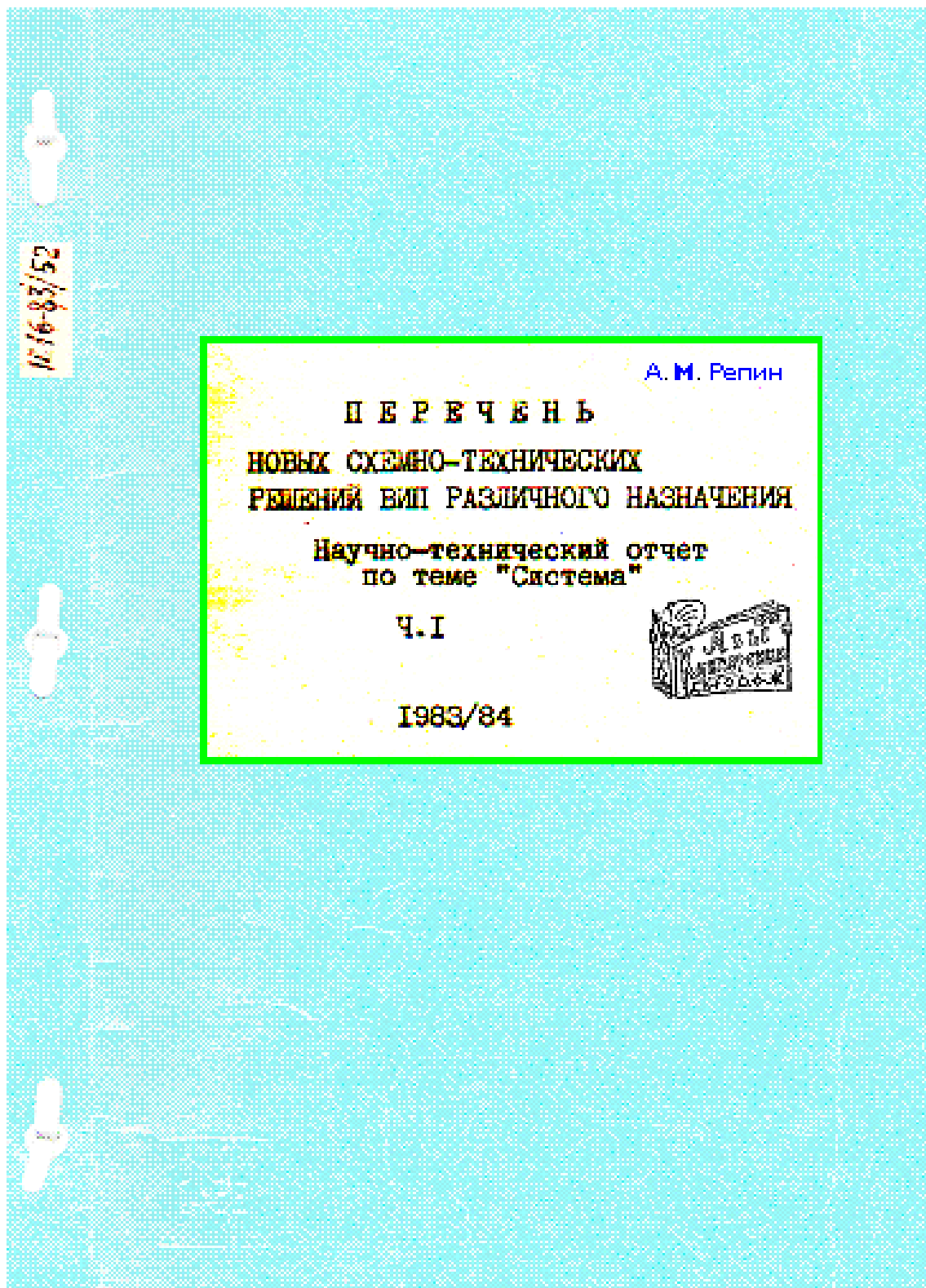


А.М. Репин. Перечень базовых вентиляльных конвертеров электроэнергии/ БВК ЭЭ¹

Repin A.M. *List of basic ventil power converters / VPC. 1983-2016. C.1-16.*

Анонс. Впервые в электронном виде, при авторском сканировании и дизайне приведен Перечень БВК ЭЭ, преимущественно БВК автора. Большинство из них защищено, как изобретения, авторскими свидетельствами СССР. Впервые БВК систематизированы по определённым признакам. Описаны основные их преимущества и определены области применения. Новые БВК рекомендованы для использования на стадиях научно-исследовательских, экспериментальных, опытно-конструкторских работ и практических разработок любой серийности. А также в учебной литературе. Где, упорно демонстрируя 100-летний застой, до сих пор, в веке 21-м, приводятся только схемы, созданные ещё в 19-м веке.



