

**Аннотация:** Даны раритетные по информационной ёмкости, новизне и объёму результаты достижений автора в области конверсики, в т.ч. кратко отражённые в его докторской диссертации (автореферате) 1986 г.

**Ключевые слова,** преимущественно **новые:** конверсика /conversics, базовые схемы вентильных преобразователей (конвертеров) электроэнергетики (БВП/БВК ЭЭ), классы схемных моделей БВК, рекуррентные алгоритмы (РАСы) нового относительно известного в электротехнике синтеза десятков, сотен новых БВК, агрегатированные, секторные, кольцевые, лучевые, мостовые, с системами ЭДС с фазовым сдвигом на 90 град. эл. (ортогонально) или А-, С-, О-, В'-, другие БВК, образующие новые направления во всех диапазонах напряжения (инфранизких, низких, средних, высоких), использование в НИР, ОКР, промышленности – радиоэлектронной, авиационной, угольной, других.

Аналогичен РАС-2 для автоматизированного синтеза новых базовых А-схем с нечетным числом ДЭДС в  $M'_{дi}$ -системах с общими (О) полюсами:  $M'_{дi} : L'_i = 2\lambda + 1, \lambda \in N, \forall i$  ( $L_0$ -схемы [8,24,28-30]). Алгоритм обобщен в одной формулировке для двух принципиально разных случаев – для синтеза синфазных и для последовательно сдвинутых по фазе на угол  $\varphi = \pi/M'_d i_x$   $M'_d$ -систем – рис.10,11,в, 12,в, 14,а,в и т.п.

Специфика синтеза  $L_{c0}$ -схем, т.е. содержащих  $M'_d$ -системы одновременно с общими и собственными полюсами ДЭДС (рис.10, 12,в), проиллюстрирована в составе схемы  $A_0-6_0$ (12) (рис.14,д) на примере двух  $\hat{b}'_{c0}$ -систем (бисистем): прямой ( $\hat{b}'_{c0}$ ) и обратной ( $\hat{b}'_{c0}$ ).

Всем решениям свойственно сравнительно высокое качество преобразования энергии путем достижения повышенной частотной кратности П пульсации:  $\Pi = \Pi' = 2M'_d$  в схемах с синфазными и  $\Pi = \Pi' i_x = 2M'_d i_x$  – с фазосдвинутыми системами.

В любом случае для таких А-схем  $V' = 2L'$ , а  $M'_{дi} = M'_d, \forall i$ .

Аналогичен синтез А-схем при  $M'_{дi} \neq M'_{дi+}$  – рис.15, 16.

Все А-схемы обеспечивают соответствующие положительные эффекты относительно сравнимых зарубежных и отечественных аналогов, формируя, таким образом, новое перспективное направление в области высоковольтных ВП при фазосдвинутых  $M'_d$ -системах.

**2.1.2. А<sub>0</sub>-схемы, алгоритмы и эффекты.** Еще более эффективны предложенные автором А<sub>0</sub>-схемы. Они охватывают подгруппу т.н. секционированных ВП, т.е. содержащих, наряду с  $i$ -ми ФС системами (или без них),  $j_i$  – е однотипные (не ФС)  $M'_d$ -системы. Однотипные – это системы с совпадающими фазокадрами.

Синтез А<sub>0</sub>-схем основан на сформулированных в обобщенном виде РАС-3 (с  $M'_{дj_i} = 2\lambda + 1$ , рис.14,б,г-е) и РАС-4 (с  $M'_{дj_i} = 1 \wedge 2\lambda, \lambda \in N$ ), аналогичных РАС-1 и РАС-2. [30].

Положительный эффект относительно ступенчато-мостовых секционированных ВП заключается в снижении числа  $V_{\Pi}$  ПЭ в  $\mathcal{E}_{ВП} = 2\alpha_x / \alpha_x^+ \approx 2$  раза (как в А-схемах, но здесь  $\alpha_x = \sum_i j_x i, \forall i \in [1, i_x]$ ), а также в уменьшении суммарного числа  $V_{\Sigma}$  ПЭ (относительно и мостовых, и А-схем) путем сокращения их в 2 раза на стыке любых двух однотипных ступеней. В управляемых ВП упрощаются, кроме того, алгоритмы управления и реализующие их системы управления, в том числе, микропроцессорные.

