

Repin A. M. *The truth and the false* / А. М. Репин. Истина и лже.
Ч.3. Истинно. А-БВК¹

Приложение 2. Отличия и достоинства синтеза БВК ЭЭ по РАСам относительно синтеза линейных цепей

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИЗВЕСТИЯ АН СССР

ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ - М., 1987. № 2, с. 78-91

- А и А_о-схемы – новые направления в конверсике
- Сущность схем
- Общие принципы действия
- Отличительные особенности, преимущества
- Способ “куста”
- Р-принцип
- Обобщённые рекуррентные алгоритмы синтеза новых базовых схем (концепция создания изобретений на ЭВМ) – принципиально новое направление, новая идея, новая концепция в синтезе

УДК 621.314.6 : 621.382

ЭКОНОМИЧНЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ КОНВЕРТЕРЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

РЕПИН А. М.

Описаны **новые** экономичные схемы высоковольтных преобразователей электро-энергии, называемые **агрегатированными**. Предложены **простая, компактная система** обозначений и **графических изображений** различных систем фазосдвинутых ЭДС, а также **эффективный и наглядный способ “кустового” построения векторных диаграмм** по формированию фазосдвинутых импульсов выходного напряжения многоступенчатых схем. **Впервые сформулированы обобщённые рекуррентные алгоритмы синтеза новых ВВ ВК.**

ECONOMICAL HIGH-VOLTAGE ELECTRIC-ENERGY CONVERTERS

Arkadiy M. Repin

Ibid. // **Power Engineering** / By Allerton Press, Inc., 150 Fifth Avenue. New York, N.Y. 10011, USA. - Vol. 25. (1987) № 2. Ps. 77-88.

New economical circuits of high-voltage (HV) rectifier (ventil) converters (VC) of electrical energy are described; these are called aggregate circuits. A simple, compact system of notation and graphical representation is proposed for various systems of phase-shifted emfs as well as an effective, clear technique for “bushing” construction of vector diagrams for formation of phase-shifted output-voltage impulses of multistage circuits. Generalised recursion algorithms for the synthesis of the new high-voltage ventil converters are formulated for the first time.

© А.М. Репин. 1982, -86, -87, 2002, -05, 8.2.-9.6.2012

¹Стр.1-24 см. в //ИЭА. URL: <http://econf.rae.ru/article/6824.16850.168...>

Из книг автора. «Азы конверсики.- М. 2002. 2005».
Раздел «Экономичные высоковольтные конвертеры электроэнергии.

Актуальность и анонс результатов⁰

Потребность в вентильных конвертерах (ВК) на повышенные, высокие, сверх- и ультравысокие напряжения – от единиц киловольт до мегавольт – очень широка^[1-18].

Поэтому создание эффективных высоковольтных (ВВ) ВК, особенно при существующем дефиците и дороговизне электрической энергии (ЭЭ) – проблема крайне важная.

Перспективными в данных областях применения признаны **ступенчатые** ВК (СтВК), иногда некорректно называемые каскадными. Во всех отраслях и странах преимущественное применение нашли **ступенчато-мостовые** ВК, в ряде случаев – **ступенчато-лучевые**^[1-12].

В^[13-18, 21, 22, 26, 27] и пр. описаны **новые** схемы на основе **В'- вентильных колец** и **В'о -вентильных цепей**. Они названы **А-** и **Ао-схемами** и обеспечивают относительно указанных выше традиционных улучшение надёжности, к.п.д., массогабаритных и стоимостных показателей (МГСР). В настоящей статье впервые изложены в **общем** виде **принципы** работы таких схем, преимущества, достигаемые положительные эффекты и рекуррентные алгоритмы, обеспечивающие создание теоретически неограниченного числа новых ВВ ВК, что может стимулировать работу широкого круга исследователей и разработчиков ВК.

А-схемы, общие принципы действия, отличия и эффекты

На рис. 1 показана общая структура построения А-схем, на рис. 2-10 – некоторые принципиальные электрические схемы¹ в топологическом и “монтажном” виде, а также обобщённые векторные диаграммы и **компактные** изображения систем ЭДС.

В общем случае А-схема состоит из i_x ступеней, каждая i -я из которых содержит систему M'_d источников переменных фазосдвинутых (ФС) ЭДС и L' вентильных ячеек из V' преобразовательных (конверсирующих) элементов (ПЭ, КЭ) или вентилей, соединённых с источниками ЭДС посредством L' линий (рис.1). Здесь обозначения чисел со штрихом относятся к одной ступени, без штриха – к ВВ ВК в целом. При этом в качестве КЭ допустимы **любые нелинейные** элементы с односторонней проводимостью – механические, электронные, полупроводниковые, куйтероновые, в частности, лампы, диоды,

⁰ В данном варианте статьи без изменения её сущности дополнены некоторые петитные вставки, уточняющие сноски, приложения 0-16, формулы и библиография. Введены они либо как исключённые ранее из исходного материала статьи, либо в связи с устранением имеющихся в ней опечаток, последующим появлением или установлением необходимых дат опубликования соответствующих сведений, упоминаемых в ней, в т.ч. известных автору до её подготовки или позднее, в процессе её издания, или после публикации, либо предложенных им для оценки (в частности, в виде предполагаемых изобретений для оценки гос. экспертизой), но к моменту поступления статьи в редакцию или типографию ещё не опубликованных, пр.

¹ Соответствующие из них, в т.ч. из^[10, 13-18, 21-27], а также из А.С. 917280, 917281, 928569 СССР (10.4.80-15.5.82) применимы не только в ВВ, но также в средне- (СВ) и даже низковольтном (НВ) диапазонах.

PS. Наряду с принципиально новым типом БВК ЭЭ, в работе **впервые** даны **рекуррентные алгоритмы** создания схем (РАСы), отражающие становление кардинально **нового** направления по **синтезу** теоретически **бесчисленного** множества **нелинейных** (вентильных) структур (схем БВК, каждая из которых отвечает, кстати, всем легальным признакам изобретений) при сочетании двух, казалось бы, несовместимых процессов. А именно, **творчества** (как процесса интеллектуального, немеханического) и **компьютерного**, как процесса чисто механического, основанного на выполнении наипростейшей (бинарной) операции или функции – да/нет, +/-, 1/0, пр.).

Для сравнения **РАС-синтеза** с известным способом уместно упомянуть о сути процедур **традиционного синтеза** электрических цепей (ЭЦ).

Для этого, с целью исключения возможных искажений, проще, удобнее и нагляднее процитировать какую-либо работу по теории цепей. Например, выдержки из свежей публикации «**Системный анализ и синтез многополюсников радиотехнических и приборных комплексов**» /С.И. Бардинский и др. (подпис. в печ. 27.06.2001), – СПб.: ГУАП. (2001) с. 65 (11.1.2002)*.

«**Синтез** цепей является одним из **важнейших** разделов теорий ЭЦ». Необходим как **основа** проектирования (технических) устройств. «Под синтезом понимают определение состава («структуры) и параметров» «пассивных» элементов «ЭЦ, обладающей **заданными** свойствами – **требуемой реакцией** на **заданное воздействие**». Они «описываются» математическими («операторными или комплексными») функциями: коэффициентом передачи по напряжению и току (КПН, КПТ) или входными сопротивлениями и проводимостями (ВхС, ВхП). **Задача** состоит в том, чтобы **отыскать функцию (!)** цепи (ФЦ) по **заданным (!) временным функциям (!)** воздействия и реакции».

(Здесь все выделения – курсив, жирно, знаки – мои, А.М.Р.).

При этом «ФЦ определяется **без (!)** учёта возможности практической (!) реализации цепи. А полученный таким способом ФЦ, как правило, **не (!) удаётся реализовать** в схеме, состоящей из **конечного** числа пассивных (линейных) элементов – сопротивлений, индуктивностей, емкостей (резисторов, дросселей, конденсаторов) и идеальных трансформаторов. Приходится производить **приближённую аппроксимацию требуемых** характеристик **функций**, допускающую практическую реализацию».

Процедура синтеза **конкретной** цепи содержит **два** этапа. «На первом находится ФЦ, на втором производится её реализация, т.е. определение структуры (состава) и параметров элементов цепи. При этом может быть **несколько** (конкретных) вариантов схемных решений. Выбор наилучшего из них относится уже к **задаче инженерного проектирования**» (т. е. к **другой** задаче), и потому в пособиях по теории ЛЭЦ **не** приводится.

Выводы

1. «Обычный» «синтез» относится к **линейным** схемам. А **не** к **вентильным** (тем более **не** к устройствам со **многими нелинейными** элементами).

2. Сущность такого «синтеза» – это процедуры с **математическими функциями**, а **не** с **реальными** устройствами.