¹ Перечень, как Часть I выполненной автором общей НИР по теме “Система”, неразрывен с Альбомом, как её Часть II. Относится и к www.econf.rae.ru/article/9897. ..9896, к [1]: Альбом БВК ЭЭ. Научно-техн. отчёт. М., НИИР. 1983. Ч. II. Кн. 1 и 2.

Министерство радиопромышленности СССР
Научно-исследовательский институт радиостроения
- НИИР -

УДК 621.314.6
№ гос.рег. Я86241
Инв. № 16-83/52



УТВЕРЖАЮ

Заведующий инженер

ГРИФОНОВ Д.С.

12

1984 г.

Научно-технический отчет
по теме "СИСТЕМА"
Часть I

П Е Р Е Ч Е Н Ь

НОВЫХ СХЕМНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

- ПВИП-Р1-83 -

На 72 стр.

Согласовано:

Нач.отд.

Нач.лаб.

К.Т.Н.

Выполнил:

ст.научн.сотр.,

К.Т.Н.,

отв. исп.

Репин А.М.

Москва

1983/-84

РЕФЕРАТ

Общий объем отчета по НИР "Система": две части, I-я часть - данная, содержит классификацию и описание основных свойств и технико-экономических преимуществ предложенных базовых схемно-технических решений вентильных преобразователей электроэнергии; II-я часть под общим названием "Альбом базовых схемно-технических решений ВИП" /АВИП-PI-83/ содержит две книги: I-я книга /№ ГР Я8624I, инв. № I5-83/52 / объединяет классификационную структуру ВИП и принципиальные электрические схемы новых базовых технических решений преобразователей низких и средних напряжений; 2-я книга /с тем же номером гос.регистрации/ содержит новые схемы и конструкции высоковольтных преобразователей.

Ключевые слова: вторичный источник электропитания /ВИП/, вентильный преобразователь электроэнергии /ВП/, массо-габаритные показатели /МГП/.

В Перечне систематизированы новые эффективные базовые схемно-технические решения преобразователей электроэнергии /выпрямителей, преобразователей числа фаз, фазосдвигающих устройств, преобразователей частотной кратности пульсации, инверторов/, выполненных на уровне изобретений и защищенных или подлежащих защите авторскими свидетельствами СССР.

Описаны основные преимущества созданных решений, определены в ряде случаев преимущественные области использования. Описанные базовые схемы применимы в ВИП самого различного назначения, разрабатываемых на предприятии и в отрасли, и рекомендуются для использования на стадиях научно-исследовательских, экспериментальных, опытно-конструкторских и других работ, центральной задачей которых является получение высоких удельных показателей ВИП.

СОДЕРЖАНИЕ

Наименование	стр.
Реферат	2
Содержание	3
Использованная аббревиатура	5
Введение	6
Актуальность создания и сущность Перечня	
О принципах классификационной структуры построения Перечня	7
Некоторые дополнительные замечания	
Перечень новых схемно-технических решений ВИП и обеспечиваемые ими основные положительные достижения	17
Группа Н: Низковольтные ВИП – НВ ВИП	17
Подгруппа НЛ: Лучевые НВ ВИП	17
Подгруппа НК: Кольцевые НВ ВИП	21
Подгруппа НМ: Мельничные НВ ВИП	23
Подгруппа НУ: V-образные НВ ВИП	24
Вид НУЛ: Лучевые V-образные НВ ВИП	24
Вид НУК: Кольцевые V-образные НВ ВИП	27
Подгруппа НО: Ортогональные НВ ВИП	27
Вид НЛО: Лучевые ортогональные НВ ВИП	27
Вид НКЛО: Ортогональные НВ ВИП с интеграцией принципов построения лучевых и кольцевых схем	29
Вид НКО: Ортогональные кольцевые НВ ВИП	30
Вид НГО: Ортогональные НВ ВИП на основе гаммированных крестов	31
Группа К: Кванторные НВ ВИП	31
Подгруппа НКБ: Комбинированные НВ ВИП	31
Группа С: ВИП на средние напряжения – СВ ВИП	32
Подгруппа СМ: Мостовые СВ ВИП	32
Вид СМт: Мостовые "традиционные" СВ ВИП	32
Вид СМр: Реконструктивные мостовые СВ ВИП	33
Подгруппа СКон: СВ ВИП на основе трансформаторов с конденсаторными обмотками	34
Подгруппа СГо: СВ ВИП на основе многогранников с отводами	35

