

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** определена («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 загруженных «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

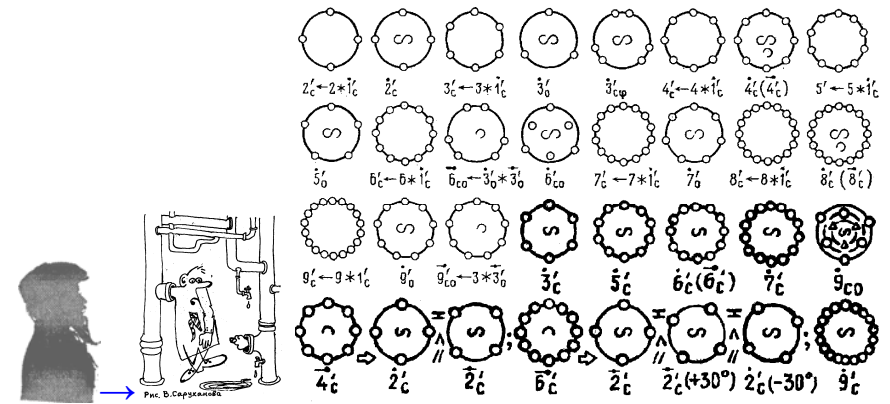


Рис. 5. Силуэт автора: Открытие?!

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

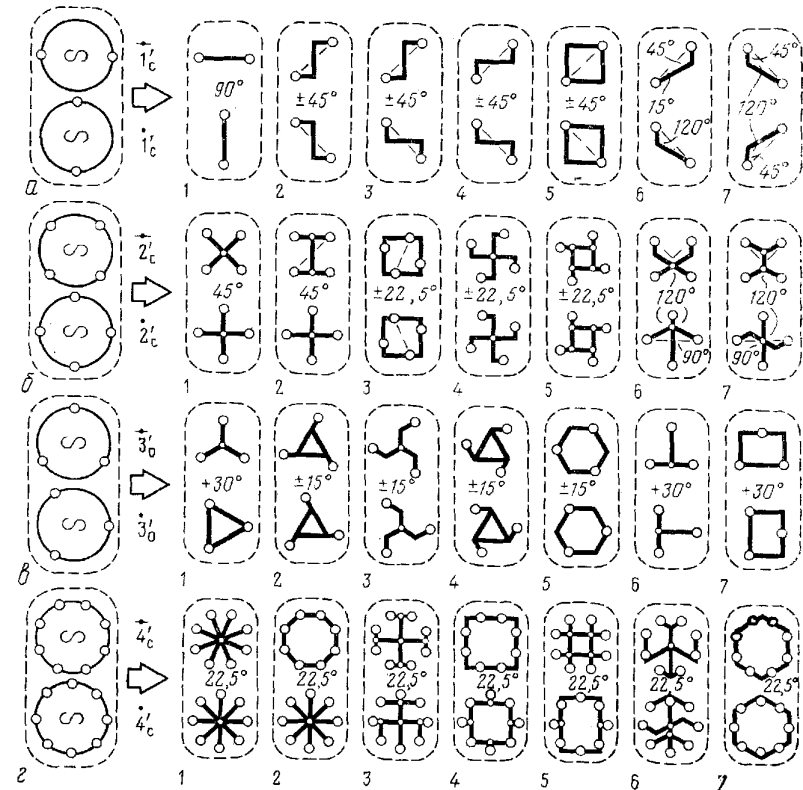


Рис. 6. **Фазовые кадры** и примеры реализаций двух ФС M'_d -систем (**бисистем**)

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.