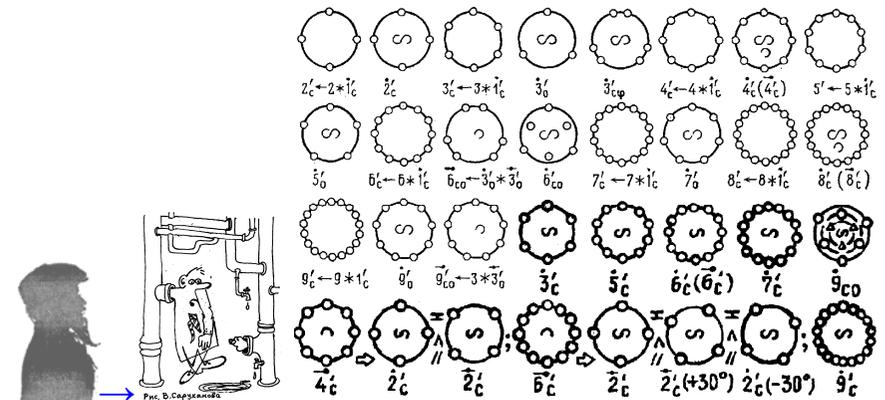
3. «Практическая реализация» цепи при традиционном «синтезе» **не**определёна («как правило, **не реализуема**»), что требует выполнения **еще одного** специфического этапа – поиска «приближенной аппроксимации». При этом инженеру «**необходимо** иметь **глубокие знания теории цепей** и **навыки её применения**». Однако, сама эта **теория**, как видим, **не** даёт, во-первых, ответа на данный вопрос. А, во-вторых, при современном **активном усложнении** математического аппарата (в **т.ч.** в **ТЭЦ**) она оказывается в целом порой просто не под силу рядовому разработчику аппаратуры, занятому решением массы совершенно **иных, серьезных, повседневных проблем**.

4. Но и после выполнения предыдущих процедур поиск **конкретной** линейной цепи – суть **многовариантной** задачи по выбору приемлемого («оптимального») (?) варианта из их множества. Что относится, однако, уже к ещё одной самостоятельной стадии – к **инженерному проектированию**. И при том вновь со своими проблемами. Но от всего от этого «**теоретики**» уже **открещиваются**, перекалдывая решение на **самых же** и без того **сверх нагруженных «инженеров»**.

5. Таким образом, «обычный» «синтез» направлен на поиск **одной конкретной** схемы (с конкретными и притом **размерными** электрическими параметрами воздействий, реакций, элементов). Основан на **математических** операциях. **Многоэтапен. Сложен.** И при всем при этом из-за принципиально свойственной ему **неопределённости фактически не даёт инженеру быстро, однозначно конкретного схемного результата**.

6. РАСы, **без** каких-либо математических ухищрений, **однозначно** и элементарно **просто** дают **принципиально новые, базовые (!)** схемы **вентильных (нелинейных) конвертеров электроэнергии**. На их основе опытный разработчик, используя уже **апробированные**, возможно привычные для него методики инженерного проектирования, **может**, в соответствии с конкретным ТЗ (техническим заданием), **создать** макетный и опытный образец **реального источника питания**.

Блок ФК



Силуэт автора: **Открытие?!**

Рис. 5. Упрощенные изображения M'_d -систем в фазовой плоскости (**фазовые кадры**) и их нотация при наличии ДЭДС с **автономными (собственными (с))** и **объединенными (общими (о))** полюсами (выводами). Поскольку любой 1-фазный источник ЭДС – 2-полюсный, то система ЭДС при **нечётном** числе полюсов $p = (2v)$, $\forall v \in N$ на её **1-орбитном** или **o1-ФК** обязательно гальванически **связанная**, как и в случае единого 2-, 3-, ..., **v-орбитного** ФК независимо от числа p . Но при $p = 2v$ **чёт o1-система** может быть **любой** – связанной, несвязанной, полу- или, точнее, **(1/n)-связанной** (при сохранении знака и слова "полу" при всех n), где $n = p/p_k$ – число входящих в **общий** фазокадр автономных систем (k -х ФК, связанных автономно) с $p_k = p/n < p$ полюсами, что для двух ФК при $\forall k \in [1, n]$, $(n \wedge i_x) = 2\sqrt{3}$ дано в нижнем ряду. Пример конкретной реализации по синтезу базового конвертера, изобретённого автором при **3-орбитном 9co-ФК** (последний в 3-м ряду), **см.** на рис.11 в [18].

О множестве новых базовых А-схем, Р-принципе и “кустовом” способе синтеза упорядоченного поля векторов ФС импульсов выходного напряжения. С целью **формализованного синтеза новых А-схем** далее сформулированы простые и эффективные способы, обеспечивающие **генерацию новых базовых решений** ВВ ВК. Однако важно предварительно отметить, что при произвольном соединении M'_d -систем не все теоретически формально предполагаемые схемы реально работоспособны. Найти нужный порядок в последовательности M'_d -систем, необходимые фазовые сдвиги ДЭДС и их систем, выявить работоспособные схемы и их число, а среди них – оптимальные по соответствующим критериям – задачи в общем виде очень сложные, что обусловлено наличием большого числа предельно нелинейных элементов (вентилей), физические состояния которых (открыт, закрыт) в многовентильной структуре априори неизвестны. Причём возникающие трудности и возможности получить существенное многообразие новых схем проявляются даже в простейших случаях.

Так, например, при условии, что каждая i -я ступень содержит всего лишь по одной ДЭДС ($M'_{di} = 1, \forall i = [1, i_x]$), а M'_d -системы симметрично последовательно сдвинуты по фазе относительно друг друга, общее число возможных исполнений схем с 4-вентильными кольцами (как, впрочем, и с 4-вентильными Л2-мостами и пр.) составляет $N_{i_x} = i_x!2^{i_x}$, что уже для 12-ступенчатых схем ($i_x = 12$) дает $N_{12} = 12!2^{12} = 1\,961\,990\,553\,600 \approx 2 \cdot 10^{12}$. Сколько среди них работоспособных и как найти хотя бы одну реальную – задачи важные для практики. Способы простого перебора и обычных проверок неприемлемы ввиду нереальности осуществления. Формализовать же задачу поиска не просто из-за отсутствия способов оценки корректности синтезируемых схем. Кроме того, попытки алгоритмизировать процедуру поиска и (с целью сокращения непроизводительного труда) передать решение машине затруднены ввиду доминирования творческого начала – опыта, интуиции, изобретательности.

Одна из примерно двух триллионов таких схем, изобретённых автором при $M'_{di} = 1, \forall i, i_x = 12$, дана на рис. 2, а^[18, 21]. В ней ЭДС 49..60 распределены в порядке и сдвинуты по фазе так, как показано на рис. 2, б, ПЭ 1..48 пронумерованы в последовательности **естественного** вступления их в работу при выборе 1-го импульса S_1 в качестве исходного (опорного). Схема обеспечивает 24-кратную частоту пульсации ($\Pi = 24$). Работоспособность схемы подтверждает детализированная векторная диаграмма на рис. 4. Диаграмма представляет собой упорядоченное поле векторов в виде отдельных их “кустов”. Использован разработанный способ первоначального построения укрупненного “куста” – из главных S_μ ($\mu = [1, 24]$) и образующих их больших векторов (между точками

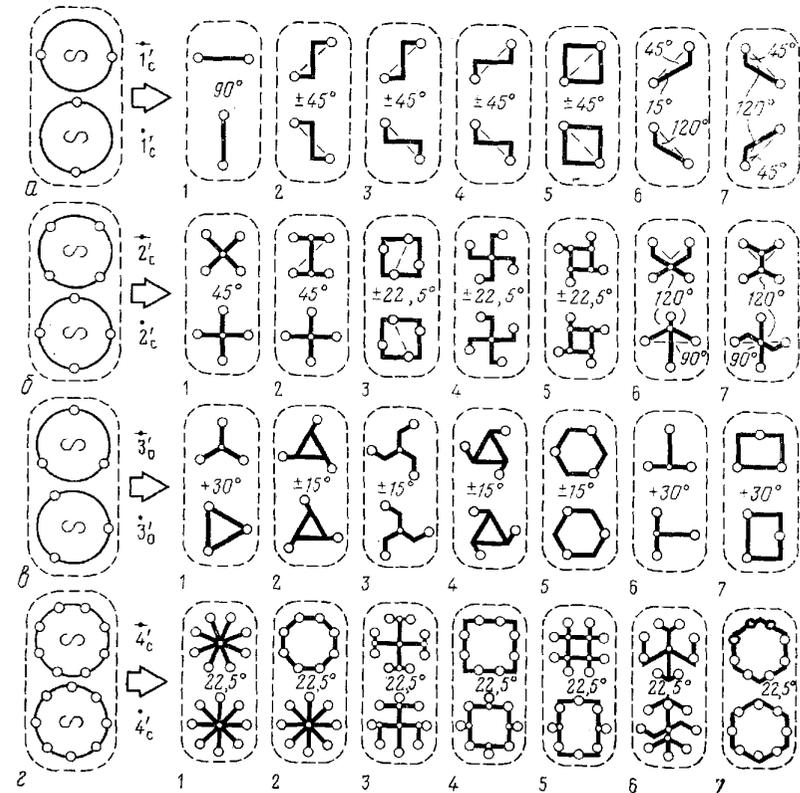


Рис. 6. **Фазовые кадры** и примеры реализаций двух ФС M'_d -систем (**бисистем**)

54-0 и 60-54) – с последующей детализацией внутренних ветвей (реконфигурацией^[10, 13..18]). Так, предыдущие большие векторы образованы векторами поменьше – между точками 60-57, 57-54, 54-51, 51-0, расположенными на рис. 4 в направлении от вершины вектора S_μ к его основанию. Эти меньшие векторы в свою очередь образованы соответствующими тройками векторов ДЭДС, например 60, 59, 58; 57, 56, 55; 54, 53, 52; 51, 50, 49 для S_1 .

Как видим, способ “куста” **прост, эффективен** и в целом **ясен** из рис. 4. В результате обеспечиваются **наглядность** и **удобство** при выяснении принципа действия **любых ступенчатых схем** (лучевых, мостовых, А-, А₀-...), а также при **оценке** корректности **синтеза новых** схем, их работоспособности и оптимальности алгоритмов управления.