Наименование	стр.
Подгруппа СС: Секторные СВ ВИП	36
Вид СТк: Секторные СВ ВИП на основе трисеков	36
Подвид АСТк: Автотрансформаторные СТк-СВ ВИП	37
Вид СТг: Секторные СВ ВИП на основе трезигов	38
Подвид АСТг: Автотрансформаторные СТг-СВ ВИП	39
Вид СТк: Секторные СВ ВИП на основе грансеков	39
Подвид АСТк: Автотрансформаторные СТк-СВ ВИП	40
Вид СЗг: Секторные СВ ВИП на основе звезигов	40
Подвид АСЗг: Автотрансформаторные СЗг-СВ ВИП	40
Вид СЗу: Секторные СВ ВИП на основе У-звезд	40
Подвид АСЗу: Автотрансформаторные СЗу-СВ ВИП	40
Вид СГп: Секторные СВ ВИП на основе ШГГ	41
Подвид АСГп: Автотрансформаторные СГп-СВ ВИП	41
Подгруппа СМц: Мельничные СВ ВИП	41
Подгруппа CV: V-образные СВ ВИП	41
Подгруппа СО: Ортогональные СВ ВИП	43
Подгруппа СНч: СВ ВИП с нечетной кратностью частоты пульсации	44
Подгруппа СКб: Комбинированные СВ ВИП	46
Группа В /П,УВ/: ВИП на повышенные напряжения с возможностью применения на высокие, сверхвысокие и ультравысокие напряжения	47
Подгруппа ВЛ: Ступенчато-лучевые ВВ ВИП	47
Подгруппа ВМ: Ступенчато-мостовые ВВ ВИП	49
Подгруппа ВФ: Ступенчатые ВВ ВИП с совмещенными фильтрами	52
Подгруппа ВС ₀ : ВВ ВИП с "нулевыми" конденсаторами	53
Подгруппа ВА: Агрегатированные ВВ ВИП - А-ВВ ВИП	55
Вид ВАУ: V-образные А-ВВ ВИП	55
Вид ВАО: Ортогональные А-ВВ ВИП	55
Вид ВАТ: Типовые А-ВВ ВИП	55
Подгруппа ВА': А'-ВВ ВИП	56
Подгруппа ВА ₁ : А ₁ -ВВ ВИП	56
Подгруппа ВА ₀ : А ₀ -ВВ ВИП	56
Подгруппа ВЦ ₀ : ВВ ВИП с последовательными обмотками	56
Подгруппа ВС: Симбиозные ВВ ВИП	56
Подгруппа ВКб: Комбинированные ВВ ВИП	56
Заключение	57
Литература	59



ОСНОВНАЯ ИСПОЛЬЗОВАННАЯ АББРЕВИАТУРА

- А-схемы - агрегатированные схемы
- В - выпрямитель
- И - инвертор
- Ф - фильтр
- Ст - стабилизатор
- РЭ - регулирующий элемент
- УСЗК - устройства управления, стабилизации, защиты, контроля, коммутации
- ВИИ - вторичный источник электропитания
- НВ - низковольтный
- ВВ - высоковольтный
- СТ - сильноточный
- ВП - вентильный преобразователь
- КПД - коэффициент полезного действия
- К - кольцевые
- Мц - мельничные /мельница/
- НЛ - низковольтные лучевые
- ОРТ - ортогональные
- МУ - магнитный усилитель
- МП - микропроцессор
- Мсх - микросхема
- РЭА - радиоэлектронная аппаратура
- СЭС - средства /система/ электроснабжения
- МПГ - массо-габаритные показатели
- МГСГ - массо-габаритные и стоимостные показатели
- ПЭ - преобразовательный элемент
- НПЭ - неуправляемый преобразовательный элемент
- УПЭ - управляемый преобразовательный элемент
- ЭДС - электродвижущая сила
- ЭПС - "элементарная" преобразовательная структура
- ЭПДС - "элементарная" преобразовательно-дроссельная структура

ВВЕДЕНИЕ

Главными задачами в области современной преобразовательной техники является создание новых высокоэффективных схемно-технических и конструкторско-технологических решений с использованием новой элементной базы, а также разработка новых и совершенствование существующих методов анализа и инженерного синтеза схем.