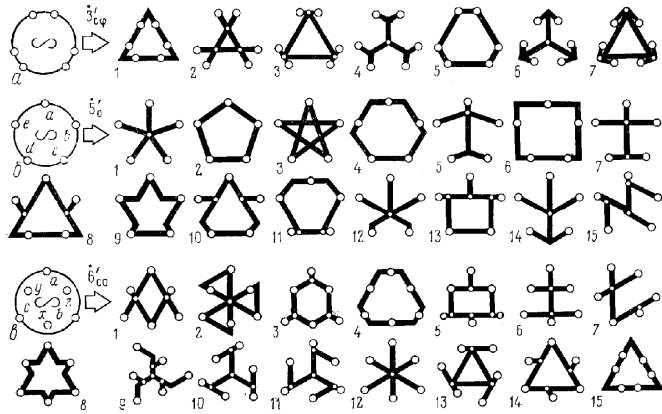


Рис. 7. Примеры **топологической** реализации $\dot{3}'_{op}$ -, $\dot{5}'_o$ - и $\dot{6}'_{co}$ -систем

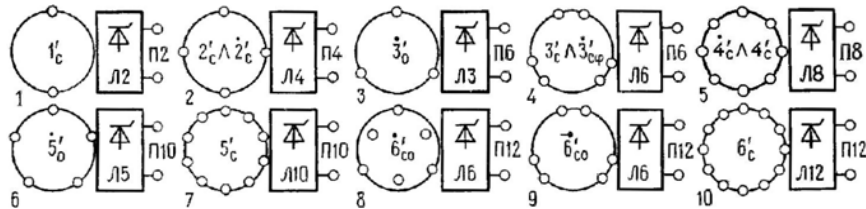


Рис. 8. Примеры M'_{di} -систем с **L' -ячейковыми мостами** из $V' = 2L'$ КЭ

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 $1 \vee 2, 8 \vee 46, 5 \vee 47, 11 \vee 48, 3 \vee 4, 9 \vee 10, 6 \vee 7, 14 \vee 15, 16 \vee 17, 18 \vee 19, \dots, 36 \vee 37, 13 \vee 38, 39 \vee 40, 41 \vee 42, 43 \vee 44, 12 \vee 45$. 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,

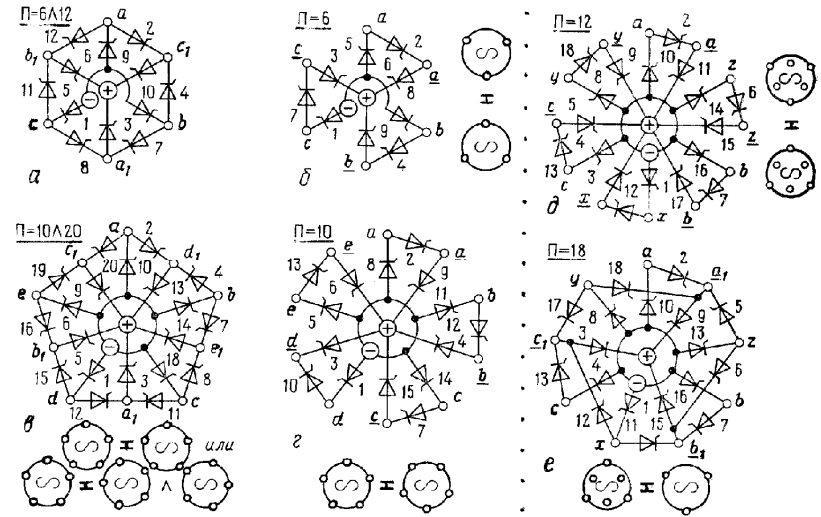


Рис.9. **2-ступенчатые A- и A_o -схемы** при $M'_{di} = M'_d, \forall i$ и при $M'_{di} \neq M'_d$

a - схема **A-6'** ($6 \wedge 12$), $i_x = 2, M'_{di} = 3, i = [1, 2], v'_{a,k} = 3, V' = 6, B_n = 3, \Delta B_n = 1, \Theta_{Bn} = 1,33, L' = 3, B = 12, M_d = 6, k_n = 14 \wedge 3,45\%$, 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);