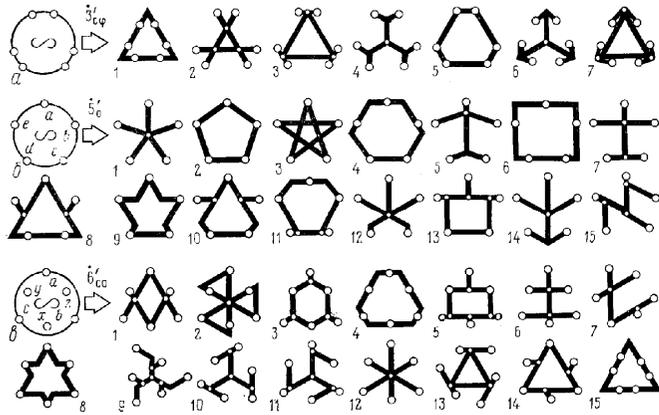


Рис. 7. Примеры топологической реализации $\dot{3}'_{op}$ -, $\dot{5}'_o$ - и $\dot{6}'_{co}$ -систем

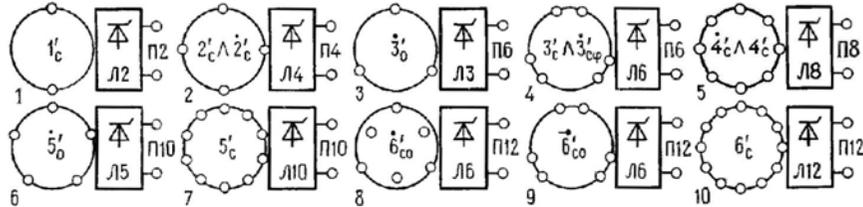


Рис. 8. Примеры M'_{di} -систем с L' -ячейковыми мостами из $V' = 2L'$ КЭ

В частности, из рис. 4, б следует, что в каждом из 24 подынтервалов дискретности сигналы управления достаточно подавать лишь на 2 из 48 КЭ. При однопозиционном управлении КЭ (на открытие или на закрытие) системе управления, в том числе микропроцессорной, достаточно обеспечить подачу сигналов управления по следующему алгоритму: на КЭ 1 \vee 2, 8 \vee 46, 5 \vee 47, 11 \vee 48, 3 \vee 4, 9 \vee 10, 6 \vee 7, 14 \vee 15, 16 \vee 17, 18 \vee 19, ..., 36 \vee 37, 13 \vee 38, 39 \vee 40, 41 \vee 42, 43 \vee 44, 12 \vee 45. Видно также, что длительность Λ открытого состояния вентилей лишь у 4 КЭ составляет 180 эл. град. У остальных – меньше, в том числе у 4 из них меньше в 6 раз. Это позволяет устанавливать менее мощные ПЭ, причём при оценке Λ_ξ ξ -го КЭ не учитывается возможное явление перекрытия или коммутации внутренних ветвей. В случае работы схем в коммутационных режимах (типа $P \subset K_k$, $P \subset K_{\Pi k}$ и пр.^[20]) значения Λ_ξ изменяются при примерном сохранении соотношений.

Общность рис. 2 и 4 позволяет получить немало других **новых полезных реализаций** с **преферентными** свойствами. Так, приняв $i_x = 2$ и подключив КЭ 13, 15 на рис. 2, а к ЭДС 54 при замене ею ЭДС 50,

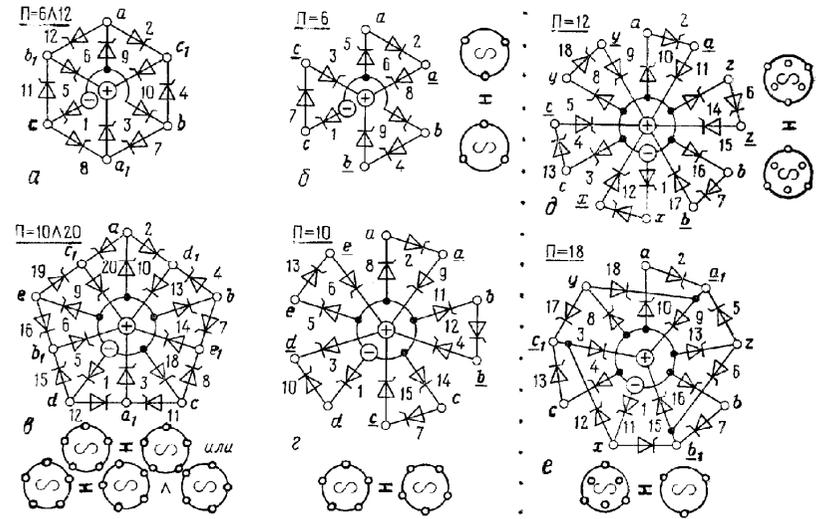


Рис.9. 2-ступенчатые A - и A_o -схемы при $M'_{di} = M'_d, \forall i$ и при $M'_{di} \neq M'_d$

a - схема $A-6'$ ($6 \wedge 12$), $i_x = 2$, $M'_{di} = 3$, $i = [1, 2]$, $v'_{a,k} = 3$, $V' = 6$, $V_n = 3$, $\Delta V_n = 1$, $\Theta_{Vn} = 1,33$, $L' = 3$, $V = 12$, $M_d = 6$, $k_n = 14 \wedge 3,45\%$, L_o -схема, **бисистема** $\dot{3}'_o + \dot{3}'_o \wedge \dot{3}'_o$, $\{abc\} \in \dot{3}'_o$, $\{abc\}_1 \in \dot{3}'_o \wedge \dot{3}'_o$ (30°) (рис. 6, в);

b - схема A_o-3_o (6), $i_x = 2$, $M'_{di} = 3$, $v'_{a,k} = 3$, $V_o = 3$, $V_n = 3$, $\Delta V_o = 1$, $L' = 3$, $V = 9$, $\Delta V = 3$, $\Theta_V = 1,33$, $k_n = 14,03\%$, L_o -схема, **бисистема** $\dot{3}'_o + \dot{3}'_o$, $\{a b c\} \in \dot{3}'_o$ (одна из систем рис. 6, в), $\{a b c\} \in \dot{3}'_o$ (система, обратная предыдущей);

v - схема $A-10'$ ($10 \wedge 20$), $i_x = 2$, $M'_{di} = 5$, $v'_{a,k} = 5$, $V' = 10$, $V_n = 3$, $L' = 5$, $V = 20$, $k_n = 5 \wedge 1,24\%$, L_o -схема, **бисистема** $\dot{5}'_o \pm \dot{5}'_o \wedge \dot{5}'_o$, $\{a \dots e\} \in \dot{5}'_o$, $\{a \dots e\}_1 \in \dot{5}'_o \wedge \dot{5}'_o$ (18°) (рис. 7, б);

z - схема A_o-5_o (10), $i_x = 2$, $M'_{di} = 5$, $v'_{a,k} = 5$, $V_o = 5$, $V_n = 3$, $\Delta V_n = 1$, $L' = 5$, $V = 15$, $\Delta V = 5$, $\Theta_V = 1,33$, $k_n \approx 5\%$, L_o -схема, **бисистема** $\dot{5}'_o \pm \dot{5}'_o$, $\{a \dots e\} \in \dot{5}'_o$ (одна из систем рис. 7, б), $\{a \dots e\} \in \dot{5}'_o$ (система, обратная предыдущей);

d - схема A_o-6_o (12), $i_x = 2$, $M'_{di} = 6$, $v'_{a,k} = 6$, $V_o = 6$, $V_n = 3$, $\Delta V_n = 1$, $L' = 6$, $V = 18$, $\Delta V = 6$, $\Theta_V = 1,33$, $k_n = 3,45\%$, L_{co} -схема, **бисистема** $\dot{6}'_{co} \pm \dot{6}'_{co}$, $\{azbxcy\} \in \dot{6}'_{co}$ (рис. 7, в, $ax : ac = 1 : 1$), $\{a \dots z\} \in \dot{6}'_{co}$;

e - схема $A_o-6'3_o$ (18), $i_x = 2$, $M'_{d1} = 6$, $M'_{d2} = 3$, $v'_a = 6$, $v'_k = 3$, $V' = 6$, $V'_o = 3$, $V_n = 3$, $L'_1 = 6$, $L'_2 = 3$, $V = 18$, $k_n = \theta \operatorname{tg}(\theta/2) = 1,53\%$, $\theta = \pi/\Pi$, L_{co} -схема, **бисистема** $\dot{6}'_{co} \pm \dot{3}'_o$, $\{azbxcy\} \in \dot{6}'_{co}$ (рис. 7, в), $\{a b c\}_1 \in \dot{3}'_o$, причём $\{abc\}_1 \subset \{abc\} \in \dot{6}'_{co}$, $ax : ac : a_1c_1 = 1:1:0,5$ sc 20°

получаем при сохранении $M'_{di} = 1$ **2-фазную L_c -схему с 4-кратной** частотой пульсации (фиг. 6 из [21] и рис. 3, взамен "**4-фазной двухмостовой**", см., напр., [3] и Прил. 3). Приняв $i_x = 3\lambda 6$ и подключив ПЭ 13, 15 соответственно к ЭДС 51 или 54, из рис. 2 получаем **L_c -схемы с 6-** (фиг. 1 [14.-16], взамен "**трижды однофазной каскадно-мостовой схемы**", см., в частности, [6] и Прил. 4) или **12-кратной частотой пульсации** (напр., фиг. 5 из [21]).

