

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

**Ключевые слова:** конверсика /conversics, базовые схемы конвертеров электроэнергии (БВК ЭЭ), классы схемных моделей БВК, интерметодический способ исследования вентильных схем, метод эквивалентных реакций (МЭР), новые теоремы разложения для произведения изображений Лапласа. Также режимные портреты и конструкции для схем различных классов, формулы скачков, проблема критичности и результаты её решения для десятков классов моделей.

Алгоритмы и результаты по МЭР и R-теоремам для ПИП и УИП в  $P < H$  (в  $P = 3$  - только УИП)

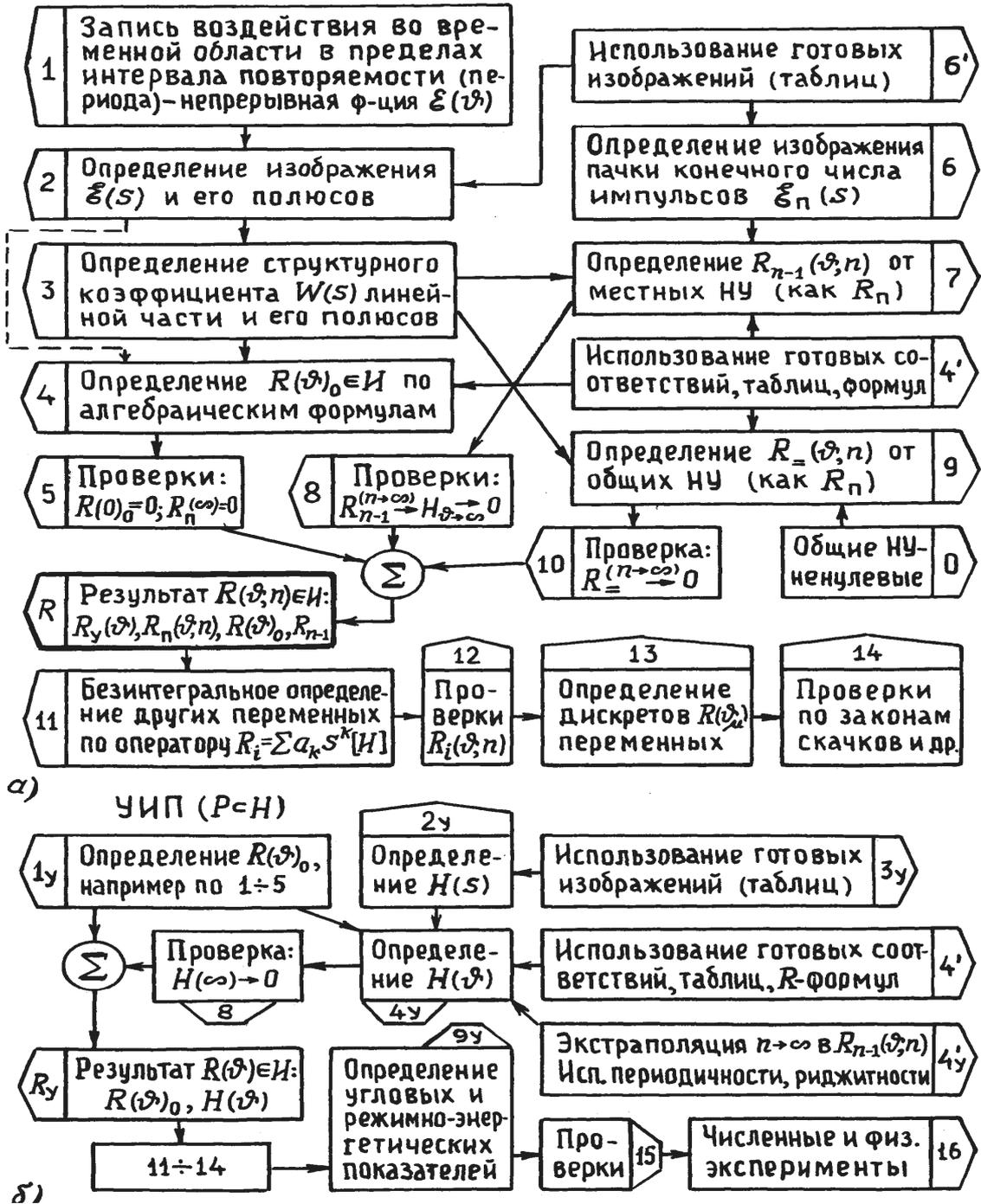


Рис. 17

<sup>1</sup>Продолжение. Начало (стр. 1-40) см. в Ч.0, Ч.1 и Ч.2.1 частях. - URL: <http://www.econf.rae.ru/article/5317> и др.

Подобные изображения кусочно гладких функций (с разрывами), более двадцати из которых даны, в частности, в кандидатской диссертации автора, допустимо, вероятно, считать началом универсальной таблицы, аналогичной общеизвестной для непрерывных функций, составленной за последние двести с лишним лет с момента открытия Лапласом своего операторного метода. При этом экстраполяция числа  $n$  импульсов в суперпозиционных составах (7) дает формулы для расчета УИП, и, таким образом, все результаты по МЭР как для ПИП, так и для УИП, представимы в замкнутом виде, в форме конечного числа аддитивных составляющих, что положительно отличает МЭР от других известных методов. В частности, от дающих соотношения в интегральной форме, в виде бесконечных рядов Фурье и пр.

В заключение данного раздела укажем, что предложенный метод эквивалентных реакций апробирован на ряде конкретных практических задач. Так в [4,22,25,26], в кандидатской диссертации автора, отчетах по НИР "ИНЭФ" и "Контроль" исследованы ПИП и УИП неуправляемых и управляемых ( $\alpha$ ) вентилях схем классов  $S m R_L$  и  $S \alpha m R_L$  в  $P \in H$  и  $P \in Z$ . Показано, что все промежуточные выкладки, понятия, термины, окончательные