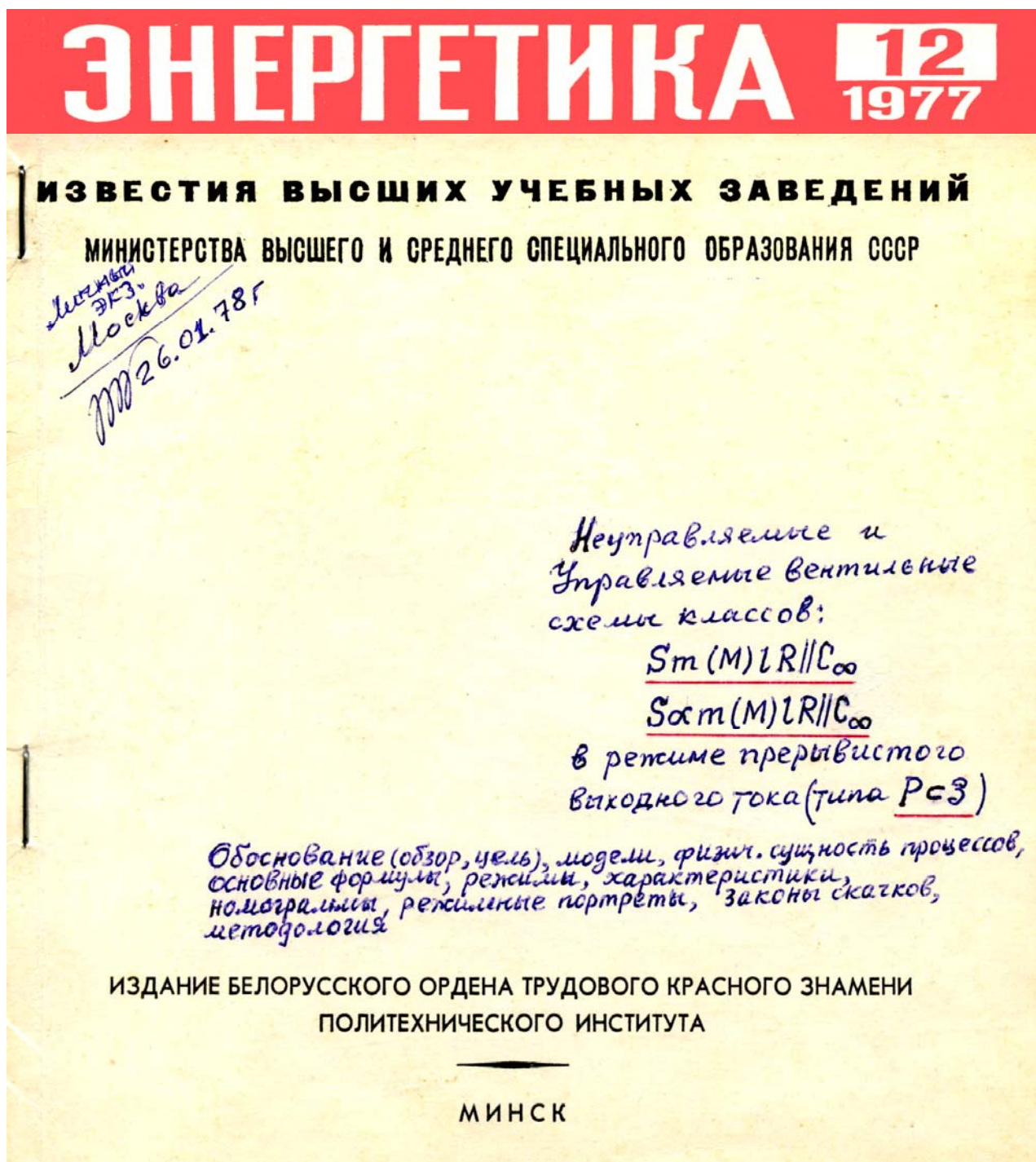


А. М. Репин. Исследование вентильных схем классов $S_{m1R}||C_{\infty}$ и $S_{\alpha m1R}||C_{\infty}$
в выпрямительном режиме типа $P<3$

Repin Arkadiy M. Study of the valve circuits of class $S_{m1R}||C_{\infty}$ and $S_{\alpha m1R}||C_{\infty}$ in mode $P<3$

Анонс. Приводится первая электронная версия повторных скан-копий новых результатов, опубликованных в журнале Энергетика (Изв. ВУЗов) в 1977 году (первые скан-копии уничтожили злобы).. Даны не только принципиально новые сведения по неуправляемым и управляемым выпрямителям с ёмкостным фильтром при учёте внутренних индуктивностей, но также впервые в учебной литературе Минобразования упоминается закон скачков. Подробнее ему посвящена авторская статья в научно-техническом сборнике Минрадиопрома в том же 1977 году, опубликованная в НЭА, URL: <http://econf.rae.ru/article/7258>. В т.н. "современной" учебной литературе в области конверсики царит развал. Причём застой по базовым схемам вентильных конвертеров электроэнергии (БВК ЭЭ) уже около века. По новым полезным результатам автора – до полувека (факты мошенничества дилетантов, плагиаторов не имеются в виду).