Схемы можно использовать как в качестве самостоятельных, так и в составе ВК по рис. 2 для дополнительных нагрузок. Достаточно лишь в соответствующем месте подключить дополнительные 2-вентильные катодные звезды ($v'_k = 2$). Необходимые векторные диаграммы для таких схем получают из той же **универсальной** диаграммы на рис. 4 путём выделения внутренней области (круга с полем векторов) по окружностям, проходящим через концы векторов 51 или 54, соответственно. При этом решение обладает важным свойством инвариантности относительно выходного напряжения [15], благодаря чему обеспечена не критичность схем к перефазировке и переиндексации ЭДС. Это означает что, несмотря на изменения, все схемы сохраняют работоспособность, и, следовательно, все $N_3 = 3!2^3 = 48$ или $N_6 = 6!2^6 = 46\ 080$ вариантов схем, вероятно, корректны. Одна ко $\Pi = i_x \Gamma'$ в общем случае не сохраняется.

Если ЭДС 49..60 при указанных на рис. 2, б фазовых сдвигах объединить по **две** со сдвигом в 90° ($M'_{di} = 2$), то, соединив эти ФС системы из двух гальванически связанных или несвязанных между собой ортогональных ЭДС (рис. 6, а, б) через 8-вентильные кольца ($V' = 8$), а с выходными выводами – через 4-вентильные катодно-анодные звезды ($v'_{a,k} = 4$), получим в зависимости от числа i_x ступеней **новые реализации** в виде **двух-** (ЭДС 49,54; 56,58; $i_x = 2$, напр., фиг. 8 из [21]), **трёх-** (49,54; 50,52; 51,53; $i_x = 3$, напр., фиг. 10, 11 из [21]) и **6-ступенчатых** (49,54; 50,52; 51,53; 55,60; 56,58; 57,59; $i_x = 6$) **А-схем L_c -типа с 8-, 12- и 24-кратной частотой пульсации** соответственно.

Если же ЭДС 49..60 объединить по **три** в каждой i -й системе ($M_{di} = 3, \forall i$) со сдвигом 120° внутри неё, то, соединив такие ФС M'_{di} -системы через **6-** вентильные **кольца** ($V' = 6$) между собой, а с выходами – через 3-вентильные звезды ($v'_{a,k} = 3$), получаем **двух-** (ЭДС 49..51, 52..54, $i_x = 2$, рис. 9, а и, напр., рис. 18.1, 19 из [18], а также фиг. 12-19 из [21]), **4-ступенчатые** (49..51, 52..51, 55..57, 58..60, $i_x = 4$) **реализации AL_c -схем с 12- и 24-кратной частотой пульсации**, причём диагональные (в данном случае они же - линейные) ЭДС можно сформировать путём соединения секций вентильных обмоток ЭМА в различные схемы – 3-лучевую звезду, замкнутый, открытый (V-схему), неполный треугольник (иногда неудачно называемый за рубежом "продлённым", "продолженным", пр., у нас – скользющим", "с рогами", "фазоповоротный", пр.), в **Р-схему** (рис. 6, в, поз. 4.), левый, правый односторонние зигзаги, полуправильные 6-угольники (полуграны), ортогональные **T-образные** схемы Скотта (точнее, **T-схемы Стейнмеца, Ch. Pr. Steinmetz**,

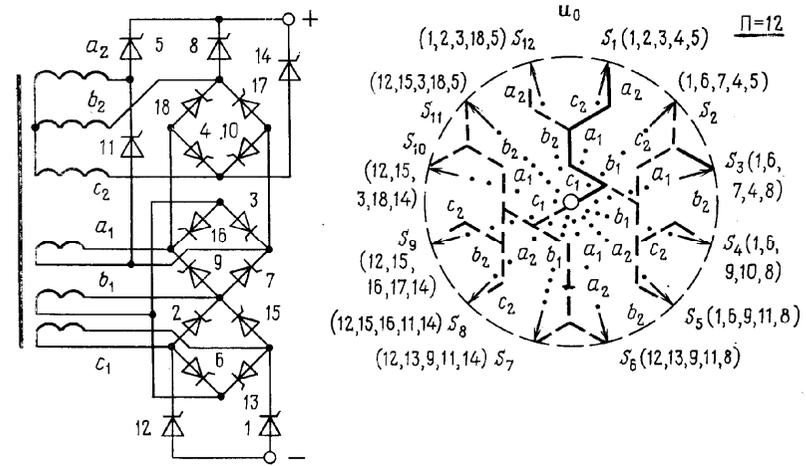


Рис. 10. **Схема А-4'(2+3) (12).** $Z_x = 4, i_{x1} = 3, i_{x2} = 1, j_{xin} = 1, M'_{d1} = 1, M'_{d2} = 3, v'_a = 2, V' = 4, V'_o = 1, V_n = 5, L'_1 = 2, L'_2 = 3, V = 18, L = 9, k_n = 3,45\%, a_2 : a_1 = 1 : \sqrt{3}/2, B_{a1} \approx 0,185, B_{a2} \approx 0,214, D_{a1} = 1, D_{a2} \approx 0,82, O = u_a \text{ обр} / U_o = 1/3, K_{прл} = (11,1 + 4,72)/2 \approx 7,9\%, W_{\Sigma a} = 1,673, W_{\Sigma o} = 1,692, \text{А-4'(6)}_{c\pm} L_c \text{3-схема (а) и её кустовая диаграмма (б)}^{[22]}$

1892 г., Прил. 10) и т.д. (например, рис. 6, в). Этим заменяются наиболее распространенные ступенчато-мостовые ВК [1-5, 7.-9, 11, 12] с 3-ячейковыми (трехфазными) мостами **Ларионова**², основанные по существу на схеме **Червоненкиса**³ (схеме $L_6(\text{A} \text{---} \text{B})$). □

При подключении систем из **шести** объединенных ДЭДС 49-54 и 55-60 ($M'_{di} = 6$) через 12-вентильное кольцо ($V' = 12$) и 6-вентильные звезды ($v'_{a,k} = 6$) получим **двухступенчатую** ($i_x = 2$) А-схему с $\Pi = 24$. Причем такой результат возможен при наличии **двух** сдвинутых по фазе на 15 эл. град. **полусвязанных** \vec{b}'_{c-o} -систем (рис. 5, 6, в, 8, поз. 9), содержащих **не связанные** между собой и сдвинутые относительно друг друга на 30 эл. град. подсистемы \vec{z}'_o и \vec{z}'_o (30°) из **трёх** гальванически **связанных** между собой ДЭДС. При гальванической же связи таких подсистем образуется лишь **три** ДЭДС (\vec{z}'_{cp} -системы, рис. 5, 7, а), каждая из которых обеспечивает лишь $\Gamma' = 6$ (рис. 8, поз. 4), а при соединении

² Название **ошибочно**. Более правильно именовать **L3-мост** схемой **Каллира**, опубликовавшего её на четверть века раньше (V..XII, 1898) вместе с физико-математическими результатами, полученными им, вероятно, в конце 1897 или начале 1898 гг. - см. сведения в Тез.-2 автора в разделе III здесь.

³ Ошибочность названия схемы и выдачи А.С. [1] отмечена выше в сноске 1, а некоторые публикации даны в Прил. 6.

ФС $\vec{3}_{\text{ср}}$ -систем ($\vec{3}_{\text{ср}}$ и $\vec{3}_{\text{ср}}$ (30°) при $\varphi = 30^\circ$) между собой через **три 4-вентильных кольца** ($V' = 4$), а с выходами – через **6-вентильные звезды** ($v'_{a, \kappa} = 6$), получаем $\Pi = 12$ (но не $\Pi = 24$, как в предыдущем случае, несмотря на кажущуюся идентичность и сохранение суммарного числа КЭ $V_{\Sigma} = 24$). Уменьшение Π обусловлено переходом от систем с **общими** (о) к системам с **собственными** (с) полюсами (выводами).

При наличии в каждой i -й системе **четырёх** ДЭДС с фазовым сдвигом в 45 эл. град. ($M'_{di} = 4$, рис. 5, **а, б, г, з**, 8, поз. 5) можно получить **i_x -ступенчатые А-схемы** путём связи таких M'_{di} -систем через 16-вентильные кольца ($V' = 16$) и 8-вентильные выходные звёзды ($v'_{a, \kappa} = 8$) с достижением ($\Pi = 8i_x$)-кратной частоты пульсации в случае сдвига фаз одной системы относительно другой на угол $45 / i_x$ эл. град. Причём не важно, с гальванически **связанными** ДЭДС или **нет**. В частности образованными, например, ЭДС 49, 58, 54, 56 и 55, 51, 60, 53 из рис. 2, **б** при изменении фазового сдвига этих двух систем с 15 на $22,5^\circ$ при $i_x = 2$ и дополнительно ЭДС 52, 57, 50, 59 для $i_x = 3$ при сохранении прежних сдвигов

Аналогичны А-схемы при **других чётных и нечётных** значениях M'_d ДЭДС, в том числе не формирующихся непосредственно из множества ЭДС на рис. 2, **б**. В качестве примера на рис. 9, **в** дана **двухступенчатая А-схема** при $M'_{di} = 5$. При этом при **синфазных однотипных** системах (т.е. в случае $\vec{5}'_o \pm \vec{5}'_o$ и выводах *abcde*, соответствующих для каждой из $\vec{5}'_o$ -систем **фазокадру** на рис. 7, **б**) значение $\Pi = 10$, а при **фазосдвинутых** системах (т.е. для $\vec{5}'_o \pm \vec{5}'_o$, 18°) – $\Pi = 20$.