результаты по МЭР существенно проще, физически корректны и наглядны, дают положительную "реакцию" на воздействия "лакмусовых" контроль-приемов в отличие от аналогичных результатов, полученных в литературе для тех же и аналогичных вентилях цепей другими авторами с помощью методов Д-, Z-преобразований, "разрывных функций" ("модуль-функций" и "функций антэ"), "передаточных функций", "баланса мгновенных мощностей" и пр.

Методом дискретного преобразования Лапласа в [3,23] автором исследованы ПИП и УИП в модели с емкостным накопителем энергии и двумя ключами при одноразовом переключении одного и любой скважности ключевания другого, имитирующего модуляторную нагрузку. Переменные получены путем решения разностных уравнений при любых НУ в форме обычных и смещенных решетчатых функций, найдено время выхода в номинальный режим, уровень пульсации, другие величины, важные для устройств оперативной готовности.

3. Проблема критичности и ее решение. Критическими  $P \in P_{кр}$  называют различные неустойчивые физические состояния ВП, соответствующие переходу из одного режима в другой. Актуальность проблемы обусловлена прежде всего тем, что одна и та же схема ВП может работать в различных по физическому состоянию режимах. Каждому из них свойственны свои особенности, режимно-энергетические показатели, предопределяющие в итоге массо-габаритные, надежность, стоимостные и другие ТЭП. Спроектированные по соотношениям, полученным для одного режима, вентилях устройства не соответствуют реальным условиям при работе в других режимах, и результаты анализа и синтеза схем ВП теряют в таких случаях смысл. Очень важно поэтому знание критических параметров схемных элементов и режимов работы ВП.

При этом экспериментальные исследования критичности в реальных условиях трудоемки, порой опасны, требуют дорогостоящей сервисной аппаратуры высококвалифицированных специалистов, нередко просто неосуществимы. Проще и выгоднее моделирование и расчеты на ЭВМ.