Практическая значимость изложенных общетеоретических положений, помимо рассмотренных эффектов, заключается также в реальной возможности повысить эффективность действующих промышленных установок традиционно мостового типа, причем без обременительного демонтажа. Для перехода к А-схемам в несекционированных ВП достаточно лишь перемонтировать

<sup>1</sup>Продолжение. Начало (стр. 1-26) см. в Общей и 1 частях Ч.01, 2, 11, 2 – URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5317>

(перепаять) выводы электродов ПЭ на стыке  $L'$ -ячейковых ( $V' = 2L'$ )-вентильных мостов в  $V'$ -вентильные кольца, а для перехода к  $A_0$ -схемам в секционированных установках - дополнительно транспозировать (перепаять схему в обратную) в каждой чередующейся через одну однотипной схеме вентильных обмоток ЭМА и изъять половину ПЭ между всеми  $J_i$ -ми ступенями. С учетом высокой стоимости и материалоемкости вентильных блоков достигаемая экономичность существенна. Так, например, согласно [30] объем тиристорного блока двухмостового ВП ( $i_x = 2, L' = 3, V' = 6$ ) составляет  $555 \text{ м}^3$  при весе 186 т.

Таким образом, практическая ценность возможной модификации обусловлена ее простотой, т.к. касается не внутренних, а лишь внешних присоединений, и, следовательно она реально осуществима даже в сложных условиях эксплуатации ВВ ВП, порой не допускающих по определенным причинам полного демонтажа (длительного перерыва в работе). В результате при минимуме затрат достигается быстро окупающаяся их экономия энергии и материальных ресурсов за счет повышения надежности и КПД, упрощения алгоритмов, электрических связей (схем), конструкции, как следствие, улучшения МГСП, снижения капитальных и эксплуатационных расходов.

Но наиболее полезно комплексное использование рассмотренных прогрессивных идеологий, а также выдвинутой автором концепции по введению глубоких естественных структурной, режимной и других избыточностей [28-37, 40-45, 47-62] при реализации новых разработок ВВ ВП на основе унифицированных низковольтных модулей. Выполнение ВВ ВВП, например, в виде совмещенных конструкций на пространственном магнитопроводе с петлевыми, в частности кольцевыми ярами из материала с высокой магнитной индукцией (супермендюр), с обмотками из фольгированного компонента, например, алюминиевого или с повышенной электропроводностью обеспечивает при трехфазной первичной сети удельные показатели около  $3,5 \text{ кВт/дм}^3$  ( $\approx 2,5 \text{ кВт/кг}$ ) и выше при одновременном удовлетворении жестких требований эксплуатации подвижных объектов - повышенная температура, низкое давление, перегрузки, другие воздействия [28-30, 53]

2.2. Средневольтные (СВ) ВП. Потребители напряжений СВ диапазона - десятки-сотни вольт при значительной номенклатуре потребляемых токов - очень разнообразны и многочисленны. К числу промышленных отраслей и конкретных объектов практического использования СВ ВП относятся: радиоэлектронная, электротехническая, электронная, газовая промышленности, техника средств связи (в т.ч. космической), новая бурно развивающаяся плазменная техника, сварка и резка, электрохимия, электрометаллургия, электропривод, транспорт (самолеты, суда, гусеничные и т.п. подвижные объекты), в частности, ВВП РЭА, ЭВТ, различных компьютеризированных, роботизированных, микропроцессорно управляемых комплексов, ВВП фазированных ан

тенных решеток (ФАР, АФАР) наземных и других радиокомплексов, ВП сервисного оборудования винчестерских накопителей ЭВМ, плазмотронов, руднотермических агрегатов, дуговых, сталеплавильных, вакуумных, водородных печей, печей графитации, порционной электрошлаковой отливки, литья, ионного азотирования, ионно-плазменного покрытия, плазменного нагрева, пайки резки (плазмотронные комплексы), ВП электродуговых генераторов плазменных факелов для стационарного нагрева больших газовых объемов, газоразрядных источников ионов (источников Пеннинга, дуаплазмотронов) и т.д.

