

Вопросы терминологии и классификация инверторов

Часть 1

Евгений Силкин (elsi-mail@ya.ru)

В статье, относящейся к теме силовой электроники, речь идёт о необходимости использования в этой области знаний единых и точных терминов и определений.

В первой части анализируются некоторые проблемы, связанные, в том числе, с так называемой «гармонизацией» нормативов на современном этапе.

Набор или совокупность специальных терминов и определений, как известно, составляет основу любой области знаний. Такая совокупность – своего рода технический язык, который по определению должен быть однозначным и понятным всем, кто им пользуется. Здесь невозможно не согласиться, например, с автором [1], считавшим «совершенно очевидной важность правильно разработанной... терминологии». По этой причине для каждой из отраслей науки и техники всегда вводились стандарты и устанавливались специальные правила (в том числе международные, межгосударственные, государственные, отраслевые), регулирующие качество и объём используемой терминологии. Система стандартизации в СССР была одной из самых эффективных в мире. До сих пор применяются многочисленные стандарты и иная нормативная документация, относящиеся, в том числе, к научной и технической терминологии, разработанной ещё в СССР (и СЭВ).

В настоящее время позиции страны в значительной мере утрачены. Сегодня российская терминология различных предметных областей обогащается новыми терминами и определениями, в том числе из зарубежных источников, в переводах и на языках оригиналов, которые зачастую вызывают только путаницу и противоречат сложившимся на протяжении многих лет представлениям и даже действующим стандартам. Последнее коснулось и промышленной (силовой, энергетической, как сейчас называют) электроники (или преобразовательной техники) – области знаний, в которой СССР на протяжении многих десятилетий являлся одной из ведущих стран. Результатом

происходящих процессов естественной смены поколений специалистов, тотальной коммерциализации, появления прослойки учёных-консультантов по научной части и менеджеров для науки является, в том числе, существенный рост ошибок и различного рода несуразностей (конечно, и в применяемой терминологии) в многочисленных технических публикациях, затрудняющих, а порой и делающих практически невозможным оперативное восприятие и понимание того, что хотели сказать и донести до читателей авторы некоторых работ.

Например, в предисловии [2] говорится: «Силовая электроника – динамично развивающаяся область техники, связанная с большим числом смежных дисциплин, поэтому словарный запас специалиста... постоянно пополняется и изменяется, кроме того, в обиходе часто используются иностранные термины и инженерный жаргон... При подготовке словаря использовались энциклопедический словарь «Электроника» (М., 1991), Международный электротехнический словарь. Гл. 551. Силовая электроника, 1997 – русская версия (International Standart, IEC 60050-551, Manuscript 1997 – 06); словарь терминов «Силовая электроника» (М., 2001), а также ряд государственных стандартов, ссылки на которые даны в тексте... Несмотря на то что некоторые определения, взятые из указанных документов, нельзя признать удачными, составители оставили их без изменения, поскольку они являются официальными».

Довольно сложно согласиться с последним высказыванием авторов вышеупомянутого словаря по причине того, что большинство понятий в нём все-таки не содержат ссылок на

источники, а определения, взятые из документов, которые «нельзя признать удачными», следует давать с разъяснениями, почему они таковыми являются. Тем более, составители [2] считают, что «словарь позволяет специалистам в области силовой электроники, а также в смежных научно-технических областях правильное использовать термины, узнать точные и стандартизованные определения, лучше сопоставлять термины, употребляемые в русскоязычной или англоязычной литературе», а также что «словарь могут использовать... переводчики научной литературы и публикаций в области силовой электроники, он будет полезен студентам и преподавателям вузов, в которых проходят подготовку специалисты в области электротехники, электроэнергетики, радиоэлектроники и др.».

Определений же, которые «нельзя признать удачными» в [2] действительно достаточно, причём в большей степени это относится к терминам и понятиям, не содержащим ссылок на первичные источники.

Вот лишь некоторые примеры такой терминологии.