В **общем случае** при наличии i_x ступеней с M'_d -системами ДЭДС в каждой i -й из них получают при соответствующих фазовых сдвигах **любую** Π -кратную частоту пульсации путём соединения **смежных** систем через V' -вентильные кольца и связи первой и последней ступеней с нагрузкой через **две обратные** (катодную и анодную) ($v_{a, \kappa} = L' = V'/2$)-вентильные звезды (рис.1). Возможны также Л-схемы при $M'_{di} \neq M'_{di+}$ (рис. 10 и пр.).

При этом для питания **реверсивной** нагрузки **достаточно** лишь к первой и последней M'_d -системам подключить две v' -вентильные звезды (например, на рис. 2 четыре дополнительных КЭ подключаются попарно как КЭ 1, 24 и 13, 15), объединенные аноды и катоды которых присоединить к **разнополярным** относительно исходных выводам нагрузки. В этом случае **все** M'_{di} -системы и **все** V' -кольца **участвуют** в работе при обеспечении как **прямого**, так и **обратного** тока нагрузки, и, следовательно, **достаточен практически лишь один комплект** ПЭ и ЭМА против обычно используемых двух.

Отсюда логичны **два местных вывода**. Во-первых, за счёт такого схемно-функционально-конструктивного **совмещения (интеграции) основной части** ВК обеспечена **существенная экономия** относительно решений, традиционных для реверсивных нагрузок. Во-вторых, данная **идея** или **Рс-принцип (Рс-способ)** плодотворны для таких

потребителей, поскольку реализуемы не только при использовании любых рассматриваемых здесь А- и А_о-схем, но и вообще **любых** ступенчатых (**СтВК**) и других ВК. – **Лучевых, мостовых, кольцевых**, прочих. А также **любых** одно- или многоступенчатых схем. Образованных путём соединения "**элементарных**" ВК (**ЭВК**) ±-но, // -но, комбинированно. Состоящих из лучевых и/или мостовых, и/или кольцевых, иных ЭВК. Причём тоже, в свою очередь, **любых**. Неуправляемых. Полууправляемых. Полностью (**однопозиционно** – на открытие **или** закрытие – либо **двухпозиционно** (-операционно) – на открытие **и** закрытие) или комбинационно, широтно-импульсно-модулированно (ШИМуемо) управляемых. Диодных. Транзисторных. Тиристорных. Выпрямительных. Инвертерных. Низко-, средне-, высоковольтных. И т.д.

Во всех случаях при **синтезе любых** ступенчатых схем, помимо рассмотренного "кустового" способа и **Рс-принципа**, полезны другие формализованные приёмы. В частности, **принцип раздельности**.

Р-принцип. Если ВК содержит две или более ступени, соединенные **последовательно** между собой через однонаправленно включенные КЭ с односторонней проводимостью, то системы ДЭДС разных ступеней должны быть выполнены в виде **гальванически несвязанных** между собой электромагнитных систем. Такие системы именуют **автономными**.

Типы схем и их особенности. Все схемные решения ВК разделимы на два основных типа ^[19]: с общими (L_o) и собственными (L_c) линиями. В общем случае для них справедливо следующее:

$$L_c\text{-схемы: } L' = 2M'_d, V' = 2L', L = 2M'_d i_x = 2M_d, V = 2L = 4M'_d, \\ \Pi' = L' = 2n = V'/2 < V', \forall n \in \mathbb{N}; \Pi = L = V/2 < V.$$

$$L_o\text{-схемы: } L' = M'_d, V' = 2L', L = i_x M'_d = M_d, V = 2L = 2M_d, \\ \Pi' = 2L' = V', \Pi = 2L = V.$$

Возможны также L_{co} -схемы с сочетанием свойств L_c - и L_o -схем.

В этом состоят основные различия L_c - и L_o -схем, влияющие на их структуру, конструктивно-технологические и энергетические свойства, на МГСП, надёжность, пр., а чётность и нечётность чисел $M'_d \in \mathbb{N}$ ДЭДС в M'_d -системах дополнительно обуславливают необходимость самостоятельно формулировать следующие алгоритмы.

Рекуррентно-схемные алгоритмы (РАСы) синтеза А-схем.

РАС-1. Если **все** i_x M'_d -систем автономны и сдвинуты последовательно по фазе относительно друг друга на угол $\varphi = \theta'_1 / i_x$, а каждая i -я из них содержит M'_d равных по амплитуде и симметрично сдвинутых по фазе на угол θ'_1 ДЭДС с собственными для них полюсами (выводами) и если одинаковые номера выводов смежных M'_d -систем расположены на их **фазокадрах** со смещением на угол φ , где $\theta'_1 = \pi / M'_d$, $M'_d = 1 \wedge 2v$, $\forall v \in \mathbb{N} = 1, 2, 3, \dots; \forall i \in [1, i_x]$, то для **синтеза А-схемы необходимо и достаточно каждый k -й вывод i -й M'_d -системы при $\forall i \in [1, i_x^-]$ соединить** посредством двух подключенных одноимёнными

электродами преобразовательных элементов с p -м и p^+ -м выводами i^+ -й M'_d -системы, а к выводам первой и последней M'_d -систем подключить разноименными электродами v'_a и v'_k КЭ, свободные электроды которых объединить между собой в каждой из этих двух групп, образуя ими выводы постоянного тока и имея в виду, что

$$p = \begin{cases} k + M'_d \leq L', & \forall k \in [1, M'_d] \\ k - M'_d \leq M'_d, & \forall k \in [M'_d + 2, L'] \end{cases}; \quad p^+ = \begin{cases} p + 1, & \forall p < L' \\ 1, & p = L' \end{cases};$$

$$i^\pm = i \pm 1, \quad M'_d = M'_d \pm 1, \quad k = [1, L'], \quad v'_a = v'_k = L' = 2M'_d.$$

Таким образом, пользователи РАС-1 вручную или с помощью ЭВМ синтезируют любые новые базовые А-схемы с равным единице или с чётным числом M'_d источников ДЭДС с собственными (с) полюсами в каждой i -й M'_d -системе, т. е. синтезируют А-схемы Л_с-типа (рис. 2, 3, 5, 6, а, б, з и пр.).

Аналогичен РАС-2 для автоматизированного синтеза новых базовых А-схем с нечётным числом ДЭДС в M'_{di} -системах с общими полюсами или линиями (Л_о-схем).

РАС-2. Если все i_x M'_d -систем автономны и синфазны между собой, либо каждая последующая сдвинута по фазе относительно предыдущей на угол $\varphi = \theta'_1/i_x$, и если каждая i -я из них содержит M'_d равных по амплитуде и сдвинутых по фазе на угол θ'_1 ДЭДС с общими для них полюсами (выводами), причём $\theta'_1 = \pi/M'_d$, $M'_{di} = L'_i = 2v + 1$, $\forall v \in N = 1, 2, 3, \dots$; $\forall i \in [1, i_x]$, то для синтеза А-схемы необходимо и достаточно каждый k -й вывод M'_{di} -системы при $\forall i \in [1, i_x]$ соединить посредством двух подключённых одноименными электродами преобразовательных элементов с p -м и p^+ -м выводами i^+ -й M'_d -системы при совпадающей на их фазокадрах нумерации одноименных выводов ДЭДС всех M'_d -систем в случае их синфазности и при последовательно смещённой на угол φ нумерации – в случае фазосдвинутых систем, а к выводам первой и последней M'_{di} -систем подключить разноимёнными электродами v'_a и v'_k КЭ, свободные электроды которых объединить между собой в каждой из этих групп, образуя ими выводы постоянного тока и имея в виду, что

$$p = \begin{cases} k + L'/2 \leq L', & \forall k \in [1, L'/2] \\ k - L'/2 \leq L'/2, & \forall k \in [(L' + 3)/2, L'] \end{cases}; \quad p^+ = \begin{cases} p + 1, & \forall p < L' \\ 1, & p = L' \end{cases};$$

$$i^\pm = i \pm 1; \quad L'^\pm = L' \pm 1; \quad k = [1, L'], \quad v'_a = v'_k = L'.$$

Формализованный синтез схем по РАС-2 с целью экономии обобщён в одной формулировке для двух принципиально разных случаев – синтеза синфазных и последовательно сдвинутых по фазе на угол $\varphi = \pi/M'_{di}$ M'_d -систем (рис. 5, 6, в, 7, б, 9, а, в и др.).

Этим достаточно просто, но существенно и дополнительно повышена информационная ёмкость алгоритма и значительно расширены потенциальные возможности схемной реализации СтВК данного нового типа. Одновременно на много дополнительно сэкономлены и без того резко сниженные уже в РАС-1 объём изложения, иллюстраций и в целом ресурс мышления, времени, труда по синтезу этих новейших схем. А также по программному и сервисному обеспечению и оперативному созданию на уровне изобретений новых конкретных базовых ВК вручную или с помощью любых современных ЭВМ (компьютеров).

Таким образом, во всех А-схемах по РАС-1 и РАС-2 крайние M'_d -системы ДЭДС подключены к выводам “плюс, минус” через v'_a - и v'_k -вентильные звезды, образуящие анодную и соответственно катодную выходные группы КЭ, а все смежные системы ДЭДС соединены между собой через В'-вентильные кольца, причём так, что все схемные решения обеспечивают высокое качество преобразования энергии путем достижения повышенной частотной кратности П пульсации: $\Pi = \Pi' = 2M'_d$ – в схемах с синфазными и $\Pi = \Pi'_{i_x} = 2M'_{di_x}$ – с фазосдвинутыми системами. В любом случае для таких А-схем $V' = 2L'$, а $M'_{di} = M'_d, \forall i$.