Одним из важных этапов в решении этих узловых задач является формирование научно-технического задела. Таким заделом является разработанный ряд принципиально новых схемно-технических и конструкторско-технологических решений вентильных преобразователей электроэнергии /ВП/, обладающих, по сравнению с известными, более лучшими качествами. Как показал проведенный анализ упрощенных моделей таких ВП, они обеспечивают улучшение массо-габаритных показателей /МГП/, повышение КПД, лучшие энергетические и эксплуатационные параметры.

Большое количество созданных базовых решений обусловило необходимость их упорядочения и разработки данного Перечня с сопутствующим Альбомом для удобства практического использования разработчиками ВП.

Основное целевое назначение Перечня и Альбома - систематизировать по выбранным признакам новые базовые преобразовательные схемы ВП и ознакомить специалистов с предлагаемыми решениями для возможности выбора наилучших из них в процессе конкретных разработок.

В Перечне и Альбоме охвачены ВП ВП самого различного назначения: низковольтные /НВ/, средневольтные /СВ/, высоковольтные /ВВ/ при широком диапазоне токов и мощностей нагрузки.

Есть все основания утверждать, что систематизированные схемы созданы на качественно новых уровнях по ряду перспективных направлений в области преобразовательной техники.

Одновременно следует отметить, что, как при всяком научно-обоснованном задании, рассчитанном на перспективу, первоначально поставленные задачи по разработке новых схем, отраженных в Перечне и Альбоме, решены более шире, чем это требовалось в рамках текущих разработок ВИА. Этим обеспечены более широкие возможности по их практической реализации.

О принципах классификационной структуры построения Перечня и Альбома

В основу построения данного Перечня ВИА и сопутствующего Альбома базовых схем, как отдельной части работы, положены принципы иерархически связанной систематизации /структуры/ с распределением соответствующих схем по различным уровням: группа, подгруппа, вид, подвид и т.д.

В качестве определяющего признака систематизации ВИА на верхнем /групповом/ уровне выбрано напряжение потребителя. И хотя существенным параметром нагрузки является также потребляемый ею ток /или, в совокупности с напряжением, - мощность/, напряжение постепенно выделилось за последнее время в наиболее существенный отличительный признак.

Обусловлено это появлением новых и резким развитием ранее существующих потребителей.

К числу таких потребителей относятся, например :

- обширные классы специфичных устройств микросхемотехники, в частности, электронно-вычислительной, требующих напряжения питания в единицы-доли вольта;

- потребители напряжений среднего диапазона /десятки-сотни вольт при значительном диапазоне потребляемых токов/, широко используемые в радиоэлектронике, технике связи, электроприводе, и т.д.;

- специальные объекты техники повышенных, высоких и сверхвысоких напряжений /от единиц киловольт и выше при токах от микроампер до нескольких ампер/, используемые в радиопередающих и подобных им устройствах, а также в устройствах электронной технологии /электронно-лучевые пушки и пр./, лазерной техники, рентгенотехники, высоковольтного медицинского оборудования и т.д.

Как уже отмечалось, основной частью любых ВИП являются выпрямители, инверторы, и другие ВИ, которые в значительной степени определяют массу, габариты, надежность и КПД всего источника питания. Именно поэтому при составлении данного Перечня базовых схем ВИ в качестве основного классификационного признака были выбраны уровни напряжения, определившие группы ВИП, - низковольтные /НВ/, средневольтные /СВ/, высоковольтные /ВВ/, а также принципы схемного построения различных преобразователей энергии - лучевые, мостовые, кольцевые, мельничные, V-образные, секторные, ортогональные, агрегатированные и другие схемы /см. далее рисунок/.

Все схемы Перечня и Альбома в случае выполнения их управляемыми /стабилизированными/ допускают применение любых известных принципов управления, в том числе по цепи переменного или/и постоянного тока, путем установки регулирующего элемента /РЭ/ последовательно или параллельно с нагрузкой, импульсного или непрерывного действия, с одним или большим числом контуров авторегулирования и т.д.

