

ВОПРОСЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ВРЭ)

Серия

Общие вопросы радиоэлектроники (ОВР)

Москва, 1989, Выпуск 11, с. 99..120

- **Основные структуры ИП (ТИП, БИП, АИП, РИП и др.), достоинства, недостатки, систематизация.**
- **Идеология ИСИ и СФКИ (системной интеграции и избыточности).**
- **Введение (градуация) диапазонов и поддиапазонов токов, напряжений, мощностей нагрузок ИП и градуация частотных диапазонов инвертеров.**
- **Удельные показатели ИП стран мира, их сравнение.**
- **Наглядная иллюстрация достоинств ТИП, созданных на основе новых технических решений и идей автора (ИСИ, СФКИ, использование новейшей элементной базы, материалов, элементов, конструкций и пр.)**
- **Перспективы и задачи.**
- **Фрагмент из массива публикаций (скрупулезно проработанных автором за многие годы).**

УДК 621.314.6

А. М. Репин

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

На основе краткого обзора отечественных и зарубежных публикаций систематизированы схемно-технические решения вторичных источников электропитания (ИП). Впервые наглядно представлены удельные показатели ИП ряда стран. Установлены актуальность и перспективность создания и исследований важнейших средств ИП – вентиляльных преобразователей (конвертеров) электроэнергии (ВП/ВК ЭЭ).

Arkadiy M. Repin

MODERN PRINCIPLES OF CONSTRUCTION AND SYSTEMATIZING OF POWER SUPPLIES

//Problems of Radio-Electronics (PRE). Ser. General PRE (GPR). – Moscow. 1989. № 11, p. 99-120 (in Russian)

Circuit-engineering decisions of power supplies (PSs) are systematized on the basis of a brief review of a home and foreign publications. The specific index (P_V – power/volum) of PSs of main countries are presented visual for the first time. Importance and perspective of creation and investigations of ventil electro-energy converters (VECs) as a main means of PSs are established.

Состояние вопроса и постановка задачи. Общий прогресс науки и техники активизировал и развитие средств электропитания [1..44]. Без них, как известно, немислима работа ни одного объекта, в том числе РЭА, ЭВА и др. В последнее время в данной сложной области техники появилось много новых идей, огромное разнообразие схемно-технических решений, технологий, конструкций, изделий элементной базы (ЭБ). Последняя применительно к решению острейших проблем преобразовательной техники специально создается в отдельно выделившейся отрасли – электронной технике. Мощный импульс развитию ИП придала новая, бурно прогрессирующая область энергетической электроники – импульсно-высокочастотная. Стимулом для разработчиков и заказчиков является здесь снижение массы и габаритов за счет повышения частоты преобразования, внедрения новейших технологий, конструкций, принципов монтажа. За короткое время (около 20 лет) частотный диапазон вырос очень резко для энергетики – от единиц кГц до десятков МГц, а крупногабаритный монтаж сменяется гибридно-интегральным, тонко- и толсто пленочным, с бескорпусной ЭБ, с использованием эффективных принципов конструктивно-функциональной, физико-технологической интеграции (ИСИ) и структурно-режимной, схемно-функциональной, технологической, алгоритмической, топологической и прочей избыточности (СФКИ). Количество базовых схем выпрямителей, как и инверторов (выпрямителей "наоборот") насчитывается сегодня сотни. И число их продолжает быстро расти.

В итоге назрела острая необходимость определенной оценки и систематизации создавшегося арсенала технических решений в данной области техники с целью способствовать большей определенности и ориентации разработчиков и исследователей, стимулировать их деятельность и творчество. Так как, кроме того, на фоне указанных новых направлений у определенного контингента начало формироваться одностороннее и, значит, неправильное представление, важно также показать актуальность проблем создания и исследований ВП ЭЭ – выпрямителей, частотных умножителей, магнитоуправляемых устройств и пр., установить практическую их значимость в будущем.

Основные современные принципы построения ИП, их достоинства и недостатки. Многолетнее изучение и систематическая оценка большого объема результатов теоретических и экспериментальных исследований и практических разработок, выполненные автором по отечественным и зарубежным публикациям, позволяют выделить основные принципы построения современных ИП, систематизировать по принятым признакам. Одни из принципов и схем общепризнанны, причем не только в идейно-структурном, но (что важнее) и в терминологическом отношении. Другие пока не обрели ни четких названий, ни конкурентной значимости.

Однако все они в соответствии с общим принципом плюрализма имеют право на существование и самостоятельность, уже обусловив разработку соответствующих критериев и классификаций [3, 18, 28, 29, 34]. Вместе с тем они

устанавливают **новые** задачи по объективному выявлению соответствующих областей наилучшего (оптимально выгодного) практического применения. Последнее достижимо лишь при должном активном привлечении специалистов высокой квалификации. В СССР, однако, в них острый **дефицит**, поскольку из всех промышленно развитых стран, только в нашей **НЕ** готовят специалистов по ИП. **Нет** и ни одного специализированного учреждения по ИП, централизованного (Всесоюзного) координационного органа, подкомитета, консорциума и пр., что в итоге существенно **тормозит** становление и развитие данной важной отрасли, **создание новых** и **исследование известных структур ИП**.

Из всего многообразия структур ИП сегодня выделяют в основном две: с трансформаторным (**ТИП**) и **бес**трансформаторным (**БИП**) входом (рис. 1 и 2 при дополнительных структурах в [3, 15, 24, 32, 34, 35]). Причем БИП именуют также импульсными или ключевыми, так как они обязательно содержат ВЧ-преобразователь постоянного напряжения в переменное – инвертер (И) или "силовой ключ". ТИП тоже может иметь импульсный регулирующий элемент (РЭ), в частности импульсный стабилизатор напряжения (тока) (ИСН, ИСТ), который устанавливается на выходе или/и входе (т.е. в цепи постоянного либо переменного тока), но такой РЭ работает на ином принципе, чем инвертер. Классификация и обзор стабилизаторов и инвертеров даны в [3, 36].

Учитывая, что РЭА, ЭВА и другие потребители нуждаются преимущественно в энергии постоянного тока, причем как на земле, так и в других средах, в частности имея в виду, что около **40%** ЭЭ¹, вырабатываемой наземными станциями СССР, преобразуется в энергию постоянного тока (в 1990 г. это составит примерно 760 млрд. кВт·ч), следует признать **выпрямление основной функцией большинства ИП**. Другие функции – стабилизация, измерение, управление, защита, коммутация (СИУЗК) – являются фактически вспомогательными. Выпрямители (В) с трансформаторами (Тр), фильтрами (Ф), иногда с магнитными усилителями (МУ) или дросселями насыщения (ДН) (в составе управляемых преобразовательных элементов (УПЭ) ВП) доминируют в ИП, причем не только по функциональному, но и по массогабаритным (МГП), а часто и по стоимостным (МГСП) показателям. В связи с этим **улучшение надежности, режимно-энергетических (РЭП) и МГС показателей ВП – чрезвычайная проблема. Без выпрямителя нет** источника питания.

¹ На алюминиевых заводах – около **90%**.

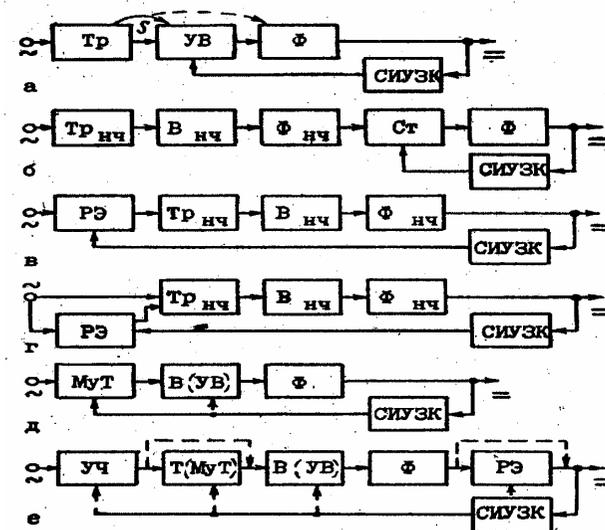


Рис. 1. Трансформаторные источники питания *
(УВ – управляемый выпрямитель, МуТ – магнитоуправляемый Тр; Ст – стабилизатор)