б - схема **A_o -3 $_o$** (6), $i_x = 2, M'_{di} = 3, v'_{a,k} = 3, B_o = 3, B_n = 3, \Delta B_o = 1, L' = 3, B = 9, \Delta B = 3, \Theta_B = 1,33, k_n = 14,03\%$, 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);

в - схема **A-10'** ($10 \wedge 20$), $i_x = 2, M'_{di} = 5, v'_{a,k} = 5, V' = 10, B_n = 3, L' = 5, B = 20, k_n = 5 \wedge 1,24\%$, 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);

г - схема **A_o -5 $_o$** (10), $i_x = 2, M'_{di} = 5, v'_{a,k} = 5, B_o = 5, B_n = 3, \Delta B_n = 1, L' = 5, B = 15, \Delta B = 5, \Theta_B = 1,33, k_n \approx 5\%$, 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);

д - схема **A_o -6 $_o$** (12), $i_x = 2, M'_{di} = 6, v'_{a,k} = 6, B_o = 6, B_n = 3, \Delta B_n = 1, L' = 6, B = 18, \Delta B = 6, \Theta_B = 1,33, k_n = 3,45\%$, 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' $_3$** (18), $i_x = 2, M'_{d1} = 6, M'_{d2} = 3, v'_a = 6, v'_k = 3, V' = 6, V'_o = 3, B_n = 3, L'_1 = 6, L'_2 = 3, B = 18, k_n = \theta \operatorname{tg}(\theta/2) = 1,53\%, \theta = \pi/\Pi, L_{co}$ -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 $i_x = 3 \wedge 6$ 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. Однако $\Pi = i_x \Pi'$ 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**,

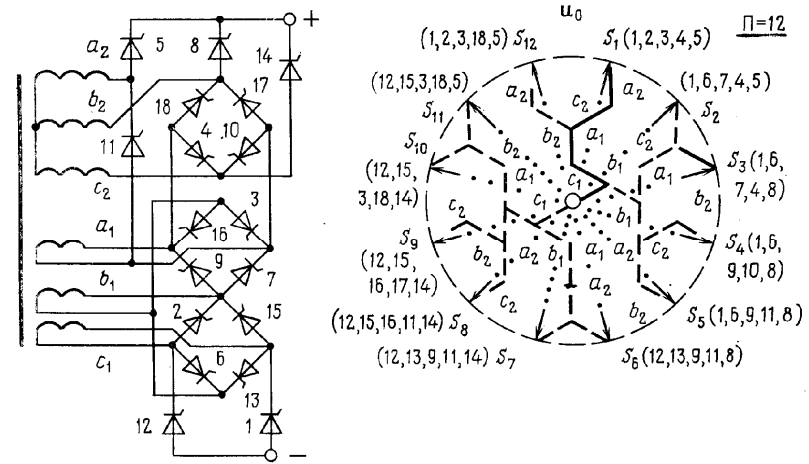


Рис. 10. **Схема А-4'(2+3) (12)**. $Z_x = 4, i_{x1} = 3, i_{x2} = 1, j_{xin} = 1, M'_{d1} = 1, M'_{d2} = 3, v'_a = 2, V' = 4, V'_o = 1, V_n = 5, L'_1 = 2, L'_2 = 3, V = 18, L = 9, k_n = 3,45\%, a_2 : a_1 = 1 : \sqrt{3}/2, B_{a1} \approx 0,185, B_{a2} \approx 0,214, D_{a1} = 1, D_{a2} \approx 0,82, O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

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 $L_6(\text{A} \pm \text{B})$). □

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 $\Pi' = 6$ (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 $\bar{3}_{\text{ср}}$ -систем ($\bar{3}_{\text{ср}}$ и $\bar{3}_{\text{ср}}$ (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 $\bar{5}'_o \pm \bar{5}'_o$ и выводах *abcde*, соответствующих для каждой из $\bar{5}'_o$ -систем **фазокадру** на рис. 7, **б**) значение $\Pi = 10$, а при **фазосдвинутых** системах (т.е. для $\bar{5}'_o \pm \bar{5}'_o$, 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), объединённые 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**) \pm -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, соединённые **последовательно** между собой через однонаправленно включённые 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 подключённых 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, образующие 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

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

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

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

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 $S_{di} = \sum_i S_{dj_i}$, $\forall j_i \in [1, j_x i]$. 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 $S_{a_d} = \sum_j S_{a_d j}$, $\forall j \in [1, j_x]$.