Среди различных типов таких ВИП перспективны, по мнению зарубежных и ряда отечественных специалистов, магнитоуправляемые ВИП. Их эффективность обусловлена существенным уменьшением числа функциональных элементов за счет интеграции выполняемых функций в одном элементе при одновременно значительно пониженных потерях ак-



тивной мощности по сравнению с традиционными схемами, содержащими РЭ последовательного типа. По существу все приведенные в Перечне и Альбоме ВИП выполнимы магнитоуправляемыми, в связи с чем отдельной рубрикой такие схемы в Перечне не выделены. Ряд конкретных схемно-конструкторских решений ВИП данного свойства приведен в группе низковольтных и средневольтных преобразователей.

Общепризнано также, что во всех случаях наиболее выгодны многофазные ВП, обеспечивающие повышенную кратность частоты пульсации выходного напряжения. Именно таким путем, как принято считать, наиболее оптимально достигается улучшение качества преобразования энергии: лучший спектр потребляемого из сети тока, меньшие искажения питающего напряжения, понижение уровня различных помех, лучше коэффициент гармоник, коэффициент мощности, существенно меньше масса и габариты различных фильтро-компенсирующих устройств, в том числе выходных фильтров, даже в случае имеющейся асимметрии питающих напряжений трехфазной сети, и т.д.

Повышение качества преобразования энергии является сегодня одной из центральных проблем современной преобразовательной техники, и, наряду с задачами энерго- и материалосбережения, снижения массы, объема, стоимости, повышения эксплуатационной надежности, качества и эффективности, данная проблема входит в комплекс актуальных направлений разработок и исследования любых ВИП, наземных или бортовых.

Данная проблема по улучшению качества электроэнергии особенно актуальна для автономных, в том числе подвижных объектов в связи с жесткими требованиями по массо-габаритным и стоимостным показателям /МГСП/, а также по надежности.

В соответствии с этой важной задачей разработка новых базовых схем преобразователей выполнена таким образом, чтобы они обеспечивали повышенное значение частотной кратности Π пульсации на всех уровнях классификационной структуры / $\Pi = 6, 7, 8, 9, 10, 12, \dots$ /,

то есть для ВИП любого назначения, и именно по кратности Π в Перечне и Альбоме выполнено дополнительное деление приведенных схем внутри каждого уровня их классификации.

Дополнительно рассмотрим теперь ряд других важных особенностей систематизированных ВИП различного уровня классификации.

В группе высоковольтных, как и в соответствующих подгруппах низковольтных сильноточных ВИП эффективны источники питания, построенные на основе увеличенного числа однотипных модулей: для НВ ВИП - на основе параллельно соединенных, а для ВВ ВИП - последовательно соединенных, фазосдвинутых либо нефазосдвинутых /синфазных/ преобразовательных структур. Этим, наряду с улучшением других потребительских показателей, обеспечивается существенное повышение эксплуатационной надежности за счет действия глубокой, естественной, структурной, режимной, функциональной, алгоритмической /в управляемых ВИП/ и других видов избыточности.

Ряд ВИП, например, многоканальные, с целью улучшения МГСП, выгодно выполнять централизованными, для многих НВ и ВВ ВИП полезны совмещенные конструкции на основе пространственных многостержневых магнитопроводов силовых /анодных/ трансформаторов, что достигается, в частности для ВВ ВИП, путем компоновки дискретных элементов по конструктивным схемам типа "спираль", "цепь", "ряд", "цикл" и др.

В источниках питания вспомогательного назначения, а также в тех практических применениях, когда однофазные ВИП при питании от трехфазной сети создают недопустимую асимметрию в питающей

сети /особенно в автономных объектах/, а построение ВИП, обеспечивающего симметричную нагрузку на все три фазы, нецелесообразно по определенным соображениям, оптимальными оказываются ВИП с вентильными преобразователями, построенными по схемам с ортогонально /на 90 эл.град/ или на 60 /120/ эл.градусов сдвинутыми

напряжениями. В последнем случае изображение векторов напряжений /ЭДС/ в фазовой плоскости схоже с буквой V , в связи с чем указанные схемы именуется, соответственно, V - и орт-схемами /или более кратко, O -схемами/.