УДК 621.314.6

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУПРАВЛЯЕМЫХ И УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ЁМКОСТНЫМ ФИЛЬТРОМ И ВНУТРЕННИМИ ИНДУКТИВНОСТЯМИ

Кандидат техн. наук, доц. А. М. РЕПИН

*Московский ордена Трудового Красного Знамени
электротехнический институт связи*

Обзор литературы, обозначения и цель. Основное влияние на электромагнитные процессы в мощных выпрямителях оказывают индуктивности рассеяния трансформатора l_μ [1—3]. Активными потерями здесь пренебрегают. В схемах малой мощности, напротив, учитывают лишь активные внутренние сопротивления r_μ , пренебрегая l_μ [3—5, 12]. При средних мощностях и питающем напряжении промышленной частоты учитывают то и другое [2, 3, 5—8]. Если во втором и третьем случаях результаты известны как при индуктивном [5, 6], так и при ёмкостном [3—5, 7, 8, 12] характере нагрузки, то в первом случае они получены лишь при индуктивном характере [1—3]. Классы схем с ёмкостным накопителем энергии на выходе оказались при учёте внутренних индуктивностей практически неизученными. Имеются лишь начальные сведения по однофазной мостовой управляемой схеме [8].

Между тем интерес к этим схемам все более возрастает благодаря появлению такого совершенного полупроводникового прибора, как тиристор, возможности которого выполнять одновременно функции выпрямителя тока и регулятора напряжения потребителя обеспечивают ему широкое применение. Обладая, кроме того, меньшими габаритами, массой и инерционностью, тиристор с успехом конкурирует с традиционными управляющими электроэлементами (УЭ) — дросселями насыщения (ДН) и магнитными усилителями (МУ).

Таким образом, при средних, а в некоторых случаях и малых мощностях и повышенных частотах питания влиянием r_μ в схемах с ёмкостью можно, как и в мощных схемах, в первом приближении пренебречь и тем самым существенно упростить анализ процессов и расчётные соотношения. Это тем более допустимо при наличии анодных токоограничивающих дросселей [9, 10] или использовании в качестве УЭ ДН или МУ [2, 8, 11], так как их индуктивности, складываясь с l_μ , усиливают приемлемость условия $\omega l_\mu \gg r_\mu$. Далее под l_μ понимается суммарное значение всех индуктивностей, относящихся к μ -й внутренней ветви.

В данной статье исследованы оба класса выпрямителей — неуправляемых (НВ) и управляемых (УВ) с параллельным ёмкостным ($R\parallel C$) фильтром при синусоидальной (S) форме фазных э. д. с., учёте влияния l_μ ($\mu = 1, 2, \dots, m$) и упрощающем условии $u_c = U_0 - \text{const}$. Последнее равносильно $C \rightarrow \infty$ и практически приемлемо при $\omega RC > 5-50$, где R — сопротивление потребителя; ω — частота сети.

Для определённости и сокращения изложения, а также унификации существующего многообразия схем целесообразно обозначать различные классы вентильных схем латинскими буквами входящих в схемы элементов [5, 12]. Согласно принятым предпосылкам получаем, что изучению подлежат схемы классов $SmlR\|C_\infty$ и $SamlR\|C_\infty$, где α — угол управления; m — число фаз.

Неизученность схем первого класса неоправданно сдерживает разработку инженерных методов их проектирования. Но необходимость их исследования обусловлена не только тем, что такие схемы имеют самостоятельное значение (как НВ), но также тем, что этот случай:

1) позволяет устранить пробел по невыясненным состояниям схем класса $SmlrR\|C_\infty$ [3] при малых потерях;

2) непосредственно даёт результаты для схем класса $SmlR\|C$ при распространённом на практике сочетании параметров $\omega RC \gg 0$, освобождая от более сложного анализа этих схем и последующих упрощающих преобразований;

3) без дополнительных выкладок даёт все необходимые сведения для доначальных режимов управляемых схем класса $SamlR\|C_\infty$, обеспечивая достаточность их исследования лишь в управляемых режимах.