В [22] на единой методической, физико-математической и терминологической основе решена проблема критичности для более 130 классов схем ВП (моделей), разработана классификация схемных моделей и режимов ВП, даны в замкнутом обобщенном виде простые трансцендентные уравнения связи критических значений всех определяющих параметров, в том числе рекуррентные уравнения для общих случаев  $m$ -фазных неуправляемых и управляемых ВП, мощных, маломощных, сильноточных, слаботочных, низковольтных, высоковольтных и других схем при их работе с различными фильтрами в режимах  $P < 3$ ,  $P < H$ ,  $P < K_k$  и др. Приведены простые алгоритмы оперативной оценки типа режимов. По результатам решений на ЭВМ, выполненных по разработанным автором алгоритмам и программам на различных машинных языках, разработано множество т.н. режимных портретов или конструкций, в том числе блочных (рис.19).

Результаты по исследованию критичности схемных структур ВП различных классов обеспечивают для большого количества конкретных практических устройств необходимое удобство, простоту и сравнительно качественные данные по определению критических состояний ВП, выявлению типа рабочего или ожидаемого режимов, оценке общего их числа при одновременной наглядности и экономии средств по сравнению с экспериментальными способами. Замкнутые уравнения и разработанные на их основе режимные конструкции позволяют наглядно и довольно просто проследить параметрическую динамику физических состояний ВП и еще до начала исследования соответствующих моделей установить границы физической корректности математических результатов (этап IV ОАИ), а также ранее созданных без учета критичности или перерабатываемых вновь на этапах V-III ОАИ практических методик инженерного синтеза вентильных структур различных классов.

В этом заключены научная, практическая и технико-экономическая эффективность, полезность и значимость результатов решения проблемы критичности.

4. Проблема замкнутых рекуррентных уравнений для угла коммутации и ее решение. Анализ ВП с фильтрами индуктивного характера существенно упрощается при условном допущении  $L \rightarrow \infty$ . Прием предложен давно, в 1919 г. Однако при  $L \rightarrow \infty$  два уравнения приспособывания из общей их системы оказываются тождественными, и число неизвестных становится на одно больше числа уравнений, что приводило к неопределенности. Именно поэтому получение математически замкнутых уравнений для моментов переключения вентилей (угла коммутации  $\gamma_k$ ) в многовентильных схемах с фильтрами индуктивного характера при  $L \rightarrow \infty$  - задачи крайне важные, а их решени

