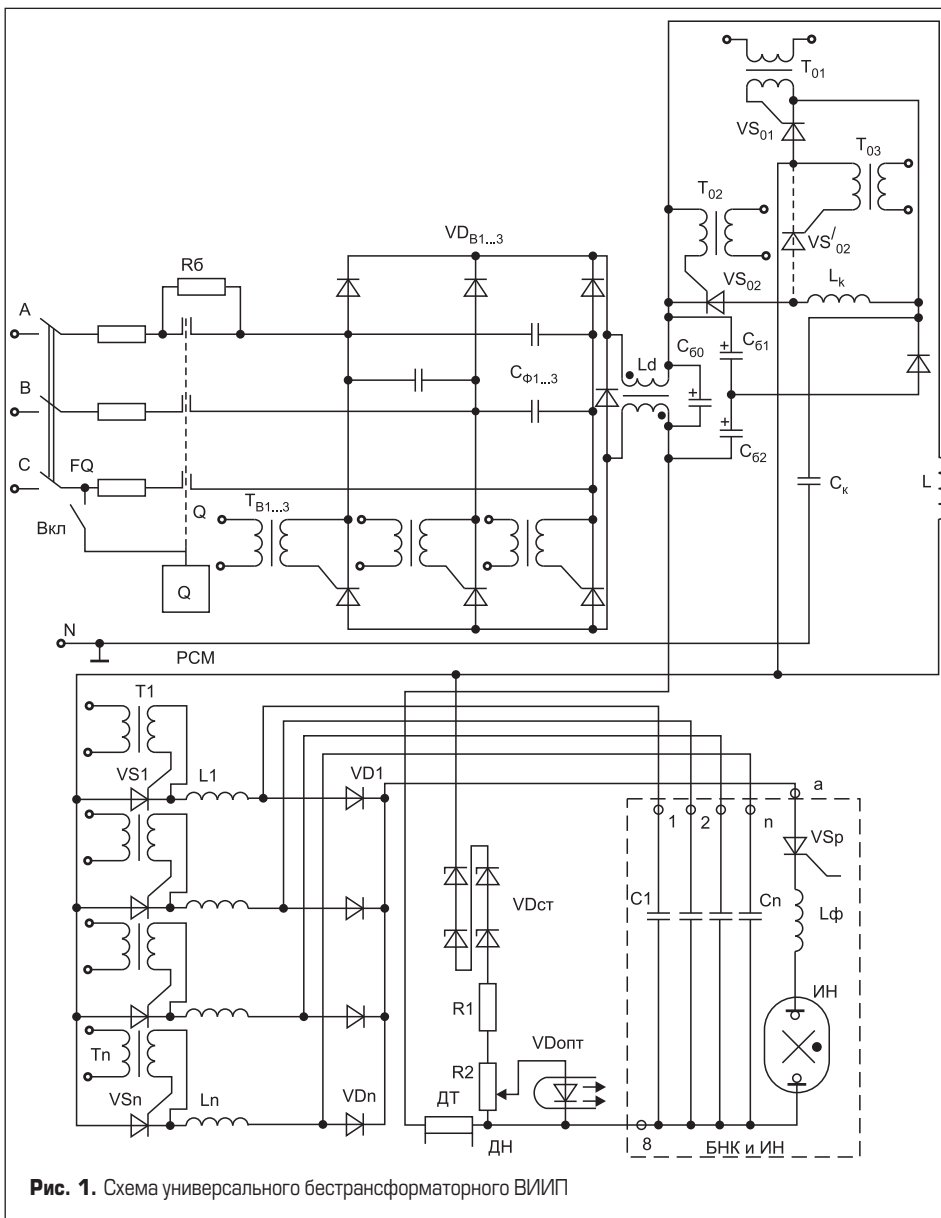


Рис. 1. Схема универсального бестрансформаторного ВИИП

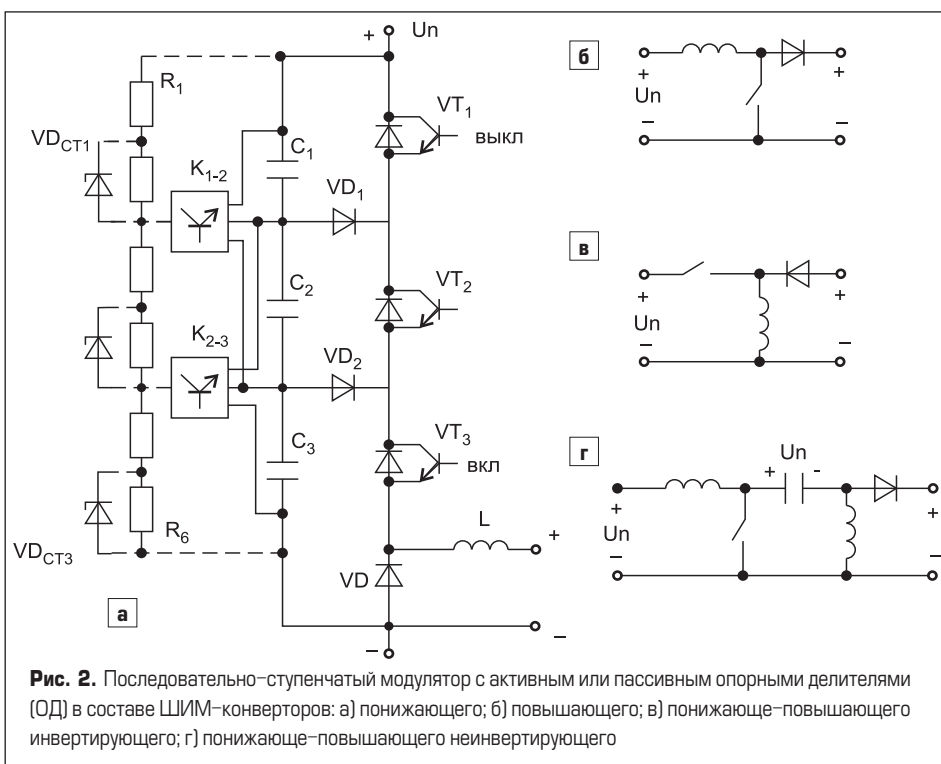


Рис. 2. Последовательно-ступенчатый модулятор с активным или пассивным опорными делителями (ОД) в составе ШИМ-конверторов: а) понижающего; б) повышающего; в) понижающе-повышающего инвертирующего; г) понижающе-повышающего неинвертирующего

цепочек (низкий КПД и низкая надежность), либо с применением уравнивающих вспомогательных источников [11–16]. Из широко известных устройств с использованием последовательного расщепления с временным сдвигом наиболее интересными являются инверторы квазисинусоидального (ступенчатого) напряжения [17, 18]. В них последовательное расщепление одновременно решает несколько задач: 1) построение высоковольтных импульсных регуляторов (модуляторов) на базе относительно низковольтных транзисторов [19, 20]; 