Преимущественное распространение получили здесь ВП на основе трехфазных схем Ларионова (в частности, с традиционным включением вентильных обмоток в звезду и треугольник при соединении подключенных к ним трех-ячейковых мостов в параллель - схема  $\Delta \parallel \nabla$ ), с уравнительным реактором (УР) Кублера, с компенсирующими фильтрами, трансформаторами, дросселями и пр. [1, 6, 28, 38].

Учитывая возможности современных разработок электронной и электротехнической промышленности, основанных на использовании новых полупроводниковых эффектов (барьера Шоттки, МДП-структур и др.), минимизирующих прямое падение напряжения и потери мощности в ПЭ до сравнительно малых значений (0,1-0,5 В), допускается, что свойственный мостовым ВП недостаток по относительно повышенным потерям на ПЭ (по два последовательно соединенных вентильных плеча в каждом из  $\Pi$  контуров токопрохождения против одного в лучевых ВП) менее существен, чем важные их достоинства по лучшему использованию мощности ЭМА, лучшим МГСП и пр., что обуславливает предпочтительность мостовых ВП в СВ диапазоне.

Это послужило автору основанием создать новые базовые схемы мостовых ВП, сформировавших по классификации рис.1, в подгруппы С-, V-, 0-, Го-, Узо-схем, а также схем с нечетной (СНч-схемы, например, с  $\Pi = 9$ ) и с нечетной трем (Уз-схемы,  $\Pi = 8, 10$ ) частотной кратностью пульсации - рис.1, в, 3.1, 13 и др. [28-30, 36-39, 42, 43, 46-61].

Все они обеспечивают соответствующие эффекты.

В частности, реализации базовой С-схемы по рис.13.8 в случае формирования  $\dot{b}_{CO}$ -системы ДЭДС на трехфазной вентильной обмотке ЭМА, соединенной в двухсторонний с неравными сторонами, встречно-встречный зигзаг - трехлучевую звезду (неравзвезиг), обеспечивают значение  $\Pi$  в 2, а коэффициента пульсации  $K_{\Pi}$  - в 4 раза лучше, чем ее общеизвестный аналог с равносторонним зигзагом (равзвезиг, рис.12, а4, 13.4). Тем самым лишь путем простого изменения соотношения витков существенно улучшено качество преобразования электроэнергии и МГСП фильтров. В частности, произведение  $L \cdot C$ , симбатно определяющее МГСП  $L \cdot C$ -фильтров, уменьшается при этом теоретически в 16 раз.

Относительно традиционной базовой схемы  $\Delta \parallel \nabla$  в С-схеме "неравзвезиг" уменьшено суммарное число вентильных витков в  $\mathcal{E}_{W_{\Sigma}} / \Delta \parallel \nabla = 4,73:2,63$

1,8 раза при одновременном улучшении коэффициента превышения суммарной габаритной мощности в  $\Delta_{\text{Кпр}}/\lambda_{\text{ВД}} = 22,1:14,3 \approx 1,54$  раза, по вентиляльным обмоткам - в  $\Delta_{\text{Кпр II}}/\lambda_{\text{ВД}} = 43,1:26,3 \approx 1,7$  раза. В случае реализации  $\delta_{\text{CO}}$ -системы по другой С-хеме (рис.12,в3, грансек) экономии  $\Delta_{W_{\Sigma}}/\lambda_{\text{ВД}} = 4,73:3 = 1,58$ ,  $\Delta_{\text{Кпр}}/\lambda_{\text{ВД}} = 22,1:6,8 = 3,25$ ,  $\Delta_{\text{Кпр II}}/\lambda_{\text{ВД}} = 43,1:11,6 = 3,8$  раза [28-30,61].

Принципы и положительные достижения других СВ схем аналогичны.

Таким образом, как и в ВВ, в СВ диапазоне синтезируется фактически неограниченное число новых, полезных, базовых, технических решений (изобретений) (в том числе на ЭВМ), которые при выборе наилучшего из них применительно к конкретным условиям оптимизируются по определенным критериям с учетом преферентных их свойств и достоинств.