Изучение схем второго класса:

1) также имеет самостоятельное значение (как УВ);

2) позволяет получить результаты не только для однофазной [8], но для любых m -фазных схем;

3) непосредственно даёт все сведения для предельных состояний схем класса $SamlrR\|C_\infty$;

4) без трудоёмких исследований схем класса $SamlrR\|C$ [7] даёт более простым путём расчётные соотношения для схем с малыми потерями и $\omega RC \gg 0$.

Исследуем режим прерывистого выходного тока, для краткости обозначаемый далее в виде $P \subset Z$ [5, 12]. Но в отличие от всех известных работ по выпрямителям с ёмкостью выясним значения параметров схемных элементов, при которых УВ становятся неуправляемыми либо, как и НВ, переходят в коммутационные режимы, обозначаемые далее в виде $P \subset K$ [5, 12]. Первоначально исследуем НВ.

Основные переменные схем класса $SmlR\|C_\infty$ в режиме $P \subset Z$. Мгновенные значения переменных (токов, напряжений, мощностей) будем обозначать малыми буквами (i, u, p), средние значения (по Фурье) — большими курсивными (I, U, P), действующие значения — прописными (J, V, P). Амплитудным значениям придадим индекс a , индексы ϕ, v, c, n, o — соответственно переменным фазы, вентиля, ёмкости, общей (Z_n) и полезной (R) нагрузок.

Анализ проведём в безразмерной системе. В качестве оснований принимаем: для потенциальных величин — $O_u \subset S_a$, для сопротивлений — $O_z \subset x = \omega l$, для токов — $O_i \subset S_a/x$. Для получения именованных значений достаточно приведенные к основанию величины умножить на их основания. Относительный эквивалент (ОТЭ) схем класса $SmlR\|C_\infty$ для μ -й ветви показан на рис. 1, где ключ K_μ следует считать неуправляемым. Его включение и отключение происходят естественным путём при условии $u_{AK} = 0_{\pm}$. Диаграммы переменных при $S_{a\mu} = S_a, l_\mu = l$ даны на рис. 1 справа. Период процессов содержит два подынтервала: 0 и 0^- . Рассмотрим процессы по подынтервалам, придавая переменным соответствующие индексы.

* Должно быть не (J, V, P) , а (j, v, p) .