Резонансные инверторы в [2] упоминаются совместно с перечислениями на русском и английском языках различного рода резонансных и «квазирезонансных преобразователей» (soft switching converter – перевод составителей), «квазирезонансных ключей» (soft switch – перевод составителей), «прямых» и «непрямых» инверторов и проч., среди которых невозможно идентифицировать реальные устройства и которые ни в одном источнике более не встречаются. «Мягкое переключение» в электрических преобразователях возможно не только при использовании вводимых авторами [2] «квазирезонансных ключей», но и, например, при резонансной, квазирезонансной коммутации вентиляей, ограничении величин и скоростей изменения токов и напряжений ёмкостями и индуктивностями (в том числе насыщающимися). Можно также с уверенностью утверждать, что в вентиль-

ных силовых устройствах никакое иное переключение, кроме «мягкого», не реализуется в принципе. В IEC 60050 – International Electrotechnical Vocabulary (IEV) нет определений «квазирезонансных (и даже резонансных) ключей», «квазирезонансных» (и «мягких») инверторов и преобразователей. В IEC, например, содержится только одно правило (551-12-26) для резонансного преобразователя (не конкретно инвертора): резонансный преобразователь (resonant converter) – преобразователь с использованием резонансного контура(-ов) для обеспечения коммутации или уменьшения потерь на коммутацию. И определение это крайне неудачное, т.к. практически невозможно назвать ни одно реальное преобразовательное устройство (инвертор в том числе), в котором не было бы «резонансных контуров» для «обеспечения коммутации или уменьшения потерь на коммутацию» (что не делает их все резонансными). Используя определения для резонансного преобразователя из IEC (551-12-26) или из [2] (ссылка на МЭС 551-12-26), можно, в частности, к резонансным отнести все практиче-

ские реализации инверторов тока для установок индукционного нагрева, большое число схем инверторов напряжения, любые инверторы с квазирезонансной коммутацией и даже различные преобразовательные устройства, например со снабберами и клапмами, содержащие резонансные цепи с индуктивностями и ёмкостями. Резонансными же считаются инверторы, в которых выходной ток (и, соответственно, ток управляемого вентиля или вентиля) на интервале повторяемости (проводимости) изменяется по колебательному закону, а не просто электронные устройства, в силовых схемах которых есть или «используются резонансные контуры из реактивных элементов» (как записано в [2]). Определения же «квазирезонансный преобразователь» или, тем более, «квазирезонансный инвертор» употреблять не следует, т.к. невозможно понять, о каком устройстве вообще идёт речь, и чем оно отличается, в частности, от просто «резонансного». При этом понятие «квазирезонансный ключ» не использовалось даже в изначальных англоязычных источниках, отку-

да всё, касающееся «квазирезонансов», «мультирезонансов» и прочего, как считается, и началось (в том числе в [3–5]). В [3–5] речь идёт о соответствующих технологиях (методах) применительно к маломощным импульсным преобразователям DC/DC на двухоперационных вентилях (и резонансным ключам), как предполагается, существенно затрагивающих саму энергетику электромагнитных процессов в устройствах (в квази- и мультирезонансных преобразователях при этом используются резонансные ключи, а не квази- или мультирезонансные).

В [2] «прямой инвертор – инвертор без промежуточного звена постоянного тока [МЭС 551-12-13]». В IEC такое определение (direct inverter, 551-12-13, инвертор без звена постоянного тока) действительно есть. Однако инверторы не разделяются на «прямые» и «непрямые» (indirect inverter, 551-12-14, согласно [2] – инвертор со звеном постоянного тока). Инвертор, как и выпрямитель, – это одноступенчатый (имеется в виду число ступеней преобразования энергии) или однокаскадный (однозвенный, согласно



bulgin
a brand of Elektron Technology

Взрывозащищённые соединители EXPlora

Технические характеристики:

- Количество контактов: 2, 3, 4, 5, 7, 10
- Электрические характеристики: до 18 А, 600 В AC/DC
- Диапазон рабочих температур: –20...+55°C
- Взрывозащищённость по АTEX: Ex II 3 GD, для зон 2 и 22
- Влагозащищённость в соответствии с IP68, EN 60529:2001







ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА

(495) 232-2522 • INFO@PROCHIP.RU • WWW.PROCHIP.RU



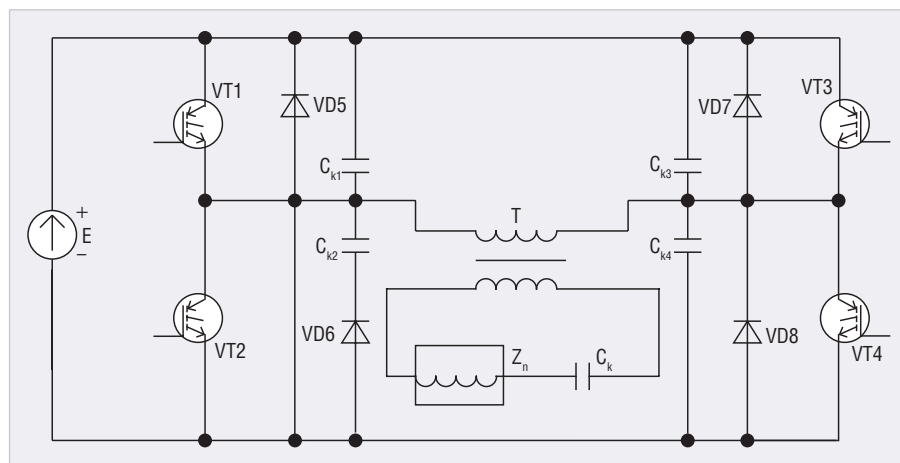


Рис. 1. Согласованный (резонансный) инвертор с открытым входом и дополнительными шунтирующими вентилями конденсаторами

принятой в [2] терминологии) преобразователь. Инвертор (151-13-46, IEV) – это устройство (конвертер электрической энергии), «который преобразует постоянный ток в однофазный или многофазные переменные токи». В соответствии с СТ МЭК 50(151)-78 «Электрические и магнитные устройства» «инвертором является преобразователь электрической энергии, который преобразует ток одного направления в систему переменных токов», а в ГОСТ 23414-84 «Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Термины и определения», в частности, полупроводниковым инвертором (или просто инвертором) называется «полупроводниковый преобразователь электроэнергии, предназначенный для преобразования постоянного тока в переменный». В Википедии же инвертором считается «устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением напряжения». В классическом источнике [6] можно найти текст следующего содержания: «Преобразователь повышенной частоты... состоит из двух основных узлов: выпрямителя, преобразующего переменный ток... в постоянный, и... автономного инвертора, преобразующего постоянный ток в переменный... В промежуточное звено постоянного тока включается сглаживающий фильтр, который часто является элементом схемы инвертора... Различают преобразователи с явно выраженным и скрытым звеном постоянного тока». Отдельные определения в [2], касающиеся «прямого» и «непрямого» (с одним или несколькими звеньями переменного или постоянного тока) преобразования энергии, а также «прямых» и «непрямых» выпрямителей, инверторов и конвертеров (двух-

звенных и многозвенных преобразователей), прямо противоречат друг другу, вносят путаницу в понятия звена, ступени преобразования, каскада и проч. Например, согласно [2] классический инвертор тока должен быть «непрямым», инвертор напряжения при питании от аккумуляторной батареи является «прямым», а тот же инвертор при питании от выпрямителя с ёмкостным фильтром – «непрямым». Преобразователи частоты могут быть «прямыми» (со скрытым звеном постоянного тока, или, иначе, непосредственными, без промежуточного звена постоянного тока, по ГОСТ 23414-84) и «непрямыми» (с явно выраженным звеном постоянного тока, содержащими в структуре выпрямитель и автономный инвертор), а инверторы – только «прямыми» или «непосредственными» (разделение на «прямые» и «непрямые» для инверторов не несёт смысловой нагрузки, которая однозначно соответствовала бы известным представлениям, и ничего, по сути, не обозначает).

Согласно [2] полумостовой инвертор (half-bridge inverter) – это «однофазный инвертор напряжения, использующий полумостовую схему». Подобное определение является ошибочным, т.к. полумостовым может быть (причём в подавляющем большинстве практических случаев) и резонансный (согласованный) инвертор. То же самое можно отнести и к понятию из [2] – «последовательный инвертор» (в [2] inverter with series capacitor – инвертор тока, коммутирующие конденсаторы которого включены последовательно с нагрузкой). В преобразовательной технике словосочетание «последовательный инвертор» в течение десятилетий являлось альтернативным обозначени-

ем для резонансных инверторов. Соответственно, специалисты по силовой электронике, как правило (кроме особых случаев), не употребляли словосочетания «последовательный резонансный инвертор» (в [2] series resonant inverter – инвертор, резонансный контур которого соединён последовательно с нагрузкой), а если и употребляли, то в принципиально иной трактовке. То же можно отнести и к понятию параллельного резонансного инвертора из [2].