**2.3. Низковольтные (НВ) ВИ.** К числу потребителей напряжений НВ диапазона относятся обширные виды специфичных устройств микроэлектроники, РЭА, ЭВТ (быстродействующие процессоры и пр.), объектов электролиза, ядерных исследований (сверхпроводящие магниты и пр.), многие другие нагрузки, требующие напряжение в единицы-доли вольта при токах от долей до сотен-тысяч ампер. [1,2,6,11-21,25-30].

В этих областях применения ВИ автором предложены решения, образующие по классификации рис.1,б подгруппы Л-, К-, V-, O-схем, а также схем с интеграцией данных принципов (НЛК, НВЛ, НЛО, НВК и др.) [28-30,38,43,44].

Перспективность V-схем обусловлена тем, что, являясь неполнофазными (НПФ), они, при автономном использовании, оказывают по сравнению с традиционными однофазными существенно меньшее влияние в отношении асимметрии нагрузки на первичный многофазный источник (сеть), и в то же время они проще полнофазных (ПФ) ВИ вследствие меньшего числа магнитных систем и силовых обмоток [28,35,42,63]. При использовании нескольких ФС V-схем достигается полная симметрия нагружения генератора (сети) при одновременном сохранении эффекта существенного упрощения, что особенно проявляется в многоканальных централизованных НВ ВИ на единых многостержневых пространственных магнитопроводах.

Данная идеология реализована в НВ ВИ одного из подвижных изделий, а также в испытательных пультах, что отражено в приложении.

В табл.1 на примере базовой схемы KV-6(P) (рис.3.2 [28,42]) проиллюстрированы в общем виде выигрыши (экономии Э, в размах) в соответствующих показателях относительно известных аналогичных базовых схем - традиционной 6-лучевой (Ш), 6-лучевой с симметричным двухсторонним зигзагом (Д) (рис.12,а4) и наиболее близкой по числу магнитных систем и силовых обмоток зарубежной (США, ФРГ) (ЗА) схем.

Таблица 1

Отно-: си- тель- но	Выигрыш схемы KV-6(P)											
	$\mathcal{E}_I$	$\mathcal{E}_{II}$	$\mathcal{E}_T$	$\mathcal{E}_{W_{\Sigma 0}}$	$\mathcal{E}_{P_{GV}}$	ПМ	$\mathcal{E}_{I_B}$	$\mathcal{E}_{II}$	$\mathcal{E}_{k_{II}}^{\alpha=0}$	$\mathcal{E}_{L:C}^{\alpha=0}$	$\mathcal{E}_{k_{II}}^{в/д}$	
Ш	1,5	1,5	1,5	1,5	15,7%	+	1,0	1,0	1,0	1,0	> 4	
Д	1,5	4,5	1,5	1,3	8,5%	-	1,0	1,0	1,0	1,0	> 4	
ЗА	1,0	1,0	1,0	1,1	-3,6%	-	1,5	3,0	4,1	$\approx 20$	> 10	

Здесь:  $I, II, T, W_{\Sigma 0}, P_{GV}, I_B, II, k_{II} (\alpha = 0, в/д), L:C$  относятся, соответственно, к числу первичных и вторичных обмоток, числу магнитных систем или однофазных трансформаторов, суммарному числу витков вентильных обмоток при одинаковом среднем значении выходного напряжения, к удельным мощностям по массе ( $G$ ) и объему ( $V$ ) ЭМА, к среднему току вентиля, частотной кратности пульсации и ее уровню в неуправляемом ( $\alpha = 0$ ) и управляемом (с вольтодобавкой, в/д) режимах, к произведению  $L:C$  при  $\alpha = 0$  ПМ - подмагничивание постоянным током.

Выигрыши, обеспечиваемые схемой KV-6(P), существенны.

Схемы KV6(P) и V4(4) (рис.2,б) использованы для шести каналов (по три ФС реализации с циклической сменой фаз) в вышеуказанном 24-канальном НВ ВП, что позволило только по вентильным обмоткам сэкономить шесть секций - по одной на каждый канал, а исполнение источника в виде совмещенной конструкции на едином пространственном магнитопроводе обеспечило необходимую компактность.