Аналогичен синтез А-схем при $M'_{di} \neq M'_{di+}$ (рис. 10 и т.п.).

Все А-схемы обеспечивают соответствующие положительные эффекты относительно сравнимых зарубежных и отечественных аналогов (хотя из-за принципиальной новизны А- и А_о-схем аналогов на самом деле нет), формируя, таким образом, новое перспективное направление в различных областях применения ВВ ВК. Причём это касается как Л_о-, так и Л_с-схем.

Специфика синтеза Л_с о-схем, т. е. содержащих M'_d -системы одновременно с общими и собственными полюсами ДЭДС или линиями (рис. 5, 7, в), проиллюстрирована в составе схемы А_о-б'о (12) на рис. 9, д на примере двух б'с о-систем – бисистем: прямой (б'с о) и обратной (б'с о). Но данная реализация относится уже не к А-, а к А_о-схемам.

А_о-схемы, алгоритмы и эффекты. Могут быть эффективны А_о-схемы, охватывающие подгруппу так называемых секционированных ВК, т. е. содержащих наряду с i -ми ФС системами (или без них) также j_i -е однотипные (не ФС или синфазные – сф) M'_d -системы. Однотипными именуют системы с совпадающими фазокадрами.

Формализованный синтез новых базовых А_о-схем основан на сформулированных в обобщённом виде РАС-3 (с нечётными значениями $M'_{dji} = 2v + 1$, $\forall v \in N$, рис. 9, б, з-е) и РАС-4 (с $M'_{dji} = 1 \wedge 2v$, $\forall v \in N$), аналогичных РАС-1 и РАС-2.

РАС-3. Если i -е M'_d -системы А-схем с нечётным числом M'_d ДЭДС ($M'_d = L' = 2v + 1$, $\forall v \in N = 1, 2, 3, \dots$) содержат j_i -е однотипные M'_d -системы, то для синтеза А_о-схемы необходимо и достаточно выполнить каждую последую-

дующую j_i -ю систему с фазовым сдвигом на угол $\varphi = \theta'_1$ относительно предыдущей j_i^- -й системы и при совпадающей (для чередующихся через одну систем) и смещённой на угол φ (для смежных систем) нумерации их выводов на фазокадрах **соединить каждый** k -й вывод ($j_i = 2v$)-й системы посредством двух подключённых разноименными электродами преобразовательных элементов с p -м выводом предыдущей и последующей систем, учитывая в случае их наличия, что

$$p = \begin{cases} k + L^{*+}/2 \leq L', & \forall k \in [1, L^{*+}/2] & \theta'_1 = \pi/M'_d, L^{*+} = L' \pm 1, \\ k - L^{*-}/2 \leq L^{*+}/2, & \forall k \in [L^{*+}/2, L'] & j_i = [1, j_x i]. \end{cases}$$

Здесь система, сдвинутая по фазе на угол θ'_1 , является по существу обратной. Тем самым, все **чётные** j_i -е системы – обратные относительно смежных с ними **нечётных** систем, именуемых прямыми. Известны, например, прямые и обратные **нечётно-лучевые** (в частности, традиционные 3-лучевые) или L' -угловые (в частности, 5-угловые) звёзды, прямой и обратный замкнутые, разомкнутые, неполные и прочие многоугольники (в частности, традиционные треугольники) и т. д. (рис. 9, б, з, и др.).

РАС-4. Если i -е M'_d -системы А-схем при $M'_d i = 1 \wedge 2v$, $v \in N$ содержат j_i -е однотипные системы, то для **синтеза** A_o -схемы **необходимо** и **достаточно каждый** k -й вывод j_i^- -й системы **соединить** при $j_i = [1, j_x i^-]$ посредством одного КЭ с p -м выводом j_i^+ -й M'_d -системы, учитывая, что

$$p = \begin{cases} k + M'_d \leq 2M'_d, & \forall k \in [1, M'_d] \\ k - M'_d \leq M'_d, & \forall k \in [M'_d, 2M'_d] \end{cases} ; \quad j_i^{\pm} = j_i \pm 1, j_i = [1, j_x i].$$

Таким образом, в **A_o -схемах** L' выводов (линий) смежных j_i -х M'_d -систем соединены между собой **непосредственно** через $B'_o = L'$ вентильных плеч или КЭ, образующих **B'_o -вентильные** цепи, и, следовательно, относительно многомостовых и А-схем в A_o -схемах **половина КЭ** (вентилей) на стыке прямых и обратных M'_d -систем **отсутствует** (отсюда индекс о в обозначении A_o), что отличает A_o -схемы от сопоставляемых "аналогов".

Эффект относительно **ступенчато-мостовых секционированных** схем заключается в **снижении числа B_n КЭ в $\mathcal{E}_{Bn} = 2\mathcal{E}_x/\mathcal{E}_x^+ \approx 2$ раза** (как в А-схемах, но в A_o -схемах $\mathcal{E}_x = \sum_i j_x i$, $\forall i \in [1, i_x]$), а также в **уменьшении суммарного числа B_Σ КЭ** (относительно и **мостовых**, и **А-схем**) путём **сокращения** их в **2** раза на стыке любых **однотипных ступеней**. Этим обеспечивается **упрощение, повышение КПД, экономия**. В управляемых ВК **упрощаются**, кроме того, алгоритмы управления и реализующие их **системы управления**. В том числе микропроцессорные.

Достоинства синтеза БВК ЭЭ по РАСам – см. выше, стр. 15.

О расчёте режимно-энергетических и других показателей.

Для любых ступенчатых схем возможны обобщённые результаты по режимно-энергетическим, угловым, спектральным и другим показателям. В частности, **амплитуда** u_{a_o} выходного напряжения u_o без учёта потерь равна модулю вектора S_μ , представляющего собой векторную сумму всех ДЭДС S_{di} , проводящих в данный момент ток нагрузки: $u_{a_o} = \text{mod } u_o = \text{mod } S_{di}$, $\forall i \in [1, i_x]$, причём $S_{di} = \sum_i S_{dji}$, $\forall j_i \in [1, j_x i]$. При последовательно сдвинутых по фазе системах ФС ДЭДС смежных ступеней, а также при типовой (синусоидальной) форме ДЭДС и амплитудно-фазовой их симметрии: $u_{a_o} = S_{a_d} S_n$, где $S_n = s_n^{-1} = \sin\theta'/\sin\theta \geq 1$ – некие **взаимно инверсные**, очень **простые**, но **универсальные функции** комбинационно попарно сочетаемых параметров Π , n , θ, \dots . То есть $f\{(\Pi \vee \Pi_1) \wedge (\Pi \vee n) \wedge (n \vee \Pi_1) \wedge (\theta \vee \theta_1) \wedge (\theta \vee n) \wedge (\theta_1 \vee n) \wedge \dots\}$, $n = i_x$, $\Pi_1 = \Pi'$, $\theta_1 = \theta' = \pi/\Pi' = i_x \theta$, $\theta = \pi/\Pi$, а амплитуда $S_{a_d} = \sum_j S_{a_dj}$, $\forall j \in [1, j_x]$.

Среднее значение U_o напряжения u_o для любых схем при симметричных пульсациях и синусоидальных токообразующих ЭДС S_μ ($\forall \mu \in [1, \Pi]$):

$$U_o = \theta^{-1} \int S_1(\vartheta) d\vartheta = u_{a_o} \sin\theta'/\theta = S_{a_d} \sin\theta'/\theta, \quad \forall \vartheta \in [0, \theta].$$

При тех же условиях **действующее** значение \mathcal{U}_d ДЭДС

$$B_d = \mathcal{U}_d/U_o = U_o^{-1} \sqrt{\int S_d^2(\vartheta) d\vartheta / 2\pi} = \theta/\sqrt{2} \sin\theta', \quad \forall \vartheta \in [0, 2\pi].$$

Другие величины определяют аналогично. Для конкретных схем числовые данные приведены на рисунках, где даны также: $D = \mathcal{I}'/I_o$ – **действующее** значение тока соответствующего элемента относительно среднего тока нагрузки без учёта потерь при условно бесконечной индуктивности катодного дросселя, $K_\Pi = \Delta u_o/U_o$ – коэффициент пульсации по полному ее размаху, $K_{\Pi p} = 100 (\mathcal{P}_r/P_o)^{\gamma} \%$ – коэффициент **превышения** габаритной (**вольт-амперной**) **мощности** \mathcal{P}_r вентильных (вторичных, индекс Π), сетевых (первичных, индекс I) или трансформаторного оборудования в целом (без индекса) относительно **полезной** (ваттной) мощности P_o ; $W_{\Sigma a}$, $W_{\Sigma o}$ – витковые числа, показывающие отношение суммарного числа витков вентильных обмоток относительно **базового** числа витков с напряжением на них, равным амплитудному либо среднему значениям выходного напряжения в режиме холостого хода:

$$W_{\Sigma a \pm} = w_\Sigma / w_{b_a} = \sum_i W_{\Sigma a i} (u_{a_o}) = \sum_i (W_{\Sigma a i} (S'_{a_d}) = W_{\Sigma a i} \text{авт}) / S_n.$$

При однотипных (от) ЭВК с одинаковой топологией систем ЭДС и $\forall i \in [1, i_x]$ значение

$$W_{\Sigma a \pm} = i_x W'_{\Sigma a} \text{авт } S_n,$$

где авт – при автономной работе ЭВК на собственную нагрузку.