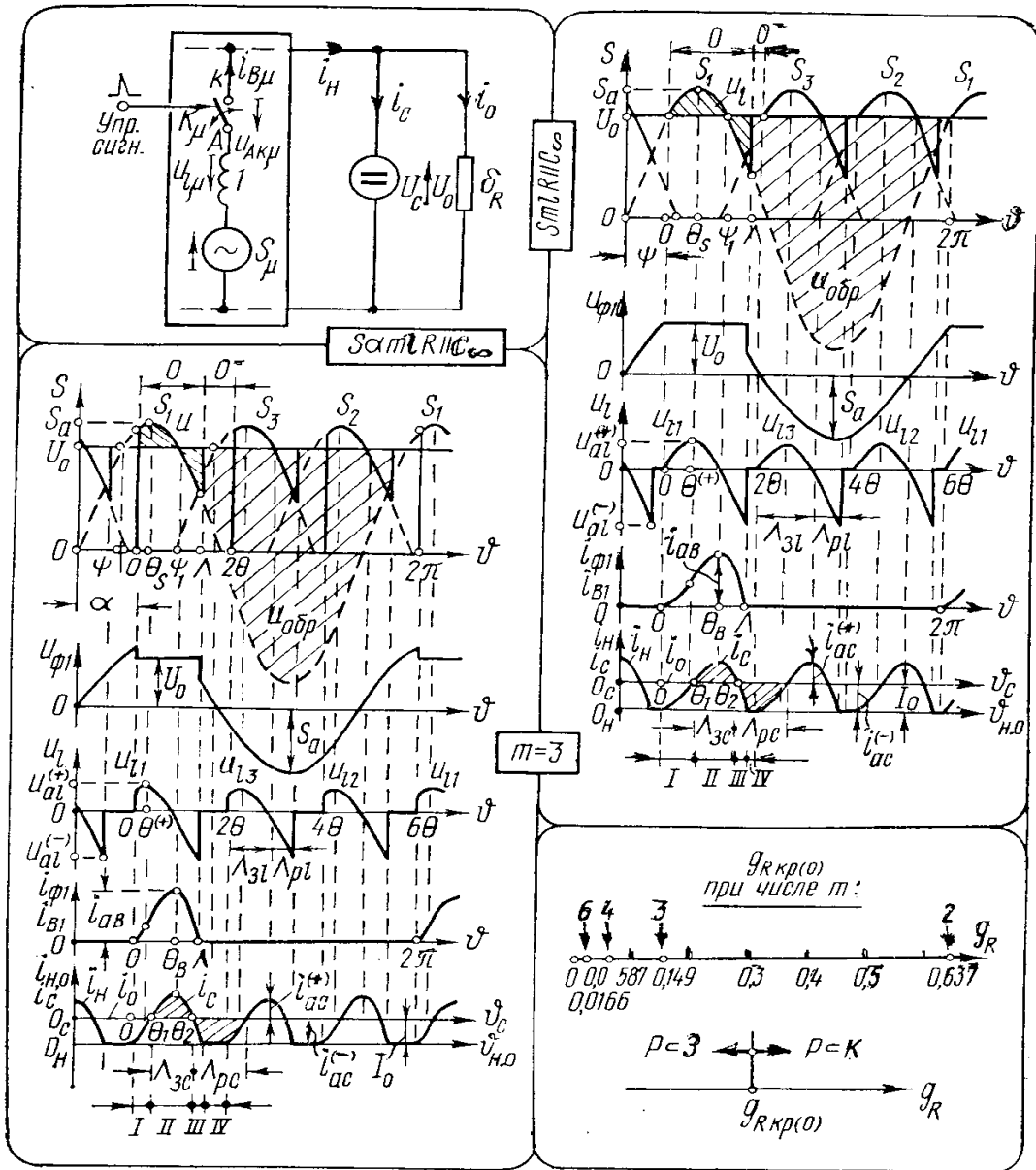


Рис. 1

а) Подынтервал 0 ($0_+ \leq \vartheta \leq \Lambda_-$)

$$u_l(0) = \dot{i}'_{\phi}(0) = S - U_0 = \sin(\vartheta + \psi) - \sin \psi; \quad (1)$$

$$i_{\text{фвн}}(0) = \cos \psi - \cos(\vartheta + \psi) - \vartheta \sin \psi; \quad (2)$$

$$i_c(0) = i_H(0) - I_0 = i_H(0) - g_R \sin \psi; \quad g_R = 1/\delta_R = \omega l/R; \quad (3)$$

$$u_{\phi}(0) = U_0; \quad u_c(0) = U_0; \quad U_0 = \sin \psi. \quad (4)$$

б) Подынтервал 0^- ($\Lambda_+ \leq \vartheta \leq 2\theta_-$)

$$u_l(0^-) = 0; \quad i_{\text{фвн}}(0^-) = 0; \quad i_c(0^-) = -I_0; \quad (5)$$

$$u_{\phi}(0^-) = S = \sin(\vartheta + \psi); \quad u_c(0^-) = U_0 = \sin \psi; \quad (6)$$

$$u_{\text{обр}} = S - U_0 = \sin(\vartheta + \psi) - \sin \psi. \quad (7)$$

Наличие индуктивностей l_{μ} обуславливает в основном непрерывное изменение переменных. Лишь в форме напряжений u_l (по заднему фронту) и $u_{\text{обр}}$ (по переднему) происходит скачок, равный $S(\Lambda) - U_0$.

Угловые величины схем класса $SmlR\|C_\infty$ в $P \subset 3$. Физический смысл важнейших углов ясен из рис. 1. Соотношения для их расчёта имеют вид

$$\operatorname{ctg} \psi = \lambda \operatorname{csc}^2 \lambda - \operatorname{ctg} \lambda = (g_R + \Theta_{1,2} - \sin \Theta_{1,2}) / (1 - \cos \Theta_{1,2}); \quad (8)$$

$$\Theta_{\text{фвнс}} = \Lambda_{3l} = \pi - 2\psi; \quad \Lambda_{pl} = \Lambda - \Theta_{\phi}; \quad \Lambda_{3c} = \Theta_2 - \Theta_1; \quad (9)$$

$$\Lambda_{pc} = 2\Theta - \Lambda_{3c};$$

$$\Lambda_{\text{нрс}} = 2\Theta - \Lambda; \quad \Lambda_{\text{зрс}} = \Lambda - \Lambda_{3c}; \quad \Theta^{(+)} = \Theta_S = \frac{\pi}{2} - \psi, \quad \Theta = \frac{\pi}{m}; \quad (10)$$

$$\Lambda = 2\lambda; \quad \lambda \operatorname{ctg} \lambda = 1 - \sqrt{\Theta g_R} = 1 - \sqrt{P}; \quad \Lambda_{3c} < \Lambda. \quad (11)$$

Благодаря энергии, накапливаемой в l_μ , вентили не закрываются в момент равенства S и U_0 (момент $\psi_1 = \pi - 2\psi$), а продолжают проводить даже при $S < U_0$. Поэтому в отличие от схем малой мощности класса $SmrR\|C_\infty$ здесь $\lambda > \frac{\pi}{2} - \psi$.