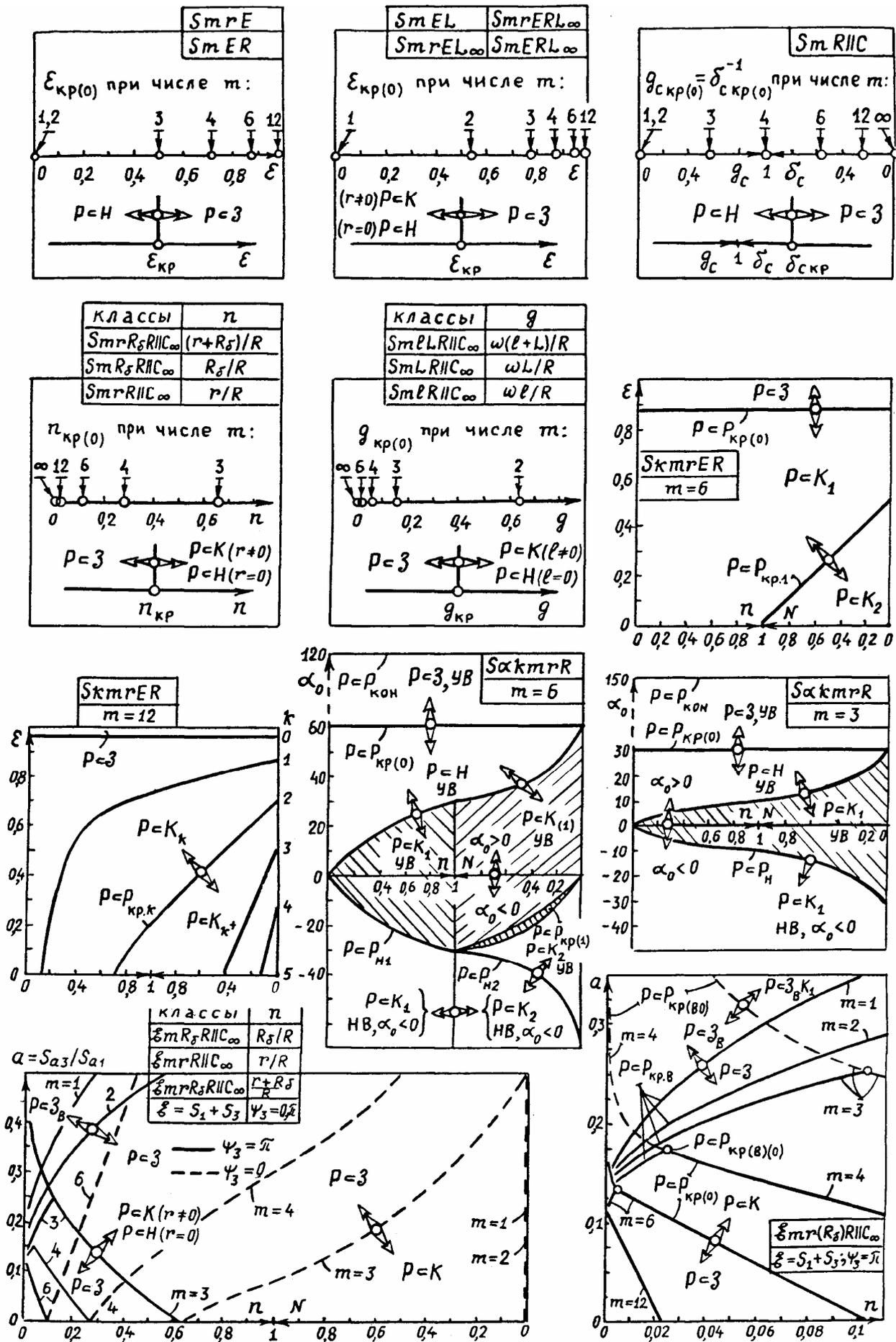


Рис.18. Режимные портреты вентиляных схем различных классов

## Неуправляемые ВП (фрагмент для иллюстрации)

№ Класс схем	Формула критичности	Определяющие параметры	Алгоритм оценки типа режима
<b>НУЛЕВАЯ КРИТИЧНОСТЬ</b>			
32 $SmR_{\delta}R \parallel C$	$e^{-2\theta\delta_{0кр}} = \frac{\cos(\beta_0 - \beta + \theta)}{\cos(\beta_0 - \beta - \theta)}$ ; $m > 2$	$m$	$r=0 \rightarrow P \subset H$
33 $SmrR \parallel C$		$g_c$	$r \neq 0 \rightarrow P \subset K$
34 $SmrR_{\delta}R \parallel C$		$n$	$\rightarrow P \subset 3$
<b>КРИТИЧНОСТЬ k-ГО ПОРЯДКА</b>			
84 $SkmlR \parallel C_{\infty}$	$\theta g_{кр k} - 1 = \left(\frac{k+\theta}{\sin k+\theta}\right)^2 - \frac{2k+\theta}{\tan k+\theta} - 3k\theta^2$	$m$	$m = 1 \rightarrow P \subset 3;$
85 $SkmlLR \parallel C_{\infty}$		$g$	$m > 1, g \geq g_{кр k} \rightarrow P \subset K_{k+}$ $\rightarrow P \subset K_k$