Отсюда при $M_d i = 1$ для А-схем с 4-вентильными или В'4-кольцами и для мостовых СТБК с "1-фазными" Л2-ЭВК при любой топологии КЭДС имеем:

$$W_{\Sigma a \pm} = i_x W_{\Sigma a \text{ авт}} \sin \theta.$$

При наиболее типичной топологии I :

$$W_{\Sigma a \pm} = i_x \sin \theta = i_x \sin(\pi / 2 i_x) \in [1, \pi / 2], \forall i_x \in \mathbb{N}.$$

При $i_x = 2, 3, 4, 6, 9, 12$ и ∞ , т.е. при $\Pi = 2i_x = 4, 6, 8, 12, 18, 24$ и ∞ , $\theta = 45, 30, 22,5, 15, 10, 7,5$ и 0° , **ф-ла даёт:** ($\sqrt{2} \approx 1,41$), 1,5, ($2\sqrt{2} - \sqrt{2} \approx 1,531$), ($3\sqrt{3} / \sqrt{2} \approx 1,553$), ($1,562834 \approx 1,563$), 1,5663 и $\pi / 2 \approx 1,571$, соответственно (см., напр., рис. 2 и 3).

Имея в виду, что

$$W_{\Sigma o} = \theta W_{\Sigma a} / \sin \theta,$$

для А-4'(i_x) с В'4-кольцами и для (i_x ± Л2)-СТБК с I -топологией ЭДС получаем **НЕ зависящий** от числа i_x ступеней **уникальный по простоте и общности результат:** $W_{\Sigma o} = \pi / 2 \approx 1,571, \forall i_x$. → Как и по $W_{\Sigma a}$ и другим показателям **см.**, в частности, **рис. 2 и 3** выше. А также (при учёте имеющихся у автора экземпляров без опечаток, допущенных при издании) **см.** фиг. 3, **в**, 4, **а**, 5, **в**, 6, **в** в [SU 917280 (11.6.80-30.3.82)] и фиг. 1, 3, 5; 1.8; 1; 18.3, 20.1, 20.5, 20.7; 1, 5 и 6 в [14; 15; 16; 18; 21], соответственно. О некоторых других, тоже очень **полезных** для читателей **формулах** и ещё **более уникальных свойствах простых мостовых БВК см.** в Прил. 0_{форм}, Прил. 0_{прим} и Прил. 0_{би}.

Учитывая, что при //-м соединении k-х ЭВК и тех же условиях **однотипности** и **одинаковости**, а также при $\forall k \in [1, n]$, суммарное число витков ВО:

$$W_{\Sigma a //} = \sum_k W_{\Sigma a k} (S_{ad}) = n W_{\Sigma a 1 \text{ авт}},$$

Полагая $i = k, i_x = n, \Pi' = \Pi_1, \theta' = \theta_1 = \pi / \Pi_1 = n \theta$, получаем **простые универсальные** соотношения (связи, **формулы перехода**, законы):

$$\mathcal{E}_{\Sigma}(\Sigma //) = W_{\Sigma //} / W_{\Sigma \pm} = S_n \quad \text{и}$$

$$\mathcal{E}_{\text{II}}(\Sigma //) = K_{\text{II} // n} / K_{\text{II} \pm i_x} = Y_{in} = S_n / \sqrt{n} = \mathcal{E}_{\Sigma}(\Sigma //) / \sqrt{n},$$

где \mathcal{E} – **экономия** (выгода, выигрыш, улучшение), Y – **ухудшение**, проигрыш, а $K_{\text{II}} = \mathcal{P}_{\text{Г II}} / P_o$ – коэффициент **использования** мощности $\mathcal{P}_{\text{Г II}}$ ВО.

В общем случае

$$K_{\text{II} \wedge \text{пр II} \pm \wedge (//, \text{УР}) \wedge \text{сф}} = \sum_{i \wedge k} K_{\text{II} \wedge \text{пр II} i \wedge k} / i_x \wedge n.$$

При **однотипных** по $K_{\text{II} i \wedge k}$ "элементарных" конвертерах – значения

$$K_{\text{II} \wedge \text{пр II} o \text{т} \pm \wedge (//, \text{УР}) \wedge \text{сф}} = K_{\text{II} \wedge \text{пр II} \text{ авт}}; \quad K_{\text{II} //} = Y_{in} K_{\text{II} \text{ ЭВК}}.$$

При **разнотипных** n ЭВК: $K_{\text{II} //} = Y_{in} \sum_k K_{\text{II} k \text{ авт}} / n, \forall k \in [1, n]$.

Если же из n ЭВК v_x **разнотипные** при n_v **однотипных** в v-й группе, то

$$K_{\text{II} // (v \text{ пр})} = v_x^{-1} \sum_v Y_{in_v} n_v^{-1} \sum_k K_{\text{II} k v \text{ авт}};$$

$$n = \sum_v n_v, \quad \forall v \in [1, v_x], \quad \forall k \in [1_v, n_v]^4.$$

Изложенные **общетеоретические положения**, помимо рассмотренных эффектов, **позволяют повысить эффективность действующих промышленных установок традиционно многомостового типа** [1-12], достигаемую **без** обременительного демонтажа и реконструкции.

Для перехода к **А-схемам** в **несекционированных** ВК достаточно лишь перемонтировать (перепаять) выводы электродов КЭ на стыке Л'-ячейковых (В' = 2Л')-вентильных **мостов в В'-вентильные кольца**. Для перехода к **А_o-схемам** в **секционированных** установках – дополнительно транспозировать выводы (перепаять схему в обратную) в каждой чередующейся через одну однотипной схеме вентильных обмоток ЭМА и изъять половину ПЭ между всеми j_i-ми ступенями, если такие ПЭ имеют двойной запас по обратному напряжению.

Согласно [11], объём тиристорного блока **двухмостового** ВК (Л' = 3, В' = 6, i_x = 2) составляет **555 м³** при массе **186 т**, а транспортные **массы** ВВ трансформатора и реактора [9] – **900 и 850 т**. Согласно [12], на крупнейшей в мире ГЭС (Итаипу, Бразилия, на пограничной с Парагваем реке Паране) мощностью 12 000 МВт и производительностью 72 ТВт·ч в год **длина здания** вентильных залов с пультом управления одной цепи - 82 м, **габариты зала** ВТВ (ВВ тиристорных вентилей) 600 кВ для **двух ЛЗ-мостов** - 20×20×24 м. Или 9600 ≈ **10 тыс. м³**. **Размеры** конвертерной подстанции в плане 1×2 км, **масса трансформатора и реактора 400 и 270 т**.

О возможностях и перспективах

Аналогично изложенному возможно создание других ВВ схем – А', А₁, А'_o и пр. [18]. При этом повышение надёжности любых конкретных разработок ступенчатых ВВ ВК возможно путём введения и умелого использования различных видов **избыточности**. В частности, за счёт исполнения **высоковольтных** ВК на основе повышенного числа Э_x **низковольтных** ступеней (**модулей**) [10, 13-18, 27].

⁴ Относительно формул на этих страницах **см.** сноску ⁶ в разделе **V** по **секторным конвертерам**. Автор пользуется ими давно. И в последнее время **формулы и таблицы базовых чисел** вновь предложены для опубликования. В частности, **28.2.94** г. они тезисно направлены на ВНТК-94 в ЧПИ-ЮУРГУ. **16.11.93** г. предложены в виде двух докладов (по 12 с.) и **16.2.94** г. сообщены на МНТК в ВЭИ. Материалы направлены также в ряд журналов. В т.ч. наиболее полно **9.9.99** г. в виде части II статьи (около 60 с.) в те же "Изв. РАН. Энергетика". Что частично отражено в [V⁷] списка **литературы** в разделе **V** по **С-БВК**. Все **формулы** – изгои.

Выводы

1. Для повышения **эффективности действующих в промышленности ВВ установок ступенчато-мостового** типа целесообразно (где возможна) их **модификация простым переводом на А-, А₀-схемы**.

2. **Новые высоковольтные вентильные конвертеры** целесообразно разрабатывать на основе **повышенного числа низковольтных ступеней (унифицированных модулей)** с целью улучшения надёжности за счёт действия **естественных** структурно-режимной, функциональной, алгоритмической и других **избыточностей**.

3. Разработанные и апробированные **рекуррентные схемные алгоритмы базовых А- и А₀-схем повышенной эффективности обеспечивают СИНТЕЗ** большого числа **полезных ступенчатых схем нового типа** с **преферентными свойствами и эффектами** и могут служить **базовым аналогом схемного синтеза вентильных конвертеров** электроэнергии других подгрупп, устанавливая **общность и единство идеологии рекуррентного синтеза** вентильных схем различного назначения.

В работе **практически реализована** (конкретно **подтверждена** ранее выдвинутая автором) **нетривиальная концепция** о возможности **создания с помощью ЭВМ принципиально новых схемно-технических решений на уровне изобретений**, причём теоретически **не ограниченного** (до выявления существенных на практике недостатков) **их числа**. Следовательно, здесь, видимо **впервые**, фактически **соединены** между собой **два**, казалось бы, несовместимых или взаимоисключающих друг друга **процесса** или начала, две категории – **творчество** (мышление, мыслительный (не механический) процесс) и **машина** – процесс сугубо механический, не интеллектуальный. Следует, вместе с тем, отметить, что в области т.н. "искусственного интеллекта" достигнуты уже поразительные успехи.

4. Приведенные **формулы** (соотношения, связи, законы) при всей простоте **фундаментальны**, как и использованная для вывода $K_{и II}$ // **простая**, но **эффективная** ("безынтегральная") **БИ-методика**. В отличие от известных по авторской методике **НЕ потребовалось** получать интегральных значений переменных (средних и действующих) и **даже самих переменных** (мгновенных значений токов, напряжений, мощностей), что уже само по себе сложно.