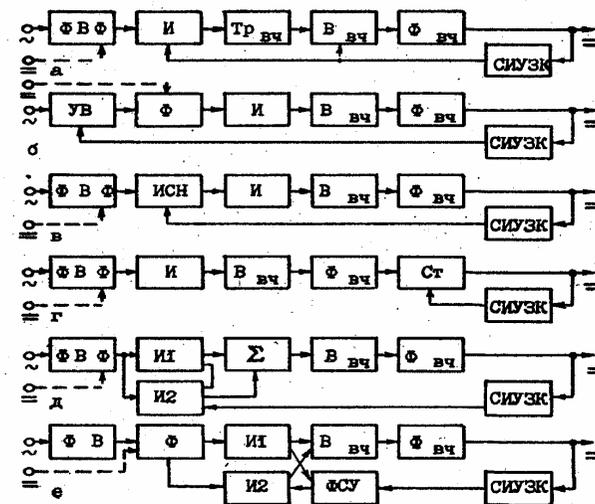


Рис. 2. Бестрансформаторные источники питания *
(ФВФ – фильтр, выпрямитель, фильтр; ФСУ – фазосдвигающее устройство)

* – аналогичны структуры ИП по типу «-/~» (=~/) и «~/=/~», которые получаются из указанных как частные

В БИП выделяется семейство источников с преобразованием "постоянно-го в постоянное" (по типу $\approx/\approx/\approx$). Называют их конвертерами, а в последнее время на английский манер – "чопперами" [33]. Следуя Прайнсу (*David C. Prince//GER, 31. 7. 34*), целесообразно называть их *транссервертами (transverters)*². По структуре (см. пунктир на рис. 2) они мало чем отличаются от БИП с первичным питанием от генератора переменного тока (т.е. от ИП по типу $\approx/\approx/\approx$), но по решаемым проблемам и МГСП различие порой существенное. Однако в том и другом случае выпрямитель и инвертер обязательны.

По электрической доминанте потребителя различают источники (стабилизаторы) тока, напряжения, мощности. Многоканальные ИП (**МИП**) выполняются централизованными (**ЦИП**), децентрализованными (**ДИП**), смешанными (с частичной ДЦ – **ЧДИП**). Классификация ИП по ряду других критериев дана в [18].

Инвертеры БИП могут формировать в основном два принципиально различных по форме напряжения – прямоугольное и синусоидальное. Известно много промежуточных модификаций – по фронтам импульсов, скважности, числу ступенек, их форме и т.д. Но ввиду плавности (отсутствия точек разрыва и, значит, скачков производной) синусоидальная форма – единственно наилучшая из всех реально существующих при учете такого свойства как инерционность электромагнитных, электронных, полупроводниковых, кюитероновых и т.п. элементов. Именно они определяют потери энергии, тепла, и именно на преодоление связанных с этим проблем направлены главные усилия ученых и инженеров.

Синусоидальную форму в инвертерах (не *инфранизкочастотных*, **ИНЧ**) получают в настоящее время только резонансным способом. И хотя возможны иные принципы, только резонансные ИП (**РИП**) реализуют сегодня при $f_{\text{рп}}$ 300..500 кГц. В мегагерцовом диапазоне в качестве элементов резонансного контура используют, в частности, параметры низкоомных МОП-транзисторов синхронных выпрямителей или инвертерного Тр (при обычных либо конденсаторных [5] обмотках) [12, 28, 29, 33, 34].

Тем самым, и в данной специфичной области реализуют ценные принципы общей идеи функционально-конструктивной **интеграции**, сочетающей также интеграцию ряда физических свойств (явлений), благодаря чему обеспечивают существенное улучшение МГСП, экономию энергии, материалов, затрат [2, 3, 5..12, 18, 26..34].

При этом функцию управления (стабилизации) выходных параметров БИП осуществляют в различных частотных диапазонах посредством амплитудно-, частотно-, широтно-импульсной (АИМ, ЧИМ, ШИМ) или частотной (ЧМ) модуляции выходных сигналов инвертера, а многоканальные ИП (системы) при любой структуре отдельного канала выполняют также микропро-

цессорно (МП) управляемыми (диагностируемыми, программируемыми, адаптируемыми). Хотя такая классификация уже достаточно четко сформировалась [18], ИП с ИМ, ЧМ и с МП-управлением не изучены в полной мере, тем более систематизированно не описаны. В последнее время появились профессионально хорошие работы по инвертерам [34,36], но положение с добротными книгами по выпрямителям просто кризисное.

К числу недостаточно изученных и освоенных относятся и **магнитоуправляемые** ИП (**МуИП**). Ядром таких ИП являются магнитоуправляемые устройства, например Тр (**МуТ**), рис.1, д. Идеология МуИП полезна [5, 6, 18] и применима в любых ИП – ТИП, БИП, РИП и др.

Для ИП с входным НЧ напряжением (в частности, для так называемых сетевых ИП) важен также способ построения с предварительным умножением частоты – ИП с УЧ или **УЧИП**, рис. 1, е, а также с предварительной стабилизацией этого переменного напряжения (**ПСИП**). Принцип частотного умножения в целом схож с идеей преобразования частоты в БИП (рис. 2), но существенно отличен тем, что повышение частоты в УЧИП осуществляют лишь в единицы раз (что в определенных случаях достаточно), а синусоидальность выходного сигнала обеспечивают непосредственно с помощью электромагнитных устройств (ЭМУ), в том числе управляемых. То есть без дополнительных силовых ключей и резонансных контуров, как в БИП, при обусловленных этим преимуществах. В сочетании же с идеей резонанса принцип УЧ на ЭМУ открывает новые интересные возможности.

Наконец, важной разновидностью сетевых ИП, фактически образующих самостоятельное направление при компромиссном сочетании достоинств БИП и ТИП и соответствующей компенсации определенных их недостатков, являются источники питания, содержащие на входе НЧ выпрямителя согласующие или компенсирующие устройства, например автотрансформаторы (**АТ**).

Наряду с вышерассмотренными автотрансформаторные ИП (**АИП** [18]) тоже введены в новый систематизированный Перечень ИП, вариант которого по типу книжного оглавления дан в приложении. Среди прочих он оказался лучшим.

Указанные АИП свободны от ряда существенных недостатков БИП, в литературе обычно не отмечаемых и потому остающихся без должной критической оценки. Эти недостатки обусловлены, в частности, существующей однотипностью питающих сетей (первичных генераторов), жесткими, вследствие этого, ограничениями возможностей разработчиков по выбору компонентов ЭБ (как правило, отсутствующих), лимитом базовых схем входных каскадов (НЧ фильтра и выпрямителя, а также последующего инвертера), потреблением реактивной мощности (РМ) из сети, создаваемыми помехами (искажениями) вследствие ключевого принципа работы НЧ выпрямителя и наличия фильтра на его выходе, импульсного действия ВЧ инвертера, нарушением резонанса дестабилизирующими факторами и т.д.

² **Лекоргий Ж.** Управляемые электрические вентили и их применение. – М.: Энергия, 1971, с. 413, 492 (2.8.78, 28.6.97)*. P.S. Найти данный термин в публикациях Прайнса, однако, автору не удалось.