В [2] «широтно-импульсная модуляция, ШИМ (pulse weight modulation, PWM) – импульсное управление, при котором ширина или частота импульсов или та и другая модулируются в пределах каждого периода основной частоты для того, чтобы создать определённую форму... кривой выходного параметра [МЭС 551-16-30]». При этом далее указано: «Широтно-импульсное управление (pulse duration control) – импульсное управление посредством изменения длительности импульсов при постоянной частоте их следования [МЭС 551-16-28]. <...> Частотно-импульсное управление (pulse frequency control) – импульсное управление посредством изменения частоты импульсов при их постоянной длительности [МЭС 551-16-29]». В IEV же понятие (551-16-30) имеет иное название – pulse width modulation control (PWM control – управление с широтно-импульсной модуляцией). Английская аббревиатура PWM – это, вообще говоря, аббревиатура для pulse-width modulation, а не pulse weight modulation [2] (ссылка не является корректной). Но не это главное. Смысл понятий «ШИМ» в [2] и PWM control («импульсное управление, в котором ширина или частота импульса или оба параметра модулируются в течение каждого периода – fundamental period – для получения определённого выходного сигнала») в IEV, очевидно, не соответствуют друг другу и известному понятию широтно-импульсной модуляции (ШИМ) или (английскому) pulse-width modulation (PWM). Так что же считать и как в настоящее время определить (и, что важно, понимать) ШИМ? В ГОСТ 24375-80 «Радиосвязь. Термины и определения» «широтно-импульсная модуляция – импульсная модуляция, при которой изменяемым параметром является длительность импульсов». Там же даны определения и для других известных видов модуляции: амплитудно-импульсной, частотно-импульсной

и фазоимпульсной. Теория автоматического управления оперирует с понятиями методов квантования сигналов по времени (дискретные импульсные системы), соответствующими амплитудно-импульсной, широтно-импульсной и временной импульсной модуляции (а именно частотно-импульсной и фазоимпульсной). При «широтно-импульсной модуляции длительность импульсов (или скважность) зависит от дискретных значений входного сигнала, в то время как период дискретности и высота импульсов постоянны». Таким образом, можно утверждать, что в одном определении ШИМ из [2] (а также из IEV, PWM control) фактически смешиваются сразу несколько видов импульсной модуляции (и даже, вероятно, содержится ссылка на релейные системы, относящиеся вообще к другому типу дискретных систем).

В качестве небольшого отступления стоит отметить, что и с модуляцией и её определениями (и применениями, в частности, к характеристикам устройств силовой электроники) не всё обстоит благополучно. Стало различать, например, «аналого-

вую» и «цифровую» ШИМ. В некоторых источниках говорится о «плотностно-импульсной» модуляции (или импульсно-плотностной, и это тоже ШИМ, или, даже, импульсно-кодвая модуляция – ИКМ). В публикации [7] резонансный инвертор (см. рис. 1) с дополнительными шунтирующими вентилями «демпфирующими конденсаторами» называется «последовательным резонансным инвертором напряжения». В аннотации к [7] сказано о том, что «предложен способ кодово-импульсного регулирования технологического параметра преобразователя частоты для установки индукционного нагрева» и что при использовании этого способа «значительно уменьшаются мощность потерь на переключение силовых коммутирующих приборов, массогабаритные показатели и увеличивается КПД преобразователя частоты». Далее в [3] можно прочитать: кодово-импульсная модуляция (КИМ) «в технологии индукционного нагрева является новым и очень перспективным направлением, т.к. позволяет при достаточной точности регулирования практически исключить динами-