Формулы обеспечивают пользователям (специалистам-конверсионщикам, учёным, исследователям, проектировщикам, инженерам, разработчикам, другим) **значительные удобства и простоту**. А также **кардинальную** в целом **экономия времени, труда, средств** и пр.. В т.ч. **сокращение числа НИР** по изучению электромагнитных процессов в **СВК** и **СтВК** с целью определения свойственных им **энергетических и конструктивных показателей** при выше принятых условиях. **Использование** формул **способствует устранению ряда существующих в мире ошибочных концепций, принципов, взглядов, а также конкретных базовых чисел, исходных посылок и неверных идей** (ideas fixe).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Червоненкис Я.М.** Устройство для выпрямления и инвертирования трехфазного переменного тока. А.С. 57985 СССР (3.6.1939-30.9.40) (13.1.77)*; 112839 (27.10.57-4.8.58, 7.3.59) (12.3.80)*; Передача энергии ПТ. - М., Л.: ГЭИ (1957) с.52 (1.1.83)*.
2. **Uhlman E.** Stromrichter mit spannungskommütierung. Пат. 904796 ФРГ (16.12.1951-22.2.54, приоритет: Швеция, 19.4.49) (14.7.82, 7.10.00)*.
3. **Аксенов В.П.** Выпрямители и трансформаторные подстанции. - М.: Связь. 1961. 440с. (4.1.63)*.
4. **Размадзе Ш.М.** Преобразовательные схемы и системы.-М.: Высш.шк.1967.527с. (7.12.68)*
5. **Поссе А.В.** Схемы и режимы электропередачи постоянного тока. - Л.: Энергия. 1973. 304 с. (15.11.73)*.
6. **Глинтнерик С.Р.** Характеристики трижды однофазного каскадно-мостового преобразователя // Теорет. электротехника. 1977. № 23. С. 149, (21.12.77)*.
7. **Фотин В.П.** Разработка комплекса оборудования для электропередач постоянного тока напряжением 1500 кВ Экибастуз—Центр //Электротехника. 1978. № 6. С.5-7, (19.8.82)*.
8. **Владимиров А.Н., Семашко Н.Н.** Создание систем электропитания инжекторов для термоядерных установок // Эл. техника. 1981. № 1. С. 39..43. (3.2.81)*.
9. **Бортник И.М., Кулаков В.П., Соколов Н.Н.** Комплексы электрооборудования на ультравысокие напряжения // Эл. техника. 1982. №2. С. 2..6. (18.8.82, 7.9.95)*.
10. **Репин А.М.** Ступенчатый преобразователь переменных напряжений в постоянное. А. С. 959237 СССР (3.9.80-15.9.82) // Б. И. 1982. № 34.
11. **Goodrich F.G., Tozer A.W.** HV DC converter valves for the new cross-Channel link // Electron. and Power, 1982. V. 28. № 5. P. 375 // РЖ. Эл. техника. 21Ю: СПТ-ССП (30.9.83) 9, 4, 9Ю20 (6.9.86)*.
12. Передача энергии постоянным током высокого напряжения: Пер. докл. Междунар. конф. по большим электрическим системам (СИГРЭ-82) / Под ред. **Худякова В.В.** - М.: Энергоатомиздат. 1984. 65 с. (15.11.84)*.
13. **Репин А.М.** Источник постоянного напряжения. А. С. 1018187 СССР (3.7.81-15.5.83) // Б. И. 1983. № 18.
14. **Репин А.М.** Ступенчатый источник электропитания. А. С. 1112513 СССР (29.4.83-7.9.84) // Б. И. 1984. № 33.
15. **Репин А.М.** Трехфазный преобразователь. А. С. 1156218 СССР (29.4.83- 15.5.85) // Б. И. 1985. № 18.
16. **Репин А.М.** Управляемый источник электропитания А.М. Репина. А. С. 1156219 СССР (29.4.83-15.5.85) // Б. И. 1985. № 18.
17. **Репин А.М.** Система электропитания А.М. Репина. А. С. 1157633 СССР (29.4. 83-23.5.85) // Б. И. 1985. № 19.
18. **Репин А.М.** Новые базовые технические решения и классификация вентильных преобразователей энергии // ВРЭ. Сер. ОВР. 1985. Вып. 6. С. 65-82.
19. **Репин А.М.** Удвоение кратности частоты пульсации и снижение её уровня в многофазных мостовых вентильных преобразователях без увеличения числа фаз и вентилей // Проблемы преобразовательной техники. Ч. 4. - Киев: Изд. ИЭД АН УССР. 1983. С. 98-101.
20. **Репин А.М.** Критические состояния вентильных преобразователей // Изв. АН СССР. Энергетика и трансп. 1980. № 4. С. 71-94.

Дополнительный список

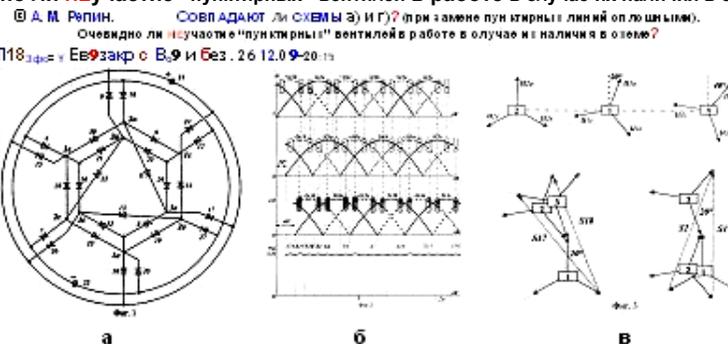
21. **Репин А.М. Источник электроснабжения** А.М. Репина. А.С. 1356153 СССР (29.4.83-30.11.87) // Б. И. 1987. № 44.
22. **Репин А.М.** Ступенчатый источник напряжения А.М. Репина. А. С. 1494179 СССР (9.9.1987-15.7.89) // Б. И. 1989. № 26.
23. **Репин А.М.** Электромагнитный аппарат А.М. Репина. А. С. 1228203 СССР (16.8.82-30.4.86) // Б. И. 1986. № 16.
24. **Репин А.М., Волков Ф.Ф., Семочкин А.Н.** Вентильный преобразователь переменного напряжения в постоянное. А. С. 1317606 СССР (3.10.83-15.6.87) // Б. И. 1987. № 22.
25. **Репин А.М.** Электромагнитный аппарат Репина А.М. А. С. 1617476 СССР (31.5.88-30.12.90) // Б. И. 1990. № 48.
26. **Репин А.М.** Преобразовательный агрегат. А. С. 1721697 СССР (30.5.1989-23.3.92) // Б. И. 1992. № 11 (см. Прил. 11).
27. **Репин А.М.** Современные принципы построения и систематизация источников электропитания // ВРЭ. Сер. ОВР. 1989. Вып. 11. С. 99-120.

=====

ВЫВОДЫ

Из публикаций «Честь или позор», «Истина и лже» доказанно очевидны факты нарушений нравственных, этических, конституционных прав, факты позора ВО-РУЩЕВ&К, НГТУ, ВАК, департамента научных и научно-педагогических кадров, федеральной службы по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор), МОН РФ.

© А.М. Репин. СОВПАДАЮТ ли СХЕМЫ а) и Г)? (при замене пунктирных линий сплошными).
Очевидно ли НЕучастие "пунктирных" вентилей в работе в случае их наличия в схеме?



А6 П18_{заб} = Евразр с В.9 и без. 26.12.09-20.13

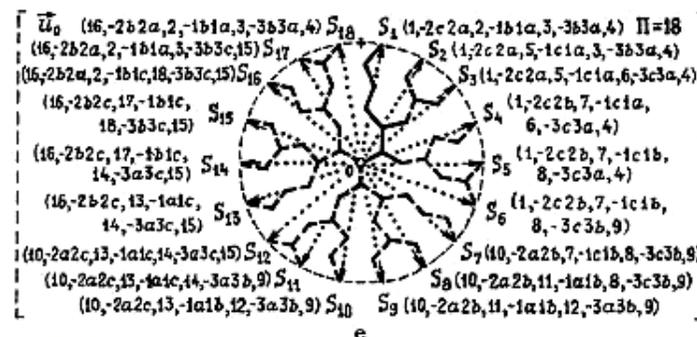
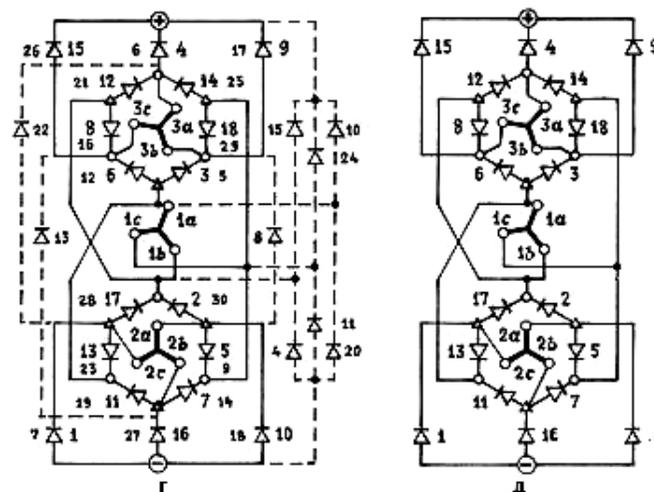


Рис.1. А6 П18_{заб}=γ-СтВК и сущность процессов (а, б, в – [СА], г, д, е – [АФ])