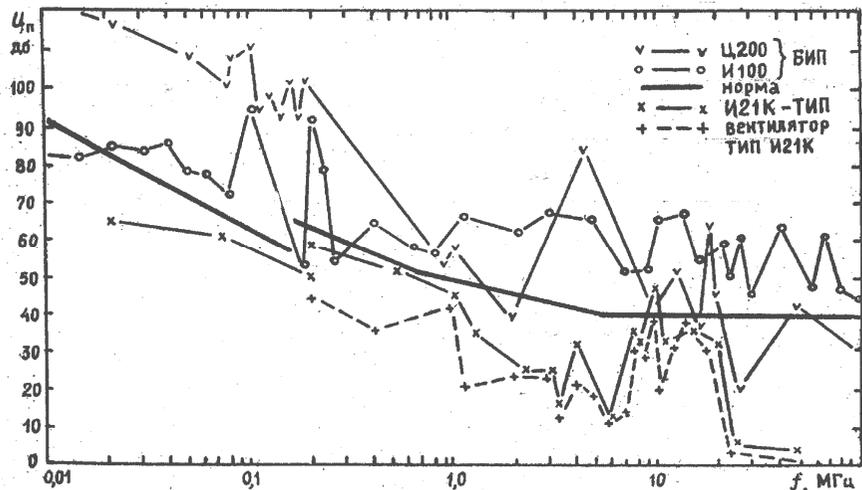


Рис.3. Результаты дискретных измерений уровня U_n кондуктивных помех бес-трансформаторных и трансформаторных источников питания в нормативном диапазоне частот

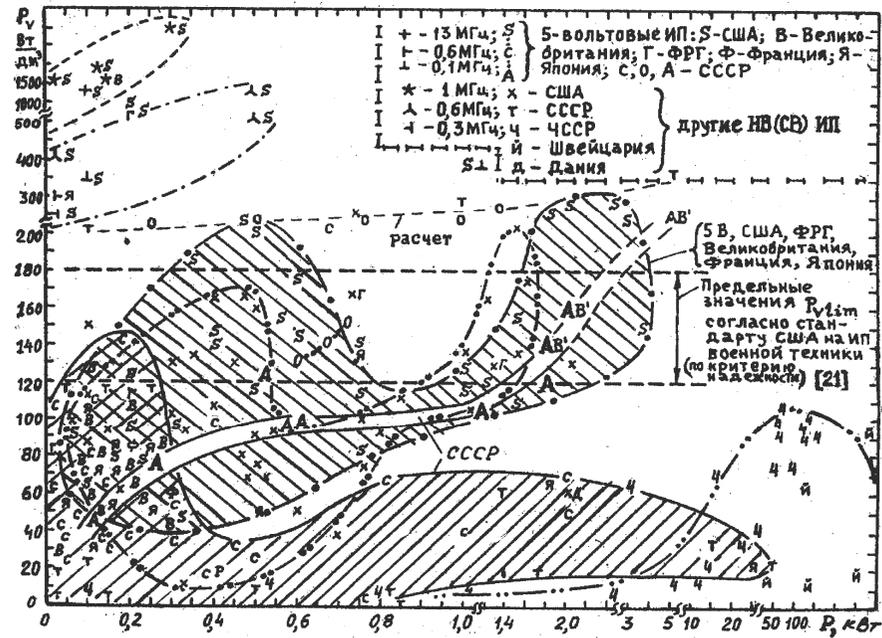


Рис.4. Удельные показатели P_v ($Вт/дм^3$) источников электропитания разных стран в зависимости от выходной мощности P (кВт) (области значений с буквой А и (частично) с буквами Ч, й – трансформаторные ИП, остальные – БИП и РИП)

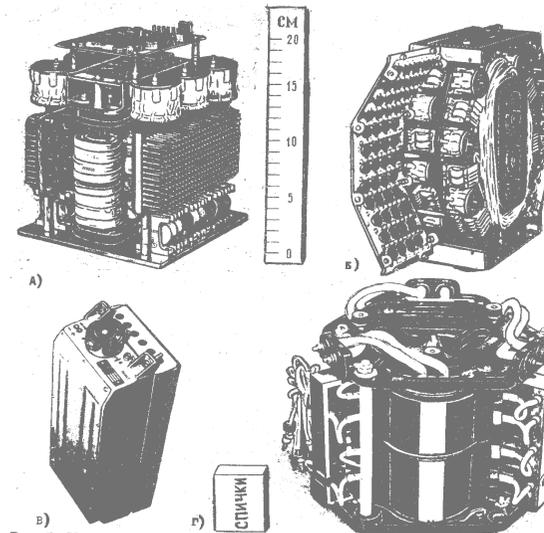


Рис.5. Низковольтные (А, Б, В; макетные образцы на 5,2 В, 100А, 350А, 200А на 6-стержневых сердечниках с петлевыми ярами [8,42]) и высоковольтный (Г; многоканальный на 3-стержневом сердечнике с преимущественно треугольными ярами [8,18]) трансформаторные источники электропитания предприятия «А».

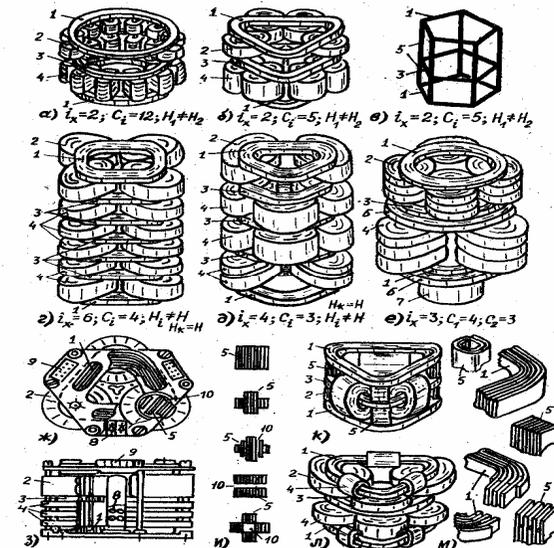


Рис.6. Многоярусные ЭМА на пространственных магнитопроводах при различных числах ярусов i_x , стержней c_i , их высот h_i [8,18,42]: 1 – основные яра, 2, 4 – катушки обмоток, 3 – промежуточные яра, 5 – стержни, 6 – немагнитные элементы, 7 – вентилятор, 8 – элементы ВП, 9 – разъемы, 10 – каналы охлаждения

Допуская значение РМ БИП равным, например, 10% от потребляемой мощности, можно ориентировочно оценить расчетный ущерб на примере таких "безобидных" потребителей, как бытовые телевизоры (ТВ). Потребляемые ими мощности при ориентировочном парке в 100 млн. шт. со средней единичной мощностью 100-200 Вт составляет примерно 20 млн. кВт. Это соответствует суточному потреблению ЭЭ около 60 млн. кВт·ч или ≈ 22 млрд. кВт·ч в год. Учитывая также, что 1 кВт (кВАр) РМ соответствует годовым потерям примерно 400 кВт·ч, получаем для искомого ущерба от БИП ТВ величину потерь 0,8 млрд. кВт·ч, что составляет около трети выработки энергии крупной ГЭС.

Можно предположить, что ущерб более ощутим в энергетике подвижных объектов ввиду их массовости и соизмеримости мощностей генераторов и нагрузок. Это, как отмечается, в частности, в [12] при оценке ИП военной техники, сказывается на её тактико-технических характеристиках. Ухудшение их существеннее частных эффектов отдельных её устройств.

Несмотря на условность, приведенный расчётный пример нагляден. Локально достижимые эффекты по МГП БИП, столь активно рекламируемые, в действительности не полностью отражают реальное состояние (односторонни), вероятно, характеризую преимущественно частные интересы (ведомств, фирм, отдельных лиц). Следовательно, при системном, т.е. объективном, истинном и, значит, государственном подходе, односторонне заинтересованные оценки критикуемы. К ним следует относиться осторожнее, особенно неспециалистам (менеджерам, администраторам и пр.), определяющим финансирование.

Между тем, в схемах ТИП и АИП возможно введение "опережающих" углов открытия УПЭ входных выпрямителей и поэтому не только снижение, но даже генерирование РМ обратно в сеть. Это достигается, в частности, путём введения соответствующих алгоритмов управления – на закрытие при однопозиционном либо шимируемое закрытие-открытие при двухпозиционном управлении УПЭ [7, 18].

При разработках ИП РЭА и ЭВА указанные и подобные им особенности, **не** учитываются сегодня в должной мере, что приводит в целом к нежелательным последствиям.

К недостаткам БИП относят также схемно-техническую, конструктивно-технологическую усложнённость, пониженную надёжность и серийнопригодность, большой уровень создаваемых разнообразных помех, плохую электромагнитную совместимость (ЭМС). Последнее на примере разработок предприятий (для удобства сокращенно обозначаемых буквами "А" и "Л", табл. III) иллюстрируют по кондуктивным помехам кривые на рис. 3. Трансформаторный 21-канальный централизованный ИП И21К (рис.1, а, б) по уровню помех соответствует нормам. Бестрансформаторные 200-амперный (Ц200) и 100-килогерцовый (И100) ИП по ЭМС забракованы. Причем специальных мер по ЭМС в ТИП И21К не вводилось, в то время как в БИП Ц200 и И100 они предусмотрены.