И памятник Господь воздиг нерукотворный



"Эльбрус подо мною. Один в вышине". 18.10.1987



Почётный знак  
А. М. Репину

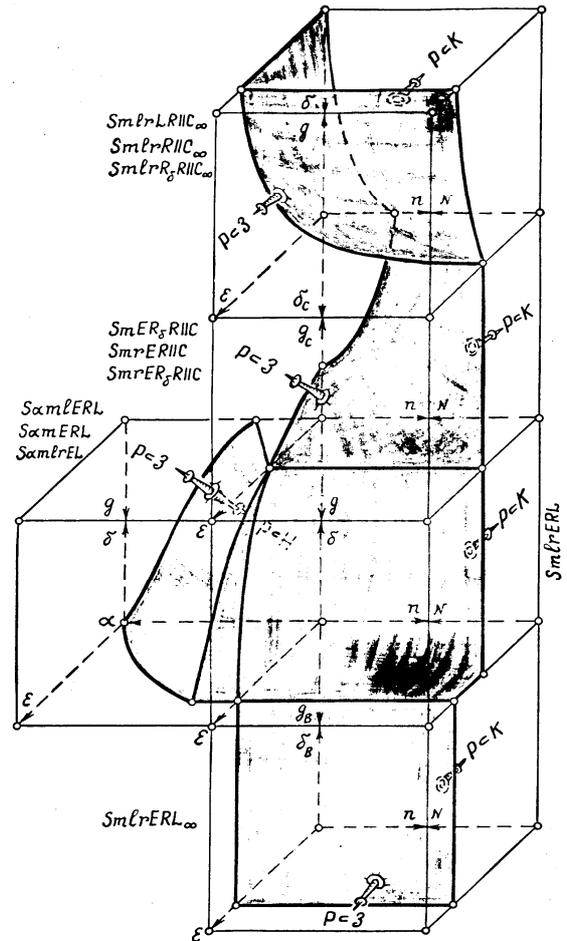


Рис.19. Блочная режимная конструкция вентиляльных схем различных классов

### Полезная вставка по конструктивно-энергетическим показателям простых P<sub>-</sub>БВК ЭЭ

Фрагмент для ( $m'2v^+$ -, В'4-, 6-, Л<sub>+</sub>2v<sup>+</sup>-, ЛЗγ-) P<sub>-</sub>схем,  $\forall v \in N, B_{II}(m', v') \wedge l = 2\wedge 3, \Pi' = 2v^+$   
**Основные показатели простых  $m'2v^+$ -лучевых** (№ 4, 6, 8-10), Л<sub>+</sub>2v<sup>+</sup>- (строка 16 – общая и для К<sub>пр II</sub>, К<sub>пр</sub>) и ЛЗγ- (№ 7) **мостовых** (все - XIX века) и В'4-, В'6-**кольцевых** (конца XX века) схем

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$\Pi$	$2\Pi' = 4\Pi''$	<b>8</b>			<b>12</b>		<b>16</b>	<b>20</b>	<b>24</b>
9	$a$	$u_p = \cos\theta/\cos 2\theta$	0,92388	1,3066	0,64391	$\sqrt{3^+}/\sqrt{6} = 1,115355$	1,0616	1,0385	1,0264	
12	$W_{\Sigma a}$	$a \Pi'$	3,69552	5,22625	3,8637	6,692	<b>1,932</b>	8,493	10,385	12,32
14	$K_{пр II}$	$K_{ин}^-$ , %	<b>68,839</b>	<b>45,12min</b>	43,05	52,331	<b>1,152min</b>	67,621	83,43	98,65
16	$K_{пр I}$	$K_{ин I}^- - 1$ , %	<b>2,6172 MIN</b>	<b>1,152 MIN</b>	7,71467	<b>1,15152</b>	18,526	29,71	40,465	
17	$K_{пр}$	$K_{ин}^-$ , %	<b>35,728</b>	<b>23,87</b>	22,1	30,02	<b>1,15152</b>	43,073	56,57	69,56