В V -схемах используется лишь две фазы из трех, в связи с чем они образуют класс так называемых неполнофазных /НПФ/ ВИП. Такие V -схемы, в отличие от их однофазных аналогов, создают нагрузку на все три фазы первичного генератора /сети/ и тем устраняют существенные недостатки, свойственные однофазным ВИП, подключенным к трехфазным сетям. В то же время НПФ схемы проще схем, выполняемых по трехфазным структурам и образующим в связи с этим класс полнофазных ВИП /ПФ ВИП/. Упрощение, свойственное НПФ ВИП, обусловлено уменьшенным числом магнитных систем /числа стержней магнитопровода или числа трансформаторов, автотрансформаторов, других подобных электро-магнитных аппаратов - ЭМА/. При этом требуемое увеличение частотной кратности пульсации в неполнофазных ВИП достигается более простым путем, чем в полнофазных, что дополнительно выгодно отличает V - и O -схемы. В результате на этих принципах возможно построение самых различных схем преобразователей: мостовых, кольцевых, секторных и других, в том числе магнитоуправляемых, с вольтодобавкой и пр.

Одной из важных областей применения НПФ-схем с высокой кратностью частоты пульсации является реализация их в качестве бес-

фильтровых датчиков с малой постоянной времени, что имеет существенное значение для повышения быстродействия различных систем контроля, измерения, авторегулирования и др.

Кроме того, НПФ-схемы применимы в составе многофазных ВИП в качестве вспомогательных источников питания, для чего в многообмоточном трансформаторе достаточно вентильные обмотки дополнить лишь частично, то есть в двух каких-либо фазах. Ввиду малой /относительно основного источника/ мощности дополнительных секций обмотки, они практически не влияют на массо-габаритные показатели ВИП в целом, и в то же время позволяют существенно снизить

МГСП фильтров вспомогательного источника за счет повышения частоты и снижения уровня пульсации относительно обычно используемых для этой цели однофазных ВП.

Но особенно выгодны НПФ-схемы ВП в многоканальных ВИП, так как при этом возможно использование нескольких фазосдвинутых НПФ-схем с циклической перефазировкой фазных секций вентильной обмотки в одном канале относительно другого. При одинаковых параметрах каналов достигается полная /или, во всяком случае, повышенная/ симметрия нагрузки первичной сети по всем ее фазам, улучшение протекания электромагнитных процессов в анодных многостержневых трансформаторах при одновременном сохранении либо усилении эффекта упрощения.

Судя по отечественной и зарубежной литературе, данное направление построения ВП различного назначения с повышенным качеством преобразования энергии при уменьшенном числе магнитных систем и силовых вентильных секций обмоток трансформаторов является важным.

Не менее важны и перспективны направления, касающиеся создания кольцевых /К/, секторных /С/, агрегатированных /А/ схем или, сокращенно, К-схем, С-схем, А-схем. Они относятся, соответственно,

к НВ, СВ и ВВ ВИП. К числу существенных их достоинств относятся экономичность, лучшие удельные показатели по массе, объему, стоимости, высокая надежность и лучшее качество электроэнергии относительно равноценных им отечественных и зарубежных аналогов.

Таким образом, функционально-конструктивно интегрированные ВИП – один из важнейших путей достижения улучшенных МГСП, надежности, КПД.

Особое место в этом отношении занимают автотрансформаторные ВИП /АВИП/, показанные далее на рисунке пунктиром.

Без наличия вторичных обмоток, гальванически не связанных с первичными, такие АВИП, тем не менее, обеспечивают в принципе любую частотную кратность пульсации, как следствие, высокое качество преобразования энергии, при одновременно существенно лучших КПД,

МГСП. Положительные эффекты обеспечиваются здесь благодаря передаче энергии из сети не только электромагнитным путем, как в трансформаторных ВИП, но также электрическим. При этом использование таких эффективных решений возможно в любых ВИП независимо от их схемно-структурного построения по рассматриваемой классификации, что предопределяет очень широкие возможности практического применения автотрансформаторных ВИП.

Значительный интерес представляют также разработки ВИП по модульному принципу, путем использования параллельного /в СТ ВИП/ или последовательного /в ВВ ВИП/ соединения соответствующего числа "элементарных" преобразовательных структур /ЭПС/. Они могут содержать в своем составе как полностью однотипные /секционированные/ модули, так и модули с источниками переменных ЭДС с соответствующим фазовым сдвигом относительно смежных модулей.