Сводка основных режимных показателей схем класса $SmlR\|C_\infty$ в $P \subset 3$

$$i_{a \text{ вфн}} = 2 \cos \psi - \psi_1 \sin \psi; \quad i_{ac}^{(+)} = i_{an} - I_0; \quad i_{ac}^{(-)} = -I_0; \quad I_c = 0; \quad (12)$$

$$u_{al}^{(+)} = 1 - U_0; \quad u_{al}^{(-)} = S(\Lambda) - U_0 = \sin(\psi + \Lambda) - \sin \psi; \quad U_l = 0; \quad (13)$$

$$I_{\text{вф}} = I_0/m; \quad u_{a \text{ обр}} = 1 + U_0; \quad J_{\text{фв}} = \sqrt{D_{\text{в}}/2\pi} \approx 2,77 I_0/m \sqrt{\Lambda}; \quad (14)$$

$$V_{\phi} = \sqrt{0,5 + D_{\phi}/2\pi}; \quad D_{\phi} = 0,5 \sin \Lambda \cos(2\psi + \Lambda) - \Lambda \cos 2\psi. \quad (15)$$

Основные характеристики схем класса $SmlR\|C_\infty$ в $P \subset 3$.

а) Параметрические характеристики. По аналогии со схемами широко известного класса $SmrR\|C_\infty$ [4, 3], для которых расчетные графики построены в зависимости от некоторого параметра

$$A = \frac{\pi r I_0}{m U_0} = n \Theta,$$

здесь также можно в обобщенном для всех m виде номографировать режимные показатели в зависимости от параметра $P = g_R \Theta$. Однако это обобщение кажущееся и в какой-то мере допустимо лишь на начальной стадии изучения схем класса $SmlR\|C_\infty$. Поскольку каждая схема обладает своими специфическими особенностями работы, зависящими от числа фаз и определяющих параметров, в данном случае целесообразнее строить номограммы (рис. 2) в зависимости от параметра $g_R = 1/\delta_R$. Именно его значение однозначно определяет физическое состояние схем класса $SmlR\|C_\infty$.

То же относится и к схемам упомянутого выше класса $SmrR\|C_\infty$, начальные сведения о котором, появившиеся в конце 20-х — начале 30-х годов, до сих пор не получили, к сожалению, должного развития.

б) Текущие относительные характеристики $F = \delta_R i_{\text{ав}} / \sin \psi$, $D = \delta_R J_{\phi} / \sin \psi$, $B = V_{\phi} / \sin \psi$, $O = 1 + \operatorname{csc} \psi$ и другие также целесообразно строить в зависимости от $g_R = \omega l / R$.

в) Внешние характеристики $U_0(I_0)$, в отличие от дуального класса $SmlRL_\infty$ [1—3, 5], не удаётся получить в явном виде. Построение их возможно по точкам на основе (4), (13) после численных решений (8), (11).

Проверка переменных. Фазный ток в терминах теории цепей является риджитной переменной, для которой справедлив закон $R_{rig}(0)_0 = 0$, где индекс 0 означает нулевые начальные условия (н. н. у.). Так как в подынтервале 0- внутренние ветви отключены от фильтра ($i_{\phi(0-)}(\vartheta) = 0$), отсут-