Различные ТИП, разработанные на предприятии "А" по десяткам заказов, серийно внедрены и успешно эксплуатируются в ответственных подвижных объектах. Благодаря использованию принципов ИСИ и СФКИ такие ТИП на сердечниках из супермендюра 49КФ с повышенной индукцией (2,1 Т [39]),

в том числе на многоярусных ЭМА (рис.6 [42]), с обмотками из облегченной фольги (с повышенной электропроводностью или, при соответствующих условиях, из сверхпроводящего материала [8]) имеют сравнительно приемлемые МГП, что видно из рис. 4, 5, а, б и табл. III, в которых соответствующие данные условно выделены буквой "А".

Такие ТИП, как подтверждено эксплуатацией, надёжны, удовлетворяют всем предъявляемым к ним требованиям, в том числе по нормам помех, дешевле, чем БИП, ввиду отсутствия остродефицитных и дорогостоящих компонентов и технологии. Из той же табл. III видно, что и по **P_v** подобные ТИП **не** хуже бестрансформаторных ИП при аналогичных выходных параметрах и времени разработки, но созданных однако для более легких условий (см., например, БИП 5 В × 200 А, 70 кГц, 130 Вт/ дм³, 1981г, табл. III, фирма АСДС, США [12]).

Учёт фактора радиопомех особенно важен для чувствительных средств РЭА подвижных объектов [28-30]. Специфические условия их работы резко усиливают преимущества ТИП и соответственно недостатки БИП. К таким условиям относят: большие перегрузки, низкое давление и его перепады, широкий диапазон температур, разнообразные воздействия, в том числе вибрации, удары, радиация, повышенная влага или, напротив, сухость и пр.; лимит номенклатуры и дефицит допускаемых и имеющихся в наличии компонентов ЭБ, необходимость учёта частот и принципов действия РЭА, в частности, РЛС, и др. [12, 21, 24, 26, 28..30].

Упомянутый в [30] намечаемый переход с 40 на 600 кГц в БИП истребителя FA-18 может ухудшить электромагнитную обстановку, потребует решения серьёзных проблем по трудно предсказуемым последствиям. Однако перевод источников питания в мегагерцовый диапазон (десятки МГц [29, 33] и выше), безусловно, привлекателен. Трудности при этом, в силу энергетической природы ИП, огромны. Потребуется консолидация специалистов ряда отраслей и стран. Но затраты окупятся и со временем дадут существенную пользу и прибыль.

В заключение следует подчеркнуть также следующее. Сегодня общепризнано, что по ряду главных критериев (качество преобразования ЭЭ и др.) наиболее прогрессивны в схемно-техническом отношении **многофазные** ИП, причём, любые из них – ТИП, БИП, РИП и пр. [2-4, 15, 18, 22, 29, 36]. Наиболее просто реализуемы **двухфазные** преобразователи, т.е. с **ортогонально** (на 90 эл. град.) фазосдвинутыми ЭДС. В данном случае "ортогональные" ВП, предназначенные для ТИП (**О-схемы** [7, 18]), приобретают к уже имеющемуся большое дополнительное "жизненное пространство" – в **РИП**.

Однако, наряду с обычными условиями работы – с относительно низкочастотными авиационными, тракторными и пр. генераторами, двухфазными генераторами систем регулирования сыпучих материалов, различными электродвигателями (шаговыми, бесщёточными, вентильными, позиционными и др.), в составе декадных ИНЧ и НЧ генераторов, в асинхронных высокоскоростных генераторах двухфазного тока, в бесщёточных системах возбуждения синхронных машин с гармоническими возбудителями, в устройствах рентгенотехники, измерительной и электротехники и пр. – **применение О-схем** в

БИП (РИП) требует учёта новых факторов и особенностей в связи с переходом в довольно специфичные для преобразовательных схем частотные диапазоны – ВЧ и СВЧ.

В то же время практическая полезность О-схем обусловлена не только отмеченной возможностью эффективного использования в качестве ВЧ выпрямителей, но также (в силу схемной простоты и обратимости) и выпрямителей "наоборот". Впрочем для инверторов более эффективны и схемы с повышенным числом фаз или кратности П частоты пульсации [7, 18, 34, 36, 38, 41]. Перспективность применения таких схем обусловлена не только ценными их достоинствами, особенно заметными при более высокой мощности нагрузки (в частности, автоматическим делением тока нагрузки между преобразовательными элементами, использованием более слаботочных, менее мощных ПЭ, увеличением в П раз частоты выходного напряжения относительно частоты коммутации ПЭ, экономией активных материалов и др.), но и тем также, что в настоящее время в БИП (РИП) используют лишь простейшие схемы инвертеров – одно-, двухлучевые и одно-, реже трехфазные мостовые (полумостовые), обладающие соответствующими недостатками, особенно проявляющимися с ростом напряжений и токов нагрузок.

Что касается **высоковольтных** ИП, то состояние по ним аналогично вышерассмотренному по НВ ИП. Для информации можно отметить, что фактически по тем же в целом идеологиям ИСИ и СФКИ, что и в НВ ТИП, но не путём токорасщепления по параллельным структурам, а перераспределением высокого напряжения нагрузки по повышенному числу НВ модулей, соединенных **последовательно** [7, 10, 18, 27, 41], на предприятии "А" созданы серийные трансформаторные централизованные многоканальные ВВ ВП с высокими удельными и надёжностными показателями (например, рис. 5,г). При напряжениях единицы-десятки кВ, мощностях в единицы-десятки кВт значения P_v таких ВП составляют **2,3-5,5** кВт/дм³, что примерно на порядок **лучше** показателей известных отечественных и зарубежных аналогов (например, [24, 38]).

Таким образом, с учётом происходящего сегодня революционного развития ИП **многофазные выпрямители** синусоидальных и иной формы ЭДС (токов) – как "прямые", так и "обратные" – **приобретают на новом витке эволюции ИП мощный ускоряющий импульс**. Практическая их значимость резко возрастает. **Возникает масса самых различных, новых актуальных проблем и задач, требующих неотложных решений, действительно высоконаучных исследований и грамотных инженерных реализаций базовых схем ВП различных классов, групп, подгрупп, видов** [7..11, 18]. Этим устанавливаются **перспективы, новые направления и огромные объёмы выполнения будущих работ** в данной сложной и вместе с тем довольно запущенной в нашей стране области науки и техники, **необходимость активизации усилий специалистов, реального решения проблемы кадров, существенного расширения финансирования, создания действующего Координационного органа, совместных предприятий с зарубежными фирмами** и т.д.

ВЫВОДЫ

1. Источники электропитания имеют определяющее значение для любых потребителей энергии в связи с неработоспособностью их без ИП.

При этом **доминируют** вентильные преобразователи переменного напряжения в постоянное, что обусловлено, в частности, необходимостью преобразования в постоянный ток около 760 млрд. кВт·ч наземной электроэнергии переменного тока по плану СССР в 1990 г., а также соответствующего количества ЭЭ подвижных объектов.

2. Возникающее при преобразовании ухудшение качества энергии наносит ощутимый **ущерб**, составляющий по данным Комиссии ГКНТ свыше 3 млрд. руб. в год по нашей стране, в связи с чем, в частности, на VIII Международной конференции по электроэнергетике (PSCC, 19-24 августа 1984 г., Хельсинки) **«качество ЭЭ признано даже более важным, чем количество»**.

3. Данные проблемы ещё более остры в энергетике подвижных объектов ввиду их массовости, исключительной ответственности, постоянной необходимости оперативной готовности и действия, соизмеримости мощностей первичных источников и нагрузок.

4. Актуальность проблем обусловлена также: **значительной** (от **20** до **80%** [6, 15, 23, 25, 32, 35, 37]) **долей ИП** по массе и объёму и **существенными** (до **30-50%** [32]) **потерями мощности** относительно питаемой аппаратуры (РЭА, ЭВА и пр.), **доминированием** (до **80-90%** [37]) ВП в СЭП ЭВА и других объектов, а также большим **объёмом рынка спроса и сбыта ИП**, исчисляемого только по США и только по сравнительно маломощным ИП в сумме около 10 млрд. дол. в 1990 г. при преимуществе ИП (**свыше 70%**) с преобразованием переменного тока в постоянный [12].