В заключение необходимо отметить следующее.

Составленный Перечень представлен в общем виде и не содержит конкретных формул для расчета энергетических, массо-габаритных, стоимостных, надежностных и других технико-экономических показателей. В отпущенные короткие сроки сделать это было просто нереально. Тем не менее, некоторые расчетные соотношения для ряда новых базовых схем ВИП получены путем анализа упрощенных моделей. Такие модели были разработаны при традиционно упрощенных условиях: не учитывалось влияние внутренних параметров схемных элементов, допускалась полная симметрия внутренних ветвей /фаз трансформаторов, вентилях и пр./, не учитывались потери мощности и напряжений на элементах схем, не учитывалось возможное явление "перекрытия" /коммутации/ ветвей /коммутационные режимы/, переходные режимы, нелинейность вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов, и пр., анализировались лишь установившиеся импульсные состояния в режиме холостого хода либо при работе на нагрузку с условно бесконечной индуктивностью катодного реактора /фильтрового дросселя в первой продольной ветви фильтра/, и т.д.

Полученные формулы даны /где возможно/ непосредственно на принципиальных электрических схемах базовых ВП, приведенных в Альбоме АВИП-РІ-83 /во II-й части отчета/. Такие расчетные соотношения позволяют разработчику получить ориентировочные результаты, что все же лучше, чем начинать разработку ВП "с нуля" или "вслепую". Для более качественного инженерного проектирования требуется выполнение определенного комплекса исследовательских работ.

Чтобы составить хотя бы некоторое представление об объеме таких работ, можно упомянуть, например, о том, что среди многочисленных отечественных и зарубежных изданий по линейным и нелинейным устройствам /системам/ нет ни одного, в котором периодически не появлялась бы публикация, посвященная тем или иным результатам исследования широко известного мостового преобразователя, предложенного /запатентованного/ Ларионовым еще в 1923 г. Более 60 лет у специа-

листов разных стран и отраслей возникают проблемы, требующие квалифицированного решения.

В Альбоме и Перечне приведены десятки новых базовых схем и конструкций ВП, что обуславливает значительный объем предстоящих работ. Причем для получения даже первоначальных результатов исследования, необходимых для более грамотного и, значит, более эффективного применения в конкретных разработках, требуется решить много разноплановых задач, что, с учетом сказанного выше о мосте Ларионова, подсилу лишь самостоятельному проблемному подразделению. Без создания специального подразделения квалифицированных специалистов внедрение эффективных новшеств проблематично.

Таким образом, разработанные Перечень и Альбом могут служить основным исходным материалом, который рекомендуется разработчикам ВП для выбора наилучших решений, причем в каждом конкретном случае необходимо выполнять исследования электро-магнитных процессов и, с учетом специфики технического задания, оценивать энергетические, надежность и массо-габаритные характеристики сопоставляемых технических решений на основе системного принципа.

Ниже дана общая классификационная структура ВП /ее иерархия/, а также систематизированно рассмотрены особенности новых схем Перечня и Альбома, основные их преимущества и недостатки.

P.S. Указанная общая структура Перечня приведена на следующей (17-й) странице. На /16-й/, как в Перечне. А здесь, на стр.16, для сравнения дана эта структура как Рис.1 в статье автора, опубликованной в научно-техническом сборнике “Вопросы радиоэлектроники”, Серия ОВР, 1985, Вып. 6, стр.68. Или в электронной версии, при авторском дизайне и наборе на клавиатуре ПК в 2005 году, в обновлённом виде исчезнувшего варианта из сайта econf.rae.ru, – см. в //www.econf.rae.ru/article/9897.