2) обеспечение ступенчатого выходного напряжения; 3) снижение коммутационных помех (dU/dt , dI/dt), вносимых в сеть; 4) повышение надежности за счет резервирования.

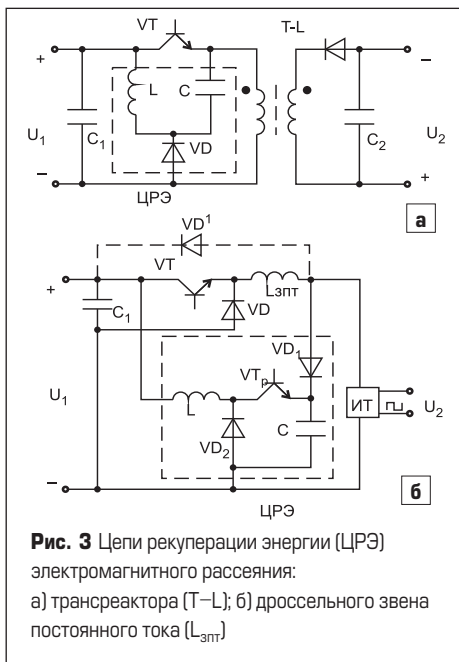
На рис. 2а приведена схема последовательно-ступенчатого модулятора с опорными делителями (активным или пассивным). Он содержит транзисторный столб (VT_1 – VT_3), опорный делитель напряжения (ОД), например, активный (на базе обратимых понижающе-повышающих конверторов K_{1-2} и K_{2-3}) или пассивный резистивно-стабилитронный (R_{1-6} , VD_{CT1-3}), показанный пунктиром. Включение транзисторного столба начинается с отпирания VT_3 , а выключение — с запирания VT_1 . На рис. 2а показан пример реализации высоковольтного понижающего ШИМ-конвертора. Аналогично могут быть реализованы повышающий (рис. 2б) и понижающе-повышающие: инвертирующий (рис. 2в) или неинвертирующий (рис. 2г).