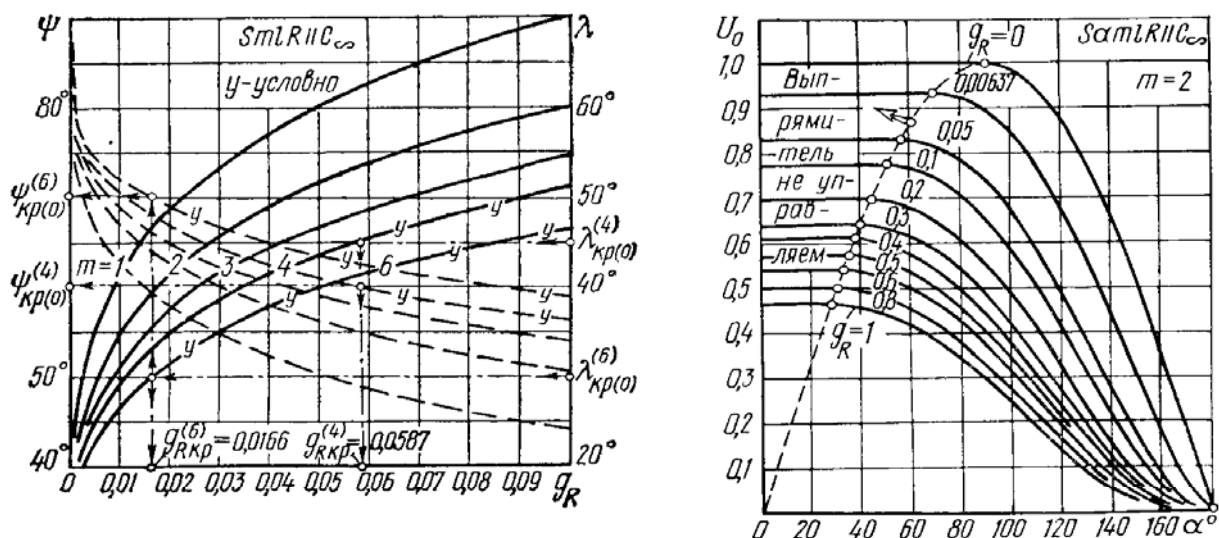


Рис. 2

ствие к моменту ψ - энергий в μ -х индуктивностях обеспечивает именно н. и. у. Следовательно, должно быть $i_{\phi}(0) = 0$. Действительно, из (2) при $\phi = 0$ получаем $i_{\phi}(0) = \cos \psi - \cos \psi = 0$. Таким образом, ошибок при интегрировании не допущено.

Поскольку фазный ток является, кроме того, *исходной* переменной, остальные переменные, служащие производными от исходной, проверяются еще проще. Критические параметры проверены далее.

Критические состояния и режимный портрет схем класса $SmlR||C_{\infty}$.

При определённых значениях параметров возможна работа схем в коммутационных режимах. Переход из $P \subset Z$ в $P \subset K$ отражает *нулевую критичность состояний* [5, 12]. Критические параметры находим для $m > 1$ из (11) и (8) при $\lambda = \Theta$

$$g_{Rkp(0)} = \Theta^{-1} - 2 \operatorname{ctg} \Theta + \Theta \operatorname{ctg}^2 \Theta; \operatorname{ctg} \psi_{kp(0)} = \Theta \operatorname{csc}^2 \Theta - \operatorname{ctg} \Theta, \quad (16)$$

что совпадает с предельными для класса $SmlrR||C_{\infty}$ выражениями [5].

Поскольку состояния схем класса $SmlR||C_{\infty}$ зависят всего лишь от одного параметра, их режимный портрет представим на одной линии и потому весьма прост (рис. 1, справа внизу). Тип режима легко оценивается по указаниям стрелок («компас»). При $g_R > g_{Rkp(0)}$ полученные результаты теряют смысл.

Исследуем УВ.

Основные переменные схем класса $SamlR||C_{\infty}$ в режиме $P \subset Z$.

ОТЭ схем и диаграммы переменных показаны на рис. 1, слева. В отличие от НВ в УВ появляются скачки в форме u_{ϕ} , а также по переднему фронту напряжений на I_{μ} .

Как и ранее, период содержит два подынтервала: 0 и 0⁻.

В подынтервале 0 ($0_+ \leq \phi \leq \Lambda_-$) имеем

$$u_l(0) = i'_{\phi(0)} = S - U_0 = \sin(\phi + \alpha) - \sin \psi; \quad (17)$$

$$i_{\phi вн(0)} = \cos \alpha - \cos(\phi + \alpha) - \phi \sin \psi; \quad (18)$$

$$i_c(0) = i_n(0) - I_0 = i_n(0) - g_R U_0 = i_n(0) - g_R \sin \psi; \quad (19)$$

$$u_{\phi(0)} = U_0; u_c(0) = U_0; U_0 = \sin \psi. \quad (20)$$

В подынтервале 0⁻ ($\Lambda_+ \leq \phi \leq 2\Theta_-$)

$$u_l(0^-) = 0; i_{\text{фвн}}(0^-) = 0; i_c(0^-) = -I_0; \quad (21)$$

$$u_\phi(0^-) = S = \sin(\vartheta + \alpha); u_c(0^-) = U_0; u_{\text{обр}} = S - U_0. \quad (22)$$

Сводка угловых величин для схем класса $SamLR \parallel C_\infty$ в $P \subseteq 3$

$$\lambda \sin \psi = \sin \lambda \sin(\alpha + \lambda); \quad (23)$$

$$(g_R + \Theta_{1,2}) \sin \psi = \cos \alpha - \cos(\Theta_{1,2} + \alpha); \quad (24)$$

$$\Theta_{\text{фвнс}} = \Lambda_{\text{al}} = \pi - \alpha - \psi; \Lambda_{\text{pl}} = \Lambda - \Lambda_{\text{al}}; \Lambda_{\text{зс}} = \Theta_2 - \Theta_1; \quad (25)$$

$$\Lambda_{\text{рс}} = 2\Theta - \Lambda_{\text{зс}};$$

$$\Lambda_{\text{нрс}} = 2\Theta - \Lambda; \Lambda_{\text{зрс}} = \Lambda - \Lambda_{\text{з}}; \Theta^{(+)} = \begin{cases} \Theta_S = \frac{\pi}{2} - \alpha & \text{при } \alpha < \frac{\pi}{2} \\ 0 & \text{при } \alpha \geq \frac{\pi}{2} \end{cases}; \quad (26)$$

$$\lambda(\lambda \operatorname{ctg} \lambda - 1) \operatorname{ctg}(\alpha + \lambda) = g_R \Theta; \Lambda > \Lambda_{\text{зс}}. \quad (27)$$