ческие потери на переключение силовых коммутирующих приборов, что в принципе не сможет обеспечить ни один из методов регулирования, применяемых в индукционном нагреве». При этом в разделе статьи [3] «Теория КИМ» указывается, что «регулирование среднего значения потребляемой от сети энергии при КИМ достигается за счёт изменения количества вынуждающих импульсов, подключаемых к нагрузке за некоторый интервал времени» и что «выходная частота инвертора в данном случае постоянно настроена на резонанс, обеспечивая таким образом нулевой ток включения и выключения силовых коммутирующих приборов». И это при наличии в схеме шунтирующих вентилях «демпфирующих конденсаторов», разряд которых при включении вентилей имеет место и ничем не ограничен (не выполняется условие «мягкой», или квазирезонансной коммутации, одна из основных причин выхода из строя вентилей в схемах таких автономных инверторов с указанным способом выключения, которая привела даже к массовым разработкам специальных типов тран-

Fastwel



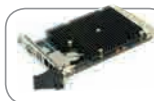
Российская электроника
для ответственных
применений

Скорость и надежность
современных технологий

CompactPCI 2.0, 2.16, 2.30, Serial



CPC503



CPC508



CPC510



CPC512



PROSOFT®

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



Роснано

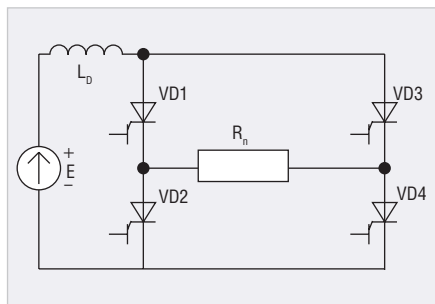


Рис. 2. Однофазный мостовой инвертор на двухоперационных тиристорах с резистивной нагрузкой и реактором в цепи источника питания

зисторов для подобных схем). Не понятно, зачем «демпфирующие конденсаторы» вообще включены в схему этого «последовательного резонансного инвертора напряжения» с «предложенной КИМ». Оставляя без комментариев, какое отношение к рассмотренному способу регулирования инвертора имеет КИМ (или ИКМ, импульсно-кодовая модуляция), которая представляет собой вариант (или метод) кодирования цифровой информации при передаче (записи) данных, и как КИМ может «практически исключить динамические потери на переключение силовых коммутирующих приборов», стоит отметить, что способ регулирования мощности за счёт «изменения относительного числа полупериодов прохождения тока к числу полупериодов, в течение которых ток отсутствует» хорошо известен, имеет недостатки принципиального характера и периодически используется в том числе в установках индукционного нагрева, как минимум с того момента, когда стал применяться сам индукционный нагрев. В некоторых источниках из указанной области техники этот способ регулирования (не модуляции) называют число-импульсным (наиболее точное по сути определение), с ударным возбуждением, широтно-импульсным на низкой частоте, многопериодным управлением, низкочастотным широтно-импульсным регулированием (или управлением), широтно-импульсным управлением с постоянной паузой или с переменным периодом, частотно-широтно-импульсным регулированием, релейным регулированием (если рассматривать модификацию с постоянным количеством пропусков периодов резонансного тока и с варьируемым периодом модуляции, другой класс дискретных систем), а также импульсной

модуляцией на низкой частоте и просто широтно-импульсной модуляцией согласно определению МЭС 551-16-30 (и нигде – КИМ; не упоминается такое определение и в источниках, включая ГОСТ Р 51317.3.2-99, на которые ссылаются авторы статьи). Однако в книге [8], которая приведена в списке литературы в [7] без ссылки в основном тексте, всё-таки встречается на одном из рисунков аббревиатура ИКМ без расшифровки понятия, а также представлены термины «кодо-импульсный модулятор» (КИМ) и «кодовый модулятор» (КМ), но применить это к данному вопросу невозможно.

В [2] фазоимпульсной модуляции называют вид импульсной модуляции, используемый в «непосредственных преобразователях частоты», у которых «выходное напряжение складывается из отрезков сетевого напряжения». Там же дано определение однополярной широтно-импульсной модуляции (unipolar PWM): «Модуляция, при которой импульсы напряжения имеют одну полярность». И это наряду с ранее приведённым там же (общим) определением PWM.