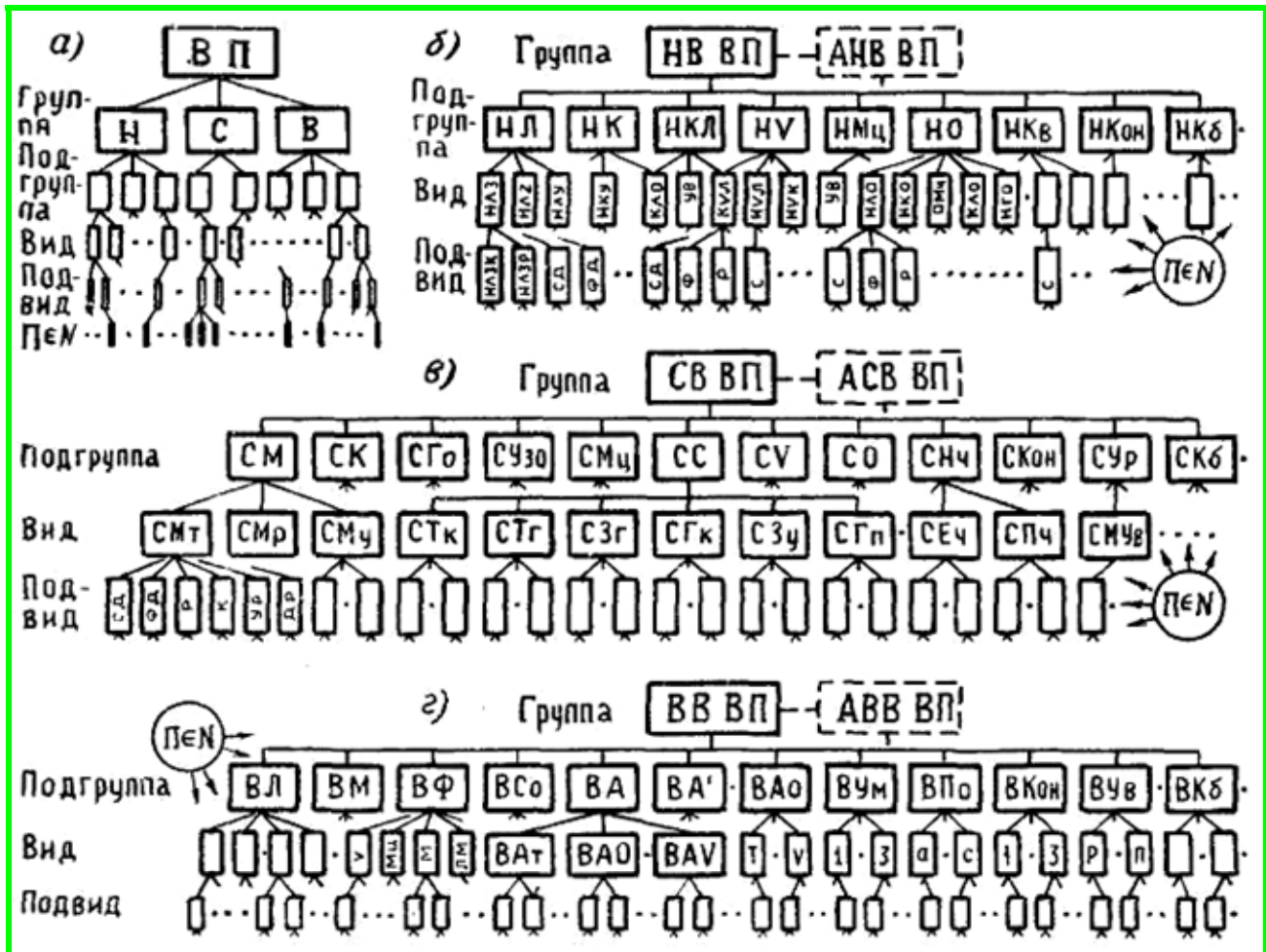


Рис.1. Классификационная структура ВП (ВК, ВИП)

Общая иерархия (а); структуры **низковольтных** (б), **средневольтных** (в) и **высоковольтных** (г) ВП; Z – зигзаг; Мг, Мр – **мостовые** традиционные, реконструктивные; Кон- с конденсаторными обмотками (трансконовые); НГо - на основе гаммированных крестов, Го, Узо - на основе Г-гранников или многоугольных звёзд с отводами, Тк, Тг, Гк, Зг, Зу, Гп,...- на основе трисеков, трезигов, грансеков, звеззигов, У-угольных звёзд, полуправильных Г-гранников и пр.; ВФ, ВСо, По - ступенчатые с индивидуальными фильтрами, с "нулевыми" конденсаторами, с последовательными обмотками, ЛУВ, КУВ, .. - с уменьшенным числом В преобразовательных (конверсирующих) элементов относительно **частотной** кратности П ($V < P$); Ум - умножения. Еч, Пч - с естественным и принудительным переключением ПЭ (КЭ); Кб – комбинированные.

Продолжение следует

© А.М. Репин. 1983, 2005, -12, 30.3.16