Коммутационно-демпфирующие цепи снижения dU/dt и dI/dt в диодно-транзисторных узлах и схемы с исключением «сквозных и инверсных сверхтоков»

Обмотки трансформаторов, дросселей (реакторов) и трансреакторов (многообмоточных дросселей), включенные последовательно с транзисторами, одновременно с выполнением своих прямых функций являются и коммутационно-демпфирующими цепочками для снижения величин dU/dt и dI/dt . Если в схеме имеются контуры, состоящие из конденсатора и двух транзисторов или из конденсатора, транзистора и диода, то вероятны так называемые «сквозные и инверсные сверхтоки», вызывающие не только большие тепловые потери, но и скачки dI/dt (сильнейшие помехи для сети). В этих контурах также необходимо применять вспомогательные коммутационно-демпфирующие дроссели.

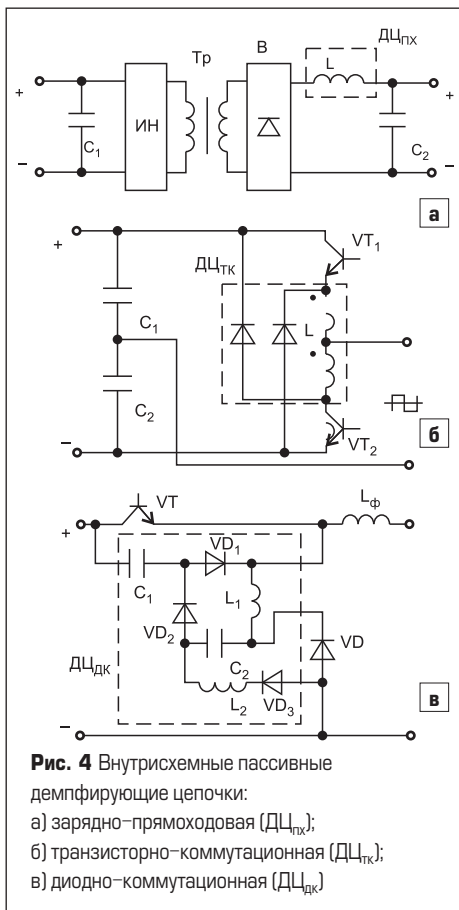
Во всех вышеуказанных случаях возникает необходимость исключить перенапряжения и большие значения dU/dt при запирании транзисторов и восстановлении обратного сопротивления диодов. Для этого необходимо энергию демпфирующей цепи либо выделить на резисторе (снизив КПД), либо рекуперировать ее во входной или выходной фильтровой конденсатор [11, 18].

На рис. 3. приведены примеры цепей рекуперации энергии (ЦРЭ) электромагнитного рассеяния: а) трансреактора (T - L) и б) дроссельного звена постоянного тока ($L_{3ПТ}$). Первая



из них может считаться пассивной, так как использует основной транзистор (VT), а вторая — активной, поскольку использует вспомогательный транзистор (VT_p). Первая ЦРЭ проще и надежнее, но по сравнению со второй сильно ограничена по диапазону регулирования коэффициента заполнения импульса (γ).

На рис. 4 приведены характерные примеры внутрисхемных пассивных демпфирующих цепочек: а) зарядно-прямоходовая (ДЦ_{пх}); б) транзисторно-коммутационная (ДЦ_{тк}) и в) диодно-коммутационная (ДЦ_{дк}). Первая из них одновременно выполняет роль звена



низкочастотного фильтра и совершенно необходима в случае использования инвертора прямоугольного напряжения (ИН), если выходной трансформатор (T_p) отсутствует или имеет коэффициент связи, близкий к 1. Вторая демпфирующая цепочка, помимо функции выходного фильтра, страхует полумостовой инвертор прямоугольного напряжения от «сквозных сверхтоков», возникающих при несанкционированных одновременных включениях транзисторов VT_1 и VT_2 (например, из-за внутренних коммутационных помех типа $C(dU/dt)$). Третья цепочка выполняет две функции: снижение «сверхтока» в транзисторе VT из-за инверсной проводимости диода VD перед восстановлением обратного сопротивления и ограничение перенапряжений на транзисторе из-за паразитных индуктивностей монтажных проводов и выводов. Ее основным недостатком является сохранение помехи dU/dt и больших потерь в транзисторе на выключение из-за скачка напряжения при не успевшем спастись токе.

Во многих схемах функции ЦРЭ и ДЦ взаимосвязаны и трудноотделимы. До настоящего времени их разработке и применению уделяется недостаточное внимание, что приводит к большим внутрисистемным и сетевым помехам, к снижению надежности и КПД преобразователей.