5. Все это привело к возникновению ряда острейших проблем и появлению огромного арсенала технических решений по ИП, что, в свою очередь, **потребовало их систематизацию и оценку уровня разработок разных стран.**

6. Проведенная в статье оценка отечественных и зарубежных ИП показывает, с одной стороны, заметное отставание отечественных разработок относительно лучших мировых достижений по **бестрансформаторным ИП**, а с другой, **убеждает в жизнеспособности и сохранении перспективы идеологии трансформаторных ИП**, разрабатываемых на основе предложенных автором **новых технических решений, принципов интеграции, естественной избыточности и эффективного применения новейшей элементной базы.**

7. Представленный в работе обобщенный вариант систематизации ИП в определенной мере **упорядочивает** существующее многообразие их **базовых решений**, характеризует **приоритетную их значимость** и огромный **объём** необходимых для выполнения **работ** и одновременно прогнозирует переход в ближайшие годы из НЧ- в ВЧ- и СВЧ-диапазоны в семействе резонансных ИП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **IEEE** Trans. Ind. Gen. Appl., 1967, v. IGA-3, Mar.-Apr., p. 176.
2. **Репин А. М.** О некоторых особенностях работы *m*-фазных выпрямителей: Докл. на научн.-техн. семинаре "ВИП электронной аппаратуры". – М., МДНТП, 8 мая 1969.
3. **Стабилизаторы** низких и милливольтовых напряжений/**И.И. Белопольский, А.М. Репин, А.С. Христианов.** – М.: Энергия, 1974.
4. **Жежеленко И.В.** Показатели качества электроэнергии.–М. : Энергия, 1977.
5. **А.С.** 763868, 877631, 877632, 907731, 943873, 949725, 951427, 955444 (СССР). Магнитоуправляемые устройства/**Л.В. Кардаков, А.М. Репин, С.А. Сазонов, С.Е. Солдатов.** - Заявл. 06.03.78-29.12.80; Оpubл. в Б.И., 1980-82; МКИ H01F 21/08//29/14.
6. **Задерей Г.П.** Многофункциональные магнитные радиокомпоненты. – М.: Сов. радио, 1980, 1989.
7. **А.С.** 917280, 917281, 928569, 959237, 1018187, 1035755, 1053240, 1056398, 1070669, 1070670, 1072218, 1086524, 1112513, 1156218, 1156219, 1157633, 1228199..1228202, 1265948, 1272426, 1282291, 1282292, 1288861, 1288862, 13009215, 1314424, 317608, 1319198, 1319202, 1319204, 1319205, 1334318, 1334319, 1336179, 1336180, 1345298, 1347133, 1347134, 1347135, 1350789, 1356154, 1358053, 1370706, 1374377, 1376197, 1487139, 1487140, 1494179, 1495956, 1501232 (СССР)/**А.М. Репин.** – Заявл. 11.06.80-30.09.87; Оpubл. в Б.И., 1982-89; МКИ H02M7/06-12/155/162/17.
8. **А.С.** 1228203 (СССР). Электромагнитный аппарат А.М. Репина/**А.М. Репин.** – Заявл. 16.08.82; Оpubл. в Б.И., 1986, № 16; МКИ H01F27/28.
9. **А.С.** 1095332 (СССР). Многолучевой стабилизированный источник постоянного напряжения/**А.М. Репин.** – Заявл. 02.08.82; Оpubл. в Б.И., 1984, № 20; МКИ H02M7/12.
10. **А.С.** 1356153 (СССР). Источник электроснабжения А.М. Репина/**А.М. Репин** – Заявл. 29.04.83; Оpubл. в Б.И., 1987, № 44; МКИ H02M7/12
11. **А.С.** 1317606 (СССР). Высоковольтный преобразователь напряжения/**А.М. Репин, Ф.Ф. Волков, Н.Л. Козель, А.Н. Сёмочкин.** – Заявл. 03.10.83; Оpubл. в Б.И., 1987, № 22; МКИ H02M7/12.
12. Электроника/Пер. с англ., 1981, № 12, с.111; 1985, № 5, с.99, 120, № 16, с.118, № 19, с.47, № 37, с.92; 1986, № 2, с.104; 1987, № 10, с.36.45, № 23, с.60; 1988, № 1, с.75, № 2, с.67, № 19, с. 69, № 22, с.103, № 24, с.95,100,103.
13. **Техника** средств связи. Сер. ТРС, 1982, № 9, с.88; Сер. СВЭП, 1986, № 1, с.30; 1987, № 1, с.12,20,50; Сер. РИТ, 1988, № 8, с.80.
14. **Мотовилов Н.И.** Бестрансформаторные источники питания: Обзор //Зарубежная радиоэлектроника. – 1983, № 1, с.62..64.
15. **Источники** вторичного электропитания/Под ред. **Ю.И. Конева.** – М.: Радио и связь, 1983, с.182.
16. **EDN**, 1984, v. 29, № 21, p.165; 1985, v. 30, № 7, p.103, № 19, p.63; 1988, v. 33, № 4, p. 174, № 9, p. 145, 269, № 10, p. 290, 307.
17. **Electronic** Engineering Times, 1984, v. 16, № 282, p. 58, № 290, p. 16.
18. **Репин А.М.** Новые базовые технические решения и классификация вентиляльных преобразователей энергии. //Вопросы радиоэлектроники (ВРЭ). Сер. Общие вопросы радиоэлектроники (ОВР) – 1985. – Вып. 6, с. 65-82.
19. **Electronic** Industry, 1985, v.11, № 7, p. 41, 51.

20. **Информ.** листки № 85-1047, 85-1253, 85-2012, 86-0340, 87-1725, 87-1782, 87-1864, 88-0621, 88-0867, 88-1297, 88-1603. – М., ВИМИ, 1985-88.
21. **Defens** Electronics, 1985, v. 17, № 4, p. 145; 1986, v. 18, № 2, p. 87.
22. **Pat.** 4695933 (США). Multiphase DC-DC resonant converter/**V.M. Nguyen, P.J. Dhyanchand.** – Заявл. 11.02.85; Оpubл. 22.09.87; НКИ 363/17.
23. **Зарубежная** электронная техника, 1986, № 2, с. 3-31, № 11, с. 3-26.
24. **Костиков В.Г., Никитин И.Е.** Источники электропитания высокого напряжения РЭА. – М.: Радио и связь, 1986, с. 9, 164-167.
25. **Низковольтные** сильноточные ИВЭП РЭА/**В.И. Орехов** и др. – М.: Радио и связь, 1986, с. 4, 99.
26. **IEEE** INTELEC'86. – N.Y., 1986, p. 25, 80, 607.
27. **Репин А.М.** Экономичные ВВ преобразователи электроэнергии// Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. - 1987. № 2, с. 78-91.
28. **IEEE** PESC'87 Record. – N. Y., 1987, p. 395.
29. **IEEE** APEC'88. – N.Y., 1988, p. 12.
30. **Design** News, 1988, v. 44, № 13, p. 79, № 23, p. 37.
31. **Репин А.М.** Выбор направления разработок и исследований сильноточных низковольтных стабилизированных источников электропитания: Докл. на секции НТС № 5 /НИИРадиостроения. – М., 16 марта 1988.
32. **Высокочастотные** транзисторные преобразователи/**Э.М. Ромаи** и др. – М.: Радио и связь, 1988, с. 3, 7, 16..20.
33. **Proc.** IEEE, 1988, v. 75, № 4, p. 320, 327, 373, 385, 389.
34. **Северис Р., Блум Г.** Импульсные преобразователи СВЭП: Пер. с англ. /Под ред. **Л.Е. Смольникова.** – М.: Энергоатомиздат, 1988, с. 5-10.
35. **ИВЭП** с бестрансформаторным входом/**А.А. Бас** и др. – М.: Радио и связь, 1987, с. 6, 9, 149, 154, 155.
36. **Моин В.С.** Стабилизированные транзисторные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
37. **Транзисторные** ИЭП с бестрансформаторным входом/**Ю.И. Драбович** и др. - Киев: Наукова думка, 1984, с. 10-19, 135, 139.
38. **Славик И.** Конструирование силовых полупроводниковых преобразователей: Пер. с чешск. – М.: Энергоатомиздат, 1989, с. 14-17, 204-215.
39. **Бессонов Л.А.** Нелинейные электрические цепи. –М.: Высшая школа, 1977, с. 61.
40. **Репин А.М.** Результаты анализа и синтеза вентиляльных схем//Вопр. радиоэлектрон. Сер. Общ. вопр. радиоэлектрон. – 1983. Вып. 8, с. 63.
41. **Repin A.M.** Economical high-voltage electrical-energy converters// Power Engineering (USA), 1988, v. 25, № 2, p. 77-88.
42. **Репин А.М.** Многоярусный ЭМА. – А.С. по заявке на изобретение № 4433811 (СССР); Заявл. 31.05.87; МКИ H01F.
43. **Электротехнический** справочник: Использование электроэнергии. Раздел 60: Источники вторичного электропитания. – М.: Энергоатомиздат, 1988, Т.3. Кн. 2, с. 490-492.
44. **Электротехника**//РЖ, Сер.21Ю. – 1989. № 4, с. 17.