Сводка основных режимных показателей схем класса $SamLR \parallel C_\infty$

$$i_{\text{авфн}} = \cos \alpha + \cos \psi - (\pi - \alpha - \psi) \sin \psi; i_{\text{ac}}^{(+)} = i_{\text{ан}} - I_0; I_\epsilon = 0; \quad (28)$$

$$u_{\text{al}}^{(+)} = \begin{cases} 1 - U_0 & \text{при } \alpha \leq \frac{\pi}{2} \\ \sin \alpha - U_0 & \text{при } \alpha > \frac{\pi}{2} \end{cases}; u_{\text{al}}^{(-)} = \sin(\alpha + \Lambda) - \sin \psi; \quad (29)$$

$$I_{\text{вф}} = I_0/m; u_{\text{аобр}} = 1 + \sin \psi; u_{\text{анр}} = \sin \alpha - U_0; I_0 = g_R \sin \psi; \quad (30)$$

$$J_{\text{вф}} = \sqrt{D_{\text{в}}/2\pi}; D_{\text{в}} = A_{\text{в}} \lambda + B_{\text{в}} \sin \lambda; B_{\text{в}} = \cos \lambda \cos 2(\alpha + \lambda) - 4 \cos \alpha \cos(\alpha + \lambda); \quad (31)$$

$$A_{\text{в}} = 1 + 2 \cos^2 \alpha + 4 \left[\sin(\alpha + 2\lambda) - \lambda \cos \alpha + \left(\frac{2}{3} \lambda^2 - 1 \right) \sin \psi \right] \sin \psi; \quad (32)$$

$$V_{\text{ф}} = \sqrt{0,5 - D_{\text{ф}}/2\pi}; D_{\text{ф}} = \lambda \cos 2\psi - 0,5 \sin \Lambda \cos(2\alpha - \Lambda).$$

Проверка результатов. При $P \subseteq 3$ к моменту α_- всегда обеспечены н. н. у., поэтому, как и в НВ, для фазного тока, являющегося риджитной переменной, должно быть $i_\phi(0) = 0$. Из (17) при $\vartheta = 0$ имеем $i_\phi(0) = \cos \alpha - \cos \alpha = 0$. Следовательно, интегрирование выполнено правильно. Если, кроме того, найти значения напряжений для моментов α_\pm и Λ_\pm , можно убедиться, что закон скачков $\sum \downarrow u_\psi = 0$ соблюдается. И, наконец, если в (17) — (32) положить $\alpha = \psi$, получим выражения (1) — (15), выведенные самостоятельно для частного случая неуправляемых схем. Последнее можно рассматривать не только в качестве проверки более общих выражений (17) — (32), но и полученных независимо от них соотношений (1) — (15).

Основные характеристики схем класса $SamLR \parallel C_\infty$ в $P \subseteq 3$. Все режимные и угловые величины зависят от длительности открытого состояния вентиля $\Lambda = 2\lambda$, которая может быть исключена лишь путем решения уравнения (27). В силу трансцендентности явное решение его невозможно. Поэтому любые параметрические характеристики могут быть построены на основе численных решений (17) — (32) на ЭЦВМ при дискретных значениях g_R и α (рис. 2). Их диапазон, однако, ограничен начальными и критическими значениями.

Основные особенности работы схем класса $SamlR||C_\infty$ в $P \subset 3$.

а) Начальный режим ($P \subset P_H$). При данном g_R регулирование возможно, лишь начиная с некоторого угла $\alpha = \alpha_H$, который находим из (8) (11), заменив ψ, λ через α_H, λ_H ,

$$\text{ctg } \alpha_H = \lambda_H \text{csc}^2 \lambda_H - \text{ctg } \lambda_H; \quad \Theta g_{RH} = (1 - \lambda_H \text{ctg } \lambda_H)^2. \quad (33)$$

Кривые $\alpha_H(g_R)$, относящиеся к $P \subset P_H$, даны на рис. 3 пунктиром для $m=1, 2, 3, 4, 6$. При $\alpha < \alpha_H$ полученные результаты теряют смысл, но всё необходимое для доначальных состояний (при $0 \leq \alpha \leq \alpha_H$) находим из (1) — (15).