Представлены в [2], в том числе, статьи, относящиеся к инверторам напряжения и тока: инвертор напряжения – «инвертор, питаемый от цепи постоянного тока с преобладающими свойствами (характеристиками) источника напряжения»; инвертор тока – «инвертор, питаемый от цепи постоянного тока с преобладающими свойствами источника тока». В указанных определениях также даны ссылки на пункты МЭС (551-12-11 и 551-12-12 соответственно), однако, если обратиться к исходным текстам (IEC 60050-551:1998 International Electrotechnical Vocabulary, 551-12-11 и 551-12-12), то в них не обнаружится того, что написано по данной теме в [2]. Для инверторов напряжения и тока в IEC приводится только несколько словосочетаний (а именно названий), которые, вероятно, считаются равнозначными (и общая «универсальная» диаграмма). При этом смысл их (упомянутых названий) состоит в том, что инвертор напряжения «конвертирует» напряжение (из постоянного в переменное, «инвертор источника напряжения»), а инвертор тока «конвертирует» ток («инвертор источника тока»). Если же применить определения из [2], то, питая инвертор тока от «цепи постоянного тока с преоб-

ладающими свойствами источника тока», можно получить, как следует из текста, инвертор тока, а при питании его же «от цепи постоянного тока с преобладающими свойствами (характеристиками) источника напряжения», будет получен инвертор напряжения. Однако в большинстве практических случаев применения инвертор тока запитывается именно от «цепи постоянного тока с преобладающими свойствами (характеристиками) источника напряжения» (выпрямитель, аккумуляторная батарея). От таких же источников питается, как правило, и инвертор напряжения (и это совсем не означает, что последний нельзя запитать от «цепи со свойствами источника тока»). Кроме того, упомянутые выше резонансные инверторы также можно питать от источников с разными характеристиками. Таким образом, определения для инверторов напряжения и тока в [2] не соответствуют оригинальным понятиям из IEC. Необходимо при этом также заметить, что понятия «инвертор напряжения» и «инвертор тока» в IEC перешли из русскоязычных источников (и к недостаткам перевода их на английский язык в прошлом веке сегодня добавлены ошибки обратного перевода на русский язык). Если понятия из IEC можно отнести к разряду неудачных, то определения из [2] – только к ошибочным.

Действительно, в [9], например, при попытке применить аналогичные [2] определения (согласно ссылке – из МЭС «в переводе на русский язык») авторы были вынуждены дать дополнительные разъяснения довольно значительного объёма, которые, несмотря на это, нельзя совместить с их фактическим смыслом: «Инвертор напряжения – инвертор, подключённый к источнику постоянного тока с преобладающими свойствами источника напряжения»; «Инвертор тока – инвертор, подключённый к источнику постоянного тока с преобладающими свойствами источника тока». Кроме того, в [9] сказано: в цепи постоянного тока инвертора (тока) «включён реактор с большой индуктивностью, тогда при коммутации ключевых элементов ток в реакторе меняется незначительно, ключевые элементы инвертора изменяют направление (но не мгновенное значение) тока в нагрузке, поэтому мож-

но считать, что нагрузка подключена к источнику тока. <...> В схеме инвертора напряжения источник постоянного напряжения подключён к ключевым элементам, которые периодически коммутируют цепи нагрузки при изменении полярности напряжения, подаваемого к нагрузке, поэтому можно считать, что нагрузка подключена к источнику переменного напряжения. <...> В цепях постоянного тока некоторых инверторов напряжения имеется индуктивность, обеспечивающая коммутацию тиристорных, поэтому наличие индуктивности в цепи постоянного тока ещё не является достаточным признаком для определения типа схемы (инвертор тока или инвертор напряжения), необходимо знать характер изменения входного тока инвертора: как правило, считают, что в инверторах тока входной ток непрерывен или прерывается... на незначительное по сравнению с межкоммутационным интервалом время. <...> Резонансными преобразователями называются преобразователи, в которых используются электрические цепи с индуктивными и ёмкостными элементами для коммутации ключей со снижением потерь мощности при коммутации». То же самое фактически дословно повторяется и в [10]. Стоит отметить лишь, что, если нагрузка инвертора, например, активная (для упрощения восприятия), реактор в цепи постоянного тока может иметь индуктивность любой величины (см. рис. 2) и при коммутации ключевых элементов ток в реакторе меняется незначительно (может не изменяться совсем), а ключевые элементы инвертора изменяют направление,