Статья поступила в ноябре 1988 г.

Приложение

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Классификация ИП по признаку "напряжение" (НВ, СВ, ВВ ИП) и по другим признакам и критериям дана в [18]. Ниже перечислены технические решения по признаку "наличие – отсутствие входного Тр" (ТИП, БИП) с учётом используемых в них схем выпрямителей и инвертеров (*лучевые, кольцевые, мостовые* и др.), принципов, способов и средств управления (регулирования, стабилизации), частоты преобразования (НЧ, СЧ, ВЧ, СВЧ, УВЧ), форм переменных (токов, напряжений), диапазонов и поддиапазонов тока и мощности нагрузки и т.д.

При этом ТИП рассмотрены более подробно на примере **лучевых** низковольтных схем, а БИП – схем с **НЧ инвертерами**. Содержание "параграфов" множества остальных групп, подгрупп, видов, подвидов, типов, семейств и родов ИП аналогично. С целью существенного сокращения объема оно для них не детализируется без ущерба для понимания при одновременном создании достаточно общего представления.

Соответствующие структуры ИП, классификации и схемы отдельных устройств, формы переменных и виды импульсной модуляции в БИП, а также различные топологии РИП (резонансных И), их классификацию и пр. можно найти в [3, 6, 18, 29, 31, 34, 36, 37]. Ниже они обобщены.

А. Трансформаторные ИП (ТИП).

АН. Низковольтные (НВ, доли вольта–десятки вольт) ТИП.

АНк. Классификация и структуры построения НВ ТИП для поддиапазонов *инфранизких* (ИНН, до 1 В), *низких* (НН, 1–20 В) и *ультранизких* (УНН, 20–60 В) напряжений с учётом градаций *инфраслабых* (ИСТ, до 1 мА), *слабых* или *малых* (МТ, до 1 А), *средних* или *нейтральных* (НТ, единицы А), *повышенных* (ПТ, десятки А), *больших* или *сильных* (СТ, сотни А) и *ультрасильных* (УТ, свыше 1 кА) **токов**, в поддиапазонах *микро* (МКМ, до 1 Вт), *мини* (МНМ, единицы Вт), *малой* (ММ, до 100 Вт), *средней* (СМ, до 1 кВт), *повышенной* (ПМ, до 10 кВт), *большой* (БМ, десятки кВт), *сверх-* (СБМ, сотни кВт) и *ультрабольшой* (УБМ, свыше 1 МВт) **мощности нагрузок**.

АНЛ. ТИП на основе лучевых ВП (ЛВП).

АНЛ1. Классификация и блок-схемы ЛВП.

АНЛ2-10. Базовые принципиальные схемы неуправляемых ЛВП различных видов, **принципы действия**, инженерные **методики проектирования**.

АНЛ11-20. Базовые принципиальные схемы управляемых ЛВП (тиристорные (Тир), транзисторные (Трз), герсиконовые (Гк), с импульсными (ключевыми), линейными РЭ (стабилизаторами), управляемые по цепям постоянного, переменного тока, одно-, двух-, трехконтурные, комбинированные).

АНЛ21-25. Базовые схемы управляемых ЛВП на МУ (стабилизированные, регулируемые, управляемые по цепям переменного или/и постоянного тока, при питании от одно-, двух-, трехфазных сетей, комбинированные).

АНЛ26-30. Магнитоуправляемые ТИП с ЛВП (МуЛИП) (с параллельным, ортогональным и другими полями управления, с внутренним регулированием, с балластными РЭ, с несимметричным управлением, с индуконами, трансконами, умножителями (делителями) частоты, параметрические и пр.).

АНЛ31-40. ТИП с предварительным частотным умножением (УЧИП) (принципы умножения, структуры, схемно-технические решения, конструктивные исполнения, принципы действия, эффекты преобразователей частоты, материалы, их свойства, схемы и особенности работы выпрямителей).

АНЛ41-50. ТИП с предварительной стабилизацией переменного напряжения (структуры, принципы стабилизации, схемно-технические решения, принципы действия и особенности работы в составе ТИП с **лучевыми** ВП).

АНК. ТИП на основе кольцевых ВП (КВП).

АНК1-30. Аналогично АНЛ1-50.

АНV. ТИП на основе V-схем ВП (VВП). АНV1-20. Аналогично АНЛ.

АНО. ТИП на основе O-схем ВП (ОВП). АНО1-20. Аналогично АНЛ.

АНКб. ТИП на основе комбинированных ВП. Аналогично АНЛ.

АС. Средневольтные (СВ, 60-300 В) ТИП. Аналогично НВ ТИП с учётом различных подгрупп, видов, подвидов **базовых** схем **СВ ВП** [18].

АВ. Высоковольтные (ВВ, свыше 300 В) ТИП. Аналогично НВ ТИП для различных подгрупп, видов, подвидов **ВВ ВП** [18,27] в поддиапазонах **повышенных** (ПН, 0,3-1 кВ), **высоких** (ВН, 1-200 кВ), **сверх-** (СВН, 0,2-1 МВ) и **ультравысоких** (УВН, свыше 1 МВ) **напряжений**.

Б. Бестрансформаторные ИП (БИП), в т.ч. резонансные (РИП).

БКс. Классификация и основные структуры БИП (РИП) при питании от первичных источников переменного и постоянного тока.

ББп. Блок-схемы БИП (РИП) с упрощёнными (фрагментарными) принципиальными схемами основных устройств (функциональных узлов) при мало- (слабо-), средне- и высоковольтных нагрузках малой, средней и большой мощности, НВ, СВ и ВВ диапазонов.

БИН. Инфранизкочастотные (ИНЧ, десятки-сотни Гц) инвертеры (И) (трансформаторные, автотрансформаторные, дроссельные, транзисторные, тиристорные, лучевые, мостовые, кольцевые и др.).

БНЧ. Низкочастотные (НЧ, десятки кГц) И (с прямоугольной, ступенчатой, трапецеидальной, квазисинусоидальной и синусоидальной (резонансные **И**) формами выходной переменной, **необратимые И**, обратимые, **нерегулируемые**, регулируемые, одно-, многоячейковые, одно-, многофазные, связанные, **несвязанные** по входу и выходу, на основе **лучевых** и одно-, многофазных **мостовых** схем, с управляемыми **бес-** трансформаторными или трансформаторными **ВЧ** выпрямителями, с вольтодобавкой, вольтовычитанием, вольторевверсом, "пирамидные", алгоритмически переключаемые (с переключением отводов и секций обмоток Тр по определенным законам управления), с дополнительным преобразованием частоты (**ПЧ**), с суммирующими, лучевыми, кольцевыми, мостовыми, многоячейковыми, многоканальными и другими выпрямителями).

БСЧ. Среднечастотные (СЧ, 100-500 кГц) нерезонансные, квазирезонансные и резонансные И. Аналогично НЧИ.

БПИ. Повышенночастотные (ПЧ, 0,5-(1-3) МГц) резонансные И. Аналогично НЧИ.

БВЧ. Высокочастотные (ВЧ, (1-3)-30 МГц) РИ. Аналогично НЧ, ПЧ И.

БСВ. *Сверхвысокочастотные* (СВЧ, свыше 30 МГц) РИ. Аналогично НЧ, ПЧ и ВЧ РИ с учётом специфики диапазона СВЧ.