Реализации базовых V-схем возможны при любых значениях  $II$  и выполнены при  $II = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12$  [28, 36, 38, отчеты по НИР "Система"].

Аналогичны принципы действия, рекуррентно обобщенного синтеза и положительные эффекты предложенных 0-, K-, L-схем, в том числе с синфазной или фазосдвинутой (в частности, нулевой) вольтодобавкой [28, 43, 44, д

Существенным положительным свойством таких НВ ВП, как и многомодульных ВВ и СВ ВП, является повышенная эксплуатационная надежность за счет применения маломощных элементов при введении глубокой структурно-режимной "избыточности". Как удачный, этот термин заимствован автором в 60-х годах из классической книги "Спектры и анализ" акад. А.А.Харкевича, а указанная концепция токорасщепления по повышенному числу слаботочных структур с источниками ФС ЭДС тогда же была принята совместно с И.И.Белопольским и К.П.Собиновым при решении возникшей острой проблемы по разработке НВ ВП микроэлектронной аппаратуры для оборонных заказов. Специфика таких ВП была обусловлена наличием в РЭА новых полупроводниковых элементов с низкими энергетическими уровнями: туннельные диоды, интегральные микросхемы, другие твердотельные элементы. Первые научные результаты по многофазным выпрямителям с повышенным числом "элементарных" слаботочных преобразовательных ФС структур при учете внутренних активных сопротивле

ний изложены автором в отчете НИР (№ 3655-66, 1966 г.) и в 1969 г. сообщены с И.И.Белопольским на семинаре "ВИП РЭА" в МДНТП при теплой рекомендации дебютировавшего автора руководителем семинара Ю.К.Захаровым. Доклад содержал также сведения о возникающем в таких схемах новом явлении, именуемом теперь Р-явлением и обнаруженном автором экспериментально в 1966 г. Результаты исследований  $m$ -фазных ВС изложены автором в кандидатской диссертации (КДА) в 1971 г., а также в монографии [1]. Позднее [44] идеология "избыточности" за счет токорасщепления по слаботочным модулям закреплена юридически и за последние 10 лет реализуется во всех стабилизированных сильноточных НВ ВИП в составе комплексов РЭА различных подвижных изделий научно-производственного объединения. Разработано около десятка типов таких НВ ВИП. Ряд изготовленных низковольтных источников предназначен для питания устройств и аппаратуры цифровой техники микросхемного исполнения при значениях потребляемого тока нагрузки в десятки-сотни ампер. Стабилизированный многолучевой низковольтный источник ИП-50 на 5 В x 50 А серийно изготавливается с 1984 г. в промышленности и, как показано в приложении, имеет в 2 раза лучше удельные показатели отсительно стандартизированных для идентичных ВИП в МРП и МПСС. Этим так же подтверждается сравнительная эффективность и достаточная жизнеспособность первичных научных концепций.

В настоящее время прорабатываются новые идеи.

3. Выводы по первой части. Изложенные концепции по введению и умелому использованию глубокой естественной избыточности (структурной, параметрической, функциональной, режимной, алгоритмической, информационной, др. [26, 28, 31, 33, 44, 48, пр.]), а также по алгоритмическому синтезу новых технических решений (изобретений) применительно к вентильным преобразователям электроэнергии всех диапазонов напряжения доведены до конкретных практических результатов, что подтверждено научными отчетами, докладами публикациями, а также авторскими свидетельствами СССР и документами промышленного внедрения.

В процессе конкретной реализации постулированных идей, обобщенных алгоритмов, принципов, способов создано большое количество принципиально новых, базовых технических решений ВП повышенной эффективности, формирующих, по существу, новые перспективные направления в различных областях применения: низковольтных, средневольтных, высоковольтных ВП [28 - 62].

Новые базовые решения преобразователей электроэнергии отвечают по своей практической полезности современным требованиям энерго- и капиталосберегающей стратегии действующей в стране Энергетической программы, а также Комплексным программам по преобразовательной технике и ВИП.

Благодаря установленным положительным эффектам предложенные принципы и конкретные научно-технические реализации обеспечивают в данных областях необходимое опережение достижений, известных в других промышленно развитых странах (США, Япония, ФРГ, др.).