Литература

1. Резников С., Бочаров В., Парфенов Е., Гуренков Н., Корнилов А. Электроэнергетическая и электромагнитная совместимость вторичных источников импульсного питания с автономными системами электроснабжения переменного тока. Часть I. Критерии эффективности схемотехнических средств // Силовая электроника. 2009. №3.
2. Резников С., Бочаров В., Парфенов Е., Гуренков Н., Корнилов А. Электроэнергетическая и электромагнитная совместимость вторичных источников импульсного питания с автономными системами электроснабжения переменного тока. Часть II. Обзор и систематизация известных структур и схем основных узлов. Приближенные критерии оценки элементов // Силовая электроника. 2009. №4.
3. Резников С., Бочаров В., Парфенов Е., Гуренков Н., Корнилов А. Электроэнергетическая и электромагнитная совместимость вторичных источников импульсного питания с автономными системами электроснабжения переменного тока. Часть III. Обзор и анализ схемотехнических средств, выбор перспективных направлений модернизации // Силовая электроника. 2009. №5.
4. Булатов О. Г., Иванов В. С., Панфилов Д. Н. Полупроводниковые зарядные устройства емкостных накопителей энергии. М.: Радио и связь. 1986.
5. Патент №63994 (РФ) Трехфазный инвертор тока / С. Б. Резников, А. И. Соколов // Бюл. 2007. №16.
6. Резников С. Б., Соколов А. И. Принцип «импульсного деления тока» и его применение в трехфазовых мостовых инверторах с синусоидальными выходными токами в индуктивно-

- активной нагрузке без емкостного фильтра // Силовая электроника. 2007. №1
7. Болдырев В. Г., Бочаров В. В., Мальшков Т. М., Резников С. Б. и др. Транзисторные преобразователи электрической энергии. Монография. М.: АОЗТ «Ирбис». 2002.
8. Болдырев В. Г., Бочаров В. В., Резников С. Б. Вторичные источники импульсного питания (ВИИП) // Практическая силовая электроника. 2001. №2.
9. Катасонов Н. М. Исследование системы зарядки емкостных накопителей ступенчатым током / В кн.: Системы электропитания потребителей импульсной мощности. М.: Энергия. 1976.
10. Булатов О. Г., Иванов В. С., Панфилов Д. И. Способы повышения эффективности трансформаторных зарядных устройств емкостных накопителей энергии / В кн.: Проблемы преобразовательной техники. Киев: Изд. ИЭД АН УССР. 1979.
11. Резников С. Б., Конышин С. Ф., Соколов А. И. Высоковольтно-составные транзисторные преобразователи с обеспечением электроэнергетической и электромагнитной совместимости // Компоненты и технологии. 2006. №2.
12. Белов Г. А., Кузьмин С. А. Преобразователи переменного напряжения 380 В в стабилизированное постоянное // Электронная техника в автоматике. 1981. № 13.
13. Моин В. С., Лаптев Н. Н. Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.: Энергия. 1972.
14. Белов Г. А., Кузьмин С. А. Импульсный регулятор постоянного напряжения с последовательным соединением транзисторов // Электронная техника в автоматике. 1980. № 11.
15. Белов Г. А., Кузьмин С. А. Разработка и исследование мощного транзисторного импульсного регулятора // Применение полупроводниковых приборов в преобразовательной технике. Чебоксары. 1980.
16. Белов Г. А., Кузьмин С. А. Высоочастотные тиристорно-транзисторные преобразователи постоянного напряжения. М.: Энергоатомиздат. 1987.
17. Чибиркин В., Боок А., Завтородный В., Аriskин О., Шестоперов Г. Разработка трехфазного мостового инвертора для питания тяговых асинхронных электродвигателей электровозов постоянного тока // Силовая электроника. 2005. №2.
18. Резников С. Б., Соколов А. И. Регулируемые преобразователи частоты для питания высоковольтных двигателей переменного тока от промышленной сети // Компоненты и технологии. 2007. №2.
19. Резников С. Б., Соколов А. И. Универсальная тяговая электромеханическая трансмиссия дизель-электротранспорта с использованием сетевого питания на магистральных трассах // Компоненты и технологии. 2006. №11.
20. Резников С. Б., Соколов А. И. Спаренные одноконтные импульсные конверторы и их применение в силовых электроприборах постоянного и переменного тока // Силовая электроника. 2007. №2.