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, $K_{\Pi p} = 100 (\mathcal{P}_{\Gamma} / P_o)^{\Gamma} \%$ – коэффициент **превышения** габаритной (**вольт-амперной**) **мощности** \mathcal{P}_{Γ} 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:

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

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):

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

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

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

В общем случае

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

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

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

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

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

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

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

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_о-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'_о 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 вентиляей // 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?

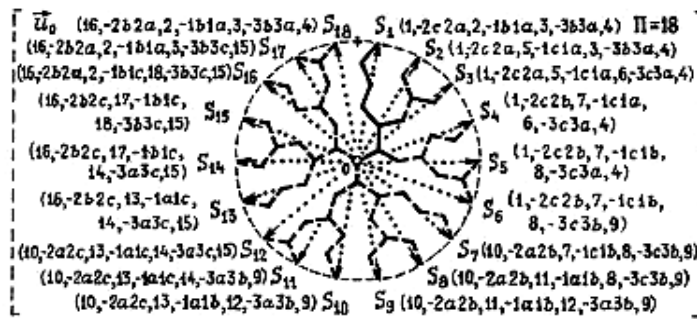
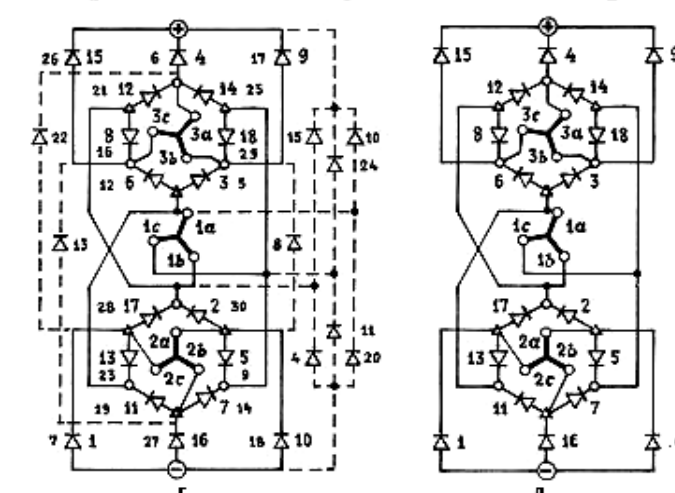
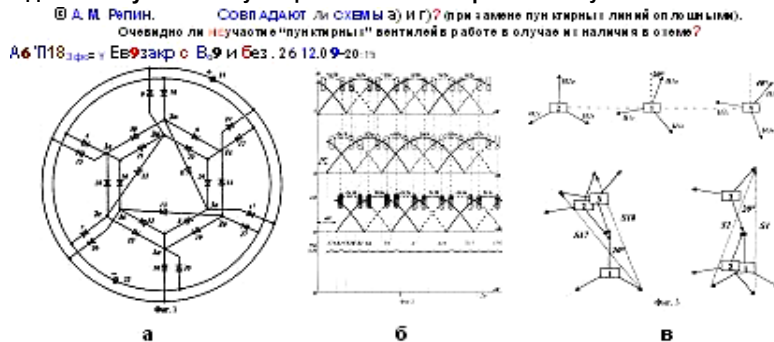


Рис.1. А6 П18_{ЭФ}=γ-СтВК и сущность процессов (а, б, в – [СА], г, д, е – [АФ])