- по мнению акад. Л.Р.Неймана, ценны в научном и практическом отношении. Аналогичны задачи для многовентильных схем с емкостным R||C-фильтром, Коммутационные режимы в них вообще не исследовались в известной автору литературе, что, возможно, обусловлено тем, что конденсатор на выходе таких ВП, способствуя режиму P<3, противодействует возникновению режимов P<K.

Несмотря на отсутствие реактивных элементов, запасом энергии в индуктивностях которых обычно объясняют возникновение режимов P<K, такие режимы наблюдаются и в безреактивных (бесфильтровых) схемах ВП, т.е. со держащих только активные сопротивления. Здесь задачи получения замкнутых рекуррентных уравнений для  $\gamma_k$ , имея свои тонкости, в целом идентичны вышеуказанным, и именно в этом классе вентильных схем автор впервые обнаружил новое явление (P-явление), теория и математические исследования которого связаны с общими уравнениями для  $\gamma_k$ .

На основе МКЭ и других удачно найденных приемов в [1,2,9,11,15,16,19,22,25-27], кандидатской диссертации автора, отчетах по ряду выполненных НИР с номерами государственной регистрации 7001501 (1970 г.), 7103257 (1972 г.), Б520544 (1976 г.) и др. получены замкнутые рекуррентные уравнения связи угла  $\gamma_k$  с определяющими параметрами вентильных схем классов  $SkmLRl_\infty$ ,  $SkmLRlC_\infty$ ,  $SkmrRL_\infty$ ,  $SkmrRlC_\infty$ ,  $SkmrERl_\infty$ ,  $SkmrERlC$ ,  $SkmLrRL_\infty$ ,  $SkmrR$ ,  $SkmrER$ .

В частности, для общего случая работы в k-х режимах P<K<sub>k</sub> m-фазных вентильных схем класса  $SkmLRl_\infty$ , охватывающих, пожалуй, наиболее широко исследуемые в мировой литературе сравнительно мощные ВП, в [16] получено следующее простое уравнение

$$A(\gamma_k)B(\gamma_k) = \kappa^2 \theta A_k / \kappa^+ (\kappa \kappa^+ \theta + g); \quad \gamma_k = \gamma_k / 2 = f(m, g), \quad (10)$$

где  $A(\gamma_k) = a_{\kappa^+} \sin \gamma_k + a_\kappa \sin(\theta - \gamma_k) = f(m, \kappa, \gamma_k); \quad g = \omega l / R,$

$$B(\gamma_k) = \sin(\kappa \theta + \gamma_k) - a_{\kappa^+} \sin \gamma_k = f(m, \kappa, \gamma_k); \quad \theta = \pi / m, \quad \forall m > 1.$$

$$A_k = 1 - 2a_\kappa \cos \kappa^+ \theta + a_\kappa^2 = f(m, \kappa); \quad \forall \kappa \in \overline{1, \kappa_x} = f(m, g); \quad \kappa_x = m^-,$$

$$a_\kappa = \text{mod} \frac{1}{\kappa} \sum_{\mu} S_\mu(\vartheta) / \vartheta = \omega t \in [\gamma_k, 2\theta], \quad \forall \mu \in [1, \kappa] = \sin \kappa \theta / \kappa \sin \theta,$$

$$a_{\kappa^+} = \text{mod} \frac{1}{\kappa^+} \sum_{\mu} S_\mu(\vartheta) / \vartheta \in [0, \gamma_k], \quad \forall \mu \in [1, \kappa^+] = \sin \kappa^+ \theta / \kappa^+ \sin \theta.$$

Отсюда для конкретных режимов и схем данного класса получено много частных результатов, доведенных при решениях на ЭВМ до простых и наглядных параметрических номограмм, удобных для использования в учебных процессах и инженерной практике [25,26].