но не мгновенное значение тока в нагрузке; реактор может и отсутствовать (инвертор напряжения), а ключевые элементы будут изменять направление (но не мгновенное значение) тока в нагрузке. Источник тока и реактор в цепи постоянного тока с большой индуктивностью – это (применительно к упомянутым тезисам касательно инверторов тока), очевидно, принципиально разные вещи. В первом случае напряжение (на активной нагрузке инвертора тока, даже с реактором большой индуктивности) будет пропорционально сопротивлению нагрузки (а ток неизменен), а во втором – напряжение на нагрузке (в установившемся режиме) всегда равно напряжению на входе инвертора (напряжению питания, то есть неизменному напряжению), а ток (как на входе, так и на выходе) будет обратно пропорционален сопротивлению нагрузки. Существует и большое количество схем резонансных (согласованных) инверторов, в цепи постоянного тока которых включён реактор с большой индуктивностью. Интересно, что определения из [2] для инверторов напряжения и тока отличаются и от соответствующих статей в МЭС, а не только от определений из IEC, как упоминалось выше, и, естественно, от текстов, приведённых в [9, 10].

Во второй части статьи будет обоснована необходимость классифицировать инверторы в зависимости от различий в характере электромагнитных процессов в силовой схеме, а также дано определение автономного согласованного инвертора и показано, что резонансные инверторы являются частным случаем согласованного инвертора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Туманишвили Д.Г.* Некоторые вопросы классификации в электроприводе. Электричество. 1939. № 4.
2. Силовая электроника: краткий энциклопедический словарь терминов и определений / под ред. Ф.И. Ковалёва и М.В. Рябчицкого. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 90 с.
3. *Liu K.* High-frequency quasi-resonant converter techniques. Ph.D. Dissertation, Electrical Engineering Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, Oct. 1986.
4. *Jovanovic M.* High-frequency, off-line power conversion using quasi-resonant and multi-resonant techniques. Ph.D. Dissertation, Electrical Engineering Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, Sept. 1988.
5. *Lee F., Tabisz W., Jovanovic M.* High-frequency quasi-resonant and multi-resonant converter technologies. Archiv fur Elektrotechnik, n.74, 1990, pp.107–116.
6. *Беркович Е.И., Ивенский Г.В., Иоффе Ю.С.* и др. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
7. *Земан С.К., Сандырев О.Е.* Кодово-импульсный способ регулирования технологического параметра преобразователя частоты установки индукционного нагрева. Известия Томского политехнического университета. Т. 310. 2007. № 1. – С. 191–196.
8. *Кобзев А.В., Михальченко Г.Я., Музыченко Н.М.* Модуляционные источники питания РЭА. – М.: Радио и связь, 1990. – 322 с.
9. *Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.* Силовая электроника: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.
10. *Розанов Ю.К., Воронин П.А., Рывкин С.Е.* и др. Справочник по силовой электронике. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 472 с. ©

Уважаемые читатели!

В статье «Логический анализатор „за один вечер“. Часть 1. Подготовка аппаратной части» («Современная электроника» № 3/2018) автором были неверно указаны значения ёмкости микросхем памяти. Далее приведены соответствующие фрагменты текста с внесёнными изменениями.

Стр. 43, средняя колонка, второй абзац: «Необходимо заметить, что корректная поддержка программой Saleae Logic аппаратных средств контроллера CY7C68013A возможна только в том случае, если в качестве микросхемы внешней памяти EEPROM с интерфейсом I²C используется микросхема, у которой адресация записываемой или считываемой ячейки осуществляется одним адресным байтом (Word Address) без учёта дополнительных битов выбора страницы в байте управления. Это справедливо для микросхем памяти EEPROM с интерфейсом I²C начиная с 24CL02 до 24CL16 включительно. У микросхем большей ёмкости адресация ячейки осуществляется двумя байтами (Address MSB и Address LSB). На плате CY7C68013A USB Board производителем установлена микросхема U2 FM24CL64, которую необходимо заменить на любую из приведённого перечня. Автор использовал микросхему FM24CL16».

Стр. 45, левая колонка, первый абзац: «Для микросхемы FM24CL16 он должен иметь размер, показанный на рисунке 6».

Редакция приносит свои извинения, а также сообщает, что, несмотря на допущенные ошибки, рекомендации по применению микросхем в устройстве, приведённые в статье, остаются без изменений.