Таблица П1
Параметры 5-вольтовых зарубежных и отечественных БИП (РИП) и ТИП,
 в том числе **многоканальных (МИП), с указанием значения тока I₅ 5В-канала**

Фирма / год	P _Σ Вт	P _v Вт/дм ³	I ₅ А	[Л]	Фирма / год	P _Σ Вт	P _v Вт/дм ³	I ₅ А	[Л]
Франция					Англия, 1985 г				
Coutant /80	200	83 ²	20	37	Belix	80	54 ²	6	19
/85	300	60 ²	20	19		100	66 ²	10	23
	150	54 ²	20	23	Powerdyne	125	80 ²	15	"
Голландия (Англия)					Астек				
Philips /85	200	57	20	"	Astec	150	64 ²	13	"
ФРГ					Панасоник				
BICC- /88	200	110	40	38	Panasonic	200	65 ²	12	"
Vero	200	600	20	"	Automation	50	34 ²	3	"
США					Power Systems				
Power-One /80	100	60	20	14	Power Systems	250	77 ²	15	"
/79	200	96	40	"				100 ¹	"
Inc.			28 ¹		KRP/Hitron	125	51 ²	7	"
NASA /84	300	100	60	12	Power Concepts	60	92 ²	6	"
			50 ¹		Weir	100	45 ²	10	"
Sierracin /85	400	140	80	"		200	63 ²	30	"
ACDC /81	500	120	100	"	Thorpe	50	96 ²	6	"
	1000	130	200	"		100	125 ²	10	"
Todd /85	150	82 ²	25	"	Waytronics	150	76 ²	15	"
Products /88	350	187 ²	50	"	Powerline	100	76 ²	8	"
/87	500	214	70	"		200	109 ²	20	"
			80 ¹		A.F.Bulgin	200	123 ²	20	"
Brown /84	560	155	20	"	ACDC Electronics	164	63 ²	20	"
Manufactur.			70 ¹			224	66 ²	25	"
Abbot /86	500	120 ²	100 ¹	21	/88	300	46 ²	30	14
Computer /88	250..	74 ² ..	100 ¹	12		1000	117	200	"
Products	600	177 ²			Advans	200	74	40	37
					Electr. Ltd.	300	84	60	19
Kerco /85	600	145 ²	150 ¹	16	Advans	130	62 ²	15	23
/88	300	95	70		Power Suppl	350	87 ²	50	23
	1500	105	350		Boschert	160	76 ²	22	"
Power-teck /85	1200	120	200	12		750	82 ²	100	"
			100 ¹		/88	1500	156	300	14
OPT /84	750..	115 ² ..	100 ¹	12	Япония				
Industr. /88	1200	380		23	Рамуда /74	120	31	24;20 ¹	"
Lambda /87	4000	140	500	12	Тотацу /76	150	46	30	"
Electron. /88	250	640		"	Санкен /78	50	54	10	"
Rifa /85	25	250 ²	3	"	Дэнки	150	84	30	"
Inc.			300 ¹		Фудзицу /78	1820	69	300	"
Qualidyne /88	2000	277	400	16	Дэнсо /88	750	138	40	38
CEAG /87	3000	244	600	12	Санкен /78	100	68	20	37
						150	79	30	"

Продолжение таблицы П1

Фирма / год	P _Σ Вт	P _v Вт/дм ³	I ₅ А	[Л]	Фирма / год	P _Σ Вт	P _v Вт/дм ³	I ₅ А	[Л]	
Summit Electronics /86	500..	220..	200 ¹	"	Синдиген коге /78	100	66	20	"	
	1800	270				150	50	30		
Power teck /88	3000	300	600	30		250	50	50		
			100 ¹			500	50	100		
TI Inc. /87	200	610..	40	12	ТДК /85	100	106	20	14	
		915	150 ¹					100 ¹	23	
	/88	80	1280	4	33	Фудзицу /86	25	300	5	26
								600 ¹		
	/88	50	1320	22000 ¹	29					
СССР					СССР					
НИИЭИР /87	90	45	18	20	Ер /80	450	33	90	37	
/86	125	37	25					20 ¹	32	
/88	500	37 ²			/87	2000	50..	475	13	
/85	300	54	60				70	15 ¹		
/83	400	96	80		ИЭД АН УССР /84	25	42	5;10 ¹	37	
ВИМИ /84	200	40	40	"		75	52	5;15 ¹		
/84	375	15 ⁴	150		ЛИАП /87	675	202 ³	135	13	
/87	180	150 ²	30					30 ¹		
/85	750	2,8 ²	78		/86	250	217 ³	50 ⁴	25	
Средств связи /88	14	60 ²	40 ¹	13	/86	500	230 ³	100 ⁴		
/86	40	25	8		/86	750	235 ³	150 ⁴		
/88	100	52	30 ¹		/86	1000	230 ³	200 ⁴		
/88	12	108 ²	30		Л /88	600	133..	120	Ц200	
/88	150	30 ²	7				150	20		
/82	1350	270 ³	50		А /76	104	44 ⁴	20 ⁸	луче-вые	
			25 ¹		/83	260	74 ⁴	50 ⁸	ВП	
СНИИП /87	495	25 ²	16	20	/82	520	122 ⁴	100 ⁷		
ЦООНТИ "Экос" /88	40..	36..	8	"	/84	580	96 ⁴	110 ⁷		
РРТИ /87	20..	60	2	35	/88	600	98 ⁵	30 ⁸		
	75..	70..	30 ¹		/85	1040	104 ⁴	200 ⁷		
	120	110			/86	1820	120 ⁴	350 ⁶		
МАИ /77	100	80	20 ¹	37	/84	1820	140 ⁴	350 ⁴		
					/88	2000..	160 ³	400 ⁴	Кольце-вые	
	132	45				5200	250 ³	1000		

Примечание: 1 – частота преобразования, кГц; 2 – МИП с числом каналов k = 2 ... 6; 3 – расчётное значение; 4 – ТИП, k = 1; 5 – ТИП, МИП, k = 21 (И21К); 6 – макет; 7 – опытный образец; 8 – серия

ДЖИНА



См. далее красивые формулы

Таблица П2

Основные параметры американских и советских БИП (РИП)

Фирма	P _{вых} Вт	P _v Вт/дм ³	f _{пр} кГц	[Л]	Фирма	P _{вых} Вт	P _v Вт/дм ³	f _{пр} кГц	[Л]
США					США				
LH Research	500	77	20	16	Rantec	300	131	25	16, 23
	600	51	20	23		Deltron	120	171	90
	750	80	20		500		132		
	1000	138	20		Cont.OPT Industr.	1500	227	100	"
Optimal Systems	325	10		"	Ixys	50	100	200	"
	700	37			—	25	400	600	26
National PowerTech.	470	80	20	"	Hughes	490	500	600	30
Boschert	180	63	22	"	Aircraft		1290	600	"
Power Syst.	525	69	20	"	Hightech Components	25	1520	1000	17, 23
Sierracin	500	91	22	"	Theta-J	130	1800	1000	12, 23
Qualidyne	300	47	50	"	Vicor	100	940	1000	17, 23
	500	69	20		300	3100	1000		"
	825	114	20		СССР				
Potter & Brumfield	300	103	100	"	ЦНИИ Электроника	150	5,3	5	20
Power Components	330	94	20	"	ЦООНТИ "Экос"	810	67	20	"
	450	131	20			1350	63	50*	
Ro Associat.	550	93	25	"	НИИЭИР	25..	20..	20..	"
Computer Products	800	95	20	"		140	120	200	
	1500	125	20			48860	25	1600*	
Todd Products		127	90	"		1000	300		13
	400	169	132		ВИМИ	15000	36	1000*	20
ETA Power	500	76	20	"	Средств связи	58	120	150	13
	800	95	20		ИЭД АН УССР	135	67	15	
	1000	105	20			1080	108		
	1500	127	20		РРТИ	250	120	30	35
CEI	350	135	100	"	ЦНИИКА	100	25	5	37
ACDC	750	104		"		108	219		
	1000	138			МАИ	5400	380	20	15
	1500	176							
Deltron	400	107	25	"	* - тип, вместо f _{пр} указан ток нагрузки, А				
	500	160	40	"					
	2080	131		26					

Примечание: Сведения о назначении ИП, условиях и области применения либо о входных и/или выходных параметрах **отсутствуют** в указанной литературе.

P. S. Автор благодарен Т.В. Александровой за электронный перенос статьи. 15.11.2002

© Репин А.М. Содержание, изображения, дизайн. 3.11.1988. 22.4.1990. 26.12.2002. 1.7.10.