Аналогичны результаты для других классов вентильных схем, в том числе управляемых, с противо-ЭДС, при учете активных сопротивлений. Относительно последних уместно отметить, что еще в 1923 г. один из основоположников общей теории вентильного преобразования электроэнергии М. Демонтьев (M. Demontvignier) при решении задачи анализа  $k$ -х режимов  $m$ -фазных схем с чисто индуктивными элементами заметил: "Учет омических сопротивлений вносит в расчет непреодолимые затруднения". Возможно поэтому с тех пор эта проблема не решалась должным образом. Автору удалось преодолеть и данные трудности, причем при наличии, наряду с активными, индуктивных или емкостного элементов.

В итоге, помимо обширных иных, решены и вышесформулированные важные задачи по математической замкнутости уравнений для  $\gamma_k$  ряда классов вентильных схем, а фундаментальность таких решений позволила, в свою очередь, получить для таких классов ВП много других полезных конечных результатов, причем, и это показано ниже, получить фактически на всех этапах ОАИ, что и предопределяет научную и практическую значимость и эффективность решения проблемы замкнутости.

#### 5. О результатах полных исследований ряда классов вентильных схем.

Начатые автором в середине 60-х и законченные в начале 80-х годов многоаспектные исследования ВП различных классов позволили получить, по существу, фундаментальные результаты по всему комплексу этапов ОАИ. При этом полные результаты получены для следующих классов схем, каждый из которых, судя по литературе, вполне может служить предметом исследований отдельной диссертационной работы, :  $SmRl$ ,  $SmRlC$ ,  $S\alpha mRl$ ,  $SmrR$ ,  $S\alpha m rR$ ,  $SmrER$ ,  $Sm l(l)RlC_{\infty}$ ,  $S\alpha m rRlC_{\infty}$ ,  $S\alpha m l(l)RlC_{\infty}$ ,  $Sm rRl_{\infty}$ ,  $\xi m rRlC_{\infty}$  ( $\xi_{\mu} = \sum_{\nu} S_{\mu\nu}$ ,  $\forall \mu \in [1, m]$ ,  $m \in \mathbb{N}$ ,  $\forall \nu \in \mathbb{N}$ ),  $Sm rRlC$ ,  $S\alpha m l r(l)RlC_{\infty}$ ,  $Sm l rRl_{\infty}$ ,  $S\alpha m l r(E)Rl_{\infty}$ ,  $Sk m rR$ ,  $Sk m rER$ ,  $Sk m rRl_{\infty}$ ,  $Sk m lRl_{\infty}$  в режимах  $P \subset \mathbb{Z}$ ,  $P \subset \mathbb{Z}_B$ ,  $P \subset \mathbb{H}$ ,  $P \subset K_1$ ,  $P \subset K_k$  [1,2,4-9, 11-17, 19-22, 25-30].

Такие классы схем охватывают большое разнообразие конкретных схем ВП малой, средней и большой мощности, низких, средних и повышенных напряжений, слаботочных, сильноточных, управляемых, неуправляемых, при синусоидальных и несинусоидальных (полигармонических) ЭДС, бесфильтровых и с фильтрами индуктивного или емкостного характера, при работе в режимах прерывистого и непрерывного выходного тока, в том числе с мгновенной коммутацией внутренних ветвей и в коммутационных,  $k$ -го порядка режимах.

В соответствии с ОАИ для таких классов схем получены схемные и математические модели, проведен полный их анализ, созданы законченные теории, получены необходимые расчетные формулы режимно-энергетических и других показателей, разработаны алгоритмы, машинные программы и методики инженерного синтеза (проектирования) схем с помощью ЭВМ и принципиально новых, универсальных параметрических номограмм.

Продолжение (→ Ч. 23) следует.