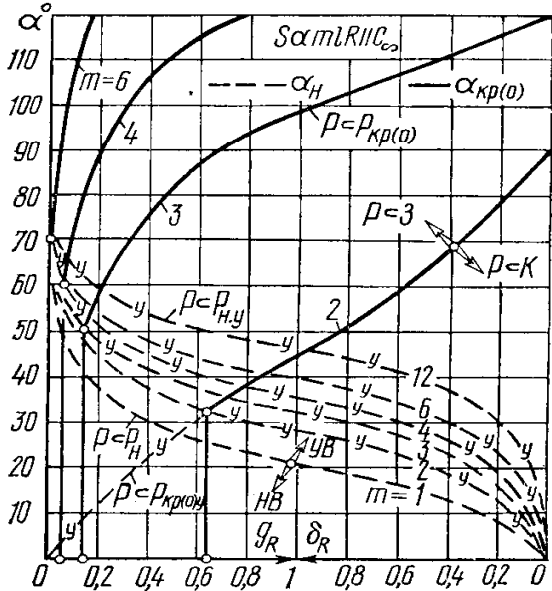


Рис. 3

б) Граничный режим ($P \subset P_T$). Начиная с $\alpha = \alpha_T = 90^\circ$, называемого граничным углом, в форме положительного импульса $u_i^{(+)}$ исчезает максимум (экстремум). При $\alpha > \alpha_T$ наибольшее (амплитудное) значение $u_{aT}^{(+)} = \sin \alpha - \sin \psi$ имеет место непосредственно в момент включения вентиля.

в) Критический режим ($P \subset P_{kp(0)}$). Условие нулевой критичности, соответствующее переходу схем класса $SamlR||C_\infty$ из $P \subset 3$ в $P \subset K$, находим из (27) при $\lambda = \lambda_{kp(0)} = \Theta$

$$g_{R \text{ kp}(0)} = (\Theta \text{ctg } \Theta - 1) \text{ctg } (\alpha_{kp(0)} + \Theta). \quad (34)$$

В частности, для двухлучевой и однофазной мостовой схем имеем

$$\alpha_{kp(0)}^{(2)} = \varphi_R = \arctg g_R. \quad (34)$$

Поскольку физические состояния схем зависят от двух определяющих параметров, режимный портрет по $P \subset P_{kp(0)}$, как и по $P \subset P_H$, представим лишь в плоскости (рис. 3, сплошные линии). Тип режима при данных g_R и α можно легко определить, пользуясь указаниями «компас».

ВЫВОД

Изложены результаты исследования многовентильных схем классов $SmlR||C_\infty$ и $SamlR||C_\infty$ в режиме типа $P \subset 3$. Выявлены важные режимы работы таких схем (начальные, граничные, критические) и даны соответствующие им значения параметров g_R и α , однозначно определяющие физические состояния схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dallenbach W. und Gerecke E. Die Strom und Spannungsverhältnisse der Grossgleichrichter. Activ für Elektrotechnik, 1924, N 2.
2. Булгаков А. А. Новая теория управляемых выпрямителей. Изд. АН СССР, 1970.
3. Герентьев Б. П. Электропитание радиоустройств. «Связь», 1938, 1948.
4. Асеев Б. П. К расчёту кенотронного выпрямителя. Р/сб. ОДР, 1930, № 2, 3.
5. Репин А. М. Параметрические состояния выпрямителей малой мощности. Автореф. канд. дис., МЭИС, 1971.
6. Белополюский И. И. Анализ многофазных выпрямительных схем, работающих на нагрузку с индуктивной реакцией, при учёте внутренних активных и индуктивных сопротивлений. Вопросы радиоэлектроники, сер. ОТ, вып. 3, 1968.
7. Zakarevicius R. A. A filter for phase-controlled rectifiers. PIREE Austral., v. 23, 1962, N 3.

8. Черняк И. Н. Расчёт регулируемого выпрямителя с ёмкостным фильтром. М., НИИ ТЭИР, 1965.

9. Bailey R. Thyristor-stabilized Power Supplies. Wireless World, 1969, N 1406.

10. Schaltungsanordnung zur Gewinnung einer stabilisierten einstellbaren Gleichspannung mit Hilfe Thyristors aus einem Wechselstromnetz. Pat. BRD, kl. 21c-67, N 1598589, 1973.

11. Акцинетров О. А. и др. Стабилизация выходной мощности и оптимизация параметров разряда аргонового ОКГ. ПТЭ, 1976, № 2.

12. Репин А. М. Теория и расчёт выпрямителей при несинусоидальной форме фазных э. д. с. «Электросвязь», 1975, № 12.

Представлена кафедрой
электропитания

[24.III.1977]



Всем наилучшие пожелания в Новом 2013-м от Рождества Христова!

© А.М. Репин. 1970, -71,-77, -86, -99. 2005., -06. 11.1.2013