;)

ОБЩИЕ ФОРМУЛЫ и СООТНОШЕНИЯ (ЗАКОНЫ) СВЯЗИ для РАЗНЫХ ТИПОВ **БАЗОВЫХ** СХЕМ ВЕНТИЛЬНЫХ **КОНВЕРТЕРОВ** ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (**БВК ЭЭ**)

С целью систематизации, обобщения и унификации, а также упрощения, наглядности и удобства пользования при сопоставлении, выборе и расчётах схем БВК ЭЭ **полезны общие, универсальные** и одновременно очень **простые формулы** и **соотношения** связи для важных конструктивно-энергетических **показателей** (КЭП) БВК, определяющих массогабаритные и стоимостные их показатели (МГСП). А именно: **коэффициентов использования** (КИМ, K_и) и **превышения** (КПМ, K_{пр}) габаритной (типовой, электромагнитной, расчётной, установленной) **мощности** P_г вентильных (ВО или вторичных, II) и сетевых (СО или первичных, I) обмоток и всего трансформатора (-ов), а также **суммарных**, относительных **чисел** W_Σ **витков** ВО.

По общему определению:

$$K_{и(о)} = P_{г(о)} / P_o, K_{пр(о)} = 100(K_{и-} = K_{и(о)} - 1)\%, P_{г(о)} = \sum_v J_v U_v, \forall v \in [1, v_x], P_o = U_o I_o, \quad (o1)$$

$$\mathcal{F} \subset \{J, U\} = [\int f^2(\vartheta) d\vartheta]^{1/2} / 2\pi, \forall \vartheta \in [0, 2\pi], F \subset \{U_o I_o\} = [\int f(\vartheta) d\vartheta] / 2\theta, \forall \vartheta \in [0, 2\theta], \quad (o2)$$

$$f(\vartheta) \subset \{i(\vartheta), u(\vartheta)\}, \theta = \pi/\Pi, \Pi = f_o/f_c, \vartheta = \omega t, \omega = 2\pi f_c. \quad (o3)$$

Здесь: *i, u* – переменные (мгновенные значения токов, напряжений) как функции *f* времени *t* и частоты *f_c* конверсируемых ЭДС (КЭДС) (частоты генератора, сети, пр.); *F, I, U* – средние (по Эйлеру-Фурье), а *J, J, U* – действительные (среднеквадратичные, эффективные) значения переменных *v*-й обмотки и **полезной** (R, индекс о) нагрузки Z_н БВК.

При типичных допущениях (нагрузка схем – преимущественно индуктивная /ωL > R, *i_н* = *i_л* = *i_о* = *I_о* /, внутренние активно-индуктивные сопротивления и потери мощности не учитываются /элементы идеальны/, КЭДС переменного тока – синусоидальные /S/, их система – полностью симметрична /по амплитудам, частотам, фазовым сдвигам/, иначе, применительно к схемным моделям **класса SHRL_∞**) **общие рекуррентные формулы** и **законы связи** при одинаковых Π для распространённых конкретных БВК различных типов – простых, неуправляемых **т-фазных V-лучевых**, L_c, J_о, J_о (с **чётно-** /множества **■, +** / и **нечётно-** полюсных / **▲, ▲** / системами КЭДС с многолучевой и многоугольной топологиями) и В'-, В"- вентильных **кольцевых** БВК – **просты** и **компактны**:

$$\text{БВК} \quad \text{Л}^{\blacktriangle} \quad \text{Л}^{\blacktriangle} \quad \text{Л}^{\blacktriangle} \quad \text{Л}^{\blacksquare} \quad \text{В}'$$

$$\Pi \quad 2L = 2(2v)^+ = 6, 10, 14, 18, \dots; \forall v \in \mathbb{N} \quad L = 2v^+ = 4, 6, 8, 10, \dots, \forall v \in \mathbb{N} \quad 2v^+ = 4, 6, 8, \dots$$

$$K_{и(о)} \quad \pi\sqrt{2}\sqrt{\Pi} \sin 2\theta \quad \pi\sqrt{[(J^2-1)/8]}/J = \pi\sqrt{(v^+)^2/2}/L \quad \pi/2\sqrt{\Pi} \sin \theta \quad \pi/2\sqrt{2} \quad \pi\sqrt{\Pi} \sin 2\theta$$

$$K_{пр(о)} \quad [(\pi/3)^- = 4, 72\%]^+ \infty \quad (\pi/3)^- \div (\pi/2\sqrt{2})^- \quad [(\pi/2\sqrt{2})^- = 11, 1\%]^+ \infty \quad 11, 1\%$$

$$W_{\Sigma a} \quad \Pi/4 \cos \theta = \sqrt{3} \div \infty \quad \Pi \sin \theta = 3 \div \pi \quad (\Pi = J)/2 = v = 1, 2, 3, 4, \dots \quad \Pi \sin \theta = 2\sqrt{2} \div \pi \quad \Pi/2 \cos \theta$$

$$W_{\Sigma o} \quad \pi/2 \sin 2\theta = \pi/\sqrt{3} \div \infty \quad \pi \quad \pi/2 \sin \theta = \pi/\sqrt{2} \div \infty \quad \pi \quad \pi/\sin 2\theta$$

$$K_{иII}(v) = \sqrt{2} \cos \theta \quad K_{иII}(B') = \sqrt{2} \quad K_{иII}(L_c^{\blacktriangle}) = 2 \cos \theta \quad K_{иII}(L_o^{\blacktriangle}) = \pi I_{II}(v) = \pi/\sqrt{2} \sqrt{\Pi} \sin \theta, \quad (o4)$$

$$I_{II}(v) = 1/I_{II}(v) = \sqrt{2} \sqrt{\Pi} \sin \theta, \theta = \pi/\Pi, \Pi = v = B \in \mathbb{N}^+ = [2, v_x], \mathbb{N}^+ = \mathbb{N} + 1, \forall \mathbb{N}. \quad (o5)$$

Для случаев, когда *m_{II}* = *m_{II}* = *m_{II}*:

$$K_{иI}(v) = K_{иII}(v) \sqrt{1 - 1/\Pi}, K_{иI}(v) = (K_{иI} + K_{иII})/2 = 0,5[1 + \sqrt{1 - 1/\Pi}] \quad K_{иII}(v) = f(\Pi). \quad (o6)$$

$$\text{Для случаев, когда } m_I = m_{II}/2 = \Pi/2: K_{иI}(v) = K_{иII}(v)/\sqrt{2}, K_{иI}(v) = 0,5(1 + 1/\sqrt{2}) K_{иII}(v) = f(\Pi). \quad (o7)$$

$$\text{Для В'-БВК: } K_{иII} = \pi/\sqrt{\Pi} \sin 2\theta, K_{прII} = 57, 1, 48, 1, 57, 1, \dots, \infty, K_{прI} = K_{прII}/\sqrt{2} = f(\Pi). \quad (o8)$$

На основе (o1-o8) получено много удобных для пользователей формул, чисел, таблиц по КЭП, а также по их экономии Э или ухудшению У при сравнении КЭП в по-парных комбинациях типов схем и/или конкретных БВК. См., напр., фрагменты на с. 7, 9, 20 книг, указанных на с. 6, 19 книги **Азы конверсика**.

Полнее они даны в научных отчётах автора (1966-85 гг.), диссертациях (1971, -85), публикациях (1967-2005), в т.ч. в книгах (1974, 2000, 2002), в материалах, представленных по две статьи: а) на НТК ВЭИ (перенесённую с сентября 1993 на февраль 1994 и «результаты двух докладов 16.2.94, как **новые, фундаментальные и полезные для большого круга специалистов в научно-исследовательской и инженерно-технической практике, рекомендованы для более широкого опубликования**»); в) сборники: б) Техника средств связи (22.2.94, при решении редколлегии «опубликовать»), в) Вопросы радиоэлектроники (26.9.95), г) Источники электропитания (30.1.96, 8.11.97), д) в журнал Изв. АН СССР/РАН, Энергетика (31.5.89, 9.9.99), а также в **материалах**, депонированных в виде интеллектуального продукта в фонде ВНИИЦ (Табл. 29. Библ. 88. Стр. 63) /Свид-во о регистр. № 7098/079 от 2.11.1998. //Идеи-Гипотезы-Решения. - М.: ВНИИЦ. 1999. № 1, с.23. P.S. См. увеличив 2: 1

